

발간등록번호

11-1541000-000784-01

초고밀도 육상순환 여과시스템에 의한 해삼양식 기술개발

Development of recirculating water system for ultra
high density sea cucumber culture

경상대학교

농림수산식품자료실



0000856

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “초고밀도 육상순환 여과시스템에 의한 해삼양식 기술개발” 과제의
보고서로 제출합니다.

2010년 10월 30일

주관연구기관명 : 경상대학교

주관연구책임자 : 강 석 중

연 구 원 : 한 종 철

연 구 원 : 이 정 태

연 구 원 : 최 종 덕

연 구 원 : 이 동 호

연 구 원 : 이 숙 희

연 구 원 : 이 택 상

참 여 기 업

연 구 원 : 이 정 열

연 구 원 : 정 우 철

연 구 원 : 임 병 철

연 구 원 : 박 주 완

요 약 문

I. 제 목

초고밀도 육상순환 여과시스템에 의한 해삼양식 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

바다의 인삼으로 불리는 해삼(海蔘)은 중국을 중심으로 하는 아시아지역에서 새로운 양식 대상 종으로 각광받고 있다. 최근 전 세계적으로 해삼의 90%를 소비하는 중국의 경제 성장으로 그 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 그러나 수요를 따라가지 못하는 인공 종묘의 공급부족이 산업적 병목현상이 되고 있다. 이는 해삼의 생리적 특성상 여름철 고수온기에 수면을 취하는 하면(夏眠)을 하므로 연중생산이 되지 않는 점에 기인될 수 있다.

우리나라 해삼의 어업생산량은 1983년에 3,966톤을 정점으로 계속 감소하여 1990년에는 2,025톤, 1996년에는 1,979톤, 2002년에는 836톤으로 그 생산량이 급격히 감소하고 있다(해양수산부, 2005). 특히 해삼의 건강 기능성이 점차 부각 될 뿐만 아니라, 우리나라의 전형적인 소비패턴인 회 문화에서 수산 가공의 제품으로 판매되고 있다. 그러므로 시장 가격에 대한 충격을 완화할 수 있으며, 안정적 생산이 절실히 요구되고 있다. 어류 위주의 양식산업 위축으로 해삼 등 고소득 차세대 양식품종에 대한 어업인의 기술개발이 요청되고 있으며, 건강 수산물로서 일반인들의 웰빙 식품으로서의 소비요구가 증대하고 있으며, 중국의 급격한 소비증가로 대량생산 시 수산물 중 고가로 수출가능성이 크다는 점에서 해삼의 대량생산은 시급히 해결해야할 사항이다.

해삼 양식산업이 규모의 산업이 되기 위해서는 생산에서 가공으로 연결되는 물량의 안정적인 대량 확보가 선결과제이다. 현재 생산된 종묘는 연안어촌계의 자원증강을 위한 인공종묘 방류사업을 위한 씨뿌림 양식을 하거나, 축제식 양식에 의한 양식방법으로 연결된다.

이 양식방법들은 먹이를 공급하지 않는 자연생산력에 의존하는 조방적 양식방법(粗放的養殖方法)이기 때문에 자연생산력을 초과할 수 없으며, 방류의 숫자를 아무리 증가 한다고 하더라도 자연의 먹이양이 한정되어 있기 때문에 자연생산력 300-400 kg/ha(평균 0.1 kg/3.3m²)을 초과할 수 없다. 축제식양식의 경우도 같은 조건이다. 이는 도망을 방지하여 포획이 용이하거나 해삼의 도난방지가 용이할 뿐, 자연환경의 상태이

기 때문에 불가사리와 같은 해적생물에 노출되어 있으며, 일부 보충사료를 공급하더라도 저층에 서식하는 분해세균의 정화능력 이상을 초과해서 생산될 수 없다. 무급이 양식방법(無給餌養殖方法)에 비하여 2-3배 이상의 생산을 기대하기 어렵다. 이들 조방적 양식방법(粗放的養殖方法)은 개방적환경이기 때문에 해삼의 성장에 필요한 모든 환경요소를 자연에 그대로 노출될 수밖에 없다. 해삼은 수온 18-20℃에서 성장이 왕성하나, 수온이 높은 시기에는 먹이를 거의 먹지 않거나 먹는다 하더라도 그 양이 얼마 되지 않는다. 따라서 소화관은 퇴화되며, 수온이 25℃ 이상 되는 시기에는 소화관이 작아져서 최소로 되는데 이때가 하면기(夏眠期)이다. 해삼의 이런 생태적인 특성 때문에 우리나라의 자연환경에서는 성장기간이 짧아 산업적인 측면에서의 물량확보가 자연의존적일 수밖에 없다. 이들을 위한 대안으로 육상양식방법이 제안되고 있다. 이 방법은 극히 일부 시도되고 있지만, 육상양식은 고밀도 사육, 완전배합사료의 지속적인 공급, 다량의 배설물에 의한 수질오염, 해삼사료의 특징인 분말사료에 의한 유기 현탁물질에 어병발생, 월하 방지를 위한 일정한 수온유지에 따른 에너지의 소비의 부담에 따른 사업성의 문제 등으로 인한 기술적인 장벽에 막혀 있다.

그래서 본 연구진은 산학연구를 통하여 지속적인 연구결과를 통해서 위에서 언급한 문제점을 해결 할 수 있는 가능성을 발견하였다. 국내해삼양식의 문제점을 해결하기 위한 방안의 하나로 육상순환여과시스템을 활용하여, 국내 노지양식 생산밀도보다 월등히 높은 초고밀도 양식을 이루고자하며, 이를 통하여 국내해삼양식의 산업화에 전환점을 마련하고자 한다.

Ⅲ. 초고밀도 육상해삼양식 기술개발 및 범위

1. Lab-scale(50L)에서의 사육실험

본 실험은 육상순환여과식시스템 내에서의 해삼사육실험은 사례가 매우 적고 전 세계적으로 자료가 아주 적기 때문에 지금까지의 발표된 문헌 및 국내보고서(해양수산부, 2006)를 참조하여 지금까지 알려진 사육방법을 동원하여 인위적으로 조절된 환경 내에서 해삼의 전반적인 사육 상의 기초자료를 얻도록 설계하였다. 이 환경에서 수용할 수 있는 최대밀도, 핸들링에 의한 폐사량, 물리적 상처의 변화, 해삼의 생존율, 해삼변의 방출, 광에 대한 반응, 요각류가 미치는 영향, 시스템내 축적되는 암모니아, 액체사료 급이 후 용존유기물의 거동, 용존산소량을 등을 조사하였다.

2. Semi pilot-scale(300L)에서의 사육실험

Lab-scale(50L) 실험에서는 해삼이 순환여과시스템 내에서도 바닥의 인공사료를 먹고 고밀도로 성장한다는 것이 증명되었지만, 직사각형수조와 같은 구조에서는 배설물의 제거가 구조적으로 곤란하여 70 kg/3.3m²의 장벽을 넘지 못하였다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 원통형수조의 이점을 활용하여 초고밀도사육을 시도하였다.

원통형수조는 유입수와 동시에 배설물이 사육조 밖으로 즉시 배출될 수 있을 뿐만 아니라, 단위면적에 대한 수량이 많기 때문에 단위면적당 최대의 고밀도사육 결과를 얻을 수 있다.

본 실험의 개발 목표는 다음과 같다.

- (1) 1,000 kg/3.3m²의 초고밀도에 도전하였다.
- (2) 1,000 kg/3.3m² 생체량을 방양하여, 순환여과시스템 내에서 이와 같은 초고밀도에서의 지속적 여부를 확인하는 loading test를 실시하였다.
- (3) 물해삼을 사용하여 물해삼의 월하여부를 동시에 확인하였다.

3. Pilot-scale(1,000L)에서의 사육실험

본 실험은 Semi pilot-scale(300L) 사육실험에서 719.5 kg/3.3m²의 초고밀도로의 사육 (loading)이 가능했기 때문에 이 결과를 근거로 scale-up하여, 1,000L원형수조에서 해삼의 성장실험을 시도하였다.

4. 양식형태(노지와 채롱)에 따른 해삼의 섭이생태확인 사육실험

직전의 Pilot-scale(1,000L)에서 높은 생존율과 양호한 수질환경에도 불구하고 예상과는 달리 거의 성장이 정지하는 총성장량 1.0kg, 사료계수는 14.1이라는 극히 저조한 사육성적을 나타냈다. 사료계수 14.1(dry basis)이라는 수치는 거의 사료를 활용하지 못했다는 것을 의미한다. 이는 지금까지의 실험을 종합해 볼 때 직사각형수조(50L)에서는 양호한 사료계수를 나타냈지만, Semi pilot-scale(300L)과 Pilot-scale(1,000L)의 경우 원통형수조 내에서 성장이 거의 정지되었기 때문에 초고밀도상태에서는 사육조 형태와 해삼의 섭이생태 사이에 높은 상관관계가 있을 수 있다는 근본적인 가설이 제기되었다.

, 본 가설을 증명하기 위해서 노지양식과 채롱양식을 기획하였다. 그러나, 국내에서는 현실적으로 실험이 불가능하였기 때문에 중국에서 일반화되어 있는 산둥지방의 해삼전문양식장에서 추가 보충실험을 기획하였다.

해삼의 섭이생태와 사육조 형태에 따른 역학적 관계를 규명하고자, 2008년 11월에서 2009년 8월까지 중국내 산둥성 소재 해삼 양식장(면적 22,500m²)에서 노지바닥양식 실험구와 채룡식양식 실험구를 설정하여 섭이조건 외에는 모두 동일한 환경조건에서 비교실험하였다. 급이는 무급이 방식으로 하였으며, 정기적인 주입수에 의한 유입과 자연발생한 먹이공급이 전부였다.

5. SRS(Shallow Raceway System)에서의 사육실험

양식형태(노지와 채룡)에 따른 해삼의 섭이생태확인 사육실험에서 해삼은 채룡양식으로는 성장이 정지된다는 사실을 발견하였다. 이는 초고밀도상태의 원통형 수조에서의 결과와 잘 일치하여 가설이 증명되었기 때문에 고밀도상태에서 해삼의 성장을 유지하면서 섭이생태학적인 면을 고려하여 SRS(Shallow Raceway System)에서 해삼사육 실험을 시도하였다.

SRS에서의 사육실험은 2009년 8월부터 11월까지 3개월간 경상대학교 해양과학대학 배양실에서 행하였다. 사육시스템의 구성은 사육조는 직사각형유리수조(가로2m X 세로0.5m X 높이0.5m), 여과조(동일한 수면적), 침전조, 거품분리기 및 기타 장치는 Pilot scale에서의 장치와 동일하였다. 사육수온은 18℃를 유지하였으며, 사육수의 순환율은 52회전/day, 사료는 이전의 실험에서 사용한 동일한 발효사료를 사용하였다.

6. 현장실증 사육실험

지금까지의 실험실에서 도출된 결과에 근거하여 통영시 산양면 소재 해삼양식장에서 현장실증사육실험을 통하여 육상수조 내에서 사육결과 및 에너지효율에 근거하여 경제성분석을 실시하였다.

통영시 산양면 소재 현장 해삼양식장의 사육시설은 콘크리트수조 가로 4m, 세로 6m와 높이 1.8m로서 사육의 유효수심은 1.5m를 유지하였고, 바닥경사가 10% 기울기로서 바닥청소 및 배설물의 배출이 용이하게 중앙배수구로 모이게끔 설계되었다. 해삼 육상양식장에서 가장 큰 문제인 배양수의 온도를 유지하기 위하여 순환여과시스템으로 가동하였다. 수온유지는 15℃를 유지하였으며, 히트펌프와 보일러를 겸용으로 사용하였다. 보충수의 공급은 바다의 생해수를 취수한 후, 침전조(300톤)에서 펄을 침전시킨 후 1차 모래여과와 제2차 카트리지여과기를 통과시켜서 요각류의 혼입을 최대한 억제하도록 하였다. 사육수의 순환율은 48 회전/day, 사료는 주관기관의 사육실험에서 사용한 동일한 발효사료를 사용하였다. SRS실험결과를 토대로 해삼의 섭이 표면적을 많이 하기 위하여 해삼종묘생산용 파관(30cm X 40cm X 30cm)을 2단으로 겹쳐서 쌓아 올렸으며, 성장함에 따라 양과망을 추가로 메달아서 실험하였다.

IV. 초고밀도 육상해삼양식 기술개발 결과

1. Lab-scale(50L)에서의 사육실험

체장 3-5cm(평균 4.1cm), 체중이 1-3g(평균 1.5g)짜리를 방양하여 평균 18℃ 수온의 순환여과시스템내에서 180일간 사육한 결과, 평균 17.75g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 3,833 g/수조(0.18m²)로서 직사각형수조의 경우 단위면적당 한계 밀도는 70.27 kg/3.3m²에 해당하였다. 이 때 사료계수는 4.0을 나타냈다.

2. Semi pilot-scale(300L)에서의 사육실험

체장 15-25cm, 18-30g(평균 24.1g)짜리를 원통형수조에 4,273마리를 방양하여 초고밀도인 103 kg/0.34m² (=1,000 kg/3.3m²)로 시작하였다. 90일 후 수용하여 순환여과시스템 내에서 이 밀도를 유지한 결과 평균 20.2g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 74.1 kg/0.34m²(수조)로서 단위면적당 밀도는 719.5 kg/3.3m²에 해당하였다. 이는 원통형수조에서는 3.3m²로 환산했을 때는 약 720kg이 한계인 것으로 나타났다.

3. Pilot-scale(1,000L)에서의 사육실험

체장 22.1cm, 체중 24.59g짜리를 사용하여 원통형 1톤 수조에 3,014마리를 방양하여 초기밀도 74.1 kg/1.0m² (=244.53 kg/3.3m²)로 방양하였으며, 60일 후에 생존율 90.1%의 높은 생존율로서 평균 27.65g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 75.1kg/1.0m²(수조)로서 단위면적당 밀도는 247.83 kg/3.3m²에 해당하였다.

특이한 점은 초고밀도의 기대와는 달리 높은 생존율과 양호한 수질환경에도 불구하고 총성장량 1.0kg, 사료계수는 14.1이라는 극히 저조한 성적을 나타냈다. 이는 원통형 초고밀도 상태에서는 해삼의 축양은 가능하지만, 성장을 기대할 수 없다는 결과를 얻었다.

4. 양식형태(노지와 채롱)에 따른 섭이생태확인 사육실험

실험결과 노지양식에서는 초기 3g짜리가 10개월 경과 후 평균 120g으로 자라 빠른 성장을 한 반면, 채롱식 양식에서는 초기 25.6g짜리가 평균 29.8g(16.0-32.0g)으로 자라 성장이 정체하거나, 감소하였다. 이는 해삼은 개방수계(자연상태)에서는 패류와 같이 여과섭식으로 성장이 불가함을 의미한다. 이러한 결과는 초고밀도상태의 원통형 수조에서 해삼이 성장하지 못하는 이유는 해삼의 섭이생태를 무시한 양식방법(혹은 사육조 형태)으로는 성장을 기대 할 수 없음이 증명되었다.

5. SRS(Shallow Raceway System)에서의 사육실험

실험결과 체장 16.4cm, 체중 18.15g짜리를 사용하여 원통형 1톤 수조에 1,471마리를 방양하여 초기밀도 26.7 kg/1.0m² (=88.1 kg/3.3m²)로 방양하였으며, 90일 후에 생존율 82.6%의 높은 생존율로서 평균 37.36g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 45.4 kg/1.0m²(수조)로서 단위면적당 밀도는 149.8 kg/3.3m²에 해당하였다.

6. 현장실증 사육실험

실험결과 종묘는 2009년 12월 4일 평균체장 2.3cm, 평균체중 1.8g짜리를 각각의 직사각형 콘크리트 사육수조(6m X 4m X 1.5m)에 30,000마리를 입식하여 초기밀도 54.0 kg/24m² (=7.42 kg/3.3m²)로 방양하였으며, 8개월 후에는 생존율 68.6%로서 평균 23.2g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 478.5 kg/24m²로서 단위면적당 밀도는 65.8 kg/3.3m²에 해당하였다.

경제성 분석결과 치삼의 가격과 사료의 효율성이 사업성립의 주요항목으로 나타났으며, 이들에 대한 추가 연구가 절실이 필요하다.

V. 연구성과의 활용 계획

초고밀도 육상순환 여과시스템에 의한 해삼양식 기술개발 결과의 활용계획은 다음과 같다.

1. 본 연구에서 개발된 Lab-scale(50L) 및 Semi pilot-scale(300L)에서의 사육실험 결과는 해삼사육의 기초연구를 주로 하는 대학 및 수산관련 연구소에서의 활용도가 높을 것이다. 환경조절시스템을 통하여 해삼을 연중 보관 및 사육 할 수 있을 것이다.

2. 본 연구과정 중에 개발된 SRS(Shallow Raceway System)에서의 사육실험 결과는 지금까지 육상에서의 해삼사육 시에 최대의 난제로 되는 배합사료 공급에 의한 유기물의 오염은 극복할 수 있는 가능성을 제시하였다. 이 방식은 지금까지 순환여과식에서 유기물 형태의 사료공급에 수질오염을 동반하는 어류사육, 새우류 및 동물플랑크톤 먹이생물의 배양 등에 활용될 수 있을 것이다.

3. 양식형태(노지와 채룡)에 따른 섭이생태확인 사육실험에 의한 결과는 향후 해삼사육시스템의 결정에 중요한 결정인자가 될 것이다. 이 결과는 노지양식과 육상양식 모

두에게 많은 시행착오를 줄이고, 해삼산업화에 많은 기여를 할 것이다.

4. 국내 최초로 개발된 물해삼의 초고밀도 육상월하 기술은 지금까지 지역의 숙원사업이던 물해삼의 문제를 해결하였다. 해삼은 자연어획에 의한 생산량에 머물렀다. 그것도 금어기와 여름철에는 생산원료의 공급 중단으로 건해삼 가공 및 해삼 수출업에는 계절성이 존재하여 이것이 산업의 한계성을 가지게 하였다. 또한 일시에 순간적으로 대량생산되는 물해삼의 처리방법(월하문제 해결)이 없었다. 그러나, 본 기술의 완성으로 이러한 산업적 병목현상을 일시에 해결하였으며, 여기에서 오는 산업적 비용절감은 막대하다. 관련기술은 해삼양식 및 참여기업에의 기술이전을 통하여 양식, 축양, 유통 및 가공산업에 활용할 수 있을 것이다. 그리고 개발된 원천기술은 지식재산권으로 확보할 계획이다.

5. 본 연구에 의해 개발된 육상순환여과시스템에서의 해삼고밀도 양식기술은 계절성이 강한 해삼양식에 획기적인 전기를 마련할 수 있게 되었다. 해삼종묘생산업, 해삼육성 양식장, 해삼축양장 및 유통현장 등 전반적으로 활용할 수 있다.

6. 육상순환여과시스템에서의 해삼고밀도 양식기술은 노지양식 일변도에서 새로운 양식방법을 제시하였으며, 본 연구는 2년간(2008.11- 2010.10)간의 짧은 연구기간으로 인해 현장실증실험의 기회가 적었지만, 본 사업의 종료 후에도 지속적인 연구를 통하여 더욱 경제성 있는 육상해삼양식산업의 발전을 유도할 것이다.

SUMMARY

I. Title

Development of recirculating water system for ultra high density sea cucumber culture

II. Purpose and necessity of research and development

The sea cucumber which is called as ginseng from the sea has been discovered as a new species for farming in Asia , most especially in China. The demand has been dramatically increasing owing to the economic development of China, where 90% of the sea cucumber is consumed recently in the world. However, the shortage of artificial larvae supply becomes an industrial bottleneck. This is due to the fact that, because of the sea cucumber's physiological characteristic, in which it undergoes aestivation during summer, the animal's whole year round production cannot be ascertained. In 1983, the sea cucumber production in Korea reached a peak of about 3,966 tons. However, in 1990, it started to decrease rapidly to 2,025tons; 1,979 tons in 1996 and 836 tons in 2002. It is sold as processed, dried sea cucumber, a typical Korean delicacy (sashimi). Faced with this demand for sea cucumber, there is a need to oversee its high market price, and a stable production technology must be established. The technology can be imparted to fishermen and probably be useful for the next generation's farming industry in order to generate high income. This is referred to as sustainable fish farming . The demand for consumption of sea products as well-being foods has been increasing these days. People have resorted to healthy lifestyle by eating healthy foods. The mass production of sea cucumber is a task of utmost economic importance, since it has a high potential for export in the world market, specifically the rapid increase of

consumption in China. The development of a stable, massive production of sea cucumber in relation to production and processing is a pre-requisite so as to consider sea cucumber farming as a scale merit industry. Currently, produced larvae are connected to larvae farming for artificial larvae releasing business in resource improvement in the coastal farming cooperatives or bank type farming method. These farming methods cannot exceed the natural productivity because it is the extensive culturing method, which is dependent on the natural productive capacity without feeding. That is, the natural productive capacity is 300-400 kg/ha(average 0.1kg/3.3m²) because the quantity of natural prey is limited even the quantity of discharging is increased as much as it can be. The extensive farming has the same condition. These are exposed to the predator animals like star fish because these are in the condition of natural environment, but only it is easy for capturing to prevent from escape and for preventing the theft of sea cucumber. These cannot produce more than the purification capacity of the decomposing bacteria dwelling in the bottom even a part of supplement forage is supplied. It is difficult to expect more than 2-3 times of production comparing to the non-feeding farming method. Every necessary environmental elements necessary for the growth of sea cucumber are forced to be exposed to nature , because the extensive culture method is in an open environment. The growth of sea cucumber is active in water temperatures of about 18-20°C, but it does not try the prey or eat a very small quantity even if it takes the prey when the water temperature is high. Therefore, the digestive organ is atrophied and the digestive organ becomes the smallest in water temperatures above 25°C, thus, the aestivation period. The quantity requirement must be nature-dependent in industrial viewpoint as the period of growth is short in the natural environment of Korea due to the ecological characteristics of the sea cucumber. The land farming method has been suggested as an alternative for this and has been tried extremely partially, but it is blocked by the technical barrier due to the high density rise, consistent supply of the complete mixed forage, water contamination due to vast excretion, fish disease prevalence due to organic emulsion substances by the powder forage which is the characteristic of the sea cucumber forage.

Energy consumption is a business problem in maintaining constant water temperature to prevent too much heat during summer.

Accordingly, our research staff found the possible solutions to the above-mentioned problems through consistent experimental results obtained via industry-academy collaborative researches. Ultra high density farming which can give far higher production quantity compared with domestic bare ground farming production density will be made by utilizing the circulation filtering system on the land as a method to solve the problems of domestic sea cucumber farming.

III. Technology development and scope of ultra high density land sea cucumber farming

1. Loading experiment in the Lab-scale(50L)

This experiment was designed to obtain the basic data for the general farming of sea cucumber in the artificially-adjusted environment by deploying the organism's rearing method known from archives of references and domestic reports (Ministry of Land, Transportation and Marine Affairs, 2006). This is because there is a scarcity of literatures and not much available data for sea cucumber loading experiment. The highest density to be accepted in this environment, mortality problems due to handling, change in the physical scar, survival rate of sea cucumber, discharging of the sea cucumber excrements , reaction to light, influence from the copepods, accumulated ammonia inside the system, bearing of the dissolved organic substances after feeding, the liquid forage and the dissolved oxygen were monitored.

2. Loading experiment in semi pilot-scale(300L)

The fact that sea cucumber eats the artificial forage at the bottom and grows at high density was proven in the circulation filtering system in the lab-scale(50L) experiment, but the barrier of 70 kg/3.3m² was not overcome by the structural problems for removing the excrement in the rectangular

water tank. The ultra high density rearing was tried by utilizing the advantage of the cylindrical water tank to overcome such problems.

The highest density rearing result per unit area was obtained because the quantity per unit is big not only the immediate emission of the excrement coming out of the rearing container but at the same time in the water inflow in the cylindrical water tank.

The target of this experiment is as follows.

- (1) Challenging to the experiment target, ultra high density of 1,000 kg/3.3m²
- (2) The loading test was performed to check whether it can be continued in the ultra high density inside the circulation filtering system by discharging the bio quantity of 1,000 kg/3.3m².
- (3) The availability of the oversummering of water for the sea cucumber (skin is very thin) was checked by using water sea cucumber.

3. Loading experiment in Pilot-scale(1,000L)

The experiment on the growth rate of sea cucumber in the 1,000L cylindrical water tank, then, scaled-up to ultra high density loading in 719.5 kg/3.3m² in the semi pilot-scale(300L) loading experiment.

4. Loading experiment for checking the feeding ecology of sea cucumber depending on the farming pattern (Bare ground and wicker basket).

The results showed a very poor loading rate, with a total growth quantity of 1.0kg and forage coefficient of 14.1. This means that the nearly stop of the growth is not expected, in spite of the high survival rate and the good water quality environment in the previous pilot scale(1,000L). From the summary of the experiment up to the present, the fundamental hypothesis was suggested that there can be a close correlation between the shape of the loading tank and the feed ecology of sea cucumber in the ultra high density condition because the growth in the cylindrical water tank was nearly stopped in case of semi pilot-scale(300L) and pilot scale(1,000L) even fairly good forage coefficient was shown in the rectangular(50L) water tank. Therefore, the bare ground loading and wicker basket loading were done to prove this hypothesis.

But, the feeding ecology of sea cucumber was identified depending on the loading pattern by performing them in the specified hatchery for sea cucumber in Shandong district which was conceptualized in China because such experiment is quite impossible to be performed in Korea.

5. Loading experiment in SRS(Shallow Raceway System)

It was found that the growth of sea cucumber in the wicker basket system was stopped in the loading experiment for checking the feeding ecology of sea cucumber depending on the loading pattern (Bare ground and wicker basket). The hypothesis was proved because it is identical with the result from the cylindrical water tank in ultra high density condition. Therefore, the sea cucumber loading experiment was tried in SRS(Shallow Raceway System) in consideration of the feeding ecology while maintaining the growth of sea cucumber in high density condition.

6. Loading experiment for verification at the site

The economic feasibility analysis was performed based on the loading density and energy efficiency inside the water tank on the land through the loading experiment for verification at the site in the sea cucumber hatchery located in Sanyang-myeon, Tongyoung city based on the obtained results from the laboratory.

IV. Result of the technology development for land ultra high density sea cucumber farming

1. Loading experiment in the Lab-scale(50L)

The sea cucumbers in body length of 3-5cm(average 4.1cm) and body weight of 1-3g(average 1.5g) were released for farming and they were raised for 180 days in the circulation filtering system in 18°C water temperature and they were grown to 17.75g in average. The final produced weight was 3,833

g/water tank (0.18m^2). The limit of density per unit area in case of rectangular water tank was $70.27\text{ kg}/3.3\text{m}^2$. The forage coefficient was 4.0 in this case.

2. Loading experiment in Semi pilot-scale(300L)

In this experiment, 4,273 sea cucumbers in body length of 15-25cm and body weight of 18-30g(average 24.1g) were discharged for farming in the cylindrical water tank and they were started for rearing in ultra high density of about $103\text{ kg}/0.34\text{m}^2$ ($=1,000\text{ kg}/3.3\text{m}^2$). They were grown to average 20.2g in maintaining the density inside the circulation filtering system for 90 days storage. The final produced weight was $74.1\text{ kg}/0.34\text{m}^2$ (water tank). The density per unit was $719.5\text{ kg}/3.3\text{m}^2$. It was shown that about 720kg is the limit when it is converted by 3.3m^2 in the cylindrical water tank.

3. Loading experiment in Pilot-scale(1,000L)

In the pilot scale, 3,014 sea cucumbers in body length of 22.1cm and body weight of 24.59g in initial density of $74.1\text{ kg}/1.0\text{m}^2$ ($=244.53\text{ kg}/3.3\text{m}^2$) were discharged for farming in 1 ton cylindrical water tank. They were grown to an average of 27.65g with high survival rate of 90.1% after 60 days. The final produced total weight was $75.1\text{ kg}/1.0\text{m}^2$ (water tank). The density per unit was $247.83\text{ kg}/3.3\text{m}^2$.

It is peculiar that it showed a very poor loading achievement of total growth quantity of 1.0kg and forage coefficient of 14.1 in spite of the high survival rate and the good water quality environment, as what is expected in ultra high density. The data of 14.1(building conversion) of forage coefficient means less use of the forage. The fundamental hypothesis in this experiment is that, good forage coefficient can be observed in the rectangular water tank, but there can be a close correlation between the shape of the farming tank and the feeding ecology of sea cucumber in the ultra high density condition of sea cucumber in semi pilot-scale(300L) and pilot scale(1,000L). Therefore, the bare ground loading and wicker basket loading were performed to prove this hypothesis and the feeding ecology of sea cucumber depending on the loading

pattern which was identified.

4. Loading experiment for checking the feeding ecology of sea cucumber depending on the farming pattern (Bare ground and wicker basket)

A similar experiment was performed in the same environmental conditions except the feeding condition by setting the experimental groups of the bare ground loading and wicker basket loading in the same hatchery for sea cucumber (Area 22,500m²) located in Shandong in China to identify the relation of the feeding ecology of sea cucumber and loading tank shape for November 2008 till August 2009. A non-feeding system and the feeding by the inflow of periodical inflow and the naturally created feeding were tested. The experimental results showed that an initial weight of 3g of sea cucumber in the initial part of the experiment were grown rapidly as they were grown to average 120g in the bare ground loading and the growth was reduced for 25.6g of sea cucumbers in the initial part were grown to average 29.8g(16.0–32.0g) in the wicker basket loading. It means that the growth of sea cucumber is impossible with the filtering feeding like the shellfishes in the open water system (Natural condition). Such result proves that the growth cannot be expected with the loading method (or the loading tank shape) neglecting the feeding ecology of sea cucumber as a reason for sea cucumber not to grow in the cylindrical water tank in ultra high density condition.

5. Loading experiment in SRS(Shallow Raceway System)

The loading experiment in SRS was performed in the culture laboratory in College of Marine Science of Gyeongsang National University for 3 months from August till November 2009. The loading tank was rectangular type glass water tank (L2.0m X W0.5m X H0.5m). The filtering tank (Same water area), sediment tank, foam separator and other equipment were same with those of pilot scale. 18°C was maintained for loading temperature and the circulation ratio of the loading water was 52 cycles/day, and the same fermented forage used in the previous experiment was adopted.

1,471 sea cucumbers in body length of 16.4cm and body weight of 18.15g in

initial density of 26.7 kg/1.0m² (=88.1 kg/3.3m²) were discharged for farming in 1 ton cylindrical water tank. They were grown to average 37.36g with high survival rate of 82.6% after 90 days. The finally produced total weight was 45.4 kg/1.0m²(water tank). The density per unit was 149.8kg /3.3m².

6. Loading experiment for verification at the site

The loading facility located in Sanyang-myeon in Tongyoung city was the concrete water tank of 4m(L) x 6m(W) x 1.8m(H). 1.5m of water depth was kept for farming. The floor was designed for convenient cleaning and easy collection of the excrement to the center drain in 10% slope of floor. The circulation filtering system was operated to maintain the temperature of the water which is the biggest problem in the sea cucumber hatchery on the land. The water temperature was kept in 15°C and heat pump and boiler were used together. The fresh sea water was collected for the supply of supplement water and the suspended materials was precipitated in the sediment tank (300tons) and the mixing of the copepods was maximally inhibited by passing through the 1st sand filtering and the 2nd sand filtering. The circulation of the culturing water was 48 cycles/day and the same fermented forage which was used in the loading experiment by the hosting organization was adopted. The 2 step plates (30cm X 40cm X 30cm, Height) for sea cucumber and hoisting the onion sag was performed to increase the feeding surface area for sea cucumber based on the result from SRS experiment. 30,000 seeds in body length of 2.3cm and body weight of 1.8g in initial density of 54.0 kg/24m² (=7.42 kg/3.3m²) were input to the rectangular concrete loading tank (4m x 6m) and discharged for farming. They were grown to average 23.2g with high survival rate of 68.6% after 8 months. The finally produced total weight was 478.5 kg/24m². The density per unit area was 65.8 kg/3.3m².

V. The plan for application of the research result

The plan for application of the result from the development of sea cucumber

farming technology by the ultra high density circulation filtering system on the land are listed below.

