

최 중
연구보고서

녹조류 청각(*Codium fragile*)의 대량생산 양식 기술 개발

Studies on the mass-cultivation technique of
Codium fragile (Chlorophyceae)

연구기관 : 목포대학교

해양수산부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “녹조류 청각 (*Codium fragile*)의 대량생산 양식 기술 개발
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007 년 7 월 일

주관연구기관명 : 목포대학교

주관연구책임자 : 박찬선

세부연구책임자 : 박찬선

연 구 원 : 박경양, 오철웅

백재민, 하동수

황미숙, 조현상

이창일, 위미영

정남주, 최민주

박 용

협동연구기관명 : 국립수산과학원

해조류연구센터

협동연구책임자 : 황은경

요 약 문

I. 제 목

녹조류 청각(*Codium fragile*)의 대량생산 양식 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 목 적

우리나라 해조류 양식산업의 구조개선과 가격하락 문제를 개선하기 위하여, 해조류양식 품종의 다변화는 꾸준히 수행되어져야 하는 과제이다. 청각은 예로부터 구충제, 여름철 식초냉채로 또는 김장 때 필수적으로 첨가되는 첨가제로 널리 이용되어 오고 있다. 특히, 최근에는 청각에 다량으로 함유된 싸이포노크산틴이라는 성분이 뛰어난 항암작용을 보인다는 것이 알려지면서 청각에 대한 수요가 꾸준히 증가되고 있다(Cameron-Smith et al. 1997; Castelli et al. 1990). 따라서 본 연구에서는 청각의 생태, 생리 등의 생물학적 기초연구를 바탕으로 하여 종묘생산 및 양성기술을 개발함으로써 해조류 양식품종의 다양화를 유도하고, 양식 기술을 널리 보급함으로써 어업인의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 청각의 대량생산을 통한 고부가가치성을 창출하는 의약품용 원료 공급원 및 청각이 가지는 낭상체 구조의 특성 중의 하나인 높은 영양염의 흡수압을 활용하여 연안 양식어장의 부영양염 흡수를 위한 인공해중립의 구성원으로 이용코자 한다.

2. 필요성

지구 생태계의 70% 이상을 차지하고 있는 해양 환경에서 해조류는 1차 생산자로서의 유기물 생산뿐만 아니라 해수 중에 산소를 공급함으로써 해양 무척추동물, 어류 및 원생동물 등 다양한 동물들의 서식 환경을 제공하는 등 해양 생태계에 있어서 중요한 역할을 수행하고 있다(Chapman 1962; Abott 1988). 또한 해조류는

전통적으로 이용되어 온 식량 원으로서의 용도 이외에도 비타민, 미네랄 및 다양한 생리활성 물질의 공급원으로서의 가치 등으로 가축의 사료나 농작물의 비료로서도 이용되어 왔다(Indergaard 1983).

우리나라의 해조자원은 현재까지 보고된 것이 총 735종이 보고(이와 강 1986; 이와 강 2002)되어 있으나 그 가운데 실제로 이용되고 있는 종류는 20종 이내이며(Sohn 1993), 대량 양식은 김, 미역, 다시마, 툇 등의 소수에 국한되어 이루어지고 있다. 따라서 효율적인 해조자원의 이용 및 해조류양식 산업의 품종 다변화를 위하여 다양한 양식 대상종의 개발에 노력을 기울여야만 한다(Sohn 1998; Hwang et al. 2007).

녹조류 청각은 우리나라와 중국, 일본은 물론 필리핀과 하와이, 아프리카 등지에서 식용으로 널리 이용되고 있으며(Kang 1966; Kang 1968; Velasquez 1972; Oh et al. 1990), 오래전부터 민간 요법의 구충제로 이용되거나(Kang 1968; Hoppe 1979), 비뇨기 질환 및 수종 치료(Tseng and Zhang 1984)에 이용되어 왔다. 또한 청각의 추출물에는 항생작용이 있는 acrylic acid, 항응고 활성물질, 응집소 등이 함유되어 있을 뿐 아니라 항암 및 항돌연변이 효과와 면역활성 등이 있는 것으로 밝혀져, 약학·생화학·의학분야에도 응용될 수 있는 유용 해조이다(Katayama 1964; Glombitza 1969; Shiomi 1983; Ryu et al. 1986; Cho et al. 1990; Rogers et al. 1990; Rogers and Loveless 1991; Rogers and Hori 1993).

청각은 다년생 해조로(Head and Carpenter 1975), 최근 세계적으로 그 분포 범위가 넓어지면서 서식지 환경에 강한 적응력을 보이는 것이 보고되었다(Carlton and Scanlon 1985; Campbell 1999). 이는 청각이 환경에 대처하는 생리적 유연성과 동계의 질소원 저장능력 때문으로 밝혀졌으며(Duke et al. 1989), 청각에서 일어나는 분절현상으로 연간 청각 생산량의 87.3%가 부식먹이사슬로 흡수되므로써 연안 생태계 유지에 공헌하며(Fralick and Mathieson 1972; 1973; Benson et al. 1983; Gerard et al. 1990), 스펀지와 같은 엽체 표면의 특징으로 인하여 다른 많은 해조류와 무척추동물의 서식처를 제공하는 특성을 가지는 종이다(Coffin and Stickney 1966; Churchill and Moeller 1972; Hanisak 1979).

따라서 청각 양식기술개발을 통하여 해조류양식 양식 품종의 다변화를 꾀할 수 있으며, 식용으로서의 이용뿐 아니라 고부가가치를 창출할 수 있는 생화학 및

의학 분야에 적용이 가능하고, 인공종묘생산 기술을 적용하여 해조장 형성시 종묘로 공급하므로써 연안 환경 조성에 기여할 수 있다.

청각 양식기술개발을 통하여 다음과 같은 목적을 달성하고자 한다.

- 해조류 양식 품종의 다변화에 기여
- 고부가가치 창출로 어업인 소득증대
- 인공종묘생산 기법을 이용한 해중립 조성시 종묘 보급 체계 마련
- 청각 양식 확대로 연안 환경의 부영양물질 제거

가. 기술적 측면

청각은 오래전부터 중국에서 민간요법 구충제로 사용되어 왔으며(Tseng and Zhang 1984), 최근에는 청각에서 추출한 당단백질인 Sarcoma-180 세포 수용성 추출물이 항암효과 및 항생작용이 있다고 알려지고 있으며(Cho et al. 1990; Glombitza 1969), 질소 저장능력이 커서(Duke et al. 1989), 부영양 환경에서도 양호하게 성장하므로 부영양해역에서 질소와 인산염의 제거에 효과적으로 이용할 수 있다(Lobban et al. 1985; Ramus and Venable 1987). 또한 인공 해중립 조성에 의한 대량 번식으로 초식 해산동물의 섭식압을 흡수할 수 있는 잠재적 이용도가 높은 해조이다(Sandgren and Robinson 1984; Yotsui and Migita 1989).

청각은 몸의 체제상 영양생장이 용이하여 실내배양에서도 분화전능(totipotency)이 발현되는 것으로 알려져 왔으며(Borden and Stein 1969; Yang et al. 1997; Nanba et al. 2002; Nanba et al. 2005), 청각의 분화전능성을 유발하는 요인에 대하여 Ramus(1972)는 물의 왕복운동에 의한 물리적 자극이 필요하다고 하였다. 이와 같은 관점에서 Yotsui and Migita(1989)는 실내에서 채묘된 수사를 바다에 옮겨 수하하였을 경우 청각의 직립체를 얻을 수 있었으나, 실내배양 실험을 통해서서는 이러한 결과를 얻지 못하였다(Arasaki et al. 1956).

일반적으로 해조류는 포자의 방출이 까다롭고 접합자의 형성을 통한 종묘생산이 어려워 무성적인 영양생식을 통한 양식효과가 더욱 기대되고 있다. 예컨대 청각의 재생수사를 이용한 양식(Park and Sohn 1992), 우뭇가사리 재생에 관한 배양연구(김 1984) 그리고 툯의 부착기 재생을 통한 양식(황 등 1999) 등이

그러한 예이다. 이와 같은 경우 유성생식을 통한 생활사의 한 부분이 양식에 적용되는 방안과 실내실험을 통한 인위적 처리방법 등이 요구되므로, 해조류를 양식하지 않는 서구는 물론 일본에서도 종묘생산 방안과 같이 양식에 직접 연관된 연구는 거의 없었으나, 최근 유성생식을 통하지 않고 재생 수사를 종묘로 하여 야외 인공양식에 성공한 사례가 보고되고 있다.

따라서 이 연구는 청각의 영양생식을 통하여 기대되는 종묘생산의 효과 및 형태형성을 유발하는 배양조건을 구명함으로써 양식을 위한 종묘생산과 양성 기법의 개발을 목적으로 한다.

나. 경제·산업적 측면

우리나라 연안 해역에서 분포하는 것으로 기록된 해양 식물은 남조식물이 48종, 녹조식물이 82종, 갈조식물 139종, 홍조식물 406종, 그 외에 와편모조류 등의 단세포성 조류로 구성이 되어 있다(Oh et al. 1987; 이와 강 2002). 이들 상당수의 종들이 인간의 식량 자원 뿐 아니라 의약품, 공업용 등으로 이용이 되고 있으나 최근 우리나라의 환경오염과 해양 생물의 남획 그리고 무분별한 외래종의 유입 등으로 인하여 해양 생물자원이 고갈되고, 유용 해양 생물의 유전적 열성화가 진행되고 있는 실정이다(Hwang et al. 2005a; 2005b). 따라서 우리나라 연안의 해조 자원을 꾸준히 개발하고 종별 양식기법을 발전시키므로써 유용 해조류 종의 확보와 보존 기반의 마련이 시급한 실정이다.

다. 사회·문화적 측면

온대 해역에 속하는 우리나라 주변 해역의 해조류 자원은 매우 높은 종 다양성을 보유하고 있으며 이러한 유전자원 pool은 미래의 유전자 전쟁 등을 대비하는 매우 중요한 자원이 될 것이다. 그러나 현재와 같이 연안 환경 오염과 해양 생물의 남획 그리고 몇몇 단일 종의 대량양식 등으로 인한 품종의 유전적 열성화와 같은 문제점을 극복하기 위한 노력을 기울이지 않는다면 미래의 유전자 전쟁에서 선진국에 뒤처지게 될 것이다. 이러한 문제점을 타개하기 위해서는 해조류 종별 양식기법을 발전시키고 새로운 이용 방안을 제시하므로써 우리나라 해조류 자원의 이용도를 높일 수 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 청각 개체군의 생리·생태학적 특성연구

가. 청각 개체군의 생태적 특성

1) 개체군의 서식지 환경

청각 서식지(완도의 원동, 보길도)의 수온, 염분도, 인산염, 질산염, 수중광량 등의 서식환경을 월별로 측정하고 분석하였다.

2) 개체군의 성장 및 성숙

청각 개체의 성장과 성숙에 따른 형태적 형질 분석은 서식지(완도의 원동, 보길도)에서 각각 무작위로 채집된 개체(30개체 이상)의 엽장, 엽폭, 엽중량(습중량), 분지수, 포낭의 크기, 배우자낭의 형성 및 성숙유무를 월별로 파악하였다.

나. 청각 개체군의 생리적 특성

1) 광·온도에 따른 성장

청각 엽체의 성장에 미치는 조도 및 온도의 영향을 알아보기 위하여 엽체의 상부쪽 가지를 1cm 크기로 절단한 다음 1L 플라스크에 3 ± 0.3 g 씩 수용하여 각각의 온도(10, 15, 20, 25℃)와 조도(40, 60, 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 조건하에서 통기배양 하였다. 배양동안 배지(PES배지, Provasoli 1966)의 교환과 성장의 측정은 일주일 간격으로 실시하였다.

2) 광질에 따른 성장

광질에 따른 청각의 성장 및 형태형성을 알아보기 위하여 청각 엽체의 상부쪽 가지를 2cm 크기로 절단한 다음 1L 플라스크에 10개씩 넣고 통기(200mL/min)배양 하였다. 광질은 백색광(형광광원), 청색광(LED 480nm), 적색광(LED 680nm)으로 구분하여 사용하였으며, 배양은 온도 20℃, 광주기 16:8 LD, 광세기 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조건하에서 실시하였다. 엽체의 습중량 변화와 재생지의 길이는 모든 재생지 길이의 평균치로 나타내었으며, 성장측정은 2주간격으로

실시하였다.

3) 광·온도·광주기에 따른 배우자낭 형성 및 성숙

청각의 배우자낭 형성 및 성숙에 미치는 온도(10, 15, 20, 25°C), 조도(40, 60, 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 그리고 광주기(24:0, 16:8, 8:16 LD)의 영향을 알아보기 위하여 36개의 조합된 실험구에서 50일간 배양하였다. 배우자낭의 형성율은 각 구간별로 모조로부터 30개씩 분리된 포낭에 형성된 배우자낭수의 비율을 10회 이상 측정하여 그 평균으로 하였으며, 배우자낭의 성숙도는 배우자낭의 길이와 폭을 측정함으로써 판별하였다.

4) 광·온도에 따른 형태형성

광·온도에 따른 분리수사의 형태형성에 따른 영향을 알아보기 위해 엽체로부터 분리된 포낭을 500mL 플라스크에 수용해 온도 10, 15, 20, 25°C, 조도 10, 20, 60, 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 광주기 16:8 LD, 통기량 200mL/min의 조건으로 배양하면서 형태형성의 양상을 관찰하였으며, 수사는 연기적 분기(sympodial branching)를 하므로 배양시간에 따른 길이 증가의 측정은 정량적으로 계측할 수 없어서 광·온도에 대한 형태형성의 유무만을 관찰하였다. 각 구간별 수사로 부터의 형태형성은 10일 간격으로 발달양상에 따라 수사, 직립지, 분지의 형태로 구분하였다.

5) 물리적 유동에 따른 형태형성

청각의 형태형성을 유도하는 주요인자들 중의 하나가 물리적인 자극이다. 본 실험에서 시도되었던 물리적인 자극실험은 청각의 형태형성 유도의 충분조건으로 조도(100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 광주기(16:8 LD)와 온도(20°C)조건을 충족시킨 후 배양용기(500mL)내의 통기량(100, 200, 300, 400mL/min)을 달리하여 접합자와 수사를 배양하였을 때 형태형성을 유도하는 임계통기량을 구명코자 하였다. 수사는 연기적 분기(sympodial branching)를 하므로 배양시간에 따른 길이 증가의 측정은 정량적으로 계측할 수 없어서 각 통기량에 대한 형태형성의 유무만을 관찰하였다. 각 구간별 수사로 부터의 형태형성은 10일 간격으로 발달양상에

따라 수사, 직립지, 분지의 형태로 구분하였다.

6) 광질에 따른 형태형성

광질에 따른 분리수사의 형태형성에 따른 영향을 알아보기 위해 엽체로부터 분리된 포낭을 500mL 플라스크에 수용해 각 광원별 인큐베이터에서 온도 20℃, 광주기 16:8 LD, 광세기 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 통기량 200mL/min의 조건으로 배양하면서 광질[백색광(형광광원), 청색광(LED 480nm), 적색광(LED 680nm)]에 따른 형태형성의 양상을 관찰하였으며, 수사는 연기적 분기(sympodial branching)를 하므로 배양시간에 따른 길이 증가의 측정은 정량적으로 측정할 수 없어서 각 광질에 대한 형태형성의 유무만을 관찰하였다. 각 구간별 수사로부터의 형태형성은 10일 간격으로 발달양상에 따라 수사, 직립지, 분지의 형태로 구분하였다.

2. 청각의 생식방법별 배양환경 연구

가. 유성생식을 이용한 배우자 방출 및 접합자 배양

1) 배우자 방출량의 정량화

성숙된 암배우자낭의 배우자 방출 개시 시점부터 방출 완료 시점까지 방출된 배우자의 수를 계수하였다.

2) 조도조건별 접합자의 배양

5개 조도조건(10, 20, 40, 60, $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)과 15℃ 및 16:8 LD의 광주기 조건하에서 접합자가 부착된 cover glass를 직경 5cm의 멸균된 petri-dish로 옮겨 조도조건별 접합자의 성장을 측정하였다. 모든 실험은 3반복 실험구로 설정하였으며, 배지는 PES 배지를 사용하였고 3일마다 전량 교환하였다.

3) 온도조건별 접합자의 배양

4개 온도조건 (10, 15, 20, 25℃)과 16:8 LD의 광주기 및 $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조건하에서 접합자가 부착된 cover glass를 직경 5cm의 멸균된 petri-dish로 옮겨 조도조건별 접합자의 성장을 측정하였다. 모든 실험은 3반복 실험구로

설정하였으며, 배지는 PES 배지를 사용하였고 3일마다 전량 교환하였다.

나. 무성생식을 이용한 분리수사에 의한 재생

1) 청각 1g중량당 포낭의 수 정량화

청각 엽체 1g을 10mL의 해수에 넣고 포낭을 핀셋으로 분리하여 1mL 해수 중의 포낭수를 계수하였다.

2) 호모게나이저의 회전속도별 분리수사의 재생

호모게나이저(DI 25 basic, GMBH & Co., Germany)를 이용한 청각의 수사 분리는 습중량 1g의 청각 엽체를 10 mL의 멸균해수와 함께 각각의 회전속도별 (8,000, 9,500, 13,500, 20,500, 24,000 min^{-1})로 30초 씩 분쇄후 포낭의 길이와 수사의 길이를 측정하고, 15°C 온도조건과 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서 5일간 배양한 후 재생된 포낭의 수를 측정하였다.

3) 온도조건별 분리수사의 성장 및 재생

4개 온도조건 (10, 15, 20, 25°C)과 16:8 LD의 광주기 및 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건하에서 분리수사의 성장 및 재생을 측정하였다. 분리수사의 성장 측정은 배양 초기에는 수사의 길이를 측정하였으나, 배양 3일 후부터는 불규칙하게 자라는 수사의 특성상 길이측정이 곤란하므로 재생된 포낭의 수를 측정하였다. 모든 실험은 3개의 독립된 petri dish를 이용하여 3반복 실험하였다.

4) 조도조건별 분리수사의 성장 및 재생

4개 조도조건($20, 40, 60, 100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)과 20°C 및 16:8 LD의 광주기 조건하에서 분리수사의 성장 및 재생을 측정하였다. 분리수사의 성장 측정은 배양 초기에는 수사의 길이를 측정하였으나, 배양 3일 후부터는 불규칙하게 자라는 수사의 특성상 길이측정이 곤란하므로 재생된 포낭의 수를 측정하였다. 모든 실험은 3개의 독립된 petri dish를 이용하여 3반복 실험하였다.

3. 청각의 양식학적 연구

가. 인공채묘

1) 접합자 및 분리수사의 인공채묘

청각 접합자를 이용한 접합자의 채묘는 2005년 8월에 실시하였으며, 채묘틀 (45×55cm, 크레모나 36합사)을 직경 1m의 원형수조 바닥에 깔고 채묘틀 1틀당 500g의 성숙 모조를 얹고 채묘틀과 성숙모조를 번갈아 층층이 쌓아놓고 air를 공급하였다. 채묘틀은 성숙 엽체가 녹아나갈 때 까지 2주일간 유수시킨 후 사각수조로 옮겨 수직으로 배열하여 자연채광 및 자연수온 조건으로 수조에서 배양하였다.

분리수사의 채묘는 blender를 이용하여 청각 엽체 200g과 해수 500mL의 비율로 포낭과 수사 분리액을 제작하여 채묘틀을 분리액에 담가 강제채묘시킨 후 실내사각수조로 옮겨 수직으로 배열하여 자연채광 및 자연수온 조건으로 배양하였다.

2) 채묘방법별 성장 및 채묘효과

가) 유성생식에 의한 접합자 성장 및 채묘효과

성숙된 청각 모조로부터 방출된 배우자의 접합에 의해 만들어지는 접합자를 기질에 채묘하여 유성생식에 의한 접합자의 성장 및 채묘효과를 비교하였다. 성숙 모조는 2005년 7월 전남 완도군 완도읍 원동리에서 채집하였으며, 실험실로 옮겨 멸균해수에서 수회 세척한 후 15℃의 냉암소에서 1일간 적응시킨 후 배우자 방출을 유도하였다. 성숙모조의 소요량은 종사 1m당 5g 정도의 비율로 하였으며, 채묘틀은 45×55cm(크레모나사 36합사)를 이용하여 성숙모조와 채묘틀을 번갈아 놓아 방출된 배우자가 접합하여 기질에 부착하도록 하였으며, 채묘수조의 유수량은 1L/min.로 유지하였다. 접합자의 성장 및 채묘효과의 측정은 종사 1cm 당 부착된 접합자의 수와 길이로 측정하였다.

나) 무성생식에 의한 수사의 성장 및 채묘효과

청각 엽체는 채묘할 종사의 길이 1m 당 2g의 비율로 Hand blender(MR 5550CA, Braun)를 이용하여 분리수사액을 제조하였다. 분리수사액에 채묘틀을 담가

분리수사의 채묘를 실시하였으며, 기질에 채묘된 분리수사의 생장도와 채묘 효과를 비교하였다. 분리수사의 생장 및 채묘효과의 측정은 종사 1cm 당 부착된 수사의 수와 길이로 측정하였다.

다) 채묘틀의 건조시간별 분리수사의 채묘효과

분리수사액에 채묘틀을 담가 강제채묘한 후 배양수조에 넣기 전 건조시간 (0, 0.5, 1, 2, 3시간)별 분리수사의 생장도와 채묘효과를 비교하였다. 건조시간 조건별 분리수사의 생장 및 채묘효과의 측정은 종사 1cm 당 부착된 수사의 수와 길이로 측정하였다.

3) 채묘기질별 생장 및 채묘효과

분리수사의 채묘시 채묘기질별(크레모나 18합사, 36합사 및 팜사)로 분리수사의 생장도와 채묘효과를 비교하였다. 크레모나사 18합사는 직경 $1.43 \pm 0.12\text{mm}$ 였으며, 36합사는 직경 $2.12 \pm 0.17\text{mm}$ 그리고 팜사는 직경 $4.50 \pm 0.38\text{mm}$ 였다. 각 채묘기질별 분리수사의 생장 및 채묘효과는 종사 1cm 당 부착된 수사의 수와 길이로 측정하였다.

4) 집합자와 분리수사의 채묘효율 비교

청각 집합자를 이용한 집합자의 채묘는 2005년 7월에 실시하였으며, 채묘틀 (45×55cm, 크레모나 36합사)을 직경 1m의 원형수조 바닥에 깔고 채묘틀 1틀당 500g의 성숙 모조를 얹고 채묘틀과 성숙모조를 번갈아 층층이 쌓아놓고 air를 공급하였다. 채묘틀은 성숙 엽체가 녹아나갈 때 까지 2주일간 유수시킨 후 사각수조로 옮겨 수직으로 배열하여 자연채광 및 자연수온 조건으로 배양하였다.

분리수사의 채묘는 blender를 이용하여 채묘틀 1틀당 200g과 해수 500ml의 비율로 포낭과 수사 분리액을 제작하여 채묘틀을 분리액에 담가 강제채묘시킨 후 사각수조로 옮겨 수직으로 배열하여 자연채광 및 자연수온 조건으로 수조 배양 하였다.

집합자와 분리수사로 채묘된 채묘틀의 가이식은 2005년 8월부터 완도 정도리 앞바다의 시험 어장에서 연승수하식으로 이루어졌다. 생장 측정은 종사 10 cm를

3개씩 절단하여 습중량을 측정하였다.

5) 채묘후 실내배양일수에 따른 가이식 효과

2005년도 6월부터 11월까지 매월 분리수사의 채묘를 실시하여 실내배양수조에서 배양한 후 2005년 12월에 전남 완도군 정도리의 양식어장의 수심 0.5m에서 가이식을 실시하였으며, 2006년 5월부터 12월까지 진행하였다. 채묘시기의 차이 따른 실내배양 일수별 가이식 효과의 분석은 가이식 기간중 수사의 성장과 종사 10cm를 3개씩 절단하여 습중량을 측정하였다.

6) 적정 가이식장 조건 파악

적정 가이식장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도, 유속, pH, 전기전도도, 수중광량, 영양염 등의 요소들을 전남 완도군 보길면 어장 및 완도군 완도읍 정도리 어장에서 2004년 11월부터 2005년 8월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다.

나. 가이식

1) 유성 및 무성생식방법별 가이식 효과 비교

유성 및 무성생식방법별 가이식 실험은 2005년 10월 1일부터 12월 1일까지 60일간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식어장에서 수행되었다. 가이식 수심은 0.5m로 유지하였으며 성장 측정은 15일 간격으로 실험구별 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1cm당 수사의 수를 측정하였다.

2) 가이식 기간 중 청각의 성장도

가) 가이식 기간 중 수온 및 수중광량의 변화

가이식 어장별 환경조사는 전남 완도군 완도읍 정도리와 완도군 보길면의 2개 지점에서 수행하였으며, 각 어장의 월별 수온, 용존산소, 염분도, 전기전도도의 변화는 YSI-85(YSI, USA)를 이용하여 측정하였고, 수중광량은 LI-1400(LI-Cor,

USA)를 이용하여 측정하였다.

나) 채묘기질별 청각의 생장도 및 가이식 효과

분리수사의 채묘시 채묘기질별(크레모나 18합사, 36합사 및 팜사)로 분리수사의 생장도와 채묘효과를 비교하였다. 크레모나사 18합사는 직경 $1.43 \pm 0.12\text{mm}$ 였으며, 36합사는 직경 $2.12 \pm 0.17\text{mm}$ 그리고 팜사는 직경 $4.50 \pm 0.38\text{mm}$ 였다. 가이식 수심은 0.5m로 유지하였으며, 생장 및 가이식 효과의 측정은 15일 간격으로 실험구별 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1cm당 수사의 수를 측정하였다.

다) 채묘시 노출시간별 청각의 생장도 및 가이식 효과

분리수사액에 채묘틀을 담가 채묘한 후 배양수조에 넣기 전 건조시간(0, 0.5, 1, 2, 3시간)별 분리수사의 생장도와 채묘효과를 비교하였다. 건조시간 조건별 분리수사의 생장 및 가이식 효과의 측정은 15일 간격으로 실험구별 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1cm당 수사의 수를 측정하였다.

라) 가이식 수심별 청각의 생장도 및 가이식 효과

가이식 실험은 2005년 10월 1일부터 12월 1일까지 60일간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식어장에서 수행되었으며, 환경측정은 수온과 수심별 수중광량을 측정하였다. 수중광량의 측정은 LI-1400 Data Logger(LI-Cor, USA)를 이용하여 7일 간격으로 수심(0, 0.5, 1, 2, 3m)별로 측정하였으며 측정시마다 5회 측정의 평균값으로 기록하였다. 가이식 수심은 각각 0.5, 1, 2 및 3m 실험구별로 채묘틀을 수하식으로 시설하였으며, 청각의 생장 및 가이식 효과의 측정은 15일 간격으로 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1cm 당 수사의 수를 측정하였다.

마) 가이식 시기별 청각의 생장도 및 가이식 효과

2005년 7월부터 12월까지 매월 가이식을 실시하여 각 실험구별 청각 수사

또는 직립지의 생장 및 가이식 효과를 측정하였다. 청각의 생장 및 가이식 효과의 측정은 1개월 간격으로 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1cm 당 수사의 수를 측정하였다.

3) 가이식 기간 중 해적생물조사

가이식 기간중 가이식 수심 (0.5, 1, 2, 3m)별 청각 채묘들의 종사에 출현한 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 빨질 등이 주를 이루었으며, 15일 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

다. 양성

1) 적정 양성 어장 조건 파악

적정 양성어장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도 및 전기전도도와 수중 광량의 요소들을 전남 완도군 보길면 어장 및 완도읍 정도리 어장에서 2007년 1월부터 6월까지 매월 모니터링 하였다.

2) 양성 기간 중 청각의 생장도

가) 양성 어장별 청각의 생장도

전남 완도군 보길면 어장 및 완도읍 정도리 어장에서 2007년 1월부터 6월까지 매월 청각의 분리수사 채묘에 의한 양성 생장도를 측정하였다. 생장도 측정은 측정시마다 3반복 실험구 측정의 평균값으로 기록하였다. 생체량은 종사 10cm의 중량의 3반복 평균치를 이용하여 단위m당 현존량으로 환산하였다.

나) 유성·무성생식 방법별 양성 효과

유성 및 무성생식방법별 양성실험은 자연채묘와 분리수사의 채묘로 구분하여 2006년 12월부터 2007년 6월까지 전남 완도군 보길면 어장에서 실시하였으며 예비 양성실험 결과(2004년 12월부터 2005년 8월까지)와 비교 분석하였다.

다) 양성 수심별 생장도 및 양성 효과

(1) 전기양성기간 중 양성수심별 생장도 및 양성효과

전기양성실험은 2006년 1월부터 5월까지 4개월간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식어장에서 수행되었으며 1개월 간격으로 수심(0.5, 1, 2, 3m)별로 생장도를 측정하였다. 생장도 측정은 측정시마다 3반복 실험구 측정의 평균값으로 기록하였다. 양성 수심은 수평식 로프에 4m 길이의 수직로프를 시설하여 각 수심별로 종사 10cm 길이로 3개씩 절단하여 청각 직립엽체의 수와 길이생장 및 분지횟수를 측정하였으며, 생체량은 종사 10cm의 중량의 3반복 평균치를 이용하여 단위m당 현존량으로 환산하였다.

(2) 후기양성기간 중 양성수심별 생장도 및 양성효과

후기양성실험은 2006년 5월부터 8월까지 3개월간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식어장에서 수행되었으며 1개월 간격으로 수심 (0.5, 1, 2, 3m)별로 생장도를 측정하였다. 생장도 측정은 측정시마다 3반복 실험구 측정의 평균값으로 기록하였다. 양성 수심은 수평식 로프에 4m 길이의 수직로프를 시설하여 각 수심별로 종사 10cm 길이로 3개씩 절단하여 청각 직립엽체의 수와 길이생장 및 분지횟수를 측정하였으며, 생체량은 종사 10cm의 중량의 3반복 평균치를 이용하여 단위m당 현존량으로 환산하였다.

라) 양성 방법별 생장도 및 양성 효과

청각의 분리수사 채묘는 2006년 10월 12일에 45×55cm 규격의 채묘틀(크레모나사, 36합사)을 이용하였으며, 가이식은 2006년 12월15일부터 2007년 1월 15일까지의 1개월간 전남 완도군 보길도 어장에서 수행되었다. 수평식 양성시설은 분리수사가 생장되어 있는 종사 1가닥 또는 2가닥을 본양성용 로프(직경 12mm)에 10cm 간격으로 감기 시설하였다. 재생장 측정 실험구는 2006년 10월에 전남 완도군 보길도 어장에서 청각 엽체의 부착기부분을 2cm 내외로 남긴 나머지 부분을 이용하여 엽체의 단편으로부터 재생장을 측정하기 위하여 2006년 11월부터 2007년 5월까지 7개월간 매월 청각 엽체의 길이, 엽체수, 분지수 및 생체량을 측정하였다.

청각 직립엽체의 양성 성장도 측정은 매월 1회 양성 로프로부터 10cm길이의 종사를 3개씩 절취하여 반복실험구로 이용하였으며, 직립엽체의 길이성장, 직립엽체의 수 및 분지횟수를 측정하였다. 생체량의 측정은 종사 10cm 중량의 3반복 평균치를 이용하여 단위 m당 현존량으로 환산하였다.

마) 가이식 기간에 따른 양성 효과

2005년 6월부터 11월까지 1개월의 차이를 두고 매월 단계적으로 분리수사를 채묘하여, 각각 1개월 후 가이식을 실시한 후 2006년 1월부터 8월까지 양성 성장도를 각각의 실험구별로 측정하였다. 즉 가이식 기간이 각각 6, 5, 4, 3, 2, 1개월 및 가이식을 실시하지 않은 실험구로 구분하여 직립엽체의 길이, 엽체수, 분지수 및 생체량을 측정하였다.

바) 양성기간 중 해적생물 조사

2007년 1월부터 6월까지 양성기간 중 청각 양성로프로에 출현한 청각 이외의 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 빨질 등이 주를 이루었으며, 1개월 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

3) 청각의 건조수율

가) 자연건조시 건조수율 및 건조중량 측정

2006년 10월에 자연조건하에서 청각 습중량 50g씩 3반복 실험구를 설정하여 시간경과별 중량 변화를 측정하여 상대수분함량 변화를 측정하였다. 청각의 건조중량 측정은 습중량 100g의 엽체를 3반복 실험구로 설정하여, 온도조건 80℃의 dry oven에서 24시간 건조시킨 후 측정하였다.

나) 온도조건별 건조수율

2006년 10월에 청각 습중량 50g씩 3반복 실험구를 설정하여 온도조건 40, 60, 80 및 100℃ 조건의 Dry oven에서 각각 시간경과별 중량 변화를 측정하여 건조중량과 상대수분함량 변화를 측정하였다. 청각의 건조과정 중 색택의 변화를 측정하기 위하여 자연상태 청각의 색택을 기준으로 하여 각 온도조건별 색택의

변화를 색차계(CR-1000, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다.

4) 청각 양식의 매뉴얼

청각의 인공채묘 조건과 가이식 및 양성 조건을 도표화 하여 청각 양식의 매뉴얼을 작성하였다.

4. 청각의 이용 및 경제성 분석

가. 이 용

1) 청각추출물이 고지혈증으로 인한 흰쥐의 간세포 손상 및 고지혈증에 미치는 영향

청각의 추출물이 혈중 cholesterol 및 지질대사에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실험동물인 rat에 고 콜레스테롤 식이를 투여하여 고지혈증을 유발시킨 후 5주간 청각분말을 투여하면서 혈중 cholesterol 및 AST, ALT 효소 활성치 등 혈액생화학적 변화를 관찰하였고 전자현미경을 이용하여 간세포의 조직학적 변화를 조사하였다. 이들 결과들을 제공함으로써 청각의 이용도를 극대화시키고 고부가가치성 창출할 수 있도록 하였다.

나. 경제성 분석

1) 청각양식의 경제성 분석

청각양식어업의 경영특성은 크게 종묘생산부분과 양식부분으로 나누어 분석되었다. 청각의 종묘생산과 양식에 참여했던 어가를 통하여 배부·회수한 손익조사서를 이용하여 손익계산, 공통형 손익계산, 항목별 민감도분석을 통하여 청각양식의 경제성을 분석하였다.

IV. 연구개발 결과

1. 청각 개체군의 생리·생태학적 특성연구

가. 청각 개체군의 생태적 특성

1) 개체군의 서식지 환경

2004년 8월부터 2005년 5월까지 청각 개체군 서식지역의 수온 변화는 원동에서는 9월에 24.8℃로 가장 높았으며 2월에 5.8℃로 가장 낮았다. 염분농도는 32.1-34.2%의 범위를 보였다. 인산염 농도는 8월에 0.58 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최저치를 보였으며, 12월과 3월에 0.81 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최고치를 나타내었다. DIN 농도는 8월에 7.79 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최저치를 나타내었으며, 3월에 16.31 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최고치를 나타내었다. 보길도에서는 9월에 23.7℃로 가장 높은 수온을 나타냈으며, 2월에 7.2℃로 가장 낮았다. 염분농도는 33.2-34.6%의 범위를 보였다. 인산염 농도는 8월에 0.55 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최저치를 보였으며, 3월에 0.79로 최고치를 나타내었다. DIN 농도는 역시 8월에 7.11 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최저치를 보였으며 3월에 15.27 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최고치를 나타내었다.

2) 개체군의 성장 및 성숙

원동지역 개체군의 월별 엽체 길이는 9월에 25.4±6.7cm로 최고치를 나타내었으며 이후 점차 엽체 길이생장이 감소하기 시작하여 2005년 1월에 1.9± 0.5cm로 최저치를 나타내었다. 엽체의 중량은 9월에 18.7±6.4g으로 최고치를 보였으며, 1월에 2.7±0.6g으로 최저치를 나타내었다. 분지수는 2004년 8월부터 10월까지 2-7개로 가장 높았으며 이후 감소하기 시작하여 2005년 1월부터 3월까지 0-2개로 가장 낮았고, 4월부터 다시 증가하기 시작하였다. 보길도 지역 개체군의 엽장은 9월에 26.8±7.8cm로 최고치를 보였으며, 1월에 1.5±0.3cm로 최저치를 나타내었다. 엽체 중량은 역시 9월에 23.2±9.5g으로 최고치를 보였으며, 1월에 2.2±0.5g으로 최저치를 나타내었다. 분지수는 8월부터 11월까지 2-8개의 분지수를 나타내었으나 12월부터 점차 감소되었으며 4월부터 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 조사기간 동안 원동 지역과 보길도 지역 개체군 모두 성숙의 최성기는

8월로 나타났으며 개체군의 배우자낭 형성은 연중 모두 관찰이 되었다. 그러나 성숙된 배우자낭의 출현은 원동지역에서는 1월부터 3월까지의 시기를 제외한 기간동안 관찰되었으며, 보길도 지역에서는 1월부터 4월까지의 시기를 제외한 기간동안 관찰되었다.

나. 청각 개체군의 생리적 특성

1) 광·온도에 따른 생장

원동과 보길도 지역 개체군별 조도 및 온도 조건별 생장실험 결과는 고조도의 고온 조건일수록 엽중량의 증가가 높게 나타났으며, 이러한 경향은 지역개체군별로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

2) 광질에 따른 생장

원동 지역 개체군의 경우 배양 8주후 백색광 조건하에서 $55.5 \pm 10.2\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었으며 청색광 조건하에서 $52.3 \pm 8.5\text{g}$ 및 적색광 조건하에서 $49.2 \pm 7.8\text{g}$ 의 순으로 나타났다. 보길도 지역 개체군의 경우 배양 8주후 백색광 조건하에서 $54.3 \pm 9.1\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었으며 청색광 조건하에서 $51.7 \pm 9.3\text{g}$ 및 적색광 조건하에서 $46.8 \pm 8.1\text{g}$ 의 순으로 나타났다. 따라서 광질 조건에 따른 엽체의 생장은 백색광 → 청색광 → 적색광의 순으로 원동과 보길도 지역 개체군에서 동일한 양상을 나타내었다.

3) 광·온도·광주기에 따른 배우자낭 형성과 성숙

광주기 조건별 배우자낭의 형성은 동일 온도 및 조도 조건에서는 장일조건에서 가장 높았으며, 연속광주기 및 단일광주기의 순으로 나타났다. 각 광주기 조건하에서 배우자낭의 형성은 온도 20°C 와 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 가장 높은 비율을 나타내었다.

4) 광·온도에 따른 형태형성

조도와 온도조건별 청각 수사로부터 직립엽체로의 형태형성은 조도 $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상의 조건만 충족이 되면 온도조건에 상관없이 일어날 수 있는 것

으로 나타났으며, 온도조건은 형태형성에 영향을 미치기 보다는 발달의 속도 또는 생장의 속도를 조절하는 요인으로 작용하는 것으로 나타났다.

5) 물리적 유동에 따른 형태형성

물리적 유동 조건별 청각의 형태형성은 통기량 200 mL/min 이상의 조건에서만 일어나며 이보다 물리적 유동이 적은 조건에서는 수사로서만 성장하는 것으로 나타났다. 또한 통기량이 많아질수록 직립 엽체로의 형태형성에 소요 되는 시간이 짧아지는 경향을 나타내었다.

6) 광질에 따른 형태형성

광질 조건에 따른 청각의 형태형성은 백색광 조건하에서 가장 형태형성이 빠르게 일어났으며, 청색광 및 적색광의 순으로 나타났다.

2. 청각의 생식방법별 배양환경 연구

가. 유성생식을 이용한 배우자 방출 및 접합자 배양

1) 배우자 방출량의 정량화

암배우자당 1개당 방출되는 암배우자의 수는 평균 106.2 ± 25.5 였으며, 방출직후 암배우자의 길이는 평균 $10 \mu\text{m}$ 였다.

2) 조도조건별 접합자의 배양

접합자의 조도조건별 생장은 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서 길이생장이 가장 우세하였다.

3) 온도조건별 접합자의 배양

접합자의 온도조건별 생장은 15°C 온도조건에서 $209.6 \pm 22.7 \mu\text{m}$ 의 최대 길이 생장을 나타내었으나 20°C 이상의 온도조건에서는 배우자가 더 이상 성장하지 않았을 뿐 아니라 색소를 잃고 고사하였다.

나. 무성생식을 이용한 분리수사에 의한 재생

1) 청각 1g중량당 포낭의 수 정량화

청각 1g의 습중량은 평균 $4,010.0 \pm 268.5$ 개의 포낭으로 구성되는 것으로 조사되었다.

2) 호모게나이저의 회전속도별 분리수사의 재생

호모게나이저의 회전수를 13,500 rpm 이하로 하여 분리한 수사의 평균 길이는 약 $550 \mu\text{m}$ 이상으로 새로운 포낭을 형성한 반면 그 이상의 회전수에서 분리된 수사에서는 포낭의 재생이 관찰되지 않았다.

3) 온도조건별 분리수사의 성장 및 재생

청각 분리수사의 길이생장은 15°C 의 온도조건에서 $3.1 \pm 2.2\text{mm}$ 로 가장 높았으며, 포낭의 재생은 20°C 온도조건에서 4.7 ± 0.6 개로 가장 많았다.

4) 조도조건별 분리수사의 성장 및 재생

청각 분리수사의 조도조건별 길이생장은 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서 $3.7 \pm 3.0\text{mm}$ 로 가장 높았으며, 포낭의 재생은 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서 6.5 ± 1.4 개로 가장 많았다.

3. 청각의 양식학적 연구

가. 인공채묘

1) 접합자 및 분리수사의 인공채묘

청각 접합자는 발아관을 형성하여 수사로 자라며 분리수사의 재생과정에서 나타나는 수사와 동일한 형태로 성장하였다. 다만 접합자의 채묘에 의하여 생장한 수사 보다는 분리수사의 채묘를 통한 수사의 생장이 보다 빠른 것으로 나타났다. 채묘들은 실내 수조배양기간 동안 에 종사에 부착된 수사는 채묘들의 종사와 종사 사이로 투명한 실모양을 형성함으로써 수사의 부착을 육안적으로 확인할 수 있다.

2) 채묘방법별 성장 및 채묘효과

가) 유성생식에 의한 접합자 성장 및 채묘효과

접합자의 성장 및 채묘효과는 가이식 실시 30일 후 1cm당 수사로 자란 접합자의 수는 1.67 ± 0.58 개였으며 이때 수사의 길이는 0.22 ± 0.07 mm 였다.

나) 무성생식에 의한 수사의 성장 및 채묘효과

분리수사의 성장 및 채묘효과는 가이식 30일후 종사 1cm 당 수사의 수가 15.33 ± 5.51 개였으며, 수사의 길이는 1.36 ± 0.25 mm 그리고 종사 10cm 당 중량은 0.35 ± 0.01 g으로 나타났다. 따라서 수사의 발달정도로 비교한 청각의 채묘효과는 무성생식을 이용한 경우 유성생식 보다 15배 이상의 채묘 효율을 나타내었다.

다) 채묘틀의 건조시간별 분리수사의 채묘효과

건조시간별 분리수사의 채묘효과는 종사 1cm 당 수사의 수가 2시간 건조 실험구에서 88.7 ± 15.5 개로 가장 높았으며, 수사의 길이생장과 종사 10 cm의 중량에서도 2시간 실험구가 가장 높았다.

3) 채묘기질별 성장 및 채묘효과

채묘기질별 분리수사의 성장도는 표 9와 같이 수사의 수는 크레모나 18합사, 36합사 및 팜사의 순으로 증가하는 경향을 보였으며, 수사의 길이는 1.30~1.33mm로 유의한 차이를 보이지 않았다.

4) 접합자와 분리수사의 채묘효율 비교

접합자 채묘의 경우 배우자낭을 형성하는 시기 가운데 성숙이 최고조에 달하는 7-8월로 채묘시기가 한정되며, 모조의 소요량은 채묘틀 100m 당 500g의 비율로 종사 단위 m당 5g(습중량)이 소요되는 것으로 나타났다. 반면 무성생식을 이용한 분리수사의 채묘는 엽체만 있으면 연중 어느 시기에든 채묘를 할 수 있으며, 모조 소요량은 채묘틀 100m 당 200g의 비율로 종사 단위 m당 2g(습중량)이 소요되는 것으로 나타났다. 채묘된 접합자의 배양시 수온범위는 10-15℃였으나, 분리수사의 배양시 수온범위는 10-25℃로 접합자보다 수온

적용 범위가 넓어 무성생식을 통한 분리수사를 채묘하는 것이 접합자채묘방법보다 안정성과 경제성 그리고 편리성 면에서 매우 효율적인 것으로 나타났다.

5) 채묘후 실내배양일수에 따른 가이식 효과

실내수조내 배양일수가 60-180일인 7, 8, 9, 10월 및 11월 채묘 실험구에서는 가이식 60일 경과후 직립엽체가 형성되기 시작하였다. 반면 실내배양일수 30일인 12월 채묘 실험구에서는 가이식 3개월후 직립엽체가 형성되기 시작하였다. 따라서 분리수사의 채묘시점은 6월부터 12월까지 실험구간 모두 가능한 것으로 나타났으나 보다 빠른 직립엽체의 생장을 유도하기 위해서는 7월부터 11월까지 채묘를 완료하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

6) 적정 가이식장 조건 파악

어장별 수온변화는 정도리의 경우 2004년 11월 14.9℃에서 점차 감소하기 시작하여 2005년 3월에 최저치인 8.7℃를 나타내었으며 이후 점차 증가하기 시작하여 8월 23.4℃로 최고치를 보였다. 보길도의 경우 2004년 11월에 17.3℃를 나타내었으며 이후 점차 감소하기 시작하여 2005년 3월에 9.1℃의 최저치를 나타내었으며, 이후 점차 증가하기 시작하여 8월에 최고치인 19.5℃를 보였다. 염분변화는 정도리 어장에서는 2004년 12월에 최고치인 33.6 ppt를 나타내었으며 이후 점차 감소하여 3월에 최저치인 30.4 ppt를 보였다. 반면 보길도 어장에서는 2004년 12월에 가장 낮은 31.5 ppt를 보인 이후 점차 염분도가 증가하기 시작하여 2005년 2월에 34.6 ppt를 나타내었으며 이후 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 용존산소 및 전기전도도는 정도리와 보길도 어장에서 유의한 차이를 보이지 않았으며 유사한 변동 패턴을 나타내었다. 정도리 어장의 청각 생산량은 단위m당 5.01 ± 1.41 kg/m을 나타내었으나 보길도 어장의 경우 7.45 ± 2.08 kg/m를 나타내어 어장 조건별로 생산량에 차이를 보였다.

