

해삼양식 산업화 기술 연구

양시량** · 최준범* · 정지은* · 이창혁* · 김영룡 · 이기채

전라남도 해양수산과학원 진도지원

연구의 배경 및 목적

해삼은 극피동물 해삼강(Halothuriodea)에 속하는 생물군으로 우리나라 전해역에 걸쳐 서식한다. 국내에서는 돌기해삼을 포함한 해삼류의 식품 선호도가 높지는 않지만 중국과 전 세계 화교권에서는 해삼류 중 특히 돌기해삼의 경우 웰빙 식품으로 인식되면서 소비량이 매년 증가하고 있어 수출 산업적으로 매우 중요한 종이다. 그러나 중국의 경우 고수온 및 태풍 등의 자연재해로 생산량 감소 및 품질저하 등의 문제 등이 발생하고 있어 중국 내 해삼 생산량은 소비량에 크게 미치지 못하는 실정이다(Kim, 2011; Noh, 2012; Park, 2009). 이러한 배경으로 우리나라에서는 중국 소비시장을 대상으로 수출 경쟁력을 확보하기 위해 고품질의 해삼을 대량생산할 수 있는 양식기술의 연구 필요성이 제시되었다.

국내 해삼 생산량은 표1에 보이는 바와 같이 씨뿌림 방류 사업으로 2002년 833톤에서 2007년 2,936톤으로 증가하였으나, 2012년 1,945톤, 2019년 2,454톤으로 생산량이 감소하고 있는 실정이다(KOSIS 국가통계포털, 2020). 이는 씨뿌림양식 등 제한된 양식방법, 무분별한 남획, 열성화된 종묘의 사용으로 상품성 저하, 종묘생산 기술 미흡, 질병에 대한 대응 방안 부족, 사료에 대한 정보 부족, 양식장 오염 등 여러 가지 문제에 기인한다(Lee and Park, 1999). 또한, 우리나라의 해삼양식 연구는 인공종묘생산, 복합양식, 축제식양식, 씨뿌림양식 등 다양한 연구가 수행되었으나, 우랑종묘의 대량 중간육성과 양성, 사료, 방류 등의 체계적인 기술개발이 미흡한 실정이다(국립수산과학원, 2012).

현재 우리나라 해삼 종자생산의 경우 어미관리, 채란, 초기사육(체장 1cm미만)까

지 어느 정도 생산이 가능하나 실제 상품용 양식크기의 중간종자 육성 및 기생충, 수질제어 등의 기술은 미흡한 상태로 대부분 국가 또는 지방자치단체의 씨뿌림용 종자 납품에만 의존하고 있어 어업인이 양식하고자 하는 상품생산용 중간육성 종자생산은 거의 이루어지지 않고 있어, 이에 대한 연구가 절실하다(농림수산식품부, 2012).

양식 생산비용의 절반 이상을 차지하는 사료는 양식 생산량에 직접적인 영향을 주는 중요한 요소이나, 현재 우리나라의 해삼 사료에 대한 연구는 양식 현장에서 실용화하기에 부족한 실정으로, 해삼 종자생산 시 사용되는 먹이는 대부분 중국산 수입 사료에 의존하고 있다. 이러한 중국산 수입 사료의 품질은 검정되지 못한 채 사용되고 있으며, 제조 시 사용된 재료와 함량 또한 불분명하다(Lee, 2008). 따라서 재료와 함량에 대한 검증과 대체물질에 대한 연구가 중요하게 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 육상에서 인위적으로 관리한 우량형질의 어미해삼으로 산란 연구를 추진하고, 해수 여과유무, 선별유무, 조도실험에 따른 중간 종자의 성장도를 비교하며 해삼 사료 재료에 대한 연구와 최적성장기 단기간 급이를 이용한 트랙형 양식기술 연구를 추진하여 해삼양식 산업화를 위한 기초자료를 적립하고 전 양성과정에 대한 양식기술을 체계화 하고자 한다.

표 1. 연도별 해삼 생산현황

(단위 : 톤, 억)

구 분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생 산 량	1,419	900	833	1,281	1,154	1,136	1,614	2,936	2,256	2,789
생산금액	102	83	80	111	114	115	158	276	207	268
구 분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생 산 량	2,687	2,351	1,945	2,135	2,084	2,211	2,112	2,045	2,116	2,454
생산금액	333	352	245	288	267	260	228	229	286	357

(출처 : KOSIS 국가통계포털, 2020)

재료 및 실험 방법

1. 어미해삼 사육관리 및 수정란 생산

무척추동물시험장 생산동 내 사각 콘크리트 수조(폭2m × 길이 6m × 높이 1.2m)에 에어스톤 및 은신처용 전복셸타를 각 10개씩 시설하여 양식수조를 조성하였다.

육상관리용 어미해삼은 2019년 5월 25일 진도군 해역에서 채취한 자연산 해삼을 종자생산용으로 구입하여 사용였으며, 시험구별 수질환경 조사는 매일 오전 10시를 기준으로 실시하였다. 수온, 염분, 용존산소는 다항목수질측정기(ProPlus, YSI, USA)로 측정하였고, pH는 pH meter(PRo-1020, YSI, USA)를 이용하여 조사하였다.

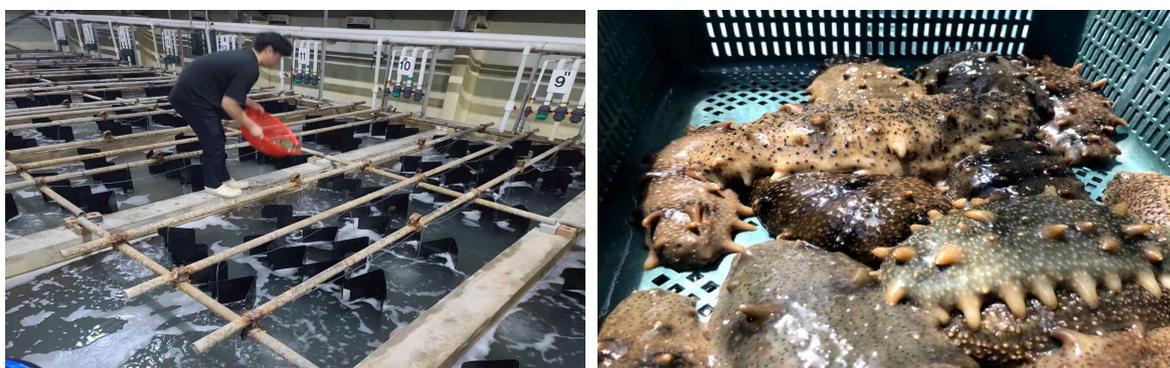


그림 1. 어미해삼 관리수조 조성 및 입식

입식 후 약 6개월 간 먹이를 공급하지 않고 자연해수 내 유기물을 섭취하도록 하였으며, '19년 11월부터 영양관리용 사료를 공급해주었다.

사료조성 및 제조방법은 “어미해삼 육상관리를 위한 산란기용 절편형 고체사료 조성물 및 제조방법”을 참조하였으며, 지충이 분말 등 국산으로 구입할 때 단가가 비싸고 수급이 어려운 사료성분은 지원의 여건에 맞춰 타 성분으로 대체 및 배합비를 재조정하여 사용하였다.

사료는 다시마 및 미역분말 등의 해조분말, 새우분말 및 스피룰리나, 전복사료, 펄, 효모 그리고 비타민 및 유산균 등의 각 성분을 혼합한 후, 절편형으로 제조 및 급이 하였다(표 2).

표 2. 중간육성 해삼사료 조성 및 배합비율

사료 및 첨가제	비율(%)
미역	15
다시마	11
전복사료	24
새우분말	8
스피룰리나	10
펄	22
비타민	4
유산균	3
효모	3
총	100

절편형 사료 제조방법은 상기의 각 성분을 혼합 → 가수(35%/원료) → 반죽 → 발효 (20-25℃, 약 24시간) → 성형 → 건조(1일) 순으로 제조하였다(그림 2).

사료는 1일 1회, 체중의 약 2~5%를 급여 하였으며, 매일 수조청소를 실시, 양성수 조 내 모든 해삼을 수거해 중량변화 및 생존율 조사를 실시하였다.

수정란 생산을 위해 어미해삼은 2020년 6월 5일부터 7일까지 급여를 중지해 내장에 있는 배설물을 제거하였고, 히터봉을 활용해 3일간 16℃에서 19℃로 수온자극을 실시하였다.

수정란의 침강을 방지하고 부화율을 높이기 위해 에어를 약하게 공급해 주었으며, 방란·방정이 끝난 시점에 100µm 물러가제로 수정란을 수거 하여 1ml 당 개체수를 파악한 후 수조에 수용하였다. 또한, 광학현미경을 활용해 난질의 상태 및 유생발생 단계를 관측하였다.



그림 2. 어미해삼 영양관리를 위한 절편형 사료제조

2. 중간종자 최적 양성조건 탐색

해삼 중간육성 수조는 무척추동물시험장 생산동 내 사각 콘크리트 수조(폭2m×길이 6m × 높이 1.2m) 8개를 시험수조로 이용하였고, 공급수는 모래여과기를 거친 여과해수를 공급하였다. 수조 내 전복 쉘터를 10개를 시설하여 해삼의 은신처 및 부착 공간을 제공하였다(그림 3).



그림 3. 해삼 중간육성 수조 조성

해삼 종자는 2020년 7월 15일 진도군 의신면에 위치한 해삼 종자생산업체 남도수산에서 총 5,400마리(평균 $4.8g \pm 0.6$)를 구입하여 사용하였다(그림 4).



그림 4. 해삼 종자 구입

수용밀도별 성장을 조사하고자 0.1, 0.3, 0.5kg/m² 밀도로 설정하였고, 선별 여부에 따른 성장을 조사하고자 0.3, 0.5kg/m² 밀도를 설정하였다. 선별기준은 직전실험 결과를 토대로 육상수조 내에서 성장이 더딘 35g 이상의 개체를 기준으로 삼았다 (표 3).

