

T0029434

최 중
연구보고서

갈조류 곰피의 양식 기술 개발

Studies on the cultivation technique
development of *Ecklonia stolonifera*
(Phaeophyceae)

연구기관 : 목포대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “갈조류 곰피 (*Ecklonia stolonifera*)의 양식 기술 개발”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008 년 12 월 31 일

주관연구기관명 : 목포대학교

주관연구책임자 : 박찬선

연 구 원 : 박경양, 조현상

박갑주, 이재경

정남주, 이재환

김광호, 유병동

협동연구기관명 : 국립수산과학원

해조류연구센터

협동연구책임자 : 황은경

연 구 원 : 백재민, 하동수

김성철, 황미숙

김승오, 박 용

정 혁, 박문상

정광국

요 약 문

I. 제 목

갈조류 곰피 (*Ecklonia stolonifera*)의 양식 기술 개발

II. 연구 개발의 목적 및 필요성

1. 목 적

우리나라 해조류 양식 산업의 구조개선과 가격하락 문제를 개선하기 위하여, 해조류 양식 품종의 다변화는 꾸준히 수행되어야 하는 과제이다. 곰피는 성게, 전복 등 유용해산동물의 먹이원으로 해중림의 주요 구성종이며 (Notoya and Aruga 1992), 경남 지역에서는 싹 채소의 하나로 오래전부터 식용으로 이용해 오고 있다. 특히, 곰피에는 알긴산 뿐만 아니라 순도가 높은 fucoidan이 다량 함유되어 있으며 (이 등 1995), 곰피의 fucoidan은 트롬빈 활성이 높아 헤파린의 약 1.4 배에 달한다고 한다. 최근 전복 산업의 확대에 따라 여름철 고수온기 전복 먹이의 부족현상을 해결하기 위한 대안으로 여름철 고수온기에 최대 생체량을 갖는 곰피에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 곰피의 생식 방법에 따른 기초연구를 바탕으로 하여 종묘생산 및 양성기술을 개발함으로써 해조류 양식품종의 다양화를 유도하고, 양식 기술을 널리 보급함으로써 어업인의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 곰피의 대량생산을 통한 고부가가치성을 창출하는 의약품용 원료 공급원 및 다년생 갈조류인 곰피의 특성을 이용하여 연안 양식어장의 부영양염 흡수를 위한 인공 해중림의 구성원으로 이용코자 한다. 또한 전복 양식 산업의 경쟁력 제고를 위해서 여름철 고수온기의 원활한 먹이 공급원을 확보하는 것이 중요하므로, 곰피와 같은 대형 갈조류의 대량 종묘생산 기술 개발을 통해 전복 양식 산업의 발전에도 기여하고자 한다.

2. 필요성

대형갈조류는 다시마, 대황, 감태, 곰피, 모자반 등을 일컬으며 이러한 대형 갈조류가 우점하는 점심대에 형성된 해조류 군락을 해조숲 또는 해중림이라 부른다 (谷口 1996, 大野 1985, Kang et al. 2005). 해중림은 가장 중요한 일차 생산이 일어나는 장소일 뿐만 아니라 엽상체를 생활 기반으로 하는 부착성 표생 동물 군집과 전복, 성게, 소라 등 초식 동물과 볼락, 조피볼락, 쥐노래미 등 해조 군락을 서식지나 산란장 또는 은신처로 이용하는 어류 (Ohno 1993, Watanuki and Yamamoto 1990)에 이르기까지 풍부한 생물상을 가지는 생물사회를 구성하고 있다 (김과 장 1992). 특히 전복, 성게, 소라 등은 그 어업 생산 자체가 딱이 자원의 풍부도에 의하여 직접 영향을 받는다고 알려져 있다 (Laycock 1974, 남 등 1985).

최근 우리나라에서도 바다 목장화와 관련하여 연안 어장 자원 증대 사업의 추진 전략을 수립하여 연구가 진행되고 있으며, 주요 내용은 인공어초 설치와 종묘의 대량 생산과 방류에 의한 자원조성 및 양식 기술 개발을 통한 적극적인 자원조성 등 연안 어장 자원 증대의 기본 사업을 포함하고 있다. 그러나 현재까지 수행된 인공어초 사업 관련 연구는 인공어초 부근에서 어획된 어류의 영향에 대한 조사가 대부분이며 (이와 강 1994), 해중림을 이루는 주체인 해조류에 대한 연구로서 자원조성을 위한 대형 갈조류의 종묘생산 기술 및 이들을 이식하였을 때의 효과에 대하여는 조사된 예가 매우 드물다 (최 등 2002).

해양의 일차생산자로서 연안에 서식하는 해조류는 생물자원으로서 오랫동안 인간에 이용되어 왔으며, 이미 우리에게 친숙해져 있는 식용으로서의 용도 이외에도 의약품, 공업용, 비료용 및 사료용 등으로 광범위하게 이용되어져 왔다 (Indergaard 1983). 해양에서 연안 지역이 차지하는 의미는 유용 수산동물 자원의 산란장과 치어의 생육장으로서의 역할을 수행하며, 육지로부터 유입되는 풍족한 영양염의 공급과 높은 일차생산력으로 인해 수산생물이 서식하기에 좋은 여건을 가지고 있다. 또한 해양의 대부분은 젖은 사막 (wet desert)인데 반하여, 연안역은 높은 생산력을 가지는 중요한 지역이라 할 수 있다. 이러한 연안 해역의 환경 특성을 이용한 연안 양식어업이 우리나라에서도 성행하고 있는데, 전복양식이

하나의 대표적인 예라 할 것이다. 최근에 서남해역을 중심으로 육상수조식 및 해상가두리식 전복양식이 크게 확대되고 있는데, 현재 수산양식분야에서 전복양식은 단위면적당 가장 높은 수익을 올리는 산업으로 그 규모가 더욱 커질 것으로 예상되고 있으나, 전복양식의 가장 큰 관건중의 하나는 안정적인 먹이 확보이다. 전복은 양성기간 동안 주로 미역 또는 다시마와 같은 해조류를 섭이하는데, 전복의 주먹이가 되는 미역, 다시마는 생리적으로 수온이 13-14℃ 이상으로 상승하면 엽체의 끝녹음이 발생하여 한여름 고수온기에는 엽체의 대부분이 녹아 없어지게 되어 여름철 고수온기 전복 양성시 필요로 하는 먹이를 확보할 수 없는 상황이 심화되고 있다.

여름철 고수온기 전복의 먹이원의 확보는 전복양식 산업의 경쟁력을 좌우할 수 있는 중요한 문제로 그 대안이 될 수 있는 해조류 중의 한 종이 곰피이다. 곰피는 다시마와 형태적으로 매우 유사한 해조류로 알긴산 뿐만 아니라 양질의 푸코이단을 다량 함유하고 있고, 성숙시기도 9-10월로 고수온기를 온전한 엽상체의 형태로 보내기 때문에 다시마를 대신한 여름철 고수온기의 전복의 먹이원으로 매우 적절한 해조류이다.

우리나라의 해조류양식은 여전히 식용 생체량 생산에 국한되고 있으나 자원 조성용으로 사용이 우수한 효과를 볼 수 있는 다년생 대형 갈조류인 곰피의 생태에 대하여는 Maegawa (1990), Maegawa and Kida (1989) 등에 의해 연구된 바 있으나, 국내에서는 Park et al. (1994)의 곰피의 생장과 연령 조성에 관한 연구를 제외하고는 이들의 증양식과 관련한 연구는 아직까지 체계적으로 수행되지 않고 있다.

이 연구의 목적은 해중립의 주요 구성종인 다년생 대형 갈조류 곰피의 인공 채묘·양식학적 연구를 통하여 연안 자원조성용 종묘 생산 기술의 축적뿐만 아니라 우리나라 서남해역의 주요 어업인 소득원인 전복양식을 위한 안정적인 여름철 고수온기 먹이 공급원으로써 그 활용도를 높이는데 있다.

곰피 양식 기술 개발을 통하여 다음과 같은 목적을 달성하고자 한다.

- 해조류 양식 품종의 다변화에 기여
- 고부가가치 창출로 어업인 소득증대

- 다년생 대형갈조류를 이용한 연안 자원 조성시 종묘 보급 체계 마련
- 여름철 고수온기 전복 먹이원 확보

가. 기술적 측면

최근 연안 환경의 수질 악화와 해조류 군집의 생물량 감소로 인하여 수산동물 자원 역시 감소 추세에 있다. 따라서 인위적인 해중립 조성과 다년생 갈조류의 영양번식과 같은 생장 특성을 이용하여 해조류의 biofilter로서의 기능과 동시에 전복, 소라 등 수산동물의 안정적인 먹이원을 확보하는 방안에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다.

곰피는 종묘생산 및 양식기술이 확립되어 있는 다시마와 아주 비슷한 생활사를 갖는 해조류로써 다시마의 양식기술을 응용해 이들에 관한 인공종묘생산 및 양식 기술 개발을 체계적으로 수행한다면 곰피의 완전양식화는 기술적으로 크게 어렵지 않을 것으로 판단된다.

나. 경제·산업적 측면

우리나라 서남해역은 어류와 패류 양식의 중요성이 해조류 양식 못지않게 중요한 지역으로써 해조류의 수질정화능을 이용한 환경친화적인 양식을 통하여 고부가가치의 양식 생산을 추구할 수 있다. 또한 곰피 등의 다년생 대형 갈조류는 부착기에 의한 영양번식이 우세하여 이식된 지역에서 서식 면적을 넓혀 나가는 특성이 있으므로 연안 해중립 조성에 적합한 종이라 할 수 있다.

최근 날로 그 생산량이 늘어가는 전복 양식의 경우 진도, 완도 해남 등지에서 생산되는 전복 종묘생산량이 무려 2억만 마리가 넘고 있으며, 이들 종묘를 이용해 양성을 할 경우 갈수록 심화되어가는 이들의 여름철 먹이 확보 문제는 시급히 해결해야할 과제가 되고 있다. 특히, 전복의 경우 양성시 경영비용의 많은 부분을 차지하는 것이 먹이인데, 이러한 먹이 확보에 대한 비용부담이 더욱 가중된다면 전복 양식산업의 경쟁력은 떨어질 수밖에 없게 될 것이다. 전복 양식산업의 경쟁력 제고를 위해선 여름철 고수온기의 원활한 먹이 공급원을 확보하는 것이

중요하고, 곰피와 같은 대형 갈조류의 대량 종묘생산 기술 개발로 새로운 전복 먹이원으로써의 공급체계 마련은 전복 양식산업의 발전에도 크게 기여할 것이다.

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 환경오염과 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 양식 기법을 발전시키고 새로운 이용 방안을 제시함으로써 우리나라 해조류 자원의 이용도를 높일 수 있다.

우리나라의 천해양식 생산량의 대부분을 차지하는 것이 해조류이고, 천해양식업에 종사하는 대부분의 어업인들이 해조류를 생산하여 생계의 기본을 이룬다 해도 과언이 아닐 것이다. 최근 서남해역을 중심으로 발전하고 있는 전복 양식 산업도 우리나라의 풍부한 해조자원과 높은 양식기술이 기저에 있었기에 단기간 내에 가능한 것이었다. 우리나라의 해조 양식 산업은 과잉생산에 따른 가격하락으로 영세성을 면치 못하고 있다. 해조류 양식 산업을 바탕으로 보다 높은 고부가가치를 창출할 수 있는 전복 양식 산업의 연계는 우리나라 수산양식 산업의 발전에 크게 기여할 것으로 보인다.

Ⅲ. 연구 개발 내용 및 범위

1. 곰피의 생리학적 특성연구

가. 포자체의 엽체 부위별 성숙 및 유주자 방출 유도

1) 생장대 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도

곰피 엽체의 부위별로 생장대 부위의 직경 1.1 cm 크기의 엽체를 디스크 모양으로 절취하여, 3개 조도 조건 ($30, 60, 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 4개 온도 조건 ($10, 15, 20, 25^\circ\text{C}$)의 조합인 12개 실험구간에서 각각 10개씩의 디스크를 수용하여 3반복 실험하였다. 자낭반의 형성 비율은 10개의 디스크 중 자낭반이 형성된 디스크의 비율로 구하였으며, 각 디스크의 자낭반 형성 면적의 평균을 자낭반 형성 면적으로 구하였다. 모든 실험구는 직경 5 cm의 멸균된 Petri dish를 사용하였으며, 배양액은 PESI 배지를 사용하여 3일 간격으로 환수하였다. 배양실험은 Multi thermo incubator MTI-202B (EYELA, Japan)를 사용하였다. 유주자 방출의 유무는 현미경 검경을 통하여 암기가 끝나는 시점에 측정하였다.

2) 선단 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도

곰피 엽체의 부위별로 선단 부위의 직경 1.1 cm 크기의 엽체를 디스크 모양으로 절취하여, 3개 조도 조건 ($30, 60, 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 4개 온도 조건 ($10, 15, 20, 25^\circ\text{C}$)의 조합인 12개 실험개 실험구간에서 각각 10개씩의 디스크를 수용하여 3반복 실험하였다. 자낭반의 형성 비율은 10개의 디스크 중 자낭반이 형성된 디스크의 비율로 구하였으며, 각 디스크의 자낭반 형성 면적의 평균을 자낭반 형성 면적으로 구하였다. 모든 실험구는 직경 5 cm의 멸균된 Petri dish를 사용하였으며, 배양액은 PESI 배지를 사용하여 3일 간격으로 환수하였다. 배양실험은 Multi thermo incubator MTI-202B (EYELA, Japan)를 사용하였다. 유주자 방출의 유무는 현미경 검경을 통하여 암기가 끝나는 시점에 측정하였다.

3) 곰피 엽체의 연령별 성숙 및 유주자 방출 유도

실험에 사용한 곰피 엽체는 2006년 10월에 전남 완도군 약산면 해조류연구센터 시험어장에서 채취하였다. 곰피 엽체는 각각 2년생과 1년생으로 구분하여 채집 즉시 실험실로 운반하였으며, 자낭반 일부를 직경 1.1 cm 크기의 엽체를 디스크 모양으로 절취하여 멸균해수로 수회 세척한 후 항생제 용액 (Provasoli's antibiotic concentrated solution, Sigma)에 2-3분간 침적하였다. 실험조건은 3개 조도 조건 (30, 60, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C)의 조합인 12개 실험구간에서 각각 10개씩의 디스크를 수용하여 3반복 실험하였다. 자낭반의 형성 비율은 10개의 디스크 중 자낭반이 형성된 디스크의 비율로 구하였으며, 각 디스크의 자낭반 형성 면적의 평균을 자낭반 형성 면적으로 구하였다. 모든 실험구는 직경 5 cm의 멸균된 Petri dish를 사용하였으며, 배양액은 PESI 배지를 사용하여 3일 간격으로 환수하였다. 배양실험은 Multi thermo incubator MTI-202B (EYELA, Japan)를 사용하였다. 유주자 방출의 유무는 현미경 검경을 통하여 암기가 끝나는 시점에 측정하였다.

4) 곰피 엽체의 부위별 광합성능 비교

곰피 엽체의 부위별 광합성능의 차이를 알아보기 위하여 성장대 부분과 자낭반이 형성된 부위에서 각각 직경 1.1 cm 크기의 엽편을 디스크 모양으로 절취하여 디스크의 중량과 두께 그리고 각각의 광합성능을 측정하였다. 디스크의 절취는 각각 5개의 개체로부터 한 개씩 절취하여 성장대 부분과 자낭반 부위의 5반복 실험이 가능하도록 하였다. 광합성능의 측정은 부위별 디스크를 암적응시킨 후 PAM-2000 (Walz, Germany)를 사용하여 최적양자수율 (optimum quantum yield)을 구하였다. 곰피 엽체의 암적응 방법은 멸균해수를 넣은 Petri dish에 넣어 빛이 투과되지 않는 Ice box 내에서 5분간 유지하였다.

5) 곰피 엽체의 연령별 형질과 광합성능 및 클로로필 함량 비교

곰피 엽체의 연령군별 형질과 광합성능 및 클로로필 함량 비교를 위하여, 2007년 4월에 전남 완도군 약산면 장용리의 시험어장에서 예비양성 실험 중인 곰피

엽체를 채취하여 0년생, 1년생 및 2년생 군으로 구분하여 각각 5개씩의 엽체를 선별하였다. 연령별 형질의 측정은 엽장, 엽폭, 주지길이, 중량 등을 측정하였다. 광합성능의 측정은 연령군별 디스크를 암적용시킨 후 PAM-2000 (Walz, Germany)를 사용하여 최적양자수율 (optimum quantum yield)을 구하였다. 곰피 엽체의 암적용 방법은 멸균해수를 넣은 Petri dish에 넣어 빛이 투과되지 않는 Ice box 내에서 5분간 유지하였다. 클로로필의 분석은 아세톤 추출법 (Meeks 1974, Sternman 1994)에 따라 630, 647 및 664nm의 흡광도에서 분광광도계 (U-1100 Spectrophotometer, Hitachi, Japan)를 이용하여 측정하였다.

나. 곰피의 생육 단계별 성장 특성

1) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 배우체의 성장

실험에 사용한 곰피 엽체는 2006년 10월에 전남 완도군 약산면 해조류연구센터 시험어장에서 채취하였다. 곰피 성숙 엽체는 채집 즉시 실험실로 운반하여 자낭반 일부를 절취하고 멸균해수로 수회 세척한 후 항생제 용액 (Provasoli's antibiotic concentrated solution, Sigma)에 2-3분간 침적하였다. 자낭반은 100 ml의 멸균해수를 넣은 비이커에 수용하여 15°C와 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 유주자 방출을 유도하였다. 10cm 직경의 Petri dish를 이용하여 바닥에는 멸균된 cover glass를 깔고 멸균해수 20 ml와 유주자액 2 ml을 분주하여 cover glass에 방출된 유주자가 착생하도록 하였다. 유주자가 착생된 cover glass는 다시 5 cm 직경의 Petri dish로 옮겨 각각의 온도, 조도 및 광주기 실험 조건으로 옮겨 배우체의 성장을 측정하였다. 배양액은 PESI medium (Tatewaki 1966)에 항생제 용액을 첨가하여 사용하였으며 2-3일 마다 전량 교체하였다.

온도 및 조도 조건은 각각 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도 조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다.

광주기 조건별 배우체의 성장실험은 온도와 조도를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 각각 10:14, 12:12 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 곰피 배우체의 성장도를 측정하였다. 곰피 배우체의 성장도 측정은 엽장, 엽폭 및 세포수를 측정하였다.

2) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 아포체의 성장

온도 및 조도 조건은 각각 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도 조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균 값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다.

광주기 조건별 아포체의 성장실험은 온도와 조도를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 각각 10:14, 12:12 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 곰피 아포체의 성장도를 측정하였다. 곰피 아포체의 성장도 측정은 엽장, 엽폭 및 1개의 암배우체당 아포체 수를 측정하였다.

3) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 포자체의 성장

온도 및 조도 조건은 각각 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도 조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균 값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다.

광주기 조건별 포자체의 성장실험은 온도와 조도를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 각각 10:14, 12:12 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 곰피 포자체의 성장도를 측정하였다. 곰피 포자체의 성장도 측정은 엽장 및 엽폭을 측정하였다.

4) 곰피 유엽의 크기별 온도 내성

곰피 유엽의 전배양은 성숙 모조로부터 수집한 유주자를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 와 10:14h (L:D) 조건에서 실시하였다. 유엽의 엽장은 각각 평균 1mm, 5mm 및 10mm 군으로 구분하여 각각 30 개체씩 직경 5cm의 멸균된 Petri dish 또는 10×4 cm의 SPL lab ware를 사용하여 분주하였다. 온도 내성 실험은 5개 온도 조건 (12, 15, 18, 21, 24°C)에서 실시하였으며 이때 조도와 광주기는 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 와 10:14h (L:D)로 하였다. 모든 실험은 3반복 실험구로 실시하였으며, 배양액은 PESI 배지를 사용하여 3일 간격으로 환수하였다. 배양실험은 Multi thermo incubator MTI-202B (EYELA, Japan)를 사용하였다.

2. 곰피의 생식 방법별 대량 배양 조건 연구

가. 유주자 대량 방출 유도 및 인공채묘

곰피 성숙 엽체는 2006년 10월 전남 여수시 화태도 인근의 수심 4-5m에서 채취하였으며, 채집 즉시 실험실로 운반하였다. 유주자의 방출은 자낭반이 형성된 엽체 부위만을 선별 절단하여 약 1 시간정도 음건시킨 후 여과해수를 1/4 정도 채운 1.5톤 수조에 수용하여 유주자 방출을 유도하였다. 유주자 방출 수를 현미경으로 검정한 후 채묘틀 (45×55cm)을 약 3시간 동안 유주자액에 담가 채묘를 실시하였다. 3시간 후 채묘틀은 여과해수를 채운 다른 1.5톤 수조로 옮겨 수조 배양을 실시하였다. 수조배양시 표면조도는 약 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 1주일 간격으로 채묘틀의 상하를 교체하였다.

나. 유리배우체의 대량배양

곰피의 천연자원의 보호와 효율적인 이용을 위한 양식의 기초로서 곰피 암수 배우체의 분리 배양 및 성장과 성숙 조건을 파악하여 안정적인 유리배우체의 대량배양조건을 확립하는 것을 목적으로 하였다.

본 연구에 사용된 성숙 모조는 해조류연구센터에서 양식 실험중인 전남 완도군 약산면의 시험어장에서 2007년 9월에 채취하였다. 성숙 모조는 Ice box에 넣어 즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수 회 세척한 후 멸균해수를 200 ml 채운 500 ml 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)을 이용하여 10°C , $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D)조건에서 4시간동안 유주자 방출을 유도하였다. 방출된 유주자액 0.1 ml를 취하여 multi well-plate를 이용하여 유주자액을 차례로 분주하여 밀도를 낮추었다. 4-5일 후 암수배우체가 구별되면 각각 암배우체와 숫배우체로 구분하여 별도의 직경 5cm의 멸균된 Petri dish에 수용하여 1개월간 배양하였다.

암배우체와 숫배우체 덩어리로 자란 유리 배우체를 각각 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)로 $24,000\text{rpm min}^{-1}$ 의 속도로 1분간 분쇄하여, 12 well plate에 PESI 배지 (Tatewaki 1966) 1 ml를 채우고 한 well당 1개씩의

암수배우체를 각각 수용하였다. 배양조건은 4개 온도구간 (5, 10, 15, 20°C)과 4개 조도구간 (5, 10, 20, 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 3개 광주기 구간 [10:14, 12:12, 14:10h (L:D)]으로 설정하여 Multi room incubator (DS-14MCLP)를 이용하여, 배우체의 길이생장 및 성숙 여부를 도립현미경 (Axio Observer A1, Carl zeiss, Germany)으로 관찰하였다. 조도의 측정은 LI-1400 (Li-Cor, USA)으로 하였고, 조도 구간의 설정은 중성필터 (Lee Filter) ND 209, 210, 211호를 사용하여 조절하였다. 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)로 분쇄 후 절단된 배우체는 분지가 없는 상태의 것을 선별해 측정하였으며 PESI 배지 (Tatewaki 1966)는 7일마다 교환해 주었다.

다. 포복지의 영양번식 (재생)

곰피 업체의 영양번식 (재생)을 조사하기 위하여 2006년 3월부터 2007년 6월 까지 전남 완도군 약산면 장용리의 시험어장의 곰피 양성 시설로부터 포복지의 영양번식 (재생) 정도와 신생 업체의 발달수를 측정하였다. 월별 영양번식 (재생)의 측정은 개체당 포복지의 길이 및 분지횟수, 신생 업체의 수 및 신생 업체의 길이를 측정하였으며, 신생 업체의 수는 단위 m당 총량으로 환산하여 측정하였다.

3. 곰피의 양식학적 연구

가. 인공채묘 조건

1) 적정 채묘 시기 구명

곰피의 적정 채묘 시기 구명을 위하여 2006년 5월부터 2007년 4월까지 전남 여수시 화태리 인근의 수심 4-5m에 분포하는 곰피 자연개체군에서 방형구법에 의한 정량조사를 통하여 매월 곰피의 성숙 업체 출현 비율 및 자낭반 형성 면적을 조사하였다. 성숙 업체의 출현비율은 방형구당 출현한 업체의 수에 대한 자낭반 형성 업체의 비율로 구하였다. 자낭반 형성 면적은 한 개체 내에 형성된 자낭반의 분포 면적을 모두 더하여 개체당 자낭반 형성 면적으로 구하였다.

2) 채묘 기질별 생장 및 채묘 효과

곰피 유주자의 인공 채묘시 채묘기질의 영향을 알아보기 위하여 크레모나사 21합사와 크레모나사 42합사로 구분하여 유주자를 채묘한 후 2개월간의 수조배양 기간 중 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 배우체의 엽장, 1cm 당 배우체의 수를 측정하였다.

3) 채묘 시간별 생장 및 채묘 효과

곰피의 유주자 채묘시 유주자액에 채묘를 담금 시간의 영향을 알아보기 위하여 각각 틀 담금 시간을 1, 2, 3, 4 및 5시간으로 구분하여 유주자를 채묘한 후 2개월간의 수조배양 기간 중 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 배우체의 엽장, 1cm 당 배우체의 수를 측정하였다.

나. 가이식

1) 적정 가이식장 조건 파악

적정 가이식장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도, 유속, pH, 전기전도도, 수중광량 등의 요소들을 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 2006년 12월부터 2007년 3월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다.

2) 채묘 기질별 가이식 생장도

곰피 유주자의 인공채묘시 채묘기질의 영향을 알아보기 위하여 크레모나사 21합사와 크레모나사 42합사로 구분하여 유주자를 채묘한 후 2개월간의 수조 배양을 거친 후 수심 2m에서 가이식 실험을 실시하였다. 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 유엽의 엽장, 1cm 당 엽체의 수를 측정하였다.

3) 채묘 시간별 가이식 생장도

곰피의 유주자 채묘시 유주자액에 채묘를 담금 시간의 영향을 알아보기 위하여 각각 틀 담금 시간을 1, 2, 3, 4 및 5시간으로 구분하여 유주자를 채묘한 후

2개월간의 수조배양을 거친 후 수심 2m에서 가이식 실험을 실시하였다. 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 유연의 엽장, 1cm 당 엽체의 수를 측정하였다.

4) 가이식 시기별 생장도

곰피의 가이식 시기별 영향을 알아보기 위하여 2006년 12월부터 15일 간격으로 1차 (2006년 12월 21일), 2차 (2007년 1월 4일) 및 3차 (2007년 1월 18일) 가이식으로 구분하여 2007년 4월까지 매월 생장도를 측정하였다.

5) 가이식 수심별 생장도

가이식 실험은 2006년 12월부터 2007년 3월까지 82일간 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 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 1, 2, 3 및 4m 실험구별로 채묘틀을 수하식으로 시설하였으며, 청각의 생장 및 가이식 효과의 측정은 30일 간격으로 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 엽체의 길이생장 및 1cm 당 아포체 또는 유연의 수를 측정하였다.

6) 해적 생물상

가이식 기간 중 곰피 채묘틀의 종사에 출현한 해적 생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 빨질 등이 주를 이루었으며, 30일 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

다. 양성

1) 적정 양성 어장 조건 파악

적정 양성 어장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도 및 전기전도도와 수중 광량의 요소들을 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 2006년 3월부터 2007년

6월까지 매월 모니터링 하였다. 곰피의 양성 기간중 수중광량과 수심의 관계 표준화를 위하여 수중광량의 측정은 LI-1400 Data Logger (Li-Cor, USA)을 이용하여 5회 측정한 값의 평균치를 구하였다. 광량측정 센서는 Spherical sensor를 이용하였다.

2) 양성 기간 중 곰피의 성장도

가) 곰피의 양성 성장도

양성 실험은 2006년 3월부터 2007년 6월까지 실시하였으며, 양성 시설은 수평 연승식으로 본양성 로프는 수심 2m에 위치하도록 부자의 길이를 조절하였다. 엽체의 성장도는 엽장, 엽폭, 엽중량, 주지길이, 엽면적, 포복지로부터의 신생 엽체 수 및 길이 그리고 단위 m당 현존량과 개체수를 매월 측정하였다.

나) 양성 수심별 성장도 및 양성 효과

양성 수심별 곰피의 성장도는 2006년 3월부터 2006년 10월까지 수직 연승을 이용하여 수심 0.5-4m까지 0.5m 간격으로 구분하여 각각의 수심에서 측정되었다. 성장도의 측정은 엽장, 엽폭, 주지길이, 신생엽체의 수 및 길이, 포복지의 수 및 길이를 측정하였으며, 50cm 내에 부착된 모든 곰피의 현존량을 해당 수심에서의 단위 m당 현존량으로 환산하였다. 모든 성장도의 측정은 반복 실험구를 사용하여 매월 2개씩의 수직 연승을 수거하여 실시하였다.

3) 양성 기간 중 해적생물 조사

2006년 4월부터 2006년 12월까지 양성 기간 중 곰피 양성로프에 출현한 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 빨질 등이 주를 이루었으며, 1개월 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

4) 곰피 양식의 매뉴얼

곰피의 인공채묘 조건과 가이식 및 양성 조건을 도표화 하여 곰피 양식의 매뉴얼을 작성하였다.

4. 곰피의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

1) 곰피 추출물의 피부노화 및 melanin formation 억제효과

곰피의 추출물의 피부노화방지 및 치료 후보물질로서의 가능성을 조사하기 위하여 CCD-986sk cell line 및 Clone M-3 mouse melanocyte cell line을 이용 in vitro 수준에서 피부세포 생리활성 효과와 melanin formation 저해효과를 측정하였다. 이들 결과들을 제공함으로써 곰피의 이용도를 극대화시키고 고부가가치를 창출할 수 있도록 하였다.

2) 곰피의 먹이 효율

전복 먹이 급이원으로써 곰피의 먹이 효율을 평가하기 위해 해상가두리에서 참전복을 대상으로 곰피와 다시마 및 미역 먹이 공급에 따른 전복의 성장, 생존율, 일간생장을 및 일간사망을 등을 비교 분석하였다.

나. 경제성 분석

1) 곰피 양식의 경제성 분석

곰피 양식어업의 경영특성은 크게 종묘생산부분과 양식부분으로 나누어 분석되었다. 곰피의 종묘생산과 양식에 참여했던 어가를 통하여 배부·회수한 손익 조사서를 이용하여 손익계산, 공통형 손익계산, 항목별 민감도분석을 통하여 곰피 양식의 경제성을 분석하였다.

IV. 연구 개발 결과

1. 곰피의 생리학적 특성 연구

가. 포자체의 엽체 부위별 성숙 및 유주자 방출 유도

1) 성장대 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도

조도 구간별로는 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 구간에서 배양 175일까지 15°C 와 20°C 조건에서만 자낭반 형성이 확인되었으며, 10°C 와 20°C 조건에서는 자낭반이 형성되지 않았다. $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 구간에서는 배양 125일후 20°C 조건에서 가장 먼저 자낭반이 형성되기 시작하여 배양 150일후 10°C 와 15°C 조건에서도 자낭반 형성이 확인되었다. $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 구간에서는 15°C 와 20°C 조건에서 배양 125일후 가장 먼저 자낭반 형성이 확인되었으며, 배양 175일후에도 10°C 와 25°C 조건에서는 자낭반 형성이 관찰되지 않았다.

성장대 부위에서 절취한 디스크로부터 형성된 자낭반의 형성율은 배양 175일후 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20°C 조건에서 100%로 가장 높았으며, 디스크의 면적 중 자낭반이 차지하는 자낭반 형성면적 비율은 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20°C 조건에서 35.1%로 가장 높았다.

2) 선단 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도

곰피 엽체의 선단 부위에서 디스크 모양으로 절취된 엽체 단편은 배양 100일후 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20°C 조건에서 가장 먼저 자낭반 형성이 관찰되었다. 배양 125일 후에는 30 과 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 15 - 25°C 구간에서 자낭반 형성이 관찰되었으며 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 10 - 20°C 구간에서도 자낭반이 형성되기 시작하였다.

선단 부위에서 절취한 디스크로부터 형성된 자낭반의 형성율은 배양 125일후 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20 - 25°C 조건에서 100%로 가장 높았으며, 디스크의 면적 중 자낭반이 차지하는 자낭반 형성면적 비율은 배양 175일후 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 25°C 조건에서 42.1%로 가장 높았다.

3) 곰피 엽체의 연령별 성숙 및 유주자 방출 유도

곰피 엽체의 연령별 디스크의 성숙 유도 실험결과 1년생의 경우 배양 25일후부터 20℃ 및 25℃ 조건에서 디스크가 색소를 잃고 고사하였으며 10℃ 및 15℃ 조건에서는 배양 50일후 디스크의 색소가 탈색되어 고사하였다. 2년생의 경우 모든 실험조건에서 디스크의 색소가 그대로 유지되고 있으며 배양 100일째 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20℃ 조건에서 15.0 ± 4.2 의 성숙율을 보였다. 배양 150일후에는 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 25℃ 조건에서 자낭반 형성 면적이 가장 많은 42.1 9.4%를 나타내었다.

4) 곰피 엽체의 부위별 광합성능 비교

자연에서 곰피 엽체의 자낭반이 형성되는 시기인 10월에 채취된 엽체로부터 영양엽과 자낭반 형성 부위에서 절취한 직경 1.1cm의 중량과 두께는 다음과 같다. 즉 자낭반이 형성된 성숙 부위는 엽체의 두께와 중량이 영양엽 보다 높았으며, 광합성능은 영양엽에 비하여 감소하는 것으로 나타났다.

5) 곰피 엽체의 연령별 형질과 광합성능 및 클로로필 함량 비교

곰피의 형태 측정 항목은 10개의 형질을 사용하였으며, 연령별 형태적 특징은 연령의 증가에 따라 전체적인 엽장 뿐 아니라 주지의 신장도 함께 이루어지며 1년생 이상에서는 포복지에 의한 새로운 엽체의 출현이 나타남을 알 수 있다. 광합성능은 0년생이 가장 낮게 나타나 0.657 ± 0.044 를 나타내었으며 1년생이 가장 높은 0.764 ± 0.005 그리고 2년생이 이와 유사한 0.763 ± 0.010 을 나타내었다. 클로로필a와 c의 함량은 연령이 증가할수록 점차 함량이 작아지는 것으로 나타났으며 0년생에서 가장 높았다.

나. 곰피의 생육 단계별 생장 특성

1) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 배우체의 생장

곰피 암수배우체의 배양시 최적 배양조건은 15-20℃와 $20-30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

조건이라 할 수 있으나 20°C의 경우 규조류의 발생이 심하므로, 15°C와 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건이 곰피 배우체의 최적 배양조건인 것으로 나타났다. 광주기 조건별 곰피 배우체의 길이생장은 광주기 조건에 따른 유의한 차이나 일정한 경향성을 보이지 않았다.

2) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 아포체의 성장

온도 구간별로는 10°C 구간에서 조도가 증가할수록 아포체의 평균 엽장이 증가하여 배양 52일후 조도 20, 30 및 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 각각 555.5, 697.0 및 735 μm 의 길이생장을 나타내었다. 15°C 구간에서는 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 아포체의 엽장이 타 조도 조건에 비하여 가장 높은 값인 평균 1,527.5 μm 의 길이생장을 나타내었다. 20°C 구간에서는 15°C 구간과 마찬가지로 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 아포체의 엽장이 타 조도 조건에 비하여 가장 높은 값인 평균 1,587.5 μm 의 길이생장을 나타내었다. 25°C 구간에서는 모든 조도 구간에서 아포체의 길이생장이 저조하였으며 가장 낮은 조도 조건인 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 평균 엽장이 가장 높은 512.0 μm 을 나타내었다.

광주기 조건별로는 12:12 (L:D) 조건에서 배양 52일후 아포체의 평균 엽장이 1,312.5 μm 로 가장 높은 값을 보였으며, 14:10 (L:D) 조건에서 1,025.0 μm 및 10:14 (L:D) 조건에서 730.0 μm 의 순으로 길이생장의 차이를 나타내었다.

3) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 포자체의 성장

곰피의 어린 포자체는 20°C와 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 배양 34일후 길이생장이 37.8 mm로 타 실험구에 비하여 유의하게 빨랐다. 광주기 조건별 곰피 포자체의 생장은 14:10 (L:D)의 장일조건에서 배양 34일후 길이생장이 최고치인 39.2 mm로 나타났으며, 10:14 (L:D)의 단일조건에서 34.6 mm의 최저치를 나타내었다. 따라서 곰피의 어린 포자체의 경우 장일조건에서 길이생장이 우세한 것으로 나타났다.