나. 가이식

1) 유성 및 무성생식방법별 가이식 효과 비교

접합자와 분리수사 채묘의 두 실험구 모두 채묘 직후 수사로 성장하기 시작

하였으며, 실내배양 실험결과에서 보인 바와 같이 접합자의 발달 양상은 분리수사의 재생과 동일하게 수사로 자랐다. 가이식 50일 경과후 직립엽체가 분화하기 시작하였으며, 접합자 채묘 실험구에서는 종사 10cm 당 직립엽체의 수가 7.7 ± 1.5 개였고, 분리수사 채묘 실험구에서는 종사 10 cm 당 직립엽체의 수가 8.3 ± 1.5 개로 나타나 분리수사 채묘 실험구에서 직립엽체의 수가 보다 많은 것으로 나타났다.

2) 가이식 기간 중 청각의 성장도

가) 가이식 기간 중 수온 및 수중광량의 변화

가이식 실험 기간중 실험 지역의 평균수온은 16.6°C 였으며, 10월초 최고수온인 20.0°C 에서 점차 감소하기 시작하여 가이식 말기인 12월 초에는 13.3°C 까지 저하하였다. 수심별 수중광량의 변화는 11월부터 12월까지 표층 및 수심별 광량이 점차 감소하는 것으로 나타났다.

나) 채묘기질별 청각의 성장도 및 가이식 효과

종사 10cm의 중량은 팜사에서 가장 높은 $0.382 \pm 0.200\text{g}$ 으로 나타났으며 크레모나 18합사에서 $0.077 \pm 0.009\text{g}$ 으로 가장 작았다. 따라서 청각의 채묘기질로는 종사의 직경이 $2.12 \pm 0.17\text{mm}$ 인 크레모나 36합사 이상의 굵기를 사용하는 것이 청각의 성장도와 가이식 효과 면에서 우수한 것으로 나타났다.

다) 채묘시 노출시간별 청각의 성장도 및 가이식 효과

직립엽체의 길이는 2시간 노출실험구에서 $7.07 \pm 1.74\text{cm}$ 로 가장 길었으며, 0시간 노출실험구에서는 가이식 60일후까지 직립엽체가 발달되지 않았다. 따라서 분리수사를 채묘할 때 배양수조에 넣기전 채묘틀을 노출시키는 시간에 따라 청각의 성장도 및 가이식 효과에 영향을 주게 되므로, 분리수사의 채묘시 2시간의 노출이 적당한 것으로 나타났다.

라) 가이식 수심별 청각의 성장도 및 가이식 효과

수심 0.5m에서 수사의 수는 종사 1cm당 137.3 ± 26.5 개로 수심별 실험구들 가운데

가장 많았으며 수심 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었고, 수심 3m에서는 종사 1cm당 수사의 수가 39.7 ± 15.7 개에 불과하였다. 따라서 청각의 적정 가이식 수심은 0.5m인 것으로 나타났다.

마) 가이식 시기별 청각의 생장도 및 가이식 효과

8월에 가이식을 실시하면 약 50일후 직립엽체의 발달을 유도할 수 있으나, 9월에 가이식을 시작하면 60일후 그리고 10월에 가이식을 시작하면 75일, 11월에 가이식을 시작하면 90일과 같이 직립 엽체 발달이 소요되는 가이식 기간이 긴 것으로 나타났다. 또한 12월과 1월에 가이식을 실시하는 경우 배양 120일이 경과되어야 직립엽체로의 생장이 확인되었다.

3) 가이식 기간중 해적생물조사

정도리에서 출현한 해적생물은 총 9종으로 해조류 4종 및 규조류와 기타 동물 5종으로 나타났다. 특히 9월에는 요각류인 *Caprella*와 *Gammaropsis* 등이 번무하여 개체수가 1cm당 100여 개체 이상을 나타내었으며 갯지렁이류 등이 번무하였다. 이러한 해적생물의 종류와 양은 11월 이후 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 보길도 어장에서는 총 7종의 해적생물이 출현하였으며 이 가운데 해조류 3종과 기타 동물 4종이 출현하였다. 보길도 어장에서는 정도리 어장에 비하여 매우 적은 수의 해적생물이 출현하였으며 양적인 면에서도 매우 적었다.

다. 양성

1) 적정 양성 어장 조건 파악

어장별 수온변화는 정도리 어장에서 1월에 최저치인 7.5°C 였으며 6월에 최대치인 17.2°C 였고, 보길도 어장에서는 1월에 최저치인 9.3°C 였으며, 6월에 최대치인 17.4°C 였다. 염분변화는 정도리 어장과 보길도 어장 모두 32.0-33.6 ppt와 32.3-33.8 ppt로 변화의 폭이 크게 나타나지 않았다. 용존산소 및 전기전도도는 어장별로 유사한 변동 패턴을 나타내었으며 유의한 차이를 보이지 않았다. 청각의 양성 어장에서 조사기간 동안 유속은 0.17-0.40 m/sec, pH는 7.58-7.92, 양성 수심인 1m의 수중광량은 $942-1,454 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 인산염의 농도는

0.621-0.779 $\mu\text{g-at/L}$, 총질소의 농도는 6.754-9.621 $\mu\text{g-at/L}$ 범위였고, 이들 환경 조건에서 청각의 양성은 매우 정상적으로 이루어졌다.

2) 양성 기간 중 청각의 성장도

가) 양성 어장별 청각의 성장도

정도리 어장의 경우 직립엽체의 발달은 2월부터 나타나기 시작하여 3월부터 분지를 형성하기 시작하였고 5월부터 빠르게 길이생장이 이루어져 평균엽장이 $15.1\pm 0.2\text{cm}$ 에 달하였으며, 수확기인 8월에 $5.02\pm 1.41\text{ kg/m}$ 의 생산량을 보였다. 보길도 어장에서는 직립엽체의 발달은 1월부터 나타나기 시작하여 2월부터 분지를 형성하기 시작하였고, 3월부터 빠르게 길이생장이 이루어지기 시작하여 평균엽장이 $16.4\pm 6.3\text{cm}$ 에 달하였으며, 수확기인 8월에 $7.45\pm 2.08\text{ kg/m}$ 의 생산량을 보였다.

나) 유성·무성생식 방법별 양성 효과

유성생식에 의한 접합자를 채묘한 경우 2005년 8월에 엽장은 $2.1\pm 0.4\text{ cm}$ 였으며 생산량은 $0.81\pm 0.41\text{ kg/m}$ 를 나타내었다. 무성생식에 의한 분리수사를 채묘한 경우 2005년 8월에 엽장은 $20.1\pm 1.2\text{ cm}$ 였으며, 생산량은 $7.45\pm 2.08\text{ kg/m}$ 를 나타내어 생식방법에 따른 성장 및 생산량의 차이가 매우 크게 나타났다. 그러나 2007년 양성실험결과는 표 33과 같이 유성생식과 무성생식의 경우 엽장은 2007년 6월에 각각 $6.7\pm 1.5\text{ cm}$ 및 $7.1\pm 1.5\text{ cm}$ 로 유사한 경향을 나타내었으며 생산량은 유성생식의 경우 $0.40\pm 0.21\text{ kg/m}$ 및 무성생식의 경우 $0.45\pm 0.25\text{kg/m}$ 로 큰 차이를 보이지 않았다.

나) 양성 수심별 성장도 및 양성 효과

(1) 전기양성기간중 양성수심별 성장도 및 양성효과

수심 2m 실험구에서는 역시 양성 15일후 직립엽체가 출현하기 시작하였으며, 양성 30일후 분지가 형성되기 시작하였고, 양성 120일후 엽장이 $1.19\pm 0.8\text{ mm}$ 로 최대치를 나타내었다.

(2) 후기양성기간중 양성수심별 생장도 및 양성효과

양성 90일후에는 수심 1m 실험구에서 엽장 $23.3\pm 3.4\text{cm}$ 로 최대치를 나타내었으며 수심 3m 실험구에서 최저치인 $14.2\pm 2.1\text{cm}$ 를 나타내었다. 수심별 생산량은 양성 90일후 수심 1m에서 최대치인 $7.22\pm 0.47\text{kg/m}$ 를 나타내었으며, 수심 3m에서 최저치인 $1.03\pm 0.25\text{kg/m}$ 를 나타내었다.

다) 양성 방법별 생장도 및 양성 효과

종사 1가닥으로 감기 시설된 양성 실험구의 경우 양성 120일후 직립지의 엽장은 $3.2\pm 0.5\text{cm}$ 로 나타났으며 2가닥 양성 실험구의 경우 $3.5\pm 0.1\text{cm}$ 로 나타났으며, 생산량은 1가닥 양성 실험구에서 $0.36\pm 0.17\text{kg/m}$ 였고, 2가닥 양성 실험구에서 $0.37\pm 0.06\text{kg/m}$ 로 나타났다. 따라서 양성시기에 종사를 1가닥 또는 2가닥으로 양성 시설하는 것은 청각 엽체의 생장이나 생산량에 있어 유의한 차이가 없으므로 종사를 1가닥만으로 시설하더라도 생산량에는 차이가 없음을 알 수 있다. 재생장 실험구에서는 양성 실험 시작 시기에 이미 엽장이 $53\pm 1.8\text{cm}$ 였으며, 양성 120일후에는 엽장이 $19.2\pm 1.9\text{cm}$ 에 도달하였고, 생산량은 $5.51\pm 0.21\text{kg/m}$ 를 나타내었다.

라) 가이식 기간에 따른 양성 효과 분석

가이식 기간이 180일인 실험구에서는 3월부터 직립지의 형성이 나타나기 시작하여 7월에 엽장 $17.2\pm 8.8\text{cm}$ 였으며 생산량은 $6.20\pm 2.81\text{kg/m}$ 로 나타났다. 가이식 기간 150일 실험구에서는 2월에 직립지의 형성이 나타나기 시작하여 7월에 엽장 $18.8\pm 4.5\text{cm}$ 였으며, 생산량은 $6.43\pm 1.68\text{kg/m}$ 로 실험구들 가운데 최대치를 나타내었다. 가이식 기간 120일과 90일 실험구에서는 모두 2월에 직립지의 형성이 나타나기 시작하여 7월에 각각 엽장 $14.5\pm 2.1\text{cm}$ 및 $13.7\pm 4.7\text{cm}$ 를 나타내었으며, 생산량은 각각 5.64 ± 0.57 및 $4.76\pm 0.53\text{kg/m}$ 을 나타내었다. 가이식 기간 60일 및 30일 실험구에서는 직립지의 형성이 5월에 나타나기 시작하였으며 분지의 형성은 7월에 나타나기 시작하였고, 생산량은 각각 3.18 ± 0.12 및 $2.04\pm 0.01\text{kg/m}$ 을 나타내었다. 가이식 0일 실험구는 채묘후 가이식을 생략하고 즉시 본양성을 실시한 실험구인데, 직립지의 형성은 5월부터 형성되기 시작하

였으며 생산량은 $1.53 \pm 0.01 \text{kg/m}$ 로 가이식 기간 30일 실험구와 유의한 차이를 보이지 않았다.

마) 양성기간중 해적생물 조사

정도리에서 출현한 해적생물은 총 17종으로 해조류 13종 및 규조류와 기타 동물 4종으로 나타났다. 정도리 어장에서는 모로우붉은실이 1월부터 지속적으로 출현하였으며, 잎파래는 1월부터 4월까지 그리고 구멍갈파래는 3월부터 6월까지 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 정도리 어장에서는 빨질의 부착이 많았으나 가이식 기간에 비하여 해적생물의 출현비율은 적은 것으로 나타났다. 보길도 어장에서 출현한 해적생물은 총 15종으로 해조류 13종 및 기타동물 2종으로 나타났다. 보길도 어장에서는 조류 소통이 원활하여 종사에 빨질이 부착되지는 않았으나 1월부터 4월까지 잎파래의 부착이 많았으며 4월 이후 6월까지 구멍갈파래의 빈도수가 높았다.

3) 청각의 건조수율

가) 자연건조시 건조수율 및 건조중량 측정

청각의 건조수율 측정을 위하여 dry oven(80°C 에서 24시간 건조)을 이용하여 건조중량을 측정한 결과 습중량 100g을 기준으로 하였을 때 평균 수율은 $5.13 \pm 0.32\%$ 로 나타났다.

나) 온도조건별 건조수율

건조 온도가 증가할수록 청각 엽체의 상대수분함량은 매우 빠르게 감소하는 경향을 나타내었으며 40°C 조건에서는 24시간, 60°C 조건에서는 12시간, 80°C 조건에서는 6시간 및 100°C 조건에서는 3시간이면 상대수분함량 10% 이하로 건조되는 것으로 나타났다.

4) 청각 양식의 매뉴얼

청각의 인공채묘 조건과 가이식 및 양성 조건을 도표화하여 청각 양식의 매뉴얼을 작성하였다. 청각의 가이식 기간중 적정 수심은 0.5m (수중광량 $924 \pm 132 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$),

전기양성 기간중 적정 수심은 2m(수중광량 $248 \pm 116 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 및 후기양성 기간 중 적정 수심은 1 m(수중광량은 $632 \pm 266 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)로 조절함으로써 효율적인 양식이 가능하였다.

4. 청각의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

- 1) 청각추출물이 고지혈증으로 인한 흰쥐의 간세포 손상 및 고지혈증에 미치는 영향

쥐의 Total-cholesterol의 양은 정상군이 $55.25 \pm 10.94 \text{ mg/dL}$ 로 나타난 반면 음성대조군은 $191.50 \pm 63.98 \text{ mg/dL}$ 으로 크게 증가하였고, 청각투여군은 mg/dL , $132.50 \pm 20.34 \text{ mg/dL}$ 로 나타났으며, 혈중 중성지질의 농도는 정상군, 음성대조군, 청각투여군이 각각 $54.75 \pm 10.87 \text{ mg/dL}$, $61.75 \pm 5.19 \text{ mg/dL}$, $42.25 \pm 6.55 \text{ mg/dL}$ 의 활성치를 나타내어 청각투여군이 음성대조군에 비해 낮은 중성지질의 함량을 나타내었다. HDL-cholesterol의 활성치의 경우, 정상군은 $24.25 \pm 2.63 \text{ mg/dL}$, 음성대조군의 경우 $13.50 \pm 1.29 \text{ mg/dL}$, 청각투여군 $18.50 \pm 2.38 \text{ mg/dL}$ 의 활성치를 나타내었고, LDL-cholesterol은 정상군($9.500 \pm 1.291 \text{ mg/dL}$)에 비해 음성대조군 ($100.125 \pm 27.44 \text{ mg/dL}$)에서 급격한 증가를 나타내었으며 청각투여군은 $67.50 \pm 4.80 \text{ mg/dL}$ 의 활성치를 나타내어 청각투여군이 LDL-cholesterol의 억제 효과를 나타내는 것으로 관찰되었다.

정상군에서의 혈중 AST수치는 $131.50 \pm 24.80 \text{ U/L}$ 로 나타난 반면, 음성대조군에서의 수치는 $951.75 \pm 204.80 \text{ U/L}$ 로 급격한 증가를 보였고, 청각 투여군의 AST수치는 $721.00 \pm 73.33 \text{ U/L}$ 로써, 음성대조군의 AST수치보다 유의성 있는 감소를 나타내었고 혈중 ALT의 변화량은 정상군에서 $42.25 \pm 10.31 \text{ U/L}$ 로 나타났으며, 음성대조군은 $180.00 \pm 17.72 \text{ U/L}$ 로 현저히 높게 나타났으며 청각 투여군에서는 $159.50 \pm 31.26 \text{ U/L}$ 의 활성치를 나타내어 역시 음성대조군에 비해 낮은 유의성있는 감소를 나타내었다.

실험동물 간세포의 조직학적 변화를 투과전자현미경을 이용하여 관찰한 결과,

음성대조군에서는 장기간의 고지방식이 섭취로 인한 간 조직의 변성이 뚜렷하게 나타나 세포질에서 지방결정의 축적을 관찰할 수 있었다. 반면 청각투여군은 세포질에서의 지방결정의 축적이 상당량 감소함을 보여주었고 또한 간 조직의 변성이 정상대조군에 가까운 정도로 회복된 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과를 종합해 볼 때, 청각추출물은 고지방 식이로 인한 간세포의 손상 및 고지혈증으로 인한 지질대사의 이상을 개선시키는 후보 물질로서의 가능성을 나타내었다.

나. 경제성 분석

1) 청각양식의 경제성 분석

청각종묘생산(1,000틀 기준)의 손익계산에서 총판매수입은 50,000천원였고, 자가노력비를 포함한 생산비는 17,360천원이었다. 총소득은 38,640천원으로 소득율은 77.28%였으며, 순소득은 32,640천원으로 이익율은 65.28%에 달하였다. 청각종묘생산에 대한 공통형 손익계산에서 청각종묘생산비용은 양식수익의 34.72%를 차지하였고, 매출액순이익율은 평균 65.28%였다. 종묘생산의 민감도 분석에서 시설비가 20% 감소할 경우 양식이용 백분율은 5.8% 감소하며, 종묘생산 매출액 순이익율은 3.1% 증가하였다.

청각양식생산 [100틀 (대) 기준]의 손익계산에서 총판매수입은 60,000천원였고, 자가노력비를 포함한 생산비는 24,300천원였다. 총소득은 43,700천원으로 소득율은 72.83%였으며, 순소득은 35,700천원으로 이익율은 59.5%에 달하였다. 청각종묘생산에 대한 공통형 손익계산에서 청각양식생산비용은 양식수익의 40.5%를 차지하였고, 매출액순이익율은 평균 59.5%였다. 양식생산의 민감도 분석에서 시설비가 20% 감소할 경우 양식이용 백분율은 4.1% 감소하며, 종묘생산 매출액 순이익율은 2.8% 증가하였다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

1. 기대효과

가. 기술적 측면

해조양식산업의 활성화와 양식어업인들의 소득향상을 위한 고부가가치의 해조양식 대상종의 양식기술 개발이 시도되고 있다. 청각은 업체가 포낭으로 구성된 체제상의 특이성을 가지고 있어서 영양생장이 용이하고, 실내배양에서도 분화전능이 용이하게 발현되는 생물학적 특징을 갖는 것으로 연구가 되어왔으나 이러한 형질을 이용한 대량의 인공양식시험은 실시되지 않았다. 일반적으로 해조류는 포자의 방출이 까다롭고 접합자의 형성을 통한 종묘생산 보다는 무성적인 영양생식을 통한 종묘생산 및 양식방법이 보다 큰 양식효과가 기대된다. 청각의 재생수사를 이용한 인공종묘생산기법(Yotsui and Migita 1989; Park and Sohn 1992)의 기초연구는 청각의 무성생식에 의한 완전양식의 가능성을 제시하였다. 본 연구에서는 산업적으로 높은 부가가치를 가지며, 항암, 항암, 항생, 항균에 대한 생리적 활성도도 높으며, 부영양염의 흡수능이 뛰어나며, 주요 번무시기가 여름철로 유향어장의 활용성 증대 등에 뛰어난 청각의 대량 생산을 위한 양식기술에 필요한 인공종묘생산, 실내배양, 가이식, 본양성의 관리조건을 구명하므로써 청각 인공대량양식의 기술적인 토대를 이루었다고 판단된다.

본 연구의 기술적인 측면을 요약하면

- 첫째, 청각의 영양생식을 통하여 완전양식의 안정성을 확보하였다.
- 둘째, 안정적인 인공종묘생산기술의 확립으로 청각의 대량양식화를 유도하였다.
- 셋째, 적정 실내배양, 가이식, 양성 조건을 구명하고 이들 최적조건을 활용할 양식생산 메뉴얼을 제시하였다.
- 넷째, 해조류의 무성생식을 이용한 인공종묘생산 및 양식기술력을 확보함으로써 해조류 양식기술의 개발에 기여하였다고 판단된다.

나. 경제·산업적 측면

- 첫째, 해조류 양식 대상종의 다변화를 유도함으로써 해조양식 산업의 구조개선 및 활성화에 기여할 것이다.
- 둘째, 미역, 다시마, 툫 등의 해조류들 보다 단위면적당 수익성이 높아 해조류 양식어업인들의 소득증대에 기여할 것이다.
- 셋째, 청각의 대량생산체제에 연동하여 청각을 이용한 다양한 가공품의 개발, 생리활성물질 추출에 의한 건강보조식품의 개발, 의약품의 원료 추출 등의 가공 및 바이오산업의 연계가 가능할 것으로 예상된다.
- 넷째, 부영양염의 흡수원, 해중립의 조성원, 여름철 고수온기 전복의 보조먹이원 등의 응용이 가능하여 산업적 가치가 매우 높다고 판단된다.

2. 활용방안

- 첫째, 청각의 인공양식기술을 매뉴얼화하여 보급함으로써 청각양식의 산업화 유도
- 둘째, 청각의 안정적인 완전양식에 의한 높은 부가가치창출로 해조류 양식어가의 경영 경쟁력 확보
- 셋째, 청각의 완전양식기술을 다양한 미이용 유용 해조류의 인공양식기술 개발에 활용
- 넷째, 청각의 대량생산에 연계한 다양한 가공제품의 개발, 청각 추출물을 활용한 건강보조식품의 개발, 다양한 의약품의 원료 추출에 관계된 바이오산업에 활용
- 다섯째, 청각의 인공양식은 부영양염의 제거, 다양한 기질 및 지역의 해중립 조성, 여름철 고수온기 전복의 보조먹이원의 확보에 활용

여 백

SUMMARY

The marine green alga, *Codium fragile* (Suringar) Hariot, is widely distributed in temperate areas throughout the world (Silva 1955; Silva and Womersley 1956; Yoshida 1998; Trowbridge 1998), and is eaten in Korea, China and Japan (Abott 1988). In Korea, *C. fragile* is an attractive seaweed species for cultivation because it commands a high market value compared to species such as *Porphyra* and *Undaria* (Sohn 1998). The alga is an additive of Kimchi, a traditional fermented vegetable. Small-scale cultivation of *C. fragile* from natural blooming zygotes has been conducted on the southwestern coast of Korea since 1987, but the success of production by natural seeding has varied due to annual variations in environmental conditions. Hwang et al. (2005a) reported that the regeneration capability of *C. fragile* could be a more reliable method for producing seed stock than reliance on wild zygote seeding, and they revealed the conditions for the artificial seed production and nursery culture (Hwang et al. 2005b).

Codium species have two morphologically different thalli which are called spongy and filamentous. The spongy thalli contains numerous chloroplasts and an inner structure of intertwined colorless medullary filaments (Arasaki et al. 1956; Borden and Stein 1969; Yoshida, 1998). The filamentous thallus consists of fine branched filaments. Filamentous thalli have been observed in the field (Arasaki et al. 1956; Fletcher et al. 1989; Borden and Stein 1969; Prince 1988), and are formed from isolated utricles, medullary filaments, zygotes and parthenogenetic female gametes of the spongy thalli (Borden and Stein 1969; Ramus 1972; Yang et al. 1997).

A number of inter-related factors impact on the formation and growth of the spongy thalli, (i.e. irradiance and water movement). Water movement plays an important role in regulating formation of spongy thalli under

laboratory culture condition (Ramus 1972; Soeder and Stengel 1974; Park and Sohn 1992). Park and Sohn (1992) reported that the critical irradiance for formation of spongy thalli was over 3,000 lux (ca. $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nanba et al. (2005) reported that growth of the spongy thalli accelerated under the combination of high irradiance and high water velocity. While other workers have demonstrated the importance of irradiance levels on controlling life cycle of *C. fragile*, in the laboratory, there is no information on optimal irradiance and consequently optimal culture depth for the key stages of *C. fragile* cultivation in the field. A full understanding of the relationship between light availability and *C. fragile* light requirements requires site-and species-specific information.

We report here the relationships between environmental conditions during whole growth period for the artificial seed production and mass-cultivation of *C. fragile*. The results are followed:

1. Physio · ecological characteristics of *Codium* populations

Environmental differences were surveyed at the two localities of *Codium fragile*, Bogildo and Wondong, where their populations in Wando, southwestern coast of Korea. Fluctuations of after temperature, salinity and nutrient content were recorded in the two experimental sites. Bogildo is faced to open-water and Wondong is intertidal region close to land. Length growth between the two populations was not significantly different but weight of *C. fragile* in Bogildo population was higher than Wondong's especially between summer and winter. Gametangia production was observed during whole year between August and May in the two populations. However, immature gametangia was observed between January and April in Bogildo population. It was the longer period than Wondong population, between January and March.

Physiological characters of the two populations on irradiance, temperature,

light quality and photoperiods was not significantly different during indoor culture experiments.

Critical conditions for morphogenesis of *C. fragile* was irradiance more than $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. If the condition is fulfilled, temperature was accelerate the growth of erect thalli from medullary filaments. Water movement was also important factor for the morphogenesis of *C. fragile*. *C. fragile* needed more than 200 mL/min of water movement for their morphogenesis.

2. Culture environment according to the reproduction methods

Experiments were conducted to reveal the conditions for artificial seed production of *C. fragile* by sexual and asexual reproduction. Growth was compared between zygotes attachment (sexual reproduction) and isolated utricles with medullary filaments (asexual reproduction). Zygotes and isolated utricles with medullary filaments were cultured under different light conditions (10, 20, 40, 60 and $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and temperatures (5, 10, 15, 20 and 25°C) under 16:8 (L:D). Maximum growth of zygote was $261.3 \pm 21.0 \mu\text{m}$ under 15°C and $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ after 13 days culture. Maximum regeneration of isolated medullary filament was $8.1 \pm 1.7 \text{ mm}$ per one isolated utricle under 20°C and $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ after 15 days culture. After intermediate culture during two months in the field, morphogenesis occurred in both sexual and asexual reproduction, and growth of young thalli was not significantly different ($p > 0.05$) between the both reproduction methods. Even though seed production of *C. fragile* is possible in both sexual and asexual reproduction, the mass artificial seed production of sexual reproduction is much more effective than that of asexual reproduction that is too much affected by maturity.

3. Artificial seeding and cultivation

Experiments found optimum conditions for artificial seed production and nursery culture of *C. fragile* by asexual reproduction. Isolated utricles and medullary filaments were regenerated to erect thalli using both indoor and outdoor culture experiments. Under the indoor culture conditions, irradiance was an important factor to control the development of erect thalli. Formation of erect thallus from the isolated medullary filaments in the indoor culture was induced after 30 days under 20°C and 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The detachment of isolated utricles and medullary filaments from the substrates of seed strings was reduced by exposure to air during 2 hrs before the indoor culture of seed strings. The maximum growth and development of erect thalli in the nursery culture was induced at a water depth of 0.5m. Depending on the substrates of the seed strings the growth of erect thalli was not significantly different ($p > 0.05$).

Experiments were conducted to reveal the optimal conditions for nursery culture and out-growing of *C. fragile*. Sampling and measurement of underwater irradiance were carried out at farms cultivating *C. fragile* at Wando, southwestern coast of Korea, from October 2004 to August 2005. Growth of erect thalli and underwater irradiance were measured over a range of depths for three culture stages. During the nursery cultivation stage (Stage I), growth rate was greatest at 0.5 m depth (0.055 ± 0.032 mm/day) where the average mid day irradiance over 60 days was 924 ± 32 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. During the pre-main cultivation stage (Stage II), the greatest growth rate occurred at 2 m depth (0.113 ± 0.003 mm/day) with an average irradiance of 248 ± 116 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. For the main cultivation stage (Stage III) of the alga, thalli achieved the greatest increase in biomass at 1 m depth (7.2 ± 1.0 kg-fresh wt./m). These results suggest that the optimal growth at each cultivation stages of *C. fragile* could be controlled by depth of cultivation rope.

4. Utilization and Economical evaluation

To examine the effects of *Codium fragile* on blood cholesterol and lipid metabolism, hyperlipidemia was induced in experimental animals (rats) by administering a hypercholesterolemia diet. While administering *Codium fragile* powder for 5 weeks, changes in blood biochemistry, such as blood cholesterol, as well as AST and ALT enzyme activity, were examined, and histological changes in liver cells were evaluated using an electron microscope. The amount of total cholesterol in the normal group was 55.25 ± 10.94 mg/dL in the negative control group, total cholesterol increased greatly to 191.50 ± 63.98 mg/dL and in the *Codium fragile* administration group, the total cholesterol was 132.50 ± 20.34 mg/dL. The blood triglyceride concentration in the *Codium fragile* administration group was lower than that of the negative control group. Regarding HDL-cholesterol content, the normal group was 24.25 ± 2.63 mg/dL, the negative control group was 13.50 ± 1.29 mg/dL, and the *Codium fragile* administration group was 18.50 ± 2.38 mg/dL. For LDL-cholesterol, the negative control group exhibited a rapid increase compared to the normal group, while *Codium fragile* administration suppressed LDL-cholesterol. The level of AST increased rapidly in the negative control group, while AST in the *Codium fragile* administration group was significantly reduced compared to the negative control group. The blood ALT of the negative control group was markedly high, but the *Codium fragile* group showed a significant decrease compared to the negative control group. The histological changes in liver cells of experimental animals were examined by electron microscopy. In the negative control group, degeneration of hepatic tissues was noticeable due to consumption of a high lipid diet for a long time, and accumulation of lipid droplets in the cytoplasm was observed. On the other hand, in the *Codium fragile* administration group, the accumulation of lipid droplets in the cytoplasm was substantially reduced, and the degeneration of hepatic

tissues recovered to resemble the normal control group. In summary, these results suggest that *Codium fragile* is a candidate material to improve lipid metabolism abnormalities caused by liver cell damage and hyperlipidemia.

From 100 set of installation (100 m of long-line culture rope), 100 tons-wet wt of *C. fragile* can be produced. Total sale of the production is 60,000,000 won and production cost is 24,300,000 won, thus the net profit is 35,700,000 won. The profit rate of *C. fragile* cultivation is 59.9%.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the study	49
1. Purpose of the study	49
2. Necessity of the study	49
3. Range of the study	51
Chapter 2. Status and overview of research in the world	52
Chapter 3. Contents and Results	54
1. Contents of the study	54
1-1. Physiological and ecological study of <i>Codium</i> populations	54
1-1-1. Ecological characteristics of the two <i>Codium</i> populations	54
1) Environmental characteristics of the two habitats of <i>Codium</i> populations	54
2) Growth and maturation of the two <i>Codium</i> populations	54
1-1-2. Physiological characteristics of the two <i>Codium</i> populations	54
1) Growth with irradiance and temperature	54
2) Growth with light qualities	54
3) Maturation with irradiance, temperature and photoperiods	55
4) Morphogenesis with irradiance and temperature	55
5) Morphogenesis with water movement	55
6) Morphogenesis with light qualities	56
1-2. Culture environments for <i>Codium fragile</i>	56
1-2-1. Gamete release and zygote culture	56
1-2-2. Regeneration of the isolated utricles and medullary filaments	57
1-3. Cultivation study of <i>Codium fragile</i>	58
1-3-1. Artificial seeding	58
1-3-2. Nursery culture	60

1-3-3. Main cultivation	62
1-4. Utilization and economical efficiency of <i>Codium</i> cultivation	65
2. Results	67
2-1. Physiological and ecological study of <i>Codium</i> populations	67
2-1-1. Ecological characteristics of the two <i>Codium</i> populations	67
1) Environmental characteristics of the two habitats of <i>Codium</i> populations	67
2) Growth and maturation of the two <i>Codium</i> populations	70
2-1-2. Physiological characteristics of the two <i>Codium</i> populations	77
1) Growth with irradiance and temperature	77
2) Growth with light qualities	81
3) Maturation with irradiance, temperature and photoperiods	82
4) Morphogenesis with irradiance and temperature	86
5) Morphogenesis with water movement	87
6) Morphogenesis with light qualities	89
2-2. Culture environments for <i>Codium fragile</i>	90
2-2-1. Gamete release and zygote culture	90
1) Quantification of the gamete release	90
2) Irradiance effects on zygote culture	91
3) Temperature effects on zygote culture	91
2-2-2. Regeneration of the isolated utricles and medullary filaments	92
1) Quantification of utricles per an unit biomass	92
2) Regeneration with cutting size by homogenizer	92
3) Regeneration with temperature	93
4) Regeneration with irradiance	94
2-3. Cultivation study of <i>Codium fragile</i>	95
2-3-1. Artificial seeding	95
1) Artificial seeding with zygote and isolated utricles and medullary filaments	95

2) Seeding methods	96
A) Seeding and growth of zygotes	96
B) Seeding and growth of medullary filaments	97
C) Seeding efficiency with desiccation of seed frame	97
3) Seeding efficiency and growth of medullary filaments with substrates	98
4) Seeding efficiency between zygotes and medullary filament ..	99
5) Effects on nursery culture by durations of indoor tank culture	99
6) Search for suitable nursery culture condition	102
2-3-2. Nursery culture	106
1) Nursery culture efficiency between sexual and asexual reproduction methods	106
2) Growth of medullary filaments during nursery culture	108
A) Fluctuations of temperature and underwater irradiance	109
B) Growth of medullary filament with substrates	109
C) Growth medullary filaments with desiccation of seed frame	111
D) Growth medullary filaments with depth	112
E) Growth medullary filaments with time of nursery culture initiation	114
3) Harmful organism during nursery culture	115
2-3-3. Main cultivation	116
1) Search for suitable main culture condition	116
2) Growth during main cultivation period	119
A) Growth of <i>Codium fragile</i> at the two cultivation grounds	119
B) Growth between zygote and medullary seeding	119
C) Growth with culture depths	120
(1) Growth with culture depths during the pre-main culture	120
(2) Growth with culture depths during the main culture	123
D) Growth with cultivation methods	124

E) Growth with durations of nursery culture	126
F) Harmful organism during the main cultivation period	129
3) Harvesting yield	131
가) Yield at the natural condition	131
나) Relative water content and color changes with temperature conditions	132
4) Manual for <i>Codium fragile</i> cultivation	134
2-4. Utilization and economic analysis of <i>Codium</i> cultivation	137
2-4-1. Utilization	137
1) Effect of <i>Codium fragile</i> extract on the hepatic dysfunction and hyperlipidemia in rats	137
2-4-2. Economic analysis	149
1) Economic analysis of <i>Codium</i> cultivation	149
Chapter 4. Achievement and Contribution	169
Chapter 5. Application of results	174
Chapter 6. References	175

목 차

제1장 연구개발과제의 개요	49
제1절 연구개발의 목적	49
제2절 연구개발의 필요성	49
제3절 연구개발의 범위	51
제2장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보	52
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	54
제1절 연구개발수행 내용	54
1. 청각 개체군의 생리·생태학적 특성연구	54
가. 청각 개체군의 생태적 특성	54
1) 개체군의 서식지 환경	54
2) 개체군의 성장 및 성숙	54
나. 청각 개체군의 생리적 특성	54
1) 광·온도에 따른 성장	54
2) 광질에 따른 성장	54
3) 광·온도·광주기에 따른 배우자낭 형성 및 성숙	55
4) 광·온도에 따른 형태형성	55
5) 물리적 유동에 따른 형태형성	55
6) 광질에 따른 형태형성	56
2. 청각의 생식방법별 배양환경 연구	56
가. 유성생식을 이용한 배우자 방출 및 접합자 배양	56
나. 무성생식을 이용한 분리수사에 의한 재생	57
3. 청각의 양식학적 연구	58
가. 인공채묘	58
나. 가이식	60
다. 양성	62

4. 청각의 이용 및 경제성분석	65
제2절 연구결과	67
1. 청각 개체군의 생리·생태학적 특성연구	67
가. 청각 개체군의 생태적 특성	67
1) 개체군의 서식지 환경	67
2) 개체군의 성장 및 성숙	70
나. 청각 개체군의 생리적 특성	77
1) 광·온도에 따른 성장	77
2) 광질에 따른 성장	81
3) 광·온도·광주기에 따른 배우자낭 형성 및 성숙	82
4) 광·온도에 따른 형태형성	86
5) 물리적 유동에 따른 형태형성	87
6) 광질에 따른 형태형성	89
2. 청각의 생식방법별 배양환경 연구	90
가. 유성생식을 이용한 배우자 방출 및 접합자 배양	90
1) 배우자 방출량의 정량화	90
2) 조도조건별 접합자의 배양	91
3) 온도조건별 접합자의 배양	91
나. 무성생식을 이용한 분리수사에 의한 재생	92
1) 청각 1g 중량당 포낭의 수 정량화	92
2) 호모게나이저의 회전속도별 분리수사의 재생	92
3) 온도조건별 분리수사의 성장 및 재생	93
4) 조도조건별 분리수사의 성장 및 재생	94
3. 청각의 양식학적 연구	95
가. 인공채묘	95
1) 접합자 및 분리수사의 인공채묘	95

2) 채묘방법별 생장 및 채묘효과	96
가) 유성생식에 의한 접합자 생장 및 채묘효과	96
나) 무성생식에 의한 수사의 생장 및 채묘효과	97
다) 채묘틀의 건조시간별 분리수사의 채묘효과	97
3) 채묘기질별 분리수사의 생장 및 채묘효과	98
4) 접합자와 분리수사의 채묘효율 비교	99
5) 채묘후 실내배양일수에 따른 가이식 효과 분석	99
6) 적정 가이식장 조건 파악	102
나. 가이식	106
1) 유성 및 무성생식방법별 가이식 효과 비교 분석	106
2) 가이식 기간중 청각의 생장도	108
가) 가이식 기간중 수온 및 수중광량의 변화	109
나) 채묘기질별 청각의 생장도 및 가이식 효과	109
다) 채묘시 노출시간별 청각의 생장도 및 가이식 효과	111
라) 가이식 수심별 청각의 생장도 및 가이식 효과	112
마) 가이식 시기별 청각의 생장도 및 가이식 효과	114
3) 가이식 기간중 해적생물 조사	115
다. 양성	116
1) 적정 양성 어장 조건 파악	116
2) 양성기간중 청각의 생장도	119
가) 양성 어장별 청각의 생장도	119
나) 유성·무성생식 방법별 양성효과	119
다) 양성 수심별 생장도 및 양성효과	120
(1) 전기양성기간중 수심별 생장도 및 양성효과	120
(2) 후기양성기간중 수심별 생장도 및 양성효과	123
라) 양성방법별 생장도 및 양성효과	124
마) 가이식 기간에 따른 양성효과	126
바) 양성기간중 해적생물 조사	129

3) 청각의 건조 수율	131
가) 자연건조시 건조수율	131
나) 인공건조시 온도조건별 청각의 수분함량 및 선택변화	132
4) 청각 양식의 매뉴얼	134
4. 청각의 이용 및 경제성 분석	137
가. 이용	137
1) 청각추출물이 고지혈증으로 인한 흰쥐의 간세포 손상 및 고지혈증에 미치는 영향	137
나. 경제성 분석	149
1) 청각양식의 경제성 분석	149
제4장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	169
제5장 연구개발결과의 활용계획	174
제6장 참고문헌	175

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

우리나라 해조류 양식산업의 구조개선과 가격하락 문제를 개선하기 위하여, 해조류양식 품종의 다변화는 꾸준히 수행되어져야 하는 과제이다. 청각은 예로부터 구충제, 여름철 식초냉채로 또는 김장 때 필수적으로 첨가되는 첨가제로 널리 이용되어 오고 있다. 특히, 최근에는 청각에 다량으로 함유된 싸이포노크산친이라는 성분이 뛰어난 항암작용을 보인다는 것이 알려지면서 청각에 대한 수요가 꾸준히 증가되고 있다. 따라서 본 연구에서는 청각의 생태, 생리 등의 생물학적 기초연구를 바탕으로 하여 종묘생산 및 양성기술을 개발함으로써 해조류 양식품종의 다양화를 유도하고, 양식 기술을 널리 보급함으로써 어업인의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 청각의 대량생산을 통한 고부가가치성을 창출하는 의약품용 원료 공급원 및 청각이 가지는 낭상체 구조의 특성중의 하나인 높은 영양염의 흡수압을 활용하여 연안양식어장의 부영양염 흡수를 위한 인공 해중립의 구성원으로 이용코자 하였다.

제 2 절 연구개발의 필요성

지구 생태계의 70% 이상을 차지하고 있는 해양 환경에서 해조류는 1차 생산자로서의 유기물 생산뿐만 아니라 해수 중에 산소를 공급함으로써 해양 무척추동물, 어류 및 원생동물 등 다양한 동물들의 서식 환경을 제공하는 등 해양 생태계에 있어서 중요한 역할을 수행하고 있다. 또한 해조류는 전통적으로 이용되어 온 식량 원으로서의 용도 이외에도 비타민, 미네랄 및 다양한 생리활성 물질의 공급원으로서의 가치 등으로 가축의 사료나 농작물의 비료로서도 이용되어 왔다 (Indergaard 1983).

우리나라의 해조자원은 현재까지 보고된 것이 총 735종이 보고(이와 강 2002)

되어 있으나 그 가운데 실제로 이용되고 있는 종류는 20종 이내이며(Sohn 1993), 대량 양식은 김, 미역, 다시마, 툇 등의 소수에 국한되어 이루어지고 있다. 따라서 효율적인 해조자원의 이용 및 해조류양식 산업의 품종 다변화를 위하여 다양한 양식 대상종의 개발에 노력을 기울여야만 한다.

녹조류 청각은 우리나라와 중국, 일본은 물론 필리핀과 하와이, 아프리카 등지에서 식용으로 널리 이용되고 있으며(Chapman 1962; Kang 1968; Velasquez 1972; Oh et al. 1990), 오래전부터 민간요법의 구충제로 이용되거나(Kang 1968; Hoppe 1979), 비뇨기 질환 및 수종 치료(Tseng and Zhang 1984)에 이용되어 왔다. 또한 청각의 추출물에는 항생작용이 있는 acrylic acid, 항응고 활성물질, 응집소 등이 함유되어 있을 뿐만 아니라 항암 및 항돌연변이 효과와 면역활성 등이 있는 것으로 밝혀져, 약학·생화학·의학분야에도 응용될 수 있는 유용 해조이다(Katayama 1964; Glombitza 1969; Shiomi 1983; Ryu et al. 1986; Cho et al. 1990; Rogers et al. 1990; Rogers and Loveless 1991).

청각은 다년생 해조로(Moeller 1969; Malinowski and Ramus 1973; Head and Carpenter 1975), 최근 세계적으로 그 분포 범위가 넓어지면서 서식지 환경에 강한 적응력을 보이는 것이 보고되었다(Kim 1988; Kim et al. 1989). 이는 청각이 환경에 대처하는 생리적 유연성과 동계의 질소원 저장능력 때문으로 밝혀졌으며, 청각에서 일어나는 분절현상으로 연간 청각 생산량의 87.3%가 부식먹이사슬로 흡수되므로써 연안 생태계 유지에 공헌하며, 스펀지와 같은 엽체 표면의 특징으로 인하여 다른 많은 해조류와 무척추동물의 서식처를 제공하는 특성을 가지는 종이다.

따라서 청각 양식기술개발을 통하여 해조류양식 양식 품종의 다변화를 꾀할 수 있으며, 식용으로서의 이용뿐 아니라 고부가가치를 창출할 수 있는 생화학 및 의학 분야에 적용이 가능하고, 인공종묘생산 기술을 적용하여 해조장 조성시 종묘로 공급하므로써 연안 환경 조성에 기여할 수 있다.

제 3 절 연구개발의 범위

구 분	목 표	내용 및 범위
1차 년도 (2004년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개체군 생태 연구 ○ 초기발생에 관한 연구 ○ 성숙 및 재생 유도 ○ 유·무성 인공채묘조건 구명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 야외 개체군 계절별 생장·성숙 주기조사 ○ 광·온도·광질·광주기별 배양 ○ 성숙·재생 유도 조건 구명 ○ 배우자 대량방출 및 수사부착 조건 조사
2차 년도 (2005년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 형태형성능의 배양환경 구명 ○ 인공채묘 기법 확립 ○ 대량 배양 체계 확립 ○ 가이식 기법 확립 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광·온도·광질·광주기·물리적 자극 조건별 배양 ○ 채묘기질·채묘방법별 부착효과 조사 ○ 배우자 및 수사부착 조건 구명 ○ 적정 가이식 시기 및 해적생물 구제 조건 구명
3차 년도 (2006년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양성 기법 확립 ○ 경제성 분석 ○ 이용방안 연구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양성 관리 조건 구명 ○ 양식 수익성 및 경제성 분석 ○ 가공 및 이용 방안 연구

제2장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

청각은 녹조식물강 청각속에 속하며 몸 전체는 세포성 격막이 없고 원형질이 모두 연결된 비세포성 다핵체를 이루고 있으며, 유성생식 외에도 절단된 몸의 일부가 다시 재생되는 무성생식이 활발하게 일어나는 종이다(Kapraun and Martin 1987). 이는 청각의 내부구조가 영양생장이 용이한 포낭과 수사로 구성되어 있는 낭상체이며, 임계조도 및 물리적 자극이 주어지는 조건에서는 실내배양에서도 분화전능(totipotency)이 용이하게 발현되기 때문이다(Park and Sohn 1992; Ramus 1972). 또한 Nanba et al.(2005)에 의하면 청각의 엽체는 단세포의 다핵체로 포낭 또는 수사의 내부에 존재하는 수많은 엽록체가 포함된 원형질이 청각의 엽체 형성에 있어 기원이 되는 물질이라고 하였다(Dring 1982). 일본에서는 Yotsui and Migita(1989)가 포낭에서 재생된 수사를 이용하여 양식이 가능함을 실험적으로 입증한 결과가 있었으나 추가적인 대량 양식 관련 연구는 이루어지지 않았다. 국내에서는 실내배양을 통하여 완전한 청각의 형태형성을 이루어낸 예가 극히 드물었으나, Park and Sohn(1992)에 의하여 절단된 분리수사로부터 완전한 체의 형태형성 조건이 구명되면서, 대량배양의 가능성을 보였지만 현재까지 청각의 대량 양식에 관한 보고는 전무한 상태이다.

청각은 다양한 유용성에도 불구하고 현재 대량양식을 위한 양식기법이 개발되어 있지 않아, 자연적으로 양식 시설물에 부착된 청각을 수확하는 자연채묘에 의존해왔다. 그러나 자연채묘는 연안환경의 악화, 해황 등의 환경요소에 의해 크게 영향을 받을 뿐만 아니라 청각 엽체의 성숙은 시기적으로 한정되고 개체간 또는 동일 엽체에 있어서도 성숙도의 차이가 커서 안정적인 인공채묘를 기대하기 어렵다. 청각의 포낭 또는 분리수사를 양식의 종묘로 사용하기 위해서는 수사로부터 엽원기(primordia)가 형성되어 직접 엽체로 자라는데 필요한 배양 조건의 구명과 수사를 채묘기질에 부착시키기 위한 대량 인공채묘 및 가이식 조건의 탐색이 수반되어야만 하는데 본 연구에서는 청각의 대량인공채묘와 양식에 필요한 제반 조건을 확립하였다.

따라서 이 연구를 통하여 청각의 인공채묘와 대량 양식 기법이 확립됨으로써,

국내 해조류 양식 품종의 다변화와 해조류 양식 어업인의 소득증대에 기여하고, 연안 환경 정화를 위한 인공 해중림의 종묘 확보의 방안을 제시할 수 있게 되었다.