자연해수를 공급하면서 급이량을 체중의 2.5%, 5%로 설정해 수중의 유기물로 먹이를 대신하는 사육비용 절감형 양식조건을 연구하고자 하였다. 또한 수조 내 부착규조류의 자연발생 여부에 따른 해삼 성장률을 비교하고자 95% 차광막을 이용해 조도를 100~300lux로 설정하였으며, 부착 규조는 조도 1,000lux 이상에서 분열 증식이 일어나므로 규조 발생이 억제되는 1,000lux미만을 기준으로 삼았다 (어업회사법인 (주)제이앤씨 바이오, 2018).

표 3. 해삼 중간육성 시험구 조건

연구 목적	조건				입식 크기 (g)	입식 총중량 (kg)	비고
	밀도 (kg/m ²)	선별	먹이 (1일)	공급수			
해수 여과유무에 따른 비용절감형 양식기술 연구	0.3	×	1회	직수	4.8	3.03	체중 5% 급이
	0.3	×	1회	직수	4.8	3.07	체중 2.5% 급이
선별 유무에 따른 생산효율성 연구	0.3	○	1회	여과수	4.8	3.07	
	0.5	○	1회	여과수	4.8	5	
수용밀도별 성장 효율성 연구	0.1	×	1회	여과수	4.8	1.03	
	0.3	×	1회	여과수	4.8	3	대조구1
	0.5	×	1회	여과수	4.8	5.03	대조구2
조도 차이에 따른 생산효율성 연구	0.3	×	1회	직수	4.8	3	

사료는 1회/1일 공급하였으며, 여름철 고수온기에는 해삼의 생리적 특성을 고려하여 1회/2일을 공급하였다. 사료는 표 4의 비율을 기준으로 제조하여 분말 형태로 소량 혼합하고 균질화 하는 작업을 반복하여 급이하였다. 사료는 체중의

5%를 급이하였으며, 급이 후 섭이활동을 위하여 6시간 동안만 정수하고 그 이후에는 유수상태를 유지하였다.

표 4. 중간육성 해삼사료 조성 및 배합비율

사료 및 첨가제	비율(%)
해삼사료(중국산)	60
지층이 분말	17
새우 분말	13
효모	3
스피룰리나	7
총	100

해삼 중간육성 수조 청소 주기는 매월 1회 실시하여 부착기질 및 수조 바닥에 침전된 펄과 배설물을 제거하였다. 청소 시 배수구로 유실되는 해삼을 방지하기 위해 망지로 배수구를 막아 청소를 진행하였다. 성장도 측정은 수조 내 해삼을 전량 수거하여 배설물, 펄 등의 이물질을 제거한 후 정밀저울(CAS, WZ-3A, 측정단위 0.01g)로 총 중량을 측정하였다. 수조 청소 및 성장도 조사 후에는 질병을 예방하기 위하여 코미킬, 플로스타액 등 항생제를 투여하여 12시간 약욕을 진행하였다(그림 7).

시험구별 수질환경 조사는 매일 오전 10시를 기준으로 실시하였다. 수온, 염분, 용존산소는 다항목수질측정기(ProPlus, YSI, USA)로 측정하였고, pH는 pH meter(Pro-1020, YSI, USA)를 이용하여 조사하였다.

3. 생산성 향상을 위한 노지양식

기존 노지양식 연구결과 보완을 위하여 무척추동물 시험장 내 유휴공간을 활용한 야외 캔버스 수조(2m x 24m x 1m) 2개를 시설하였다.

야외수조 골조는 자연해수 공급을 위한 PVC 배관시설 → 바닥 석분입고 및 평탄 작업 → 바닥 구배(4° 이상) → 각 파이프 골조 시공 → 벽체 판넬 부착작업 과정을 통해 시설되었다. 수조 벽체는 시설비용 절감을 위하여 지붕공사 시 발생한 폐자재를 재활용하였으며, 수조 내부에 단열천 및 방수포 시설, 캔버스를 설치해 기존 축제식 양식수조를 재현하고자 하였다(그림 6).



그림 6. 무척추동물 시험장 내 야외수조 조성

자연해수 취수 후 랏셀망 4줄을 수직으로 설치해 부착, 은신 공간을 제공해 주었으며, 하절기 직사광선으로 인한 급격한 수온상승을 예방코자 95% 차광막으로 차광 작업을 실시하였다(그림 7).



그림 7. 랏셀망 시설 및 여름철 차광작업

시험용 종자는 2020년 7월 2일 진도관내 민간 종자생산 업체에서 구입해 사용하였으며, 각 시험구별로 무급이구 840마리(평균 체중 $12.5 \pm 3.4\text{g}$, 체장 $6.9 \pm 1.2\text{ cm}$), 급이구 846마리(평균 체중 $12.4 \pm 3.1\text{g}$, 체장 $6.8 \pm 1.5\text{ cm}$)를 입식하였다(그림 8).



그림 8. 해삼종자 납품 및 입식

급이구의 경우, 지속적인 수온관측을 통해 최적성장기(10~19℃) 도래 시, 어미해삼 육상관리용 사료조성을 참조해 주 3회, 체중의 5%를 급이하였다(그림 9).

급이 시, 사료의 부착 및 섭이효율을 높이기 위해 약 4시간가량 주수를 중지하였다. 성장도 조사는 매월 1회 수조로 잠입해 시험구별 시료 30마리를 무작위 채집한 후 체장 및 체중(정밀저울, CAS, WZ-3A, 측정단위 0.01g)을 측정하였다.

생존율은 계측과정 중 스트레스로 내장을 뱉어낸 개체가 다수 발생하였고, 내장이 생성되는 최소 3개월은 해삼이 성장하지 않기 때문에 입식 및 최종수확 시에만 개체수를 측정코자 하였다.



그림 9. 야외수조 시험구 사료급이

시험구별 수질환경 조사는 매일 오전 10시를 기준으로 실시하였다. 수온, 염분, 용존산소는 다항목수질측정기(ProPlus, YSI, USA)로 측정하였고, pH는 pH meter(Pro-1020, YSI, USA)를 이용하여 조사하였다(그림 10).



그림 10. 야외수조 수질측정

4. 해삼사료 개발 연구

해삼의 시험 사료 별 성장도를 파악하기 위하여 총 3회의 실험을 진행하였다. 실험은 모두 전라남도 해양수산 과학원 무척추동물시험장에서 진행되었으며 사료는 1일 1회 실온에서 약 24시간 발효 후 급이하였다.

모든 실험은 중국의 해삼 중간육성용 사료 및 제조방법의 결과(CN101081060B)에 의거하여 탄수화물 30%, 비타민 2%, 건효모 2%, 유산균 3%, 골분 2%로 배합비를 구성하였으며 단백질 18%는 어린해삼(*Apostichopus japonicus*)용 사료 개발을 위한 실험사료의 사육효능 평가 연구 결과에 의거하여 배합비를 구성하였다.(표 5, 6)

갯벌 및 갯벌 대체물질원 15%는 해삼 종묘 육성용 인공배합사료(KR101397758B1)에 의거하여 함량을 설정하였다. 탄수화물원으로는 해삼사료원료로서 육상연구결과 가장 성장도가 높은 탄수화물 조합인 미역과 다시마 분말을 사용하였고, 단백질원으로는 새우분말과 스피룰리나를 사용하였다(Kim, 2017).

표 5. 해삼 사료개발 1차, 3차 실험 배합비

시험구 조성별 함량(%)		시험구				
		대조구	갯벌 미포함	골분 1%	골분 2%	진도산 갯벌
탄수화물원	다시마분	30	25.5	30.3	30.6	30
	미역분	30	25.5	30.3	30.6	30
단백질원	새우분말	10	8.5	10.1	10.2	10
	스피룰리나분	8	6.8	8.08	8.16	8
갯벌 및 대체물질원	갯벌	15		15.15	15.3	15
	황토					
	패각가루					
영양강화제	아쿠아비타민 EC	1	0.85	1.01	1.02	1
	네오믹스	1	0.85	1.01	1.02	1
첨가제	건효모	2	1.7	2.02	2.04	2
	락토다이제	1.5	1.275	1.515	1.53	1.5
	비오비타	1.5	1.275	1.515	1.53	1.5
	골분			1.01	2	

표 6. 해삼 사료개발 2차 실험 배합비

조성별 함량(%)		시험구				
		대조구	갯벌 미포함	골분 1%	골분 2%	진도산 갯벌
탄수화물원	다시마분	30	25.5	30.3	30.6	30
단백질원	미역분	30	25.5	30.3	30.6	30
	새우분말	10	8.5	10.1	10.2	10
갯벌 및 대체물질원	스피룰리나분	8	6.8	8.08	8.16	8
	갯벌	15		15.15	15.3	15
영양강화제	아쿠아비타민 EC	1	0.85	1.01	1.02	1
	네오믹스	1	0.85	1.01	1.02	1
첨가제	건효모	2	1.7	2.02	2.04	2
	락토다이제	1.5	1.275	1.515	1.53	1.5
	비오비타	1.5	1.275	1.515	1.53	1.5
	골분			1.01	2.04	

골분 시험구의 골분 함량이 2%이하인 이유는 일반적으로 배합사료에 포함되는 첨가제 함량이 2% 이하이기 때문에 배합비에서 골분 함량을 1%와 2%로 설정하였다(Park, 2006).

3차 실험은 1차 실험과 비교하여 해삼의 개체수가 많아 개체수를 측정할 시 외부에 노출되어 있는 시간이 길어지고 이로 인해 스트레스를 받아 내장을 배출하여 중량이 감소할 우려가 있기 때문에 입식 및 최종 수확시에만 개체수를 측정코자 하였다. 해삼의 성장도는 월 1회 전자저울을 이용하여 측정하였다.

1차 실험은 해삼의 생활환에 따라 성장이 부진한 하면기인 2020년 7월 15일부터 9월 1일에 진행하였으며 3차 실험은 최적 성장기(활동기)인 2020년 10월 19일부터 2021년 1월 6일까지 진행하였다.

