

T0023352

개(토종)다시마 복원 및 양식산업화 연구

Studies on *Kjellmaniella crassifolia* for wildstock
restoration and industrialized aquaculture

2007. 12

주관연구기관 : 국립수산과학원 동해수산연구소

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “동해안 개(토종)다시마(*Kjellmaniella crassifolia*) 복원 및 양식 산업화 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007 년 12 월 일

주관연구기관명 : 국립수산과학원 동해수산연구소

주관연구책임자 : 김 영 대

세부연구책임자 : 김 영 대

연 구 원 : 공 용 근, 김 대 권, 윤 장 택,
김 수 경, 조 규 태, 김 완 기,
이 종 하, 이 주, 송 홍 인,
한 형 균, 전 창 영, 홍 정 표,
방 종 득, 이 정 용, 손 용 수,
권 문 경, 김 동 삼, 김 진 희,
김 명 래,
강릉대학교:진 형 주, 이 상 범
부경대학교:홍 용 기, 최 재 석,
강 세 은

요 약 문

I. 제 목

동해안 개(토종)다시마(*Kjellmaniella crassifolia*) 복원 및 양식 산업화 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라에 서식하고 있는 다시마과의 다시마류는 3종으로 애기다시마(*Laminaria reliosa* Miyabe), 다시마(*Laminaria japonica* Areschoug), 개다시마(*Kjellmaniella crassifolia* Miyabe)가 있으며 이 중 다시마와 애기다시마는 70년대에 일본에서 이식되어져 국내에 적응되었다. 80년대 다시마과의 다시마는 경북 울진 이북까지 분포하였으나, 현재는 서식지가 점차 북상하여 강원도 삼척 일부 해역부터 강원도 고성군까지 분포되어, 서식지가 점차 줄어드는 것으로 나타났다. 최근 조사에서 개다시마 서식지의 해조상은 야키시리구멍쇠미역(*Agarum clathratum* Dumortier)이 피도 80~100%로 우점종이고 참곱슬이, 미끈뼈대그물말, 주름뼈대그물말이 피도 20~30%로 서식하고 있어, 개다시마의 자연발생 및 생장이 더욱 어렵게 되었다.

개다시마는 동해 고유종으로 주로 강원 북부 수심 25~30m에 주로 서식하는 대표적 한해성 다년생 해조류이다. 강원 연안을 중심으로 1990년대에 연간 1,000여 톤의 자연산이 채취되어 식이섬유를 이용한 다이어트 식품으로 변비방지, 장운동 활성화 촉진 등 건강식품 및 전복, 성게 등의 먹이로 이용되어져 왔으며, 최근 기술의 진전으로 유용성분이 많이 추출됨에 따라 개다시마의 중요성이 주목 받고 있다. 그러나 최근 해양환경 변동, 무분별한 채취 등으로 자원이 감소하여 멸종 위기에 처해져 있다. 따라서 산업적으로 중요한 개다시마의 자원 복원을 위하여 인공 종묘생산 및 대량 양성기술 개발이 시급한 실정이다.

개다시마의 복원과 자원증대를 위하여 강릉 연안에 자생하는 개다시마의 생태적 특성 구멍과 암·수배우체의 분리 및 보존기술을 개발하고, 아울러 인공종묘생산 및 양성기술개발 등의 과정을 통하여 서식지의 자원 복원과 해조류 양식품종의 다양화 유도 및 양식 기술을 보급함으로써 어업인의 소득증대에 기여하고, 대량생산을 통한 고부가 가치성을 창출하는 의약품 및 건강식품 원료 공급원으로

활용하고자 한다.

온대 해역에 속하는 우리나라 주변 해역의 해조류 자원은 높은 종 다양성을 보이고 있으며 이러한 유전자원 pool은 미래의 유전자 경쟁 등에 대비하는 매우 중요한 자원이 될 것이다. 그러나 현재와 같이 연안 환경오염과 해양 생물의 남획 및 몇몇 단일 종의 대량양식 등으로 인한 품종의 유전적 열성화와 같은 문제점을 극복하기 위한 노력을 기울이지 않는다면 미래의 유전자 전쟁에서 선진국에 뒤처지게 될 것이다. 이러한 문제점을 타개하기 위해서는 해조류 종별 양식기법을 발전시키고 새로운 이용 방안을 제시함으로써 우리나라 해조류 자원의 이용도를 높일 수 있는 연구개발이 시급하다. 따라서 개다시마의 유전자분석 및 개체 특성을 구명하고, 배우체 단계에서 분리 및 보존 기술을 개발함으로써 연중 양식과 고유종 보존이 가능한 기술을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 개다시마 군락지 연구

개다시마의 서식지 연구를 위하여 강원도 고성군 일대와 강릉시 사근진 해역 주변에서 청취조사 및 잠수조사를 실시하였으며, 조사 방법으로는 어촌계원, 잠수부, 해녀 등 각 해역의 토착민을 대상으로 수산생물 특성과 생산량조사, 개다시마의 서식밀도 등을 조사하였다. 또한 전문 잠수부를 이용하여 수중카메라, 수중비디오로 수중생태계를 촬영하였으며, line transect 방법으로 수직별 해조류 출현종과 10×10cm로 세분된 50×50cm의 크기의 방형구를 이용하여 해조 출현종을 조사하였다. 현존량은 방형구내의 해조류 전량을 채취하여 종별 생중량을 측정하였다. 조사의 정확성을 기하기 위하여 수중 카메라와 수중비디오로 수중생태계를 촬영하여 실내에서 비교·분석하였다.

2. 생활사 및 생태 연구

개다시마 최대군락지인 강릉시 사근진 해역 주변에 서식하고 있는 개다시마의 생장과 성숙 등을 월별 정기적으로 생태 조사하였다. 이를 위하여 매월 엽체의 엽장, 엽폭 등 생장을 조사하였고, 조직절단을 통한 영양세포의 변화를 비롯하여 현미경으로 성숙 자낭반 부위를 절단하여 검경하였다.

3. 유주자 방출 유도 연구

채취한 개다시마 모조로부터 자낭반을 잘라내고, 12시간 실내음건, 30분 햇빛 건조, 채취 즉시 방출 및 12시간 냉장음건의 4가지 방법으로 유주자 방출 유도 효과를 연구하였다. 유주자 방출 유도를 위하여 햇빛에 노출된 평평한 장소에 설치된 투명 수조를 준비한 다음, 1 μ m 필터로 여과시킨 멸균 해수에 채취된 자낭반 부위를 넣은 다음, 천천히 막대로 저어주었다. 약 10분 후부터 현미경으로 유주자 움직임과 밀도를 조사하고, 현미경 100배 시야에서 약 30개체 이상 보이고 움직임이 활발하면 건강하고 적절한 유주자로 판정하였다. 측정은 10번 반복하였다.

4. 환경조절에 의한 종묘생산 연구

가. 환경에 의한 실내 종묘생산 연구

모조는 개다시마의 특성인 용무늬가 선명하고, 뿌리 부분에서 심장형이 분명한 성숙된 것을 사용하였다. 세포배양에 적합한 온도, 광주기, 광량 등의 실내 환경을 구명하였다. 모조로부터 자낭반 형성 부위를 잘라내고, 12시간 냉장음건(약 4 $^{\circ}$ C) 방법으로 방출자극을 준 다음 투명 수조에 넣은 후 햇빛을 직접 받는 평평한 장소에 설치하였다. 1 μ m 필터로 여과시킨 멸균 해수에 채취된 자낭반 부위를 넣고 천천히 막대로 저어주었다. 모조를 제거하고 채묘틀을 수평으로 넣은 다음 약 2시간 동안 채묘하였다.

1) 적정 배양온도 연구

각각의 실험군은 3번 반복 하였다. 온도 5단계 (5, 10, 15, 20, 25 및 30 $^{\circ}$ C)의 시험구로 배양하였으며, PESI 배지를 일주일 간격으로 교환하였다. 또한 광량은 60 μ mol \cdot m $^{-2}$ \cdot s $^{-1}$, 광주기는 12시간 명조건 : 12시간 암조건(12L:12D)으로 하여 40일간 배양하였다. 배양 중에 현미경(100배율)으로 관찰하여, 배우체 형성 및 성장 상태 등을 관찰하였으며, 배양 한 달 경과 후에 아포체의 성장을 측정하였다.

2) 적정 광량 연구

광량은 각각의 실험군 별로 10, 20, 40, 60 및 80 μ mol \cdot m $^{-2}$ \cdot s $^{-1}$ 의 5단계 시험구로 설정하여, 40일간 배양하였다. 온도는 15 $^{\circ}$ C, 광주기는 12L:12D로 PESI 배지를 일주일 간격으로 완전 교환하였으며 배양 중에 배우체 형성, 성장 상태 및 아포체 형성 등을 연구하였다.

3) 광주기 연구

광주기는 8L:16D, 12L:12D, 16L:8D, 5L:19D 및 19L:5D의 5단계 시험구로 설정하였고 40일 동안 배양하였다. 배양환경은 온도는 15°C, 광량은 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 PESI 배지를 일주일 간격으로 전량 교환하였으며, 배양 중에 배우체 형성, 성장 상태 및 아포체 형성 등을 연구하였다.

4) 친승이식 연구

1차 종묘생산 연구에서는 5~10cm의 유엽을 18mm 로프에 10cm 간격으로 이식하여 뿌리가 로프에 걸착될 수 있도록 한 달간 실내수조에 배양 후 바다에 양성하였다. 2차 종묘생산에서는 5~10cm의 유엽을 대상으로 18합사 크레모나에 10cm 간격으로 이식하여 18mm 로프에 다시 감는 방법으로 뿌리가 로프에 걸착될 수 있도록 한 달간 실내수조에서 배양한 후 바다에 양성하였다.

5) 유리배양 연구

1차 종묘생산 연구에서는 우량모조 생산을 위하여 종묘 2~7mm 유엽을 대상으로 유리배양을 실시하였다. 배양 환경은 수온 10~12°C, 광량 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 및 광주기 12L:12D로 하였으며, PESI 배지를 일주일 간격으로 전량 환수를 하여 3ℓ 둥근 플라스틱에서 배양하였다. 2차 종묘생산 연구에서는 우량모조 생산을 위하여 종묘 3~10mm 유엽을 대상으로 유리배양을 실시하였다. 배양 환경은 항온 배양으로 수온 $15 \pm 1.5^\circ\text{C}$, 광량 $50 \sim 60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 및 광주기 12L:12D로 하였다. 배지는 PESI를 사용하였고, 일주일 간격으로 전량 환수를 하였으며, 5ℓ 아크릴 배양수조에서 배양하였다.

나. 자연 유수식 종묘생산 연구

1) 18합사 크레모나 기질을 이용한 종묘생산 연구

유주자 채묘를 위하여 12시간 냉장 음건 처리한 모조를 직사광선이 있는 평평한 장소의 투명수조에 여과해수를 넣은 후 부드럽게 저어주었다. 방출 유도 10분 뒤부터 현미경으로 유주자 방출 및 움직임 등을 관찰한 후 100배 시야 당 30개체가 될 때 채묘틀을 넣었다. 채묘틀(18합사 구라론사)은 500ℓ 아크릴 투명수조에서 온도 10~12°C, 광량 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 광주기 12L:12D 및 PESI 배지로 자연 유수식 배양을 하였으며, 배양 중 발생하는 규조류 및 녹조류는 깨끗이 제거하였

다. 2년차 종묘생산에서는 채묘틀(18합사 크레모나)에서 유주자를 채묘하여 자연 수온인 5~17°C, 40~80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 자연광량 및 PESI 배지로 일주일 간격으로 전량 환수를 하였다. 이 때 부착규조류 및 부니 등을 제거하였고, 5~10톤 시멘트 수조에서 배양하였다. 배양중 발생하는 규조류와 녹조류는 광량을 조절함으로써 제거하였다.

5. 유전자 위치 및 분석 연구

개다시마의 유전자 분석을 위해서 먼저 18S rDNA 염기서열을 밝혀 다른 종과의 관계를 유전자 수준에서 확인하고자 하였다. 실험에 사용한 개다시마는 동해안에서 채집하였고, 채집된 후에는 epiphyte를 제거한 후 total DNA를 추출하여 DNA 정량하였으며, PCR 증폭 후 Agarose gel electrophoresis 및 DNA 회수하여 DNA ligation 및 transformation 하였다. Plasmid 추출 및 제한효소처리한 후 동해안 개다시마의 18S rDNA 염기서열을 분석하였다.