4) 곰피 유엽의 크기별 온도 내성

엽장 1 mm의 곰피 유엽은 12-24℃ 구간의 온도 범위에서 배양 5주일간 약 20 mm의 엽체로 성장하여 평균 일간 생장율 0.54 mm/day을 나타낸다고 할 수 있다. 엽장 5 mm군의 곰피 유엽은 12-21℃ 구간의 온도 범위에서 배양 5주일간 약 25-30 mm의 엽체로 성장하여, 평균 일간 생장율 0.55-0.73 mm/day을 나타낸다고 할 수 있다. 엽장 10 mm군의 곰피 유엽은 12-15℃ 온도 범위에서 배양 5주일간 약 39 mm의 엽체로 성장하여, 평균 일간 생장율 0.82-0.83 mm/day을 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 곰피 엽체의 크기별 온도 내성범위는 엽체의 크기가 작을수록 보다 넓은 수온 범위에서 적용할 수 있는 것으로 나타났으며 엽장 10 mm군을 이용한 경우 수온 조건이 12-15℃가 유지되는 조건하에서는 일간생장율이 가장 높았다.

2. 곰피의 생식 방법별 대량 배양 조건 연구

가. 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘

곰피 성숙 엽체에 나타나는 자낭반 부위를 절단해 보면 유주자낭 내부에 가득차 있는 유주자가 관찰된다. 유주자낭으로부터 방출된 유주자는 방출 즉시 기물에 착생하여 발아관을 형성하여 배우체로 자라게 된다. 이후 배양 10일 이후에는 각각 암수배우체의 성을 구분할 수 있게 되며 배양 15일 후에는 성성숙이 이루어지게 된다. 정자와 알세포간의 수정을 통하여 아포체가 형성되며, 이 아포체는 어린 포자체로 자라게 된다. 곰피의 자낭반으로부터 대량의 유주자 방출을 유도하기 위하여 음전 시간은 약 1시간으로 하였으며, 여과해수를 담은 수조에 넣어 유주자를 방출 시켰다. 현미경 검경을 통하여 유주자의 활발한 운동을 확인한 후 채묘틀을 넣어 약 3시간 정도 유주자의 착생을 유도하였다.

나. 유리배우체의 대량배양

본 연구에 사용된 성숙 모조는 해조류연구센터에서 양식 실험중인 전남 완도군 약산면의 시험어장에서 2007년 9월에 채취하였다. 성숙 모조는 Ice box에 넣어

즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수 회 세척한 후 멸균해수를 200 ml 채운 500 ml 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)을 이용하여 10°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D)조건에서 4시간동안 유주자 방출을 유도하였다. 방출된 유주자는 4-5일 후 암수배우체가 구별되면 각각 암배우체와 수배우체로 구분하여 별도의 직경 5cm의 멸균된 Petri dish에 수용하여 1개월간 배양하였다.

암배우체와 수배우체는 온도 20°C, 조도 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 광주기 14:10h (L:D)에서 가장 높은 성장율을 보였다. 유리 암배우체의 성숙은 온도구간 15-20°C에서 배양 15일 후 장란기를 형성하였으며, 수배우체는 5-15°C에서 배양 15일 후 장정기를 모두 형성하였다. 곰피 암수배우체의 성숙 유도를 위한 적정 배양조건은 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 14:10h (L:D) 조건인 것으로 나타났다.

다. 포복지의 영양번식 (재생)

곰피 엽체의 포복지는 방사상으로 불규칙하게 뻗어나가며 분지하였다. 최대 포복지 길이는 2006년 6월부터 2007년 6월까지 불규칙적이기는 하나 지속적인 증가 경향을 나타내어 2007년 4월에는 평균길이가 최고치인 12.49 cm에 달하였다. 포복지의 분지횟수 역시 불규칙적이기는 하나 3.5~7.5개의 범위에서 점차 증가하는 경향을 나타내었고, 시험양식 어장의 로프에 부착하여 매우 복잡하게 얽혀서 자랐다. 포복지로부터 재생된 신생엽체의 수는 2006년 9월부터 관찰되기 시작하였으며, 점차 증가하기 시작하여 12월에 최고치인 평균 1.6개/개체를 나타내었다. 이후 2007년 1월부터는 포복지로부터 재생되는 신생 엽체의 수가 점차 감소하는 경향을 보였다.

3. 곰피의 양식학적 연구

가. 인공채묘 조건

1) 적정 채묘 시기 구명

곰피의 적정 채묘 시기는 자연에서 곰피의 자낭반이 형성되는 시기와 밀접한

관련이 있다. 곰피 자연군락에서 성숙 엽체가 출현하는 시기는 7월부터이며 이후 점차 증가하기 시작하여 11월에는 최고 $84.6 \pm 12.2\%$ 를 나타내었다. 12월부터 성숙 엽체의 출현비율은 점차 감소하기 시작하여 1월에 $30.0 \pm 2.0\%$ 로 감소하였고, 2월에는 성숙 엽체가 출현하지 않았다. 따라서 곰피 성숙 엽체의 출현비율은 11월에 최고치를 나타내었다. 자연군락에서 곰피의 성숙 엽체 출현 비율은 11월이 가장 높으나 성숙 개체의 자낭반 형성 면적 비율로서는 10월이 가장 높다고 할 수 있으며 이 시기가 곰피의 인공채묘에 있어서 적기라고 할 수 있다.

2) 채묘 기질별 생장 및 채묘 효과

곰피 유주자의 채묘 직후 부착밀도는 크레모나사 21합사의 경우 224.1 ± 183.4 개/cm를 나타내었으나 42합사의 경우 315.1 ± 198.4 개/cm를 나타내어 42합사의 경우 부착밀도가 높은 것으로 나타났다. 수조배양 기간이 지속되면서 부착밀도는 점차 감소하는 경향을 나타내었으며 60일후의 부착밀도는 21합사와 42합사에서 각각 73.0 ± 19.4 개/cm 및 96.2 ± 32.7 개/cm로 나타났다. 배우체의 생장도는 배양 60일후 21합사의 경우 엽장 54.9 ± 24.0 μm 였으나 42합사의 경우 30.6 ± 14.5 μm 로 나타나 21합사의 실험구에서 곰피 배우체의 생장도가 보다 우세한 것으로 나타났다.

3) 채묘 시간별 생장 및 채묘 효과

곰피의 인공채묘시 채묘시간은 유주자의 부착에 소요되는 시간을 결정하는데 중요한 요인이라 할 수 있다. 채묘 직후 유주자의 부착 밀도는 채묘 4시간 실험구에서 224.1 ± 183.4 개/cm로 최고치를 보였으며 1시간 실험구에서 81.4 ± 42.5 개/cm로 최저치를 나타내었다. 따라서 곰피의 유주자를 인공채묘할 경우 채묘들의 담금 시간은 4시간으로 유지하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

나. 가이식

1) 가이식 어장의 환경변화

곰피의 가이식 시험이 이루어진 전남 약산의 장용리 어장은 인근에 미역양식이 분포하고 있으며 비교적 내만형 어장임에도 불구하고 유속이 빨라 해수의 유동이

매우 원활한 지역이다. 곱피의 가이식 기간이었던 2006년 12월부터 2007년 3월까지 수온은 12월부터 2월까지 $12.4^{\circ}\text{C}\sim 8.8^{\circ}\text{C}$ 로 점차 감소하였다가 3월부터 9.6°C 로 다시 상승하기 시작하였다. 염분농도는 $32.6\sim 30.6$ ppt로 일정한 경향을 나타내었으며 용존산소농도는 2월에 최고치인 10.6mg/L 를 나타내었으며 1월에 최저치인 7.73mg/L 을 나타내었다. 전기전도도는 3월에 최고치인 49.85 ms를 보였으며 이외의 기간 중에는 $32.40\sim 37.84$ ms의 범위를 나타내었다.

2) 가이식 시기별 성장도

아포체의 부착밀도는 1차 가이식 시기인 12월 중순에 가이식을 실시한 실험구에서는 가이식 56일 후 아포체의 밀도가 15.4 ± 5.5 개/cm였으나 2차 가이식 실험구에서는 16.4 ± 6.1 개/cm 그리고 3차 가이식 실험구에서는 8.4 ± 2.8 개/cm로 나타나 2차 가이식 실험구에서 아포체의 부착밀도가 가장 높은 것으로 나타났다. 아포체의 길이생장은 2차 가이식 실험구에서 가이식 56일후 347.2 ± 124.9 μm 로 최고치를 나타내었으며 1차 가이식 실험구에서 114.3 ± 55.3 μm 로 최저치를 나타내었다. 가이식 82일후 유엽의 성장도는 1차 가이식 실험구의 경우 유엽 부착밀도는 종사 단위cm당 1.3 ± 0.1 개/cm로 가장 작았으며 2차 가이식 실험구의 경우 유엽의 부착 밀도가 3.5 ± 0.3 개/cm로 가장 많았다.

3) 가이식 수심별 성장도

곱피 아포체의 수심별 실험구의 초기 밀도는 48.4 ± 12.3 개/cm였으며 가이식 82일후 각 수심별로 차이를 보여 수심 2m 실험구에서 부착밀도가 3.5 ± 0.4 개/cm로 최고치를 나타내었으며 수심 1m 실험구에서 부착밀도가 0.3 ± 0.2 개/cm로 최저치를 나타내었다. 곱피 유엽의 생장은 각 수심별로 차이를 보여 가이식 82일후 수심 2m 실험구에서 엽장이 15.9 ± 3.4 mm로 최고치를 나타내었으며, 수심 1m 실험구에서 1.2 ± 4.4 로 최저치를 나타내었다. 따라서 곱피의 가이식 기간중 유엽의 발달을 위한 최적 가이식 수심은 수심 2m \rightarrow 1.5m의 순인 것으로 나타났다.

4) 해적생물상

곰피의 가이식 기간중 채묘틀 및 종사에 출현한 해적생물은 1월에는 구멍갈파래와 모로우붉은실 등이 출현하였으며 *Caprella* sp.가 출현하기 시작하였다. 2월에는 모로우붉은실의 밀도가 더욱 높아졌으며 잎파래와 구멍갈파래, 잔금분홍잎, 마디 잘록이 등이 출현하였고, *Caprella* sp.가 전달 보다 많은 밀도로 출현하였다. 3월에는 모로우붉은실의 밀도가 가장 높았으며 개미역쇠와 에기마디잘록이가 새로이 출현하였다. 4월에는 구멍갈파래와 *Caprella* sp.가 높은 밀도로 출현하였다. 종사에 덮인 빨질은 1월부터 지속적으로 출현하였다. 따라서 곰피의 가이식 기간 중 출현한 해조류는 7종이었으며 규조류와 동물을 포함하여 모두 11종의 해적생물이 출현하였다.

다. 양성

1) 양성 어장의 환경변화

곰피의 양성 시험이 이루어진 전남 약산의 장용리 어장은 인근에 미역양식이 분포하고 있으며 비교적 내만형 어장임에도 불구하고 유속이 빨라 해수의 유동이 매우 원활한 지역이다. 어장 환경 조사는 전남 완도군 약산면 장용리 시험 어장에서 2006년 3월부터 2007년 12월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다. 양성기간 중 수온은 8.80~25.6℃의 분포를 나타내었으며, 2007년 2월에 가장 낮은 8.8℃를 보였고, 2006년 8월에 가장 높은 25.6℃를 나타내었다. 염분농도는 29.7~33.6 ppt의 분포를 나타내었으며, 2006년 7월에 가장 낮은 29.7 ppt를 나타내었고, 2006년 4월에 가장 높은 33.6 ppt를 나타내었다. 용존산소의 농도는 매우 변화가 심하였으며 4.51~10.60 mg/L의 분포를 나타내었다. 계절별로는 겨울철에 용존산소의 농도가 높았으며 여름철에 낮은 농도를 보였다. 전기전도도는 32.4~49.85 ms의 분포를 나타내었다.

2) 양성 기간 중 곰피의 생장도

가) 곰피의 양성 생장도

곰피의 엽장은 2006년 5월부터 빠르게 생장하기 시작하여 8월에 길이생장이 감소하였다가 10월부터 길이생장이 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 길이생장의 증가는 2007년 4월까지 지속적으로 증가하여 최고 149.3 ± 26.2 cm를 나타내었으며 이후 수온의 증가와 함께 엽장이 감소하는 경향을 나타내었다. 곰피의 엽폭은 2006년 6월까지 빠르게 증가하여 12.4 ± 1.6 cm를 나타낸 이후 2007년 1월까지 14.2 ± 1.8 cm로 큰 차이를 나타내지 않았으나 2월부터 다시 엽폭이 증가하기 시작하여 4월에 최고치인 23.0 ± 3.1 cm를 나타내었다. 엽중량은 2006년 3월부터 2007년 4월까지 꾸준히 증가하여 2007년 4월에 최고치인 188.9 ± 46.5 g을 보였으며 5월부터 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 양성 로프의 단위m당 곰피의 현존량은 2006년 3월부터 꾸준히 증가하는 경향을 보여 2007년 5월에 최고치인 12.7 ± 7.1 kg/m를 나타내었다.

나) 양성 수심별 생장도 및 양성 효과

2006년 5월부터 10월까지 곰피의 주 생장시기 동안 수직식 양성 실험결과 6월과 10월의 각 수심별 곰피 엽체의 생장은 길이생장이 6월에 최대생장에 도달하였으나 이후 끝녹음이 일어나 길이생장이 감소하며, 10월이 되면 엽체의 비후도가 증가하기 시작하여 생체량이 증가하는 것으로 나타났다. 6월에는 1.5m 실험구에서 길이생장 및 생체량이 가장 높은 값을 보였으나 10월에는 2m 실험구에서 가장 높은 1.7 ± 0.01 kg/m의 생체량을 보였다. 각 수심별 곰피의 길이생장은 6월에 수심 1.5m 실험구에서 58.7 ± 9.1 cm로 최고치를 보였으며 수심 3m 실험구에서 34.5 ± 11.2 cm로 최저치를 보였다. 7월 이후에는 3m 실험구를 제외하고 1.5-2.5m 실험구에서 길이생장 차이는 유의한 차이를 보이지 않았다.

3) 해적생물상

양성 기간 중 곰피의 양성 로프에 출현한 해적생물은 총 24종으로 나타났으며, 이 가운데 해조류는 12종이었고 기타 해적생물은 12종으로 나타났다. 해조류 가운데는 모로우붉은실, 구멍갈파래 및 미끌지누아리의 출현빈도가 가장 많았으며 5월부터 8월까지 부착 해조류의 출현종수는 4-5종으로 나타났으며 이 외의 시기 동안은 1-3종으로 나타났다. 기타 해적생물의 출현양상은 주로 6월부터 9월까지의 시기 동안 출현종수와 생물량이 가장 많았다. 또한 7월부터 9월의 시기에는 기타 해적생물의 출현종수가 7-10종에 달하였으며, 8월에 출현종수가 10종으로 가장 많았다.

4) 곰피 양식 매뉴얼

곰피의 인공채묘 조건과 가이식 및 양성 조건을 도표화 하여 곰피 양식의 매뉴얼을 작성하였다. 곰피의 가이식 기간 중 적정 수심은 2m (수중광량 $671 \pm 377 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 였으며, 양성 기간 중 적정 수심은 1.5m (수중광량 $925 \pm 340 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)로 조절함으로써 효율적인 양식이 가능하였다.

4. 곰피의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

1) 곰피 추출물의 피부노화 및 melanin formation 억제효과

곰피 추출물의 CCD-986sk cell line에 대한 세포생리활성 효과를 MTT 검색법 (Tetrazolium-based colorimetric assay)을 이용하여 측정하였다. 대조군은 560nm 에서 전 구간에 걸쳐 0.064 ± 0.0032 의 흡광도를 나타낸 반면 시험군인 곰피 추출물 투여군은 1.56-6.25 mg/ml 구간에서 0.121 ± 0.017 , 0.123 ± 0.022 , 0.129 ± 0.031 의 흡광도 (Optical density)를 나타내어 대조군에 비해 강한 세포생리활성 효과를 나타내었다. 이러한 결과는 곰피 추출물을 투여한 시험군에서 대조군에 비해 CCD-986sk 사람피부계대세포의 수효가 약 200 퍼센트 더 증가한 것을 나타내는 것

으로 이는 곰피 추출물의 CCD-986sk 계대세포주에 대한 강한 세포생리 활성효과를 보여주는 결과로 사료된다.

Clone M-3 mouse melanocyte cell에 대한 곰피 추출물의 melanin pigment 저해 활성을 측정한 결과, 200mg/ml 구간에서만 유의성이 있는 실험결과를 나타내었는데, 이 구간에서 대조군의 흡광도는 0.187 ± 0.006 으로 측정되었고 시험군인 곰피 추출물 투여군의 흡광도는 0.127 ± 0.007 로 측정되었다. 따라서 곰피 추출물 투여군이 대조군에 비해 200mg/ml 구간에서 melanin pigment 생합성을 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다.

2) 곰피의 먹이 효율

사육시험 개시시 전복의 평균 각장은 73.5 ± 3.2 mm였는데, 사육시험 종료시 다시마 급이구에서 평균 각장은 87.7 ± 8.4 mm, 곰피 급이구에서 85.2 ± 7.2 mm였다. 각장의 일간생장은 다시마 급이구에서 0.118 mm/day, 곰피 급이구에서 0.098 mm/day였다. 사육시험 개시시 전복의 평균 무게는 49.2 ± 3.1 g였는데, 사육시험 종료시 다시마 급이구에서 평균무게는 78.5 ± 4.3 g, 곰피 급이구에서 75.4 ± 5.6 g였다. 무게의 일간생장은 다시마 급이구에서 0.24 g, 곰피 급이구에서 0.21 g였다. 먹이 급이 종류별 전복의 각장 및 무게성장에 있어 먹이효율은 다시마 > 미역 > 곰피 순으로 나타났다.

전복의 생존율은 사육시험 종료시 다시마 급이구에서 평균 $98.2 \pm 3.1\%$, 곰피 급이구에서 97.5 ± 1.8 mm였다. 전복의 일간사망율은 다시마 급이구에서 0.015%, 곰피 급이구에서 0.021%였다. 먹이 급이 종류별 전복의 사망 및 일간사망율에 있어 먹이의 영향은 다시마 > 곰피 > 미역 순으로 나타났다.

나. 경제성 분석

1) 곰피 양식의 경제성 분석

곰피 종묘 생산 (1,000틀 기준)의 손익계산에서 총판매수입은 30,000천원이었고, 자가노력비를 포함한 생산비는 18,800천원이었다. 총소득은 21,200천원으로 소득율은

10.67%였으며, 순소득은 11,200천원으로 이익율은 37.33%에 달하였다. 곱피 종묘 생산에 대한 공통형 손익계산에서 곱피 종묘 생산비용은 양식수익의 62.67%를 차지하였고, 매출액 순이익율은 평균 37.33%였다. 종묘생산의 민감도 분석에서 시설비가 20% 감소할 경우 양식이용 백분율은 5.31% 감소하며, 종묘생산 매출액 순이익율은 8.92% 증가하였다.

곱피 양식 생산 [20톤 (대)/ha 기준]의 손익계산에서 총판매수입은 66,960천원이었고, 자가노력비를 포함한 생산비는 4,500천원였다. 총소득은 63,460천원으로 소득율은 94.77%였으며, 순소득은 62,460천원으로 이익율은 93.27%에 달하였다. 곱피 종묘 생산에 대한 공통형 손익계산에서 곱피 양식 생산 비용은 양식수익의 6.73%를 차지하였고, 매출액순이익율은 평균 93.27%였다. 양식생산의 민감도 분석에서 시설비가 20% 감소할 경우 양식비용 백분율은 4.44% 감소하며, 종묘생산 매출액 순이익율은 0.32% 증가하였다.

V. 연구 개발 결과의 활용 계획

1. 기대효과

가. 기술적 측면

최근 미국과 유럽을 비롯한 선진국에서 진행되고 있는 생물 유전 자원의 상품화 및 물질 특허화 움직임은 국내 해양 유전 자원을 외국에 예속화시킬 우려가 높으므로 국내에서도 시급히 고유 해양생물종의 동정 및 보존에 대한 연구는 물론 해양 생물 유전자원의 확보 및 보존에 대한 연구도 본격적으로 시작되어야 할 시점이라 할 수 있다. 해조류 유전자원의 개발은 현재 세계적으로도 활발히 연구가 진행되기 시작한 초기 연구 단계에 있으므로 해양 유전 자원의 탐색과 개발 및 보존 분야에 있어서 국제적인 우위를 점유하는 데에도 크게 기여할 것이며, 학문적인 경쟁력 확보 뿐만 아니라 해조류 양식산업의 종주국으로서의 기초학문 발전과 미래의 응용기술 개발에 직접 이용되어 질 것이다. 또한 새로운 해조류를 대상으로 한 양식기술의 개발은 우리나라의 해조류 양식기술의 수준을 가일층 높이는 계기가 될 수 있으며, 이러한 양식기술의 진보는 보다 다양한 양식 대상종의 개발의 가능성을 높게 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 여름철 전복 먹이원으로써 유용한 곰피의 대량생산을 위한 양식기술에 필요한 인공종묘생산, 실내 배양, 가이식, 분양성의 관리조건을 구명하므로써 곰피 인공대량양식의 기술적인 토대를 이루었다고 판단된다.

본 연구의 기술적인 측면을 요약하면

- 첫째, 곰피의 유리배우체 배양을 통하여 완전양식의 안정성을 확보하였으며,
- 둘째, 안정적인 인공종묘생산기술의 확립으로 곰피의 대량양식화를 유도하였으며,
- 셋째, 적정 실내배양, 가이식, 양성 조건을 구명하고 이들 최적조건을 활용한 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 것으로 보이며,
- 둘째, 미역, 다시마, 툇 등의 해조류들 보다 단위면적당 수익성이 높아 해조류 양식어업인들의 소득증대에 기여할 것이다.
- 셋째, 곰피의 대량생산체제에 연동하여 곰피를 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, 곰피의 인공양식기술을 매뉴얼화하여 보급함으로써 곰피 양식의 산업화 유도
- 둘째, 곰피의 안정적인 완전양식에 의한 높은 부가가치창출로 해조류 양식어가의 경영 경쟁력 확보
- 셋째, 곰피의 완전양식기술을 다양한 미이용 유용 해조류의 인공양식기술 개발에 활용
- 넷째, 곰피의 대량생산에 연계한 다양한 가공제품의 개발, 곰피 추출물을 활용한 건강보조식품의 개발, 다양한 의약품의 원료 추출에 관계된 바이오산업에 활용
- 다섯째, 곰피의 인공양식은 부영양염의 제거, 다양한 기질 및 지역의 해중립 조성, 여름철 고수온기 전복의 보조먹이원의 확보에 활용

여 백

SUMMARY

The marine brown alga, *Ecklonia stolonifera* Okamura, is the dominant perennial macrophyte on the southern coast of Korea (Kang 1966, Park et al. 1994). A stable source of seaweed would also allow for better management of feeding regimes for cultured herbivores (Yoon et al. 2004) making growth more predictable (Edding and Tala 2003). Considerable knowledge has been accumulated on its distribution, growth and population structures from an ecological point of view (Notoya 1984, 1986, Notoya and Aruga 1990, Park et al. 1994). In Korea, *E. stolonifera* is an edible seaweed as a raw materials itself. The alga was traditionally collected by dive woman of southern coast of Korea. Commercial cultivation are not developed yet.

The utilization of marine alga as food for humans and marine animals has an extensive history in Asian countries (Ohno and Critchley 1993). Intensive seaweed cultivation techniques are well-developed as *Laminaria* in China (Tseng 1987) and Japan (Kawashima 1984), *Undaria* in Japan and Korea (Ohno and Matsuoka 1993), *Porphyra* in Japan, Korea and China (Oohusa 1993). Korea is the fourth country of the seaweed production in the world as 621,154 MT and it is almost 6% of the total production (FAO 2005). The abalone, *Haliotis discus hannai*, is a highly sought-after delicacy in Korea, which is the destination of 90% of the product from the local fishery. In Korea, there are 5 species of abalone distributed, however, only *H. discus* is presently cultured commercially (Son et al. 2003). In the feeding of commercially cultured abalone, significant amounts of algae are required, as they may consume between 10% and 30% of their body weight in algae daily (Corazani and Illanes 1998, Serviere-Zaragoza et al. 1998). Parallel harvesting efforts are required to provide these amounts of algae for invertebrate cultures (Edding and Tala 2003). For the herbivorous abalone, this feeds preferentially on the

local brown seaweeds *Undaria pinnatifida* and *Laminaria japonica*. Increasing demand of the abalone since 1990 in Korea, abalone producers are facing increasing problems with the acquisition of forage supply, especially during summer seasons. For most of the sea-cages culturing systems of abalone, fresh seaweed is the most important feed. Recent increasing summer water temperature caused deterioration of *Laminaria* holdfast. It brings depletion of seaweed feed for abalone during the summer period. There is the reason to develop a new seaweed species as an industrial scale of cultivation.

One of the suitable candidates is brown seaweed, *E. stolonifera* Okamura. It belongs to the Laminariales, and it is a species that dominates in cover and biomass the lower-intertidal and shallow-subtidal regions, which are wave exposed and rocky, along most of the temperate Pacific coasts of Korean Peninsular (Kang 1966, 1968). This alga is economically important because it is used as food in Korea (Sohn 1998). From an ecological point of view, *E. stolonifera* can be used as food, shelter, and area for larval settlement by invertebrates and fish (Notoya and Aruga 1990, Kim and Yoo 2003).

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

1. Physiological characteristics of *Ecklonia stolonifera*

Induction of maturation and zoospore release of isolated discs were conducted under different temperature and irradiance conditions. Discs from meristematic transition zone of *E. stolonifera* were formed sorus under $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and $15\text{-}20^\circ\text{C}$ after 125 days culture. The maximum mean area of sorus formation was 35.1% under $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 20°C after 175 days culture. Also discs from distal zone of *E. stolonifera* were formed sorus under $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 20°C after 100 days culture. The maximum mean area of sorus formation was 42.1% under $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 25°C after 175 days culture. Therefore, discs

from distal zone showed larger area of sorus formation than discs from meristematic transition zone. According to the age of *E. stolonifera*, discs from 1 year old were bleached after 50 days culture. But other discs from 2 years old were formed sorus after 100 days culture.

With photosynthetic yield of *E. stolonifera*, vegetative and mature thalli were showed 0.743 ± 0.002 and 0.716 ± 0.001 , respectively. According to their age, the photosynthetic yield of 0, 1 and 2 years old thalli were showed 0.657 ± 0.044 , 0.764 ± 0.005 and 0.763 ± 0.010 , respectively. Chlorophyll contents were decreased with age of *E. stolonifera*. Optimum culture conditions for gametophytes, micro sporophytes and sporophytes of *E. stolonifera* were 15-20°C and $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Temperature tolerance range of young *E. stolonifera* was wider in smaller size group than larger group in length. Daily growth rate of 1 cm length groups was maximum as 0.82-0.83 mm/day under 12-15°C ranges.

2. Mass culture conditions according to reproduction methods of *Ecklonia stolonifera*

Mature fronds of *E. stolonifera* were collected from a local population located on the Yosu (34°37'N, 127°38'E) in southwestern coast of Korea. After algal collection, the fronds were transported immediately to the laboratory using ice-box. The plants were rinsed in sterile, filtered seawater and the sorus excised. These were then dried at dark and humid condition for 1 hr. Zoospore released after insert the sorus into the seawater tank. As a seeding material for the zoospores, PVC frame (ca. 45 cm in height x 55 cm in width, having a total length of 200 m string made of mixed nylon and polypropylene fibers) for *Undaria* cultivation were used, and the seed frames were inserted into the zoospore suspension.

For the direct seeding of zoospores from mature thalli, artificial seeding of *E. stolonifera* could be lead destroyed natural resources of the alga. Therefore,

mass culture of free-gametophytes of this species are highly recommended for their artificial seeding. Optimal culture condition for growth of female and male gametophyte was 10°C - 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ - 10:14h (L:D) and 20°C - 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ - 10:14h (L:D), respectively. Optimal culture condition for oogonia and spermatia was 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 14:10h (L:D).

Holdfast of *E. stolonifera* at the cultivation ground regenerated new thalli during the winter seasons. The maximum number of regenerated thalli was 92 ind./m in January. With the perennial nature of this alga, multi-harvest for this species could be possible without second seeding.

3. Artificial seeding and cultivation

Experiments found optimum conditions for artificial seed production and cultivation of *E. stolonifera*. Experiments were conducted to reveal the optimal conditions for nursery culture and out-growing of *E. stolonifera*. Sampling and measurement of underwater irradiance were carried out at farms cultivating *E. stolonifera* at Wando, southwestern coast of Korea, from March 2006 to December 2007. Growth of young thalli and underwater irradiance were measured over a range of depths for two culture stages. During the nursery cultivation stage (Stage I), growth rate was greatest at 2 m depth (0.194 ± 0.041 mm/day) where the average mid day irradiance over 82 days was 671 ± 377 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. During the main cultivation stage (Stage II), the greatest growth rate occurred at 1.5 m depth (4.825 ± 0.713 mm/day) with an average irradiance of 925 ± 340 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. These results suggest that the optimal growth at each cultivation stages of *E. stolonifera* could be controlled by depth of cultivation rope.

4. Utilization and Economical evaluation

In order to investigate whether or not CCD-986sk cell line can be affected by the *E. stolonifera*, we examined the MTT assay when we treated

the *E. stolonifera* extract in CCD-986sk human fibroblast cell line. The sample were tested for cell proliferation activity by means of a modification of the MTT assay. *E. stolonifera* Okamura extract showed significantly strong cell proliferation activity at the range of from 6.25 mg/ml to 1.56 mg/ml compared with control group.

And in order to search for inhibition agents of skin melanin formation, we tested for inhibition effect of melanin pigmentation of Korean *E. stolonifera* using Clone M-3 mouse melanocyte cell lines. when we treated the extracts of *E. stolonifera* to the mouse melanocyte cell lines, the sample showed a significantly little formation of melanin pigments compared with control group at the only range of 200 mg/ml. These results suggest that extract of *E. stolonifera* may represents an excellent candidate for inhibition of melanin pigmentation and for protection of human skin aging at *in vitro* level.

A 120 days feeding trials was conducted in an sea-cage system to investigate the effects of three different algae food (*Ecklonia stolonifera*, *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*) on growth and survival rate of *Haliotis discus hannai*. *L. japonica* diets produced significantly greater shell length and body weight growth of abalone than *U. pinnatifida* and *E. stolonifera* ($p < 0.05$). Survival rates of abalone were 98.3% in *Laminaria*, 97.5% in *Ecklonia*, and 96.5% in *Undaria*, different diets had no significantly ($p > 0.05$). The result of this study indicate that *E. stolonifera* could be a practical diet for abalone culture.

From 20 set of installation (100 m of long-line culture rope), ca. 25 tons-wet wt of *E. stolonifera* can be produced. Total sale of the production is 66,960 thousand won and production cost is 4,500 thousand won, thus the net profit is 62,460 thousand won. The profit rate of *E. stolonifera* cultivation is 93.27%.

여 백

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the study	47
1. Purpose of the study	47
2. Necessity of the study	48
3. Range of the study	50
Chapter 2. Status and overview of research in the world	51
Chapter 3. Contents and Results	52
1. Contents of the study	52
1-1. Physiological study of <i>Ecklonia stolonifera</i>	52
1-1-1. Maturation and zoospore release from sporophytes	52
1-1-2. Growth according to growth stages of <i>Ecklonia stolonifera</i>	54
1-2. Mass culture conditions according to reproduction methods of <i>Ecklonia stolonifera</i>	56
1-2-1. Zoospore release and seeding	56
1-2-2. Mass culture of free-gametophytes	56
1-2-3. Regeneration of holdfast	57
1-3. Cultivation study of <i>Ecklonia stolonifera</i>	58
1-3-1. Artificial seeding	58
1-3-2. Nursery culture	58
1-3-3. Main cultivation	60
1-4. Utilization and economical efficiency of <i>Ecklonia stolonifera</i> cultivation	62

2. Results	63
2-1. Physiological study of <i>Ecklonia stolonifera</i>	63
2-1-1. Maturation and zoospore release from sporophytes	63
1) Maturation induction of discs from meristematic of transition zone <i>E. stolonifera</i>	63
2) Maturation induction of discs from distal zone of <i>E. stolonifera</i>	65
3) Maturation induction of different ages of <i>E. stolonifera</i>	67
4) Photosynthetic yield of different ages of <i>E. stolonifera</i>	68
5) Morphological and physiological characters of different ages of <i>E. stolonifera</i>	68
2-1-2. Growth according to growth stages of <i>Ecklonia stolonifera</i>	71
1) Temperature, irradiance and photoperiod conditions for gametophytes culture	71
2) Temperature, irradiance and photoperiod conditions for microscopic sporophytes culture	73
3) Temperature, irradiance and photoperiod conditions for sporophytes culture	74
4) Temperature tolerances of different size groups of young thalli	77
2-2. Mass culture conditions according to reproduction methods of <i>Ecklonia stolonifera</i>	80
2-2-1. Zoospore release and seeding	80
2-2-2. Mass culture of free-gametophytes	82
2-2-3. Regeneration of holdfast	88
2-3. Cultivation study of <i>Ecklonia stolonifera</i>	90
2-3-1. Artificial seeding	90

1) Maturation period of natural population	90
2) Seeding efficiency and growth of germlings with substrates	92
3) Seeding efficiency and growth of germlings with seeding periods	92
2-3-2. Nursery culture	93
1) Environmental changes during the nursery culture	94
2) Nursery culture efficiency and growth of thalli with time of nursery culture initiation	95
3) Nursery culture efficiency and growth of thalli with depth	97
4) Harmful organism during nursery culture	99
2-3-3. Main cultivation	100
1) Environmental changes during the main cultivation	100
2) Growth during the main cultivation period	101
3) Harmful organism during the main cultivation period	107
4) Harvesting yield	109
2-4. Utilization and economical efficiency of <i>Ecklonia stolonifera</i> cultivation	112
2-4-1. Utilization	112
1) Effect of <i>Ecklonia stolonifera</i> extract on the anti-skin ageing and melanin formation	112
2) Feed efficiency of <i>Ecklonia stolonifera</i>	120
2-4-2. Economic analysis	125
Chapter 4. Achievement and Contribution	145
Chapter 5. Application of results	150
Chapter 6. References	152

여 백

목 차

제 1 장 연구 개발 과제 개요	47
제 1 절 연구 개발의 목적	47
제 2 절 연구 개발의 필요성	48
제 3 절 연구 개발의 범위	50
제 2 장 국내외 기술 개발 현황 및 과학 기술 정보	51
제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과	52
제 1 절 연구 개발 수행 내용	52
1. 곰피의 생리학적 특성 연구	52
가. 포자체의 엽체 부위별 성숙 및 유주자 방출 유도	52
나. 곰피의 생육 단계별 성장 특성	54
2. 곰피의 생식 방법별 대량 배양 조건 연구	56
가. 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘	56
나. 유리배우체의 대량배양	56
다. 포복지의 영양번식 (재생)	57
3. 곰피의 양식학적 연구	58
가. 인공채묘 조건	58
나. 가이식	58
다. 양성	60
4. 곰피의 이용 및 경제성 분석	62

제 2 절 연구 개발 수행 결과	63
1. 곰피의 생리학적 특성 연구	63
가. 포자체의 엽체 부위별 성숙 및 유주자 방출 유도	63
1) 성장대 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도	63
2) 선단 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도	65
3) 곰피 엽체의 연령별 성숙 및 유주자 방출 유도	67
4) 곰피 엽체의 부위별 광합성능 비교	68
5) 곰피 엽체의 연령별 형질과 광합성능 및 클로로필 함량 비교	68
나. 곰피의 생육 단계별 성장 특성	71
1) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 배우체의 성장	71
2) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 아포체의 성장	73
3) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 포자체의 성장	74
4) 곰피 유엽의 크기별 온도 내성	77
2. 곰피의 생식 방법별 대량배양 조건 연구	80
가. 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘	80
나. 유리배우체의 대량배양	82
다. 포복지의 영양번식 (재생)	88
3. 곰피의 양식학적 연구	90
가. 인공채묘	90
1) 적정 채묘 시기 구명	90
2) 채묘 기질별 성장 및 채묘 효과	92
3) 채묘 시간별 성장 및 채묘 효과	92

나. 가이식	93
1) 가이식 어장의 환경변화	94
2) 가이식 시기별 성장도	95
3) 가이식 수심별 성장도	97
4) 해적생물상	99
다. 양성	100
1) 양성 어장의 환경변화	100
2) 양성 기간 중 곰피의 성장도	101
3) 해적생물상	107
4) 곰피 양식 매뉴얼	109
4. 곰피의 이용 및 경제성 분석	112
가. 이용	112
1) 곰피 추출물의 피부노화 및 melanin formation 억제효과	112
2) 곰피의 먹이 효율	120
나. 경제성 분석	125
제 4 장 연구 개발 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	145
제 5 장 연구 개발 결과의 활용계획	150
제 6 장 참고문헌	152

여 백

제 1 장 연구 개발 과제의 개요

제1절 연구 개발의 목적

우리나라 해조류 양식 산업의 구조개선과 가격하락 문제를 개선하기 위하여, 해조류양식 품종의 다변화는 꾸준히 수행되어져야 하는 과제이다. 곰피는 성게, 전복 등 유용해산동물의 먹이원으로 해중립의 주요 구성종이며, 경남 지역에서는 싹 채소의 하나로 오래전부터 식용으로 이용해오고 있다. 특히, 곰피에는 알긴산 뿐만 아니라 순도가 높은 fucoidan이 다량 함유되어 있으며 (이 등 1995), 곰피의 fucoidan은 트롬빈 활성이 높아 헤파린의 약 1.4 배에 달한다고 한다. 최근 전복 산업의 확대에 따라 여름철 고수온기 전복 먹이의 부족현상을 해결하기 위한 대안으로 곰피에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 곰피의 생식 방법에 따른 기초연구를 바탕으로 하여 종묘생산 및 양성기술을 개발함으로써 해조류 양식품종의 다양화를 유도하고, 양식 기술을 널리 보급함으로써 어업인의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 곰피의 대량생산을 통한 고부가가치성을 창출하는 의약품용 원료 공급원 및 다년생 갈조류인 곰피의 특성을 이용하여 연안양식어장의 부영양염 흡수를 위한 인공 해중립의 구성원으로 이용코자 한다. 또한 전복 양식 산업의 경쟁력 제고를 위해선 여름철 고수온기의 원활한 먹이 공급원을 확보하는 것이 중요하고, 곰피와 같은 대형 갈조류의 대량 종묘생산 기술 개발로 새로운 전복 먹이원으로써의 공급체계 마련에 기여하고자 한다.