각 1회씩 진행하였으며 진행 시기와 입식 중량 외에 다른 실험 방법은 동일하다. 1차, 3차 실험은 모두 대조구(중국산 갯벌 첨가구)와 갯벌 미포함 시험구, 갯벌 대체물질원인 황토, 패각분말 첨가 시험구와 먹이 유인물질원인 골분 첨가 시험구를 3회 반복하여 실험하였다. 그리고 75L 유수식 플라스틱 수조를 이용하였으며 3회 반복 실험 한 것을 평균내어 입식 중량을 계산하면, 1차 실험에서 대조

구는 134g, 갯벌 미포함 시험구는 95g, 황토 첨가 시험구는 101g, 패각분말 첨가 시험구는 91g, 골분 첨가 시험구는 77g으로 총 1498g이며 개체당 입식 중량은 10g(± 5 g)이고 개체수는 150마리이다.

3차 실험에서 대조구는 시험구별로 입식 중량이 차이가 있는 이유는 중량 차이가 70g 미만이며 개체별 중량은 거의 같아 실험을 하는데 있어 문제가 크지 않을 것으로 판단하였고, 선별을 할 경우 치삼이 스트레스를 받을 것을 우려하여 처음 입식중량에서 시험구별 중량을 동일하게 맞추지 않고 실험하였기 때문이다.

환수율은 약 75회전/일이며 DO는 7~8mg/L를 유지하였고 1일 1회 수조 저면 사이펀 청소를 진행하였다. 해삼의 성장도는 월 1회씩 측정하였고 전자저울을 이용하여 입식 중량 대비 성장도를 측정하였다. 또한 외관상 활력과 분변을 참고하여 건강 상태를 파악하였다.

표 7. 해삼 사료개발 1차 실험 입식 중량 및 개체수

	대조구	갯벌 미포함	황토	패각분말	골분
입식중량(g)	134	95	101	91	77
개체수(마리)	10	10	10	10	10

표 8. 해삼 사료개발 3차 실험 입식 중량 및 개체수

	대조구	갯벌 미포함	황토	패각분말	골분
입식중량(g)	88.3	88.7	88.7	88.7	90
개체수(마리)	10	10	10	10	10

2차실험은 1차실험 결과에 의거하여 대조구(중국산 갯벌 첨가)와 함께 골분 첨가 시험구(1%, 2%), 갯벌 미포함 시험구를 채택하여 실험하였고 진도산 갯벌 첨가 시험구를 추가하여 2020년 9월 22일부터 2021년 1월 6일까지 진행하였다. 12ton 유수식 콘크리트 사각수조를 이용하였으며 환수율은 약 3.4회전/일, DO는 7~8mg/L를 유지하였고 수조 청소는 월 1회 고압살포기를 이용하여 진행하였다. 시험구별 해삼은 표 9과 같이 총 3,000마리를 입식하였으며, 개체 평균중량은 약 4.6 \pm 0.3g이다.

표 9. 해삼 사료개발 2차 실험 입식 중량 및 개체수

	대조구	갯벌 미포함	골분 1%	골분 2%	진도산 갯벌
입식중량(kg)	3.4	2.64	2.44	3.87	1.63
개체수(마리)	730	570	524	828	348

결과 및 고찰

1. 어미해삼 사육관리 및 수정란 생산

가. 어미해삼 육상관리 연구

어미해삼 육상양식 가능성을 검토하기 위하여 2019년 6월부터 현재까지 약 19개월간 육상수조 내 어미해삼의 성장도 변화추이를 관찰하였다.

2019년 5월 평균 중량 118.2g(최대 170g) 크기의 어미를 입식하였으며, 2020년 4월 평균 중량 277.7g(최대 550g)으로 입식대비 성장도가 최고 135%까지 증가한 것을 확인할 수 있었다(표 10).

2020년 6월 이후, 수온상승에 따른 하면기 도래로 성장도가 점차 감소하여 9월에는 평균중량이 최소 172g(최대 270g)까지 감소하였다. 이는 하면기(19~24.5℃) 도래에 따른 운동부진, 소화관 위축 및 식욕감퇴 등의 원인으로 성장이 부진했던 것으로 사료된다(농림수산식품부, 2012).

10월 이후, 수온이 19~20℃ 아래로 하강하면서 성장도가 점차 증가하는 경향을 나타내었고, 12월은 평균중량 194g까지 성장하였다. 이는, 수온이 하강하고 재활동기(19~20℃) 및 활동성기(10~16℃)에 도래하면서 해삼의 운동성 및 섭이활동이 활발해졌기 때문으로 사료된다(농림수산식품부, 2012).

해삼의 생존율은 2019년 6월 총 88마리를 입식해, 12월에 크기가 작은 2마리 개체를 수조에서 제거한 후 2020년 5월까지 생존율 100%를 나타내었다.

5월(육상관리 13개월 차) 산란시험 준비를 위한 어미해삼의 수조이동 시 2마리 해삼이 물리적인 요인으로 폐사하여 생존율은 97.7%를 나타내었으며, 7월 산란시험 중 자극 및 노출에 의한 스트레스로 약 26마리가 폐사하여 생존율은 약 28% 가량 감소한 69.8%를 나타내었다(표 10).

이상의 결과를 토대로, 어미해삼을 자연환경이 아닌 육상수조 내에서 인위적으로 관리했을 때 성장 최대 135%, 생존율 100%를 나타내어 어미해삼 육상관리 가능성을 확인할 수 있었고, 육상관리 해삼을 이용해 성장도가 가장 높았던 4-5월을 기준으로 성숙도 조절을 및 조기산란 연구의 가능성도 제시되었다.

표 10. 어미해삼 월별 성장도 및 생존율 조사결과

월별	시험구	평균 개체중량(g)	증육량(g)	성장도(%)	생존율(%)
'19년 6월		118.2	-	-	-
'19년 11월		126.0	7.8	6.6	100.0
'19년 12월		213.4	95.2	80.5	100.0
'20년 2월		236.4	118.2	100.0	100.0
3월 4일		247.3	129.1	109.2	100.0
3월 31일		269.7	151.5	128.2	100.0
4월		277.7	159.5	134.9	100.0
5월		274.6	156.4	132.3	100.0
6월		231.0	112.8	95.4	97.7
7월		214.5	96.3	81.5	69.8
8월		200.8	82.6	69.9	69.8
9월		172.0	53.8	45.5	69.8
10월		173.2	55.0	46.5	69.8
11월		185.3	67.1	56.8	69.8
12월		193.7	75.5	63.9	69.8

나. 수정란 생산 가능성 연구

육상관리 어미해삼을 활용한 산란 가능성 연구를 위해 2020년 6월 5일부터 12일 까지 총 3회에 걸쳐 산란을 유도하였으며, 총 480만립의 수정란을 채란하였다. 산란 시 수질환경 조건은 수온 19.5 ~ 19.7℃, 염분 30.6 ~ 31.6ppt, DO 7.37 ~ 8.26mg/L, pH 8.10 ~ 8.31을 나타내었다.

선행 연구결과에 따르면(2013, 해양수산부), 어미해삼 1마리가 2~3백만립의 수정란을 생산하는 반면 본 실험에서는 1회 평균 160만립으로 비교적 적은 양이 생산되었다. 뿐만 아니라, 전반적으로 난질이 좋지 않았고 낭배기~아우리쿨라리아 초기까지 유생이 발달하였긴 하였으나 추후 이상발달이 관찰되었다(그림 11). 이는, 당초 유생 관리를 목적으로 하지 않았기 때문에 수질 및 수온관리 등 유생사육 환경 준비가 미흡하였고, 수질 중 이물질 혼입이 많아 난질 및 발달 상태가 좋지 않았던 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 육상관리 어미해삼을 활용한 산란시험의 가능성을 확인할 수 있었으며, 추후 수온(21℃ 이상) 유지, 종자용 먹이확보 및 사육수 관리 등의 보완 사항을 개선해 어미해삼의 성숙도 및 산란시기 조절 연구를 추진해보고자 한다.

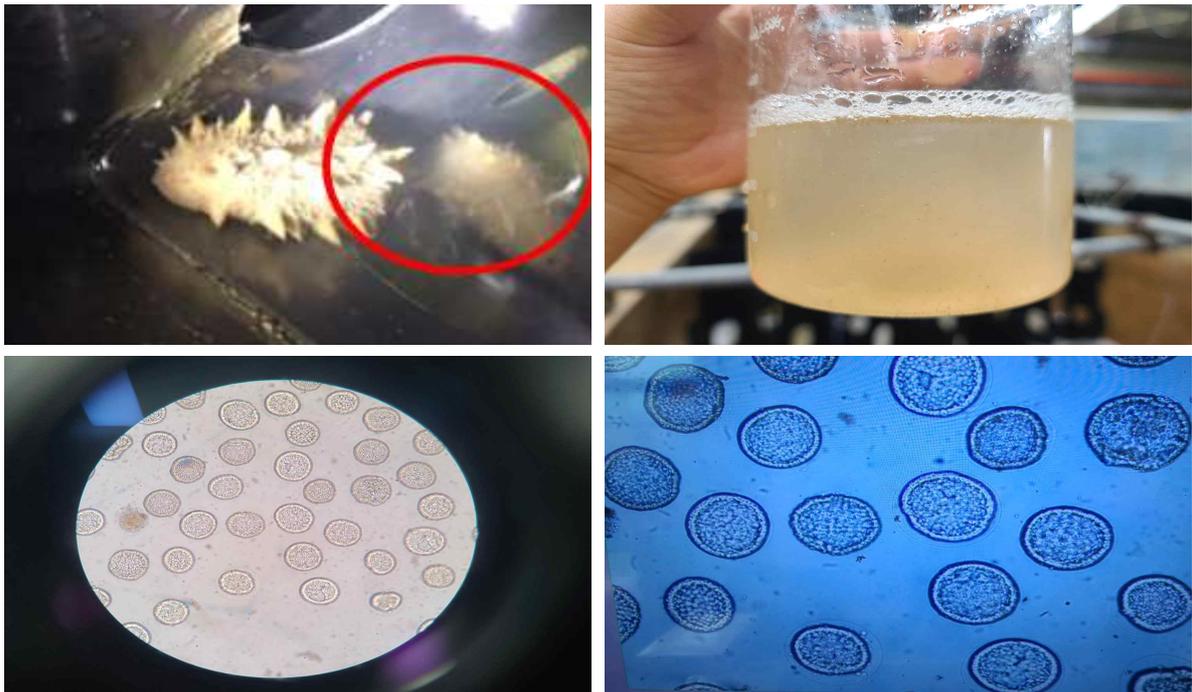


그림 11. 산란, 수정란 및 유생 발달단계 관찰

2. 중간종자 최적 양성조건 탐색

가. 육상수조 수질환경 조사

1) 수온

중간육성 시험구 여과수 공급 수조의 수온 측정 결과 2020년 2월의 평균수온이 $9.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 로 최저, 2020년 9월의 평균수온이 $21.6 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 로 최고치를 나타냈다. 6~9월 하절기 평균 수온은 19.1°C 로 작년과 큰 차이가 없었다. 전 기간에 걸쳐 수온차이는 12.1°C 까지 나타났다. 2020년 1월부터 2020년 12월까지 수조별 수온의 표준편차는 0.1~0.5(평균 0.2)내외를 나타냈다(그림 12).