이러한 연구성과는 한국수산학회지의 Hwang et al.(2005a, 2005b) 등 2편의 연구논문과 Journal of Applied Phycology의 Hwang et al.(2007; in press)의 1편, Food Science Biotechnology에 투고중의 1편 등 총 4편의 연구논문으로 투고되었으며, 2건의 국외학술논문 발표와 3건의 국내학술논문 발표, 1건의 특허등록 성과를 거두었다. 또한 2007년도 일본 고베에서 개최된 제19차 International Seaweed Symposium에서 최우수 포스터논문상을 수상함으로써, 해조류양식분야의 실질적인 공헌을 국제적으로 인정받게 되었다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 연구개발수행 내용

1. 청각 개체군의 생리·생태학적 특성연구

가. 청각 개체군의 생태적 특성

1) 개체군의 서식지 환경

청각 서식지(완도의 원동, 보길도)의 수온, 염분도, 인산염, 질산염, 수중광량 등의 서식환경을 월별로 측정하고 분석하였다.

2) 개체군의 성장 및 성숙

청각 개체의 성장과 성숙에 따른 형태적 형질 분석은 서식지(완도의 원동, 보길도)에서 각각 무작위로 채집된 개체(30개체 이상)의 엽장, 엽폭, 엽중량(습중량), 분지수, 포낭의 크기, 배우자낭의 형성 및 성숙유무를 월별로 파악하였다.

나. 청각 개체군의 생리적 특성

1) 광·온도에 따른 성장

청각 엽체의 성장에 미치는 조도 및 온도의 영향을 알아보기 위하여 엽체의 상부쪽 가지를 1cm 크기로 절단한 다음 1L 플라스크에 3 ± 0.3 g 씩 수용하여 각각의 온도(10, 15, 20, 25℃)와 조도(40, 60, 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)조건하에서 통기배양 하였다. 배양동안 배지(PES배지)의 교환과 생장의 측정은 일주일 간격으로 실시하였다.

2) 광질에 따른 성장

광질에 따른 청각의 성장 및 형태형성을 알아보기 위하여 청각 엽체의 상부쪽

가지를 2cm 크기로 절단한 다음 1L 플라스크에 10개씩 넣고 통기 (200mL/min) 배양 하였다. 광질은 백색광(형광광원), 청색광(LED 480nm), 적색광(LED 680nm)으로 구분하여 사용하였으며, 배양은 온도 20℃, 광주기 16:8 LD, 광세기 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조건하에서 실시하였다. 엽체의 습중량 변화와 재생지의 길이는 모든 재생지 길이의 평균치로 나타내었으며, 성장측정은 2주간격으로 실시하였다.

3) 광 · 온도 · 광주기에 따른 배우자낭 형성 및 성숙

청각의 배우자낭 형성 및 성숙에 미치는 온도(10, 15, 20, 25℃), 조도(40, 60, $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 그리고 광주기(24:0, 16:8, 8:16 LD)의 영향을 알아보기 위하여 36개의 조합된 실험구에서 50일간 배양하였다. 배우자낭의 형성율은 각 구간별로 모조로부터 30개씩 분리된 포낭에 형성된 배우자낭수의 비율을 10회 이상 측정하여 그 평균으로 하였으며, 배우자낭의 성숙도는 배우자낭의 길이와 폭을 측정함으로써 판별하였다.

4) 광 · 온도에 따른 형태형성

광 · 온도에 따른 분리수사의 형태형성에 따른 영향을 알아보기 위해 엽체로부터 분리된 포낭을 500mL 플라스크에 수용해 온도 10, 15, 20, 25℃, 조도 10, 20, 60, $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 광주기 16:8 LD, 통기량 200mL/min의 조건으로 배양하면서 형태형성의 양상을 관찰하였으며, 수사는 연기적 분기(symptodial branching)를 하므로 배양시간에 따른 길이 증가의 측정은 정량적으로 계측할 수 없어서 광 · 온도에 대한 형태형성의 유무만을 관찰하였다. 각 구간별 수사로부터의 형태형성은 10일 간격으로 발달양상에 따라 수사, 직립지, 분지의 형태로 구분하였다.

5) 물리적 유동에 따른 형태형성

청각의 형태형성을 유도하는 주요인자들 중의 하나가 물리적인 자극이다. 본 실험에서 시도되었던 물리적인 자극실험은 청각의 형태형성 유도의 충분조건

으로 조도($100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 광주기(16:8 LD)와 온도(20°C) 조건을 충족시킨 후 배양용기(500mL)내의 통기량(100, 200, 300, 400mL/min)을 달리하여 접합자와 수사를 배양하였을 때 형태형성을 유도하는 임계통기량을 구명코자 하였다. 수사는 연기적 분기(symptodial branching)를 하므로 배양시간에 따른 길이 증가의 측정은 정량적으로 계측할 수 없어서 각 통기량에 대한 형태형성의 유무만을 관찰하였다. 각 구간별 수사로부터의 형태형성은 10일 간격으로 발달양상에 따라 수사, 직립지, 분지의 형태로 구분하였다.

6) 광질에 따른 형태형성

광질에 따른 분리수사의 형태형성에 따른 영향을 알아보기 위해 엽체로부터 분리된 포낭을 500mL 플라스크에 수용해 각 광원별 인큐베이터에서 온도 20°C , 광주기 16:8 LD, 광세기 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 통기량 200mL/min의 조건으로 배양하면서 광질[백색광(형광광원), 청색광(LED 480nm), 적색광(LED 680nm)]에 따른 형태형성의 양상을 관찰하였으며, 수사는 연기적 분기(symptodial branching)를 하므로 배양시간에 따른 길이 증가의 측정은 정량적으로 계측할 수 없어서 각 광질에 대한 형태형성의 유무만을 관찰하였다. 각 구간별 수사로부터의 형태형성은 10일 간격으로 발달양상에 따라 수사, 직립지, 분지의 형태로 구분하였다.

2. 청각의 생식방법별 배양환경 연구

가. 유성생식을 이용한 배우자 방출 및 접합자 배양

1) 배우자 방출량의 정량화

성숙된 암배우자낭의 배우자 방출 개시 시점부터 방출 완료 시점까지 방출된 배우자의 수를 계수하였다.

2) 조도조건별 접합자의 배양

5개 조도조건(10, 20, 40, 60, $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)과 15°C 및 16:8 LD의 광주기

조건하에서 접합자가 부착된 cover glass를 직경 5cm의 멸균된 petri-dish로 옮겨 조도조건별 접합자의 생장을 측정하였다. 모든 실험은 3반복 실험구로 설정하였으며, 배지는 PES 배지를 사용하였고 3일마다 전량 교환하였다.

3) 온도조건별 접합자의 배양

4개 온도조건(10, 15, 20, 25℃)과 16:8 LD의 광주기 및 $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조건하에서 접합자가 부착된 cover glass를 직경 5cm의 멸균된 petri-dish로 옮겨 조도조건별 접합자의 생장을 측정하였다. 모든 실험은 3반복 실험구로 설정하였으며, 배지는 PES 배지를 사용하였고 3일마다 전량 교환하였다.

나. 무성생식을 이용한 분리수사에 의한 재생

1) 청각 1g중량당 포낭의 수 정량화

청각 엽체 1g을 10mL의 해수에 넣고 포낭을 핀셋으로 분리하여 1mL 해수중의 포낭수를 계수하였다.

2) 호모게나이저의 회전속도별 분리수사의 재생

호모게나이저(DI 25 basic, GMBH & Co., Germany)를 이용한 청각의 수사 분리는 습중량 1 g의 청각 엽체를 10 mL의 멸균해수와 함께 각각의 회전속도별 (8,000, 9,500, 13,500, 20,500, 24,000 min^{-1})로 30초 씩 분쇄후 포낭의 길이와 수사의 길이를 측정하고, 15℃ 온도조건과 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서 5일간 배양한 후 재생된 포낭의 수를 측정하였다.

3) 온도조건별 분리수사의 생장 및 재생

4개 온도조건(10, 15, 20, 25℃)과 16:8 LD의 광주기 및 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건하에서 분리수사의 생장 및 재생을 측정하였다. 분리수사의 생장 측정은 배양 초기에는 수사의 길이를 측정하였으나, 배양 3일후부터는 불규칙하게 자라는 수사의 특성상 길이측정이 곤란하므로 재생된 포낭의 수를 측정하였다. 모든 실험은 3개의 독립된 petri dish를 이용하여 3반복 실험하였다.

4) 조도조건별 분리수사의 성장 및 재생

4개 조도조건(20, 40, 60, 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)과 20 $^{\circ}\text{C}$ 및 16:8 LD의 광주기 조건하에서 분리수사의 성장 및 재생을 측정하였다. 분리수사의 성장 측정은 배양 초기에는 수사의 길이를 측정하였으나, 배양 3일후부터는 불규칙하게 자라는 수사의 특성상 길이측정이 곤란하므로 재생된 포낭의 수를 측정하였다. 모든 실험은 3개의 독립된 petri dish를 이용하여 3반복 실험하였다.

3. 청각의 양식학적 연구

가. 인공채묘

1) 접합자 및 분리수사의 인공채묘

청각 접합자를 이용한 접합자의 채묘는 2005년 8월에 실시하였으며, 채묘틀 (45 \times 55cm, 크레모나 36합사)을 직경 1m의 원형수조 바닥에 깔고 채묘틀 1틀당 500g의 성숙 모조를 얹고 채묘틀과 성숙모조를 번갈아 층층이 쌓아놓고 air를 공급하였다. 채묘틀은 성숙 엽체가 녹아나갈 때 까지 2주일간 유수시킨 후 사각수조로 옮겨 수직으로 배열하여 자연채광 및 자연수온 조건으로 수조에서 배양하였다.

분리수사의 채묘는 blender를 이용하여 청각 엽체 200g과 해수 500mL의 비율로 포낭과 수사 분리액을 제작하여 채묘틀을 분리액에 담가 강제채묘시킨 후 실내사각수조로 옮겨 수직으로 배열하여 자연채광 및 자연수온 조건으로 배양하였다.

2) 채묘방법별 성장 및 채묘효과

가) 유성생식에 의한 접합자 성장 및 채묘효과

성숙된 청각 모조로부터 방출된 배우자의 접합에 의해 만들어지는 접합자를 기질에 채묘하여 유성생식에 의한 접합자의 성장 및 채묘효과를 비교하였다. 성숙 모조는 2005년 7월 전남 완도군 완도읍 원동리에서 채집하였으며, 실험실로

옻겨 멸균해수에서 수회 세척한 후 15℃의 냉암소에서 1일간 적응시킨 후 배우자 방출을 유도하였다. 성숙모조의 소요량은 종사 1m당 5g 정도의 비율로 하였으며, 채묘틀은 45×55cm(크레모나사 36합사)를 이용하여 성숙모조와 채묘틀을 번갈아 놓아 방출된 배우자가 접합하여 기질에 부착하도록 하였으며, 채묘수조의 유수량은 1L/min.로 유지하였다. 접합자의 성장 및 채묘효과의 측정은 종사 1cm 당 부착된 접합자의 수와 길이로 측정하였다.

나) 무성생식에 의한 수사의 성장 및 채묘효과

청각 엽체는 채묘할 종사의 길이 1m 당 2g의 비율로 Hand blender(MR 5550CA, Braun)를 이용하여 분리수사액을 제조하였다. 분리수사액에 채묘틀을 담가 분리수사의 채묘를 실시하였으며, 기질에 채묘된 분리수사의 성장도와 채묘효과를 비교하였다. 분리수사의 성장 및 채묘효과의 측정은 종사 1cm 당 부착된 수사의 수와 길이로 측정하였다.

다) 채묘틀의 건조시간별 분리수사의 채묘효과

분리수사액에 채묘틀을 담가 강제채묘한 후 배양수조에 넣기 전 건조시간 (0, 0.5, 1, 2, 3시간)별 분리수사의 성장도와 채묘효과를 비교하였다. 건조시간 조건별 분리수사의 성장 및 채묘효과의 측정은 종사 1cm 당 부착된 수사의 수와 길이로 측정하였다.

3) 채묘기질별 성장 및 채묘효과

분리수사의 채묘시 채묘기질별(크레모나 18합사, 36합사 및 팜사)로 분리수사의 성장도와 채묘효과를 비교하였다. 크레모나사 18합사는 직경 $1.43 \pm 0.12\text{mm}$ 였으며, 36합사는 직경 $2.12 \pm 0.17\text{mm}$ 그리고 팜사는 직경 $4.50 \pm 0.38\text{mm}$ 였다. 각 채묘기질별 분리수사의 성장 및 채묘효과는 종사 1cm 당 부착된 수사의 수와 길이로 측정하였다.

4) 접합자와 분리수사의 채묘효율 비교

청각 접합자를 이용한 접합자의 채묘는 2005년 7월에 실시하였으며, 채묘틀

(45×55cm, 크레모나 36합사)을 직경 1m의 원형수조 바닥에 깔고 채묘틀 1틀당 500g의 성숙 모조를 얹고 채묘틀과 성숙모조를 번갈아 층층이 쌓아놓고 air를 공급하였다. 채묘틀은 성숙 엽체가 녹아나갈 때 까지 2주일간 유수시킨 후 사각수조로 옮겨 수직으로 배열하여 자연채광 및 자연수온 조건으로 배양하였다.

분리수사의 채묘는 blender를 이용하여 채묘틀 1틀당 200g과 해수 500ml의 비율로 포낭과 수사 분리액을 제작하여 채묘틀을 분리액에 담가 강제채묘시킨 후 사각수조로 옮겨 수직으로 배열하여 자연채광 및 자연수온 조건으로 수조배양하였다.

접합자와 분리수사로 채묘된 채묘틀의 가이식은 2005년 8월부터 완도 정도리 앞바다의 시험 어장에서 연승수하식으로 이루어졌다. 성장 측정은 종사 10cm를 3개씩 절단하여 습중량을 측정하였다.

5) 채묘후 실내배양일수에 따른 가이식 효과

2005년도 6월부터 11월까지 매월 분리수사의 채묘를 실시하여 실내배양수조에서 배양한 후 2005년 12월에 전남 완도군 정도리의 양식어장의 수심 0.5m에서 가이식을 실시하였으며, 2006년 12월까지 실험이 수행되었다. 채묘시기의 차이 따른 실내배양 일수별 가이식 효과의 분석은 가이식 기간중 수사의 성장과 종사 10cm를 3개씩 절단하여 습중량을 측정하였다.

6) 적정 가이식장 조건 파악

적정 가이식장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도, 유속, pH, 전기전도도, 수중광량, 영양염 등의 요소들을 전남 완도군 보길면 어장 및 완도군 완도읍 정도리 어장에서 2004년 11월부터 2005년 8월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다.

나. 가이식

1) 유성 및 무성생식방법별 가이식 효과 비교

유성 및 무성생식방법별 가이식 실험은 2005년 10월 1일부터 12월 1일까지 60일간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식어장에서 수행되었다. 가이식 수심은

0.5m로 유지하였으며 생장 측정은 15일 간격으로 실험구별 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1cm당 수사의 수를 측정하였다.

2) 가이식 기간중 청각의 생장도

가) 가이식 기간중 수온 및 수중광량의 변화

가이식 어장별 환경조사는 전남 완도군 완도읍 정도리와 완도군 보길면의 2개 지점에서 수행하였으며, 각 어장의 월별 수온, 용존산소, 염분도, 전기전도도의 변화는 YSI-85(YSI, USA)를 이용하여 측정하였고, 수중광량은 LI-1400(LI-Cor, USA)를 이용하여 측정하였다.

나) 채묘기질별 청각의 생장도 및 가이식 효과

분리수사의 채묘시 채묘기질별(크레모나 18합사, 36합사 및 팜사)로 분리수사의 생장도와 채묘효과를 비교하였다. 크레모나사 18합사는 직경 $1.43 \pm 0.12\text{mm}$ 였으며, 36합사는 직경 $2.12 \pm 0.17\text{mm}$ 그리고 팜사는 직경 $4.50 \pm 0.38\text{mm}$ 였다. 가이식 수심은 0.5m로 유지하였으며, 생장 및 가이식 효과의 측정은 15일 간격으로 실험구별 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1cm당 수사의 수를 측정하였다.

다) 채묘시 노출시간별 청각의 생장도 및 가이식 효과

분리수사액에 채묘틀을 담가 채묘한 후 배양수조에 넣기 전 건조시간(0, 0.5, 1, 2, 3시간)별 분리수사의 생장도와 채묘효과를 비교하였다. 건조시간 조건별 분리수사의 생장 및 가이식 효과의 측정은 15일 간격으로 실험구별 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이생장 및 1cm당 수사의 수를 측정하였다.

라) 가이식 수심별 청각의 생장도 및 가이식 효과

가이식 실험은 2005년 10월 1일부터 12월 1일까지 60일간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식어장에서 수행되었으며, 환경측정은 수온과 수심별 수중광량을

측정하였다. 수중광량의 측정은 LI-1400 Data Logger(LI-Cor, USA)를 이용하여 7일 간격으로 수심(0, 0.5, 1, 2, 3m)별로 측정하였으며 측정시마다 5회 측정의 평균값으로 기록하였다. 가이식 수심은 각각 0.5, 1, 2 및 3m 실험구별로 채묘틀을 수하식으로 시설하였으며, 청각의 성장 및 가이식 효과의 측정은 15일 간격으로 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이성장 및 1cm 당 수사의 수를 측정하였다.

마) 가이식 시기별 청각의 성장도 및 가이식 효과

2005년 7월부터 12월까지 매월 가이식을 실시하여 각 실험구별 청각 수사 또는 직립지의 성장 및 가이식 효과를 측정하였다. 청각의 성장 및 가이식 효과의 측정은 1개월 간격으로 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 청각 수사 또는 직립엽체의 길이성장 및 1cm 당 수사의 수를 측정하였다.

3) 가이식 기간중 해적생물조사

가이식 기간중 가이식 수심(0.5, 1, 2, 3m)별 청각 채묘틀의 종사에 출현한 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 뿔질 등이 주를 이루었으며, 15일 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

다. 양 성

1) 적정 양성 어장 조건 파악

적정 양성어장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도 및 전기전도도와 수중광량의 요소들을 전남 완도군 보길면 어장 및 완도군 완도읍 정도리 어장에서 2006년 11월부터 2007년 6월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다.

2) 양성 기간중 청각의 성장도

가) 양성 어장별 청각의 성장도

전남 완도군 보길면 어장 및 완도군 완도읍 정도리 어장에서 2007년 1월부터

6월까지 매월 청각의 분리수사 채묘에 의한 양성 성장도를 측정하였다. 성장도 측정은 측정시마다 3반복 실험구 측정의 평균값으로 기록하였다. 생체량은 종사 10cm의 중량의 3반복 평균치를 이용하여 단위m당 현존량으로 환산하였다.

나) 유성·무성생식 방법별 양성 효과

유성 및 무성생식방법별 양성실험은 자연채묘와 분리수사의 채묘로 구분하여 2006년 12월부터 2007년 6월까지 전남 완도군 보길면 어장에서 실시하였으며 예비 양성실험 결과 (2004년 12월부터 2005년 8월까지)와 비교 분석하였다.

다) 양성 수심별 성장도 및 양성 효과

(1) 전기양성기간중 양성수심별 성장도 및 양성효과

전기양성실험은 2006년 1월부터 5월까지 4개월간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식어장에서 수행되었으며 1개월 간격으로 수심(0.5, 1, 2, 3m)별로 성장도를 측정하였다. 성장도 측정은 측정시마다 3반복 실험구 측정의 평균값으로 기록하였다. 양성 수심은 수평식 로프에 4m 길이의 수직로프를 시설하여 각 수심별로 종사 10cm 길이로 3개씩 절단하여 청각 직립엽체의 수와 길이생장 및 분지횟수를 측정하였으며, 생체량은 종사 10cm의 중량의 3반복 평균치를 이용하여 단위m당 현존량으로 환산하였다.

(2) 후기양성기간중 양성수심별 성장도 및 양성효과

후기양성실험은 2006년 5월부터 8월까지 3개월간 전남 완도군 완도읍 정도리 양식어장에서 수행되었으며 1개월 간격으로 수심(0.5, 1, 2, 3m)별로 성장도를 측정하였다. 성장도 측정은 측정시마다 3반복 실험구 측정의 평균값으로 기록하였다. 양성 수심은 수평식 로프에 4m 길이의 수직로프를 시설하여 각 수심별로 종사 10cm 길이로 3개씩 절단하여 청각 직립엽체의 수와 길이생장 및 분지횟수를 측정하였으며, 생체량은 종사 10cm의 중량의 3반복 평균치를 이용하여 단위m당 현존량으로 환산하였다.

라) 양성 방법별 생장도 및 양성 효과

청각의 분리수사 채묘는 2006년 10월 12일에 45×55cm 규격의 채묘틀(크레모나사, 36합사)을 이용하였으며, 가이식은 2006년 12월15일부터 2007년 1월 15일까지의 1개월간 전남 완도군 보길도 어장에서 수행되었다. 수평식 양성시설은 분리수사가 생장되어 있는 종사 1가닥 또는 2가닥을 본양성용 로프(직경 12mm)에 10cm 간격으로 감기 시설하였다. 재생장 측정 실험구는 2006년 10월에 전남 완도군 보길도 어장에서 청각 엽체의 부착기부분을 2cm 내외로 남긴 나머지 부분을 이용하여 엽체의 단편으로부터 재생장을 측정하기 위하여 2006년 11월부터 2007년 5월까지 7개월간 매월 청각 엽체의 길이, 엽체수, 분지수 및 생체량을 측정하였다.

청각 직립엽체의 양성 생장도 측정은 매월 1회 양성 로프로부터 10cm길이의 종사를 3개씩 절취하여 반복실험구로 이용하였으며, 직립엽체의 길이생장, 직립엽체의 수 및 분지횟수를 측정하였다. 생체량의 측정은 종사 10cm 중량의 3반복 평균치를 이용하여 단위m당 현존량으로 환산하였다.

마) 가이식 기간에 따른 양성 효과 분석

2005년 6월부터 11월까지 1개월의 차이를 두고 매월 단계적으로 분리수사를 채묘하여, 각각 1개월후 가이식을 실시한후 2006년 1월부터 8월까지 양성 생장도를 각각의 실험구별로 측정하였다. 즉 가이식 기간이 각각 6, 5, 4, 3, 2, 1개월 및 가이식을 실시하지 않은 실험구로 구분하여 직립엽체의 길이, 엽체수, 분지수 및 생체량을 측정하였다.

바) 양성기간중 해적생물 조사

2007년 1월부터 6월까지 양성기간중 청각 양성로프에 출현한 청각 이외의 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 빨질 등이 주를 이루었으며, 1개월 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

3) 청각의 건조수율

가) 자연건조시 건조수율

2006년 10월에 자연조건하에서 청각 습중량 50g씩 3반복 실험구를 설정하여 시간경과별 중량 변화를 측정하여 상대수분함량 변화를 측정하였다. 청각의 건조중량 측정은 습중량 100g의 염체를 3반복 실험구로 설정하여, 온도조건 80℃의 dry oven에서 24시간 건조시킨 후 측정하였다.

나) 인공건조시 온도조건별 청각의 수분함량 및 색택변화

2006년 10월에 청각 습중량 50g씩 3반복 실험구를 설정하여 온도조건 40, 60, 80 및 100℃ 조건의 Dry oven에서 각각 시간경과별 중량 변화를 측정하여 건조중량과 상대수분함량 변화를 측정하였다. 청각의 건조과정중 색택의 변화를 측정하기 위하여 자연상태 청각의 색택을 기준으로 하여 각 온도조건별 색택의 변화를 색차계(CR-1000, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다.

4) 청각 양식의 매뉴얼

청각의 인공채묘 조건과 가이식 및 양성 조건을 도표화 하여 청각 양식의 매뉴얼을 작성하였다.

4. 청각의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

1) 청각추출물이 고지혈증으로 인한 흰쥐의 간세포 손상 및 고지혈증에 미치는 영향

청각의 추출물이 혈중 cholesterol 및 지질대사에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실험동물인 rat에 고 콜레스테롤 식이를 투여하여 고지혈증을 유발시킨 후 5주간 청각분말을 투여하면서 혈중 cholesterol 및 AST, ALT 효소 활성치 등 혈액생화학적 변화를 관찰하였고 전자현미경을 이용하여 간세포의 조직학적

변화를 조사하였다. 이들 결과들을 제공함으로써 청각의 이용도를 극대화시키고 고부가가치성 창출할 수 있도록 하였다.

나. 경제성 분석

1) 청각양식의 경제성 분석

청각양식어업의 경영특성은 크게 종묘생산부분과 양식부분으로 나누어 분석되었다. 청각의 종묘생산과 양식에 참여했던 어가를 통하여 배부·회수한 손익조사서를 이용하여 손익계산, 공통형 손익계산, 항목별 민감도분석을 통하여 청각양식의 경제성을 분석하였다.

제 2 절 연구결과

1. 청각 개체군의 생리·생태학적 특성연구

가. 청각 개체군의 생태적 특성

1) 개체군의 서식지 환경

청각 개체군의 서식지인 두 조사지점(그림 1), 완도의 원동(126°63' E, 34°35' N)과 보길도(126°52' E, 34°12' N)의 환경특성을 살펴보면, 원동은 해남군 남단의 내만쪽에 위치하고 있어 미세한 필이 많이 분포해 투명도는 약간 낮으나 조용한 내만으로 인근으로부터 도시 하수의 유입이 약간 있는 해역의 소규모 양식어장이고, 보길도는 완도군의 바깥쪽에 위치한 섬으로 해안선을 따라 암반지대가 형성되어 있어 투명도가 높고 조류의 소통이 빠르고 인근으로부터 도시 하수의 유입이 없는 청정해역의 대규모 양식어장을 형성하고 있다.

조사지점의 수온, 염분도 및 영양염 농도 변화는 표 1, 표 2, 그림 2 및 그림 3과 같다. 2004년 8월부터 2005년 5월까지 청각 개체군 서식지역의 수온 변화는 표 1과 같이 원동에서는 9월에 24.8℃로 가장 높았으며 2월에 5.8℃로 가장 낮았다. 염분농도는 32.1-34.2%의 범위를 보였다. 인산염 농도는 8월에 0.58 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최저치를 보였으며, 12월과 3월에 0.81 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최고치를 나타내었다. DIN 농도는 8월에 7.79 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최저치를 나타내었으며, 3월에 16.31 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최고치를 나타내었다.

보길도에서는 표 2와 같이 9월에 23.7℃로 가장 높은 수온을 나타냈으며, 2월에 7.2℃로 가장 낮았다. 염분농도는 33.2-34.6%의 범위를 보였다. 인산염 농도는 8월에 0.55 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최저치를 보였으며, 3월에 0.79로 최고치를 나타내었다. DIN 농도는 역시 8월에 7.11 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최저치를 보였으며 3월에 15.27 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최고치를 나타내었다.

따라서 원동과 보길도 지역은 각각 내만형과 외해형 지역으로 구분하여 볼 수 있으며, 그림 2와 같이 수온과 염분농도 변화는 내만형인 원동 지역이 외해형인 보길도 지역보다 상대적으로 크게 나타난 것으로 보인다. 또한 인산염과 DIN

등의 영양염 농도 역시 내만형 지역인 원동이 보길도 지역 보다 비교적 높게 나타났다.

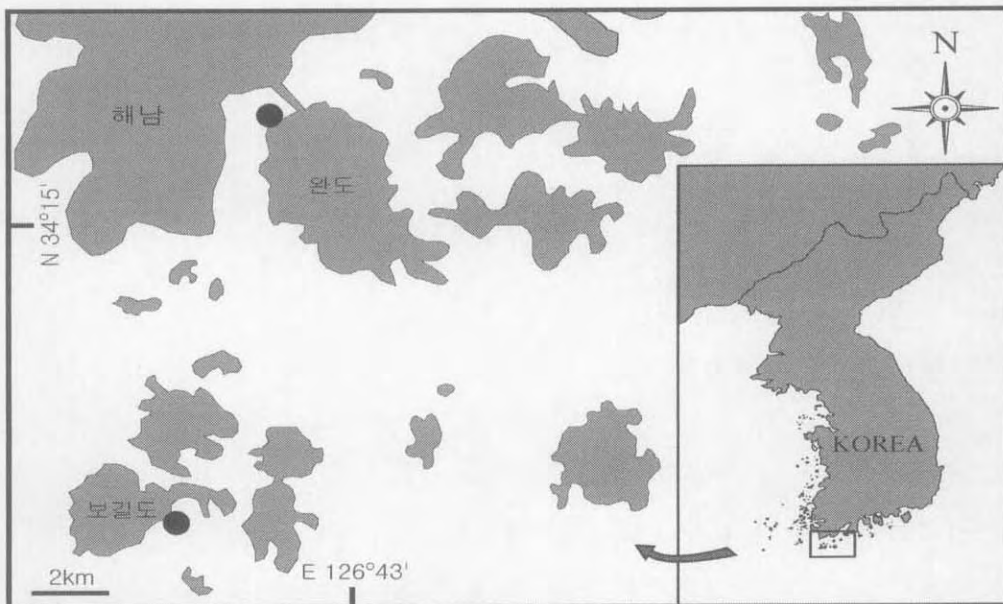


그림 1. 개체군 생태조사지점 (●).

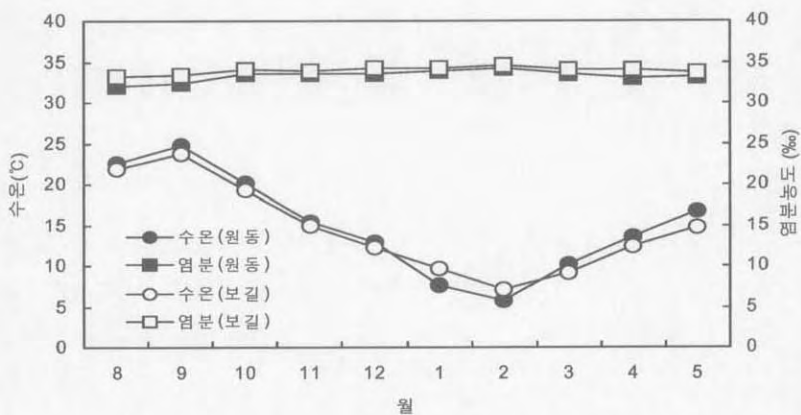


그림 2. 조사기간중 수온 및 염분농도 변화.

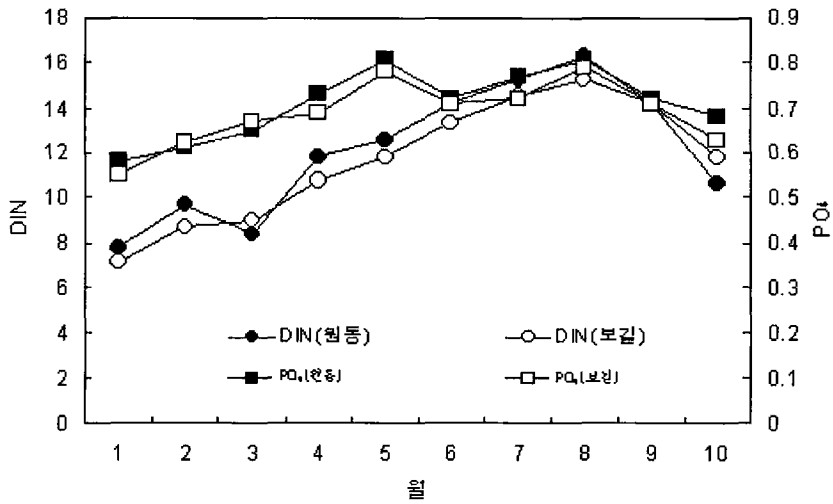


그림 3. 조사기간중 영양염 농도변화.

표 1. 개체군 서식지의 어장환경 (원동)

년 월	수 온 (°C)	염분도 (‰)	영양염류 ($\mu\text{g-at/L}$)				
			PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN
2004. 8	22.6	32.1	0.58	1.06	0.19	6.32	7.79
9	24.8	32.3	0.61	1.62	0.12	7.32	9.67
10	20.1	33.6	0.65	1.84	0.14	7.85	8.43
11	15.4	33.5	0.73	2.32	0.21	9.52	11.76
12	12.9	33.6	0.81	2.58	0.27	9.38	12.58
2005. 1	7.7	33.9	0.72	2.54	0.17	11.45	14.16
2	5.8	34.2	0.77	2.75	0.19	12.32	15.26
3	10.2	33.5	0.81	3.12	0.21	12.98	16.31
4	13.5	33.1	0.72	2.28	0.16	11.76	14.20
5	16.8	33.2	0.68	1.98	0.24	8.36	10.58

표 2. 개체군 서식지의 어장환경 (보길도)

년 월	수 온 (°C)	염분도 (‰)	영양염류 ($\mu\text{g-at/L}$)				
			PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN
2004. 8	21.8	33.2	0.55	1.15	0.15	5.26	7.11
9	23.7	33.4	0.62	1.43	0.14	6.49	8.68
10	19.3	34.1	0.67	1.58	0.13	6.58	8.96
11	14.9	33.9	0.69	1.89	0.19	7.94	10.71
12	12.2	34.2	0.78	1.94	0.23	8.85	11.80
2005. 1	9.6	34.3	0.71	2.16	0.16	10.31	13.34
2	7.2	34.6	0.72	2.24	0.16	11.39	14.51
3	9.1	34.1	0.79	2.87	0.18	11.43	15.27
4	12.4	34.0	0.71	2.16	0.19	11.15	14.21
5	14.7	33.8	0.63	1.75	0.20	9.21	11.79

2) 개체군의 성장 및 성숙

원동지역의 개체군에서 청각 염체의 월별 염체 길이는 표 3과 같이 9월에 $25.4 \pm 6.7\text{cm}$ 로 최고치를 나타내었으며 이후 점차 염체 길이생장이 감소하기 시작하여 2005년 1월에 $1.9 \pm 0.5\text{cm}$ 로 최저치를 나타내었다. 염체의 중량은 9월에 $18.7 \pm 6.4\text{g}$ 으로 최고치를 보였으며, 1월에 $2.7 \pm 0.6\text{g}$ 으로 최저치를 나타내었다. 분지수는 2004년 8월부터 10월까지 2-7개로 가장 높았으며 이후 감소하기 시작하여 2005년 1월부터 3월까지 0-2개로 가장 낮았고, 4월부터 다시 증가하기 시작하였다.

보길도 지역의 개체군에서 염장은 표 3과 같이 9월에 $26.8 \pm 7.8\text{cm}$ 로 최고치를 보였으며, 1월에 $1.5 \pm 0.3\text{cm}$ 로 최저치를 나타내었다. 염체 중량은 역시 9월에 $23.2 \pm 9.5\text{g}$ 으로 최고치를 보였으며, 1월에 $2.2 \pm 0.5\text{g}$ 으로 최저치를 나타내었다. 분지수는 8월부터 11월까지 2-8개의 분지수를 나타내었으나 12월부터 점차

감소되었으며 4월부터 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

따라서 원동과 보길도 지역의 개체군에서 엽장의 월별 변화(그림 4)는 원동 지역 개체군의 길이생장이 보다 우세한 것으로 나타났으며, 엽체 중량(그림 4) 역시 원동 개체군에서 높게 나타났으나 분지수는 보길도 개체군이 많은 것으로 나타났.

지역 개체군별 성숙도는 표 4와 같이 차이를 나타내었다. 원동지역 개체군의 경우 포낭의 길이는 $875 \pm 35 \sim 925 \pm 32 \mu\text{m}$ 의 범위를 나타내어 월별 차이가 크게 나타나지 않았으며, 배우자낭의 길이 역시 $250 \pm 15 \sim 286 \pm 25 \mu\text{m}$ 로 월별 차이를 나타내지 않았다. 원동 지역 개체군의 배우자낭의 형성은 2004년 8월부터 2005년 5월까지 매월 관찰되었으나 성숙된 배우자낭의 출현은 2004년 8월부터 12월까지 관찰되었으나 2005년 1월부터 3월까지 출현하지 않았으며, 이후 4월과 5월에 관찰되기 시작하였다. 암배우자의 크기는 배우자낭 성숙의 최성기인 8월에 $26 \pm 5.8 \mu\text{m}$ 로 최고치를 나타내었으며 배우자낭이 다시 형성되기 시작하는 4월에 $19 \pm 5.0 \mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 숫배우자의 크기는 역시 8월에 $5.3 \pm 1.5 \mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 4월에 3 ± 0.5 로 최저치를 나타내었다.

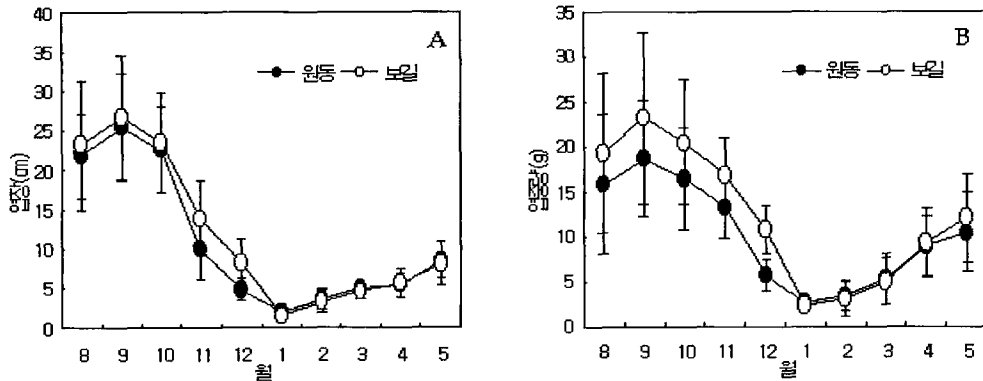


그림 4. 지역개체군별 엽장 (A) 및 엽중량 (B) 변화.

표 3. 개체군의 성장

지역	년 월	엽 체		엽중량 (g)	분지수 (개)
		길이 (cm)	폭 (mm)		
원 동	2004. 8	21.9±5.3	3.8±0.7	15.9±7.8	2-7
	9	25.4±6.7	4.0±0.8	18.7±6.4	2-8
	10	22.6±5.5	4.1±0.8	16.5±5.7	2-7
	11	9.9±3.8	4.1±0.9	13.2±3.3	2-4
	12	4.8±1.4	3.9±0.7	5.7±1.7	1-2
	2005. 1	1.9±0.5	1.5±0.2	2.7±0.6	0-1
	2	3.7±1.2	2.1±0.3	3.4±1.7	1-2
	3	4.9±0.6	2.2±0.4	5.3±2.8	1-3
	4	5.4±1.5	2.5±0.3	8.9±3.4	2-4
	5	8.5±2.3	2.9±0.4	10.5±4.5	2-5
보 길 도	2004. 8	23.2±8.2	3.4±0.8	19.3±8.9	2-6
	9	26.8±7.8	3.6±0.7	23.2±9.5	2-8
	10	23.5±6.3	3.7±0.8	20.5±6.9	2-7
	11	13.9±4.7	3.8±0.9	16.9±4.1	2-5
	12	8.2±3.2	3.9±0.8	10.8±2.6	1-3
	2005. 1	1.5±0.3	1.3±0.2	2.2±0.5	0-1
	2	3.3±1.4	2.0±0.2	3.1±1.9	1-2
	3	4.5±0.9	2.3±0.5	5.0±2.5	1-2
	4	5.7±1.8	2.6±0.5	9.3±3.7	2-3
	5	8.1±2.7	2.8±0.6	12.1±4.9	2-4

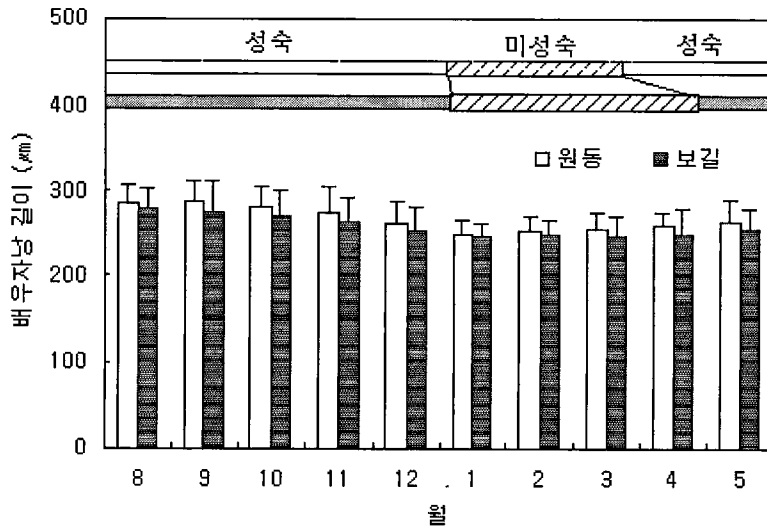


그림 5. 지역개체군별 배우자낭 길이의 변화와 성숙시기.

보길도 지역 개체군의 포낭 길이는 $779 \pm 28 \sim 842 \pm 31 \mu\text{m}$ 의 범위를 나타내었으며, 배우자낭의 길이는 $246 \pm 14 \sim 278 \pm 24 \mu\text{m}$ 의 범위를 나타내었다. 배우자낭의 형성은 2004년 8월부터 2005년 5월까지 매월 관찰되었으나 성숙된 배우자낭의 출현은 2004년 8월부터 12월까지 관찰되었으나 2005년 1월부터 4월까지 출현하지 않았으며, 5월에 성숙된 배우자낭의 출현이 관찰되었다. 암배우자의 크기는 배우자낭 성숙의 최성기인 8월에 $25 \pm 4.7 \mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 5월에 18 ± 5.9 로 최저치를 나타내었다. 수배우자의 크기는 역시 8월에 $5.1 \pm 1.3 \mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 5월에 $3.8 \pm 1.3 \mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다.

두 지역 개체군의 포낭 길이는 원동 지역 개체군이 보길도 지역 개체군보다 큰 것으로 나타났으며 배우자낭의 길이 역시 다소 큰 것으로 나타났다. 또한 암수 배우자의 크기 역시 원동 지역 개체군의 경우가 보길도 지역 개체군보다 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 내만형 지역인 원동 지역 개체군의 경우 여름철과 가을철의 수온이 보길도 지역 보다 다소 높게 나타나 길이생장에도 영향을 준 것으로 볼 수 있다.

조사기간 동안 원동 지역과 보길도 지역 개체군 모두 성숙의 최성기는 8월로 나타났으며 개체군의 배우자낭 형성은 연중 모두 관찰이 되었다(그림 5). 그러나 성숙된 배우자낭의 출현은 원동지역에서는 1월부터 3월까지의 시기를 제외한 기간동안 관찰되었으며, 보길도 지역에서는 1월부터 4월까지의 시기를 제외한 기간동안 관찰되었다. 이는 4월의 수온 조건이 외만형인 보길도 지역에서 원동 지역보다 낮아 배우자낭 성숙에 영향을 미쳤기 때문으로 보여진다. 따라서 자연상태에서 청각의 배우자낭성숙은 서식 지역의 환경요인이 매우 크게 작용한다고 할 수 있다.

지역 개체군별 성숙 업체의 성비는 표 5 및 그림 6과 같다. 원동 지역 개체군의 경우 자웅동주체의 출현비율은 9월에 80.6%(29개체)로 가장 높았으며, 4월에 6.7%(2개체)로 가장 낮았다. 자웅이주체 가운데 암배우체의 출현비율은 8월에 16.2%(6개체)로 가장 높았으며, 5월에 6.5%(2개체)로 가장 낮았고, 숫배우체의 출현비율은 역시 8월에 8.1%(3개체)로 가장 높았으며 12월에 2.7%(1개체)로 가장 낮았다. 따라서 원동지역 개체군의 경우 8월부터 10월 까지 100%의 성숙율을 나타내었으며, 이후 겨울동안 성숙율이 감소하여 1월부터 3월까지의 미성숙 개체들만 출현하였고, 4월부터 성숙율이 증가하기 시작하였다.

보길도 지역 개체군의 경우 자웅동주체의 비율은 9월에 79.5%(31개체)로 가장 높았으며, 5월에 8.8%(3개체)로 가장 낮았다. 자웅이주체 가운데 암배우체의 비율은 8월에 17.1%(7개체)로 가장 높았고, 12월에 5.4%(2개체)로 가장 낮았으며, 숫배우체의 비율은 8월에 7.3%(3개체)로 가장 높았으며, 12월에 2.7%(1개체)로 가장 낮았다. 따라서 보길도 지역 개체군의 경우 성숙율은 9월과 10월에 100%의 성숙율을 나타내었으며 이후 점차 감소하기 시작하여 1월부터 4월까지의 미성숙 개체들만 출현하였고, 5월부터 성숙 개체가 출현하기 시작하였다.

표 4. 개체군의 성숙

지역	년 월	포낭		배우자낭		배우자 낭 형성	배우자 낭 성숙	배우자	
		길이(μm)	폭 (μm)	길이(μm)	폭 (μm)			암 (μm)	수 (μm)
원 동	2004. 8	925±32	198±21	285±21	106±22	+	+	26±5.8	5.3±1.5
	9	920±35	198±19	286±25	105±18	+	+	25±5.9	5.2±1.1
	10	923±19	197±23	280±23	102±21	+	+	24±4.8	5.2±0.9
	11	921±26	193±25	274±31	100±24	+	+	23±4.2	4.7±1.8
	12	912±31	189±28	261±27	95±25	+	+	22±3.8	4.1±1.6
	2005. 1	875±35	177±14	250±15	91±6	+	-	-	-
	2	892±28	180±12	254±17	90±8	+	-	-	-
	3	921±29	191±11	256±19	92±11	+	-	-	-
	4	919±35	193±15	258±18	93±15	+	+	19±5.0	3±0.5
	5	920±29	195±17	263±27	104±24	+	+	20±6.2	3.5±1.1
보 길 도	2004. 8	842±31	183±24	278±24	96±25	+	+	25±4.7	5.1±1.3
	9	841±37	183±29	276±35	95±28	+	+	25±5.2	5.1±1.8
	10	838±28	181±26	271±28	92±31	+	+	24±5.3	5.0±1.1
	11	835±29	180±27	262±30	91±28	+	+	22±4.8	4.6±1.6
	12	822±35	173±31	254±26	89±25	+	+	21±4.1	4.3±1.9
	2005. 1	779±28	163±12	246±14	87±6.8	+	-	-	-
	2	791±32	171±18	249±17	88±8.9	+	-	-	-
	3	825±31	182±17	247±24	89±12	+	-	-	-
	4	839±36	184±18	250±28	91±17	+	-	-	-
	5	838±39	185±21	255±23	92±21	+	+	18±5.9	3.8±1.3

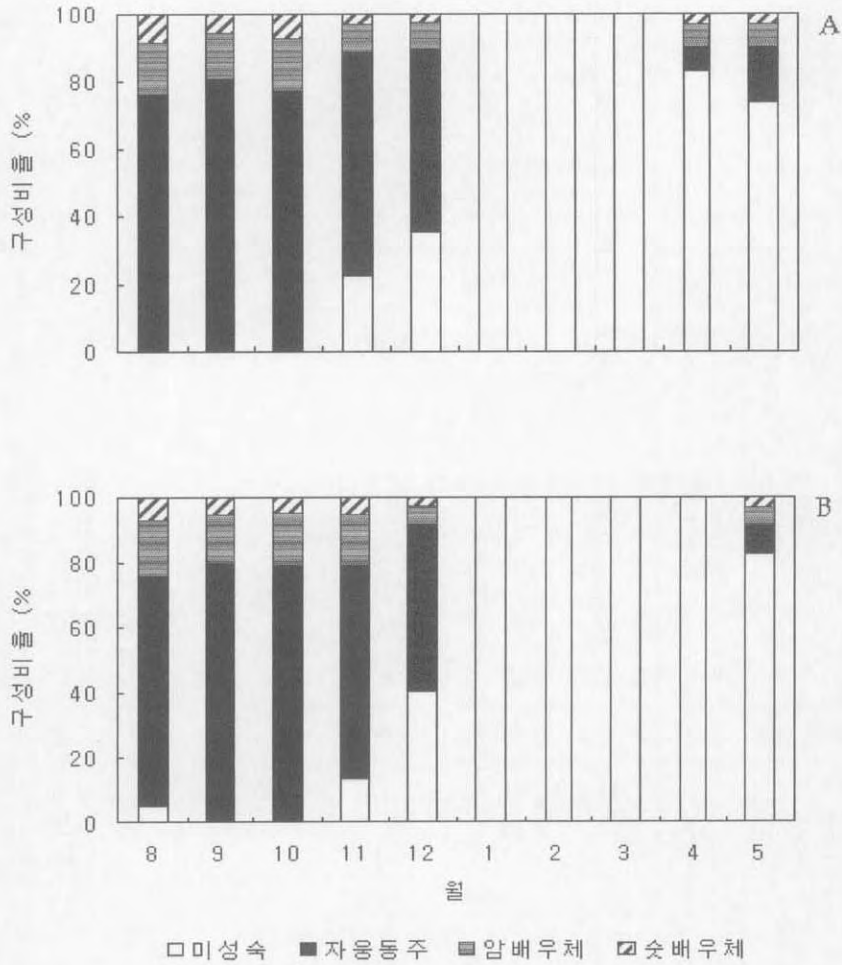


그림 6. 지역개체군별 성비 (A: 원동, B: 보길).