제2절 연구 개발의 필요성

대형갈조류는 다시마, 대황, 감태, 곰피, 모자반 등을 일컬으며 이러한 대형 갈조류가 우점하는 점심대에 형성된 해조류 군락을 해조숲 또는 해중림이라 부른다 (谷口 1996, 大野 1985). 해중림은 가장 중요한 일차 생산이 일어나는 장소일 뿐만 아니라 엽상체를 생활 기반으로 하는 부착성 표생동물 군집과 전복, 성게, 소라 등 초식 동물과 불락, 조피불락, 쥐노래미 등 해조 군락을 서식지나 산란장 또는 은신처로 이용하는 어류 (Ohno 1993, Watanuki and Yamamoto 1990)에 이르기까지 풍부한 생물상을 가지는 생물사회를 구성하고 있다 (김과 장 1992). 특히 전복, 성게, 소라 등은 그 어업 생산 자체가 먹이 자원의 풍부도에 의하여 직접 영향을 받는다고 알려져 있다 (Laycock 1974, 남 등 1985).

최근 우리나라에서도 바다 목장화와 관련하여 연안 어장 자원 증대 사업의 추진 전략을 수립하여 연구가 진행되고 있으며, 주요 내용은 인공어초 설치와 종묘의 대량 생산과 방류에 의한 자원조성 및 양식 기술 개발을 통한 적극적인 자원조성 등 연안 어장 자원 증대의 기본 사업을 포함하고 있다. 그러나 현재까지 수행된 인공 어초 사업 관련 연구는 인공어초 부근에서 어획된 어류의 영향에 대한 조사가 대부분이며 (이와 강 1994), 해중림을 이루는 주체인 해조류에 대한 연구로서 자원조성을 위한 대형 갈조류의 종묘생산 기술 및 이들을 이식하였을 때의 효과에 대하여는 조사된 예가 매우 드물다.

해양의 일차생산자로서 연안에 서식하는 해조류는 생물자원으로서 오랫동안 인간에 이용되어 왔으며, 이미 우리에게 친숙해져 있는 식용으로서의 용도 이외에도 의약품, 공업용, 비료용 및 사료용 등으로 광범위하게 이용되어져 왔다 (Indergarrd 1983). 해양에서 연안 지역이 차지하는 의미는 유용 수산동물 자원의 산란장과 치어의 생육장으로서의 역할을 수행하며, 육지로부터 유입되는 풍족한 영양염의 공급과 높은 일차생산력으로 인해 수산생물이 서식하기에 좋은 여건을 가지고 있다. 또한 해양의 대부분은 젖은 사막 (wet desert)인데 반하여, 연안역은 높은 생산력을 가지는 중요한 지역이라 할 수 있다. 이러한 연안 해역의 환경

특성을 이용한 연안 양식어업이 우리나라에서도 성행하고 있는데, 전복양식이 하나의 대표적인 예라 할 것이다. 최근에 서남해역을 중심으로 육상수조식 및 해상 가두리식 전복양식이 크게 확대되고 있는데, 전복양식은 단위면적당 가장 높은 수익을 올리는 산업으로 그 규모가 더욱 커 질것으로 예상되고 있으나, 전복양식의 가장 큰 관건중의 하나는 안정적인 먹이 확보이다. 전복은 양성기간 동안 주로 미역 또는 다시마와 같은 해조류를 섭이하는데, 전복의 주먹이가 되는 미역, 다시마는 생리적으로 수온이 13-14℃ 이상으로 상승하면 엽체의 끝녹음이 발생하여 한여름 고수온기에는 엽체의 대부분이 녹아 없어지게 되어 여름철 고수온기 전복 양성시 필요로 하는 먹이를 확보할 수 없는 상황이 심화되고 있다.

여름철 고수온기 전복의 먹이원의 확보는 전복양식 산업의 경쟁력을 좌우할 수 있는 중요한 문제로 그 대안 될 수 있는 해조류 중의 한 종이 곰피이다. 곰피는 다시마와 형태적으로 매우 유사한 해조류로 알긴산 뿐만 아니라 양질의 푸코이단을 다량 함유하고 있고, 성숙시기도 9-10월로 고수온기를 온전한 엽상체의 형태로 보내기 때문에 다시마를 대신한 여름철 고수온기의 전복의 먹이원으로 매우 적절한 해조류이다.

우리나라의 해조류양식은 여전히 식용 생체량 생산에 국한되고 있으나 자원 조성용으로 사용이 우수한 효과를 볼 수 있는 다년생 대형 갈조류인 곰피의 생태에 대하여는 Maegawa (1990), Maegawa and Kida (1989) 등에 의해 연구된 바 있으나, 국내에서는 Park et al. (1994)의 곰피의 성장과 연령 조성에 관한 연구를 제외하고는 이들의 증양식과 관련한 연구는 아직까지 체계적으로 수행되지 않고 있다.

이 연구의 목적은 해중립의 주요 구성종인 다년생 대형 갈조류 곰피의 인공채묘 및 양식학적 연구를 통하여 연안 자원조성용 종묘 생산 기술의 축적뿐만 아니라 우리나라 서남해역의 주요 어업인 소득원인 전복의 안정적인 여름철 고수온기 먹이 공급원으로써 그 활용도를 높이는데 있다.

제3절 연구 개발의 범위

구분	목 표	내용 및 범위
1차년도 (2006년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성숙 및 재생 유도 ○ 인공 채묘 조건 구명 ○ 인공 채묘 기법 확립 ○ 가이식 기법 확립 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광·온도·광질·광주기별 배양 ○ 성숙·재생 유도 조건 구명 ○ 유주자 대량방출 및 착생 조건 조사 ○ 채묘 기질·채묘 방법별 부착효과 조사 ○ 적정 가이식 조건 및 해적생물 구제 조건 구명
2차년도 (2007년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양성 기법 확립 ○ 경제성 분석 ○ 완전 양식 기법 확립 ○ 이용방안 연구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양성 관리 조건 구명 ○ 현장 시험 양식 ○ 양식 수익성 및 경제성 분석 ○ 대량배양 및 종묘 보급 체계 확립 ○ 완전 양식 기법 매뉴얼 작성

제2장 국내외 기술 개발 현황 및 과학 기술 정보

곰피 (*Ecklonia stolonifera*) (이와 강 1986)는 우리나라 동해안과 남해안에 폭넓게 분포하는 대형 갈조류로 수심 2-10m의 조하대에 주로 서식하고 있다 (Kang 1966). 이 종은 연안 역에서 중요한 1차생산자의 역할을 담당하고 있는 종이며 (Druehl et al. 1977), 해중림의 주요 구성종으로써 연안 생태계에 있어서 생태학적으로나 수산업상 매우 중요한 위치를 점유하고 있다.

최근 이러한 대형 갈조류에 관한 연구는 주로 생태학적인 관점에서 이루어져 왔으며 (Notoya 1984, 1985, 1986, 1987, Notoya and Aruga 1990), 유주자의 발아 (Notoya and Asuke 1983)와 핵분열 (Yabu and Notoya 1985) 등에 관한 연구가 주로 일본의 연구자들에 의하여 보고된 바 있다. 국내에서 보고된 연구로서는, Park et al. (1994)이 부산만 인근해역 곰피의 생장과 연령 조성에 관한 연구를 통하여 곰피의 생장과 성숙 주기를 밝힘으로써 우리나라에 자생하고 있는 곰피의 군집생태를 파악하는데 실질적인 자료를 제공하였으며, 이후 해중림 조성의 목적으로 순간접착제를 이용한 곰피의 이식 등에 관한 연구 (최 등 2002)가 보고된 바 있다. 그러나 지금까지 곰피의 인공종묘생산이나 대량양식 기술개발에 관한 체계적인 연구는 극히 미진하다.

따라서 이 연구를 통하여 곰피의 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. 또한 전복 양식산업의 경쟁력 제고를 위해 곰피를 이용한 여름철 고수온기의 원활한 먹이 공급원으로 활용방안을 제시할 수 있게 되었다.

이러한 연구 성과는 환경생물학회지의 Hwang et al. (2008) 연구논문으로 투고되었으며, 2건의 특허출원 성과 및 3건의 국내학술논문 발표 성과를 거두었다. 또한 2008년도 6월 21-27일에 아일랜드에서 개최된 제11차 국제응용해조류학회 컨퍼런스에서 2건의 학술논문 발표를 수행하였으며, 이 학회에서 발표한 논문은 Journal of Applied Phycology에 인쇄 중에 있다.

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구 개발 수행 내용

1. 곰피의 생리학적 특성 연구

가. 포자체의 엽체 부위별 성숙 및 유주자 방출 유도

1) 성장대 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도

곰피 엽체의 부위별로 성장대 부위의 직경 1.1 cm 크기의 엽체를 디스크 모양으로 절취하여, 3개 조도조건 (30, 60, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 4개 온도조건 (10, 15, 20, 25°C)의 조합인 12개 실험구간에서 각각 10개씩의 디스크를 수용하여 3반복 실험하였다. 자낭반의 형성 비율은 10개의 디스크 중 자낭반이 형성된 디스크의 비율로 구하였으며, 각 디스크의 자낭반 형성 면적의 평균을 자낭반 형성 면적으로 구하였다. 모든 실험구는 직경 5 cm의 멸균된 Petri dish를 사용하였으며, 배양액은 PESI 배지를 사용하여 3일 간격으로 환수하였다. 배양실험은 Multi thermo incubator MTI-202B (EYELA, Japan)를 사용하였다. 유주자 방출의 유무는 현미경 검경을 통하여 암기가 끝나는 시점에 측정하였다.

2) 선단 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도

곰피 엽체의 부위별로 선단 부위의 직경 1.1 cm 크기의 엽체를 디스크 모양으로 절취하여, 3개 조도조건 (30, 60, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 4개 온도조건 (10, 15, 20, 25°C)의 조합인 12개 실험개 실험구간에서 각각 10개씩의 디스크를 수용하여 3반복 실험하였다. 자낭반의 형성 비율은 10개의 디스크중 자낭반이 형성된 디스크의 비율로 구하였으며, 각 디스크의 자낭반 형성 면적의 평균을 자낭반 형성 면적으로 구하였다. 모든 실험구는 직경 5 cm의 멸균된 Petri dish를 사용하였으며, 배양액은 PESI 배지를 사용하여 3일 간격으로 환수하였다. 배양실험은 Multi thermo incubator MTI-202B (EYELA, Japan)를 사용하였다. 유주자 방출의 유무는 현미경 검경을 통하여 암기가 끝나는 시점에 측정하였다.

3) 곰피 엽체의 연령별 성숙 및 유주자 방출 유도

실험에 사용한 곰피 엽체는 2006년 10월에 전남 완도군 약산면 해조류연구센터 시험어장에서 채취하였다. 곰피 엽체는 각각 2년생과 1년생으로 구분하여 채집 즉시 실험실로 운반하였으며, 자낭반 일부를 직경 1.1 cm 크기의 엽체를 디스크 모양으로 절취하여 멸균해수로 수회 세척한 후 항생제 용액 (Provasoli's antibiotic concentrated solution, Sigma)에 2-3분간 침적하였다. 실험조건은 3개 조도 조건 (30, 60, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C)의 조합인 12개 실험구간에서 각각 10개씩의 디스크를 수용하여 3반복 실험하였다. 자낭반의 형성 비율은 10개의 디스크 중 자낭반이 형성된 디스크의 비율로 구하였으며, 각 디스크의 자낭반 형성 면적의 평균을 자낭반 형성 면적으로 구하였다. 모든 실험구는 직경 5 cm의 멸균된 petri dish를 사용하였으며, 배양액은 PESI 배지를 사용하여 3일 간격으로 환수하였다. 배양실험은 Multi thermo incubator MTI-202B (EYELA, Japan)를 사용하였다. 유주자 방출의 유무는 현미경 검경을 통하여 암기가 끝나는 시점에 측정하였다.

4) 곰피 엽체의 부위별 광합성능 비교

곰피 엽체의 부위별 광합성능의 차이를 알아보기 위하여 성장대 부분과 자낭반이 형성된 부위에서 각각 직경 1.1 cm 크기의 엽편을 디스크 모양으로 절취하여 디스크의 중량과 두께 그리고 각각의 광합성능을 측정하였다. 디스크의 절취는 각각 5개의 개체로부터 한 개씩 절취하여 성장대 부분과 자낭반 부위의 5반복 실험이 가능하도록 하였다. 광합성능의 측정은 부위별 디스크를 암적응시킨 후 PAM-2000 (Walz, Germany)를 사용하여 최적양자수율 (optimum quantum yield) 을 구하였다. 곰피 엽체의 암적응 방법은 멸균해수를 넣은 Petri dish에 넣어 빛이 투과되지 않는 Ice box 내에서 5분간 유지하였다.

5) 곰피 엽체의 연령별 형질과 광합성능 및 클로로필 함량 비교

곰피 엽체의 연령군별 형질과 광합성능 및 클로로필 함량 비교를 위하여, 2007년 4월에 전남 완도군 약산면 장용리의 시험어장에서 예비양성 실험 중인 곰피 엽체를

채취하여 0년생, 1년생 및 2년생 군으로 구분하여 각각 5개씩의 엽체를 선별하였다. 연령별 형질의 측정은 엽장, 엽폭, 주지길이, 중량 등을 측정하였다. 광합성능의 측정은 연령군별 디스크를 암적응시킨 후 PAM-2000 (Walz, Germany)를 사용하여 최적양자수율 (optimum quantum yield)을 구하였다. 곰피 엽체의 암적응 방법은 멸균해수를 넣은 Petri dish에 넣어 빛이 투과되지 않는 Ice box 내에서 5분간 유지하였다. 클로로필의 분석은 아세톤 추출법 (Meeks 1974, Sternman 1994)에 따라 630, 647 및 664nm의 흡광도에서 분광광도계 (U-1100 Spectrophotometer, Hitachi, Japan)를 이용하여 측정하였다.

나. 곰피의 생육 단계별 성장 특성

1) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 배우체의 생장

실험에 사용한 곰피 엽체는 2006년 10월에 전남 완도군 약산면 해조류연구센터 시험어장에서 채취하였다. 곰피 성숙 엽체는 채집 즉시 실험실로 운반하여 자낭반 일부를 절취하고 멸균해수로 수회 세척한 후 항생제 용액 (Provasoli's antibiotic concentrated solution, Sigma)에 2-3분간 침적하였다. 자낭반은 100 ml의 멸균해수를 넣은 비이커에 수용하여 15°C와 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 유주자 방출을 유도하였다. 10cm 직경의 Petri dish를 이용하여 바닥에는 멸균된 cover glass를 깔고 멸균해수 20 ml와 유주자액 2 ml을 분주하여 cover glass에 방출된 유주자가 착생하도록 하였다. 유주자가 착생된 cover glass는 다시 5 cm 직경의 Petri dish로 옮겨 각각의 온도, 조도 및 광주기 실험 조건으로 옮겨 배우체의 생장을 측정하였다. 배양액은 PESI medium (Tatewaki 1966)에 항생제 용액을 첨가하여 사용하였으며 2-3일 마다 전량 교체하였다.

온도 및 조도조건은 각각 4개 온도조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다.

광주기 조건별 배우체의 생장실험은 온도와 조도를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 각각 10:14, 12:12 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 곰피 배우체의 성장도를 측정하였다. 곰피 배우체의 성장도 측정은 엽장, 엽폭 및 세포수를 측정하였다.

2) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 아포체의 생장

온도 및 조도 조건은 각각 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도 조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다.

광주기 조건별 아포체의 생장실험은 온도와 조도를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 각각 10:14, 12:12 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 곰피 아포체의 생장도를 측정하였다. 곰피 아포체의 생장도 측정은 엽장, 엽폭 및 1개의 암배우체당 아포체 수를 측정하였다.

3) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 포자체의 생장

온도 및 조도 조건은 각각 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도 조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다.

광주기 조건별 포자체의 생장실험은 온도와 조도를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 각각 10:14, 12:12 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 곰피 포자체의 생장도를 측정하였다. 곰피 포자체의 생장도 측정은 엽장 및 엽폭을 측정하였다.

4) 곰피 유엽의 크기별 온도 내성

곰피 유엽의 전배양은 성숙 모조로부터 수집한 유주자를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 와 10:14h (L:D) 조건에서 실시하였다. 유엽의 엽장은 각각 평균 1 mm, 5 mm 및 10 mm 균으로 구분하여 각각 30 개체씩 직경 5 cm의 멸균된 Petri dish 또는 10×4 cm의 SPL lab ware를 사용하여 분주하였다. 온도 내성 실험은 5개 온도 조건 (12, 15, 18, 21, 24°C)에서 실시하였으며 이때 조도와 광주기는 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 와 10:14h (L:D)로 하였다. 모든 실험은 3반복 실험구로 실시하였으며, 배양액은 PESI 배지를 사용하여 3일 간격으로 환수하였다. 배양실험은 Multi thermo incubator MTI-202B (EYELA, Japan)를 사용하였다.

2. 곰피의 생식 방법별 대량 배양 조건 연구

가. 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘

곰피 성숙 엽체는 2006년 10월 전남 여수시 화태도 인근의 수심 4-5m에서 채취하였으며, 채집 즉시 실험실로 운반하였다. 유주자의 방출은 자낭반이 형성된 엽체 부위만을 선별 절단하여 약 1 시간정도 음건시킨 후 여과해수를 1/4 정도 채운 1.5톤 수조에 수용하여 유주자 방출을 유도하였다. 유주자 방출 수를 현미경으로 검정한 후 채묘틀 (45×55cm)을 약 3시간 동안 유주자액에 담가 채묘를 실시하였다. 3시간 후 채묘틀은 여과해수를 채운 다른 1.5톤 수조로 옮겨 수조 배양을 실시하였다. 수조배양시 표면조도는 약 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 1주일 간격으로 채묘틀의 상하를 교체하였다.

나. 유리배우체의 대량배양

성숙 모조는 Ice box에 넣어 즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수 회 세척한 후 멸균해수를 200 ml 채운 500 ml 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)을 이용하여 10°C , $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D)조건에서 4시간동안 유주자 방출을 유도하였다. 4-5일 후 암수배우체가 구별되면 각각 암배우체와 숫배우체로 구분하여 별도의 직경 5cm의 멸균된 Petri dish에 수용하여 1개월간 배양하였다.

암배우체와 숫배우체 덩어리로 자란 유리 배우체를 각각 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)로 $24,000 \text{ min}^{-1}$ 의 속도로 1분간 분쇄하여, 12 well plate에 PESI 배지 (Tatewaki 1966) 1 ml를 채우고 한 well당 1개씩의 암수배우체를 각각 수용하였다. 배양조건은 4개 온도구간 (5, 10, 15, 20°C)과 4개 조도구간 ($5, 10, 20, 40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 3개 광주기 구간 [10:14, 12:12, 14:10h (L:D)]으로 설정하여 Multi room incubator (DS-14MCLP)를 이용하여, 배우체의 길이 성장 및 성숙 여부를 도립현미경 (Axio Observer A1, Carl zeiss, Germany)으로 관찰하였다.

다. 포복지의 영양번식 (재생)

곰피 업체의 영양번식 (재생)을 조사하기 위하여 2006년 3월부터 2007년 6월 까지 전남 완도군 약산면 장용리의 시험어장의 곰피 양성 시설로부터 포복지의 영양번식 (재생) 정도와 신생 업체의 발달수를 측정하였다. 월별 영양번식 (재생)의 측정은 개체당 포복지의 길이 및 분지횟수, 신생 업체의 수 및 신생 업체의 길이를 측정하였으며, 신생 업체의 수는 단위 m당 총량으로 환산하여 측정하였다.

3. 곰피의 양식학적 연구

가. 인공채묘 조건

1) 적정 채묘 시기 구명

곰피의 적정 채묘 시기 구명을 위하여 2006년 5월부터 2007년 4월까지 전남 여수시 화태리 인근의 수심 4-5m에 분포하는 곰피 자연개체군에서 방형구법에 의한 정량조사를 통하여 매월 곰피의 성숙 업체 출현 비율 및 자낭반 형성 면적을 조사하였다. 성숙 업체의 출현비율은 방형구당 출현한 업체의 수에 대한 자낭반 형성 업체의 비율로 구하였다. 자낭반 형성 면적은 한 개체 내에 형성된 자낭반의 분포 면적을 모두 더하여 개체당 자낭반 형성 면적으로 구하였다.

2) 채묘 기질별 성장 및 채묘 효과

곰피 유주자의 인공채묘시 채묘기질의 영향을 알아보기 위하여 크레모나사 21합사와 크레모나사 42합사로 구분하여 유주자를 채묘한 후 2개월간의 수조배양 기간 중 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 배우체의 엽장, 1cm 당 배우체의 수를 측정하였다.

3) 채묘 시간별 성장 및 채묘 효과

곰피의 유주자 채묘시 유주자액에 채묘를 담금 시간의 영향을 알아보기 위하여 각각 틀 담금 시간을 1, 2, 3, 4 및 5시간으로 구분하여 유주자를 채묘한 후 2개월간의 수조배양 기간중 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 배우체의 엽장, 1cm 당 배우체의 수를 측정하였다.

나. 가이식

1) 적정 가이식장 조건 파악

적정 가이식장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도, 유속, pH, 전기전도도,

수중광량 등의 요소들을 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 2006년 12월부터 2007년 3월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다.

2) 채묘 기질별 가이식 성장도

곰피 유주자의 인공채묘시 채묘기질의 영향을 알아보기 위하여 크레모나사 21합사와 크레모나사 42합사로 구분하여 유주자를 채묘한 후 2개월간의 수조 배양을 거친 후 수심 2m에서 가이식 실험을 실시하였다. 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 유연의 엽장, 1cm 당 엽체의 수를 측정하였다.

3) 채묘 시간별 가이식 성장도

곰피의 유주자 채묘시 유주자액에 채묘를 담금 시간의 영향을 알아보기 위하여 각각 틀 담금 시간을 1, 2, 3, 4 및 5시간으로 구분하여 유주자를 채묘한 후 2개월간의 수조배양을 거친 후 수심 2m에서 가이식 실험을 실시하였다. 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 유연의 엽장, 1cm 당 엽체의 수를 측정하였다.

4) 가이식 시기별 성장도

곰피의 가이식 시기별 영향을 알아보기 위하여 2006년 12월부터 15일 간격으로 1차 (2006년 12월 21일), 2차 (2007년 1월 4일) 및 3차 (2007년 1월 18일) 가이식으로 구분하여 2007년 4월까지 매월 성장도를 측정하였다.

5) 가이식 수심별 성장도

가이식 실험은 2006년 12월부터 2007년 3월까지 90일간 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 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 1, 2, 3 및 4m 실험구별로 채묘틀을

수하식으로 시설하였으며, 청각의 성장 및 가이식 효과의 측정은 30일 간격으로 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 엽체의 길이성장 및 1cm 당 아포체 또는 유엽의 수를 측정하였다.

6) 해적생물상

가이식 기간 중 곰피 채묘들의 종사에 출현한 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 빨질 등이 주를 이루었으며, 30일 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

다. 양성

1) 적정 양성 어장 조건 파악

적정 양성어장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도 및 전기전도도와 수중광량의 요소들을 전남 완도군 약산면 어장에서 2006년 3월부터 2007년 6월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다. 곰피의 양성기간 중 수중광량과 수심의 관계 표준화를 위하여 수중광량의 측정은 Li-Cor (LI-1400)을 이용하여 5회 측정값의 평균치를 구하였다. 광량측정 센서는 Spherical sensor를 이용하였다.

2) 양성 기간 중 곰피의 성장도

가) 곰피의 양성 성장도

양성 실험은 2006년 3월부터 2007년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 시험 어장에서 실시하였으며, 양성 시설은 수평 연승식으로 본 양성 로프는 수심 2m에 위치하도록 부자의 길이를 조절하였다. 매월 엽체의 성장도는 엽장, 엽폭, 엽중량, 주지길이, 엽면적, 포복지로부터의 신생엽체 수 및 길이 그리고 단위 m당 현존량과 개체수를 측정하였다.

나) 양성 수심별 성장도 및 양성 효과

양성 수심별 곰피의 성장도는 2006년 3월부터 2006년 10월까지 수직 연승을 이용하여 수심 0.5-4m까지 0.5m 간격으로 구분하여 각각의 수심에서 곰피 엽체의 성장도를 비교하였다. 성장도의 측정은 엽장, 엽폭, 주지길이, 신생엽체의 수 및 길이, 포복지의 수 및 길이를 측정하였으며 50cm 내에 부착된 모든 곰피의 현존량을 해당 수심에서의 단위m당 현존량으로 환산하였다. 모든 성장도의 측정은 매월 2개씩의 수직 연승을 수거하여 반복 실험구로 사용하였다.

3) 양성 기간 중 해적생물 조사

2006년 4월부터 2006년 12월까지 양성 기간 중 곰피 양성로프에 출현한 곰피 이외의 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 빨질 등이 주를 이루었으며, 1개월 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

4) 곰피 양식의 매뉴얼

곰피의 인공채묘 조건과 가이식 및 양성 조건을 도표화 하여 곰피 양식의 매뉴얼을 작성하였다.

4. 곱피의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

1) 곱피 추출물의 피부노화 및 melanin formation 억제효과

곱피의 추출물의 피부노화방지 및 치료 후보물질로서의 가능성을 조사하기 위하여 CCD-986sk cell line 및 Clone M-3 mouse melanocyte cell line을 이용 in vitro 수준에서 피부세포 생리활성 효과와 melanin formation 저해효과를 측정하였다. 이들 결과들을 제공함으로써 곱피의 이용도를 극대화시키고 고부가가치를 창출할 수 있도록 하였다.

2) 곱피의 먹이 효율

곱피의 전복 먹이원으로서의 적합성을 알아보기 위하여 대조구로 기존의 전복 먹이원인 다시마 및 미역을 급이하면서 함께 해상가두리에서 참전복의 양성시험을 120일간 실시하여, 전복의 각장성장, 무게 성장, 생존율 등을 비교분석함으로써 미역과 다시마에 비하여 곱피가 가는 먹이효율을 평가하였다.

나. 경제성 분석

1) 곱피 양식의 경제성 분석

곱피 양식어업의 경영특성은 크게 종묘생산부분과 양식부분으로 나누어 분석되었다. 곱피의 종묘생산과 양식에 참여했던 어가를 통하여 배부·회수한 손익 조사서를 이용하여 손익계산, 공통형 손익계산, 항목별 민감도분석을 통하여 곱피 양식의 경제성을 분석하였다.

제2절 연구 개발 수행 결과

1. 곰피의 생리학적 특성 연구

가. 포자체의 엽체 부위별 성숙 및 우주자 방출 유도

곰피 엽체의 단편을 디스크 모양으로 절취하여 각각의 광 온도 조건에서 배양한 결과 Figure 1과 같이 자낭반의 형성을 유도할 수 있었다. 자낭반의 형성은 디스크의 중앙부위에서 형성되기 시작하며 짙은 갈색으로 자낭반이 형성되지 않은 디스크와의 확연하게 구별되었다.

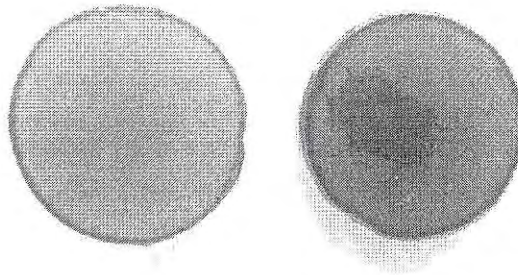


Figure 1. 곰피 엽체 디스크의 자낭반 형성 유도 결과. 좌: 영양엽체.
우: 중앙부에 자낭반이 형성됨. 디스크의 직경은 1.1cm임.

1) 성장대 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 우주자 방출 유도

곰피의 성장대 부위에서 디스크 모양으로 절취된 엽체 단편은 Table 1 및 Figure 2와 같이 배양 100일후 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 15°C 와 20°C 조건에서 가장 먼저 자낭반 형성이 관찰되었다. 조도구간별로는 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 구간에서 배양 175일까지 15°C 와 20°C 조건에서만 자낭반 형성이 확인되었으며, 10°C 와 20°C 조건에서는 자낭반이 형성되지 않았다. $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 구간에서는 배양 125일후 20°C 조건에서 가장 먼저 자낭반이 형성되기 시작하여 배양 150일후 10°C 와 15°C 조건에서도 자낭반 형성이 확인되었다. $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 구간에서는

15℃와 20℃ 조건에서 배양 125일후 가장 먼저 자낭반 형성이 확인되었으며, 배양 175일후에도 10℃와 25℃ 조건에서는 자낭반 형성이 관찰되지 않았다.

생장대 부위에서 절취한 디스크로부터 형성된 자낭반의 형성율은 배양 175일후 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20℃ 조건에서 100%로 가장 높았으며, 디스크의 면적 중 자낭반이 차지하는 자낭반 형성면적 비율은 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20℃ 조건에서 35.1%로 가장 높았다.

자낭반이 형성된 디스크의 주변에서는 방출된 유주자가 유명하고 있거나 착생하여 발아하고 있는 것이 관찰되었다.

Table 1. 곰피 생장대 엽체 부위에서 절취한 디스크의 광·온도 조건에 따른 자낭반 형성율. ()안의 숫자는 자낭반 형성면적 비율을 표시함

Irradiance ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Day							
		0	25	50	75	100	125	150	175
30	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	33 (3.5)	44 (8.4)	44 (8.4)	44 (8.4)
	20	-	-	-	-	10 (2.8)	30 (12.9)	30 (12.9)	40 (15.8)
	25	-	-	-	-	-	-	-	-
60	10	-	-	-	-	-	-	35 (8.3)	40 (11.8)
	15	-	-	-	-	-	-	70 (22.6)	80 (25.3)
	20	-	-	-	-	-	67 (21.1)	100 (21.4)	100 (25.4)
	25	-	-	-	-	-	-	-	-
100	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	10 (21)	10 (21.1)	60 (22.5)
	20	-	-	-	-	-	56 (22.1)	67 (31.6)	67 (35.1)
	25	-	-	-	-	-	-	-	-

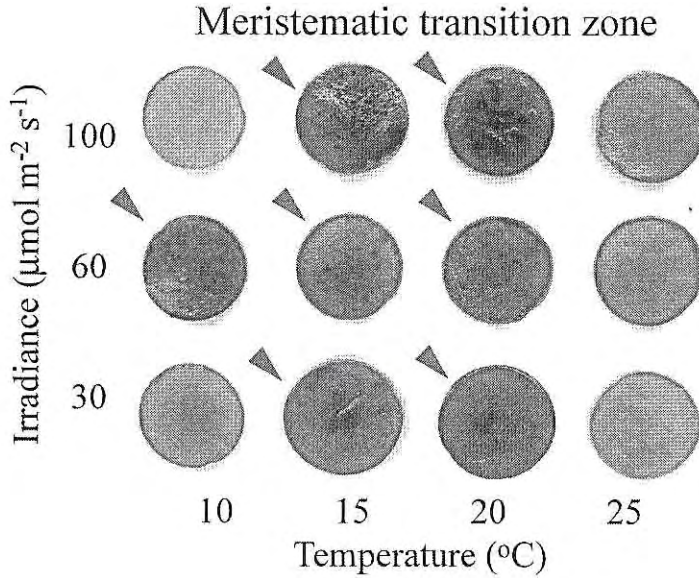


Figure 2. 광·온도 조건별 곰피의 성장대 부분 엽체 단편의 성숙 유도. 배양 175일 후 디스크 중앙부위에 짙은 색의 자낭반 형성이 관찰됨.

2) 선단 부위의 광, 온도 조건별 성숙 및 유주자 방출 유도

곰피 엽체의 선단 부위에서 디스크 모양으로 절취된 엽체 단편은 Table 2 및 Figure 3과 같이 배양 100일 후 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20°C 조건에서 가장 먼저 자낭반 형성이 관찰되었다. 배양 125일 후에는 30 과 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 15 - 25°C 구간에서 자낭반 형성이 관찰되었으며 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 10 - 20°C 구간에서도 자낭반이 형성되기 시작하였다.

선단 부위에서 절취한 디스크로부터 형성된 자낭반의 형성율은 배양 125일 후 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20 - 25°C 조건에서 100%로 가장 높았으며, 디스크의 면적 중 자낭반이 차지하는 자낭반 형성면적 비율은 배양 175일 후 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 25°C 조건에서 42.1%로 가장 높았다.

자낭반이 형성된 디스크의 주변에서는 방출된 유주자가 유명하고 있거나 착생하여 발아하고 있는 것이 관찰되었다.

Table 2. 곰피의 선단 엽체 부위 디스크의 광·온도 조건에 따른 자낭반 형성율.
()안의 숫자는 자낭반 형성면적 비율을 표시함

Irradiance ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Day							
		0	25	50	75	100	125	150	175
30	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	33 (8.4)	50 (14)	50 (17.6)
	20	-	-	-	-	66.7 (15.0)	100 (24.6)	100 (31.6)	100 (35.1)
	25	-	-	-	-	-	100 (5.3)	100 (42.1)	100 (42.1)
60	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	22 (9)	22 (9)	22 (9)
	20	-	-	-	-	-	67 (14)	100 (15.2)	100 (24.6)
	25	-	-	-	-	-	33 (19)	50 (19.3)	50 (19.3)
100	10	-	-	-	-	-	10 (6.3)	100 (13.8)	100 (13.8)
	15	-	-	-	-	-	10 (8.4)	13 (24.8)	50 (27.1)
	20	-	-	-	-	-	8 (15.0)	12 (21.1)	12 (21.1)
	25	-	-	-	-	-	-	-	-

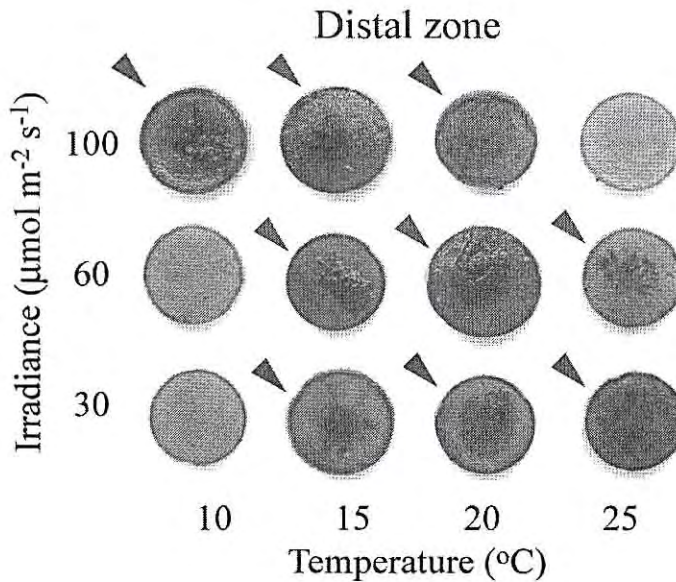


Figure 4. 광·온도 조건별 곰피의 선단 부분 엽체 단편의 성숙 유도.
배양 100일 후 디스크 중앙부위에 짙은 색의 자낭반 형성이 관찰됨.

3) 곰피 엽체의 연령별 성숙 및 유주자 방출 유도

곰피 엽체의 연령별 디스크의 성숙 유도 실험결과 Table 3과 같이 1년생의 경우 배양 25일후부터 20℃ 및 25℃ 조건에서 디스크가 색소를 잃고 고사하였으며 10℃ 및 15℃ 조건에서는 배양 50일후 디스크의 색소가 탈색되어 고사하였다. 2년생의 경우 모든 실험조건에서 배양 150일후에도 디스크의 색소가 그대로 유지되고 있었으며, 배양 100일째 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 20℃ 조건에서 처음으로 $15.0 \pm 4.2\%$ 의 자낭반 형성 면적 비율을 나타내었다. 배양 150일후에는 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 25℃조건에서 자낭반 형성 면적이 가장 많은 42.1 9.4%를 나타내었다.