6. 암·수배우체 분리 및 보존 연구

개다시마는 동해안의 저조선 이하 수심이 깊은 곳에 주로 서식하는 심해성 해조류로서 현재 건강식품 등 여러 가지 상품으로 개발되어 산업적으로도 그 중요성을 인정받고 있는 지역 토산종이다. 그러나 자원이 멸종 위기에 있어서 개다시마 개체가 거의 없을 뿐만 아니라, 성숙된 모조를 구하기 힘든 실정이어서 통상의 방법인 유주자를 대량 채묘하여 종묘 생산하는 방법을 적용하기가 매우 어려워 년중 종묘생산이 가능한 기술이 절실하다. 따라서 인공채묘 후 종묘를 실내배양하는 과정 중 배우체가 형성되는 시기에 암·수 배우체를 각각 분리한 후 대량생산을 위하여 배우체를 잘게 분리하여 절단 하였을 때의 광량과 온도 조건을 찾아 성장 및 번식 조건을 알아낸다. 또한 이를 보존하여, 연중 계절에 상관없이 암·수 배우체를 대량으로 번식시키고 수정시켜 인공종묘생산을 한다. 아울러 배지를 이용하여 동해안 특산종인 개다시마의 고유자원을 보존하고자 하였다. 멸종위기에 있는 동해안 토산종인 개다시마(*K. crassifolia*)의 대량 종묘생산을 위한 배우체 분리 및 보존을 알아보기 위한 일환으로, 강원도 고성군 봉포리 해역에서 성숙된 모조를 채취하여 액체배지(PESI)와 고체배지(Transfer gel, High gel strength agar, Agar and Purified agar)에서 유주자 발아에서 배우체의 성장 및 성숙, 아포체의 성장을 연구하였다. 또한 암·수 배우체의 형성시기에 배지별로 배우체를 분리하

여 Homogenize한 후 암·수 배우체의 번식 조건을 연구하였다. 생장이 좋았던 액체배지에서 각각의 암·수 배우체를 수정시켜 수정율(%)을 측정하였고, 온도, 광량 및 배지에 따른 배우체 및 종 보존 연구도 이루어졌다.

7. 적정수심 구명에 의한 양식기술개발 연구

적정 양성 수심 구명을 위하여 수심별 양성 연구를 실시하였다. 저층 생태계에 서식하는 종임을 감안해 수심은 5, 10, 15, 20 및 30m에서 실시하였으며, 5m 수하 연(18mm 로프)을 제작하여 추(2kg)와 고압부자(240mm)이를 이용하여 동해수산연구소 시험어장에서 양성시험을 실시하였다.

8. 서식지 복원 연구

90년대 동해 최대 균락지인 강릉시 사근진 연안 수심 20~30m에서 서식지 복원 연구를 하였다. 인공종묘 생산된 종사를 이용해 그물망(그물망사이즈 5×5cm, ϕ 3mm)에 이식하고, 수심 20~30m 저층에 이식하였으며, 파도와 폭풍우 등에 유실되지 않도록 40kg 모래덩을 이용하여 고정하였다. 그러나 개다시마가 성장하면서 부력이 많아지고 태풍 및 폭풍우가 잦아 복원용 로프(지름 18mm, 그물사이즈 10×10cm, 2×2m)를 보강하였다. 또한, 유리배양한 개체를 친송이식하여 실내에서 뿌리를 활착시킨 다음 약 3~7cm 까지 성장시킨 후 자연암반에 이식함으로써 서식지 복원 연구를 실시하였으나 2006년 10월 동해에 발생한 강력한 너울성 파도에 그물 고정용 앙카가 파손되면서 유실되었다.

2단계 서식지 복원 연구는 방사형 해중립초에 종묘이식법으로 실시하였다. 2006년 11월에 종묘생산을 하여 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 하였고, 개다시마의 성장과 생존율을 측정하였다.

9. 개다시마 산업화에 따른 경제성 분석

5ha의 양식을 한다면 1ha당 100m 양성줄 20개 시설 가능하고 100m 한 줄에 습중량으로 약 2.8 톤이 생산 가능할 것으로 예상되어 총 280톤의 생산가능하다. 건강식품으로 가공하기 위해서 이물질 부착되어 있거나 훼손된 부분 등을 제거하여 사용해야 되는데 통상 엽체의 3분1정도가 제품으로 만들 수 있어 90톤이 가공 가능하다. 현재의 시세로 계산하면 3병을 박스로 포장하여 60,000원에 판매되고 있어 총액 90억원의 소득이 예상된다. 상품으로 판매하기 위한 지출 내역을 살펴

보면, 고정비인 감가상각비를 포함한 양식장 운영비가 36억원, 시설보수비 6억원, 종묘대금(200틀기준) 2억원으로 총액 44억원이 소요된다. 변동비인 운영비가 월간 24억원, 유통망 유지가 3.6억원, 포장비가 0.57억원, 홍보비가 2.4억원, 기타잡비가 3.60억원으로 총액 지출비는 78억1천7백만원으로 순수 수익은 표 25와 같이 연간 11억8천3백원이 창출 될 것으로 예상된다.

10ha의 양식에서 총 560톤의 생산 가능하여 총액 180억원의 소득이 예상된다. 상품으로 판매가하 위한 지출 내역을 살펴보면, 고정비인 감가상각비를 포함한 양식장 운영비가 51.60억원, 시설보수비 9.6억원, 종묘대금(400틀기준) 4억원으로 총액 65.20억원이 소요된다. 변동비인 운영비가 월간 43.20억원, 유통망 유지가 5.16억원, 포장비가 1.14억원, 홍보비가 3.6억원, 기타잡비가 6억원으로 총액 지출비는 124억3천만원으로 순수 수익은 표 26와 같이 연간 55억7천만원이 창출 될 것으로 예상된다. 이는 5ha 양성시보다 수익이 43억8천7백만원의 소득이 추가로 얻을 수 있어 있다. 이는 공장운영비, 양식장리비 등은 5ha 생산량에서 10ha 생산량으로 증가되어도 두 배의 경비가 소요되지 않는 반면에 수익은 거의 두 배로 향상되는 것으로 분석되어진다.

IV. 연구개발 결과

1. 개다시마 군락지 연구

1990년대 중반까지만 해도 동해안 최대 군락지인 강릉시 사근진 해역은 약 50 ha의 서식 면적에 10 m²당 약 500개체가 서식하고 있었으나, 2005년 10 m²당 1~2개체가 서식하고 있을 뿐만 아니라 서식 면적도 2 ha로 현저히 축소되었다. 봉포 해역은 약 1 ha에 걸쳐 분포하고 있었으며 서식 밀도는 현저히 낮은 10 m²당 1개체로 나타났다. 또한 과거 서식했던 지역인 고성군 대진 및 초도 해역에서는 발견하지 못하였고, 아야진과 문암 해역은 소수의 개체는 발견하였으나 거의 소실된 것으로 나타났다. 고성군 대진의 해조상은 홍조류 34종, 갈조류 16종, 녹조류 5종의 해조숲을 형성하고 있었으나 개다시마는 발견되지 않았고, 수심 20~30m에서는 야키시리구멍쇠미역(*Agarum clathratum* Dumortier)이 우점종으로 서식하고 있었다. 고성군 봉포 지역의 경우 홍조류 29종, 갈조류 15종, 녹조류 3종으로 서식하고 있었으며, 수심 20~30m에서는 야키시리구멍쇠미역이 우점종으로 서식하고 있었다. 강릉시 사근진의 경우 홍조류 27종, 갈조류 13종, 녹조류 3종으로 고성군 대진보다 다소 빈약한 식생을 유지하고 있었으나 개다시마는 일부 서식 분포하는 것으로 나타났다.

또한 2005년~2006년 조사 결과 2006년은 10 m²당 5~10개체로 2005년도 조사의 개체 밀도인 1~2개체보다 증가하였고, 서식면적도 약 7ha로 2005년도 서식면적 2 ha보다 증가되었다. 증가요인으로 유주자 살포, 서식지 복원기술 적용, 우점종인 야키시리구멍쇠미역을 제거하여 생존 가능성을 높인 결과로 해석된다. 그러나 고성군 봉포 해역의 서식 면적은 0.5ha로 2005년 조사 면적인 약 1 ha보다 축소되었으나 서식 밀도는 2005년과 비슷한 수준인 10 m²당 1~2개체로 나타났다. 2005년 조사에서 개다시마의 서식지를 발견하지 못한 고성군 대진, 초도, 아야진 및 문암 해역은 2006년에도 발견하지 못하여 거의 소실된 것으로 나타났다. 이들 해역은 야키시리구멍쇠미역이 여전히 우점하고 하고 있으며, 암반을 거의 덮고 있다. 고성군 대진의 해조상으로는 녹조류 5종, 갈조류 15종, 홍조류 34종으로 다양한 해조류가 숲을 형성하고 있었으나 개다시마는 발견되지 않았고, 수심 20~30m에서는 야키시리구멍쇠미역(*Agarum clathratum* Dumortier)이 우점종으로 서식하고 있었다. 고성군 봉포 지역의 경우 녹조류 6종, 갈조류 15종, 홍조류 30종이 서식하고 있었으며, 수심 20~30m에서는 고성군 대진과 같이 야키시리구멍쇠미역이 우점종

으로 서식하고 있었다. 강릉시 사근진의 경우 녹조류 3종, 갈조류 14종, 홍조류 27종으로 고성군 대진과 봉포보다 다소 빈약한 식생을 유지하고 있었으나 개다시마는 일부 서식 분포하는 것으로 나타났다.

2. 생활사 및 생태 연구

가. 서식지 해양환경 특성 연구

2004년 9월부터 2005년 7월까지 개다시마 서식 해역의 수온 변화는 9월에 표층 21.1°C, 수심 5m 20.2°C, 수심 10m 18.6°C, 수심 20m 16.7°C, 수심 30m 15.8°C로 전체적으로 가장 높았으며, 3월에 표층 6.0°C, 수심 5m 5.7°C, 수심 10m 4.6°C, 수심 20m 3.4°C, 수심 30m 2.3°C로 가장 낮았다.

염분농도는 평균 33.02~34.20‰의 범위를 보였다. 용존무기질소는 2월에 수심 30m에서 0.125 mg/ℓ로 최고치를 나타내었으며, 11월에 수심 30m에서 0.018 mg/ℓ로 최저치를 나타내었고, 대체로 0.1 mg/ℓ 이하의 낮은 농도를 나타내었다. 또한 표층에서는 0.028~0.11 mg/ℓ (평균 0.078 mg/ℓ), 수심 5m에서는 0.025~0.118 mg/ℓ (평균 0.075 mg/ℓ), 수심 10m에서는 0.022~0.119 mg/ℓ (평균 0.069 mg/ℓ), 수심 20m에서는 0.020~0.120 mg/ℓ (평균 0.064 mg/ℓ), 수심 30m에서는 0.018~0.125 mg/ℓ (평균 0.059 mg/ℓ)로 저층에 비해 표층이 평균 0.019 mg/ℓ 높은 것으로 나타났다.

용존무기인은 전반적으로 0.01 mg/ℓ 이하로서 대체로 양호한 상태를 나타내었으며, 1월과 4월의 수심 30m에서 0.04 mg/ℓ와 0.05 mg/ℓ로 가장 높은 수치를 나타내었다.

2005년 9월부터 2006년 7월까지 개다시마 자연 서식지역의 수온은 9월에 표층 22.3°C, 수심 5m 22.1°C, 수심 10m 20.4°C, 수심 20m 15.8°C, 수심 30m 14.5°C로 전체적으로 가장 높았으며, 3월에는 표층 7.8°C, 수심 5m 5.7°C, 수심 10m 4.6°C, 수심 20m 3.4°C, 수심 30m 3.2°C로 가장 낮았다.

염분농도는 평균 33.00~34.15‰의 범위를 보였다. 용존무기질소는 2월에 수심 30m에서 0.126 mg/ℓ로 최고치를 나타내었으며, 11월에 수심 30m에서 0.019 mg/ℓ로 최저치를 나타내었고, 대체로 0.1 mg/ℓ 이하의 낮은 농도를 나타내었다. 또한 표층에서는 0.030~0.113 mg/ℓ (평균 0.079 mg/ℓ), 수심 5m에서는 0.026~0.120 mg/ℓ (평균 0.073 mg/ℓ), 수심 10m에서는 0.020~0.121 mg/ℓ (평균 0.067 mg/ℓ), 수심 20m에서는 0.020~0.120 mg/ℓ (평균 0.064 mg/ℓ), 수심 30m에서는 0.019~0.126 mg

/ℓ (평균 0.058 mg/ℓ)로 저층에 비해 표층이 평균 0.021 mg/ℓ 높은 것으로 나타났다. 12월~5월중에 평년에 비해 저수온이 장기간 지속되었다.

용존무기인은 전반적으로 0.01 mg/ℓ 이하로서 대체로 양호한 상태를 나타내었으며, 12월과 1월의 수심 30m에서 0.03 mg/ℓ와 0.05 mg/ℓ로 가장 높은 수치를 나타내었다.

나. 생활사 연구

1) 분류적 특성 연구

개다시마는 다시마목(目) 다시마과(科)에 속하는 갈조류로서 학명은 *Kjellaniella crassifolia* Miyabe이며, 일본명은 Gagome 이다. 개다시마의 뿌리형태는 섬유상으로 뿌리에서 윤생하고 엽장이 1~2m, 엽폭은 20~30cm로서 비교적 넓으며, 억세고 점질이 많다. 두께는 2~3mm, 중대부는 엽폭의 1/3~1/4로, 중대부의 양측에는 용무늬가 있어 노성하면 불분명해진다. 줄기의 하부는 원주상으로 위쪽은 편원되고, 길이 4~6cm, 지름 10~12mm이다. 점심대에 서식하며 12월 이후에 유체가 출현하여 다음 가을까지 성장한다.