따라서 개체군별 성숙 비율 역시 내만형 지역인 원동 개체군의 성숙은 8월부터 9월까지 100%의 높은 비율을 보인 반면 외해형 지역인 보길도 개체군은 9월과 10월에 100%의 성숙율을 보여 원동 개체군에 비하여 최대 성숙율을 보인 기간이 1개월 정도 짧은 것으로 나타났다. 또한 원동 개체군의 성숙개체가 출현하지 않은 기간은 1월부터 3월까지 인데 반하여 보길도 개체군은 1월부터 4월까지로 미성숙 단계의 지속 기간이 1개월 정도 긴 것으로 나타났다.

표 5. 개체군의 성비

지역	년 월	미성숙체	자용·동주체	자용이주체		합계 (개체)	성숙 (%)
				암	수		
원 동	2004. 8	0	28(75.7%)	6(16.2%)	3(8.1%)	37	100
	9	0	29(80.6%)	5(13.9%)	2(5.5%)	36	100
	10	0	30(76.9%)	6(15.4%)	3(7.7%)	39	100
	11	8(22.2%)	24(66.7%)	3(8.3%)	1(2.8%)	36	77.8
	12	13(35.1%)	20(54.1%)	3(8.1%)	1(2.7%)	37	64.9
	2005. 1	35(100%)				35	0
	2	30(100%)				30	0
	3	38(100%)				38	0
	4	25(83.3%)	2(6.7%)	2(6.7%)	1(3.3%)	30	16.7
	5	23(74.2%)	5(16.1%)	2(6.5%)	1(3.2%)	31	25.9
보 길 도	2004. 8	2(4.9%)	29(70.7%)	7(17.1%)	3(7.3%)	41	95.1
	9	0	31(79.5%)	6(15.4%)	2(5.1%)	39	100
	10	0	33(78.6%)	7(16.7%)	2(4.7%)	42	100
	11	5(13.2%)	25(65.8%)	6(15.8%)	2(5.2%)	38	86.8
	12	15(40.5%)	19(51.4%)	2(5.4%)	1(2.7%)	37	59.5
	2005. 1	35(100%)				35	0
	2	30(100%)				30	0
	3	38(100%)				38	0
	4	37(100%)				37	0
	5	28(82.4%)	3(8.8%)	2(5.9%)	1(2.9%)	34	17.6

나. 청각 개체군의 생리적 특성

1) 광·온도에 따른 생장

원동과 보길도 지역 개체군별 청각 엽체의 조도 및 온도조건별 생장은 표 6 및 그림 7과 같다. 8주동안의 배양실험 후 원동 지역 개체군의 경우 10℃ 온도구간의 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 8.4 \pm 0.8g으로 최소치를 보였으며, 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

조건에서 $12.9 \pm 1.8\text{g}$ 및 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $21.3 \pm 3.4\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었다. 15°C 온도구간의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $18.1 \pm 3.5\text{g}$ 으로 최소치를 보였으며, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $22.1 \pm 4.8\text{g}$ 및 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $33.6 \pm 5.8\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었다. 20°C 온도구간의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서는 $13.7 \pm 2.4\text{g}$ 으로 최소치를 보였으며, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $35.7 \pm 5.5\text{g}$ 및 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $57.2 \pm 11.9\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었다. 25°C 온도구간의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서는 $6.8 \pm 0.9\text{g}$ 으로 최소치를 보였으며, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $16.7 \pm 2.5\text{g}$ 및 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $87.7 \pm 16.8\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었다.

보길도 지역 개체군의 경우 8주간의 배양실험결과 10°C 온도구간의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $8.5 \pm 0.9\text{g}$ 으로 최소치를 보였으며, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $13.2 \pm 3.5\text{g}$ 및 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $22.5 \pm 4.3\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었다. 15°C 온도구간의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $18.4 \pm 4.2\text{g}$ 으로 최소치를 보였으며, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $21.2 \pm 5.2\text{g}$ 및 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $31.7 \pm 6.2\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었다. 20°C 온도구간의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서는 $13.6 \pm 3.9\text{g}$ 으로 최소치를 보였으며, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $33.3 \pm 5.9\text{g}$ 및 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $55.3 \pm 10.4\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었다. 25°C 온도구간의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서는 $6.7 \pm 1.1\text{g}$ 으로 최소치를 보였으며, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $15.6 \pm 3.2\text{g}$ 및 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $84.2 \pm 15.1\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었다.

따라서 원동과 보길도 지역 개체군별 조도 및 온도 조건별 성장실험 결과는 고조도의 고온 조건일수록 엽중량의 증가가 높게 나타났으며, 이러한 경향은 지역개체군별로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

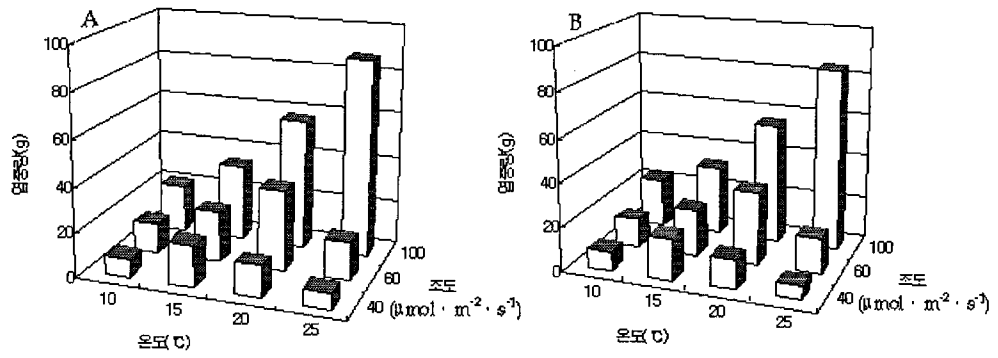


그림 7. 조도 및 온도조건별 지역개체군의 엽중량 변화 (A: 원동, B: 보길)

표 6. 광·온도에 따른 엽체의 생장 (습증량, g)

지역	배양일수 (주)	온도 (°C)	광도 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		
			40	60	100
원 동	0	10	3±0.3	3±0.3	3±0.3
		15	3±0.3	3±0.3	3±0.3
		20	3±0.3	3±0.3	3±0.3
		25	3±0.3	3±0.3	3±0.3
	2	10	3.5±0.5	3.7±0.5	4.4±0.4
		15	4.2±0.7	4.2±0.7	6.2±0.7
		20	4.1±0.6	5.8±0.7	6.9±0.8
		25	3.4±0.5	4.0±0.6	8.8±1.8
	4	10	4.4±0.6	5.1±0.8	7.2±0.5
		15	6.7±0.8	6.8±0.8	9.9±0.9
		20	5.7±0.8	11.6±1.9	16.7±3.6
		25	3.9±0.5	5.9±0.7	24.2±4.9
	6	10	5.9±0.8	7.8±0.9	12.3±1.4
		15	11.3±0.9	12.5±1.2	18.8±2.9
		20	9.1±0.8	20.3±4.7	32.4±5.6
		25	4.9±0.6	10.4±1.5	47.6±8.4
	8	10	8.4±0.8	12.9±1.8	21.3±3.4
		15	18.1±3.5	22.1±4.8	33.6±5.8
		20	13.7±2.4	35.7±5.5	57.2±11.9
		25	6.8±0.9	16.7±2.5	87.7±16.8
보 길 도	0	10	3±0.3	3±0.3	3±0.3
		15	3±0.3	3±0.3	3±0.3
		20	3±0.3	3±0.3	3±0.3
		25	3±0.3	3±0.3	3±0.3
	2	10	3.4±0.6	3.6±0.8	4.4±0.7
		15	4.3±0.6	4.1±0.8	6.1±1.1
		20	4.2±0.7	5.9±0.9	7.0±1.3
		25	3.3±0.7	4.1±0.8	9.0±2.1
	4	10	4.3±0.8	5.0±0.9	7.3±0.8
		15	6.6±0.7	6.9±0.9	10.2±2.1
		20	5.6±0.9	11.5±2.5	15.5±3.8
		25	4.0±0.6	6.0±0.9	23.6±5.1
	6	10	6.0±0.9	7.9±1.3	12.5±2.7
		15	11.2±1.3	12.7±1.9	16.9±4.2
		20	10.1±1.9	20.5±5.8	31.2±6.3
		25	5.1±0.8	10.2±2.1	45.6±7.9
	8	10	8.5±0.9	13.2±3.5	22.5±4.3
		15	18.4±4.2	21.2±5.2	31.7±6.2
		20	13.6±3.9	33.3±5.9	55.3±10.4
		25	6.7±1.1	15.6±3.2	84.2±15.1

2) 광질에 따른 성장

지역 개체군별 광질 조건에 따른 청각 엽체의 생장은 표 7 및 그림 8과 같다.

원동 지역 개체군의 경우 배양 8주후 백색광 조건하에서 $55.5 \pm 10.2\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었으며 청색광 조건하에서 $52.3 \pm 8.5\text{g}$ 및 적색광 조건하에서 $49.2 \pm 7.8\text{g}$ 의 순으로 나타났다. 보길도 지역 개체군의 경우 배양 8주후 백색광 조건하에서 $54.3 \pm 9.1\text{g}$ 으로 최고치를 나타내었으며 청색광 조건하에서 $51.7 \pm 9.3\text{g}$ 및 적색광 조건하에서 $46.8 \pm 8.1\text{g}$ 의 순으로 나타났다. 따라서 광질 조건에 따른 엽체의 생장은 백색광 → 청색광 → 적색광의 순으로 원동과 보길도 지역 개체군에서 동일한 양상을 나타내었다.

표 7. 광질에 따른 엽체의 성장 (습중량, g)

지 역	광 질	배양일수 (주)				
		0	2	4	6	8
원 동	백색광	3 ± 0.3	7.5 ± 1.4	14.7 ± 3.2	31.3 ± 5.7	55.5 ± 10.2
	청색광	3 ± 0.3	6.3 ± 1.1	12.6 ± 3.0	29.5 ± 4.9	52.3 ± 8.5
	적색광	3 ± 0.3	6.1 ± 0.8	11.5 ± 3.2	26.7 ± 4.6	49.2 ± 7.8
보길도	백색광	3 ± 0.3	6.9 ± 1.1	15.2 ± 4.5	33.1 ± 6.3	54.3 ± 9.1
	청색광	3 ± 0.3	6.5 ± 0.9	13.1 ± 3.4	31.0 ± 5.8	51.7 ± 9.3
	적색광	3 ± 0.3	6.2 ± 0.7	12.2 ± 3.8	27.6 ± 4.4	46.8 ± 8.1

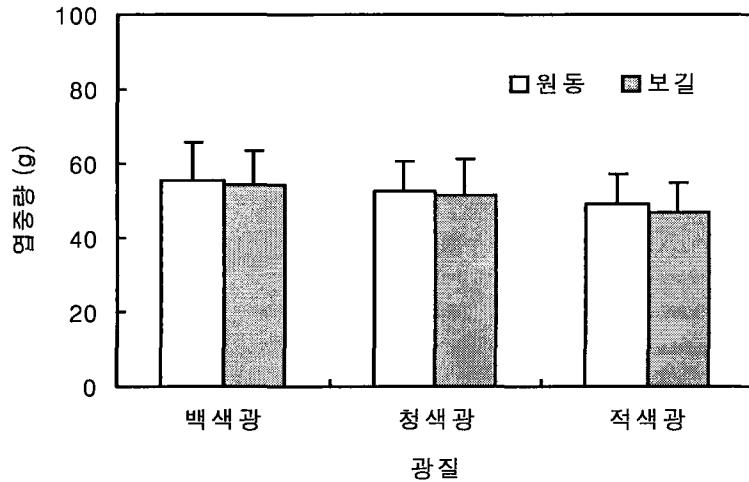


그림 8. 광질(파장)별 지역개체군의 염증량 변화.

3) 광 · 온도 · 광주기에 따른 배우자낭 형성 및 성숙

광주기, 온도 및 조도 조건별 배우자낭 형성율은 표 8 및 그림 9와 같다.

연속 광주기하의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20°C 조건에서 12.7%로 가장 높았으며 25°C 조건에서 4.6%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20°C 에서 $243 \pm 25\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25°C 조건에서 $79 \pm 8\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 20°C 조건에서 50% 이상의 성숙율을 나타내었으며, 15°C 조건에서 50% 이하의 성숙율을 보였고 10°C 와 25°C 조건에서는 배우자낭의 형태는 갖추었으나 내부에는 배우자가 차 있지 않은 미성숙체로 나타났다.

연속광주기하의 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20°C 조건에서 22.3%로 가장 높았으며 25°C 조건에서 4.8%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20°C 에서 $252 \pm 32\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25°C 조건에서 $92 \pm 14\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 20°C 조건에서 50% 이상의 성숙율을 나타내었으며, 15°C 조건에서 50% 이하의 성숙율을 보였고 10°C 와 25°C 조건에서는 배우자낭의 형태는 갖추었으나 내부에는 배우자가 차 있지 않은 미성숙체로

나타났다.

연속광주기하의 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20℃ 조건에서 25.4%로 가장 높았으며 25℃ 조건에서 5.7%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20℃에서 $255\pm 36\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25℃ 조건에서 $124\pm 16\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 15℃와 20℃ 조건에서 50% 이상의 성숙율을 나타내었으며, 10℃와 25℃ 조건에서 50% 이하의 성숙율을 나타내었다.

장일 광주기하의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20℃ 조건에서 8.9%로 가장 높았으며 25℃ 조건에서 2.9%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20℃에서 $202\pm 22\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25℃ 조건에서 $57\pm 6\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 15℃와 20℃ 조건에서 50% 미만의 성숙율을 나타내었으며, 10℃와 25℃ 조건에서는 배우자낭의 형태는 갖추었으나 내부에는 배우자가 가득 차 있지 않은 미성숙체로 나타났다.

장일 광주기하의 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20℃ 조건에서 18.4%로 가장 높았으며 25℃ 조건에서 3.7%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20℃에서 $235\pm 29\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25℃ 조건에서 $81\pm 16\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 20℃ 조건에서 50% 이상의 성숙율을 나타내었으며, 15℃ 조건에서 50% 이하의 성숙율을 보였고 10℃와 25℃ 조건에서는 배우자낭의 형태는 갖추었으나 내부에는 배우자가 가득 차 있지 않은 미성숙체로 나타났다.

장일 광주기하의 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20℃ 조건에서 20.8%로 가장 높았으며 25℃ 조건에서 4.2%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20℃에서 $255\pm 34\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25℃ 조건에서 $88\pm 15\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 15℃와 20℃ 조건에서 50% 이상의 성숙율을 나타내었으며, 10℃에서는 50% 이상의 성숙율을 보였고, 25℃ 조건에서는 배우자낭이 비어있는 미성숙체를 형성하였다.

단일 광주기하의 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20℃ 조건에서 4.4%로 가장 높았으며 25℃ 조건에서 1.8%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20℃에서 $95\pm 13\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25℃ 조건에서 $88\pm 15\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 모든 온도조건에서 미성숙체를

형성하였다.

단일 광주기하의 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20℃ 조건에서 7.8%로 가장 높았으며 25℃ 조건에서 2.2%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20℃에서 $150\pm 21\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25℃ 조건에서 $76\pm 18\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 20℃ 조건에서 50% 이하의 성숙율을 나타내었으며, 이외의 10℃와 15℃ 및 25℃ 조건에서는 배우자낭의 형태는 갖추었으나 내부에는 배우자가 가득 차 있지 않은 미성숙체로 나타났다.

단일 광주기하의 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배우자낭 형성율은 20℃ 조건에서 8.9%로 가장 높았으며 25℃ 조건에서 2.8%로 가장 낮았다. 또한 배우자낭의 길이는 20℃에서 $225\pm 38\mu\text{m}$ 로 최고치를 보였으며 25℃ 조건에서 $76\pm 14\mu\text{m}$ 로 최저치를 나타내었다. 배우자낭의 성숙도는 15℃와 20℃ 조건에서 50% 미만의 성숙율을 나타내었으며, 10℃와 25℃ 조건에서는 배우자낭이 비어있는 미성숙체를 형성하였다.

따라서 광주기 조건별 배우자낭의 형성은 동일 온도 및 조도 조건에서는 장일조건에서 가장 높았으며, 연속광주기 및 단일광주기의 순으로 나타났다. 각 광주기 조건하에서 배우자낭의 형성은 온도 20℃와 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 가장 높은 비율을 나타내었다.

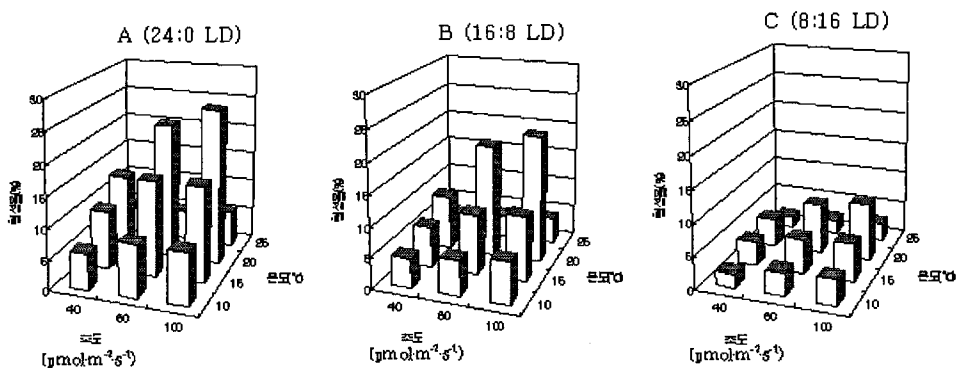


그림 9. 광주기, 온도 및 조도 조건별 배우자낭의 형성율 (배양 50일후).

표 8. 배양 50일후 광·온도·광주기에 따른 배우자낭의 형성 및 성숙
 (-, 미성숙; +, 성숙도 50% 미만; ++, 성숙도 50% 이상)

광주기 (L:D, h)	조도($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	온도 ($^{\circ}\text{C}$)	배우자낭 형성(%)	배우자낭의 크기		배우자낭의 성숙도
				길이 (μm)	폭 (μm)	
24 : 0	40	10	5.9	86±11	39±6	-
		15	9.6	210±21	102±14	+
		20	12.7	243±25	114±16	++
		25	4.6	79±8	32±6	-
	60	10	8.5	94±10	40±8	-
		15	15.6	225±23	112±15	+
		20	22.3	252±32	119±17	++
		25	4.8	92±14	45±9	-
	100	10	8.5	167±17	77±11	+
		15	15.7	254±33	111±14	++
		20	25.4	255±36	115±23	++
		25	5.7	124±16	62±9	+
16 : 8	40	10	4.8	68±7	32±5	-
		15	6.7	166±18	81±9	+
		20	8.9	202±22	98±15	+
		25	2.9	57±6	28±5	-
	60	10	5.7	86±9	41±7	-
		15	9.8	210±21	105±17	+
		20	18.4	235±29	109±18	++
		25	3.7	81±16	40±8	-
	100	10	6.7	158±19	71±12	+
		15	10.5	250±31	110±19	++
		20	20.8	255±34	112±26	++
		25	4.2	88±15	40±7	-
8 : 16	40	10	2.1	50±5	24±3	-
		15	3.8	60±9	29±5	-
		20	4.4	95±13	38±7	-
		25	1.8	43±3	20±4	-
	60	10	3.6	63±7	31±8	-
		15	5.3	86±16	42±9	-
		20	7.8	150±21	65±11	+
		25	2.2	76±18	34±6	-
	100	10	3.9	83±17	42±8	-
		15	5.8	148±25	71±17	+
		20	8.9	225±38	101±21	+
		25	2.8	76±14	32±8	-

4) 광·온도에 따른 형태형성

조도 및 온도조건별 청각 엽체의 형태형성은 표 9 및 그림 10와 같다.

$10\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조도구간의 모든 온도 구간에서는 배양 70일 까지 직립엽체로의 형태형성이 이루어지지 않아 수사로만 성장하였다.

$20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조도구간의 10°C 와 15°C 구간에서는 배양 70일후 직립엽체로의 형태형성이 이루어졌으며, 20°C 와 25°C 구간에서는 배양 60일후 직립엽체로 형태형성이 이루어졌다.

$60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조도구간의 10°C 와 15°C 구간에서는 배양 60일후 직립엽체로의 형태형성이 이루어졌으며, 20°C 와 25°C 구간에서는 배양 50일후 직립엽체로 형태형성이 이루어졌으며, 배양 70일후 1차 분지가 형성되었다.

$100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조도구간의 10°C 구간에서는 배양 50일후 직립엽체로의 형태형성이 이루어졌으며 배양 70일후 1차 분지가 형성되었다. 15°C , 20°C 및 25°C 구간에서는 배양 40일후 직립엽체로 형태형성이 이루어졌으며, 배양 60일후 분지가 형성되었다.

따라서 조도와 온도조건별 청각 수사로부터 직립엽체로의 형태형성은 조도 $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상의 조건만 충족이 되면 온도조건에 상관없이 일어날 수 있는 것으로 나타났으며, 온도조건은 형태형성에 영향을 미치기 보다는 발달의 속도 또는 생장의 속도를 조절하는 요인으로 작용하는 것으로 보인다.

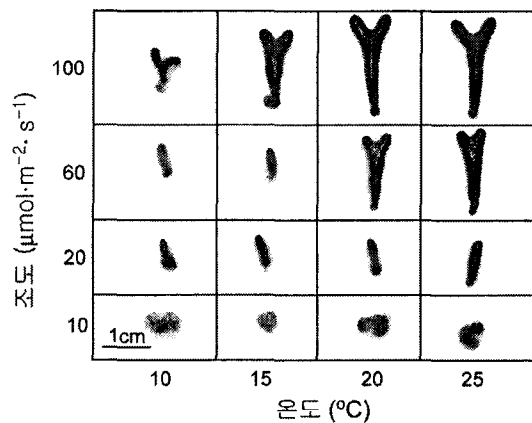


그림 10. 조도 및 온도조건별 청각 엽체의 형태형성(배양 70일후).

표 9. 광·온도에 따른 형태형성 (-, 수사; +, 직립지; ++, 분지)

조 도 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	온 도 ($^{\circ}\text{C}$)	배 양 일 수							
		0	10	20	30	40	50	60	70
10	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-
20	10	-	-	-	-	-	-	-	+
	15	-	-	-	-	-	-	-	+
	20	-	-	-	-	-	-	+	+
	25	-	-	-	-	-	-	+	+
60	10	-	-	-	-	-	-	+	+
	15	-	-	-	-	-	-	+	+
	20	-	-	-	-	-	+	+	++
	25	-	-	-	-	-	+	+	++
100	10	-	-	-	-	-	+	+	++
	15	-	-	-	-	+	+	++	++
	20	-	-	-	-	+	+	++	++
	25	-	-	-	-	+	+	++	++

5) 물리적 유동에 따른 형태형성

물리적 유동 조건별 청각 엽체의 형태형성은 표 10 및 그림 11과 같다. 통기량 100 mL/min 조건에서는 배양 70일동안 수사로서만 성장하였고 직립엽체로의 형태형성은 일어나지 않았다. 통기량 200 mL/min 조건에서는 배양 60일후 직립엽체의 형성이 관찰되었으며, 통기량 300 mL/min 조건에서는 배양 50일후 직립엽체의 형성이 관찰되었고 70일후 1차 분지를 형성하였다. 통기량 400 mL/min 조건에서는 배양 40일후 직립엽체의 형성이 관찰되었으며 배양 60일후 1차 분지를 형성하였다.

따라서 물리적 유동 조건별 청각의 형태형성은 통기량 200 mL/min 이상의 조건에서만 일어나며 이보다 물리적 유동이 적은 조건에서는 수사로서만 성장하는 것으로 나타났다. 또한 통기량이 많아질수록 직립 엽체로의 형태형성에 소요되는 시간이 짧아지는 경향을 나타내었다.

표 10. 물리적 유동에 따른 형태형성 (-, 수사; +, 직립지; ++, 분지)

통기량 (mL/min)	배 양 일 수							
	0	10	20	30	40	50	60	70
100	-	-	-	-	-	-	-	-
200	-	-	-	-	-	-	+	+
300	-	-	-	-	-	+	+	++
400	-	-	-	-	+	+	++	++

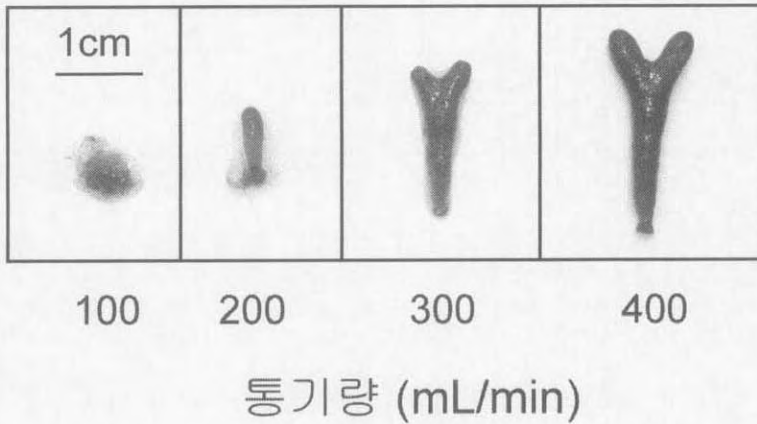


그림 11. 물리적 유동에 따른 청각의 형태형성 (배양 70일후).

6) 광질에 따른 형태형성

광질에 따른 청각 엽체의 형태형성은 표 11 및 그림 12와 같다.

백색광 조건하에서 청각 수사는 배양 40일후 직립엽체를 형성하였으며, 배양 60일후 1차 분지를 형성하였다. 청색광 조건하에서는 배양 50일후 직립엽체가 형성되어 형태형성이 일어났으며, 배양 70일후 1차 분지를 형성하였다. 적색광 조건하에서는 배양 60일후 직립엽체로의 형태형성이 일어나기 시작하였으나 배양 70일까지 분지의 형성은 관찰되지 않았다.

따라서 광질 조건에 따른 청각의 형태형성은 백색광 조건하에서 가장 형태형성이 빠르게 일어났으며, 청색광 및 적색광의 순으로 나타났다.

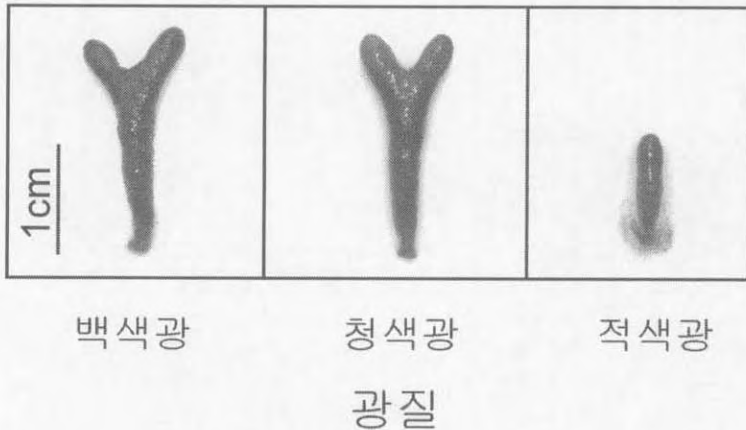


그림 12. 광질에 따른 청각의 형태형성 (배양 70일후).

표 11. 광질에 따른 형태형성 (-, 수사; +, 직립지; ++, 분지)

광 질	배 양 일 수							
	0	10	20	30	40	50	60	70
백색광	-	-	-	-	+	+	++	++
청색광	-	-	-	-	-	+	+	++
적색광	-	-	-	-	-	-	+	+

2. 청각의 생식방법별 배양환경 연구

가. 유성생식을 이용한 배우자 방출 및 접합자 배양

1) 배우자 방출량의 정량화

청각엽체(그림 13A)는 각각의 포낭에 암배우자낭 또는 숫배우자낭을 가지며(그림 13B, C), 암배우자낭으로부터 배우자의 방출(그림 13D)은 방출공 선단으로부터 1열로 열을 지어 일어난다. 방출된 암수 배우자(그림 13E)는 방출 즉시 접합하여 접합자로 되며(그림 13E), 구형의 두터운 막을 형성하고 불규칙하게 발아관을 내어 수사로 성장하게 된다(그림 13F-I). 암배우자낭 1개당 방출되는 암배우자의 수는 평균 106.2 ± 25.5 였으며, 방출직후 암배우자의 길이는 평균 $10 \mu\text{m}$ 였다.

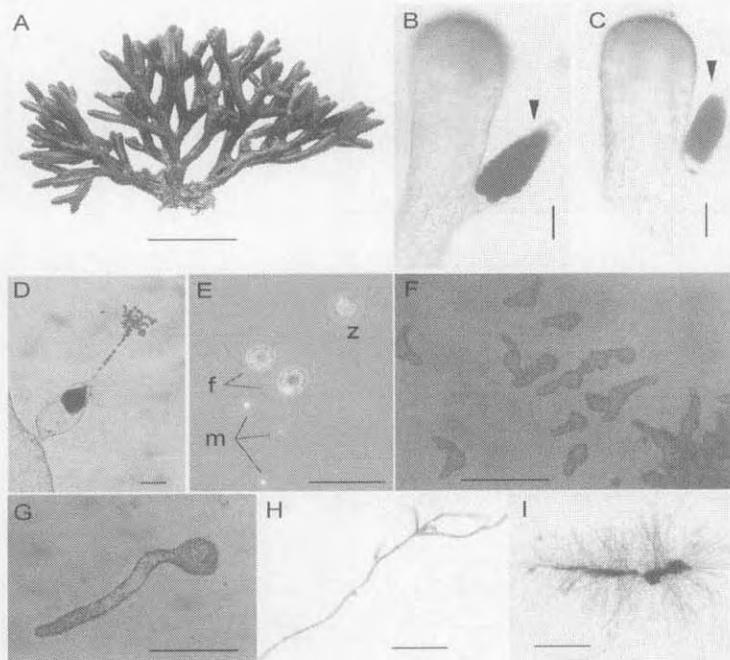


그림 13. 청각의 유성생식. A: 성숙 엽체. B: 암배우자낭(화살표머리)을 가진 포낭. C: 숫배우자낭(화살표머리)을 가진 포낭. D: 배우자낭으로부터 배우자의 방출. E: 암배우자(f), 숫배우자(m) 및 접합자(z). F: 배양 2일후 발아체. G: 배양 7일후 발아체. H: 배양 12일후 수사로 성장됨. I: 배양 30일 후 수사로부터 직립지의 형성. 배양조건 15°C , $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 및 16:8 LD. Scale bars are 10cm(A), $100 \mu\text{m}$ (B, C), $50 \mu\text{m}$ (D, E), $500 \mu\text{m}$ (F-H) and 1cm(I).

2) 조도조건별 접합자의 배양

접합자의 조도조건별 생장은 표 12와 같이 배양 3일후 $10\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 저조도 구간에서 길이생장이 $61.3 \pm 4.2\mu\text{m}$ 로 가장 우세하였으나, 배양 7일후부터는 $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서 길이생장이 가장 높게 나타났다. 조도 $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상의 조도조건에서 배양된 접합자는 배양 8일후부터서 거의 대부분이 색소를 잃고 고사하였다.

표 12. 조도조건별 청각 접합자의 성장. 배양조건 15°C , 16:8 LD
(3반복 실험구의 평균 \pm SD, μm)

배양일수	조도 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)				
	10	20	40	60	100
0	20	20	20	20	20
1	29.8 ± 1.5	32.7 ± 2.8	31.3 ± 1.6	32.7 ± 1.9	30.8 ± 3.5
3	61.3 ± 4.2	33.5 ± 2.3	31.3 ± 0.6	30.5 ± 0.5	30.0 ± 2.0
7	89.0 ± 6.2	151.8 ± 22.8	70.0 ± 0.5	77.5 ± 9.6	40.0 ± 27.1
13	162.7 ± 18.1	261.3 ± 21.0	¹	-	-

¹고사함.

3) 온도조건별 접합자의 배양

접합자의 온도조건별 생장은 표 13과 같이 배양 3일후 20°C 온도구간에서 $36.3 \pm 0.8\mu\text{m}$ 의 최대 길이생장을 나타내었으나, 배양 4일 이후 20°C 이상의 온도 조건에서는 배우자가 더 이상 성장하지 않았을 뿐 아니라 색소를 잃고 고사하였다. 배양 7일 후에는 15°C 온도조건에서 $209.6 \pm 22.7\mu\text{m}$ 의 최대 길이생장을 나타내었다.

표 13. 온도조건별 청각 접합자의 성장. 배양조건 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 및 16:8 LD
(3반복 실험구의 평균 \pm SD, μm)

배양일수	온도 ($^{\circ}\text{C}$)			
	10	15	20	25
0	20	20	20	20
1	28.8 \pm 0.3	29.3 \pm 1.2	32.2 \pm 1.6	28.3 \pm 0.6
3	27.7 \pm 1.2	35.5 \pm 2.6	36.3 \pm 0.8	27.7 \pm 0.6
7	87.7 \pm 15.0	209.6 \pm 22.7	- ¹	-

¹고사함.

나. 무성생식을 이용한 분리수사에 의한 재생

1) 청각 1g중량당 포낭의 수 정량화

청각은 포낭과 수사로 구분되어 있으나, 격막이 없어 원형질이 몸 전체로 연결되어 있다. 따라서 일부분의 포낭이나 수사가 절단되면 즉시 원형질 유출을 막기 위하여 절단부위의 세포막이 재생된다. 청각 1g의 습중량은 표 14와 같이 평균 $4,010.0 \pm 268.5$ 개의 포낭으로 구성되는 것으로 조사되었다.

표 14. 청각의 습중량당 포낭의 수

청각의 습중량 (g)	N	D (cells/ml)	비 고
1.44 \pm 0.27	4.01 \pm 0.27	4,010.0 \pm 268.5	4,015.4768

2) 호모게나이저의 회전속도별 분리수사의 재생

호모게나이저의 회전속도에 따른 청각 수사의 절단 길이는 표 15와 같이 회전속도가 증가함에 따라 수사의 절단길이가 점차 짧아졌으며, 배양 5일후 재생된 포낭의 수는 분당 회전수 8,000 rpm의 실험구에서 2.1 ± 0.7 개로 가장

많았으며, 20,500 rpm 이상의 고회전 실험구에서는 포낭의 재생이 관찰되지 않았다. 호모게나이저의 회전수를 13,500 rpm 이하로 하여 분리한 수사의 평균 길이는 약 550 μ m 이상으로 새로운 포낭을 형성한 반면 그 이상의 회전수에서 분리된 수사에서는 포낭의 재생이 관찰되지 않았다. 분리된 수사는 절단 부위에 새로운 격막이 형성되기 전까지는 절단 즉시 원형질의 유출이 일어나는데 분리된 수사의 길이가 짧으면 짧을수록 원형질의 손실이 많아져 새로운 포낭을 형성할 수 없기 때문인 것으로 보인다.

표 15. 호모게나이저의 회전속도별 청각 분리수사의 재생
(3반복실험구의 평균 \pm SD)

항 목	회전속도 (min^{-1})				
	8,000	9,500	13,500	20,500	24,000
포낭의 길이 (μm)	792.0 \pm 55.4	631.7 \pm 70.3	663.3 \pm 94.6	652.0 \pm 138.8	643.3 \pm 213.6
분리수사의 길이 (μm)	874.0 \pm 204.4	840.0 \pm 456.1	551.7 \pm 297.1	530.0 \pm 292.4	466.7 \pm 305.5
재생된 포낭의 수 (ea)	2.1 \pm 0.7	1.9 \pm 0.6	1.0 \pm 0.4	¹	-

¹재생되지 않음.

3) 온도조건별 분리수사의 생장 및 재생

청각 분리수사의 온도조건별 생장은 표 16과 같이 온도조건별로 차이를 보여 배양 10일 후 청각 분리수사의 길이생장은 15 $^{\circ}$ C의 온도조건에서 3.1 \pm 2.2mm로 가장 높았으며, 포낭의 재생은 20 $^{\circ}$ C 온도조건에서 4.7 \pm 0.6개로 가장 많았다.

표 16. 배양 10일후 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 와 16:8 LD 조건하에서 온도조건별 분리수사의 성장 및 재생(3반복실험구의 평균 \pm SD)

항 목	온 도 ($^{\circ}\text{C}$)			
	10	15	20	25
수사의 길이 (mm)	2.7 \pm 1.4	3.1 \pm 2.2	2.9 \pm 1.5	2.6 \pm 2.1
재생된 포낭의 수(ea)	0.7 \pm 1.9	3.7 \pm 1.1	4.7 \pm 0.6	3.0 \pm 1.4

4) 조도조건별 분리수사의 성장 및 재생

청각 분리수사의 조도조건별 길이생장은 표 17과 같이 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서 3.7 \pm 3.0mm로 가장 높았으며, 포낭의 재생은 $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서 6.5 \pm 1.4개로 가장 많았다.

표 17. 배양 10일후 20°C 와 16:8 LD 조건하에서 청각 분리수사의 성장 및 재생(3반복 실험구의 평균 \pm SD)

항 목	조도 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			
	20	40	60	100
수사의 길이 (mm)	2.4 \pm 1.6	2.9 \pm 1.3	3.7 \pm 3.0	3.6 \pm 1.6
재생된 포낭의 수 (ea)	1.4 \pm 0.9	2.1 \pm 0.7	5.9 \pm 1.8	6.5 \pm 1.4

3. 청각의 양식학적 연구

가. 인공채묘

1) 접합자 및 분리수사의 인공채묘

청각 접합자는 발아관을 형성하여 수사로 자라며 분리수사의 재생과정에서 나타나는 수사와 동일한 형태로 성장하였다. 다만 접합자의 채묘(그림 14)에 의하여 성장한 수사 보다는 분리수사의 채묘(그림 15)를 통한 수사의 생장이 보다 빠른 것으로 나타났다. 채묘틀은 실내 수조배양(그림 16)기간 동안에 종사에 부착된 수사는 채묘틀의 종사와 종사 사이로 투명한 실모양을 형성함으로써(그림 17) 수사의 부착을 육안적으로 확인할 수 있다.

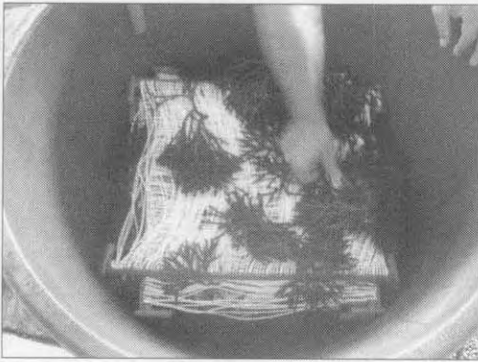


그림 14. 청각 접합자의 채묘 준비.



그림 15. 분리수사의 채묘.



그림 16. 수조배양중 청각 채묘틀.



그림 17. 실모양으로 성장한 수사.

2) 채묘방법별 생장 및 채묘효과

가) 유성생식에 의한 접합자 생장 및 채묘효과

유성생식에 의한 접합자는 부착직후 직경이 약 20 μm 인 구형이며(그림 18A), 배양 2일후 발아관을 형성하여 수사로 자라게 된다(그림 18B). 수사의 생장은 기질의 굴곡을 따라 포복성으로 이루어지므로 길이생장의 측정이 매우 어렵다. 따라서 청각 접합자의 채묘효과 측정은 가이식 실시 이후 30일 경과시점에서 측정하는 것이 용이하다. 가이식 실시 30일 후의 접합자의 생장 및 채묘효과는 표 18과 같이 1cm당 수사로 자란 접합자의 수는 1.67 ± 0.58 개였으며 이때 수사의 길이는 $0.22 \pm 0.07\text{mm}$ 였다.

표 18. 채묘방법별 청각의 생장 및 채묘효과*

실험 경과 일수	유성생식 (접합자 채묘)			무성생식 (분리 수사 채묘)		
	수사수 (개/cm)	수사길이 (mm)	중량 (g/10cm)	수사수 (개/cm)	수사길이 (mm)	중량 (g/10cm)
2005.10. 1. (가이식 시작일)	-	-	-	-	-	-
30	1.67 ± 0.58	0.22 ± 0.07	0.28 ± 0.01	15.33 ± 5.51	1.36 ± 0.25	0.35 ± 0.01

* 종사의 기질 중량을 제외한 10cm 종사 내 부착된 청각만의 중량.

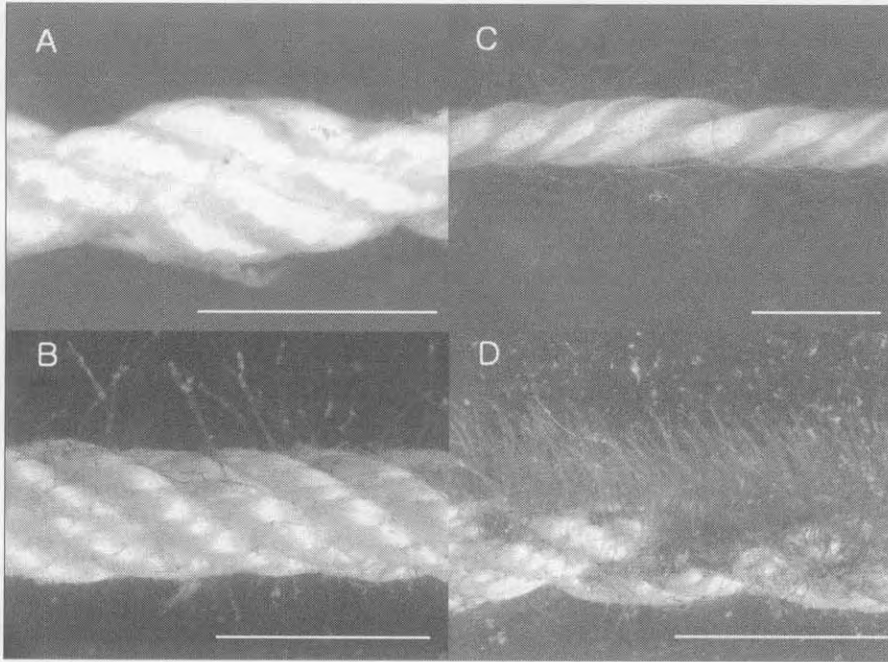


그림 18. 청각의 유성생식(접합자 채묘)과 무성생식(분리수사 채묘)에 의한 채묘 효과. A: 접합자가 채묘된 종사. B: 가이식 1개월후 접합자 채묘효과. C: 분리수사 및 포낭이 채묘된 종사. D: 가이식 1개월후 분리수사 채묘효과. Scale bar 5 mm.

나) 무성생식에 의한 수사의 성장 및 채묘효과

분리수사액을 이용해 채묘된 종사는 그림 18C, D와 같이 채묘 직후 포낭은 실내수조 배양 기간중 대부분 탈락하며 수사로 기질의 굴곡면을 포복하며 성장하였다. 가이식 30일 경과후 분리수사의 수는 종사 1cm 당 15.33 ± 5.51 개였으며, 수사의 길이는 1.36 ± 0.25 mm 그리고 종사 10cm 당 중량은 0.35 ± 0.01 g으로 나타났다. 따라서 수사의 발달정도로 비교한 청각의 채묘효과는 무성생식을 이용한 경우 유성생식 보다 15배 이상의 채묘 효율을 나타내었다.

다) 채묘틀의 건조시간별 분리수사의 채묘효과

건조시간별 분리수사의 채묘효과는 표 19와 같이 종사 1cm 당 수사의 수가 2시간 건조실험구에서 88.7 ± 15.5 개로 가장 높았으며, 수사의 길이생장과 종사

10cm의 증량에서도 2시간 실험구가 가장 높았다. 반면 0시간 건조 실험구에서는 수사의 수가 종사 1cm 당 63.3 ± 17.9 개로 수사의 발달이 가장 저조한 것으로 나타났다.

표 19. 건조시간별 분리수사의 성장과 채묘효과(가이식 30일 경과후 측정)

실험 경과 일수	측정항목	건조시간 (h)				
		0	0.5	1	2	3
30	수사의 수(개/cm)	63.3 ± 17.9	65.0 ± 16.5	75.0 ± 19.9	88.7 ± 15.5	64.7 ± 10.4
	수사길이(mm)	2.1 ± 0.2	2.2 ± 0.4	2.6 ± 0.4	2.6 ± 0.5	1.9 ± 0.3
	증량(g/10cm)	0.34 ± 0.02	0.35 ± 0.03	0.36 ± 0.03	0.38 ± 0.04	0.33 ± 0.02

3) 채묘기질별 분리수사의 성장 및 채묘효과

채묘기질별 분리수사의 성장도는 표 20와 같이 수사의 수는 크레모나 18합사, 36합사 및 팜사의 순으로 증가하는 경향을 보였으며, 수사의 길이는 1.30~1.33mm로 유의한 차이를 보이지 않았다. 종사 10cm 증량은 팜사에서 가장 많은 1.24 ± 0.07 g이었으며, 크레모나 18합사에서 가장 작은 0.16 ± 0.01 g으로 나타났다.