1. The result from the loading experiment in lab-scale(50L) and semi pilot-scale(300L) which were developed in this study will be utilized frequently in the universities and sea product related research centers which are oriented for basic study for sea cucumber farming. The sea cucumber can be kept and farmed throughout the year through the environment adjustment system.

2. The loading experiment result in the SRS(Shallow Raceway System) which was developed in the course of this study suggested the possibility to overcome the contamination of the organ substance due to the supply of the mixed forage which is regarded as the biggest difficulty in the sea cucumber raising on the land. This method can be utilized in the fish culture, shrimp and biological animal culture of animal plankton which create the water contamination from the organic substance type forage supply in stead of the circulation filtering type at present.

3. The result from the loading experiment for feeding ecology checking depending on the raising pattern (Bare ground and wicker basket) will be an important determinant factor for the decision of the sea cucumber farming system. This result will reduce many trial and error in the bard ground farming and wicker basket farming and it will contribute to the sea cucumber industrialization.

4. The technology for ultra high density oversummering on the land for water sea cucumber which was developed as the first in Korea solved the problem for the sea water sea cucumber which was long-cherished wish of the district. The production quantity of sea cucumber up to now was reached only to the production quantity from natural fishing. There was a seasonality in the processing of dry sea cucumber and sea cucumber export due to supply

stop of the production material in the fishing prohibition period and summer and it made the limitation on this industry. Also, there is no way to solve the treatment of the water sea cucumber(Holothuriidae) which is produced massively at the same time. However, such bottleneck was solved at once owing to the completion of this technology and the saving on the industrial entailing cost from this is tremendous. The related technology will be utilized for farming, logistics and processing industry through the technology transfer to the sea cucumber farming and participant companies.

5. The high density sea cucumber farming technology in the circulation filtering system on the land which was developed in this study will make an epoch making turning point in the sea cucumber farming which has a strong seasonality. It will be used generally for sea cucumber seed production business, sea cucumber raising hatchery, sea cucumber farming and logistic site.

6. The high density sea cucumber farming technology in the circulation filtering system on the land suggested new farming method out of the routine bare ground farming method. This study has a less opportunity for verification experiment at the site due to the short research period for 2 years(Nov 2008~Oct 2010), but industrial development of more economical sea cucumber farming on the land will be induced by the consistent study after termination of this project.

CONTENTS

Chapter 1 Need for the R&D

Clause 1 Need for the R&D	1
---------------------------------	---

Chapter 2 Status of foreign and domestic development of thechnology

Clause 1 Trend of Domestic technology	4
---	---

Clause 2 Trend of foreign technology (With china as the center)	5
---	---

Chapter 3 Contents of R&D and rerults

Clause 1 Development of recirculating water system for ultra high density sea cucumber culture	6
--	---

1. Loading experiment in the Lab-scale(50L)	6
---	---

(1) Introduction	6
------------------------	---

(2) Experimental tools and operation	6
--	---

(3) Experimental sea cucumber and management	7
--	---

(4) Experimental diet and feeding	7
---	---

(5) Results	10
-------------------	----

2. Loading experiment in Semi pilot-scale(300L)	13
---	----

(1) Introduction	13
------------------------	----

(2) Experimental tools and operation	14
--	----

(3) Experimental sea cucumber and management	17
--	----

(4) Experimental diet and feeding	17
---	----

(5) Results	17
-------------------	----

3. Loading experiment in Pilot-scale(1,000L)	21
--	----

(1) Introduction	21
------------------------	----

(2) Experimental tools and operation	21
--	----

(3) Experimental sea cucumber and management	29
--	----

(4) Experimental diet and feeding	29
---	----

(5) Results	29
4. Loading experiment for checking the feeding ecology of sea cucumber depending on the farming pattern (Bare ground and wicker basket)	36
(1) Introduction	36
(2) Experiment location and facility	36
(3) Experiment methods	40
(4) Results	45
5. Loading experiment in SRS(Shallow Raceway System)	47
(1) Introduction	47
(2) Experimental tools and operation	47
(3) Experimental sea cucumber and management	49
(4) Results	49
6. Loading experiment for verification at the site	54
(1) Introduction	54
(2) Experimental tools and operation	54
(3) Experimental sea cucumber and management	59
(4) Experimental diet and feeding	61
(5) Measurement of growth rate	64
(6) Results	65
(7) Economic analysis	70

Chapter 4. Goal attainment of the present project and contribution to related fields

Clause 1 The attainmentl of technical development and aceheivement	74
(1) Loading experiment in the Lab-scale(50L)	74
(2) Loading experiment in Semi pilot-scale(300L)	74
(3) Loading experiment in Pilot-scale(1,000L)	74
(4) Loading experiment for checking the feeding ecology of sea	

cucumber depending on the farming pattern (Bare ground and wicker basket)	75
(5) Loading experiment in SRS(Shallow Raceway System)	75
(6) Loading experiment for verification at the site	75

Chapter 5. Foreign science and technology information collected in the R&D process

1. Case of Homey group	76
(1) Present status of Homey group	76
(2) Status of sea cucumber farming	77
(3) Status of sea cucumber breeding and culture	78
(4) The status of sea cucumber-produce goods	79
(5) Discussion with CEO of Homey group	80
2. Sea cucumber farming and sales status of dried sea cucumber in Yantai city.	82
(1) Status of sea cucumber farming	82
(2) Status of dried sea cucumber	82
(3) Restoration experiment for dried sea cucumber	83
(4) Nutritional and medical value of sea cucumber	84
3. Breeding and culture of the sea cucumber, Province of Shandong	85
(1) Present status of breeding and culture	85
(2) Status of sea cucumber farming	85
4. The status of sea cucumber feed in china	88
5. Processing for dried sea cucumber.	91
6. Analysis of the competitiveness of Chinese sea cucumber	97

Chapter 6. Reference	99
----------------------------	----

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제1절 연구개발의 필요성	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황	4
제1절 국내 기술 동향	4
제2절 국외기술동향(중국을 중심으로)	5
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	6
제1절 초고밀도 육상순환 여과시스템에 의한 해삼양식 기술 개발	6
1. Lab-scale(50L)에서의 사육실험	6
(1) 서론	6
(2) 실험장치와 작동	6
(3) 실험해삼 및 그 관리	7
(4) 실험사료의 제조 및 급이	7
(5) 실험결과	10
2. Semi pilot-scale(300L)에서의 사육실험	13
(1) 서론	13
(2) 실험장치와 작동	14
(3) 실험해삼(물해삼)과 그 관리	17
(4) 실험사료(발효사료)의 급이	17
(5) 실험결과	17
3. Pilot-scale(1,000L)에서의 사육실험	21
(1) 서론	21
(2) 실험장치와 작동	21
(3) 실험해삼과 그 관리	29
(4) 실험사료의 급이	29
(5) 실험결과	29

4. 양식형태(노지와 채룡)에 따른 섭이생태확인 사육실험	36
(1) 서론	36
(2) 실험장소 및 양식시설	36
(3) 실험방법	40
(4) 실험결과	45
5. SRS(Shallow Raceway System)에서의 사육실험	47
(1) 서론	47
(2) 실험장치와 작동	47
(3) 실험해삼과 그 관리	49
(4) 실험결과	49
6. 현장실증 사육실험	54
(1) 서론	54
(2) 실험장치와 작동	54
(3) 실험해삼의 관리	59
(4) 실험사료 제조 및 급이	61
(5) 성장도 측정	64
(6) 결과	65
(7) 경제성분석	70
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에 기여도	73
제1절 기술개발의 목표 달성도	74
(1) Lab-scale(50L)에서의 사육실험	74
(2) Semi pilot-scale(300L)에서의 사육실험	74
(3) Pilot-scale(1,000L)에서의 사육실험	74
(4) 양식형태(노지와 채룡)에 따른 섭이생태 확인 현장 사육실험	75
(5) SRS(Shallow Raceway System)에서의 사육실험	75
(6) 현장실증 사육실험	75

제 5 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	76
1. 榮成市 HOMEY GROUP(好當家集團)	76
(1) 일반현황	76
(2) 해삼양식 및 생산 현황	77
(3) 해삼종묘생산 현황	78
(4) 해삼제품생산 현황	79
(5) Homey그룹 회장과의 간담회	80
2. 연태시 양식장 및 건조해삼 판매 현황	82
(1) 양식현황	82
(2) 건해삼판매 현황	82
(3) 건해삼의 복원 실험	83
(4) 해삼제품의 생화학적 성분 및 약리효과	84
3. 산둥성 東營市 해삼종묘생산	85
(1) 종묘생산현황	85
(2) 양성 및 생산현황	85
4. 중국 해삼사료 현황	88
5. 건조해삼의 가공공정	91
6. 중국해삼의 경쟁력 분석	97
제 6 장 참 고 문 헌	99

List of Tables

표 1. 해삼용 실험사료의 일반성분	8
표 2. 180일간 순환여과사육시스템 내에서의 해삼의 성장	10
표 3. 실험에 사용한 유동층 여과메디아의 일반적 특성	15
표 4. 오염원별 발생물질과 각각의 제거 장치	15
표 5. 순환여과시스템 설계사양	16
표 6. 90일간 순환여과사육시스템 내에서 해삼의 초고밀도 사육 결과	19
표 7. 해삼순환여과시스템에 사용된 UFO 필터의 제원	28
표 8. 해삼고밀도 순환여과시스템 내에서의 TAN값의 변화	32
표 9. 60일간 순환여과사육시스템에서 해삼의 고밀도 사육 결과	35
표 10. 90일간 SRS시스템내에서 해삼의 초고밀도 사육 결과	52
표 11. SRS시스템의 사육수조 수질	52
표 12. 현장실증실험 순환여과시스템 설계사양	58
표 13. 현장 실증실험에서 해삼의 고밀도 사육 결과	66
표 14. SRS시스템의 사육수조 수질	66
표 15. 치삼의 성장 차이 분석	66
표 16. 에너지 절감 비교분석	69
표 17. 에너지 절감효과를 검증하기 위한 기초조건	69
표 18. 해삼의 육상사육시 경제성 분석	72
표 19. 해삼의 생화학적 성분 및 약리성분	84

List of Figures

그림 1. 순환여과시스템의 모식도(50L)	7
그림 2. 치삼용 발효사료의 제조과정	9
그림 3. 육상 소형수조에서 사료의 급이 전과 후	11
그림 4. 피부괴사현상의 진행과정	12
그림 5. 물해삼이라 불리는 해삼의 특징적 모습	13
그림 6. 해삼 사육조내 배설물 분리장치의 설계도 및 운영모습	14
그림 7. 제2차 실험 해삼 고밀도순환여과시스템 모식도	18
그림 8. 초고밀도 상태의 월하실험 성공과 저충격막의 개선방안 제안	20
그림 9. Pilot-scale의 고밀도순환여과시스템의 전체 구성도	25
그림 10. 해삼 순환여과시스템내의 구성장치	25
그림 11. 해삼 순환여과시스템을 이루는 장치	26
그림 12. 중공사막 필터 내부모습	27
그림 13. 통영시 연안수온과 순환여과시스템의 수온변화	30
그림 14. 제3차 해삼 고밀도 순환여과시스템의 pH, DO, Salinity의 변화	31
그림 15. 다양한 해조류를 활용한 질산염 제거 및 CO ₂ 제거모습	32
그림 16. 지충이(<i>Sargassum thunbergii</i>)이용한 질산염 제거 및 CO ₂ 제거	33
그림 17. 자연 생성된 납작파래의 실험 후 습중량 측정	33
그림 18. 중국 현지실험양식장 위치	37
그림 19. 중국 현지 실험양식장 입구(하이홍수산)	37
그림 20. 중국 현지실험 해수취수 펌프시설	38
그림 21. 중국 현지 실험 해수취수 후 1차 침전조 및 사육수 보충수 수조	39
그림 22. 현지 실험 사육장의 전체 개요도	40
그림 23. 현지 실험 사육장의 시설	41
그림 24. 현지 실험 중 해삼 양식장 관리	42
그림 25. 중국 채롱양식 모식도와 실제운영 모습	43
그림 26. 채롱양식장의 해삼 측정을 위한 샘플링 모습	44

그림 27. 현장 실험에 사용한 채룡의 설계도 및 실제 모습	44
그림 28. 중국현지 노지양식과 채룡양식의 성장 실험결과	45
그림 29. 현지 실험의 바닥양식에서 정상 성장한 해삼	46
그림 30. 노지양식과 채룡양식 해삼의 성장 차이	46
그림 31. SRS시스템 운영사육조와 전체 시스템 개요도	48
그림 32. 실험 수행을 위한 준비 작업 모습	50
그림 33. SRS순환여과시스템으로 운영한 해삼 사육사진	51
그림 34 SRS순환여과시스템의 각 장치별 TN, COD	53
그림 35. 현장 실증실험 전체 평면도	55
그림 36. 사육수조의 평면도	56
그림 37. 현장실증실험의 순환여과 모식도	56
그림 38. 현장실증 실험에 사용한 온도조절 장치 및 Heat pump 운영 도식	57
그림 39. 현장 실증실험 Set-up 순서 및 모습	60
그림 40. 사료내 고형물의 과도한 축적으로 인한 수조 청소	61
그림 41. 발효사료의 제조공정에 따른 시설	62
그림 42. 사육수조 청소작업 과정	63
그림 43. 현장실증실험에서 치삼성장 측정을 위한 작업 모습	64
그림 44. 입식 후 측정한 치삼의 크기분포	67
그림 45. 실험 1개월 경과한 치삼의 성장분석	67
그림 46. Homey그룹의 회사전경	76
그림 47. 양식장과 골프장을 겸한 경영	76
그림 48. 양식장 총평면도	77
그림 49. 해삼노지양식장 전경	77
그림 50. 발해만과 접한 쪽의 제방	77
그림 51. 저층은 해삼, 표층은 해파리 복합양식	77
그림 52. 노지에서 본 종묘생산동	78
그림 53. 종묘생산동의 전경-출입제한	78
그림 54. 파관에 부착된 상태의 종묘	78
그림 55. 노지방류를 위한 해삼종묘	78

그림 56. 해삼종묘용 배합사료	78
그림 57. 해삼종묘생산에 대한 현장질의응답	78
그림 58. 공장 내 해삼제품 전시관	79
그림 59. 진공포장된 건해삼의 제품	79
그림 60. 건조한 자삼상품	79
그림 61. 액체해삼의 성분표	79
그림 62. 액체해삼의 표본	79
그림 63. 건조해삼인 고압해삼	79
그림 64. 탕회장님과의 간담회	80
그림 65. 해삼양식장과 18홀 골프장	80
그림 66. 38만평의 골프장	81
그림 67. 향후 계속 신설중인 골프장예정지	81
그림 68. 자연환경을 최대한 살린 골프장	81
그림 69. 그룹내의 수산가공공장 전경	81
그림 70. 연태시 해안가의 축제식양식 모습	82
그림 71. 연태시내에서 판매되는 건해삼 종류	82
그림 72. 연태시내의 해삼 판매처	82
그림 73. 시장에서 구입한 3종류의 해삼, 중국산은 매우 값이 싸다	83
그림 74. 조선해삼과 요녕해삼	83
그림 75. 6시간 지난후의 3종류 해삼상태	83
그림 76. 종묘배양장의 전경	86
그림 77. 1개의 배양동, 20개의 배양탱크	86
그림 78. 양성중인 새끼해삼, 방양직전 크기	86
그림 79. 정기적인 완전청소 방법	86
그림 80. 바닥에 노출된 해삼의 청소	87
그림 81. 사육동 밖에서 해삼을 수집하는 장면	87
그림 82. 노지양식장 전경	87
그림 83. 노지양식장	87
그림 84. 주수 및 배수로 시설	87

그림 85. 인근의 노지 양식장 전경	87
그림 86. 활성바다흙과 분말사료의 반죽상태	90
그림 87. 시판용 활성바다흙	90
그림 88. 시판용 종묘생산 배합사료	90
그림 89. 시판용 배합사료의 성분표시	90
그림 90. 실제 가공에 사용하는 해삼	92
그림 91. 가공 전 포획된 해삼의 전처리	93
그림 92. 해삼의 가공중 자숙하는 모습과 과정중 불량품 모습	94
그림 93. 절임과정 후 해삼의 모습	94
그림 94. 가열 후 생긴 소금결정체	95
그림 95. 건조 및 포장 모습	96

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 필요성

(1) 기술적 측면

바다의 인삼으로 불리는 해삼(海蔘)은 중국을 중심으로 하는 아시아지역에서 새로운 양식 대상 종으로 각광받고 있다. 중국은 전 세계 해삼 생산량의 90%를 소비하는 소비 대국일 뿐만 아니라, 생산량의 70%도 자국에서 생산하는 생산대국이다. 나머지 30%는 해외시장에서 의존하고 있어 향후 해삼제품을 이용한 수출은 장기적 수산업의 희망이 되고 있다. 그 중 동북아시아 3국인 한국 일본 중국에서 생산되는 해삼품종은 중국에서 가장 선호하는 돌기해삼으로서 세계에서 가장 높은 가격으로 거래되는 가치가 높은 품종이다. 또한, 중국의 경제 성장으로 그 수요가 폭발적으로 증가하기 때문에 전 세계에서 생산된 해삼을 흡수하는 블랙홀 현상이 일어나고 있다.

해삼은 중국과 우리나라 수산물 종류 중에서 국내 가격대비 중국에서의 시장이 가격이 높은 유일한 종류로서 무궁무진한 수출시장이 열려있다. 그러나 아쉽게도 우리나라는 이러한 수요에 부응하지 못하고 있다. 그 이유는 해삼은 다른 양식대상 동물과는 달리 현재 육상이나 연안에서 대량생산을 하지 못하고 자연에서 채취하는 것에 의존하고 있기 때문에 생산량이 소량이고, 가공을 위한 물량공급이 년중 이루어지지 않는 계절성을 가지고 있다. 이는 해삼의 생리적 특성상 여름철 고수온기에 수면을 취하는 하면(夏眠)을 하므로 연중생산이 되지 않을 뿐 만 아니라, 해삼은 바다의 유기질을 먹는 detritus feeder라는 먹이생태습성에 기인될 수 있다.

국내의 해삼양식 환경은 중국에 비하여 해삼 성장속도가 30%이상 빠르게 나타나고 있어 중국의 많은 해삼 관련업체가 한국에서의 해삼양식을 희망하고 있다. 한국에서의 해삼양식 수준은 국가나 지자체의 연안 방류용 종묘생산 공급에 머물고 있다. 종묘생산에 있어서도 국가 연구기관에서 종묘생산 기술을 개발하여 보급하였지만 일반화되지 못하고 일부 중국의 기술진이 한국에 상주하여 계약에 의한 종묘생산을 하고 있으며, 특히 해삼 종묘생산을 위한 먹이 생물도 중국에서 직접 가지고 들어와 종묘생산이 종료되면 모두 철수하는 중국 의존형 해삼 종묘생산을 하곤 하였다. 그러나 최근에는 지자체와 업계의 많은 관심과 노력에 의하여 종묘생산은 거의 일반화된 수준에 이르고 있다. 우리나라의 해삼양식업은 거의 이루어지지 않고 있다. 해삼의 종묘가격이 고가일뿐만 아니라, 서해안의 새우양식장을 활용하여 해삼양식을 극소수 시도하였지만

아직 노지에서서의 해삼양성기술을 성립시키지 못하고 있는 상태이다. 국내에 많은 양식 업체들이 신규 유망 양식 대상 종으로 해삼을 선호하고 있지만 양성기술의 미개발로 인하여 산업적 병목현상이 되고 있다.

(2) 경제적·산업적 측면

해삼의 어업생산량은 1983년에 3,966톤을 정점으로 계속 감소하여 1990년에는 2,025톤, 1996년에는 1,979톤, 2002년에는 836톤으로 그 생산량이 급격히 감소하고 있다(해양수산부, 2005). 특히 해삼의 기능성이 점차 부각되어 우리나라의 전형적인 소비 패턴인 회 문화에서 탈피하여 건조해삼 등 가공의 제품으로 판매되고 있다. 그러므로 시장 가격에 대한 충격을 완화할 수 있으며, 안정적 생산이 절실히 요구되고 있다. 어류 위주의 양식산업 위축으로 해삼 등 고소득 차세대 양식품종에 대한 어업인의 기술 개발이 요청되고 있으며, 건강 수산물로서 일반인들의 웰빙 식품으로서의 소비 요구가 증대하고 있으며, 중국의 급격한 소비증가로 대량생산 시 수산물 중 고가로 수출가능성이 크다는 점에서 해삼의 대량생산은 시급히 해결해야할 사항이다.

해삼 양식산업이 규모의 산업이 되기 위해서는 생산에서 가공으로 연결되는 물량의 안정적이고 대량 확보가 선결과제이다. 현재 생산된 종묘는 연안어촌계의 자원증강을 위한 인공종묘 방류사업을 위한 씨뿌림 양식을 하거나, 축제식 양식에 의한 양식방법으로 연결된다.

이 양식방법들은 먹이를 공급하지 않는 자연생산력에 의존하는 조방적 양식방법(粗放的養殖方法)이기 때문에 절대로 자연생산력을 초과할 수 없으며, 방류의 숫자를 아무리 증가 한다고 하더라도 자연의 먹이양이 한정되어 있기 때문에 자연생산력 300-400 kg/ha(평균 0.1 kg/3.3m²)을 초과할 수 없다. 축제식양식의 경우도 같은 조건이다. 이는 도망을 방지하여 포획이 용이하거나 해삼의 도난방지가 용이 할 뿐, 자연환경의 상태이기 때문에 불가사리와 같은 해적생물에 노출되어 있으며, 일부 보충사료를 공급하더라도 저층에 서식하는 분해세균의 정화능력 이상을 초과해서 생산될 수 없다. 무급이 양식방법(無給餌養殖方法)에 비하여 2-3배 이상의 생산을 기대하기 어렵다. 이들 조방적 양식방법(粗放的養殖方法)은 개방적환경이기 때문에 해삼의 성장에 필요한 모든 환경요소를 자연에 그대로 노출될 수 밖에 없다. 해삼은 수온 18-20℃에서 성장이 왕성하나, 수온이 높은 시기에는 먹이를 거의 먹지 않거나 먹는다 하더라도 그 양이 얼마 되지 않는다. 따라서 소화관은 퇴화되며, 수온이 25℃ 이상 되는 시기에는 소화관이 작아져서 최소로 되는데 이때가 하면기(夏眠期)이다. 해삼의 이런 생태적인 특성 때문에 우리나라의 자연환경에서는 성장기간이 짧아 산업적인 측면에서의 물량확

보가 자연의존적일 수 밖에 없다. 이들을 위한 대안으로 육상양식방법이 제안되고 있으며 이 방법이 국내 해삼산업이 국제경쟁력을 가질 수 있는 방법 중의 하나가 될 것이다. 따라서 극히 일부 시도되고 있지만, 육상양식은 고밀도 사육, 완전배합사료의 지속적인 공급, 다량의 배설물에 의한 수질오염, 해삼사료의 특징인 분말사료에 의한 유기 현탁물질에 어병발생, 월하 방지를 위한 일정한 수온유지에 따른 에너지의 소비의 부담에 따른 사업성의 문제 등으로 인한 기술적인 장벽에 막혀 있다.

(3) 사회·문화적 측면(공공성 포함)

현대문명의 발달로 인한 평균수명의 연장으로 인구가 노령화되고 있다. 이로 인한 노인성 질병의 증가가 문제되며, 이에 대한 대처방안이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 노인성 질병의 치료로 운동요법과 약물요법을 병행하고 있으며 이중 골질환 치료제 및 의약품으로 많이 이용되고 있는 것이 glycosaminoglycans 과 황산화성 사포닌이다. 실제로 1999년 미국 특정약품 판매현황에서 관절염 예방 및 치료제로 스테로이드 호르몬 대신 glucosamine과 chondroitin이 각각 \$871 million, \$394 million 가량 판매되었다. 이런 glycosaminoglycans의 주원료로 상어연골 포유류의 각막, 코뼈(물렁뼈), 관절, 내장, 등이 사용되고 있었으나 최근 상어의 멸종위기로 인한 포획금지, 포유류는 광우병 확산에 따른 자원 확보가 어려운 실정이다. 국내의 벤처기업에서 우렁챙이와 미더덕에서 이를 대체 하려는 시도가 있었지만, 원료물질의 공급 불안정으로 인하여 성공적이지 못하였다. 해삼의 연중 대량생산이 확보된다면 건삼가공 부산물로서 이러한 문제점은 해결하리라 생각된다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1절 국내 기술 동향

(1) 인공종묘생산기술 동향

1990년 국립수산물과학원 산하 포항수산 종묘시험장에서 최초로 성공한 이후 포항과 강릉수산종묘시험장에서 1993년부터 2002년까지 어촌계 및 어업인의 수요에 따라 매년 10만-20만 마리의 종묘를 생산 공급해왔다.

1997년 이후부터는 독립수산종묘시험장이 차례로 설립됨에 따라 해삼 인공종묘 생산기술을 대량생산 설비가 갖추어진 독립수산종묘시험장에 이전하고 국립수산물과학원에서는 2002년 이후부터 해삼 인공종묘생산을 전면 중단한 바 있다. 그러나 국내 각 독립수산종묘시험장의 연간 해삼 인공종묘생산량은 2003년에 20만 마리로 모두 합쳐도 양식장 1 개소의 공급량에도 부족한 실정이었다.

이에 따라 생존율이 낮은 중국산 저급 해삼 종묘수입이 급증하였으나 소득과 연결되지 못하였다.

(2) 해삼양식기술 동향

해삼양식기술은 극히 초보적인 단계로서 남해안의 육상탱크양식과 서해안의 노지양식으로 대별할 수 있다.

남해안의 육상탱크양식은 전복양식과 혼합양식의 형태로서 성장도는 2005년 10월 전장 5.8cm 전중량 9.1g을 방양하여 2006년 6월 전장10.1cm 전중량 52.9g으로 성장하여 현재, 실질적인 사업이 성립되지 못하고 있다.

서해안의 노지양식은 2005년 인천해양수산청 서해수산연구소 수특과제 수행 결과가 있으며, 주로 서해안 축제식 갯벌양식장의 해삼의 육성을 시도하였다. 실험은 신안군 압해면 대천리 소재 7.5ha에 3월에 100만미의 어린해삼 방양하여 11개월 만에 200g짜리 해삼 약 3,000kg 생산하였다. 셀터는 제공되었으나, 무급이양식으로 단위면적당 생산량은 1.3 kg/33㎡, 판매는 15,000 원/kg였다. 이 결과는 중국의 노지양식에 해당하는 생산결과로서 이 방법으로는 서해안의 새우양식장에 적용한다면 경제성이 거의 없는 상황이다.

제2절

(중국을 중심으로)

(1) 중국의 해삼 역사는 약 60년으로 산둥성과 요녕성을 중심으로 급격히 생산량이 신장되고 있으나, 생산량 부족으로 가격이 상승되고 있는 상태임. 특히 중국의 음식 문화의 형태로 고급음식에는 반드시 해삼탕이 필요하기 때문에 그 수요가 증대되고 있다. 때문에 해삼생산의 대량화를 위한 종묘 생산기술이 발달 되었으며, 특히 대체 먹이등의 개발로 생산량이 점차 증가하고 있다. 중국의 연안을 중심으로 소규모의 많은 양식장과 대규모의 기업들이 생산에 참여하고 있는 기업화 단계임.

(2) 산둥성은 해삼 생산량이 중국전체 생산량의 30%에 육박하는 등 해삼의 주요 생산지이다. 산둥성의 해삼양식 면적은 2002년보다 38%가 증가해 현재 1만7천ha에 이르고 있으며 치어 생산량도 지난해보다 320%가 증가한 약 3억마리로 추산돼 올해 생산량은 약 2천250톤에 달하고 있다. 산둥성의 해삼 생산량이 이처럼 증가하고 있는 것은 최근까지의 주 생산어종이었던 새우가 1993년도에 질병으로 인해 심각한 타격을 받으면서 그 대체 어종으로 해삼을 양식 하고 있기 때문이다.

(3) 한국해삼 가격은 kg당 7,000-8,000원 정도이나 중국은 가격이 좋을 때 1kg당 중국 위엔화로 140-160위엔(20,000-23,000원)에 거래되고 있어 우리나라 보다 2배 이상 비싸다. 중국에서 해삼 가격은 98년부터 위엔화 기준으로 20위원(3,000원)에서부터 2003년 현재 산지 가격이 500g당 60위엔(8,800원) 이하로 내려간 적이 없으므로 수산물 중에서 유일하게 중국보다 가격 면에서 비교우위의 품종임.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 초고밀도 육상순환 여과시스템에 의한 해삼양식 기술 개발

1. Lab-scale(50L)에서의 사육실험

(1) 서론

본 실험은 육상에서의 순환여과시스템을 활용한 해삼의 고밀도 해삼사육실험으로서 전 세계적으로 자료가 아주 적기 때문에 지금까지의 발표된 문헌(Wang et al., 2007) 및 국내보고서(해양수산부, 2006)를 참조하여 지금까지 알려진 사육방법을 동원하여 인위적으로 조절된 환경내에서 해삼의 전반적인 사육상의 기초자료를 얻도록 설계하였다. 이 환경에서 수용할 수 있는 최대밀도, 물리적 상처의 변화, 해삼의 생존율, 해삼변의 방출, 광에 대한 반응, 요각류가 미치는 영향, 시스템내 축적되는 암모니아, 액체사료급이 후 용존 유기물의 거동, 용존 산소량 등을 조사하였다.

(2) 실험장치와 작동

경상대학교 해양과학대학 해양생명과학과 해양생물사료 공학연구실 배양실에 직사각형 아크릴수조(60cm X 30cm X 35cm)로서 수량은 50L을 유지하였다. 수조바닥은 6%의 경사도를 가지고 있어서 해삼변이 앞쪽으로 모이도록 하였다.

여과조는 동일한 수량 수조 2개를 병렬연결하여 사용하였으며, 여과재료로서 전복의 파판(PVC)을 이용하여 수직으로 세워서 최대한의 표면적을 얻도록 하였고, 소형순환 펌프(Wilo PH-037M)에 의한 유입량은 0.35 ℓ/min으로 물의 순환율은 10 일/회전이였다.

보통 해삼사육시에 은신처로 사용되는 쉘터는 넣지 않았다. 이는 해삼 자체만으로 최대의 고밀도를 얻기 위한 조치였다. 수온은 냉각기를 이용하여 18±1℃를 유지하였다. 순환여과시스템의 전체적인 모습은 그림 1과 같다.



그림 1. 순환여과시스템의 모식도(50L)

(3) 실험해삼 및 그 관리

통영소재 해삼 종묘 양식장에서 인공 부화하여 일부 방류목적으로 사용하고 남은 개체 중에서 계속 사육중인 치삼을 사용하였다. 운반 후에는 항생제(penicillin계열의 polymycin) 100 ppm에 20분 약욕을 하여 사용하였으며, 이 때 직접 맨손과의 접촉을 피하고 라텍스장갑을 착용 후에 취급하였다. 실험해삼의 크기는 체장 3-5cm, 1-3g(평균 1.5g)짜리를 사용하여 수조당 300마리(3반복 실험)를 방양하여 초기밀도 462 g/0.18m²(=8.47 kg/3.3m²)로 방양하여 180일 후에 생존개체 전수를 측정하였다. 생존개체수는 개체간에 변이가 심하였기 때문에 성장이 양호한 상위그룹 30%의 성장에 주안점을 두었다.

(4) 실험사료의 제작 및 급이

본 실험에 사용한 사료는 실험실에서 자체 제작한 발효사료로서 제작과정은 그림 2에 나타낸 바와 같다.

사료원료는 단백질원, 미네랄, 펩타이드물질, 해조분말, 기타물질 등을 혼합 후 살균하여 고기능성 특히 세균으로 30일간 발효시켜서 최종적으로 액상의 발효사료를 제조하

여 사용하였다.

본 실험에 사용한 발효사료의 일반성분은 표 1에 나타난 바와 같다. 회분의 함량이 40%를 차지하는 것이 일반어류용 사료와의 가장 큰 차이점이다.

사료의 급이는 체중의 3%(침전물량)을 매일 급이하였다.