2) 생활사 연구

우리나라에서는 강원 연안북부 수심 20~30m에서만 서식하는 고유종으로 유엽이 출현하는 시기는 12월이고, 다음 가을까지 성장하다가 유주자가 방출하면 엽체의 끝녹음 현상으로 더 성장하지 않다가 11월경이 되면 다시 성장대에서 성장을 시작하여 첫 해 자란 엽체를 위로 밀어 올리면서 2년생 엽체가 되었다. 2년째에는 생장이 빠르게 자라서 1년 엽체와 2년 엽체의 구분이 뚜렷하게 나타나고, 자낭반은 처음 한쪽에만 발생되나 차차 반대편에도 형성되었다.

3) 성숙기 연구

개다시마의 월별 성숙기를 조사한 결과, 자낭반이 형성된 개체의 출현은 9월부터 시작되었으며, 이 때 성숙 비율은 10%이었다. 10월에는 성숙 개체의 비율이 40%로 증가하였고, 11월에는 85%, 12월 89%로 높아지다가 1월에 20%로 현저히 낮아져 11월과 12월이 개다시마의 성숙 절정기로 나타났다.

4) 자낭반 형성 면적 분석

동해안 애기다시마의 자낭반 형성 면적은 10월에 엽체 중량의 약 23%에 걸쳐 형성되었으나 개다시마의 경우 약 5%에 불과하여 생식 능력이 매우 떨어지는 경향을 보였다. 이러한 특성을 감한할 때 서식지가 한번 파괴되면 자연 스스로 회복하기엔 오랜 시간이 필요하고 많은 장애요소가 발생 할 수 있다. 따라서 서식지 복원을 위해서는 우량모조의 확보가 필요하나 자연에서는 자원량이 절대 부족하므로 우량모조 생산 및 보존이 절실한 실정이다.

5) 개다시마의 기부형태 연구

개다시마의 기부형태는 성장과 성숙기간 중에 변화가 있었다. 성숙이 시작되는 9월에 심장형이 70%, 둥근형이 20%, 썩기형이 10%이었으며, 10월에는 심장형, 둥근형, 썩기형이 각각 80%, 15%, 5%이었고, 11월에는 각각 80%, 20%로 썩기형 기부형태는 출현하지 않았다. 성숙이 완료되는 시점인 1월에는 각각 65%, 30%, 5%로 썩기형의 기부형태를 가진 개체가 다시 출현하였고, 둥근형이 증가하는 경향을 보였다.

6) 월별 성장 연구

개다시마의 생태조사를 목적으로 조사한 월별 생장은 9월에 엽장, 엽폭, 중량이 각각 $65\pm 23\text{cm}$, $22\pm 3.3\text{cm}$, $65\pm 8\text{g}$ 이었고, 10월에 각각 $75\pm 35\text{cm}$, $23\pm 5\text{cm}$, $70\pm 5\text{g}$ 으로 나타났다. 성숙 절정기인 11월에는 각각 $61\pm 21\text{cm}$, $25\pm 4.5\text{cm}$, $55\pm 4.5\text{g}$, 12월에 각각 $54\pm 26\text{cm}$, $24\pm 3.3\text{cm}$, $40\pm 6.9\text{g}$ 으로 유주자 방출로 인한 엽장은 현저히 줄어들고 엽폭은 조금씩 증가하였으나 중량은 끝녹음 현상으로 줄어드는 현상을 보였다. 3월부터 엽장이 성장하기 시작하였는데, 이 때 엽장, 엽폭, 중량이 각각 $65\pm 32\text{cm}$, $12\pm 2.5\text{cm}$, $55\pm 5.9\text{g}$ 이었고, 5월에 각각 $87\pm 32\text{cm}$, $15\pm 5\text{cm}$, $70\pm 8.7\text{g}$ 으로 엽장이 성장하는 모습을 보였고, 7월에 각각 $110\pm 45\text{cm}$, $18\pm 5.4\text{cm}$, $85\pm 11\text{g}$ 이고, 8월에 각각 $87\pm 41\text{cm}$, $21\pm 6\text{cm}$, $62\pm 6.4\text{g}$ 으로 생장이 지속적으로 이루어지고 있었다.

7) 엽장과 엽폭 비율 연구

엽장과 엽폭비는 성숙기와 성장기간 동안 각각 비율이 다르게 나타났다. 성숙기에는 비율이 줄어들어 2.8~2.9비율을 보였으나 2월 이후 3.1로 엽장이 상대적으

로 엽폭보다 생장이 빠르게 진행되었고, 3월부터는 4.1로 증가하여 8월까지 4.4가 되었다.

3. 유주자 방출 유도 연구

효과적인 유주자 방출과 건강한 종묘의 개발을 위하여 자극방법별 효율을 조사한 결과, 12시간 냉장음건 처리한 모조에서 현미경 100배 시야 당 55 ± 18 개가 나타나 유주자 방출량이 월등하였다. 30분 햇빛건조 시험구는 15 ± 9 개 이었고, 채취 즉시 방출은 20 ± 12 개, 12시간 실내음건처리 시험구는 35 ± 12 로 나타났다. 이러한 결과로 심해의 저수온과 저광량의 환경에 적응된 개다시마는 실내음건, 햇빛건조, 즉시 방출유도 등에서 유주자 방출 자극의 효과가 미미한 것으로 나타났다.

4. 환경조절에 의한 종묘생산 연구

가. 환경조절에 의한 실내 종묘생산 연구

1) 적정 배양온도 연구

세포발생에 적합한 온도 구멍을 위하여 5, 10, 15, 20, 25, 30℃의 5단계 시험구로 설정하였으며, 배지는 PESI로 일주일 간격으로 교환하였고, 광량은 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 광주기는 12L:12D하여 약 40일간 배양 시험을 실시하였다. 그 결과 유주자는 수분에서 30분 이내에 대부분 부착기질에 부착하였으나, 일부 유주자는 약 3시간까지 움직임이 관찰되기도 하였다. 유주자의 약 60%는 부동포자였으며, 유주자도 다른 다시마류에 비해 움직임이 활발하지 못하였다. 배양 약 18시간에서 1일 만에 세포질 이동을 통한 발아관이 형성되기 시작하여, 포자의 발아는 10~15℃ 조건에서 배양 3일 만에 90% 이상 발아관이 형성되었고, 가장 빠른 성장을 보여 발생의 적정 수온으로 판명되었고, 저수온인 5℃에서 가장 느린 발생을 보였다. 배양 12일 이내 모든 시험 조건에서 포자의 발아가 관찰되었다. 또한 최초의 배우체 형성은 배양개시 5일부터 보이기 시작함과 동시에 세포분열이 일어나기 시작하였다. 암·수배우체가 구분되기 시작한 시기는 배양 14일로 암수의 비율은 6:4 정도로 암배우체의 비율이 높게 나타났으나 일부 배양에서는 반대의 결과도 있었다. 암·수배우체의 성장과 성숙은 온도조건이 높은 10~15℃에서 가장 먼저 성숙하여 아포체로 형성되었으며, 높은 온도 조건에서도 고광량보다는 저광량 조건에서 성장과 성숙이 먼저 이루어졌다. 20℃ 조건에서도 배우체가 성숙하여 아포체 단계로 진행이 되었지만 5℃ 조건에서는 암·수배우체가 성숙이 매우 느리고, 아

포체 단계로 진행율이 매우 낮았다. 아포체를 정치배양하여 그 성장 경향을 파악한 경우, 10~15°C 조건에서 가장 높게 나타났다.

2) 적정 광량 연구

적정 광량 구명을 위한 시험에서 광량을 10, 20, 40, 60, 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 5단계 시험구를 설정하여 한 달 간 배양하였으며, 수온 10°C, 배지는 PESI를 사용하였고, 일주일 간격으로 배지를 전량 교환하였다. 그 결과 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 시험구는 155 μm , 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 는 450 μm , 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 는 578 μm , 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 는 369 μm , 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 시험구는 고사하여 시험구 중 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 양호한 성장 결과를 나타냈다.

3) 광주기 연구

광주기 효과를 조사한 결과 8L:16D에서 530 \pm 120 μm , 12L:12D에서 410 \pm 112 μm , 16L:8D에서 290 \pm 35 μm , 5L:19D에서 310 \pm 52 μm , 19L:5D에서 180 \pm 31 μm 로 나타나 19L:5D에서 저조한 결과를 보인 반면 8L:16D 광주기에서 가장 좋은 결과를 보였고, 생존율도 가장 높았다.

4) 친승이식 연구

1차년도 연구에서 배양 1일째 유엽 7.8 \pm 2.4mm, 배양 10일째 8.7 \pm 3.2mm, 20일 8.9 \pm 3.4mm, 30일 9.1 \pm 3.9mm로 실내 배양에서는 생장이 저조하였으며, 실내 온도 상승 등으로 바다에 이식하였으며, 배양 60일 30.4 \pm 11.5cm, 90일 68.7 \pm 15.6cm, 120일 110.3 \pm 32.1cm로 빠른 성장을 보였다. 친승이식은 30일 0.91cm/일에서 60일 30.4cm/일로 빠른 성장을 보였고, 그 후부터는 일간 두 배의 성장률을 보이면서 표준편차도 60일에서 120일까지 11.5cm/일과 15.6cm/일, 21.1cm/일로 나타났다. 일간성장률은 1-10일간 0.010cm/일의 성장을 보인 반면 10-20일과 20-30일 각각 0.002cm/일의 성장률을 나타냄으로써 성장률이 잠시 줄어든 것을 알 수 있다. 그러나 30-60일에 0.983cm/일로 빠른 성장을 나타내었다. 2차 연구도 1차 연구와 마찬가지로 배양 1일째 유엽 12.5 \pm 3.4mm, 배양 10일째 16.7 \pm 5.4mm, 20일 20.3 \pm 5.9mm, 30일 25.4 \pm 6.1mm로 실내 배양에서 생장이 매우 저조하였으며, 실내 온도 상승 등으로 바다에 이식하였다. 일간성장률은 1-10일간 0.42mm/일의 성장을 보인 반면 10-20일에는 0.36mm/일, 20-30일 0.15mm/일의 성장률을 나타냄으

로써 생장률이 일시적으로 줄어드는 것으로 나타났다.

5) 유리배양 연구

유엽 $3.6 \pm 1.6\text{mm}$ 를 대상으로 유리개체 배양한 결과, 배양 10일째 $4.5 \pm 1.9\text{mm}$, 20일 $6.9 \pm 2.3\text{mm}$, 30일 $7.4 \pm 2.5\text{mm}$, 40일 $7.8 \pm 2.8\text{mm}$, 50일 $8.0 \pm 3.4\text{mm}$ 로 성장하였으나 실내배양 30일 이후 생장이 저조하였다. 유리배양은 채묘틀 배양과 친승이식과는 달리 완만한 성장과 일간생장률을 나타내었다. 일간생장률은 1-10일 $0.100\text{mm}/\text{일}$ 과 10-20일 $0.240\text{mm}/\text{일}$ 의 일간생장률을 보였으나 20일 이후부터는 일간생장률이 20-30일 $0.050\text{mm}/\text{일}$ 로 급격히 줄어들었으며, 30-40일 $0.40\text{mm}/\text{일}$ 과 40-50일 $0.020\text{mm}/\text{일}$ 로 계속해서 줄어드는 것으로 나타났다. 2차 연구도 1차와 마찬가지로 유엽 $4.1 \pm 0.96\text{mm}$ 를 대상으로 유리 개체 배양한 결과, 배양 10일째 $6.2 \pm 1.1\text{mm}$, 20일 $8.7 \pm 2.6\text{mm}$, 30일 $10.9 \pm 3.1\text{mm}$, 40일 $12.3 \pm 3.5\text{mm}$, 50일 $13.7 \pm 3.0\text{mm}$, 60일 $14.2 \pm 4.0\text{mm}$ 로 성장하였으나 실내배양 30일 이후 생장이 저조하였다. 유리배양은 채묘틀 배양과 친승이식과는 달리 완만한 성장과 일간생장률을 나타내었다. 일간생장률은 1-10일 $0.21\text{mm}/\text{일}$ 과 10-20일 $0.25\text{mm}/\text{일}$ 의 생장률을 보였으나 20일 이후 부터는 일간생장률이 20-30일 $0.22\text{mm}/\text{일}$ 로 줄어들었으며 30-40일 $0.14\text{mm}/\text{일}$ 과 40-50일 $0.14\text{mm}/\text{일}$, 50-60일 $0.05\text{mm}/\text{일}$ 로 계속해서 줄어드는 것으로 나타났다.

