

T0029733

홍조류 석묵의 양식기술개발

Cultivation technique development of red algal
Campylaeophora hypnaeoides

(최종보고서)

2008년 8월

주관연구기관 : 원광대학교

협동연구기관 : 장흥해양수산사무소

해남 해양수산사무소

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “홍조류 석묵의 양식기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008년 8월 일

주관연구기관명 : 원광대학교

주관연구책임자 : 최 한 길

연 구 원 : 김명숙, 이기훈

연 구 원 : 유현일, 박향하

연 구 원 : 이혜림, 이지희

협동연구기관명 : 장흥해양수산사무소

협동연구책임자 : 박형윤

연 구 원 : 오성균, 이사동,

연 구 원 : 김대홍, 김영준

연 구 원 : 김용만, 이인주

협동연구기관명 : 해남해양수산사무소

협동연구책임자 : 김동수

연 구 원 : 김도기, 김광명

연 구 원 : 김지환, 이민아

연 구 원 : 황수익

요 약 문

I. 제 목: “홍조류 석묵의 양식기술개발”

II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라의 해조 양식산업은 식용으로 이용되는 미역, 다시마, 김 등 소수의 몇 종에만 의존하여 매우 단순하고 노동 집약적인 방식으로 양식되고 있다. 이것은 기존에 양식되고 있는 몇 품종을 제외하고는 새로운 유용해조에 대한 양식 기술이 개발되지 않았기 때문이다. 이처럼 양식 품종의 다변화가 이루어지지 않음으로 일부 품종의 과잉생산으로 인한 가격의 하락이 발생하고 이것은 해조류 양식어업인의 소득 감소로 이어져 양식업을 포기하는 현상이 발생하고 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 최선의 방안은 해조류 양식업자에게 고소득을 보장할 수 있는 양식품종과 양식기술의 개발이다.

한국산 석묵의 대량생산을 위한 양식기술이 개발된다면 약 5만원 이상(석묵의 가격 2-15만원/kg으로 풍흉에 따라 변동 심함)의 고가로 일본의 Maruhichi회사에 판매가 가능하므로 개발원가에 비해 수입이 월등하게 높을 것으로 사료되며, 한국산 석묵의 대량생산을 위한 양식기술의 개발은 다양한 생리활성물질을 가지고 있다는 것을 알면서도 조체를 구입하지 못하여 실험하지 못한 문제점을 해결하여 다양한 건강보조식품 및 천연 의약품의 개발을 촉진시킬 것이며, 한천의 원료로 사용되기 때문에 한천 산업의 발달에 기여할 것으로 사료되며 어업인의 소득이 증가됨으로써 수산업에 활기를 줄 것으로 예상된다

따라서 홍조류 석묵의 해면 양식 기술을 이용하여 양식종의 다변화를 꾀하며 이를 통해 어민들의 소득증대를 위해서는 석묵의 해면양식 기술 개발이 절대적으로 필요하다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 한국산 석묵의 생물학적 기초 연구

본 연구과제에서는 석묵 야외개체군에 대한 석묵의 외부 형태와 사분포자체의 사분포자탁과 사분포자의 형태, 과포자체의 외형 및 낭과의 모양을 통한 동정 및 분류를 통하여 한국산

석목의 특징을 파악하였으며, 석목 자연서식처의 탐색과 자연서식처의 해조상에 대한 조사를 수행하였다. 석목의 생식 및 생리학적 연구를 통하여 석목의 사분포자체와 과포자체에서 획득한 사분포자와 과포자의 초기 발생을 실내배양을 통하여 파악하고 생활사를 확인하였다. 또한 석목포자의 초기생장에 미치는 해수유동 및 퇴적물의 영향에 대한 실험을 수행하였으며, 각 지역에 따른 석목 개체군의 계절적 소장 및 생물계절학에 대한 연구가 수행되었다.

2. 석목의 채묘 및 인공종묘 생산의 기술 개발

석목의 양식을 위한 종묘생산을 위해 실내에서 다양한 방법(광조사법, 광주기법, 건조 후 침수법, 온도법, 담수충격법 등)에 의한 포자방출 유도를 확인하였으며 최적의 부착기질을 알아보기 위해 다양한 기질에 대한 부착실험을 수행하였다. 실내에서 포자방출 조건을 파악한 후 배양장에서 다량의 포자방출을 유도하여 플라스틱파판, 굴패각과 채묘사 등에 대한 부착을 확인하였다. 또한 야외에서 다양한 방법(석목만 끼워넣기와 툇과 함께 끼워넣기 방법)으로 인공채묘를 실시하고 석목이 부착된 툇의 탈락을 이용한 자연채묘는 그물망을 이용하여 실시되었다.

3. 야외양성, 대량 생산 양식기술 개발

석목에 대한 가이식의 필요 유·무 및 포자의 생존과 성장에 대한 가이식의 영향을 알아 보기위해 수심별로 가이식하여 가이식을 실시하지 않은 대조구와 비교하였으며 양식을 위한 최적의 양성수심을 파악하기위해 수심별(표층, 1m, 3m)로 야외양성을 실시하였다. 또한, 최적수심을 파악하기 위해 인공채묘(석목만 끼워넣기와 툇과 함께 끼워넣기 방법)와 자연채묘(김 양식망)방법의 월별 생산량변화를 측정하였고 석목 양식을 위해 개발된 러셀망을 이용한 방법 또한 생산량을 측정하여 기존 방법의 석목 생산량과 비교하였다. 야외양성 시기의 해황을 측정하여 생산량 자료와 비교를 통해 최대 생산을 보이는 시기의 환경조건을 파악하였다.

4. 석목의 우수 양식품종 개발

석목의 서식지(완도군 예작도-툇줄, 장흥-이식된 툇줄, 장흥군 정자도-자연산, 부산 물운대-자연산)에서 채집하여 각 지역 석목의 굵기 및 탄력(인장력)등의 차이가

서식환경의 차이 때문인지, 혹은 유전적 차이인지를 파악하기 위해서, 색소체 유전자인 *rbcL*의 염기서열을 분석하여 지역 개체군의 분자형질적 차이를 확인하였다. 또한, 석목의 물리적 특성의 차이를 알아보기 위해 서식지와 생식상태에 따른 인장력 측정을 실시하여 각 지역 개체군의 차이를 비교하였다.

5. 경제성분석 및 유용성분

석목은 현재 양식되고 있지 않음으로 생산 및 유통현황은 분석할 수 없었으나 활용영역의 다양성 및 예상 기대치 등에 의한 분석결과 향후 고소득 양식해조류로써 자리매김 할 것으로 기대되며, 본 연구의 야외양성의 시험어장에서의 석목 생산량과 단가 및 시설비등의 자료를 바탕으로 경제성 분석을 실시하였다. 또한 석목의 유용성분 분석을 실시하여 일반성분 분석(탄수화물, 수분, 조회분, 조지방, 조단백질의 함량), 무기질함량분석(Ca, K, Mg, Fe, Na, Cu, Zn, P의 함량), 유리아미노산 함량을 측정하여 다른 양식해조류의 함량과 비교를 통해 양식해조류로써 석목의 우수성을 파악하였다.

IV. 연구개발 결과

1. 한국산 석목의 생물학적 기초 연구

본 연구를 통해 석목의 자연서식처 및 동해안의 구룡포와 서해안의 외연도, 완도군 보길도, 신안군 흑산도 등의 도서지역과 남해안에서는 보고되지 않았던 전남 장흥군의 칠기도, 고흥군 금산면 등에서 서식하고 있는 것을 확인하였다. 또한, 석목의 자연 서식처인 장흥군 정자도에서 계절별 해조상을 조사한 결과, 총 111종의 해산식물(녹조 14종, 갈조 24종, 홍조 72종, 현화식물 1종)이 동정되었다. 현화식물인 말갈피를 제외한 연중 출현한 해조류 종은 총 32종(녹조 3종, 갈조 8종, 홍조 21종)으로 확인되었다. 또한, 실내 배양을 통하여 석목의 생활사가 확인되었으며, 초기생장에 대한 다양한 환경조건(일장, 조도, 온도)의 영향이 밝혔다. 석목의 최적 성장조건은 과포자(일장 24h, 조도 $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 와 25°C)와 사분포자(일장 24h, 조도 $40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 온도 20°C , 염분 35%)가 약간의 차이가 있음을 확인하였다. 또한, 생활사 초기 단계에서 퇴적물과 해수유동이 석목배아의 생존과 성장에 미치는 영향을 밝혔으며, 이들의 생존과 성장에 대한 최적조도가 확인되었다.

생물계절학적 연구에서, 석목의 자성체는 11월에 높은 비율로 출현한 후 감소하였고 사분포자체의 비율은 자성체의 비율과 반비례로 증가하여 6월에 최대였다.

완도군 보길도의 툯 양성줄의 석묵 조체의 체장은 8.51-13.96cm로서 2006년 1월에 최소였다. 2007년에 길이는 9.28-13.96cm로 6월에 최대였으며, 석묵 개체별 갈고리수는 3.90-18.27개로서 2006년 12월에 최대이고 2007년 5월에 최소를 나타내었다. 장흥에 이식된 석묵의 길이는 7.26-11.95cm이며, 2008년 1월에 최대였고 5월에 최소로서 체장의 월별변화에 대한 특이적 패턴은 보이지 않았다. 개체별 갈고리수는 2.17-14.70개로 길이와 동일하게 2008년 1월 최대였고 5월에 최소였다. 갈고리수는 2006년과 2008년 조사에서 1월 이후 5-6월까지 지속적인 증가를 보였으나 2007년에는 2월부터 6월까지 지속적인 감소를 보였다. 개체별 건중량은 21.63-76.40mg로 2007년 6월에 최소였고 2008년 1월에 최대였다. 해남에 이식된 석묵의 체장은 8.20-11.24cm로 2007년 5월에 최대였고 2006년 2월에 최소를 보였다. 체장의 월별 변화에서 특이적 현상은 발견되지 않았으나 2006년과 2007년의 조사에서 5월에 최대길이를 나타냈다. 석묵의 개체별 갈고리 수는 2.27-16.07개로 확인되었고 2006년 2월에 최대값을, 2007년 6월에 최소값을 나타냈다. 개체별 건중량은 23.47-113.37mg으로 2007년 5월에 최소, 2006년 5월에 최대를 나타내서 3 지역에서 개체별 건중량은 갈고리수와 유사한 월별 변화의 패턴을 보였다.

2. 석묵의 채묘 및 인공종묘 생산의 기술 개발

광을 조사하는 방법이 석묵의 포자방출을 유도하는데 효과적인 방법임을 확인하였고 일장별로 하루에 방출된 포자수는 8h에서 72개와 24h에서 83개로 기록되었으며 일장과 함께 포자방출량도 증가하였다. 또한, 건조 후 침수방법은 석묵의 포자방출을 유도하는데 적절하지 않았으며, 건조 유·무에 관계없이 일장이 증가할수록 포자의 방출량이 증가하는 경향을 보였다. 온도와 조도에 따른 석묵의 포자방출은 평균 1-75개로서 온도에 따른 조도별 포자의 방출량은 10℃에서 3-19개, 15℃에서 55-75개, 20℃에서 39-67개로서 $10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대였고 $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최소였다. 25℃에서도 다른 온도와 마찬가지로 $10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대였으나 $40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 방출량이 급감하였다. 따라서, 석묵은 낮은 조도에서 포자를 주로 방출하며 적온은 15℃로 확인되었다.

석묵 포자는 실험에 이용한 다양한 인공기질 및 자연기질에 부착되어 부착 기질에 대한 특이성은 없었다. 실내에서 포자방출 조건을 확인한 후 배양장에서

포자를 대량으로 방출받아 플라스틱파판, 굴패각과 채묘사에 부착시킨 후, 유수식 상태에서 배양한 결과 플라스틱 파판과 굴패각에 부착된 많은 포자가 탈락되었으나 채묘사의 경우에는 포자가 채묘사 틈새에 들어가 부착하여 탈락률이 낮았다. 석목은 사상형의 부착기를 형성하여 채묘사에 부착하였으며 유수식 배양조건에서 약간의 탈락이 발생하였으나 비교적 양호한 생장을 보였다.

야외에서 다양한 방법(툇에 부착된 석목 끼워넣기, 꼬은 그물발에 석목만 끼우기)으로 인공채묘를 실시하여 야외 양성을 실시한 결과, 친승줄에 툇과 함께 석목을 끼워넣은 경우에 석목의 생장은 좋았으나, 성장한 툇과 함께 탈락이 빈번하게 발생하였고 꼬은 그물발에 석목을 끼워 넣은 경우에는 이전의 방법에 비해 석목의 부착이 매우 양호하고 생산량도 증가하였다. 꼬인 그물망에 의한 이식방법은 간편하고 생산량을 증대시키는 방법임으로 석목만 끼워 넣는 인공채묘 방법의 가능성을 확인하였다.

3. 야외양성, 대량 생산 양식기술 개발

바다에 가이식하지 않고 배양장에서 유수식으로 관리한 대조구에서 포자의 부착율은 70.45%인 반면에, 1m에서는 34.25%로 대조구에 비해 부착율이 약 50% 감소하였으며, 3m에서는 52.33%로서 수심 1m에 비해 부착율이 높게 나타났다. 석목의 개체별 체장은 대조구에서 거의 생장이 되지 않은 2-3cm였고, 1m에서 6.43cm, 3m에서 4.24cm로서 가이식에서 빠른 생장을 보였다. 채묘줄에 부착된 석목 사분포자체 유배의 가이식은 탈락율을 증가시켰으나, 생장을 촉진하여 가이식이 필요함을 확인하였고 유배의 탈락이 쉽게 발생한다는 것을 고려하여 파도가 심하지 않는 곳에서 가이식을 실시하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

2008년 1월-6월에 수행된 연구에서 생산량은 표층에서 1.12-1.79g/cm, 수심 1m에서 0.55-1.13g/cm, 3m에서 0.24-1.03g/cm으로 표층에서 최대였으며, 월별 생산량의 변화를 보면, 3월에 최대였고 이후 점차 감소하였다. 완도군 보길도의 표층에 시설된 친승줄에서도 석목의 생산량은 1월에서 4월로 시간이 경과할수록 증가하여 4월에 1.63g/cm로 최대였으며 6월에 1.18g/cm로 감소하였다.

양성 방법에 따른 석목의 생산량은 툇과 함께 끼워넣기 방법에서 0.63-0.99g/cm로 비교적 높았으나, 툇과 툇의 마찰 혹은 성장한 툇이 파도에 의해 탈락될 때 석목이 함께 탈락되었다. 석목만 끼워 넣기 방법에서 생산량은

0.52–0.63g/cm으로 변동이 없었다. 김 양식망을 이용한 석목 양식의 생산량은 시설 초기에 0.63g/cm으로 상당하였으나, 파도에 의해 탈락이 쉽게 발생하여 5월에 0.23g/cm로 감소하였다. 이러한 연구 결과와 같고리로 기질에 부착하는 석목의 특성을 고려하여 만든 작은 그물코를 가진 러셀망을 이용하여 석목을 양식한 결과, 생산량은 시설 초기에 1.14g/cm로 비교적 높게 나타났으며 시설 3개월 후인 4월의 2차 채집에서 1.63g/cm의 최대생산량을 보였다. 이러한 러셀망에서의 석목 생산량은 친승줄을 이용한 수심별 생산량 측정에서의 표층에 비해 높게 나타났고 5월 1차 측정에서 생산량이 1.81g/cm으로 최대였고 이후 2차 측정에서 1.54g/cm로 감소하였다.

야외양성 시 환경의 변화를 살펴보면, 수온은 8–18℃로 석목이 출현한 11월에 가장 높게 나타났으며 이후 감소하여 2월에 8℃로 최저였다. 용존산소량은 8.80–9.83ppm으로 1월에 최대였고 11월에 최저로서 수온의 하강과 함께 증가하였고 수온이 상승할 때 감소하였다. 비중은 1.03–1.02로 변동이 거의 없었고 용존산소량과 마찬가지로 11월에 최소였고 최저 수온인 2월에 최대였다.

4. 석목의 우수 양식품종 개발

완도군 예작도, 장흥에 이식된 톳줄, 장흥 정자도(자연산) 등에서 채집한 연구재료의 외부형태를 관찰한 결과 석목의 주요한 식별형질은 공유하였으나, 지역별로 몇 가지 형질의 차이를 보였다. 즉, 예작도에서 채집한 석목은 나머지 두 지역의 개체군에 비해 규칙적인 차상분기의 특징을 보였으며, 줄기의 직경도 다소 굵었다. 또한, 장흥군 정자도(자연산)산의 석목은 다른 두 지역의 시료보다 줄기 당 3개 정도의 같고리가 더 많이 형성되는 것으로 확인되었다. 지역별로 채집된 표본에서 차상분지의 회수, 줄기의 굵기, 같고리 모양의 가지 형성 개수 등의 형질에서 다소의 차이를 확인하였으나 이러한 형질들의 차이는 유사한 분류군인 비단풀 속 (*Ceramium*)에서도 흔히 관찰할 수 있는 특징으로 본 연구 결과에서 확인된 지역별로 나타난 약간의 형질변이는 그 중요성이 떨어진다고 판단된다.

지역별 분자형질의 차이는 rbcL 유전자의 변이율 0-0.14% (0-2 bp)로 나타났다. 구체적으로 이회진에서 채집된 두 개의 표본과 나머지 지역산 표본과는 2 bp로 가장 큰 차이를 보였는데 여기에는 이회진에서 채집된 나머지 두 개 표본도 포함되어 있다. 또한 장흥

이식툰줄에서 채집된 표본과 나머지 표본과는 1 bp의 차이가 나타났다. 한편, 한국산 석묵과 일본산 석묵 간의 유전자 변이율은 0.14-0.35% (2-5 bp)로 나타난 것에 비하여, 일본산 석묵 상호간의 변이율은 0.42% (6 bp)로 더 커다란 차이를 보여 본 연구에서 지역별로 채집된 석묵은 유전자 변이율 면에서 작은 차이가 존재할 뿐, 아주 뚜렷한 큰 차이는 발견되지 않았다.

석묵의 개체군사이에서 외부형태와 분자형질적인 차이가 크게 나타나지 않음으로 석묵의 물리적인 특성의 차이를 알아보기 위해 서식지와 생식상태에 따른 인장력을 측정하였다. 석묵의 인장강도는 53g-94g로서 과포자채(3월)에 비해 노성한 사분포자채(5월)의 인장강도가 높다는 것을 알 수 있었으며, 자연산과 툰 이식줄에 부착한 석묵과의 인장도에서 커다란 차이는 보이지 않았다. 하지만, 상대적으로 외해에 위치하고 파도가 심한 지역에서 채집한 보길도 인근에 있는 예작도의 툰 양식장에서 5월에 채집한 조체의 인장강도와 젤강도(gel strength), 경도(hardness) 등이 높게 나타났다.

5. 경제성분석 및 유용성분

석묵의 야외양성에서의 생산량을 토대로 분석한 석묵의 생산량은 양성줄 1대(100m)당 15.46kg의 생산량을 보였으며, 석묵은 수확 후 기질에 부착된 채 남아있는 갈고리에서 빠르게 영양번식을 하기 때문에 수확시기에 최소 3회의 수확이 가능하므로 양성줄 1대당 수확되는 석묵의 건중량은 46.38kg(15.46kg × 3회)이다. 이를 단위면적 당 생산량으로 산출하면, 1ha당 20대의 석묵양성줄이 시설되므로 약 927.6kg(46.38 × 20대)이 생산된다. 석묵은 일본에서 건중량으로 1kg당 2-15만원 정도(풍흉에 따른 차이)로 판매되고 있고 실제로 완도에서는 석묵을 사서 일본에 수출하겠다는 수입상이 다녀간 상태로 수출에 대한 기대효과는 매우 높다. 석묵이 kg당 5만원에 판매된 것을 가정하면, 단위면적(ha) 당 46,380천원의 수입이 가능하며, 경영비와 자가노력비 및 자본용역비의 합이 8,737.3천원이므로 이를 제외한 순 소득은 약 37,643천원으로 분석된다.

석묵의 유용 성분을 분석한 결과, 석묵 100g당 탄수화물이 42.38g으로 최대 함유량을 보였고 단백질이 25.87g, 지방이 0.56g, 회분이 23.61g, 수분이 7.58을 차지하는 것으로 나타났다. 석묵은 다른 양식해조류에 비해 단백질함량이 매우 높은 것으로 나타났으며, 탄수화물 함량도 낮지 않았다. 무기질의 종류에 따른 함유량은 100g의 건조 석묵 당 칼륨이 8177.25mg을 함유하고 있어 가장 높게 나타났으며, 나트륨(4,004.13mg)과 마그네슘(1001.28mg)이 비교적 높은

함유량을 나타냈다. 유리아미노산 함량은 글루탐산과 타우린이 각각 4.309mg과 3.162mg으로 높았다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구로 석묵의 양식 기술의 개발은 완료되었으므로 차후에는 개발된 양식기술을 어업인에게 보급하여 양식어가에 소득을 증대시킬 것이며, 다양한 판로 개척을 통한 고소득 품종으로 자리매김 할 것으로 판단된다. 또한, 항균 및 항산화능력이 있는 석묵의 천연물을 활용한 음료 및 건강보조식품으로의 개발이 예상되며, 나아가 항염증과 혈액순환을 촉진시키는 효능이 확인되어 향후 의약품으로서의 개발도 기대된다.

SUMMARY

I. Title

Cultivation technique development of red algal *Campylocephora hypnaeoides*

II. Object and Significance

1. Objective

The objective of this study was to develop new cultivation technology for economic seaweed, *Campylocephora hypnaeoides*, in order to increase net income of fisheries man by diverse seaweed cultivation.

2. Significance

In present, seaweed cultivation has many problems because of overproduction, decreasing domestic consumption and export, deteriorated quality of few seaweeds such as *Undaria pinnatifida* and *Porphyra* spp. To solve these problems and to prepare for the WTO forced, open market, it is necessary that we develop improved cultivation techniques on highly valuable species. *Campylocephora hypnaeoides* is a species trying to develop cultivation techniques in Japan and it is not cultivated in Korea. The price of *C. hypnaeoides* is very high about 500\$/kg(fluctuating from 20\$ to 200\$) and japanese company, "Maruhichi" wants to import all production of *C. hypnaeoides* cultivated. Thus, it is very good candidate seaweed in order to increase net income of fisherman.

III. The contents of the study

1. Biological study

Biological studies on *C. hypnaeoides* were carried out for its morphology(tetrasporophyte, female and male gametophytes, carposporophytes) to determine taxonomic position and distribution. Also, macroalgal flora was also

examined on the rocky shore where, *C. hypnaeoides* was found. Physiological features of *C. hypnaeoides* were examined with tetraspores and carpospores in laboratory culture. Their development pattern and life history have been investigated and the effects of sediment and seawater movement on the growth of spores were also examined. Phenological studies such as growth and reproduction were examined for the field populations of *C. hypnaeoides*.

2. Artificial seeding

From *C. hypnaeoides* carposporophytes, spores releases were induced with various methods (lighting, photoperiod, dry and wetting, temperature, tap water) to determine what method is the best to get enough spores for cultivation seedlings. Spore settlement was also examined to know the best seeding substrata with oyster, seeding line and plastic plate. To decide the proper artificial seeding method using adult plant, two methods (putting *C. hypnaeoides* in rope with *Hizikia*, putting *C. hypnaeoides* into twisted rope).

3. Field study for mass cultivation

C. hypnaeoides were cultivated at three depths (surface, 1m and 3m) to find out optimal cultivation depth. The yields of *C. hypnaeoides* were also measured for the two artificial seeding methods. Furthermore, environmental conditions such as temperature, salinity were measured.

4. Superior strain development

Strains of *C. hypnaeoides* collected from natural habitats were examined. The thickness and strengths of plants and genetic difference between populations using Rheometer and rbcL analyses were measured.

5. Economic analysis of seaweed cultivation and useful components

This study aimed to suggest the schemes to improve the business of the

Campylaephora hypnaeoides cultivation. We examined the present state of the output and distribution in the *Campylaephora hypnaeoides* and analyze its business characteristics. Also, its components such as carbohydrate, lipid, protein and minerals were analysed.

IV. Results

1. Basic biological study of *Campylaephora hypnaeoides*

The distribution of *C. hypnaeoides* was newly confirmed at Guryeongpo, Yeoyeondo, Jangheung, Goheung, Wando. A total of 110 species (14 green, 24 brown, 72 red) were identified at Jeongjado, Jangheung, where *C. hypnaeoides* was found. Optimal growth conditions were at 24h daylength, $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and 25°C for carpospores and at 24h, $40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 20°C and 35‰ for tetraspores. Sediment and seawater movement also affected the survival and growth of *C. hypnaeoides* at early stage.

In phenological study, female plants were frequently found in November and the proportion of female gametophytes was gradually declined. Tetrasporophytes increased from January and was peak in June and all plants of *C. hypnaeoides* disappeared in July. The growth of *C. hypnaeoides* 8.51-13.96cm in length and it was minimal in January and maximal in June 2006. The number of hook in *C. hypnaeoides* was between 3.90-18.27 individuals and it was maximal in December and minimal in May, 2007. Transplanted *C. hypnaeoides* ranged from 7.26cm to 11.95cm in length with peak in January 2008 and with minimal in May 2008. The weight of *C. hypnaeoides* was between 21.63-76.40mg and similar growth pattern was found as in length. The length of *C. hypnaeoides* transplanted to Haenam from Wando was from 8.20cm in February to 11.24cm in May. The hook number of plants was between 2.27-16.07 individuals with maximal in February, 2006. Plants grew from 23.47mg to 113.37mg in 2007.

2. Artificial seeding

Among various methods to release the spores of *C. hypnaeoides*, lighting after darkness was best method. Also, spore liberation of *C. hypnaeoides* increased with increasing daylength. For example, 72 spores were found in 8h daylength and 83 spores in 24h daylength, constant light. The number of spores released varied from 3-19 spores at 10°C and 55-75 spores at 15°C and 39-67 spores at 20°C and generally it was increased at lower irradiance as tested at 10, 20, 40 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Therefore, the optimal temperature for spore release of *C. hypnaeoides* was 15°C and 10 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. *Campylaephora hypnaeoides* spores well attached on the artificial substrata such as oyster, seeding line and plastic plate. However, they were cultivated for 1 month in a indoor tank, germling survival was maximal at seedling line. In the field artificial seeding using adult plant, the method putting *C. hypnaeoides* in rope with *Hizikia* was very good in the growth of *C. hypnaeoides* but it was detached from rope as *Hizikia* grown up. However, putting *C. hypnaeoides* into twisted rope was very good in growth and yield because it can harvest only *C. hypnaeoides* plants.

3. Field study for mass cultivation

Seedling lines with attachment of *C. hypnaeoides* spores were transplanted into 1m and 3m in depth. Survival rate of settled spores was 70.45% at control treatment that kept indoor tank, 34.25% at 1m and 52.33% at 3m in depth. The growth of germlings of *C. hypnaeoides* was better 6.43cm in length at 1m than at 3m with 4.24cm. The length of germlings was 2-3cm at control. Thus, transplantation of seedling line should be at 3m from surface seawater as considering survival rate and growth. The yield of surface seawater was greater than at 1m and 3m in depth. Average yields of *C. hypnaeoides* were 1.12-1.79g/cm rope at surface area, 0.55-1.13g at 1m and 0.24-1.03g/cm rope at 3m. Maximal yeild was found in March 2008 and declined after then. The yield of *C. hypnaeoides* was maximal in April (1.63g/cm) and decreased as 1.18g/cm rope of *Hizikia* cultivation rope that

established at the surface area of Bogildo, Wando.

In the field, putting *C. hypnaeoides* with *Hizikia* into cultivation rope showed high production ranging from 0.63g to 1.63g/cm but it rapidly decreased as *Hizikia* grew up and detached from cultivation rope. The method that inserting *C. hypnaeoides* only into cultivation rope was not so good in production because the yield was between 0.52-0.63g/cm. In case of *Porphyra* cultivation net, it was good firstly but *C. hypnaeoides* production was declined after it gained weight. On the basis of these results, new cultivation net was made using russel net and inserted *C. hypnaeoides*. During the cultivation period, the production of *C. hypnaeoides* on russel cultivation rope was between 1.14g in March, 1.63g in April and 1.81g/cm rope in May, 2008.

Seawater temperature was between 8-18°C in the cultivation area of *C. hypnaeoides* and it was minimal in February. Dissolved oxygen ranged from 8.80 to 9.93 ppm.

4. Superior strain development

Strains of *C. hypnaeoides* collected from natural habitats such as Jangheung, Wando and Pusan, were examined the thickness and strengths of plants and genetic difference between populations using Rheometer and rbcL analyses. Most features of *C. hypnaeoides* was very similar but Wando plants were more thicker and showed regularly branched pattern than the others. Variants of rbcL genetic was between 0-0.14% and Jangheung samples differed about 2bp compared to other specimens. The strength of *C. hypnaeoides* was between 53-94kg and old tetrasporophytes was stronger than carposporophytes.

5. Economic analysis of seaweed cultivation and useful components

Present state of *Campylocephora hypnaeoides* was examined. *C. hypnaeoides* is well known as food stuffs in Japan but Korean do not eat yet because of low production and unknown cooking methods. In field cultivation of *C. hypnaeoides*, its

production was about 15.46kg/1dae and it can harvest 3-4 times because the species can attach to net or substrata with hook. Thus, it would be collected 3 times per year, so the expected production of *Campylaephora hypnaeoides* was about 46.38kg/1dae per year. In Japan, the price of *C. hypnaeoides*, is about 50 \$/kg and Japanese company wants to buy *C. hypnaeoides* samples. Thus, it is possible to cultivate the algal species but we need to develop various food items in Korea to consume it ourselves.

On the basis of analyses of *C. hypnaeoides* plants, it includes 42.38g of carbohydrate and 25.87g of protein per 100g in dry weight. Also, various minerals were very rich as 8117.25mg in K and 1,001.28mg in magnesium. The useful amino acid components such as glutamic and taurin acids were also high as 4.309mg and 3.162mg, respectively.

V. Suggestion for the application of this study

The cultivation techniques of *C. hypnaeoides* were developed from this study. Now, we have to provide the techniques to fisherman to give more net income and develop various food items based on Japanese recipes. Also, the extracts of *C. hypnaeoides* plants showed antibacterial, antioxidant and anti-inflammatory activities. Thus, we can make various functional foods for health like drinking items and test as medicine materials.

CONTENTS

Chapter I. Introduction

Chapter II. Present technique conditions in Korea and foreign country

Chapter III. Study contents and results

Section 1. Biological basal study

1. Distribution and ecological studies

A. Identification and taxonomic position of field population

1) Materials and methods

2) Results and discussion

B. Natural habitat investigation of *C. hypnaeoides*

1) Materials and methods

a. Distribution

b. Seaweed flora in habitat

2) Results and discussion

a. Distribution

b. Seaweed flora in habitat

a) Study area

b) Seasonal seaweed distribution and richness

c) Vertical distribution and biomass

2. Reproductive and physiological study

A. Reproductive state

1) Materials and methods

2) Results and discussion

B. Early development and life history

1) Materials and methods

- a. Sediment and seawater movement effects
 - b. Life history
- 2) Results and discussion
 - a. Sediment and seawater movement effects
 - b. Life history
- C. Growth and reproduction in culture
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - a. Carpospore
 - b. Tetraspore
- 3. Phenology, growth and reproduction of field population
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - a. Monthly reproduction at Wando, Jangheung, Haenam
 - b. Plant length, weight and hook number

Section 2. Artificial seeding and management

- 1. Artificial seeding
 - A. Spore release in laboratory
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - a. Lighting and daylength method
 - b. Dry and immersion method
 - c. Temperature and irradiance method
 - B. Spore attachment experiment
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - a. Spore attachment at various substrata
 - b. Holdfast and growth at different substrata

2. Artificial seeding and management
 - A. Spore release in cultivation tank
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - B. Artificial seeding management in cultivation tank
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
3. Artificial seeding and management in the field
 - A. Artificial seeding and management
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion

Section 3. Field cultivation and mass cultivation techniques

1. Temporal field transplantation of seeding lines
 - A. Temporal field transplantation
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - a. Transplanting time and place
 - b. Period and optimal condition
 - c. Requirement of transplantation
2. Field cultivation using cultivation ropes
 - A. Various cultivation and production
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - a. Production at different depths
 - b. Cultivation method and production
 - B. Environmental condition in the field farm
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion

Section 4. Superior strain selection

1. Morphological and genetic comparison
 - A. Genetic diversity of field populations
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - a. Morphological analyses
 - b. Molecular analyses
 - B. Strength of plants
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion

Section 5. Economical analyses and useful components

1. Production and distribution condition
2. Economical analyses
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion
 - a. Production per area
 - b. Net income per area
 - c. Expenses for production
 - d. Income analyses
3. Useful component analyses
 - 1) Materials and methods
 - 2) Results and discussion

Chapter IV. Aim obtention of study and contribution to relevant fields

Section 1. Biological studies

1. Study contents and obtention
2. Contribution to relevant fields and research out put

Section 2. Artificial seeding and management

1. Study contents and obtention
2. Contribution to relevant fields and research out put

Section 3. Field cultivation using cultivation ropes

1. Study contents and obtention
2. Contribution to relevant fields and research out put

Section 4. Superior strain selection

1. Study contents and obtention
2. Contribution to relevant fields and research out put

Section 5. Economical analyses and useful component

1. Study contents and obtention
2. Contribution to relevant fields and research out put

Chapter V. Research results and application of this study

Chapter VI. References

목 차

제 1 장 연구 개발 과제의 개요

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 한국산 석목의 생물학적 기초연구

1. 한국산 석목의 서식 및 생태학적 연구

가. 석목 야외개체군의 동정 및 분류(분류학적 위치)

1) 재료 및 방법

2) 결과 및 고찰

나. 석목 자연서식처조사

1) 재료 및 방법

가) 석목의 해역별 분포조사

나) 석목 서식처의 해조상 조사

2) 결과 및 고찰

가) 석목의 해역별 분포조사

나) 석목 서식처의 해조상 조사

(1) 조사지개황

(2) 계절별 해조류 분포 및 서식현황

(3) 수직분포 및 생물량

(가) 수직분포

(나) 생물량

2. 생식·생리학적 연구

가. 석목의 생식기구 구명

1) 재료 및 방법

2) 결과 및 고찰

나. 초기발생 및 생활사연구

1) 재료 및 방법

가) 퇴적물과 해수유동 및 광이 석목 초기발생에 미치는 영향

나) 생활사 확인

2) 결과 및 고찰

가) 퇴적물과 해수유동 및 광이 석묵 초기발생에 미치는 영향

나) 생활사 확인

다. 성장 및 성숙의 최적조건 탐색 및 제한요인 탐색

1) 재료 및 방법

2) 결과 및 고찰

가) 과포자의 성장

나) 사분포자의 성장

3. 지역개체군의 계절적 소장 및 성장, 성숙의 생활주기 파악

가. 재료 및 방법

나. 결과 및 고찰

1) 해남, 완도, 장흥의 월별 성숙도 파악

2) 조체의 길이, 무게, 갈고리 수 변화 파악

제 2 절 석묵의 채묘 및 인공종묘 생산의 기술 개발

1. 인공종묘생산

가. 실내에서의 포자방출유도

1) 재료 및 방법

2) 결과 및 고찰

가) 광조사 및 광주기법

나) 건조 후 침수법

라) 온도 X 조도법

나. 실내에서의 포자부착실험

1) 재료 및 방법

2) 결과 및 고찰

가) 기질별 포자 부착실험

나) 기질별 부착기형성 및 성장관찰

2. 인공채묘 실시 및 채묘관리

가. 배양장에서 포자방출 유도

- 1) 재료 및 방법
- 2) 결과 및 고찰

나. 배양장에서의 인공 종묘관리

- 1) 재료 및 방법
- 2) 결과 및 고찰

다. 야외 인공채묘시험 실시 및 최적 채묘조건 탐색

- 1) 재료 및 방법
- 2) 결과 및 고찰

3. 야외 자연채묘 실시 및 최적 채묘조건 탐색

가. 야외 자연채묘 및 최적 채묘조건

- 1) 재료 및 방법
- 2) 결과 및 고찰

제 3 절 야외양성, 대량 생산 양식기술 개발

1. 가이식

가. 가이식

- 1) 재료 및 방법
- 2) 결과 및 고찰
 - 가) 가이식 시기 및 장소(환경조건)
 - 나) 가이식 기간 및 최적조건
 - 다) 가이식 필요 여부

2. 야외 양성시험

가. 다양한 양성 방법에 따른 생산량변화

- 1) 재료 및 방법
- 2) 결과 및 고찰
 - 가) 수심별 생산량 변화
 - 나) 양성 방법에 따른 생산량변화

나. 기초해황조사(수온, 염분, DO 등)

- 1) 재료 및 방법
- 2) 결과 및 고찰

제 4 절 석묵의 우수 양식품종 개발

1. 자연서식처 석묵 형태, 유전적 비교

가. 서식지에 따른 유전적 차이 규명

- 1) 재료 및 방법
 - 2) 결과 및 고찰
- 가) 형태형질 분석
- 나) 분자형질 분석
- 다) 고찰

나. 서식지와 생식상태에 따른 인장력 측정

- 1) 재료 및 방법
- 2) 결과 및 고찰

제 5 절 경제성분석 및 유용성분

1. 양식생산 및 유통현황

2. 경제성 분석

가. 재료 및 방법

나. 결과 및 고찰

- 1) 단위면적당 생산량
- 2) 단위면적당 조수입
- 3) 생산비
- 4) 소득분석

3. 유용 성분 분석

가. 재료 및 방법

나. 결과 및 고찰

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 한국산 석목의 생물학적 기초 연구

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도
2. 관련분야의 기여도 및 성과

제 2 절 석목의 채묘 및 인공종묘 생산의 기술 개발

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도
2. 관련분야의 기여도 및 성과

제 3 절 야외양성, 대량 생산 양식기술 개발

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도
2. 관련분야의 기여도 및 성과

제 4 절 석목의 우수 양식품종 개발

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도
2. 관련분야의 기여도 및 성과

제 5 절 경제성분석 및 유용성분

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도
2. 관련분야의 기여도 및 성과

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 6 장 참고문헌

제 1 장 연구개발과제의 개요

해조류는 전 세계적으로 약 900여종이 식용, 의약품, 사료용, 비료용, 화학공업용 등 다양한 용도로 이용되고 있는 실정이다. 그러나 우리나라의 해조 양식산업은 식용으로 이용되는 미역, 다시마, 김 등 소수의 몇 종에만 의존하여 매우 단순하고 노동 집약적인 방식으로 수행되고 있다. 이것은 기존에 양식되고 있는 몇 품종을 제외하고는 새로운 유용해조에 대한 양식 기술이 개발되지 않았기 때문이다. 이처럼 양식 품종의 다변화가 이루어지지 않음으로 인하여 때로는 과잉생산으로 인한 가격의 하락 때문에 해조류의 양식 산업의 안정화가 이루어지지 않고 있다.