표 1. 해삼용 실험사료의 일반성분

일반성분 종류	조성(%)
조단백	26.0
조지방	16.7
조섬유	17.3
회분	40.0

사료계수의 측정은 발효사료를 원심분리기 3,000 rpm, 15분간 원심분리하여 침전물을 습중량으로 취급하였다.

사료급이는 오후 6시경 일몰 후 급이를 하였으며, 사료급이 후 3시간 동안은 유입수를 단수한채 에어레이션을 하여 산소만 공급하였다. 대부분의 사료가 침전 및 섭이 된 후 다시 환수를 시작하였다. 해삼변의 청소는 다음날 아침에 사이편을 사용하여 제거하거나, 필요시에는 채집하여 변을 수집하였다.

수질확인은 매일 09:00시에 pH, Do, Salinity, TN항목을 측정하였다. pH는 (주) Istek사의 PH-20N 모델을 사용하여 3정점 보정 후 측정을 하였다. Do는 YSI사의 YSI-58모델을 사용하여 측정하였다. Salinity는 ATAGO사의 N-1a 염도굴절계를 사용하여 측정하였다. TN값은 KRK사의 NH4-1F모델을 사용하여 2정점 보정 후 측정하였다.

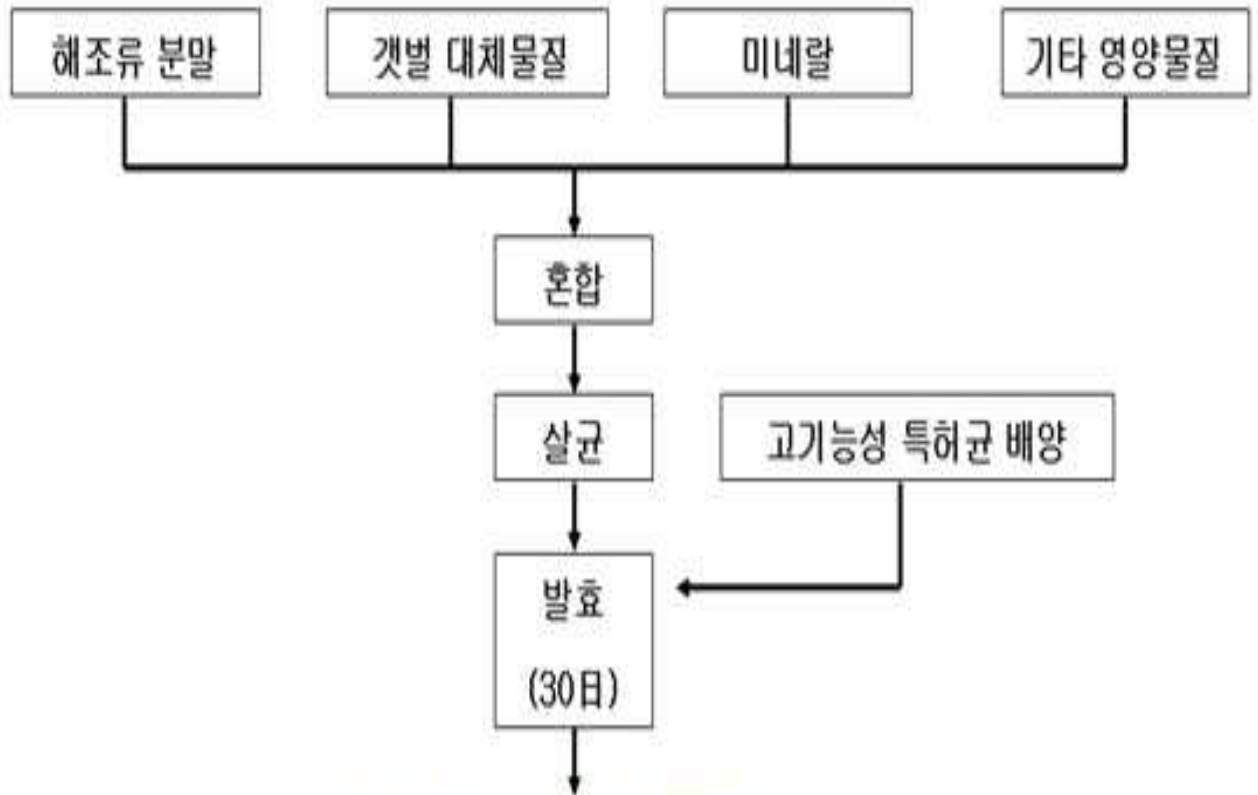


그림 2. 치삼용 발효사료의 제조과정

(5) 실험결과

사육결과는 표 2에 나타난 바와 같이, 체장 3-5cm(평균 4.1cm), 체중이 1-3g(평균 1.5g)부터 시작하여 순환여과시스템내에서 사육한 결과 가장 양호한 실험구에서 평균 17.75g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 3,833 g/수조(0.18m²)로서 단위 면적당 밀도는 70.27 kg/3.3m²에 해당하였다. 이는 직사각형수조에서는 3.3m²로 환산했을 때 70kg이 한계인 것으로 나타났다.

표 2. 180일간 순환여과사육시스템 내에서의 해삼의 성장

		Aquarium-1	Aquarium-2	Aquarium-3
Initial	Total wt.(g)	427	486	462
	Number	300	300	300
	Individual wt.(g)	1.43	1.62	1.54
	Length (mm)	32.4±15.31	33.2±17.31	32.7±15.24
Final	Total wt.(g)	2,082	1,480	3,833
	Number	129	78	216
	Individual wt.(g)	16.14	18.80	17.75
	Length (mm)	142.1±25.31	202.1±35.37	133.1±25.31
Total weight gain(g)		1,655	994	3,371
Growth times		3.88	2.05	8.30
Feed Conversion		4.6	5.2	4.1
Survival rate(%)		43.0	26.0	72.0

이러한 한계점에 도달하게 된 이유로서는 여러 가지가 있겠지만 그 중에서도 본 실험에 사용된 사육조는 직사각형의 수조로서 먹이찌꺼기나 침전물과 고형물을 신속하게 제거하는데 한계가 있으므로 향후 사육수조의 형태의 변형이 절실히 요구되었다.

그동안 급이한 사료는 발효사료를 매일 체중당 3.0%를 급이하였으며, 사료계수는 건

중량으로 4.1-5.2으로 나타났다. 이는 일반적으로 어류의 1.0-1.5에 비하여 아주 높은 값을 나타내었다. 이러한 이유는 해삼의 먹이가 액상인 발효사료이기 때문에 완전히 섭취하지 못하고 상당량이 수조 밖으로 유실되는데서 오는 것으로 생각된다. 이는 섭이 생태상 피할 수 없는 것으로 생각된다(Choe, 1963).

예비실험에서 유기물형태의 상품사료와 발효사료를 비교실험한 결과 상품사료로서 판매하고 있는 유기물 형태의 사료는 유수식형태의 사육방식에는 가능하더라도 폐쇄적 환경인 순환여과시스템에서의 사용은 곤란하였다.

급이 후에 섭이 활동을 관찰해 보면 급이 개시와 동시에 수조 양측면에 붙어있는 해삼의 경우에 입주위의 설반(Tenacle)이 순간적으로 검어지면서 섭이 활동하는 것이 관찰되었다(그림 3).

생존율은 26-72%로서 대부분의 폐사체는 실험초기에 핸들링에 의한 피부괴사(Skin ulceration syndrome)에 의한 질병으로 폐사하였다(그림 4). 피부괴사의 진행은 해삼의 표피 일부분에서 발생하여 점차 몸 전체 혹은 일부로 확장되었다. 피부괴사를 발견한 즉시 격리 수용하여 항생제 처리를 하였으나, 회복하는 개체는 드물었기 때문에 물리적 상처에 의한 피부괴사의 대책이 절실히 필요하였다.

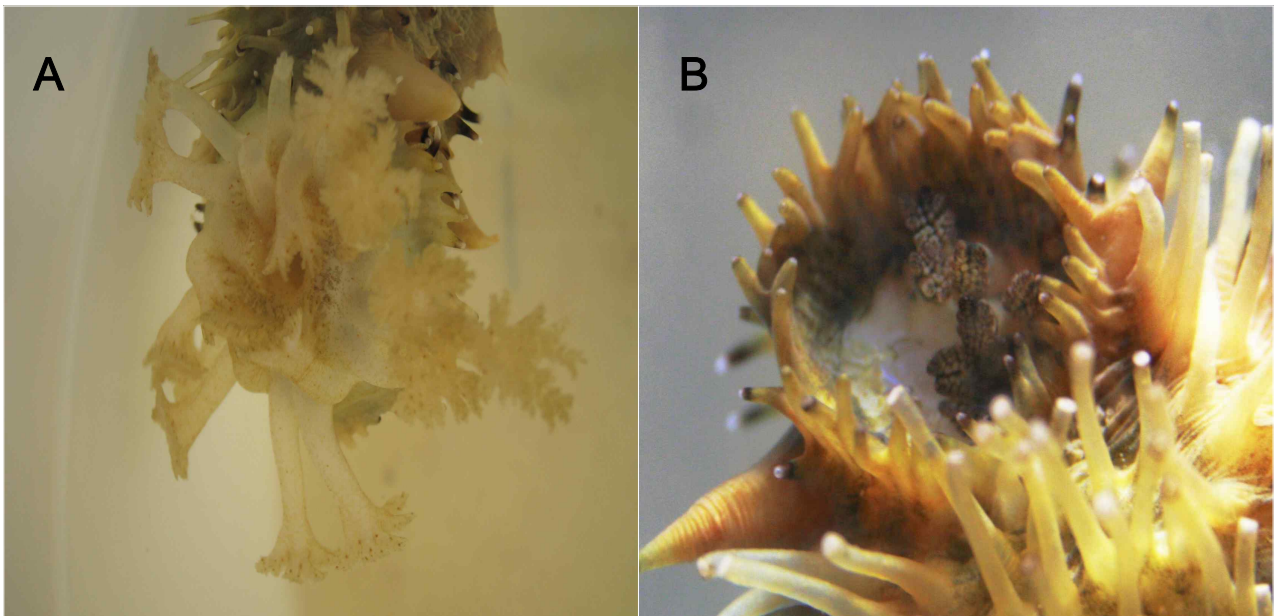


그림 3. 육상 소형수조에서 사료의 급이 전과 후
(A: 급이 전 해삼의 입 주변 모습, B: 급이후 해삼의 입 주변 모습)

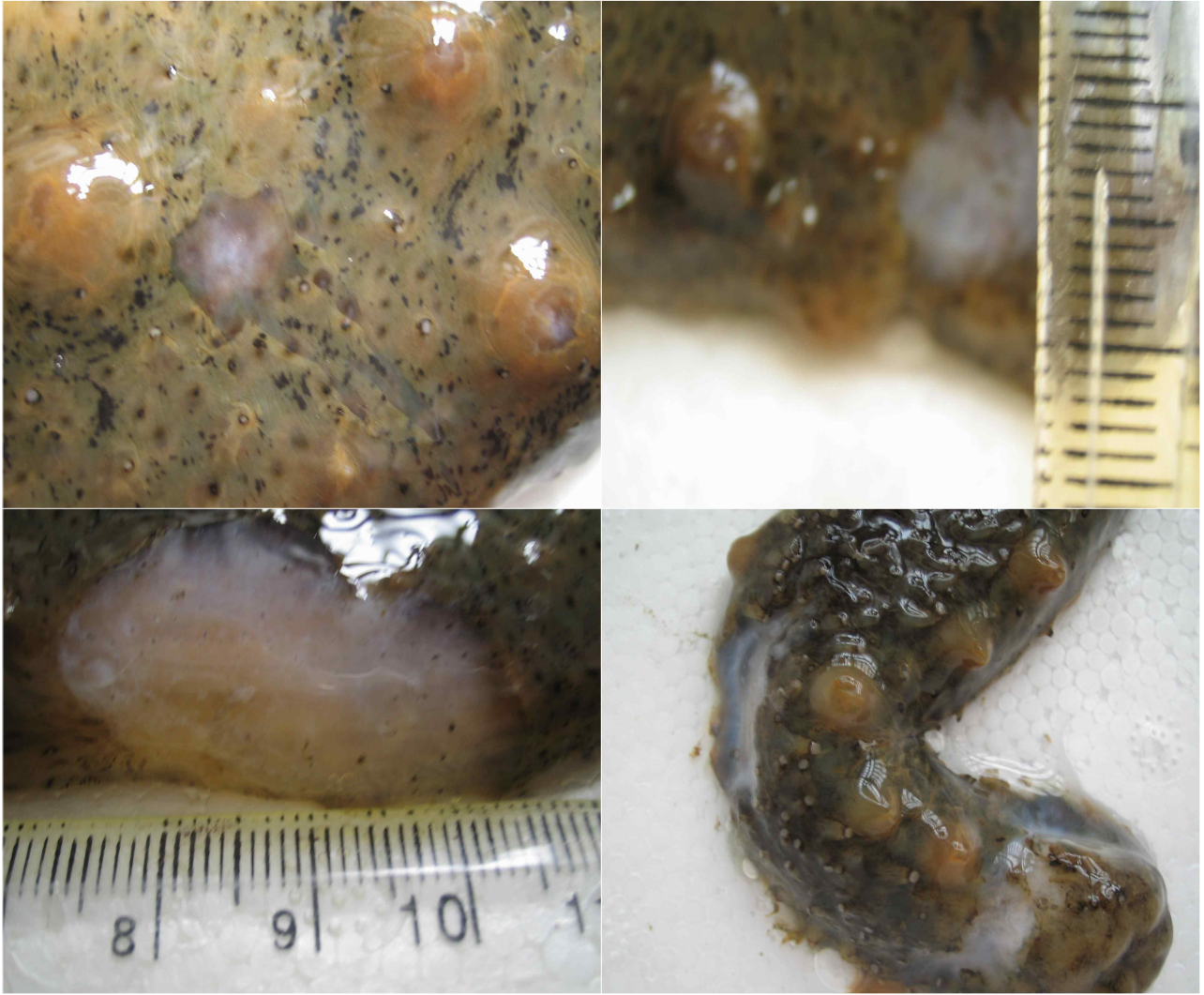


그림 4. 피부괴사현상의 진행과정

2. Semi pilot-scale(300L)에서의 사육실험

(1) 서론

본 실험은 제1차 실험에서 직사각형수조에서는 배설물의 제거가 구조적으로 곤란하여 70 kg/3.3m²의 장벽을 넘지 못하였기 때문에 원통형수조를 사용하여 이를 극복하고자 한다. 원통형수조를 사용하면 다음과 같은 잇점이 있다.

첫째, 원통형수조는 유입수와 동시에 배설물이 사육조 밖으로 즉시 배출될 수 있다. 둘째, 원통형수조는 단위면적에 대한 수량이 많기 때문에 단위면적당 최대의 고밀도 사육 결과를 얻을 수 있다.

그래서 본 실험에서는 본 연구계획서상의 실험 목표인 1,000 kg/3.3m²에 도전하고자 하였다. 실험방법은 우선적으로 1,000 kg/3.3m²생체량을 방양한 후(loading test), 순환여과시스템 내에서 어느 정도 이 밀도를 유지하는가를 확인하였다. 즉, 성장보다는 밀도 유지에 목표를 두었다.

동시에 이 실험에는 남해안의 물해삼은 7월에 걸쳐서 짧은 시기에 대량으로 생산되다가 순간적으로 전체가 사라진다. 해삼의 가공 원료로서 원료 확보에 많은 어려움이 있으며, 필히 해결해야할 문제이므로, 실험재료로서 물해삼을 사용하여 물해삼의 월하(越冬)여부를 동시에 확인하였다(그림 5).



그림 5. 물해삼이라 불리는 해삼의 특징적 모습

(2) 실험장치와 작동

경상대학교 해양과학대학 해양생명과학과 배양실에 원통형아크릴수조(지름65cm X 높이120cm)로서 수량은 300L을 유지하였다. 사육조 아래쪽에 아크릴재질로 원뿔을 연결하고 분의 배출이 용이하도록 하였다. 원뿔의 상단에는 그물망으로 짠 격리막을 두어 유입수의 흐름과 동시에 변은 밑으로 배출되는 반면에 해삼은 격리막 상단에 부착 면적을 많이 제공하여 밀도를 최대한으로 유지할 수 있도록 하였다(그림 6).

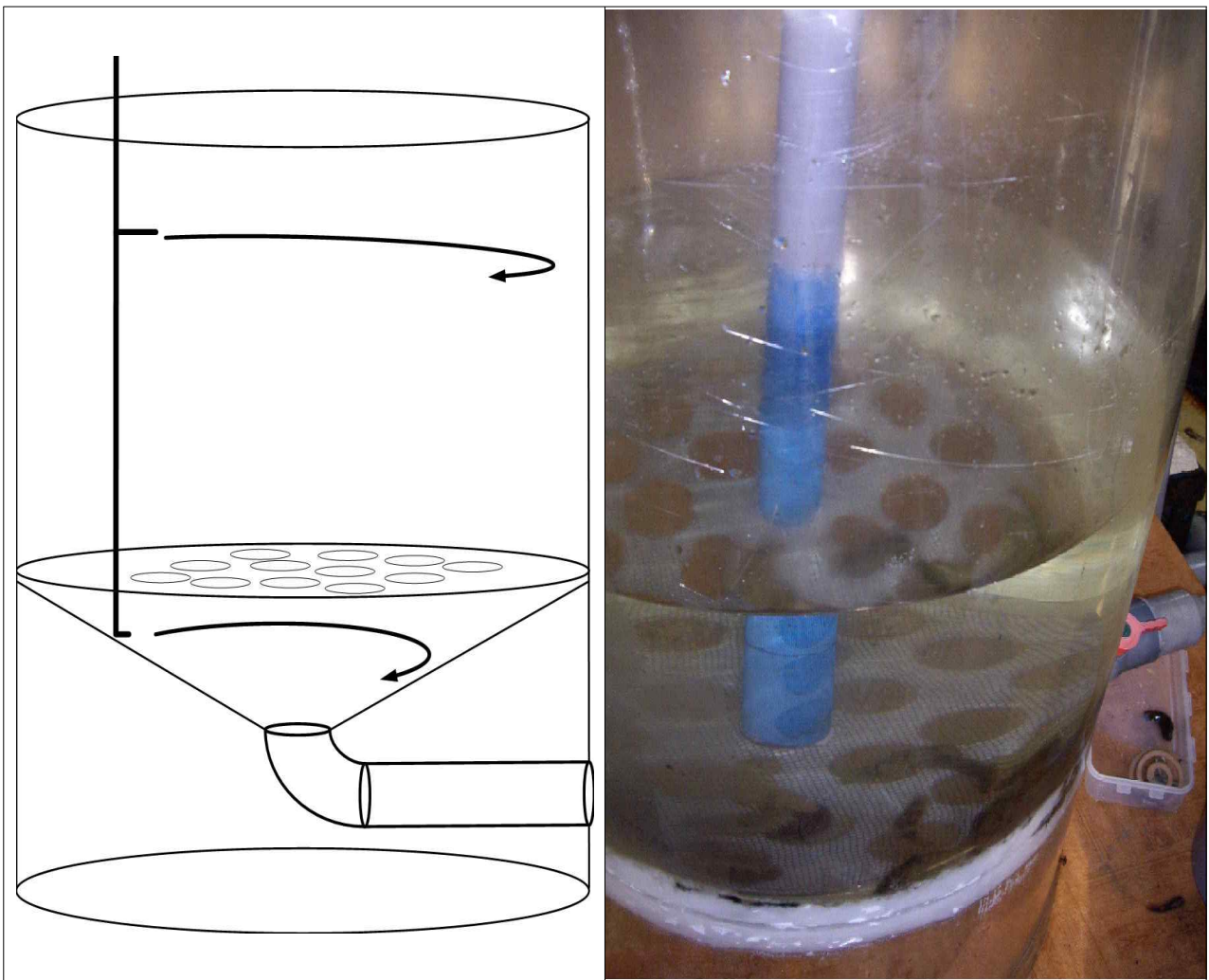


그림 6. 해삼 사육조내 배설물 분리장치의 설계도 및 운영모습

여과조는 유동 여과 미디어를 사용하였다. 유동 미디어의 크기는 직경 1cm, 길이 1cm의 PP관을 사용하였다(표 3). 폭기시 미디어가 생물학적 여과조내에서 원활한 유동이 되도록 하였다. 생물학적 여과 미디어는 1톤 FRP여과조에 1/3씩 보충하였으며 하나의 여과 수조당 생물학적 여과 미디어의 총면적은 1.8km²로서 고정 미디어에 비해 월등히 많은 면적을 사용하여 실험에 사용하였다. 생물학적 여과의 여과조는 지름 114cm, 높이 100cm의 FRP통을 사용하였으며 아래 정중앙 부분에는 에어스톤을 설치하였다. 폭기량은 180 L/min으로서 여과재가 충분히 교반될수 있도록 사용하였다.

순환여과시스템으로 고밀도 생물 사육시 발생할수 있는 오염원은 공급된 사료와 실험생물(해삼)이 내놓는 물질로서 화학적 종류별로 보면 해삼의 변으로부터 직접 발생하는 고형물, 사료찌꺼기와 변의일부에서, 발생하는 현탁성 부유물질, 사료섭이 및 사료자체로부터 발생하는 용존 유기물, 해삼이 먹이를 섭취한 후 체성분으로 되지 못하고 아가미로 배설하는 유독성의 암모니아가 있다. 순환여과식의 기본 원리는 발생하는 오염물질들을 각각의 성분특성별로 분해해야만 완전한 수질을 얻을수 있다. 이를 요약한 것은 표 4, 시스템에 사용한 제원은 표 5, 전체적인 시스템의 흐름도는 그림 7에 나타냈다

표 3. 제2차 실험에 사용한 유동층 여과미디어의 일반적 특성

Media	PP(polypropylene)
Specific weight	20 kg/1Ton
Average diamter	12mm
Specific surface area	2048 m ² /m ³
Price	24,000 won

표 4. 오염원별 발생물질과 각각의 제거 장치

제거 및 분해 장치	발생물질
Sediment tank	고형침전물질(변)
Foam fractionation tank	용존유기물(액체사료), 부유성현탁물질(사료, 변)
Biological filter tank	암모니아등(해삼뇨)

표 5. 순환여과시스템 설계사양

구분	사양	비고
사육조	65 X 120cm, 총수량:300 l	자가설치
침전조	지름 68cm X 높이 1m(아크릴재질)	자가설치
생물학적여과조	유동층매디아, 1톤원형수조 4개조 운영	자가설치
거품분리장치	지름 40cm X 높이 180cm(아크릴재질) - LG 온수순환펌프(20 L/min)	자가설치
기타설비	1)순환여과시스템 보충수 여과필터 - 1 μ m카트리지가필터 직렬 3열 여과장치 - UV살균여과장치	1)자가설치
	2)순환펌프 - LG 온수순환펌프(120 L/Min)	2)구매
	3)수온자동측정모니터링장치	3)자가설치
	4)자동사료공급장치	4)자가설치

(3) 실험해삼(물해삼)과 그 관리

참여기업인 제주수산에서 해삼가공을 위하여 수집한 물해삼을 사용하였다. 물해삼은 통영지역에서는 여름철에 일시적으로 나타났다가 일시에 사라지는 생태적 특성을 갖고 있다. 이 물해삼의 크기는 체장 15-25cm, 18-30g(평균 24.1g)를 사용하여 원통형 수조에 4,273마리를 방양하여 초고밀도 103 kg/0.34m² (=1,000 kg/3.3m²)로 방양하였으며, 90일 후에 생존개체 전수를 측정하였다.

초고밀도였기 때문에 발효사료의 급이에 각별한 신경을 썼으며, 부족한 용존산소량 공급을 위하여 공업용산소를 소량 주입하여 용존산소량은 5 ppm이상을 유지하도록 하였다. 자체 오염을 막기 위하여 순환펌프를 사용하여 유입량은 8 l/min으로 물의 순환율은 일간 38회전였다.

(4) 실험사료(발효사료)의 급이

본 실험에 사용한 사료는 발효사료로서 제1차실험에 사용한 것과 동일한 것을 사용하였다. 사료의 급이는 체중의 1.0%(침전물 중량)을 자동사료공급기를 사용하여 매일 급이하였다. 수질체크는 제1실험의 경우와 동일하게 하였다.

(5) 실험결과

사육결과는 표 6에 나타낸 바와 같이, 체장 15-25cm, 18-30g(평균 24.1g)를 원통형 수조에 4,273마리를 방양하여 초고밀도인 103 kg/0.34m² (=1,000 kg/3.3m²)로 시작하였다. 순환여과시스템 내에서 해삼의 밀도를 90일 동안 유지한 결과는 평균 20.2g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 74.1 kg/0.34m²(수조)로서 단위면적당 밀도는 719.5 kg/3.3m²에 해당하였다. 이는 원통형수조에서는 3.3m²로 환산했을 때 약 720 kg이 한계인 것으로 나타났다.

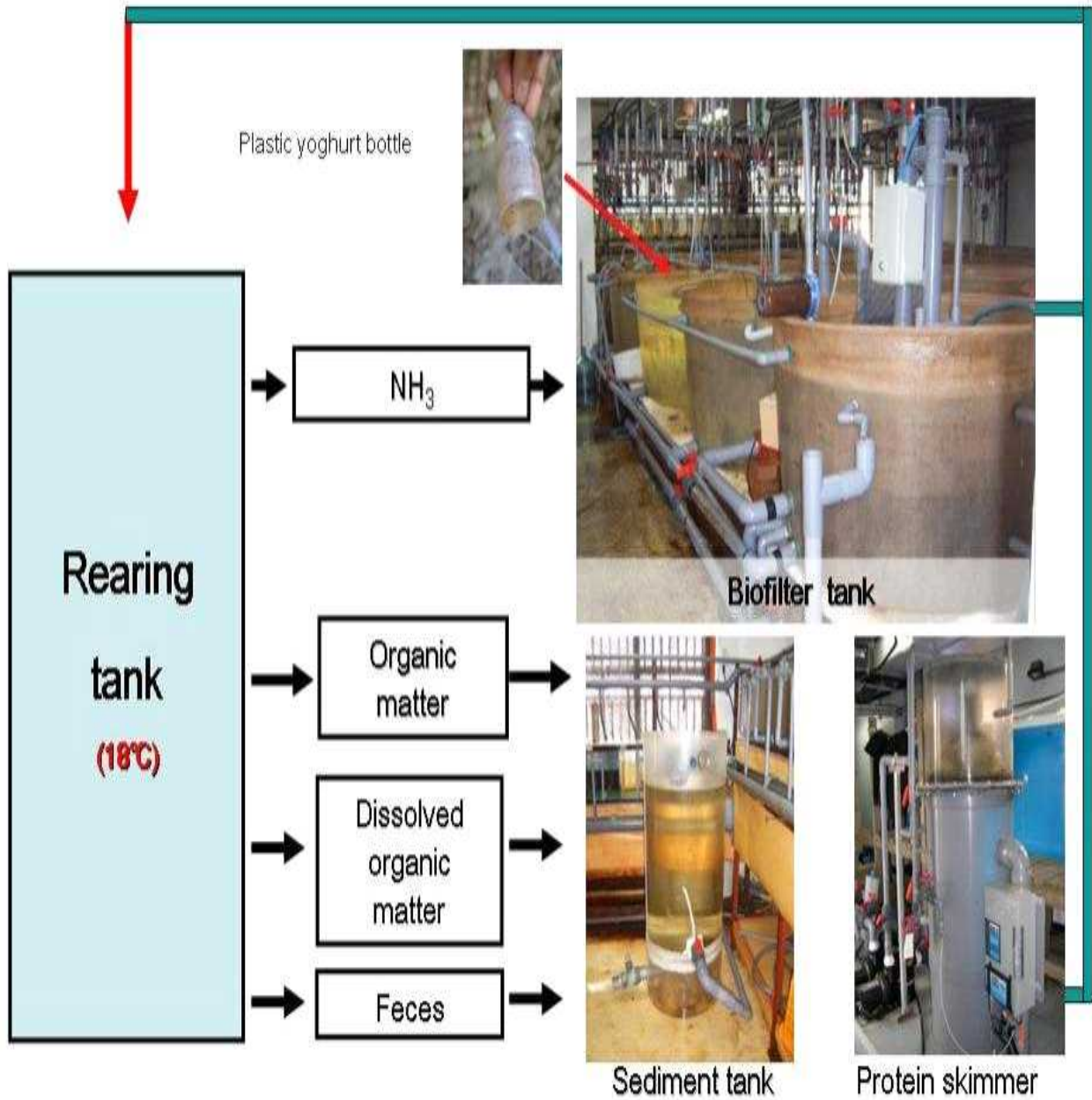


그림 7. 제2차 실험 해삼 고밀도순환여과시스템 모식도

표 6. 90일간 순환여과사육시스템 내에서 해삼의 초고밀도 사육 결과

	Aquarium(300L)	B.W(kg)/3.3m ²
Initial	Total wt.(kg)	103
	Number	4,273
	Individual wt.(g)	24.1
	Length (cm)	20.2±5.1
Final	Total wt.(kg)	74.1
	Number	3,014
	Individual wt.(g)	24.59
	Length (cm)	22.1±5.7
Total weight gain(kg)	-28.9	-281
Growth times	decreased	decreased
Feed Conversion	-	-
Survival rate(%)	71.0	71.0

이 점에 대하여 고찰해 보면 720kg의 한계점에 도달하게 된 이유로서는 여러 가지가 있겠지만 그 중에서도 첫째, 본 실험에 사용된 사육조는 원통형수조였지만 초고밀도상태에서는 저층의 격막에 해삼이 층으로 쌓여 있었기 때문에 배설물의 축적이 일부분 일어나고 있었으며, 죽은 개체가 발생했을 때 이들의 신속히 제거하기가 힘들었기 때문에 많은 폐사율 나타내는데 일부 원인이 있다고 생각한다. 기존 문헌에서 지적된 바와 같이 해삼은 유기 암모니아에 의한 대량폐사가 주요 원인으로(Dong et al., 2005), 지목되기에 이점을 해결하기 위해서 별도의 저층배설물을 강제적으로 제거할 수 있는 장치가 요망된다(그림 8).

둘째, 대부분의 폐사체는 실험초기에 핸들링에 의한 피부괴사에 의한 질병으로 폐사하였다. 제1실험의 경우와 마찬가지로 물리적 상처에 의한 피부괴사의 대책이 절실히 필요하였다.

본 실험의 가장 큰 의의는 지금까지 통영지역에서는 여름철에 해삼이 일시적으로 나타났다가 소멸하는 현상이 매년 되풀이 되고 있으나, 이를 해결할 방법이 없었다. 본 실험을 통하여 초고밀도로 물해삼의 월하가 가능해졌기 때문에(그림 8) 연중 안정적으로 해삼을 공급받을 수 있는 길이 열렸다.



그림 8. 초고밀도 상태의 월하실험 성공과 저층격막의 개선방안 제안

3. Pilot-scale(1,000L)에서의 사육실험

(1) 서론

본 실험은 제2차 실험에서 실험목표인 1,000 kg/3.3m²에 도전하기 위한 방법으로 먼저 1,000 kg/3.3m²생체량을 방양(loading)한 후, 순환여과시스템 내에서 최대 719.5kg/3.3m²라는 초고밀도로의 부하가 가능했기 때문에 이 결과를 근거로 pilot-scale규모인 1톤 원형수조에서 성장실험을 목표로 하였다.

또한, 초고밀도상태를 정상적으로 유지하기 위해서는 원통형의 저층격막과 바닥의 강제순환이 필요하였기 때문에 이를 개선한 지금까지의 제1차실험과 제2차실험의 결과를 종합하여 초고밀도 수준까지 해삼을 양성시켰다.

이 실험에는 제2차실험에서 사육하던 월하해삼의전량 74.1kg을 초기 방양밀도로정하고, 먹이를 공급하면서 1톤원형수조(바닥면적 1m²)에서 최대고밀도까지 양성함을 목표로 하였다. 즉, 74.1 kg/1m²(=244.53 /3.3m²) 1,000 kg/3.3m²까지 양성함을 목표로 하였다.

(2) 실험장치와 작동

경상대학교 해양과학대학 해양생명과학과 배양실에 장치를 주문제작 및 자가설치하여 시스템을 운영하였으며 시스템을 이루는 장치들은 아래같다.