나. 자연 유수식 종묘생산 연구

1) 18합사 크레모나 기질을 이용한 종묘생산 연구

1차년도 연구로 18합사 크레모나에 유주자를 채묘하여 실내 배양한 결과 세포 이동, 배우체 형성 및 수정, 분화 과정은 채묘기질 특성상 관찰 및 측정이 어려워 아포체가 형성되는 시점인 배양 20일 부터 측정을 실시하였다. 그 결과, 배양 20일 $0.12 \pm 0.02\text{mm}$, 배양 30일 $0.32 \pm 0.08\text{mm}$, 배양 50일째 $0.87 \pm 0.2\text{mm}$ 로 육안으로 관찰 가능해졌다. 배양 90일째 $8.7 \pm 2.6\text{mm}$, $110 \pm 15.34.5\text{mm}$ 까지 성장하였으나 수온이 $5 \sim 8^\circ\text{C}$ 내외로 하강하여 일부 고사되거나 끝녹음 현상이 발생하여 실내 배양을 중지하고 바다로 가이식하였다. 일간생장률을 분석하면, 실내 배양기간에는 $0.12\text{mm}/\text{일}$ 이었으나 바다 가이식 후 $0.55\text{mm}/\text{일}$ 로 증가하였으며 배양 110일째는 $15.3\text{mm}/\text{일}$ 로 생장이 활발하였다. 채묘틀 배양은 20일 $0.12\text{mm}/\text{일}$ 나타났고, 50일과 70일 사이에 $0.87\text{mm}/\text{일}$ 에서는 $4.2\text{mm}/\text{일}$ 로 엽장이 급격한 성장을 나타내었고 110일에 $4.5\text{mm}/\text{일}$ 로 일간생장률을 나타내었다. 실험에서도 50일 $0.167\text{mm}/\text{일}$ 로

높은 일간생장률을 나타냈고, 그 후부터는 두 배의 일간생장률을 나타냈다. 2차도 1차 연구와 같은 방법으로, 18합사 크레모나에 유주자를 채묘하여 실내 시멘트 수조에서 배양한 결과 세포이동, 배우체 형성 및 수정, 분화 과정은 채묘기질 특성상 관찰 및 측정이 어려워 아포체가 형성되는 시점인 유주자 채묘시점에서 배양 20일부터 측정을 실시하였다. 그 결과, 배양 20일 $0.25 \pm 0.025\text{m}$, 배양 30일 $0.77 \pm 0.09\text{mm}$, 배양 50일째 $3.95 \pm 0.31\text{mm}$ 로 육안으로 관찰 가능해졌다. 배양 70일째 $6.85 \pm 0.87\text{mm}$, 배양 90일째 $9.12 \pm 1.31\text{mm}$, 배양 110일째 $17.35 \pm 3.75\text{mm}$ 까지 성장하였으나 수온이 약 5°C 내외로 하강하여 실내에서 생장이 느리고 탈락되는 등 관리상 어려운 점으로 배양 70일째 실내배양을 중지하고, 연구어장으로 가이식하였다. 일간생장률을 분석하면, 실내 배양기간에는 $0.052 \sim 0.159\text{mm/일}$ 이었으나 바다 가이식 후 0.114mm/일 로 증가하였으며, 배양 110일째는 0.412mm/일 로 생장이 좋았다.

5. 18S rDNA 분석 연구

전체 18S rDNA 영역을 증폭하기 위하여 각종 Primer set를 조합하여 PCR 반응시킨 결과 primer 5'SSU-NS2조를 사용한 경우 578bp 크기의 생성물이 증폭되었다. 그리고 primer NS3-NS4조를 사용한 경우 603bp 크기의 생성물, NS5-NS6조를 사용한 경우 289bp 크기의 생성물, NS7-3'SSU조를 사용한 경우 363bp 크기의 생성물들이 각각 증폭되었다. 이들 4가지 PCR 생성물들을 TA cloning vector인 pCR 2.1에 삽입하여 *E. coli* INVaF'에로 형질전환 시켰다. 이 때 PCR product가 정확히 삽입된 plasmid인지의 여부를 확인하기 위하여 형질전환된 각 집락으로부터 vector plasmid를 추출한 후, 우선 제한효소 Eco RI으로 처리하여 비교하여 보았다. 이 형질전환 집락으로부터 약 3ml의 균체를 배양하여 재조합된 plasmid를 plasmid isolation kit로서 분리하여 DNA 염기서열 조사를 행한 결과 1838개의 염기로 구성되어 있는 것으로 나타났으며, 개다시마의 18S rDNA sequence 부분을 NCBI의 BLAST search 프로그램을 이용하여 알려진 다시마과의 18S rDNA 유전자들과 유사성 검색을 실시한 결과, GenBank accession number AB022817.1의 다시마(*Laminaria japonica*)와 97%의 상동성을 보였으며, 염기서열 1690bp 염기가 일치하였다. 그리고 Treecon program으로 작성한 phylogenetic tree 상에서도 개다시마는 다른 다시마과 비교하였을 때 97%의 유사성을 나타내었다. 따라서 개다시마는 18S rDNA의 염기서열로 다시마과에 속하는 것으로 나타났다.

6. 암·수배우체 분리 및 보존 연구

배우체의 분리는 고체배지 중 Agar, Purified agar와 High gel strength agar의 경우 배우체 분리 시 배지 특성상 유주자를 분리하기가 어려워 액체배지(PESI)와 고체배지 중 Transfer gel에서만 이루어졌다. 특히 유동성이 큰 액체배지보다는 고체배지이면서 액체배지의 특성을 가지고 있는 Transfer gel에서 분리가 더 잘 이루어져 액체배지(PESI)와 고체배지(Transfer gel)에서 암·수 배우체를 분리하였다. 분리된 암·수 배우체는 액체배지에서 일주일간격으로 배지를 교환해주면서 보존한 결과 배양 10개월까지 평균 300 μm 크기의 암·수 배우체를 유지하여 배우체가 보존되었고, 고체배지에서는 대부분의 개체가 발아하지 않고, 유주자 상태를 유지하고 있어 발아하여 성장한 암·수 배우체뿐만 아니라 유주자 그대로를 보존할 수 있어 배우체 및 종 보존이 가능한 것으로 나타났다. 이는 멸종 위기에 처해 있는 개다시마가 연중 어느 때라도 필요시에는 배양된 암·수 배우체를 수정시켜 대량생산이 가능할 것을 시사함은 물론 동해안 고유종인 개다시마의 종을 보존시켜 유전자은행도 가능할 것으로 생각된다.

7. 적정수심 구명에 의한 양식기술개발 연구

가. 월별 성장 연구

2004년 11월에 양성한 개다시마는 2005년 10월과 12월에 수심 30 m에서 각각 25.1 ± 9.2 cm와 31.5 ± 13.1 cm의 엽장 성장을 보였고, 수심 5 m에서 20.5 ± 7.8 cm와 19.5 ± 13.5 cm로 가장 적은 엽장생장을 나타내었다. 2006년 2월과 4월, 6월까지는 수심 20 m에서 각각 50.3 ± 12.2 cm와 59.1 ± 15.3 cm, 62.3 ± 16.9 cm로 엽장 성장을 나타냈고, 2006년 2월과 4월에는 수심 5 m에서 각각 36.7 ± 9.8 cm와 40.5 ± 12.9 cm, 6월에는 수심 10 m에서 55.9 ± 20.5 cm, 8월에는 수심 5 m에서 75.9 ± 18.9 cm로 가장 빠른 성장을 나타냈으며, 수심 30 m에서 60.5 ± 16.3 cm로 가장 적어 초기와 다른 형태의 성장을 보였다. 수심 5 m에서 2005년 10월에는 최소치 성장하여 각 조건별 시험에서 가장 작은 엽장을 보였으나 2006년 8월에 최대치 성장하여 가장 빠른 성장을 보였고, 수심 30 m에서는 2005년 10월에 가장 큰 엽장을 나타냈으나 2006년 8월에 가장 작은 엽장을 보여 가장 느린 성장을 했다. 개다시마 2년생의 양성은 수심 5 m가 성장에는 가장 적합한 것으로 나타났다.

엽폭은 수심 30 m에서 2005년 10월 6.2 ± 3.9 cm였던 개체들이 2006년 8월 $27.1 \pm$

8.3 cm로 20.9 cm의 성장을 보여 기간 중 가장 큰 성장을 보였으며, 수심 5 m에서 2005년 10월 5.2 ± 3.4 cm였던 개체들이 2006년 8월 16.5 ± 3.7 cm로 11.3 cm의 성장을 보여 기간 중 가장 느리게 성장하였다. 개다시마는 2005년 10월에서 2006년 8월까지 수심 5 m에서 엽폭은 크지 않고, 엽장만 성장하는 형태를 보였으며, 수심 30 m에서는 상대적으로 엽장보다 엽폭이 많이 성장하였다.

8. 서식지 복원 연구

가. 그물망에 의한 서식지복원 연구

2005년 11월에 종묘생산을 하여 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 한 결과 엽장은 2005년 12월과 2006년 2월까지 10.5 ± 1.2 cm와 19.2 ± 3.4 cm로 느린 성장을 보이다가 4월부터 40.3 ± 9.8 cm로 급격하게 성장하여 8월에는 80.6 ± 19.2 cm로 최대 엽폭을 나타내어 2월에서 8월까지 61.4cm의 높은 성장을 나타내었다. 엽폭도 엽장과 비슷한 경향으로 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 한 결과 2005년 12월과 2006년 2월까지 2.1 ± 0.3 cm와 3.5 ± 0.5 cm로 느린 성장을 보이다가 4월부터 7.8 ± 1.3 cm로 급격하게 성장하여 8월에는 15.5 ± 7.8 cm로 최대 엽폭을 나타내어 2월에서 8월까지 8.0cm의 높은 성장을 나타내었다. 30×30 m 면적에서 15 ± 5 개체/ m^2 의 개다시마가 일부 복원되었다.

나. 해중립초 이식에 의한 서식지복원 연구

2006년 11월에 종묘생산을 하여 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 한 결과 엽장은 2007년 2월과 2007년 4월까지 22.6 ± 3.5 cm와 45.1 ± 9.8 cm의 성장을 보이다가 6월에는 61.8 ± 19.4 cm로 성장하여 8월에는 70.8 ± 25.7 cm로 최대 엽장을 나타내어 2월에서 8월까지 48.2cm의 높은 성장을 나타내었다. 2006년 8월 이후 끝녹음이 시작되어 2006년 10월에 64.3 ± 15.2 cm로 줄어들었다가 다시 성장하여 2007년 8월에는 107.4 ± 24.7 cm의 성장을 나타내었다. 엽폭도 엽장과 마찬가지로 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 한 결과 2007년 2월과 2007년 4월까지 2.5 ± 0.6 cm와 3.9 ± 0.9 cm로 느린 성장을 보이다가 4월부터 9.8 ± 3.4 cm로 급격하게 성장하여 8월에는 12.6 ± 4.0 cm로 최대 엽폭을 나타내어 2월에서 8월까지 10.1cm의 성장을 나타내었다. 끝녹음 현상으로 2006년 10월에 14.7 ± 5.2 cm로 줄어들었다가 다시 성장하여 2007년 8월에는 16.5 ± 7.3 cm의 성장을 나타내었다.

서식지복원 연구를 위한 이식 당시 개체수는 2005년 10월에 320 ± 32 개체/ m^2 이

였으나 2개월 후 탈락 및 고사 등으로 급격히 떨어져 150 ± 25 개체/ m^2 로 약 47%로 떨어졌다. 2006년 4월까지 생존율은 90 ± 12 개체/ m^2 로 약 28%를 유지하였으나 이 이후 탈락과 고사 개체를 줄어들어 생존율은 일정하게 나타났다. 그러나, 2006년 10월에 강력한 너울성 파도로 25 ± 12 개체/ m^2 로 생존율은 약 7.8%로 낮아졌다. 이후 안정적인 성장과 생존율을 보여 2007년 8월에 15 ± 5 개체/ m^2 , 생존율은 약 4.7%가 나타났다.

9. 개다시마 산업화에 따른 경제성 분석

개다시마는 동해 고유종이면서 심해에 서식한다. 또한, 영양과 유용물질이 다량으로 함유되어 있어 다른 갈조류에 비해 고가에 판매되고 있는 실정이다. 5ha의 양식을 한다면 1ha당 100m 양성줄 20개 시설 가능하고 100m 한줄에 습중량으로 약 2.8톤이 생산 가능할 것으로 예상되어 총 280톤의 생산가능하다. 건강식품으로 판매 시 총액 7,500,000,000원의 소득이 예상된다. 상품으로 판매하기 위한 지출 내역을 살펴보면, 감가상각비를 포함한 양식장 운영비가 18억원, 공장운영비가 36억원, 유통망 유지가 3억 6천만원, 홍보비가 2억4천만원, 기타잡비가 2억4천만원으로 총액 지출비는 64억4천만원으로 되어 순수 수익은 연간 10억6천만원이 될 것으로 예상된다.

10ha의 양식을 총 560톤의 생산가능하다. 총액 15,000,000천원의 소득이 예상된다. 상품으로 판매하기 위한 지출 내역을 살펴보면, 감가상각비를 포함한 양식장 운영비가 31억7천만원, 공장운영비가 51억6천만원, 유통망 유지가 5억 16백만원, 홍보비가 3억6천만원, 기타 잡비가 3억6천만원으로 총액 지출비는 95억66백만원으로 되어 순수 수익은 연간 54억34백만원이 될 것으로 예상된다. 이는 5ha 양성시보다 수익이 4,374,000,000원의 소득이 추가로 얻을 수 있어 있다. 이는 공장운영비, 양식장리비 등은 5ha 생산량에서 10ha 생산량으로 증가되어도 두 배의 경비가 소요되지 않는 반면에 수익은 거의 두 배로 향상되는 것으로 분석되어졌다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

개다시마의 동해안 서식지조사와 생활사 구명을 위하여 고성군 대진, 봉포, 아야진 등 각 마을 어촌계를 대상으로 청취조사와 잠수부에 의한 직접조사를 실시하였다. 그 결과를 바탕으로 자원량을 추정하고 적절한 자원이용에 대한 정책을 수립하는 기초 자료로 활용가능 할 것이다. 또한 심해 서식해역의 생태특성 조사를 통하여 서식특성을 구명하여 향후 종묘생산 및 양식 산업화에 기여할 것으로 예상된다.