표 20. 채묘기질별 분리수사의 성장과 채묘효과

실험경과 일수	측정항목	채 묘 기 질		
		18 합사	36 합사	팜사
30	수사의 수 개/cm)	32.3 ± 21.6	49.2 ± 12.5	52.1 ± 15.2
	수사길이 (mm)	1.33 ± 0.25	1.32 ± 0.01	1.30 ± 0.02
	증량 (g/10cm)	0.16 ± 0.01	0.35 ± 0.01	1.24 ± 0.07

4) 접합자와 분리수사의 채묘효율 비교

청각의 접합자와 분리수사의 채묘효과는 표 21의 결과와 같다. 접합자 채묘의 경우 배우자낭을 형성하는 시기 가운데 성숙이 최고조에 달하는 7-8월로 채묘시기가 한정되며, 모조의 소요량은 채묘를 100m 당 500g의 비율로 종사 단위m당 5g(습중량)이 소요되는 것으로 나타났다. 반면 무성생식을 이용한 분리수사의 채묘는 엽체만 있으면 연중 어느 시기에든 채묘를 할 수 있으며, 모조 소요량은 채묘를 100m 당 200g의 비율로 종사 단위m당 2g(습중량)이 소요되는 것으로 나타났다. 채묘된 접합자의 배양시 수온범위는 10-15℃였으나, 분리수사의 배양시 수온범위는 10-25℃로 접합자보다 수온 적응 범위가 넓은 것으로 나타났다. 또한 배양 조도구간 역시 접합자의 경우 10-20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 였는데 반하여 분리수사의 경우 20-100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로, 분리수사의 조도 적응 범위가 접합자 보다 매우 넓은 것으로 나타났다. 따라서 청각의 대량 인공채묘를 위한 효율적인 채묘 방법은 유성생식을 통한 접합자 보다는 무성생식을 통한 분리수사를 채묘하는 것이 채묘의 안정성과 경제성 그리고 편리성 면에서 매우 효율적인 것으로 나타났다.

표 21. 청각 접합자와 분리수사의 채묘효과 비교

구 분	유성생식 (접합자)	무성생식 (분리수사)
채묘시기	7-8월	연중
모조 소요량 (g-wet wt./m)	5	2
온도범위 (℃)	10-15	10-25
조도범위 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	10-20	20-100
채묘의 안정성	낮음	높음

5) 채묘후 실내배양일수에 따른 가이식 효과 분석

실험기간중 실내배양수조의 수온 변화는 그림 19와 같이 8월에 최고 24.8℃의 수온을 나타내었으며 이후 점차 감소하기 시작하여 12월에 최저 수온인 9.6℃를 보였다.

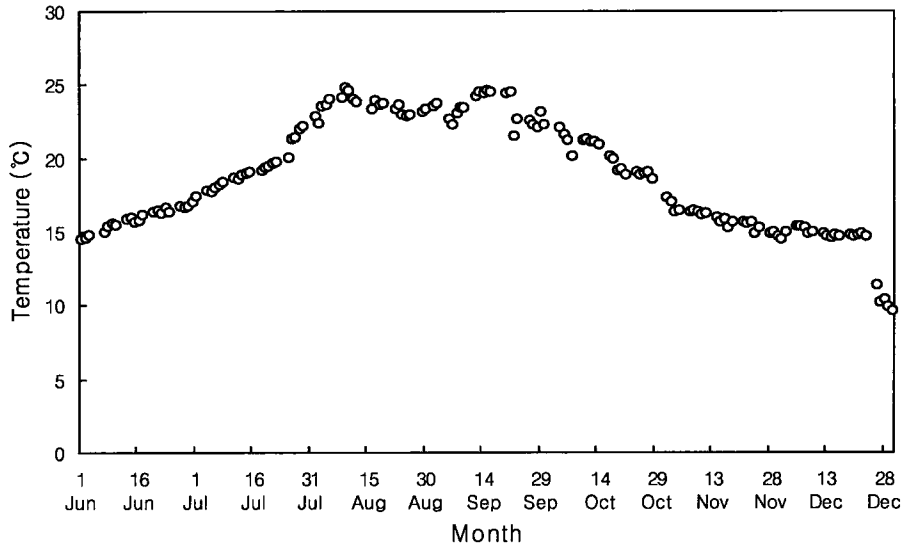


그림 19. 실내 배양 수조내 수온변화.

분리수사의 채묘 후 수조 배양일수에 따른 가이식 효과는 표 22와 같이 실내배양일수가 210일인 6월 채묘 실험구의 경우 가이식 기간 3개월 경과후에도 수사로만 성장하였으며 직립엽체가 형성되지 않았으나, 실내배양일수가 60-180일인 7, 8, 9, 10월 및 11월 채묘 실험구에서는 가이식 60일 경과후 직립엽체가 형성되기 시작하였다. 반면 실내배양일수 30일인 12월 채묘 실험구에서는 가이식 3개월후 직립엽체가 형성되기 시작하였다. 따라서 분리수사의 채묘시점은 6월부터 12월까지 실험구간 모두 가능한 것으로 나타났으나 보다 빠른 직립엽체의 생장을 유도하기 위해서는 7월부터 11월까지 채묘를 완료하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 또한 분리수사는 종사의 굴곡면으로 잠입하여 자라는 특성 때문에 채묘들의 실내배양일수 경과에 따른 수사의 탈락은 심하지 않은 것으로 보이며 6월채묘 실험구의 경우 3개월의 가이식 기간동안에도 직립엽체가 발달되지 않고 수사로만 자라는 것은 채묘 당시 타 실험구에 비하여 분리수사액의 밀도에 차이가 있었기 때문으로 보인다.

이러한 결과는 청각의 분리수사 채묘들의 장기 수조보관이 가능함을 시사하며, 이를 이용하여 청각의 채묘들을 필요한 시기까지 육상의 수조에서 보관한 후

양식이 필요한 시점에 꺼내어 수시로 사용할 수 있으므로 양식 시설물의 유실 등에 대비할 수 있는 장점이 있다.

표 22. 수조배양일수에 따른 가이식 효과

실내배양일수 (채묘시기)	측정항목	가이식 기간 (2006년 1월-4월)			
		2006. 1	2	3	4
210 (6월채묘)	중량 (g)	0.001±0.02	0.036±0.004	0.116±0.02	0.116±0.05
	수사수 (개)	-	-	9.67±5.69	9.0±7.55
	수사길이 (mm)	-	-	0.38±0.29	1.42±0.71
	직립지수 (개)	-	-	-	-
	직립지길이 (mm)	-	-	-	-
180 (7월채묘)	중량 (g)	0.116±0.04	0.096±0.01	0.216±0.07	0.966±0.84
	수사수 (개)	-	19±19.7	91±66.51	21
	수사길이 (mm)	-	0.85±0.02	1.98±1.13	0.63
	직립지수 (개)	-	-	0.65±1.51	60.0±5.66
	직립지길이 (mm)	-	-	1.05±0.55	7.79±1.12
150 (8월채묘)	중량 (g)	0.046±0.01	0.116±0.02	0.236±0.07	1.506±0.98
	수사수 (개)	-	29.67±17.47	130.33±48.42	-
	수사길이 (mm)	-	0.78±0.1	2.81±0.81	-
	직립지수 (개)	-	-	2.11±1.54	57.67±28.45
	직립지길이 (mm)	-	-	0.82±0.65	8.13±3.24
120 (9월채묘)	중량 (g)	0.006±0.01	0.056±0.01	0.096±0.03	0.176±0.07
	수사수 (개)	-	28.67±5.03	123±15.87	-
	수사길이 (mm)	-	0.33±0.08	1.5±0.09	-
	직립지수 (개)	-	-	0.67±7.02	37.45±15.64
	직립지길이 (mm)	-	-	2.09±0.68	5.10±3.21
90 (10월채묘)	중량 (g)	0.046±0.01	0.056±0.01	0.176±0.02	1.286±0.20
	수사수 (개)	-	23.33±9.07	123.33±37.42	-
	수사길이 (mm)	-	0.52±0.07	2.33±0.51	-
	직립지수 (개)	-	-	0.05±0.12	52.0±6.56
	직립지길이 (mm)	-	-	0.85±0.20	7.17±1.09
60 (11월채묘)	중량 (g)	0.016±0.01	0.046±0.01	0.126±0.01	0.256±0.05
	수사수 (개)	-	3.67±1.53	28.33±6.03	-
	수사길이 (mm)	-	0.4±0.06	1.26±0.37	-
	직립지수 (개)	-	-	0.03±0.12	8.33±0.58
	직립지길이 (mm)	-	-	0.51±0.31	1.94±0.5
(30) 12월채묘	중량 (g)	0.026±0.01	0.056±0.01	0.144±0.07	0.126±0.01
	수사수 (개)	-	5.33±3.51	15.33±6.66	-
	수사길이 (mm)	-	0.35±0.14	1.30±0.86	-
	직립지수 (개)	-	-	-	4.0±1.0
	직립지길이 (mm)	-	-	-	1.94±1.01

6) 적정 가이식장 조건 파악

가) 가이식장의 환경변화

어장별 환경 조사는 전남 완도군 완도읍의 정도리 어장과 완도군 보길면의 백도리 어장에서 수행하였으며(그림 20), 각 어장의 월별 수온, DO, 염분도, 유속, pH, 전기전도도, 수중광량, 영양염 등의 변화를 측정하였으며 이와 함께 청각의 성장도를 측정하였다.

어장별 수온변화는 그림 21A와 같이 정도리의 경우 2004년 11월 14.9℃에서 점차 감소하기 시작하여 2005년 3월에 최저치인 8.7℃를 나타내었으며 이후 점차 증가하기 시작하여 8월 23.4℃로 최고치를 보였다. 보길도의 경우 2004년 11월에 17.3℃를 나타내었으며 이후 점차 감소하기 시작하여 2005년 3월에 9.1℃의 최저치를 나타내었으며, 이후 점차 증가하기 시작하여 8월에 최고치인 19.5℃를 보였다.

염분변화는 그림 21B와 같이 정도리 어장에서는 2004년 12월에 최고치인 33.6 ppt를 나타내었으며 이후 점차 감소하여 3월에 최저치인 30.4 ppt를 보였다. 반면 보길도 어장에서는 2004년 12월에 가장 낮은 31.5 ppt를 보인 이후 점차 염분도가 증가하기 시작하여 2005년 2월에 34.6 ppt를 나타내었으며 이후 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

용존산소(그림 21C) 및 전기전도도(그림 21D)는 정도리와 보길도 어장에서 유의한 차이를 보이지 않았으며 유사한 변동 패턴을 나타내었다. 가이식장별 유속, pH, 수중광량, 영양염의 월별 변화는 표 23와 같다. 청각의 가이식장에서 조사기간 동안 유속은 0.79-2.46 m/sec, pH는 7.81-8.06, 가이식이 이루어진 수심 50cm의 수중광량은 $948-1,109 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 인산염의 농도는 0.512-0.784 $\mu\text{g-at/l}$, 총질소의 농도는 6.443-9.522 $\mu\text{g-at/l}$ 의 범위였고, 이들 환경조건에서 청각의 가이식은 매우 정상적으로 이루어졌다.

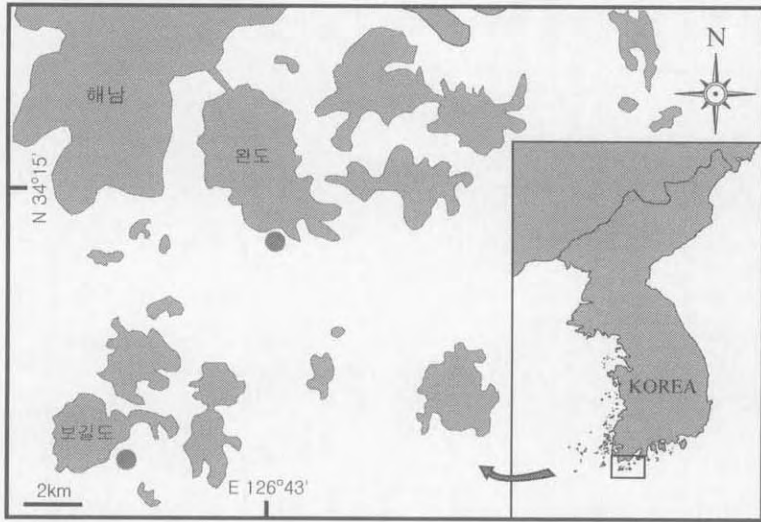


그림 20 . 청각 가이식 시험 어장.

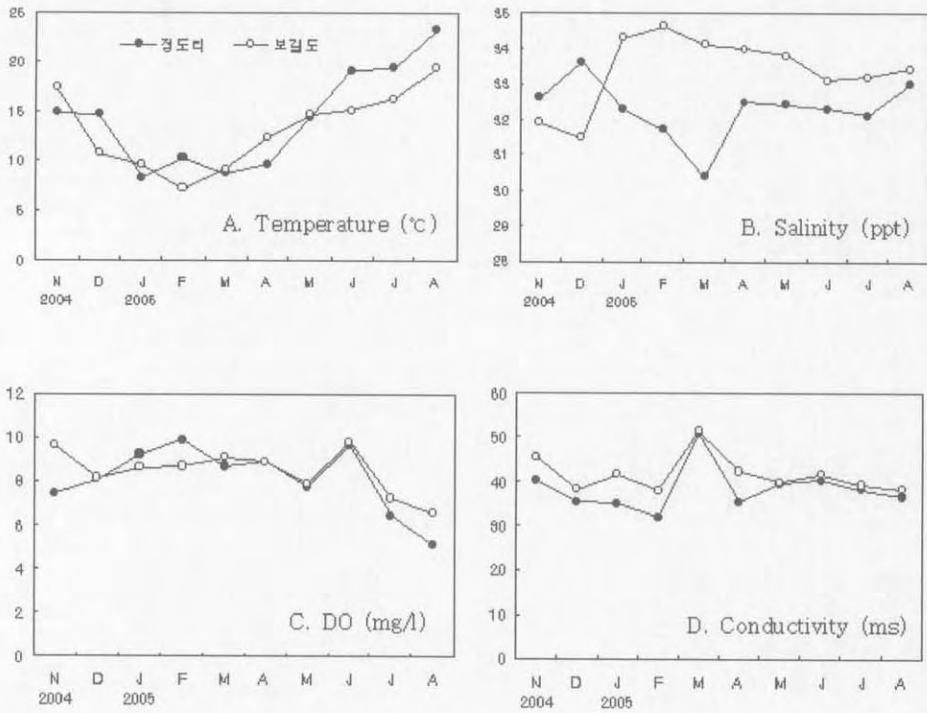


그림 21. 가이식 기간중 실험어장의 환경변화.

표 23. 가이식장별 유속, pH, 수중광량, 영양염의 월별 변화

월	완도 정도리				보길도			
	유속 (m/sec)	pH	수중광량 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	영양염($\mu\text{g-at/l}$) (인산염) (총질소)	유속 (m/sec)	pH	수중광량 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	영양염($\mu\text{g-at/l}$) (인산염) (총질소)
Nov. 2004	0.12-0.21	7.85-7.97	964-970	0.694-0.721	0.21-0.24	7.91-8.03	1,048-1,075	0.564-0.692
				7.643-7.831				6.843-7.271
Dec.	0.15-0.17	7.89-7.98	959-972	0.731-0.784	0.23-0.32	7.84-7.99	996-1,020	0.611-0.629
				8.421-8.512				7.178-7.256
Jan. 2005	0.15-0.18	7.81-7.93	957-967	0.746-0.751	0.39-0.42	7.87-7.93	998-1,031	0.632-0.651
				9.352-9.522				7.343-7.489
Feb.	0.15-0.16	7.84-7.89	948-953	0.836-0.841	0.35-0.42	7.82-7.94	984-997	0.673-0.684
				9.378-9.423				7.543-7.738
Mar.	0.11-0.18	7.86-7.88	951-940	0.753-0.801	0.24-0.26	7.86-7.92	996-1,025	0.622-0.687
				8.894-9.156				7.346-7.481
Apr.	0.15-0.16	7.85-7.94	975-969	0.749-0.751	0.32-0.34	7.89-7.98	1,037-1,059	0.598-0.683
				8.932-9.165				6.873-6.945
May	0.12-0.14	7.86-8.03	984-992	0.754-0.759	0.31-0.33	7.84-7.95	1,064-1,076	0.597-0.624
				8.794-8.875				6.443-6.632
Jun.	0.12-0.15	7.92±8.02	1004-1103	0.732-0.756	0.33-0.30	7.82-7.91	1,039-1,052	0.597-0.616
				8.853-8.953				6.742-6.941
Jul.	0.08-0.10	7.96±8.06	1058-1178	0.512-0.612	0.29-0.32	7.86-7.95	1,068-1,079	0.574-0.583
				7.486-7.583				6.433-6.658
Aug.	0.11-0.16	7.87±8.02	1104-1215	0.611-0.623	0.30-0.32	7.89-7.99	1,096-1,109	0.534-0.589
				7.984-8.049				6.575-6.841

나) 가이식장별 청각의 생장도

가이식장 조건에 따른 청각의 생장도 차이는 표 24와 같다. 정도리 어장에서는 2005년 2월부터 직립엽체가 발달되기 시작하여 4월부터 빠른 길이생장을 나타내었으며 보길도 어장에서는 2005년 1월부터 직립엽체가 발달되기 시작하였다. 즉, 청각 직립 엽체의 발달 시기는 약 1개월 정도의 차이를 보이거나 직립엽체의 길이생장이 빠르게 나타나는 것은 4월경 즉 수온 조건이 두 어장 모두 10℃ 전후를 보이는 시점이라는 공통점을 나타내고 있다. 8월의 수확기에 정도리 어장의 청각 생산량은 단위m당 5.01±1.41 kg/m을 나타내었으나 보길도 어장의 경우 7.45±2.08 kg/m를 나타내어 어장 조건별로 생산량에 차이를 보였다.

표 24. 가이식 어장별 청각의 생장도

월	정 도 리				보 길 도			
	직립엽체수 (개/10 cm)	직립엽체 길이 (cm)	분지수 (회)	생산량 (kg/m)	직립엽체수 (개/10 cm)	직립엽체 길이 (cm)	분지수 (회)	생산량 (kg/m)
Nov. 2004	-	-	-	-	-	-	-	-
Dec.	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan. 2005	-	-	-	-	3.1±1.4	0.1±0	-	0.003±0.002
Feb.	0.2±0.1	0.1±0.1	-	0.002±0.001	10.5±4.5	0.4±0.2	0.1±0.1	0.007±0.001
Mar.	0.3±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1	0.007±0.001	16.4±6.3	0.7±0.3	1.1±0.2	0.009±0.005
Apr.	0.6±0.1	0.5±0.1	1.2±0.1	0.011±0.010	22.0±10.7	0.2±0.2	2.0±0.4	0.031±0.004
May	15.1±0.2	1.5±0.5	1.4±0.3	0.054±0.015	25.2±10.6	4.4±0.7	2.6±1.2	0.195±0.012
Jun.	22.5±0.5	5.1±0.4	3.6±0.2	0.130±0.001	35.7±5.5	9.5±0.9	4.5±0.6	0.375±0.245
Jul.	25.4±2.0	10.5±2.1	3.7±1.4	0.512±0.012	22.7±4.7	15.9±1.8	6.9±0.5	0.919±0.086
Aug.	20.4±1.5	15.7±2.4	3.8±1.2	5.015±1.405	25.0±5.2	20.1±1.2	7.2±0.5	7.451±2.075

나. 가이식

1) 유성 및 무성생식방법별 가이식 효과 비교 분석

유성생식 및 무성생식 방법별 가이식 효과는 표 25 및 그림 22와 같이 접합자와 분리수사 채묘의 두 실험구 모두 채묘 직후 수사로 성장하기 시작하였으며, 실내배양 실험결과에서 보인 바와 같이 접합자의 발달 양상은 분리수사의 재생과 동일하게 수사로 자랐다. 가이식 50일 경과후 직립엽체가 분화하기 시작하였으며, 접합자 채묘 실험구에서는 종사 10cm 당 직립엽체의 수가 7.7 ± 1.5 개였고, 분리수사 채묘 실험구에서는 종사 10cm 당 직립엽체의 수가 8.3 ± 1.5 개로 나타나 분리수사 채묘 실험구에서 직립엽체의 수가 보다 많은 것으로 나타났다. 또한 가이식 68일 경과후 종사 10cm의 중량은 유성생식의 실험구 보다 무성생식의 실험구에서 보다 많은 것으로 나타났다.

표 25. 유성 및 무성생식방법별 가이식 생장도

가이식 일수	유성생식 (접합자 채묘)				무성생식 (분리수사 채묘)			
	직립엽체수 (개/10 cm)	직립엽체 길이 (cm)	분지수 (회)	중량 (g/10 cm)	직립엽체수 (개/10 cm)	직립엽체 길이 (cm)	분지수 (회)	중량 (g/10 cm)
0	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	0.01 ± 0.02	-	-	-	0.03 ± 0.01
35	-	-	-	0.15 ± 0.07	-	-	-	0.29 ± 0.12
50	7.7 ± 1.5	0.65 ± 0.03	0.26 ± 0.11	0.95 ± 0.09	8.3 ± 1.5	0.82 ± 0.01	0.3 ± 0.18	1.08 ± 0.33
68	9.7 ± 3.5	1.49 ± 0.18	0.34 ± 0.37	1.24 ± 0.69	13.3 ± 3.2	1.38 ± 0.5	0.2 ± 0.2	1.47 ± 0.74

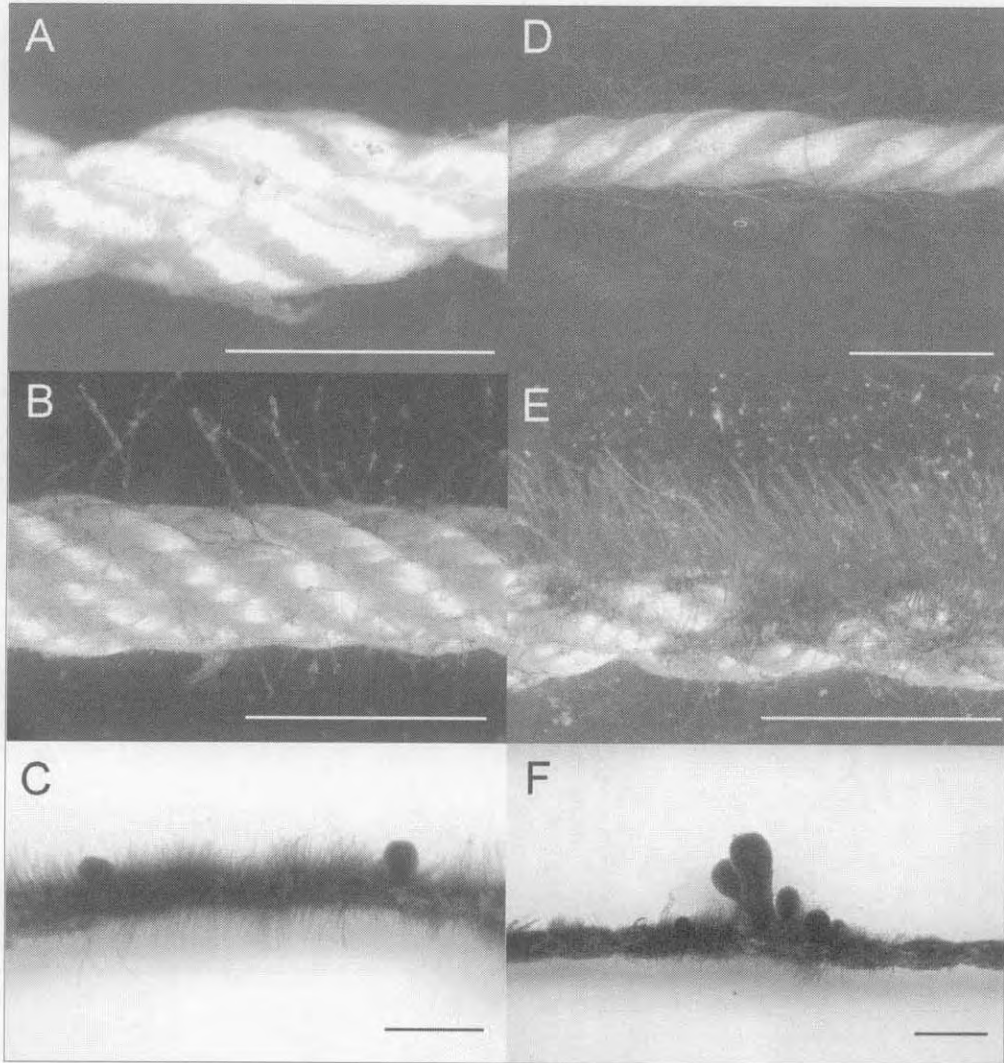


그림 22. 청각의 유성생식(접합자 채묘)과 무성생식(분리수사 채묘)에 의한 가이식 효과. A: 접합자가 채묘된 종사. B: 가이식 1개월후 접합자 채묘효과. C: 가이식 2개월후 수사와 직립엽체가 발달된 접합자 채묘 실험구의 종사. D: 분리수사 및 포낭이 채묘된 종사. E: 가이식 1개월후 분리수사 채묘효과. F: 가이식 2개월후 수사와 직립엽체가 발달된 분리수사 채묘 실험구의 종사. Scale bar 5 mm.

2) 가이식 기간중 청각의 성장도

청각의 분리수사 채묘 및 가이식 과정은 그림 23과 같이 채묘후 실내수조에서 분리수사의 착생을 위하여 약 1개월간 배양한 후 바다로 옮겨 가이식을 실시하였다. 가이식 이후 수사는 빠르게 성장하여 약 1개월후 포복성의 수사로부터 자라난 수사가 밀생하게 되며 약 2개월 후 이들 수사가 뭉쳐져 직립 엽체를 형성하였다.

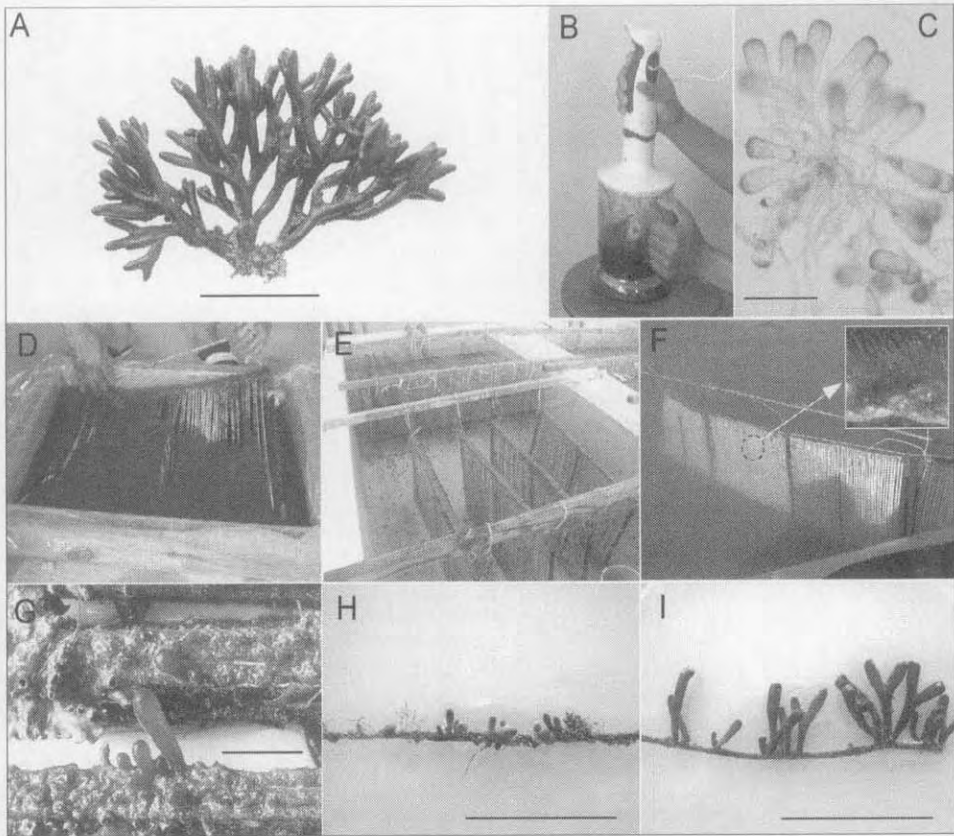


그림 23. 청각 분리수사 채묘에 의한 인공채묘 및 가이식 과정. A: 청각 모조. B: 핸드블렌더를 이용한 수사 분리. C: 분리된 청각 수사. D: 채묘틀을 분리수사액에 담가 수사 채묘. E: 수조배양중인 청각 채묘틀. F: 가이식 중인 청각 채묘틀 (가이식 1개월 경과후 발달된 수사). G,H: 가이식 2개월후 직립지의 발달. I: 가이식 3개월후 분지의 형성.

가) 가이식 기간중 수온 및 수중광량의 변화

가이식 실험 기간중 실험 지역의 수온 및 수중광량 변화는 그림 24와 같다. 가이식 기간중 평균수온은 16.6°C였으며, 수온변화는 10월초 최고 수온 20.0°C에서 점차 감소하기 시작하여 가이식 말기인 12월 초에는 13.3°C까지 저하하였다. 수심별 수중광량의 변화는 11월부터 12월까지 표층 및 수심별 광량이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 특히 수심 3m의 수중광량은 10월에 $177.1 \pm 4.1 \sim 185.2 \pm 4.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 의 범위였던 것이 11월에는 $23.9 \pm 15.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 로 크게 감소하였다.

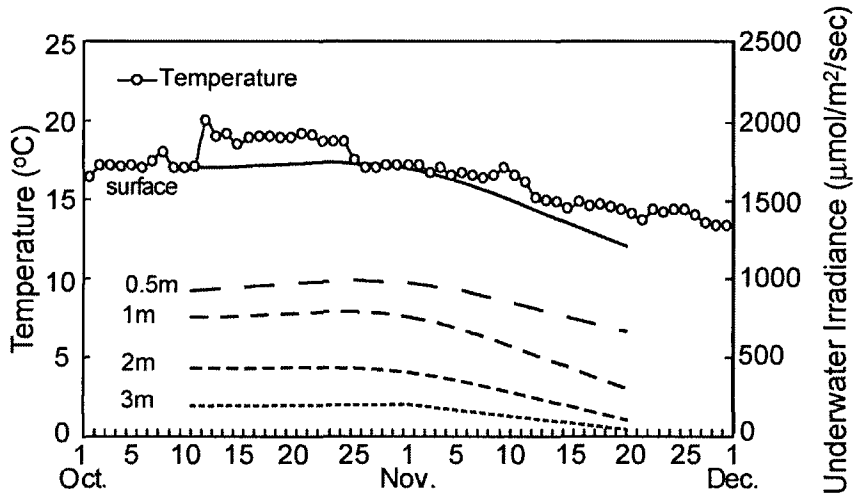


그림 24 . 가이식 실험 기간중 실험지역의 수온 및 수중광량 변화.

나) 채묘기질별 청각의 성장도 및 가이식 효과

채묘기질별 청각의 성장도 및 가이식 효과는 표 26 및 그림 25와 같다. 가이식 60일 후 크레모나 18합사의 종사 1cm당 수사수는 76.1 ± 23.6 개로 크레모나 36합사의 경우 89.5 ± 25.8 개 및 팜사 92.4 ± 20.5 개에 비하여 유의하게 작은 것으로 나타났다. 직립엽체의 길이는 팜사에서 가장 긴 $5.41 \pm 3.79\text{mm}$ 로 나타났으며 크레모나 36합사 $2.25 \pm 0.30\text{mm}$ 및 크레모나 18합사 $1.27 \pm 0.28\text{mm}$ 의 순으로 나타나 종사의 직경이 클수록 직립엽체의 발달이 빠르게 나타나는

것으로 보인다. 종사 10cm의 중량은 팜사에서 가장 높은 0.382 ± 0.200 g으로 나타났으며 크레모나 18합사에서 0.077 ± 0.009 g으로 가장 작았다. 따라서 청각의 채묘기질로는 종사의 직경이 2.12 ± 0.17 mm인 크레모나 36합사 이상의 굵기를 사용하는 것이 청각의 성장도와 가이식 효과 면에서 우수한 것으로 나타났다.

표 26 . 채묘기질별 청각의 성장도 및 가이식 효과

채묘기질별 실험구 ¹	성장 및 가이식 효과			
	종사 10cm의 중량(g)**	수사의 길이 (mm)	수사의 수 (ea/cm)	직립엽체 길이 (mm)
크레모나 18합사	0.077 ± 0.009^a	1.50 ± 0.23^a	76.1 ± 23.6^a	1.27 ± 0.28^a
크레모나 36합사	0.146 ± 0.025^a	1.42 ± 0.08^a	89.5 ± 25.8^b	2.25 ± 0.30^b
팜사	0.382 ± 0.200^a	1.50 ± 0.08^a	92.4 ± 20.5^b	5.41 ± 3.79^b

¹: 채묘후 노출시간 1시간, 가이식 수심 1m.

*: 모든수치는 3반복 실험구의 평균 및 표준편차임. 동일행의 다른 첨자는 유의한 차이를 나타냄 ($p < 0.05$).

** : 종사 10 cm중량 = 종사 10 cm에 부착된 청각과 종사의 전체무게 - 채묘 전 종사만의 무게.

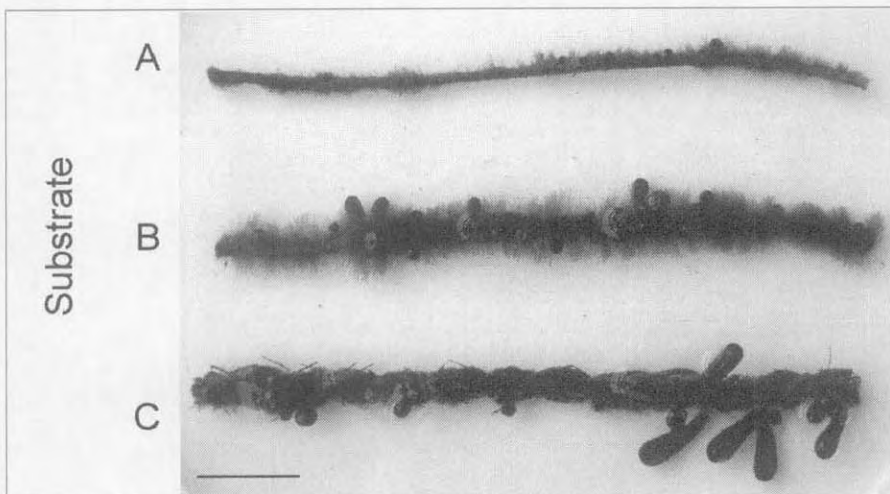


그림 25. 가이식 60일 후 채묘기질별 청각의 성장도. A: 크레모나 18합사.

B: 크레모나 36합사. C: 팜사. Scale bar 1cm.

다) 채묘시 노출시간별 청각의 생장도 및 가이식 효과

노출시간별 청각의 생장도 및 가이식 효과는 표 27 및 그림 26과 같다. 가이식 60일 후 종사 10cm의 중량은 2시간 노출실험구에서 $0.432 \pm 0.031\text{g}$ 으로 가장 높았으며 0시간 노출실험구에서 $0.112 \pm 0.062\text{g}$ 으로 가장 적었다. 직립엽체의 길이는 2시간 노출실험구에서 $7.07 \pm 1.74\text{cm}$ 로 가장 길었으며, 0시간 노출실험구에서는 가이식 60일 후 까지 직립엽체가 발달되지 않았다. 따라서 분리수사를 채묘할 때 배양수조에 넣기전 채묘틀을 노출시키는 시간에 따라 청각의 생장도 및 가이식 효과에 영향을 주게 되므로, 분리수사의 채묘시 2시간의 노출이 적당한 것으로 나타났다.

표 27. 노출시간별 청각의 생장도 및 가이식 효과

노출시간별 실험구 ¹ (h)	생장 및 가이식 효과			
	종사 10cm의 중량 (g)**	수사의 길이 (mm)	수사의 수 (ea/cm)	직립엽체 길이 (mm)
0	0.112 ± 0.062^a	0.90 ± 0.25^a	25.3 ± 19.5^a	-
0.5	0.124 ± 0.041^a	1.27 ± 0.38^b	59.0 ± 23.5^b	0.01 ± 0.01^a
1	0.163 ± 0.014^c	1.31 ± 0.27^b	101.9 ± 42.7^c	3.50 ± 0.52^c
2	0.432 ± 0.031^d	1.65 ± 0.37^c	152.3 ± 32.8^d	7.07 ± 1.74^c
3	0.160 ± 0.034^b	1.27 ± 0.36^b	42.1 ± 34.7^b	1.37 ± 0.08^b

¹: 채묘기질 크레모나 36합사, 가이식 수심 1m.

*: 모든수치는 3반복 실험구의 평균 및 표준편차임. 동일행의 다른 첨자는 유의한 차이를 나타냄 ($p < 0.05$).

** : 종사 10 cm중량 = 종사 10 cm에 부착된 청각과 종사의 전체무게 - 채묘 전 종사만의 무게.

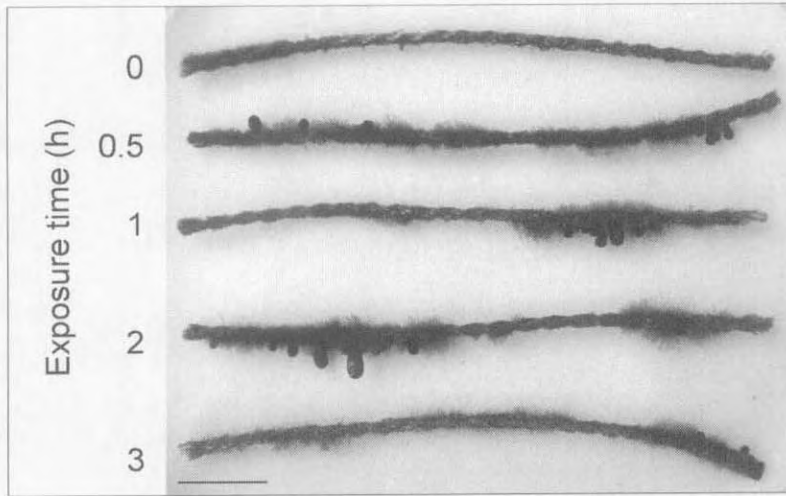


그림 26. 채묘시 노출시간별 청각의 가이식 성장도. 노출시간은 분리수사의 채묘 직후 실내배양수조에 채묘틀을 수용하기 전 채묘틀의 공기중 노출시간을 의미함. Scale bar 1cm.

라) 가이식 수심별 청각의 성장도 및 가이식 효과

가이식 수심별 청각의 성장도와 가이식 효과는 표 28 및 그림 27과 같다. 가이식 60일 후 수심 0.5m에서 수사의 수는 종사 1cm당 137.3 ± 26.5 개로 수심별 실험구들 가운데 가장 많았으며 수심 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내어 수심 3m에서는 종사 1cm당 수사의 수가 39.7 ± 15.7 개에 불과하였다. 직립엽체의 길이역시 수심 0.5m 실험구에서 3.26 ± 1.91 cm로 가장 긴 것으로 나타났으며 수심 3m 실험구에서는 가이식 60일 까지 직립엽체가 발달되지 않았다. 또한 종사 10cm의 중량은 수심 0.5m 실험구에서 가장 많은 0.490 ± 0.003 g으로 나타났으며 수심 증가에 따라 감소하는 경향을 보여 수심 3m 실험구에서는 0.014 ± 0.007 g으로 가장 적었다. 따라서 청각의 적정 가이식 수심은 0.5m인 것으로 나타났다.

표 28. 가이식 수심별 청각의 생장도 및 가이식 효과

수심별 실험구 ¹ (m)	생장 및 가이식 효과			
	종사 10cm의 중량 (g)**	수사의 길이 (mm)	수사의 수 (ea/cm)	직립엽체 길이 (mm)
0.5	0.490±0.003 ^c	1.67±0.21 ^c	137.3±26.5 ^d	3.26±1.91 ^b
1	0.398±0.019 ^c	1.46±0.37 ^b	95.5±16.6 ^c	3.07±1.06 ^a
2	0.036±0.005 ^b	1.33±0.24 ^b	57.0±9.7 ^b	1.02±0.26 ^c
3	0.014±0.007 ^a	0.94±0.34 ^a	39.7±15.7 ^a	-

¹: 채묘기질 크레모나 36합사, 채묘직후 노출시간 1시간.

*: 모든수치는 3반복 실험구의 평균 및 표준편차임. 동일행의 다른 첨자는 유의한 차이를 나타냄 ($p < 0.05$).

** : 종사 10 cm 중량 = 종사 10 cm에 부착된 청각과 종사의 전체무게 - 채묘 전 종사만의 무게.

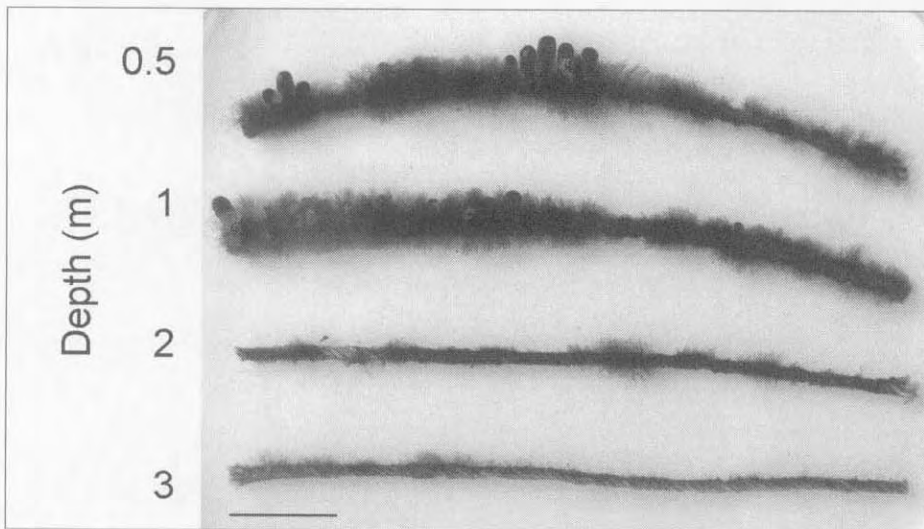


그림 27. 가이식 수심별 청각의 생장도. Scale bar 1cm.

마) 가이식 시기별 청각의 성장도 및 가이식 효과

가이식 시기별 청각의 성장도 및 가이식 효과는 표 29와 같다. 채묘시기를 달리하여 가이식 실시 시점이 달라지면 이에 따른 청각 수사의 성장 및 직립엽체로의 발달되는데 보다 많은 시일이 소요되는 것으로 나타났다. 즉 8월에 가이식을 실시하면 약 50일 후 직립엽체의 발달을 유도할 수 있으나, 9월에 가이식을 시작하면 60일후 그리고 10월에 가이식을 시작하면 75일, 11월에 가이식을 시작하면 90일과 같이 직립 엽체 발달이 소요되는 가이식 기간이 긴 것으로 나타났다. 또한 12월과 1월에 가이식을 실시하는 경우 배양 120일이 경과되어야 직립엽체로의 생장이 확인되었다.

따라서 청각의 적정 가이식 실시 시기는 8월부터 다음해 1월까지 어느 시기에나 이용할 수 있는 것으로 나타났다. 다만 직립엽체로 발달하는데 소요되는 시간에 있어서 차이가 있을 뿐이므로 추후 지속 예정인 양성효과 분석에서 가이식 시기에 따른 양성 효과 분석이 이루어지면 최적의 가이식 실시 시기에 대한 자료가 완성될 것으로 보인다. 또한 청각의 가이식 단계 이전인 분리수사의 채묘 시기에 있어서 충분한 착생을 위한 실내수조배양기간 1개월의 시간을 감안한다고 하더라도 청각 분리수사의 적정 채묘 시기는 6월부터 12월까지 모두 가능함을 유추해 볼 수 있다.

표 29. 가이식 시기별 청각 직립엽체의 출현에 소요되는 기간 비교

가이식 경과일수(일)	가이식 실시 시기 (직립엽체의 길이, mm)					
	8월	9월	10월	11월	12월	1월
50	6.5±0.30	m	m	m	m	m
60		1.54±0.52	m	m	m	m
75			1.66±0.39	m	m	m
90				1.02±0.26	m	m
120					0.58±0.35	0.45±0.21

m: 수사의 형태로 성장.

3) 가이식 기간중 해적생물조사

가이식 기간중 출현한 해적생물은 표 30과 같다. 정도리에서 출현한 해적생물은 총 9종으로 해조류 4종 및 규조류와 기타 동물 5종으로 나타났다. 특히 9월에는 요각류인 *Caprella*와 *Gammaropsis* 등이 번무하여 개체수가 1cm당 100여 개체 이상을 나타내었으며 갯지렁이류 등이 번무하였다. 이러한 해적생물의 종류와 양은 11월 이후 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 보길도 어장에서는 총 7종의 해적생물이 출현하였으며 이 가운데 해조류 3종과 기타 동물 4종이 출현하였다. 보길도 어장에서는 정도리 어장에 비하여 매우 적은 수의 해적생물이 출현하였으며 양적인 면에서도 매우 적었다. 특히 정도리 어장의 경우 종사에 부착된 빨질의 양이 매우 많아 9월과 10월에는 직경 1cm 가량의 빨이 부착되기도 하였으나 보길도 어장의 경우 조류 소통이 원활하여 종사에 빨질이 부착되지 않았다.

표 30. 가이식 기간중 출현한 해적생물

출현종	실험어장 월	실험어장									
		정도리					보길도				
		A	S	O	N	D	A	S	O	N	D
해조류											
<i>Enteromorpha linza</i> (앞파래)			+	+						+	+
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)											
<i>Cladophora albida</i> (숨대마디말)			+	+	+						
<i>Ceramium kondoi</i> (비단풀)											
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)			+	+						+	+
<i>Polysiphonia morrowii</i> (모로우붉은실)										+	+
규조류 및 기타 해적생물											
<i>Navicular</i> sp.			+	+	+	+					
<i>Caprella</i> sp.		+	++	+	+	+			+	+	+
<i>Gammaropsis</i> sp.		+	++	+	+	+			+	+	+
Polychita			+	+		+			+	+	
Hydrozoans		+	+	+	++				+		
Mud		+	++	++	+						

다. 양 성

1) 적정 양성 어장 조건 파악

어장별 환경 조사는 전남 완도군 보길면 어장 및 완도군 완도읍 정도리 어장에서 2006년 11월부터 2007년 6월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였고 (그림 28), 각 어장의 월별 수온, DO, 염분도, 유속, pH, 전기전도도, 수중광량, 영양염 등의 변화를 측정하였으며 이와 함께 청각의 양성 성장도를 측정하였다.