Table 3. 곰피 엽체의 연령별 자낭반 형성 면적 비율

조 도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	온도 (℃)	1년생			2년생					
		배양일수 (일)			배양일수 (일)					
		0	25	50	0	25	50	75	100	150
30	10	-	-	d	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	d	-	-	-	-	-	14.1±9.5
	20	-	d		-	-	-	-	15.0±4.2	31.6±12.5
	25	-	d		-	-	-	-	-	42.1±9.4
60	10	-	-	d	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	d	-	-	-	-	-	9.6±5.0
	20	-	d		-	-	-	-	-	15.2±7.5
	25	-	d		-	-	-	-	-	19.3±12.4
100	10	-	d		-	-	-	-	-	13.8±5.1
	15	-	d		-	-	-	-	-	24.8±8.4
	20	-	d		-	-	-	-	-	21.1±4.5
	25	-	d		-	-	-	-	-	-

d: 엽체가 고사함.

4) 곰피 엽체의 부위별 광합성능 비교

자연에서 곰피 엽체의 자낭반이 형성되는 시기인 10월에 채취된 엽체로부터 영양엽과 자낭반 형성 부위에서 절취한 직경 1.1cm의 중량과 두께는 Table 4와 같다. 즉 자낭반이 형성된 성숙 부위는 엽체의 두께와 중량이 영양엽 보다 증가하며, 광합성능은 영양엽에 비하여 감소하는 것으로 나타났다.

Table 4. 곰피 엽체의 영양엽과 자낭반 형성 부위의 형태적 차이 및 광합성능 비교

구 분	직경 1.1cm 디스크의 형태적 특성		광합성능 (Yield)
	중량 (g)	두께 (mm)	
영양엽 부위	0.068±0.01	0.746±0.15	0.743±0.002
성숙 부위	0.080±0.01	0.861±0.11	0.716±0.001

5) 곰피 엽체의 연령별 형질과 광합성능 및 클로로필 함량 비교

곰피의 연령별 형태적 특성 및 생리적 특성은 Table 5와 같다. 곰피의 형태 측정 항목은 Figure 4와 같이 10개의 형질을 사용하였으며, 연령별 형태적 특징은 Figure 5와 같이 연령의 증가에 따라 전체적인 엽장 뿐 아니라 주지의 신장도 함께 이루어지며 1년생 이상에서는 포복지에 의한 새로운 엽체의 출현이 나타남을 알 수 있다. 광합성능은 0년생이 가장 낮게 나타나 0.657±0.044를 나타내었으며 1년생이 가장 높은 0.764±0.005 그리고 2년생이 이와 유사한 0.763±0.010을 나타내었다. 클로로필a와 c의 함량은 연령이 증가할수록 점차 함량이 작아지는 것으로 나타났으며 0년생에서 가장 높았다.

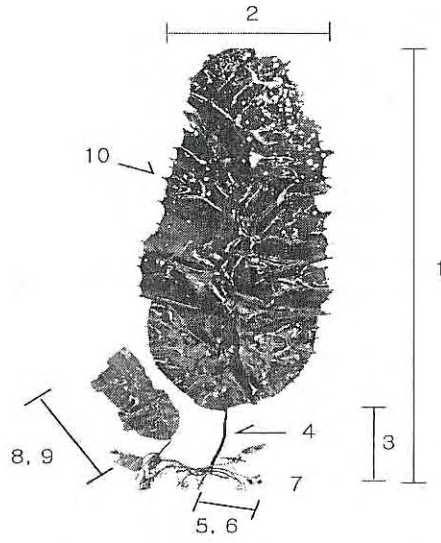


Figure 4. 곰피 형태 형질 측정 모식도 (1: 엽장. 2: 엽폭. 3: 주지길이. 4: 주지폭. 5: 포복지길이. 6: 포복지분지수. 7: 중량. 8: 신생엽체수. 9: 신생엽체 엽장. 10: 거치상 열편길이).

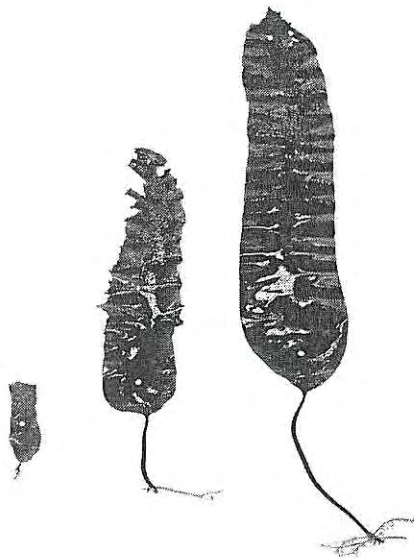


Figure 5. 곰피의 연령별 형태 (좌측부터 0년생, 1년생 및 2년생).
Scale bar 10 cm.

Table 5. 곰피 엽체의 연령별 형태적 특징 및 생리적 특징

구 분	측 정 치	연령구분 (년)		
		0	1	2
형태적 특성	엽장 (cm)	27.63±6.38	106.9±3.57	193.04±19.25
	엽폭 (cm)	6.10±0.26	12.88±1.82	22.66±2.89
	측엽 길이 (mm)	0	0.48±0.57	1.41±1.65
	주지 길이 (cm)	1.30±0.10	10.25±5.55	27.16±12.62
	주지 폭 (mm)	2.03±0.35	6.35±1.18	8.94±1.07
	포복지 길이 (cm)	3.13±1.20	7.23±3.52	11.28±4.49
	포복지 분지횟수 (회)	5.00±1.00	6.25±1.71	7.80±1.30
	신생엽체수 (개)	0	0.25±0.50	0.40±0.15
	신생엽체 엽장 (cm)	0	1.13±2.25	2.94±5.93
	엽체 1/4 두께 (mm)	0.33±0.07	0.42±0.05	0.47±0.05
	엽체 3/4 두께 (mm)	0.29±0.10	0.28±0.07	0.31±0.05
	중량 (g)	8.00±3.46	83.0±12.91	235.00±31.86
	엽면굴곡 (%)	17±29	70±24	66±23
	직경 1.1 (cm) 디스크 중량 (g)	0.05±0.01	0.09±0.01	0.09±0.01
	직경 1.1 (cm) 디스크 두께 (mm)	0.54±0.06	0.99±0.05	1.03±0.09
생리적 특성	광합성능	0.657±0.044	0.764±0.005	0.763±0.010
	클로로필 a (mg/g-dry wt.)	6.45	6.15	3.92
	클로로필 c (mg/g-dry wt.)	2.52	2.31	0.99
	630nm 흡광도	0.08	0.074	0.039
	647nm 흡광도	0.221	0.184	0.109
	664nm 흡광도	0.252	0.236	0.149

나. 곰피의 생육 단계별 성장 특성

1) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 배우체의 성장

곰피의 배우체는 Table 6과 같이 배양 온도 및 조도 조건별로 길이생장에 차이를 나타내었다. 배양 10일후 20℃와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 길이생장이 최대치인 59.5 μm 를 나타내었으며, 10℃와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 23.5 μm 를 나타내었다. 배양 11일후부터 암수배우체의 구분이 가능하였으므로 모든 실험구별로 암수배우체의 구분을 통한 길이생장을 측정하였다. 배양 17일후 20℃와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 암배우체의 길이생장은 최고치인 118.0 μm 를 나타내었으며, 10℃와 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 58.4 μm 를 나타내었다. 숫배우체의 길이생장은 배양 17일후 25℃와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최고치인 166.0 μm 를 나타내었으며, 10℃와 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 48.0 μm 를 나타내었다.

따라서 곰피 암수배우체의 배양시 최적 배양조건은 15-20℃와 20-30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건이라 할 수 있으나 20℃의 경우 규조류의 발생이 심하므로, 15℃와 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건이 곰피 배우체의 최적 배양조건이라 할 수 있다.

곰피의 배우체 배양시 광주기 조건은 Table 7과 같이 배양 10일후 14:10 (L:D) 실험구에서 최고치인 평균 37.0 μm 를 보였으며 12:12 (L:D) 실험구에서 최저치인 31.0 μm 를 나타내었다. 배양 17일후 암배우체의 길이생장은 10:14 (L:D) 실험구에서 최고치인 65.0 μm 를 나타내었으며 12:12 (L:D) 실험구에서 최저치인 61.0 μm 를 나타내었다. 배양 17일후 숫배우체의 길이생장은 12:12 (L:D) 실험구에서 최고치인 101.0 μm 를 보였으며, 14:10 (L:D) 실험구에서 최저치인 92.0 μm 를 나타내었다. 따라서 광주기 조건별 곰피 배우체의 길이생장은 광주기 조건에 따른 유의한 차이나 일정한 경향성을 보이지 않았다.

Table 6. 온도 및 조도 조건별 곰피 배우체의 성장 (평균 길이, μm)

온도 ($^{\circ}\text{C}$)	조도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	암수 배우체	배양일수 (일)							
			0	1	3	6	10	11	14	17
10	20	♀	11.5	16.2	15.9	18.9	23.5	20.00	29.0	59.0
		♂						26.67	44.0	53.0
	30	♀	14.0	19.2	18.5	20.7	24.0	18.33	37.0	58.4
		♂						35.00	41.0	48.0
	60	♀	12.0	16.9	18.5	20.5	26.0	25.00	34.0	60.0
		♂						30.00	45.0	43.0
15	20	♀	11.0	19.5	24.6	22.0	37.0	51.67	67.0	109.0
		♂						53.33	68.0	74.0
	30	♀	11.5	19.7	18.9	22.0	36.5	48.33	79.0	97.0
		♂						63.33	61.0	65.0
	60	♀	12.5	13.9	15.5	19.5	37.0	35.00	57.0	116.0
		♂						48.33	62.0	53.0
20	20	♀	13.0	19.6	22.0	22.0	59.5	48.33	79.0	118.0
		♂						98.33	117.0	139.0
	30	♀	12.0	18.5	15.5	23.5	54.0	51.67	87.0	129.0
		♂						83.33	104.0	152.0
	60	♀	12.5	17.6	17.0	24.0	51.5	55.00	98.0	129.0
		♂						83.33	120.0	161.0
25	20	♀	12.5	21.4	19.0	20.5	59.0	56.67	104.0	156.0
		♂						78.33	110.0	166.0
	30	♀	13.0	20.8	18.0	25.0	54.5	48.33	106.0	117.0
		♂						90.00	91.0	149.0
	60	♀	13.0	18.1	18.5	23.5	47.5	98.33	112.0	158.0
		♂						65.00	137.0	148.0

Table 7. 광주기 조건별 곰피 배우체의 성장도 [평균 길이 (μm), 배양온도 15°C , 조도 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

광주기 (L:D)	암수 배우체	배양일수 (일)							
		0	1	3	6	10	11	14	17
10:14	♀	11.5	19.7	18.9	22.0	36.5	48.33	61.0	65.0
	♂						63.33	79.0	97.0
14:10	♀	12.0	20.1	19.5	20.5	37.0	46.7	54.0	62.0
	♂						51.7	67.0	92.0
12:12	♀	12.5	18.7	16.5	18.0	31.0	23.3	53.0	61.0
	♂						45.0	59.0	101.0

2) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 아포체의 성장

곰피의 암수배우체는 배양 18일 이후 수정이 이루어져 현미경적 크기의 포자체인 아포체로 발달하게 되는데, 각 온도 및 조도 조건별 곰피 아포체의 생장은 Table 8과 같다.

온도구간별로는 10°C 구간에서 조도가 증가할수록 아포체의 평균 엽장이 증가하여 배양 52일후 조도 $20, 30$ 및 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 각각 $555.5, 697.0$ 및 $735 \mu\text{m}$ 의 길이생장을 나타내었다. 15°C 구간에서는 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 아포체의 엽장이 타 조도 조건에 비하여 높은 값인 평균 $1,527.5 \mu\text{m}$ 의 길이생장을 나타내었다. 20°C 구간에서는 15°C 구간과 마찬가지로 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 아포체의 엽장이 타 조도 조건에 비하여 가장 높은 값인 평균 $1,587.5 \mu\text{m}$ 의 길이생장을 나타내었다. 25°C 구간에서는 모든 조도 구간에서 아포체의 길이생장이 저조하였으며 가장 낮은 조도 조건인 $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 평균 엽장이 가장 높은 $512.0 \mu\text{m}$ 을 나타내었다.

광주기 조건별로는 12:12 (L:D) 조건에서 배양 52일후 아포체의 평균 엽장이 $1,312.5 \mu\text{m}$ 로 가장 높은 값을 보였으며, 14:10 (L:D) 조건에서 $1,025.0 \mu\text{m}$ 및 10:14 (L:D) 조건에서 $730.0 \mu\text{m}$ 의 순으로 길이생장의 차이를 나타내었다 (Table 9).

Table 8. 온도 및 조도 조건별 곰피 아포체의 성장 (평균 엽장, μm)

온도 ($^{\circ}\text{C}$)	조도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	배양일수 (일)						
		19	21	24	31	38	45	52
10	20	40.0	47.0	66.0	110.5	191.0	323.0	555.5
	30	40.5	53.0	61.0	124.0	234.5	332.0	697.0
	60	45.5	54.0	74.5	115.5	181.5	341.0	735.0
15	20	63.0	94.5	133.5	276.0	594.0	665.0	1415.5
	30	69.0	99.5	120.5	308.0	799.0	1072.0	1527.5
	60	73.0	81.0	120.5	277.5	503.0	722.0	730.0
20	20	82.0	54.0	77.5	129.5	333.0	528.0	626.0
	30	86.0	81.5	70.5	160.0	749.5	1102.0	1587.5
	60	68.5	68.5	87.5	157.0	338.5	569.0	1167.5
25	20	35.1	45.3	85.1	159.2	258.5	509.0	512.0
	30	26.0	33.0	83.5	151.0	255.1	314.0	385.1
	60	21.0	25.1	29.5	65.0	98.1	153.4	367.0

Table 9. 광주기 조건별 곰피 아포체의 성장도 [평균 길이 (μm) 배양온도 15°C , 조도 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

광주기 (L:D)	배양일수 (일)						
	19	21	24	31	38	45	52
10:14	69	99.5	120.5	277.5	503.0	722.0	730.0
14:10	75	94.5	173	249	695	955.5	1025
12:12	56	86.5	119.5	296	753	919.5	1312.5

3) 온도, 조도 및 광주기 조건별 곰피 포자체의 성장

곰피의 어린 포자체 성장단계에서 각 온도 및 조도 조건별 성장 차이는 Table 10 및 Figure 6과 같다. 5°C 온도 조건에서는 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 배양 34일후 길이생장이 최고치인 22.4 mm 였으며, $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 17.0 mm 를 나타내었다. 10°C 온도 조건에서는 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 배양 34일후 길이생장이 최고치인 36.3 mm 였으며, $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 29.0 mm 를 나타내었다. 15°C 온도 조건에서는 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서

길이생장이 최고치인 36.8 mm를 나타내었으며, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 32.6 mm를 나타내었다. 20°C 온도 조건에서는 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 길이생장이 최고치인 37.8 mm를 나타내었으며, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 29.0 mm를 나타내었다. 25°C 온도 조건에서는 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 길이생장이 최고치인 25.4 mm를 나타내었으며, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 20.2 mm를 나타내었다. 따라서 곰피의 어린 포자체 단계에서는 20°C와 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 길이생장이 가장 우세하였다.

광주기 조건별 곰피 포자체의 생장은 Table 11 및 Figure 7과 같다. 14:10 (L:D)의 장일조건에서 배양 34일후 길이생장이 최고치인 39.2 mm로 나타났으며, 10:14 (L:D)의 단일조건에서 34.6 mm의 최저치를 나타내었다. 따라서 곰피의 어린 포자체의 경우 장일조건에서 길이생장이 우세한 것으로 나타났다.

Table 10. 온도 및 조도 조건별 곰피 포자체의 생장 [평균 엽장 (mm); 광주기 조건 10:14 (L:D)]

온도 (°C)	조도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	배양일수 (일)					
		0	11	14	21	27	34
5	20	12.4	14.4	15.2	16.0	16.8	20.4
	30	10.8	12.2	13.0	13.6	14.6	17.0
	60	12.2	15.0	15.2	16.6	19.0	22.4
10	20	12.0	18.0	18.4	21.0	25.2	29.0
	30	14.6	19.2	19.8	23.4	28.0	31.8
	60	12.8	18.6	20.2	26.0	32.2	36.4
15	20	12.4	18.2	20.0	23.2	28.6	32.6
	30	13.2	21.8	22.8	30.0	33.0	36.8
	60	13.8	19.0	20.4	25.0	30.8	34.6
20	20	13.8	18.2	19.4	23.4	27.0	29.0
	30	13.8	21.2	23.8	31.6	36.2	37.8
	60	13.0	19.4	22.2	27.8	31.8	34.8
25	20	13.6	16.6	16.8	19.4	22.4	22.8
	30	13.6	18.2	18.2	24.4	25.8	25.4
	60	13.0	17.0	19.2	20.4	21.4	20.2

Table 11. 광주기 조건별 콩피 포자체의 성장 [평균 엽장 (mm); 배양온도 15°C, 조도 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

광주기 (L:D)	배양일수 (일)					
	0	11	14	21	27	34
14:10	12	20.4	23.6	28.4	35.8	39.2
12:12	11.8	19	19.4	26.6	30.8	35
10:14	13.2	19.0	20.4	25.0	30.8	34.6

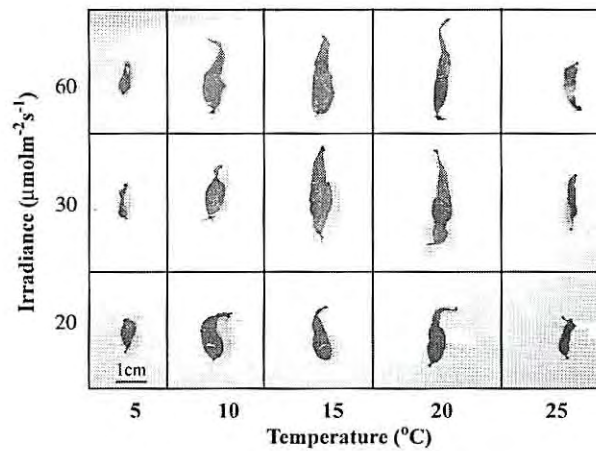


Figure 6. 배양 34일후 콩피 포자체의 온도 및 조도 조건별 성장 비교.

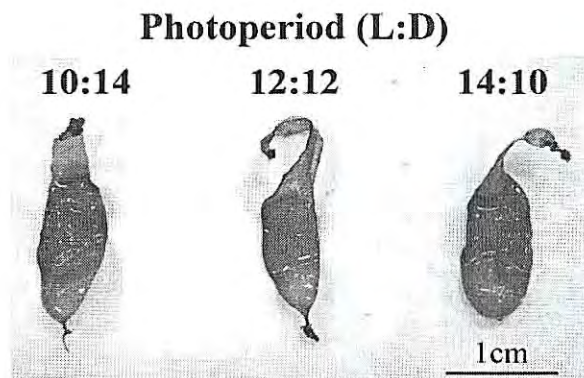


Figure 7. 배양 34일후 콩피 포자체의 광주기 조건별 성장 비교.

4) 곰피 유엽의 크기별 온도 내성

엽장 1 mm군의 곰피 유엽 (Figure 8)은 배양 5주 동안 18℃의 온도 조건에서 가장 빠르게 성장하였으나 배양 5주후에는 15℃ 구간에서 엽장이 최대치인 22.6 mm를 나타내었다. 각 온도 구간별로 길이생장에 있어서 유의한 차이는 없는 것으로 나타났으며 모든 온도구간에 걸쳐 평균 20 mm의 엽장을 가지는 엽체로 성장하였다. 즉, 엽장 1 mm의 곰피 유엽은 12-24℃ 구간의 온도 범위에서 배양 5주일간 약 20 mm의 엽체로 성장하여 평균 일간 성장을 0.54 mm/day을 나타낸다고 할 수 있다.

엽장 5 mm군의 곰피 유엽 (Figure 9)은 배양 2주까지 21℃ 온도 구간에서 평균 22.6 mm로 길이생장이 가장 빨랐으나 이후에는 12℃ 온도 구간에서 길이생장이 보다 빨라져 배양 5주후 30.9 mm로 최고치를 나타내었다. 24℃ 온도 구간에서는 배양 3주까지 길이생장이 평균 20 mm로 증가하였으나 이후 점차 감소하여 배양 5주후에는 평균 엽장 9.9mm로 최저치를 나타내었다. 따라서 엽장 5 mm군의 곰피 유엽은 12-21℃ 구간의 온도 범위에서 배양 5주일간 약 25-30 mm의 엽체로 성장하여, 평균 일간 성장을 0.55-0.73 mm/day을 나타낸다고 할 수 있다.

엽장 10 mm군의 곰피 유엽 (Figure 10)은 배양 기간동안 15℃의 온도 조건에서 가장 빠르게 성장하여 배양 5주후 평균 엽장 38.6 mm에 달하였으며, 12℃ 온도 구간에서도 지속적인 길이생장을 보여 배양 5주후 평균 엽장 39.2 mm의 최고치를 나타내었다. 18℃ 온도 구간에서는 배양 2주후부터 길이생장이 증가하지 않고 일정한 경향을 나타내었으며, 21℃ 온도 구간에서는 배양 2주후 길이생장의 감소를 나타내었다. 또한 24℃ 온도 구간에서는 곰피 엽체의 길이생장이 크게 감소하기 시작하여 배양 5주후 평균 엽장 9.9 mm의 최저치를 나타내었다. 따라서 엽장 10 mm군의 곰피 유엽은 12-15℃ 온도 범위에서 배양 5주일간 약 39 mm의 엽체로 성장하여, 평균 일간 성장을 0.82-0.83 mm/day을 나타낸다고 할 수 있다.

따라서 곰피 엽체의 크기별 온도 내성범위는 엽체의 크기가 작을 수록 보다 넓은 수온 범위에서 적용할 수 있는 것으로 나타났으며 엽장 10 mm군을 이용한 경우 수온 조건이 12-15℃가 유지되는 조건하에서는 일간생장율이 가장 높았다.

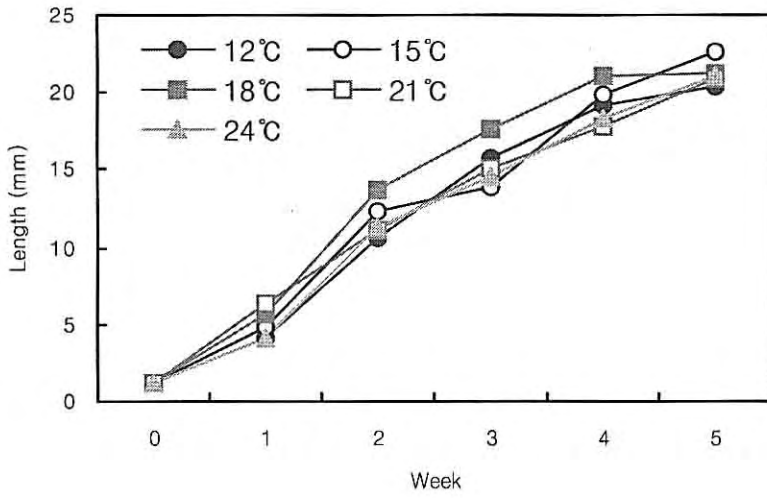


Figure 8. 곰피 엽장 1 mm군의 온도 구간별 내성 실험 결과

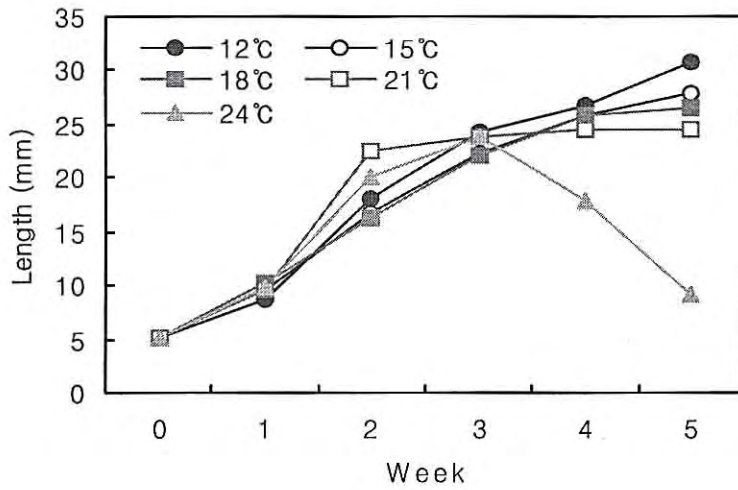


Figure 9. 곰피 엽장 5 mm군의 온도 구간별 내성 실험 결과

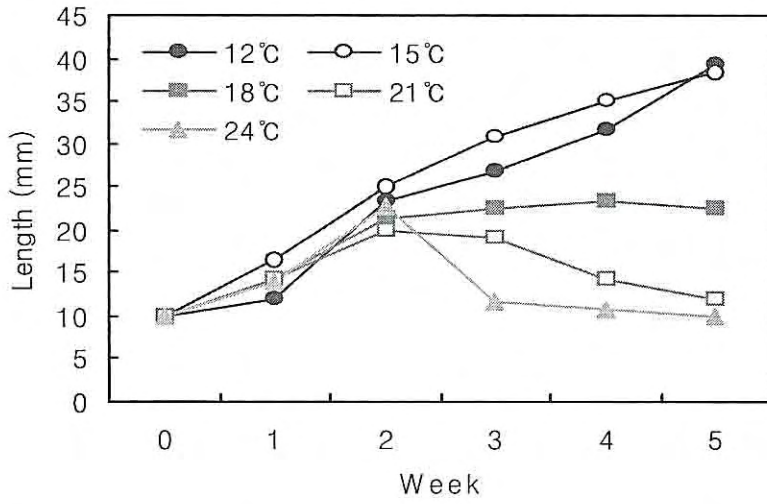


Figure 10. 곰피 엽장 10 mm군의 온도 구간별 내성 실험 결과

2. 곰피의 생식 방법별 대량배양 조건 연구

가. 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘

곰피 성숙 엽체 (Figure 11A)에 나타나는 자낭반 부위를 절단해 보면 Figure 11B와 같이 유주자낭 내부에 가득차 있는 유주자가 관찰된다. 유주자낭으로부터 방출된 유주자 (Figure 11C)는 방출 즉시 기물에 착생하여 발아관을 형성하여 배우체로 자라게 된다 (Figure 11D). 이후 배양 10일 이후에는 각각 암수배우체의 성을 구분할 수 있게 되며 배양 15일 후에는 성성숙이 이루어지게 된다 (Figure 11E). 정자와 알세포간의 수정을 통하여 아포체가 형성되며 (Figure 11F), 이 아포체는 어린 포자체 (Figure 11G)로 자라게 된다.

곰피의 자낭반으로부터 대량의 유주자 방출을 유도하기 위하여 음건 시간은 약 1시간으로 하였으며, 여과해수를 담은 수조에 넣어 유주자를 방출 시켰다 (Figure 12A). 현미경 검경을 통하여 유주자의 활발한 운동을 확인한 후 채묘틀을 넣어 약 3시간 정도 유주자의 착생을 유도하였다 (Figure 12B).

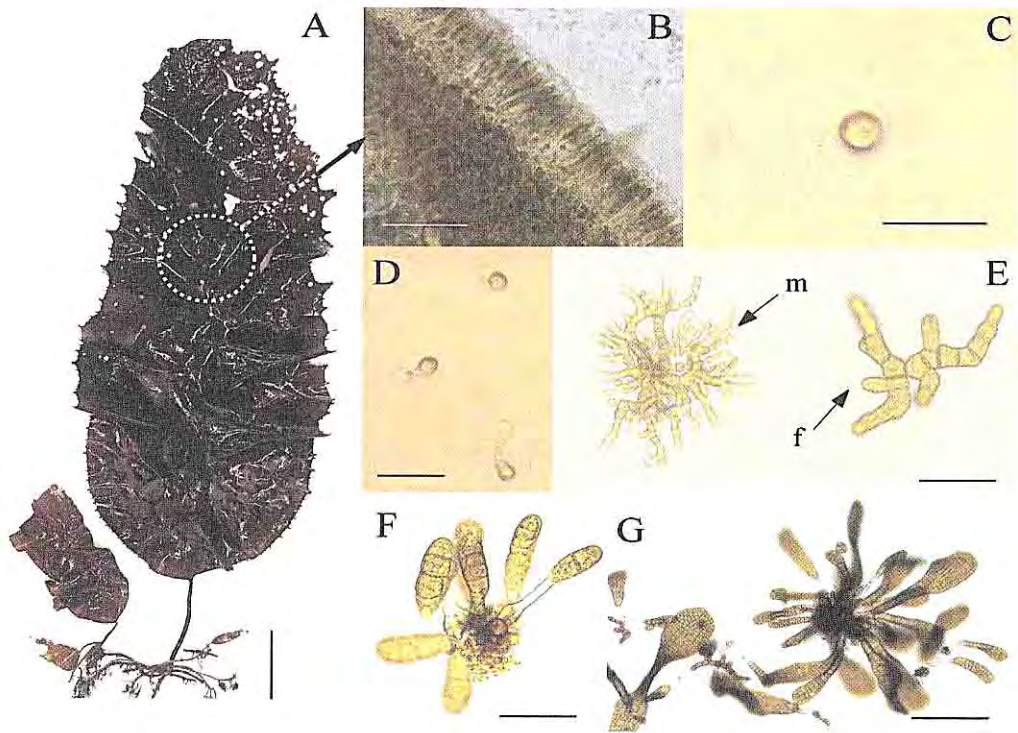


Figure 11. 곰피의 유주자 방출 및 발생과정. A: 자낭반을 형성한 성숙 모조. B: 유주자낭. C: 방출 직후의 유주자. D: 발아관을 형성한 배양 1일 후의 발아체. E: 배양 15일후의 암배우체 (f) 및 숫배우체 (m). F: 배양 18일후의 아포체. G: 배양 33일후의 포자체. Scale bar 10cm (A), 50 μ m (B), 10 μ m (C), 20 μ m (D, E), 50 μ m (F) 및 500 μ m (G). 배양조건은 15 $^{\circ}$ C, 30 μ mol m $^{-2}$ s $^{-1}$ 및 10:14 (L:D).

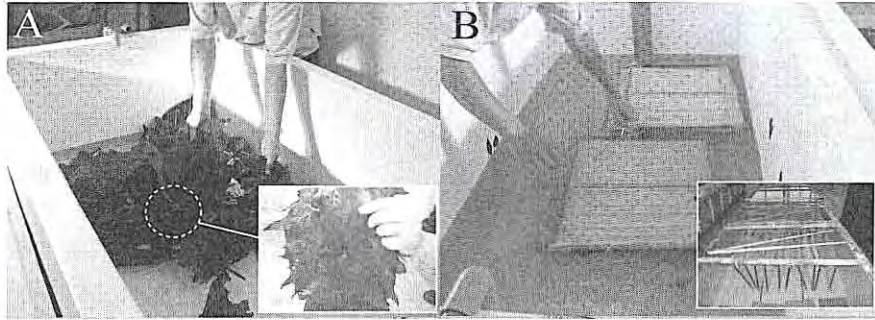


Figure 12. 곱피의 인공채묘 및 수조배양 과정. A: 자낭반이 형성된 곱피 엽체 및 수조에 성숙 모조 넣기. B: 유주자가 방출된 수조에 채묘틀 넣기 및 수조 배양.

나. 유리배우체의 대량배양

곱피는 이형세대교번을 하는 해조류로서 엽상형의 포자체 세대와 현미경적 크기의 미소체인 배우체 세대가 교번한다. 이형세대교번을 하는 다시마과의 해조류는 배우체 세대에서 암수배우체를 각각 분리하여 무성적으로 증식시킬 수 있으며, 배우자형성을 유도할 수 있음이 알려져 왔다 (Lüning 1980). 또한 최근 칠레에서는 전복 먹이원으로써 다시마류의 대량양식에 실내에서 대량증식시킨 유리 배우체를 이용하는 방안이 개발된 바 있다 (Westermeyer et al. 2006, Edding and Tala 2003).

현재 우리나라에서 행해지고 있는 미역이나 다시마 등의 양식방법은 모조로부터 유주자를 기질에 채묘하여 양식을 하는 방법을 사용하고 있으나 이러한 방법을 곱피의 양식에 적용할 경우 많은 양의 모조를 채취해야 하므로 자연군락의 훼손을 야기할 가능성이 있다. 그러나 유리배우체의 배양에 의한 증식 방법은 소량의 성숙 엽체만으로도 많은 양의 배우체 확보가 가능하며, 클론 배우체의 유도를 통한 우량 품종의 교배와 선발육종의 기초를 다질 수 있는 방법이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 곱피의 천연자원의 보호와 효율적인 이용을 위한 양식의 기초로서 곱피 암수 배우체의 분리 배양 및 성장과 성숙 조건을 파악하여 안정적인 유리배우체의 배양조건을 확립하는 것을 목적으로 하였다.

본 연구에 사용된 성숙 모조는 해조류연구센터에서 양식 실험중인 전남 완도군 약산면의 시험어장에서 2007년 9월에 채취하였다. 성숙 모조는 Ice box에 넣어 즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수 회 세척한 후 멸균해수를 200 ml 채운 500 ml 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)을 이용하여 10°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D)조건에서 4시간동안 유주자 방출을 유도하였다. 방출된 유주자액 0.1 ml를 취하여 multi well-plate를 이용하여 희석법으로 Figure 13과 같이 유주자액을 차례로 분주하여 밀도를 낮추었다. 4-5일 후 암수배우체가 구별되면 각각 암배우체와 숫배우체로 구분하여 별도의 직경 5cm의 멸균된 petri dish에 수용하여 1개월간 배양하였다.

1) 암수배우체의 절단 및 배양조건

암배우체와 숫배우체 덩어리로 자란 유리 배우체를 각각 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)로 24,000 min^{-1} 의 속도로 1분간 분쇄하여, 12 well plate에 PESI 배지 (Tatewaki 1966) 1ml를 채우고 한 well당 1개씩의 암수배우체를 각각 수용하였다. 배양조건은 4개 온도구간 (5, 10, 15, 20°C)과 4개 조도구간 (5, 10, 20, 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 3개 광주기 구간 [10:14, 12:12, 14:10h (L:D)]으로 설정하여 Multi room incubator (DS-14MCLP)를 이용하여, 배우체의 길이생장 및 성숙 여부를 도립현미경 (Axio Observer A1, Carl zeiss, Germany)으로 관찰하였다. 조도의 측정은 LI-1400 (LI-COR, USA)으로 하였고, 조도 구간의 설정은 중성필터 (Lee Filter) ND 209, 210, 211호를 사용하여 조절하였다. 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)로 분쇄 후 절단된 배우체는 분지가 없는 상태의 것을 선별해 측정하였으며 PESI 배지 (Tatewaki 1966)는 7일마다 교환해 주었다.

2) 곰피 암수 배우체의 생장

곰피 엽체 (Figure 14A)의 자낭반 (Figure 14B)으로부터 방출된 유주자 (Figure 14C)는 방출즉시 기물에 부착하여 구형으로 착생하였으며 배양 3일후 각각 암배우체 (Figure 14D) 또는 숫배우체 (Figure 14E)로 성장하였다. 각각의 암수 배우체는 통기 조건하에서 약 30일이 경과되면 Figure 14F-G와 같이 배우체 덩어리로

증식되었다. 호모게나이저를 이용하여 절단된 암수 배우체의 절편 (Figure 14H-I) 은 정체배양 20일후 Figure 14J-K와 같이 각각 배우체 덩어리로 증식하였다.

온도, 조도 및 광주기 조건별 암수배우체의 생장은 Table 12와 같다. 온도조건별 암배우체의 생장은 20°C구간에서 배양 20일 후 $289.2 \pm 97.9 \mu\text{m}$ 로 가장 크게 자랐으며, 일간생장율은 0.028로 타 온도 구간에 비하여 가장 높은 수치를 보였다. 숫배우체 역시 20°C 구간에서 배양 20일후 $390.3 \pm 45.4 \mu\text{m}$ 로 가장 크게 자랐으며, 일간생장율은 0.054로 타 온도 구간에 비하여 가장 높았다. 온도 조건별로는 온도가 높아질수록 길이생장이나 일간생장율은 빠르게 증가하는 경향을 보였다.

조도구간별로는 암배우체와 숫배우체 모두 조도가 증가할수록 길이생장이나 일간생장을 모두 증가하는 경향을 보여, 배양 20일 후 $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 구간에서 암배우체와 숫배우체의 일간생장율은 각각 0.034와 0.044로 나타났다. 광주기 조건별로는 암배우체는 12:12h (L:D)의 중일조건에서 그리고 숫배우체는 14:10h (L:D)의 장일조건에서 일간생장율이 각각 0.030 및 0.042로 가장 높게 나타났다. 따라서 고프 배우체의 무성적 증식에 필요한 적정 배양조건은 암배우체가 10°C $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D)이며, 숫배우체가 20°C, $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D) 조건인 것으로 나타났다.