실내배양 시험으로 종묘의 대량생산 기술을 개발하였으며, 적정 양식 수심 구명으로 생산할 수 있는 체계를 수립하였고, 향후 건강식품 등 대규모의 수요에 대비할 수 있게 되었다. 또한 동해안 최대서식지인 강릉시 사근진어촌계 해역에 서식지 복원시험을 실시한 결과, 서식지내 일부 면적의 복원이 이루어짐으로서 멸종 위기의 개다시마를 복원할 수 있는 길이 열렸다.

연구 결과는 2005~7년도 한국조류학회, 공동수산학회 등에 발표하였고, KBS, MBC와 조선일보 등에 개다시마의 중요성과 연구성과 등을 홍보하였으며 전문지인 월간 현대해양, 우리바다 등에 기고하여 어업인이 직접 활용할 수 있도록 하였다. 또한 “개다시마의 인공종묘생산과 양식방법”에 관하여 특허출원 및 등록 인증을 받았고(출원번호 제2006-1952호, 출원일 2006.1.6일), “개(토종)다시마의 배우체 분리 및 보존방법(출원번호:제2007-1239, 2007.01.09)을 특허 출원하였다. 연구논문으로 “동해안 개다시마의 초기배양과 생장 특성 연구”가 한국수산학회지 40권 5호, “동해안 개다시마의 암·수배우체 분리 및 보존”이 한국수산학회지 40권 6호에 게재되었다. 강릉시 사근진어촌계 및 경포대영어법인조합에서 인공종묘생산 및 양식기술, 서식지복원 기술 등에 관한 연구협약을 통하여 기술이전을 실시하였으며, 어업인의 직접적인 소득증대로 이어질 수 있도록 연구를 수행하였다. 또한 동해수산연구소·강릉시·강릉시 사근진어촌계와 MOU 체결로 지속적으로 협력하기로 하였다.

본 과제 of 지속적인 수행은 개다시마의 서식지복원 및 양식 산업화 개발에 크게 기여 할 것이며 강원도의 대표적 수산물로 육성될 수 있을 것으로 예상된다.

가) 인공종묘생산 및 서식지복원기술을 활용 및 이전하여 강릉시 사근진 해역뿐만 아니라 고성군 일대에도 적용하여 개다시마 자원량 증강에 이용하여 저층

생태계에 우점종인 야키시리구멍미역 대신 개다시마를 우점종으로 복원한다.

나) 개다시마의 풍부한 영양, 푸코이단, 건강식품으로 산업화하여 어업인 소득증대에 기여할 것이다.

다) 강원도 대표 수산물로 육성하여 어업인 소득증대에 기여한다.

라) 가리비 양식장 및 멥게 양식장을 활용하여 양식을 확대하여 안정적 원료 공급으로 산업화에 기여한다.

마) 멥게, 가리비의 양식어장에 복합 양식종으로 개발하여 양식생산성에도 기여한다.

SUMMARY (영문요약문)

I . Title

Studies on *Kjellmaniella crassifolia* for wildstock restoration and industrialized aquaculture

II . Objective

Many seaweeds exhibit distinctive seasonal growth phases; winter growth phase and summer degeneration phase. In the marine ecosystem, seaweeds provide valuable fishery resources such as fishes, abalones and other invertebrates with habitats and spawning grounds. They can be valued products for human as well as for marine invertebrates.

Aquaculture is one of the promising activities for seaweed production. Activities of seaweed aquaculture have pretty much short history, but they have been intensified for last decades.

The submarine forest is very important in the structure and function of the subtidal ecosystem as is the terrestrial forest. The marine plants that form submarine forest are of several benthic marine algae belonging to Laminariales. Recently, the submarine forest and its composing species has increasingly drawn a public attention because of its ecological function in the marine ecosystem. Moreover, the recovery of coastal fisheries resource is achieved by the construction of seaweed forest, that, in turn, could promote the quality and quantity of coastal fisheries resource and improve the structure of coastal ecosystem.

With an aid of phycological researches including taxonomy, systematics, morphology, ecology, physiology, genetics, and breeding, the aquaculture business have rapidly developed. *Kjellmaniella crassifolia* Miyabe has been one of the valuable seaweed crops cultured in the Korean costal waters of the East Sea. Recent changes in environmental parameters, however, have adversely

influenced the crop production, thereby stimulating a technology development for the species restoration.

We studied the ecology and gamete preservation of *Kjellmaniella crassifolia* inhabiting Gangneung coasts for laboratory production. The production technology will be applied to aquaculture and wild stock restoration of the species. Mass production of the species will be used for human consumption and extracted for some functional matters.

III. Contents and scopes of the study

1. Survey on the life cycle and ecology

Kjellmaniella crassifolia Miyabe is perennial species and endemic to East Sea of Korean Peninsula. The species inhabits deep water of the sea. For a biological information, growth of the species have been monitored for a year. Materials of this study were monthly collected from deep water (depth, 20~30m) of Gangneung coast by scuba diving. We monthly investigated growing pattern, maturing time, standing crop and distribution. Maximum blade length, 110 ± 45 cm, was gained in July, thereafter releasing zoospore in November. Sporangial sori started to form from September, reaching 85% maturity in November and 89% in December.

Kjellmaniella crassifolia was abundant in Gangneung coasts by 1990s covering about 50ha at density of 500 ind/10m². In our 2004 survey the habitats reduced to about 2ha with a density of 1-2 ind/10m². The habitats and density increased to 7ha and 5-10 ind/10m², respectively, after our effort to restore wild population of the species. *Kjellmaniella crassifolia* was dominant species by 1990s at water depth of 20-30m. However, the habitats were dominated by *Agarum clathratum* with a coverage of 80-100%. Ratios of blade length and width were 2.8~2.9 for maturing *Agarum clathratum* and 4.1 for growth phase of the species.

2. Development of seed production

For the determination of optimum cultivation conditions, the sporophyte

was grown under 5 temperatures (5, 10, 15, 20, 25 and 30°C), 5 illumination quantities (10, 20, 40, 60, and 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), and 5 photoperiods (5:19, 8:16, 12:12, 16:8, and 19:5) in a medium PESI for 40 days. Zoospore germination was strongly influenced by higher temperatures: all the zoospores failed to germinate in the temperatures higher than 20°C. Best zoospore germination rate (80%) was achieved in the conditions of temperature 15°C and illumination 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, while worst (10%) was in the conditions of temperature 20°C and illumination 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Optimum condition for gametophyte growth was 10°C and illumination 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. In the condition the gametophytes grew to $286.0 \pm 35.20 \mu\text{m}$ for the experiment. The favored photoperiod (growth) for sporophyte was 8L:16D ($530 \pm 120 \mu\text{m}$) followed by 12L:12D ($410 \pm 112 \mu\text{m}$), 16L:8D ($290 \pm 35 \mu\text{m}$), 5L:19D ($310 \pm 52 \mu\text{m}$), and 19L:5D ($180 \pm 31 \mu\text{m}$). The seeds produced were maintained in the hatchery for a month using free culture and transplantation in the rope and then transplanted into the open coasts.

3. Sequence analysis of Nuclear 18S rDNA from the seaweed *Kjellmaniella crassifolia* (Phaeophyta) in East coast of Korea

The polymerase chain reaction (PCR) catalyzed by *Taq* DNA polymerase is a very powerful and sensitive analytical technique, with applications in many diverse fields, including molecular biology and population genetics (Innis et al., 1990). Since Hong et al. (1992; 1995) established a simple method for the rapid extraction of nucleic acids from seaweed using lithium chloride, PCR has also been applied to the field of seaweed molecular biology. Molecular study of evolutionary divergences requires sequencing of very slowly evolving genes, such as nuclear-encoded genes for small and large subunit ribosomal RNA (SSU and LSU rDNA). SSU (18S rDNA) is more highly conserved than LSU.

Kjellmaniella crassifolia Miyabe, an edible brown alga inhabits in limited regions from Gangneung to Goseong of East Sea and is very a useful seaweed compared to other *Laminaria sp.* However, *K. crassifolia* was gradually declined by several effects, such as over-utilization and typhoon etc.

In this study, we investigated the phylogenetic diversity using the nuclear

18S ribosome RNA gene (18S rDNA) from the seaweed *K. crassifolia* collected from east coast of Korea. Also we aimed to obtain a new genetic marker for identification and to compare it to other *Laminaria* sp.

The results was Nuclear 18S ribosome RNA gene (18S rDNA) from the seaweed *K. crassifolia* collected from east coast of Korea was amplified using the polymerase chain reaction and its sequence was analysed. The 18S rDNA sequence was an 1838 bp and showed 97% homology to *L. japonica* (the GeneBank accession number AB022817.1). The Genetic markers to classification were obtained three candidated gene sequences; one gap sequence and two insert sequences.

4. Gametophyte Separation and Preservation for the Artificial Seed Production of *K. crassifolia*

Kjellmaniella crassifolia Miyabe, an edible brown alga inhabits in limited regions from Gangneung to Goseong of Eastern Coast of Korea. We conducted to reveal the conditions of separation and preservation of gametophyte for artificial seed production of *K. crassifolia*. The released zygotes were cultured on four different gelling agents with added Provasoli's enrichment (PESI) under different light conditions (20, 40, 60 and 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and temperatures (5, 10, 15, 20 and 25°C) at 12L:12D. The highest percent of zygotes' germination (85%) was produced on semi-solid medium composed of 1.0% transfer gel agar under 15°C and 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ after 4 weeks culture. Zygotes germination was formed in PESI liquid medium at the percent of 93.5% under 20°C and 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Maximum growth of zygote was $252 \pm 19.7 \mu\text{m}$ on 1.0% transfer gel agar under 15°C and 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ after 5 weeks culture and was $76.7 \pm 2.8 \mu\text{m}$ in PESI liquid medium under 20°C and 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. The number of separated male and female gametophyte from germinated zygotes was 157, 93 on 1.0% transfer gel agar, respectively and 14, 28 in PESI liquid medium, respectively. Maximum growth of separated male and female gametophyte were $575 \pm 28.3 \mu\text{m}$ under 5°C and 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and $686 \pm 35.4 \mu\text{m}$ under 20°C and 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in PESI liquid medium for 3

weeks, respectively. The highest percentage of fertilized ratio was $93.3 \pm 5.8\%$ under 15°C and $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in PESI liquid medium. These results show that the best condition for separation and preservation of gametophyte (male and female) was culture on 1.0% transfer gel agar under 15°C and $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. It would suggest that *K. crassifolia* could be possible to be mass-produced by cultivated female and male gametophytes if necessary any time during the year, and it is believed to be build a gene bank by preserving the male and female gametophytes of *K. crassifolia*.

5. Studies on optimal water depth for the aquaculture *K. crassifolia*

Cultivation technology of *K. crassifolia* was first developed in Korea. In order to examine cultivation availability for *K. crassifolia* from northern coastal area (Gangneung) of the East Sea. The cultivation was done at 5, 10, 15, 20, and 30m. Unlikely our general knowledge that the species inhabits deeper coasts, shallow coasts were preferred for the species. The highest growth depth is 5m reached blade length $75.9 \pm 18.9\text{cm}$. It is reverse result consider restoration area.

6. Studies on *Kjellmaniella crassifolia* for wildstock restoration

K. crassifolia distributes in the coastal waters 20~30m depth and usually grows at 25~30m. We had *K. crassifolia* transplanted in the coastal waters where wild populations are decreasing due to enforced human activities. The techniques used for the restoration were based on the techniques developed by East Sea Fisheries Research Institute. To developing the techniques for the restoration, East Sea Fisheries Research Institute (ESFRI) in National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) set up the study field in Sagunjin, Gangnung. The transplanted seaweed, $320 \pm 32 \text{ ind}/\text{m}^2$, survived $15 \pm 5 \text{ ind}/\text{m}^2$, representing 4.7% survival rate.