석목(*Campylaeophora hypnaeoides*)은(그림 1) 한천의 원료로 사용되고 일본의 베푸지역에서 건강 보조식품으로, 일본의 新潟, 佐渡, 能登에서 エゴテン(에꼬탕) 혹은 エゴモチ(에꼬모찌)를 만드는 원료로 사용되었다. 또한, 석목은 福岡에서 잘 알려져 있는 『おきうと(오끼우또)』의 재료이며, 일부 지역에서는 초무침으로 생식하는 것으로도 알려져 있어 그 쓰임이 매우 다양하다. 따라서 이러한 잠재적인 유용성을 가지는 새로운 해조류의 양식 기술 개발은 시대적으로 요구되는 매우 중요한 과제이다.



그림 1. 석목(*Campylaeophora hypnaeoides*)의 조체사진

수산 양식 산업에서 해조류의 생산량은 전체 수산물 생산량의 70%를 차지하고 있으나, 현재 우리나라의 기존 양식 상품은 공급과잉 상태에 있고 유용종의 양식의 다변화가 되어있지 않음으로 인해, 경제·산업적 측면에서 국내외의 양식 종의 수요

변화에 대하여 탄력적인 대응이 매우 어려운 상태이다. 이러한 연유로 해조류 양식을 하던 어업인은 소득이 감소하여 양식장을 폐쇄하고 본업을 떠나 도회지로 이동하고 있다. 더구나, 비싼 노동력은 해조 양식업의 피해를 가속화 시키고 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 최선의 방안은 해조류 양식업자에게 고소득을 보장할 수 있는 양식품종과 양식기술의 개발이다. 또한, 새로운 품종에 대한 양식기술이 개발과 더불어 판로가 개척되지 않으면, 어업인은 신품종에 대한 양식을 시도하지 않으므로 제품의 판매경로 역시 매우 중요하다.

석묵(*Campylophora hypnaeoides*)은 한천의 원료로 사용되고 있을 뿐 아니라, 일본의 베푸지역에서, 그리고 60년대와 70년대 우리나라의 포항, 마산, 통영, 완도 등 서남해안 지역에서 천연정력제로 활용되는 등 건강 보조식품으로 활용되어 오고 있다. 이외에도 석묵은 일본의 新潟, 佐渡, 能登에서 エゴテン(에꼬탕) 혹은 エゴモチ(에꼬모찌)를 만든 재료로 활용되어 왔고, 福岡에서 잘 알려져 있는 『おきうと(오끼우또)』도 석묵을 재료로 하고 있으며, 일부지역에서는 초무침해서 생식하는 등 다양한 식품(그림 2)으로 이용된다.

하지만, 일본의 모든 지역 및 靑森縣에 있어 석묵의 수확량은 풍흉의 변동이 많아 1994년에 77.6톤(2,249円/kg)에서, 1997년에 4.6톤으로 감소하였으며, 이로 인해 석묵의 가격은 킬로그램(kg)당 15,001円으로 판매되었다. 이후 일본에서는 석묵의 양식기술 및 관리기술의 개발에 박차를 가하여 현재 400여 톤을 생산하는 성과를 얻었다. 아직도 일본에서 석묵의 생산량은 수요량을 따라가지 못하여 일본의 해조가공업체인, Maruhich Company는 석묵의 원료를 구하기 위하여 노력하고 있고 한국에서 양식기술의 개발로 대량생산이 된다면 전량 수입하겠다고 약속한 바 있어 앞으로 주요한 수출 품목이 될 것이다.



그림 2. 석묵으로 만든 식품

우리나라의 석묵은 황산기(sulphate)가 4.43%로서 꼬시래기(*Gracilaria verrucosa*)의 황산 함유율(6.67%) 보다 낮고 단백질(31.69%), 지질(0.53%), 탄수화물(56.37%)의 함량이 높아 석묵으로 한천을 제조한 결과 겔 강도가 $1230\text{g}/\text{cm}^2$ (1.5% 한천겔)인 한천(수율 18%)을 만들 수 있어 주요한 한천원료로 활용될 가능성이 있음을 발표한 바 있다.

현재 한천의 산업적 이용은 급속도로 증가되고 있는 해조콜로이드 산업이며 전 세계 한천의 수요량은 수천톤에 달하고 있으며 우리나라에서는 한천을 생산하기 위한 원료의 90% 정도를 수입하고 있다. 따라서 한천의 주요한 원료인 석묵의 양식기술개발이 시급하게 요구되고 있다.

이외에도 석묵은 갑상선 호르몬에 필요한 요오드를 0.42%를 함유하여 다른 홍조류에 비해 함량이 높고(Saenko et al., 1978), 석묵을 음식으로 다량 섭취할 경우 병원성 대장균인 O-157의 감염을 억제 시킬 수 있으며, 석묵의 메탄올 추출액은 항박테리아, 항세균의 효과가 있는 것으로 알려져, 치아부식세균의 억제 실험을 수행하고 있어 향후에 중요한 의약품으로 활용의 가능성이 매우 높은 해조류이다.

또한, 연안에서 이루어지는 많은 공사와 오염물질의 배출로 인한 어장의 축소 및 양식 생산량의 감소, 한·일, 한·중 어업 협정에 의한 어민들의 소득 감소 등으로 인해 해조양식 산업의 구조 조정이 절실한 실정이다. 따라서 홍조류 석묵의 해면 양식 기술을 이용하여 양식종의 다변화를 꾀하며 이를 통해 어민들의 소득을 증대시킬 수 있을 것이다. 또한, 한국산 석묵의 상시적, 대량적 공급체계가 확립된다면 이로 인한 생물공학산업의 기반 구축과 해조 콜로이드 산업의 활성화 도모를 하기 위해서는 석묵의 해면양식 기술 개발이 절대적으로 필요하다.

하지만, 80년대에 석묵은 우리나라 서, 남해안 연안에서 쉽게 관찰되는 종이였으나, 최근에는 해양오염의 증가로 서, 남해안의 연안에서는 석묵이 점차 사라지고 완도군 보길도 등과 같이 외해에 위치한 청정해역에서만 발견되어 오염에 대한 지표종으로 사용되는 이점이 있다. 또한, 유용한 물질을 다량 함유한 동북아시아의 고유종으로서 대량양식 기술이 개발된다면, 앞으로의 한국 해조류의 양식산업 발달에 지대한 공헌을 할 품종으로 사료된다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

석목(*Campylaeophora hypnaeoides*)은 계통적으로 진정홍조강, 비단풀목, 비단풀과에 속하며(Okamura, 1927; Itono, 1981), 한국, 일본 및 중국 연안에 분포하는 동북아시아의 고유종(endemic species)으로서 한천의 원료, 식용, 식품공업, 의약품, 미생물 배지, 그리고 화장품 등의 다양한 용도로 사용되는 해조류이다(Itono, 1981).

석목의 연구는 중국과 일본으로 한정되어 있고 일본에서는 식용으로 활용되는 석목의 생활사(Notoya, 1979) 및 양식에 관한 기초적인 연구(Kirihara et al., 1990)가 수행되었으며, 현재에도 양식기술의 개발을 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 일본 전국 및 靑森懸에 있어 석목의 수확량은 풍흉의 변동이 많아 (1994년-77.6톤, 1997년-4.6톤) 석목의 가격이 15,001円/kg(1994년)에서 1997년에는 2,249円/kg으로 급격히 증가하여 일본에서는 석목의 양식기술을 개발하여 현재 400여톤 까지 생산하는 성과를 얻었다.

석목은 전형적인 배우체, 과포자체, 사분포자체의 삼상세대 교번을 하는 *Polysiphonia*형의 생활사를 가지는 것으로 나타났는데(Notoya, 1979), 이중에서 양식의 대상이 되는 것은 여름철에 대형으로 되는 사분포자체로 알려져 왔다(Kirihara et al., 1990). 하지만, 수확기에 명확한 이유없이 많은 조체가 유실되었다. 2002-2003년에 걸친 반복된 양성실험으로 양식망 (1m × 1m)에서 2.0-3.1kg(습중량)를 수확할 수 있었다. 하지만, 아직까지도 양식망의 설치방법 등 많은 문제점이 노출되어 있는 상태이다.

한국에서 석목에 관한 연구는 단지 해조상 연구의 일환으로 석목 속에 굵은석목(*Campylaeophora crassa*)과 석목(*C. hypnaeoides*)의 2종이 출현종 목록으로 기록되었고 이러한 해조상의 자료를 정리하여 2종의 분포를 확인하여 볼 수 있다. 석목 속(genus)에 관한 연구는 굵은 석목의 분류학적 연구(Boo, 1992; Park et al., 1993), 생활사 연구 등이 수행하여 되었을 뿐, 석목에 관한 연구는 거의 수행되지 않았다. Boo와 Yoshida(1991)는 석목 속에 관한 분류학적 연구에서 굵은 석목은 원반형의 가근, 두꺼운 피층 및 포자의 직경이 크다는 점에서 홍조식물의 비단풀과의 석목 속에 속하고 체장이 크고 갈고리형 가지가 없다는 점에서 석목과

구별된다고 하였다. 하지만, 이러한 형태적인 차이점은 환경적 영향이 많고, 근연종에 속하는 다른 비단풀 속의 해조류와 일치하는 점도 많아서 다양한 분자생물학적 기법을 도입한 더 많은 연구가 요구되는 실정이다.

일본에서는 석목이 한천, 건강식품, 고급식품 및 의약품 등으로 활용되고 있으나, 자연상태에서의 수확율이 급격히 감소하고 변동이 심하다는 문제점을 인식하고 양식기술개발에 박차를 가하고 있다. 따라서 양식기술에 관한 많은 기초적인 지식 및 응용 가능한 지식을 보유하고 있다. 하지만, 양식장 설치, 양식망의 크기 및 양식의 수심 등에 관한 연구가 미흡한 상태로 현재까지 석목의 양식기술은 안정화 되어 있지 않다.

또한, 한국의 완도군 외해에 위치한 보길도의 툫 양식장에서는 여전히 다량의 석목이 툫 양식줄과 툫에 부착하여 툫의 질을 떨어뜨리는 해적 생물로 취급되고 있으며, 11-12월에 자연 상태에서 채묘가 가능한 것으로 관찰되며, 생산량도 무척 많은 것을 관찰할 수 있어 한국 연안에서의 석목의 양식 가능성 및 수확량이 충분할 것으로 사료된다. 따라서, 이러한 일본의 지식을 바탕으로 하고 한국 어업인의 양식에 관한 노하우를 접목한다면, 일본에 비해 값싼 노동력으로 다량의 석목을 생산할 수 있을 것으로 사료된다.

한국산 석목의 대량생산을 위한 양식기술이 개발된다면 습중량으로 kg당 10만원 이상(23,000원 ~ 150,000원/kg, 생산량에 따른 가격 변동)의 높은 가격으로 일본의 Maruhichi 회사에 판매가 가능하므로 개발원가에 비해 수입이 월등하게 높을 것으로 사료되며, 한국산 석목의 대량생산을 위한 양식기술의 개발은 다양한 생리활성물질을 가지고 있다는 것을 알면서도 조체를 구입하지 못하여 실험하지 못한 문제점을 해결하여 다양한 건강보조식품 및 천연 의약품의 개발을 촉진시킬 것이며, 한천의 원료로 사용되기 때문에 한천 산업의 발달에 기여할 것으로 사료되며 어업인의 소득이 증가됨으로써 수산업에 활기를 줄 것으로 예상된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 한국산 석목의 생물학적 기초연구

1. 한국산 석목의 서식 및 생태학적 연구

우리나라 연안에 서식하는 홍조류 석목의 분류학적 위치가 이전에 연구된 석목과 동일한 종인지를 파악하고 석목이 자라는 자연서식지의 분포, 해조상 및 군집구조, 수직분포 및 주요종에 대해서 파악하는 것을 목적으로 본 연구는 수행되었다. 또한, 석목이 착생 해조류로 알려진 석목은 기질 특이성이 있는지, 암반에 서식하는 석목이 관찰되는지 하는 것을 확인하여 보았다.

가. 석목 야외개체군의 동정 및 분류(분류학적 위치)

1) 재료 및 방법

본 연구에 재료인 석목은 전남 완도군 보길도의 툫 양식장에서 툫에 부착한 조체를 양식줄을 따라 배를 타고 이동하며 채집하여 현장의 해수와 함께 플라스틱 병에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실에서 석목의 조체는 외부형태(가근, 정단부형태, 분지 등) 및 절편제작을 통한 내부세포배열 및 구조로써 석목임을 확인하였다.

2) 결과 및 고찰

석목 속(genus)은 계통적으로 진정홍조강, 비단풀목, 비단풀과에 속하고 전 세계적으로 3종 7변종이 기재되어 있다 (Nakamura, 1965; Noda, 1974; Itono, 1981). 석목은 형태변이가 다양하고 체장이 30cm이내로 작으며 생활사를 2-3개월 이내에 완결이 가능한 종이다. 본 속은 (1) 피층 속에 근양사 세포가 존재하고, (2) 가근은 뭉쳐서 원반형이 되고, (3) 정단부가 낫모양(갈고리모양)으로 되어 부착하며, (4) 가지는 주로 차상이고, (5) 포자의 직경이 크다는 특징에 의해 근연속인 비단풀(*Ceramium*) 속에서 분리되었다 (Hommersand, 1963; Itono, 1977).

현재 우리나라 연안에는 석목 속에 굵은석목(*C. crassa*)과 석목의 2종이 서식하는 것으로 알려져 있으며, 석목은 모자반에 붙어서 주로 발생하고 직립하여 바른 차상으로 분기하여 10-20 cm의 길이로 성장하나, 나중에는 불규칙하게 되어 부착부에서 떨어져 갈고리 모양으로 굴곡된 부분으로 모자반의 가지에 엉켜서 큰 덩어리를 형성한

다. 노성부의 굵기는 약 1mm이고 불규칙하게 차상으로 분기한다. 가지의 끝에 갈고리 모양이 있는 것이 굵은석묵과 구별되는 가장 큰 특징이다. 사분포자낭은 가지의 피층과 갈고리에 불규칙하게 산재하고 있다.

나. 석묵 자연서식처조사

1) 재료 및 방법

가) 석묵의 해역별 분포조사

해역에 따른 석묵의 분포조사를 위해 장흥, 해남, 보길도연안의 도서에서 간조 시 드러난 조수웅덩이 및 조간대 전체에 걸쳐 석묵의 분포 여부를 확인하였으며, 인근의 툫 및 모자반 양식줄에 부착서식을 확인하기 위해 스킨스쿠버 방법을 이용하여 분포 여부를 조사하였다.

나) 석묵 서식처의 해조상 조사

해조류는 석묵의 자연서식처인 장흥군 정자도에서 2007년 7, 10월과 2008년 2, 5월에 정량 및 정성 채집되었다. 생물량 측정을 위한 정량조사는 10cm × 10cm로 구획된 방형구(50cm × 50cm)를 각 정점의 조간대 상부, 중부, 하부 및 조하대(정자도)에 놓고 방형구 내에 출현하는 해조류의 빈도 및 피도를 현장에서 야장에 기록한 후 끝을 이용하여 정량 채집하였으며 조하대 채집은 scuba 다이빙에 의해 수행되었다. 해조류의 종조성을 파악하기 위해 조사해역에 서식하는 모든 해조류를 정성 채집하였다. 채집된 해조류는 현장에서 포르말린-해수 용액(5-10%) 으로 고정시켜 실험실로 운반한 후 현미경을 사용하여 동정하였으며, 출현종 목록 및 국명은 Lee and Kang(2002)에 따랐다.

정량 채집된 해조류는 수회 담수로 세척하여 모래 및 불순물을 제거하고, 동정하였으며 생물량은 단위 면적당(m^2) 습중량으로 환산하였다. 피도는 현장에서 Saito and Atope(1970)의 피도 등급에 의해 기록된 야장을 근거로 단위 면적당 피복 백분율로써, 빈도는 전체 조사 방형구 수에 대한 대상 종의 출현 방형구 수의 비로 구하였다. 상대 피도는 방형구 내의 전 출현종의 피도 합에 대한 대상 종의 피도 백분율로, 상대 빈도는 방형구내의 전 출현종의 빈도 합에 대한 대상 종의 빈도 백분율로 구하였다. 조사정점의 우점종을 알아낼 수 있는 중요도는 상대피도와 상대빈도의 산술 평균으로 계산하였다.

2) 결과 및 고찰

가) 석목의 해역별 분포조사

현재 우리나라 연안에는 석목 속에 굵은석목과 석목의 2종이 서식하는 것으로 알려져 있으며 문헌상의 석목의 분포는 그림 4와 같다(Lee and Kang, 2002).



그림 4. 한국산 석목의 분포 조사(Lee and Kang, 2002)

본 연구에서의 석목의 분포에 관한 조사에서는 장흥군 칠기도, 고흥군 금산면에서 자연서식하고 있는 석목이 관찰되었으며, 완도군 보길도에서는 툫 친승줄에 부착한 석목이 관찰되었다(그림 5). 이외의 태안군 외연도, 동해안의 구룡포에서도 석목의 서식이 관찰되었다. 완도 보길도의 툫에 부착한 석목은 매우 부드럽고 약하여 채집시 탈색이나 변화가 매우 심하여 관리 및 건조가 매우 힘들었다. 고흥군 금산면에서 발견한 석목은 조하대에 서식하는 산말과 툫에 부착하였고 장흥군의 칠기도의 석목은 다양한 모자반과 산말에 부착하여 서식하였다. 조체의 탄력성, 두께, 노출시 탈색 정도 등을 비교해 보면, 장흥군 칠기도에 서식하는 석목이 가장 우수함을 할 수 있었다. 또한, 수온의 상승하면 보길도와 고흥군 금산면의 석목은 5월 말이나 6월초에 탈색 및 탈락이 발생하였으나, 칠기도에 서식하는 석목은 8월에도 계속적으로 채집이 가능하였다.



그림 5. 자연서식처에서 발견된 석목

나) 석목 서식처의 해조상 조사

석목의 자연서식지인 장흥군 정자도에서 석목이 서식하는 해역의 환경특성을 파악하고 석목이 부착기질로 이용하는 해조류의 종류 및 서식 수심 파악하기 위해 계절별 해조상을 조사하였다.

(1) 조사지개황

조사해역인 전남도 장흥군 정자도는 이회진항에서 배(선외기)로 약 30분 정도 걸리는 곳에 위치한 무인도로써 암반이 발달되어 있어 해조류의 서식에 적합한 환경여건을 지니고 있다. 인근에는 매생이, 김, 미역, 쇠미역사촌 등의 해조류양식장이 위치하고 있으며, 여름철에는 낚시꾼이 관찰되었다.

(2) 계절별 해조류 분포 및 서식현황

정자도의 4계절 조사에서 녹조류 14종, 갈조류 24종, 홍조류 72종 그리고 현화식물인 말잘피 1종으로 총 111종이 동정되었으며, 말잘피를 제외하고 연중 출현한 해조류는 32종으로 녹조류 3종, 갈조류 8종 그리고 홍조류가 21종으로 확인되었다(표 1). 해조류 출현종수의 분류군별 비율은 녹조류 12.73%, 갈조류 21.82%, 홍조류가 65.45%를 차지하여 홍조류의 출현빈도가 가장 높았다.

계절별 출현종수는 여름에 80종으로 녹조류 11종(13.75%), 갈조류 17종(21.25%), 홍조류 52종(65.00%) 이었고, 가을에는 녹조류가 5종(7.69%), 갈조류 13종(20.00%), 홍조류가 47종(72.31%) 채집되었다. 겨울에 출현한 해조류는 녹조류 7종(10.00%),

갈조류 15종(21.43%), 홍조류 48종(68.57%)이었으며, 봄에는 녹조류가 7종(9.59%), 갈조류 21종(28.77%), 홍조류 45종(61.64%) 나타났다. 계절별 출현종수는 여름에 80종으로 최대였으며, 가을에 66종으로 최저로 나타났으며 홍조류가 연중 60%이상을 차지하여 정자도 암반해안의 해조상을 대표하는 분류군임이 확인되었다.

표 1. 계절별 정자도에 서식하는 해조류 목록

출 현 종	여름	가을	겨울	봄
Chlorophyta (녹조류)				
<i>Monostroma nitidum</i> (참흙파래)	+	+	+	+
<i>Enteromorpha compressa</i> (납작파래)	+		+	
<i>E. intestinalis</i> (창자파래)	+		+	
<i>E. linza</i> (앞파래)	+	+	+	+
<i>E. prolifera</i> (가시파래)			+	
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)	+	+	+	+
<i>U. conglobata</i> (모란갈파래)	+			+
<i>Cladophora albida</i> (숨대마디말)		+		+
<i>Chaetomorpha</i> sp. (염주말류)	+			
<i>Bryopsis plumosa</i> (참깃털말)			+	+
<i>Bryopsis</i> sp. (깃털말류)	+			
<i>Codium adhaerens</i> (떡칭각)	+			+
<i>C. divaricatum</i> (말칭각)	+			
<i>C. fragile</i> (칭각)	+	+		
Phaeophyta (갈조류)				
<i>Papenfussiella kuromo</i> (연두털말)	+			+
<i>Ishige okamurae</i> (패)				+
<i>I. sinicola</i> (넓패)			+	+
<i>Leathesia difformis</i> (바위두룩)	+			+
<i>Colpomenia sinuosa</i> (불레기말)	+		+	+
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (고리매)			+	+
<i>Myelophycus simplex</i> (바위수염)	+	+		+
<i>Sphacelaria divaricata</i> (누은갯쇠털)	+	+	+	+
<i>Desmarestia ligulata</i> (참산말)	+	+		+

표 1. 계속

출 현 종	여름	가을	겨울	봄
<i>Undaria pinnatifida</i> (미역)	+		+	+
<i>Ecklonia cava</i> (감태)	+	+	+	+
<i>Laminaria japonica</i> (다시마)	+			+
<i>Dictyopteris divaricata</i> (미끈뼈대그물말)		+	+	+
<i>D. undulata</i> (주름뼈대그물말)	+	+	+	+
<i>Dilophus okamurae</i> (개그물바탕말)	+	+	+	+
<i>Spatoglossum pacificum</i> (참가시그물바탕말)			+	+
<i>Sargassum fusiformis</i> (툇)	+	+	+	+
<i>S. fulvellum</i> (모자반)	+	+	+	+
<i>S. horneri</i> (괭생이모자반)		+		
<i>S. micracanthum</i> (잔가시모자반)	+	+	+	+
<i>S. coreanum</i> (큰잎모자반)	+			
<i>S. siliquastrum</i> (파배기모자반)		+		+
<i>S. thunbergii</i> (지충이)	+	+	+	+
<i>Sargassum</i> sp. (모자반류)	+		+	
Rhodophyta (홍조류)				
<i>Stylonema alsidii</i> (마디털)	+	+		
<i>Bangia gloiopeltidicola</i> (털김파래)		+		+
<i>Porphyra yezoensis</i> (방사무늬김)			+	
<i>Nemalion vermiculare</i> (참국수나물)	+			
<i>Galaxaura falcata</i> (여린가위손말)		+		
<i>Pterocliella capillacea</i> (큰개우무)	+	+	+	
<i>Gelidium amansii</i> (우뭇가사리)	+	+	+	+
<i>G. divaricatum</i> (애기우뭇가사리)	+	+	+	+
<i>Lithophyllum okamurae</i> (흑돌잎)	+	+	+	+
<i>Lithothamnion cystocarpioideum</i> (낭과쩍)		+	+	
<i>Amphiroa beauvoisii</i> (고리마디게발)	+	+		+
<i>Amphiroa anceps</i> (넓은게발)		+	+	+
<i>Corallina officinalis</i> (참산호말)	+	+	+	+
<i>C. pilulifera</i> (작은구슬산호말)	+	+	+	+
<i>Jania adhaerens</i> (덩이애기산호말)	+	+	+	

표 1. 계속

출 현 종	여름	가을	겨울	봄
<i>Marginisporium aberrans</i> (방황계발혹)		+	+	+
<i>M. crassissima</i> (둘레계발혹)		+	+	
<i>Carpopeltis affinis</i> (까막살)	+	+	+	+
<i>Sinkoraena lancifolia</i> (털지누아리)	+			
<i>Grateloupia filicina</i> (참지누아리)		+	+	+
<i>G. prolongata</i> (개지누아리)	+			
<i>G. sparsa</i> (명주지누아리)	+			+
<i>G. turuturu</i> (미끌지누아리)			+	+
<i>G. acuminata</i> (지누아리사촌)	+	+		
<i>G. elliptica</i> (참도박)	+	+	+	+
<i>Pachymeniopsis lanceolata</i> (개도박)		+	+	
<i>Gloiopeltis complanata</i> (애기풀가사리)	+		+	+
<i>G. furcata</i> (불등풀가사리)	+		+	+
<i>G. tenax</i> (참풀가사리)	+	+	+	+
<i>Callophyllis adhaerens</i> (좁은붉은잎)	+			+
<i>C. japonica</i> (벚붉은잎)	+	+		
<i>Cruoriopsis japonica</i> (고동옷)	+	+	+	+
<i>Caulacanthus okamurae</i> (애기가시덤불)	+	+	+	+
<i>Plocamium telfairiae</i> (참곱슬이)		+	+	
<i>Plocamium</i> sp.				+
<i>Hypnea charoides</i> (참가시우무)		+	+	
<i>Gracilaria textorii</i> (앞꼬시래기)	+	+	+	+
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> (부챗살)			+	+
<i>Chondrus ocellatus</i> (진두발)	+	+	+	+
<i>Chondracanthus tenellus</i> (돌가사리)	+	+	+	+
<i>Chondracanthus intermedia</i> (애기돌가사리)	+		+	+
<i>Chrysomenia wrightii</i> (누른끈적이)		+		+
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)	+	+	+	+
<i>L. hakodatensis</i> (애기마디잘록이)		+	+	+
<i>Champia parvula</i> (참사슬풀)	+	+		
<i>Antithamnion nipponicum</i> (참깃풀)			+	+
<i>Campylaephora hypnaeoides</i> (석목)	+		+	+

표 1. 계속

출 현 종	여름	가을	겨울	봄
<i>Ceramium japonicum</i> (비단풀사촌)	+		+	+
<i>C. boydenii</i> (단박)	+	+		+
<i>C. tenerrimum</i> (털비단풀)	+		+	
<i>Griffithsia japonica</i> (왜비단잘록이)	+			
<i>Microcladia elegans</i> (미크로클라디아)	+			
<i>Acrosorium polyneurum</i> (잔금분홍잎)	+	+	+	
<i>A. venulosum</i> (갈고리분홍잎)	+	+	+	+
<i>A. yendoi</i> (누은분홍잎)	+	+	+	+
<i>Erythroglossum minimum</i> (꼬마붉은혀)	+			+
<i>Phycodrys fimbriata</i> (바다참나무잎)	+			+
<i>Dasya villosa</i> (털다지다홍풀)		+		+
<i>Heterosiphonia japonica</i> (엇가지풀)	+	+	+	+
<i>H. pulchra</i> (털엇가지풀)	+	+	+	
<i>Digenea simplex</i> (해인초)	+			
<i>Chondria crassicaulis</i> (개서실)	+	+	+	+
<i>Laurencia hamata</i> (갈고리서실)	+			
<i>L. intermedia</i> (검은서실)		+	+	+
<i>L. okamurae</i> (쌍발이서실)	+	+	+	+
<i>L. pinnata</i> (깃꼴서실)	+	+	+	
<i>Leveillea jungermannioides</i> (반달타래)	+			
<i>Neorhodomela aculeata</i> (새빨간검둥이)	+	+	+	+
<i>Polysiphonia japonica</i> (떨기나무꼴폴리시포니아)	+			
<i>P. morrowii</i> (모로우붉은실)		+	+	+
<i>Polysiphonia</i> sp. (붉은실류)	+		+	
<i>Symphyocladia latiuscula</i> (참보라색우무)	+	+	+	+
Spermatophyta(현화식물)				
<i>Phyllospadix iwatensis</i> (말잘피)	+	+	+	+
합 계	81	66	71	74

(3) 수직분포 및 생물량

(가) 수직분포

해조류 출현종의 중요도(importance value)를 기준으로 높은 피도와 생물량을 보이는 종을 우점종으로 선택하는 것이 적절함으로(Barbour et al. 1987; Koh 1990), 중요도로 본 정자도 조간대의 수직분포는 여름철 상부에서 모란갈파래와 지충이였으며, 중부에서는 모란갈파래와 구멍갈파래가 하부에서는 우뚝가사리와 구멍갈파래가 우점하여 나타났다. 중요도(IV)로 본 여름철 정자도의 우점종은 구멍갈파래(14.39)였고 준우점종은 모란갈파래, 툫, 우뚝가사리와 지충이었다. 가을철 조간대 상부의 우점종은 애기가시덤불이었으며, 중부에서는 개서실이, 하부에서는 작은구슬산호말이 주요종으로 확인되었다. 가을철 조간대 암반에서 우점종은 작은구슬산호말이었고 준우점종은 개서실과 애기가시덤불이었다(표 2). 조간대 상부에서는 겨울에 구멍갈파래와 지충이가 번무하였고 중부에서는 지충이와 툫이, 하부에서는 참도박과 붉은실류가 우점하였다. 겨울철 우점종은 지충이였고 준우점종은 툫, 애기돌가사리와 구멍갈파래였다. 봄철의 조간대 상부에서는 풀가사리와 구멍갈파래가 주요종이었으며, 중부에서는 툫이 하부에서는 참도박과 진두발이 우점하였다. 봄에 우점하는 해조류는 중요도가 21.13인 툫이었고 풀가사리, 구멍갈파래와 작은구슬산호말이 준우점하는 종이었다.

(나) 생물량

정자도 조간대 해안에 서식하는 해조류의 연평균 생물량(습중량)은 $1254.27\text{g}/\text{m}^2$ 였고 계절별 생물량은 $819.62\text{-}1516.71\text{g}/\text{m}^2$ 로서 가을에 최소였고 봄에 최대였다.

여름철 생물량은 $1274.75\text{g}/\text{m}^2$ 로서 툫($330.58\text{g}/\text{m}^2$)과 구멍갈파래($263.85\text{g}/\text{m}^2$)가 전체 생물량의 46.63%를 차지하였으며 조위별 생물량은 $385.82\text{-}2363.83\text{g}/\text{m}^2$ 로 조간대 상부에서 최소였고 하부에서 최대였다. 가을에 평균 생물량은 $819.62\text{g}/\text{m}^2$ 이었으며, 지충이($340.59\text{g}/\text{m}^2$)가 전체 생물량의 41.55%를 차지하였고 조위별 생물량은 $756.29\text{-}927.51\text{g}/\text{m}^2$ 로 하부에서 최소이고 상부에서 최대였다(그림 6). 겨울철 생물량은 $1,406.00\text{g}/\text{m}^2$ 로 지충이($616.89\text{g}/\text{m}^2$)와 애기돌가사리($236.49\text{g}/\text{m}^2$)가 전체 생물량의 60.70%를 차지하는 주요종이었다. 겨울철의 조위별 생물량은 $711.76\text{-}2059.59\text{g}/\text{m}^2$ 로 하부에서 최소였고 중부에서 최대였다. 봄철의 생물량은 $1,516.71\text{g}/\text{m}^2$ 였으며, 툫($623.58\text{g}/\text{m}^2$)이 전체 생물량의 41.14%를 차지하는 우점종이었다. 조위별 생물량은

484.53-2631.72g/m²로 조간대 상부에서 최소였고 하부에서 최대였다. 정자도의 조간대의 생물량을 구성하는 주요종은 여름에는 톳, 구멍갈파래와 지렁이였고, 가을에는 지렁이와 작은구슬산호말, 겨울에는 지렁이와 애기돌가사리였고, 봄에는 톳과 도박으로 나타났다(표 2).