3) 고프 암수 배우체의 성숙 유도

고프 암배우체의 장란기 형성은 온도, 조도 및 광주기 조건에 따라 차이를 나타내었다 (Table 13). 배양 15일 후 암배우체는 온도 15-20°C 조건에서 장란기를 형성하였으며 배양 20일까지 5-10°C 조건에서 배양된 암배우체는 장란기를 형성하지 않았다. 조도조건별로는 배양 10일후 $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 구간에서 장란기 형성이 가장 먼저 시작되었으며 배양 15일 후 $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 구간에서도 장란기 형성을 보였다. 그러나 $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 구간에서 배양된 암배우체에서는 배양 20일까지도 장란기가 형성되지 않았다. 광주기 조건별로는 배양 15일 후 14:10h (L:D)과 12:12h (L:D) 구간에서 장란기가 형성되었으며 배양 20일후에는 10:14h (L:D) 구간에서도 장란기가 형성되었다.

고프 숫배우체의 장정기 형성은 온도, 조도 및 광주기 조건에 따라 차이를 나타내었다 (Table 13). 배양 10일후 10°C 구간에서 가장 먼저 장정기 형성이 시작

되었으며, 배양 15일후에는 5-15°C 구간에서 모두 장정기가 형성되었다. 그러나 20°C 구간에서 배양된 숫배우체에서는 배양 20일까지 장정기가 형성되지 않았다. 광주기 조건별로는 배양 10일후 12:12h (L:D) 구간에서 가장 먼저 장정기가 형성되었으며, 배양 15일후 14:10h (L:D)에서 그리고 배양 20일 후 10:14h (L:D) 구간에서도 장정기의 형성을 보였다. 따라서 곰피 암수배우체의 성숙속 유도를 위한 적정 배양 조건은 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 구간 및 14:10h (L:D) 조건인 것으로 나타났다.

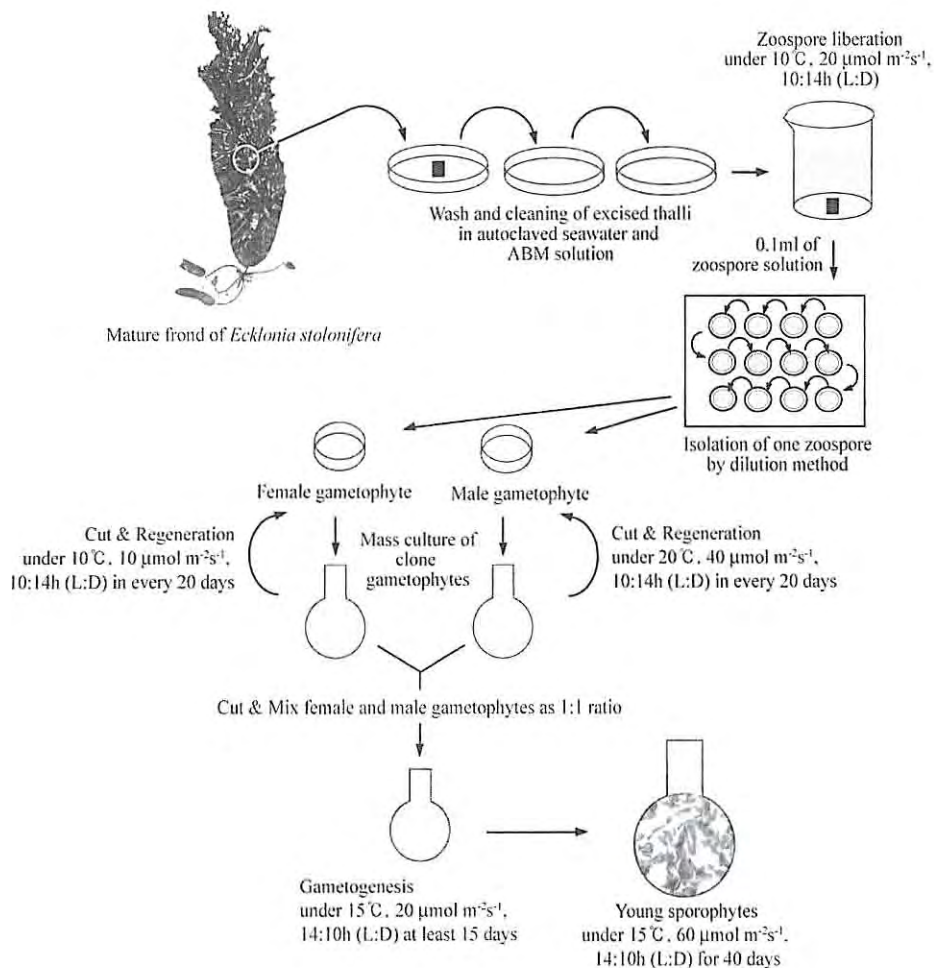


Figure 13. 곰피 암수배우체 분리 배양 및 배우체 성숙 유도 과정의 모식도.

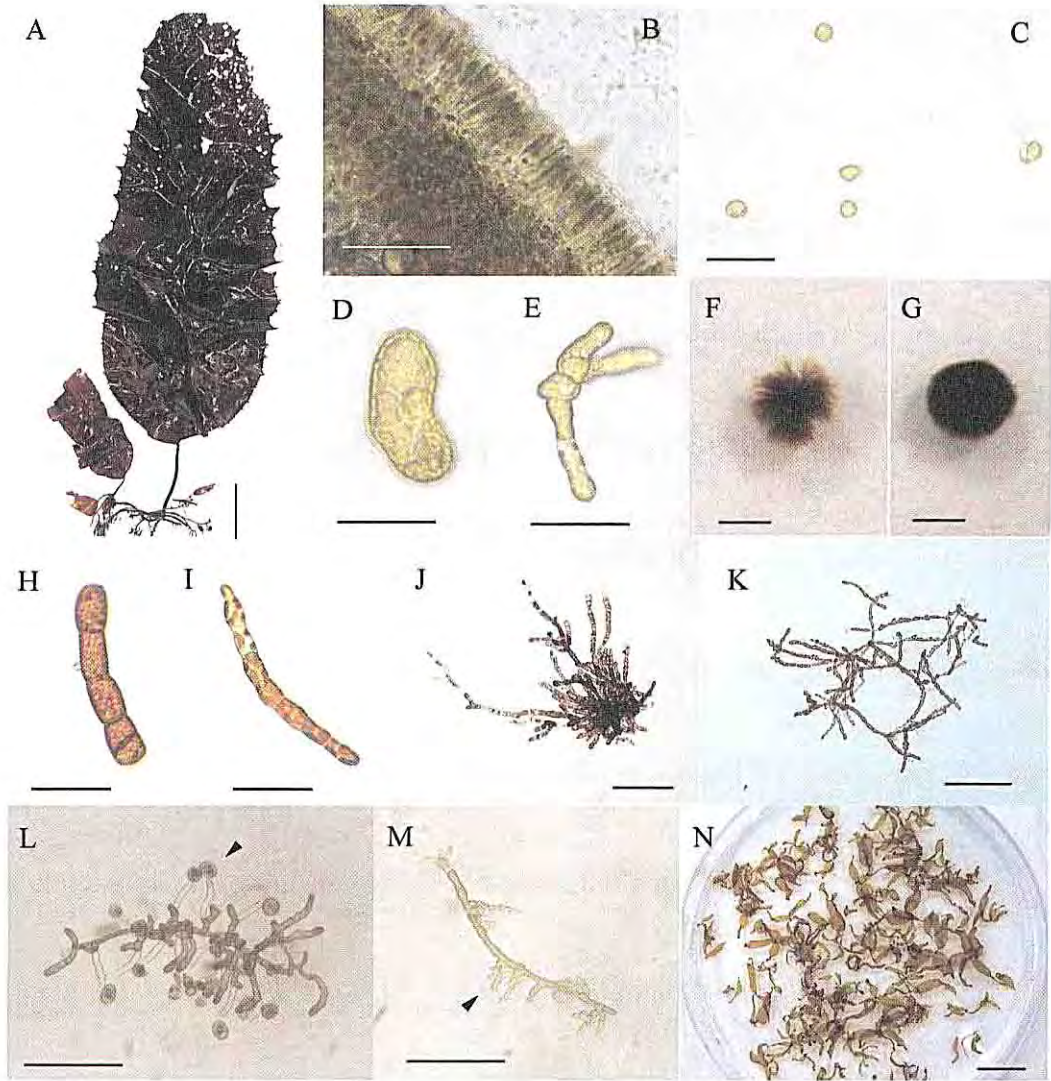


Figure 14. 곰피 암수 배우체의 분리배양 및 성숙 유도 과정. A: 성숙 포자체. B: 유주자낭. C: 유주자 방출 1일후의 발아체. D: 배양 5일후의 암배우체. E: 배양 5일후의 숫배우체. F: 배양 20일후 암배우체 덩어리. G: 배양 20일후 숫배우체 덩어리. H: 절단한 암배우체의 단편. I: 절단한 숫배우체의 단편. J: 배양 20일후 증식된 암배우체 덩어리. K: 배양 20일후 증식된 숫배우체 덩어리. L: 성숙 유도 15일후 장란기가 형성된 암배우체 단편. M: 성숙 유도 15일후 장정기가 형성된 숫배우체 단편. N: 배양 50일후의 유엽. Scale bar are 10 cm (A), 200 μm (B), 50 μm (C-E), 1 mm (F-G), 50 μm (H-I), 100 μm (J-M), and 1 cm (N).

Table 12. 곰피 암수배우체의 온도, 조도 및 광주기 조건별 일간생장을

Experimental conditions		Initial length ($\mu\text{m}\pm\text{SD}$)		Final length ($\mu\text{m}\pm\text{SD}$)		Growth rate ($\mu\text{m}/\text{day}$)	
		Female	Male	Female	Male	Female	Male
Temperature (°C)	5	164.10±72.42	133.85±41.79	214.00±68.31	234.50±113.96	0.013	0.028
	10			233.20±38.10	247.10±36.70	0.018	0.031
	15			276.60±41.15	308.50±38.31	0.026	0.042
	20			289.20±75.99	390.30±45.44	0.028	0.054
Irradiance ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	5	164.10±72.42	133.85±41.79	265.00±58.80	242.10±32.07	0.024	0.030
	10			276.60±41.15	296.00±55.74	0.026	0.040
	20			310.20±91.80	308.50±38.31	0.032	0.042
	40			323.20±99.45	320.00±45.11	0.034	0.044
Photoperiod (L:D)	14:10	164.10±72.42	133.85±41.79	276.60±41.15	308.50±38.31	0.026	0.042
	12:12			298.30±85.85	299.40±35.01	0.030	0.040
	10:14			290.70±76.21	277.80±55.96	0.029	0.037

Table 13. 곰피 암수배우체의 성숙에 미치는 온도, 조도 및 광주기의 영향

	Day	Maturation of gametophytes									
		Oogonia formation					Spermatia formation				
		0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
Temperature (°C)	5	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	10	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
	15	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+
	20	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
Irradiance ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	5	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
	10	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
	20	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+
	40	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Photoperiod (L:D)	14:10	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+
	12:12	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+
	10:14	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-

다. 포복지의 영양변식(재생)

곰피 업체의 포복지는 방사상으로 불규칙하게 뻗어나가며 분지한다. 2006년 3월부터 시험어장에서 곰피의 성장도는 Table 14 및 Figure 15, 16과 같다. 최대 포복지 길이는 2006년 6월부터 2007년 6월까지 불규칙적이기는 하나 지속적인 증가 경향을 나타내어 2007년 4월에는 평균길이가 최고치인 12.49 cm에 달하였다. 포복지의 분지횟수 역시 불규칙적이기는 하나 3.5~7.5개의 범위에서 점차 증가하는 경향을 나타내었고, 시험양식 어장의 로프에 부착하여 Figure 15와 같이 매우 복잡하게 얽혀서 자랐다. 포복지로부터 재생된 신생업체의 수는 Figure 16과 같이 2006년 9월부터 관찰되기 시작하였으며, 점차 증가하기 시작하여 12월에 최고치인 평균 1.6개/개체를 나타내었다. 이후 2007년 1월부터는 포복지로부터 재생되는 신생업체의 수가 점차 감소하는 경향을 보였다. 각 개체당 포복지로부터 재생된 신생업체의 수를 기준으로 하여 단위 로프 1m당 포복지로부터 재생되는 신생업체의 수는 Table 14와 같이 최대 92개/m로 추정할 수 있다.

따라서 곰피의 경우 해마다 유주자를 채묘하여 양식의 종묘로 사용하는 것이 아니라 포복지의 재생력을 이용하여 영양변식을 곰피 종묘의 수급 수단으로 이용할 수 있을 것이다.

Table 14. 시험 양식 어장의 곰피 업체를 이용한 포복지의 영양변식성 (재생)

측 정 치	2006										2007					
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
엽장 (cm)	0.8	2.17	25.00	51.43	60.78	62.00	55.87	58.01	79.00	124.33	127.08	131.10	128.03	149.30	107.10	84.23
주지길이 (cm)	0.10	0.20	0.50	1.56	4.72	4.75	3.34	4.46	5.05	11.81	18.92	20.38	15.94	28.82	18.90	10.70
포복지길이 (cm)				2.73	5.97	4.70	5.20	3.90	5.30	6.35	5.66	8.27	5.34	12.49	8.05	7.32
포복지분지 횟수(회)				4.70	4.50	4.70	3.50	4.70	5.60	5.50	6.10	7.50	4.60	6.60	4.70	6.96
신생업체엽경(cm)				-	-	-	1.94	1.54	8.15	15.29	13.40	16.30	10.07	8.49	2.01	4.83
신생업체 수 (개/개체)	0	0	0	0	0	0	0.56	0.42	1.10	1.60	0.94	0.93	0.17	0.02	0.01	0.01
신생업체수 (개/m)				-	-	-	18.00	16.00	46.00	72.00	92.00	84.00	24.00	2.40	0.55	1.19



Figure 15. 이식 5개월후 포복지로부터 재생된 곰피 유엽.

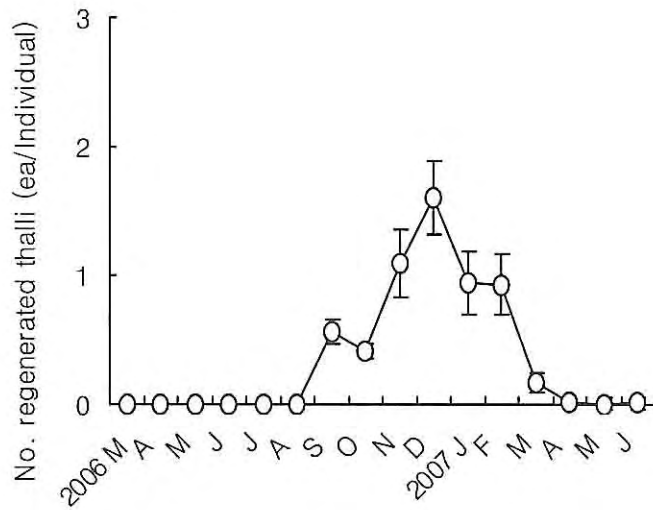


Figure 16. 곰피의 포복지로부터 재생된 신생엽체의 수 (개/개체).

3. 곰피의 양식학적 연구

가. 인공채묘

1) 적정 채묘 시기 구명

곰피의 적정 채묘 시기는 자연에서 곰피의 자낭반이 형성되는 시기와 밀접한 관련이 있다. 따라서 자연군락에서 곰피의 자낭반이 형성되는 시기를 조사한 결과는 Figure 17과 같다. 곰피 자연군락에서 성숙 엽체가 출현하는 시기는 7월부터이며 이후 점차 증가하기 시작하여 11월에는 최고 $84.6 \pm 12.2\%$ 를 나타내었다. 12월부터 성숙 엽체의 출현비율은 점차 감소하기 시작하여 1월에 $30.0 \pm 2.0\%$ 로 감소하였고, 2월에는 성숙 엽체가 출현하지 않았다. 따라서 곰피 성숙 엽체의 출현비율은 11월에 최고치를 나타내었다.

곰피 성숙 엽체의 총 면적 중 자낭반을 형성한 면적의 비율은 실제로 유주자를 방출하는 면적이 되므로 채묘 시기의 결정에 직접적인 영향을 준다고 할 수 있다. 곰피 성숙 엽체의 총 면적 중 자낭반 형성 면적의 월별 변동결과는 Figure 18과 같다. 즉 7월부터 자낭반 형성 면적이 점차 증가하는 경향을 보여 10월에 최고치인 $28.4 \pm 9.7\%$ 를 나타내었다. 11월부터 자낭반 형성면적은 점차 감소하는 경향을 보여 1월에 최저치인 $2.0 \pm 1.4\%$ 를 나타내었고 2월부터는 성숙 엽체가 관찰되지 않았다.

따라서 자연군락에서 곰피의 성숙 엽체 출현 비율은 11월이 가장 높으나 성숙 개체의 자낭반 형성 면적 비율로서는 10월이 가장 높다고 할 수 있으며 이 시기가 곰피의 인공채묘에 있어서 적기라고 할 수 있다.

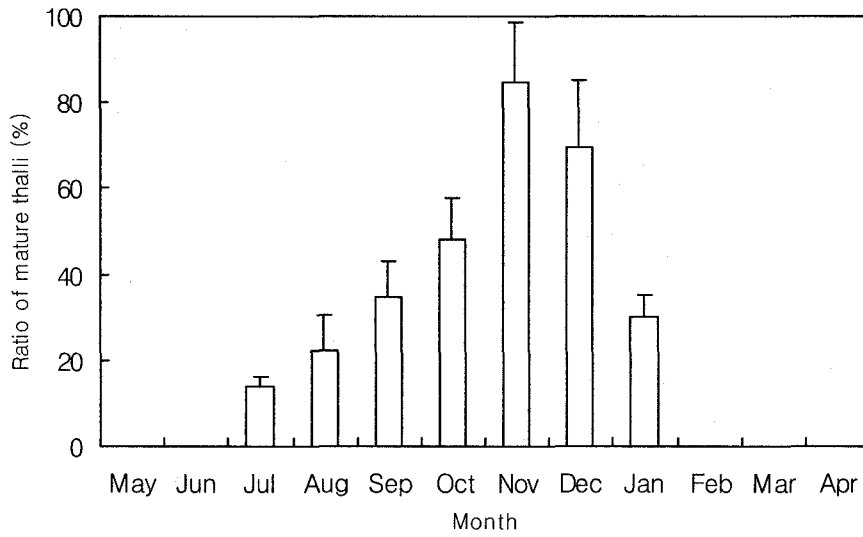


Figure 17. 자연군락에서 성숙 곰피 엽체의 출현 비율.

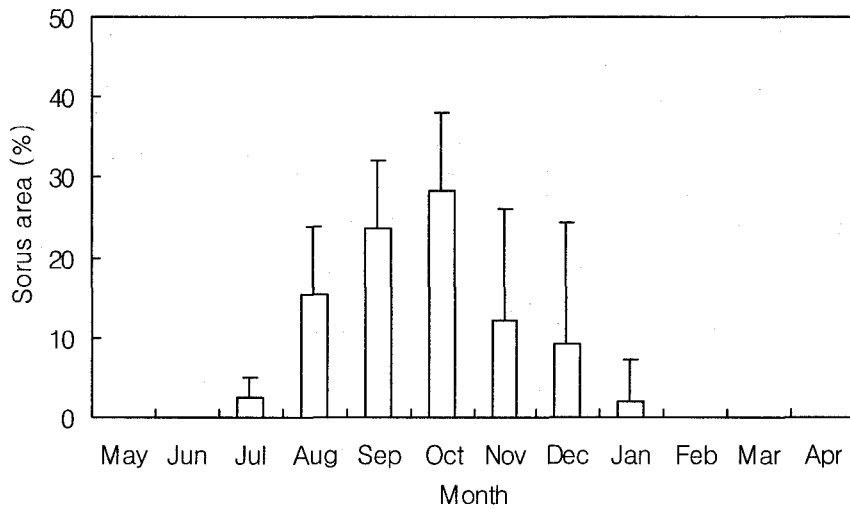


Figure 18. 곰피 엽체의 자낭반 형성 면적 비율.

2) 채묘 기질별 성장 및 채묘 효과

곰피 인공채묘시 채묘 기질별 성장효과는 Table 15와 같다. 유주자의 채묘 직후 부착밀도는 크레모나사 21합사의 경우 224.1 ± 183.4 개/cm를 나타내었으나 42합사의 경우 315.1 ± 198.4 개/cm를 나타내어 42합사의 경우 부착밀도가 높은 것으로 나타났다. 수조배양 기간이 지속되면서 부착밀도는 점차 감소하는 경향을 나타내었으며 60일후의 부착밀도는 21합사와 42합사에서 각각 73.0 ± 19.4 개/cm 및 96.2 ± 32.7 개/cm로 나타났다. 배우체의 성장도는 배양 60일후 21합사의 경우 엽장 $54.9 \pm 24.0 \mu\text{m}$ 였으나 42합사의 경우 $30.6 \pm 14.5 \mu\text{m}$ 로 나타나 21합사의 실험구에서 곰피 배우체의 성장도가 보다 우세한 것으로 나타났다.

Table 15. 수조배양 기간 중 채묘 기질별 곰피 배우체의 밀도와 성장도

배양 일수	구 분	채묘 기질	
		No. 21	No. 42
0	밀도 (cell/cm)	224.1 ± 183.4	315.1 ± 198.4
	엽장 (μm)	5.1 ± 2.6	5.1 ± 1.7
15	밀도 (cell/cm)	163.0 ± 98.4	181.4 ± 12.7
	엽장 (μm)	17.6 ± 4.9	12.4 ± 8.0
30	밀도 (cell/cm)	89.0 ± 49.4	129.4 ± 82.7
	엽장 (μm)	22.8 ± 8.8	13.5 ± 3.5
60	밀도 (cell/cm)	73.0 ± 19.4	96.2 ± 32.7
	엽장 (μm)	54.9 ± 24.0	30.6 ± 14.5

3) 채묘 시간별 성장 및 채묘 효과

곰피의 인공채묘시 채묘 시간은 유주자의 부착에 소요되는 시간을 결정하는데 중요한 요인이라 할 수 있다. 곰피의 유주자액에 채묘틀을 담그는 시간을 1, 2, 3, 4 및 5 시간으로 하였을 때 종사에 부착된 배우체 또는 아포체의 성장 및 채묘

효과는 Table 16과 같다. 채묘 직후 유주자의 부착 밀도는 채묘 4시간 실험구에서 224.1 ± 183.4 개/cm로 최고치를 보였으며 1시간 실험구에서 81.4 ± 42.5 개/cm로 최저치를 나타내었다. 따라서 곰피의 유주자를 인공채묘할 경우 채묘틀의 담금 시간은 4시간으로 유지하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

Table 16. 채묘 시간별 곰피 배우체의 밀도와 생장도

배양 일수	구 분	채묘 시간 (hr)				
		1	2	3	4	5
0	밀도 (cell/cm)	81.4 ± 42.5	95.4 ± 30.4	114.3 ± 24.7	224.1 ± 183.4	105.4 ± 45.2
	엽장 (μm)	5.1 ± 2.1	5.1 ± 2.2	5.1 ± 2.4	5.1 ± 2.5	5.1 ± 2.1
14	밀도 (cell/cm)	72.0 ± 32.4	75.7 ± 24.7	90.4 ± 20.5	163.0 ± 98.4	95.0 ± 12.8
	엽장 (μm)	16.4 ± 4.6	17.1 ± 3.4	17.8 ± 3.5	17.6 ± 4.9	17.5 ± 3.1
30	밀도 (cell/cm)	60.5 ± 27.5	74.5 ± 24.5	74.2 ± 15.4	89.0 ± 49.4	42.0 ± 15.7
	엽장 (μm)	16.5 ± 3.5	15.6 ± 5.1	18.4 ± 4.8	16.8 ± 8.8	17.6 ± 4.9
60	밀도 (cell/cm)	57.1 ± 13.4	72.2 ± 18.1	75.4 ± 12.4	84.0 ± 21.1	39.5 ± 11.4
	엽장 (μm)	19.8 ± 2.6	21.7 ± 4.7	21.6 ± 43.5	17.3 ± 4.7	17.8 ± 11.6

나. 가이식

곰피의 가이식은 12월에 실시하여 (Figure 19A) 약 3개월 후 육안적으로 유엽의 발아를 확인할 수 있다 (Figure 19B). 유엽이 발아된 종사는 약 2 cm 길이로 잘라 10 cm 간격으로 양성로프에 끼워 분양성 시설을 실시하며, 양성 3개월 후에는 엽장 15-20 cm의 엽체 (Figure 19C)로 성장하고 약 8개월 후에는 엽장 2 m에 달하는 성엽으로 성장하였다 (Figure 19D).

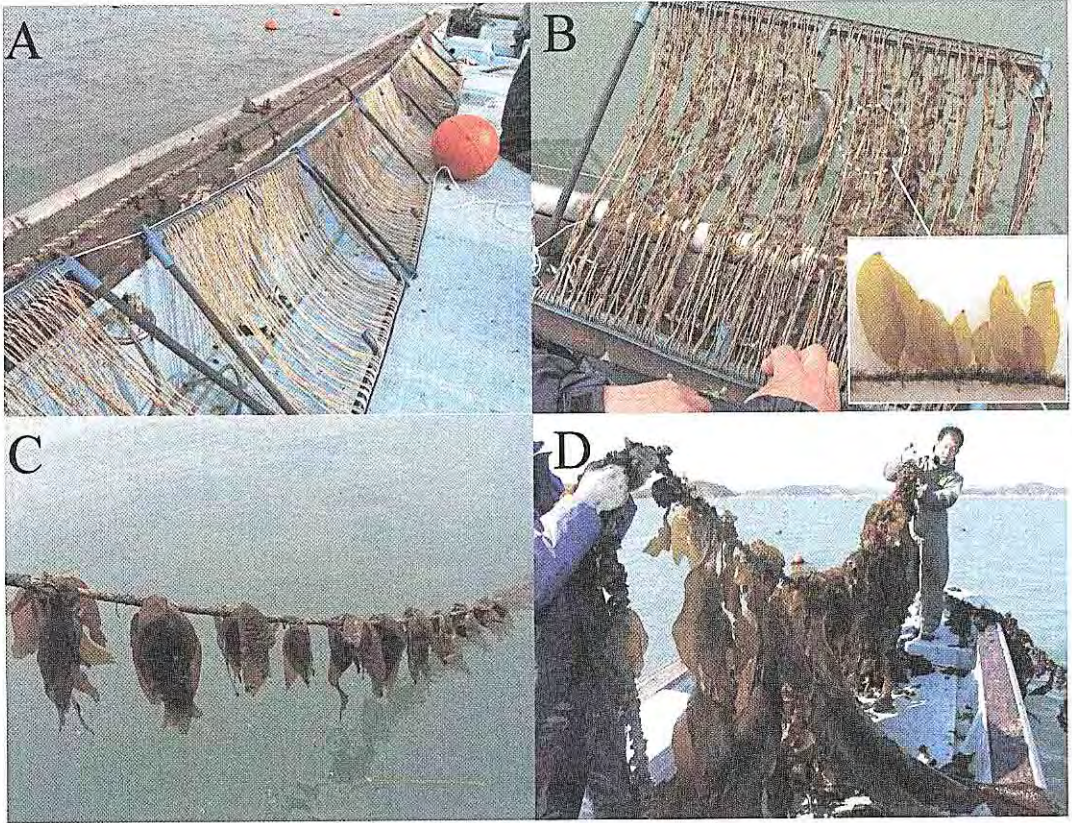


Figure 19. 곱피의 가이식 및 양성 과정. A: 가이식을 위한 채묘틀 달기. B: 가이식 3개월후 종사에서 자라난 곱피 유엽. C: 양성 3개월후 곱피 엽체. D: 양성 8개월 후 곱피 엽체.

1) 가이식 어장의 환경변화

곱피의 가이식 시험이 이루어진 전남 약산의 장용리 어장은 인근에 미역양식이 분포하고 있으며 비교적 내만형 어장임에도 불구하고 유속이 빨라 해수의 유동이 매우 원활한 지역이다.

곱피의 가이식 기간이었던 2006년 12월부터 2007년 3월까지 수온, 염분, 전기전도도 및 용존산소의 농도 변화는 Table 17과 같다. 즉 수온은 12월부터 2월까지 12.4℃~8.8℃로 점차 감소하였다가 3월부터 9.6℃로 다시 상승하기 시작하였다.

염분농도는 32.6~30.6 ppt로 일정한 경향을 나타내었으며 용존산소농도는 2월에 최고치인 10.6 mg/L를 나타내었으며 1월에 최저치인 7.73 mg/L을 나타내었다. 전기전도도는 3월에 최고치인 49.85 ms를 보였으며 이외의 기간 중에는 32.40~37.84 ms의 범위를 나타내었다.

Table 17. 가이식 기간 중의 수온, 염분, 용존산소 및 전기전도도 변화

조사일자 (가이식 일수)	수 온 (°C)	염 분 (ppt)	용존산소 (mg/L)	전기전도도 (ms)
2006.12.21. (0)	12.4	32.6	7.86	37.84
2007.1.4. (14)	11.1	32.8	7.73	36.93
2007.1.18. (28)	9.6	31.8	9.39	34.69
2007.2.6. (47)	9.7	32.7	8.10	35.66
2007.2.15. (56)	8.8	30.6	10.60	32.40
2007.3.13. (82)	9.6	32.3	8.56	49.85

2) 가이식 시기별 성장도

가이식 시기별 곰피의 생장은 Table 18 및 Figure 20과 같다. 아포체의 부착 밀도는 1차 가이식 시기인 12월 중순에 가이식을 실시한 실험구에서는 가이식 56일 후 아포체의 밀도가 15.4 ± 5.5 개/cm였으나 2차 가이식 실험구에서는 16.4 ± 6.1 개/cm 그리고 3차 가이식 실험구에서는 8.4 ± 2.8 개/cm로 나타나 2차 가이식 실험구에서 아포체의 부착밀도가 가장 높은 것으로 나타났다. 아포체의 길이생장은 2차 가이식 실험구에서 가이식 56일후 347.2 ± 124.9 μ m로 최고치를 나타내었으며 1차 가이식 실험구에서 114.3 ± 55.3 μ m로 최저치를 나타내었다. 가이식 82일후 유엽의 성장도는 Figure 18과 같이 1차 가이식 실험구의 경우 유엽 부착밀도는 종사 단위cm당 1.3 ± 0.1 개/cm로 가장 작았으며 2차 가이식 실험구의 경우 유엽의 부착밀도가 3.5 ± 0.3 개/cm로 가장 많았다.

유엽의 성장도는 Table 18과 같이 1차 가이식 실험구에서 가이식 82일후

15.2±2.3 mm로 최고치를 보였으며, 2차 가이식 실험구에서는 69일후 3.5±3.6 mm 그리고 3차 가이식 실험구에서는 55일후 0.6±3.2 mm를 나타내었다.

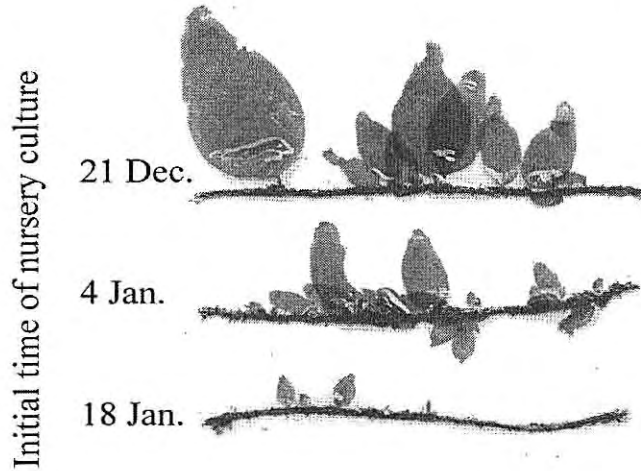


Figure 20. 곰피의 채묘 시기별 가이식 효과. 종사 10cm에 부착된 곰피 유엽의 비교.

Table 18. 가이식 시기별 곰피 아포체의 밀도와 성장도

구 분	가이식 시기					
	경과일수	1차 (2006.12.21.)	경과일수	2차 (2007.1.4.)	경과일수	3차 (2007.1.18.)
밀도 (개/cm)	0	87.4±21.5	0	48.4±12.3	0	59.1±24.6
엽장 (μm)		35.4±26.1		33.4±6.2		37.3±10.8
밀도 (개/cm)	14	27.4±11.5	14	37.4±12.8	14	28.4±9.5
엽장 (μm)		14.8±3.6		32.5±14.3		85.6±42.7
밀도 (개/cm)	28	23.4±5.9	28	29.4±16.4	28	10.4±3.4
엽장 (μm)		30.3±26.9		127.9±71.6		112.5±56.8
밀도 (개/cm)	47	16.1±3.4	47	17.4±2.8	32	8.9±4.2
엽장 (μm)		127.4±50.2		137.6±68.0		195.3±15.0
밀도 (개/cm)	56	15.4±5.5	60	16.4±6.1	45	8.4±2.8
엽장 (μm)		114.3±55.3		347.2±124.9		240.4±173.2
밀도 (개/cm)	82	1.3±1.2	69	3.5±3.6	55	0.6±3.2
엽장 (mm)		15.2±2.3		8.9±3.4		5.4±2.5

3) 가이식 수심별 생장도

곰피의 가이식 기간 중 수심별 생장도는 Table 19 및 Figure 21과 같다. 곰피 아포체의 수심별 실험구의 초기 밀도는 48.4 ± 12.3 개/cm였으며, 가이식 82일후 각 수심별로 차이를 보여 수심 2m 실험구에서 부착밀도가 3.5 ± 0.4 개/cm로 최고치를 나타내었으며, 수심 1m 실험구에서 부착밀도가 0.3 ± 0.2 개/cm로 최저치를 나타내었다. 곰피 유엽의 생장은 각 수심별로 차이를 보여 가이식 82일후 수심 2 m 실험구에서 엽장이 15.9 ± 3.4 mm로 최고치를 나타내었으며, 수심 1 m 실험구에서 1.2 ± 4.4 로 최저치를 나타내었다. 따라서 곰피의 가이식 기간 중 유엽의 발달을 위한 최적 가이식 수심은 Figure 21과 같이 수심 2 m → 1.5 m의 순인 것으로 나타났다.

가이식 수심별 일간생장율은 Table 20과 같이 수심 2 m 구간에서 0.194 ± 0.041 mm/day로 가장 높았으며, 수심 1.5 m 구간에서 0.116 ± 0.020 mm/day 및 수심 2.5 m 구간에서 0.099 ± 0.033 mm/day의 순으로 나타났다.

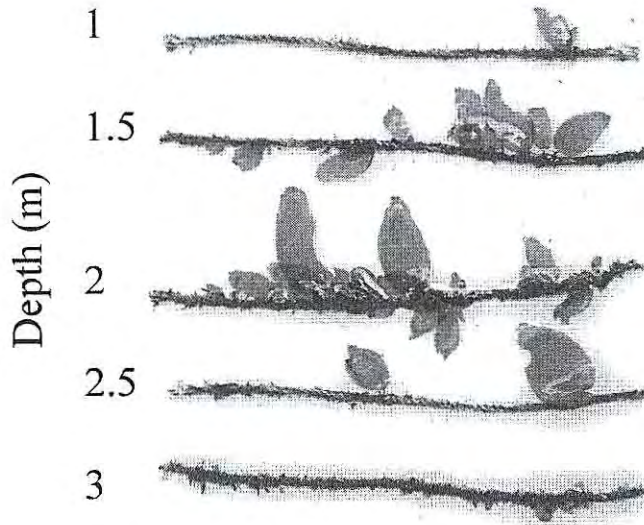


Figure 21. 곰피의 채묘 수심별 가이식 효과. 종사 10cm에 부착된 곰피 유엽의 비교.