CONTENTS
(영 문 목 차)

Chapter 1. Summary of development of <i>Kjellmaniella crassifolia</i> aquaculture technique	30
Chapter 2. Trend of <i>Kjellmaniella crassifolia</i> culture technology in domestic and overseas	33
Chapter 3. Results	34
Section 1. Studies on community of <i>Kjellmaniella crassifolia</i>	34
Section 2. Survey on the life cycle and ecology	53
Section 3. Studies on zoospore release	65
Section 4. Development of seed production	66
Section 5. Sequence analysis of Nuclear 18S rDNA from the seaweed <i>Kjellmaniella crassifolia</i> (Phaeophyta) in East coast of Korea	81
Section 6. Gametophyte separation and preservation for the artificial seed production of <i>Kjellmaniella crassifolia</i>	87
Section 7. Studies on optimal water depth for the aquaculture <i>Kjellmaniella crassifolia</i>	110
Section 8. Studies on <i>Kjellmaniella crassifolia</i> for wildstock restoration	113
Section 9. An economic analysis on industrialization of <i>Kjellmaniella crassifolia</i>	122
Chapter 4. Reference	127

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	30
제1절 기술적 측면	31
제2절 경제·산업적 측면	31
제3절 사회·문화적 측면	32
제 2 장 국내외 기술개발 현황	33
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	34
제1절 개다시마 군락지 연구	34
제2절 생활사 및 생태 연구	53
1. 서식지 해양환경 특성 연구	53
2. 생활사 연구	60
제3절 유주자 방출 유도 연구	65
제4절 환경조절에 의한 종묘생산연구	66
1. 환경조절에 의한 실내 종묘생산 연구	66
2. 자연 우수식 종묘생산 연구	75
제5절 유전자 위치 및 분석 연구	81
1. 시료채집 및 전처리	81
2. DNA 추출	81
3. DNA 정량	82
4. PCR 증폭	82
5. Agarose gel electrophoresis 및 DNA 회수	82

6. DNA ligation 및 transformation	83
7. Plasmid 추출 및 제한효소처리	83
8. 동해안 개다시마의 18S rDNA 염기서열분석	83
9. 18S rDNA의 증폭	83
10. DNA 염기서열의 비교	84
제6절 암·수배우체 분리 및 보존 연구	87
1. 채집 및 전처리	87
2. 배지	88
3. 유주자의 발아 및 배우체와 아포체의 생장 연구	90
4. 배우체 분리 및 번식 연구	102
5. 배우체 수정 연구	106
6. 배우체 보존 연구	107
제7절 적정수심 구명에 의한 양식기술개발 연구	110
제8절 서식지복원 연구	113
1. 그물망에 의한 서식지복원 연구	113
2. 해중립초 이식에 의한 서식지복원 연구	117
제9절 개다시마 산업화에 따른 경영수지 분석	122
제 4 장 참 고 문 헌	127

제 1 장 연구개발과제의 개요

바다는 지구 표면 5억 1천만 km^2 의 71%인 3억6천 km^2 의 부피를 차지하고 있으며, 바다의 평균 수심은 3,880m로서 바닷물의 총량은 14억 km^3 로 이것을 환산하면, 지구 전체 수자원의 97%에 해당된다. 바다의 중요한 역할은 복사열을 흡수하여 다시 방출함으로써 지구 환경 안정에 가장 많은 기여를 하고, 해조류와 식물플랑크톤의 광합성작용을 통하여 산소를 공급하고, 이산화탄소를 흡수하는 등 인류에 지대한 공헌을 하고 있다.

바다에 서식하는 생물은 총 30만종으로 지구 동식물의 80%가 바다에서 서식하고 있고, 바다에서의 해조류는 1차 생산자로서의 무척추동물, 어류 및 원생동물 등 다양한 동물들의 산란장, 쉼터 등 서식 환경을 제공하므로 해양 생태계에 있어서 중요한 역할을 하는 위치에 있다. 또한 전복, 성게, 고등류 등의 먹이 역할을 하고, 식용뿐만 아니라 비타민, 미네랄 및 다양한 생리활성 물질의 공급원 및 가축의 사료나 농작물의 비료로도 이용되어 왔다.

강(1986)에 의하면 우리나라에 서식하고 있는 해조류는 총 735종이 서식하며, 식용 또는 산업적으로 이용되고 있는 종류는 20종으로(손 1994) 대량 양식 가능한 것은 김, 미역, 다시마, 톳, 쇠미역 등의 몇 종에 국한되어 있다. 따라서 효율적인 해조자원의 이용 및 해조류 양식산업의 품종 다변화를 위하여 다양한 양식 대상종의 개발에 노력을 기울여야만 한다.

개다시마는 다시마목(目) 다시마과(科)에 속하는 갈조류로서 학명은 *Kjellmaniella crassifolia* Miyabe이며, 일명은 Gagome 이다. 개다시마의 뿌리형태는 섬유상으로 뿌리에서 윤생하고 엽장이 1~2m, 엽폭은 20~30cm로서 비교적 넓으며, 역세고 점질이 많다. 두께는 2~3mm, 중대부는 엽폭의 1/3~1/4로, 중대부의 양측에는 용무늬가 있으나 노성하면 불분명해진다. 줄기의 하부는 원주상, 위쪽은 편원되고 길이 4~6cm, 지름 10~12mm이다. 접심대에 서식하며 12월 이후에 유체가 출현하여 다음 가을까지 성장한다.

우리나라에서는 강원연안(고성군, 아야진, 속초시, 강릉시 사근진)에 서식하고 있으며 유엽이 출현하는 시기는 12월이고, 다음 가을까지 충분히 성장하고, 유주자가 방출하면 엽체의 끝녹음 현상으로 더 성장하지 않다가 11월경이 되면 다시 성장대에서 성장을 시작하여 첫 해 자란 엽체를 위로 밀어 올리면서 2년생 엽체가 된다. 2년째에는 생장이 빠르게 자라서 1년 엽체와 2년 엽체의 구분이 뚜렷하게 나타난다. 자낭반은 처음 한쪽에만 발생하나 차차 반대편에도 형성된다.

우리나라에 분포하는 다시마 속 식물은 원산만 이북의 *Laminaria*와 이남의 *Kjellmaniella*로 크게 나누어 볼 수 있다(강, 1968). 개다시마는 강원도 연안의 저조선 이하 수심이 깊은 곳에 주로 서식하는 한해성 다년생 해조류로서 현재 여러 가지 상품으로 개발되어 산업적으로도 그 중요성을 인정받고 있는 지역 특산종이다. 그러나 자연상태의 자원량에 의존하여 채취되어 지고 있어 자원관리의 이해 부족과 연안환경의 변화로 인하여 해마다 그 생산량이 급속히 감소하고 있는 추세이다(김 등, 1999).

1990년대에 연간 1,000여톤의 자연산이 채취되어식이섬유를 이용한 다이어트 식품, 변비방지, 장운동 활성화 촉진 등 건강식품 및 전복, 성게 등의 먹이로 이용되어져 왔으나 최근 들어 무분별한 채취로 자원훼손, 태풍에 의한 탈락으로 멸종 위기에 처해 있는 실정이다. 따라서 산업적 중요한 개다시마의 자원 복원을 위하여 인공 종묘생산 및 대량 양성기술 개발이 시급한 실정이다.

개다시마의 복원과 자원증대를 위하여 강릉 연안에 자생하는 개다시마의 생태적 특성 구명 및 암·수배우체의 분리 및 보존기술을 개발하고, 아울러 인공종묘생산 및 양성기술개발 등의 과정을 통하여 양식산업화기술을 개발하고자 한다.

제1절 기술적 측면

일반적으로 다시마의 생장은 겨울에 빠른 생장을 하여 엽체의 경우 1일 1~3cm, 3~8m길로 성장하는 대형해조류로 어패류 + 해조류의 복합양식과 다시마 단일종 양식이 있으며, 이것은 수산자원 증대 및 소득증대에 이바지하고 있다.

어류의 산란장 및 생육장으로서(Kaim, 1967) 또는 전복과 성게 등 수산생물의 먹이로써 직접적으로 연안 수산생물자원 조성에 크게 기여하고 있을 뿐만 아니라, 예로부터 식용, 약용, 공업용으로 널리 이용되어 왔으며, 최근에 다시마환(丸), 차(茶), 제리, 엑기스 등 다양한 건강식품 개발로 대량으로 이용되고 있다.

우리나라 동해 북부 해역에만 유일하게 서식하는 다년생 개다시마를 성숙 기작 및 세포배양 등을 통한 종묘생산 및 양성기술을 개발함으로써 개다시마의 군락 복원을 가능케 할 수 있으며, 양식을 통한 어업인 소득증대에도 기여할 것으로 예상된다. 따라서 일본, 러시아, 중국의 제품보다 우수한 국제경쟁력을 갖게 되어 어업인의 소득증대와 국가 경제에 도움이 되고, 건강장수식품으로 국민 건강 증진 및 강원도의 대표적 수산물이 될 것이다.

제2절 경제·산업적 측면

다시마는 한류가 흐르는 바다에 주로 서식하는 갈조류에 해당하는 해조류로 우리나라를 비롯하여 일본, 중국 등 동양 사람들이 즐겨 먹는 식품이며, 최근에는 미국을 비롯한 서양에서도 다시마의 기능성 식품에 대하여 관심이 높아지고 있다. 특히 일본에서는 다시마를 8세기 이전에 북해도에서 조정에 상납하였다는 기록이 있을 정도로 오랜 세월동안 일본인들의 식생활에 깊은 관계를 맺고 있으며, 그들이 장수하는 비결이 이 해조류를 즐겨먹기 때문이라는 보고들이 있다.

다시마는 국물 맛을 내는 천연 조미료로 사용되고, 최근에는 여러 가지 식품으로 활발히 개발되어 다시마 한가지로 수십 종이 넘는 식품이 생산 거래되고 있다. 특히 기능성과 생화학적 효능에 대한 임상실험 및 연구결과 항암효과를 비롯하여 고혈압 예방, 항혈액 응고작용, 몸에서 지방질과 콜레스테롤 흡수를 제외시키고 배설을 촉진하는 작용이 밝혀지면서 새로운 건강

식품 소재로써 다양하게 개발되고 있으며, 국내에서도 각종 홍보매체와 홈쇼핑을 통해서 인기 있는 건강식품으로 각광 받고 있는 해조류이다.

한방에서는 갑상선호르몬 치료에 탁월하고, 모든 부종 치료에 권장되고 의학서적인 본초강목(Chinese Medicinal Herbs)에서는 월경불순 치유와 순산을 위한 처방으로 사용된다고 하였으며, 다시마를 장기간 복용하면 몸을 여위게 한다고 기록하고 있다. 따라서 순수 알칼리성 저칼로리 식품으로 비만을 예방하고, 다이어트에 좋은 식품인 다시마의 성분과 효능이 입증되고 있다.

제3절 사회·문화적 측면

개다시마는 우리나라 고유종으로 심해 및 한해성의 우수한 종이다. 북한 원산에 우리나라 고유의 다시마(*Laminaria japonica*)가 자생하고 있다고 알려져 있으나 일본에서 다시마를 이식한 후 일본산이 대부분 생산되고 있는 실정이다. 따라서 우리나라 고유종의 보존과 개발을 위하여 암·수배우체 분리 및 보존 기술개발은 무엇보다 시급히 해결되어야 할 부분이다.

온대 해역에 속하는 우리나라 주변 해역의 해조류 자원은 매우 높은 종 다양성을 보이고 있으면 이러한 유전자원 pool은 미래의 유전자 경쟁 등에 대비하는 매우 중요한 자원이 될 것이다. 그러나 현재와 같이 연안 환경 오염과 해양 생물의 남획 및 몇몇 단일 종의 대량양식 등으로 인한 품종의 유전적 열성화와 같은 문제점을 극복하기 위한 노력을 기울이지 않는다면 미래의 유전자 전쟁에서 선진국에 뒤처지게 될 것이다. 이러한 문제점을 타개하기 위해서는 해조류 종별 양식기법을 발전시키고 새로운 이용 방안을 제시함으로써 우리나라 해조류 자원의 이용도를 높일 수 있다. 따라서 개다시마의 유전자분석 및 개체 특성을 구명하여 종 보존을 가능하게 하고 배우체 단계에서 보존 기술을 개발함으로써 연중 양식과 고유종 보존이 가능한 기술을 개발하고자 한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

다시마류에 관한 선행 연구는 일본에서 많은 연구가 이루어졌으며, 생태학적 연구(Hasegawa, 1962; Funano and Sakai, 1967; Sasaki, 1969; Yanagida et al., 1971; Funano, 1980, 1981, 1983a·b; Abe et al., 1982) 및 생리 연구(Kanada, 1936, 1938, 1941; Yabu, 1964; Kaneko, 1972, 1973; Niihara, 1975; Kawashima, 1983)를 기초로 하여 양식(坂井, 1968; 船野·石川, 1974; 船野, 1978, 1980)등에 관한 많은 연구가 보고되었다. 또한 중국에서도 원래는 자생하지 않던 다시마를 1972년 일본 북해도에서 산둥반도 대련에 이식을 통한 양식방법 개량 및 고온에 견디는 신품종을 개발(Fang et al., 1962)하였고, 최근에는 X-선 처리로 생산성이 높고 요오드 함량이 높은 품종을 개량하였다(IOMF, 1976).

1970년 場·權에 의하여 일본 북해도산 애기다시마 이식에 관한 연구를 시작으로 몇몇 연구자들에 의해 생태(Nam et al., 1985 ; 張, 1975) 및 발생초기의 형태학적 연구(박, 1975) 와 종묘배양 및 양성실험(張·鄭, 1971 ; 許 等, 1972 ; 백·변, 1973 ; 장 等, 1973 ; 裴 等, 1977 ; 白, 1977 ; 白·朴, 1979) 등의 연구가 있다.