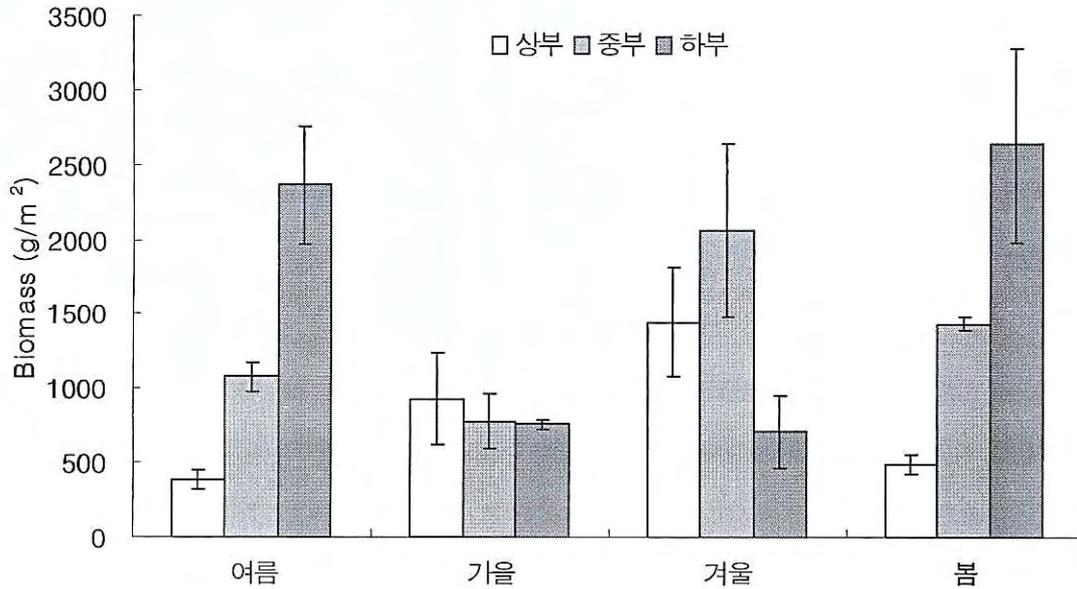


그림 6. 정자도의 조간대 조위별 계절적 생물량

표 2. 정자도의 계절별 해조류의 빈도, 피도, 상대빈도, 상대피도, 중요도 및 생물량(g wet wt./m²)의 변동 양상

계절	종 명	빈도	피도	상대빈도	상대피도	중요도	생물량(g/m ²)
여름	구멍갈파래	21.33	6.33	14.88	13.89	14.39	263.85
	모란갈파래	16.44	5.31	11.47	11.65	11.56	56.93
	툫	10.67	4.77	7.44	10.46	8.95	330.58
	우뭇가사리	8.44	5.47	5.89	12.00	8.95	39.12
	지층이	14.22	3.52	9.92	7.72	8.82	244.58
	애기돌가사리	11.11	1.75	7.75	3.84	5.79	15.56
	바위수염	8.89	2.38	6.20	5.21	5.71	28.65
	불등풀가사리	8.44	2.17	5.89	4.75	5.32	3.90
	작은구슬산호말	6.22	2.63	4.34	5.76	5.05	0.91
	기타	37.56	11.27	26.20	24.72	25.46	290.65
	Total	143.33	45.60	100.00	100.00	100.00	1274.75
가을	작은구슬산호말	31.11	15.59	18.03	27.27	22.65	115.20
	개서실	34.22	8.57	19.83	14.99	17.41	79.64
	애기가시덤불	19.56	10.00	11.33	17.50	14.41	21.05
	지층이	16.00	3.40	9.27	5.94	7.61	340.59
	우뭇가사리	13.33	3.92	7.73	6.87	7.30	45.85
	툫	12.44	1.65	7.21	2.88	5.05	11.73
	기타	45.89	14.04	26.59	24.57	25.58	137.04
	Total	172.56	57.17	100.00	100.00	100.00	546.41
겨울	지층이	11.56	24.89	21.28	14.11	17.69	616.89
	툫	6.88	16.89	12.65	9.57	11.11	162.29
	애기돌가사리	5.98	18.22	11.01	10.33	10.67	236.49
	구멍갈파래	6.08	17.78	11.20	10.08	10.64	50.05
	붉은실 류.	4.71	6.67	8.67	3.78	6.22	+
	참도박	4.04	8.44	7.44	4.79	6.11	98.69
	불등풀가사리	2.94	10.67	5.41	6.05	5.73	63.87
	우뭇가사리	3.15	8.44	5.79	4.79	5.29	70.79
	기타	8.99	64.44	16.55	36.52	26.54	71.29
Total	54.33	176.44	100.00	100.00	100.00	93.34	
봄	툫	31.11	7.40	16.91	25.35	21.13	623.58
	풀가사리	25.78	3.52	14.01	12.07	13.04	105.54
	구멍갈파래	24.89	2.00	13.53	6.86	10.19	110.46
	작은구슬산호말	12.44	3.58	6.76	12.28	9.52	19.93
	진두발	15.56	2.73	8.45	9.36	8.90	104.99
	도박	16.00	2.65	8.70	9.07	8.88	235.38
	지층이	14.22	1.88	7.73	6.43	7.08	87.89
	우뭇가사리	8.00	1.83	4.35	6.29	5.32	95.65
	기타	36.00	3.59	19.57	12.30	15.93	88.86
Total	184.00	29.18	100.00	100.00	100.00	1011.14	

중요도>5

생물량과 중요도로 볼 때, 석목은 정자도 해조상을 구성하는 주요종은 아니지만, 본 연구과제의 대상종인 석목의 서식수심은 최 간조시 수심 1m에서 관찰되었으며 착생하는 해조류는 갈조류의 팽생이모자반(*Sargassum horneri*)과 참산말(*Desmarestia ligulata*)이었으며, 조수웅덩이에 서식하는 우뚝가사리(*Gelidium amansii*) 등의 엽체에도 착생하였다. 따라서, 석목은 착생 해조류를 선택하는 기질 특이성이 없는 것으로 확인되었다.

2. 생식·생리학적 연구

가. 석목의 생식기구 구명

1) 재료 및 방법

석목의 생식기구 구명을 위해 장흥에 이식한 석목을 채집하여 현장에서 포르말린-해수용액(4-5%)으로 고정하고 실험실로 운반하여 현미경으로 생식상태를 관찰하였다. 석목 조체를 월별로 채집하여 개체별 성숙 유무를 현미경 하에서 파악하였으며 성숙한 개체의 낭과 및 사분포자탁은 외부형태와 해부학적 식별형질을 조사하고, 자동사진촬영장치 (Nikon DS-Fi1)를 써서 사진으로 기록하였다.

2) 결과 및 고찰

사분포자체는 배우체와는 달리 체장이 크며 사분포자낭은 가지의 피층에 불규칙하게 분포되어 있다. 사분포자낭은 삼각추형으로 분열하고 직경이 100-120 μm 이다. 석목의 성숙한 웅성배우체의 피층 세포들은 엽홍체를 잃고, 조정기모세포로 분화한다. 조정기가 형성된 웅성배우체는 체장이 1cm 정도로 작고, 낫모양의 고리가 없으며, 규칙적인 차상분지를 한다. 낭과는 가지의 측면에 생기는 짧은 가지의 끝에 형성되고, 구형이며 직경이 550-750 μm 이고, 6-7개의 총포사로 둘러싸여 보호된다.

나. 초기발생 및 생활사연구

1) 재료 및 방법

가) 퇴적물과 해수유동 및 광이 석목 초기발생에 미치는 영향

본 연구를 위해 전남 보길도(34° 08'N, 126° 33'E)의 툯 양식줄의 툯에 착생한 석목

사분포자체를 2008년 1월에 채집하여 현장의 해수와 함께 플라스틱병에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실에서 사분포자탁을 가진 성숙한 사분포자체를 여과해수(\varnothing 0.45 μ m)와 멸균해수로 수회 세척하여 조체에 착생한 규조류와 동물을 제거하였다. 실험을 위해서 조체에서 분리한 사분포자탁을 100ml의 PES배지(Provasoli, 1968)가 담긴 비이커에 넣어 15 $^{\circ}$ C, 20 μ molm⁻²s⁻¹ 및 16:8h L:D(Light:Dark)의 광주기로 세팅된 배양기에 넣어 사분포자 방출을 유도하였다. 사분포자의 방출은 48시간 이내에 일어났으며, 방출된 사분포자가 확인되면 사분포자탁은 비이커에서 제거한 후 비이커 바닥에 포자가 부착되도록 24시간 놓아둔 후에 실험에 사용되었다.

(1) 사분포자에 대한 퇴적물과 물의 유동의 영향

퇴적물과 해수유동이 석목포자의 생존과 생장에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 충남 서천군의 다사리 해변에서 퇴적물(sediment)을 채취하여 표준망체(\varnothing 44 μ m)로 여과하여 망을 통과한 입자만을 모아 건조시킨 후, 550 $^{\circ}$ C의 화로(J-FM2, JISICO, Korea)에 30분 동안 넣어 퇴적물에 포함된 유기물질을 모두 제거하였다. 해수의 유동은 진탕배양기(shaking incubator)를 180rpm으로 회전시켜 만들었으며 대조구는 정지 배양되었다. 퇴적물(0, 5, 10, 20mg/cm²)은 5ml의 멸균해수에 넣어 Voltex로 균일하게 섞은 후 포자가 부착된 비이커 안에 있는 배양액(100ml)에 혼합하였다. 모든 실험조건에 3회 반복구를 두었으며, 배양 5일후 석목의 생존을 및 성장률을 측정하였다. 석목포자의 생존율은 포자가 부착된 비이커 바닥 외부에 6개의 원을 그려 표시한 후 배양 전(before)과 후(after)의 포자밀도를 실체현미경으로 검경하여 계산하였다. 석목포자의 상대 성장률은 방출된 포자의 크기와 배양 후의 배아 길이를 이용하여 계산하였다(Rueness and Tananger, 1984).

$$\text{상대성장률(Relative growth rate, RGR)} = (\ln P_2 - \ln P_1) / T_1 - T_2$$

여기서 P_1 과 P_2 는 각각 T_1 과 T_2 시간의 석목 포자의 길이를 의미한다.

(2) 사분포자에 대한 조도의 영향

석목포자의 생존과 생장에 있어 조도의 영향을 알아보기 위해, 방출된 사분포자를 슬라이드글라스에 부착시킨 후 30ml의 PES배지가 들어있는 페트리디쉬에 옮겨 다양한 조도(0, 5, 10, 20, 40, 80, 160 μ molm⁻²s⁻¹)에서 배양하였다. 이때, 배양기의 온도와

일장은 15℃와 16:8h L:D로 고정되었다. 배양액은 3일 간격으로 전량 교환되었으며 배양 7일후 생존한 포자의 수와 길이를 측정하였다. 석목포자의 생존율은 배양 전에 부착된 포자수와 7일후의 탈락 혹은 죽은(탈색) 포자수로 계산하였고 포자의 크기와 7일 후 배아 길이로 상대생장률을 구하였다.

(3) 암조건에서 사분포자의 생존율

방출된 사분포자가 부착된 슬라이드글라스와 30ml의 PES배양액이 들어있는 페트리디쉬 24개를 알루미늄 호일로 밀봉하여 15℃의 배양기에 넣어 놓고 2일 간격으로 3개의 페트리디쉬에 있는 석목포자의 생존율을 측정하였다. 석목포자의 원래색인 검붉은색을 유지한 것을 생존포자로, 탈색 혹은 탈락된 배아를 사망한 것으로 판단하여 배양 전 후의 포자밀도의 변화로 생존율을 계산하였다.

나) 생활사 확인

석목의 생활사를 알아보기 위해, 전남 완도군 보길도에서 2007년 12월 채집된 조체로부터 방출된 과포자를 슬라이드글라스에 부착시킨 후 30ml의 PES배지가 들어있는 페트리디쉬에 옮겨 예비실험에서 최대 생장이 일어나는 것으로 확인된 15℃, $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 및 16h의 일장에서 배양하면서 생활사를 확인하였다.

2) 결과 및 고찰

가) 퇴적물과 해수유동 및 광이 석목 초기발생에 미치는 영향

(1) 퇴적물과 해수유동의 영향

해수유동이 없는 정치배양 조건에서 퇴적물을 다양한 농도(0, 5, 10, 20mg/cm²)로 넣고 5일 배양한 후의 석목포자 생존율은 27.32-78.63%로 배양액에 공급된 퇴적물양이 증가됨에 따라 감소하는 경향을 보였다. 해수유동 조건에서도 정치배양과 같이 퇴적물양의 증가에 따라 생존율이 감소하여 15.66-82.69%의 값을 나타냈다(그림 7).

상대생장률은 정치배양조건에서 평균 0.215-0.290day⁻¹의 값을 나타내었으며, 해수유동조건에서 0.189-0.307day⁻¹을 보여 퇴적물의 증가와 함께 상대생장률의 감소가 확인되었으나 정치배양에서는 5mg/cm²의 퇴적물을 넣은 실험구에서 상대생장률의 급격한 감소가 일어났으며 해수유동 조건에서는 10mg/cm²의 퇴적물이 공급된

실험구에서 급격한 감소가 일어나 해수유동의 유무에 따라 상대성장률의 감소가 일어나는 구간의 차이가 확인되었다(그림 7).

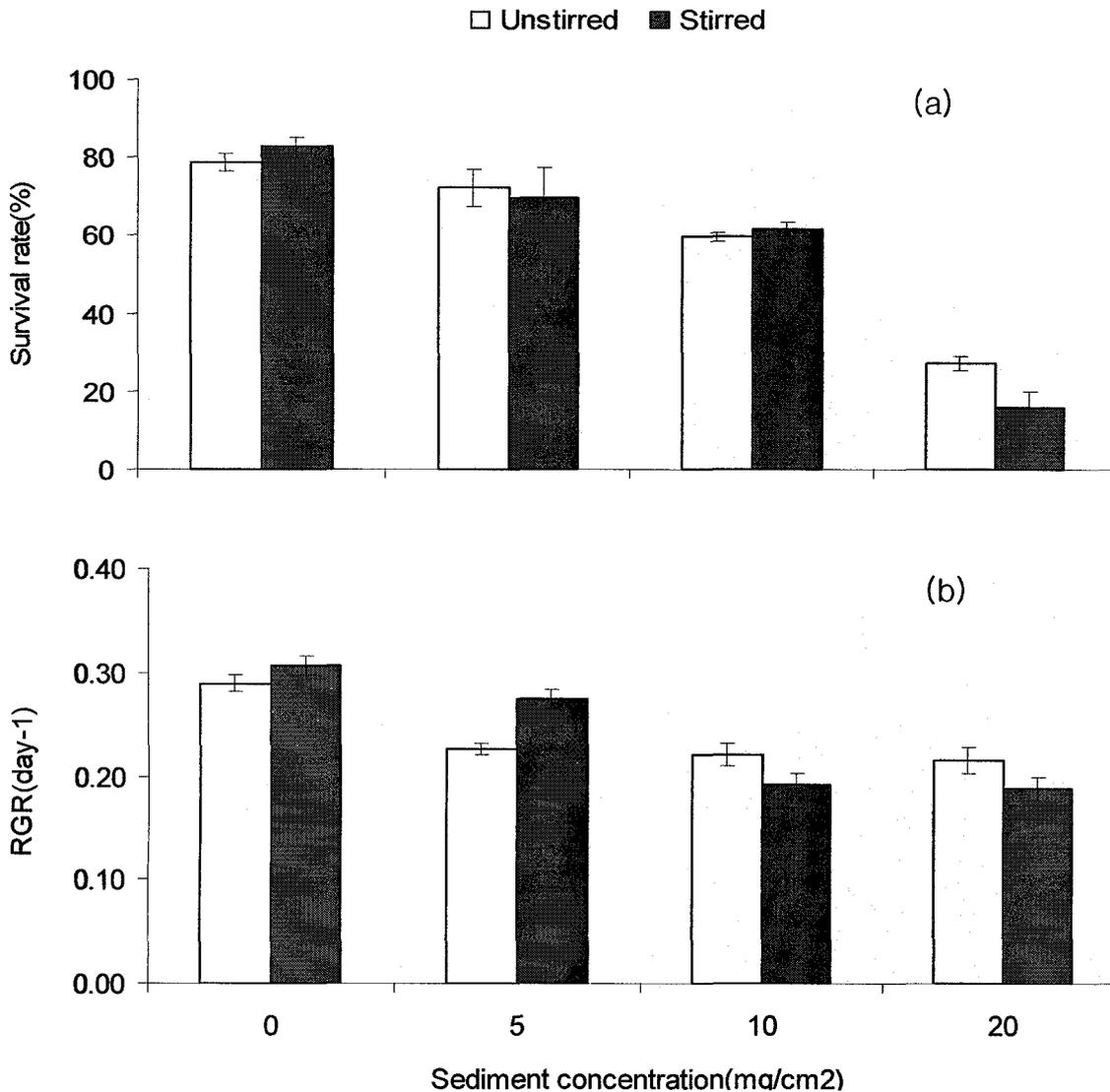


그림 7. 퇴적물의 농도와 물의 유동이 석목포자의 생존(a)과 성장(b)에 미치는 영향. 배양 5일 후에 측정된 자료임

(2) 성장을 위해 필요한 최적 광도

다양한 조도에서 7일간 배양한 석목의 과포자는 암조건에서 $71.66\mu\text{m}$ (지름)로 약간의 부피팽창이 일어났으나 발아되지는 않았다. 조도가 $5\text{-}10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 인 실험구에서 배아 길이는 평균 $82.16\text{-}82.54\mu\text{m}$ 였으며, $20\text{-}40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 성장률은 조도와 비례하는 경향을 보였으며, 성장을 위한 최적의 조도는 $40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였고 이때 상대성장률은 0.32day^{-1} 로 나타났다. 고조도인 $80\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상에서는 상대성장률이 급격히

감소(0.15day^{-1})하여 광억제(photoinhibition) 현상이 일어나는 것으로 확인되었다(그림 8).

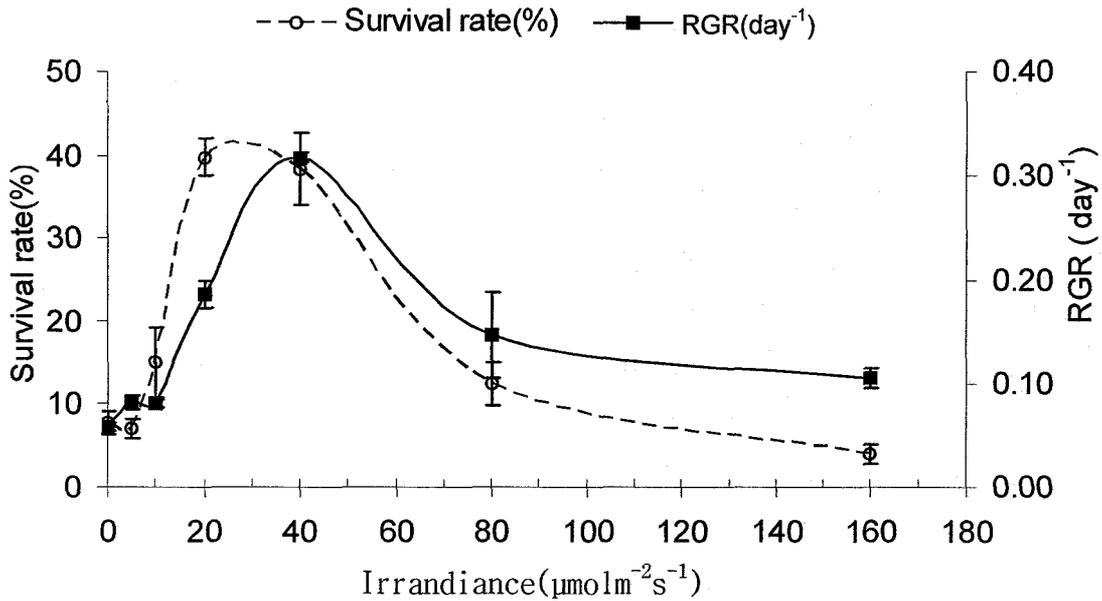


그림 8. 다양한 조도 실험구의 석목 생존율과 상대성장률. 배양 7일 후의 자료이며 막대는 표준에러(standard error)임.

(3) 암조건에서 포자 생존율

석목의 사분포자는 암조건에서 발아하지 않았으며, 접종 2일과 4일 후에 생존율은 67.80%와 64.42%로 비교적 높게 나타났으나 이후 탈색되고 사멸한 개체가 증가하였다. 포자의 배양 6일 후 생존율은 40.96%였고, 8일 후에는 11.75%로 급격한 감소하여 10일 후에는 단지 3.86%의 포자만이 생존하였다(그림 9). 접종 12일 후에는 관찰된 모든 포자가 탈색되어 있었다.

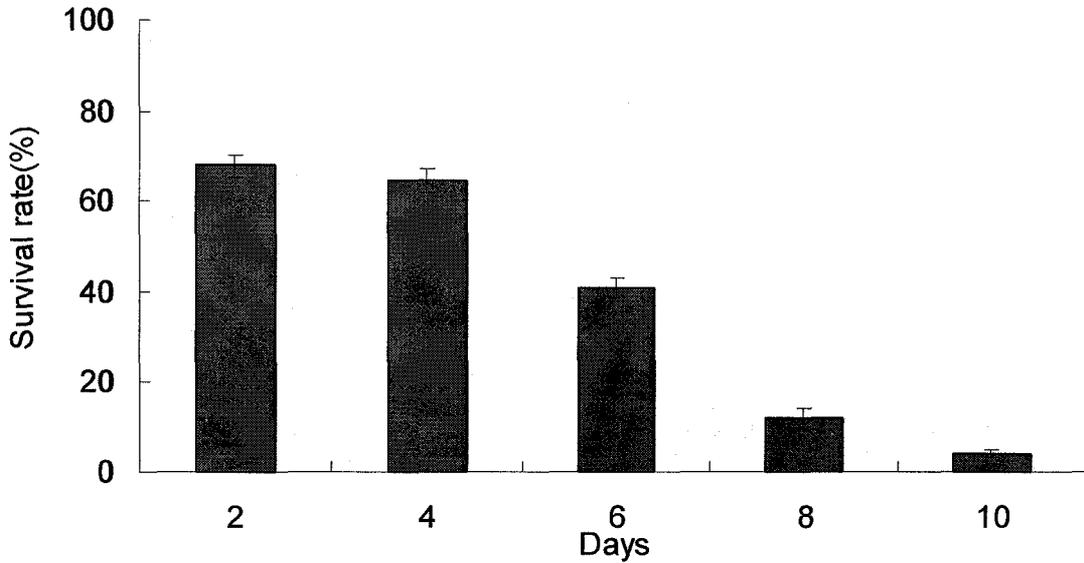


그림 9. 암조건에서 2일 간격으로 측정된 석목 포자의 평균 생존율(n=30 plants).

나) 생활사 확인

석목의 과포자체로부터 방출된 과포자의 크기(diameter)는 34.41-57.35 μ m의 범위를 나타냈으며, 포자의 평균 크기는 50.47 μ m(n=30)였다 (Fig. 10A). 슬라이드글라스에 부착된 과포자는 24시간 내에 세포분열을 시작하였다(Fig. 10B). 발아 초기에 원반형 부착기를 형성하였다(Fig. 10C), 배양 17일 후 원반형 부착기는 사라지고 6개의 가근이 형성되었으며(Fig. 10d), 약 35일 후 사분포자체는 사분포자탁을 형성하였다(Fig. 10E-F). 사분포자탁을 가진 사분포자체의 길이는 2.86-8.63mm(평균 4.41mm), 분지수는 1-7개(평균 3.75개)로 나타났다. 사분포자탁 형성 3일후 사분포자가 방출되었으며 사분포자의 초기 발아와 발생은 과포자와 유사하였다. 사분포자는 발아 및 성장하여 약 36일 후 조체의 길이가 3.00-6.57mm(평균 4.57mm)이고 분지수가 1-7개(평균 3.77개)일때 수정모를 갖은 조과기(Fig. 10G)와 정자낭지(Fig. 4H)가 발달되어 수정이 이루어졌으며 암배우체의 정단부에 낭과를 형성하였다(Fig. 10I). 낭과 형성 3일 후 과포자를 방출함으로 *Polysiphonia*형 생활사를 2-3개월에 걸쳐 완료 하였다(Fig 10A-I).

다양한 환경조건에서 배양을 통해 환경요인이 석목의 성숙에 미치는 영향을 관찰하였다. 석목의 과포자가 성장하여 최초로 사분포자탁이 형성된 조건은 25 $^{\circ}$ C에서 배양 30일후에 일어났으며 온도의 감소와 함께 점점 늦어져 20 $^{\circ}$ C에서 배양 32일후, 15 $^{\circ}$ C에서 35일후에 사분포자탁이 관찰되었으며 각각 2~3일후 사분포자를 방출하였다.

10℃에서는 배양 40일 경과 후에도 사분포자탁이 형성되지 않았다. 일장에 따른 성숙에서는 24h(장일조건)의 조도 40, $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 배양21일 후 사분포자탁이 형성되었으며 $10\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 이보다 하루 늦게 사분포자탁이 관찰되었다. 배양 36일 경과 후 16h조건인 조도 40, $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 사분포자탁이 형성되었으며 $10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 사분포자탁의 형성이 관찰되지 않았다. 단일조건(8h, 12h)에서는 배양 40일 경과 후에도 모든 조도에서 사분포자탁의 형성이 관찰되지 않았다(표 1).

석묵의 사분포자가 성장하여 최초로 낭과가 형성된 실험구는 25℃에서 22일 후에 일어났으며, 낮은 온도에서 점차 늦어져 20℃에서는 배양 26일 후에, 15℃에서는 29일 후에 낭과가 관찰되었으며 2~3일후 사분포자가 방출되었다. 10℃에서는 배양 40일이 경과된 후에도 낭과가 형성되지 않았다. 일장에 따른 성숙에서는 연속광(24h)의 모든 조도에서 배양 22일 후에 사분포자탁이 형성되었고, 16h의 40과 $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 배양 29일 후에 낭과가 관찰되었으나, $10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 사분포자탁 형성과 마찬가지로 낭과의 형성이 일어나지 않았다. 단일조건(8h, 12h)에서는 배양 40일이 경과된 후에도 모든 실험조도에서 낭과가 관찰되지 않았다(표 2).

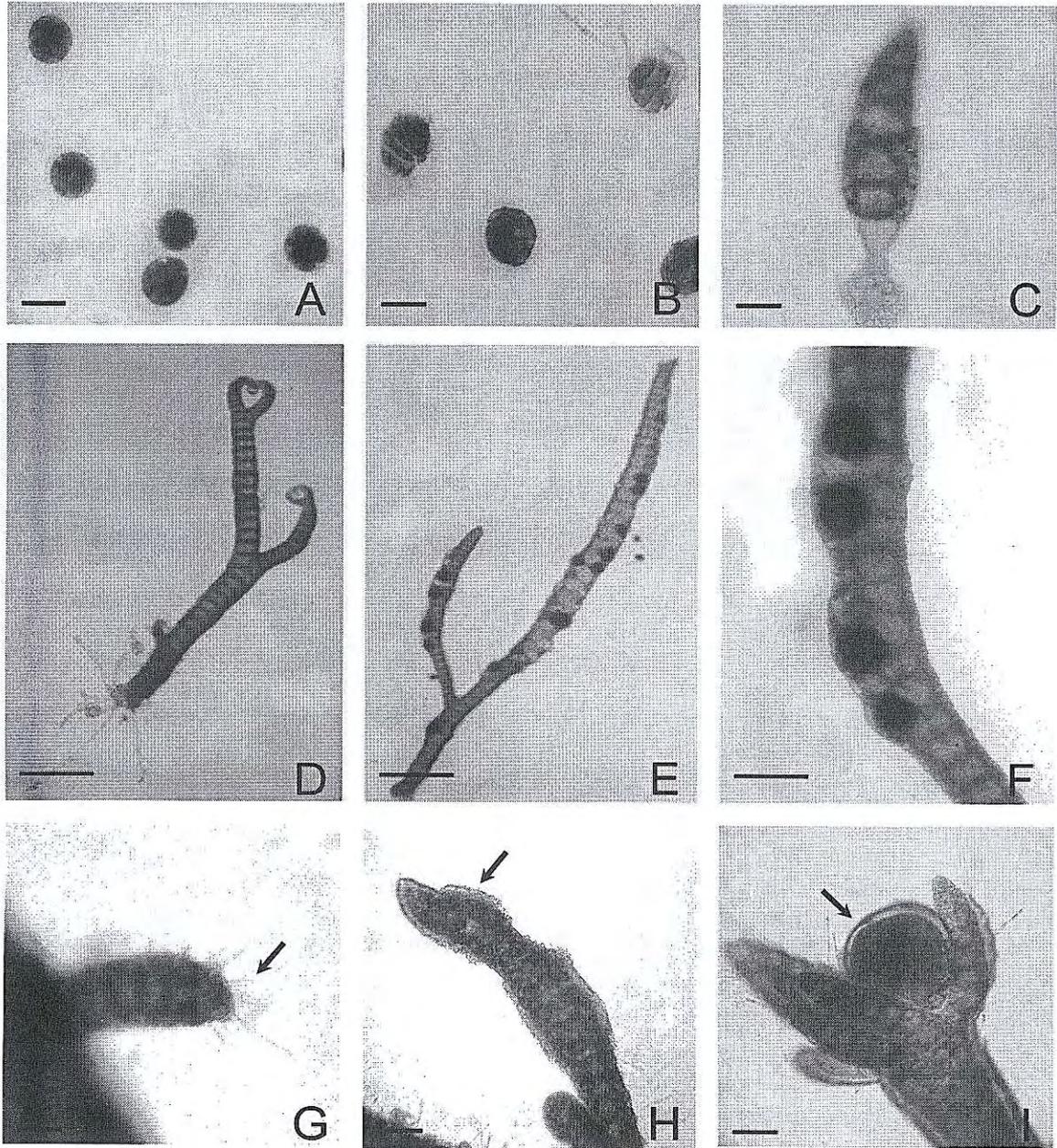


그림 10. 석묵의 배양(A, 부착된 과포자; B, 과포자의 분화; C, 원반형 가근을 가진 배아; D, 어린 사분포자체; E, 사분포자탁을 가진 사분포자체; F, 사분포자탁의 확대; G, 조과기. 화살표는 수정모임; H, 정자낭의 정단부(화살표); I, 낭과(화살표)를 가진 자성체. 크기 막대는 50 μ m(A, B, C, G, H and I), 300 μ m(D and E) and 100 μ m(F).

다. 생장 및 성숙의 최적조건 탐색 및 제한요인 탐색

1) 재료 및 방법

본 연구를 위해 전남 보길도(34° 08'N, 126° 33'E)의 톳 양식줄의 톳에 착생한 석묵의 과포자체를 2006년 12월에 사분포자체를 2007년 6월에 각각 채집하여 현장에서 해수와 함께 샘플병에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실에서 낭과와 사분포자탁을 가진 성숙한 과포자체와 사분포자체를 여과해수(\varnothing 0.45 μ m)와 멸균해수로 수회 세척하여 조체에 착생한 규조류와 미세동물을 제거하였다. 조체에서 분리한 낭과와 사분포자탁을 슬라이드글라스 조각(20 × 20mm)과 100ml의 PES배지(Provasoli, 1968)가 담긴 비이커에 넣어 15°C와 20 μ mol m⁻²s⁻¹ 및 16:8h L:D(Light:Dark)의 광주기로 세팅된 배양기에서 배양하면서 포자방출을 유도하였고 포자는 접종 후 48시간 이내에 방출되었다. 포자 방출을 확인 후 낭과와 사분포자탁을 가진 조체는 비이커에서 제거되었고 포자가 슬라이드글라스 조각의 표면에 부착되도록 24시간 방치한 후 사분포자와 과포자가 부착한 슬라이드글라스 조각을 30ml의 PES배지가 들어있는 페트리디쉬에 옮겨 다양한 조도(0, 20, 40 μ molm⁻²s⁻¹) × 일장(8, 12, 16, 24h)과 온도(10, 15, 25, 25°C)에서 14일간 배양하면서 조건별 성장반응을 비교하였으며 지속적인 배양을 통해 성숙에 미치는 환경조건의 영향을 확인하고 생활사를 추적하였다. 석묵포자의 상대성장률은 방출된 포자의 크기와 배양후의 배아 길이를 이용하여 계산되었다(Rueness and Tananger, 1984).

$$\text{상대성장률(Relative growth rate, RGR)} = (\ln P_{t2} - \ln P_{t1}) / T_2 - T_1$$

여기서 P_{t1} 과 P_{t2} 는 각각 T_1 과 T_2 시간의 석묵 포자의 길이를 의미한다.

2) 결과 및 고찰

(가) 과포자의 생장

(1) 일장, 조도에 따른 생장

조도와 일장에 따른 석묵 과포자의 성장률은 연속광인 24h 일장에서 최대였으며, 조도별 평균 성장률은 0.28-0.30day⁻¹이었고, 20 μ molm⁻²s⁻¹에서 최대였으며 10 μ molm⁻²s⁻¹에서 최소였다. 장일조건(16h)에서의 성장률은 0.20-0.25day⁻¹로서 20 μ molm⁻²s⁻¹에서 최대였으며, 12h와 8h조건에서 상대성장률은 각각 0.18-0.23day⁻¹과 0.15-0.23day⁻¹을 보였으나 장일조건(16h, 24h)과는 다르게 40 μ molm⁻²s⁻¹에서 최대 상대성장률을 보였고 조도의 감소에 따라 성장률도 감소하였다(그림 11).

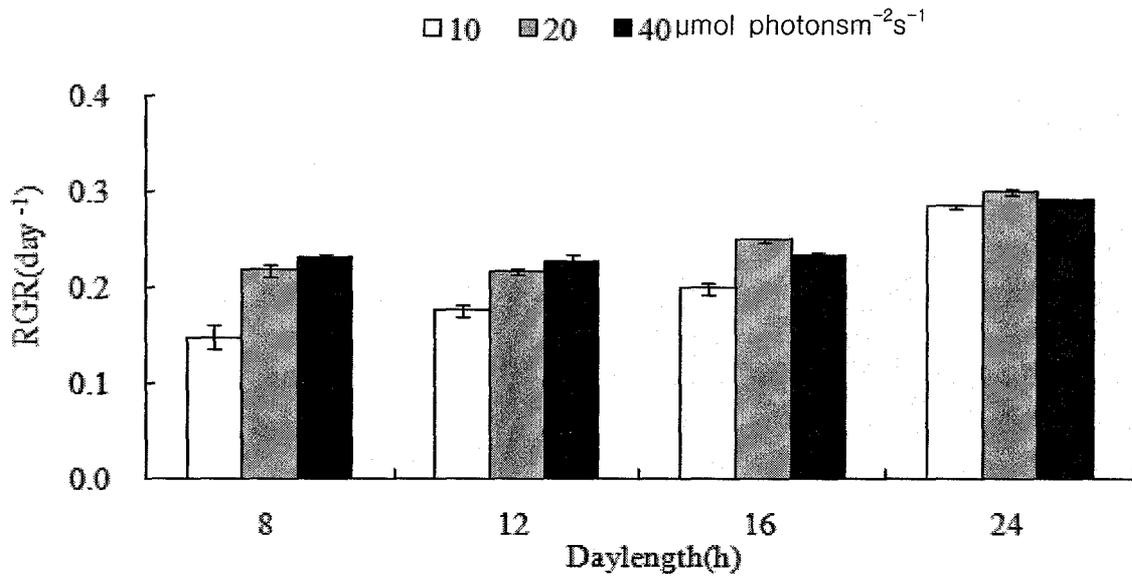


그림 11. 다양한 일장과 조도에 따른 석목 과포자의 생장

다양한 온도에서 석목 과포자를 14일 동안 배양한 후 그들의 생장을 비교한 결과, 과포자의 생장은 25°C에서 최대였으며 상대생장률은 0.32day⁻¹로 나타났다. 과포자의 생장은 배양 온도가 낮아지면 점차 감소하는 경향을 나타내어 20°C와 15°C에서 각각 0.27day⁻¹과 0.23day⁻¹이었으며, 10°C에서 0.17day⁻¹로 최소였다(그림 12).