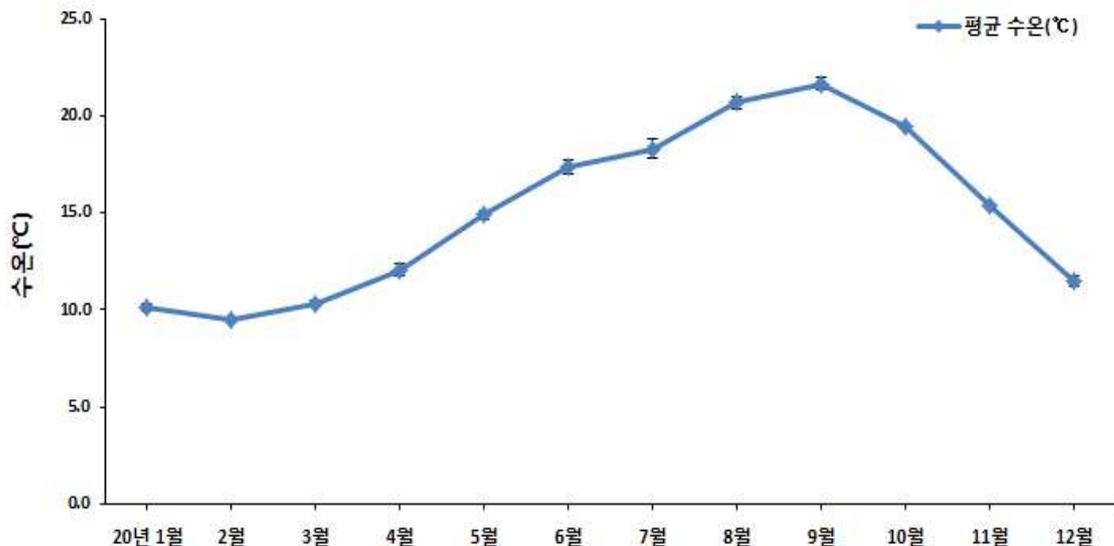


그림 12. 중간육성 시험구 월별 평균 수온 변화추이

2) 염분

중간육성 시험구 여과수 공급 수조의 염분 측정 결과 2020년 9월과 10월이 평균 염분이 30.8 ± 0.2 psu로 최저, 2020년 1월의 평균염분이 34.1 ± 0.1 psu로 최고치를 나타냈다. 전 기간에 걸쳐 염분 차이는 3.2 psu까지 나타났다. 2020년 1월부터 2020년 12월까지 수조별 염분의 표준편차는 0.05~0.8(평균 0.19)내외를 나타냈다.

표층염분은 주로 강수량, 증발량 및 강물의 유입 등의 영향요인에 의해 변동된다. 우리나라 남해 연안의 여름철 평균염분은 30.51 psu, 겨울철 평균염분은 33.39 psu를 나타내고 있다(이수화 등, 2015). 시험구의 측정결과와 비교했을 때 여름철 평균염분은 30.8 ± 0.5 psu를 나타내어 유사한 수치를 나타내었지만 겨울철 평균염분은 31.8 ± 0.9 psu로 차이가 있었다(그림 13).

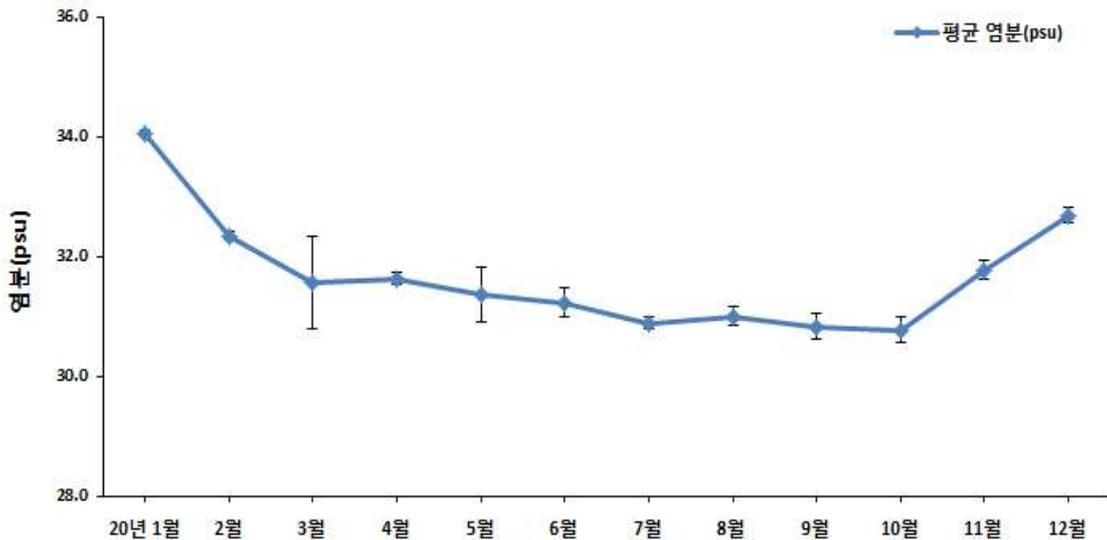


그림 13. 중간육성 시험구 월별 평균 염분 변화추이

3) 용존산소

중간육성 시험구 여과수 공급 수조의 용존산소 측정 결과 2020년 9월 평균 용존산소가 7.5 ± 0.1 mg/L 로 최저, 2020년 1월과 2월이 평균 용존산소가 9.6 ± 0.05 mg/L로 최고치를 나타냈다. 전 기간에 걸쳐 용존산소 차이는 2.1 mg/L까지 나타났다. 2020년 1월부터 2020년 12월까지 수조별 용존산소 표준편차는 0.05~0.3(평균 0.18) 내외를 나타내어 일정수준의 용존산소를 유지하고 있다는 것을 확인할 수 있었다(그림 14).

4) pH

중간육성 시험구 여과수 공급 수조의 pH 측정 결과 2020년 5월 평균 7.9 ± 0.03 로 최저, 2020년 7월 평균 8.3 ± 0.1 로 최고치를 나타냈다. 전 기간에 걸쳐 pH는 0.4 까지 나타났다. 2020년 1월부터 2020년 12월까지 수조별 pH 표준편차는 0.02~

0.1(평균 0.05) 내외를 나타내었다. 이를 통해 전반적으로 일정수준의 pH를 유지하고 있었다는 것을 확인할 수 있었다(그림 15).