다시마의 알긴산 성분은 산업용으로 사용될 뿐만 아니라 섬유질로서 주목을 끄는 라미나린(Laminaran)은 항암 및 항돌연변이에 효과가 있는 것으로 알려지고 있으며, 다시마를 이용하여 돌연변이를 야기 시키는 물질을 흡착 제거하는 연구가 이루어지고 있다. 그러나 개다시마의 우수한 성분과 자원학적 가치에도 불구하고 전혀 연구가 이루어지지 않고 있어 개다시마의 양식 개발은 시급한 실정이다.

해조류의 경우 자생하는 것을 채취하다가 점점 커지는 수요를 만족시키기 위하여 인공적인 대량생산 방법인 양식기술이 개발되었다. 김, 미역, 다시마의 대량 양식이 한국과 중국, 일본에서 행하여지고 있다. 또한 최근에는 미국, 캐나다, 뉴질랜드에서도 김 양식이 시험적으로 행하여지고 있다.

미국의 경우 직접 식용으로는 이용하지는 않지만 자이언트켈프 양식으로 얻은 알긴산을 메탄을 발효를 위한 원료로써 이용되고 있다. 미국에서는 자이언트켈프, 일본에서는 다시마류 등 기타 대형 갈조류를 대상으로 연속적 대량 생산하는 해양목장이라는 형태를 검토하고 있다.

또한, 선진국에서는 종자은행이라는 형태로 자국의 식물 및 해조류를 대상으로 종보존과 유전자은행을 운영하고 있으며, 유용해조류 자원에 대한 관심이 증대되면서 의학, 신물질 및 건강식품으로 개발되고 있어 해조류 유전자원 개발 및 보존은 미래의 생물자원관리의 측면에서도 시급히 이루어져야 한다. 따라서 동해안 고유종인 개다시마의 종보존 기술은 시급히 선행되어야 하며, 종묘생산 및 양식기술의 개발은 어업인의 소득 증대 및 해조류 양식 산업의 발전에 크게 기여할 것이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 개다시마 군락지 연구

개다시마의 서식지 생태 조사를 위하여 강원도 고성군 일대와 강릉시 사근진 해역에서 청취조사 및 잠수조사를 실시하였다. 조사 방법으로는 line transect 방법으로 수직별 해조류 출현종과 10×10cm로 세분된 50×50cm의 크기의 방형구를 이용하여 해조 출현종을 조사하였으며 현존량은 방형구내의 해조류 전량을 채취하여 종별 생물량을 측정하였다. 조사의 정확성을 기하기 위하여 수중 카메라와 수중비디오로 수중생태계를 촬영하여 실내에서 비교·분석하고, 자원량을 정량화하여 향후 자원 이용에 대한 정책자료로 활용할 계획이다.

1990년대 중반까지만 해도 동해안 최대 군락지인 강릉시 사근진 해역은 약 50 ha의 서식 면적에 10 m²당 약 500개체가 서식하고 있었으나, 2005년에는 10 m²당 1~2개체가 서식하고 있을 뿐만 아니라 서식 면적도 2 ha로 현저히 축소되었다. 봉포 해역은 약 1 ha에 걸쳐 분포하나 서식 밀도는 현저히 낮은 10 m²당 1개체로 나타났다. 또한 과거 서식했던 지역인 고성군 대진 및 초도 해역에서는 발견하지 못하였으나, 아야진과 문암 해역에서는 소수 개체는 발견되었으나 거의 소실된 것으로 나타났다. 고성군 대진의 해조상은 홍조류 34종, 갈조류 16종, 녹조류 5종으로 해조숲을 형성하고 있었으나 개다시마는 발견되지 않았고 수심 20~30 m에서는 야키시리구멍쇠미역(*Agarum clathratum* Dumortier)이 우점종으로 서식하고 있었다. 고성군 봉포 지역의 경우 홍조류 29종, 갈조류 15종, 녹조류 3종으로 서식하고 있었으며, 수심 20~30 m에서는 야키시리구멍쇠미역이 우점종으로 서식하고 있었다. 강릉시 사근진의 경우 홍조류 27종, 갈조류 13종, 녹조류 3종으로 고성군 대진보다 다소 빈약한 식생을 유지하고 있었으나 개다시마는 일부 서식 분포하는 것으로 나타났다(그림 1, 2, 표 1, 2, 3, 4).

2006년에는 10 m²당 5~10개체로 2005년도 조사의 개체 밀도인 1~2개체보다 증가하였고, 서식면적도 약 7ha로 2005년도 서식면적 2 ha보다 증가되었다. 증가요인으로 유주자 살포, 서식지 복원기술 적용, 우점종인 야키시리구멍쇠미역을 제거하여 생존 가능성을 높인 결과로 해석된다. 그러나 고성군 봉포 해역의 서식 면적은 0.5ha로 2005년 조사 면적인 약 1 ha보다 축소되었으며 서식 밀도는 2005년과 비슷한 수준인 10 m²당 1~2개체로 나타났다. 2005년 조사에서 개다시마의 서식지를 발견하지 못한 고성군 대진, 초도, 아야진 및 문암 해역은 2006년에도 발견하지 못하였고, 거의 소실된 것으로 나타났다. 이들 해역은 야키시리구멍쇠미역이 여전히 우점하고 있고 있으며 암반을 거의 덮고 있다. 고성군 대진의 해조상으로는 녹조류 5종, 갈조류 15종, 홍조류 34종으로 다양한 해조류가 숲을 형성하고 있었으나 개다시마는 발견되지 않았고, 수심 20~30m에서는 야키시리구멍쇠미역(*Agarum clathratum* Dumortier)이 우점종으로 서식하고 있었다. 고성군 봉포 지역의 경우 녹조류 6종, 갈조류 15종, 홍조류 30종이 서식하고 있었으며 수심 20~30m에서는 고성군 대진과 같이 야키시리구멍쇠미역이 우점종으로 서식하고 있었

다. 강릉시 사근진의 경우 녹조류 3종, 갈조류 14종, 홍조류 27종으로 고성군 대진과 봉포보다 다소 빈약한 식생을 유지하고 있었으나 개다시마는 일부 서식 분포하는 것으로 나타났다(그림 1, 2, 표 5, 6, 7, 8).

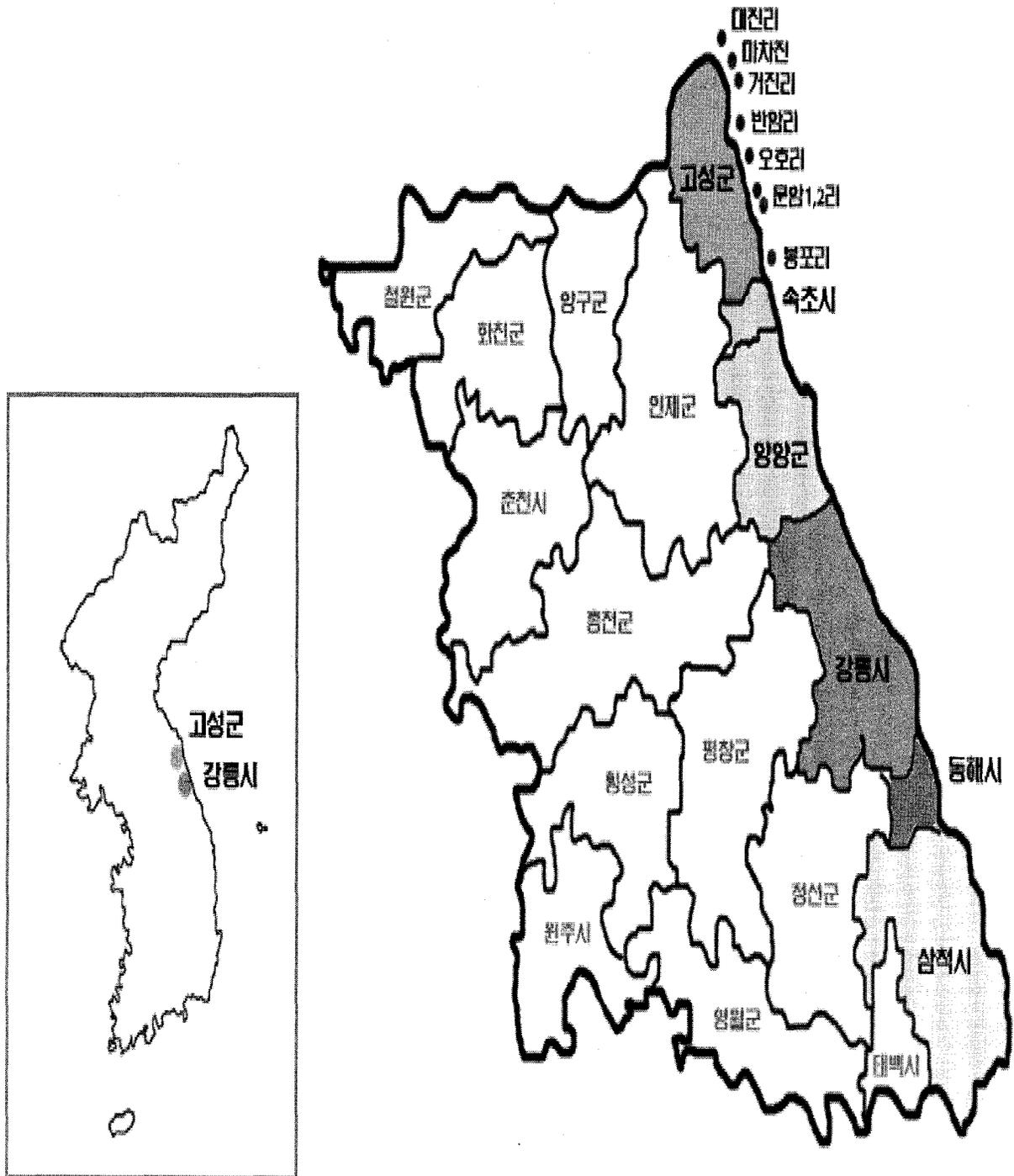


그림 1. 개다시마 서식지조사 해역.

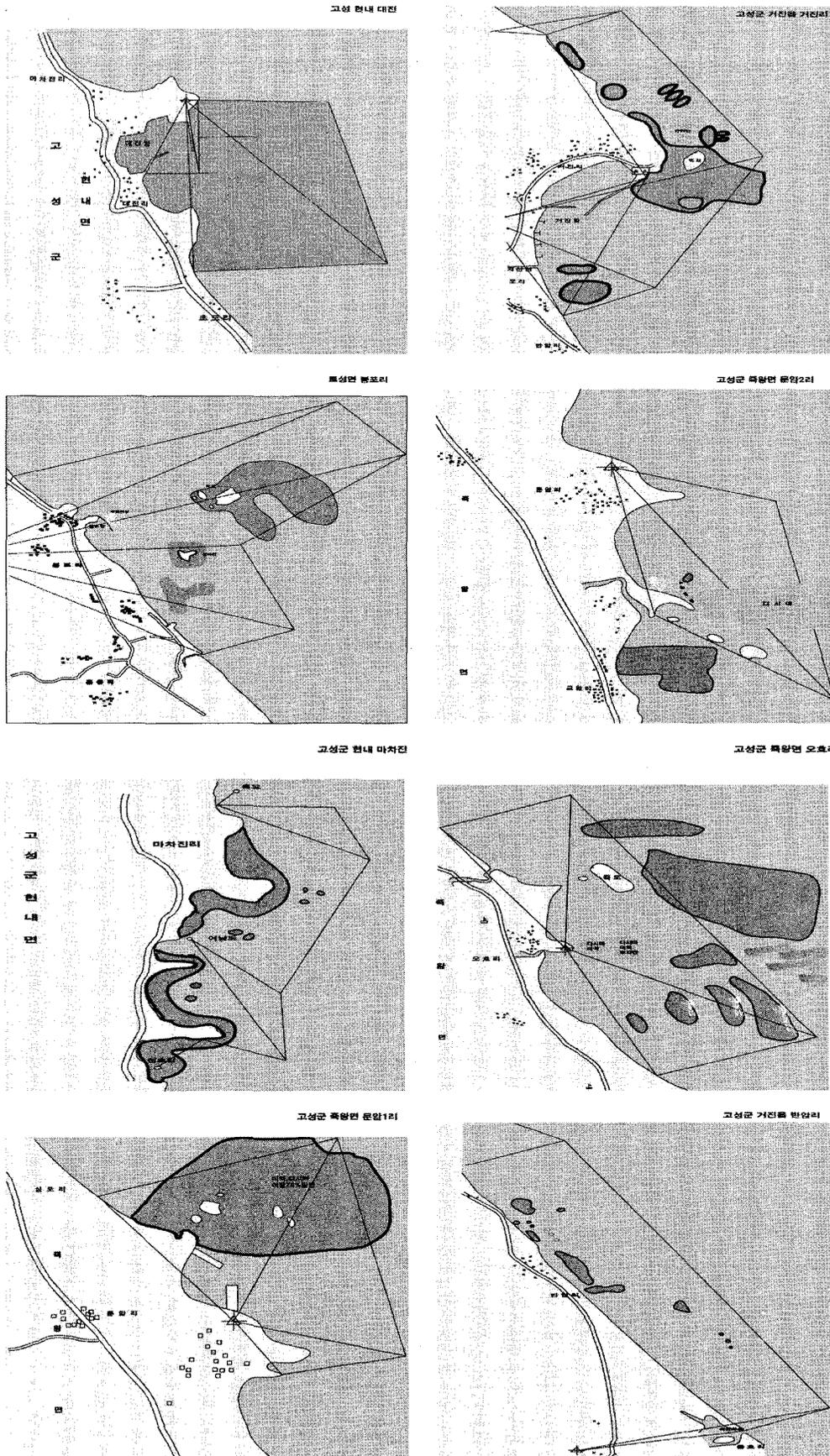


그림 2. 서식지 조사 해역의 서식 암반 지형과 면적.