①사육조

사육조는 주문제작한 원통형아크릴수조(지름116cm X 높이120cm)로서 수량은 1,000 L을 유지하였으며, 아래쪽에 아크릴재질로 원뿔을 연결하고 분의 배출이 용이하도록 하였다. 원뿔의 상단에는 그물망으로 짠 격리막을 두어 유입수의 흐름과 동시에 변은 밀도로 배출되는 반면에 해삼은 격리막 상단에 부착면적을 많이 제공받아 밀도를 최대한으로 유지할 수 있도록 하였다. 격리막 하단에는 소형의 수중모터를 설치하여 강제적으로 수류를 발생시키도록 하였다.

②생물학적여과조

생물학적 여과조는 유동 여과매디아를 사용하였다. 유동 매디아의 크기는 직경 1cm, 길이 1cm의 PP관을 사용하였다. 폭기시 매디아가 생물학적 여과조내에서 원활한 유동이 되도록 하였다. 생물학적 여과 매디아는 1톤 FRP여과조에 1/3씩 보충하였으며 하나의 여과 수조당 생물학적 여과 매디아의 총면적은 1.8km²로서 고정 매디아에 비해 월등히 많은 면적을 사용하여 실험에 사용하였다. 생물학적 여과를 여과조의 지름 114cm, 높이 1m의 FRP통을 사용하였으며 아

정중앙 부분에는 에어스톤을 설치하였다. 폭기량은 180 L/min으로서 여과재가 충분히 교반될수 있도록 사용하였다.

③수류계통도

제 3차실험에서 구성한 pilot-scale의 고밀도순환여과 시스템은 그림 9, 10, 11에 나타난 바와 같이 3원화된 수류계통도를 사용하였다. 제1수류계통도는 주수류이고, 제2수류계통도는 침전물을 배출시키는 by-pass수류, 제3수류계통도는 기타 부수수류계통도로 구성하였다.

제1수류계통도는 사육조 ⇒ 포말분리기 ⇒ UFO필터 ⇒ 필터여과수 ⇒ 제1차침지식생물여과조 ⇒ 제2 차침지식생물여과조실 ⇒ 해조류번식탱크(3차처리) ⇒ 순환펌프 ⇒ 사육조로 순환하는 계통도이며, UFO필터 ⇒ 필터여과불능수 ⇒ 사육조로 직접가도록 구성되어 있다.

제 2수류계통도는 사육조 ⇒ 침전조 ⇒ 상층수 ⇒ 거품분리기 ⇒ UFO필터 ⇒ 제1차침지식생물여과조 ⇒ 제2차침지식생물여과조실 ⇒ 해조류번식탱크(3차처리) ⇒ 순환펌프 ⇒ 사육조로 순환하는 계통도이며, 침전조 ⇒ 하층수 ⇒ 고히물분리기(hydroclone) ⇒ discard로 구성되어 있다.

제3수류계통도는 부수수류계통도로서 생해수 ⇒ 취수펌프 ⇒ 모래여과기 ⇒ 카트리지필터 ⇒ 자외선살균기 ⇒ 냉각기 ⇒ 사육조로 구성되어 있다.

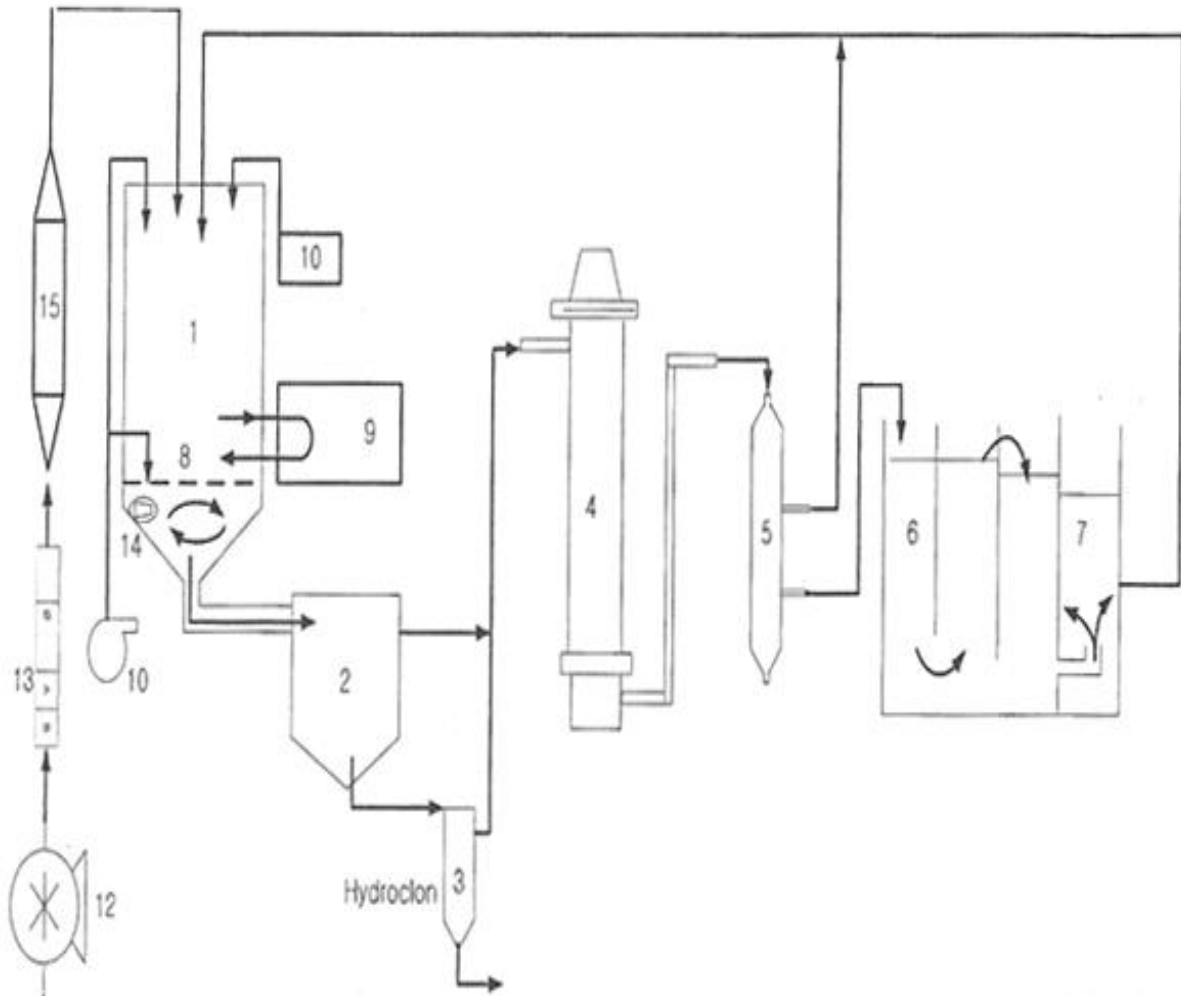
시작 4주전 시스템 구성을 완료하여 여과세균이 충분하게 발생하도록 하였다. 실험에 사용한 유동층 여과매디아의 일반적 특성은 제2실험에서 사용한 것과 동일하다. 오염원별 발생물질과 각각의 제거 장치와 순환여과시스템의 설계사양은 제2실험에서 사용한 것과 대체적으로 동일하다.

④질산염 및 CO₂제거를 위한 해조류의 활용

어류로부터 배출된 유독한 암모니아는 생물학적여과조를 거치면서 산화세균에 의해 산화작용이 일어나면서 NH₃ ⇒ NO₂ ⇒ NO₃로 생화학적 변환을 거치면서 무독의 질산염(NO₃)으로 전환된다. 그러나, 이 질산화작용은 독성이 있는 암모니아를 무독한 상태의 질산염으로 질소성분의 형태는 변환시킬 수는 있지만, 질소의 총량을 감소시키지는 못한다. 그래서 이들의 총량을 감소시키는 과정이 필요하다. 본 실험에서는 질산염을 해조류의 영양염으로 흡착시키기 위한 목적으로 순환여과시스템에 적합한 해조류를 탐색하였다. 본 실험에 사용한 해조류는 4종류로

애기구슬말, 납작과래, 영킨실, 모자반을 사용하여 이들의 순환여과시스템내에서의 생존과 영양염류 흡착에 관해서 조사하였다.

또한 사육시스템내에서 CO₂의 축적도 문제를 야기한다. 시스템내의 이산화탄소는 해삼체내의 혈액의 산소운반능력을 감소시키기 때문에 일반적으로 20 ppm이하로 유지시켜야한다. 이런 이유 때문에 여과시스템내의 해조류의 활용은 대단히 중요하다.



1:사육조, 2: 침전조, 3::Hydroclone, 4:거품분리지, 5:UFO, 7:Hydroponics, 8: 격막분리장치, 9:냉각기, 10:자동급이기, 11:펌프, 12:모래여과기, 13:카트리지필터, 14:수류펌프, 15:UV소독장치

그림 9. Pilot-scale의 고밀도순환여과시스템의 전체 구성도



그림 10. 해삼 순환여과시스템내의 구성장치

A: UFO여과필터System B:거품분리장치 C: 유동층생물여과조

D: 자동먹이 공급기



그림 11. 해삼 순환여과시스템을 이루는 장치

A: 1톤 원형아크릴수조 B: 격막분리장치에 부착한 해삼의 모습 C: 1.5톤수량의 침전조(옥외설치) D: 시스템내에서 연중서식하는 해조류의 군락(옥외설치)

⑤ UFO필터에 의한 먹이와 암모니아의 분리시도

막 분리 기술은 미세공(Pore)을 가진 분리막을 이용하여 액체 또는 기체 속에 존재하는 용존물질들로부터 선택적인 분리가 가능한 분리 공정으로 시도 할 수 있다(그림 12). 현재 실험에 사용하고 있는 사료는 발효사료로서 액체 형태의 사료이다. 이러한 액체형태의 사료는 물속에서 물과 함께 섞여 수조 밖으로 쉽게 배출되는 단점이 발견되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 분자량의 정도에 따라 물처리가 가능한 중공사막 필터를 사용하여 사료 유실량을 최소화 하여 사료효율 증가를 시도하였다.

실험에 사용한 중공사막 필터는 (주)퓨어엔비텍에서 구매하여 사용하였다. 필터는 아래와 같은 특성을 가지고 있다(표 7). 중공사막은 속이 비어 있는 극히 미세한 섬유로서 그 벽면에는 스펀지와 같이 무수히 많은 구멍이 뚫어져 있다. 그 구멍의 크기는 0.01-0.001 μm 로 미립자와 탁도 유발물질, 세균, 곰팡이 등의 미생물 제거에 효과적이다. 실험에 사용한 UFO여과 시스템의 운영은 초기 설정값 50분 운영에 10분 역세과정을 자동으로 수행하게 프로그래밍 하였다. 실험에 사용한 UFO는 UFO필터의 안전을 위하여 매일 아침 9시경 1회 역세척(Backwashing)을 실시하였다. 역세척의 과정은 린스 과정 10분간 작동시키며 CIP 과정은 20분간 수행하고, 다시 최종적으로 린스를 10분간 수행하여 여과필터 내부막에 존재하는 이물질을 제거하게 된다. UFO필터의 운영 조건은 1시간 마다 50분 운영에 10분간 역세척을 실시하여 사용하였다. UFO필터의 운영 조건은 주수의 유량은 20 ℓ /LMP으로, 수압은 1.8 bar로 유지하여 운영하였다.

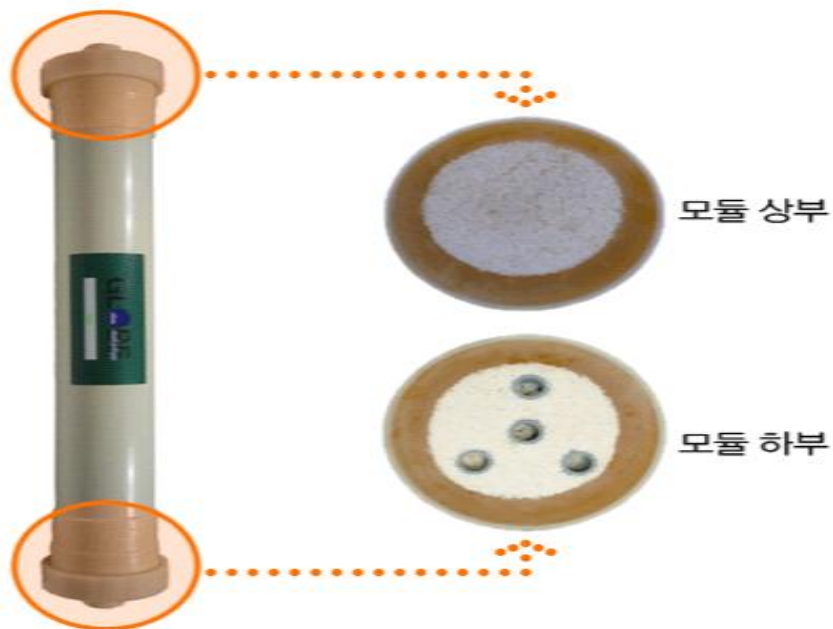


그림 12. 중공사막 필터 내부모습

표 7. 해삼순환여과시스템에 사용된 UFO 필터의 제원

	모듈(inch)/모듈길이(mm)	6 / 1350
제원	막내경/외경(mm)	2.1
	유효막 면적(m ²)	18
	분획분자량(Dalton)/공칭구경(μm)	0.1K / 100K
성능	1) 순수투과량(m ³ /hr)	1.8
	2) 설계 투과 수량 (m ³ /hr)	0.8
	최대 공급 압력(kg/m ²)	3
사용조건	최대 사용 온도(°C)	50
	ph 범위	2-10

(3) 실험해삼과 그 관리

본 실험에 사용한 실험해삼은 제2실험에서 실험이 완료된 후 남은 해삼 전체를 사용하였다. 이 해삼의 크기는 체장 22.1cm, 체중 24.59g를 사용하여 원통형 1톤수조에 3,014마리를 방양하여 초기밀도 74.1 kg/1.0m² (=244.53 kg/3.3m²)로 방양하였으며, 60일 후에 생존개체 전수를 측정하였다.

본 실험은 성장을 목표로 하기 때문에 제2차실험과는 달리 사료의 급이에 각별한 신경을 쓰면서 성장도에 최선을 다하였다. 이 때 사료의 공급은 자동사료공급기를 사용하여 정량으로 사료급이를 하면서 시스템에 사료에 의한 부하를 최대한 줄였다. 용존산소 공급은 공업용산소를 소량 주입하여 용존산소량은 5 ppm 이상을 유지하도록 하였다. 자체 오염을 막기 위하여 온수순환펌프를 사용하여 유입량은 26.4 L/min으로 물의 순환율은 38일/회전였다.

(4) 실험사료의 급이

본 실험에 사용한 사료는 자체 제작한 발효사료로서 제1, 2차실험에 사용한 것과 동일한 것을 사용하였다. 사료의 급이는 체중의 3.0%(친전물중량)를 자동사료공급기를 사용하여 매일 급이하였다. 수질체크는 제1, 2실험의 경우와 동일하게 하였다.

(5) 실험결과

①수질환경

해삼 초고밀도순환여과시스템의 운영 중에 나타난 수질 결과는 표 8, 그림 15, 16에 나타난 바와 같이 양호한 측면을 보였다. 수온은 18±1℃로 관찰되었다. pH의 범위 역시 7.8-8.2, DO는 5.8 mg/L 이상으로 유지되었다. 염분도는 32±2‰으로 나타났다.

초고밀도로 해삼양성 시 시스템내에서의 TAN의 변화폭은 최저 1.1±0.21 mg/L에서 최고 2.4±0.19 mg/L로 나타났다(표 7). 침전조에서 2.4±0.19 mg/L으로 가장 높게 나타났으며, 생물학적 여과조에서는 1.1±0.20 mg/L로 가장 낮은 수치를 나타냈다

②질산염 및 CO₂제거를 위한 해조류의 활용

질산염 및 CO₂의 효과적 제거를 위하여 다양한 해조류를 사용하였으나 시스템 도입 후 2주 이내에 대부분이 녹아 없어졌다. 시스템내 자연적으로 연중 서식하는 해조류로서 납작파래(*Enteromorpha compressa*)가 가장 유용하였다. 그 외 종은 이 종과의 경쟁에서 모두 견디지 못하였다(그림 15, 16, 17)

납작파래의 경우 이 실험의 온도인 18℃에서도 성장이 가장 우수한 것으로 타연구 결과(이동훈, 2003)에서도 확인가능하였다.

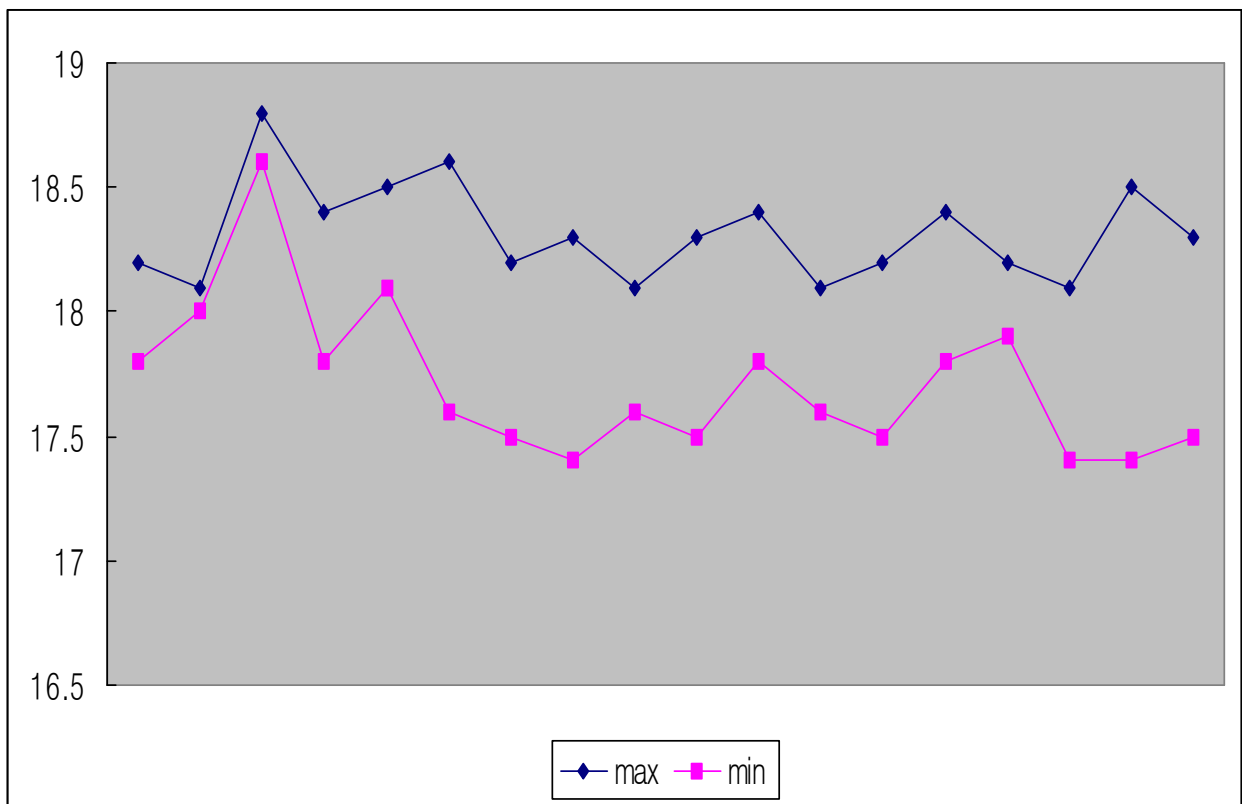
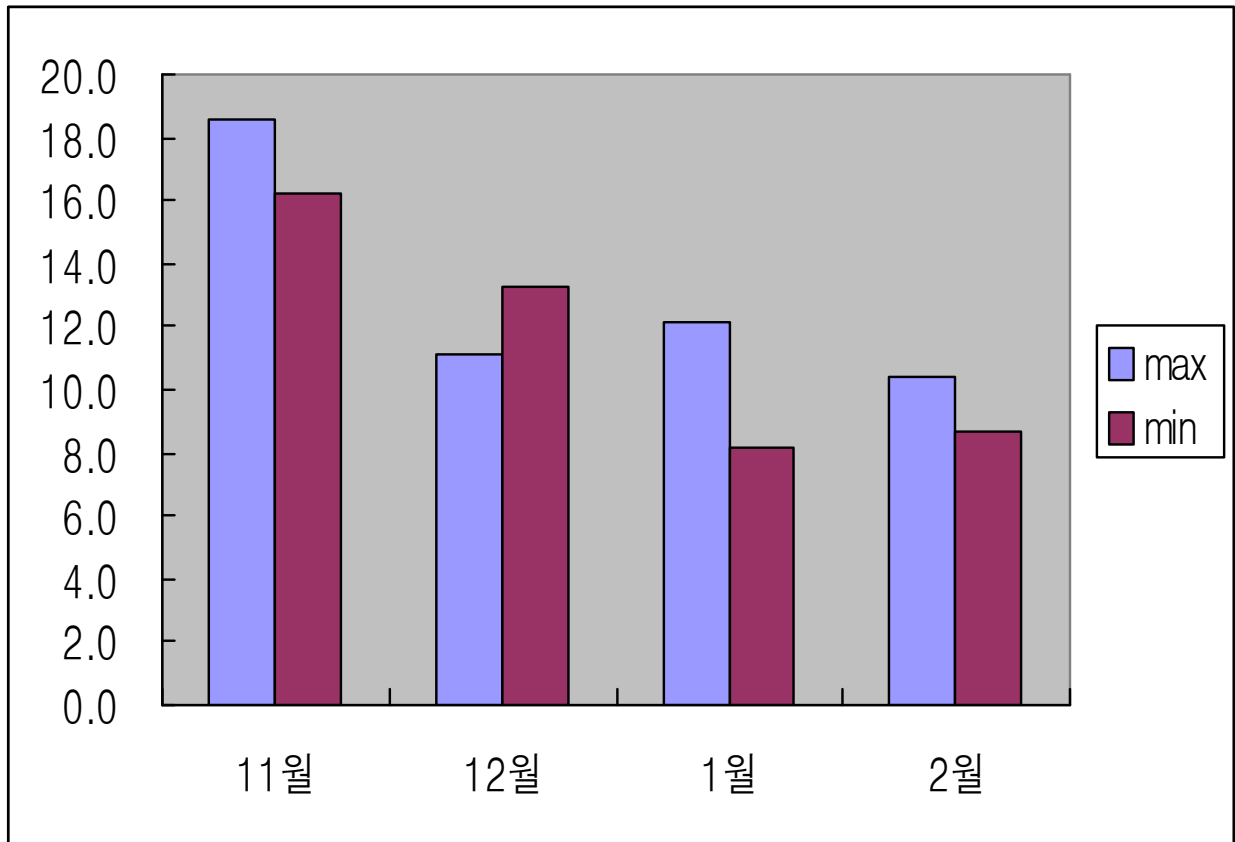


그림 13. 통영시 연안수온과 순환여과시스템의 수온변화
(상:통영시 연안수온, 하:순환여과시스템 수온)

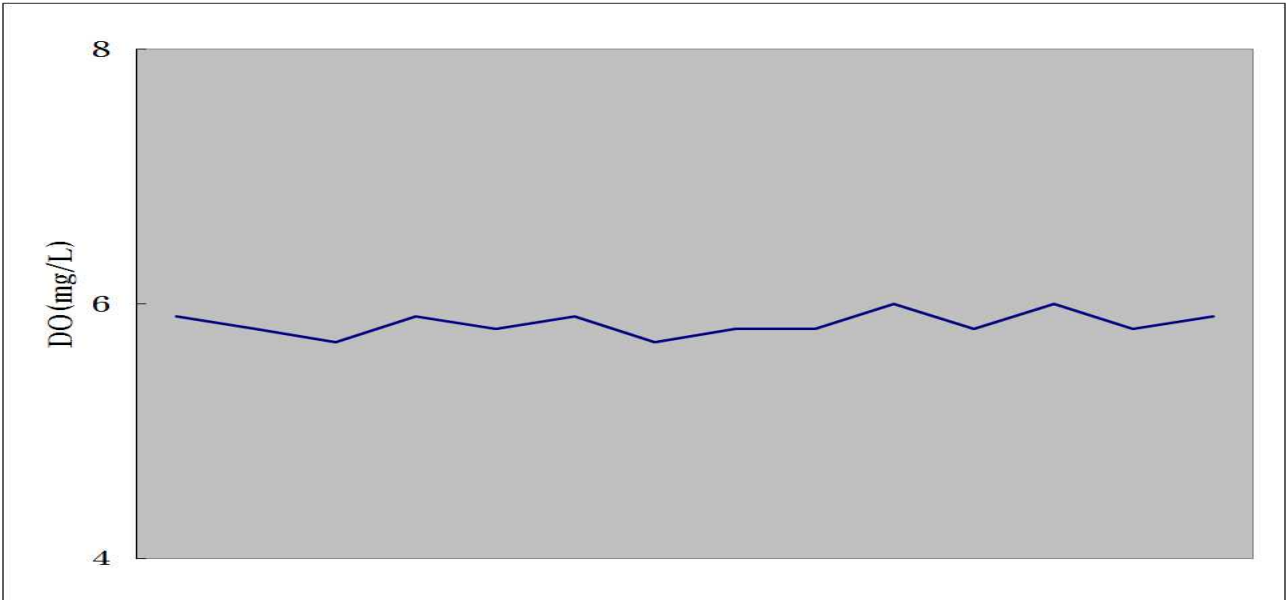
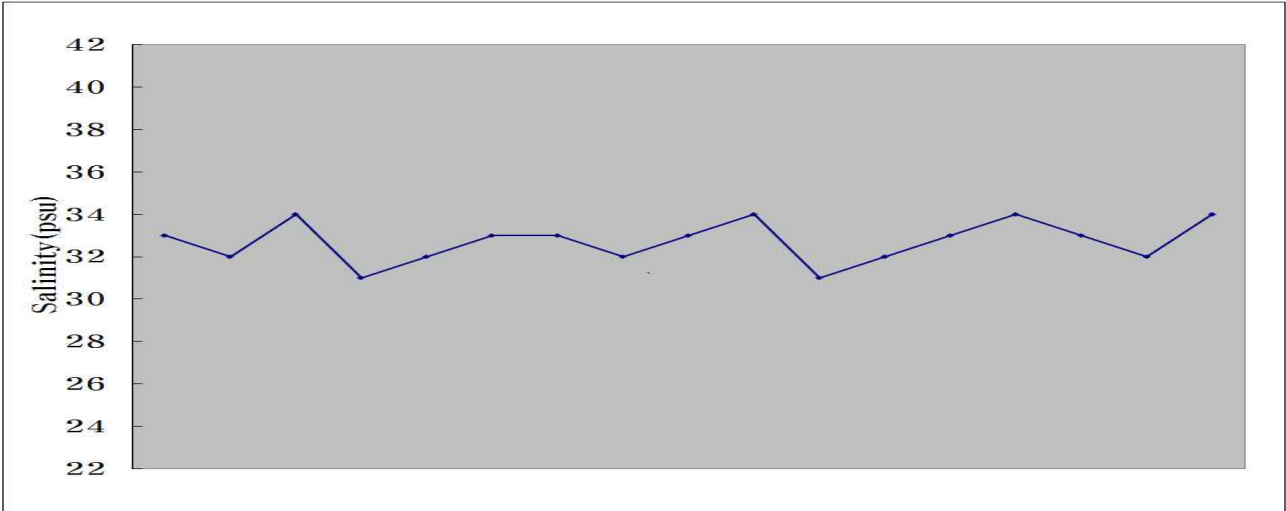
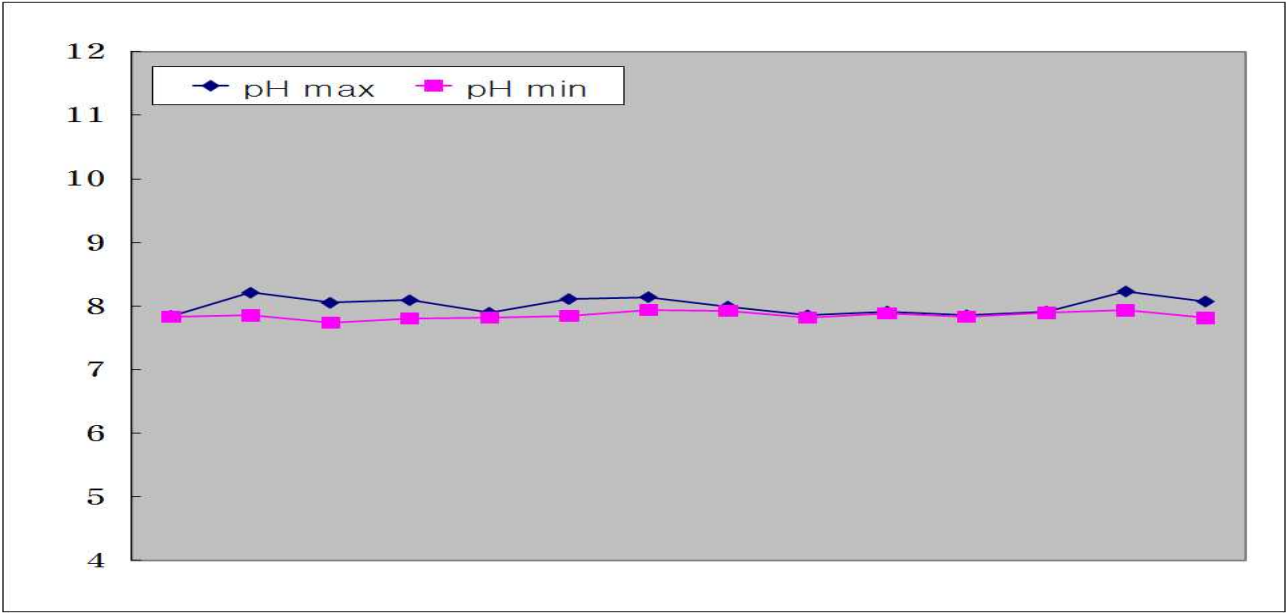


그림 14. 제3차 해삼 고밀도 순환여과시스템의 pH, DO, Salinity의 변화

표 8. 해삼고밀도 순환여과시스템 내에서의 TAN값의 변화

장 치 명	TAN (mg/L)
Sediment tank	2.4 ±0.19
Foam fractionation tank	1.6 ±0.22
Biological filter tank	1.1 ±0.20
Rearing tank	1.8 ±0.24



그림 15. 다양한 해조류를 활용한 질산염 제거 및 CO₂제거모습



그림 16. 지층이(*Sargassum thunbergii*)를 이용한 질산염 제거 및 CO₂제거



그림 17. 자연 생성된 납작파래의 실험 후 습중량 측정

③ UFO필터에 의한 먹이와 암모니아의 분리시도

제 3차 고밀도 실험에서 중공사막 필터를 혼용하여 운영하였으나, 발효사료의 작은 입자 크기는 대략 $100\mu\text{m}$ 이하로 크기가 작고 사료속에 뿔대체물질로 추측되는 광물질은 UFO 멤베레인의 공극을 막아 막오염이 심화되어 폐쇄현상이 발생하게 되었다. 이러한 현상으로 인하여 운영시스템의 정격 수압보다 훨씬 높은 2.4-2.8bar로 유지되어 운영상의 문제점이 야기되었다. 여러 가지 개선방안을 시도하였지만, 막의 요로현상을 해결하지 못하였기 때문에 UFO필터로서 해삼먹이와 암모니아를 분리하는 것은 실용적이지 못하였기 때문에 해삼 순환여과시스템에의 적용은 곤란한 것으로 판단되었다.

④ 성장도

사육결과는 표 9에 나타낸 바와 같이, 체장 22.1cm, 체중 24.59g짜리를 사용하여 원통형1톤수조에 3,014마리를 방양하여 초기밀도 $74.1 \text{ kg}/1.0\text{m}^2$ ($=244.53 \text{ kg}/3.3\text{m}^2$)로 방양하였으며, 60일 후에 생존율 90.1%의 높은 생존율로서 평균 27.65g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 $75.1 \text{ kg}/1.0\text{m}^2$ (수조)로서 단위면적당 밀도는 $247.83\text{kg}/3.3\text{m}^2$ 에 해당하였다.