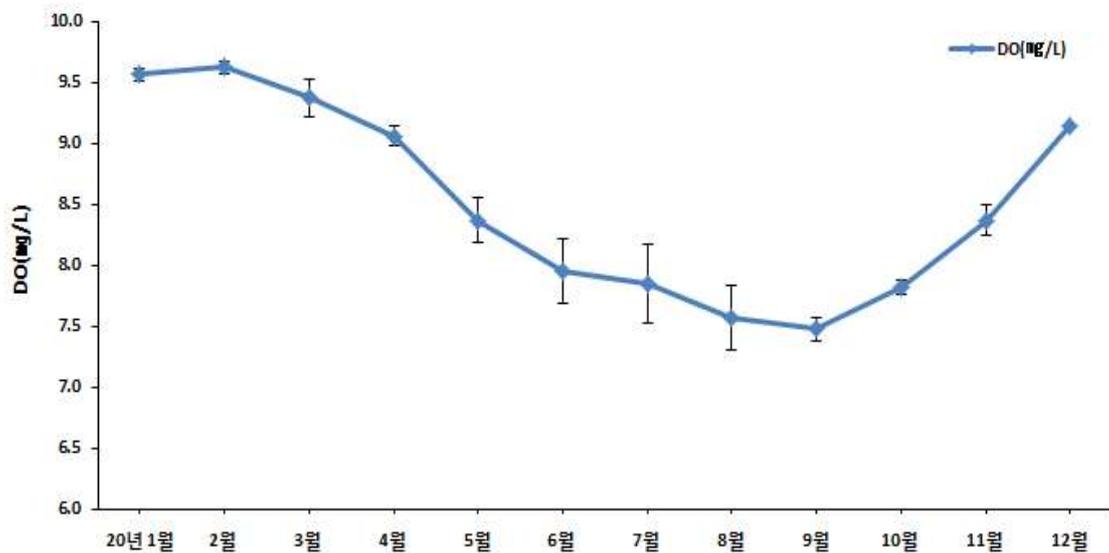


그림 14. 중간육성 시험구 월별 평균 용존산소 변화추이

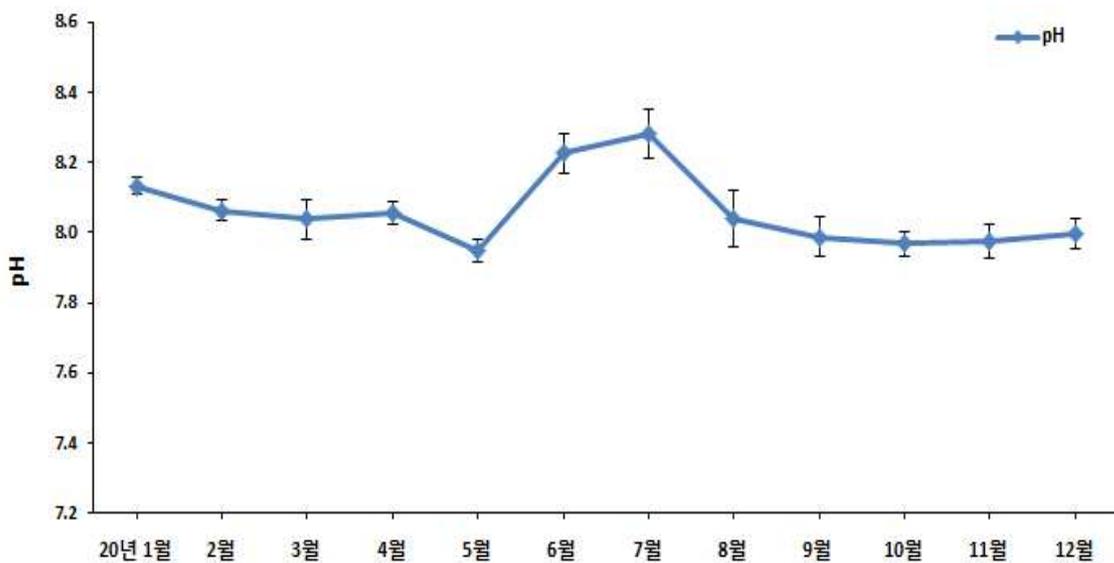


그림 15. 중간육성 시험구 월별 평균 pH 변화추이

나. 중간종자 최적 양성조건 탐색

중간육성 시험구는 여름철에 성장도가 감소하였다가 수온 하강함에 따라 재활동기에 11월부터 성장도가 증가하고 있는 것이 확인되었다. 전체 중간육성 시험구의 평균 성장도는 입식대비 19~51% 감소하였고, 전월대비 40~162% 증가하였다(그림 16).

시험구간 생존율 측정은 진행하지 않았는데 그 이유는 계측하면서 접촉이 자극이 되어 내장을 뱉어내는 등의 스트레스를 받기 때문이며, 최종 수확할 때 생존율 측정하고자 하였다.

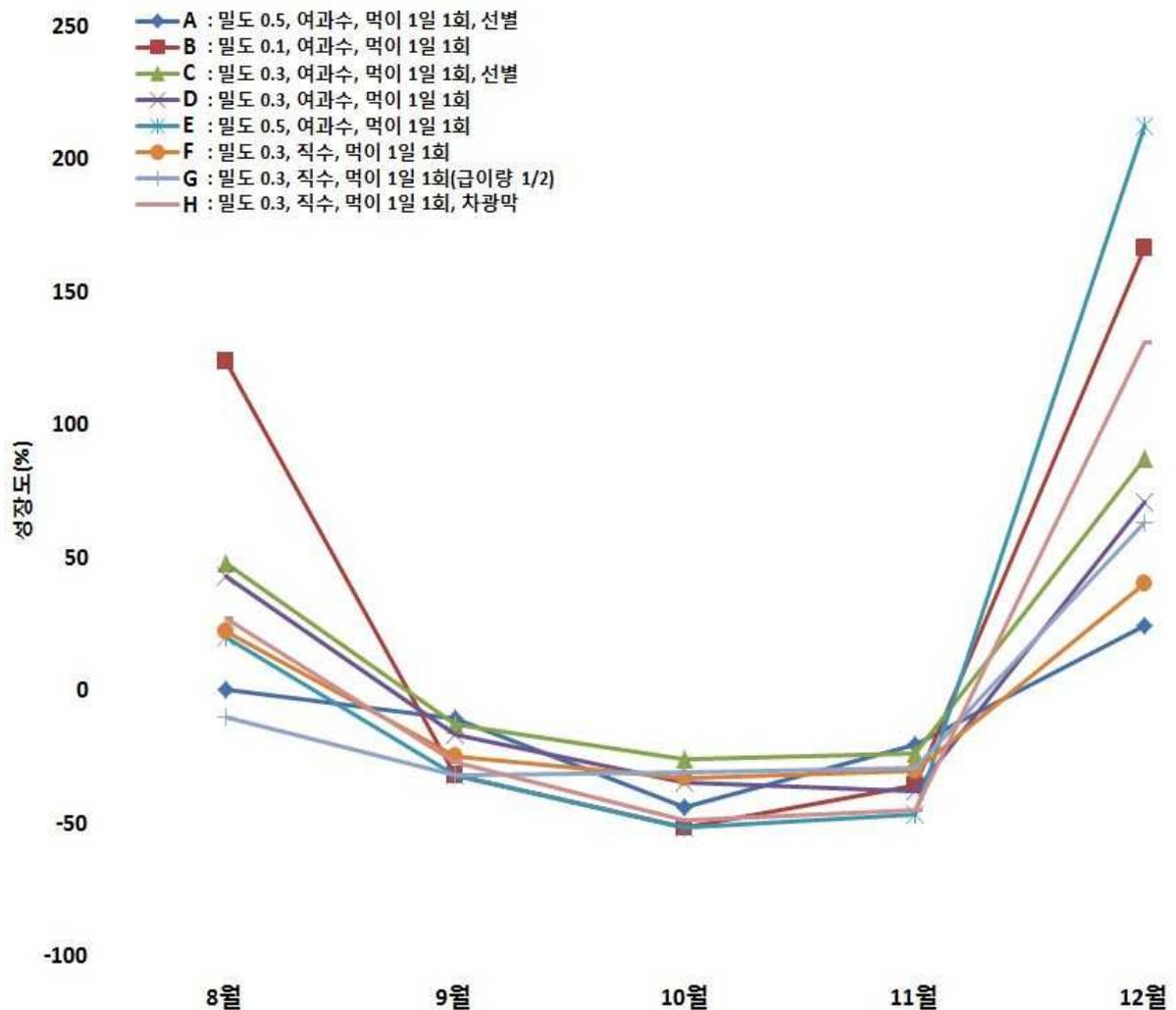


그림 16. 중간육성 시험구 월별 성장도 변화

수용밀도별 시험구 및 선별유무 시험구 수조에서 10월에 50%정도 폐사가 발생하였다. 해삼의 폐사의 원인으로는 피부궤양증(Skin ulcer disease), 세균성 궤양증(Bacterial Ulceration Syndrome), 급성 구구 부종병(Acute peristome edema disease), 곰팡이병(Fungal disease), 편형동물의 감염(Platyhelminthiasis), 요각류의 포식, 먹이 및 수질 관리 등으로 알려져 있다(한국과학기술연구원, 2014).

무척추동물 시험장 해삼 수조 내에서 발견된 해삼은 체표에 흰색 반점이 생기고 사료 섭취가 원활하지 못하는 등 식욕이 부진되는 증상을 미루어 볼 때 박테리아 균체 확산에 의해 발병되는 피부궤양증에 의한 폐사로 판단된다(그림 17).



그림 17. 피부궤양증(Skin ulceration) 감염된 해삼 개체 비교

또한 여름철 고수온기 이후인 10월에 급이량을 1회/2일에서 1회/1일로 조정하였는데 이 때 급이량의 증가로 잔여사료가 수조 바닥에 쌓여 부패하였다.

이러한 수질환경 악화도 폐사에 영향을 끼친 것으로 판단된다.

2020년 7월부터 2020년 12월까지 시험구별 성장도 조사 결과는 다음과 같다.

사육밀도별 시험구의 성장도는 밀도 0.1kg/m³에서는 24% 증가, 밀도 0.3kg/m³에서는 18% 감소, 밀도 0.5kg/m³에서는 35% 감소하였다.

선별유무 시험구의 성장도는 밀도 0.3kg/m³에서는 36% 증가, 밀도 0.5kg/m³에서는 50% 감소하였다.

자연해수를 공급하는 시험구의 성장도는 급이량 5%, 밀도 0.3kg/m³ 조건에서는 41% 감소, 급이량 2.5%, 밀도 0.3kg/m³에서는 51% 감소, 95% 차광막 시설한 조도 시험구에서는 40% 감소하였다.

성장도 분석결과, 같은 밀도에서는 여과해수를 공급하거나 차광을 하지 않은 시험구에서 더 높은 성장률을 보였다. 여과해수를 공급할 때에는 입식 밀도가 낮을수록, 자연해수를 공급할 때에는 급이량이 적을수록 더 높은 성장률을 보였다.

선별유무에 대한 실험은 선별기준이 되는 크기로 아직 성장하지 않아 진행하지 않았다.

2020년 11월부터 2020년 12월까지 시험구별 성장도 조사결과는 다음과 같다.

사육밀도별 시험구의 성장도는 밀도 0.1kg/m³에서는 167% 증가, 밀도 0.3kg/m³에서는 71% 증가, 밀도 0.5kg/m³에서는 212% 증가하였다.

선별유무 시험구의 성장도는 밀도 0.3kg/m³에서는 87% 증가, 밀도 0.5kg/m³에서는 24% 증가하였다.

자연해수를 공급하는 시험구의 성장도는 급이량 5%, 밀도 0.3/m³에서는 40% 증가, 급이량 2.5%, 밀도 0.3kg/m³에서는 63% 증가, 95% 차광막 시설한 조도 시험구에서는 130% 증가하였다.

성장도 분석결과, 전체 시험구 모두 재활동기 진입 후 성장도 평균 99% 증가하였으며 그 중 사육밀도 시험구인 밀도 0.5kg/m³ 시험구가 가장 성장률이 좋았다.