Table 19. 가이식 수심별 곰피 아포체의 밀도와 생장도

가이식 일수	구 분	가이식 수심 (m)				
		1	1.5	2	2.5	3
0	밀도 (개/cm)	48.4±12.3				
	엽장 (μm)	23.4±6.2				
14	밀도 (개/cm)	3.4±1.5	13.3±3.8	37.4±12.8	35.5±13.0	16.1±9.1
	엽장 (μm)	25.0±10.5	10.0±11.9	32.5±14.3	28.3±15.9	31.3±28.2
33	밀도 (개/cm)	1.6±0.9	11.1±4.2	29.4±16.4	27.5±17.5	13.8±6.4
	엽장 (μm)	65.5±21.1	159.2±60.2	127.9±71.6	156.0±45.8	94.0±24.6
42	밀도 (개/cm)	0.5±0.2	11.0±5.1	17.4±2.8	15.5±6.1	11.4±4.8
	엽장 (μm)	58.0±15.4	73.2±13.3	137.6±68.0	162.9±25.5	125.5±42.4
68	밀도 (개/cm)	0.5±0.1	6.8±3.4	16.4±6.1	7.4±6.9	3.1±2.0
	엽장 (μm)	107.9±42.5	283.5±50.4	347.2±224.9	190.5±121.2	146.2±71.5
82	밀도 (개/cm)	0.3±0.2	1.4±0.2	3.5±0.4	2.3±0.2	0.5±0.3
	엽장 (mm)	1.2±4.4	9.5±1.6	15.9±3.4	8.1±2.7	3.5±1.6

Table 20. 곰피의 가이식 수심별 일간생장율

구 분	수심 (m)	가이식 생장도			일간생장율 (mm/day)*
		가이식 시작시 엽장 (mm)	가이식 종료시 엽장 (mm)	가이식 기간 (일)	
가이식	1.0	0	1.2±0.4	82	0.014±0.005a
	1.5	0	9.5±1.6	82	0.116±0.020b
	2.0	0	15.9±3.4	82	0.194±0.041c
	2.5	0	8.1±2.7	82	0.099±0.033b
	3.0	0	3.5±1.6	82	0.042±0.019a

* 모든 수치는 3반복 실험구의 평균과 표준편차로 표시하였음. 각각의 첨자는 *a posteriori* Fisher's LSD test 결과 유의함 (p<0.01).

4) 해적생물상

곰피의 가이식 기간 중 채묘틀 및 종사에 출현한 해적생물은 Table 21과 같다. 1월에는 구멍갈파래와 모로우붉은실 등이 출현하였으며 *Caprella* sp.가 출현하기 시작하였다. 2월에는 모로우붉은실의 밀도가 더욱 높아졌으며 잎파래와 구멍갈파래, 잔금분홍잎, 마디잘록이 등이 출현하였고, *Caprella* sp.가 전달 보다 많은 밀도로 출현하였다. 3월에는 모로우붉은실의 밀도가 가장 높았으며 개미역쇠와 애기마디잘록이가 새로이 출현하였다. 4월에는 구멍갈파래와 *Caprella* sp.가 높은 밀도로 출현하였다. 종사에 덮인 빨질은 1월부터 지속적으로 출현하였다. 따라서 곰피의 가이식 기간 중 출현한 해조류는 7종이었으며 규조류와 동물을 포함하여 모두 11종의 해적생물이 출현하였다.

Table 21. 가이식 기간 중 출현한 해적생물

출현종	월	2007 1	2	3	4
해조류					
<i>Enteromorpha linza</i> (잎파래)			+	+	
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)		+	+	+	+
<i>Petalonia fascia</i> (개미역쇠)				+	
<i>Acrosorium polyneurum</i> (잔금분홍잎)			+		
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)			+		
<i>Lomentaria hakodatensis</i> (애기마디잘록이)				+	+
<i>Polysiphonia morrowii</i> (모로우붉은실)		+	++	+++	+
규조류 및 기타 해적생물					
<i>Navicular</i> sp.		+	+	+	+
<i>Caprella</i> sp.		+	++	++	++
<i>Gammaropsis</i> sp.		+	+	+	+
Hydrozoans			+		
Mud			+	+	+

다. 양성

1) 양성 어장의 환경변화

어장별 환경 조사는 전남 완도군 약산면 장용리 시험 어장에서 2006년 3월부터 2007년 6월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다 (Table 22). 양성 기간 중 수온은 8.80~25.6℃의 분포를 나타내었으며, 2007년 2월에 가장 낮은 8.8℃를 보였고, 2006년 8월에 가장 높은 25.6℃를 나타내었다. 염분농도는 29.7~33.6 ppt의 분포를 나타내었으며, 2006년 7월에 가장 낮은 29.7 ppt를 나타내었고, 2006년 4월에 가장 높은 33.6 ppt를 나타내었다. 용존산소의 농도는 매우 변화가 심하였으며 4.51~10.60 mg/L의 분포를 나타내었다. 계절별로는 겨울철에 용존산소의 농도가 높았으며 여름철에 낮은 농도를 보였다. 전기전도도는 32.4~49.85 ms의 분포를 나타내었다.

Table 22. 곰피의 양성 기간 중 환경자료

Month	Temperature (℃)	Salinity (ppt)	DO (mg/L)	Conductivity (ms)
2006 M	8.90	32.30	6.95	37.80
A	10.80	33.60	8.55	37.11
M	13.00	33.30	8.08	38.97
J	17.10	31.90	7.22	48.70
J	20.80	29.70	6.33	42.23
A	25.60	31.40	4.51	48.10
S	23.40	30.50	6.44	45.39
O	20.30	30.30	6.28	42.25
N	15.50	32.60	6.59	40.78
D	12.40	32.60	7.86	37.84
2007 J	10.00	32.10	6.55	35.30
F	8.80	30.60	10.60	32.40
M	9.60	32.30	8.56	49.85
A	12.00	33.40	8.20	38.35
M	15.80	33.10	7.46	41.56
J	19.40	33.50	7.09	45.44

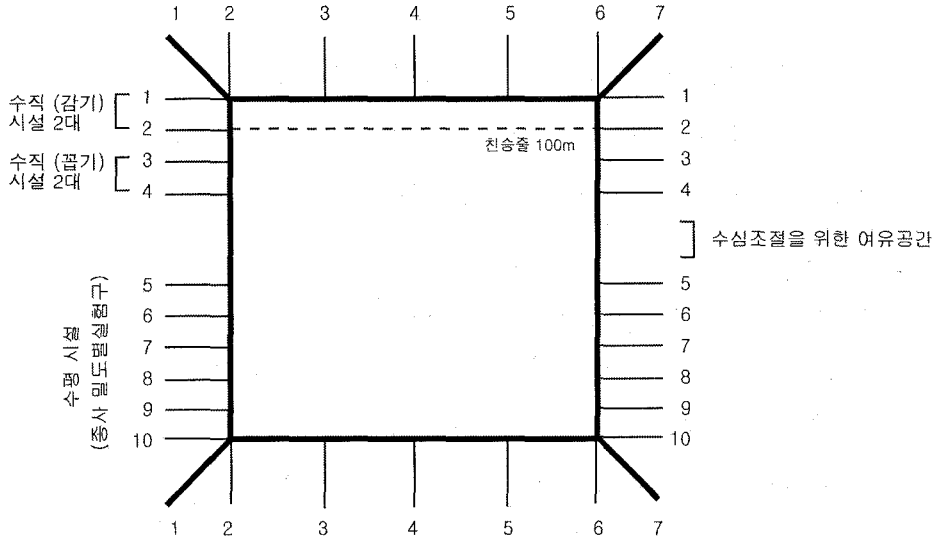
2) 양성 기간 중 곰피의 성장도

가) 곰피의 양성 성장도

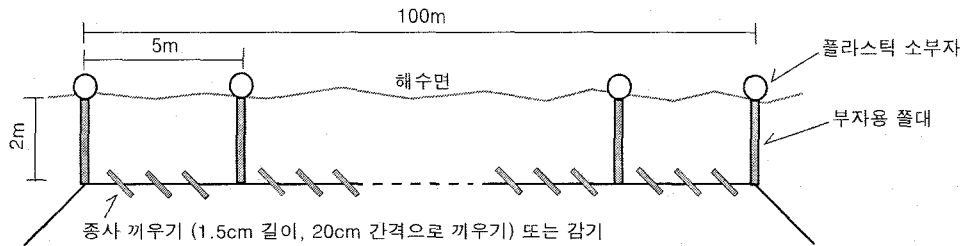
곰피의 양성실험은 Figure 22와 같이 수평식 및 수직식으로 시설하였다. 곰피의 수평식 양성 성장도의 월별 변화는 Figure 23과 같다. 곰피의 엽장 (Figure 23A)은 2006년 5월부터 빠르게 성장하기 시작하여 8월에 길이생장이 감소하였다가 10월부터 길이생장이 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 길이생장의 증가는 2007년 4월까지 지속적으로 증가하여 최고 149.3 ± 26.2 cm를 나타내었으며 이후 수온의 증가와 함께 엽장이 감소하는 경향을 나타내었다. 곰피의 엽폭 (Figure 23B)은 2006년 6월까지 빠르게 증가하여 12.4 ± 1.6 cm를 나타낸 이후 2007년 1월까지 14.2 ± 1.8 cm로 큰 차이를 나타내지 않았으나 2월부터 다시 엽폭이 증가하기 시작하여 4월에 최고치인 23.0 ± 3.1 cm를 나타내었다. 엽중량 (Figure 23C)은 2006년 3월부터 2007년 4월까지 꾸준히 증가하여 2007년 4월에 최고치인 188.9 ± 46.5 g을 보였으며 5월부터 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 양성 로프의 단위m당 곰피의 현존량 (Figure 23D)은 2006년 3월부터 꾸준히 증가하는 경향을 보여 2007년 5월에 최고치인 12.7 ± 7.1 kg/m를 나타내었다.

따라서 곰피의 양성 성장도는 1년생의 경우 6-7월에 길이생장이 최대에 달하였다가 10월까지 엽장이 감소하는 경향을 보였으며 11월부터 끝녹음 속도보다 성장 속도가 빨라져 길이생장이 증가하는 것으로 나타났다.

1. 양식시설 세트 구조



2. 연승로프의 수평시설



3. 연승로프의 수직시설

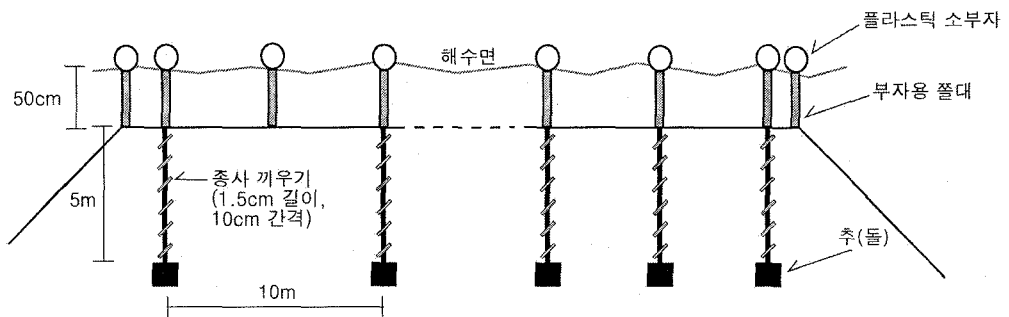


Figure 22. 곶피 양식시설 (수평식 및 수직식).

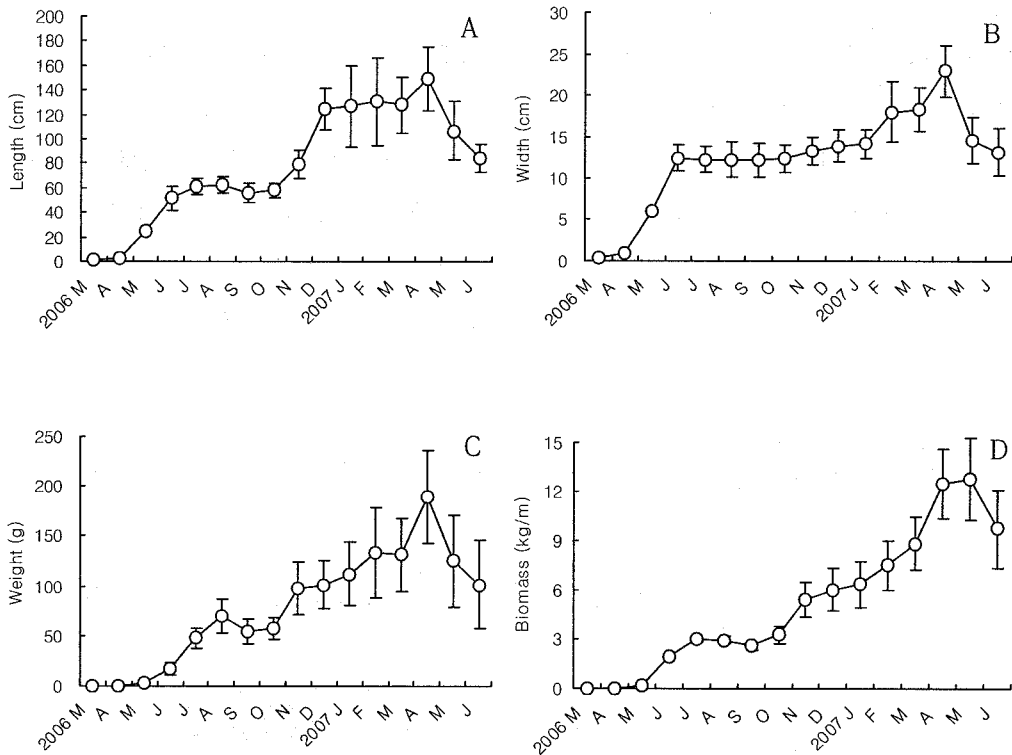


Figure 23. 곰피의 월별 양성 성장도. A: 엽장 (cm). B: 엽폭 (cm).
C: 엽중량 (g). D: 단위m당 현존량 (kg/m).

나) 양성 수심별 성장도 및 양성효과

2006년 5월부터 10월까지 곰피의 주 성장시기 동안 수직식 양성 실험결과 6월과 10월의 각 수심별 곰피 엽체의 생장은 Figure 24 및 Figure 25와 같다. 즉 길이 생장은 6월에 최대생장에 도달하였으나 이후 끝녹음이 일어나 길이생장이 감소하며 10월이 되면 엽체의 비후도가 증가하기 시작하여 생체량이 증가하는 것으로 나타났다. 6월에는 1.5m 실험구에서 길이생장 및 생체량이 가장 높은값을 보였으나 10월에는 2m 실험구에서 가장 높은 1.7 ± 0.01 kg/m의 생체량을 보였다.

각 수심별 곰피의 길이생장은 Figure 26A와 같이 6월에 수심 1.5m 실험구에서

58.7±9.1cm로 최고치를 보였으며 수심 3m 실험구에서 34.5±11.2cm로 최저치를 보였다. 7월 이후에는 3m 실험구를 제외하고 1.5-2.5m 실험구에서 길이생장 차이는 유의한 차이를 보이지 않았다.

곰피의 각 수심별 단위m당 생체량 변동은 Figure 26B와 같이 6월과 7월에는 수심 1.5m 실험구에서 최고치를 나타내었으나 8월부터 2m 실험구에서 가장 높은 값을 나타내기 시작하여, 10월에는 2m 실험구에서 생체량이 1.7±0.01 kg/m로 가장 높았고 1.5m, 1m, 2.5m, 및 3m의 순으로 낮은 값을 보였다.

각 수심별 일간생장율은 Table 23과 같이 수심 1.5m 구간에서 4.825±0.713 mm/day로 가장 높았으며, 수심 1m 구간에서 4.579±0.606 mm/day 그리고 수심 0.5m 구간에서 4.375±0.763 mm/day의 순으로 나타났다.

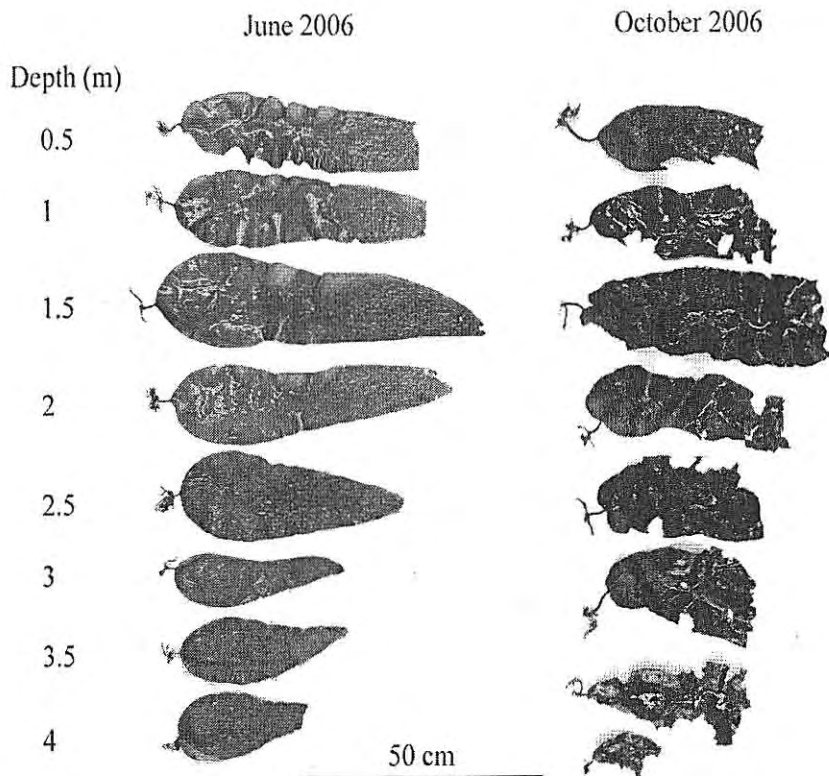


Figure 24. 곰피의 수심별 양성 성장도 (2006년 6월 및 10월).

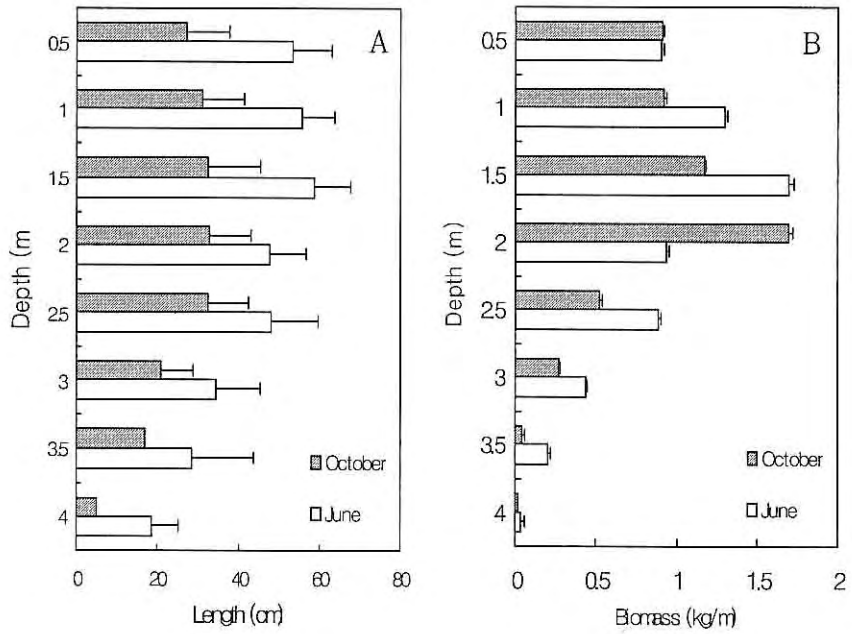


Figure 25. 곰피 수심별 길이성장 (A) 및 단위 m당 생체량 (B).

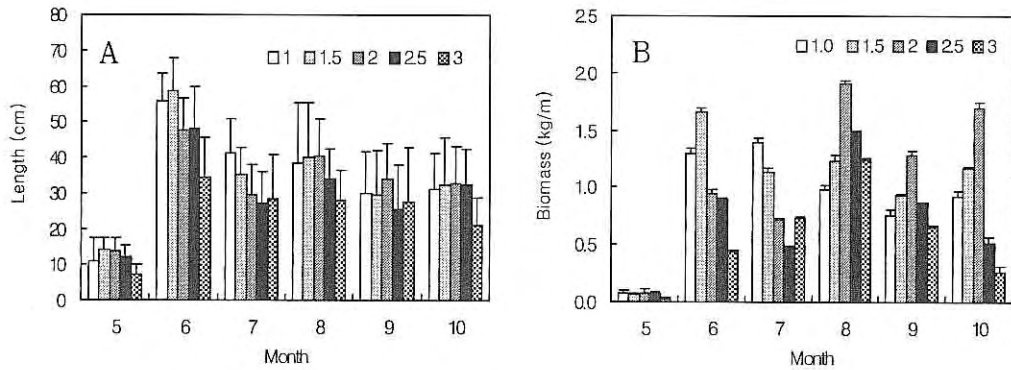


Figure 26. 각 수심별 곰피 엽체의 월별 성장 변화. A: 엽장 (cm±SD). B: 단위 m당 생체량 (g±SD).

Table 23. 곱피의 양성 수심별 일간생장율

구 분	수 심 (m)	양성 성장도			일간생장율 (mm/day)*
		양 성 시작시 엽장 (mm)	양 성 종료시 엽장 (mm)	양 성 기 간 (일)	
양 성	0.5	8.0±4.5	533.0±96.5	120	4.375±0.763e
	1.0	8.0±5.2	557.5±77.7	120	4.579±0.606e
	1.5	8.0±4.7	587.0±90.6	120	4.825±0.713f
	2.0	8.0±5.0	477.5±88.5	120	3.913±0.696d
	2.5	8.0±4.5	481.5±115.0	120	3.946±0.917d
	3.0	8.0±4.8	344.5±111.2	120	2.804±0.885c
	3.5	8.0±5.2	283.8±153.5	120	2.298±1.238b
	4.0	8.0±5.1	185.0±66.6	120	1.475±0.513a

* 모든 수치는 3반복 실험구의 평균과 표준편차로 표시하였음. 각각의 첨자는 *a posteriori* Fisher's LSD test 결과 유의함 ($p < 0.01$).

다) 수중광량 표준화

곱피의 양성 기간 중 수심별 수중광량의 평균값은 Figure 27과 같이 일반화할 수 있다. 이때의 수중광량을 자연로그값으로 치환하여 수심과의 상관관계를 구해보면 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$\text{“수중광량 (Y) = -0.331X+8.198 (r}^2\text{=0.9903)”}$$

따라서 곱피 가이식 기간 중 적정 수심인 2m의 경우 평균 수중광량이 $671 \pm 377 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 양성 기간 중 적정 수심인 1.5m의 경우 평균 수중광량이 $925 \pm 341 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 인 것으로 나타났다.

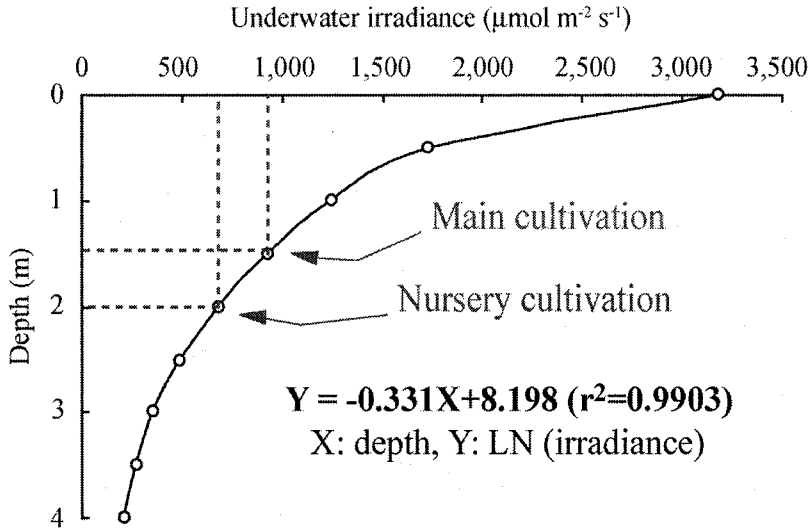


Figure 27. 곰피 양성 기간 중 수심과 수중광량과의 관계. A: 수심과 수중광량과의 표준화. B: 수심과 수중광량의 자연로그값과의 상관관계.

3) 해적생물상

양성 기간 중 곰피의 양성 로프에 출현한 해적생물은 Table 24와 같이 총 24종으로 나타났으며, 이 가운데 해조류는 12종이었고 기타 해적생물은 12종으로 나타났다. 해조류 가운데는 모로우 붉은실, 구멍갈파래 및 미끌지누아리의 출현 빈도가 가장 많았으며 5월부터 8월까지 부착 해조류의 출현종수는 4-5종으로 나타났으며 이 외의 시기동안은 1-3종으로 나타났다. 기타 해적생물의 출현 양상은 주로 6월부터 9월까지의 시기동안 출현종수와 생물량이 가장 많았다. 또한 7월부터 9월의 시기에는 기타 해적생물의 출현종수가 7-10종에 달하였으며, 8월에 출현종수가 10종으로 가장 많았다.

Table 24. 양성 기간 중 출현한 해적생물

출현종	월									
	2006 4	5	6	7	8	9	10	11	12	
해조류										
<i>Enteromorpha linza</i> (잎파래)			+							+
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)	+	+						+	+	
<i>Cladophora japonica</i> (큰대마디말)								+		
<i>Codium fragile</i> (청각)		+	+	+	+					
<i>Petalonia fascia</i> (개미역쇠)		+	+							
<i>Grateloupia turuturu</i> (미끌지누아리)		+						+	+	+
<i>Graateloupia lanceolata</i> (개도박)			+							
<i>Acrosorium polyneurum</i> (잔금분홍잎)						+				
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)					+					
<i>Lomentaria hakodatensis</i> (애기마디잘록이)	+				+	+				
<i>Gracilaria chorda</i> (개꼬시래기)									+	+
<i>Polysiphonia morrowii</i> (모로우붉은실)	+		+	+	+	+				
규조류 및 기타 해적생물										
<i>Navicular</i> sp.	+	+		+	+					
<i>Caprella</i> sp.	++	+	++	++	+	+				
<i>Gammaropsis</i> sp.	+	+	++	++	+					
<i>Obelia</i> sp.		+	++	++	++	+				
이끼벌레류				+	++	++	+	+		
Hydrozoans			+	++	+	+	+			
진주담치		+								
미더덕					+	++	+	+	+	
오만둥이					+	++	+	+	+	
유령명게					+	++	+			
굴								+		
Mud	+		+	+	+	+				

4) 곰피 양식 매뉴얼

전남 완도군 약산면 지역에서 곰피의 가이식 및 양성 과정에서 수온의 변화와 각 수심별 수중광량의 월별 변화는 Figure 28과 같다. 수온 변화는 8.8℃~25.6℃ 까지 변화하였으며 최고 수온은 8월에 그리고 최저 수온은 2월에 각각 기록되었다. 표층 조도의 최대치는 8월 그리고 최저치는 7월에 각각 기록되었다.

곰피의 가이식 및 양성 기간 중 각 수심별 성장율과 수심과 수중광량과의 관계는 Table 25와 같다. 가이식 82일후 곰피의 일간성장율은 수심 2m 실험구에서 0.194 ± 0.041 mm/day로 가장 높았으며, 이 시기의 수중광량은 671 ± 377 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 측정되었다. 곰피의 가이식 기간 중 수심과 수중광량간의 관계는 $Y = -0.47x + 8.40$ ($r^2=0.99$)의 식으로 표준화할 수 있다 (Table 25).

곰피의 양성 기간 중 일간성장율은 수심 1.5m 실험구에서 120일후 4.825 ± 0.713 mm/day로 가장 높았으며, 이 시기의 수중광량은 925 ± 340 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 측정되었다. 곰피의 양성 기간 중 수심과 수중광량간의 관계는 $Y = -0.26x + 8.14$ ($r^2=0.98$)의 식으로 표준화할 수 있다 (Table 25).

따라서 곰피의 대량양식을 위한 적정 가이식 및 양성 조건은 Figure 29와 같이 요약할 수 있다. 곰피 양성 과정 중 적정 수중광량 조건을 이용하여 단위면적당 생산 가능한 양식수확량을 추정한 결과는 Table 26과 같다. 당년생 곰피의 양성 실험 결과 수심 1.5m 실험구에서 얻어진 3.2 kg-fresh wt./m를 이용하여 단위 면적 1ha당 20대를 시설하였을 경우, 곰피의 생산량은 6,400 kg-fresh wt./ha로 추정할 수 있다. 그리고 2년생 곰피를 수심 1.5m에서 양성하면 24,800 kg-fresh wt./ha로 생체량이 3배 이상 증가하게 된다. 이러한 생산량은 미역의 ha당 생산량 28,000 kg-fresh wt./ha와 거의 같은 수준이며, 다시마의 ha당 생산량 36,000 kg-fresh wt./ha의 약 75% 수준에 해당되어 단위 ha당 생산량이 매우 높아 전복먹이 공급원으로 충분히 경쟁력이 있을 것으로 보인다. 뿐만 아니라 곰피는 다년생 해조류로 매년 양성을 위한 종묘생산이나 시설을 새로 하지 않아도 되므로 기존의 전복먹이의 주류를 이루고 있는 미역 및 다시마보다도 전복 양식 산업의 경제성제고에 오히려 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

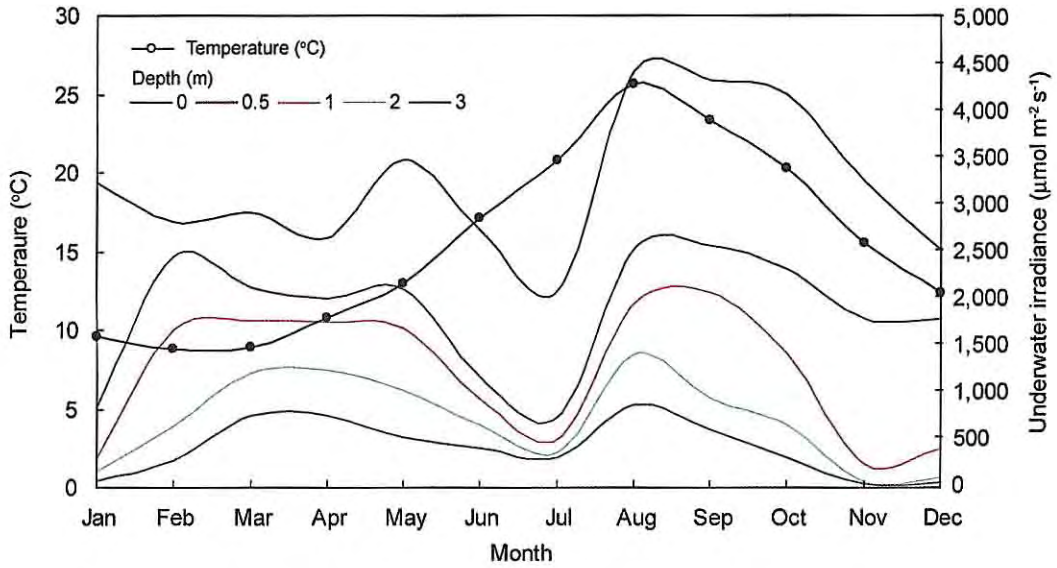


Figure 28. 곰피의 가이식 및 양성 기간 중 수온 및 수심별 수중광량의 변화.

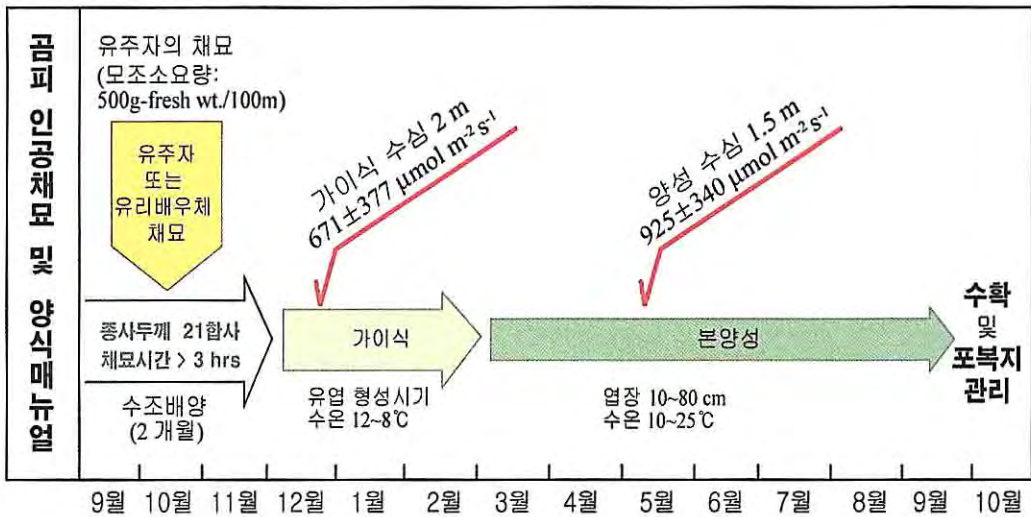


Figure 29. 곰피의 양식 매뉴얼.

Table 25. 곱피의 양식 단계별 성장과 수중광량과의 관계

구 분	양성 성장도					수심과 수중광량의 관계
	수심 (m)	시작시 엽장 (mm)	종료시 엽장 (mm)	기간 (일)	일간생장율 (mm/day)*	
가이식	1.0	0	1.2±0.4	82	0.014±0.005 ^a	Y=-0.47x+8.40 (r ² =0.99)
	1.5	0	9.5±1.6	82	0.116±0.020 ^b	
	2.0	0	15.9±3.4	82	0.194±0.041 ^c	
	2.5	0	8.1±2.7	82	0.099±0.033 ^b	
	3.0	0	3.5±1.6	82	0.042±0.019 ^a	
양 성	0.5	8.0±4.5	533.0±96.5	120	4.375±0.763 ^e	Y=-0.26x+8.14 (r ² =0.98)
	1.0	8.0±5.2	557.5±77.7	120	4.579±0.606 ^e	
	1.5	8.0±4.7	587.0±90.6	120	4.825±0.713 ^f	
	2.0	8.0±5.0	477.5±88.5	120	3.913±0.696 ^d	
	2.5	8.0±4.5	481.5±115.0	120	3.946±0.917 ^d	
	3.0	8.0±4.8	344.5±111.2	120	2.804±0.885 ^c	
	3.5	8.0±5.2	283.8±153.5	120	2.298±1.238 ^b	
	4.0	8.0±5.1	185.0±66.6	120	1.475±0.513 ^a	

* 모든 수치는 3반복 실험구의 평균과 표준편차로 표시하였음. 각각의 첨자는 *a posteriori* Fisher's LSD test 결과 유의함(p<0.01).

Table 26. 곱피의 단위 면적당 생산량 및 생산액 추정

양성기간 (년)	수심 (m)	생체량* (kg-fresh wt./m)	생산량** (kg-fresh wt./ha)	타 해조류 (kg-fresh wt./ha)	
				미역***	다시마***
1	1	0.6±0.1	1,200	28,000	36,000
	1.5	3.2±0.2	6,400		
	2	0.9±0.1	1,800		
	3	0.5±0.1	1,000		
2	1.5	12.4±1.4	24,800	-	-

* 3반복 실험구의 평균값과 표준편차.

** ha당 양성로프의 간격은 5m (20대) 기준.

*** 주요양식품종 어가별 소득자료집 (해양수산부, 2002) 기준.

4. 곰피의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

1) 곰피 추출물의 피부노화 및 melanin formation 억제효과

가) 서론

인간은 노화, 즉 나이가 들어감에 따라 피부와 피부를 이루는 부속물들이 변화를 겪게 된다. 즉, 피부가 거칠어지며 주름이 증가하고 탄력을 잃게 되면서 피부조직이 얇아지게 된다 (Lavker et al. 1987). 보고된 바에 의하면 피부노화는 intrinsic aging과 extrinsic aging으로 대별되는데 intrinsic aging이란 자연스러운 피부의 노화로써 피부구조와 생리학적 기능이 자연스럽게 쇠퇴하는 것을 말하며, extrinsic aging은 자외선 및 스트레스에 의해 유발되는 피부의 노화를 말한다 (Lavker et al. 1987). 잘 알려진 바와 같이 자외선은 가장 강력한 피부노화 유발 물질 중의 하나이다. 피부는 자외선에 노출되면 피부의 구성성분인 collagen과 elastin이 변성되며 연이어 horny layer가 두꺼워지고 주름이 지게된다 (Braveman 1982). 또한 자외선에 노출된 피부는 pigmentary deposit이 증가하게 되고 이에 따라 피부세포 내에 melanin cell의 수가 증가하게 되어 피부가 거칠고 검게 변하는 것이다 (Kim et al. 1988). 따라서 인간의 피부노화를 방지하기 위해 많은 과학자들이 수많은 연구들을 진행하여 왔는 바, 피부세포 활성화의 지표인 collagen을 증가, 활성화시키고, fibroblasts를 활성화시키며, extracellular matrix를 증가, 활성화시키는 물질의 개발에 연구역량을 집중하여 왔다 (Han et al. 1987). 이러한 예로 Lee et al. (1997)은 L-Ascorbic 산의 fibroblast growth 및 collagen biosynthesis에 관해 보고하였고, Kang et al. (1996)은 retinoids와 vitamin D의 피부노화 방지 효과에 대해 보고하였으며, Kim et al. (1989)은 Panax Ginseng과 Radix Astragali의 피부노화 방지 효과, Han et al. (1987)은 sulfhydryl compounds와 cysteine, glutathione 등의 피부노화방지 효과 등에 대해 보고하였다.