특이한 점은 초고밀도의 기대와는 달리 높은 생존율과 양호한 수질환경에도 불구하고 총성장량 1.0kg, 사료계수는 14.1이라는 극히 저조한 성적을 나타냈다. 사료계수 14.1이라는 수치는 거의 사료를 활용하지 못했다는 것을 의미한다. 이는 제 1차실험에서는 직사각형수조에서 양호한 사료계수를 나타냈지만, 제 2차실험과 제 3차실험의 경우 원통형수조 내에서의 해삼의 섭이생태에 관한 근본적인 의문이 제기되었다.

표 9. 60일간 순환여과사육시스템내(1톤)에서 해삼의 고밀도 사육 결과

	Aquarium(1,000 l)	B.W(kg)/3.3m ²
Initial	Total wt.(kg)	74.1
	Number	3,014
	Individual wt.(g)	24.59
	Length (cm)	22.1±5.7
Final	Total wt.(kg)	75.1
	Number	2,716
	Individual wt.(g)	27.65
	Length (cm)	23.2±6.5
Total weight gain(kg)	1.0	-
Growth times	1.02	-
Feed Conversion(dry basis)	14.1	-
Survival rate(%)	90.1	90.1

4. 양식형태(노지와 채룡)에 따른 섭이생태확인 사육실험

(1) 서론

본 실험은 제 2차실험에서 계획한 초고밀도 양성과는 달리 높은 생존율과 양호한 수질환경에도 불구하고 총성장량 1.0kg, 사료계수는 14.1이라는 극히 저조한 성적을 나타냈다. 이는 지금까지의 실험을 종합해 볼 때 제1차실험에서 직사각형수조에서는 양호한 사료계수를 나타냈지만, 제 2차실험과 제 3차실험의 경우 원통형수조내에서 성장이 거의 정지되었기 때문에 해삼의 섭이생태에 관한 근본적인 의문이 제기되었다.

, 본 가설을 증명하기 위해 노지양식과 채룡양식의 비교실험이 필수적이지만, 국내에서는 현재 노지양식을 수행하는 곳이 없기 때문에 중국에서 일반화되어 있는 중국의 산둥지방의 해삼전문양식장과 공동연구로서 본 연구를 수행하게 되었다.

(2) 실험장소 및 양식시설

중국 현지 양식장은 위도: 37°29'10.50"N, 경도: 118°51'49.14"E로 중국 산둥성 동영시 하이홍 수산의 해삼 양식장에서 실시하였다(그림 18, 19).

취수시설은 조석간만의 차이에 의하여 육지로 유입되는 해수를 해수 펌프를 사용하여 침전조에 이송하여 다수의 부유 현탁물을 침전시킨 후 해수로를 이용하여 각 양식장에 공급하게 된다(그림 20, 21).



그림 18. 중국 현지 실험양식장 위치



그림 19. 중국 현지 실험양식장 입구(하이홍수산)



그림 20. 중국 현지실험 해수취수 펌프시설



그림 21. 중국 현지 실험 해수취수 후 1차 침전조 및 사육수 보충수 수조

(3) 실험방법

실험방법은 2008년 11월에서 2009년 8월까지 중국 하이흥 수산의 배양장(150m X 150m)로서 1개 양식장의 면적은 22,500m²이었다(그림 22, 23, 24, 25). 해삼 양식방법은 노지 바다양식과 표층부근에 채룡을 메다는 채룡식 양식방법으로 수행하였다(그림 26). 급이는 무급이방식으로 하였으며, 취수시 주입수에 의하여 자연적으로 공급되는 먹이양이 전부였다. 다만 하면과 동면이 끝나는 시점에서 약간의 보충사료인 건조 스피루리나와 oligosaccharide제품을 일부 공급하였다.

실험에 사용한 해삼은 인근 해삼종묘장에서 구입한 것으로 노지양식에는 체중 3g 짜리를 사용하였으나, 채룡양식에는 채룡의 구조적한계 때문에 도망을 방지할 수 있는 25g짜리를 방양하였다. 사용하는 채룡은 하이흥수산에서 별도 제작 주문하여 사용하였다. 채룡은 길이 60cm, 지름 40cm인 5단 채룡으로서, 이 채룡에는 15마리의 해삼을 수용하였다. 로우프(연승)은 150m짜리 3줄을 설치하였으며, 로프당 2.4m의 간격으로 채룡을 달아, 로프당 62개의 채룡을 설치하여, 총 186개의 채룡을 사용하였다. 채룡과 바닥과의 수심은 1m였다(그림 26, 27).

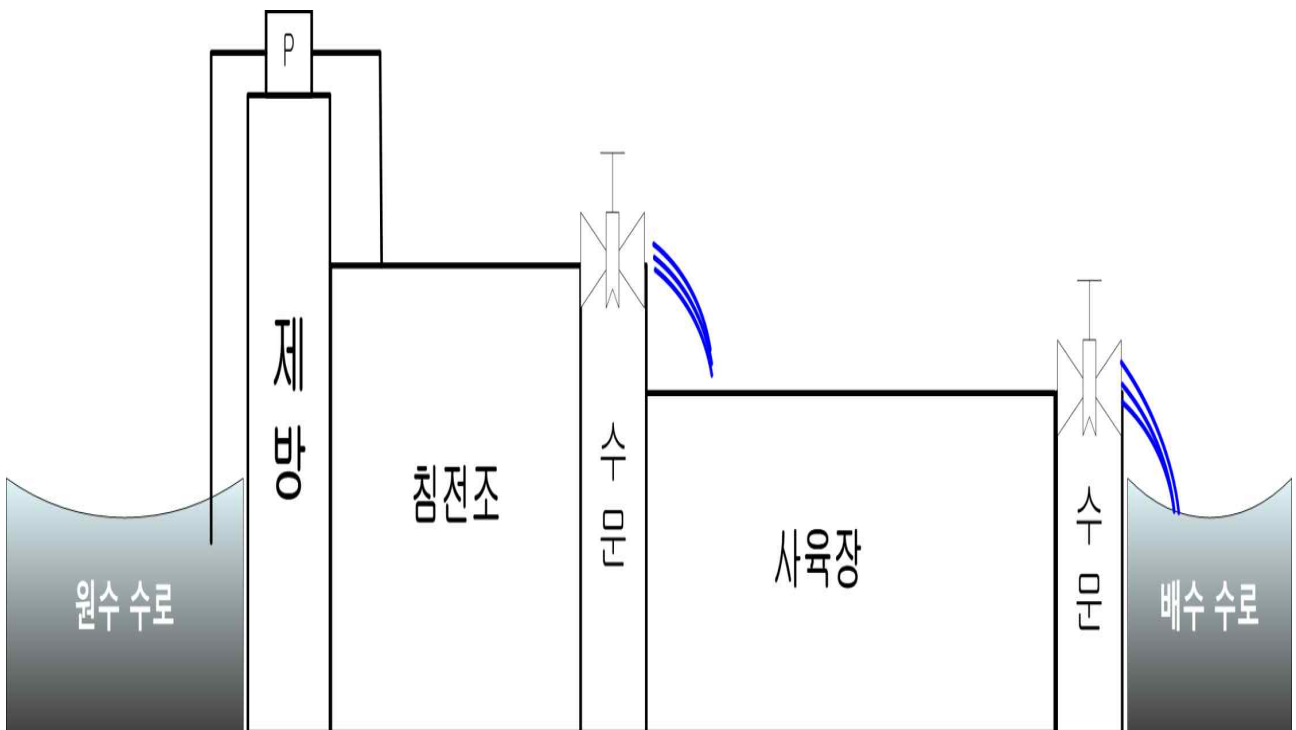


그림 22. 현지 실험 사육장의 전체 개요도



그림 23. 현지 실험 사육장의 시설

A: 해적생물 유입 방지망, B: 해삼 도망 방지망, C:배출수 개폐문, D:사육수 배출장면



그림 24. 현지 실험 중 해삼 양식장 관리

A:해삼관찰 및 논의, B: 해적생물 유입방지망, C:해적생물 유입방지망 교환,
D: 채롱양식관리

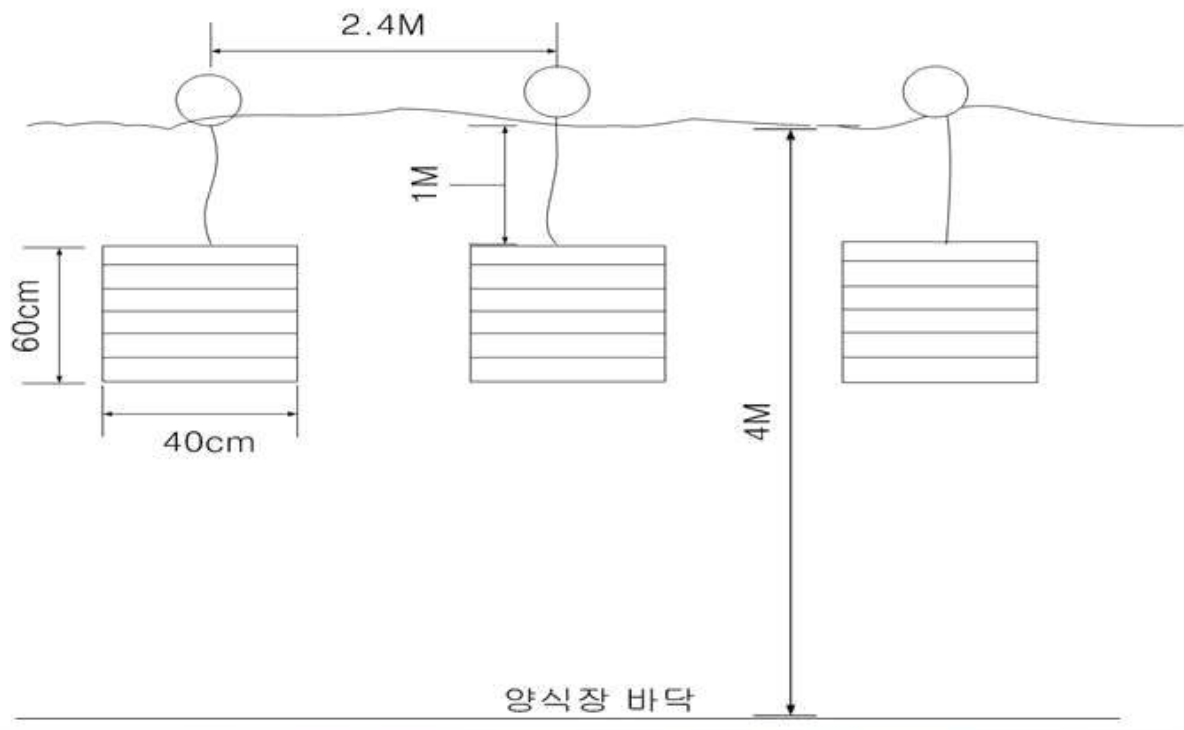


그림 25. 중국 채롱양식 모식도와 실제운영 모습



그림 26. 채룡양식장의 해삼 측정을 위한 샘플링 모습

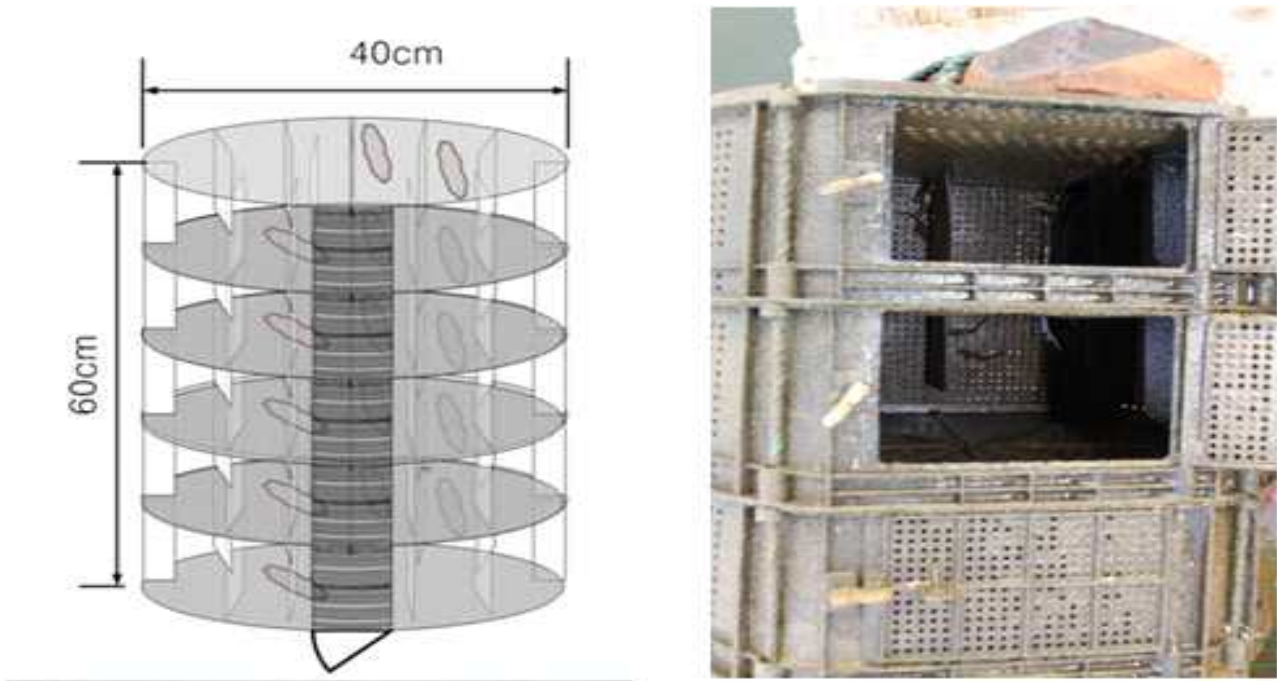


그림 27. 현장 실험에 사용한 채룡의 설계도 및 실제 모습

(4) 실험결과

제4차실험인 노지양식과 채롱양식간의 해삼의 성장 결과는 노지양식에서는 초기 3g짜리가 10개월 경과 후 평균 120g으로 성장한 반면, 채롱양식에서는 초기 25.6g짜리가 평균 29.8g(16.0-32.0g)으로 나타나, 성장이 거의 정지하였다(그림 28, 29, 30).

노지양식에서는 10개월 동안에 성장배수가 40배인데 비하여 채롱 양식에서의 성장은 거의 정지하는 현상이 발생하였다. 일반적으로 해삼은 퇴적물 섭식자(Sediment feeder)와 현탁물 섭식자(Suspension feeder)로 잘 알려져 있다(Buchsbaum et al., 1987).

추후 실험결과, 해삼의 먹이 생태에서는 부족한 먹이를 부유된 먹이로 여과섭식(Filter feeding)을 하는 것으로 알려져 있다. 열대 해삼의 경우 연간 1,000m²의 퇴적물 표층으로 부터 5.0mm 까지 먹이로 이용하는 것으로 알려져 있다(Uthicke, 1999). 즉, 해삼은 노지환경(자연상태)에서는 패류와 같이 부유된 먹이를 여과섭식 하는 것으로는 거의 성장할 수 없다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 고밀도 상태의 제2차 및 제3차 원통형수조실험에서의 성장부진 원인을 설명하는 중요한 단서가 된다. 향후 해삼의 섭이생태를 무시한 양식방법으로는 해삼의 성장을 기대할 수 없음을 반증한다.

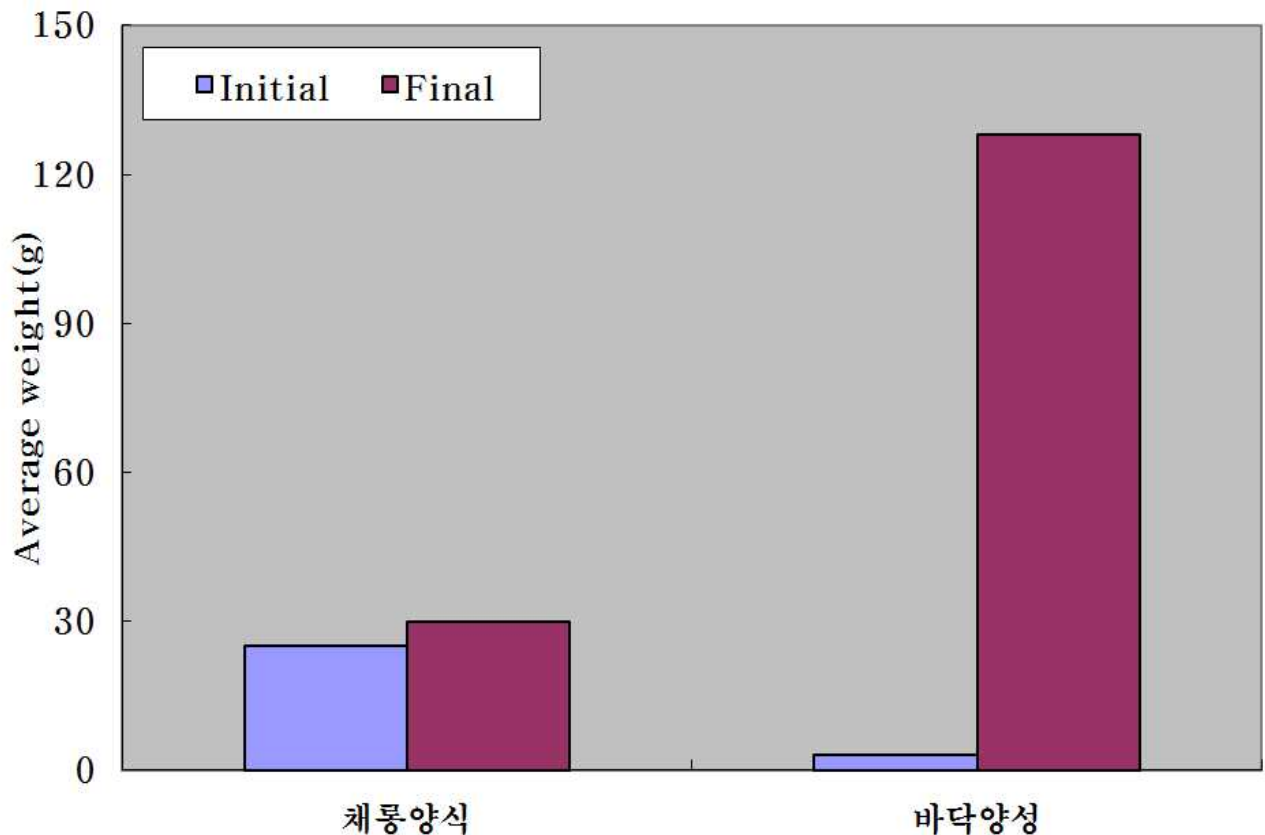


그림 28. 중국현지 노지양식과 채롱양식의 성장 실험결과



그림 29. 현지 실험의 바닥양식에서 정상 성장한 해삼



그림 30. 노지양식과 채룡양식 해삼의 성장 차이

5. SRS(Shallow Raceway System)에서의 사육실험

(1) 서 론

본 실험은 제1차 직사각형수조에서의 성장결과와 제5차 실험인 노지양식과 채롱식 양식에서의 성장 결과와 해삼의 섭이생태학적인 면을 고려하여 SRS(Shallow Raceway System)에서 고밀도 해삼성장을 기획하였다. 최근에는 SRS시스템을 이용하여 밀도 높은 생산이 가능한 것으로 알려져 있다.

SRS시스템은 좁은 수로 형태로 낮은 수심이 큰 특징이다. 뱀장어 양식의 경우 유효 수심은 50-70cm으로 기존의 원형수조의 유효수심보다 현저히 낮으며 넓은 표면적으로 사료손실율이 적고 높은 순환율에 의한 암모니아, 불소화물 배출이 용이하여 고밀도 생산에 적합한 시스템이라 할 수있다. 특히 SRS순환여과 시스템으로 기획한 동기로서는 해삼의 섭이 생태인 detritus feeding을 고려하면서 높은 순환율을 달성 할 수 있기 때문이다. 또한 사육 수조내 양식생물에 가장 치명적인 암모니아 스트레스를 획기적으로 절감할 수가 있어 양식종의 생존율 향상과 생산량에 직결되어 나타난다(Hans and vitor, 1997). 최근 해외 어류 양식의 경우 일반 순환여과시스템과 SRS 순환여과시스템의 생산량은 약 2-3배 이상 성장 및 생산성 차이를 보이는 것으로 조사되었다(Albert and snorri, 2007).

즉, 이 연구에서는 제 2차, 3차 실험에서의 성장부진의 문제점을 해결하고 해삼의 섭이생태학적인 면을 고려하여 최적의 SRS시스템을 운영하고자 한다.

(2) 실험장치와 작동

경상대학교 해양과학대학 해양생명과학과 배양실에 설치하였으며, 사육조는 직사각형유리수조(가로200cm X 세로50cm X 높이50cm)를 주문 제작하였으며, 그 외 여과조, 침전조, 거품분리기 및 기타 장치는 제3차 실험에 사용한 것을 그대로 사용하였다. 수량은 500L규모로 유지하였다(그림 31).

본 SRS시스템의 특징은 수류계통도를 3원화하였다. 제1수류는 순환수체계이며, 제2수류는 배설물을 침전시키는 계통도이고, 제3수류는 기타 부수류계통도이다. 이 시스템을 원활히 수행하기 위하여 3-Way 솔레노이드밸브를 사용하였다.

이 실험에서는 3원화된 수류계통도를 사용하였다. 제1수류 계통도는 사육조 ⇒ 침전조 ⇒ 포말분리기 ⇒ 1차침지식생물여과조 ⇒ 2차침지식생물여과조 ⇒ 해조류번식탱크 ⇒ 순환펌프 ⇒ 사육조이다. 제 2수류 계통도는 사육조 ⇒ 침전조로 순환하는 수류흐름을 설계하였다. 제 2수류 계통도의 주된 이유는 부진한 사료계수와 성장을 개선하기 위함이었으며, 타이머를 활용한 마그네틱스위치의 NC회로를 구성하여 30분간 내부 순

환계통을 구성하였다.

SRS시스템은 높은 순환율이 큰 특징이기 때문에 여과능력이 충분해야 한다. 그리고 이 실험에서는 또한 내부순환계통의 제 2차 수류계통이 있기 때문에 사육에 적합한 환경여부를 필히 확인 해야 한다. 이러한 이유로 이 실험에서는 유기성 질소(TN)는 COD측정에는 중크롬산방법으로 측정하였다. 기타 항목은 이전 실험과 동일한 방법으로 유지하였다.

생물학적 여과조는 기존의 유동층 여과매디아 방식을 그대로 사용하였으며, 사료는 발효사료를 사용하여 해삼 체중의 3%(dry basis)를 급이 하였다. SRS시스템의 순환율은 48 회전/day이다. 그리고 해삼의 습성을 고려하여 배양장내 차광막을 모두 설치하여 외부에서 들어오는 빛을 차단하였다.

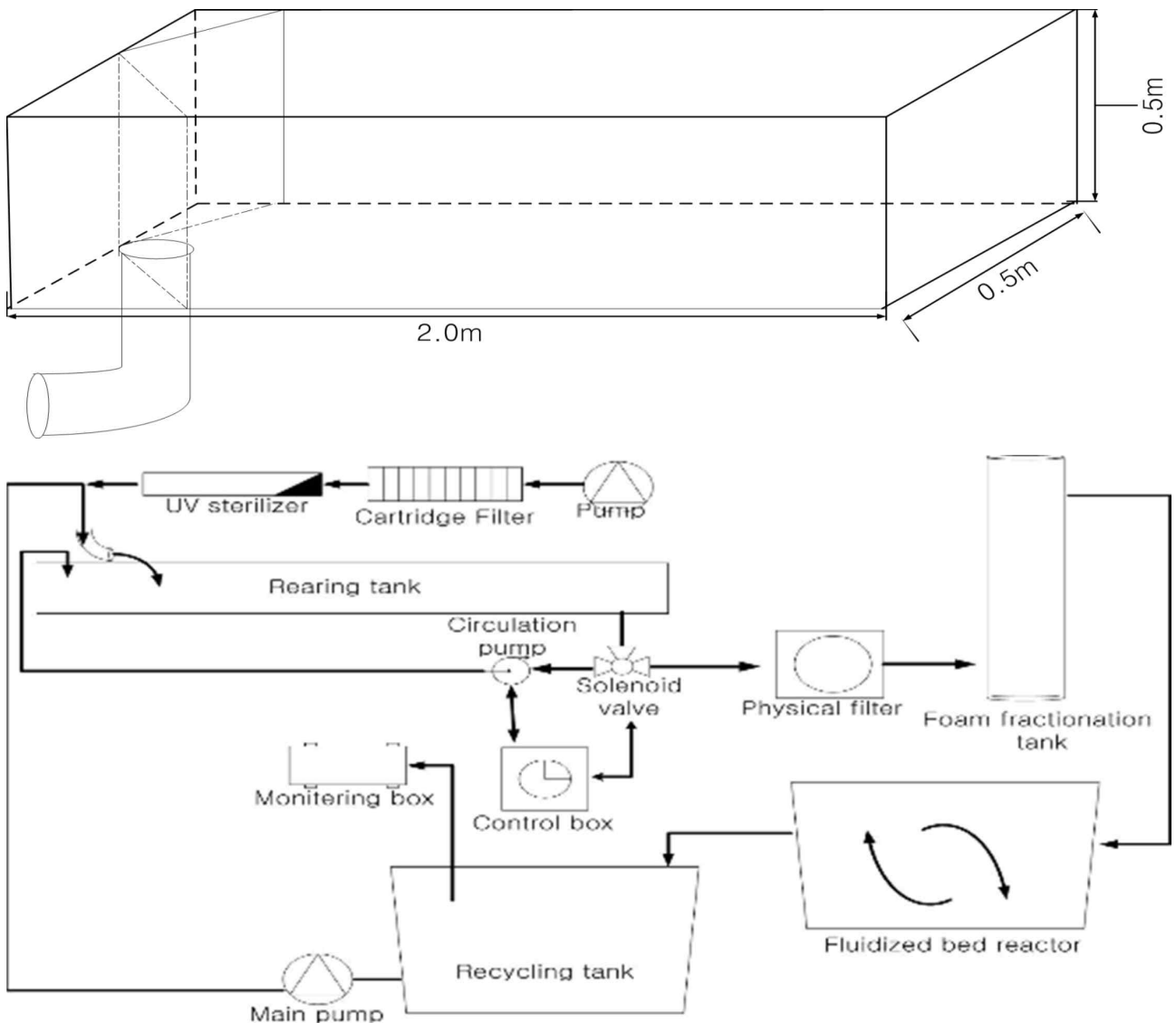


그림 31. SRS시스템 운영사육조와 전체 시스템 개요도

(3) 실험해삼과 관리

이 실험에 사용한 해삼은 통영시 산양면 소재 해삼양식장에서 사육중이었던 해삼을 사용하였다. 실험실내 사육을 위하여 과판에서 해삼을 분리하였으며(그림 32), 운반 후 penicillin계열의 polymycin을 이용하여 100 ppm에서 20분 약욕하여 입식시켰다. 크기는 체장 13-21cm, 15-21g(평균 18.15g)짜리를 사용하여 SRS시스템의 긴 사각 수조에 1,471마리를 방양하였다. 초기밀도 $26.7 \text{ kg}/1.0\text{m}^2 (=88.1 \text{ kg}/3.3\text{m}^2)$ 로 방양하였으며, 90일 후에 생존개체 전수를 측정하였다.

(4) 실험결과

사육결과는 표 10에 나타난 바와 같이, 해삼 체장 13-21cm, 15-21g(평균 18.15g)짜리를 사용하여 SRS시스템의 긴 사각 수조에 1,471마리를 방양하였다. 초기밀도 $26.7 \text{ kg}/1.0\text{m}^2 (=88.1 \text{ kg}/3.3\text{m}^2)$ 로 방양하여, 90일 후 SRS 순환여과시스템 내에서 이 밀도를 유지한 결과 평균 37.36g으로 성장하였다. 최종적으로 생산된 총중량은 $45.99 \text{ kg}/1\text{m}^2$ 로서 단위면적당 밀도는 $151.76 \text{ kg}/3.3\text{m}^2$ 에 해당하였다(그림 33).

SRS의 수조에서는 3.3m^2 로 환산시 151.76 kg 이 한계인 것으로 나타났다. 이 수치는 노지양식장의 비급이 양성방법 생산량인 $0.1 \text{ kg}/3.3\text{m}^2$ 1,500배 높은 수치에 해당한다. 또한 생존율에서도 70%이상으로 우수하게 나타났다. 즉, 이SRS시스템은 기존의 고밀도 시스템의 높은 생존 효율과 성장이라는 두 마리의 토끼를 잡을 수 있는 유용한 방안이라 생각된다(표 10).

그러나 SRS시스템은 낮은 사육 수심과 높은 순환율로 여과조의 부담이 크기 때문에 충분한 여과시스템이 확보되지 않으면 성공적인 운영이 불가능하다. 그리하여 이 실험에서는 수류계통을 2원화 시켜 사육조와 여과조에 수질부담이 없고 여과 효율이 높은 시스템을 운영하였다. 이러한 SRS 순환여과시스템 운영결과 수질 정보는 표 11과 그림 34에 각각 표기 하였다.

기존 실험 제 1차 사각 소형수조에서는 성장이 평균 4.74배 이었다. 그러나 저밀도 상태에서는 밀도, 수질, 암모니아 스트레스가 상대적으로 덜 하였기 때문일 것으로 추정한다. 어류에 있어서도 사육밀도가 낮을수록, 생존율과 성장률이 우수하다는 것이 일반적인 사실이다(Myong et al, 1998). 그러나 본 연구진의 실험에서는 고밀도 상태에서도 생존율이 비교적 우수한 70% 이상으로 나타났다. 이러한 이유는 순환여과시스템의 여과 효율능력이 고밀도 상태에서도 상실되지 않고, 발효사료를 사용함에 따라 수질관리가 용이 하였기에 성장배수 1.7 이라는 성장과 82.1%의 생존율을 동시에 달성한 것으로 사료된다.