현재기준 해삼이 재활동기에 진입하여 성장도가 증가하고 있고, 최적성장기가 11~3월임을 고려할 때 2021년 3월까지 지속적인 성장도 조사가 필요할 것으로 판단된다.

3. 생산성 향상을 위한 노지양식

가. 야외수조 수질환경 조사

1) 수온

해삼종자 입식일을 기준으로 2020년 7월 2일부터 12월 31일까지 약 6개월간 야외수조의 평균수온 변화를 조사하였다.

그 결과(그림 18), 야외수조의 평균수온은 2020년 9월 $21.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 로 최고 수온을, 12월 $10.3 \pm 1.4^\circ\text{C}$ 로 최저 수온을 나타내고 있었다.

야외수조의 하절기(7-8월) 평균수온은 $19.8 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 를 나타낸 반면, 실내수조의 경우 평균 $19.4 \pm 1.4^\circ\text{C}$ 를 나타내고 있었다. 여름철 실내·외 수온차이는 약 0.4°C 로 비교적 적은 차이를 나타내고 있으나 실제 수온 측정시간은 오전 10시로, 오후 시간대에 수온을 측정했을 경우 훨씬 더 큰 편차를 나타내었을 것으로 생각된다.

동기간대에 냉수대가 흐르지 않는 진도 동부해역의 수온변화를 비교한 결과, 여름철(7-8월) 평균수온은 $22.9 \pm 0.8^\circ\text{C}$ (7월 21.4°C , 8월 24.4°C)를 나타내어, 무척추동물 시험장의 경우 여름철 냉수대 영향으로 관내 다른 해역에 비해 평균수온이 약 3.1°C 가량 낮게 측정되었다는 것을 확인 할 수 있었다.

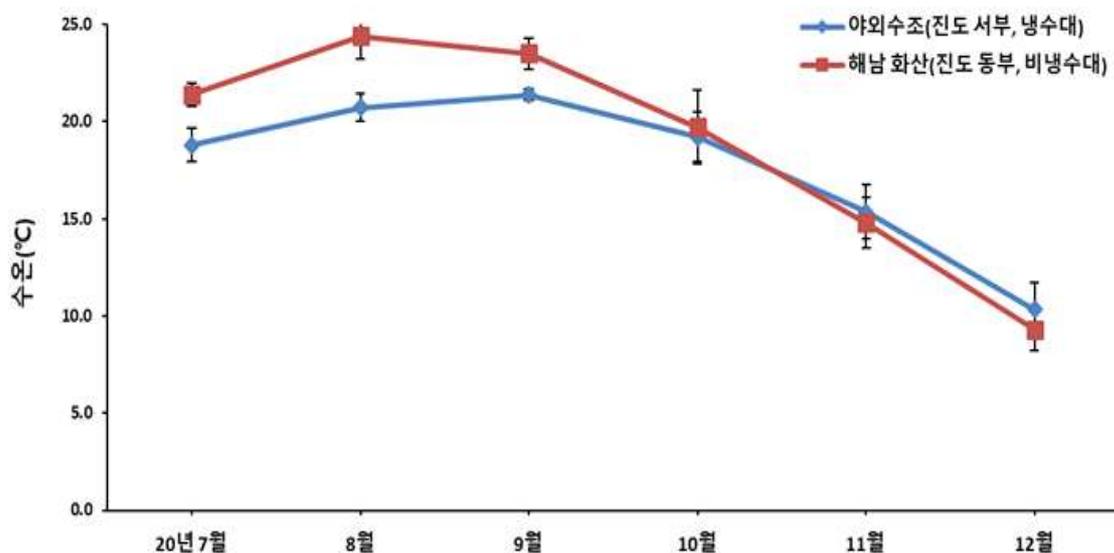


그림 18. 야외수조 월별 수온 측정결과

2) 염분

해삼종자 입식일을 기준으로 2020년 7월 2일부터 12월 31일까지 약 6개월간 야외수조의 평균염분 변화를 조사하였다.

그 결과(그림 19), 야외수조 염분은 12월 평균 32.0 ± 0.3 psu로 최고 염분을, 9-10월 평균 30.9 ± 0.4 psu로 최저 염분을 나타내고 있었다.

7월부터 12월까지 측정 전 기간에 걸쳐 평균염분은 30.9~32.0 psu로 비교적 유사한 수치를 나타내고 있었으며, 실내·외 평균염분도 큰 차이를 나타내지 않았다.

전 기간에 걸쳐 각 시험구간(급이, 무급이) 염분 편차는 0.12 psu를 나타내었다.

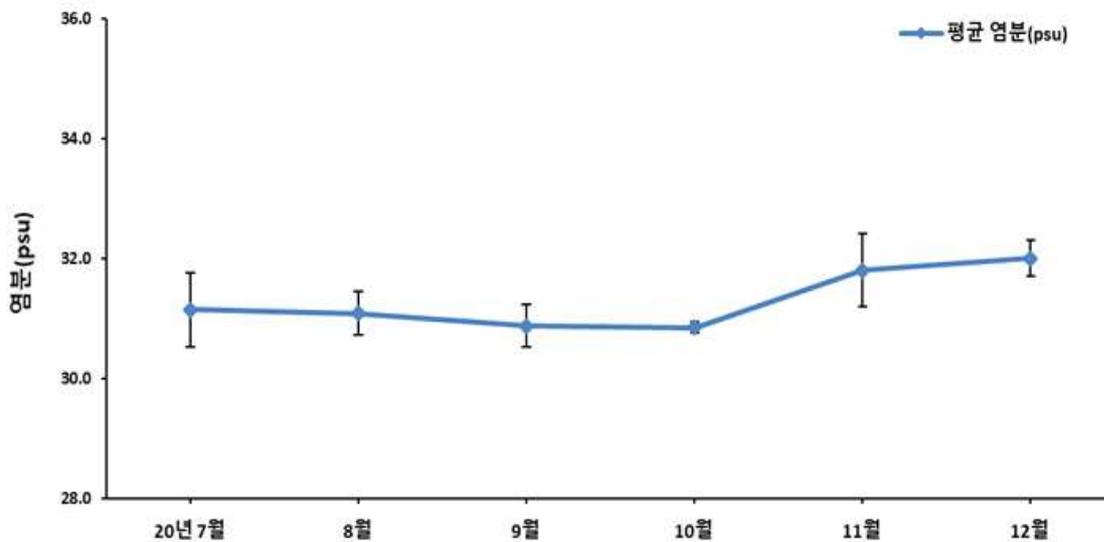


그림 19. 야외수조 월별 염분 측정결과

3) 용존산소

해삼종자 입식일을 기준으로 7월부터 12월까지 약 6개월간 야외수조의 평균 용존산소 변화를 조사한 결과(그림 20), 용존산소는 12월 9.3 ± 0.2 mg/L로 최고치를, 8-9월 7.4 ± 0.2 mg/L로 최저값을 나타내고 있었다.

일반적으로 수온이 낮을수록 산소 용해도가 높아지는데, 본 연구결과에서도 10월 이후 수온이 하강함에 따라 용존산소가 점차 증가하는 경향을 보이고 있었다.

실내·외 평균 용존산소 편차는 약 0.1~0.3 mg/L로 비교적 적은 차이를 나타내고 있었다.

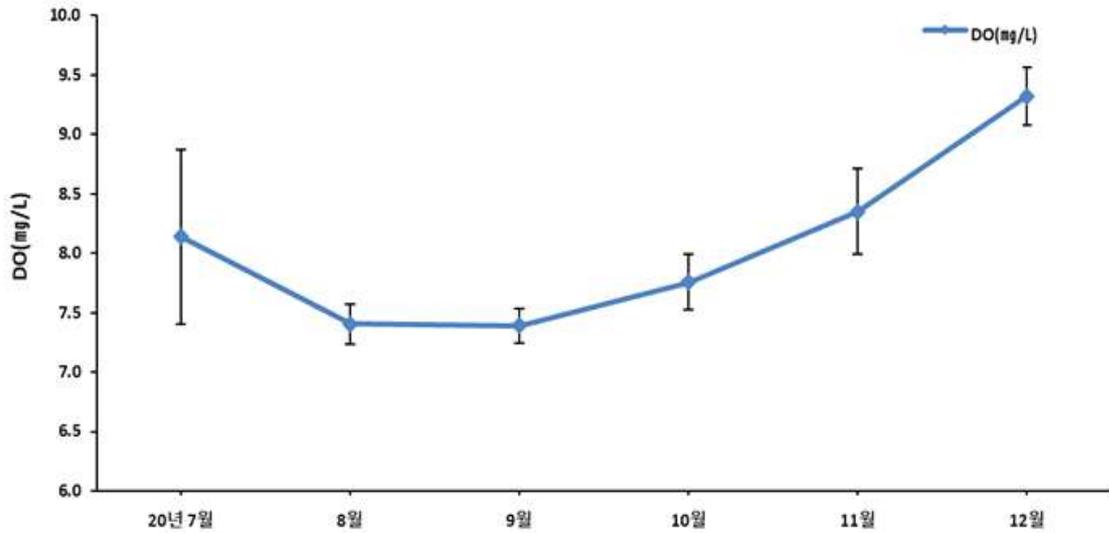


그림 20. 야외수조 월별 용존산소 측정결과

4) pH

해삼종자 입식일을 기준으로 7월부터 12월까지 약 6개월간 야외수조의 평균 pH변화를 조사한 결과(그림 21), pH는 7월 8.4 ± 0.2 로 최고치를, 7월 이후 8월부터 12월까지 8.0 ± 0.1 로 최저값을 나타내고 있었다. pH 측정 전 기간에 걸쳐, 전반적으로 일정수준의 pH를 유지하고 있었다는 것을 확인할 수 있었다.