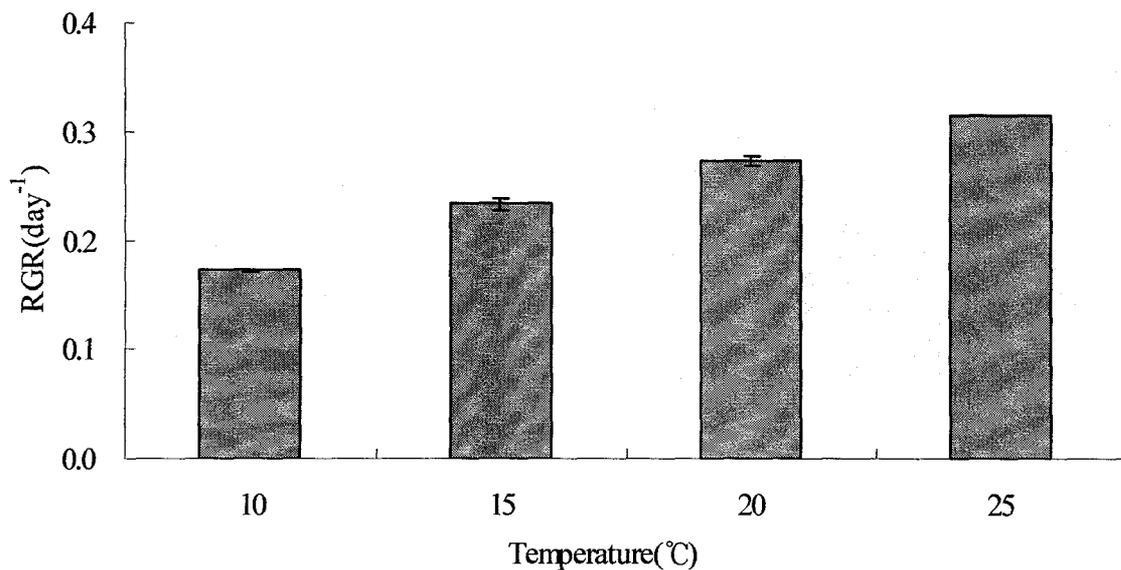


그림 12. 온도에 따른 석목 과포자의 생장

(나) 사분포자의 생장

석목 사분포자는 일장에 따른 생장은 연속광(24h)에서 가장 좋았으며, 24h 일장에서 조도별 생장률은 0.28-0.29day⁻¹로서, 40 μ molm⁻²s⁻¹에서 최대였고 조도가 감소됨에 따라 생장도 지연되어 20 μ molm⁻²s⁻¹에서 0.29day⁻¹를, 10 μ molm⁻²s⁻¹에서 0.28day⁻¹을 보였다. 일장 16h에서 생장률은 0.26-0.27day⁻¹을 나타냈으며, 24h 일장에서와 마찬가지로 낮은 조도에서 생장이 지연되었다. 12h와 8h의 일장에서는 각각 0.24-0.26day⁻¹와 0.21-0.26day⁻¹의 상대 생장률을 나타내었으며 장일조건(24h, 16h)과 마찬가지로 40 μ molm⁻²s⁻¹에서 최대 생장을 보였으며 10 μ molm⁻²s⁻¹에서 최저였다. 장일 조건인 24h와 16h의 경우, 조도에 따른 생장의 차이가 크지 않았으며 단일조건인 12h와 8h에서는 생장에 차이가 있었다(그림 13).

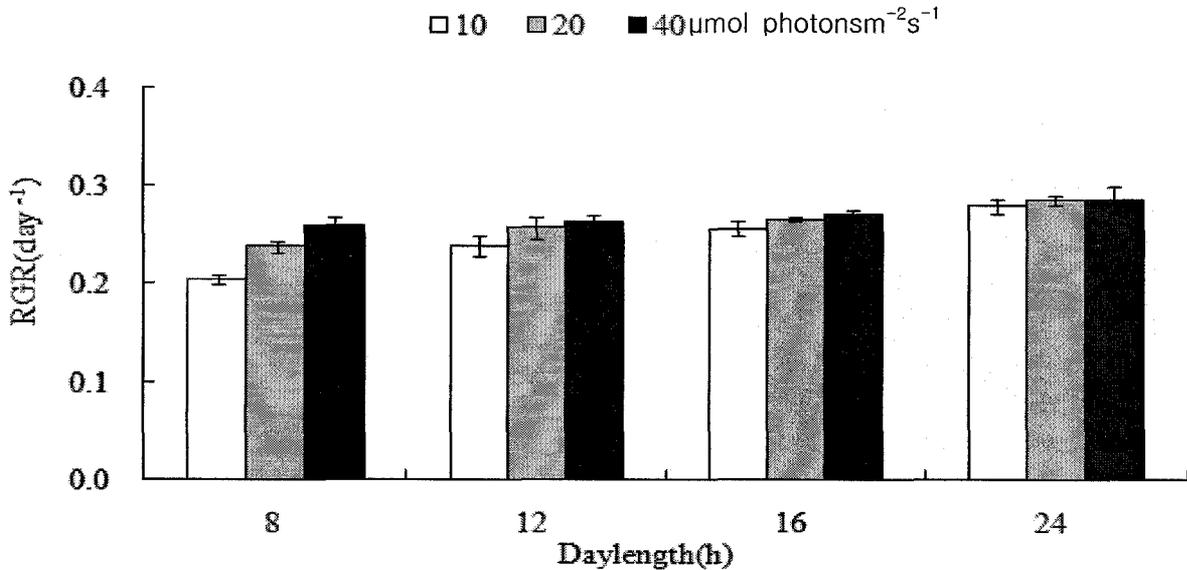


그림 13. 다양한 일장과 조도에 따른 석목 과포자의 상대생장률

석목의 사분포자를 다양한 온도와 염분에서 배양한 결과, 최대 생장은 20℃의 35%에서 일어났으며 상대생장률은 0.29day⁻¹로 나타났다. 10℃에서 염분별 생장률은 0.16-0.24day⁻¹였으며 일반적인 해수의 염분인 35%에서 최대였으며 해수의 염분이 낮을수록 사분포자의 생장은 감소하여 15%에서 최소값(0.16day⁻¹)을 나타냈다. 15℃와 20℃에서 상대생장률은 각각 0.19-0.27day⁻¹과 0.21-0.29day⁻¹범위로 나타났으며 10℃와 마찬가지로 35%에서 최대였고 저염분인 15%에서 최소였다(그림 14). 25℃에서 생장률은 0.22-0.28day⁻¹로 다른 온도에서와 다르게 25%에서 최대를 나타내었으며 35%에서 0.27day⁻¹을, 15%에서 0.22day⁻¹를 나타내어

고온과 고염분에서 생장억제가 일어난 것을 확인하였다.

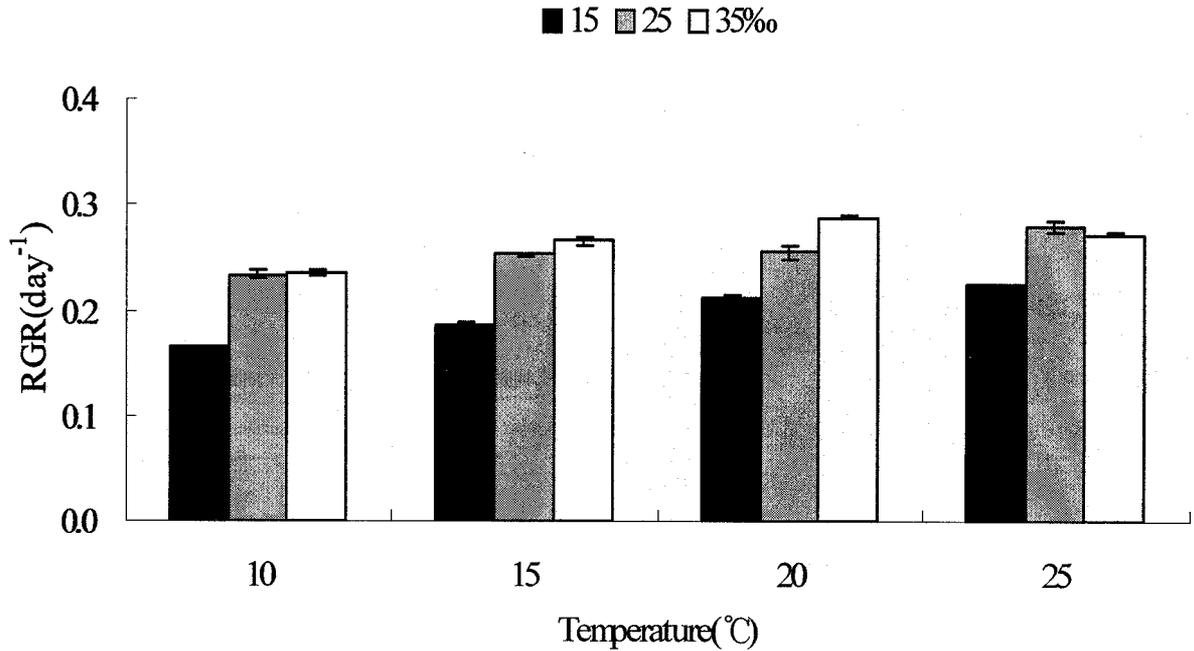


그림 14. 온도와 염분에 따른 석목 과포자의 상대생장률

3. 지역개체군의 계절적 소장 및 생장, 성숙의 생활주기 파악

가. 재료 및 방법

지역에 따른 석목의 계절적 소장 및 생장과 성숙에 대한 생활주기(생물계절학적 특징)를 알아보기 위해 완도군 보길도에서 석목이 부착한 톳 친승줄(100m)을 해남(2007년 1월)과 장흥(2007년과 2008년 1월)에 이식한 후 3 지역(완도, 해남, 장흥)의 석목을 매월 30개체를 무작위로 선택하여 조체의 길이, 무게 및 갈고리수를 측정하고 생식상태를 확인하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 해남, 완도, 장흥 석목의 생식상태

완도에서 해남으로 이식된 석목은 조사가 시작된 2월에 낭과를 가진 자성체가 나타났으며 점차 비율이 증가하여 4월에 자성체가 최대로 출현하였으며 5월에 포자방출 및 수온상승과 함께 자성체의 출현비율이 감소하는 것으로 나타났다. 사분포자체는 3월에 처음으로 출현하였으며 4-6월까지 시간이 경과되면서 출현비율이 증가하였으며 7월에는 석목의 조체가 사라졌다(그림 15).

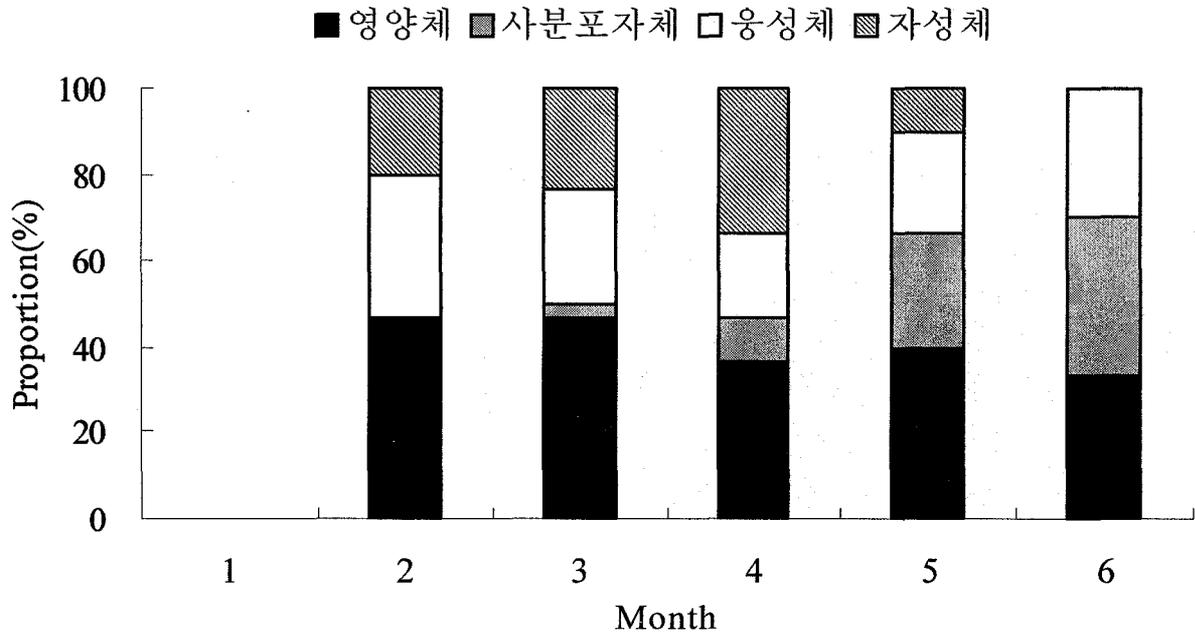


그림 15. 2007년 해남에 이식된 석목의 월별 생식상태

완도의 톿 친승줄의 톿에 부착한 석목은 10-11월부터 생장하기 시작하여 12월과 1월부터 낭과를 가진 자성체가 출현하기 시작하였다. 채집장소의 특성상 기상여건 및 접근의 어려움으로 인하여 채집이 수행되지 못한 경우도 발생하였다. 톿에 부착한 석목에서 자성체의 비율은 4-5월이 되면서 감소하였고 응성체와 사분포자체는 증가하는 경향을 보였다. 7월 조사 시 석목의 조체는 사라져 발견할 수 없었으며, 다시 11월에 석목의 조체가 발견되었다. 발견된 석목의 자성체의 비율은 11월에 비교적 높은 값을 나타냈으나 12월과 2008년 1월에는 급격한 감소가 일어났으며 3월에는 발견되지 않았다. 이와 다르게 사분포자체는 12월에 출현 비율이 최대였으며 1월-4월이 되며 감소하는 경향을 나타냈다(그림 16).

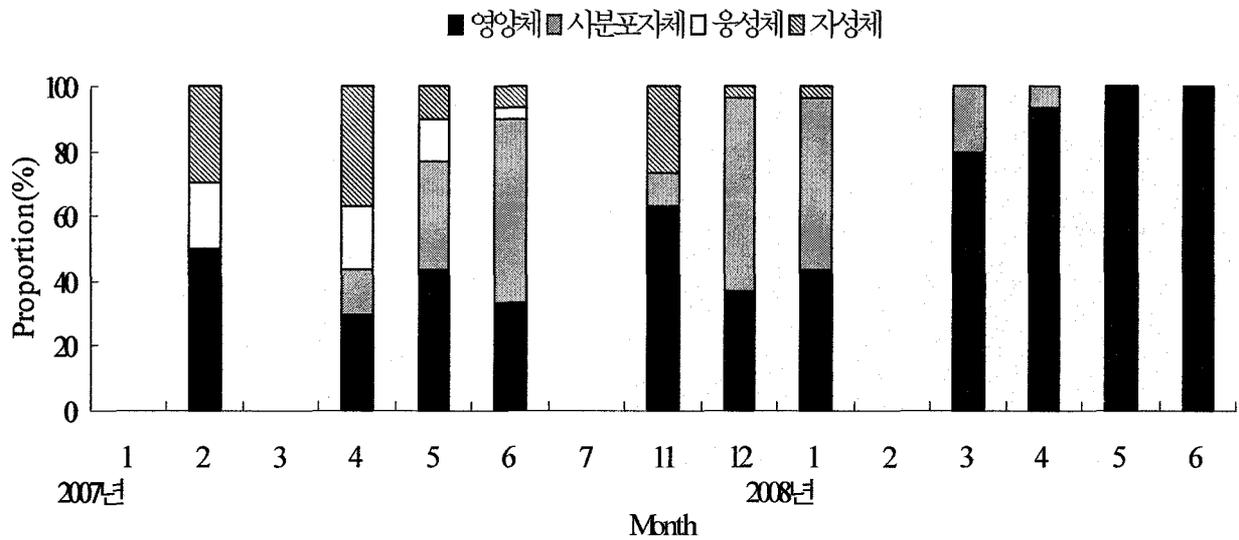


그림 16. 2007년과 2008년에 완도군 보길도의 툯 친송줄에 서식하는 석목의 생식상태

장흥 이회진에 이식된 툯 양성줄에서 채집한 석목의 생식상을 보면, 자성체는 2007년 2-3월에 증가하였으며, 4월과 5월에 상대적인 출현비율이 감소하였다(그림 17). 사분포자체는 자성체가 최대로 나타난 3월에 처음 출현하여 4월-6월에 증가되어 6월에 최대였다. 7월에는 다른 지역과 마찬가지로 툯 양성줄에서 석목이 발견되지 않았다. 이후 2008년 1월에 보길도에서 새로 이식한 석목에서는 1월에 자성체가 출현하였으나 2월에는 발견되지 않았고, 사분포자체는 1월에서 2월로 시간이 경과하면서 출현비율이 증가하여 2월에 최대로 출현한 후 3월에서 5월로 가며 점차 감소하였고 6월에는 미성숙 조체만이 확인되었고 7월에는 석목이 사라졌다(그림 18).

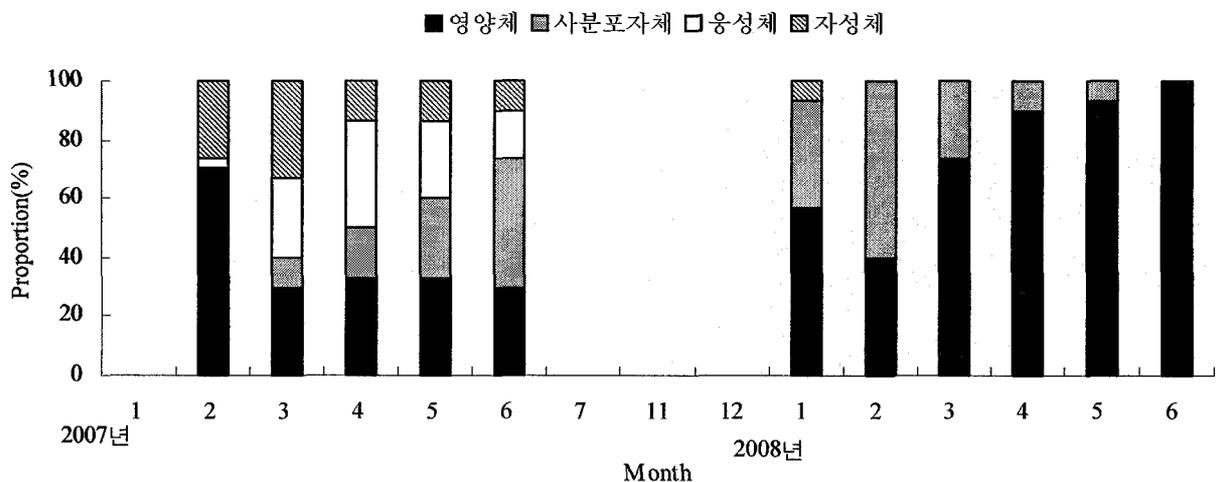


그림 17. 2007년과 2008년에 장흥군에 이식된 석목의 생식상태

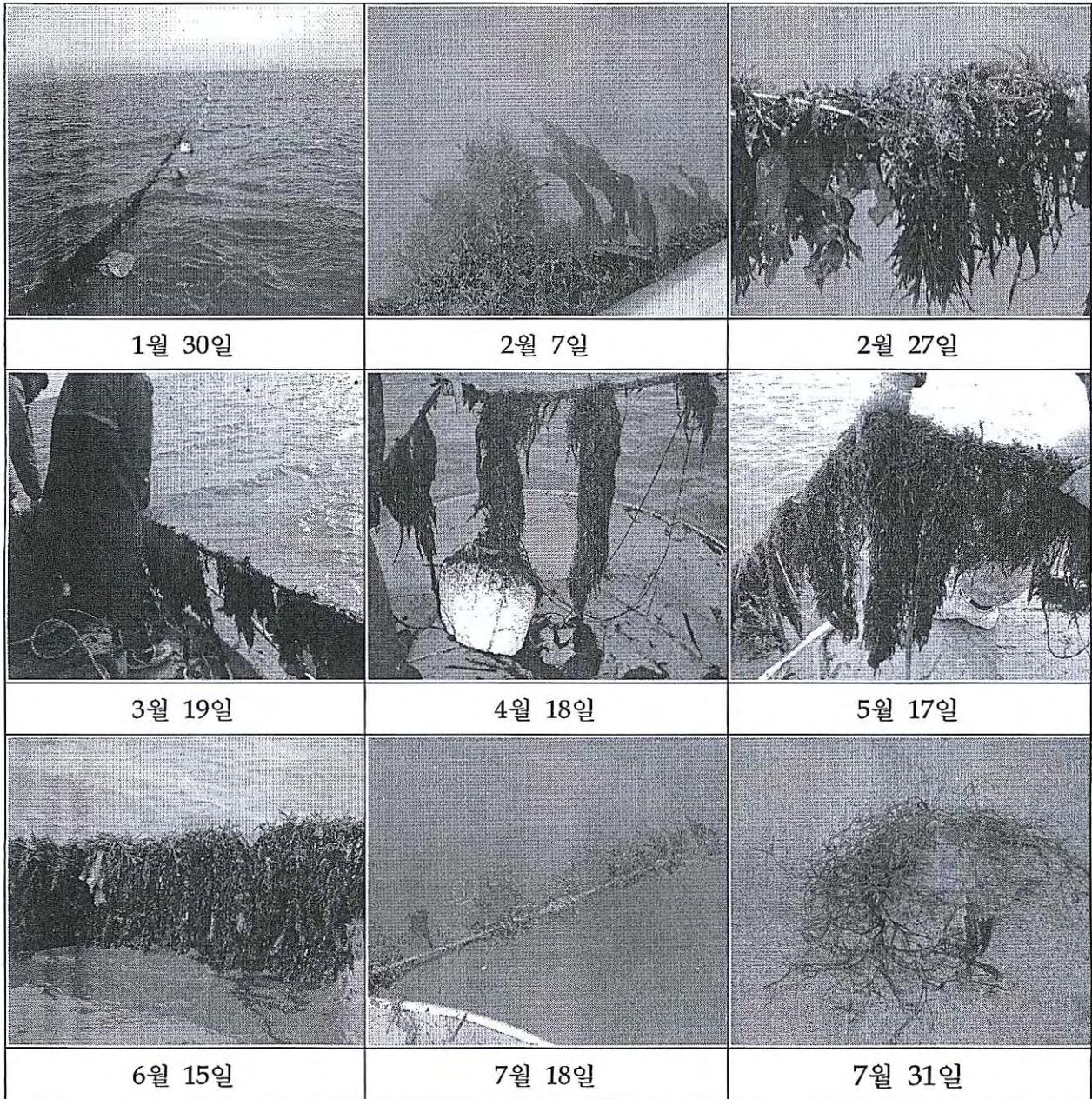


그림 18. 완도에서 장흥과 해남으로 이식된 톳 친승줄에 부착된 석목의 생물계절학

2) 조체의 길이, 무게, 갈고리 수 변화 파악

완도군 보길도의 툫 양성줄에 서식하는 석목을 월별로 채집하여 조체의 길이, 갈고리수와 건중량을 측정한 결과, 조체의 체장은 8.51-13.96cm였고 2006년 1월에 최소였다. 2월에 석목의 체장은 10.6cm로 증가되었다가 3월 이후에 점차 감소하는 패턴을 보였으며 6월에는 사라졌다. 2006년 11월에 수온의 하강과 함께 석목은 다시 출현하였으며 이때 체장은 9.73cm였고 12월에 12.02cm까지 생장한 후 점차 감소되어 2007년 1월에서 5월까지의 체장(9.28-10.37cm)의 변화가 거의 없었으나 6월에 13.96cm로 최대로 생장했고 7월에는 조체가 사라졌다. 2006년과 마찬가지로 2007년 11월에 석목은 다시 발견되었으며 이때의 체장은 10.43cm였으며 1월까지 13.64cm로 생장하였고 이후 감소하여 5월에는 10.06cm였다. 개체별 갈고리수는 3.90-18.27개로 2006년 12월에 최대였고 2007년 5월에 최소였다. 2006년과 2007년에 갈고리 수는 11월과 12월에 최대값을 보인 후 3월과 4월에 점차 감소하였다가 6월에 다시 증가한 후 소멸되었다. 조체별 건중량은 15.99-72.54mg으로 2006년 1월에 최저를, 12월에 최대였으며, 월별 석목 개체의 건중량의 변화는 갈고리수의 변화와 유사하였다(그림 19).

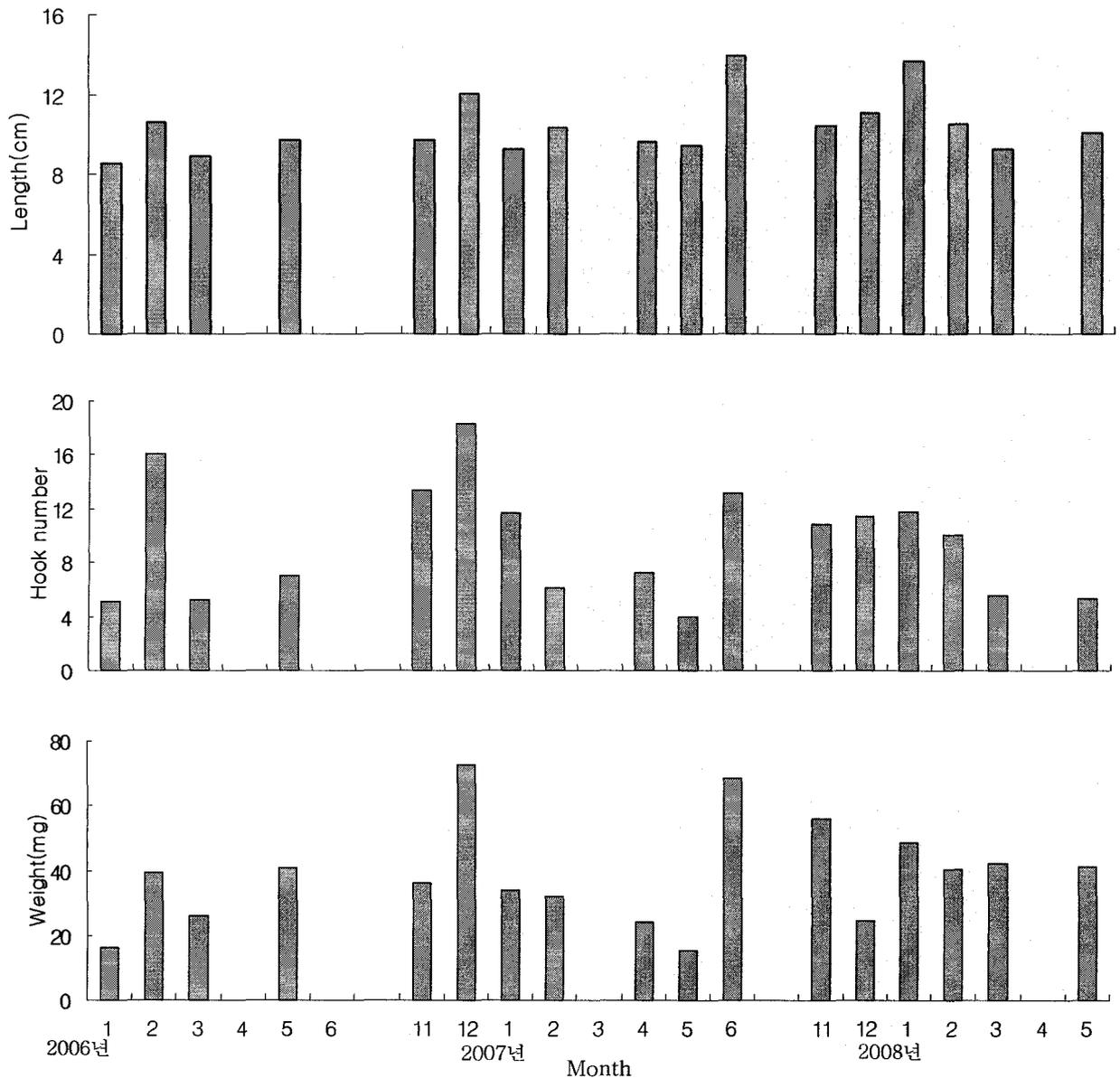


그림 19. 완도군 보길도 석묵의 개체별 체장, 무게와 갈고리수의 월별 변화(n=30)

장흥에 이식된 석묵의 체장은 7.26-11.95cm였으며, 2008년 1월에 최대였고 2008년 5월에 최소였으며, 체장에 대한 월별 변화는 뚜렷하지 않았다. 장흥 석묵의 갈고리수는 2.17-14.70개로 체장과 마찬가지로 2008년 1월에 최대였고 2008년 5월에 최소였다. 개체별 갈고리수는 2006년과 2008년 조사에서 1월 이후 5월과 6월까지 지속적으로 증가하였으나 2007년에는 이전의 결과와 다르게 2월부터 6월까지 지속적으로 감소하였다. 조체별 건중량은 21.63-76.40mg으로 2007년 6월에 최소였고, 2008년 1월에 최대를 나타냈으며, 월별 변화는 갈고리수의 변화와 유사하였다(그림 20).

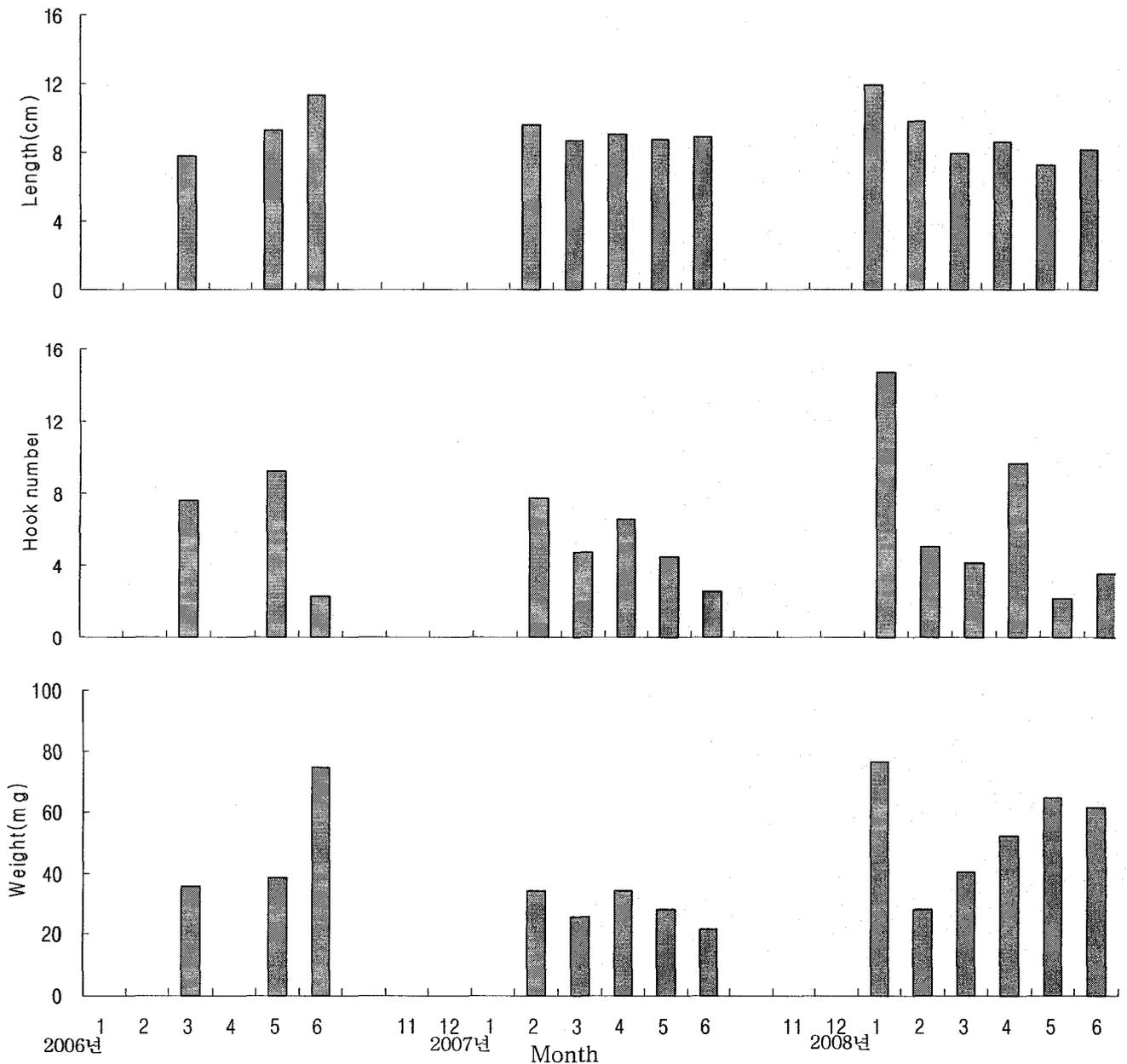


그림 20. 장흥에 이식된 석묵의 개체별 체장, 건중량 및 갈고리수의 변화(n=30)

해남에 이식된 석묵의 체장은 8.20-11.24cm로 2007년 5월에 최대였고 2006년 2월 최소였다. 조체별 갈고리 수는 2.27-16.07개로 확인되었고 2006년 2월에 최대였고 2007년 6월에 최소였다. 갈고리수의 월별 변화를 보면, 2월-3월과 5월-6월에 증가와 감소가 반복되는 패턴을 보였다. 조체별 건중량은 23.47-113.37mg으로 2007년 5월에 최저였고 2006년 5월에 최대였으며, 갈고리수와 유사한 월별 변화를 보였다(그림 21).