그림 32. 실험 수행을 위한 준비 작업 모습
(A: 입식 후 운영 중 모습, B: 파관에서 해삼 분리작업)

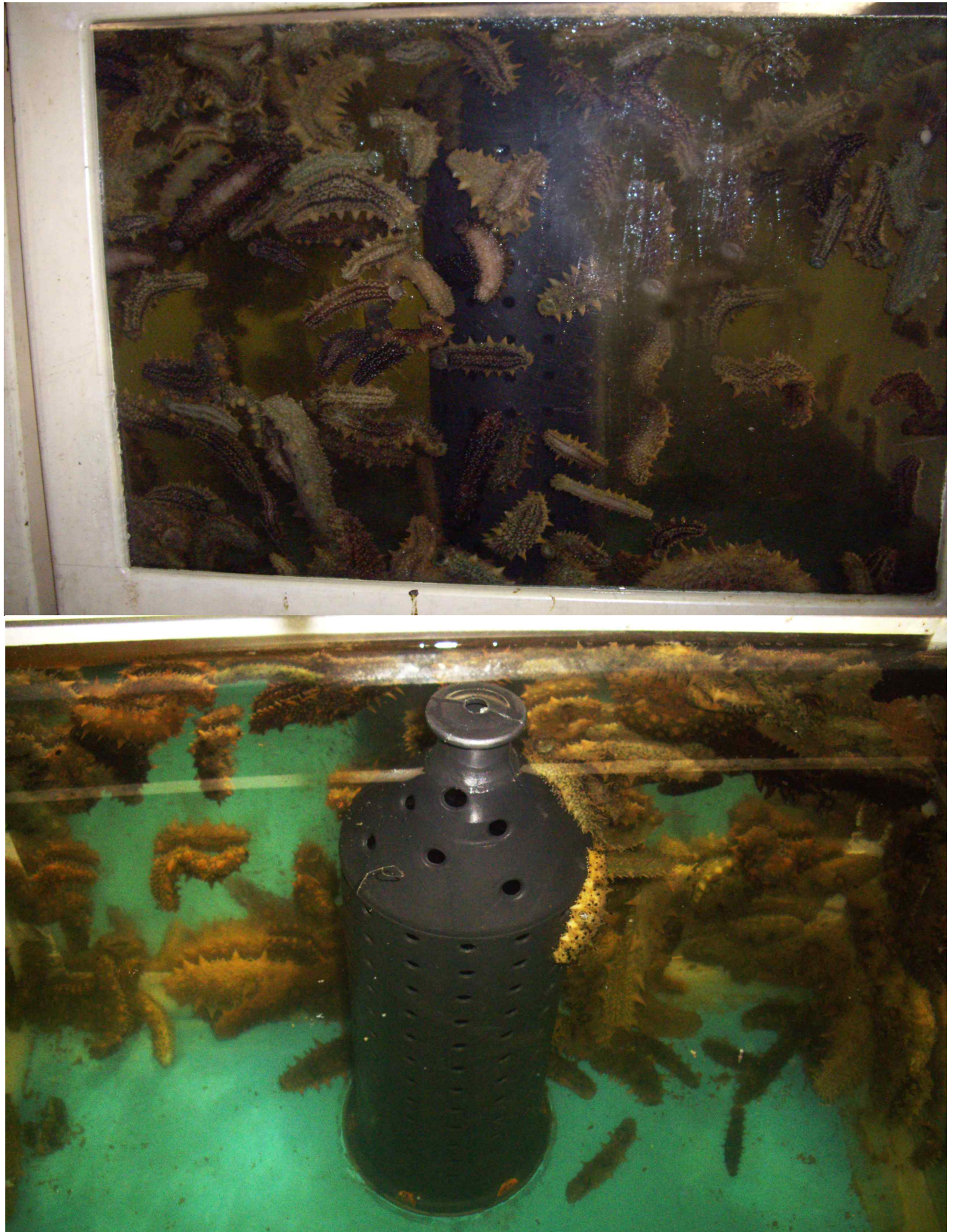


그림 33. SRS순환여과시스템으로 운영한 해삼 사육사진

표 10. 90일간 SRS시스템내에서 해삼의 초고밀도 사육 결과

		Raceway(1,000 l)	B.W(kg)/3.3m ²
Initial	Total wt.(kg)	26.69	88.07
	Number	1,471	4,854
	Individual wt.(g)	18.15	-
	Length (cm)	16.4±6.4	-
Final	Total wt.(kg)	45.99	151.76
	Number	1,215	4,009
	Individual wt.(g)	37.36	-
	Length (cm)	28.1±8.1	-
Total weight gain(kg)		19.30	63.69
Growth times		1.72	-
Feed Conversion(dry basis)		5.4	-
Survival rate(%)		82.6	-

표 11. SRS시스템의 사육수조 수질

Item	Culture Tank
Temperature(°C)	18±2.8
pH	8.1±0.6
DO(mg/L)	6.4±0.4
Salinity(‰)	32±4

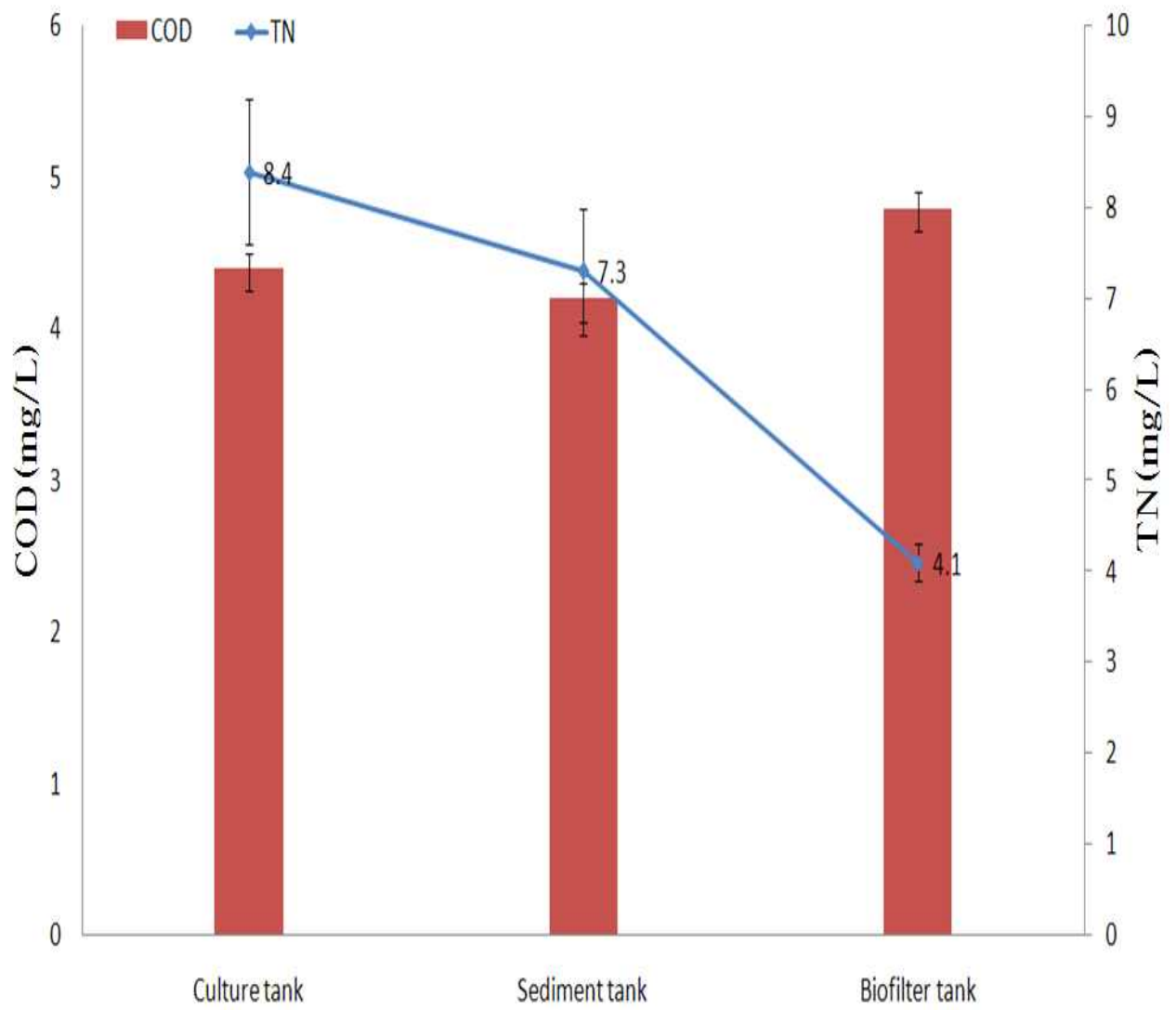


그림 34. SRS순환여과시스템의 각 장치별 TN, COD

6. 현장실증 사육실험

(1) 서론

제2차년도에는 제 1차년도 실험실의 Pilot-scale에서 도출된 실험결과를 근거로 현장 적용 실험을 수행하고자 하였다. 제 1차년도 실험에서 Lab-scale에서 Pilot-scale로 Scale-up하면서 많은 문제점이 도출되었기 때문에 이번 현장실증실험에서도 Pilot-scale에서 현장 규모로 Scale up시의 나타나는 문제점을 도출하고자 하였으며, 특히 현장실증실험의 사육실험결과를 토대로 경제성 분석을 시도하고자 하였다. 여기에서 도출된 문제점들이 향후 육상해삼사육 기술개발의 중요 연구방향 제시에 보탬이 되도록 하였다.

(2) 실험장치와 작동

경상남도 통영시 산양면의 참여기업인 (주)엠&엠바이오의 사육시설 일부를 사용하여 현장실증 실험을 수행하였다. 기존의 어류 양식에 사용하였던 일반적인 형태는 온도유지에 많은 비용과 노력이 소모된다. 그래서 이 실험에서는 기존의 수조와는 달리 특수한 형태의 순환여과시스템을 도입하였다(그림 35).

이 실험에 사용한 수조는 13톤(가로4m X 세로6m X 높이1.5m)이었으며, 수조 바닥은 10%의 경사도를 가지고 있어서 사육도중 발생하는 사료의 찌꺼기, 해삼변이 중양을 통과하여 사육조 밖으로 신속히 배출되도록 하였다(그림 36).

여과조는 기존의 실험장치와 유사한 방법으로 침전조를 거쳐 상층수는 생물학적 여과조(지름4m X 높이 1m, 수량 13톤)로 이송하여 암모니아를 제거하여 다시 온도조절장치 등을 통하여 사육수조로 유입되게 하였다. 원수의 관리는 침전조(가로8m X 세로 10m X 높이2.0m)에서 침전시켜 1 μ m 카트리지필터로 여과한 후 온도조절장치를 거쳐 사육수조에 보충하였다(그림 37).

현장실험에서 사육수의 적정 온도를 유지하기 위해서 동계기간동안 사용한 가온장치로서 산업용 보일러(100,000 kcal/h)의 온수공급능력은 42 L/min(Δ 40)이다. 겨울철 순환수에 의한 열의 손실을 최소화하기 위하여 배출수에서 Heat pump(이동가스:R22)를 사용하여 에너지 소비를 최소화하였다. 하절기 동안에는 냉각장치를 사용하였으며, 냉각기 능력은 56,000 kcal/h로서 냉수의 순환량은 240-320 L/min이며 압축기 펌프의 용량은 24 Kw이고 AC380V, 3상이다. 이를 사용하여 겨울철에는 15 $^{\circ}$ C, 여름철에는 18 $^{\circ}$ C로 운영하였다(그림 38, 표 12).

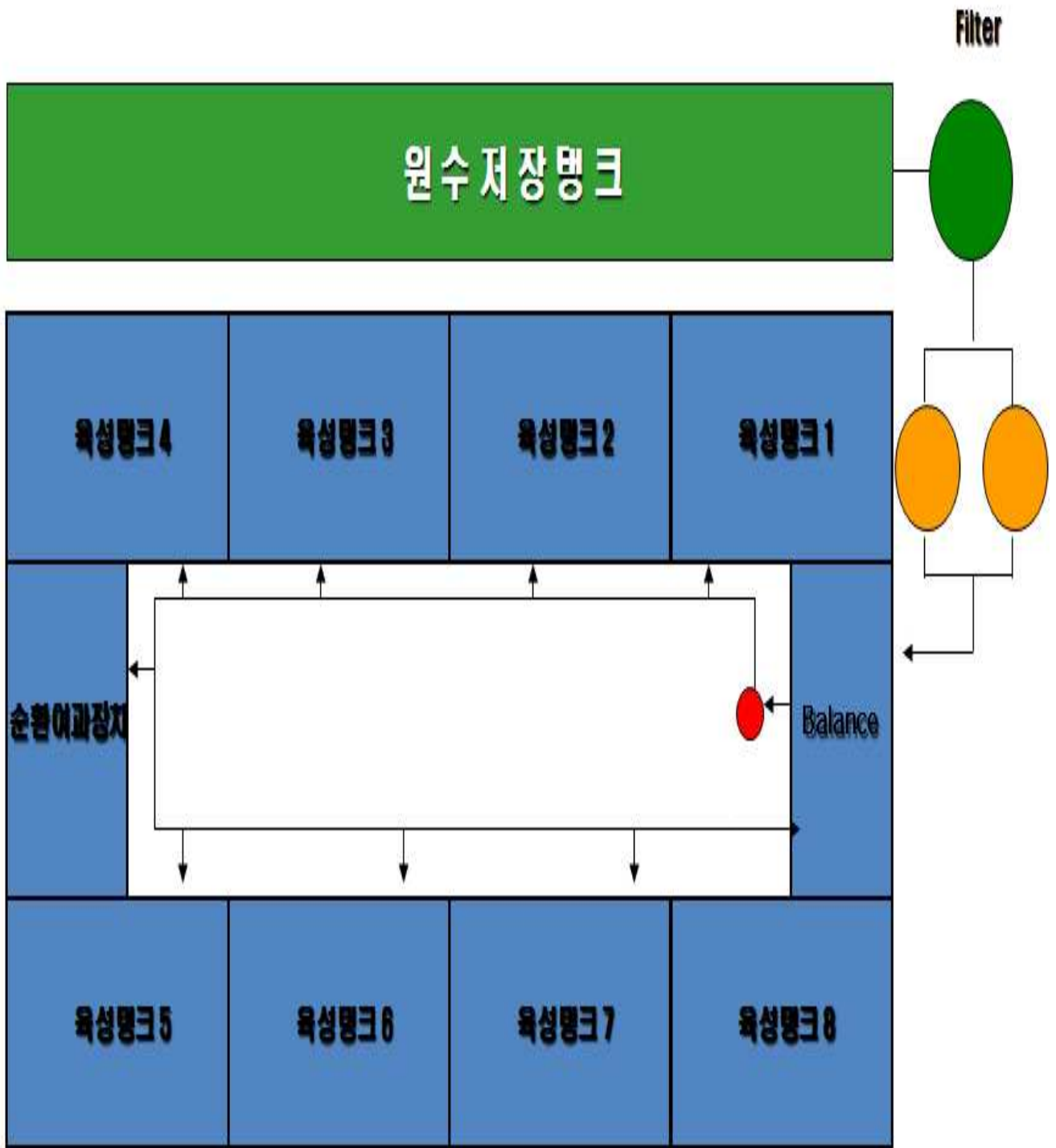


그림 35. 현장 실증실험 전체 평면도(지경부, 2009)

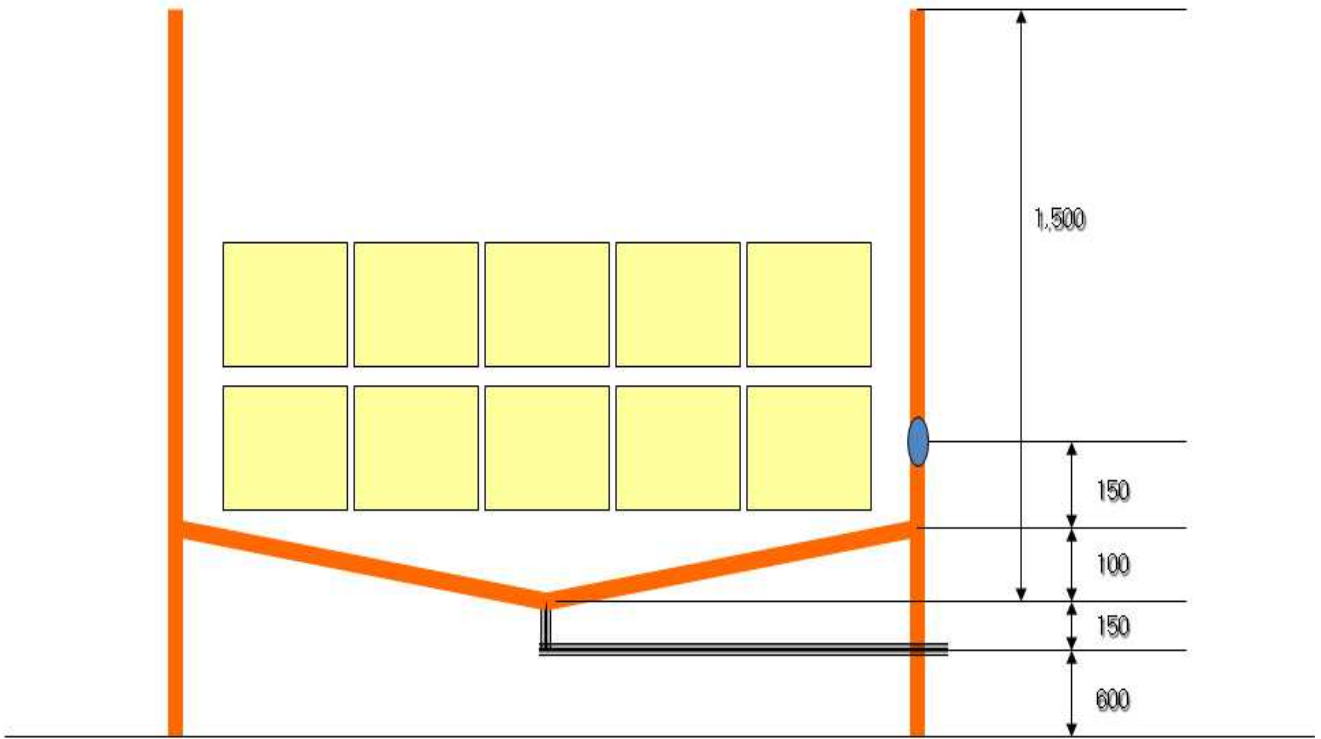


그림 36. 사육수조의 평면도(지경부, 2009)

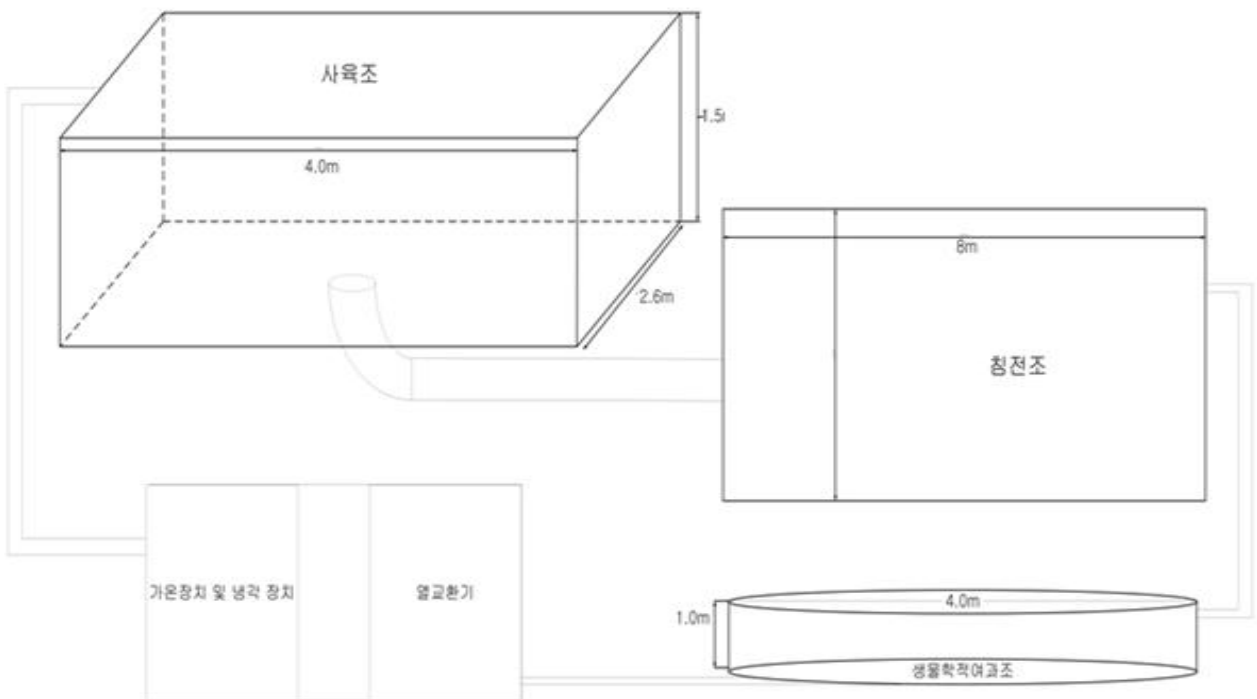


그림 37. 현장실증실험의 순환여과 모식도

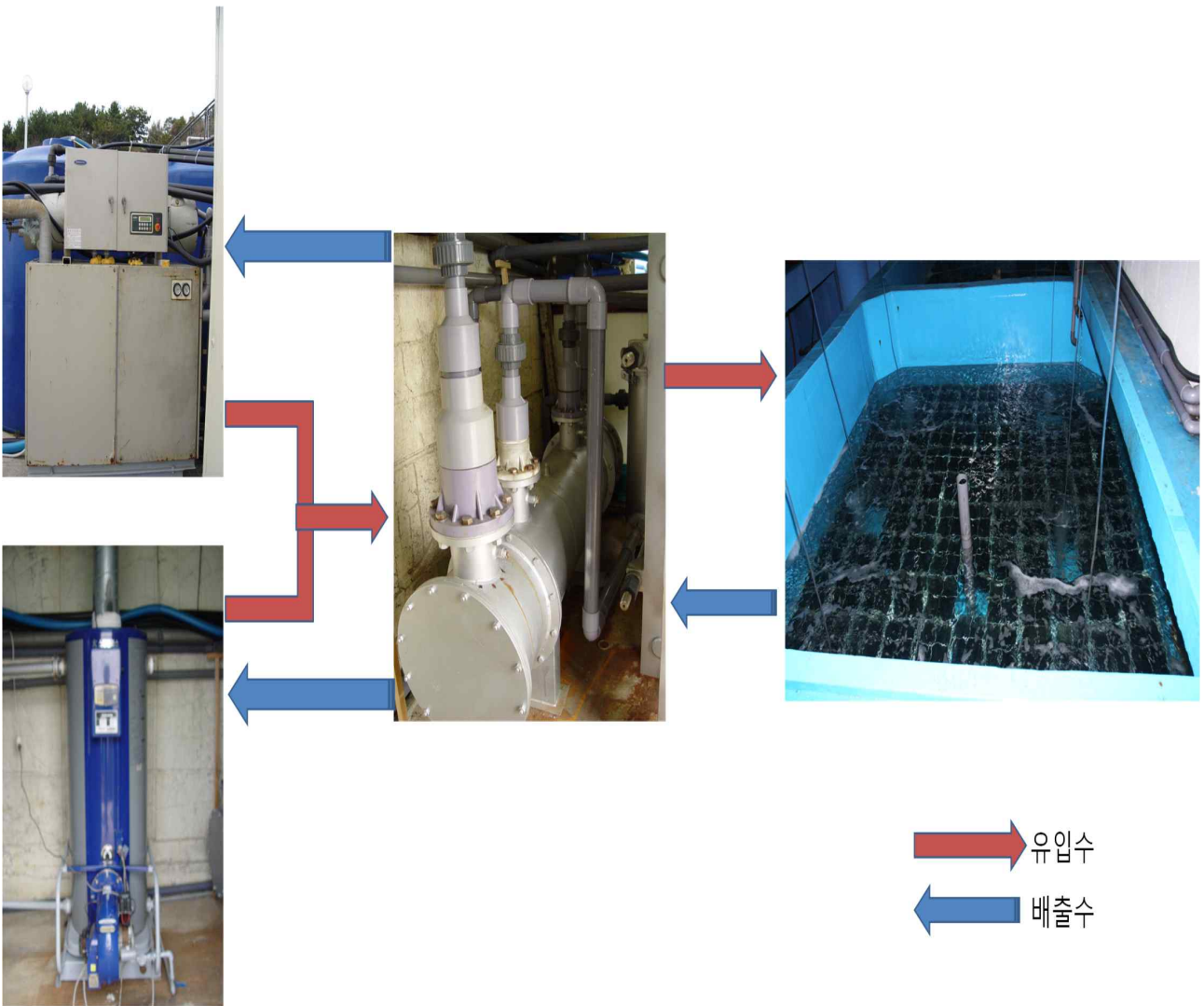


그림 38. 현장실증 실험에 사용한 온도조절 장치 및 Heat pump 운영 도식

표 12. 현장실증실험 순환여과시스템 설계사양

구분	사양
사육조	36톤(가로6m X 세로4m X 높이1.5m)
침전조	300톤(가로20m X 세로7.5m X 높이 2.0m)
생물학적여과조	Fixed filter media 13톤 (지름4m X 수심 1m) 3개
보일러	가온능력: 100,000 kcal/h 온수공급능력: 42 L/min(Δ 40)
냉각기	공냉식 일체형 냉각능력: 56,000 kcal/h 냉각순환량: 240-320 L/m(Δ 15) 소요전력: 24Kw, AC380V, 3상
Heat pump	이동가스:R22 용량: 4,000 Mcal/day (Δ 10) 운영동력:49 Kw/h 유량: 70 m ³ /h 설치면적: 39 m ² 사용배관: 50 mm
모래여과	상향류 모래여과기 수용 용량: 1 톤 처리 용량: 300 L/m 사용정격 압력: 2.0 kg/cm 외경: 지름 50 mm
카트리지필터	재질: 스텐레스 사용 필터: 1 μ m(12개) 처리용량: 100 L/m 사용정격 압력: 2.5 kg/cm

(3) 실험해삼의 관리

실험에 사용한 해삼은 2009년 12월 4일 평균체장 2.3cm, 평균체중 1.8g짜리를 각각의 직사각형 콘크리트 사육수조(4m X 6m)에 30,000마리를 입식하여 초기밀도 54.0 kg/24m² (=7.42 kg/3.3m²)로 방양하였다. 기존 실험의 연구 결과를 바탕으로 표면적을 넓게 하기 PC재질 선라이트판을 사용하였다. 선라이트판은 가로 38cm, 세로 28cm로 가공하였으며, 선라이트판 고정용 틀의 재질은 PPC이었다(그림 39).

현장에서는 연구실과는 달리 높은 밀도와 많은 개체수등의 이유로 코페포다에 의한 해삼의 대량폐사가 가장 위험한 요소 중 하나이다. 코페포다에 의한 상처는 피부괴사증의 원인이 되기도 할 뿐만 아니라 암모니아에 취약한 해삼의 성장스트레스의 요소가 될수 있기에 코페포다에 의한 영향을 최소화 하기 위하여 1일 1회 점검하였다. 코페포다 유무는 햇빛을 차광하여 20 lux이하(Tokyo, ANA-F9의 측정결과)에서 실시하였다. 확인 방법은 휴대용 랜턴으로 수면을 비추어 불빛을 따라 모이는 주광성 플랑크톤이 확인되며 50 µm 망목으로 현미경 관찰하였다. 발견시에는 주수의 유입을 멈추고 Cirpofloxacin 20 ppm으로 약욕하고, 1시간 30분후 다시 주수의 유입을 재개하였다.

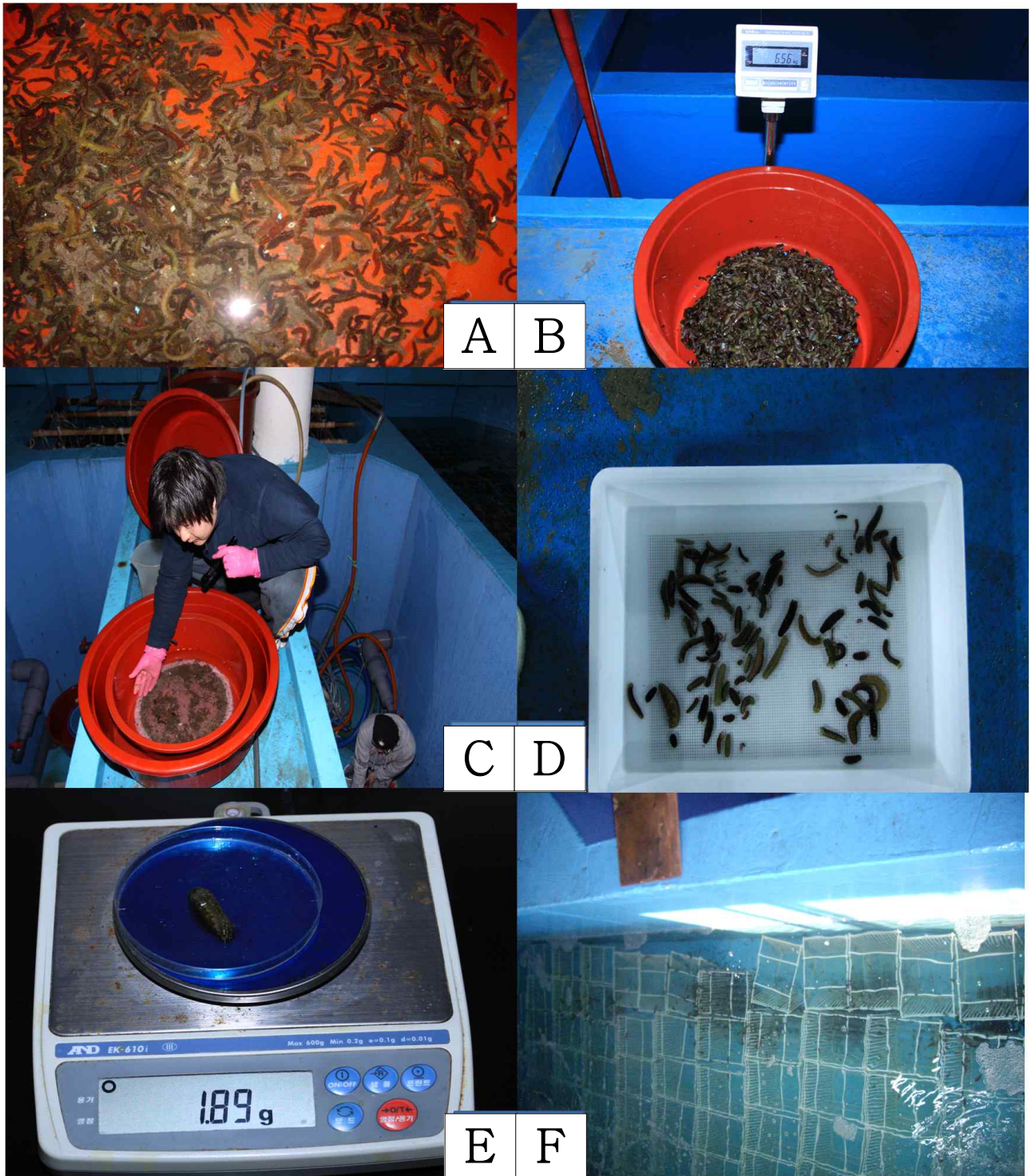


그림 39. 현장 실증실험 Set-up 순서 및 모습
 (A: 실험해삼의 준비, B: 무게측정, C:사육을 위한 선별, D:체장확인, E:습중량 확인,
 F:사육수조에 해삼을 넣은 모습)

(4) 실험사료 제조 및 급이

급이는 전체 해삼의 습중량 3%(침전물기준)로 발효사료를 급이 하였다. 급이는 일몰 후 실시 하였다. 급이 후 1시간 동안 급수를 중지하여 Aeration으로 충분히 교반되도록 유도하였다. 특히, 이 실험에서는 발효사료를 120 μ m망목으로 1차 큰 고형물을 제거하였다. 이러한 이유는 현장에서 부착기질을 투입함에 따라 침전속도를 지연하기 위함이고, 두 번째는 찌꺼기 발생을 줄여서 사료오염에 의한 해삼의 스트레스를 방지하고자 함이다(그림 40).

실험사료는 본 연구실에서 자체 개발한 사료조성을 근거로 참여기업의 사료제조시설을 활용하여 생산한 것을 사용하였다. 여기에 사용된 시설의 일부는 그림 41에 나타난 바와 같다.

사육수조 청소는 하절기에는 2주에 한번, 동절기에는 3주에 한 번씩 하였다. 이러한 이유는 수온상승에 따라 침전된 오염원의 수질오염이 심화될 것으로 예상되었기 때문이다. 수조의 청소를 위해서 옆에 동일한 크기의 수조에 파판을 옮긴 다음, 주수를 시작하고, 바닥에 있는 해삼은 기타 이물질들을 망으로 제거한 다음 새로운 수조에 파판을 옮겨 놓았다. 특히, 수조청소 한 그날 당일에는 급이를 하지 않고 항생제를 사용하여 수조를 옮기는 도중에 질병에 걸리지 않도록 특별히 신경 쓰도록 하였다(그림 42).