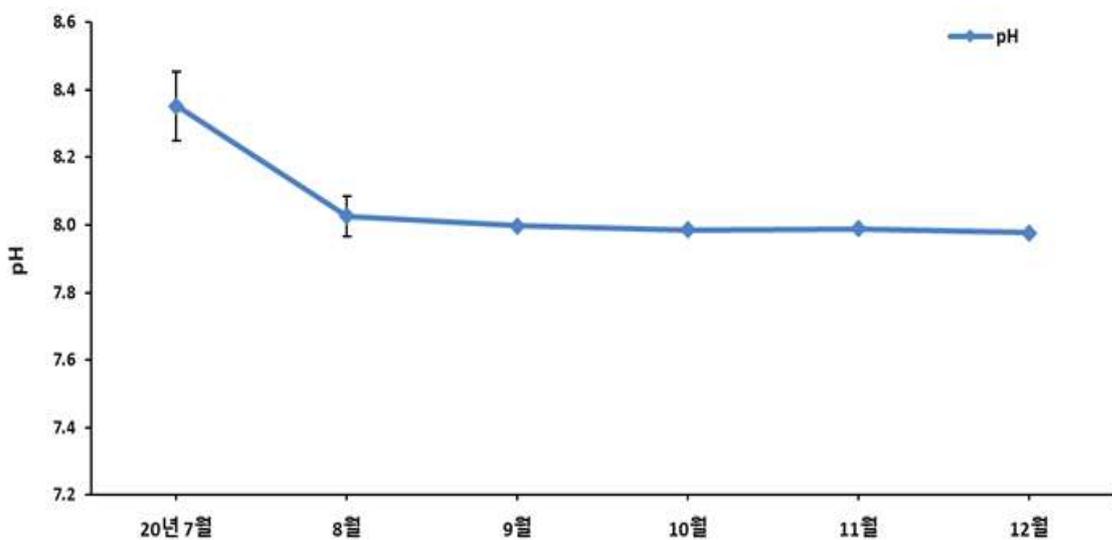


그림 21. 야외수조 월별 pH 측정결과

나. 성장도 및 생존율 조사

2020년 7월부터 12월까지 야외수조에서 총 6개월간 사육시험을 실시하였으며, 성장도 측정 결과, 무급이 시험구의 경우 입식대비 성장도 138.1% 증가, 급이구의 경우 약 219.4% 증가된 것을 확인할 수 있었다(표 11).

10월 성장도 측정결과, 급이구의 경우 입식대비 성장도 4% 감소, 무급이구의 경우 1.6% 증가한 것으로 확인되었으며, 이는 하면 전기(19~24.5℃) 도래에 따른 운동 부진, 소화관 위축 및 식욕감퇴 등의 원인으로 성장이 부진했을 것으로 사료된다(농림수산식품부, 2012). 선행 연구결과(崔相. 1963), 여름철 하면에 의해 해삼 성장도가 약 38% 가량 감소된 반면 본 연구에서는 성장도가 4% 수준으로 소폭 감소된 것을 확인할 수 있었다. 이는 냉수대해역의 영향으로 여름철 평균수온(18.7℃, 최대 22℃)이 타 지역에 비해 약 3-4℃ 가량 낮고 하면기간이 짧아, 상대적으로 중량 감소나 소화관 위축 등의 영향이 적었기 때문으로 추측된다.

하면기 이후, 해삼의 섭이 및 운동이 활발해지기 시작하는 재활동기(농림수산식품부, 2012)를 기준으로 수온이 19℃ 이하로 떨어지는 시점부터(10월 14일) 급이 시험구에 먹이를 공급하였으며, 12월 말 기준으로 총 40회를 급이 하였다.

10월 이후 급이구의 경우, 무급이구에 비해 11월은 41.8%, 12월은 138.1% 가량 성장도가 더 우수했던 것으로 나타났다. 낮보다는 야간 시간대에 육안상 관측되는 개체수가 많았고 움직임 및 섭이활동이 더 활발한 것을 확인할 수 있었다(그림 22).

체장측정 결과, 해삼의 활력 및 수축정도에 따라 값의 편차가 크게 나타났으며, 12월 측정자료를 기준으로 동일 체장(5cm)의 해삼중량 편차는 29.5g으로 큰 차이를 나타내어 체장과 개체중량간의 유의적인 차이가 확인되지 않았다.

표 11. 야외수조 시험구별 성장도 조사 결과

시험구	급이구		무급이구	
	체장(cm)	중량(g)	체장(cm)	중량(g)
'20년 7월	6.8 ± 1.5	12.4 ± 3.1	6.9 ± 1.2	12.5 ± 3.4
10월	6.4 ± 2.7	11.9 ± 4.5	7.1 ± 2.4	12.7 ± 4.6
11월	7.5 ± 2.1	25.2 ± 15.4	7.3 ± 2.2	20.3 ± 12.4
12월	9.2 ± 2.6	39.6 ± 26.2	8.1 ± 2.2	29.0 ± 18.4



그림 22. 야외수조 양식해삼 활동상태 점검

3. 해삼사료 개발 연구

가. 1차 실험

해삼의 생활환 중 하면기에 진행된 8주간의 1차 실험의 생존율 결과는 황토 첨가 시험구 = 패각분말 첨가 시험구 > 갯벌 미포함 시험구 > 대조구 > 골분 첨가 시험구 순으로 성장도가 우수하였다. 생존율에 있어서 골분 첨가 시험구를 제외하고 모든 시험구에서 80% 이상 높은 결과를 보였다. 1차실험의 성장도 결과는 골분 첨가 시험구 > 갯벌 미포함 시험구 > 황토 첨가 시험구 > 패각분말 첨가 시험구 > 대조구 순으로 성장도가 높다. 골분 첨가 시험구에서 성장도 결과가 79.8%로 가장 높은 값을 보였으며 성장도 결과가 55.0%로 두 번째로 성장도가 높은 시험구인 갯벌 미포함 시험구간 유의차가 있었다.

6주간 진행된 국립수산과학원의 어린해삼용 사료 개발을 위한 실험 사료의 사육 효능 평가에서 가장 좋은 결과를 나타낸 시험구와 1차 실험 성장도 결과를 비교하면, 국립수산과학원의 실험 결과 개체 당 입식 중량 대비 평균 중량이 2.1g에서 6.1g으로 190% 성장하였으며 비슷한 기간 동안 위의 실험 결과는 가장 좋은 시험구가 입식 중량 7.7g에서 13.73g으로 성장도 결과가 78%를 나타내어 국립수산과학원보다 낮은 수치를 나타냈다.

그러나 이 실험 결과는 최적성장기에 진행한 국립수산과학원의 실험에 비해 하면기에 진행하였기 때문에 차이가 큰 것으로 판단한다(표 12).

표 12. 1차 실험 시험구별 총 성장도

	대조구	갯벌 미포함	황토	패각분말	골분
총 성장도(%)	18.9	55.6	44.5	44.1	79.1



그림 23. 1차 실험 배합사료

나) 2차 실험

22주간 진행된 2차 실험은 진도산 갯벌 첨가구 > 골분 1% 첨가구 > 갯벌 미포함 시험구 > 골분 2% 첨가구 > 대조구 순으로 성장도가 우수하였다.(표 13).

가장 성장도가 낮은 시험구는 대조구로 15.9% 감소하였으며, 다른 시험구들과 비교하여 현저히 낮은 성장도를 보였다. 이는 대조구 수조 안에서의 대량 폐사로 인한 중량 감소 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 보인다. 골분 첨가 사료는 재료의 특성상 무게가 가벼워 수중에 부유하는 특성 때문에 가라 앉는데 다소 시간이 소요되며 이로 인해 유실량이 많아 1%, 2% 첨가 시험구 간의 성장도 차이가 큰 것으로 판단된다. 따라서 성장도와 유실량의 경제적 손익을 고려해야 할 것이다.

표 13. 2차 실험 성장도

시험구	총 중량(kg)		성장도(%)
	입식	현재	
대조구	3.4	2.86	-15.9
갯벌 미포함	2.64	2.92	13
골분 1%	2.44	3.22	31.96
골분 2%	3.87	4.22	9.04
진도산 갯벌	1.63	2.16	32.51

이로써 진도산 갯벌 첨가구는 중국산 갯벌을 대체할 수 있는 대체 물질로써의 가능성이 있다고 판단되며 골분 1% 첨가 시험구도 먹이 유인 물질로써의 가능성

이 있다고 판단되나, 골분 1%, 2% 시험구간의 미량의 골분 함량 차이로 20% 이상의 성장도 차이가 발생할 수 있는지 여부와 미량의 골분 함량으로도 성장에 효과가 있는지에 대한 여부는 함량별 골분 첨가구에 대한 비교 실험 등의 보완 연구를 통해 확인할 필요가 있는 것으로 보인다.

14주간 진행된 국립수산과학원 어린해삼용 사료 개발을 위한 실험 사료의 사육 효능 평가(kim, 2017)에서 가장 좋은 결과를 나타낸 시험구와 2차실험 성장도 결과를 비교하면, 국립수산과학원의 실험결과 개체당 입식중량 대비 평균중량이 115g에서 255g으로 121% 성장한 반면에 위의 실험의 결과에서는 1.63kg에서 2.16kg으로 32.5% 성장하여 국립수산과학원보다 낮은 성장도 결과를 나타냈다.

이는 시험시기가 다르고, 해삼 체표 기생충 발생과 저질 악화로 인한 폐사가 있었기 때문에 차이가 나는 것으로 보이며 비슷한 조건에서의 재실험이 필요하다.

다) 3차 실험

해삼의 활동기인 최적 성장기에 진행한 3차 실험의 성장도와 생존율 결과를 표 14에 나타냈다. 생존율은 모든 시험구에서 90% 이상 높은 결과를 보였다.

3차 실험의 성장도 결과는 대조구 > 황토 첨가 시험구 > 갯벌 미포함 시험구 > 골분 첨가 시험구 > 패각분말 첨가 시험구 순으로 나타났다(표 14).