상기에 언급된 바와 같이 임상적으로 유용한 피부노화 치료물질을 개발하기 위해 다양한 chemical compound에 대한 연구가 진행되어 왔고 현재도 진행 중이지만 이들 chemical compound들은 세포독성 및 부작용으로 인해 그 사용이 일정부분

제한되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 천연물 또는 의학용 약초를 이용하여 임상적으로 안전한 피부노화물질을 개발하기 위한 연구가 미국, 일본, 영국 등 구미 선진국을 중심으로 점차적으로 증가하고 있는 추세이다.

곰피는 우리나라 동해안과 남해안에 폭넓게 분포하는 다년생 갈조류로 수심 2-10m의 조하대에 주로 서식하고 있다 (Kang 1968). 이 종은 연안 역에서 중요한 1차생산자의 역할을 담당하고 있는 종이며 (Druehl et al. 1977), 해중림의 주요 구성종으로써 연안 생태계에 있어서 생태학적으로나 수산업상 매우 중요한 위치를 점유하고 있다. 곰피는 성게, 전복 등 유용해산동물의 먹이원으로 해중림의 주요 구성종 중의 하나이며, 경남 지역에서는 짬 채소의 하나로 오래전부터 식용으로 이용해오고 있는 해조류이다. 특히, 곰피에는 알긴산 뿐 만 아니라 순도가 높은 fucoidan이 다량 함유되어 있으며, 곰피의 fucoidan은 트롬빈 활성이 높아 헤파린의 약 1.4 배에 달한다고 알려져 있고 (이 등 1995). 또한 곰피에는 피부노화방지에 효과가 있는 것으로 알려진 L-Ascorbic 산 및 collagen이 다량 함유되어 있어 피부노화방지에 개발을 위한 천연물 후보물질로서의 가능성이 충분한 것으로 본 연구팀에 의해 조사되었다.

따라서 본 연구에서는 곰피 추출물의 피부노화방지 및 치료 후보물질로서의 가능성을 연구하기 위해 *in vitro* 레벨에서의 연구를 수행하였다. 즉, 곰피 추출물을 CCD-986sk cell line monolayer (human fibroblast, KCBL-21947)에 투여하여 피부세포에 대한 곰피 추출물의 피부세포 생리활성효과를 측정하였고, 또한 Clone M-3 mouse melanocyte cell line에 곰피 추출물을 투여하여 곰피 추출물의 melanin formation 저해효과를 측정하였다.

나) 실험재료 및 방법

(1) 곰피 추출물의 제조

곰피는 국립수산과학원 해조류연구센터에서 시험 양식한 엽체를 제공받아 사용하였다. 건조된 곰피 50g을 취한 후 이들 시료에 500ml의 80% methanol을 넣은 후 60°C 수조에서 18시간 침적하여 추출하였고, 추출된 methanol 용액은 8,000 xg에서 15분간 원심 분리 한 후 여과하여 rotavapo R-200 (Buchi, Germany)를 이용하여

농축하고 동결건조 하였다. 동결건조된 시료 1g을 1ml의 0.8% methanol (concentrated sample)에 용해한 후 0.45 μ m pore size의 membranes filter (Milipore, France)로 여과하여 검액으로 사용하였다 (Kang et al. 1997).

(2) 계대세포주 및 배양액

CCD-986sk cell line (사람피부계대세포주-human skin fibroblast, KCBL-21947)은 한국 세포주 은행 (KCLB; Seoul, Korea)으로부터 2007년 7월 구입하여 실험에 사용하였다. CCD-986sk cell line은 10% fetal bovine serum (FBS; Hyclone, USA), 0.22% sodium bicarbonate (Sigma, USA)가 함유된 Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM; GIBCO, USA)이 배양액으로 사용된 75cm² plastic tissue culture flasks (Nunc)에서 단층 배양하였고 그 후 이 계대 세포주는 37 $^{\circ}$ C, 5% CO₂ incubator에서 유지시켰다.

Clone M-3 cell line (mouse melanocyte, KCBL-10053.1) 역시 한국 세포주 은행 (KCLB; Seoul, Korea)으로부터 2007년 7월 구입하여 실험에 사용하였다. Clone M-3 cell line은 0.22% sodium bicarbonat (Sigma, USA) 및 10% fetal bovine serum (FBS; Hyclone, USA)이 첨가된 Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM; GIBCO, USA)이 배양액으로 사용된 75 cm² plastic tissue culture flasks (Nunc, USA)에서 단층배양하였고 이 계대세포주 역시 37 $^{\circ}$ C, 5% CO₂ incubator에서 배양하면서 실험에 사용하였다.

(3) MTT assay를 이용한 피부세포 생리활성도 측정 실험

96 well plate 에 1×10^5 CCD-986sk fibroblast cell line/well을 접종하고 0.8% methanol에 용해한 곰피 추출물 시료 (200 μ l, 곰피 추출물 시료 1000mg/ml을 함유)를 0.8% methanol 이용하여 2배 계단희석한 후 각 well에 첨가하고 이 culture plates를 37 $^{\circ}$ C, 5% CO₂ incubator에서 4일간 배양한다 (Kang et al. 1997). 이때 일반 0.8% methanol을 2배 계단희석하여 각 well에 첨가하고 이를 normal control로 사용하였다. 그 후 각 well의 상태를 현미경으로 관찰하여 세포상태를 관찰, 체크하면서, culture plate의 각 well에 0.1mg (50 μ l of 2mg/ml)의 MTT를 가해주고 다시 37 $^{\circ}$ C에서 4시간 더 배양하여 MTT가 환원되도록 한다. 배양 종료 시 각 well의

배지를 제거하고 100 μ l의 solubilization solution (DMSO)을 첨가하여 기형성된 짙은 청색의 결정체인 formazan을 완전히 녹인 후에 ELISA plate reader (Molecular devices, USA)로 흡광도 (test wavelength 540 nm, reference wavelength of > 650 nm)를 측정하였다. 시료의 CCD-986sk fibroblast cell에 대한 생리활성 정도의 평가는 대조군과 시료투여군의 흡광도를 기준으로 피부세포 생리활성 정도를 측정한 후 결정하였다. 실험의 정확성을 기하기 위해 상기의 실험을 4회 반복한 후 4회 실험 결과 수치를 평균하여 통계처리한 후 피부세포 생리활성도를 판단하였다.

(4) Melanin pigmentation 저해 활성도 측정

1.2 $\times 10^6$ Clone M-3 mouse melanocyte cells/well을 함유한 6-well culture plates (Nunc, USA)에 곰피추출물 시료 (200 μ l, 곰피추출물 시료 1000mg/ml을 함유)를 각각 0.8% methanol 이용하여 2배 계단희석한 후 각 well에 첨가하였다. 이때 일반 0.8% methanol 역시 2배 계단희석하여 각 well에 첨가하였다 (normal control). 그 후 culture plates를 37 $^{\circ}$ C, 5% CO₂ incubator에서 4일간 배양한 후 500 μ l의 trypsin-EDTA (GIBCO, USA)를 각 well에 첨가하고 각 well의 cell을 모아 1ml의 3차 증류수를 첨가한다. 그 후 상온에서 2시간 방치한 후, 1ml의 1N NaOH solution을 각각의 샘플에 첨가하고 24시간 배양한 후 melanin pigments의 양을 475nm wavelength에서 Spectrophotometer (Molecular devices, USA)를 이용하여 측정하였다. 실험의 정확성을 기하기 위해 상기의 실험을 4회 반복하였으며 이 4회의 실험 결과를 평균하여 통계처리한 후 melanin 저해 활성도를 판단하였다.

(5) 통계분석

모든 결과는 mean \pm standard deviation로 나타내었고, student t-test를 이용하여 각 군 간의 차이점을 비교하여 통계처리하였다.

다) 결과 및 고찰

(1) 곰피 추출물 시료가 CCD-986sk cell line

(사람 피부 계대세포주-human skin fibroblast)의 생리활성에 미치는 영향

곰피추출물의 CCD-986sk cell line에 대한 세포생리활성 효과를 MTT 검색법 (Tetrazolium-based colorimetric assay)을 이용하여 측정하였다. MTT검색법은 투여된 시료가 피부세포의 활성화에 효과가 있을 경우 피부세포의 생존율이 증가하게 되는데 이때 오직 생존 세포들만이 세포내의 효소작용에 의해 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT)의 환원으로 formazan crystal을 생산하게 된다. 이 formazan crystal의 양을 흡광도로 측정하여 피부세포가 얼마나 활성화 되었는가를 측정하는 방법으로 즉, 흡광도의 증가는 생존 피부세포의 증가를 의미하며 생존 피부세포의 증가는 피부세포의 활성화를 의미하고 이는 피부재생효과 및 주름살제거 효과의 척도가 되는 것이다. MTT 검색법 수행 시 96 well plate를 이용하면 실험조작의 자동화가 가능하고 실험 결과의 재현성과 객관성도 우수하여 대량검색이나 1차 검색에 적합한 스크리닝 방법이다.

본 실험에서는 0.8% methanol에 용해한 곰피 추출물 시료 (200 μ l, 곰피 추출물 시료 1000mg/ml을 함유)를 0.8% methanol을 이용하여 연속적으로 2배 계단희석한 후 각 well에 투여한 곰피 추출물 시료 투여군을 시험군으로 하였고, 아무시료도 첨가되지 않은 일반 0.8% methanol을 연속적으로 2배 계단희석하여 각 well에 첨가한 군을 대조군으로 사용하였으며 이에 관한 실험결과를 Table 27 및 Table 28에 나타내었다. 즉, 대조군은 560nm에서 전 구간에 걸쳐 0.064 ± 0.0032 의 흡광도를 나타낸 반면 시험군인 곰피 추출물 투여군은 6.25mg/ml - 1.56mg/ml 구간에서 0.121 ± 0.017 , 0.123 ± 0.022 , 0.129 ± 0.031 의 흡광도 (Optical Density)를 나타내어 대조군에 비해 강한 세포생리활성 효과를 나타내어 유의성이 있는 실험결과를 보여주었다. 이러한 결과는 곰피 추출물을 투여한 시험군에서 대조군에 비해 CCD-986sk 사람피부계대세포의 수효가 약 200 퍼센트 더 증가한 것을 나타내는 것으로 이는 곰피 추출물의 CCD-986sk 계대세포주에 대한 강한 세포생리 활성 효과를 보여주는 결과로 사료된다.

(2) 곰피 추출물 시료의 melanin pigmentation 저해 활성 효과

Clone M-3 mouse melanocyte cell에 대한 곰피 추출물의 melanin pigment 저해 활성을 측정하였고 그 결과를 Table 29에 나타내었다. Clone M-3 cell line을

배양하기 위해 0.22% sodium bicarbonate (Sigma, USA) 및 10% fetal bovine serum (FBS; Hyclone, USA)이 첨가된 Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM; GIBCO, USA)을 배양액으로 사용하였고 이 배양액이 첨가된 75 cm² plastic tissue culture flasks (Nunc, USA)에 Clone M-3 cell line을 분주하여 단층배양하였고 이 계대세포주를 37°C, 5% CO₂ incubator에서 배양하면서 실험에 사용하였다.

즉, Clone M-3 mouse melanocyte cell이 well 당 1.2×10^6 cells 함유된 6-well culture plates (Nunc, USA)에 곰피 추출물 시료 (200 μ l, 곰피 추출물 시료 1000mg/ml을 함유)를 0.8% methanol을 이용하여 2배 계단희석하여 각 well에 처리하고, culture plates를 37°C, 5% CO₂ incubator에서 4일간 배양하였으며 각 well의 cell을 모아 buffer 및 1 N NaOH solution을 처리하고 24시간 배양한 후 475 nm wavelength에서 Spectrophotometer (Molecular devices, USA)를 이용하여 melanin pigments의 양을 측정하고 그 결과를 대조군과 비교하였다.

실험결과 오직 200mg/ml 구간에서만 유의성이 있는 실험결과를 나타내었는데, 이 구간에서 대조군의 흡광도는 0.187 ± 0.006 으로 측정되었고 시험군인 곰피 추출물 투여군의 흡광도는 0.127 ± 0.007 로 측정되어 곰피 추출물 투여군이 대조군에 비해 200mg/ml 구간에서 melanin pigment 생합성을 유의성이 있게 감소시키는 것으로 실험결과가 나타났다.

곰피 추출물의 CCD-986sk cell line monolayer (human fibroblast, KCBL-21947)에 대한 피부세포 생리활성효과를 측정하고, 또한 곰피 추출물의 Clone M-3 mouse melanocyte cell line에 대한 melanin formation 저해효과를 측정하기 위해 in vitro레벨에서 실험을 실시하였다.

곰피는 다년생 갈조류의 일종으로 이 종은 한국 연안 해역에서 중요한 1차생산자의 역할을 담당하고 있는 종이며 연안 생태계에 있어서 생태학적으로나 수산업상 매우 중요한 위치를 점유하고 있다. 최근 이러한 대형 갈조류에 관한 연구는 주로 생태학적인 관점에서 이루어져 왔으며 (Notoya and Aruga 1990), 유주자의 발아와 핵분열 (Yabu and Notoya 1985) 등에 관한 연구가 주로 일본의 연구자들에 의하여 보고된 바 있고, 국내에서는 Park et al. (1994)이 부산만 인근해역 곰피의 성장과 연령 구성에 관한 연구를 수행하였고, 순간접착제를 이용한 곰피의 이식 등에 관한 연구가 보고된 바 있다. 그러나 지금까지 곰피의 식품 또는 약품제제

로서의 기능성을 밝히는 연구는 아직 미미한 실정으로 이에 대한 체계적인 연구가 부족한 실정이다 (황 등 2008).

따라서 본 연구는 곰피 추출물에 풍부하게 함유된 fucoidan, L-Ascorbic 산 및 collagen 등에 주목하여 곰피의 피부노화방지제로서의 가능성을 체계적으로 연구하기 위한 일환으로 우선 곰피 추출물이 피부재생, 주름살제거 및 피부미백작용에 효과를 나타내는지 확인하기 위해 CCD-986sk cell line 및 Clone M-3 mouse melanocyte cell line을 이용하여 in vitro 수준에서 피부세포 생리활성효과와 melanin formation 저해효과를 측정하였다.

그 결과 CCD-986sk cell line에 대한 세포생리활성 효과 실험에서 시험군인 곰피 추출물 투여군은 대조군에 비해 강한 세포생리활성 효과를 나타내어 유의성이 있는 실험결과를 보여주었고, Clone M-3 mouse melanocyte cell에 대한 melanin pigment 저해활성 효과 실험에서도 곰피 추출물은 대조군에 비해 melanin pigment 생합성을 유의성이 있게 감소시키는 실험결과를 나타내어 매우 흥미로운 결과를 보여주었다.

여러 가지 보고에 의하면 그동안 미국, 영국, 일본 등 구미 선진국의 과학자들은 intrinsic problems (피부구조 및 생리기능의 노쇠)과 extrinsic problems (자외선 노출 및 스트레스)을 skin aging의 근본원인으로 규정짓고 피부콜라겐과 엘라스틴을 재생시켜 피부 horny layer의 주름을 제거시키는 수많은 종류의 chemical drugs를 개발하였고 현재도 개발 중에 있다 (Lavker et al. 1987; Han et al. 1998; Choi and Oh 1997). 그러나 이런 chemical에 비해 생체에 대한 부작용이나 세포독성이 상대적으로 적은 천연물을 이용하여 anti-skin aging drug을 개발하는 연구는 그 동안 부족했던 것이 현실이다. 한국은 오랜 역사를 통하여 화학물질이 아닌 다수의 천연물들을 임상에 적용하여온 역사를 가지고 있고 따라서 본 연구팀은 우리 남해안의 청정해역에서 자라는 곰피의 항피부노화방지제로서의 개발 가능성에 주목하여 본 연구를 진행하였다. 연구 결과, 곰피 추출물은 피부노화 및 skin-darkness에 대한 대체치료물질 (alternative therapeutic agent)로서의 충분한 가능성을 보여주었다.

Table 27. Effects of *Ecklonia stolonifera* Okamura extract on the fibroblast cell growth measured by MTT assay

Test groups	Optical densities at 560 nm at the following concentration (mg/ml) of the extracts							
	200	100	50	25	12.5	6.25	3.13	1.56
Methanol	0.064±0.003	0.064±0.003	0.064±0.003	0.064±0.003	0.064±0.003	0.064±0.003	0.064±0.003	0.064±0.003
<i>Ecklonia stolonifera</i>	0.052±0.004	0.054±0.005	0.080±0.008	0.088±0.011	0.089±0.023	0.121±0.017*	0.123±0.022	0.129±0.031*

All values are mean ± standard deviation. “*” values are significantly different from the control at P<0.01 as determined by student t-test. Methanol (0.8%) is control group.

Table 28. Summary of Table 1

Test groups	Optical densities at 560 nm at the following concentration (mg/ml) of the extracts							
	200	100	50	25	12.5	6.25	3.13	1.56
Methanol	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Ecklonia stolonifera</i>	—	—	—	—	—	+	—	+

“—” letter represents not significant difference. “+” letter represents significant difference from the control at P<0.01 as determined by student t-test. Methanol (0.8%) is control group.

Table 29. Estimation of melanin pigmentation on the melanocyte treated with *Ecklonia stolonifera* Okamura extract

Test groups (200mg/ml)	O.D. at 475 nm
Methanol	0.187±0.006
<i>Ecklonia stolonifera</i>	0.127±0.007*

All values are mean ± standard deviation. * values are significantly different from the control at P<0.01 as determined by student t-test. Methanol (0.8%) is control group.

2) 곱피의 먹이 효율

가) 서론

전복의 생산은 인공종묘를 생산하여 연안암초지대에 방류하여 일정기간이 경과된 후 성장한 상품크기의 것을 수확하는 방양방식이나 육상수조식 또는 채롱 수하식으로 양식되어 왔다. 그러나 최근 전복 대량생산에 대한 관심이 높아짐에 따라 전복을 대단위 해상가두리에서 양식하는 곳이 현저히 증가되고 있는 실정이다. 전복의 대량양식에 있어 가장 중요하게 고려되어야 할 것은 대상종에 적합한 서식환경, 질병에 대한 저항성, 성장 효과를 높일 수 있는 먹이공급이다. 이러한 외적 요인들 중 환경이나 질병은 자연환경에 의존적인 인자인 반면에, 먹이는 양식어가들 스스로 자급 조절할 수 있는 부분이다. 특히 먹이는 전복 양식 경영비의 절반 이상을 차지하는 매우 중요한 요소로서 값싸고 질 좋은 먹이의 안정적인 확보가 전복 양식의 성패를 좌우할 수 있는 중요한 요인이 된다.

전복류의 초기 먹이에 대해서는 Ioriya and Suzuke (1987), Ohgai et al. (1991), 한 (1994)이 연구한 바 있다. 전복 종묘생산은 부착기 이후부터 부착규조가 붙은 파판에 전복유생을 부착시켜 규조를 주 먹이로 사육하여 각장 1cm 전후로 키운 후에는 파판에서 박리하여 중간육성하거나 양성하고 있다. 전복 육성용 먹이는 주로 미역, 파래, 다시마와 같은 천연 먹이를 급이하다가, 여름철 고수온기에 생먹이들이 소실되면 번무기에 건조시켜 놓은 건미역이나 건다시마를 주먹이로 급이하고 있는 실정이다. 이러한 천연먹이의 공급은 일정부분 해황의 영향에 따라 상시 수급의 불안정성을 가지고 있으나, 천연먹이의 확보가 양어가들 스스로 가능하여 배합사료와 같은 대체사료를 사용하는 것 보다 양식경영에 있어 높은 경쟁력을 확보할 수 있기 때문에 대부분의 전복양식 어가들은 전복양식에 필요한 천연먹이를 자급하고 있는 실정이다.

기존의 천연먹이인 미역 및 다시마는 우리나라 해황에서는 여름철 고수온기에 모두 소실되게 되어 여름철 고수온기 동안 안정적인 충분한 전복먹이 공급이 현실적으로 어려웠다. 그래서 여름철 고수온기 동안 안정적인 전복 먹이원으로 활용할 수 있는 곱피의 양식기술이 개발되게 되었다. 그러나 곱피에 대한 전복의 정확한 먹이 효율에 관한 검토가 이루어져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는

해상가두리에서 참전복을 대상으로 곶피와 다시마 및 미역 떡이 공급에 따른 전복의 성장, 생존율, 일간생장을 및 일간사망을 등을 비교분석하여 곶피의 전복 떡이 효율성을 평가하고자 하였다.

나) 실험재료 및 방법

(1) 실험 전복 및 사육관리

실험 전복은 2006년 10월에 입식되어 관리해온 각장 7.5-8.1cm (체중 47-53g)인 참전복을 선별하여 6개의 실험구 (소형가두리 1×1×0.7m; 2개 곶피 급이구, 2개 다시마 급이구, 2개 미역 급이구)에 100마리씩 임의 수용하여 2008년 1월부터 4월까지 120일간 전남 완도군 약산면 장용리어촌계 지선에서 일반 양성 사육하였다. 은신처는 실험전복이 충분히 부착할 수 있는 크기의 것을 각 실험구에 1개씩 넣어주었다. 떡이공급과 공급량은 각 실험구에 항상 신선한 떡이가 충분히 남아있을 정도로 평균 1주일에 1회씩 공급하였다. 가두리는 실험개시 전에 깨끗하게 세척을 실시한 후 실험을 실시하였으며, 실험동안 추가적인 청소는 실시하지 않았다.

(2) 떡이

실험에 사용한 떡이는 곶피와 다시마를 공급하였는데, 이들은 가두리 양식장 부근에서 양식된 양식산이었다.

(3) 조사항목

전복의 성장은 실험 개시시와 종료시 각장, 전중을 측정 분석하였으며, 길이 측정은 1mm까지 잴 수 있는 캘리퍼로, 무게측정은 0.1g까지 잴 수 있는 전자식 지시저울을 사용하였다. 생존율은 실험 개시시 개체수에서 실험 종료시 생존한 개체수를 뺀 값을 백분율로 나타내었다. 일간성장량은 浮 (1981)와 菊地 等 (1967)의 방법에 의해 구하였고, 일간사망율은 池 等 (1988)의 방법을 따랐다.

(4) 통계처리

사육결과는 SPSS for Window (SPSS Inc., 2003) program으로 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

다) 결과 및 고찰

(1) 성장 및 일간성장을

사육시험 개시시 전복의 평균 각장은 $73.5 \pm 3.2\text{mm}$ 이었는데, 사육시험 종료시 먹이 급이 종류에 따른 전복 각장의 성장은 Table 30과 같다. 각장의 최대성장은 다시마 급이구에서 평균 $87.7 \pm 8.4\text{mm}$ 로 가장 높게 나타났고, 최소성장은 곰피 급이구에서 평균 $85.2 \pm 7.2\text{mm}$ 로 가장 낮았다. 즉, 미역 급이구와 곰피 급이구에서 전복각장의 성장차는 유의한 수준이 아니었으나, 다시마 급이구와는 유의한 성장차를 보이는 것으로 분석되었다. 그리고 각장의 일간생장은 곰피 급이구에서 0.098mm/day 로 가장 낮았으며, 다시마 급이구에서 0.118mm/day 로 가장 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 전복의 각장 성장에 있어 다시마 > 미역 > 곰피 순의 먹이효율을 의미한다 하겠다. 즉, 곰피의 경우 전복의 각장 성장에 있어 다시마 보다는 약간 뒤지는 성장효율을 보였으나, 미역과는 거의 동일한 성장효율을 보이는 것으로 나타나 곰피도 전복 양성을 위한 먹이로 다시마나 미역과 비교할 때 결코 뒤지지 먹이효율성을 갖는 것으로 평가되었다.

사육시험 개시시 전복의 평균 무게는 $49.2 \pm 3.1\text{g}$ 이었고, 사육시험 종료시 먹이 급이 종류에 따른 전복 무게의 변화는 Table 31과 같다. 전중의 성장은 시험구간 모두에서 153-160% 이상의 성장값을 보였다. 시험구중 전중의 최대 성장은 다시마 급이구에서 $78.5 \pm 4.3\text{g}$ 로 가장 높았고, 최소 성장은 곰피 급이구에서 $75.4 \pm 5.6\text{g}$ 의 값이었다. 먹이 급이 종류에 따라 전복 무게 증가는 차이를 보였는데 양상은 각장의 성장차와 동일한 양상으로 다시마 > 미역 > 곰피 순이었다. 전중의 일간 생장은 0.21-0.24g으로 먹이 급이 종류에 따라 차이를 나타냈다. 전중의 일간 성장 다시마에서 0.24g으로 미역 급이구 및 곰피 급이구 보다 유의하게 높은 것으로 나타났으나, 미역과 곰피는 유의한 차이 없이 비슷한 일간 성장을 보이는 것으로 분석되었다.

Table 30. Growth of *Haliotis discus hannai* in their shell length at the fed different diets for 120 days¹

Test groups	Initial shell length (mm)	Final shell length (mm)	Daily increment in shell length (mm)
<i>Ecklonia stolonifera</i>	73.5±3.4 ^a	85.2±7.2 ^a	0.098 ^a
<i>Laminaria japonica</i>	73.5±2.7 ^a	87.7±8.4 ^b	0.118 ^b
<i>Undaria pinnatifida</i>	73.5±3.2 ^a	86.1±6.9 ^a	0.105 ^a

¹All values (mean ± standard deviation of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different P<0.05.

Table 31. Growth of *Haliotis discus hannai* in their body weight at the fed different diets for 120 days¹

Test groups	Initial wt. (g)	Final wt. (g)	Weight gain ² (%)	Daily increment in body weight (g)
<i>Ecklonia stolonifera</i>	49.2±3.1 ^a	75.4±5.6a	153.25±7.6 ^a	0.21 ^a
<i>Laminaria japonica</i>	49.2±3.5 ^a	78.5±4.3b	159.55±6.8 ^b	0.24 ^b
<i>Undaria pinnatifida</i>	49.2±2.8 ^a	76.2±3.8a	154.87±5.1 ^a	0.22 ^a

¹All values (mean±standard deviation of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different P<0.05.

²(final weight-initial weight)×100.

(2) 사망 및 일간사망율

사육실험 종료시 각 실험구별 전복의 생존율은 Table 32와 같다. 전복의 생존율은 다시마 급이구에서 98.2±3.1%로 가장 높았으며, 미역 급이구에서 96.5±2.9%로 가장 낮은 생존율을 나타내었다. 그러나 각 먹이 급이 종류별 실험구의 생존율은 유의한 차이를 나타내지 않은 것으로 분석되었으며, 이들의 일간 사망률 또한 0.015-0.023%로 먹이 급이 종류별 실험구에 있어 유의한 차이를

보이지 않았다. 그리고 각 실험구별 생존율은 97% 이상으로 높게 나타났는데 이는 실험에 사용한 전복의 크기가 상당히 큰 것으로 환경에 대한 적응 및 먹이에 대한 적응력이 높아 쉽게 폐사에 이르지 않기 때문인 것으로 판단되었다.

Table 32. Survival rates of *Haliotis discus hannai* at the fed different diets for 120 days¹

Test groups	Initial survival rate (%)	Final survival rate (%)	Daily death rate (%)
<i>Ecklonia stolonifera</i>	100 ^a	97.5±1.8 ^a	0.021 ^a
<i>Laminaria japonica</i>	100 ^a	98.2±3.1 ^a	0.015 ^a
<i>Undaria pinnatifida</i>	100 ^a	96.5±2.9 ^a	0.023 ^a

¹All values (mean ± standard deviation of two replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different P<0.05.

본 전복의 사육실험의 결과를 종합하여 볼 때 곰피에 대한 전복의 성장 및 생존이 다시마나 미역의 그것들과 비교해 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 곰피가 다시마나 미역 대신에 전복먹이로 충분히 활용될 수 있다는 것을 의미한다 하겠다. 특히, 곰피의 경우 여름철 고수온기에 생체량이 최대에 도달하기 때문에 미역 및 다시마가 소실되어 전복의 먹이이 절대적으로 부족한 시기에 전복의 먹이공급을 효과적으로 이행할 수 있기 때문에 그 효율 가치는 매우 높다 할 것이다. 뿐만 아니라, 곰피는 다년생 대형 갈조류이기 때문에 생체량에 있어서도 다시마 및 미역에 결코 뒤지지 않으며, 매년 종묘를 사용하여 양성시설을 새로이 할 필요 없이 수확후 포복지 부분을 관리하여 재생 되는 엽상체를 계속해서 수확할 수 있으므로 전복먹이 생산비용의 원가 절감에도 경제적이라 할 것이다.

나. 경제성 분석

1) 서언

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 고평 양식 어업의 경영자는 자신을 경영주체로 인식하여 경영적 사고에 바탕을 두고 양식경영에 임함으로써 다른 양식업과의 차별성을 갖게 될 것이다.

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

2) 재료 및 방법

곰피 양식 어업의 경영특성은 크게 종묘생산부분과 양식부분으로 나누어 분석하였다. 곰피의 종묘생산과 양식에 참여했던 어가를 통하여 배부·회수한 손익 조사서를 이용하여 손익계산서, 공통형 손익계산서, 항목별 민감도분석을 실시하여 조사하였다. 경영분석에 사용된 곰피의 단가는 부산, 기장지역의 시중 유통 가격과 미역 양식 어업과 경영 비교분석을 위해 곰피의 활용을 미역 또는 다시마의 전복 대체먹이원으로 가정할 때 주요양식품종 어가별 소득자료집 (해양수산부 2002)에 제시된 미역의 평균 단가를 적용하여 분석하였다.

3) 결과 및 고찰

가) 곰피 양식 및 유통

(1) 양식 기술 개발 현황

곰피 양식은 최근까지도 양식기술이 개발되지 않아서 곰피의 생산은 전적으로 압반 또는 부착기질에 서식하는 자연산 균락으로부터의 수확에 의존하는 불완전한 양식시스템에 의존해 왔으나, 2006년도 초반부터 인공종묘생산기술개발이 시도되면서 완전양식시스템이 도입되고 있다. 실제로 2006년 본 연구가 수행되면서 곰피 종묘생산 기술 개발의 일환으로 곰피의 유성생식법을 이용하는 기술이 개발되면서 현지의 일부 어업인들이 이를 이용하여 양식효과를 거두고 있다. 현재는 전남 완도군 보길도, 금일도, 약산도, 진도군, 해남군을 중심으로 곰피의 시험양식이 점차 확대되고 있다. 이와 같이 서남해안을 중심으로 곰피 양식이 확대되고 있는 이유는 첫째로 전복양식이 집약적으로 이루어지고 있는 지역으로 여름철 고수온기 전복먹이의 안정적인 확보의 필요성이 크기 때문이고, 둘째로는 해역특성이 곰피 양식에 적합하고, 셋째로는 서남해역이 전통적으로 해조류 양식이 성행한 지역으로써 곰피 양식기술의 습득과 적용이 다른 지역보다 빠르고, 넷째로 국립수산물과학원 해조류연구센터가 서남해역인 목포에 위치하기 때문에 해조류양식기술지원이 타 지역에 비해 상대적으로 용이하기 때문이다.

(2) 면허 및 생산현황

곰피의 생산은 크게 일반해면어업과 천해양식어업으로 구분된다. 표 33과 같이 곰피의 2007년도 생산량은 명확하게 구분되어있지 않고 기타 해조류의 일부에 포함되어 있는 상태이다. 곰피의 주생산지는 경상도지방으로 그 생산량은 약 30톤으로 전적으로 일반해면어업에 의해 생산되고 있다. 그리고 현재 서남해역을 중심으로 시험양식되고 있는 어장에서 곰피의 생산이 본격적으로 이루어진다면 생산량은 크게 증가할 것으로 보인다. 현재 곰피 양식만을 단독으로 행하는 어장은 표 34와 같이 거의 전무한 상태이나 곰피의 양식은 기존의 미역 또는 다시마 양식시설로 가능하기 때문에 유희어장의 활용도를 높이므로써 단위 어장당 생산성 향상에 기여할 수 있다.

표 33. 해조류 종별 생산량 (2007, M/T)

종	일반 해면어업	천해 양식어업
기타 해조류	1,288	565
김 (<i>Porphyra</i>)	24	210,956
꼬시래기 (<i>Gracilaria</i>)	69	45
다시마 (<i>Laminaria</i>)	28	250,049
도박류 (<i>Pachymeniopsis</i>)	446	-
모자반 (<i>Sargassum</i>)	13	490
미역 (<i>Undaria</i>)	6,384	309,097
우뭇가사리 (<i>Gelidium</i>)	2,859	-
풀가사리 (<i>Gloiopeltis</i>)	289	-
툇 (<i>Hizikia</i>)	2,672	20,909
파래 (<i>Enteromorpha</i>)	167	684
청각 (<i>Codium</i>)	3,950	158
총	18,189	792,953

표 34. 천해 해조류 양식업의 연도별 어업권 현황 (2007, ha)

종	건 수	면 적
기타	46	584
미역 (<i>Undaria</i>)	455	5,308
다시마 (<i>Laminaria</i>)	514	6,816
파래 (<i>Enteromorpha</i>)	69	2,604
우뭇가사리 (<i>Gelidium</i>)	0	0
툇 (<i>Hizikia</i>)	356	4,852
갈래곰보 (<i>Meristotheca</i>)	0	0
모자반 (<i>Sargassum</i>)	37	347
김 (<i>Porphyra</i>)	948	55,672
총	2,425	76,183

(3) 판매형태 및 유통경로

곰피의 판매는 일반적으로 다른 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. 곰피가 거의 대부분

비계통판매 형태를 띠는 것은 곰피의 생산이 완전양식시스템에 의한 대량생산이 아닌 소규모의 생계위주의 어가경영 형태를 띠고 있고, 주로 식용의 생체 무침용 또는 씹용으로 제한된 지역에서 제한적으로 소비되고 있고, 그리고 제한된 생산 시기를 가지고 있기 때문에 그 산업적 규모가 크기 못한 것으로 보인다.

현재까지 곰피의 유통경로는 일반 양식대상 해조류와 달리 일반해면에서의 생산량도 적고 양식에 의한 생산도 이루어지고 있지 않기 때문에 그 구조가 확립되어 있지 않지만 식생활에 있어서도 웰빙에 대한 인식이 확산되면서 곰피와 같은 무침 또는 씹 용도의 해조류에 대한 수요가 보다 증가될 것으로 전망되고, 최근 전복 양식 산업이 활성화 되면서 여름철 고수온기 전복 먹이의 안정적인 확보가 전복 양식 산업에 있어 매우 중요한 요소가 되면서 전복 먹이 공급원으로써의 곰피 양식이 활성화된다면 곰피의 판매형태 및 유통경로도 안정화될 것으로 판단된다.

곰피의 판매형태는 다른 해조류와 마찬가지로 소비지 도매시장으로의 반출보다는 산지의 수집상으로 직접 유입되는 경우가 대부분일 것으로 보이며 (그림 40), 여기서 생산자-산지 수집상-소비지 도매상-소비자의 유통경로와 생산자-산지 수집상-소비지 도·소매상-전복양식업자의 유통경로가 형성될 것으로 예상된다.

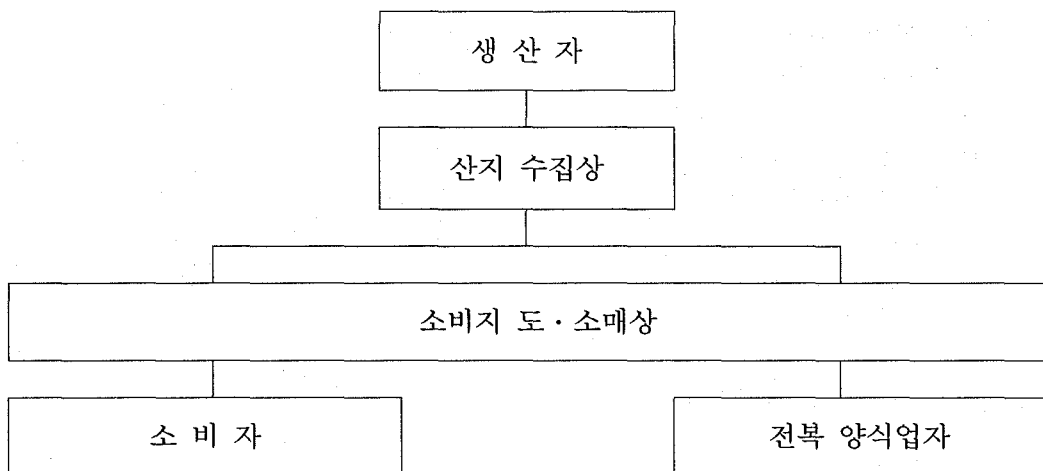


그림 40. 곰피의 유통경로.

나) 곰피 양식 어업의 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 곰피 종묘 생산 어가에 배분한 손익조사표를 이용하여 종묘생산으로부터 발생하는 비용을 조사하였다. 그리고 종묘생산의 외로부터 발생하는 부채에 대한 지급이자나 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 35와 36는 표본으로부터 계산한 곰피 종묘 생산 어업 (1,000틀 생산 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 곰피 종묘 생산 어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 자가노력비가 곰피 종묘생산에서 차지하는 비중을 나타내기 위하여 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우와 자가노력비를 비용에 포함시킬 경우의 손익계산서를 제시함으로써 양식경영자의 경영에 대한 새로운 인식을 가지게 하였다. 표 35에서와 같이 곰피 종묘 생산의 평균 자가노력비는 매출액의 33.3%인 10,000천원에 달한다. 그러므로 양식경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 곰피 종묘 생산의 매출액 순이익을 실질매출액 순이익을 보다 33.3%나 과대하게 평가하게 되는 것이다.