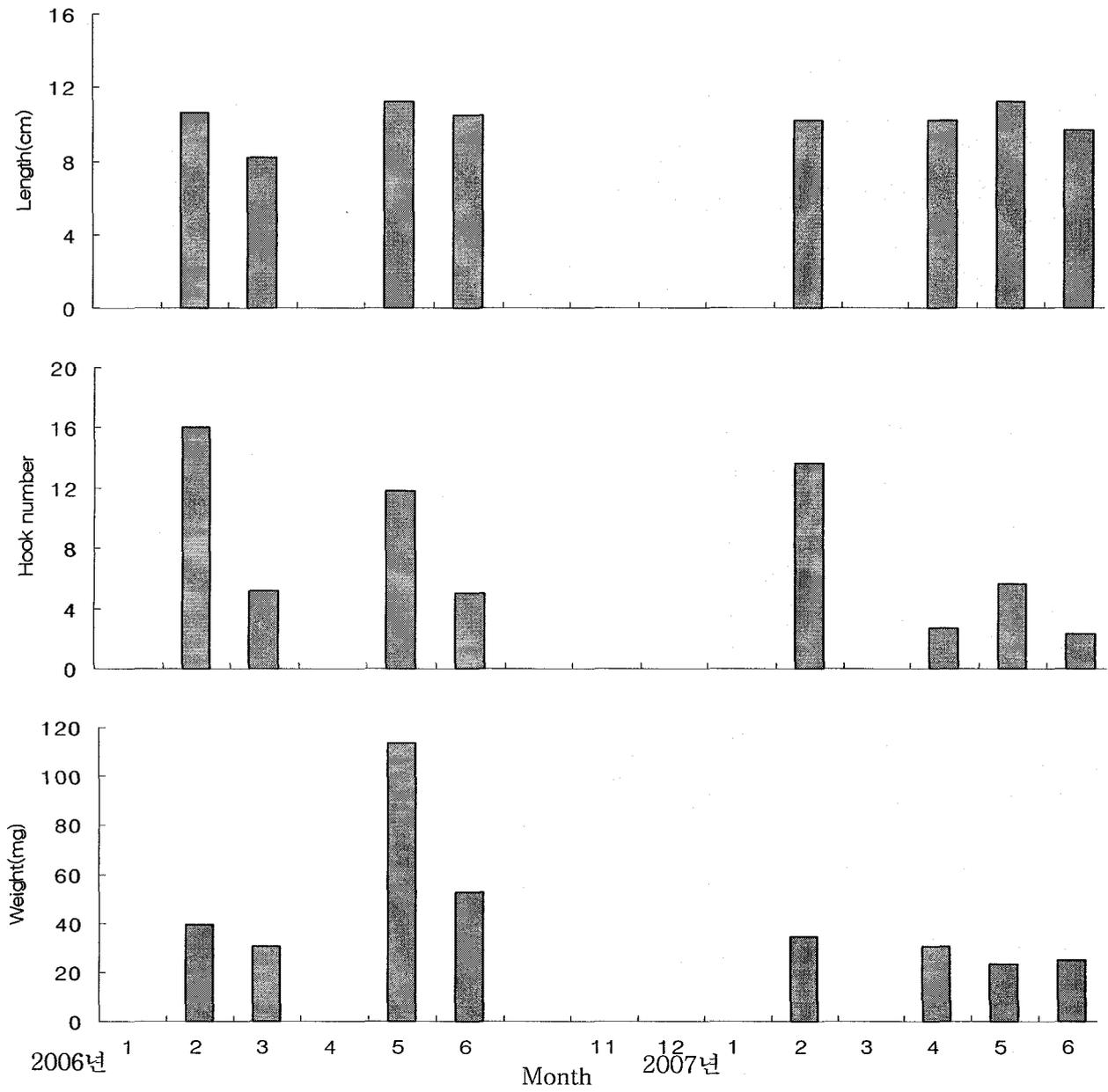


그림 21. 해남에 이식된 톳 친승줄에 부착된 석묵의 조체 길이, 무게와 갈고리수 변화(n=30)

제 2 절 석목의 채묘 및 인공종묘 생산의 기술 개발

1. 인공종묘생산

가. 실내에서의 포자방출유도

1) 재료 및 방법

석목의 포자방출 유도조건을 알아보기 위해 전남 보길도(34° 08'N, 126° 33'E)의 톳양식줄에 착생한 석목 과포자체를 2007년 12월에 채집하여 현장의 해수와 함께 샘플병에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실에서 낭과를 가진 성숙한 과포자체를 여과해수(\varnothing 0.45 μ m)와 멸균해수로 수회 세척하여 조체에 착생한 균조류와 동물을 제거하였다. 세척된 조체는 낭과를 포함한 2mm 길이로 잘라 10ml의 멸균해수가 담긴 디쉬에 10개씩 넣고 광조사, 광주기법(8, 12, 16, 24h), 건조후 침수법, 온도(10, 15, 20, 25°C) × 조도(10, 20, 40 μ molm⁻²s⁻¹)법, 담수 충격법 등을 이용하여 포자방출을 유도하였다. 건조 후 침수법의 경우 상온에서 습기가 있는 종이타올 위에 2분 동안 방치하여 건조 충격을 주었다. 배양 24시간 후에 방출된 포자의 수를 계수하고 배양용기를 교환하는 방법으로 3회(72시간) 측정하였으며 각 조건별로 3개의 반복구를 두었다.

2) 결과 및 고찰

가) 광 조사법 및 광주기법

광의 존재 유·무가 포자의 방출에 미치는 영향을 확인한 결과, 광이 없는 조건에서 방출된 포자는 하루에 45개였고, 광이 조사된 실험구에서는 하루에 평균 72-83개의 포자가 방출되어 석목의 포자방출은 광을 조사하는 방법이 효과적임을 확인하였다. 일장별로 하루에 방출된 포자의 수는 8h의 단일조건에서 평균 72개였고 12h에서 77개, 16h에서 79개, 24h에서 83개로 일장과 방출된 포자수는 비례하여 나타났다(그림 22).

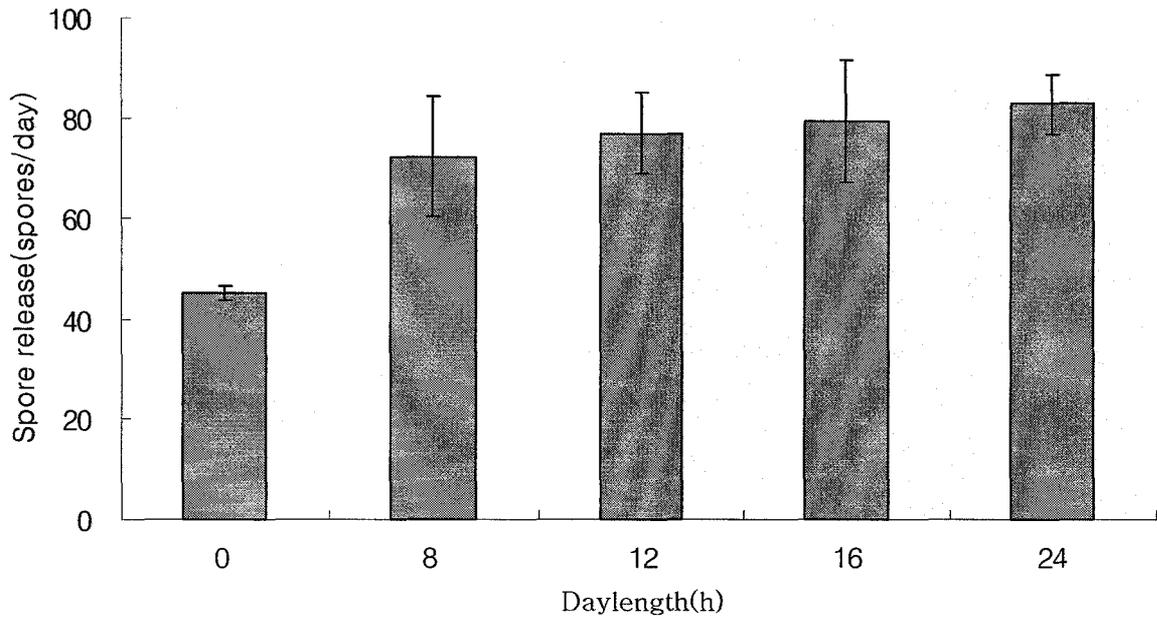


그림 22. 일장별 포자방출량

나) 건조 후 침수법

미역과 쇠미역과 같은 갈조류의 유주자 방출에 흔히 이용되는 방법인 건조 후 침수방법이 홍조류 석목의 포자방출에도 효과적인지를 확인하였다. 상온에서 2분 동안 대기에 노출한 후에 침수하여 일장별로 넣어둔 실험구에서 방출된 포자는 하루에 평균 5-8개였고 건조 없이 침수한 조체에서는 6개-23개의 포자가 방출되었다. 또한, 조체의 건조의 유·무에 관계없이 일장의 증가는 포자의 방출량의 증가를 나타냈다(그림 23).

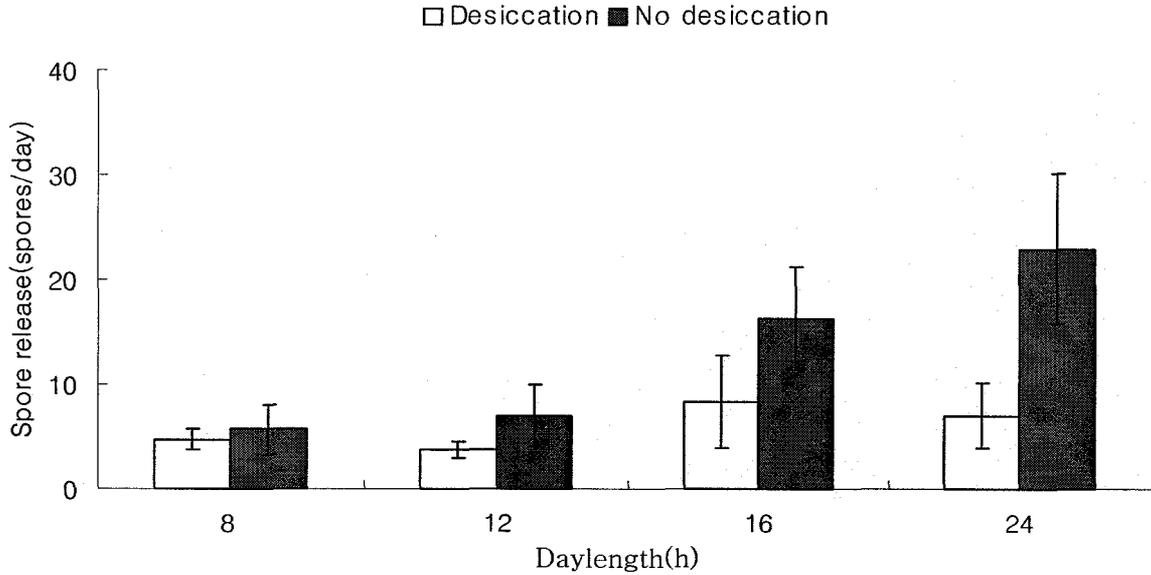


그림 23. 석목 조체의 건조 유·무가 포자 방출에 미치는 영향

라) 온도 X 조도법

온도와 조도의 조합 조건에서 하루에 방출된 석목의 포자수는 평균 1-75개였고 조도별로는 10℃에서 3-19개, 15℃에서 55-75개, 20℃에서 39-67개로 $10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대였고 $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최소였다. 25℃에서도 다른 온도와 마찬가지로 $10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대 방출량을 보였으나 $40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 급감하였다(그림 24). 따라서, 석목의 포자방출은 낮은 조도에서 주로 일어나며 적온은 15℃로 확인되었다.

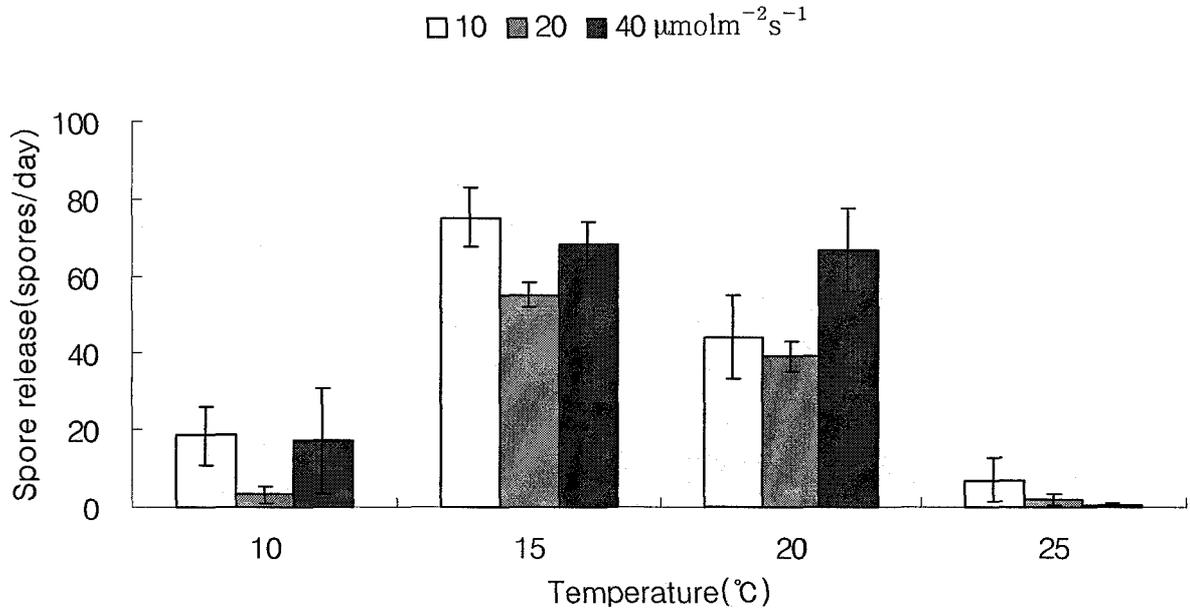


그림 24. 온도와 조도에 따른 포자방출량

나. 실내에서의 포자부착실험

1) 재료 및 방법

석목 양식을 위해 가장 적합한 부착 기질을 선택하기 위해서, 전남 장흥군 이회진에 이식된 석목을 2007년 5월에 채집하여 현장의 해수와 함께 샘플병에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실에서 성숙한 사분포자체를 선별하여 여과해수와 멸균해수로 수회 세척하여 조체에 착생한 규조류와 미세동물을 제거하였다. 석목의 사분포자체에서 사분포자락을 절단하여 다양한 기질(가리비 패각, 유리판, 거즈, 채묘줄, 모자반, 산말)과 100ml의 멸균해수가 들어있는 비이커에 넣어 15°C, 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 및 16h의 일장으로 세팅된 배양기에서 포자방출을 유도하였다. 사분포자가 방출된 후 사분포자락은 제거되었고 포자가 기질에 부착할 수 있도록 24시간 방치한 후 배양하면서 기질별 생장을 관찰하였다.

2) 결과 및 고찰

가) 기질별 포자 부착실험

석목 포자는 실험에 이용한 다양한 인공 및 자연기질에 무리 없이 부착되어 기질 특이성은 관찰되지 않았다(그림 25, 26). 따라서, 자연 상태에서 암반에 부착된 석목이

발견되지 않는 것은 석목의 포자가 자연 암반에 부착되었으나, 다양한 물리·화학적 원인에 의해 탈락 또는 사멸된 것으로 사료된다.

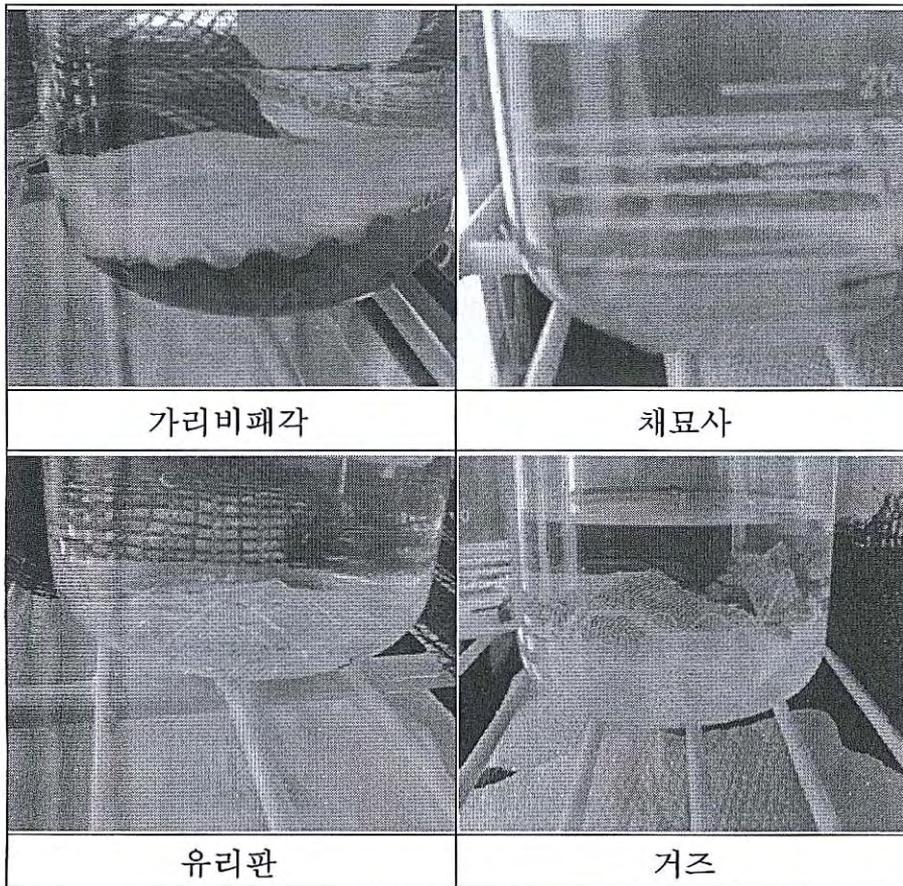


그림 25. 석목 포자의 기질별 부착 및 성장한 배아

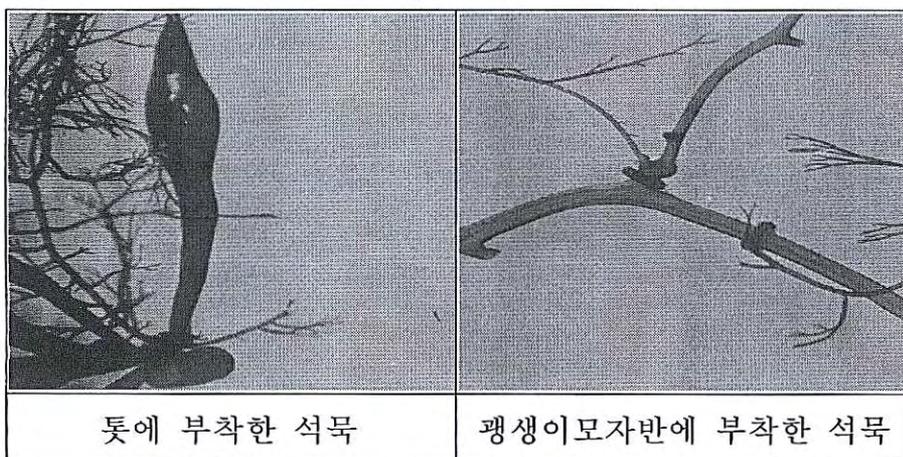


그림 26. 다른 해조류인 톃과 괡생이모자반에 부착한 석목

나) 기질별 부착기형성 및 성장관찰

석목의 배아는 기질에 따라 다른 형태의 부착기를 형성하였다. 예를 들면, 가리비와 유리에 부착한 배아는 원반형 부착기를 생성하였고(그림 27a-b), 거즈와 채묘사에 부착한 배아는 2개 이상의 사상형의 가근을 만드는 것이 관찰되었다(그림 27c-d). 석목의 포자는 부착기질의 종류에 따라 부착기의 형태를 다르게 함으로써 부착을 유리하게 하는 것으로 여겨진다. 기질별 배아의 성장 실험을 수행하는 중에 오염이 발생되어 성장에 대한 정량적 자료는 확보하지 못하였으나 배아의 부착 밀도가 낮고 영양분 공급이 용이한 채묘사에서 생장이 좋았다.

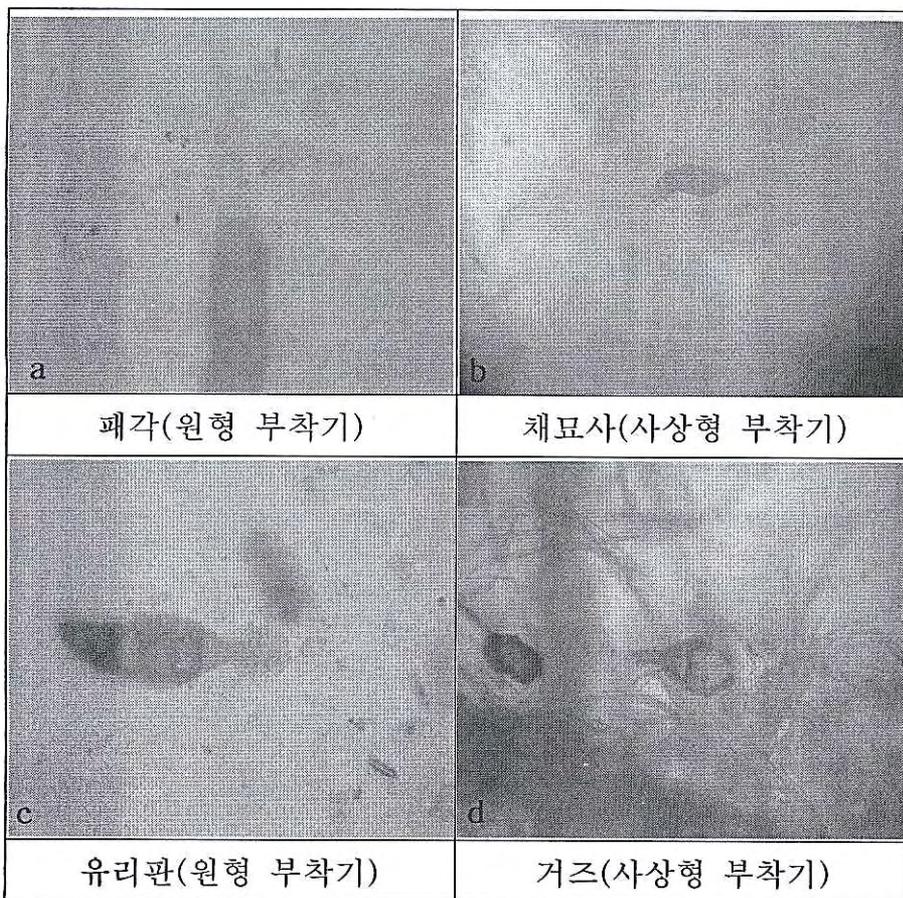


그림 27. 석목 배아의 기질별 부착기 형태

2. 인공채묘 실시 및 채묘관리

가. 배양장에서 다량의 포자방출 유도

1) 재료 및 방법

석목의 채묘를 위해 보길도 툫 친승줄에 부착된 석목의 과포자체를 12월에 채집하여 다양한 방법(음건, 저염분, 고온, 고온해수 및 음건 후 광조사법)을 이용하여 포자를 방출 받았으며, 포자방출 유도의 최적 조건은 2시간 음건 후 광조사법으로 판명되었다(그림 28). 또한, 과포자와 사분포자의 채묘를 위해 배양장에서 다양한 방법으로 채묘를 실시하였다.

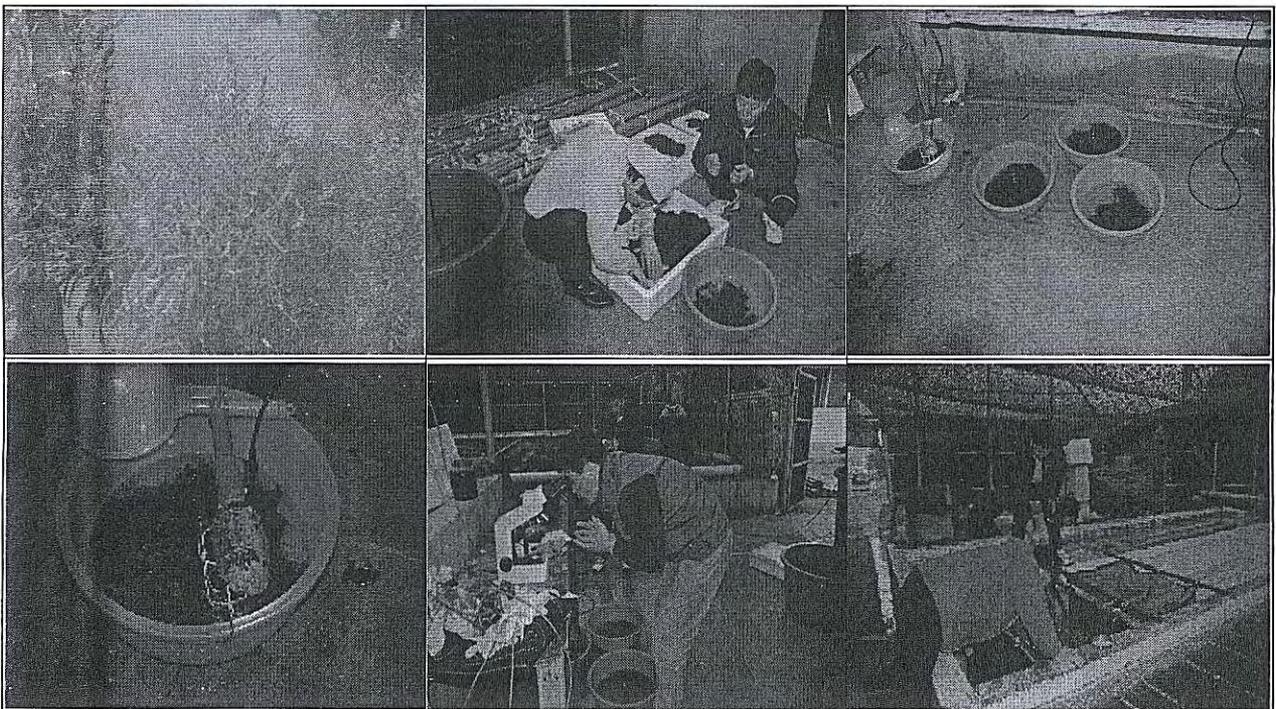


그림 28. 과포자의 채묘과정(성숙한 과포자체, 성숙과포자체 선별, 다양한 포자방출유도, 포자방출확인)

2) 결과 및 고찰

석목의 과포자와 사분포자를 종사들에 부착시키기 위해 아래 그림 29와 같이 다양한 방법으로 채묘를 실시하였다. 야외에서 채집한 성숙한 낭과와 사분포자탁을 가진 석목을 바구니에 담고 아래에 채묘틀을 놓고 우수식의 형태로 채묘하는 방법과 채묘틀의 종사줄 사이에 성숙한 석목을 직접 끼워 넣어 포자 부착을 유도하는 방법을 사용하였다.

또한, 사분포자의 방출을 유도하여 사분포자 현탁액(spore suspension)을 채묘틀 위에 부어 채묘를 실시하기도 하였으며, 부착을 위해 채묘를 실시한 1주일 후에 현미경하에서 관찰한 결과 석목 포자가 채묘틀에 부착하여 채묘가 되었음을 확인 할 수 있었다(그림 29).

플라스틱 파판과 굴껍질을 기질로 사용하여 사분포자와 과포자를 부착시켰으나, 유수식 상태에서 부착된 포자는 탈락되었다. 하지만, 채묘사의 경우에는 포자가 채묘사가 꼬인 틈새에 들어가 부착하였으며, 유수식 관리에서 탈락률이 낮았다. 따라서 종사줄은 석목의 포자를 부착시키기 위한 기질로서 적절하다는 것을 확인하였다.



그림 29. 배양장에서 석목의 과포자 및 사분포자 방출 유도 및 채묘

나. 배양장에서의 인공 종묘관리

1) 재료 및 방법

석묵의 포자의 부착이 확인된 채묘틀(20개)은 배양장에서 유수식으로 관리되었다 (그림 30). 채묘틀에 부유물이 침적되는 것을 방지하기 위해서 채묘틀은 수직으로 세워 관리하였으며, 채묘된 석묵의 배아는 4-5cm까지 성장하였다. 가이식을 하기 전에 배아가 채묘사에 잘 부착하도록 해수의 유속을 증가시켰다(그림 30).

2) 결과 및 고찰

가이식 실시 이전까지 석묵의 배아를 배양장에서 유수식 관리하여 그 성장을 관찰한 결과 채묘사에 부착한 석묵은 사상형 부착기를 형성하였고 관리 중에 약간의 탈락이 발생하였으나 비교적 양호한 성장을 보여 채묘 10일 후에 4-5cm로 성장하였다.



그림 30. 석묵 포자가 부착된 채묘틀 관리 및 성장

다. 야외 인공채묘 및 최적 채묘조건 탐색

1) 재료 및 방법

돛 양식줄에 돛에 부착하여 서식하는 석묵은 길이 성장한 돛이 파도에 의해 탈락될 때 함께 탈락하는 것이 관찰되었다. 또한, 인근하여 부착한 돛과 돛의 마찰로 석묵이 탈락됨으로써 다양한 방법(돛에 부착된 석묵 끼워 넣기, 꼬은 그물발에 석묵만 끼워 넣기)으로 석묵의 인공채묘를 실시하였다.

2) 결과 및 고찰

톳 친승줄에 톳에 부착된 석묵을 끼워 넣기는 방법에서는 톳과 함께 석묵의 생장이 매우 양호하였으나, 석묵이 부착할수 있는 표면적이 없어 탈락이 쉽게 발생하였다. 그물밭을 꼬아 만든 친승줄에 석묵만 끼어 넣은 방법에서는 톳 양성줄에 부착 면적이 넓어 톳친승줄에 비해 석묵의 부착이 매우 양호하였고 생산량도 증가하였다(그림 31). 하지만, 석묵이 성장하여 꼬은 그물밭을 모두 덮게 된 후에는 조체의 탈락이 일어났다. 그물망을 꼬아 만든 친승줄에 석묵만 끼워넣는 방법이 간편하고 생산량을 증대시키는 방법임을 확인 할 수 있었다.

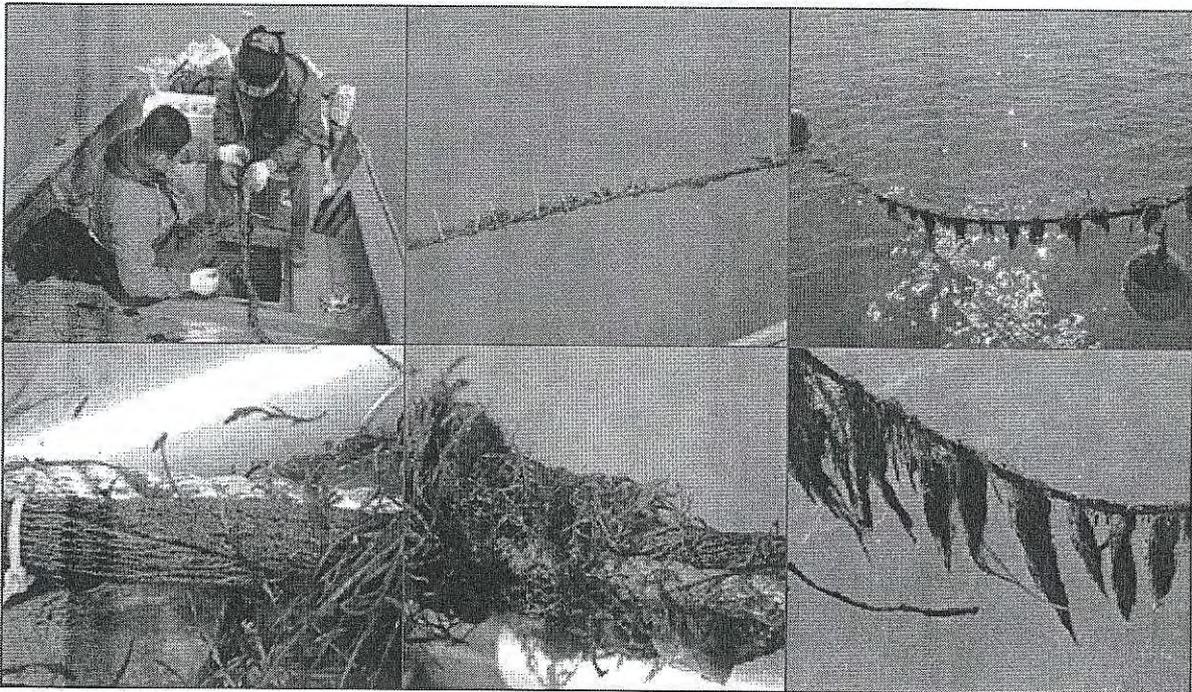


그림 31. 다양한 야외 인공채묘 방법(톳에 부착된 석묵 끼워 넣기, 꼬은 그물밭에 석묵끼우기)

3. 야외 자연채묘

가. 야외 자연채묘 및 최적 채묘조건

1) 재료 및 방법

톳 친승줄의 톳에 부착된 석묵은 파도가 있을 때 톳과 함께 탈락하였으며, 석묵은 생장이 일어나 무게가 증가되면 갈고리를 생성하여 주변의 다른 톳이나 기질에 부착한다. 따라서, 석묵의 이러한 특징을 이용하여 석묵의 자연채묘를 위해 톳 양식장 주위에 수직으로 김 그물망을 시설하여 톳 친승줄에서 탈락된 석묵을 이용하여 자연채묘를 시도하였다(그림 32).



그림 32. 야외에서 김망을 이용한 석묵의 자연 채묘

2) 결과 및 고찰

김 그물망에 걸린 톳은 갈고리를 만들어 그물에 부착하여 성장하였다. 하지만, 그물코가 큰 김 양식망에서는 갈고리로 조체를 단단하게 고정하지 못해 파도가 심할 경우 다시 탈락하는 현상이 발생하므로 김 망에 비해 그물코가 작은 망을 사용해야 된다. 하지만, 그물코가 지나치게 작으면 퇴적물이 쌓여 석묵의 성장에 나쁜 영향을 미치므로 적절한 그물코를 가진 그물망 설치하면 자연 채묘가 가능할 것으로 사료된다.

제 3 절 야외양성, 대량 생산 양식기술 개발

1. 가이식

가. 가이식

1) 재료 및 방법

석묵의 과포자를 모자반 종사틀 5개에 채묘하여 배양장에서 유수식으로 20여일 동안 관리한 후(그림 33), 2008년 1월 5일에 파도가 없을 때 채묘틀을 배양장에서 전남 장흥군 이회진항 인근의 내만으로 옮겨 수심 1m와 3m에 시설된 툇 친승줄에 부착하였다(그림 34). 이식 7일 후 채묘줄을 5가닥씩 절단하여 실험실로 이동한 후에 부착한 석묵배아의 성장과 부착상태를 확인하였다. 또한, 채묘줄을 10cm로 60개를 잘라서 1m와 3m에 설치된 친승줄에 직접 끼워 넣어서 부착 및 성장을 확인하였다. 석묵에 대한 가이식의 필요여부를 확인하기위해서 바다에 가이식되지 않은 채묘틀에 부착한 배아의 부착율과 성장을 비교하였다.