대조구의 성장도 결과는 266.3%로 가장 높은 값을 보였으나, 반복 시험구 중 한 시험구만 성장도 결과 차이가 큰 것으로 보아 유의한 결과라고 판단하기 어렵다. 또한 같은 배합비로 진행한 본 실험의 결과는 대조구의 성장도가 가장 낮았기 때문에 정확한 결과 도출을 위하여 재실험이 필요하다고 판단한다.

3차 실험은 같은 배합비로 하면기에 진행한 1차 실험의 성장도가 최소 19.14%였던 것에 비해 모든 시험구의 성장도가 180% 이상으로 전체적으로 높은 성장도를 보였으며, 분변상태 비교를 통해 1차 실험 대비 3차 실험 때 섭이활동이 월등히 활발했음을 확인할 수 있었다.

이로써 하면기와 활동기의 성장도는 160% 이상 차이가 나는 것으로 판단할 수 있다. 또한 치삼의 경우 사육에 있어서 생존율이 50% 전후로 낮은 경우가 대부분인 것에

비해 본 실험의 결과에서는 평균 생존율이 94.7%로 매우 높게 나타났다(Lee, 2008).

3차 실험에서 우수한 결과를 나타낸 시험구는 골분 첨가 시험구와 갯벌 미포함 시험구이며 3차 실험에서 우수한 결과를 나타낸 시험구는 대조구와 황토 첨가 시험구이다.

이로써 최적성장기에 실험을 하는 것이 유리한 것으로 판단되며, 대조구에 대한 재실험과 황토 첨가 시험구에 대한 함량별 추가 실험의 필요성이 있다.

14주간 진행된 국립수산과학원 어린해삼용 사료 개발을 위한 실험 사료의 사육 효능 평가에서 가장 좋은 결과를 나타낸 시험구와 3차 실험 성장도 결과를 비교하면, 국립수산과학원의 실험결과 개체당 입식중량 대비 평균중량이 2.3g에서 5.8g으로 152% 성장한 반면에 위의 실험의 결과에서는 8.8g에서 32.3g으로 267% 성장하여 국립수산과학원보다 좋은 성장도 결과를 나타냈다(Kim, 2017).

이 연구를 통해 얻은 해삼의 생활환에 따른 성장도 차이와 성장도와 생존율이 우수한 시험구는 향후 표준 배합사료 설계에 있어 가치있는 자료로 활용될 것으로 판단한다.

표 14. 3차실험 성장도 및 생존율

시험구	입식량 (마리)	개체 중량(g)		성장도(%)	생존율(%)	
		입식(* 20. 10.)	결과(* 21. 1.)			
대조구	1	10	8.8	31.4	256.8	90
	2	10	8.9	26.6	198.9	100
	3	10	8.8	39	343.2	100
갯벌 미포함 시험구	1	10	8.9	27.4	207.9	90
	2	10	8.8	28.1	219.3	100
	3	10	8.9	27.2	205.6	100
황토 첨가구	1	10	8.8	32	263.6	100
	2	10	8.9	30.8	246.1	100
	3	10	8.9	22.4	151.7	100
패각분말 첨가구	1	10	8.9	26.4	196.6	100
	2	10	8.8	26	195.5	100
	3	10	9.8	25.4	159.2	100
골분 첨가구	1	10	9	28.3	214.4	100
	2	10	9.1	24.9	173.6	100
	3	10	9	27.2	202.2	100

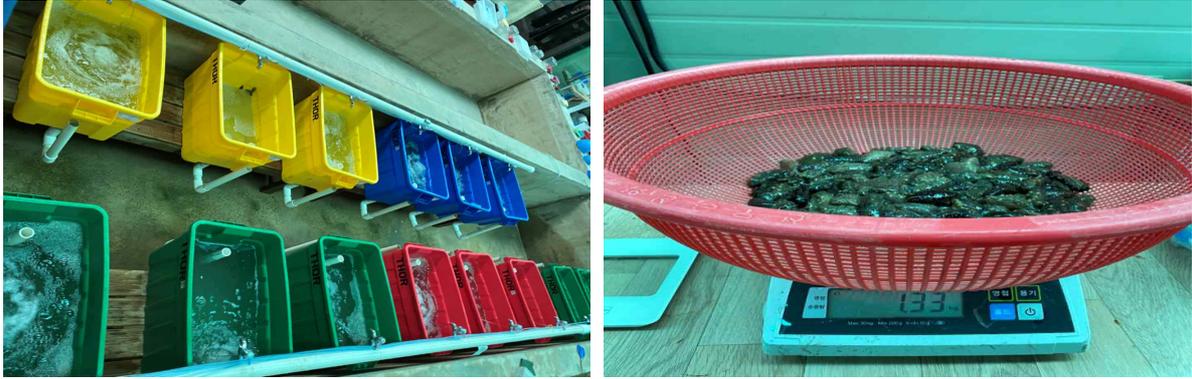


그림 24. 3차 실험 수조 설치 및 입식('20. 10. 19.)

향후 계획

본 연구에서는 육상수조 내에서 어미해삼을 총 19개월간 양성·관리하였고, 기간 중 입식대비 성장도가 최대 135%까지 증가하였다. 또한, 자연환경이 아닌 인위적 조건에서 관리한 어미해삼을 활용해 총 480만립의 수정란을 생산하면서 어미해삼의 육상관리 및 산란 가능성 여부를 확인할 수 있었다.

산란 이후 유생관리를 위한 먹이확보 및 양식환경 조성을 통해 본 연구에서 미흡했던 수정란의 난질과 생산성을 보완하고, 나아가 육상관리 어미해삼을 활용한 성숙도 및 산란시기 조절 연구를 추진코자 한다.

산란시기 조절 연구를 위해 어미해삼을 추가 확보하고, 성장도 및 섭이활동이 우수한 200g 이상의 우량어미를 선발해 시험용 시료로 활용할 예정이며, 나아가 기존 선행 연구결과(Lee, 2020)의 “가온을 통한 성숙 및 산란시기 조절 조건” 과 진도군 해역에 맞는 시험구의 성숙도를 비교해볼 예정이다.

궁극적으로 우량 어미해삼의 지속적인 관리로 우량종자를 생산하고, 필요한 시기에 맞춘 산란시기 조절로 연중 종자생산이 가능한 양식기술을 개발코자 한다.

중간육성 해삼의 경우, 고수온기 이후에 질병에 의해 발생하는 폐사와 기생충, 수질관리 등에 각별히 신경 써야 한다고 생각된다. 피부궤양증은 일단 발생하면 전염속도가 매우 빠르기 때문에 최대한 병원체 유입을 애초에 차단하고 급이량을 조절할 때에는 사료량을 점차적으로 증가시켜 수조 바닥에 쌓이지 않게 수질 관리에 특히 집중해야 한다고 생각된다.

또한 폐사가 발생한 중간육성 시험구 조건으로 종자를 추가 구입해 재실험을 추진한다면 해삼 양식에 있어 더 큰 수익 창출이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

- Kim, T. I. (2011), “The situation of International and domestic sea cucumber aquaculture,” *Aquaculture* 21, 9 (7), 84–90.
- Park, Y. J. (2009), “The situation of sea cucumber aquaculture in China and development directions of Korean sea cucumber aquaculture,” *AquaInfo*, 3 (2), 26–35.
- 농수산식품유통공사 (2020), www.at.or.kr.
- 국가통계포털 (2020), <http://kosis.kr>.
- 국립해양수산물과학원 (2020), www.nifs.go.kr.
- Dar, M.A. and Ahmad H.O. (2006), The feeding selectivity and ecological role of shallow water holothurians in the red sea. *Geche demar information bulletin*, 24: 11-21.
- 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.
- 어업회사법인 주식회사 제이앤씨 (2016), 제주도 용암 해수로부터 분리된 부착성 규조류를 이용한 기능성 식품, 10-2016-0089749.
- 농림수산식품부 (2012), 해삼양식 가이드북, 7-10.
- 崔相 (1963), *なまこの研究(形態・生態・増殖)*. 東京, 海文堂, 226.

해양수산부 (2013), 해삼 양식산업 기술개발 연구사업, 58.

한국과학기술연구원 (2014), 수산식품 세계화 식품브랜드 개발연구를 위한 해삼 고차가공 프로젝트, 110-118.

이수화, 이문옥, 김병국 (2015), 남해 연안의 수온 염분 변동 특성, 한국해양환경에너지학회, 80-81.

어업회사법인 주식회사 제이앤씨 (2016), 제주도 용암 해수로부터 분리된 부착성 규조류를 이용한 기능성 식품, 10-2016-0089749

이상민, 박흠기, 김정호, 서주영, 이충열, 김동규, 최진, 강용진, 김경덕, 이종윤, 김재동, 배승철, 고수홍, 김진희, 임영순, 한상희, 김근업, 조성수 (2008), 해삼 양식을 위한 경제적인 배합사료 개발, 농림수산식품부, 3-5.

남서해수산연구소 (2012), 해삼양식 산업화를 위한 핵심 기술 개발, 국립수산과학원 사업보고서, 3-4.

김철원, 진영국, 김태익, 정달상, 강한승, 한국농수산대학교, 국립수산과학원, 엠에스바이오랩 (2015), *Apostichopus japonicas* (Echinodermata; Holothuroidea)에서 온도 스트레스에 의한 Hsp90 및 Ferritin 유전자의 발현, Korean J. Environ, Biol, 33(4) : 433~430, 437.

김경덕, 배기민, 김강웅, 이봉주, 장지원, 한현섭 (2017), 어린 해삼용 사료개발을 위한 실험사료의 사육효능 평가, 한국수산과학회지, 366-371.

정우철, 최종국, Md, Anisuzzaman, 김경덕, 최병대, 강석중 (2016), 육상어류양식장 고품오물을 공급한 해삼의 성장과 에너지 수치, 한국수산과학회지, 168-175.

朱伟, 黄河, 吕明斌, 李鑫, 朱素丽 (2006), 刺参中间培育用饲料与制备方法, CN101081060B.

이경식, 유종민, 양석우, 김종기, 김혜선, 김세운 (2012), 해삼 종묘 육성용 인공배합사료, KR101397758B1.