그림 40. 사료내 고형물의 과도한 축적으로 인한 수조 청소
(1:침전물의 축적으로 인한 오염된 수조바닥, 2:오염원에 기생하는 석회관갯지렁이)

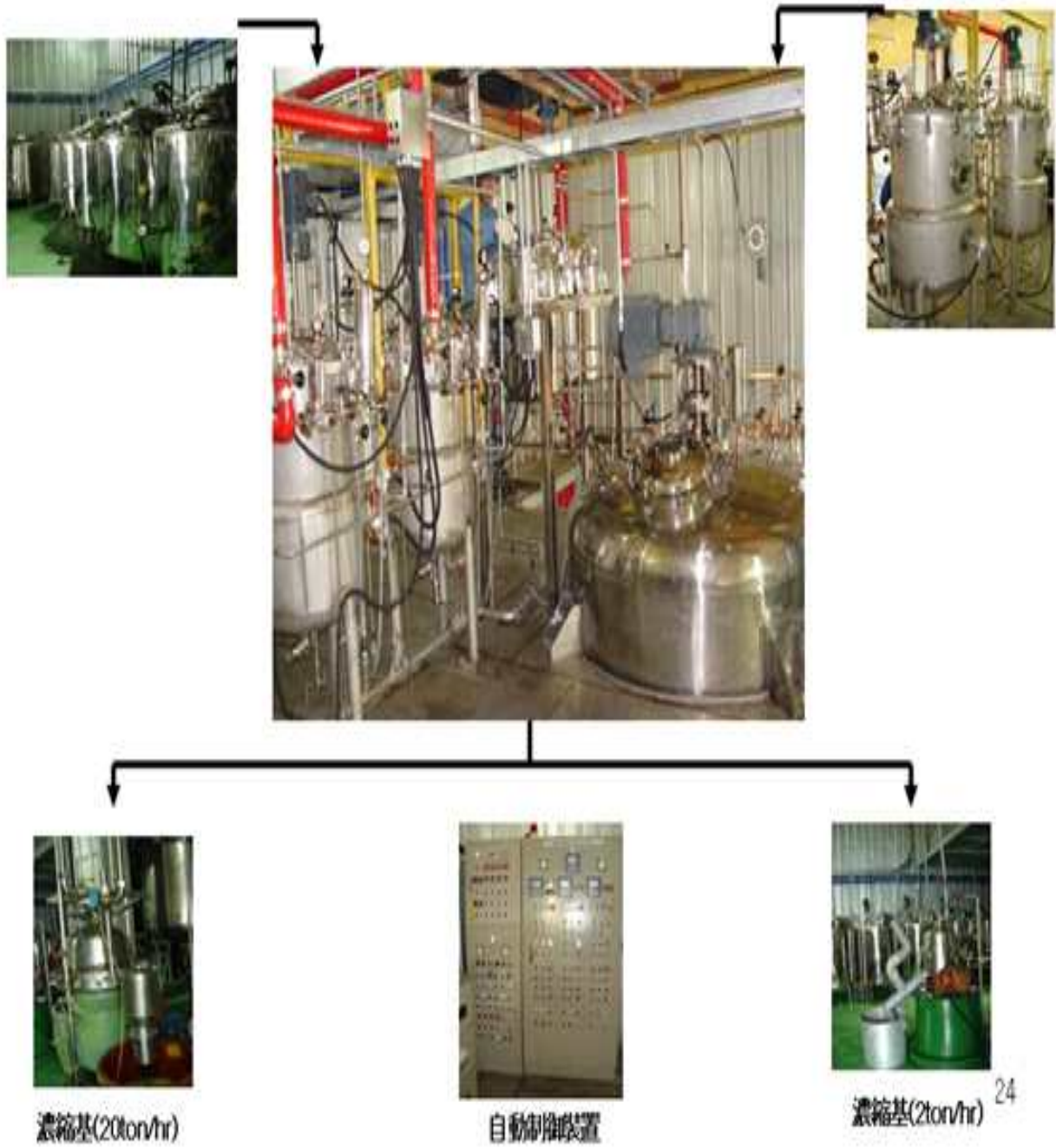


그림 41. 발효사료의 제조공정에 따른 시설(참여기업의 시설 일부)



그림 42. 사육수조 청소작업 과정

(5) 성장도 측정

현장실증실험에서는 수질을 측정하기 위해서는 pH, DO, 염분도, 온도, NH₃-N을 측정하였다. 기존 실험과 동일하게 측정을 하였으나, NH₃-N은 일주일에 2회 측정을 하였다.

해삼의 성장 측정에는 전통적인 방법으로 무게측정 방법과 이외에도 별도로 이미지 분석프로그램을 이용하여 해삼의 성장을 정밀 측정하였다. 전통적인 자와 캘리퍼스 로 측정할 경우, 산업현장에서는 측정의 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 인력소모 및 자료의 정확도를 알지 못한다. 그러므로 이 실험에서는 이미지 전용 프로그램인 Axio Vision Le V 4.3(Carl Zeiss)를 이용하여 1cm의 격자를 이용하여 사진촬영 후 화소간 거리를 보정하여 해삼의 길이를 측정하였다. 이 후, SPSS Ver 16.0을 이용하여 T-test 및 빈도분석을 통하여 치삼의 성장패턴을 분석 하고자 하였다(그림 44, 표 13).

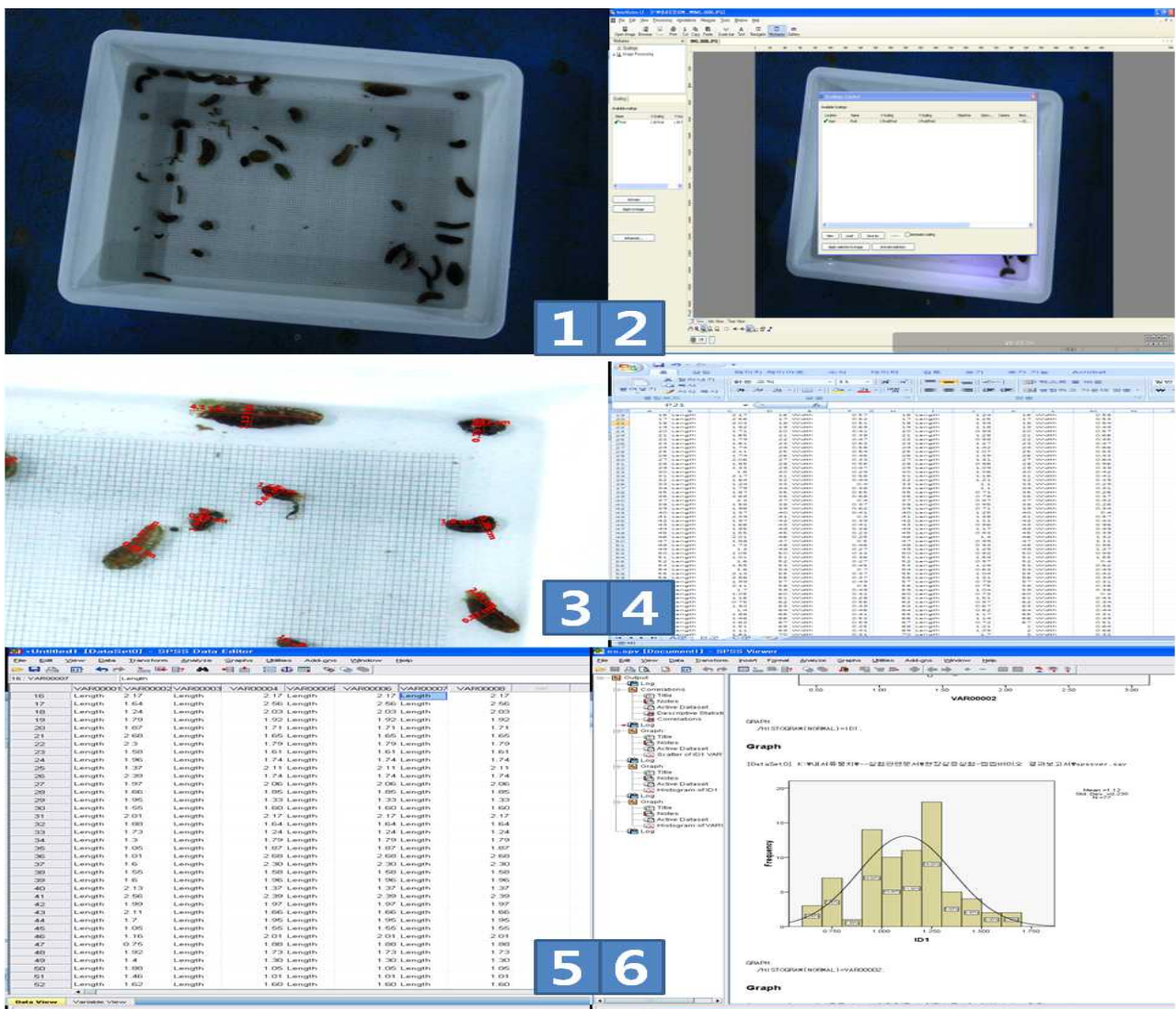


그림 43. 현장실증실험에서 치삼성장 측정을 위한 작업 모습

(6) 결과

① 성장도

실험해삼에 사용한 해삼은 2009년 12월 4일 평균체장 2.3cm, 평균체중 1.8g짜리를 각각의 직사각형 콘크리트 사육수조(4m X 6m)에 30,000마리를 입식하여 초기밀도 54.0 kg/24m² (=7.42 kg/3.3m²)로 방양하였다. 실험결과, 2010년 7월 19일에 생존율은 68.6%로서 평균 23.2g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 478.5 kg/24m²로서 단위면적당 밀도는 65.8 kg/3.3m²에 해당하였다(표 13).

현장에서 실험결과 수온의 변동은 하계와 동계의 계절적 차이에 의하여 오차범위가 크게 발생하였으며, 암모니아 발생은 실험실 수준보다 더 높게 나타났다. 이러한 이유는 표면적을 넓게 하여 부착기질 사이사이에서, 혹은 파판아래 부위에 집중되어 배출되지 않았기 때문에 실험실 보다 더 높은 암모니아 수치를 나타낸 것으로 보인다. 결론적으로는 해삼 고밀도 사육시 배출이 용이 하지 않을 경우, 성장에 스트레스로 작용하였을 것으로 예상된다. 그러나 용존산소농도와 pH역시 수온의 변동이 심함에 따라 오차범위가 발생하였을 것이라 예상된다(표 14).

② 성장패턴분석

해삼의 성장패턴 분석을 위하여 초기 방양시 및 1달 경과 후 총 2회 sub-sampling 측정을 하였다. 그러나 최종성장을 측정하기 위해서 측정시도를 하였으나, 개체활력에 의한 길이 변화가 심하여 측정이 불가능 하였다. 즉, 치삼시기에는 사진을 통한 분석이 효과적일 것으로 판단되며, 성장시기에는 중량법과 임의 산출에 의한 마릿수의 환산이 적절할것으로 예상된다. 치삼 성장패턴을 분석하기 위해서 부착기질에 붙어 있는 해삼을 탈락시켜 30마리 기준으로 6회 반복하였다(그림 44, 45). 이중에 특히 숙성이와 성장이 거의 없이 도태된 열성 해삼은 측정대상에서 제외하였다(표 15).

표 13. 현장 실증실험에서 해삼의 고밀도 사육 결과

		13,000 L
Initial	Total wt.(kg)	54
	Number	30,000
	Individual wt.(g)	1.8g
	Length (cm)	2.19±0.5
Final	Total wt.(kg)	477.2
	Number	20,580
	Individual wt.(g)	23.2
	Length (cm)	28.2±8.5
Total weight gain(kg)		423
Growth times		41.76
Feed Conversion(dry basis)		5.7
Survival rate(%)		68.6

표 14. SRS시스템의 사육수조 수질

Item	Culture Tank
Temperature(°C)	17±4
pH	8.2±0.9
DO(mg/L)	6.9±0.8
Salinity(‰)	32±2
TN(mg/L)	13.0±1.3

표 15. 치삼의 성장 차이 분석

	빈도	평균(cm)	표준편차
방양직후	60	2.19	0.52
1달 경과 후	60	3.718	0.74

t=12.919, df=105.849, p = 0.001

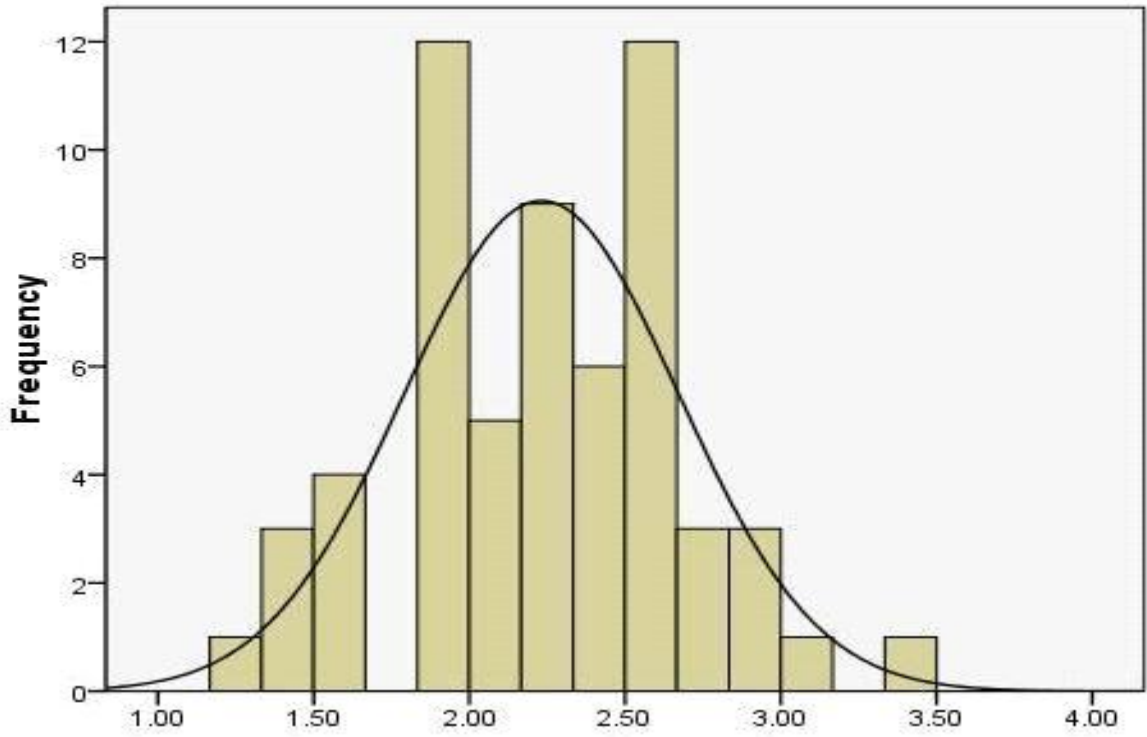


그림 44. 입식 후 측정된 치삼의 크기분포

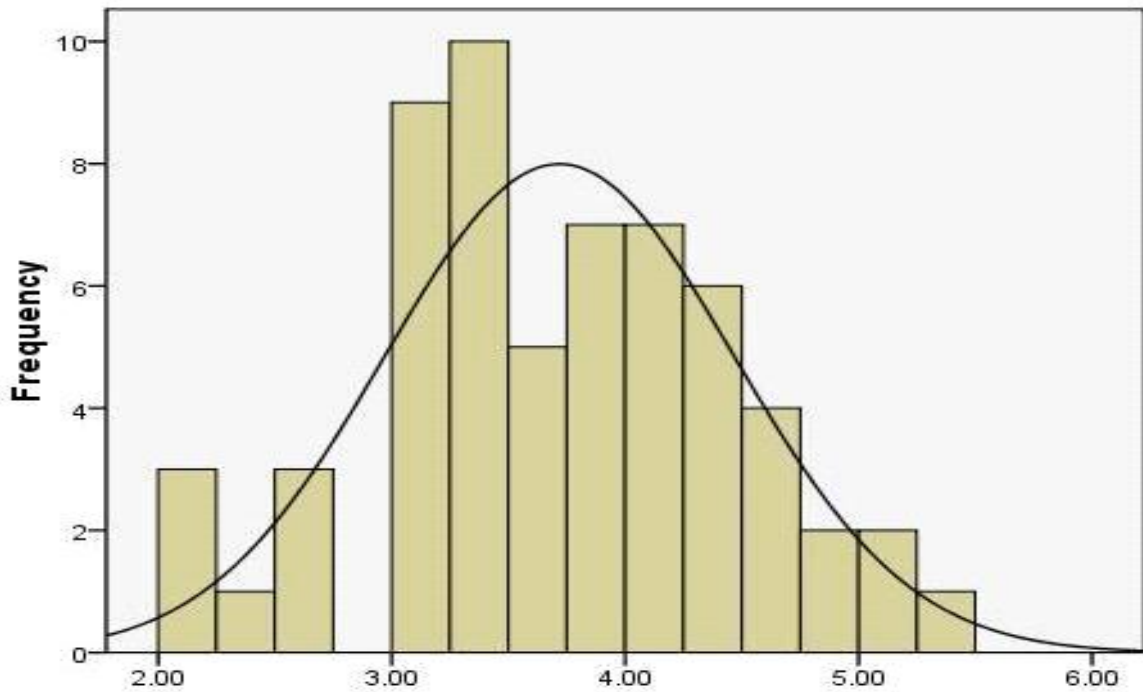


그림 45. 실험 1개월 경과한 치삼의 성장분석

이 측정의 분석결과는 그림 44, 45에서 보는 것과 같이 시간이 경과함에 따라 두 집단은 서로 다른 성장의 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 특히 동질성에 관한 테스트 결과 t의 값이 12로 나옴에 따라 두 집단 간의 귀무가설을 채택하기 어려운 결과를 보여 주었다. 1달이 경과한 그룹에서는 빈도수가 낮은 수치를 보여 주고 있어 개체간의 체장의 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 반면 처음 종료 입식시에는 표준 편차가 0.52cm이었으나, 1달이 경과한 자료에서는 0.74로 개체간의 성장차이가 더욱더 심화되고 있음을 알 수가 있다.

해삼의 성장차이는 자연생태계에서도 흔히 발생할 뿐만 아니라 실제 양식장에서도 흔하게 발생한다. 이러한 이유는 먹이에 관한 시공간적인 선택이 원인이 된다. 즉, 동일 공간과 시간동안 많은 먹이를 먹었던 개체는 성장 및 대사에 많은 에너지를 사용하여 다른 개체들 보다 더 큰 체형을 유지한다. 그러나 먹이부족현상을 겪었던 개체들은 성장대사 에너지를 최소화 시켜 생명유지에 활당하게 된다. 추후, 환경적 조건이 개선되면 다시 먹이의 급이활동에 적극적으로 참여하여 성장에 많은 에너지를 이용할 것이다(Robert J. Wootton, 1990; Peter Castro and Michael E. huber, 2008). 그러나 고밀도 대량 배양에서는 급이시 과다한 먹이를 급이 하지 않고, 수질유지가 가능하고, 성장이 이루어지는 최소점에서 급이를 하기 때문에 급이에 적극적으로 참여하지 않은 개체와 적극적 참여를 한 개체들간의 차이는 지수적 차이를 보일 수 밖에 없을 것이다. 이러한 이유로 현장에서의 해삼 선별작업은 필수라 할 수가 있을 것이다.

③에너지효율

이 실험에서는 또한 에너지 효율을 증감시키기 위하여 Heat pump를 사용하였다. 양식장에서는 자연환경과 달리 사육대상종이 요구하는 온도조건을 맞추어 주기 위하여 엄청난 에너지를 소비하고 있다. 그리고 에너지 소비에 관한 지출이 생산경쟁력 단가에도 많은 영향을 미치고 있다. 특히, 해삼의 경우 동절기 동안 해삼의 최적온도를 유지 하기 위해서는 온도의 변화가 10℃이상 가온을 해야 한다. 또한 하절기의 경우 최적 수온을 맞추기 위하여 냉각기를 사용하여 많은 에너지를 소비한다. 소비된 에너지를 회수는 불가능하지만, Heat pump를 사용하여 에너지의 손실을 최소화하여 에너지 절감효과를 입증한 결과, 연간 5천만원 이상 에너지 소모 비용이 절감된다. 에너지 회수의 기본 조건 및 산출근거는 표 16과 17에 나타낸 바와 같다.

표 16. 에너지 절감 비교분석

구 분	시스템 설치시	보 일 러
온 수	6,421천원	63,158천원
냉 수	5,137천원	-
기본요금	629천원	-
합 계	12,187천원	63,158천원
차 액	50,971천원	

표 17. 에너지 절감효과를 검증하기 위한 기초조건

구 분	시스템 설치시	보 일 러	비 고	
사용	온수	3,600시간	3,600시간	24시간 * 30일 * 5개월
시간	냉수	2,880시간	-	24시간 * 30일 * 4개월
사용	온수	전기(농사용 병)	등유	
연료	냉수	전기(농사용 병)	-	보일러의 경우 냉수는 불가능하므로 제외
연료비	기본요금	1,070원/kW	1,000원/리터	
단가	사용요금	36.4원/kW		
발열량		860kcal/kW	9,500kcal/리터	

(7) 경제성분석

①경제성 평가는 현장의 실증실험 결과를 토대로 수면적 1,000 X 3.3m²에서 연간 생산량 50톤을 생산하며 시장판매 상품크기는 50g이상으로 한다는 가정하에서 산출한다(표18).

②치삼의 가격은 실증실험의 크기와 현재의 가격 250 원/마리로 한다. 향후 종묘생산이 활발하게 이루어져서 현재의 종묘 가격보다는 현저히 가격이 저하할 것은 틀림없다. 현재의 노지양식과 육상양식 시의 산업적 제한요소 중의 하나가 고가의 종묘가격이다. 향후 대규모의 산업이 되기 위해서는 대량의 종묘생산이 이루어짐과 동시에 가격저하 및 해삼산업의 분업화가 절실하다.

③사료가격은 현재 실험에서 개발한 사료조성과 발효조건대로 산업현장에서 생산되고 있지 않기 때문에 배합사료 가격은 현장시세를 감안한 2,000 원/kg으로 한다.

④사료계수의 환산으로 본 실험에서 제시한 사료계수는 사료형태가 액상의 사료형태이므로 본 보고서에서는 습중량기준의 사료계수(침전물중량기준)를 제시하였다. 그 이유는 현장실증실험에 사용된 발효사료와 상품배합사료는 액상과 분말로서 물성이 다르기 때문에 직접적인 비교는 곤란하다. 그래서 발효사료를 상품사료와 같은 수준의 수분함량(10%기준)으로 비교산출 한다.

⑤사료계수의 구체적 환산 방법(FC=5.7) : $5.7 \times 50\% = 2.85$ (건물중량 기준)에 해당함, 발효사료 침전물=20%, 침전물의 수분을 배합사료의 수분으로 환산한 수분=50%

⑥사료량과 사료가격

사료가격: 생산량(50,000kg)-초기방량(1.8g x 800,000미)=48,560kg(증육량)

$48,560\text{kg(증육량)} \times 2.85(\text{사료계수}) = 138,396\text{kg}$

$138,396\text{kg} \times 2,000\text{원/kg} = 276,792,000\text{원}$ 이 된다.

⑦해삼의 판매가는 현재의 시세인 20,000원/kg으로 산정한다. 육상순환여과시스템의 장점은 계절에 상관없이 시장가가 높을 때 판매가 가능하기 때문에 이 가격보다 상향될 수 있다.

⑧간접비는 일반적 실무에서 사용되는 원가 등을 참고하여 표(18의 C)로 도출하였다.

⑨판매수익, 이익 및 수익율

본 현장실증실험 결과, 판매수익 1,000,000,000원(10억), 이익 316,630,180원으로 나타났기 때문에 경제성이 있는 것으로 나타났다. 수익율에서 46.3%의 매우 높은 수준으로 나타났다. 한편, 본 실험이 2차년도 1회성의 짧은 기간의 사육으로 인하여 현장사정과 관리상의 미숙, 사육시스템의 이용도가 극히 낮은 점 등 비효율적인 결과를 그대로 기초로 했기 때문에 이러한 점을 반영한다면 더욱 경제성은 높은 것이다. 그리고, 본 실험에서 나타난 문제점들은 다분히 개선될 수 있는 것이므로 사육기술의 개선과 사료개발의 기술향상 등을 통하여 사업성은 더욱 높아질 것이라고 보아진다.

표 18. 해삼의 육상사육시 경제성 분석

구 분		금 액	내 역 (산출근거)
사육지면적		수면적 1,000x3.3m ²	○ 생산량 : 50,000kg ○ 사육용수 : 자연수(해수)는 보충수로만 사용 ○ 판매크기 : 평균 60g이상
수용량(생산량)		약800,000미	○ 평균사육일수 : 12개월(만 1년간)⇒전년 11월~당년10월
시설임차사용료(A)		10,000,000원	○ 시설물임차사용료 10,000,000원/년
직접생산비(B) 610,338,400원	치삼구입비	200,000,000원	○ 치삼800,000미×250원/미 =200,000,000원
	사료비	276,792,000원	○ FC=5.7의 경우(본 실험). 사료단가 2,000원/kg =276,792,000원
	전력비	25,574,400원	○ 에어브로워,보일러,모터,기타동력등 74kw/일×24h/일×30일/월×12월×40원/kw =25,574,400원
	유류비	10,400,000원	○ 경유(1대), 휘발유(1대) 1,600ℓ/월×5월×1,300원/ℓ =10,400,000원
	인건비	90,000,000원	○ 고정직, 일용직 5명×1,500,000원/명×12월 =90,000,000원
	통신비	4,800,000원	○ 전화,팩스,컴퓨터통신 등 400,000원/월×12월 =4,800,000원
	전기안전관리비	2,772,000원	○ 231,000원/월×12월 =2,772,000원
간접생산비(C) 30,490,000원	약품사용	5,000,000원	○ 영양제,항생제,psb등 500kg(ℓ)×10,000원/kg =5,000,000원
	주부식비	18,250,000원	○ 10,000원/3식/인/일×5인/일×365일 =18,250,000원
	교통비(난방비)	3,600,000원	○ 30,000원/일×30일/월×4월 =3,600,000원
	직원복지비	1,000,000원	○ 200,000원/월×5월 =1,000,000원
	시설관리유지비	2,640,000원	○ 800원/㎡×3,300㎡ =2,640,000원
기타잡비(D)		32,541,420원	○ 650,828,400원(A+B+C)÷5/100 =32,541,420원
총 계		683,369,820원	○ 683,369,820원(A+B+C+D) =683,369,820원
단위생산당 원가(kg)		13,667원	○ 683,369,820원÷50,000kg =13,667원
판 매 수 익		1,000,000,000원	○ 50,000kg×20,000원/kg = 1,000,000,000원
이 익		316,630,180원	○ 1,000,000,000원- 683,369,820원 = 316,630,180원
수 익 율(%)		46.3	○ 316,630,180원 ÷ 683,369,820원 X 100 = 46.3%

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에 기여도

본 연구의 최종 목표는 초고밀도 육상순환여과시스템에 의한 해삼양식기술개발을 통하여 동서남해안에서 연중 해삼을 대량생산할 수 있는 방법을 확립하는 것이다.

개발 필요성 및 현재 기술의 한계점으로서는 해삼 양식산업이 대규모의 산업이 되기 위해서는 생산에서 가공으로 연결되는 물량의 안정적인 대량 확보가 선결 과제이다. 물량확보를 위한 방법으로서는 자연산의 채집과 양성에 의한 방법밖에 없다. 현재 해삼 양성방법으로서는 노지양식과 육상양식방법이 있다. 해삼 육상양식기술은 극히 초보적인 단계로서 남해안의 육상탱크양식과 서해안의 노지양식으로 대별할 수 있다. 남해안의 육상탱크양식은 전복양식과 혼합양식의 형태로서 성장도는 2005년 10월 전장 5.8cm 전중량 9.1g을 방양하여 2006년 6월 전장 10.1cm 전중량 52.9g으로 성장시킨 경우는 있으나, 아직 실질적인 사업이 성립되지 못하고 있다. 서해안의 노지양식은 인천해양수산청 서해수산연구소 수특과제 수행 결과가 있으며(해양수산부, 2005), 주로 서해안 축제식 갯벌양식장의 해삼의 육성을 시도하였다. 실험은 신안군 압해면 대천리 소재 7.5ha에 3월에 100만미의 어린해삼을 방양하여 11개월 만에 200g짜리 해삼 약 3,000kg생산하였다. 셀터는 제공되었으나, 무급이양식으로 단위면적당 생산량은 0.13 kg/3.3m², 당시의 판매는 15,000 원/kg으로 계산하고 있다. 이 결과는 중국의 노지양식에 해당하는 생산결과와 거의 일치한다. 국내와 같이 국토 면적이 좁은 환경을 갖고 있으면서 사계절이 뚜렷한 우리나라의 양식장에 적용한다면 경제성은 매우 낮을 것이다. 결과적으로 생산방식을 저밀도생산방식으로 할 것인지 고밀도생산방식으로 갈 것인지 정책방향을 명확히 수립해야만 산업의 규모를 결정 할 수 있다.

노지양식의 문제점을 항구적으로 해결할 수 있는 육상순환여과시스템을 활용하여 초고밀도로 연중 양식하는 길을 제시함으로서 전 해역에서 국내해삼양식의 산업화에의 길을 제시하고자 하는 것이 목표이다.

기술개발의 제1단계 연구사업 추진(2008.11- 2009.10)은 실험실에서 완성한 시스템을 파이롯트 규모로의 scale-up시 예측하지 못해던 운영상의 문제점이 도출되었다. 이를 개선하는데 목표를 두고 과제를 수행하였다. 제2차년도에는 이를 토대로 현장에 적용 실험하는 데까지 추진하였다.

제1절 기술개발의 목표 달성도

(1) Lab-scale(50L)에서의 사육실험

본 실험은 육상순환여과식시스템 내에서의 해삼사육실험은 사례가 매우 적고 전 세계적으로 자료가 아주 적기 때문에 지금까지의 발표된 문헌 및 국내보고서(해양수산부, 2006)를 참조하여 지금까지 알려진 사육방법을 동원하여 인위적으로 조절된 환경내에서 해삼의 전반적인 사육 상의 기초자료를 얻도록 설계하였다.

그 결과 체장 3-5cm(평균 4.1cm), 체중이 1-3g(평균 1.5g)를 방양하여 평균 18℃ 수온의 순환여과시스템내에서 180일간 사육한 결과, 평균 17.75g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 3,833 g/수조(0.18m²)로서 직사각형수조의 경우 70.27 kg/3.3m² 밀도까지 사육할 수 있는 사실이 처음으로 확인이 되었다.

(2) Semi pilot-scale(300L)에서의 사육실험

Lab-scale(50L)실험에서는 해삼이 순환여과시스템 내에서도 바닥의 인공사료를 먹고 고밀도로 성장한다는 것이 증명되었지만, 직사각형수조와 같은 구조에서는 배설물의 제거가 구조적으로 곤란하여 70 kg/3.3m²의 장벽을 넘지 못하였다. 이러한 문제점을 극복하기 원통형수조의 이점을 활용하여 초고밀도사육을 시도하였다. 원통형수조는 유입수와 동시에 배설물이 사육조 밖으로 즉시 배출될 수 있을 뿐만 아니라, 단위면적에 대한 수량이 많기 때문에 단위면적당 최대의 초고밀도사육 실험의 개발 목표를 설정하였다. 이는 초유의 1,000 kg/3.3m²라는 초고밀도에 도전하였다. 순환여과시스템 내에서 이와 같은 초고밀도의 지속 여부가능한지를 확인하는 loading test를 실시하였다.

체장 15-25cm, 18-30g(평균 24.1g)짜리를 원통형수조에 4,273마리를 방양하여 초고밀도인 103 kg/0.34m² (=1,000 kg/3.3m²)로 시작하였다. 90일 후에 평균 20.2g으로 성장하였으며, 최종적으로 생산된 총중량은 74.1 kg/0.34m²(수조)로서 단위면적당 밀도는 719.5 kg/3.3m²로서 사상 초유의 초고밀도를 유지하는데 성공하였다.

이 결과에 근거하여 지역사회의 숙원사업이던 여름철 해삼의 보관문제, 채취금지 기간 동안의 해삼축양, 물량확보 및 물해삼의 문제를 해결할 수 있다는 점에서 산업적 기여도는 매우 크다.

(3) Pilot-scale(1,000L)에서의 사육실험

본 실험은 Semi pilot-scale(300L) 사육실험에서 초고밀도로의 사육(loading)이 가능했기 때문에 이 결과를 근거로 scale-up하여, 1,000L원형수조에서 해삼의 성장실험을

시도하였다.

그러나, 기대와는 달리 높은 생존율과 양호한 수질환경에도 불구하고 총성장량 1.0 kg, 사료계수는 14.1이라는 극히 저조한 성적을 나타냈다. 사육조의 형태와 해삼의 섭이생태 사이에 깊은 상관관계를 위한 새로운 장벽을 만나게 되었다.