곰피 종묘 1,000틀의 판매로 발생하는 평균양식수익은 30,000천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균종묘생산비용은 18,800천원이다. 이와 같은 종묘 생산수익과 종묘생산비용의 평균값은 상대적으로 종묘생산의 규모에 따라 차이를 갖는다.

표 35. 곰피 종묘 생산의 경제성 분석

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			30,000	
	판매소득		1,000톨	30,000	30,000
생 산 비	경 영 비	시설비	1,000톨	5,000	5,000
		종묘비	500kg	3,000	1,500
		부대시설비	-	730,000	730
		감가상각비	-	500,000	500
		운영관리비	-	500,000	500
		판매수수료	-	300,000	300
		소 계			8,800
	자가노력비				10,000
	총 계				18,800
	총소득(조수입-경영비)				21,200
소득율(총소득÷조수입) × 100				10.67%	
순소득(조수입-생산비)				11,200	
이익율(순소득÷조수입) × 100				37.33%	

표 36. 곱피 종묘 생산의 경제성 분석 (자가노력비 제외)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			30,000	
	판매소득	1,000톨	30,000	30,000	
생 산 비	경 영 비	시설비	1,000톨	5,000	5,000
		종묘비	500kg	3,000	1,500
		부대시설비	-	730,000	730
		감가상각비	-	500,000	500
		운영관리비	-	500,000	500
		판매수수료	-	300,000	300
		소 계			8,800
	자가노력비			0	
총 계				8,800	
총소득 (조수입-경영비)				21,200	
소득율 (총소득÷조수입) × 100				70.66%	
순소득 (조수입-생산비)				21,200	
이익율 (순소득÷조수입) × 100				70.66%	

표 37은 곱피 종묘 생산에 대한 각 계정과목의 비율을 나타낸 공통형 손익계산서이다. 곱피 종묘 생산 어업에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 자가노력비로서 33.3%이며, 시설비보다 관리비가 차지하는 비율이 높은 이유는 종묘생산에 소요되는 인건비에 기술적 노력비용이 포함되어 있기 때문이다. 곱피 종묘 생산 비용은 양식수익의 62.67%를 차지하였고, 매출액 순이익율은 평균 37.33%로 분석되었다.

표 37. 곱피 종묘 생산 어업의 공통형 손익계산서

(단위 : %)

항 목	평 균
판 매 소 득	1.0000
경 영 비	0.2933
시 설 비	0.1666
종 묘 비	0.0050
부 대 시 설 비	0.0243
감 가 상 각 비	0.0166
운 영 관 리 비	0.0166
판 매 수 수 료	0.0100
총 소 득	0.7066
자 가 노 력 비	0.3333
순 소 득	0.3733

(2) 종묘생산의 민감도 분석

곱피 종묘 생산 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 38는 비용항목인 시설비, 종묘비, 부대시설비, 운영관리비, 감가상각비, 판매수수료와 종묘생산수익이 다른 항목이 일정하다는 가정하에서 각 항목이 20% 변화할 경우의 종묘생산수익에 대한 종묘생산비용의 비율과 종묘생산매출 이익율의 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 제시할 수 있다.

시설비가 20% 감소할 경우에 양식비용 백분율은 5.31% 감소하며, 종묘생산 매출액 순이익율은 8.92% 증가한다. 그리고 감가상각비가 20% 감소할 경우에 종묘생산비용 백분율은 0.53% 감소하며 종묘생산 매출이익율은 0.89% 증가한다. 자가노력비가 20% 감소하면 종묘생산비용 백분율은 10.63% 감소하며 종묘생산 매출이익율은 17.85% 증가한다. 고품종 종묘생산의 매출액이익율의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 비용은 시설비와 자가노력비로 분석된다.

표 38. 고품종 종묘 생산 어업의 공통형 손익계산서의 변동

판매소득	-	-	-	-	-	-	-	±20%
시설비	±20%	-	-	-	-	-	-	
종묘비	-	±20%	-	-	-	-	-	
부대시설비	-	-	±20%	-	-	-	-	
감가상각비	-	-	-	±20%	-	-	-	
운영관리비	-	-	-	-	±20%	-	-	
판매수수료	-	-	-	-	-	±20%	-	
자가노력비	-	-	-	-	-	-	±20%	
생산비	±5.31	±1.59	±0.77	±0.53	±0.53	±0.31	±10.63	
순소득	±8.92	±2.67	±1.30	±0.89	±0.89	±0.53	±17.85	

(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 이익뿐만 아니라 비용구조를 알 수 있다.

손익계산서의 구성항목에 대한 값을 구하기 위하여 곶피 양식 생산 어가에 배분한 손익조사표를 이용하여 양식생산으로부터 발생하는 비용을 조사하였다. 그리고 양식생산의 외로부터 발생하는 부채에 대한 지급이자에 대한 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 39와 40은 표본으로부터 계산한 곶피 양식 생산 어업 (시중 판매 단가 2,700원/kg, 전복 먹이 해조류 판매 단가 200원/kg, 20대/ha 양식 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 곶피 양식 생산 어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정 과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 자가노력비가 곶피 양식 생산에서 차지하는 비중을 나타내기 위하여 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우와 자가노력비를 비용에 포함시킬 경우의 손익계산서를 제시함으로써 양식경영자의 경영에 대한 새로운 인식을 가지게 하였다. 표 39에서 보는 바와 같이 곶피 양식 생산의 평균자가노력비는 매출액의 1.49%인 1,000천원에 달한다. 그러므로 양식경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 곶피 양식 생산의 매출액 순이익을 실질매출액 순이익을 보다 1.49%나 과대하게 평가하게 되는 것이다.

곶피양식 20대/ha의 생산판매로 발생하는 평균양식수익은 66,960천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균양식생산비용은 4,500천원이다. 이와 같은 양식생산수익과 양식생산비용의 평균값은 상대적으로 양식생산의 규모에 따라 차이를 갖는다.

표 39. 곰피 양식 생산의 경제성 분석 (20대/ha)

비 목		수 량	단가 (원)		금액 (천원)	
조수입	계				66,960*	4,960**
	양식소득	24,800kg	2,700*	200**	66,960*	4,960**
생 산 비	경 영 비	시설비	20틀 (대)	50,000	1,000	
		종묘비	20틀 (대)	30,000	600	
		부대시설비	-	600,000	600	
		감가상각비	-	500,000	500	
		운영관리비	-	500,000	500	
		판매수수료	-	300,000	300	
		소 계			3,500	
	자가노력비			1,000		
총 계				4,500		
총소득 (조수입-경영비)					63,460*	1,460**
소득율 (총소득÷조수입)×100					94.77%*	29.43%**
순소득 (조수입-생산비)					62,460*	460**
이익율 (순소득÷조수입)×100					93.27%*	9.27%**

* 시중 판매 단가.

** 전복 먹이 해조류 판매 단가.

표 40. 곶피 양식 생산의 경제성 분석 (자가노력비 제외)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			66,960	
	양식소득	24,800kg	2,700*	66,960	
생 산 비	경 영 비	시설비	20틀 (대)	50,000	1,000
		종묘비	20틀 (대)	30,000	600
		부대시설비	-	600,000	600
		감가상각비	-	500,000	500
		운영관리비	-	500,000	500
		판매수수료	-	300,000	300
		소 계			3,500
	자가노력비			0	
총 계				3,500	
총소득 (조수입-경영비)				63,460	
소득율 (총소득÷조수입) × 100				94.77%	
순소득 (조수입-생산비)				63,460	
이익율 (순소득÷조수입) × 100				94.77%	

* 시중 판매 단가.

표 41은 곶피 양식 생산에 대한 각 계정과목의 비율을 나타낸 공통형 손익계산서이다. 곶피 양식 생산어업에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 자가노력비로서 1.49%이며, 시설비보다 관리비가 차지하는 비율이 높은 이유는 양식생산에 소요되는 인건비에 기술적 노력비용이 포함되어 있기 때문이다. 곶피 양식 생산비용은 양식수익의 6.73%를 차지하여 매출액 순이익율은 평균 93.27%로 매우 높다.

표 41. 곰피 양식어업의 공통형 손익계산서

(단위 : %)

항 목	평 균
판매소득	1.0000
경영비	0.0522
시설비	0.0149
종묘비	0.0086
부대시설비	0.0086
감가상각비	0.0074
운영관리비	0.0074
판매수수료	0.0044
총소득	0.9477
자가노력비	0.0149
순소득	0.9327

(4) 양식생산의 민감도 분석

곰피 양식 생산 경영자는 어떤 요인이 양식 생산 이익에 어느 정도 영향을 미치는지를 아는 것이 매우 중요하다. 동일한 변동에 의해서도 요인에 따라 양식 생산 이익의 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 42는 비용항목인 시설비, 종묘비, 부대시설비, 운영관리비, 감가상각비, 판매수수료와 양식 생산 수익이 다른 항목이 일정하다는 가정하에서 각 항목이 20% 변화할 경우의 양식 생산 수익에 대한 양식 생산 비용의 비율과 양식 생산 매출이익율의 변화를 나타낸다. 각 항목의 수치가 다르기 때문에 양식규모가 다를 경우에 이해하기 어렵다. 따라서 양식수익에 대한 각 항목의 백분율로 나타내면 양식 규모가 결정되면 각 항목의 변화율로 추정하기가 쉽기 때문에 공통형 손익계산서를 제시하였다.

시설비, 종묘비, 부대시설비가 20%씩 감소할 경우에 양식비용 백분율은 2.66-4.44% 감소하며, 양식생산 매출액 순이익율은 0.19-0.32% 증가한다. 그리고 감가상각비, 운영관리비가 20%씩 감소할 경우에 양식 생산 비용 백분율은 2.22% 감소하며 양식 생산 매출이익율은 0.16% 증가한다. 자가노력비가 20% 감소하면 양식 생산 비용 백분율은 4.44% 감소하며 양식생산 매출이익율은 0.32% 증가한다. 곰피 양식 생산의 매출액이익율의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 비용은 시설비와 자가노력비이다.

표 42. 곰피 양식 어업의 공통형 손익계산서의 변동

판매소득	-	-	-	-	-	-	-	±20%
시설비	±20%	-	-	-	-	-	-	
종묘비	-	±20%	-	-	-	-	-	
부대시설비	-	-	±20%	-	-	-	-	
감가상각비	-	-	-	±20%	-	-	-	
운영관리비	-	-	-	-	±20%	-	-	
판매수수료	-	-	-	-	-	±20%	-	
자가노력비	-	-	-	-	-	-	±20%	
생산비	±4.44	±2.66	±2.66	±2.22	±2.22	±1.33	±4.44	
순소득	±0.32	±0.19	±0.19	±0.16	±0.16	±0.09	±0.32	

다) 곰피 양식 어업의 경영 개선 방안

(1) 수익증대 방안

곰피 양식어업은 생계위주의 어가경영형태를 띠고 있고, 단일 양식보다 주양식 대상종과 병행하여 생산되는 복합 양식적 성격을 띠고 있으나, 대량생산의 이점을 누리거나 높은 경제성을 지니고 있다. 특히, 곰피 양식은 미역과 다시마와 같은 양식 대상종과 유사한 방법으로 종묘생산이 가능하고 양성법도 동일하여 양식경영비용이 적다는 이점뿐만 아니라 여름철 고수온기 어한기 어장의 활용도를 높임으로써 단위 어장당 생산성의 극대화로 수익증대에 일조 할 수 있다. 그리고 곰피는 여름철 고수온기에 생체량이 최대치에 도달하기 때문에 여름철 고수온기 부족되고 있는 전복먹이 공급을 위한 해조류로 대체 활용할 수 있어 새로운 소득원이 될 수 있다.

곰피 양식 산업의 활성화와 지속적인 발전을 유도하기 위해서는 곰피 양식 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 유도해야할 것이다. 그리고 여름철 고수온기 부족되고 있는 전복먹이 공급을 위한 대규모 양식시스템의 개발이 필요하다.

(2) 곰피 양식과 미역 양식의 단위 면적당 수익성 비교

표 43은 표본어로부터 계산된 미역 양식 생산 어업 (20대/ha 양식 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 미역 양식 생산 어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 계정과목에 자가노력비를 포함시킨 손익계산서를 제시함으로써 표 39의 곰피 양식 생산 경제성과 미역 양식 생산의 경제성을 직접 비교하였다. 표 39에서 보는 바와 같이 곰피 양식 생산의 평균자가노력비는 매출액의 1.49%인 1,000천원에 달한다. 그러므로 양식 경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 곰피 양식 생산의 매출액 순이익을 실질매출액 순이익을 보다 1.49%나 과대하게 평가하게 되는 것이다. 반면에 표 43의 미역 양식 생산의 평균자가노력비는 매출액의 17.8%인 1,000천원에 달하여 곰피 양식 생산에 있어 자가노력비 보다 훨씬 높았다.

곰피 양식 ha당 20대의 생산판매로 발생하는 평균양식수익은 66,960천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균양식생산비용은 13,500천원이다. 즉, 곰피 양식 20대/ha기준 순이익은 곰피 양식의 평균양식수익 63,460천원에서 자가노력비를 포함시킨 평균양식생산비용 13,500천원을 뺀 53,460천원이 된다. 미역 양식 20대/ha기준 순이익은 미역 양식의 평균양식수익 5,600천원에서 자가노력비를 포함시킨 평균양식생산비용 2,504천원을 뺀 3,096천원이 된다.

곰피 양식과 미역 양식의 순이익을 단순히 식용 판매 단가기준으로만 비교하면 곰피 양식의 경우가 미역 양식 보다 순이익에서 약 17배 정도 높은 소득을 내는 것으로 분석되었다. 이와 같은 높은 순이익의 차이는 곰피의 판매단가를 단순히 시중의 자연산 곰피를 채취하여 소량판매시의 판매단가를 적용한 것이어서 실제로 곰피가 양식되어 시중에 대량으로 판매될 때 형성되는 판매가격에 따라 순이익은 변동될 것으로 판단된다. 그리고 표 26과 같이 곰피의 양식 생산량은

약 25톤/ha으로 기존의 전복먹이원이 되는 해조류와 단위 ha당 생체량을 비교하여 볼 때 결코 뒤지지 않아 고수온기 부족되는 전복먹이의 대체먹이원으로써의 경제적 또는 산업적 가치를 가질 것으로 판단된다.

표 43. 미역 양식 생산의 경제성 분석 (해양수산부 2002)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			5,600	
	양식소득	28,000kg	200	5,600	
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
		소 계			1,504
	자가노력비			1,000	
총 계				2,504	
총소득 (조수입-경영비)				4,096	
소득율 (총소득÷조수입)×100				73.14%	
순소득 (조수입-생산비)				3,096	
이익율 (순소득÷조수입)×100				55.28%	

(3) 내수시장 확대방안

여름철 고수온기 전복먹이 공급원으로 안정적인 위치를 확보하고 다양한 소비자의 기호에 맞는 다양한 소비제품의 개발과 홍보이다. 곰피는 현재 찜 또는 조림 형태의 소비가 이루어지고 있으나 다양한 가공품의 개발 없이는 내수기반의 확충은 상당히 어려운 실정이다. 전복의 먹이는 주로 미역 및 다시마로 한정되어 있는데 보다 다양한 먹이원의 가능성을 시험하고 전복의 안정적인 성장유도를 위한 고수온기 먹이 공급시스템 확보에 곰피를 적극 활용한다.

표 44. 곰피의 일반성분

구 성 (%)	생 체	건 조
수 분	96.2	16.7
단백질	1.5	12.4
지 방	0.2	0.7
회 분	0.7	14.0
탄수화물	2.8	56.2

곰피의 일반성분을 보면 표 44와 같이 생체의 경우 수분이 대부분을 차지하고 있으며, 다음으로 탄수화물이 2.8%로 높고, 건조체의 경우 탄수화물이 56.2%로 가장 높으며, 다음으로 수분이 16.7%로 높다.

표 45. 곰피의 무기질, 비타민 및 식이섬유

구 분	구 성	mg/100g (건중량)
무기염류	Ca	3,200
	P	250
	Fe	3.5
	Na	2,300
	K	790
	Mg	530
	Zn	1.1
	Cu	0.17
비타민	Mn	0.23
	B1	0.1
	Niacin	2.3
	B ₂	0.26
	B ₁₂	0.001
	Carotin	2.7
	E	0.6
	K	0.26
	B ₆	0.02
	Ascorbic acid	0.1
식이섬유	불용성	48,000
	수용성	

곰피의 무기염류 함량은 표 45에서 보는 바와 같이 칼슘의 함량이 3.200mg/100g (건중량)으로 매우 높으며, 비타민에 있어서는 carotin, nicin의 함량이 각각 2.7mg/100g (건중량), 2.3 mg/100g (건중량)으로 높다. 그리고 식이섬유는 불용성 및 수용성 부분이 48.0%로 주요성분의 대부분을 차지한다.

표 46. 곰피의 아미노산 함량

종 류	mg/100g (건중량)
Isoleucine (Ile)	434
Leucine (Leu)	753
Lysine (Lys)	636
Methionine (Met)	312
Cystine (Cys)	157
Phebylalanine (Phe)	524
Tyrosine (Tyr)	352
Threonine (Thr)	580
Tryptophan (Trp)	175
Valine (Val)	522
Histidine (His)	165
Arginine (Arg)	443
Alanine (Ala)	1,303
Aspartic acid (Asp)	987
Glutamic acid (Glu)	2,447
Glycine (Gly)	633
Proline (Pro)	351
Serine (Ser)	516
Taurine (Tau)	0
Total	11,290

이상과 같이 곰피는 칼슘, 인, 철의 무기염류, 비타민류 및 식이섬유가 풍부할 뿐만 아니라 표 46에서와 같이 다양한 아미노산이 함유되어 있어 이상적인 기능성 식품이라 할 것이다. 이러한 다양한 기능성분을 다량 함유하고 있는 곰피를 이용해 일반 소비자들이 선호할 수 있는 건강 또는 기능성 식품이 개발되면 내수시장에서의 저변확대는 그리 어렵지 않을 것으로 생각된다. 그리고 전복의 먹이원으로써도 충분한 영양 가치를 지니고 있어서 미역 및 다시마의 먹이 효율에도 크게 뒤지지 않을 것으로 판단된다.

제 4 장 연구 개발 목표 달성도 및 관련분야 에의 기여도

제1절 연구목표 및 내용

1. 연구목표

- 곱피의 대량 생산을 위한 양식 기술 개발
- 해조류 양식 대상종의 다변화로 해조 양식 산업의 구조개선 및 고부가가치 창출로 양식 어업인의 소득증대에 기여

가. 곱피의 생리학적 특성을 파악

나. 곱피의 생식방법을 이용한 인공종묘 생산 기술 개발

다. 곱피 양식을 위한 적정 인공채묘, 가이식, 양성 기법의 확립

라. 곱피의 고부가가치적 이용을 위한 추출물을 이용한 피부노화 및 멜라닌 형성 억제 효과 파악

마. 곱피 양식을 통한 어가의 수익률 증대 효과 파악

2. 연구내용

가. 곱피 생리학적 특성 연구

- 성숙 및 유주자 방출 유도 특성 : 업체 부위별 성숙 유도 및 유주자 방출 유도

- 연령 및 생육 단계별 특성 : 곰피 연령별 성숙 및 유주자 방출 유도, 엽체 부위별 광합성능 비교, 클로로필 함량 비교, 배우체와 아포체 및 포자체 단계별 광, 온도 및 광주기 조건별 성장 특성

나. 곰피의 생식 방법별 대량 배양 조건 연구

- 유주자 방출 및 인공채묘 : 유주자 방출 및 인공채묘 조건
- 유리배우체의 대량배양 : 암수 배우체 분리배양을 통한 유리배우체의 무성적 증식과 이를 이용한 대량배양 조건
- 포복지의 영양번식 특성 : 다년생인 곰피의 특징을 이용 포복지의 영양 번식 정량화

다. 곰피의 양식학적 연구

- 인공채묘 : 적정 채묘시기, 채묘 기질별 성장 및 채묘효과, 채묘 시간별 성장 및 채묘효과, 적정 가이식장 조건 파악
- 가이식 : 적정 가이식어장 조건 파악, 채묘 기질별 가이식 성장도, 채묘 시간별 가이식 성장도, 가이식 시기별 성장도, 가이식 기간 중 해적생물 조사
- 양성 : 적정 양성어장 조건 파악, 양성 기간중 곰피의 성장도, 곰피의 건조수율, 곰피 양식의 매뉴얼

라. 곰피의 이용 및 경제성 분석

- 이용 : 곰피의 고부가가치적 이용을 위한 곰피 추출물을 이용한 피부노화 및 멜라닌 형성 억제 효과 파악, 곰피의 먹이 효율 파악
- 경제성 분석 : 곰피 양식을 통한 어가의 수익률 증대 효과 파악

제 2 절 평 가 착 안 점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척도(점수)*
1차년도 (2006년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실내배양 및 유주자 방출 유도 ○ 대량배양 조건 구명 ○ 인공채묘 및 가이식 기법 확립 	35 35 30
2차년도 (2007년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양성 기법 확립 ○ 해적생물 구제법 마련 ○ 경제성 분석 및 이용 방안 마련 	30 35 35
최종평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실내배양 환경 구명 ○ 인공채묘 및 가이식 기법 확립 ○ 양성 기법 확립 	35 35 30

제3절 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.

- 특허출원 : 국내 2 건
 - 곰피의 양식방법 (2007-73586호, 2007년 7월 23일 출원)
 - 곰피의 유주자 대량 생산방법 (2007-73588호, 2007년 7월 23일 출원)
- 전문학회지 논문 게재 : 국내 1건 투고 완료 및 1건 투고 예정,
국외 1편 (SCI 1편, 인쇄 중)
- 학회 및 세미나 발표 : 국내 3건, 국외 2건,
어업인 및 해양수산사무소 담당자 기술교육 1건 및 종묘분양
(완도군 및 신안군 관내 4개소 곰피 종묘 10톨-약 2,000m 무상분양)
- 인력양성 : 박사 1명 (과정 중)

2. 관련분야 기여도

가. 학문적 활용에 대한 기여도

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

나. 경제·사회적 활용에 대한 기여도

- 우리나라의 천해 양식 어업에 종사하는 어업인의 대다수는 생활의 근간을 해조류의 양식에 두고 있고, 영세성을 면치 못하고 있는 실정에서 고부가 가치가 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 곰피의 대량 생산을 위한 양식 기술 개발은 우리나라 천해 양식 어업 특히, 해조류 양식 어업에 종사하는 어업인들에게 경제·사회적으로 크게 기여할 것으로 본다.

다. 교육·홍보에 대한 기여도

- 본 연구의 결과들은 천해 양식 어업에 종사하는 어업인들을 대상으로 하는 수산양식분야의 교육자료로 활용함으로써 해조류 양식의 이론과 실체를 교육하는데 활용하여도 손색이 없을 것이다. 특히, 곰피 양식 또는 종묘 생산을 하고자하는 어업인들에게 필요한 곰피 양식의 교본으로 활용될 것으로 기대된다.
- 본 연구와 관련하여 몇 차례 실시한 홍보에서 곰피 양식에 대해 관심을 표명한 수많은 어업인들이 있었으며, 실제로 몇몇 어업인들은 내방하여 종묘 생산 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 곰피 대량 생산을 위한 양식 기술 개발과 같은 연구결과들은 양식 산업 현장에서 직접적으로 적용하며 응용할 수 있는 것들로 대어업인들을 대상으로 한 수산 양식 기술 개발부분의 홍보에 크게 기여할 것으로 본다.

제 5 장 연구 개발 결과의 활용계획

제 1 절 활용계획

본 연구에서 얻어진 결과의 활용계획은 다음과 같다.

1. 곰피의 인공 양식 기술을 매뉴얼화하여 보급함으로써 곰피 양식의 조기 산업화 유도
2. 곰피의 안정적인 완전양식에 의한 높은 부가가치창출로 해조류 양식어의 경영경쟁력 확보
3. 해조류 양식 대상종의 다변화를 유도함으로써 해조양식 산업의 구조개선에 활용
4. 곰피의 완전양식기술을 다양한 미이용 유용 해조류의 인공양식기술 개발에 활용
5. 곰피의 대량생산에 연계한 다양한 가공제품의 개발, 곰피 추출물을 활용한 건강보조식품의 개발, 다양한 의약품의 원료 추출에 관계된 바이오산업에 활용
6. 곰피의 인공양식은 부영양염의 제거, 다양한 기질 및 지역의 해중립 조성, 여름철 고수온기 전복의 보조먹이원의 확보에 활용

제 2 절 추가연구의 필요성

본 연구를 통하여 곶피의 대량생산이 가능하게 되어 단순식용의 씹음 뿐만 아니라 곶피를 이용한 다양한 가공품의 개발, 곶피에 다량으로 함유되어 있는 생리활성물질을 이용한 다양한 건강보조식품 또는 의약품의 개발에 필요한 연계 산업적 측면의 추가적인 연구를 통하여 곶피의 대량생산과 안정적 소비로 곶피 양식이 고부가 제조 양식 산업으로 자리매김 될 수 있도록 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

제 6 장 참고문헌

- Braverman, Irwin M and Eileen Fonferko. 1982. Studies in cutaneous aging. Soc. Invest. Dermatol. 78(5): 444-448.
- Choi HC and Oh CH. 1997. Evaluation of skin furrows in the aging process using an image analysis system. Kor. J. Dermatol. 35(2): 292-302.
- Corazani D and Illanes JE. 1998. Growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino 1953 and *Haliotis rufescens* Swainson 1822, fed with different diets. J. Shellfish Res. 17: 663-666.
- Druehl L.P., Roland W and Tuominen T. 1977. Food chains originating from *Macrocystis integrifolia*. J. Phycol. 3: 19.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11: 1-42.
- Edding ME and Tala FB. 2003. Development of techniques for the cultivation of *Lessonia trabeculata* Villouta et Santelices (Phaeophyceae: Laminariales) in Chile. Aqua. Res. 34: 507-515.
- FAO. 2005. Yearbooks of fishery statistics summary tables. <ftp://ftp.fao.org/fi/STAT/summary/default..htm> down load 8 Mar 2008.
- Han KH, Cho KH, Noh DY, Eun HC and Youn JI. 1998. Histological changes in the skin with innate aging. Kor. J. Dermatol. 36(6): 971-980.
- Han KW, Myung KB, Hahm JH and Kook HI. 1987. The effect of sulfhydryl compounds on melanosomal morphology of epidermal melanocytes in UV - irradiated black mice. Kor. J. Dermatol. 25(5): 553-561.
- Hwang EK, Cho MH, Park CS, Kim MH and Park KJ. 2008. In vitro effect of *Ecklonia stolonifera* Okamura Extract on the cell growth in CCD-986sk human fibroblast and melanin formation inhibition in clone M-3 mouse melanocyte cell line. Korean J. Environ. Biol. 26: 30-35.
- Indergaard M. 1983. The aquatic resource. I. The wild marine plants: a global bioresource. In: Biomass utilization Cote, WA (ed.). Vol. Plenum Publishing Corporation, 137-168.

- Ioriya T and Suzuke H. 1987. Changes of diatom on plastic plates used for rearing abalone, *Nordotis discus*. Suisanzoshoku 35: 81-98.
- Kang BJ, Yang KS, Kim MH and Park KJ. 1997. Screening of antiviral activities of Korean medicinal herbs and traditional prescriptions against *Herpes simplex* virus type-1. J. Kor. Soc. Virology. 27(2): 227-236.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull. Pusan Fish. Coll. 7: 1-125.
- Kang JW. 1968. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 8. Marine algae. Ministry of education, Seoul, p.465.
- Kang RS, Park HS, Won KS, Kim JM and Levings C. 2005. Competition as a determinant of the upper limit of subtidal kelp *Ecklonia stolonifera* Okamura in the southern coast of Korea. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 314: 41-52.
- Kang S, Li X-Y and Voorhees JJ. 1996. Pharmacology and molecular action of retinoids and vitamin D in skin. Soc. Invest. Dermatol. 1(1): 15-21.
- Kawashima S. 1984. Kombu cultivation in Japan for human foodstuff. Jpn. J. Phycol. 32: 379-394.
- Kim NG and Yoo JS. 2003 Structure and function of submarine forest 2. Population dynamics of *Ecklonia stolonifera* as a submarine forest-forming component. Algae 18: 295-299.
- Kim YH, Ahn KS, Song DK and Wie MB. 1989. Effects of Panax Ginseng and Radix Astragali on age-related physiological alterations in rats. J. K.O.M.S. 10(2): 26-46.
- Kim YK, Park YK and Kim HJ. 1988. The effect of UV-B radiation on epidermal melanocytes of C57BL Mouse. Kor. J. Dermatol. 26(2): 139-144.
- Lavker RM, Zheng P and Dong G. 1987. Aged skin: A study by light, transmission electron, and scanning electron microscopy. Soc. Invest. Dermatol. 88(3): 44s-51s.
- Laycock RA. 1974. The detrital food chain based on seaweeds. I. Bacteria

- associated with the surface of *Laminaria flonds*. Mar. Biol. 25: 223-231.
- Lee OS, Lee KW, Hong JE, Cho YK and Lee YS. 1997. Studies on the synthesis of L-Ascorbic acid-3-aminopropane phosphoric acid diester and its applications. J. Soc. Cos. Sci. Kor. 23(2): 97-109.
- Lüning K. 1980. Critical levels of light and temperature regulating the gametogenesis of three *Laminaria* species (Phaeophyceae). J. Phycol. 16:1-5.
- Maegawa M. 1990. Ecological studies of *Eisenia bicyclis* (Kjellman) Setchell and *Ecklonia cava* Kjellman. Bull. Fac. Bioresources, Mie Univ. No. 4: 73-145.
- Maegawa M. and Kida W. 1989. Regeneration process of *Ecklonia* marine forest in the coastal area of Shima Peninsula, central Japan. Jpn. J. Phycol. 37: 194-200.
- Meeks JC. 1974. Chlorophylls. In: Algal physiology and biochemistry (Stewart WDP ed.). Bot. Monog. 10. Univ. California Press, Berkely, pp.161-175.
- Notoya M and Aruga Y. 1990. Relation between size and age of holdfasts of *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariales, Phaeophyta) in northern Honshu, Japan. Hydrobiologia 204/205: 241-246.
- Notoya M and Asuke M. 1983. Influence of temperature on the zoospore germination of *Ecklonia stolonifera* Okamura (Phaeophyta, Laminariales) in culture. Jpn. J. Phycol. 31: 28-33.
- Notoya M. 1984. Phenology of *Ecklonia stolonifera* Okamura at Tanosawa, Aomori Prefecture, Japan. Jpn. J. Phycol. 32: 94.
- Notoya M. 1985. Standing crop of macroalgae at Tanosawa, Aomori Prefecture, Japan. Bull. Tohoku Branch Jpn. Soc. Sci. Fish. 35: 1-4.
- Notoya M. 1986. Age of shoot and growth in *Ecklonia stolonifera* Okamura (Phaeophyta) at Tanosawa, Aomori Prefecture, Japan. Jpn. J. Phycol. 34: 50.
- Notoya M. 1987. Age of shoot and propagation in the community of *Ecklonia stolonifera* Okamura at Tanosawa, Aomori Prefecture, Japan. Otsuchi Mar. Res. Cent. Rep. 13: 57-79.

- Notoya M and Aruga Y. 1992. Unusual form of *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariales, Phaeophyta). *La Mer* 30: 43-45.
- Ohno M and Critchley A. 1993. Seaweed cultivation and marine ranching. Kanagawa International Fisheries Training Center, Japan International Cooperation Agency, Yokosuka, Japan, p.151.
- Ohno M and Matsuoka M. 1993. *Undaria* cultivation 'Wakame'. In: Seaweed cultivation and marine ranching. Ohno M & Critchley A (eds.), pp.41-49. Kanagawa International Fisheries Training Center, Japan International Cooperation Agency, Yokosuka, Japan.
- Ohno M. 1993. Succession of seaweed communities on artificial reefs in Ashizuri, Tosa Bay, Japan. *Algae* 8: 191-198.
- Ohgai M, Wakano M and Nagai S. 1991. Effect of attached microalgae on the settlement of larvae and growth of juvenile in abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Suisanzoshoku* 39: 263-266.
- Oohusa T. 1993. The cultivation of *Porphyra* 'Nori' In: Seaweed cultivation and marine ranching. Ohno M & Critchley A (eds.), pp.57-73. Kanagawa International Fisheries Training Center, Japan International Cooperation Agency, Yokosuka, Japan.
- Park CS, Hwang EK, Lee SJ, Rho KW and Sohn CH. 1994. Age and growth of *Ecklonia stolonifera* Okamura in Pusan Bay, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 27: 390-396.
- Serviere-Zaragoza E, Gomez-Lopez D and Ponce-Diaz G. 1998. The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents. *J. Shellfish Res.* 17: 777-782.
- Sohn CH. 1998. The seaweed resources of Korea. In: Seaweed resources of the world. Critchley AT & Ohno M (eds.). Jap. Int. Coop. Agency pp.15-33.
- Son MH, Cho KC, Kim KK, Jeon IG (2003) Optimum stocking density of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* in recirculating culture system.

- J. Aqua. 16: 257-261.
- SPSS for Window. 2003. Base System User's Guide, Release 8.0, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Sternman NT (1994) Spectrophotometric and fluorometric chlorophyll analysis. In Experimental Phycology: A Laboratory Manual (eds. Lobban CS, Chapman DJ & Kremer BP), pp.35-46, Cambridge University Press, Cambridge.
- Tatewaki M. 1966. Formation of a crustaceos sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. Phycologia 6: 62-66.
- Tseng CK. 1987. *Laminaria* mariculture in China. In: Case studies of seven commercial seaweed resources (eds. Doty MS, Caddy JF & Santelices B), 239-263pp, FAO Rish. Tech. Paper 281, FAO, Rome, Italy.
- Watanuki A and Yamamoto H. 1990. Settlement of seaweeds on coastal structures. Hydrobiologia 204/205: 275-280.
- Westermeier R, Patino D, Piel MI, Maier I and Mueller DG. 2006. A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. Aqua. Res. 37: 164-171.
- Yabu H and Notoya M. 1985. Nuclear divisions in the young sporophytes of *Ecklonia stolonifera* Okam. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 36: 83-86.
- Yoon HS, Rha SJ, Cha YB, Cho JH, Kim KY and Choi SD. 2004. Growth and survival rate on density of *Haliotis discus hannai* in cage culture. J. Korean Fish. Soc. 37: 287-294.
- 김대권, 장대수. 1992. 인공어초를 이용한 해중림 조성. 수진연구보고 46: 7-19.
- 남기완, 이채성, 이생동, 장정원, 김용철. 1985. 강원연안의 애기다시마의 생태학적 연구. 수진연구보고 36: 89-102.
- 이인규, 강제원. 1986. 한국산 해조류의 목록. 한국조류학회지 1: 311-325.
- 이정우, 강영실. 1994. 인공어초어장의 어류 군집상과 어획량 변동. 한국수산학회지 27: 535-548.

- 이홍수, 진성현, 김희숙, 류병호. 1995. 곰피에서 정제한 Fucoidan sulfate의 특성. 한국식품과학회지 27: 716-723.
- 최창근, 김형근, 손철현. 2002. 순간접착제를 이용한 곰피(*Ecklonia stolonifera* Okamura)의 이식효과. 한국수산학회지 35(6): 608-613.
- 해양수산부. 2002. 주요양식품종 어가별 소득자료집. 크리홍보 (주), p.409.
- 한형근. 1994. 참전복 치패의 성장과 생존을 재고를 위한 부착성 규조류의 먹이 효율. 부산수산대학교 석사학위논문, p.61.
- 황은경, 조명환, 박찬선, 김명희, 박갑주. 2008. 청정해역 곰피추출물의 세포생리 활성 연구. 한국환경생물학회지 26: 30-35.
- 池榮洲, 柳晟奎, 盧暹, 金承憲. 1988. 수하식양식채롱에 의한 참전복, *Haliotis discus hannai* Ino. 치패의 수용밀도와 성장. 수진보고 42: 59-69.
- 菊地省吾, 櫻井保雄, 佐佐木實, 伊藤富夫. 1967. 海藻20種のアワビ稚貝に對する餌料效果. 東北西水研報 27: 93-100.
- 大野正夫. 1985. 海中林その生態と造成技術. 月刊海洋科學 17: 706-713.
- 谷口和也. 1996. 海中林造成の基礎と實踐. 藻類 44: 103-108.
- 浮永久. 1981. エヅアワビに對するコンブ目海藻の餌料價值. 東北水研究報告 42: 19-29.