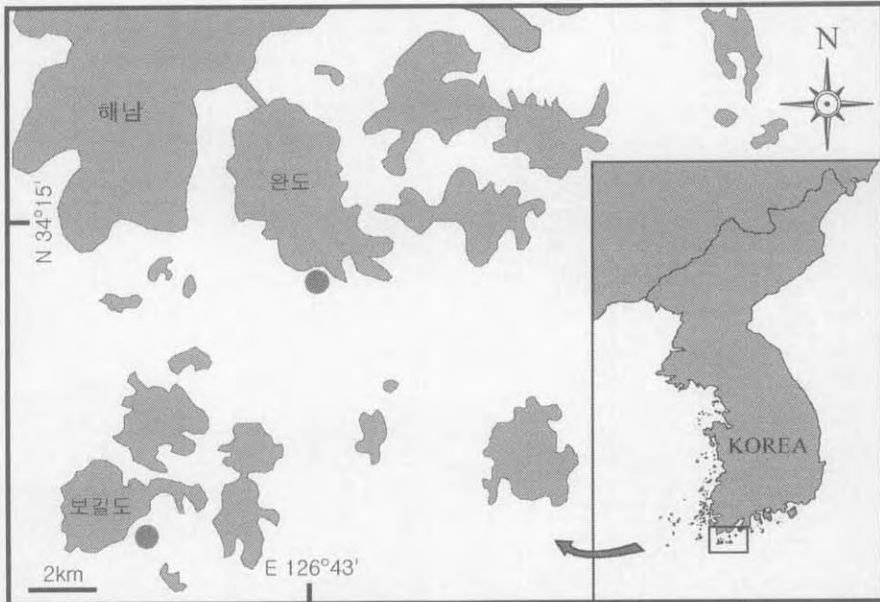


그림 28. 청각 양성 시험 어장.

어장별 수온 변화는(그림 29A)와 같이 정도리 어장의 경우 1월에 최저치인 7.5℃를 나타내었으며 이후 점차 증가하기 시작하여 6월에 최대치인 17.2℃를 나타내었다. 보길도 어장의 경우 1월에 최저치인 9.3℃를 나타내었으며 이후 점차 증가하기 시작하여 6월에 최대치인 17.4℃를 나타내었다.

염분변화는(그림 29B)와 같이 정도리 어장의 경우 1월부터 6월까지 32.0-33.6 ppt로 큰 차이를 나타내지 않았으며, 보길도 어장에서도 32.2-33.8 ppt로 염분 변화의 폭이 크게 나타나지 않았다.

용존산소(그림 29C) 및 전기전도도(그림 29D)는 정도리와 보길도 어장에서 유의한 차이를 보이지 않았으며 유사한 변동 패턴을 나타내었다.

양성 어장별 유속, pH, 수중광량, 영양염의 월별 변화는 표 31과 같다. 청각의 양성 어장에서 조사기간 동안 유속은 0.17-0.40 m/sec, pH는 7.58-7.92, 양성 수심인 1m의 수중광량은 $942-1,454 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 인산염의 농도는 0.621-0.779 $\mu\text{g-at/L}$, 총질소의 농도는 6.754-9.621 $\mu\text{g-at/L}$ 범위였고, 이들 환경조건에서 청각의 양성은 매우 정상적으로 이루어졌다.

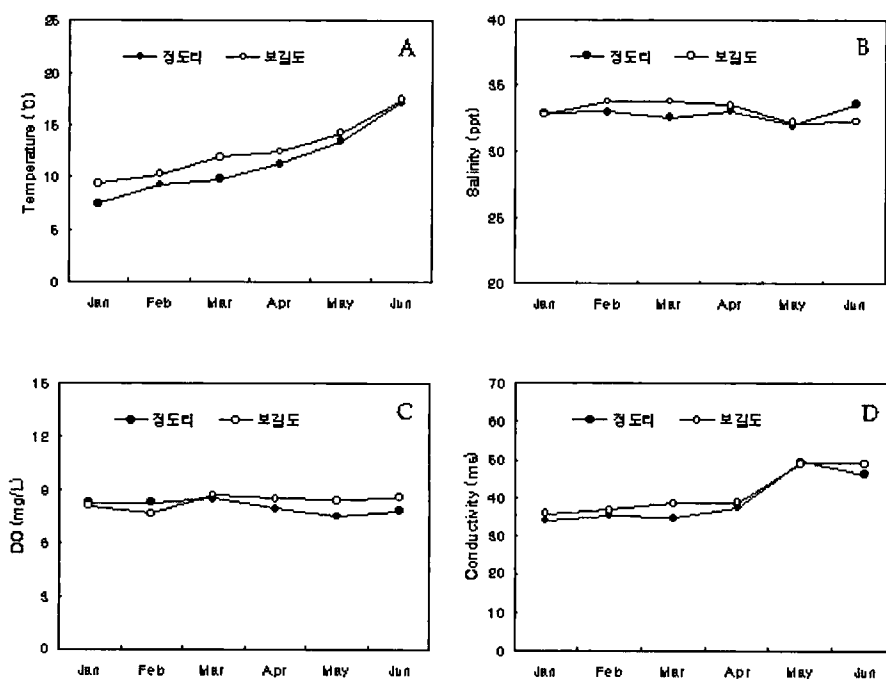


그림 29. 양성기간중 실험어장의 환경변화.

표 31. 양성 어장별 유속, pH, 수중광량, 영양염의 월별 변화.

월	완도 정도리				보 길 도			
	유속 (m/sec)	pH	수중광량 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	영양염($\mu\text{g-at/l}$) (인산염) (총질소)	유속 (m/sec)	pH	수중광량 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	영양염($\mu\text{g-at/l}$) (인산염) (총질소)
Jan. 2007	0.29-0.31	7.98-7.99	962-983	0.692-0.721	0.38-0.40	7.82-7.85	989-1,104	0.621-0.634
				9.457-9.572				7.452-7.461
Feb.	0.27-0.28	7.68-7.72	952-963	0.912-0.914	0.36-0.38	7.90-7.92	996-1,105	0.694-0.697
				9.450-9.621				7.681-7.690
Mar.	0.25-0.22	7.58-7.62	948-985	0.845-0.860	0.37-0.40	7.79-7.82	981-1,115	0.634-0.646
				8.812-9.241				7.355-7.370
Apr.	0.26-0.28	7.73-7.91	991-1021	0.814-0.750	0.34-0.36	7.85-7.90	1,071-1,154	0.601-0.624
				8.924-9.054				6.895-6.910
May	0.18-0.20	7.62-8.31	942-1204	0.760-0.775	0.31-0.35	7.83-7.89	1,100-1,344	0.604-0.610
				8.647-8.734				6.451-6.467
Jun.	0.17-0.19	7.88-8.14	1125-1337	0.762-0.779	0.30-0.32	7.87-7.81	1,134-1,454	0.612-0.620
				8.891-8.940				6.754-6.842

표 32. 양성 어장별 청각의 양성 성장도 및 생산량

월	정 도 리				보 길 도			
	직립엽체수 (개/10 cm)	직립엽체 길이 (cm)	분지수 (회)	생산량 (kg/m)	직립엽체수 (개/10 cm)	직립엽체 길이 (cm)	분지수 (회)	생산량 (kg/m)
Jan 2005	-	-	-	-	3.1±1.4	0.1±0	-	0.003±0.002
Feb	0.2±0.1	0.1±0.1	-	0.002±0.001	10.5±4.5	0.4±0.2	0.1±0.1	0.007±0.001
Mar	0.3±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1	0.007±0.001	16.4±6.3	0.7±0.3	1.1±0.2	0.009±0.005
Apr	0.6±0.1	0.5±0.1	1.2±0.1	0.011±0.010	22.0±10.7	0.2±0.2	2.0±0.4	0.031±0.004
May	15.1±0.2	1.5±0.5	1.4±0.3	0.054±0.015	25.2±10.6	4.4±0.7	2.6±1.2	0.195±0.012
Jun	22.5±0.5	5.1±0.4	3.6±0.2	0.130±0.001	35.7±5.5	9.5±0.9	4.5±0.6	0.375±0.245
Jul	25.4±2.0	10.5±2.1	3.7±1.4	0.512±0.012	22.7±4.7	15.9±1.8	6.9±0.5	0.919±0.086
Aug	20.4±1.5	15.7±2.4	3.8±1.2	5.015±1.405	25.0±5.2	20.1±1.2	7.2±0.5	7.451±2.075

2) 양성 기간중 청각의 성장도

가) 양성 어장별 청각의 성장도

양성 어장별 청각의 양성 성장도 및 생산량은 표 32와 같다. 동일한 시기인 2004년 12월부터 양성실험이 시작되었으나 정도리 어장의 경우 직립엽체의 발달은 2월부터 나타나기 시작하여 3월부터 분지를 형성하기 시작하였고 5월부터 빠르게 길이생장이 이루어져 평균엽장이 $15.1 \pm 0.2 \text{cm}$ 에 달하였으며, 수확기인 8월에 $5.02 \pm 1.41 \text{kg/m}$ 의 생산량을 보였다. 보길도 어장에서는 직립엽체의 발달은 1월부터 나타나기 시작하여 2월부터 분지를 형성하기 시작하였고, 3월부터 빠르게 길이생장이 이루어지기 시작하여 평균엽장이 $16.4 \pm 6.3 \text{cm}$ 에 달하였으며, 수확기인 8월에 $7.45 \pm 2.08 \text{ kg/m}$ 의 생산량을 보였다.

나) 유성·무성생식 방법별 양성효과

청각의 생식방법에 따른 양성효과는 표 33과 같다. 유성생식에 의한 접합자를 채묘한 경우 2005년 8월에 엽장은 $2.1 \pm 0.4 \text{cm}$ 였으며 생산량은 $0.81 \pm 0.41 \text{kg/m}$ 를 나타내었다. 무성생식에 의한 분리수사를 채묘한 경우 2005년 8월에 엽장은 $20.1 \pm 1.2 \text{cm}$ 였으며, 생산량은 $7.45 \pm 2.08 \text{kg/m}$ 를 나타내어 생식방법에 따른 성장 및 생산량의 차이가 매우 크게 나타났다. 그러나 2007년 양성실험결과는 표 33과 같이 유성생식과 무성생식의 경우 엽장은 2007년 6월에 각각 $6.7 \pm 1.5 \text{cm}$ 및 $7.1 \pm 1.5 \text{cm}$ 로 유사한 경향을 나타내었으며 생산량은 유성생식의 경우 $0.40 \pm 0.21 \text{kg/m}$ 및 무성생식의 경우 $0.45 \pm 0.25 \text{kg/m}$ 로 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 무성생식을 이용하여 분리수사를 채묘한 경우는 일정한 생산량을 지속적으로 유지할 수 있으나 유성생식을 이용한 접합자를 채묘하는 경우 모조의 성숙도와 배우자 방출량에 따라 양성시 생산량이 크게 달라질 수 있음을 의미한다.

표 33. 유성·무성생식 방법별 양성효과

월	유성생식 (접합자 채묘)				무성생식 (분리수사 채묘)			
	직립엽체수 (개/10 cm)	직립엽체길이 (cm)	분지수 (회)	생산량 (kg/m)	직립엽체수 (개/10 cm)	직립엽체길이 (cm)	분지수 (회)	생산량 (kg/m)
Jan. 2005	-	-	-	-	3.1±1.4	0.1±0	-	0.003±0.002
Feb.	0.3±0.1	0.1±0.1	-	-	10.5±4.5	0.4±0.2	0.1±0.1	0.007±0.001
Mar.	0.6±0.1	0.1±0.1	0.1±0	-	16.4±6.3	0.7±0.3	1.1±0.2	0.009±0.005
Apr.	0.8±0.2	0.2±0.1	0.1±0.1	0.0002±0.001	22.0±10.7	1.2±0.2	2.0±0.4	0.031±0.004
May	1.1±0.7	0.4±0.1	0.3±0.1	0.001±0.0007	25.2±10.6	4.4±0.7	2.6±1.2	0.195±0.012
Jun.	2.3±1.1	0.9±0.2	1.1±0.3	0.210±0.150	35.7±5.5	9.5±0.9	4.5±0.6	0.375±0.245
Jul.	4.5±1.4	1.4±0.6	1.2±0.4	0.541±0.412	22.7±4.7	15.9±1.8	6.9±0.5	0.919±0.086
Aug.	9.1±2.1	2.1±0.4	0.4±0.1	0.812±0.405	25.0±5.2	20.1±1.2	7.2±0.5	7.451±2.075
Jan. 2007	-	-	-	-	4.5±1.2	0.2±0	-	0.001±0.0005
Feb.	3.1±0.4	0.1±0.1	-	-	13.5±6.2	0.35±0.2	0.5±0.1	0.002±0.0014
Mar.	13.5±3.5	0.4±0.04	0.2±0.1	0.0013±0.001	23.3±10.7	0.5±1.3	0.8±0.2	0.005±0.0021
Apr.	27.7±9.0	1.51±0.3	0.8±0.2	0.008±0.0012	26.3±11.8	0.55±0.1	1.2±0.5	0.009±0.0031
May	39.1±5.3	4.24±1.2	1.1±0.4	0.041±0.011	27.3±6.08	3.9±1.4	1.4±1.2	0.03±0.012
Jun.	38.0±6.2	6.7±1.5	1.8±0.7	0.395±0.210	37.2±6.4	7.1±1.5	2.1±0.5	0.452±0.245

다) 양성 수심별 성장도 및 양성효과

(1) 전기양성기간중 수심별 성장도 및 양성효과

청각의 양성기간중 양성전기에 해당하는 1월부터 5월까지의 각 수심(0.5, 1, 2, 3m)별 성장도 및 양성효과는 표 34와 같다. 전기 양성수심별 청각 엽체의 성장도는 수심 0.5m 실험구에서 양성 15일후 직립엽체가 출현하기 시작하였으며 60일후 분지가 이루어지기 시작하였고, 양성 120일후 엽장이 4.7±1.2 mm에 도달하였다. 수심 1m 실험구에서는 양성 15일후 직립엽체가 출현하기 시작하였으며, 양성 30일후 분지가 이루어지기 시작하였으며, 양성 120일후 엽장이 5.2±1.5 mm에 도달하였다. 수심 2m 실험구에서는 역시 양성 15일후 직

립엽체가 출현하기 시작하였으며, 양성 30일후 분지가 형성되기 시작하였고, 양성 120일후 엽장이 1.19 ± 0.8 mm로 최대치를 나타내었다. 수심 3m 실험구에서는 양성 15일후 분지가 형성되기 시작하였으며 양성 120일후 1.11 ± 0.7 mm로 성장하였다. 따라서 청각의 전기양성기간중 적정 양성 수심은 그림 30과 같이 수심 2m인 것으로 나타났다.

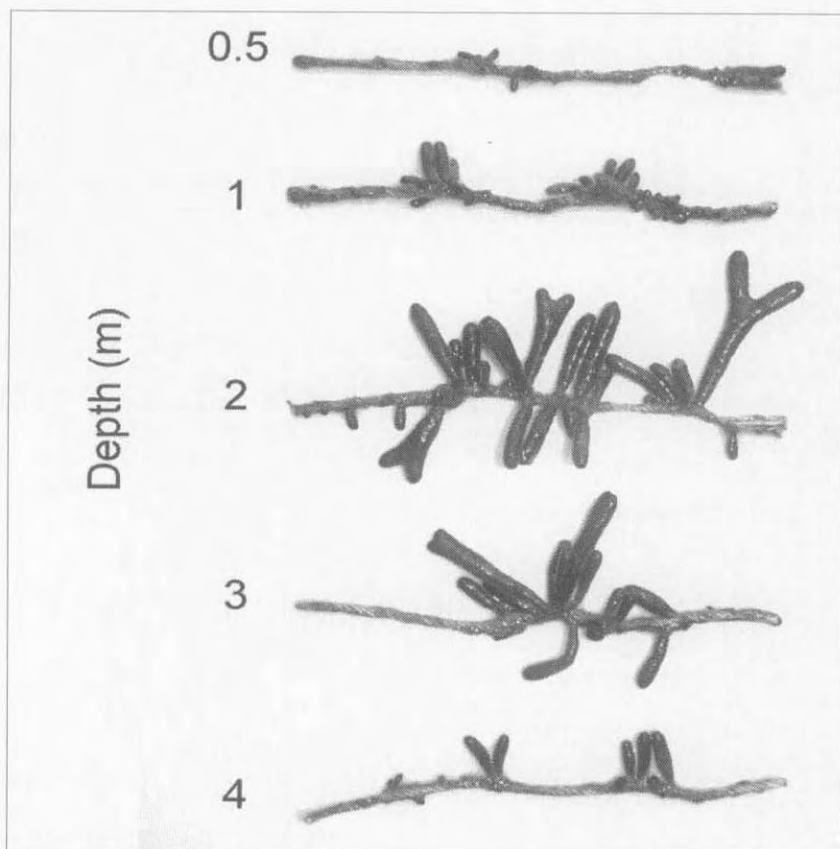


그림 30. 전기양성 120일후 청각의 양성 수심별 성장도.

표 34. 청각의 전기양성 기간중 양성 성장도 및 양성효과

전기양성 일수	구 분	Depth (m)			
		0.5	1	2	3
0 5 Jan 2005	직립지수(개/10cm)	-	-	-	-
	직립지길이(mm)	-	-	-	-
	생산량(kg/m)	-	-	-	-
15	직립지수(개/10cm)	2±1.5	5.4±0.1	4.5±1.41	7.4±2.1
	직립지길이(mm)	0.5±0.1	2.0±0.6	3.0±2.6	3.2±1.3
	분지수(회)	-	-	-	0.6±0
	생산량(kg/m)	0.0003±0.0001	0.0006±0.0001	0.0014±0.0002	0.0028±0.0005
30	직립지수(개/10cm)	3.5±0.1	9.5±1.0	13.5±6.25	20.67±11.3
	직립지길이(mm)	1.0±0.4	2.6±1.2	3.5±1.6	4.0±0.4
	분지수(회)	-	0.2±0.1	0.5±0.2	1.4±1.0
	생산량(kg/m)	0.0004±0.0001	0.0015±0.0011	0.002±0.0014	0.0045±0.0022
60	직립지수(개/10cm)	3.8±1.4	15.3±1.2	23.3±10.7	31.3±2.52
	직립지길이(mm)	2.7±1.0	4.0±1.6	5.0±1.0	6.8±0.6
	분지수(회)	0.2±0.1	0.4±0.19	0.8±0.2	2.2±1.0
	생산량(kg/m)	0.0007±0.0001	0.0021±0.0015	0.0072±0.0051	0.0072±0.0042
90	직립지수(개/10cm)	4.33±1.94	16±2.08	26.3±6.08	36.7±10.02
	직립지길이(mm)	3.1±0.1	4.5±1.1	5.5±1.6	7.1±0.7
	분지수(회)	0.4±0.1	0.6±0.2	1.17±0.29	2.1±0.19
	생산량(kg/m)	0.001±0.0014	0.0035±0.043	0.0108±0.0016	0.0086±0.0012
120	직립지수(개/10cm)	5.5±1.3	20.5±2.4	27.3±2.7	21.7±2.5
	직립지길이(mm)	4.7±1.2	5.2±1.5	19.0±2.1	14.0±2.4
	분지수(회)	0.4±0.1	0.6±0.2	1.19±0.8	1.11±0.7
	생산량(kg/m)	0.026±0.004	0.0283±0.125	0.512±0.013	0.0171±0.0024

(2) 후기양성기간중 수심별 생장도 및 양성효과

청각의 후기양성기간중 각 수심별 생장도는 표 35와 같다. 양성 30일후 수심별로는 1m 실험구에서 엽장이 최대치인 $9.5\pm 2.5\text{cm}$ 로 가장 빠른 생장을 나타내었으며 3m 실험구에서 최저치인 $4.5\pm 1.7\text{cm}$ 를 나타내었다. 양성 60일후 0.5-2m 실험구에서 연승 1m 당 청각 생산량이 1kg/m 이상을 나타내었으나 수심 3m 실험구에서는 $0.34\pm 0.14\text{kg/m}$ 를 나타내었다. 양성 90일후에는 수심 1m 실험구에서 엽장 $23.3\pm 3.4\text{cm}$ 로 최대치를 나타내었으며 수심 3m 실험구에서 최저치인 $14.2\pm 2.1\text{cm}$ 를 나타내었다. 수심별 생산량은 양성 90일후 수심 1m에서 최대치인 $7.22\pm 0.47\text{kg/m}$ 를 나타내었으며, 수심 3m에서 최저치인 $1.03\pm 0.25\text{kg/m}$ 를 나타내었다. 따라서 후기양성기간중 청각의 적정 양성 수심은 그림 31과 같이 수심 1m인 것으로 나타났다.

표 35. 청각의 전기양성 기간중 양성 생장도 및 양성효과

후기양성일수		Depth (m)			
		0.5	1	2	3
0 (5 May 2005)	직립지수(개/10cm)	5.5 ± 1.1	(좌동)	(좌동)	(좌동)
	직립지길이(cm)	3.0 ± 0.2	-	-	-
	분지수(회)	2.0 ± 1.1	-	-	-
	생산량(kg/m)	0.025 ± 0.0015	-	-	-
30	직립지수(개/10cm)	9.7 ± 2.3	15.1 ± 3.6	5.5 ± 1.4	5.0 ± 2.3
	직립지길이(cm)	5.0 ± 1.4	9.5 ± 2.5	7.0 ± 2.4	4.5 ± 1.7
	분지수(회)	3.2 ± 1.1	4.6 ± 4.2	2.0 ± 1.7	2.0 ± 0.8
	생산량(kg/m)	0.351 ± 0.013	1.512 ± 0.513	0.451 ± 0.147	0.201 ± 0.011
60	직립지수(개/10cm)	2.7 ± 3.4	9.7 ± 4.5	6.7 ± 3.1	6.7 ± 2.5
	직립지길이(cm)	14.1 ± 5.8	19.2 ± 2.4	16.2 ± 2.8	12.6 ± 3.0
	분지수(회)	8.8 ± 3.1	8.0 ± 3.7	6.9 ± 3.3	6.0 ± 1.4
	생산량(kg/m)	1.062 ± 0.175	4.102 ± 0.249	1.935 ± 0.514	0.341 ± 0.144
90	직립지수(개/10cm)	2.0 ± 0.7	9.3 ± 2.5	9.0 ± 2.7	2.3 ± 0.8
	직립지길이(cm)	16.8 ± 2.6	23.3 ± 3.4	19.8 ± 2.5	14.2 ± 2.1
	분지수(회)	5.5 ± 3.4	7.4 ± 1.1	6.4 ± 3.1	6.1 ± 1.4
	생산량(kg/m)	1.583 ± 0.461	7.215 ± 0.466	3.427 ± 0.615	1.032 ± 0.247

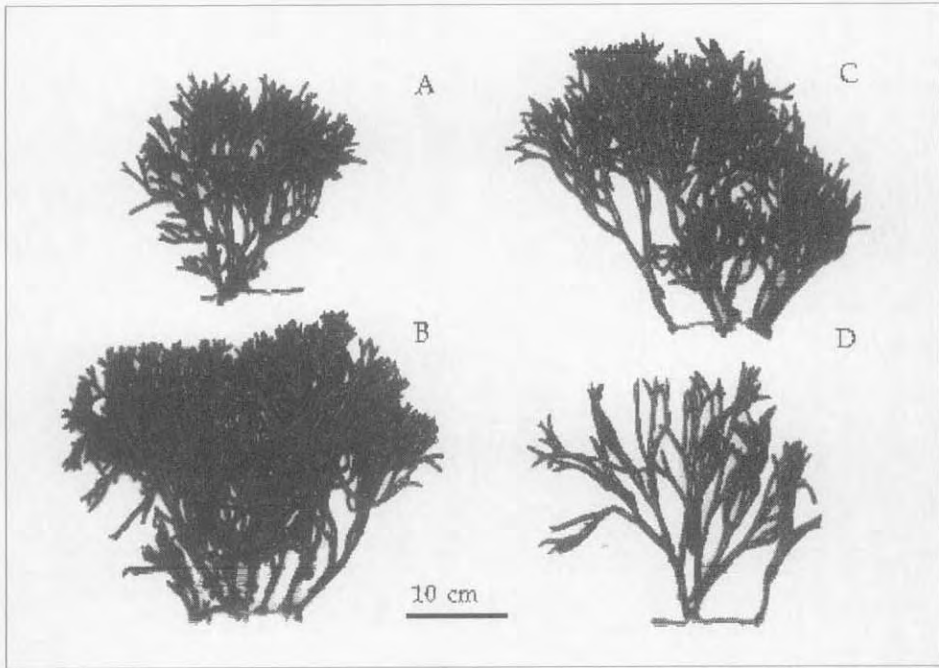


그림 31. 후기양성 90일후 청각의 양성 수심별 성장도. A: 수심 0.5m 실험구. B: 수심 1m 실험구. C: 수심 2m 실험구. D: 수심 3m 실험구. 모든 실험구에서 종사 10cm에 부착된 청각 엽체의 성장도를 비교함.

라) 양성방법별 성장도 및 양성효과

청각의 양성방법별 성장도 및 양성효과는 표 36 및 그림 32와 같다. 종사 1가닥으로 감기 시설된 양성 실험구의 경우 양성 120일후 직립지의 엽장은 $3.2 \pm 0.5 \text{cm}$ 로 나타났으며 2가닥 양성 실험구의 경우 $3.5 \pm 0.1 \text{cm}$ 로 나타났으며, 생산량은 1가닥 양성 실험구에서 $0.36 \pm 0.17 \text{kg/m}$ 였고, 2가닥 양성 실험구에서 $0.37 \pm 0.06 \text{kg/m}$ 로 나타났다. 따라서 양성시기에 종사를 1가닥 또는 2가닥으로 양성 시설하는 것은 청각 엽체의 성장이나 생산량에 있어 유의한 차이가 없으므로 종사를 1가닥만으로 시설하더라도 생산량에는 차이가 없음을 알 수 있다.

재성장 실험구에서는 양성 실험 시작 시기에 이미 엽장이 $53 \pm 1.8 \text{cm}$ 였으며, 양성 120일후에는 엽장이 $19.2 \pm 1.9 \text{cm}$ 에 도달하였고, 생산량은 $5.51 \pm 0.21 \text{kg/m}$ 를

나타내었다. 따라서 청각의 경우 한번 채취후에 남은 염체가 부착된 연승을 다음해 양식의 종묘로 재사용 하는 것이 가능하며, 이러한 방법을 적용함으로써 보다 많은 생산량을 단기간의 양성시기동안 얻을 수 있는 장점이 있다.

표 36. 양성방법별 청각의 생장도 및 양성효과

월 (양성경과일수)	구분	양성방법		
		1가닥	2가닥	재성장
Jan 2007 (0)	직립지수(개/10cm)	-	-	19.7±5.7
	직립지길이(cm)	-	-	5.3±1.8
	분지수(회)	-	-	4.6±0.8
	생산량(kg/m)	0.0014±0.0001	0.002±0.0002	0.153±0.408
Feb (30)	직립지수(개/10cm)	-	-	12.3±3.2
	직립지길이(cm)	-	-	5.7±1.3
	분지수(회)	-	-	6.5±0.7
	생산량(kg/m)	0.0027±0.0001	0.003±0.0004	1.208±0.906
Mar (60)	직립지수(개/10cm)	25.0±6.1	73.7±26.7	11.0±6.2
	직립지길이(cm)	0.5±0.2	0.6±0.1	7.5±3.0
	분지수(회)	0.2±0.2	0.03±0.06	3.8±2.0
	생산량(kg/m)	0.01±0.007	0.017±0.0025	3.889±0.862
Apr (90)	직립지수(개/10cm)	34.3±4.7	81.7±15.0	9.0±1.0
	직립지길이(cm)	1.9±0.2	1.4±0.06	11.3±0.8
	분지수(회)	0.4±0.3	0.7±0.3	4.7±0.6
	생산량(kg/m)	0.024±0.007	0.023±0.01	4.210±0.225
May (120)	직립지수(개/10cm)	48.7±14.6	57.7±14.3	47.0±17.5
	직립지길이(cm)	3.2±0.5	3.5±0.1	19.2±1.9
	분지수(회)	3.1±0.2	2.2±0.2	6.9±0.1
	생산량(kg/m)	0.362±0.165	0.373±0.062	5.510±0.207

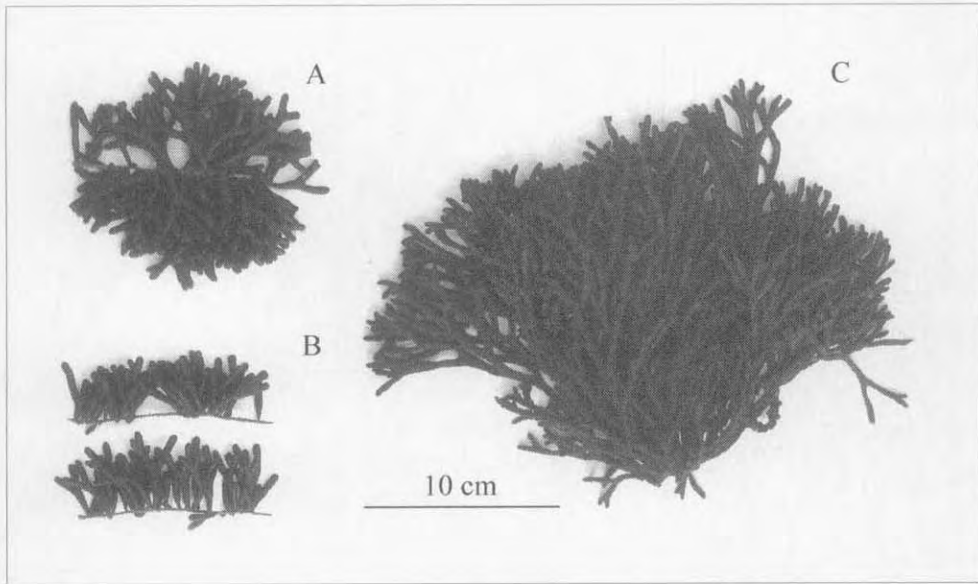


그림 32. 청각의 양성방법별 성장도 및 양성효과. A: 종사 1가닥 양성 실험구. B: 종사 2가닥 양성 실험구. C: 재생장 실험구.

마) 가이식 기간에 따른 양성효과

가이식 기간에 따른 청각의 양성 효과는 표 37과 같다. 가이식 기간이 180일인 실험구에서는 3월부터 직립지의 형성이 나타나기 시작하여 7월에 엽장 $17.2 \pm 8.8 \text{cm}$ 였으며 생산량은 $6.20 \pm 2.81 \text{kg/m}$ 로 나타났다. 가이식 기간 150일 실험구에서는 2월에 직립지의 형성이 나타나기 시작하여 7월에 엽장 $18.8 \pm 4.5 \text{cm}$ 였으며, 생산량은 $6.43 \pm 1.68 \text{kg/m}$ 로 실험구들 가운데 최대치를 나타내었다. 가이식 기간 120일과 90일 실험구에서는 모두 2월에 직립지의 형성이 나타나기 시작하여 7월에 각각 엽장 $14.5 \pm 2.1 \text{cm}$ 및 $13.7 \pm 4.7 \text{cm}$ 를 나타내었으며, 생산량은 각각 5.64 ± 0.57 및 $4.76 \pm 0.53 \text{kg/m}$ 을 나타내었다. 가이식 기간 60일 및 30일 실험구에서는 직립지의 형성이 5월에 나타나기 시작하였으며 분지의 형성은 7월에 나타나기 시작하였고, 생산량은 각각 3.18 ± 0.12 및 $2.04 \pm 0.01 \text{kg/m}$ 을 나타내었다. 가이식 0일 실험구는 채묘후 가이식을 생략하고 즉시 본양성을 실시한 실험구인데, 직립지의 형성은 5월부터 형성되기 시작하였으며 생산량은 $1.53 \pm 0.01 \text{kg/m}$ 로 가이식 기간 30일 실험구와 유의한 차이를 보이지 않았다.

표 37. 가이식 기간에 따른 청각의 양성효과

가이식 일수 (채묘-가이식시기)	양성시기	생산량 (kg/m)	적립지수 (개)	적립지길이 (cm)	분지수 (회)
180 (Jun-Jul 2005)	Jan 2006	0.005±0.0003	-	-	-
	Feb	0.005±0.0009	-	-	-
	Mar	0.008±0.0014	14.0±2.0	0.8±0.2	-
	Apr	0.020±0.001	31.33±17.5	1.6±0.4	-
	May	0.0293±0.003	16.7±2.21	1.75±1.06	1.1±0.1
	Jun	0.572±0.398	9.0±3.5	10.3±1.2	3.8±0.6
	Jul	6.199±2.809	22.0±4.1	17.2±8.8	7.1±0.6
150 (Jul-Aug)	Jan 2006	0.004±0.001	-	-	-
	Feb	0.005±0.001	7.0±1.4	0.3±0.2	-
	Mar	0.005±0.002	11.5±2.02	0.27±0.2	-
	Apr	0.017±0.002	7.3±5.8	0.26±0.2	-
	May	0.027±0.005	5.3±4.0	0.31±0.27	-
	Jun	0.216±0.091	2.0±1.7	7.3±4.4	3.8±2.1
	Jul	6.434±1.684	17.0±11.3	18.8±4.5	6.7±0.3
120 (Aug-Sep)	Jan 2006	0.004±0.001	-	-	-
	Feb	0.007±0.016	39.0±18.0	0.6±0.2	-
	Mar	0.008±0.003	24.3±11.5	0.4±0.2	-
	Apr	0.013±0.002	28.7±3.5	0.9±0.5	-
	May	0.032±0.003	21.3±3.5	0.8±0.5	-
	Jun	0.144±0.001	16.7±11.2	2.8±0.3	1.5±0.1
	Jul	5.637±0.572	14.5±2.1	18.0±2.5	5.9±0.8
90 (Sep-Oct)	Jan 2006	0.006±0.001	-	-	-
	Feb	0.010±0.009	27.7±18.6	0.5±0.2	-
	Mar	0.008±0.001	36.7±6.0	0.5±0.1	-
	Apr	0.023±0.003	59.7±22.5	1.1±0.2	-
	May	0.012±0.002	35.3±4.9	1.0±0.2	-
	Jun	0.526±0.074	26.3±11.9	4.1±1.5	1.9±0.2
	Jul	4.758±0.530	13.7±4.7	19.1±2.8	4.0±0.6
60 (Oct-Nov)	Jan 2006	0.005±0.0004	-	-	-
	Feb	0.004±0.0001	-	-	-
	Mar	0.004±0.0002	-	-	-
	Apr	0.004±0.001	-	-	-
	May	0.015±0.001	2.0±1.0	0.5±0.2	-
	Jun	0.415±0.001	12.0±1.4	1.8±0.3	-
	Jul	3.184±0.123	24.0±12.1	19.2±3.5	3.2±0.3

30 (Nov-Dec)	Jan 2006	0.003±0.0002	-	-	-
	Feb	0.003±0.0002	-	-	-
	Mar	0.003±0.0001	-	-	-
	Apr	0.003±0.0003	-	-	-
	May	0.003±0.0002	1.5±0.7	0.2±0.1	-
	Jun	0.014±0.0008	5.4±3.1	1.2±0.2	-
	Jul	2.037±0.005	14.2±0.7	15.8±5.1	2.8±2.5
0 (Dec-Dec)	Jan 2006	0.003±0.0001	-	-	-
	Feb	0.003±0.0001	-	-	-
	Mar	0.003±0.0001	-	-	-
	Apr	0.003±0.0003	-	-	-
	May	0.003±0.0002	1.4±0.6	0.1±0.1	-
	Jun	0.015±0.0010	4.6±3.4	1.1±0.3	-
	Jul	1.532±0.0102	11.2±0.9	14.5±4.8	2.4±1.1

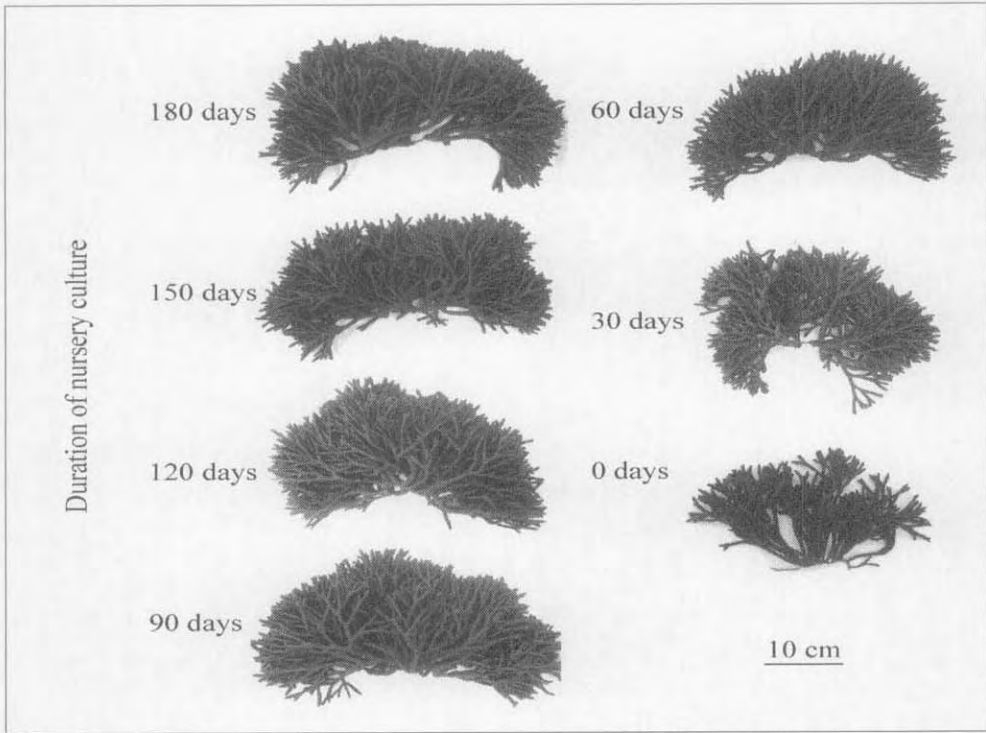


그림 33. 가이식 기간별 청각의 양성효과.

바) 양성기간중 해적생물 조사

양성기간중 출현한 해적생물은 표 38과 같다. 정도리에서 출현한 해적생물은 총 17종으로 해조류 13종 및 규조류와 기타 동물 4종으로 나타났다. 정도리 어장에서는 모로우붉은실이 1월부터 지속적으로 출현하였으며, 잎파래는 1월부터 4월까지 그리고 구멍갈파래는 3월부터 6월까지 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 정도리 어장에서는 빨질의 부착이 많았으나 가이식 기간에 비하여 해적생물의 출현비율은 적은 것으로 나타났다.

보길도 어장에서 출현한 해적생물은 총 15종으로 해조류 13종 및 기타동물 2종으로 나타났다. 보길도 어장에서는 조류 소통이 원활하여 종사에 빨질이 부착되지는 않았으나 1월부터 4월까지 잎파래의 부착이 많았으며 4월 이후 6월까지 구멍갈파래의 빈도수가 높았다.

청각의 양성기간중 해적생물에 의한 극심한 피해는 관찰되지 않았다. 가장 많은 생체량이 나타난 파래류의 경우 6월 이후 수온이 지속적으로 상승하게 되면 파래는 자연적으로 소실되어 청각에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

표 38. 청각의 양성 어장별 해적생물

출현종	양성실험어장 월	양성어장											
		정도리					보길도						
		J	F	M	A	M	J	J	F	M	A	M	J
해조류													
<i>Bryopsis plumosa</i> (깃털말)		+	++	+	+++								
<i>Enteromorpha linza</i> (잎파래)		+	+	+	+			+	+	+	++		
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)				+	+	+	++				++	+	+++
<i>Cladophora albida</i> (숨대마디말)												+	
<i>Cladophora japonica</i> (큰대마디말)												+	+
<i>Ectocarpus arctus</i> (남쪽숨털)						+	++			+	+		
<i>Petalonia fascia</i> (개미역쇠)										+			
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)					+		+				+		+
<i>Laminaria japonica</i> (다시마)				+	+		+						+
<i>Auduinella codicola</i> (청각붉은털)				+						+			
<i>Corallina officinalis</i> (참산호말)										+			
<i>Hypnea japonica</i> (갈고리가시우무)												++	+
<i>Ceramium kondoi</i> (비단풀)						+	++						
<i>Acrosorium polyneurum</i> (잔금분홍잎)						+				+			
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)													
<i>Lomentaria hakodatensis</i> (애기마디잘록이)				+	+								
<i>Antithamnion nipponicum</i> (참깃풀)				+									
<i>Ceramium tenerrimum</i> (털비단풀)				++			++						
<i>Polysiphonia morrowii</i> (모로우붉은실)		++	+++	+++	++	+	+			+	++	+	+
규조류 및 기타 해적생물													
<i>Navicular</i> sp.		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Caprella</i> sp.		+			+	+	+						
<i>Gammaropsis</i> sp.		+				+	+			+	+		
Polychita												+	
Hydrozoans			+			+	+						
Mud				+	+	+	+			+	+		

3) 청각의 건조 수율

가) 자연건조시 건조수율

청각은 일반적으로 자연건조 방법을 사용하여 햇빛에 말려 가공하는 방법을 이용해왔다. 자연 건조시 청각 엽체의 중량 변화는 50g 습중량을 기준으로 하였을 때 그림 34와 같이 10시간 경과 후 상대수분함량이 평균 47%에 달하며 48시간 경과 후 상대수분함량이 평균 18%로 나타났다.

청각의 건조수율 측정을 위하여 dry oven (80°C에서 24시간 건조)을 이용하여 건중량을 측정한 결과 표 39와 같이 습중량 100g을 기준으로 하였을 때 평균 수율은 $5.13 \pm 0.32\%$ 로 나타났다.

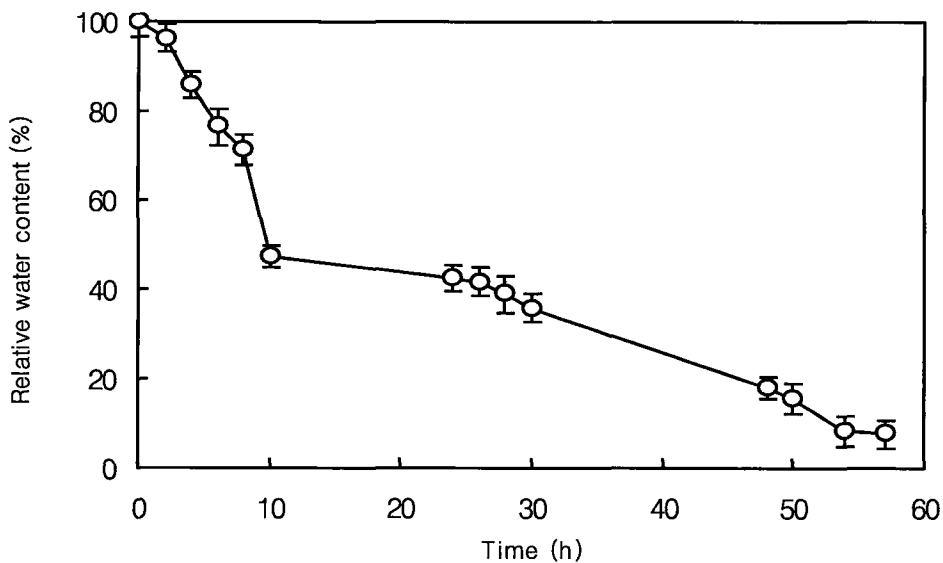


그림 34. 청각의 자연건조시 상대수분함량 변화.

표 39. 청각의 건조수율

구 분	습중량 (g-fresh wt.)	건중량 (g-dry wt.)**	건조수율 (%)
평 균*	102.33	5.23	5.13
편 차	2.52	0.23	0.32

* 3반복 실험구의 평균값.

** 80℃에서 24시간 건조후 측정치.

나) 인공건조시 온도조건별 청각의 수분함량 및 색택변화

청각의 수확 이후 자연건조를 대신하여 인공적인 조건에서 건조를 실시할 경우 수분함량 변화는 그림 35와 같다. 건조 온도가 증가할수록 청각 열체의 상대수분함량은 매우 빠르게 감소하는 경향을 나타내었으며 40℃ 조건에서는 24시간, 60℃ 조건에서는 12시간, 80℃ 조건에서는 6시간 및 100℃ 조건에서는 3시간이면 상대수분함량 10%이하로 건조되는 것으로 나타났다.

건조된 청각의 색택 변화는 그림 36과 같이 자연상태의 색택을 대조구로 하였을 때 100℃에서 3시간 건조시킨 경우가 대조구와 가장 근접하였다.

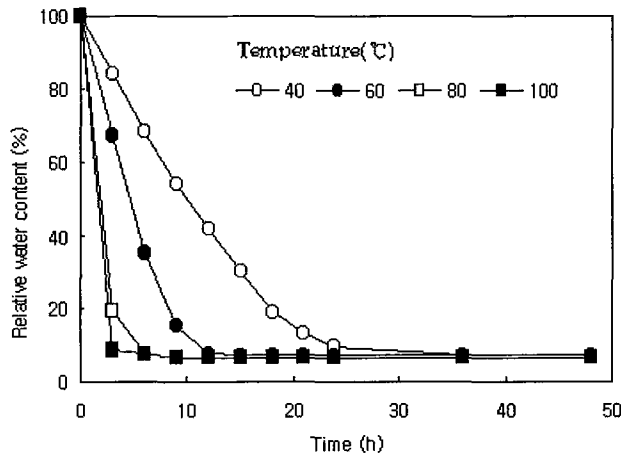


그림 35. 청각의 온도조건별 상대수분함량 변화.

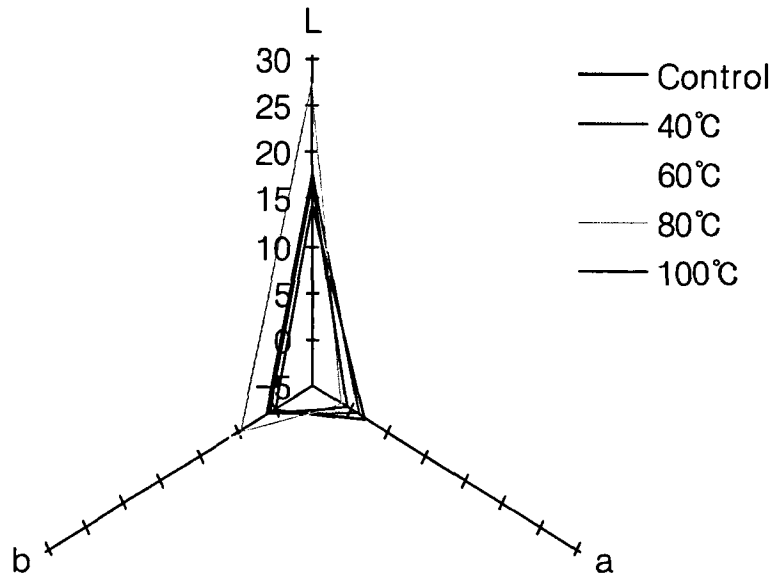


그림 36. 색차계 분석에 의한 청각 건조시 온도조건별 색택의 변화

4) 청각 양식의 매뉴얼

전남 완도 지역에서 청각의 가이식 및 양성과정중 수온의 변화와 각 수심별 수중광량의 월별 변화는 그림 37과 같다. 수온 변화는 8.0°C~24.8°C까지 변화하였으며 최고 수온은 9월에 그리고 최저 수온은 2월에 각각 기록되었다. 표층 조도의 최대치는 8월 그리고 최저치는 5월에 각각 기록되었다.