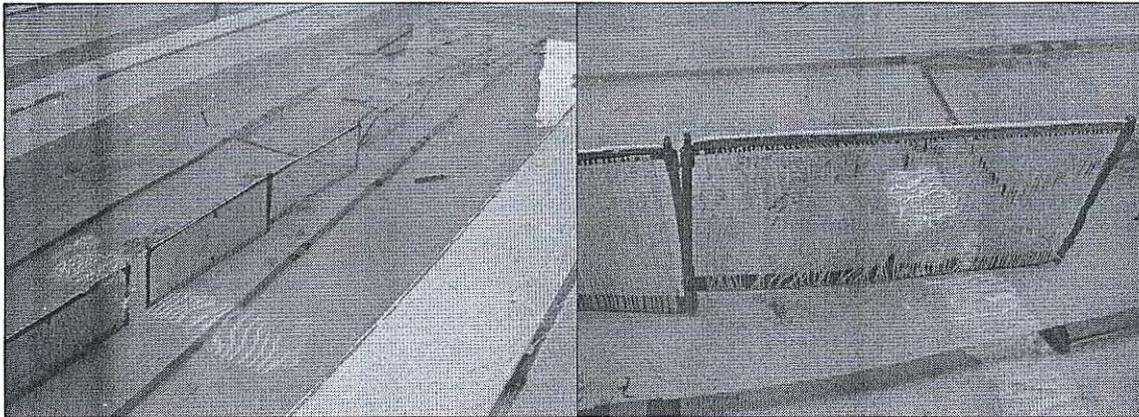


그림 33. 배양장에서의 채묘틀에 부착한 석묵의 유수식 관리

2) 결과 및 고찰

가) 가이식 시기 및 장소(환경조건)

석묵 배아의 가이식이 수행된 장흥군 이회진면 이회진항 인근의 1월의 평균 수온은 $8.84 \pm 0.85^{\circ}\text{C}$ (Mean \pm SD)였으며, 연중 평균 수온은 $15.71 \pm 1.10^{\circ}\text{C}$ 였다. 수심 1m에 이식된 채묘틀의 부착율은 34.25%로서 대조구의 부착율인 70.45%에 비해 50% 정도로 감소하였으며, 수심 3m에서는 부착율이 52.33%로 1m에 비해 높게 나타났다. 이러한 이유는 물의 흐름이나 파도가 표층에서 높기 때문으로 사료된다. 채묘틀에 부착된

사분포자체의 유엽이 이식될 때 길이는 2-3cm였다. 배양장에 대조구로 남겨둔 사분포자체는 7일 후에도 거의 동일한 길이를 보였으나, 가이식된 배아는 7일 후에 수심 1m에서 6.43cm (30개체의 평균)로 성장하였고 3m에서 4.24cm로 1m에 비해 약간 느린 성장을 보였다. 톱 친승줄에 가이식된 채묘들을 20일간 두었을 때 석묵의 사분포자체는 육안으로 확인될 정도로 성장하였었다(그림 34). 한편, 석묵이 부착된 채묘줄을 10cm로 60개를 잘라서 수심 1m와 3m에 시설하여 7일간 가이식된 후에 부착율과 성장률을 조사하였는데, 부착율은 수심 1m에서 12.34%, 수심 3m에서 16.45%였다. 배아의 생장은 채묘들에서 자란 석묵의 사분포자체의 유배와 크기가 유사하였으나 개체수가 감소하는 것으로 나타났다.

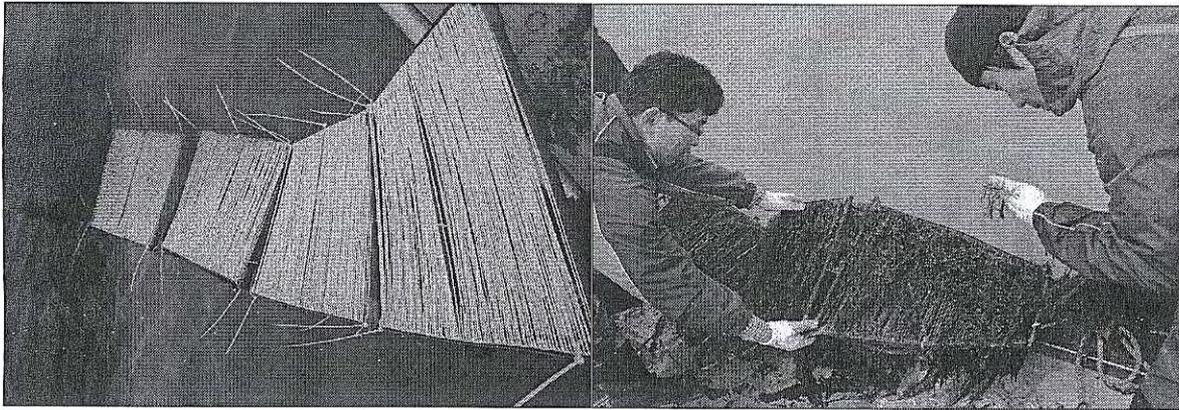


그림 34. 석묵의 가이식 실시 전과 후의 채묘들

나) 가이식 기간 및 최적조건

2007년 12월에 낭과에서 방출받은 사분포자를 채묘들에 부착시켜 배양장에서 20일간 배양한 후에 수심 1m와 3m에서 채묘들을 통째로 이식한 방법과 채묘줄을 잘라서 친승줄에 끼워넣은 방법의 부착율과 성장을 대조구와 비교해본 결과 수심 1m에 비해 3m에서 생장은 약간 느렸으나 유배의 탈락율이 약 20%정도 높아서 수심 3m가 가이식에 적절한 것으로 나타났다.

가이식의 시기는 과포자체의 낭과 형성이 수온에 따라 매년 약간씩 변화는 것으로 나타남으로써 가이식 시기는 약간 유동적이지만, 12월에서 1월에 과도가 거의 없는 시기에 가이식을 하는 것이 탈락율을 감소시키는 것으로 사료된다.

다) 가이식 필요 여부

석목 채묘줄에 부착된 석목 유배의 탈락율은 가이식할 때 증가되었으나 생장이 촉진되는 것으로 확인되어 가이식이 필요한 것을 확인하였다. 가이식을 할 경우에 유의할 점은 석목 유배의 탈락이 쉽게 발생한다는 것을 생각하여 파도가 심하지 않는 곳에 가이식하는 것이 조체의 부착율을 높이는 방법이다.

2. 야외 양성시험

가. 다양한 양성 방법에 따른 생산량변화

1) 재료 및 방법

전남 장흥군 이회진 바다에서 2007년 12월에 다양한 인공채묘방법을 이용하여 석목의 야외양성을 실시하였다. 양식을 위한 최적양성수심 파악을 위해 표층, 1m, 3m에 석목을 이식하고 부착된 석목의 양에 따라 대, 중, 소로 구분하여 매월 친승줄 10cm에 부착된 석목의 생산량을 측정하였다. 또한, 동일한 방법으로 석목만 끼워넣는 방법과 틈과 함께 끼워넣는 방법에서의 석목 생산량의 변화를 확인하였으며, 자연채묘에서 사용된 김 망에서의 생산량도 측정되었다. 마지막으로 석목 양식을 위해 러셀망을 이용하여 양식하는 방법에서의 생산량을 확인하였다.

러셀망을 이용하여 석목을 양식하는 방법은 본 연구에서 최초로 사용되었으며 갈고리를 형성하는 석목의 생리적, 형태적 특징을 고려한 양식 방법이다. 러셀망(PE러셀)은 원사의 가닥수와 그물코의 크기가 15합 15절인 폴리에틸렌 재질을 이용하여 만든 것으로서 그물코의 마디가 그물실로 교차시켜 만들어져 있고 인장강도가 210kg으로 매우 높으며, 바다에서 양식으로 이용하여도 마모가 적어 반복 사용 가능한 특징을 가지고 있다. 이러한 러셀망을 이용하여 석목 양식에 적합한 형태로 양식줄에 러셀망을 케이블타이로 묶어 제작하였다(그림 35).



그림 35. 러셀망과 케이블타이를 이용하여 제작한 석목의 양식망

2) 결과 및 고찰

가) 수심별 생산량

수심에 따라 이식된 석목의 생산량은 수심 1m와 3m에 비해 표층에서 높게 나타났다(그림 36). 2008년 1월에서 6월까지 생산량을 조사한 결과, 표층에서는 평균 1.12-1.79g/cm의 건중량을 보였으며, 3월에 최대였고 이후 점차 감소하였다. 수심 1m에서 생산량은 0.55-1.13g/cm로 1월에서 3월로 시간이 경과하면서 생산량은 증가되어 3월에 최대였고 이후에 감소하였다. 한편, 수심 3m에서 생산량은 0.24-1.03g/cm로 표층과 유사하게 3월에 최대였고 점차 감소하였다. 완도 보길도의 톳 양성줄에 부착된 석목의 생산량은 1월에서 4월로 시간이 경과할수록 증가하여 4월 1.63g/cm로 최대였고 5월에는 1.18g/cm로 감소하였다.

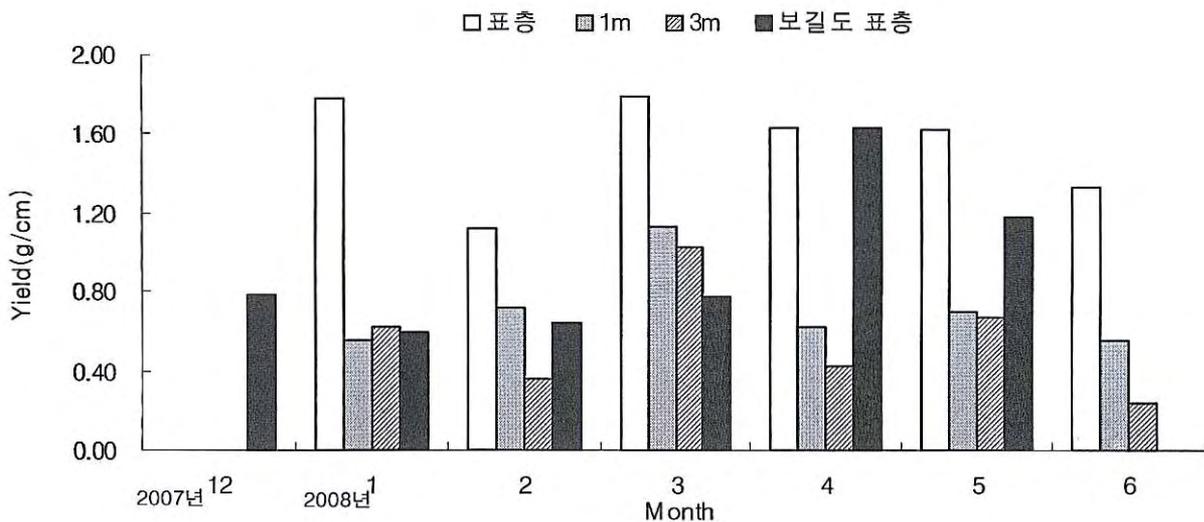


그림 36. 야외에서 수심별 석목 양성시 생산량 변화

나) 양성 방법에 따른 생산량변화

다양한 인공채묘방법(툇과 함께 끼워넣기, 석목만 끼워넣기, 김양식망, 러셀망)을 이용하여 석목을 야외 양성한 후 생산량을 비교하였다. 툇과 함께 끼워넣는 방법에서 석목의 생산량(건중량)은 0.63-0.99g/cm로 비교적 높았으나, 성장한 툇끼리의 마찰 혹은 파도에 의한 툇의 탈락에 의한 석목이 함께 탈락하는 것으로 나타났다. 석목만 끼워 넣는 양식방법에서 생산량은 0.52-0.63g/cm로 변화가 거의 없었다. 석목만 끼워 넣는 방법에서 석목의 생산량이 증가되지 않은 이유는 석목의 갈고리가 부착할 수 있는 기질이 충분하지 않기 때문으로 여겨진다. 김 양식망의 경우 시설초기에는 0.63g/cm였고 이후에는 파도에 의한 대량 탈락이 발생하여 5월에 0.22g/cm의 생산량을 보였다(그림 37).

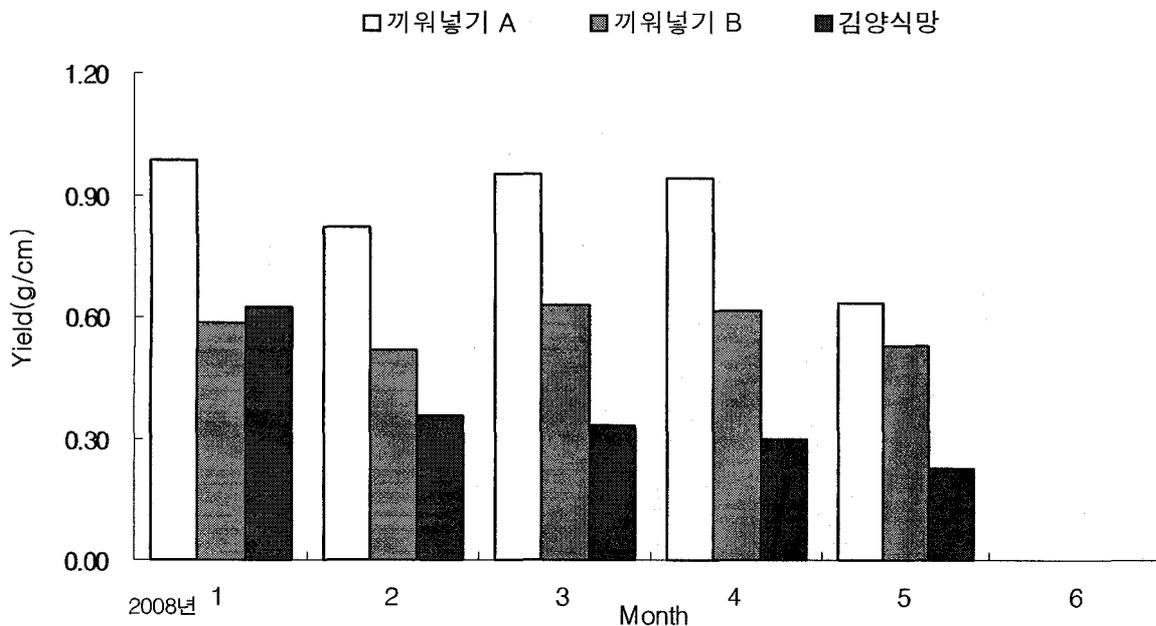


그림 37. 석목의 야외 양성법에 따른 생산량 (끼워넣기 A; 툇과 함께 끼워넣기, B; 석목만 끼워넣기)

이러한 실험의 결과를 토대로 하여, 석목의 갈고리가 부착할 수 있는 인공기질을 제공하여 파도에 따른 석목 조체의 탈락을 예방하기 위하여 그물코가 작은 러셀망을 이용한 석목의 양식 방법을 고안하였다. 갈고리로 기질에 부착하는 석목의 특성을 볼 때, 그물코가 작은 러셀망은 석목의 부착을 촉진하므로 채묘와 생장에 있어 매우 적합한 양식방법이다(그림 38). 또한, 석목만 끼워넣는 방법은 그물망에 다른

해조류의 부착이 잘되지 않으므로 단일 종의 양식이 가능하며 석목탈락의 예방효과가 있다. 또한 한번 수확 후 망에 부착한 석목의 갈고리를 통한 영양생장으로 여러 번의 수확이 가능하며 높은 생산량과 수확의 편리함 등의 이점을 있다.



그림 38. 러셀망을 이용한 양식시설(좌 : 양식초기, 우: 시간 경과 후)

러셀망을 이용한 석목양식에서 생산량은 시설 초기에 1.14g/cm로서 비교적 높게 나타났으며 3개월 후인 4월의 2차 수확에서는 1.63g/cm로 최대였다. 러셀망을 이용한 석목양식에서 생산량은 수심별(표층, 1m, 3m)로 실시한 석목 양식의 생산량과 비교하면 최대 생산량을 보였던 표층의 생산량을 초과하여 나타났으며 5월에 1차 측정에서 1.81g/cm로 최대 생산량을 보인 뒤 2차 측정에서 1.54g/cm로 생산량의 감소가 나타났다(그림 39).

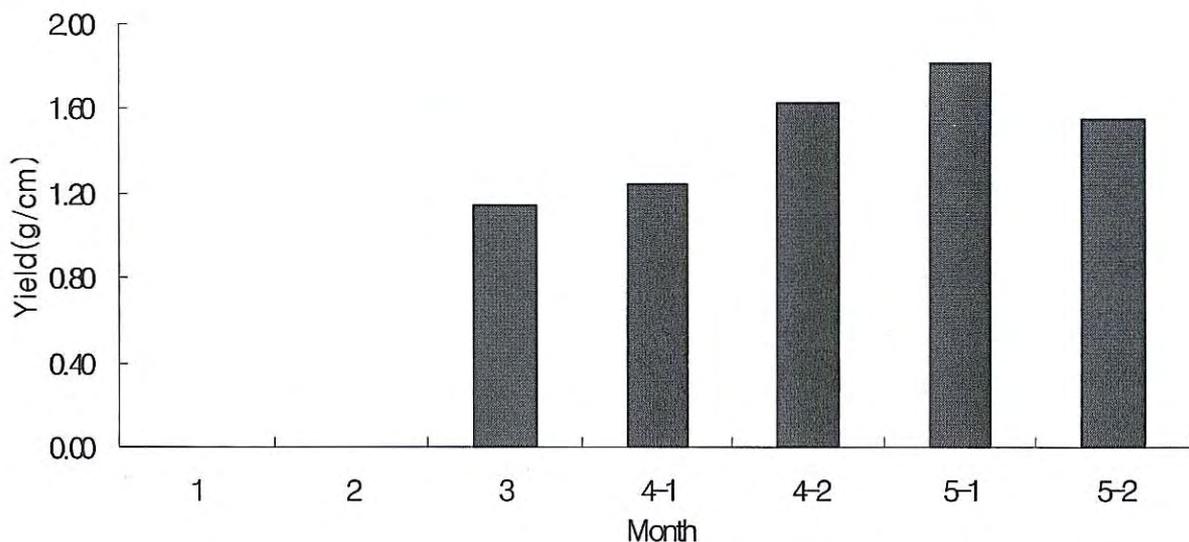


그림 39. 러셀망을 이용한 석목양식의 생산량변화

나. 기초해황조사(수온, 염분, DO 등)

1) 재료 및 방법

석묵의 성장과 환경요인과의 관계를 파악하기 위하여 가이식 및 야외 양성을 실시한 전남 장흥의 이회진 해역에 대한 기초해황(수온, DO, 염분, pH)을 월 2회 측정하였다.

2) 결과 및 고찰

장흥군 이회진 해역에서 2007년 11월에서 2008년 6월까지 월 2회에 걸친 기초해황의 조사결과, 수온은 8-18℃로 석묵이 출현한 11월에 최대였고 점차 하강하여 2월에 8℃로 최저였다. 해수의 용존 산소량은 8.80-9.83ppm으로 1월에 가장 높았고 11월에 최저로서 수온이 하강할 때 증가하였으며, 수온이 상승하면 감소하였다. 해수의 비중은 1.03-1.02로써 큰 변화를 보이지 않았으나, 용존 산소량과 마찬가지로 고수온인 11월에 최소였고 수온이 하강함에 따라서 증가하였고 최저 수온인 2월에 최대였다. 해수의 pH는 8.49-8.04로 3월에 최대이고 12월에 최저였다(그림 40).

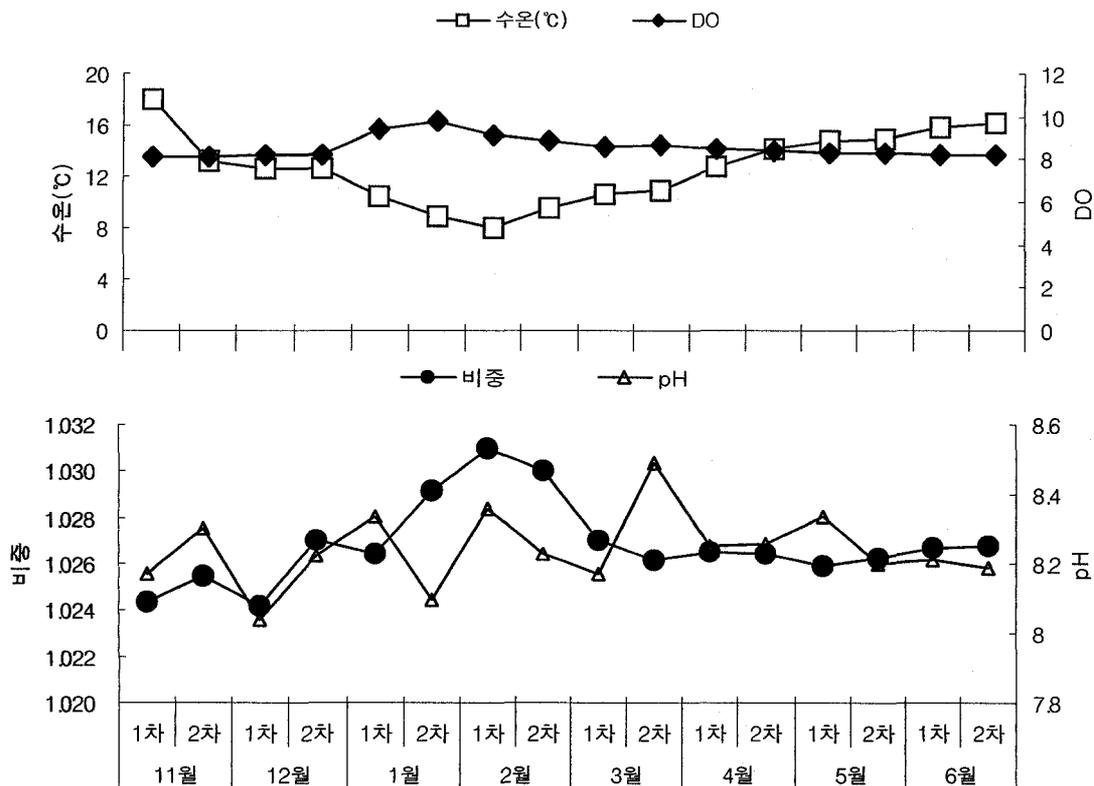


그림 40. 석묵의 야외 양성 시기의 해황 변화

석묵의 야외 양성을 다양한 방법으로 실시한 결과 월별 생산량은 0.70–1.32g/cm로 2월에 최저였고 3월에 최대로 나타났으며, 2월의 생산량 감소는 겨울철 강한 파도에 의한 석묵의 탈락이 원인인 것으로 사료된다. 따라서 이를 해황자료와 비교해 보면, 석묵의 생산량은 1월에 0.99g/cm이고 수온이 하강한 2월에 생산량이 증가 되었으나 파도에 의한 탈락이 발생하였고, 3월에 다시 빠른 성장을 보여 최대생산량을 나타낸 후 수온의 상승에 따라 생산량이 점차 감소하다가 6–7월 사이에 석묵이 사라지는 것으로 나타났다(그림 41).

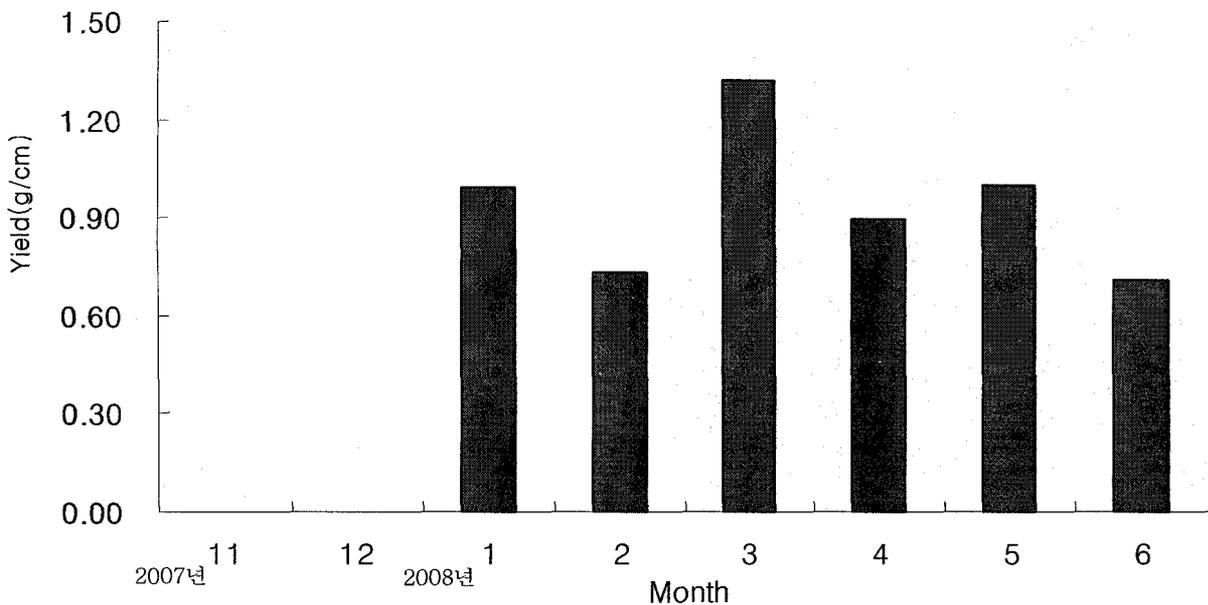


그림 41. 모든 야외양성 방법의 월별 생산량 평균

제 4 절 석묵의 우수 양식품종 개발

1. 자연서식처 석묵 형태, 유전적 비교

가. 서식지에 따른 유전적 차이 규명

1) 재료 및 방법

석묵의 외부형태 관찰을 위한 샘플은 예작도(20080116), 장흥-이식툫줄(080322), 장흥 정자도-자연산(080322), 부산 몰운대(080518) 등의 남해안에서 채집된 표본들이다. 석묵 샘플은 채집 즉시 4-5% 포르말린 해수용액에 고정한 후 실험실에서 액침표본으로 만들어 현미경의 관찰 시료로 사용하였다. 형태형질 분석은 외부, 내부 형태학적 형질을 해부 및 광학현미경으로 관찰하고, 슬라이드 표본을 작성하여 보다 세밀히 연구하였다. 해부학적 연구는 5% 포르말린-해수로 고정한 시료를 hand section으로 절편을 만들고 1% aniline blue 용액으로 염색하여 광학현미경(Nikon ECLIPSE 80i)을 이용하여 외부 형태와 내부 구조, 생식기관 발달과정 등의 형태해부학적 식별형질을 조사하고, 자동사진촬영장치 (Nikon DS-Fi1)를 써서 사진으로 기록하였다.

DNA 분석을 위한 연구재료는 2007년 11월부터 2008년 4월까지 남해안의 5개 지역에서 채집한 표본들이다(표 4). DNA 추출은 실리카젤과 함께 말린 채로 보관했던 5mg 정도의 재료를 막자사발에서 액체 질소와 함께 잘 갈아 미세한 분말을 만든 후, Invisorb Spin Plant Mini Kit (Invitek, Germany) 방법을 이용하여 추출하였다. 정제된 DNA는 적당히 희석하고 특정 프라이머를 첨가하여 중합효소연쇄반응에 사용하였다. 색소체 rbcL 유전자의 프라이머는 F7-R753과 F645-RrbcS (Gavio & Fredericq 2002)를 변형해서 사용하였다. PCR products는 High Pure PCR Product Purification Kit (Roche)으로 정제한 후 자동염기서열분석기 Perkin-Elmer ABI Prism 377 DNA Sequencer (Applied Biosystems, USA)로 분석하였다.

표 4. 본 연구의 분석을 위한 종, 채집정보, GenBank접근 번호

대상종	채집 정보(위치, 일)	<i>rbcL</i>
<i>Campylaephora hypnaeoides</i>	Bogildo, Wando, Korea; 7.iii. 2008	this study
<i>C. hypnaeoides</i>	Jangheung, Korea; 22.iii. 2008	this study
<i>C. hypnaeoides</i>	Jungjado, Jangheung, Korea; 22.iii. 2008	this study
<i>C. hypnaeoides</i>	Yejakdo 2, Wando, Korea; 23.xi. 2007	this study
<i>C. hypnaeoides</i>	Yihoejin4, Jangheung, Korea; 21.iv. 2008	this study
<i>C. hypnaeoides</i>	Yihoejin2, Jangheung, Korea; 21.iv. 2008	this study
<i>C. hypnaeoides</i>	Yihoejin5, Jangheung, Korea; 21.iv. 2008	this study
<i>C. hypnaeoides</i>	Yihoejin6, Jangheung, Korea; 21.iv. 2008	this study
<i>C. hypnaeoides</i>	Akkeshi, Hokkaido, Japan; 7.v. 1999	EF613505 ¹
<i>C. hypnaeoides</i>	Daesado, Wando, Korea; 13.vi. 1999	EF613506 ¹
<i>C. hypnaeoides</i>	Lopatina Cape, Russia; 7.ix. 2001	EF613507 ¹
<i>C. hypnaeoides</i>	Sonohora, Tsuyazaki, Japan; 18.iii. 1999	AY945768 ¹
<i>Ceramium boydenii</i>	Jindo, Chunnamn, Korea; 4.v. 1997	EF613510 ¹
<i>Ceramium inkyuui</i>	Guryongpo, Pohang, Korea; 18.v. 1999	EF521800 ¹

¹From Cho et al. 2008.

Sequence Navigator v.1.0.1(Applied Biosystems)를 통해 확인된 염기서열은 SeqPup 프로그램을 이용하여 정렬한 후, 편집하였다. *rbcL* 염기서열의 변이정도를 확인하기 위하여 uncorrected(p) pairwise genetic distances를 PAUP* 4.0b10 software(Swofford 2002)를 사용하여 평가하였다. Inter-& intraspecific p distances는 JMP statistical software(v.4.0.2, SAS Institute Inc.)로 계산하였다. 계통학적인 유연관계는 근린결합분석 (Neighbor- joining analysis, NJ)을 수행하였다. NJ분석은 Phylogeny Inference Package (PHYLIP, version 3.57c., Felsenstein 1995)의 DNADIST program으로 Kimura-2 parameter model을 선택하여 염기서열의 분기도를 산출하였다 (Kimura 1980). 이 자료는 다시 NEIGHBOR program을 통해 NJ 계통수를 구축하고, bootstrap 분석은 SEQBOOT와 CONSENSE program으로 1,000회 실시하였다.

2) 결과 및 고찰

가) 형태형질 분석

Campylaephora hypnaeoides J. Agardh 1851: 149

국 명: 석목

분 포: Korea (Lee & Kang 2001): 서해안, 남해안, 동해안의 남부지역.

China (Tseng 1984), Japan (Yoshida 1998), Russia (Perestenko 1994)

용 도: 한천원료, 식용

기 재:

조간대 중부의 조수웅덩이나 저조선에 생육하는 모자반류의 표면에 부착하며, 엉키고 덩어리져서 자란다. 엽체의 색깔은 선홍색 또는 담홍색이며, 체장은 10~20 cm이다. 무한생장지는 동일평면상에서 다소 규칙적인 차상분지를 하여 퍼 놓으면 몸 전체의 모양은 산방형이 되고 (그림 42A) 정단부는 종종 낮모양으로 구부러지는데 (그림 42A) 이 고리로 다른 해조류를 감아서 몸을 지탱한다. 가근은 무수히 엉켜서 반상근이 되며, 2-5세포로 구성되고, 끝은 수지상이다. 성숙한 식물체의 중심부에는 둥근모양의 중심세포가 1개 있고, 이 세포의 주변에 8개의 주심세포가 벽공으로 연결되어 있다(그림 42H, I). 모든 주심세포들은 피층 세포들을 만들어서 내피층 세포들이 2-3 세포열을 이룬다. 피층은 엽체를 감싸고 있으며(그림 42B) 내피층에는 다수의 가근성 섬유형태의 세포들이 잘 발달되어 있다(그림 42E, F). 그 결과로 피층은 매우 조밀하고 두껍게 형성된다. 가지의 형성은 정단세포의 사면분열에 의하며, 노성부의 가지 굵기는 1 mm정도이고, 다소 규칙적으로 차상 분지한다(그림 43). 몸의 중앙부에 생기는 소지는 주변세포로부터 유래하며, 유한 생장을 하여 1-2회 차상 분지한다(그림 43E).

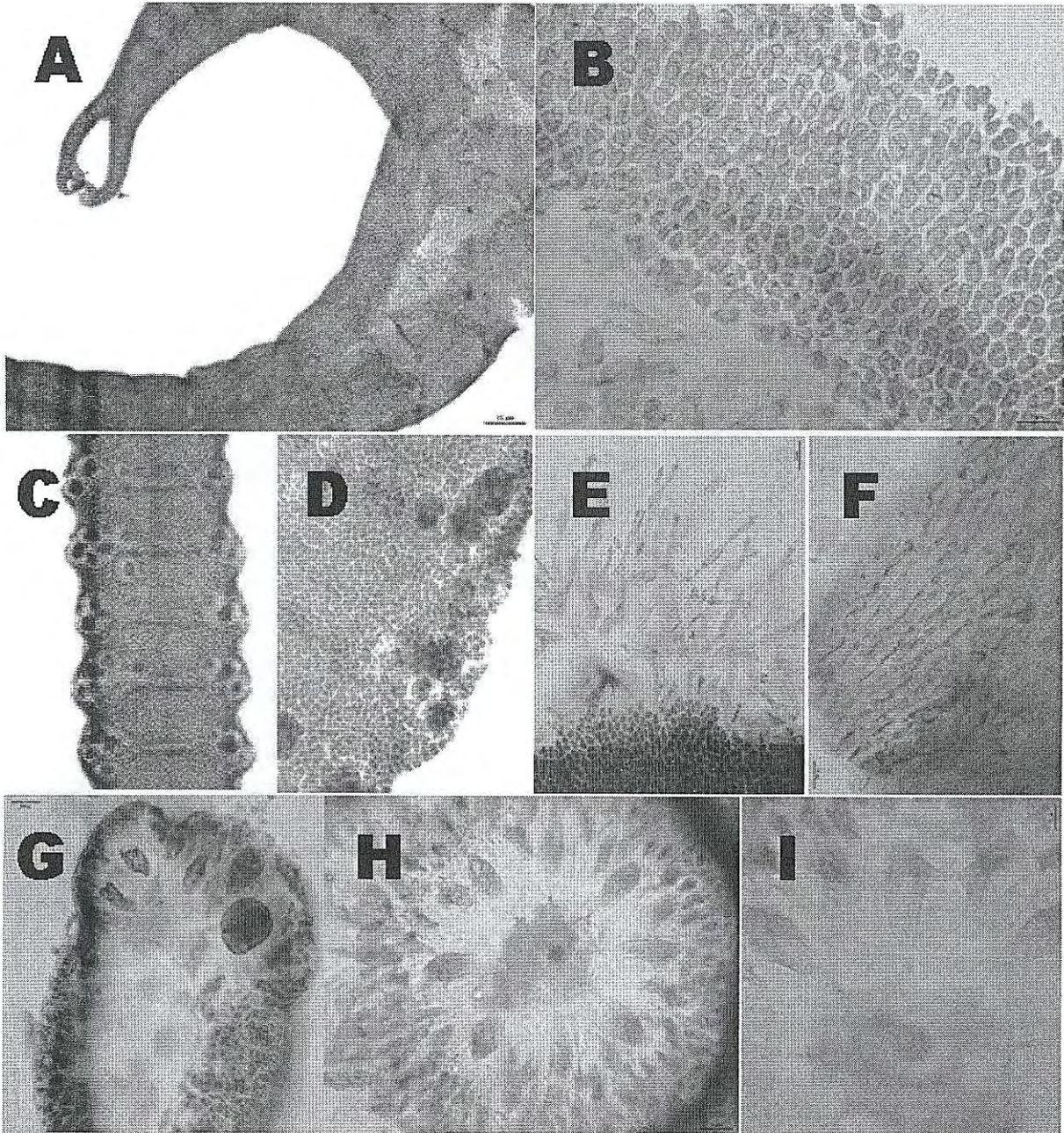


그림 42 식물의 영양체와 사분포자체의 구조

A. 정단부는 낮형의 정단부분(본 종의 특징) B. 엽체 중간부분의 절단면으로 피층을 보임 C. 사분포자낭이 배열된 정단부 D. 사분포자낭의 확대 부분 E-F. 다층으로된 내부 측양사를 보이는 중간부의 절단면 G. 사분포자를 가진 사분포자택의 절단면 H. 1개의 중심세포와 8개의 주변세포(periaxial cells)를 보이는 절단면. I. 중심세포와 주변세포가 연결사(pit connections)로 연결된 피층 절단부 확대

사분포자체는 배우체와는 달리 체장이 크며 사분포자낭은 가지의 피층 마디에 불규칙하게 운생한다 (그림 42 C, D, G). 사분포자낭은 삼각추형으로 분열하고 직경이 100-120 μm 이다. 본 연구의 재료에서는 배우체를 관찰하지 못하였으나 참고문헌에 의하면, 성숙한 응성배우체의 피층 세포들은 엽홍체를 잃고, 조정기모세포로 분화한다. 조정기가 형성된 응성배우체는 체장이 1 cm 정도로 작고, 낫모양의 고리가 없으며, 규칙적인 차상분지를 한다. 낭과는 가지의 측면에 생기는 짧은 작은 가지의 끝에 형성되고, 구형이며 직경이 550-750 μm 이고, 6-7 개의 총포사로 둘러싸여 보호된다.