(4) 양식형태(노지와 채룡)에 따른 섭이생태 확인 현장 사육실험

중국내 산둥성 소재 해삼 양식장(면적 22,500m²)에서 2008년 11월에서 2009년 8월까지 동일한 양식장에 노지바닥양식 실험구와 채룡식양식 실험구를 설정하여 섭이조건 외에는 모두 동일한 환경조건에서 비교실험하였다.

실험결과 노지양식에서는 초기 3g짜리가 10개월 경과 후 평균 120g으로 자라 빠른 성장을 한 반면, 채룡식 양식에서는 초기 25.6g짜리가 평균 29.8g(16.0-32.0g)으로 자라 성장이 정체하거나, 감소하였다. 이는 해삼은 개방수계(자연상태)의 메달린 상태에서는 패류와 같이 여과섭식으로의 성장이 불가함을 의미한다.

이러한 결과는 해삼의 섭이생태를 무시한 양식방법(혹은 사육조형태)으로는 성장을 기대 할 수 없음이 증명되었다. 향후 해삼양식의 시행착오를 방지하는 산업적 기여도가 큰 것으로 사료된다.

(5) SRS(Shallow Raceway System)에서의 사육실험

노지상태에서 채룡식 양식은 성장이 정지된다는 사실이 증명되었기 때문에 고밀도 상태에서 해삼의 성장을 유지하면서 섭이생태학적인 면을 고려하여 신개념의 SRS(Shallow Raceway System)에서 해삼사육실험을 시도하였다.

그 결과 체중 18.15g짜리가 90일후에 생존율 82.6%로서 평균 37.36g으로 성장하여 단위면적당 149.8 kg/3.3m²에 해당하는 성적을 얻었다. 이는 향후 육상 해삼양식에 기존의 개념과는 다른 새로운 양식방법을 제공하게 되었다.

(6) 현장실증 사육실험

1차년도에 도출된 결과에 근거하여 통영시 산양면 소재 해삼양식장에서 현장실증사육실험을 통하여 육상수조 내에서 사육밀도 및 에너지효율에 근거하여 경제성분석을 실시하였다.

종묘는 2009년 12월 4일 평균체장 2.3cm, 평균체중 1.8g를 각각의 직사각형 콘크리트 사육수조(4m × 6m)에 30,000마리를 입식하여 8개월 후에는 생존율 68.6%로서 평균 23.2g으로 성장하여 단위면적당 밀도 65.8 kg/3.3m²로 육상 순환여과식에서의 연중사육이 가능하였다. 본 연구결과로 인하여 우리나라에서 육상에서 고밀도로 해삼양식이 가능한 길을 제시하였다.

제 5 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 榮成市 HOMEY GROUP(好當家集團)

(1) 일반현황

- ① Homey Group은 석도항을 중심으로 3면이 발해만 바다와 접해 있으며 인근에는 연태공항과 위해/석도간 고속도로가 시설된 교통중심지에 위치.
- ② 그룹산하 기업 50개소 그 중 냉동식품가공기업 18개소, 국제해운선 50여척, 바다양식장 4.3萬畝(mu), 첨단종묘배양장 80,000㎡, 총자산액 30億元(3,900억원) 직원은 12,000명.
- ③ 주 생산품은 Homey(好當家)라는 상표로서 인스턴트식품, 냉동품, 어분, 선박, 냉동식품 생산이라는 목표로 HACCP 취득 뿐만 아니라 미국FDA 인증, ISO-14,000 국제품질인증체제를 구축, 대표적인 기업으로 냉동식품을 주로 생산하는 榮成好當家食品有限責任公司和 수산양식업을 주로하는 產東丘家水產株式有限公司가 있음.



그림 46. Homey그룹의 회사전경

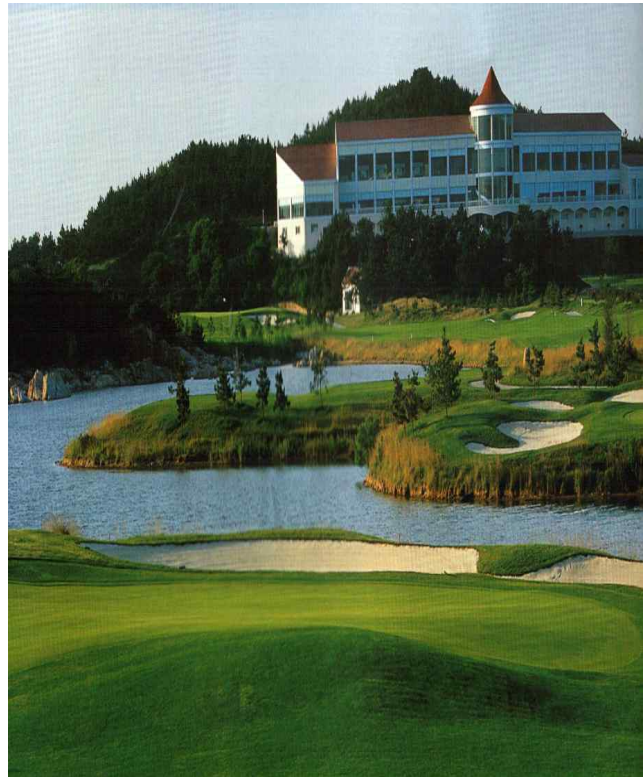


그림 47. 양식장과 골프장을 겸한 경영

(2) 해삼양식 및 생산 현황

- ① 양식면적 : 400km²(20km x 20km x 5-7m(수심) , 4만ha,
1억2천만평)로서, 우리나라 시화호 크기
- ② 양식방법 : 축제식양식으로 저층 해삼과 새우, 중층어류,
표층은 해파리를 양성하는 복합양식
- ③ 사료급이 : 무급이(자연생산력에 의존)
- ④ 종묘방류 : 10억만 미/년(25,000미/ha, 25미/10m²기준) 5월에 살포하면 10월 중
에 100g해삼 30%만 채취하고, 나머지는 이월시켜 봄, 가을에 채취 생산함.
- ⑤ 생산량 : 1,500 톤/년 (단위생산: 1.25kg/10평/년)
- ⑥ 생산액 : 2억원元(260억원)



그림 48. 양식장 총평면도



그림 49. 해삼노지양식장 전경



그림 50. 발해만과 접한 쪽의 제방



그림 51. 저층은 해삼, 표층은
해파리 복합양식

(3) 해삼종묘생산 현황

- ① 양식면적: 출입제한으로 자료취득 불가
- ② 양식방법: 육상탱크식양식
- ③ 사료종류: 해조분말(20%)+갯벌진흙(80%)
- ④ 종묘크기: 200 미/kg(@5.0g), 6개월간 사육
- ⑤ 생산량 :50,000kg /년/그룹(1천만미/년/그룹)
- ⑥ 생산액 : 2천만 원(26억원), (2원/미)



그림 52. 노지에서 본 종묘생산동



그림 53. 종묘생산동의 전경-출입제한



그림 54. 파판에 부착된 상태의 종묘



그림 55. 노지방류를 위한 해삼종묘



그림 56. 해삼종묘용 배합사료



그림 57. 해삼종묘생산에 대한 현장질의응답

(4) 해삼제품생산 현황

건조해삼(刺參), 고압해삼(高壓海參), 해삼엑기스추출물



그림 58. 공장 내 해삼제품 전시관



그림 59. 진공포장된 건해삼의 제품



그림 60. 건조한 자삼상품



그림 61. 액체해삼의 성분표



그림 62. 액체해삼의 표본



그림 63. 건조해삼인 고압해삼

(5) Homey그룹 회장과의 간담회

-총경리(그룹회장):탕추안 쉰

-통역:위해시 농수산담당 루사오웨이 부시장

<한국측 질의>

- ① "당신회사의 양식장을 견학한 결과 해삼양식과 종묘생산 기술에 대하여 감탄하였다. 현장에서 해삼종묘 가격으로 볼 때 이것을 한국에 수입하여 양식환경조건이 유리한 한국에서 양식한 후 다시 수출을 할 경우 전량 구매가 가능한가?"
- ② "한국에서 중국으로 수출을 할 경우 건조품으로 가공을 하여야만 한다. 그러나, 한국에는 가공기술이 없다. 이 기술을 이전하여 줄 수 있는나?"
- ③ "지금의 양식방법은 무급이양식인데 사료를 주면은 생산량을 10배정도 올릴 수 있다. 어떻게 생각하느냐?"
- ④ "양식장과 골프장을 공동으로 운영하는 것이 특이하다. 주로 누가 사용을 하느냐?"

<중국의 탕추안 쉰 회장 답변>

- ① "가능하다."
- ② "기술이전 가능하다."
- ③ "사료를 급이하면 환경이 악화되고 질병이 발생한다. 그래서 사료급이를 하지 않고 무급이 방식으로 양식을 한다."
- ④ "골프장 손님의 70%는 한국사람이다."



그림 64. 탕회장님과의 간담회



그림 65. 해삼양식장과 18홀 골프장



그림 66. 38만평의 골프장



그림 67. 향후 계속 신설중인 골프장예정지



그림 68. 자연환경을 최대한 살린 골프장



그림 69. 그룹내의 수산가공공장 전경

2. 연태시 양식장 및 건조해삼 판매 현황

(1) 양식현황

- ①해안가에 위치한 축제식양식장으로 밀물과 썰물을 이용하여 양식을 하고 있으며, 소량의 배합사료를 공급하고 있었음.
- ②양식장 면적 및 생산량: 자료미비



그림 70. 연태시 해안가의 축제식양식 모습

(2) 건해삼판매 현황



그림 71. 연태시내에서 판매되는 건해삼 종류



그림 72. 연태시내의 해삼 판매처

(3) 건해삼의 복원 실험

- ①시장에서 구입한 건해삼의 복원력을 시험해 보았다. 건해삼을 물속에 넣고 경시적인 관찰을 하였다.
- ②맑은 색을 띄면서 촉수가 재생하는 것이 고급품이다.
- ③간장색의 추출물이 발생하면서 촉수가 제대로 재생되지 않는 것은 하급품이다. (염장품일 가능성이 높음)



그림 73. 시장에서 구입한 3종류의 해삼, 중국산은 매우 값이 싸다

①조선해삼 ②요녕해삼 ③중국해삼



그림 74. 조선해삼과 요녕해삼
(30분이 지나면서 조선해삼과 요녕해삼은 촉수가 재생되지만 저가의 중국산은 촉수의 재생없이 간장색의 추출물이 생겨남)



그림 75. 6시간 지난후의 3종류 해삼상태
(조선해삼은 간장색의 추출물이 보이지 않으나, 요녕해삼에서는 약간의 추출이 보이기 시작하며, 저가의 중국산은 거의 허물어진 상태임)

(4) 해삼제품의 생화학적 성분 및 약리효과

①연태 및 위해 시장을 중심으로 시판중인 해삼제품의 카타로그를 중심으로 자료를 정리하였음.

표 19. 해삼의 생화학적 성분 및 약리성분

종 류	합 량	비 고
일반성분	100.0%	
수분	76.0%	
단백질	21.5%	
지방	0.3%	
탄수화물	1.0%	
회분	1.2%	
비타민 및 무기염류		
비타민B1	24.6 mg/ ℓ	
비타민B2	0.129mg/ ℓ	
Ca	50.69mg/ ℓ	
P	154.42mg/ ℓ	
Fe	0.45mg/ ℓ	
아미노산성분		
ASP	303mg/ ℓ	
VAL	159mg/ ℓ	
MET	41mg/ ℓ	
ILE	144mg/ ℓ	
LEU	194mg/ ℓ	
PHE	129mg/ ℓ	
ARG	139mg/ ℓ	
LYS	183mg/ ℓ	
TRP	-	未測定
생리 및 약리기능물질		
점성다당류	Acidic Monopoly-saccharide	刺參粘多糖
콘드로이친	Chondrotin sulphate	黃酸軟骨素

3. 산동성 東營市 해삼종묘생산

(1) 종묘생산현황

- ① 종묘생산장 명칭 : 승대수산(勝大水産)
- ② 종묘생산회사 면적 : 6.6ha
- ③ 배양 탱크 : 4m x 6m x 1.5m(높이), 25톤수량/7평
- ④ 최고생산량 : 50,000미(250kg)/7평/탱크, (@5g/尾)
- ⑤ 단위면적당 생산량 : 35kg/평
- ⑥ 어린해삼구입가격 : 2,000元/20만미/kg(6.5원/5mg/미)
- ⑦ 사료급이 : 종묘체중의 5-6%/일, 3개사료 혼합하여 급이는 오전 30%, 해질무렵 70% 급이함
- ⑧ 양성관리
 - 환수 : 처음에는 매일 2차례 환수하며 사육수의 1/3정도로 교환한다.
완전 청소는 5일 마다 실시한다.
 - 용존산소 : 5mg/ℓ (ppm)유지
 - 수온범위 : 18-22℃ 최적
 - 청소방법 : 물을 완전히 빼고 그물부착기를 살수하여 청소하며, 바닥의 최종 해삼종묘는 사육동 밖에서 그물로 채집한다.

(2) 양성 및 생산현황

- ① 방류용 종묘 크기 : 200-2,000 미/kg
- ② 종묘방류밀도 : 10만-20만 미/10,000평(10-20미/평)
- ③ 전체생산량 : 10 톤/4만평/2년간 생산을 목표로 양식중
- ④ 단위면적 및 시간당 생산량 : 1.25 kg/평/년
- ⑤ 사료 급이 : 해조류, 조개껍데기 및 갯벌이 함유된 배합사료
- ⑥ 못의 상태 : 수심 1.6m 내외로서 저질은 모래질
- ⑦ 양식장환경 : 고수온기에는 27-28℃까지 상승하고 겨울에는 -1와-2℃까지 낮아지나 생존에는 지장이 없다고 함.



그림 76. 종묘배양장의 전경



그림 77. 1개의 배양동, 20개의 배양탱크



그림 78. 양성중인 새끼해삼, 방양직전 크기



그림 79. 정기적인 완전청소 방법, 그물부착에 부착된 해삼을 살수로 탈락시키고 부착된 오염물을 제거함



그림 80. 바닥에 노출된 해삼의 청소



그림 81. 사육동 밖에서 해삼을 수집하는 장면



그림 82. 노지양식장 전경, 수로 및 전기가 잘 구비되어 있음



그림 83. 1개의 노지양식장, 10,000 3.3m²(50무)



그림 84. 주수 및 배수로 시설



그림 85. 인근의 노지 양식장 전경

4. 중국 해삼사료 현황

(1) 산란유도 어미해삼사료

① 과립사료(顆粒飼料)

- ㉠활성바다흙 59%, 잡계 14%, 골뱅이 7.14, 옥수수전분 2.38%, 큰잎해조류 23.8%.....계 106.32%
- ㉡생식선지수:18%의 증가(자연산 5.9%)

② 분말사료(粉末飼料)

- ㉠지충이(鼠尾海藻)분말 80%, 어분 15%, 고구마가루 5%,
- ㉡활성바다흙(NX-79채로 여과한 것)과 충분히 반죽
- ㉢반죽기준 : 저서규조(底棲硅藻)4,000 개/ml 함유
- ㉣급이량 : 체중의 10%
- ㉤급이횟수 : 2회/일(오전 30%, 저녁무렵 70%)
- ㉥생식선지수 : 4.8%→7.9%로 상승(무급이 자연산 5.2%)
- ㉦산란유도방법 : 음건법
- ㉧산란결과 : 25%

(2) 종묘생산용 배합사료

① 액체사료(液体飼料)

- ㉠지충이(鼠尾海藻)미립액 : 10-20mg/m²
- ㉡미역발효액 : 10-14 mg/m²
- ㉢식용효모 : 6-8 mg/m²
- ㉣급이횟수 : 2-4 회/일
- ㉤특이사항 : 지충이분쇄액이 효과 탁월함
- ㉥지충이분쇄액의 제조방법 : 신선한 지충이를 작게 자른 뒤 사료밀링기를 이용하여 분쇄한뒤 해조찌거기를 선별해 낸 다음 NX-70의 채로 걸러낸다.
- ㉦지충이발효액의 제조방법 : 채집→잘게 자름→사료밀링기에 의한 분쇄→발효과정(*Bacillus subtilis*)→NX-70의 채로 걸러냄 NX-70의 채로 걸러 냄→공급

② 분말사료(粉末飼料)

- ㉠주용성분 : 어분, 해조분말, 패각분말, 활성바다흙
- ㉡급이량 : 20-40 mg/미

㉔ 급이 횟수 : 3-4회/일

㉕ 성장도 : 5.0-10.6g까지 증가함

㉖ 생존율 : 1개월 뒤 90%까지 생존

㉗ 섭이는 주로 야간에 진행되므로 야간의 투입량은 주간의 2배로 급이한다.

(3) 부유유생용 먹이생물

① 종류(중국용어를 중심으로)

㉔ 角毛藻(규조류, *Chaetoceros muelleri*) 유생사육 적정
수온 18-20°C 에서 가장 잘 번식

㉕ 三角葛枝藻(규조류, *Phaeodactylum* sp.)

㉖ 鹽海藻(*Dunaliella salina*): 소형이며 소화율이 양호함

㉗ 附着硅藻類 : 부착기 유생공급

㉘ 海洋酵母 : 생효모로 생존된 것

㉙ 馬尾海藻(모자반류, 팽생이모자반, 비틀대모자반 등,
Sargassum sp.)

㉚ 鼠尾海藻(지충이, *Sargassum thunbergii*)

㉛ 大峽海藻(거머리말, 해산현화식물, *Zostera marina*)



그림 86. 활성바다흙과 분말사료의 반죽상태



그림 87. 시판용 활성바다흙



그림 88. 시판용 종묘생산 배합사료

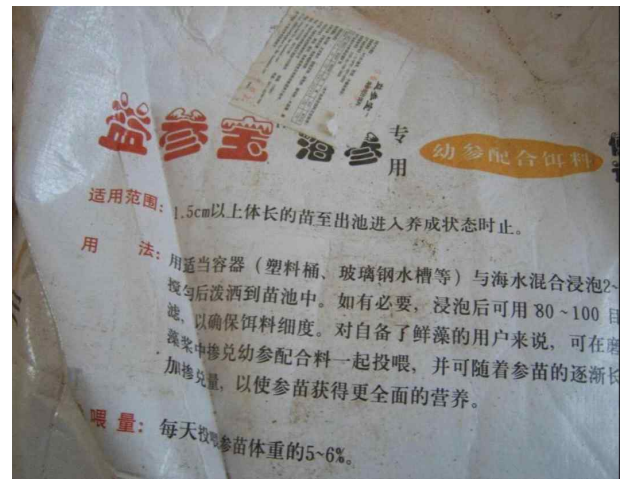


그림 89. 시판용 배합사료의 성분표시

5. 건조해삼의 가공과정

(1) 해삼의 포획

해삼은 보편적으로 1년에 2회 채집하며 봄에 채집되는 것은 봄해삼(4-5월경)이라고 한다. 봄해삼은 몸집이 두껍고 질이 좋으므로 상품가치가 비교적 높다. 가을 해삼(산란 후의 해삼, 일반적으로 10-12월초)은 몸집이 얇고 품질이 낮다. 채집은 보통 잠수작업으로 하나 기타 해삼망 등으로 채집한다.

(2) 해삼의 가공

해삼가공은 몇 단계로 나눈다.

①절개

포획된 해삼은 1시간 내에 칼로 항문부터 앞으로 가르며 내장을 제거한다. 해삼 절개시 창자가 완전하도록 하여 해삼 창자를 이용할 수 있게끔 한다. 내장 제거 후 바닷물로 깨끗이 씻는다.

②자숙

깨끗이 씻은 해삼을 냄비에 물을 넣고 삶는다. 물의 양은 해삼몸체를 덮을 정도로, 물이 끓을 때 나무주걱으로 부단히 뒤집어 해삼이 열을 균일하게 받게 하며 냄비에 불거나 가죽이 벗겨지지 않도록 조심한다.

끓인 뒤 위에 거품을 거두어 내며, 끓이는 시간은 40분 정도로 한다. 표준형은 삶은 뒤 해삼의 껍질이 단단하고 색상이 검게 변하고 가시가 단단하게 되며 절단시 금황색이어야 한다.

삶을 때 센 불에 끓이며, 만약 불이 약하면 해삼이 잘 마르지 않는다. 그러나 불이 너무 세도 제품이 온전하지 않아 품질이 떨어진다.

③절입

삶은 해삼을 제때에 건져내어 단지(독)에 넣고 뜨거울 당시 40% 가량의 소금을 넣고 휘저어 해삼 입으로 넣는다. 냉각 후 해삼과 국물을 함께 단지에 넣고 국물이 부족하면 물을 더 넣어준다. 국물이 몸이 잠기게 한 뒤 뚜껑을 덮고 그늘진 곳에 놓아 절인다. 시간은 여름 7-10일, 봄-가을은 20-30일 정도.

④굽다

절인 해삼을 솥에 넣고 소금을 넣어 센불로 30분정도 가열하여 해삼을 꺼냈을 때 해삼표면이 금방 마르고 눈과 같은 소금 결정체가 생길 때 솥에서 꺼내 말린다.

⑤보존제 첨가

두 번 끓인 해삼을 꺼내 말린 뒤 나무구유에 넣고 더울 때 재를 뿌린다. 보편적으로 50kg의 해삼에 2.5kg의 oak(떡갈나무) 목탄가루를 배합하며 최후에 나무구유에 한 층의 거적을 덮고 발로 밟아 해삼 몸체의 물기를 뺀다. 기타 목탄가루(나무/풀)를 사용하지만 색상과 보존상 oak나무보다 떨어진다.

⑥건조

목탄에 무친 해삼을 벗짚위에 놓고 말려 해삼몸체와 나무가시가 더욱 단단하도록 하며 목탄가루가 탈락되지 않을 때까지 한다. 이로 상품해삼이 가공되었다. 가공후의 마른 해삼은 포장해서 보존하며 습기를 받지 않도록 한다.

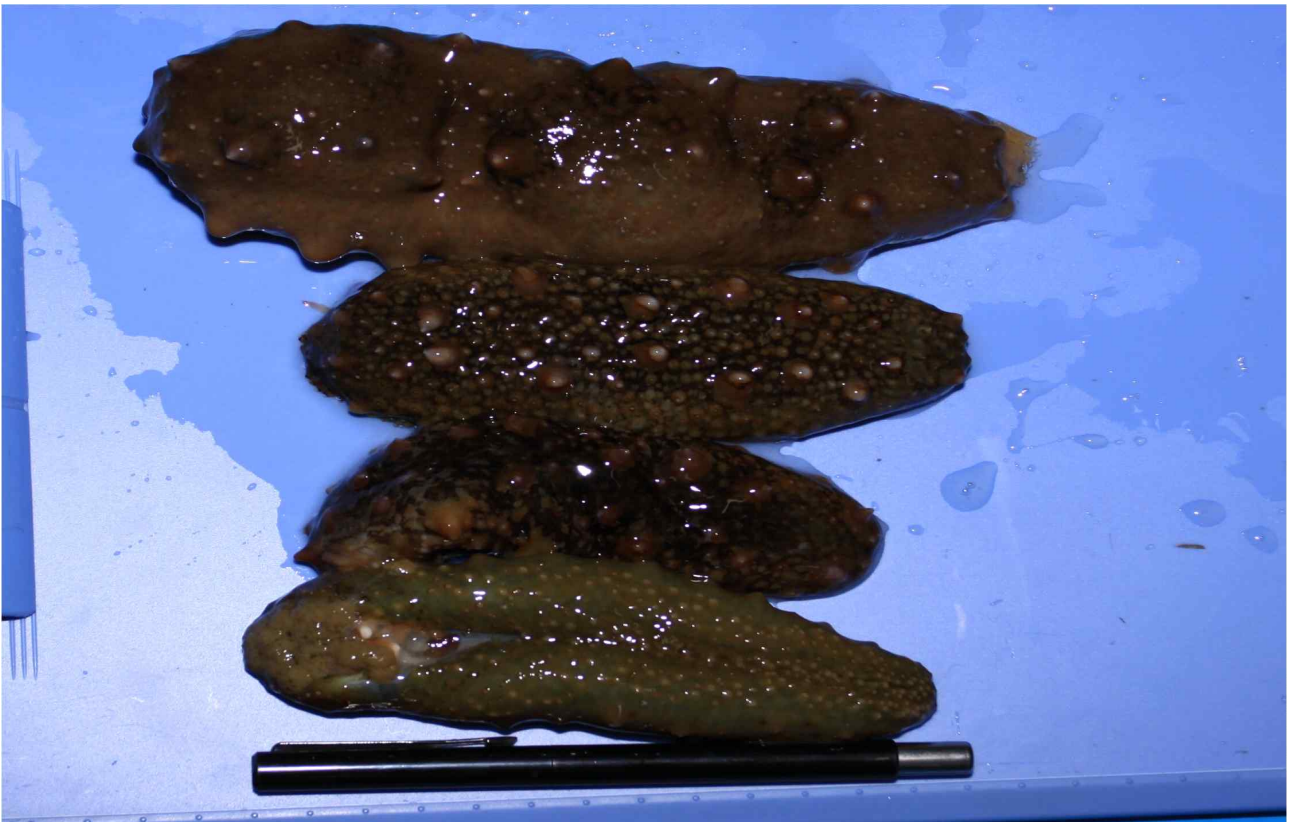


그림 90. 실제 가공에 사용하는 해삼



그림 91. 가공 전 포획된 해삼의 전처리



그림 92. 해삼의 가공중 자숙하는 모습과 과정중 불량품 모습



그림 93. 절임과정 후 해삼의 모습



그림 94. 가열 후 생긴 소금결정체



그림 95. 건조 및 포장 모습

(1):최종 포장전 선별, (2):가공후 줄어든 해삼크기, (3),(4):포장직전 검수모습

6. 중국해삼의 경쟁력 분석

(1) 양식생산기술의 경쟁력

① 개방형 노지양식방식 경쟁력(예, Homey group)

㉠ 단위면적당 생산력은 0.125 kg/坪/년

㉡ 무급이에 따른 저밀도생산방식

② 국내적용 가능성

㉠ 국토가 한정된 국내의 실정에는 맞지 않음

㉡ 국내새우양식의 경우 1.25 kg/坪/년으로 중국에 비해 10배 생산을 갖고 있으므로 국내적용 가능성이 낮다

(2) 종묘생산기술의 경쟁력

① 종묘생산

㉠ 해삼종묘생산은 대량양산체제를 갖추고 연간 약 10억미의 종묘를 생산하고 있기 때문에

㉡ 해삼종묘생산기술력의 경쟁력은 매우 뛰어나다.

(3) 먹이생물 및 사료 생산기술의 경쟁력

① 유생단계(유생→부착기)의 먹이생물

㉠ 미세먹이생물의 제품생산이 제한적임

㉡ 각종 규조류 생산에 인력소모형 방식 채택

㉢ 생산량도 극히 적음

㉣ 홍효모 및 PSB의 생산품은 잡균오염이 심함

㉤ 이런 이유로 종묘생산량의 획기적 증대가 어려운 것으로 판단됨

② 종묘생산 단계 먹이(부착기 → 5-6g 종묘)

㉠ 활성바다흙을 사용하고 있으나, 이는 자연채취에 따른 품질이 균일하지 못 함

㉡ 해조분말, 어분, 패각분말을 바다흙과 반죽해서 사용함

㉢ 상당한 기술력을 보유하고 있음

(4) 육성해삼(5-6g → 어미)의 생산 기술력

- ① 전용사료는 개발되어 있지 않음
- ② 보충사료가 개발되어 있음
- ③ 축제식노지양식에 사용되고 있으며, 경쟁력이 있음

(5) 건조가공

- ① 대부분 건삼형태로 판매되고 있음
- ② 가공기술은 국내에 보유하지 않은 기술로서 경쟁력이 있음

(6) 정부시책

- ① 사회주의국가 계획경제로서 계획생산을 유도하나 통제는 하지 않음
- ② 어업인들에게 특별한 지원제도는 없으나 어업인들이 정부 권장사업을 할 시 정부에서는 은행 대출을 받을 수 있도록 음·양으로 협조함
- ③ 양식장의 난립으로 향후 어장오염이 심화될 것으로 전망됨
- ④ 개인양식장이 대규모화를 진행되고 있음.

제 6 장 참 고 문 헌

- Albert K. Imsland and Snorri Gunnarsson, 2007. Comparison of Juvenile Spotted Wolffish, *Anarhchias minor*, Growth in Shallow Raceways and Circular tank. *Journal of the world aquaculture society* 38, 150-160.
- Battaglione, S. C., E. J. Seymour and C. Ramofafia, 1999. Survival and growth of cultured juvenile sea cucumbers *Holothuria scabra*. *Aquaculture*, 178, 293-322.
- Buchsbaum, M. R. a. P., Vicki & John, 1987. *Living Invertebrates*. Pacific Grove, CA, The Boxwood Press.
- Choe, S., 1963. *Study of Sea Cucumber: Morphology, Ecology and Propagation of Sea Cucumber*. Kaibundo Publishing House, Tokyo, Japan, p. 219.
- Dong, Y., Deng, H., Sui, X.L., Song, L., 2005. Ulcer disease of farmed sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Fish. Sci.* 24, 4-6 (in Chinese, with English abstract).
- Dong, Y., S. Dong, X. Tian, F. Wang and M. Zhang, 2006. Effects of diel temperature fluctuations on growth, oxygen consumption and proximate body composition in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka. *Aquaculture*, 255, 514-521.
- Hans K. Strand and Victor Øiestad, 1997. Growth and the effect of grading, of turbot in a shallow raceway system. *Aquaculture International* 5, 397-406.
- Ito, S., 1995. *Studies on the Technical Development of the Mass Production for Sea Cucumber Juvenile, Stichopus japonicus, Hatchery Manual*. Saga Prefectural Sea Farming Center, 87 pp.
- Ito, S., Kitamura, H., 1997. Induction of larval metamorphosis in the sea cucumber *Stichopus japonicus* by periphitic diatoms. *Hydrobiologica* 358, 281-284.
- Bonham, K., Held, E.E., 1963. Ecological observations on the sea cucumbers *Holothuria atra* and *H. leucospilota* at Rongelap Atoll, Marshall Islands. *Pac. Sci.* 17, 305- 314.
- Myeong, J. I., T. S. Ko and B. G. Kim, 1998. Effects of salinity, rearing density

- and feeding rate on survival rate of Korean rockfish(*Sebastes schlegeli*) larvae. Bull.Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea 54, 47-55(in Korean).
- Peter Castro, Michael E. huber, 2008. Marine biology. McGraw-Hill higer education,
- Reid, B. and Arnold, C.R., 1992. , The intensive culture of the Penaeid shrimp *Penaeus vannamei* Boone in a recirculating raceway system. Journal of the World Aquaculture Society 23, pp. 146-153
- Robert J. Wootton, 1990. Ecology of teleost Fishes. Great Britain, pp. 73-96
- Uthicke, S., 1999. Sediment bioturbation and impact of feeding activity of holothuria *Halodeima atra* and *Stichopus chloronotus*, two sediment feeding holothurians, at Lizard Island, Great Barrier Reef. Bull. Mar. Sci. 64, 129-141.
- Wang, H., Liu, F.A., Qin, C.X., Cao, S.Q. and Ding, J., 2007. Using a macroalgae *Ulva pertusa* biofilter in a recirculating system for production of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Aquacultural Engineering. 36, 217-224.
- Yingst, J.Yl., 1976. The utilization of organic matter in shallow marine sediments by an epibenthic deposit feeding holothurian. J. Exp. Mar. Biol. Ccol. 23, 55-69
- 강원도. 1995. 해삼 인공종묘생산 기술에 관한 연구, pp. 1~39.
- 이동훈, 2003. 한국산 녹조 납작파래(*Enteromorpha compressa*)의 질산염 흡수와 배아생장에 대한 광 및 온도의 영향, 부경대학교 대학원. pp14-30.
- 인천지방해양수산청. 2004. 중국 수산현장 연구보고서(해삼, 꽃게양식)
- 장형수. 2006. 21세기 신해양시대 구현을 위한 『해삼 인공종묘생산』 기술소개
- 조종태. 2007. 중국어패류 양식현장을 다녀와서
- 해양수산부, 2006. 해삼양식기술개발, pp. 59-79.
- 해양수산부, 2004. 해삼종묘생산, pp. 40.

※ 보고서 겉표지 뒷면 하단에 다음 문구 삽입

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림수산식품기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림수산식품기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.