청각의 가이식 및 양성기간중 각 수심별 생장을 및 수심과 수중광량과의 관계는 표 40과 같다. 가이식 60일후 수심 0.5m 실험구의 일간생장율은 $0.055 \pm 0.032 \text{mm/day}$ 로 최대치를 나타내었으며, 수심 1m 실험구의 일간생장율은 $0.052 \pm 0.018 \text{mm/day}$, 그리고 수심 2m 실험구에서 일간생장율은 $0.017 \pm 0.005 \text{mm/day}$ 의 순으로 나타났다. 따라서 청각의 가이식 기간중 적정 수심은 0.5m 이며 이 시기의 수중광량은 $924 \pm 132 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 청각의 가이식을 위한 수심과 수중광량간의 관계는 $Y = -0.88X + 7.48 (r^2 = 0.96)$ 의 식으로 표준화 할 수 있다.

청각의 전기양성 기간중 각 수심별 생장을 및 수심과 수중광량의 관계는 표 40과 같다. 전기양성 150일후 수심 2m 실험구에서 일간생장율이 최대치인 $0.113 \pm 0.003 \text{mm/day}$ 를 나타내었으며, 수심 0.5m 실험구에서 일간생장율이 최저치인 $0.018 \pm 0.007 \text{mm/day}$ 를 나타내었다. 따라서 청각의 전기양성 기간중 적정 수심은 2m 이며, 이 시기의 수중광량은 $248 \pm 116 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 청각의 전기양성 기간중 수심과 수중광량간의 관계는 $Y = -0.62X + 6.86 (r^2 = 0.98)$ 의 식으로 표준화 할 수 있다.

청각의 후기양성 기간중 각 수심별 생장을 및 수심과 수중광량의 관계는 표 40과 같다. 후기양성 90일후 수심 1m 실험구에서 일간생장율이 최대치인 $2.26 \pm 0.19 \text{mm/day}$ 를 나타내었으며 수심 0.5m 실험구에서 일간생장율이 최저치인 $1.24 \pm 0.15 \text{mm/day}$ 를 나타내었다. 따라서 청각의 후기양성 기간중 적정 수심은 1m 이며 이 시기의 수중광량은 $632 \pm 266 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 청각의 후기양성 기간중 수심과 수중광량간의 관계는 $Y = -0.54X + 7.27 (r^2 = 0.91)$ 의 식으로 표준화 할 수 있다.

청각의 후기양성 과정중 소요되는 적정 수중광량을 이용하여 단위면적당 생산가능한 양식수확량을 추정한 결과는 표 41과 같다. 수심 1m 실험구에서

얻어진 $7.22 \pm 1.03 \text{ kg-fresh wt./m}$ 를 이용하여 건조수율 5%를 적용하고 단위면적 1ha당 20대를 시설하였을 경우, 청각의 생산량은 $3,611 \text{ kg-dry wt./ha}$ 로 추정할 수 있다. 이 생산량은 금액으로 환산하면 41,165천원에 달하며 미역의 생산액 14,304천원과 비교하면 매우 높은 금액이라고 할 수 있다.

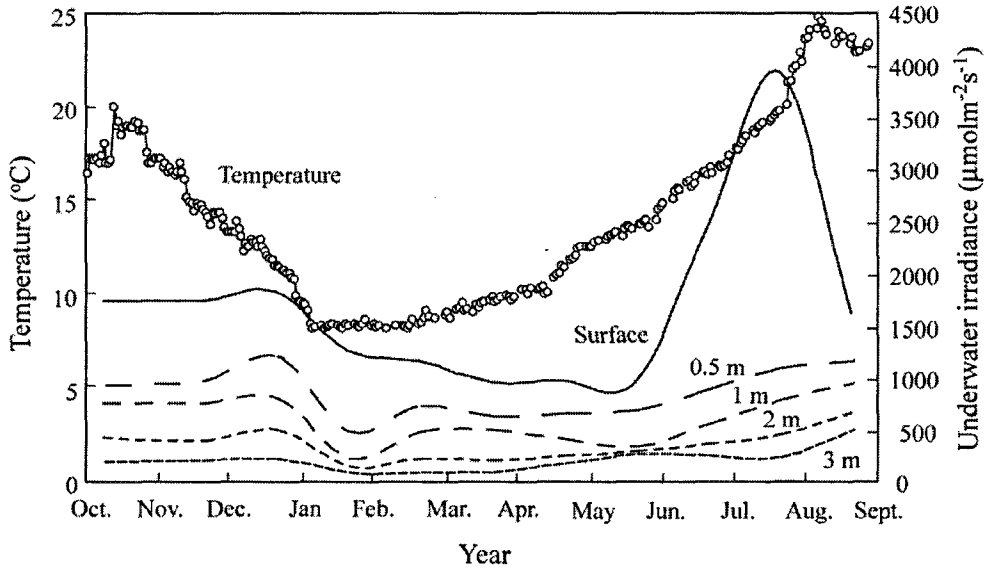


그림 37. 청각의 가이식 및 양성기간중 수온 및 수심별 수중광량의 변화.

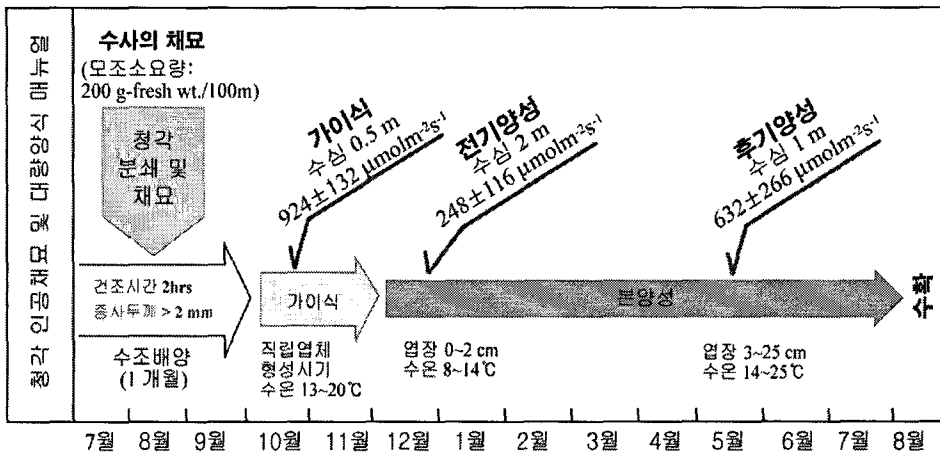


그림 38. 청각의 양식 매뉴얼.

표 40. 청각의 양식 단계별 성장과 수중광량의 관계

양식단계	Length growth of erect thalli					Regression of depth vs LN light
	Depth (m)	Initial Length (mm)	Final Length (mm)	Culture duration (Day)	Growth rate (mm/day)*	
가이식	0.5	0	3.3±1.9	60	0.055±0.032 ^a	Y= -0.88x+7.48 (r ² =0.96)
	1	0	3.1±1.1	60	0.052±0.018 ^a	
	2	0	1.0±0.3	60	0.017±0.005 ^b	
	3	0	-	60	-	
양성전기	0.5	2.0±1.1	4.7±2.1	150	0.018±0.007 ^a	Y= -0.62x+6.86 (r ² =0.98)
	1	2.0±1.2	5.2±1.1	150	0.021±0.001 ^a	
	2	2.0±1.2	19.0±1.6	150	0.113±0.003 ^b	
	3	2.0±1.1	14.2±0.7	150	0.081±0.003 ^c	
양성후기	0.5	30.2±1.5	142.1±15.3	90	1.24±0.15 ^a	Y= -0.54x+7.27 (r ² =0.91)
	1	30.2±1.3	233.2±18.1	90	2.26±0.19 ^b	
	2	30.2±1.4	198.5±21.6	90	1.87±0.22 ^c	
	3	30.2±1.5	168.4±20.1	90	1.54±0.21 ^a	

- : 수사로만 성장하며 직립지 형성하지 않음.

* : 모든 수치는 3반복 실험구의 평균과 표준편차임.

표 41. 청각의 단위면적당 생산량 및 생산액 추정

수심 (m)	생체량* (kg-fresh wt./m)	생체량** (kg-dry wt./100m)	생산량*** (kg-dry wt./ha)	추정생산액 (천원/ha)	
				청각	미역
0.5	1.58±0.51 ^a	7.9±2.6 ^a	790	9,006	750
1	7.22±1.03 ^b	36.1±5.2 ^b	3,611	41,165	14,304
2	3.43±0.62 ^c	17.2±3.1 ^c	1,720	19,608	1,634
3	1.03±0.31 ^a	5.15±1.6 ^a	515	5,871	489

*: 3반복 실험구의 평균값 (±표준편차)에 나타난 동일행의 자기 다른 첨자는 유의한 차이를 가짐 ($p < 0.01$).

** : 청각의 건조량은 80℃에서 24시간 건조하였을 때 5%로 나타남.

*** : 헥타당 양성로프의 간격을 1m로 가정.

4. 청각의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

- 1) 청각추출물이 고지혈증으로 인한 흰쥐의 간세포 손상 및 고지혈증에 미치는 영향

가) 서론

최근 식생활의 다양화 및 서구화로 고칼로리 음식, 동물성식품의 섭취가 증가됨에 따라 비만 뇌졸중, 동맥경화, 고혈압, 당뇨병 등의 각종 생활습관병이 늘어나고 있다. 보건 복지부 국민영양조사에 의하면 한국인의 식생활에서 1일 지방 섭취량이 1969년 16.9 g, 2001년 41.6 g으로 지속적으로 증가하고 있다(Korea National Statistical Office 2002). 이러한 지방섭취의 증가는 체내 지질함량을 증가시켜 순환기계 질환의 발병률 및 사망률이 점차 증가하는 원인이 되고 있다(Harris et al. 1993; Cho et al. 2004).

순환기계 질환중 고지혈증(hyperlipidemia)은 혈장 내에 cholesterol이나 중성지질(triglyceride)이 비정상적으로 증가된 상태를 의미한다(Samuel and McNanara; 1983). 고지혈증, 특히 고cholesterol 혈증은 췌장염을 유발시키는 것으로 알려져 있으며, 더욱이 혈관 벽을 따라 지질이 두껍게 쌓인 죽상동맥경화증의 경우에는 혈류를 감소시켜 허혈성 심장질환인 협심증과 심근경색의 원인이 되므로 임상적으로 중요한 문제가 된다. 심혈관계 질환의 발생에는 혈액의 지질 성분 중 cholesterol 농도가 중요한 인자로 작용하는 것으로 알려져 있으며, 혈중 콜레스테롤 농도는 체내에서 조절되어 일정하게 유지되나 장기간 과량 섭취 시 혈중 농도가 높아지고 체내에 축적되어 고지혈증, 동맥경화, 관상동맥질환등의 심혈관계 질환을 초래한다(Goldstein and Brown 1975; Kang et al. 2003). 특히 혈중 콜레스테롤농도의 증가는 유전적 이상에 의한 경우도 있으나(Lusis 1988), 대부분 식이요인에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있고 고콜레스테롤혈증은 관상동맥질환의 단일 위험인자로 가장 널리 알려져 있다(Goldstein and Brown 1975).

또한 간에서 말초조직으로 Cholesterol을 운반하는 LDL-cholesterol(Low density

lipoprotein-cholesterol)의 농도가 높으면 심혈관계 질환의 위험이 높다. LDL-cholesterol의 증가는cholesterol의 과다섭취, 간세포 내부에서 cholesterol 생산증가 및 이와 연계된 간세포 표면의 LDL 수용체 활성의 감소에 의한 것으로 알려져 있다. 반면에 HDL-cholesterol(High density lipoprotein - cholesterol)은 말초의 cholesteryl을 간으로 이동시켜 담즙산으로 배설시키므로 심혈관계 질환에 대한 억제효과를 지닌다. 따라서 혈청 총 cholesterol 농도, 총 cholesterol 농도에 대한 HDL-cholesterol 농도비, HDL-cholesterol 농도에 대한 LDL-cholesterol의 비는 심혈관질환 발병에 영향을 주는 중요한 인자이다 (Kannel et al. 1964; Lee et al. 2005a; Lee et al. 2005b).

최근 간세포 cholesterol 합성에서 필요한 효소인 3-hydroxy-3-methylglutaryl Co A reductase(HMG-CoA reductase)를 억제하는 약물들이 고 cholesterol 혈증 치료제 중 가장 효과적인 것으로 알려지고 있다. 이 밖에도 cholestyramine, clofibrate, gemfivrozil, nicotinic acid, probucol 등이 혈중지질농도를 낮추는 약물로 개발되어 사용되고 있으나 그 효과는 대상에 따라 일정치 않고 여러 가지 부작용으로 인한 문제점을 드러내고 있다.

위에서 언급된 화학합성 chemical drug들은 경구투여 함으로 장에서 흡수되고 간에 들어가게 되며 간에서 대부분의 약은 분해, 제거되어 일부 신장을 통해 배설되기도 한다. 따라서 체내 흡수된 chemical drug들은 대부분 간에 부담을 주고 여러 가지 부작용을 초래한다. 따라서 현재 임상에서 응용되고 있는 지질저하제의 장기복용에 따른 안정성문제를 해결하기 위하여 근래에는 천연 식품류의 적절한 섭취가 심혈관질환의 예방 및 치료를 위해 권장되고 있다. 혈청 cholesterol 수준을 저하시키는 생리적인 접근방법인 자연식이요법에 대한 관심이 고조되고 있고 천연식품류에서 추출된 기능성물질을 이용한 고지혈증의 예방 및 개선효과에 대하여 연구가 필요한 실정이다(Lee et al. 1997; Lim et al. 2005).

심혈관계 질환 유발의 감소인자로는 올리고당, 식이단백질, 해조류, 비타민과 무기질 및 수용성 식이 섬유소등이 알려지면서 이들 기능성 식품에 대한 관심이 집중되고 있으며 식이섬유소의 생리기능과 섭취방법에 대한 관심도가 높아지고 있는 추세이다.

녹조류의 일종인 청각은 우리나라와 중국, 일본은 물론 필리핀과 하와이, 아프리카 등지에서 식용으로 널리 이용되고 있으며(Champman 1962; Kang 1966; Velasquez 1972; Oh et al. 1990) 오래전부터 민간요법의 구충제로 이용되거나(Kang 1968; Hoppe 1979) 비뇨기 질환 및 비만치료(Tseng and Zhang 1984)에 이용되어 왔다. 또한 청각의 추출물에는 항생작용이 있는 acrylic acid, 항응고 활성물질, 응집소 등이 함유되어 있을 뿐만 아니라 항암 및 항돌연변이 효과와 면역활성 등이 있는 것으로 밝혀져, 약학 및 의학 분야에서도 응용될 수 있는 유용 해조이고 다량의 식이섬유를 함유하고 있어 고지혈증 및 비만치료의 후보물질로서 가능성을 내포하고 있는 녹조류이다(Cho et al. 1990; Rogers et al. 1990; Rogers and Loveless 1991).

따라서 청각이 가지는 고지혈증 및 비만치료 후보물질로서의 가능성에 주목하여 고지혈증으로 인해 손상된 간 기능 및 혈중 지질농도에 미치는 청각추출물의 효과를 실험적으로 규명하고자 본 연구를 실시하였다. 즉, 고지방식으로 사육하여 고지혈증을 유발시킨 rat에 청각추출물을 투여한 후 간 질환의 각종 병태를 파악하는데 가장 중요한 핵심효소인 Aspartate Aminotransferase(AST : 혈청 SGOT), Alanine Aminotransferase(ALT : 혈청 SGPT)의 활성치를 측정하였으며, 고지혈증과 고혈압, 동맥경화증의 중요한 위험인자인 혈청 내 주요 지질 성분인 triglyceride, T. chol.(total cholesterol), LDL. chol.(low-density cholesterol), HDL. chol.(high-density cholesterol) 활성치를 측정하였다. 또한 청각추출물이 고지혈증으로 손상된 간세포에 미치는 영향을 측정하기 위해 전자현미경을 이용하여 간의 조직병리학적 연구를 진행하였다.

나) 실험재료 및 방법

(1) 실험동물 및 식이

실험동물은 평균체중이 $79.29 \pm 1.73\text{g}$ 의 4주된 Sprague Dawley 종 옹성의 흰쥐 32두를 (주) 대한바이오링크에서 구입하여 실험에 사용하였다. 1주간 동물 사육실에서 적응시켰으며, 사육실의 온도와 습도는 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 와 $45 \pm 5\%$ 로 항상 습을 유지하였으며 12시간 마다 조도를 바꾸어 주었다. 식이는 자유로운

환경에서 (주) 수퍼피드상의 고품 사료와 지방간 유발 식이 및 음용수를 섭취하도록 하였다.

(2) 실험군의 분류

1주간의 적응기간이 끝난 후 정상대조군(기본식이 + 증류수), 음성대조군(지방간 유발식이 70% + 기본식이 30% + 증류수), 양성대조군(지방간 유발식이 70% + 기본식이 30% + Blood Circulation Promotion Solution), 실험군(지방간 유발식이 70% + 청각분말 30% + 증류수)의 4개의 군으로 분류하였고 각 군은 8마리의 쥐로 구성하였다(표 42). 각각의 사료는 140g의 고지방 사료(Dyets INC., DYET# 101865 Custom, AIN-76A Based Purified Rat Diet With 15% Palm Oil, 1.5% Cholesterol, and 0.5% Cholic Acid)에 60g의 기본식이 또는 60g의 청각분말을 혼합하여 제조하였고 각 사료 200g을 5주간 매일 자유식이 하게 하였으며 증류수와 BCPS(Blood Circulation Promotion Solution)는 매일 일정한 시간에 주사기를 이용하여 경구 투여하였다.

(3) 청각분말 시료의 조제

청각은 dry oven(60°C, 48h)을 이용하여 완전히 건조한 후 분쇄기(대응분쇄기, 한국)를 이용하여 10mesh 이하의 크기로 분말화한 후 4°C 냉장고에 보관하면서 사용하였다.

(4) 시료의 투여

각 시료는 하루 200g 씩 투여하였고, 음용수는 자유식이 하였다. 양성대조군은 Blood Circulation Promotion Solution(BCPS : Ginkgo biloba extract 120mg과 sodium benzoate 60mg/ml의 혼합물, Cho-A Pharmaceutical Co., Ltd., Seoul)을 사용하였으며 투여량은 사람을 기준으로(매일 60ml/kg)하여 실험동물의 평균 체중을 계산하여 투여하였다. 나머지 군은 증류수를 동량, 동시, 동일방법으로 투여하였다.

(5) 동물부검

사육 마지막 날 동물을 16시간 금식을 시키고 ethyl ether로 약하게 마취시킨 상태에서 복부를 절개하고 주사기를 이용하여 후대정맥에서 3~4ml 혈액을 채혈한 후 즉시 EDTA가 없는 튜브에 분주하여 보관하였다. 채혈직후 간을 적출하여, 즉시 냉각된 생리식염수로 세척하고 여과지로 표면의 물기를 제거한 다음 중량을 측정하였다.

(6) 식이, 음용수 측정 및 체중과 장기의 중량 측정

실험동물의 식이 섭취와 음용수의 측정은 매일 수행하였고 신체 체중 측정은 주마다 실시하였다. 내부 장기의 무게 측정을 위해 채혈 직후 간을 적출하여 즉시 냉각된 생리 식염수로 세척하고 여과지로 표면의 물기를 제거하여 무게를 측정하였으며 무게 측정 후 간은 조직학적 검사를 하기 위해 적출 직후에 일부(1×1×1 cm)를 절편하여 10% 중성 formalin 액에 고정시켰다.

(7) 생화학적 분석

(AST, ALT, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol, Total cholesterol, Triglyceride)

각각의 실험군으로부터 채취한 혈액은 상온에서 30분정도 방치한 후 원심분리 (6000×g, 15 min)하여 혈청을 분리 후 혈청 생화학적 검사를 위해 사용되었다. EDTA free tube에 혈액을 채우고, 30분간 실온에 방치한 후 3,000 rpm의 속도로 15분간 저온(4℃) 원심분리 하여 얻은 혈청을 이용하였다. 분석항목은 간기능 저하의 지표 효소인 aspartate transaminase(AST)은 AST(GOT) kit (Bayer, USA)을 사용하여 측정하였고 alanine transaminase(ALT)은 ALT(GPT) Reagents kit(Bayer, USA)을 사용하여 측정하였다. 또한 총 Cholesterol의 농도는 Cholesterol Reagents kit(Bayer, USA)을 사용하여 자동 생화학 분석기 (ADVIA 1650/2400, Bayer, Japan)를 이용하여 측정하였고, HDL(high-density lipoprotein)은 Direct HDL-Cholesterol Kit(Bayer, USA), LDL(low-density lipoprotein)-cholesterol은 LDL-cholesterol kit(Daiichi, Tokyo Japan)을 사용하여 자동 생화학 분석기(ADVIA 1650, Bayer, Japan)을 이용하여 측정하였으며,

Triglyceride(TG) 농도는 Triglycerides reagents(Bayer)을 사용하여 자동 생화학 분석기(ADVIA 1650/2400, Bayer, Japan)를 이용하여 측정하였다.

(8) 투과전자현미경 (TEM) 시료제작 및 세포조직학적 분석

각각의 군의 흰쥐를 에테르로 흡입마취를 시킨 후 흉강을 연 다음 심장의 좌심실에서 카테타로 혈액을 뽑아냈다. 그 후 생리식염수(0.9% NaCl)를 투여하여 혈액을 씻어내고 고정액(4% paraformaldehyde와 2.5% glutaraldehyde)으로 12시간 고정하였다. 세절한 다음 오스뮴산(OsO₄, 2% Osmium tetroxide)으로 1시간 동안 상온에서 고정 한 다음 수세하였다. 탈수는 에탄올을 농도별로 60분씩 처리하였다. 탈수된 조직은 propylrne oxide로 치환하여 epon resin에 포매해서 incubator(60°C, 72시간)에서 중합하였다. 중합된 조직은 ultramicrotome으로 60~80 nm 두께로 절편을 제작하여 copper grid(300 mesh)부착시킨 다음, 건조시킨 후 1% uranyl acetate에서 15분간 lead citrate로 전자 염색하여 투과 전자현미경(JEM-2000 EXII, 80KV)으로 관찰하였다.

(9) 통계학적 분석

모든 결과들은 평균과 표준편차로 나타내었으며 자료의 통계학적 분석은 SPSS12.0 프로그램을 사용하여 Duncan's multiple range test로 실험군들 간의 유의성을 비교하였다(Zar 1984).

다) 결과 및 고찰

(1) 체중변화량 및 대체중 간비

5주간 고지방 사료를 투여한 후 실험동물의 체중변화를 표 43에 나타내었다. 본 실험에서 정상군과 음성대조군의 최종 체중변화량은 각각 307.11±5.24g과 329.34±19.58g으로 나타났으며, 양성대조군의 최종 체중변화량은 321.83±7.62 g으로 나타난 반면, 청각투여군은 305.39±0.86g으로 나타나 음성대조군의 경우 고지방 식이의 영향으로 인하여 정상대조군에 비해 과체중 현상이 나타나는 것을 볼 수 있었고 청각투여군은 정상군에 가까운 유의성있는 체중변화를

나타내어 청각투여군의 고지방식이에 의한 체중증가 억제 효과를 확인하였다.

본 실험에서 나타난 실험동물의 총 체중 대 간의 무게 비율(대 체중 간 비)을 표 43에 나타내었다. 고지방 식이를 장기적으로 섭취하면 지방간 및 간장의 섬유화로 간이 비대해지게 된다. 간의 증량은 고지방 식이로 인해 간 조직 내에 지질이 축적됨으로써 고지방 식이를 섭취시킨 모든 군에서 증가되었다는 다수의 연구결과가 보고되었는데 본 실험의 결과도 기 제출된 보고와 유사한 경향을 나타내었다. 음성대조군의 대 체중 간 비는 $13.22 \pm 0.64\%$ 로 정상군의 $5.53 \pm 0.45\%$ 와 비교하여 유의적으로 증가하여 지방간 및 간장의 섬유화가 진행되었음을 알 수 있었고 따라서 고지방 식이를 장기 투여하면 간이 비대해진다는 위의 보고와 일치함을 알 수 있었다. 반면 양성대조군은 각각 $12.13 \pm 0.56\%$ 로 약간의 감소치를 나타내었고 시험군의 대 체중 간 비율은 $10.65 \pm 0.79\%$ 를 나타내어 정상군 및 음성대조군과 비교하여 유의성 있는 감소를 나타내었다. 이러한 결과는 장기간 고지방식이를 투여하여 유발된 랫트의 간세포 손상에 청각분말의 복용이 간세포 보호 효과를 나타낸다는 것을 입증하는 의미있는 연구 결과로 사료된다.

(2) AST 및 ALT 활성치 변화량

각 군의 AST 및 ALT 활성치 변화량을 표 44에 나타내었다. 정상군에서의 AST 수치는 $131.50 \pm 24.80 \text{U/L}$ 로 나타난 반면, 음성대조군에서의 수치는 $951.75 \pm 204.80 \text{U/L}$ 로 급격한 증가를 보여 장기간의 고지방식이 섭취로 인한 간 손상을 확인할 수 있었다. 간 질환 치료 및 혈액 순환 개선제를 함께 섭취한 양성대조군에서의 AST 수치는 $787.00 \pm 162.45 \text{U/L}$ 로 약간의 감소를 나타내었으며 청각투여군의 AST 수치는 $662.25 \pm 233.70 \text{U/L}$ 로써, 음성대조군의 AST 수치보다 낮게 측정되었고 정상군의 AST 수치와 유의성을 나타내었다. ALT의 변화량은 정상군에서 $42.25 \pm 10.31 \text{U/L}$ 로 나타났으며, 음성대조군은 $180.00 \pm 17.72 \text{U/L}$ 로 현저히 높게 나타났다. 이 역시 장기간 고지방식이 섭취로 인한 간 손상을 확인할 수 있었고, 양성대조군의 ALT 수치는 $154.00 \pm 75.77 \text{U/L}$ 로 나타났으며 청각투여군의 ALT 수치는 $143.50 \pm 61.21 \text{U/L}$ 로 나타나 음성대조군에 비해 낮은 ALT 수치를 나타냈으며 정상군 및 음성대조군과 비교하여 유의성 있는 결과를 나타내었다.

(3) 총콜레스테롤 및 중성지질의 농도

혈청 내 총콜레스테롤 및 중성지질의 농도를 표 45에 나타내었다. 총콜레스테롤의 양은 정상군이 $55.25 \pm 10.94 \text{mg/dl}$ 로 나타난 반면 음성대조군은 $191.50 \pm 63.98 \text{mg/dl}$ 으로 크게 증가하였고, 양성대조군과 청각투여군은 $130.00 \pm 14.54 \text{mg/dl}$, $132.50 \pm 20.34 \text{mg/dl}$ 로 나타나 양군에서 총콜레스테롤 농도가 유의성 있게 감소함을 볼 수 있다. 혈청 중성지질의 농도는 정상군, 음성대조군, 양성대조군, 청각투여군이 $54.75 \pm 10.87 \text{mg/dl}$, $61.75 \pm 5.19 \text{mg/dl}$, $46.20 \pm 6.45 \text{mg/dl}$, $55.00 \pm 10.30 \text{mg/dl}$ 의 활성치를 나타내어 청각투여군이 음성대조군에 비해 낮은 중성지질의 함량을 나타내어 유의성 있는 결과를 나타내었다.

(4) HDL-cholesterol 및 LDL-cholesterol의 농도

혈청 내 HDL-cholesterol 및 LDL-cholesterol의 농도를 표 45에 나타내었다. HDL-cholesterol은 동맥경화와 혈관장애 개선에 효과가 있고 LDL-cholesterol은 주로 동맥 혈관벽에 콜레스테롤을 축적하여 동맥경화를 일으킬 수 있어 동맥경화증과 심혈관계질환의 발병에 중요한 위험인자로 알려져 있다. 본 실험에서 HDL-cholesterol과 LDL-cholesterol의 변화를 살펴보면, HDL-cholesterol은 정상군에서 $24.25 \pm 2.63 \text{mg/dL}$, 음성대조군과 양성대조군의 경우 $13.50 \pm 1.29 \text{mg/dL}$, $20.00 \pm 1.83 \text{mg/dL}$ 로 나타났으며 실험군의 경우 $17.50 \pm 3.11 \text{mg/dL}$ 로 나타나 정상군과 비교했을 때 30% 이상 유의하게 낮았다. LDL-cholesterol은 정상군($9.50 \pm 1.29 \text{mg/dL}$)과 음성대조군($100.25 \pm 27.44 \text{mg/dL}$)의 차이가 확연하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 양성대조군($55.50 \pm 9.98 \text{mg/dL}$)과 실험군($68.75 \pm 12.53 \text{mg/dL}$)은 음성대조군과 비교했을 때 정상군과 유의성이 있는 수치를 나타내었다. 합초가 직접적으로 혈중 LDL-cholesterol수치를 낮추고 HDL-cholesterol수치를 증가시킴으로써 혈관계질환에 효과가 있음을 알 수 있었다.

Framingham Heart Study사와 미국 NIH기준에서는 심혈관계질환의 위험도 판정에 동맥경화지수와 심장위험지수를 이용한다. 본 실험에서 HDL-cholesterol과 total-cholesterol의 비율(HTR : $\text{HDL-cholesterol} / \text{total-cholesterol}$)과 동맥경화지수의 변화(A.I., atherogenic index : $\text{total-cholesterol} - \text{HDL-cholesterol} / \text{HDL-cholesterol}$), 심장위험지수(C.R.F., cardiac risk factor : $\text{total-cholesterol} /$

HDL-cholesterol)를 살펴보면 HTR은 청각투여군이 음성대조군에 비해 2배나 높음으로 심혈관계 질환의 유발위험성을 감소시킬 수 있음을 알 수 있었고, 동맥경화지수는 음성대조군이 청각투여군보다 약 2배에 달하는 수치를 보였고, 심장 위험지수도 동맥경화지수와 같은 양상을 보였다.

고지혈증은 동맥경화증의 지수로서 소장에서 중성지질의 합성과 chylomicron의 분비를 증가시키고, 간에서 중성지방의 합성을 증가시키며, VLDL-cholesterol, LDL-cholesterol의 합성 및 분비를 증가시키고, HDL-cholesterol 합성 감소 및 lipase 활성을 감소시켜 이로 인한 말초조직에서의 중성지방 제거 감소를 유도하는 것으로 보고되고 있는 바, 본 실험에서도 식이성 고지혈증으로 유도된 쥐가 total-cholesterol, LDL-cholesterol함량이 현저히 증가한 것을 볼 수 있었다.

혈액 중 높은 total-cholesterol, LDL-cholesterol함량이 동맥경화증 등 심장순환기계 질환 유발의 주요인자로 작용하므로 각 개인의 혈중 cholesterol농도를 낮추는 약품과 기능성 물질의 개발에 많은 연구와 노력이 진행되고 있으며 특히 인체에 부작용이 적은 천연물로부터 약제 또는 기능성 물질을 개발하였을 때 그 가치는 대단히 클 것으로 예상된다. 이러한 관점에서 볼 때 본 연구의 결과들은 청각의 천연 고지혈증 치료제 후보물질로서의 가능성을 제시해주는 것으로 사료된다.

(5) 세포조직학적 연구

그림 39는 각 군의 간 세포 조직을 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다. 그림 39A는 정상군의 전자현미경 사진이고, 그림 39B는 음성대조군, 그림 39C는 양성대조군, 그림 39D는 청각을 투여한 실험군의 전자현미경 사진이다.

음성대조군의 전자현미경 사진에서는 장기간의 고지방식이 섭취로 인한 간 조직의 변성이 나타나 있고, 또한 이로 인한 세포질에서의 지방결정 축적을 관찰할 수 있다. 그림 39C는 양성대조군의 결과로서 지방결정과 간조직의 변성이 음성대조군에 비해 감소했음을 보여준다. 그림 39D는 청각투여군의 전자현미경 사진으로 음성대조군의 결과와 비교했을 때 세포질에서의 지방결정의 축적이 상당량 감소함을 보여주며 또한 간 조직의 변성이 정상대조군에 가까울 정도로 줄어들고 있음을 나타내 주는 의미있는 결과를 보여준다.

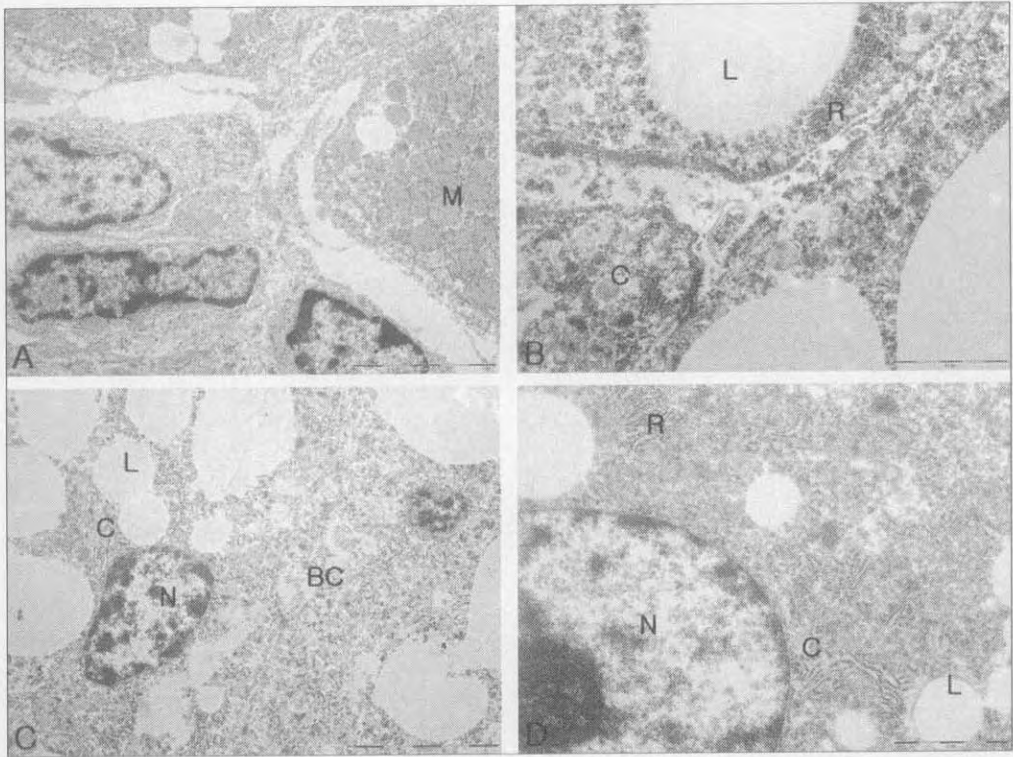


그림 39. 전자현미경을 이용한 간세포의 세포조직학적 관찰.

A. 정상군의 간세포. B. 음성대조군의 간세포: 간 조직 세포질 내 지방 결정 (L)의 축적 확산. C. 양성대조군의 간세포: 정상군과 비슷한 결과를 보여주며 손상된 간세포의 회복 양상을 나타냄. D, 실험군의 간세포: 손상된 간세포의 정상군에 가까운 회복 양상을 보여줌. M: Mitochondria; N: Nucleus of the Hepatocyte; C: Collagen; R: Rough Endoplasmic Reticulum; BC: Bile Canaliculus; L: Lipid Droplet; scale bar = $5\mu\text{m}$, Magnification: $\times 10,000$.

표 42. 실험군의 분류

Groups	No. of rats	Composition of treatments
Normal control group	8	기본식이100% + 증류수
Negative control group	8	지방간 유발식이70% + 기본식이 30% + 증류수
Positive control group	8	지방간 유발식이70% + 기본식이 30% + BCPS*
Experiment treatment group	8	지방산 유발식이70% + 청각분말 30% + 증류수

*BCPS : Blood Circulation Promotion Solution(Ginkgo biloba extract 120mg과 sodium benzoate 60mg/ml의 혼합물, Cho-A Pharmaceutical Co., Ltd., Seoul).

표 43. 각 군의 체중변화량 및 대 체중 간 비

Groups	Change of the body weight(g) after 5 weeks treatment	Liver(% of the body weight) Mean \pm S.D.
	5-0	
Normal control	307.11 \pm 5.24	5.53 \pm 0.45
Negative control	329.34 \pm 19.58*	13.22 \pm 0.64* [‡]
Positive control	321.83 \pm 7.62 [‡]	12.13 \pm 0.56* [‡]
Experimental group	305.39 \pm 0.86*	10.65 \pm 0.79* [‡]

Each value was represented as mean \pm standard deviation for 8 rats. Means with different superscripts within a column are significantly different from the normal control at * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, and significantly from negative control at [‡] $p < 0.01$, [‡] $p < 0.05$.

표 44. AST 및 ALT 농도

Groups	AST	ALT
	Means \pm S.D	Means \pm S.D
Normal control group	131.50 \pm 24.80	42.25 \pm 10.31
Negative control group	951.75 \pm 204.80*	180.00 \pm 17.72*
Positive control group	787.00 \pm 162.45*	154.00 \pm 75.77
Experiment treatment group	662.25 \pm 233.70* [†]	143.50 \pm 61.21

Each value was represented as mean \pm standard deviation for 8 rats. Means with different superscripts within a column are significantly different from the normal control at * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, and significantly from negative control at [†] $p < 0.01$, [‡] $p < 0.05$.

표 45. Total cholesterol 및 Triglyceride 농도

Groups	Total cholesterol	Triglyceride
	Means \pm S.D	Means \pm S.D
Normal control group	55.25 \pm 10.94	54.75 \pm 10.87
Negative control group	191.50 \pm 63.98*	61.75 \pm 5.19
Positive control group	130.00 \pm 14.54** [‡]	46.25 \pm 6.45 [†]
Experiment treatment group	132.50 \pm 20.34*	55.00 \pm 10.30

Each value was represented as mean \pm standard deviation for 8 rats. Means with different superscripts within a column are significantly different from the normal control at * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, and significantly from negative control at [†] $p < 0.01$, [‡] $p < 0.05$.

표 46. HDL cholesterol 및 LDL cholesterol 농도

Groups	HDL	LDL
	Means \pm S.D	Means \pm S.D
Normal control group	24.25 \pm 2.63	9.50 \pm 1.29
Negative control group	13.50 \pm 1.29*	100.25 \pm 27.44*
Positive control group	20.00 \pm 1.83**, [‡]	55.50 \pm 9.98* [‡]
Experiment treatment group	17.50 \pm 3.11* ^{##}	68.75 \pm 12.53* ^{##}

Each value was represented as mean \pm standard deviation for 8 rats. Means with different superscripts within a column are significantly different from the normal control at * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, and significantly from negative control at [‡] $p < 0.01$, [‡] $p < 0.05$.

나. 경제성 분석

1) 청각양식의 경제성 분석

해조류 양식 산업의 중요성은 크게 3가지 측면에서 인식되어야 한다. 첫째, 친환경적 양식 산업으로 부영양염의 흡수원, 자연의 생산력을 이용하는 양식 시스템의 해양 생태계의 1차생산자, 둘째, 천해양식장의 환경수복 및 지구온난화의 주범인 이산화탄소의 흡수원, 셋째, 고칼로리의 영양섭취 시대에 있어 저칼로리의 알칼리성 식품 및 천연의 자연식품이라는 다양한 잠재적 가치를 지니고 있다. 이에 대한 관심은 연구 분야뿐만 아니라 우리들의 실생활에 점점 증대되고 있는 실정이다. 그러므로 해조류 양식업은 산업으로써 그 경쟁력을 확보할 가능성이 매우 높다하겠다. 특히, 새롭게 양식기술이 개발되는 청각양식어업의 경영자는 자신을 경영주체로 인식하여 경영적 사고에 바탕을 두고 양식경영에 임함으로써 다른 양식업과의 차별성을 갖게 될 것이다.

본 연구의 목적은 경영분석에 기초하여 청각양식어업의 손익분석과 경영특성을 조사 분석하여 청각양식어업의 경영자가 경영적 사고의 필요성을 갖도록 하여 청각양식의 산업적인 규모의 활성화를 유도할 수 있도록 하는 것이다.

2) 재료 및 방법

청각양식어업의 경영특성은 크게 종묘생산부분과 양식부분으로 나누어 분석하였다. 청각의 종묘생산과 양식에 참여했던 어가를 통하여 배부·회수한 손익조사서를 이용하여 손익계산서, 공통형 손익계산서, 항목별 민감도분석을 실시하여 조사하였다. 해양수산부 통계자료를 이용하여 청각양식어업의 현황인 청각의 생산구조, 양식현황, 해조류 종별 면허 및 수급구조 등을 조사 분석하였다.

3) 결과 및 고찰

가) 청각 양식 및 유통

(1) 양식 기술 개발 현황

청각 양식은 최근까지도 양식시설물이나 암반에 부착하는 청각들로부터 방출되는 배우자들의 자연채묘에 의존하는 불완전한 양식시스템에 의존해 왔으나, 2000년도 초반부터 인공종묘생산기술개발이 시도되면서 완전양식 시스템이 도입되고 있다. 실제로 2004년 본 연구가 수행되면서 청각종묘생산 기술개발의 일환으로 유성 또는 무성생식법을 이용하는 기술이 개발되면서 현지의 일부 어업인들이 이를 이용하여 효과를 거두고 있다. 현재는 전남 완도군 신지도, 보길도, 진도군, 해남군을 중심으로 청각의 완전양식이 점차 확대되고 있다. 이와 같이 서남해안을 중심으로 청각양식어업이 발달하고 있는 이유는 첫째로 해역특성이 청각 양식에 적합하고, 둘째로는 서남해역이 전통적으로 해조류 양식이 성행한 지역으로써 해조류인 청각 양식기술의 습득이 다른 지역보다 빠르고, 셋째로 국립수산과학원 해조류연구센터가 서남해역인 목포에 위치하기 때문에 양식기술지원이 타 지역에 비해 상대적으로 용이하기 때문이다.

(2) 면허 및 생산현황

청각 생산은 크게 일반해면어업과 천해양식어업으로 구분된다. 표 46과 같이 청각의 2005년도 생산량은 일반해면어업에서 3,083톤이고, 천해양식어업에서 1,597톤이나 이들 모두 자연적으로 부착된 접합자의 채묘에 의한 것으로

불완전한 양식시스템 하에서 생산된 것이다. 그러나 청각 양식만을 단독으로 행하는 어장은 표 47과 같이 거의 전무한 상태로 청각 양식의 대부분이 다른 해조류의 양식장에서 동시에 이루어지거나 다른 해조류가 양식되지 않는 어항기 동안에 주로 이루어지므로 어장의 용이성 증가로 단위 어장당 생산성 향상에 기여할 수 있다.

표 46. 해조류 종별 생산량 (2005, M/T)

종	일반 해면어업	천해 양식어업
청각 (<i>Codium</i>)	3,083	1,597
김 (<i>Porphyra</i>)	13	197,610
꼬시래기 (<i>Gracilaria</i>)	7	-
다시마 (<i>Laminaria</i>)	9	108,327
도박류 (<i>Pachymeniopsis</i>)	128	-
모자반 (<i>Sargassum</i>)	2	-
미역 (<i>Undaria</i>)	4,740	281,871
우뭇가사리 (<i>Gelidium</i>)	3,079	-
풀가사리 (<i>Gloiopeltis</i>)	84	-
툇 (<i>Hizikia</i>)	3,520	30,058
파래 (<i>Enteromorpha</i>)	246	814
기타 해조류	301	879
총	15,212	621,156

표 47. 천해 해조류양식업의 연도별 어업권 현황 (2005, ha,)

종	건 수	면 적
김 (<i>Porphyra</i>)	944	51,894
미역 (<i>Undaria</i>)	499	5,873
다시마 (<i>Laminaria</i>)	390	5,283
파래 (<i>Enteromorpha</i>)	36	2,130
우뭇가사리 (<i>Gelidium</i>)	0	0
툇 (<i>Hizikia</i>)	291	4,001
갈래곰보 (<i>Meristotheca</i>)	0	0
모자반 (<i>Sargassum</i>)	27	228
기타	7	94
총	2,194	69,503

(3) 판매형태 및 유통경로

청각의 판매형태를 보면 일반적으로 해조류와 마찬가지로 비계통판매의 비율이 매우 높다. 이는 김, 미역, 다시마, 파래와 매우 유사한 형태이다. 그러나 툇과 같은 일부 해조류는 판매의 대부분이 계통판매 형태를 띠기도 한다. 청각이 거의 대부분 비계통판매 형태를 띠는 것은 청각양식이 생계위주의 어가경영형태를 띠지 않고, 주요 양식품종과의 복합양식형태로 주로 생산되며, 주로 김치제조의 원료로 공급되며, 그 이용성이 다양하지 못하기 때문인 것으로 보인다.

판매되는 청각제품의 형태는 크게 생체품과 건조품으로 나누어지는데, 생체품은 여름철 냉채용 또는 늦가을 김장용이고, 건조품은 주로 김장용 또는 일부 냉채용으로 이용된다. 건조 청각의 수율은 3-5%정도이며, 청각의 건조상태 및 섶택, 잡물의 혼입을 등이 제품의 품질에 많은 영향을 미친다.

한편, 청각의 유통경로는 일반 해조류와 비슷하나 소비지 도매시장으로의 반출보다는 산지의 수집상으로 직접 유입되는 경우가 대부분이다(그림 40). 여기서 생산자-산지위판장(수집상)-가공공장-도매상의 유통경로가 거의 90% 이상이며, 생산자-산지수집상-소비지 도·소매상-소비자의 유통경로가 내수 기반의 취약으로 10% 미만을 점하고 있다.

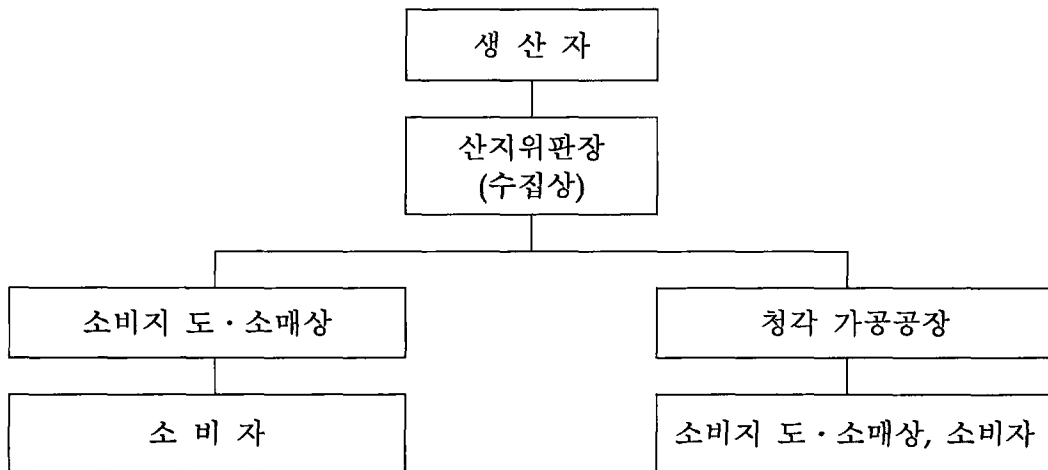


그림 40. 청각의 유통경로.