예작도, 장흥에 이식된 톳줄, 장흥 정자도(자연산) 등지에서 채집한 연구재료의 형태를 관찰한 결과 석목의 주요한 식별형질을 공유하는 것으로 확인하였으나, 몇 가지 형질에서 지역별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉 예작도에서 채집한 식물체는 나머지 두 지역산 재료보다 더 규칙적으로 차상분기를 많이 하는 특징을 보였으며 (그림 43A, B), 줄기의 직경도 다소 굵었다. 또한, 장흥군 정자도(자연산)의 석목은 가지 정단부에 형성되는 고리모양의 줄기가 다른 두 지역에서 채집된 시료에 비해 각 줄기당 3개 정도 더 많이 형성되는 것으로 확인되었다 (그림 43E, F).

나) 분자형질 분석

자연산 석목의 지역별 분자형질의 변이를 파악하기 위하여, 색소체 유전자인 *rbcL*의 염기서열 분석을 수행하였다. 전체 5개 지역(이회진, 정자도, 보길도, 예작도, 장흥)산 8개 식물체를 대상으로 하여 1434 bp가 분석되었는데 이것은 1467 bp를 갖고 있는 *rbcL* 전체 유전자의 97.8%에 해당한다. 각 지역산 식물체의 *rbcL* 유전자의 변이율은 0-0.14% (0-2 bp)로 나타났다. 구체적으로 이회진에서 채집된 두 개의 표본(C6 & C8)과 나머지 지역산 표본과는 2 bp로 가장 큰 차이를 보였는데 여기에는 이회진에서 채집된 나머지 두 개 표본(C5 & C7)도 포함되어 있다. 또한 장흥이식톳줄에서 채집된 표본과 나머지 표본과는 1 bp의 차이가 나타났다. 한편, 한국산 석목과 일본산 석목 간의 유전자 변이율은 0.14-0.35% (2-5 bp)로 나타난 것에 비하여, 일본산 석목 상호간의 변이율은 0.42% (6 bp)로 더 높은 차이를 보였다. 석목과 유연관계가 가까운 비단풀속의 두 종류 (*Ceramium boydenii* & *C. inkyuui*)와의 유전자 변이를 확인한 결과 4.3-4.7% (59-82 bp)로 나타났다.

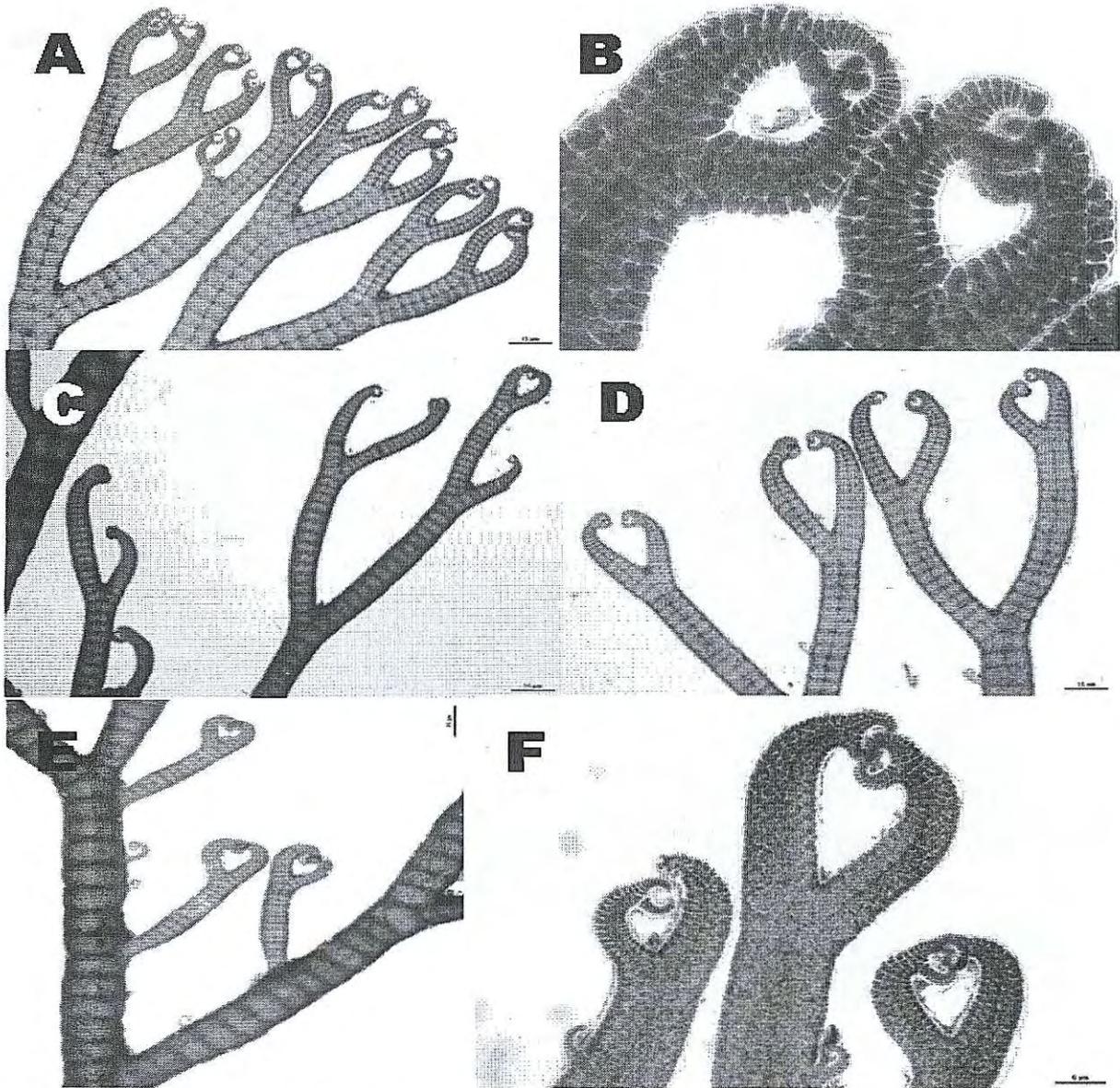


그림 43. 석목의 분지 패턴 비교

A-B. 예작도 샘플(20080116)은 규칙적인 차상분기형을 보이고 정단부 확장됨 C-D. 장홍샘플(20080322)은 불규칙적이고 규칙적인 차상분기를 보임 E-F. 정자도 샘플(20080322)은 정단부에 작은 소분지가 보임.

한국산 석목 표본 상호 간의 분자계통학적인 유연관계를 알아보기 위하여, 전체 12개의 석목 표본(본 연구: 8개 샘플, NCBI 데이터: 4개)과 2개의 outgroup 분류군 (NCBI 데이터)을 포함하여 NJ 계통수를 제작하였다(그림 44). 그 결과 rbcL의 NJ 계통수는 한국산 석목 표본 내에서 약간의 변이를 나타내었다. 즉 크게 3개로 구분되었는데 먼저 이회진(C5 & C7), 정자도, 보길도, 예작도, 대사도 등지에서 채집된 표본들이 하나로 묶였으며, 다음으로 이회진의 C6와

C8 표본이 묶였고, 장흥산 표본은 가장 기저 부분을 형성하였다. 한편 일본산 표본은 한국산 식물과는 뚜렷하게 다른 node를 형성하였으며, 특히 일본 Sonohora, Fukuoka에서 채집된 분류군이 석목 전체 계통수에서 가장 기저부분을 차지하였다. rbcL NJ 계통수에서 석목과 비단풀 속의 분류군은 확실하게 구분되므로 석목 속은 분류학적으로 단계통군을 형성한다는 것을 확인하였다.

다) 고찰

석목속 (*Campylaeophora*)은 1851년에 J. Agardh에 의하여 *Ceramium rubrum* var. *firmum* C. Agardh 종을 근거로 하여 처음으로 기재되었으며, 현재 석목속의 기준종 (type species)은 *Campylaeophora hypnaeoides*이다. 석목 속을 특징짓는 가장 주요한 식별형질은 두꺼운 피층과 가지 끝부분이 갈고리 모양으로 휘어진다는 것 (hooked terminal portions of branches) 그리고 식물체의 내부에 가근성의 피층 섬유사 (rhizoidal cortical filaments) 구조가 있다는 것이다. 또한 Nakamura (1950)는 위에 언급한 형질들 이외에도 끝이 뾰족한 원반형의 가근(conical discoid holdfast), 차상분지(dichotomous ramification), 커다란 사분포자낭(large tetrasporangia) 등의 형태적인 특징들을 더 추가해서 석목 속을 설명하였다. 본 연구의 형태학적 형질의 관찰결과도 석목속과 기준종인 석목과도 잘 일치하였다. 다만 지역별로 채집된 표본에서 차상분지의 회수, 줄기의 굵기, 갈고리 모양의 가지 형성 개수 등의 형질에서 다소의 차이를 확인하였다. 그러나 Cho. et al. (2008)에 따르면, 차상분지, 갈고리 모양 가지, 커다란 사분포자낭, 원반형 가근 등의 특징은 석목속을 구분하는 주요한 식별형질이 될 수 없다고 언급하였다. 그 이유는 위에 나열한 형질들이 유사한 분류군인 비단풀 속 (*Ceramium*)에서도 흔히 관찰할 수 있는 특징들이라는 것 때문이다. 따라서 본 연구 결과에서 확인된 지역별로 나타난 약간의 형질변이는 그 중요성이 떨어진다고 판단된다.

위에서 나타난 형태학적 형질변이의 차이가 유전적으로 얼마나 변이성을 보이는지 확인하여 본 결과 rbcL 유전자의 변이는 없는 것으로 나타났다. 즉 형태적으로 다소 뚜렷한 차상분지를 보인 예작도 표본은 이회진, 정자도, 보길도, 대사도 표본 등과 전혀 차이가 없었다. 다만, 이회진의 나머지 두 표본과 장흥산 표본과는 1-2 bp 정도의 변이율만 존재하였다. 석목 속의 분류군들에 관한 분자계통학적인 연구는 Seo et al (2003)이 *Campylaeophora borealis*에 대한 RuBisco spacer region과 psbA 유전자 연구를 수행하였으며, Cho et al. (2008)은 *Campylaeophora californica* 종에 관하여 형태관찰과 rbcL 유전자 분석 등 집중적으로 연구하였다. 두 연구

결과는 모두 석목속이 단계통군 (monophyletic clade)을 형성한다는 것을 보고하였으며, 형태적으로는 가근성 피층 섬유사가 2차적인 벽공연결로 형성되어 있다는 특징을 언급하였다. 한편, RuBisco spacer region과 rbcL 두 유전자 분석에서 나타난 종내 (intraspecific divergence) 유전적 변이율을 살펴보면 각각 0-0.11% (Seo et al. 2003)와 0-0.42% (this study)로 rbcL 유전자 부위의 유전적 변이가 다소 더 높은 것으로 확인되었다. 또한 일본산 표본 상호간 (0-0.42%)에는 한국산 식물체 (0-0.14%)보다도 다소 더 높은 유전적 변이를 보였으며, 일본산과 한국산 표본 간에서 나타나는 유전적 변이율은 0.14-0.35%로 확인되었다. 결론적으로 지역별로 채집된 석목은 형태적인 특징이나 유전자 변이율 면에서 작은 차이가 존재할 뿐, 아주 뚜렷한 큰 차이는 발견되지 않았다.

Campylaephora hypnaeoides

NJ Tree of rbcL

14 taxa 1434 bp

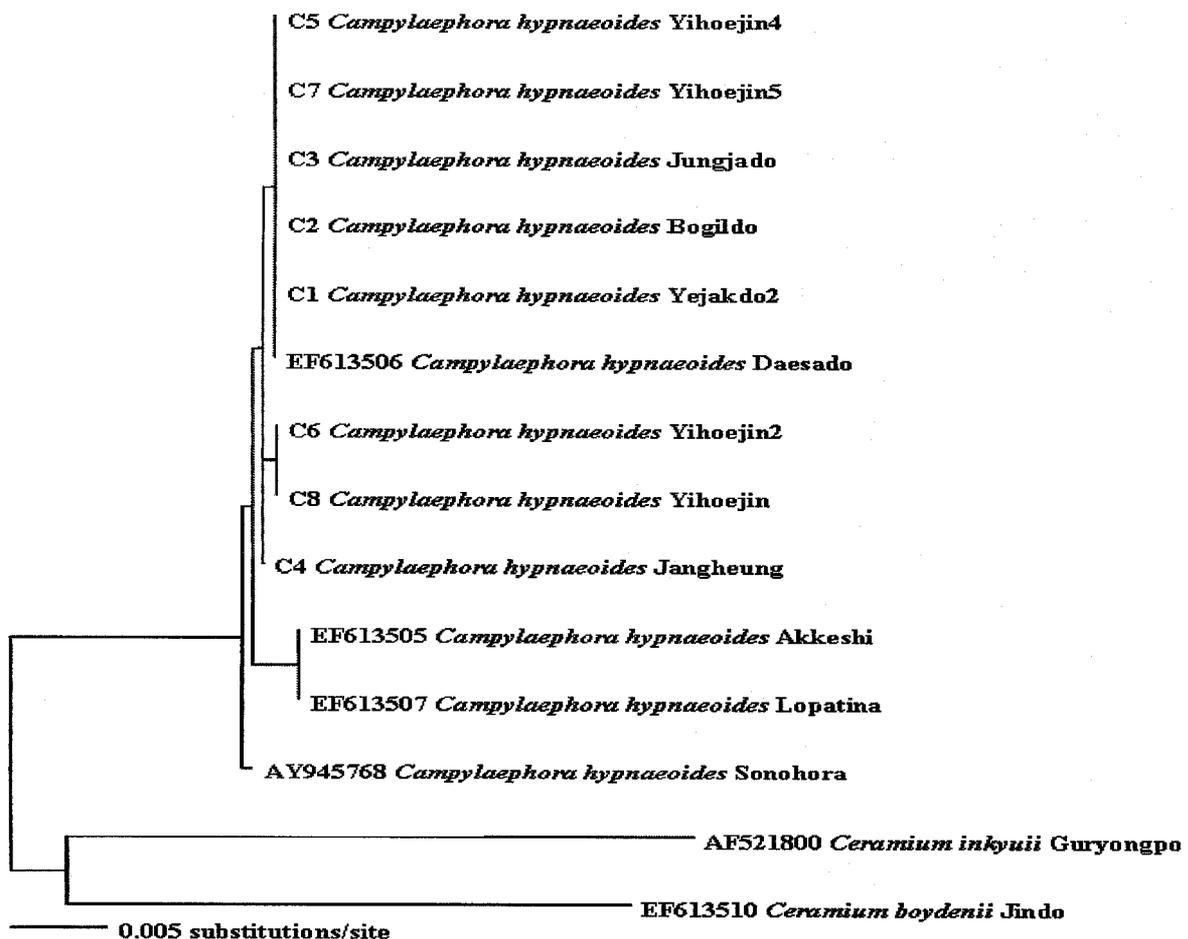


그림 44. 2개의 outgroups과 함께 석목의 염록체 rbcL sequence 자료를 NJ로 분석함

나. 서식지와 생식상태에 따른 인장력 측정

1) 재료 및 방법

완도군 보길도의 톳 친승줄에 착생하여 서식하는 석목을 장흥에 이식하고 월별 채집을 수행하던 중 정자도에 서식하는 자연산 석목과 이식한 석목간의 물리적인 특성(탄력)이 다르다고 판단되어 Rheometer(Compac-100, SunScientific Co. Ltd. Japan), Adaptor No. 21 (면 인장측정용)을 사용하여(그림 45), 지역별 석목 조체(n=20)의 인장력을 측정하였다. 석목의 물리적 특성이 생활사 단계별로 차이가 있는 것으로 판단됨으로 3월(과포자체)과 5월(사분포자체)에 걸쳐 2회의 조사가 수행되었다.



그림 45. 석목의 인장도 측정에 사용된 Rheometer(Compac-100)

2) 결과 및 고찰

석묵의 인장강도는 53g-94g을 보였고 3월의 과포자체에 비해 5월에 노성한 사분포자체의 인장강도가 높다는 것을 확인하였으며, 자연산과 톳 친승줄에 부착한 석묵의 인장도는 차이가 크지 않았다. 하지만, 상대적으로 외해에 위치하고 파도가 심한 지역에서 채집한 보길도 인근에 있는 예작도의 톳 양식장에서 5월에 채집한 개체의 인장강도와 젤강도(gel strength), 경도(hardness) 등이 다른 개체군에 비해 높게 나타났다(표 5).

표 5. 서식지에 따른 석묵조체의 평균 인장력(표준오차)

특성	장흥	장흥	정자도	보길도	보길도	부산
	2월 (톳 줄)	3월 (톳 줄)	3월 (자연산)	3월 (톳 줄)	5월 (톳 줄)	5월 (자연산)
Max weight (g)	53.40 (±7.52)	71.93 (±5.02)	73.07 (±3.38)	74.53 (±5.65)	94.68 (±9.86)	69.65 (±3.38)
Distance (mm)	1.63 (±0.06)	3.38 (±0.35)	3.40 (±0.14)	2.52 (±0.16)	2.96 (±0.40)	2.00 (±0.17)
Hardness (kg/cm ²)	41.26 (±4.78)	29.67 (±2.37)	27.69 (±1.48)	38.02 (±2.64)	67.30 (±16.51)	48.69 (±3.81)
Yield (g)	44.20 (±8.33)	63.87 (±6.62)	70.60 (±3.39)	69.40 (±4.89)	90.26 (±9.49)	65.65 (±3.91)
Gel strength (kg/cm ²)	6.80 (±0.96)	9.16 (±0.64)	9.30 (±0.49)	9.10 (±0.88)	12.06 (±1.26)	8.51 (±0.63)

제 5 절 경제성분석 및 유용성분

1. 양식생산 및 유통현황

석묵은 완도군 보길도에서 툇 양식줄의 해적 생물로 생각하여 담수 등으로 제거되던 해조류로써 아직까지 어업인과 일반 소비자들의 인식부족으로 국내 판매는 되고 있지 않으나 독특한 맛과 고급 한천의 재료, 기능성물질개발에 대한 기대치가 높아 점차 소비가 증대될 것으로 예상된다.

2. 경제성 분석

수산물의 국내소비패턴이 고급 수산물 쪽으로 변해가고 있고 약리·생리활성을 갖는 해조류에 대한 수요도 높아지고 있어 본 종에 대한 관심도 증가되고 있다. 따라서 시험어장에서의 석묵 생산량을 기준으로 경제성을 분석하였다. 즉, 단위면적 당 생산량, 조수입, 경영비, 생산비 등과 함께 소득을 분석하고 다른 양식 해조류와의 수익성을 비교하여 향후 기존 양식품종의 대체 품종으로 양식어가의 영어의욕 고취 및 소득향상을 도모할 수 있는 동기를 부여토록 하였다.

가. 재료 및 방법

시험어장의 양성시설은 수평연승식으로 시설하였으므로 1대 100m에서 생산된 증량으로 단위면적(1ha; 20대)당 생산량을 산출하였다. 또한 생산금액은 단위면적당 생산량을 중간상인에게 판매하는 금액으로 산출하였다. 그리고 양식에 소요되는 자재 및 경비를 산출하여 경제성을 분석하고 순소득을 산출하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 단위면적당 생산량

석묵의 단위면적당 생산량은 본 종이 실제 어업현장에서 양식이 이루어지지 않고 있기 때문에 본 연구의 야외양성의 생산량 자료를 활용하여 분석하였다. 양성시험결과 석묵의 월평균 생산량은 표층에서 건증량으로 1.546g/cm로 양성줄

1대(100m)당 15.46kg(건중량)의 수확이 가능하고 갈고리로 기질에 부착한 석묵은 빠른 영양생장을 하기 때문에 수확기(2월과 6월 사이)에 적어도 3회의 수확이 가능하다. 따라서, 석묵의 생산량은 양성줄 1대당 건중량으로 46.38kg(15.46kg × 3회)이 된다. 다시, 단위면적 당 생산량으로 환산하면, 1ha당 20대의 양성줄이 시설되므로 약 927.6kg(46.38kg × 20대)의 석묵이 생산 가능하다.

2) 단위면적당 조수입

석묵은 국내에서의 소비 및 판매가 되고 있지는 않으나 석묵은 의약품, 한천 및 다양한 형태의 식품의 원료로서 사용되며, 희귀성과 고품질로 인해서 일본에서 전량 수입을 제안한 상태이며, 일본에서는 석묵의 풍함에 따라 가격의 변동(2만원-15만원/kg)이 있지만 다른 해조류에 비해 고가로 판매되고 있고 실제로 완도에서는 석묵을 사서 일본에 수출하겠다는 수입상이 다녀간 상태로 수출에 대한 기대효과는 매우 높다. 따라서, 석묵을 5만원/kg에 판매한다고 할지라도 단위면적(ha) 당 4,600만원의 어가 수입이 가능하다.

3) 생산비

양식시설 비용은 미역 수평연승식 양식시설비와 동일하게 책정되었으며 직접 양식시설 설치에 필요한 시설비는 표 6과 같이 시설 자재의 감가상각한 비용은 연간 651.9천원으로 산정되었다(표 7참조). 또한 관리선 및 경운기 엔진은 총 17,000천원으로 나타났으나 감가상각비용은 연간 950천원으로 조사되었다. 그러므로 시설에 필요한 직접시설비는 1,601천원이 소요되었다.

시설비는 시설에 필요한 자재구입은 감가상각비로 계산하였으므로, 여기에서는 시설에 사용하는 인건비만을 계상하였다. 인건비는 종사를 친승로프에 끼우는 작업 및 친승줄을 펼치는 작업에 소요되는 인원 15명에 1인당 60,000원으로 총 900천원을 부담하였다. 종묘비의 경우 현재 석묵의 종묘를 생산하는 곳이 없기 때문에 미역이나 다시마종묘 구입비인 1틀에 50,000원을 기준 총 6틀이 이용됨으로 총 300천원이 소요되었다. 유류비는 (양식 시설에 2일, 양식기간 7개월 동안 주 1회의 관리에 소요되는 28일과 수확에 소요되는 3일을

포함하여) 총 33일에 1일 유류 사용량을 50L로 계산하였고 유류가격은 휘발유 면세가격인 리터(L)당 600원을 적용하여 총 990천원으로 계산되었다. 또한, 주식 및 부식비는 선박운용 1일당 10,000원으로 총 33일을 운행함으로 330천원으로 계산하였다. 그리고 타지 출장은 어장 행사료 1대당 1,000원으로 20대를 시설하였으므로 10천원, 차량유지비 및 표시봉 시설비등 100천원이 소요되어 총 120천원이 소요되는 것으로 조사되었다. 인건비는 1인당 60,000원(/일)으로 계산하였고 자가노력비에 포함되었다. 따라서 총 경영비는 4,343천원으로 계산되었다. 자본용역비의 경우 총 시설비와 경영비를 합한 금액의 시중금리인 10%를 반영하여 434.3천원으로 하였다.

표 6. 석목 양식 소득분석 (단위 : 천원)

항 목		금액	산출내역	
조수입	계	46,380		
	판매소득	46,380	927.6kg × 50,000원	
생산비	경영비	시설비	900	시설인건비 15인 × 60,000원
		수선비	102	돛 10개 × 6,000, 돛줄 2환 × 21,000원
		종묘비	300	6틀 × 50,000원
		유류비	990	33일 × 50l × 600원
		주부식비	330	10,000원 × 33일
		기타지출	120	어장행사료 20 × 1000원
		감가상각비	1,601	양식시설 651,948원 + 관리선 950,000원
		인건비	-	자가노력(자가노력비에 포함)
		계	4,343	
	자가노력비	3,960	33일 × 2인 × 60,000원	
	자본용역비	434.3	경영비 × 10%	
총 계	8,737.3			

표 7. 시설물 감가상각비

항목	규격	단위	수량	단가	금액	내용 년수	감가상각비
세트프로	16mm	환	2	26	52	3	17,333원
닷 로프	12mm	환	13	21	273	3	91,000원
친승 로프	12mm	환	25	20	500	3	166,666원
항목	1.8m	개	65	2.5	162	3	54,166원
닷 작업	1.8m	개	65	3.5	227	3	75,833원
부자	60l	개	58	1.2	69.6	3	23,200원
	20l	개	750	375원	281.25	3	93,750원
줄대	50cm	개	750	100원	75	3	25,000원
부자줄	150사	관	15	21	315	3	105,000원
관리선	1톤급	FRP	척	1	15000	20	750,000원
경운기엔진			대	1	2000	10	200,000원
합계					18,955		1,601,948원

4) 소득분석

석목을 1ha 양식할 경우, 총 어업소득은 46,380천원이었고 경영비는 총소득의 9.36%를 차지하는 4,343천원이었다. 석목의 양식을 통한 총 소득에서 경영비, 자가노력비와 자본용역비를 제외시킨 순 소득은 37,642.7천원이고 친승줄 1대에서 획득하는 평균 순소득은 1,882천원이었다.

3. 유용 성분 분석

가. 재료 및 방법

전남 장흥에 이식한 석목조체를 2007년 월에 5월에 채집하여 기타 잡물을 제거한 후 건조하였으며 전북대학교 바이오식품소재개발 및 산업화 연구센터에서 석목의 유용성분에 대한 분석을 실시하였다.

1) 일반성분 분석

수분함량은 105°C 상압가열건조법, 조회분은 550°C 직접회화법, 조지방은 자동지방추출장치(SX-6, Raypa Co, Spain), 조단백질은 자동 킬달분석장치(B-339, Buchi Co, Swiss)로 각각 분석하였다. 탄수화물은 100에서 수분, 조회분, 조지방, 조단백질의 함량을 차감한 값으로 나타내었다.

2) 무기질함량분석

시료의 무기질 함량은 식품공전시험법에 따라서 질산용이용 습식법으로 시료를 분해한 후 100ml로 정용하여 무기질 분석용 용액으로 사용하였다. 이때 Ca, K, Mg, Fe, Na, Cu, Zn등은 원자흡광분광도계(Solaar-M5, Thermo elemental Co., England)로 측정하였으며 P은 몰리브덴 비색법에 따라서 분광광도계(UV-1601, Shimadzu Co., Japan)로 650nm에서 측정하였다.

3) 유리아미노산 함량 측정

유리아미노산 함량은 시료에 ethanol을 가하여 균질화한 후 3,000rpm에서 30분간 원심분리하고 상정액을 취하여 rotary vacuum evaporator로 ethanol을 제거하였다. 이어 SSA(5-sulfosalicylic acid)를 가하여 다시 원심분리하고 상정액을 취한 후 증류수로 정용하여 아미노산 자동분석장치(Sykam S433, Germany)로 분석하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 일반성분 분석

해조류의 탄수화물의 대부분은 대부분 비소화성 복합 다당류로써 산이나 알칼리 등에 비교적 안정하기 때문에 소화율은 육산식물의 전분 소화율의 1/3정도 밖에 되지 않는다(양 등, 2000).

석묵의 경우 100g당 탄수화물이 42.38g을 차지하며 가장 높은 함유량을 나타냈으며, 단백질이 25.87g을, 지방이 0.56g, 회분이 23.61g, 수분이 7.58을 차지하는 것으로 나타났다. 석묵은 다른 양식해조류에 비해 단백질함량이 매우 높은 것으로 나타났으며 탄수화물 함량 또한 낮지 않은 함유량을 보였다(표 8).

표 8. 석묵 및 다른 양식해조류의 일반성분 함량 (단위: g)

종명	수분	회분	지방	단백질	탄수화물
석묵	7.58	23.61	0.56	25.87	42.38
포시레기	7.4	22.5	0.1	22.5	41.4
다시마	12.3	7.4	1.1	7.4	45.2
미역	16.0	20.0	2.9	20.0	36.3
툇	15.8	6.2	0.8	6.2	59.7

2) 무기질함량분석

무기질의 종류에 따른 함유량은 100g의 건조 석묵 당 칼륨이 8,177.25mg을 함유하고 있어 가장 높게 나타났으며, 나트륨이 4,004.13mg, 마그네슘이 1,001.28mg으로 비교적 높은 함유량을 나타냈다(표 9).

우리나라에서 칼슘의 1일 섭취권장량은 성인 700mg이고 성장기의 청소년은 900mg인데 국민영양조사 결과 우리나라 국민의 칼슘 섭취량은 권장량의 85%로 적은 양을 섭취하는 것으로 조사되었다. 따라서 칼슘함량이 높은 석묵을 자주 섭취하면 골다공증예방, 고혈압예방에 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라, 특히 고지방 식사를 하는 사람의 경우 대장암의 위험을 감소시킬 수 있다. 또한 나트륨에 비해 두 배 이상 높은 칼륨 수치로 미루어 볼때 과일 섭취된 나트륨 배출에 의한 고혈압 예방 효과가 있을

것으로 사료된다.

저영양 상태의 어린이에게 아연을 충분히 보충하면 체중이 증가하고 정상적인 성장이 이루어지게 하며, 임산부에게 저체중아나 미숙아 출산의 위험률을 낮추어준다. 또한 충분한 아연섭취는 감염성 질환에 대한 면역기능 유지에 필수적이다.

표 9. 석목의 무기질 함량

(단위: mg/100g)

Ca	P	Na	K	Mg	Fe	Zn	Cu
841.57	287.45	4004.13	8177.25	1001.28	26.78	3.80	0.53

3) 유리아미노산 함량 측정

아미노산의 함유량은 글루탐산과 타우린이 각각 4.309mg과 3.162mg으로 가장 높은 값을 나타냈다(표 10).

표 10. 석목의 유리아미노산 함량

성 분	함 량	성 분	함 량
Phosphoserine	0.265	Isoleucine	0.009
Taurine	3.162	Leucine	0.011
Urwa	0.058	Tyrosine	0.004
Aspartic acid	1.463	Phenylalanine	0.011
Threonine	0.214	β-Alanine	0.015
Serine	0.812	γ-Aminobutyric acid	0.049
Glutamic acid	4.309	Histidine	0.007
Priline	0.541	3-Methylhistidine	0.003
Glycine	0.483	Ornithine	0.037
Alanine	2.560	Lysine	0.100
Citrulline	2.080	Ammonia	0.128
Cystine	0.003	Arginine	0.032
Methionine	0.007		

표 11. 석묵과 주요양식해조류의 아미노산 조성표

구분	단백질 g/100g	합유아미노산						방향족아미노산			Thr
		Ile	Leu	Lys	SAA			AAA			
					Met	Cys	합계	Phe	Tyr	합계	
김	27.4	1131	2168	1589	818	460	1278	1197	1009	2206	1631
미역	17.5	638	1138	827	400	175	575	749	472	1221	757
다시마	15.6	596	1069	716	368	520	888	719	459	1178	743
모자반	11.1	520	913	587	274	160	434	565	354	919	554
석묵	25.9	0.9	1.1	10	0.7	0.3	1.0	1.1	0.4	1.5	21.4
구분	Trp	Val	His	Arg	Ala	Asp	Glu	Gly	Pro	Ser	Tau
김	350	1275	385	1638	3332	2046	3306	1863	625	1338	564
미역	252	845	290	661	2722	1104	2522	897	720	669	35
다시마	240	678	195	577	1752	1288	2501	812	711	651	
모자반	139	337	145	510	1029	868	1730	620	237	476	
석묵			0.7	3.2	256	146.3	430.9	48.3	54.1	81.2	316

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 한국산 석묵의 생물학적 기초 연구

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도

본 연구과제에서는 석묵 야외개체군에 대한 석묵의 외부 형태와 사분포자체의 사분포자탁과 사분포자의 형태, 과포자체의 외형 및 낭과의 모양을 통한 동정 및 분류를 통하여 한국산 석묵의 특징을 파악하였으며, 석묵의 자연서식처 및 동해안의 구룡포와 서해안의 외연도 등의 도서지역과 남해안에서는 이전에 보고된 지역 이외에도 전남 장흥군의 칠기도, 고흥군 금산면, 완도군 보길도 등에서 새롭게 서식하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 석묵의 자연 서식처인 장흥군 정자도에서 계절별 해조상을 조사하여 녹조류 14종, 갈조류 24종, 홍조류 72종 그리고 현화식물 1종으로 총 111종이 동정되었으며, 현화식물인 말잘피를 제외한 연중 출현종은 총 32종으로 녹조류 3종, 갈조류 8종 그리고 홍조류가 21종으로 확인되었다.

석묵의 생식 및 생리학적 연구에서 석묵의 사분포자체와 과포자체에서 획득한 사분포자와 과포자의 초기 발생을 실내배양을 통하여 확인한 결과 석묵의 사분포자는 3일 후에 가근이 형성되고 4일 후에 가근이 사라진 후 직립체가 형성되고 배양 2주 후에는 성숙한 암·수 배우체가 관찰되었다. 16일 후에는 정자와 난자가 수정되어 생성된 낭과를 가진 과포자체를 확인할 수 있었으며, 방출된 과포자를 배양한 결과 사분포자와 거의 동일한 조건에서 생장이 일어난 것을 확인하였다. 과포자의 생장은 일장 24h, 조도 $20\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 와 25°C 에서 최대 생장을 보였다. 사분포자는 일장 24h, 조도 $40\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 최대 생장을 나타냈고 온도와 염분에 따른 실험에서 최대 성장(상대성장률, 0.29 day^{-1})은 20°C 의 35%에서 일어났다. 석묵은 실내배양에서 2-3개월 이내에 생활사를 완성하였다.

또한, 석묵포자의 초기생장에 미치는 해수유동 및 퇴적물의 영향을 알아본 결과 다양한 농도의 퇴적물을 첨가한 정치배양 조건에서 석묵포자 생존율은 27.32-78.63%로 배양액에 공급된 퇴적물양이 증가됨에 따라 감소하는 경향을 보였다. 해수유동 조건에서도 정치배양과 같이 퇴적물양의 증가에 따라 생존율이

감소하여 15.66-82.69%를 보였다. 상대생장률은 정치배양에서 평균 $0.22-0.29\text{day}^{-1}$ 의 값을 나타냈으며, 해수유동조건에서 $0.19-0.31\text{day}^{-1}$ 범위를 보여 퇴적물의 증가와 함께 성장률의 감소가 확인되었다. 또한, 석묵의 과포자는 암조건에서 발아되지 않았으며 조도가 $5-10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 평균 $82.16-82.54\mu\text{m}$ 의 길이로 성장하였고 $20-40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서는 조도가 증가됨에 따라 생장이 증가하였으며, 성장을 위한 최적조도는 $40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였으며, 이때 상대생장률은 0.32day^{-1} 였다. 조도가 $80\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상으로 증가되면 상대생장률이 급감(0.15day^{-1})하므로 광억제(photoinhibition) 현상이 일어나는 것으로 확인되었다.