(4) 청각양식어업의 수급구조

청각에 대한 수급구조를 국내생산 및 수입을 합한 총공급량과 수출 및 국내 소비를 합한 총수요량으로 나누어 조사해보면 표 48과 같다. 생산에서부터 운반, 가공 및 유통과정에서 손실되는 감모량은 해조류의 경우 통상 총공급량의 5% 수준인 것을 감안하면, 국내소비가 대부분으로 나타난다. 청각양식은 내수위주의 양식품종이고 수출은 극히 미진하다는 점을 알 수 있다. 따라서 청각의 판매가 내수에 의존한다고 볼 때, 청각양식어업의 소득 및 가공업자의 수익은 국내의 수요변동에 따라 크게 좌우 된다고 볼 수 있다.

표 48. 청각의 수급구조 (단위: M/T, 생체량)

구분 \ 년	2002		2003		2004		2005		2006	
	해 면	양 식	해 면	양 식	해 면	양 식	해 면	양 식	해 면	양 식
생 산	558	72	27	53	616	142	3,083	1,597	2,875	165
수 입	-		-		-		-		-	
공 급	630		80		758		4,670		2,930	
수 출	-		-		-		-		-	
국내소비	630		80		758		4,670		2,930	

(5) 청각양식에 의한 수입대체 효과

해조류 양식은 노동 집약적 1차 산업으로 양식 경영에 있어 인건비의 구성 비율이 높은 특징을 가지고 있다. 청각 양식의 경우도 마찬가지로 양식 경영에 있어 인건비의 구성비율이 높으면 높을수록 값싼 노동력을 투여할 수 있는 제 3국과의 대외 경쟁력이 낮을 수밖에 없다. 그러나 청각 양식의 경우 인공 종묘생산의 용이성, 양성시설의 간단함, 채취 시의 편리성 및 건조비용이 거의 필요하지 않기 때문에 대외적 경쟁력은 충분하다고 판단된다.

2006년도 해양수산통계 기준 청각의 양식 및 천해 생산량은 약 3,000톤으로 금액으로 환산하면 약 21억원인 것으로 보고되고 있다. 따라서 국내의 청각양

식의 완전기술개발은 새로운 양식 대상종의 기술개발의 우위뿐만 아니라 연간 20억원 이상의 수입대체 효과와 국민들에게 안전한 해조식품을 안정적으로 국내에서 생산하여 공급할 수 있을 것으로 보인다.

나) 청각양식어업의 경영분석

(1) 종묘생산 수지분석

경영자의 생산, 판매, 관리 등 주요 운영에 관한 의사결정이 경영성과에 미친 영향을 밝히고, 그 발생원인을 나타낸 것이 손익계산서이다. 즉 손익계산서는 일정기간의 경영성과를 명백하게 표시하기 위하여 그 기간에 발생한 모든 수익과 이에 대응하는 모든 비용을 한 표에 기재함으로써 순손익의 금액과 그 발생결과를 표시하는 보고서이다. 따라서 손익계산서를 분석하면 경영체의 이익뿐만 아니라 비용구조를 알 수 있다.

손익계산서의 구성항목에 대한 값을 구하기 위하여 청각종묘생산 어가에 배분한 손익조사표를 이용하여 종묘생산으로부터 발생하는 비용을 조사하였다. 그리고 종묘생산의 외로부터 발생하는 부채에 대한 지급이자도 자본조달 내역과 함께 조사하였다. 손익계산서 형식과 조금 다르게 조사한 이유는 수산업계에서 이용하는 손익계산서의 양식이 학계에서 정한 것과 상당한 차이가 있기 때문에 피조사자와 이용자에게 혼란을 줄이고 경영자에게 경영분석의 기초지식을 제공하여 경영자가 양식경영에서 비용관리를 할 수 있는 기초능력을 가질 수 있도록 하기 위함이다.

표 49는 표본으로부터 계산한 청각종묘생산어업(1,000틀 생산 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 청각종묘생산어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 자가노력비가 청각종묘생산에서 차지하는 비중을 나타내기 위하여 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우와 자가노력비를 비용에 포함시킬 경우의 손익계산서를 제시함으로써 양식경영자의 경영에 대한 새로운 인식을 가지게 하였다. 표 50에서 보는 바와 같이 청각종묘생산의 평균자가노력비는 매출액의 12%인 6,000천원에 달한다. 그러므로 양식경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 청각종묘생산의

매출액순이익을 실질매출액순이익을 보다 12%나 과대하게 평가하게 되는 것이다(표 50).

청각종묘 1,000틀의 판매로 발생되는 평균양식수익은 50,000천원이고 자가 노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균종묘생산비용은 17,360천원이다. 이와 같은 종묘생산수익과 종묘생산비용의 평균값은 상대적으로 종묘생산의 규모에 따라 차이를 갖는다.

표 49. 청각 종묘생산의 경제성 분석

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			50,000	
	판매소득	1,000틀	50,000	50,000	
생산비	경영비	시설비	1,000틀	5,000	5,000
		종묘비	100kg	600	60
		부대시설비	-	5,000,000	5,000
		감가상각비	-	500,000	500
		운영관리비	-	500,000	500
		판매수수료	-	300,000	300
		소계			11,360
	자가노력비			6,000	
총계				17,360	
총소득(조수입-경영비)				38,640	
소득율(총소득÷조수입) × 100				77.28%	
순소득(조수입-생산비)				32,640	
이익율(순소득÷조수입) × 100				65.28%	

표 50. 청각 종묘생산의 경제성 분석 (자가노력비 제외)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			50,000	
	판매소득	1,000틀	50,000	50,000	
생 산 비	경 영 비	시설비	1,000틀	5,000	5,000
		종묘비	100kg	600	60
		부대시설비	-	5,000,000	5,000
		감가상각비	-	500,000	500
		운영관리비	-	500,000	500
		판매수수료	-	300,000	300
		소계			11,360
	자가노력비			0	
	총계			11,360	
	총소득 (조수입-경영비)				38,640
소득율 (총소득÷조수입) × 100				77.28%	
순소득 (조수입-생산비)				38,640	
이익율 (순소득÷조수입) × 100				77.28%	

표 51은 청각종묘생산에 대한 각 계정과목의 비율을 나타낸 공통형 손익계산서이다. 청각종묘생산어업에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 자가노력비로서 12%이며, 시설비보다 관리비가 차지하는 비율이 높은 이유는 종묘생산에 소요되는 인건비에 기술적 노력비용이 포함되어 있기 때문이다. 청각종묘생산비용은 양식수익의 34.72%를 차지하였고, 매출액순이익율은 평균 65.28%로 매우 높다.

표 51. 청각 종묘생산어업의 공통형 손익계산서

단위 : %

항 목	평 균
판 매 소 득	1.0000
경 영 비	0.2272
시 설 비	0.1000
종 묘 비	0.0012
부 대 시 설 비	0.1000
감 가 상 각 비	0.0100
운 영 관 리 비	0.0100
판 매 수 수 료	0.0060
총 소 득	0.7728
자 가 노 력 비	0.1200
순 소 득	0.6528

(2) 종묘생산의 민감도 분석

청각종묘생산 경영자는 어떤 요인이 종묘생산이익에 어느 정도 영향을 미치는지를 아는 것이 매우 중요하다. 동일한 변동에 의해서도 요인에 따라 종묘생산이익의 변동은 차이가 있기 때문이다. 따라서 투입변수의 일정한 변동이 산출치에 어떻게 영향을 미치는가, 즉 투입변수의 일정한 변동이 얼마나 민감하게 산출치를 변동시키는가를 분석할 수 있는 민감도분석을 통하여 비용항목의 변동과 수익의 변동이 양식이익에 미치는 영향의 크기를 알 수 있다.

표 52는 비용항목인 시설비, 종묘비, 부대시설비, 운영관리비, 감가상각비, 판매수수료와 종묘생산수익이 다른 항목이 일정하다는 가정하에서 각 항목이 20% 변화할 경우의 종묘생산수익에 대한 종묘생산비용의 비율과 종묘생산 매출이익율의 변화를 나타낸다. 각 항목의 수치가 다르기 때문에 양식규모가 다를 경우에 이해하기 어렵다. 따라서 양식수익에 대한 각 항목의 백분율로 나타내면 양식규모가 결정되면 각 항목의 변화율로 추정하기가 쉽기 때문에 공통형 손익계산서를 제시하였다.

시설비가 20% 감소할 경우에 양식비용 백분율은 5.8% 감소하며, 종묘생산 매출액 순이익율은 3.1% 증가한다. 그리고 감가상각비가 20% 감소할 경우에 종묘생산비용 백분율은 0.6% 감소하며 종묘생산 매출이익율은 0.3% 증가한다. 자가노력비가 20% 감소하면 종묘생산비용 백분율은 6.9% 감소하며 종묘생산 매출이익율은 3.7% 증가한다. 청각종묘생산의 매출액이익율의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 비용은 시설비와 자가노력비이다.

표 52. 청각종묘생산어업의 공통형 손익계산서의 변동

판매소득	-	-	-	-	-	-	-	±20%
시설비	±20%	-	-	-	-	-	-	
종묘비	-	±20%	-	-	-	-	-	
부대시설비	-	-	±20%	-	-	-	-	
감가상각비	-	-	-	±20%	-	-	-	
운영관리비	-	-	-	-	±20%	-	-	
판매수수료	-	-	-	-	-	±20%	-	
자가노력비	-	-	-	-	-	-	±20%	
생산비	±5.8	±0.07	±5.8	±0.6	±0.6	±0.3	±6.9	
순소득	±3.1	±0.4	±3.1	±0.3	±0.3	±0.2	±3.7	

(3) 양식생산 수지분석

경영자의 생산, 판매, 관리 등 주요 운영에 관한 의사결정이 경영성과에 미친 영향을 밝히고, 그 발생원인을 나타낸 것이 손익계산서이다. 즉 손익계산서는 일정기간의 경영성과를 명백하게 표시하기 위하여 그 기간에 발생한 모든 수익과 이에 대응하는 모든 비용을 한 표에 기재함으로써 순손익의 금액과 그 발생결과를 표시하는 보고서이다. 따라서 손익계산서를 분석하면 경영체의 이익률뿐만 아니라 비용구조를 알 수 있다.

손익계산서의 구성항목에 대한 값을 구하기 위하여 청각양식생산 어가에 배분한 손익조사표를 이용하여 양식생산으로부터 발생하는 비용을 조사하였다. 그리고 양식생산의 외로부터 발생하는 부채에 대한 지급이자는 자본조달 내역과 함께 조사하였다. 손익계산서 형식과 조금 다르게 조사한 이유는 수산업계에서 이용하는 손익계산서의 양식이 학계에서 정한 것과 상당한 차이가 있기 때문에 피조사자와 이용자에게 혼란을 줄이고 경영자에게 경영분석의 기초지식을 제공하여 경영자가 양식경영에서 비용관리를 할 수 있는 기초능력을 가질 수 있도록 하기 위함이다.

표 53은 표본으로부터 계산한 청각양식생산어업(100대/ha 양식 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 청각양식생산어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 자가노력비가 청각양식생산에서 차지하는 비중을 나타내기 위하여 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우와 자가노력비를 비용에 포함시킬 경우의 손익계산서를 제시함으로써 양식경영자의 경영에 대한 새로운 인식을 가지게 하였다. 표 54에서 보는 바와 같이 청각양식생산의 평균자가노력비는 매출액의 13.3%인 8,000천원에 달한다. 그러므로 양식경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 청각양식생산의 매출액 순이익을 실질매출액 순이익을 보다 13.3%나 과대하게 평가하게 되는 것이다.

청각양식 100대의 생산판매로 발생하는 평균양식수익은 60,000천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균양식생산비용은 24,300천원이다. 이와 같은 양식생산수익과 양식생산비용의 평균값은 상대적으로 양식생산의 규모에 따라 차이를 갖는다.

표 53. 청각양식생산의 경제성 분석

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			60,000	
	양식소득	100,000kg	600	60,000	
생산비	경영비	시설비	100틀 (대)	50,000	5,000
		종묘비	100틀 (대)	50,000	5,000
		부대시설비	-	5,000,000	5,000
		감가상각비	-	500,000	500
		운영관리비	-	500,000	500
		판매수수료	-	300,000	300
		소계			16,300
	자가노력비			8,000	
	총계			24,300	
총소득 (조수입-경영비)				43,700	
소득율 (총소득+조수입)×100				72.83%	
순소득 (조수입-생산비)				35,700	
이익율 (순소득÷조수입)×100				59.5%	

표 54. 청각양식생산의 경제성 분석 (자가노력비 제외)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			60,000	
	양식소득	100,000kg	600	60,000	
생산비	경영비	시설비	100틀 (대)	50,000	5,000
		종묘비	100틀 (대)	50,000	5,000
		부대시설비	-	5,000,000	5,000
		감가상각비	-	500,000	500
		운영관리비	-	500,000	500
		판매수수료	-	300,000	300
		소계			16,300
	자가노력비			0	
	총계			16,300	

총소득 (조수입-경영비)	43,700
소득율 (총소득÷조수입) × 100	72.83%
순소득 (조수입-생산비)	43,700
이익율 (순소득÷조수입) × 100	72.83%

표 55는 청각양식생산에 대한 각 계정과목의 비율을 나타낸 공통형 손익계산서이다. 청각양식생산어업에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 자가노력비로서 13.3%이며, 시설비보다 관리비가 차지하는 비율이 높은 이유는 양식생산에 소요되는 인건비에 기술적 노력비용이 포함되어 있기 때문이다. 청각양식생산비용은 양식수익의 40.5%를 차지하여 매출액 순이익율은 평균 59.5%로 매우 높다.

표 55. 청각양식어업의 공통형 손익계산서

단위 : %

항 목	평 균
판매소득	1.0000
경영비	0.2716
시설비	0.0833
종묘비	0.0833
부대시설비	0.0833
감가상각비	0.0083
운영관리비	0.0083
판매수수료	0.0050
총소득	0.7283
자가노력비	0.1333
순소득	0.5950

(4) 양식생산의 민감도 분석

청각양식생산 경영자는 어떤 요인이 양식생산이익에 어느 정도 영향을 미치는지를 아는 것이 매우 중요하다. 동일한 변동에 의해서도 요인에 따라 양식생산이익의 변동은 차이가 있기 때문이다. 따라서 투입변수의 일정한 변동이 산출치에 어떻게 영향을 미치는가, 즉 투입변수의 일정한 변동이 얼마나 민감하게 산출치를 변동시키는가를 분석할 수 있는 민감도분석을 통하여 비용항목의 변동과 수익의 변동이 양식이익에 미치는 영향의 크기를 알 수 있다.

표 56은 비용항목인 시설비, 종묘비, 부대시설비, 운영관리비, 감가상각비, 판매수수료와 양식생산수익이 다른 항목이 일정하다는 가정하에서 각 항목이 20% 변화할 경우의 양식생산수익에 대한 양식생산비용의 비율과 양식생산 매출이익율의 변화를 나타낸다. 각 항목의 수치가 다르기 때문에 양식규모가 다를 경우에 이해하기 어렵다. 따라서 양식수익에 대한 각 항목의 백분율로 나타내면 양식규모가 결정되면 각 항목의 변화율로 추정하기가 쉽기 때문에 공통형 손익계산서를 제시하였다.

시설비, 종묘비, 부대시설비가 20%씩 감소할 경우에 양식비용 백분율은 각각 4.1% 감소하며, 양식생산 매출액 순이익율은 2.8% 증가한다. 그리고 감가상각비, 운영관리비가 20%씩 감소할 경우에 양식생산비용 백분율은 0.4% 감소하며 종묘생산 매출이익율은 0.3% 증가한다. 자가노력비가 20% 감소하면 양식생산비용 백분율은 6.6% 감소하며 양식생산 매출이익율은 4.5% 증가한다. 청각양식생산의 매출액이익율의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 비용은 시설비, 종묘비, 부대시설비와 자가노력비이다.

표 56. 청각양식어업의 공통형 손익계산서의 변동

판매소득	-	-	-	-	-	-	-	±20%
시설비	±20%	-	-	-	-	-	-	
종묘비	-	±20%	-	-	-	-	-	
부대시설비	-	-	±20%	-	-	-	-	
감가상각비	-	-	-	±20%	-	-	-	
운영관리비	-	-	-	-	±20%	-	-	
판매수수료	-	-	-	-	-	±20%	-	
자가노력비	-	-	-	-	-	-	±20%	
생산비	±4.1	±4.1	±4.1	±0.4	±0.4	±0.2	±6.6	
순소득	±2.8	±2.8	±2.8	±0.3	±0.3	±0.2	±4.5	

다) 청각양식어업의 경영개선방안

(1) 수익증대방안

청각양식어업은 생계위주의 어가경영형태를 띠고 있고, 단일 양식보다 주양 식품종과 병행하여 생산되는 복합 양식적 성격을 가지고 있으므로 대량생산의 이점을 누리거나 높은 경제성을 지니기 어려운 점도 있으나, 청각양식은 다른 해조류 양식 대상종에 비해 비교적 간단한 방법으로 종묘생산이 가능하고 양성법도 단순하여 양식경영비용이 적다는 이점뿐만 아니라 여름철 고수온기 어한기 어장의 활용도를 높임으로써 단위 어장당 생산성의 극대화로 수익증대에 일조 할 수 있다. 그리고 청각의 양식은 친승과 친승 사이의 간격을 1m 이내로 하여도 양식 생산하는데 별다른 문제가 없어 다른 해조류의 양식에 비해 단위 어장당의 생산성을 매우 높일 수 있는 장점을 가지고 있다. 청각의 수확시기는 여름철 고수온기에 주로 이루어지므로 자연의 일기를 활용하여 단시간내에 업체의 건조작업을 수행할 수 있어 추가적인 건조비용이나 인건비 절약에 매우 유리한 점을 가지고 있다. 또한 청각은 여름철 고수온기에 생체량이 최대치에 도달하기 때문에 여름철 고수온기 부족되고 있는 전복먹이 공급을 위한 해조류로 대체 활용할 수 있어 새로운 소득원이 될 수 있다.

청각 양식산업의 활성화와 지속적인 발전을 유도하기 위해서는 청각양식 어업인의 의식전환이 필요하다. 적정 양식생산으로 적정 공급과 수요를 충족시키면서 일정 수익을 얻을 수 있는 계획생산을 위한 양식시스템을 구축해야 할 것이며, 국내외의 다양한 형태의 소비를 촉진할 수 있는 다양한 제품의 개발 또는 유용성에 대한 홍보 등을 통하여 지속적인 소비를 유도해야 할 것이다.

(2) 청각양식과 미역양식의 단위면적당 수익성 비교

표 57은 표본어가로부터 계산된 미역양식생산어업(20대/ha 양식 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 미역양식생산어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 계정과목에 자가노력비를 포함시킨 손익계산서를 제시함으로써 표 53의 청각양식생산 경제성과 미역양식생산의 경제성을 직접 비교하였다. 표 53에서 보는 바와 같이 청각양식생산의 평균 자가노력비는 매출액의 13.3%인 8,000천원에 달한다. 그러므로 양식경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 청각양식생산의 매출액 순이익을 실질매출액 순이익을 보다 13.3%나 과대하게 평가하게 되는 것이다. 반면에 표 57의 미역양식생산의 평균자가노력비는 매출액의 28.5%인 800천원에 달하여 청각양식생산에 있어 자가노력비 보다 훨씬 높았다.

청각양식 ha당 100대의 생산판매로 발생하는 평균양식수익은 60,000천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균양식생산비용은 24,300천원이다. 즉, 청각양식 100대/ha기준 순이익은 청각양식의 평균양식수익 60,000천원에서 자가노력비를 포함시킨 평균양식생산비용 24,300천원을 뺀 35,700천원이 된다. 미역 양식 20대/ha기준 순이익은 미역양식의 평균양식수익 2,800천원에서 자가노력비를 포함시킨 평균양식생산비용 2,304천원을 뺀 496천원이 된다.

청각양식과 미역양식의 순이익을 단순히 ha당 기준으로만 비교하면 청각양식의 경우가 미역양식 보다 순이익에서 약 70배 정도 높은 소득을 내는 것으로 분석되었고, 대당 기준으로 순이익을 비교하면 청각양식의 경우 대당 357천원이었고, 미역양식의 경우 대당 약 25천원으로 대당 청각양식이 미역양식의 약 14배 높은 순이익을 내는 것으로 분석되었다.

표 57. 미역양식생산의 경제성 분석

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			2,800	
	양식소득	28,000kg	100	2,800	
생 산 비	경 영 비	시설비	20틀 (대)	45,000	900
		종묘비	20틀 (대)	20,000	400
		부대시설비	-	600,000	600
		감가상각비	-	54,000	54
		운영관리비	-	320,000	320
		판매수수료	-	30,000	30
		소계			1,504
	자가노력비			800	
	총계			2,304	
	총소득 (조수입-경영비)				1,342
소득율 (총소득÷조수입)×100				60%	
순소득 (조수입-생산비)				496	
이익율 (순소득÷조수입)×100				18%	

(3) 내수시장 확대방안

내수시장의 확대를 위한 선결요건은 소비자의 기호에 맞는 다양한 소비제품의 개발과 홍보이다. 청각은 현재 김치의 첨가물과 여름철 냉채외에는 거의 다른 형태의 소비가 이루어지고 있지 않는 상황으로 특별한 제품이 개발되지 않는 한 내수기반의 확충은 상당히 어려운 실정이다.

표 58. 청각의 일반성분

구 성 (%)	생 체	건 조
수 분	95.1	10.0
단백질	1.7	13.8
지 방	0.3	0.8
회 분	0.5	22.6
탄수화물	2.4	52.8

청각의 일반성분을 보면 표 58과 같이 생체의 경우 수분이 대부분을 차지하고 있으며, 다음으로 탄수화물이 2.4%로 높고, 건조체의 경우 탄수화물이 52.8%로 가장 높으며, 다음으로 회분이 22.6%로 높다.

표 59. 청각의 무기질, 비타민 및 식이섬유

구 분	구 성	mg/100g (건중량)
무기염류	Ca	40
	P	18
	Fe	4.6
비타민	B ₁	0.01
	Niacin	1.4
	B ₂	0.05
	C	9
식이섬유	불용성	29.4
	수용성	6.5
	Cellulose	4.9
	Lignin	1.6

청각의 무기염류 함량은 표 59에서 보는 바와 같이 칼슘의 함량이 40mg/100g (건중량)으로 매우 높으며, 비타민에 있어서는 비타민 C의 함량이 9mg/100g (건중량)으로 높다. 그리고 식이섬유는 불용성의 부분이 29.4%로 식이섬유의 대부분을 차지한다.

표 60. 청각의 아미노산 함량

종 류	mg/100g (건중량)
Isoleucine (Ile)	312
Leucine (Leu)	564
Lysine (Lys)	368
Methionine (Met)	150
Cystine (Cys)	81
Phebylalanine (Phe)	448
Tyrosine (Tyr)	255
Threonine (Thr)	342
Tryptophan (Trp)	96
Valine (Val)	477
Histidine (His)	295
Arginine (Arg)	408
Alanine (Ala)	515
Aspartic acid (Asp)	649
Glutamic acid (Glu)	871
Glycine (Gly)	352
Proline (Pro)	340
Serine (Ser)	339
Taurine (Tau)	18
Total	6,880

이상과 같이 청각은 칼슘, 인, 철의 무기염류, 비타민 C, niacin 및 식이섬유가 풍부할 뿐만 아니라 표 60에서와 같이 다양한 아미노산이 함유되어 있어 이상적인 기능성 식품이라 할 것이다. 이러한 다양한 기능성분을 다량 함유하고 있는 청각을 이용해 일반 소비자들이 선호할 수 있는 건강 또는 기능성 식품이 개발되면 내수시장에서의 저변확대는 그리 어렵지 않을 것으로 생각된다.

한편 내수시장의 확대방안으로서 이상과 같은 제품개발을 통한 시판외에 군납 및 학교급식 품목으로 선정하여 일정량을 안정적으로 소비할 수 있는 방안을 강구한다면 청각양식의 대량생산체제의 돌입으로 단일 양식산업으로의 발전도 가능하리라고 본다.

제4장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구목표 및 내용

1. 연구목표

- 청각의 대량 생산을 위한 양식 기술 개발
- 해조류 양식 대상종의 다변화로 해조양식산업의 구조개선 및 고부가가치 창출로 양식 어업인의 소득증대에 기여

- 가. 청각 개체군의 생리·생태학적 특성을 파악
- 나. 청각의 유성·무성 생식방법을 이용한 인공종묘 생산 기술 개발
- 다. 청각 양식을 위한 적정 인공채묘, 가이식, 양성 기법의 확립
- 라. 청각의 고부가가치적 이용을 위한 청각 추출물을 이용한 고지혈증 예방 및 개선 효과 파악
- 마. 청각 양식을 통한 어가의 수익률 증대 효과 파악

2. 연구내용

가. 청각 개체군의 생리·생태학적 특성 연구

- 청각 개체군의 생태적 특성 : 개체군의 서식지 환경, 개체군의 생장 및 성숙
- 청각 개체군의 생리적 특성 : 광·온도에 따른 생장, 광질에 따른 생장, 광·온도·광주기에 따른 배우자낭 형성 및 성숙, 광·온도에 따른 형태 형성, 물리적 유동에 따른 형태형성, 광질에 따른 형태형성

나. 청각의 생식방법별 배양환경 연구

- 유성생식을 이용한 배우자 방출 및 접합자 배양 : 배우자 방출량의 정량화, 조도조건별 접합자의 배양, 온도조건별 접합자의 배양

- 무성생식을 이용한 분리수사에 의한 재생 : 청각 1g 중량당 포낭의 수 정량화, 호모게나이저의 회전속도별 분리수사의 재생, 온도조건별 분리수사의 성장 및 재생, 조도조건별 분리수사의 성장 및 재생

다. 청각의 양식학적 연구

- 인공채묘 : 접합자 및 분리수사의 인공채묘, 채묘방법별 성장 및 채묘 효과, 채묘기질별 성장 및 채묘효과, 접합자와 분리수사의 채묘효율 비교, 채묘 후 실내배양일수에 따른 가이식 효과, 적정 가이식장 조건 파악
- 기이식 : 유성 및 무성생식방법별 가이식 효과 비교, 가이식 기간 중 청각의 성장도, 가이식 기간 중 해적생물 조사
- 양성 : 적정 양성어장 조건 파악, 양성 기간중 청각의 성장도, 청각의 건조수율, 청각 양식의 매뉴얼

라. 청각의 이용 및 경제성 분석

- 이용 : 청각의 고부가가치적 이용을 위한 청각 추출물을 이용한 고지혈증 예방 및 개선 효과 파악
- 경제성 분석 : 청각 양식을 통한 어가의 수익률 증대 효과 파악

제 2 절 평가 착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척도(점수)
1차년도(2004)	○ 청각 개체군의 생태·생리적 특성 파악 ○ 청각의 성숙 및 재생 기작 파악	30
2차년도(2005)	○ 청각의 유성·무성생식별 인공채묘조건 구명 ○ 적정 실내배양 및 가이식 기법 확립	40
3차년도(2006)	○ 청각 적정 양성 기법 확립 ○ 청각의 이용 및 경제성 분석	30
최종평가		100

제 3 절 목표 달성도 및 관련분야 기여도

1. 연구 개발 목표의 달성도

본 연구과제의 목표에 대한 달성도는 백퍼센트 달성되었다고 판단된다. 본 연구과제 수행을 통하여 생산된 실적은 다음과 같다.

- 특허등록(10-0722339) : 국내 1건(청각의 인공 종묘의 생산방법 및 청각의 배양방법)
- 전문학회지 논문 게재 : 국내 2건, 국외 2편(SCI 2편, 인쇄 중)
- 학회 및 세미나 발표 : 국내 5건, 국외 2건
- 인력양성 : 석사 2명(1명 과정 중)
- 수상 : 국제해조류학회 우수논문상(The green alga, *Codium fragile*, cultivation by artificial seed production in Korea)

2 관련분야 기여도

가. 학문적 활용에 대한 기여도

- 녹조류, 특히 낭상체균의 해조류 양식 기술에 본 연구결과들을 활용한다면 유익한 정보들을 확보할 수 있을 것으로 본다. 본 연구에서 얻어진 청각양식 기술 개발에 관한 내용들은 미이용 유용 해조류의 양식 기술 개발에 필요한 정보 및 기초 자료로 그 활용도가 높을 것으로 생각하며, 또한 이와 같은 결과들은 우리 나라의 해조류 양식학 분야의 학문적 발전에도 기여할 것으로 본다.

나. 경제·사회적 활용에 대한 기여도

- 우리나라의 천해양식어업에 종사하는 어업인의 대다수는 생활의 근간을 해조류의 양식에 두고 있고, 영세성을 면치 못하고 있는 실정에서 고부가가치 있는 유용 양식대상 해조류에 대한 기술 개발 및 이들의 양식 산업화는 대다수 영세 천해양식 어업인들의 어가경영에 큰 도움을 주기 때문에 유용 해조류에 대한 양식 기술 개발은 천해 양식어업에 종사하는 영세한 어업인들의 대다수를 위해서 반드시 필요하며 지속적으로 확대되어 나아가야 할 것으로 본다. 따라서 본 청각의 대량 생산을 위한 양식 기술 개발은 우리 나라 천해양식 어업 특히, 해조류 양식어업에 종사하는 어업인들에게 경제·사회적으로 크게 기여할 것으로 본다.

다. 교육·홍보에 대한 기여도

- 본 연구의 결과들은 천해양식어업에 종사하는 어업인들을 대상으로 하는 수산 양식분야의 교육자료로 활용함으로써 해조류 양식의 이론과 실제를 교육하는데 활용하여도 손색이 없을 것이다. 특히, 청각 양식 또는 중요생산을 하고자하는 어업인들에게 필요한 청각양식의 교본으로 활용될 것으로 기대된다.
- 본 연구와 관련하여 몇 차례 실시한 홍보에서 청각 양식에 대해 관심을 표명할 수 많은 어업인들이 있었으며, 실제로 몇몇 어업인들은 내방하여 중요생산 기술을 전수 받아가기도 하였다. 이와 같은 사실은 해조류 양식 분야에 종사하고 있는

많은 어업인들이 유용 해조류에 대한 양식 기술 개발에 큰 관심을 가지고 있다는 것을 반영한다 하겠다. 본 청각 대량 생산을 위한 양식 기술 개발과 같은 연구 결과들은 양식산업 현장에서 직접적으로 적용하며 응용할 수 있는 것들로 대어업인들을 대상으로 한 수산양식기술개발부분의 홍보에 크게 기여할 것으로 본다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 활용계획

본 연구에서 얻어진 결과의 활용계획은 다음과 같다.

1. 청각의 인공양식기술을 매뉴얼화하여 보급함으로써 청각양식의 산업화 유도
2. 청각의 안정적인 완전양식에 의한 높은 부가가치창출로 해조류 양식어가의 경영 경쟁력 확보
3. 해조류 양식 대상종의 다변화를 유도함으로써 해조양식 산업의 구조개선에 활용
4. 청각의 완전양식기술을 다양한 미이용 유용 해조류의 인공양식기술 개발에 활용
5. 청각의 대량생산에 연계한 다양한 가공제품의 개발, 청각 추출물을 활용한 건강보조식품의 개발, 다양한 의약품의 원료 추출에 관계된 바이오산업에 활용
6. 청각의 인공양식은 부영양염의 제거, 다양한 기질 및 지역의 해중립 조성, 여름철 고수온기 전복의 보조먹이원의 확보에 활용

제 2 절 추가연구의 필요성

본 연구를 통하여 청각의 대량생산이 가능하게 되어 단순식용의 냉채 또는 김치의 첨가물로써 뿐만 아니라 청각을 이용한 다양한 가공품의 개발, 청각에 다량으로 함유되어 있는 생리활성물질을 이용한 다양한 건강보조식품 또는 의약품의 개발에 필요한 연계산업적 측면의 추가적인 연구를 통하여 청각의 대량생산과 안정적 소비로 청각 양식이 고부가 해조양식산업으로 자리매김 될 수 있도록 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

제 6 장 참고문헌

- Abott, I.A. 1988. Food and food products from seaweeds. In Lembi, C.A. Waaland, J.R. (eds) *Algae and human affairs*. Cambridge Univ. Press, New York.
- Arasaki, S., Tokuda, H. and Fujitama, K. 1956. The reproduction and morphogeny in *Codium fragile*. *Bot. Mag. Tokyo* 69: 39~44.
- Benson, E.E., Rutter, J.C. and Cobb, A.H. 1983. Seasonal variation in frond morphology and chloroplast physiology of the intertidal alga *Codium fragile* (Suringar) Hariot. *New Phytol.* 95: 569~580.
- Borden, C.A. and Stein, J.R. 1969. Reproduction and early development in *Codium fragile* (Suringar) Hariot: Chlorophyceae. *Phycologia* 8: 91~99.
- Cameron-Smith, D., Habito, R., Barnett, M. and Collier, G.R. 1997. Dietary guar gum improves insulin sensitivity in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Nutr.* 127: 359~364.
- Campbell, J.S. 1999. Occurrence of *Codium fragile* subsp. *tomentosoides* (Chlorophyta: Bryopsidales) in marine embayments of southeastern Australia. *J. Phycol.* 35: 938~940.
- Carlton, J.T. and Scanlon, J.A. 1985. Progression and dispersal of an introduced alga: *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta) on the Atlantic coast of North America. *Bot. Mar.* 28: 155~165.
- Castelli, W.P., Wilson, P.W., Levy, D. and Anderson, K. 1990. Serum lipids and risk of coronary artery disease. *Atheroscl. Rev.* 21: 7~10.
- Chapman, V.J. 1962. *The Algae*. St Martin's Press Inc. New York. 94~104pp.
- Cho, K.J., Lee, Y.S. and Ryu, B.H. 1990. Antitumor effect and immunology activity of seaweeds toward sarcoma-180. *Bull. Korean Fish. Soc.* 23: 345~352.
- Cho, S.H. and Ha, T.Y. 2004. *In vitro* and *In vivo* effects of prosomillet and sorghum on cholesterol metabolism. *Food Sci. Biotechnol.* 12: 485~490.
- Churchill, A.C. and Moeller, H.W. 1972. Seasonal patterns of reproduction

- in New York populations of *Codium fragile* (Sur.) Hariot subsp. *tomentosoides* (Van Goor) Silva. *J. Phycol.* 8: 147~152.
- Coffin, G.W. and Stickney, A.P. 1966. *Codium* enters Marine waters. *Fish. Bull.* 66: 159~161.
- Dring, M.J. 1982. Morphogenesis of marine plants. In: *The Biology of Marine Plant*. Thomson Litho Ltd. East Kilbride, Scotland, 92~118pp.
- Duke C.S., W. Litaker and J. Ramus. 1989. Effects of temperature, nitrogen supply and tissue nitrogen on ammonium uptake rates of the Chlorophyta seaweeds *Ulva carva* and *Codium fragile*. *J. Phycol.* 25: 113~120.
- Fralick, R.A. and Mathieson, A.C. 1972. Winter fragmentation of *Codium fragile* (Suringar) Hariot subsp. *tomentosoides* (van Goor) Silva (Chlorophyceae, Siphonales) in New England. *Phycologia* 11: 67~70.
- Fralick, R.A. and Mathieson, A.C. 1973. Ecological studies of *Codium fragile*. *Mar. Biol.* 19: 127~132.
- Gerard, V.A., Dunham, S.E. and Rosenberg, G. 1990. Nitrogen-fixation by cyanobacteria associated with *Codium fragile* (Chlorophyta): environmental effects and transfer of fixed nitrogen. *Mar. Biol.* 105: 1~8.
- Glombitza, K.W. 1969. Antibiotics from algae. In (eds.) Hoppe HA, T Levring and Y Tanaka. *Marine Algae in Pharmaceutical Science*. Walter de Gruyter. New York. 301~342pp.
- Goldstein, J.L. and Brown, M.S. 1975. Familial hypercholesterolemia. A genetic regulatory defect in cholesterol metabolism. *Am J. Med.* 58: 147~152.
- Hanisak, M.D. 1979. Physiological ecology of *Codium fragile* subsp. *tomentosoides*. Ph.D. thesis. Univ. of Rhode Island. 148pp.
- Harris, P.J., Robertson, A.M., Watson, M.E., Triggs, C.M. and Ferguson, L.R. 1993. The effects of soluble-fiber polysaccharides on the adsorption of a hydrophobic carcinogen to an insoluble dietary fiber. *Nutr. Cancer.* 19: 43~54.
- Head, W.D. and E.J. Carpenter. 1975. Nitrogen fixation associated with the marine macroalga *Codium fragile*. *Limnol. Oceanogr.* 20: 815~823.

- Hoppe, H.A. 1979. Marine algae and their products and constituents in pharmacy. In (eds.) Hoppe HA, Levring T and Y Tanaka. Marine Algae in Pharmaceutical Science. Walter de Gruyter. New York. 28~29pp.
- Hwang, E.K., Baek, J.M. and Park, C.S. 2005a. Artificial seed production methods in *Codium fragile* (Chlorophyta). *Bull. Kor. Fish. Soc.* 38: 164~171.
- Hwang, E.K., Baek, J.M. and Park, C.S. 2005b. Artificial seed production and nursery culture conditions using regeneration of isolated utricles and medullary filaments of *Codium fragile* (Suringar) Hariot. *Bull. Kor. Fish. Soc.* 38: 393~398.
- Hwang, E.K., Baek, J.M. and Park, C.S. 2007. Green alga, *Codium fragile* (Suringar) Hariot cultivation by artificial seed production in Korea. *J. Appl. Phycol.* (in press).
- Indergaard, M. 1983. The aquatic resource. I. The wild marine plants: a global bioresource. In (ed.) Cote, W.A. Biomass utilization. Vol. Plenum Publishing Corporation, 137~168.
- Kang, J.W. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Busan Fish. Coll.* 7: 1~125.
- Kang, J.W. 1968. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 8. Marine algae. Ministry of education. Seoul. 465pp.
- Kannel, W.B., Dawber, T.R. and Frieman, G.D. 1964. Risk factor in coronary heart disease continuous and grade; Primary screens of multiple risk factor intervention trial (MEFIT). *JAMA.* 256: 2853~2870.
- Kapraun, D.F. and Martin, D.J. 1987. Karyological studies of three species of *Codium* (Codiales, Chlorophyta) from coastal North Carolina. *Phycologia* 26: 228~234.
- Katayama, T. 1964. Biochemical significance of the existence of acrylic acid in algae. *Jap. Soc. Phycol.* 12: 14~19.
- Kim, N.G. 1988. On the morphology of utricles and the producing period of gametangia in *Codium fragile* (Suringar) Hariot on the coast of

- Chungmu. *Bull. Tong-Yeong Fish. Jr. Coll.* 23: 77~83.
- Kim, N.G., Won, Y.I. and Sohn, C.H. 1989. Morphology of utricles and maturing period in *Codium fragile* (Suringar) Hariot. *Korean J. Aquaculture* 2: 33~41.
- Korea National Statistical Office. 2002. Annual Report of the Cause of Death Statistics.
- Lee, J.S., Ahn, K.H. and Park, K.J. 2005a. Ameliorative effects of pine needle oil on liver protection and lipid metabolism of alcohol fed rats. *Food Sci. Biotechnol.* 14: 99~101.
- Lee, J.S., Kim, H.Y., Park, K.J. and Lee, H.H. 2005b. Effects of soybean embryo on liver protection and lipid metabolism of alcohol-fed rats. *Food Sci. Biotechnol.* 14: 102~107.
- Lee, J.S., Lee, G.S. and Shin, H.K. 1997. Effects of chicory extract on the serum glucose and lipid metabolism in streptozotocin - induced diabetic rats. *Korean J Nutr.* 30: 781~788.
- Lim, H.J., Chol, K.H. and Cho, R.W. 2005. The Effects of functional tea supplement with medical nutrition therapy on the blood lipid levels and antioxidant status in subjects with hyperlipidemia. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 34: 42~56.
- Lobban, C.S., Harrison, P.J. and Duncan, M.J. 1985. The physiological ecology and seaweeds. Cambridge Univ. Press. Cambridge, 242pp.
- Lusis, A.J. 1988. Genetic factors affecting blood lipoproteins: the candidate gene approach. *J. Lipid Res.* 29: 397~429.
- Malinowski, K.C. and Ramus, J. 1973. Growth of the green alga *Codium fragile* in a Connecticut estuary. *J. Phycol.* 9: 102~110.
- Moeller, H.W. 1969. Ecology and life history of *Codium fragile* subsp. *tomentosoides*. Ph.D. Thesis, Rutgers Univ., New Brunswick, 129pp.
- Nanba, N., Kado, R., Ogawa, H. and Komuro, Y. 2002. Formation and growth of filamentous thalli from isolated utricles with medullary filaments of *Codium fragile* spongy thalli. *Aquatic Bot.* 73: 255~264.

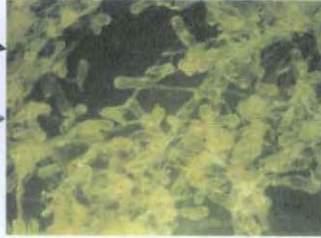
- Nanba, N., Kado, R., Ogawa, H., Nakagawa, T. and Sugiura, Y. 2005. Effects of irradiance and water flow on formation and growth of spongy and filamentous thalli of *Codium fragile*. *Aqua. Bot.* 81: 315~325.
- Oh, Y.S., I.K. Lee and S.M. Boo. 1990. An annotated account of Korean economic seaweeds for food, medical and industrial uses. *Korean J. Phycol.* 5: 57~71.
- Oh, Y.S., Y.P. Lee and I.K. Lee. 1987. A taxonomic study on the genus *Codium*, Chlorophyta, in Cheju island. *Korean J. Phycol.* 2: 61~72.
- Park, C.S. and Sohn, C.H. 1992. Effects of light and temperature on morphogenesis of *Codium fragile* (Suringar) Hariot in laboratory culture. *Korean J. Phycol.* 7: 213~223.
- Provasoli, L. 1966. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In: Watanabe, A., Hattori, A. (eds.), *Cultures and Collections of Algae*. Japanese Society of Plant Physiologists, Tokyo, pp. 63~75.
- Ramus, J. 1972. Differentiation of the green alga *Codium fragile*. *Am. J. Bot.* 59: 478~482.
- Ramus, J. and Venable, M. 1987. Temporal ammonium patchiness and growth rate in *Codium* and *Ulva*. *J. Phycol.* 23: 518~523.
- Rogers, D.J. and K. Hori. 1993. Marine algal lectins: new developments. *Hydrobiologia* 260/261: 589~593.
- Rogers, D.J. and R.W. Loveless. 1991. Electron microscopy of human erythrocytes agglutinated by lectin from *Codium fragile* sp. *tomentosoides* and pseudohaemagglutinin from *Ascophyllum nodosum*. *J. Appl. Phycol.* 3: 83~86.
- Rogers, D.J., K.M. Jurd, G. Blunden, S. Paoletti and F. Zanetti. 1990. Anticoagulant activity of a proteoglycan in extracts of *Codium fragile* sp. *atlanticum*. *J. Appl. Phycol.* 2: 357~361.
- Ryu, B.H., B.H. Chi, D.S. Kim and M.S. Ha. 1986. Desmutagenic effect of extracts obtained from seaweeds. *Bull. Korean Fish. Soc.* 19: 502~508.

- Samuel, P. and McNanara, D.J. 1983. Differential absorption of exogeneous and endogeneous cholesterol in man. *J. Lipid Res.* 24: 265.
- Sandgren, C.D. and Robinson, J.V. 1984. A stratified sampling approach to compensating for non-random sedimentation of phytoplankton cells in inverted microscope settling chambers. *Br. Phycol. J.* 19: 67~72.
- Shiomi, K. 1983. Agglutinins. In (eds.) Japan Soc. Sci. Fish. Biochemistry and utilization of marine algae. 120~131pp.
- Sohn, C.H. 1993. *Porphyra, Undaria and Hizikia* cultivation in Korea. *Algae* 8: 207~216.
- Sohn, C.H. 1998. The seaweed resources of Korea. In Critchley, A.T., Ohno, M. (eds.) Seaweed resources of the world. Jap. Int. Coop. Agency, 15~33pp.
- Tseng, C.K. and J.F. Zhang. 1984. Chinese seaweeds in herbal medicine. *Proc. Int'l. Seaweed Symp.* 11: 152~154.
- Velasquez, G.T. 1972. Studies and utilization of the Philippine marine algae. *Proc. Int'l. Seaweed Symp.* 7: 62~65.
- Yang, M.-H., Blunden, G., Huang, F.L. and Fletcher, R.L. 1997. Growth of dissociated, filamentous stage of *Codium* species in laboratory culture. *J. Appl. Phycol.* 9: 1~3.
- Yoshida, T. 1998. Marine algae of Japan. Uchida Rokakuho, Tokyo.
- Yotsui, T. and Migita, S. 1989. Cultivation of a green alga *Codium fragile* by regeneration. *Nippon Suisan Gakkaishi* 55: 41~44.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall Inc. New Hersey, 718pp.
- 김창훈. 1984. 우뚝가사리, *Gelidium amansii* Lamouroux의 재생에 관한 배양연구. 부산수산대학교 석사학위논문, 28pp.
- 이용필·강서영. 2002. 한국산 해조류의 목록. 제주대학교 출판부, 경신인쇄사, 662pp.
- 이인규·강제원. 1986. 한국산 해조류의 목록. 한국조류학회지 1: 311~325.
- 황은경·조용철·손철현. 1999. 양식 톳 포복지의 재활용에 관한 연구. 한국수산학회지, 32: 112~116.

청각 양식 한 눈에 보기



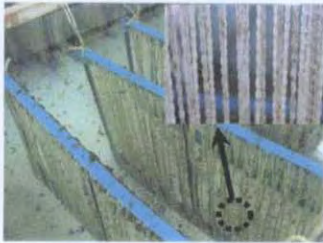
청각 업체



포낭 및 수사 분리



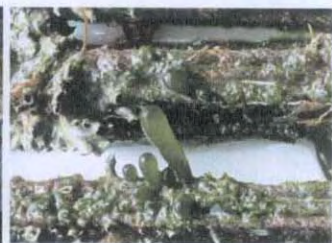
포낭 및 분리수사의 채묘



수조배양



가이식



가이식 종료



본 양성 개시



본 양성 종료



수확

청각 양식 매뉴얼