지역개체군의 생물계절학적 연구를 위해 2006년 11월부터 2008년 6월 까지 해남, 완도, 장흥의 석묵을 매월 채집하여 성숙의 생활주기 파악한 결과 완도의 석묵은 12월과 1월부터 낭과를 가진 자성체가 나타나기 시작하였다. 자성체의 비율은 4-5월이 되면서 감소하였고 응성체와 사분포자체는 증가하는 경향을 보였다. 장흥에 이식한 석묵의 성숙비율은 자성체의 경우 3월 최대 출현비율을 나타냈으며, 사분포자체는 자성체가 최대로 나타난 3월에 처음 출현하였으며 6월 최대 출현비율을 나타내었다. 해남의 석묵은 조사가 시작된 2월에 낭과를 가진 자성체가 나타나기 시작하여 그 개체의 비율이 점점 높아져 4월 최대의 자성체가 출현하였으며 사분포자체의 경우 3월 처음으로 출현하였으며 4-6월로 시간이 경과하며 증가하는 경향을 나타내었다. 3 지역 모두에서 11-2월 자성체의 비율이 높았고 3-6월로 가며 사분포자체의 비율이 높아졌으며 7월에는 석묵개체가 발견되지 않았다.

각 지역 개체군의 월별 소장 및 생장에 대한 분석결과 완도 보길도의 툫양성줄의 석묵 조체의 체장은 $8.51-13.96\text{cm}$ 였고 2006년 1월에 최소였다. 2006년 11월 수온의 하강과 함께 다시 출현한 석묵의 길이는 9.73cm 였고 12월에 12.02cm 로 성장한 후 감소되어 2007년 1월에서 5월까지 $9.28-10.37\text{cm}$ 로 체장의 변화는 거의 없었다. 이후 석묵의 체장은 6월에 13.96cm 로 최대였고 7월에는 조체가 사라졌다. 석묵의 갈고리수는 $3.90-18.27$ 개로 조사되었으며 2006년 12월에 최대, 2007년 5월에 최소였다. 2006년과 2007년의 조사결과, 갈고리 수는 11월과 12월에 많았다가 3월과 4월에 점차 감소하다가 6월에 증가한 후 조체가 사라지는 양상을 나타냈다. 조체의 건중량은 $15.99-72.54\text{mg}$ 으로 2006년 1월에

최소, 12월에 최대였다. 장흥에 이식한 석묵의 길이는 7.26-11.95cm이며, 2008년 1월 최대였고 2008년 5월에 최소였다. 개체별 갈고리수는 2.17-14.70개로 조사되었으며 체장과 마찬가지로 2008년 1월에 최대였으며 5월에 최소였다. 갈고리수는 2006년과 2008년 조사에서 1월 이후 5-6월까지 지속적으로 증가하였으나 2007년에는 2월부터 6월까지 지속적 감소를 보였다. 석묵 건중량은 21.63-76.40mg로서 2007년 6월에 최소, 2008년 1월 최대였다. 해남에 이식한 석묵의 길이는 8.20-11.24cm로 2007년 5월에 최대를 보였으며, 2006년 2월에 최소를 나타냈다. 체장의 월별 변화는 크지 않았으나, 2006년과 2007년의 조사에서 5월에 최대길이를 나타냈다. 석묵 조체의 갈고리 수는 2.27-16.07개로 확인되었고 2006년 2월에 최대, 2007년 6월에 최소를 보였다. 조체의 건중량은 23.47-113.37mg로 2007년 5월에 최소였고 2006년 5월에 최대였으며, 3지역에서 석묵 건중량의 월별 변화는 갈고리수의 변화 패턴과 유사하였다.

2. 관련분야의 기여도 및 성과

본 연구를 통하여 석묵의 분류, 분포 및 석묵 서식처의 해조상을 밝히는 결과를 확보함으로써 한국산 석묵의 분류학적인 위치, 분포 범위를 최초로 밝혔으며, 이를 통해 석묵 서식지의 환경 특성을 알 수 있었다. 또한 석묵 포자의 초기생장에 미치는 환경요인(수온, 염분도, 일장, 조도)에 대한 자료가 확보됨으로써 석묵배아의 최적 생장을 위한 환경조건을 알아냈으며 퇴적물 및 해수유동이 초기석묵포자에 미치는 영향 및 암조건에서 생존 등의 실험을 통해 암반 등의 기질에 부착한 석묵의 개체가 발견되지 않는 이유에 대하여 실험을 통해 처음으로 밝혔다. 또한, 석묵의 생물계절학적 연구를 통해 석묵의 계절적 성숙 및 생장에 대한 자료가 확보되어 석묵 양식시기 선정을 위한 기본 자료와 성숙시기 파악을 통해 야외 채묘시기에 대한 자료가 확보됨으로써 목표로 했던 한국산 석묵의 생물학적 기초자료연구를 달성하였다. 본 연구과제에서 “한국산 석묵의 생물학적 기초 연구” 부분에서 수행하고자 하였던 연구결과를 100% 달성하였으며, 관련 성과로서는 아래와 같다. 즉 석묵의 분포 확인을 위한 연구수행을 통해 서해 최북단에 위치한 연평도의 채집을 수행하였으며 그 결과

“가을철 연평도의 해조군집”이라는 논문 1편을 한국수산학회지에 게재하였고 석목 포자의 초기생장에 대한 최적 환경조건 파악을 위한 실내배양의 결과를 학회에서 2번 발표하였다.

1) 논문발표

- Autumn intertidal macroalgal community structure on the Yeonpyeongdo islets, Korea - Korea. J. Fish. Sci. Technol. 11: 159-165, 2008

2) 학회 포스터 발표

a. 홍조류 석목의 생물계절학, 포자방출 및 생장에 관한 연구

- 2007 한국조류학회 정기총회 및 학술발표대회 요약집 145page.

b. Growth and reproduction of *Campylophora hypnaeoides* (CERAMIACEAE, RHODOPHYTA) and its cultivation trials

- 제63회 한국생물과학협회 정기학술대회 요약집 183page

제 2 절 석목의 채묘 및 인공종묘 생산의 기술 개발

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도

석목의 양식을 위한 인공종묘생산을 위해 실내에서 다양한 방법(광조사, 광주기법, 건조 후 침수법, 온도법, 담수충격법 등)에 의한 포자방출 유도를 확인하였으며 최적 기질을 알아보기 위해 다양한 기질에 대한 부착실험을 수행하였다. 광이 없는 조건에서 하루에 방출된 포자수는 45개였고, 반면에 광을 조사한 조건에서는 72-83개로 광조사 방법이 석목의 포자방출에 효과적임을 밝혔다. 일장별 하루에 방출된 포자수는 8h에서 72개였고 장일 조건으로 갈수록 증가하여 24h에서 83개로 최대였다. 또한, 건조후 침수방법에서는 건조조건에서 일장별로 하루에 5-8개, 무건조조건에서 6-23개의 포자의 방출량을 보여 건조는 포자방출방법으로 적절하지 않은 것으로 나타났다. 또한, 건조 유·무와 상관없이 포자의 방출량은 일장이 증가할수록 많았다. 온도와 조도에 따른 석목의 포자방출은 평균 1-75개로서 조도별 방출량은 10℃에서 3-19개, 15℃에서 55-75개, 20℃에서 39-67개로서 10 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대였고 20 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최소였다. 25℃에서도 다른 온도와

마찬가지로 $10\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 최대였으나 $40\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에서 방출량이 급감하였다. 따라서, 석목의 포자방출은 낮은 조도에서 일어나며 적온은 15°C 로 확인되었다.

석목 포자는 다양한 인공기질 및 자연기질에 부착되어 기질에 대한 특이성은 없었다. 석목의 배아는 기질에 따라 다른 형태의 부착기를 생성하였다. 즉, 유리와 가리비에 부착한 석목의 배아는 원반형 부착기를, 거즈와 채묘사에 부착한 배아는 2개 이상의 사상형의 가근을 형성하였다. 각 기질별 성장실험은 실험수행 중 오염에 의해 지속적인 배양은 이루어지지 않았으나 조체의 부착 밀도가 낮고 영양염 공급이 원활한 채묘사에 부착한 석목의 생장이 가장 높게 나타났다.

실내에서의 포자방출 조건을 확인한 후 배양장에서 다량의 포자를 방출받아 플라스틱파판, 굴패각과 채묘사 등에 부착하여 유수식 상태에서 관리한 결과, 플라스틱파판과 굴패각에 부착된 많은 포자가 탈락되었고 채묘사의 경우에는 포자가 채묘사 틈새에 들어가 부착함을 알 수 있었다. 따라서 채묘사가 석목 포자 부착을 위한 기질로 사용이 가능한 것을 알 수 있었다. 채묘가 확인된 후 가이식 실시 이전까지 석목의 배아를 배양장에서 유수식으로 관리하였으며, 석목은 사상형 부착기로 채묘줄에 부착한 것을 확인하였으며, 유수식 배양조건에서 약간의 탈락이 발생하였으나 비교적 양호한 성장을 보였다.

야외에서 다양한 방법(툇에 부착된 석목 끼워넣기, 꼬은 그물밭에 석목끼우기)으로 인공채묘를 실시한 결과 친승줄에 의한 툇과 함께 석목 끼워넣기를 한 석목의 생장은 좋았으나, 부착기질(툇)이 약하여 탈락현상이 빈번하였고, 꼬은 그물밭의 경우 툇 양성줄에 비해 석목의 부착이 매우 양호하였고 생산량도 증가하였다. 하지만, 생장이 진행됨에 따라 탈락현상이 발생하였다. 꼬인 그물망에 의한 이식방법은 간편하고 생산량을 증대시키는 방법임을 확인 할 수 있었다. 석목은 툇을 부착기질로 하여 성장하기 때문에 파도 발생시 툇이 탈락하게 되면 석목도 동시에 탈락되었다. 따라서 자연채묘를 위해 툇 양식장 주위에 수직으로 김 양식망을 시설하여 툇줄에서 탈락한 석목을 자연 채묘한 결과, 그물망에 걸린 툇에 부착된 석목은 갈고리를 생성하여 그물에 다시 부착하여 성장하였다. 하지만 그물망이 클 경우 갈고리에 의한 단단하게 고정되지 않은 상태에서 파도가 심할 경우 다시 탈락하는 현상이 발생하므로 좀 더 그물코가 작은 망을 사용해야 될 것이다. 하지만

그물코가 지나치게 작으면 퇴적물이 쌓이게 되어 석묵의 생장에 좋지 않은 영향을 미치게 되므로 적절한 그물코를 가진 그물망 설치가 자연 채묘의 가장 중요한 점이라 사료된다.

2. 관련분야의 기여도 및 성과

본 연구과제에서 “석묵의 채묘와 인공종묘 생산 기술 개발”을 통하여 실내에서의 최적 포자방출유도 조건을 확인하였으며, 다양한 부착기질을 이용할 수 있는 가능성을 확인하였다. 배양장에서의 실험을 통해 포자부착 및 양성을 위한 기질로 채묘사가 효과적이라는 것이 밝혀졌다. 또한 다양한 자연·인공 채묘실험을 통해 자연채묘 시 그물망의 사이즈가 중요한 요인으로 작용하는 것을 알 수 있었으며, 꼬은 그물발에 끼워 넣는 방법이 석묵채묘에 효과적이라는 것을 알아냄으로써 양식을 위한 채묘방법에 대한 기본 자료를 확보하였으며 본 연구과제에서 석묵의 채묘 및 인공종묘 생산기술개발에 대해서 계획하였던 목표를 달성하였다. 관련된 연구성과로서는 석묵의 기질별 부착실험을 통해 석묵이 다른 해조류 조체가 아닌 다른 자연기질에서 발견되지 않는 이유가 부착의 유·무 때문이 아닌 파도, 광 등의 물리적 요인에 의한 것으로 사료됨에 따라 현재 이에 대한 논문을 작성하고 있는 중이다.

1) 논문발표(투고중)

- 석묵포자의 발아와 생장에 대한 퇴적물, 해수유동 및 광의 영향
한국조류학회지(Algae)

제 3 절 야외양성, 대량 생산 양식기술 개발

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도

석묵에 대한 가이식의 필요 여부 및 가이식의 영향을 알기위해 가이식을 실시하여 가이식을 실시하지 않은 대조구와 비교하였다. 수심별 가이식 결과 가이식을 실시하지 않은 대조구에서 70.45%의 부착유지율을 보인 반면 1m에서는

34.25%로 거의 50% 정도 감소하였으며, 3m에서는 52.33%로서 수심 1m에 비해 높은 부착 유지율을 나타냈다. 이러한 이유는 표층에서 물의 흐름이나 파도가 높기 때문으로 사료된다. 가이식에 따른 개체의 생장은 가이식을 실시하지 않은 대조구의 경우 2-3cm로써 거의 성장하지 않았으며 1m에서 6.43cm로, 3m에서 4.24cm로 성장하여 가이식을 실시했을 때 생장이 더욱 좋게 나타났다. 이 결과를 종합해보면 수심 1m에 비해 3m에서 생장은 약간 느렸으나 유배의 탈락율이 약 20%정도 높게 나타나 가이식에 적절한 수심은 3m였다. 가이식된 채묘들을 친승줄에 부착된 상태로 20일간 양식하였을 때 석묵의 사분포자체의 생장이 육안으로 확인되었다. 한편, 친승줄에 석묵이 부착된 채묘줄을 수심 1m와 3m에 설치하여 7일간 가이식된 후에 부착율과 성장율을 조사하였으나, 부착율은 수심 1m에서 12.34%, 수심 3m에서 16.45%였으며, 생장은 채묘들에서 자란 석묵의 사분포자체의 유배와 크기가 유사하였으나 개체수가 매우 적었다. 가이식의 시기는 파포자체의 낭과 형성이 수온에 따라 매년 약간씩 변화는 것으로 나타남으로써 가이식 시기는 약간 유동적이지만, 12월에서 1월에 파도가 거의 없는 시기에 가이식을 하는 것이 탈락율을 감소시키는 것으로 사료된다.

가이식은 채묘줄에 부착된 석묵 사분포자체 유배의 탈락율을 증가시켰으나, 성장을 촉진하는 것으로 확인되었으므로 가이식이 필요한 것을 확인 할수 있었다. 가이식의 경우에 석묵 유배의 탈락이 쉽게 발생한다는 것을 생각하여 파도가 심하지 않는 곳에서 가이식을 한 후에 파도가 좀더 심한 장소에서 양성하는 것이 조체의 부착율을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

석묵의 생산량이 최대한 양성 수심을 파악하기 위해 수심별(표층, 1m, 3m) 야외양성을 실시하였다. 또한, 최적 양성방법을 탐색하기 위해 인공채묘(석묵만 끼워넣기와 툇과 함께 끼워넣는 방법)와 자연채묘(김 양식망)방법의 생산량변화를 측정하였으며, 석묵 양식을 위해 개발된 러셀망을 이용한 방법 또한 생산량을 측정하여 기존 방법의 석묵 생산량과 비교한 결과 수심에 따라 이식한 석묵의 생산량은 표층의 생산량이 수심 1m와 3m에 비하여 높게 나타났다. 2008년 1월-6월까지 수행된 생산량조사결과 표층에서 평균 1.12-1.79g/cm의 생산량을, 수심 1m에서는 0.55-1.13g/cm을, 수심 3m에서는 0.24-1.03g/cm의 생산량을

나타내 모든 수심에서 3월에 최대 생산량을 보인 뒤 점차 감소하였다. 보길도(완도) 표층의 석목생산량은 1월에서 4월로 시간이 경과할수록 증가하여 4월에 1.63g/cm로 최대였으며 6월 1.18g/cm로 감소한 것이 확인되었다.

양성 방법에 따른 석목의 생산량은 톳과 함께 끼워넣기 방법에서 0.64–0.99g/cm로 비교적 높게 나타났으나, 톳의 성장과 함께 톳과 톳의 마찰 또는 파도에 의한 톳의 탈락에 의한 동반 탈락이 발생하는 것이 관찰되었다. 석목만 끼워 넣은 방법에서 생산량(건중량)은 0.52–0.63g/cm였다. 석목만 끼워 넣기 방법에서 생산량의 증가가 일어나지 않은 이유는 석목이 부착할 수 있는 기질이 부족하기 때문으로 여겨진다. 김 양식망의 경우 시설초기에 0.63g/cm로 생산량이 상당히 높게 나타났으나, 이후 파도에 의한 대량 탈락이 발생하여 5월에 0.23g/cm의 생산량을 보였다.

이와 같은 결과와 석목이 갈고리로 기질에 부착한다는 특성을 토대로 작은 그물코를 가진 러셀망을 이용한 석목의 양식한 결과, 생산량은 시설 초기에 1.14g/cm로 비교적 높았으며, 시설 3개월 후인 4월에 실시한 2차 측정에서 1.63g/cm로 최대 생산량을 보여 친승줄을 이용한 수심별 생산량 측정에서의 표층 생산량 이상을 수확할 수 있었다. 5월 1차 측정에서 생산량은 1.81g/cm로 최대를 보였고 2차 측정에서 1.54g/cm로 감소하였다. 이처럼 러셀망을 이용한 석목의 양식방법에서 생산량이 높은 것은 석목이 갈고리로 기질에 부착하는 종의 특성을 활용한 방법으로 석목의 채묘와 생장에 있어 매우 적합한 방법이다. 또한, 석목만 끼워넣는 방법은 러셀망을 이용한 양식방법의 이점은 그물망에 다른 해조류의 부착이 잘되지 않아 단일 종의 양식이 가능하며 석목이 탈락하는 것을 예방하는 효과가 있다. 또한 한번 수확 후 망에 부착한 석목의 갈고리를 통한 영양생장으로 여러 번의 수확이 가능하며 높은 생산량과 수확의 편리함 등의 이점을 가지고 있다.

야외 양성시 환경조건의 변화를 살펴보면 수온은 8–18℃로 석목이 출현한 11월에 가장 높게 나타났으며 이후 감소하여 2월에 최저(8℃)로 조사되었다. 용존산소량은 8.80–9.83ppm으로 1월에 최대였으며 11월에 최저로서 수온의 하강과 함께 증가하였으며, 수온이 다시 상승하면서 감소하는 것으로 조사되었다. 비중은 1.03–1.02로써 큰 차이를

보이지 않았으나, 용존산소량과 마찬가지로 최고 수온인 11월에 최소였고 수온이 하강됨에 따라서 증가하여 수온이 가장 낮은 2월에 최대였다.

다양한 방법으로 야외 양성시험을 한 결과 월별 평균생산량은 0.70-1.32g/cm로서 2월에 최소였고 3월에 최대로 나타났으며, 2월의 생산량 감소는 겨울철 강한 파도에 의한 탈락 때문으로 사료된다. 따라서 이를 해황자료와 비교해 보면 1월에 0.99g/cm의 생산량을 보인 석묵은 수온의 감소와 함께 2월에 생산량이 증가 되었으나 파도에 의한 탈락이 발생하였고, 3월이 되면서 다시 빠른 성장을 보여 최대생산량을 나타낸 후 수온의 증가함에 따라 생산량이 점차 감소하다가 6-7월 사이에 석묵이 사라지는 것으로 나타났다.

2. 관련분야의 기여도 및 성과

본 연구를 통하여 석묵의 양식에 있어 가이식이 생장에 효과적이라는 것이 밝혀짐으로써 가이식이 필요함을 밝혔고, 가이식 수심은 3m가 적절하다는 것을 알아냈다. 또한, 석묵의 다양한 야외 양성결과, 최적 생장은 표층에서 일어난다는 것을 밝혔다. 본 연구에서 석묵의 생육특성에 맞도록 고안된 러셀망을 이용한 양식방법이 기존 양식방법에 비해 효과적이라는 것을 생산량 비교를 통해 확인하였다. 또한, 석묵의 야외 양성시기의 기초해황이 파악됨으로써 생산량과 해황과의 결과를 바탕으로 이후 양식시기 선택에 대한 기초자료를 확보하였다. 연구 성과로는 양식기술 및 생산량 자료를 토대로 특허 1건을 출원하였으며 새로운 해조류 양식기술, 수산관련법규에 대한 귀어가 수산컨설팅을 수 회 실시하였다.

1) 특허출원

- 홍조류 식물의 양식방법 및 이를 이용한 식물의 양식방법

출원번호통지서

페이지 1 / 1

관인생략 출원번호통지서

출원일자 2008.07.14
 특기사항 심사청구(무) 공개신청(무)
 출원번호 10-2008-0068015 (접수번호 1-1-2008-0503445-92)
 출원인 성명 최한길(4-2008-030194-1)
 대리인 성명 정홍식(9-1998-000543-3)
 발명자 성명 최한길

특 허 청 장

- 출원번호통지서 출원 이후 심사진행 상황 등을 확인하실 때에는 출원번호가 필요하므로 출원번호통지서는 출원절차가 종료될 때까지 보관하시기 바랍니다.
- 2-가. 특허 및 실용신안 출원은 심사청구 후 평균 10개월에 1차 심사처리가 이루어지고, 상표 및 디자인 출원 후 평균 6개월에 1차 심사처리가 이루어집니다.
 2-나. 특허 및 실용신안은 특허청 홈페이지(<http://www.kipo.go.kr>) 이하 "출원인지" 라 함)나 "특허료 (권리인접지출원)" 사이트 "나의출원등록조회"에서 1차 심사처리 1개월 전에 1차 심사결과통지 예정시기를 확인할 수 있으며, 또 사이트 코너인 "특허서비스신청"에서 1차 심사결과통지 예정시기를 알람 서비스 신청하시면 1차 심사처리 1개월 전에 해당 출원 건의 1차 심사결과통지 예정시기를 SMS 또는 E-mail 서비스로 제공 받을 수 있습니다. (단 홈페이지 화면에 한하여 특허서비스 신청 가능)
 2-다. 상표 및 디자인은 특허청 홈페이지(공지사항)에 특별 1차 심사결과통지 예정시기를 매일 게시하고 있으며, 특허정보검색서비스 시스템(<http://www.kipris.or.kr>)을 통해 개별 출원건에 대한 1차 심사결과통지 예정시기를 알려드립니다. 또한, 출원서 1차 심사결과통지 예정시기를 알람 서비스를 신청하시면, SMS 또는 E-mail 서비스로 제공해 드립니다.
 주: 상기 1차 심사결과통지 예정시기는 사정에 의해 다소 늦거나 빨라질 수 있습니다.
 2-라. 1차 심사결과통지서(심사관이 특허감정의 통보를 송달하기 전 또는 심사관이 최초로 거절여유를 통지할 후 출원인이 그 거절여유를 받기 전 해를 때)까지 귀하께서는 특허출원서에 최초로 첨부된 통지서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 명세서 또는 도면을 보정할 수 있습니다.
- 심사청구 특허출원은 출원일로부터 5년 이내에 특허법시행규칙 별지 제24호서식에 의거 심사청구를 하지 않으면 그 출원을 소멸취하된 것으로 간주하여 처인됨을 알려드립니다.
- 우선심사 특허출원 또는 디자인등록출원에 대해 조기에 심사받기를 원하시면 우선심사제도를 이용하실 수 있습니다.
- 주소 등 변경신고 출원인의 주소 등을 변경하고자 하는 경우에는 특허법 시행규칙 별지 제4호의 2서식에 의한 출원인 정보변경(경정) 신고서를 제출하여야 합니다.
- 상업재산권 표시, 광고요청 특허 등 상업재산권을 출원 증명 있는 경우에는 해당 상업재산이 출원상태임을 타당과 같이 표시하여야 하며, 이를 위반할 경우 특허법 제224조 및 제227조에 의거 처벌 받게 됩니다.
 예) 특허출원 10-2001-8000001, 실용신안등록출원 20-2001-0000001, 디자인등록출원 30-2001-0000001, 상표등록출원 40-2001-0000001
- 미성년자 미성년자인 출원인이 만20세에 도달하는 경우 출원인의 부모 등 법정대리인의 대리권은 소멸하게 되므로, 출원인을 적자 또는 대리인을 새로이 선임하여 특허에 관한 절차를 밟을 수 있습니다.
- 문의처 기타 문의사항이 있으시면 특허고객 콜센터(1544-8000)에 문의하시거나 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)를 참고하시기 바랍니다.
- 특허청 주소 302-701 대전광역시 서구 선산로 139 권부대전청사 4동
 특허청 서울사무소 주소 135-911 서울특별시 강남구 역삼동 647-9 한국지식센터
 FAX) 대전 : 042-472-7140, 서울 : 02-566-8454

나타난 약간의 형질변이는 그 중요성이 떨어진다고 판단된다.

지역별 분자형질의 차이를 파악하기 위하여 색소체 유전자인 *rbcL*의 염기서열 분석을 수행하였다. 각 지역산 석묵의 *rbcL* 유전자의 변이율은 0-0.14% (0-2 bp)로 나타났다. 구체적으로 이회진에서 채집된 두 개의 표본과 나머지 지역산 표본과는 2 bp로 가장 큰 차이를 보였는데 여기에는 이회진에서 채집된 나머지 두 개 표본도 포함되어 있다. 또한 장흥이식툰줄에서 채집된 표본과 나머지 표본과는 1 bp의 차이가 나타났다. 한편, 한국산 석묵과 일본산 석묵 간의 유전자 변이율은 0.14-0.35% (2-5 bp)로 나타난 것에 비하여, 일본산 석묵 상호간의 변이율은 0.42% (6 bp)로 더 높은 차이를 보임으로 본 연구에서 지역별로 채집된 석묵은 유전자 변이율 면에서 작은 차이가 존재할 뿐, 아주 뚜렷한 큰 차이는 발견되지 않았다.

형태적, 분자형질적인 차이가 크게 나타나지 않음으로 석묵의 물리적인 특성의 차이를 알아보기 위해 서식지와 생식상태에 따른 인장력 측정을 실시하였다. 측정결과 석묵의 인장강도는 53g-94g을 보였고 3월의 과포자체에 비해 5월에 노성한 사분포자체의 인장강도가 높다는 것을 확인하였고 자연산과 툷 친승줄에 부착한 석묵과의 인장도에서 커다란 차이는 보이지 않았다. 하지만, 상대적으로 외해에 위치하고 파도가 심한 지역에서 채집한 보길도 인근에 있는 예작도의 툷 양식장에서 5월에 채집한 개체의 인장강도와 젤강도(gel strength), 경도(hardness) 등이 높게 나타났다.

2. 관련분야의 기여도 및 성과

본 연구과제 중에서 “석묵의 우수 양식품종 개발”을 통해 아직까지 분류학적인 위치가 정확히 확립되지 않은 석묵 속(genus)의 계통 분류학적 위치를 확인하였으며, 우리나라에 서식하는 석묵이 분류학적으로 같은 종인 것을 확인하였다. 또한 석묵의 형태적인 특징이 밝혀짐으로써 향후 석묵의 분류에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 각 지역별 환경특성에 따라 석묵의 물리적인 특징(인장력)이 달라지는 것을 확인함으로써 석묵 양식 시 인장력이 높은 석묵의 생산을 위한 환경특성이 확보되었다고 볼 수 있다.

제 5 절 경제성분석 및 유용성분

1. 연구개발 내용 요약 및 목표 달성도

석묵은 툫 양식줄의 해적 생물로 생각하여 담수 등으로 제거되던 해조류로써 아직까지 어업인과 일반 소비자들의 인식부족으로 국내 판매는 되고 있지 않음으로 석묵의 양식생산 및 유통현황은 분석할 수 없으나 독특한 맛과 고급 한천의 재료, 기능성물질개발에 대한 기대치가 높아 점차 소비가 증대될 것으로 예상된다.

석묵의 시험어장에서 양식된 생산량을 바탕으로 경제성을 분석한 결과, 석묵의 생산량은 단위면적(1ha) 당 약 927.6kg(46.38kg × 20대)이며, 일본에서 판매되는 가격(건중량 2-15만원/kg)을 고려하여 최소 kg당 5만원에 수출될 경우 단위면적(ha) 당 37,642.7천원의 순소득이 가능하며 친승줄 1대당 평균 1,882천원의 순소득을 얻을 수 있다. 이러한 석묵의 수입은 다른 양식해조류에 비해 매우 높아 향후 양식어가에 새로운 소득원으로 해조류 양식산업의 활성화에 이바지 할 수 있을 것으로 기대된다.

석묵의 유용성분을 분석한 결과, 100g당 탄수화물이 42.38g을 차지하며 가장 높은 함유량을 보였고 단백질이 25.87g, 지방이 0.56g, 회분이 23.61g, 수분이 7.58을 차지하는 것으로 나타났다. 석묵은 다른 양식해조류에 비해 단백질함량이 매우 높은 것으로 나타났으며 탄수화물 함량도 낮지 않았다. 무기질의 종류에 따른 함유량은 100g의 건조 석묵 당 칼륨이 8,177.25mg으로 최대였고 나트륨(4,004.13mg)과 마그네슘(1,001.28mg)이 비교적 높은 함유량을 보였다. 유리아미노산 함량 측정 결과 글루탐산과 타우린이 각각 4.309mg과 3.162mg으로 높은 값을 나타냈다.

2. 관련분야의 기여도 및 성과

본 연구결과 석묵의 단위면적당 순수익을 다른 해조류와 비교함으로써 향후 석묵이 기존 양식품종의 대체 품종으로 양식어가의 영어의욕 고취 및 소득향상을 도모할 수 있는 동기를 부여할 것으로 사료된다. 또한, 석묵의 유용성분을 분석한 결과, 석묵은 다른 해조류보다 유용성분이 높은 비율로 존재한다는 것이 파악됨으로써 향후 기능성 식품으로써의 개발 가능성이 확인되었다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

석묵의 대량 양식 기술이 개발됨으로써 향후 양식기술을 어업인에게 교육 및 보급시켜 해조류 양식어가에 새로운 소득원으로 작용할 것이며, 다양한 판로 개척을 통한 고소득 품종으로 자리매김 할 것으로 판단된다. 또한 항균 및 항산화능력이 있는 석묵의 천연물을 활용한 음료 및 기능성식품으로의 개발이 예상되며, 나아가 항염증 및 혈액순환과 관련된 효능이 확인됨으로써 의약품 개발도 기대할 수 있다.

제 6 장 참고문헌

- Agardh, J. G. (1851). Species genera et ordines algarum, seu descriptiones succinctae specierum, generum et ordinum, quibus algarum regnum constituitur. Volumen secundum: alga florideas complectens. Part 1. pp. [ii*-iii*], [i]-xii, [1]-336 + 337-351 [Addenda and Indices]. Lundae [Lund]: C.W.K. Gleerup.
- Barbour, M. G., J. H. Burk and W. D. Pitts. 1987. Terrestrial Plant Ecology. *The Benjamin/Cumming Pub. Co., Inc.*, pp. 634.
- Boo, S. M. and Yoshida, T. 1991. Typification of three names in *Campylophora* (Rhodophyceae, Ceramiaceae). *Taxon* 40: 95-99.
- Boo, S. M. 1992. A Taxonomic Appraisal on *Campylophora crassa* (Ceramiaceae, Rhodophyta). *Kor. J. Phycol.* 7: 7-12
- Cho, T. O., M. H. Hommersand, B. Y. Won, and S. Fredericq. 2008. Generic boundaries and phylogeny of *Campylophora* (Ceramiaceae, Rhodophyta), including *Campylophora californica* (Farlow) comb. nov. *Phycologia* 47: 321-333.
- Hommersand, M. H. 1963. The morphology and classification of some Ceramiaceae and Rhodomelaceae. *Univ. California Publ. Bot.* 35: 165-366.
- Itono, H. 1977. Studies on the Ceramiaceous algae (Rhodophyta) from the southern parts of Japan. *Bibl. Phycol.* 35: 1-499.
- Itono, H. 1981. Taxonomic and distributional accounts on the Ceramiaceous algae (Ceramiaceae, Rhodophyta)-VI. Ceramiaceae. *Mar. & Biol.* 12: 69-73.
- Koh, N. P. 1990. An ecological study of resources of marine plants in Geomundo Islands. *Algae* 5, 1-37.
- Kirihara, S., M. Notoya and Y. Aruga. 1990. Cultivation of *Campylophora hypnaeoides* J. Agardh (Ceramiaceae, Rhodophyta). *Jpn. J. Phycol.* 38: 377-382.

- Lee, Y. P. and S. Y. Kang. 2002. *A Catalogue of the Seaweeds in Korea*.
Cheju Nat. Univ. Press, 1-662.
- Nakamura, Y. (1950). New *Ceramium* and *Campylaephora* from Japan. Scientific Papers of the Institute of Algological Research, Faculty of Science, Hokkaido Imperial University 3: 155-172.
- Nakamura, Y. 1965. Species of the genera *Ceramium* and *Campylaephora*, especially those of northern Japan. *Sci. Pap. Inst. Algal. Res., Fac. Sci., Hokkaido Univ.* 5: 119-180.
- Noda, M. 1974. Some marine algae collected on the coast of Kashiwazaki Province facing the Japan Sea. *Sci. Rep. Niigata Univ.* 11: 65-74.
- Notoya, M. 1979. Life history of *Campylaephora hypnaeoides* J. Agardh (Ceramiaceae, Rhodophyta) in culture and environmental regulation of reproduction. *Jpn. J. Phycol.* 27: 201-204.
- Okamura, K. 1927. On *Campylaephora hypnaeoides*. *J. Ag. Bot. Mag.* 41: 365-368.
- Park, H. S., S. K. Paik and S. M. Boo. Immunological relationship based on phycoerythrin in *Campylaephora crassa*, rhodophyta and related species. *Korean J. Bot.* 36: 91-96.
- Perestenko, L. P. (1994). *Krasnye Vodorosli Dal'nevostochnykh Morei Rossii* [Red Algae of the far-eastern seas of Russia]. pp. 1-330 + [1], 60 pls. St. Petersburg: Rossiiskaia Akademiia Nauk, Botanichesk Institut im. V.L. Komarova [Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences].
- Provasoli, L., 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In: Watanabe, A. and Hattori, A., Editors, 1968. *Cultures and Collection of Algae, Japan*. *Soc. of Plant Physiol., Tokyo*, pp. 63 - 67.
- Rueness, J. and T. Tananger, 1984. Growth in culture of four red algae from Norway with potential for mariculture. *Proc. int. Seaweed Symp.* 11: 303 - 307.

- Saito, Y. and S. Atobe. 1970. Phytosociological study of intertidal marine algae. *I. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 21, 37-67.
- Saenko G. N., Y. Y. Kravtsova, V. V. Ivanenko and S. I. Sheludko, 1978. Concentration of iodine and bromine by plants in the Sea of Japan and Okhotsk. *Mar. Biol.* 47: 243-250.
- Seo, K. S., T. O. Cho, J. S. Park, E. C. Yang, H. S. Yoon and S. M. Boo. 2003. Morphology, basiphyte range, and plastid DNA phylogeny of *Campylaephora borealis* stat. nov. (Ceramiaceae, Rhodophyta). *Taxon* 52: 2-19.
- Tseng, C. K. (1984). *Common Seaweeds of China*. 149 pls. Beijing: Science Press. pp. 1-318.
- Yoshida, T. (1998). *Marine Algae of Japan*. pp. 25 + 1222. Tokyo: Uchida Rokakuho Publishing.