표 1. 2005년 각 해역별 개다시마 서식지 면적과 서식 밀도

지역	어장면적	암반면적	서식밀도(개/10m ²)	우점종
고성군 대진	581.4	335	-	야키시리구멍쇠미역
초도	151.92	98	-	"
거진	384.8	305	-	"
반암	466.26	136	-	"
아야진	75.35	55.3	0.1	"
청간	79.87	2.6	-	"
천진	79.66	21	-	"
봉포		1	1	"
공현진		-	-	"
오호리	408.3	23.5	-	"
문암 1리		0.2	-	"
문암 2리	102.78	9.6	-	
강릉시 사근진		1~2		야키시리구멍쇠미역

표 2. 2005년 고성군 대진의 수심별 해조 분포상

지역	국명	5m	10m	20~30m	
고성군 대진	녹조식물문				
	갈파래과				
		초록갈파래	+	-	+
		구멍갈파래	+	+	+
	대마디말과				
		큰대마디말	+	-	-
	청각과				
		떡청각	+	-	-
		청각	+	+	+
	갈조식물문				
	고리매과				
		불레기말	+	+	+
		미역쇠	-	+	-
	산말과				
		산말	+	+	+
	미역과				
		미역	+	+	+
	다시마과				
		야키시리구멍쇠미역	-	+	+
		쇠미역	+	+	+
		다시마	+	+	+
	그물바탕말과				
		미끈뼈대그물말	+	+	+
		주름뼈대그물말	+	+	+
		참그물바탕말	-	+	-
	모자반과				
		알송이모자반	+	+	-
		큰잎알송이모자반	-	+	+
	팽생이모자반	+	+	+	
	큰잎모자반	+	+	-	
	비틀대모자반	+	-	-	
	지충이	+	-	+	

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 대진	홍조식물문			
	김파래과			
	참김	+	-	-
	방사무늬김	+	+	+
	가지국수나물과			
	큰가지국수나물	+	-	-
	갈고리풀과			
	나도팽꼬리	+	+	-
	우뭇가사리과			
	우뭇가사리	+	+	+
	산호말과			
	넓은계발	-	+	+
	산호말	-	-	+
	작은구슬산호말	+	-	+
	굵은마디말	-	-	+
	지누아리과			
	붉은까막살	+	+	+
	명주지누아리	+	+	+
	미끌지누아리	+	+	-
	지누아리사촌	+	+	-
	마른나무과			
	마른나무	+	+	+
	붉은땀띠과			
	주름붉은잎	+	+	+
	곱슬이과			
	참곱슬이	-	+	+
	꼬시래기과			
	큰꼬시래기	+	+	-
	돌가사리과			
	진두발	+	+	
	붉은은행초	-	+	+
	분홍치과			
	누른끈적이	+	-	-
구멍분홍치	+	+	-	

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 대진	마디잘록이과			
	애기마디잘록이	+	+	-
	보라잎과			
	잔금분홍잎	+	+	-
	누은분홍잎	-	+	-
	보라잎	+	+	-
	개바다참나무잎	-	-	+
	바다참나무잎	-	-	+
	다홍풀과			
	민자루다홍풀	+	+	-
	빨간검둥이과			
	서실	+	-	+
	검은서실	+	-	-
	큰서실	-	-	+
	참빗풀	+	+	+
	모로우붉은실	+	+	+
	보라색우무	+	-	-
	가는보라색우무	+	-	-

표 3. 2005년 고성군 봉포의 수심별 해조 분포상

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 봉포	녹조식물문			
	갈파래과			
	초록갈파래	+	-	-
	구멍갈파래	+	+	-
	청각과			
	청각	+	+	+
	갈조식물문			
	고리매과			
	블레기말	+	+	+
	산말과			
산말	+	+	+	

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 봉포	미역과			
	미역	-	+	+
	다시마과			
	야키시리구멍쇠미역	-	+	-
	쇠미역	+	+	+
	다시마	+	+	+
	그물바탕말과			
	주름뼈대그물말	+	+	-
	참그물바탕말	+	+	-
	모자반과			
	알송이모자반	+	+	+
	큰잎알송이모자반	-	+	-
	팽생이모자반	-	+	+
	비틀대모자반	+	+	-
	홍조식물문			
	김과래과			
	방사무늬김	+	-	-
	갈고리풀과			
	나도뽕꼬리	+	+	+
	우뭇가사리과			
	우뭇가사리	+	+	+
	산호말과			
	넓은게발	-	+	-
	작은구슬산호말	-	+	+
	굵은마디말	+	-	+
	지누아리과			
	붉은까막살	-	-	+
	명주지누아리	+	+	-
	미끌지누아리	+	-	-
	마른나무과			
마른나무	+	+	-	
곶솔이과				

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 봉포	꼬시래기과			
	큰꼬시래기	-	+	-
	돌가사리과			
	진두발	+	-	+
	붉은은행초	-	-	+
	분홍치과			
	누른끈적이	+	+	-
	구멍분홍치	-	+	-
	마디잘록이과			
	애기마디잘록이	-	+	-
	보라잎과			
	잔금분홍잎	+	+	+
	누은분홍잎	+	-	-
	보라잎	+	-	-
	바다참나무잎	+	+	+
	다홍풀과			
	민자루다홍풀	+	+	+
	빨간검둥이과			
	서실	-	-	+
	검은서실	+	+	-
	큰서실	-	+	+
	참빗풀	+	+	+
	모로우붉은실	+	+	+
	보라색우무	+	+	-
	가는보라색우무	+	-	+

표 4. 2005년 강릉시 사근진의 수심별 해조분포상

지역	국명	5m	10m	20~30m
강릉시 사근진	녹조식물문			
	갈파래과			
	구멍갈파래	+	+	+
	청각과			
	떡청각	+	-	-

지역	국명	5m	10m	20~30m
	청각	+	+	+
	갈조식물문			
	민가지말과			
	연두털말	+	-	-
	고리매과			
	블레기말	+	+	+
	미역쇠	-	+	-
	산말과			
	산말	+	+	+
	미역과			
	미역	+	+	+
	다시마과			
	야키시리구멍쇠미역	-	+	+
	쇠미역	+	+	+
	다시마	+	+	+
	개다시마	-	-	+
강릉시 사근진	그물바탕말과			
	미끈뼈대그물말	+	+	+
	주름뼈대그물말	+	+	+
	모자반과			
	알송이모자반	+	+	-
	팽생이모자반	+	+	+
	잔가시모자반	+	-	-
	지충이	+	-	+
	홍조식물문			
	김파래과			
	참김	+	-	-
	방사무늬김	+	+	+
	갈고리풀과			
	나도뽕꼬리	+	+	-
	우뭇가사리과			
	우뭇가사리	+	+	+
	산호말과			
	넓은게발	-	+	+

지역	국명	5m	10m	20~30m
강릉시 사근진	작은구슬산호말	+	-	+
	굵은마디말	-	-	+
	지누아리과			
	붉은까막살	+	+	+
	명주지누아리	+	+	+
	지누아리사촌	+	+	-
	마른나무과			
	마른나무	+	+	+
	곶술이과			
	참곶술이	-	+	+
	꼬시래기과			
	큰꼬시래기	+	+	-
	돌가사리과			
	진두발	+	+	
	붉은은행초	-	+	+
	분홍치과			
	누른끈적이	+	-	-
	구멍분홍치	+	+	-
	마디잘록이과			
	애기마디잘록이	+	+	-
	보라잎과			
	잔금분홍잎	+	+	-
	누은분홍잎	-	+	-
	보라잎	+	+	-
	다홍풀과			
	민자루다홍풀	+	+	-
	빨간검둥이과			
	서실	+	-	+
	검은서실	+	-	-
	참빗풀	+	+	+
	모로우붉은실	+	+	+
	보라색우무	+	-	
가는보라색우무	+	-	-	

표 5. 2006년 각 해역별 개다시마 서식지 면적과 서식 밀도

지역	어장면적	암반면적	서식밀도(개/10m ²)	우점종
고성군 대진	581.4	335	-	야키시리구멍쇠미역
초도	151.92	98	-	"
거진	384.8	305	-	"
반암	466.26	136	-	"
아야진	75.35	55.3	0.1	"
청간	79.87	2.6	-	"
천진	79.66	21	-	"
봉포		1	1	"
공현진		-	-	"
오호리	408.3	23.5	-	"
문암 1리		0.2	-	"
문암 2리	102.78	9.6	-	
강릉시 사근진		1~2		야키시리구멍쇠미역

표 6. 2006년 고성군 대진의 수심별 해조 분포상

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 대진	녹조식물문			
	갈파래과			
	앞파래	+	-	-
	초록갈파래	+	+	-
	구멍갈파래	+	+	+
	대마디말과			
	사카이대마디말	+	+	-
	청각과			
	청각	+	+	-
	갈조식물문			
	고리매과			
	불레기말	-	+	+
	바위두룩과			
	바위두룩	+	+	-
	산말과			
	산말	+	+	+
	미역과			
	미역	+	+	+
	다시마과			
	야키시리구멍쇠미역	+	+	+
	쇠미역	+	+	+
	다시마	+	+	+
	그물바탕말과			
	미끈뼈대그물말	-	+	-
	주름뼈대그물말	-	+	+
	참그물바탕말	-	+	+
	참가죽그물바탕말	-	+	-
	모자반과			
	알송이모자반	-	+	+
	큰잎알송이모자반	-	-	+
	팽생이모자반	+	+	-
	큰잎모자반	+	-	-
비틀대모자반	-	+	-	
검둥모자반	+	-	-	

지역	국명	5m	10m	20~30m
	홍조식물문			
	김파래과			
	참김	+	-	-
	갈고리풀과			
	나도뽕꼬리	+	+	-
	우뭇가사리과			
	우뭇가사리	+	+	+
	산호말과			
	넓은계발	-	+	-
	작은구슬산호말	-	-	+
	좁은마디말	-	-	+
	지누아리과			
	붉은까막살	+	+	+
	털지누아리	-	+	-
	명주지누아리	+	+	+
	미끌지누아리	+	+	-
	지누아리사촌	+	+	-
고성군 대진	마른나무과			
	마른나무	-	+	+
	끈적살과			
	갈래곰보	+	+	-
	곱슬이과			
	참곱슬이	+	+	+
	꼬시래기과			
	큰꼬시래기	+	+	-
	돌가사리과			
	진두발	+	+	+
	돌가사리	-	+	-
	분홍치과			
	누른끈적이	-	+	-
	두갈래분홍치	+	-	-
	구멍분홍치	+	+	-
	마디잘록이과			
	마디잘록이	+	+	+
	애기마디잘록이	+	-	-

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 대진	보라잎과			
	잔금분홍잎	+	+	+
	누은분홍잎	+	+	-
	보라잎	+	+	+
	바다참나무잎	-	+	+
	바다참나무잎아재비	-	+	+
	다홍풀과			
	민자루다홍풀	+	+	-
	빨간검둥이과			
	검은서실	+	+	-
	큰서실	-	+	+
	참빗풀	+	+	+
	모로우붉은실	+	+	+
	보라색우무	+	+	-
	가는보라색우무	+	+	-

표 7. 2006년 고성군 봉포의 수심별 해조 분포상

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 봉포	녹조식물문			
	갈파래과			
	초록갈파래	+	+	-
	구멍갈파래	+	+	+
	대마디말과			
	큰대마디말	+	-	+
	사카이대마디말	+	-	-
	청각과			
	떡청각	+	-	-
	청각	+	+	-
	갈조식물문			
	바위두릅과			
	바위두릅	-	+	+
	산말과			
	산말	+	+	+
미역과				
미역	+	+	+	

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 봉포	다시마과			
	야키시리구멍쇠미역	+	+	+
	쇠미역	+	+	+
	다시마	+	+	+
	그물바탕말과			
	주름뼈대그물말	-	-	+
	참그물바탕말	-	+	+
	참가죽그물바탕말	-	-	+
	모자반과			
	알송이모자반	-	+	+
	큰잎알송이모자반	-	+	+
	팽생이모자반	+	+	+
	큰잎모자반	+	-	-
	비틀대모자반	-	+	+
	검둥모자반	+	+	-
	홍조식물문			
	김과래과			
	참김	+	-	-
	갈고리풀과			
	나도꿩꼬리	+	-	-
	우뭇가사리과			
	우뭇가사리	+	+	+
	산호말과			
	넓은게발	-	+	-
	작은구슬산호말	-	-	+
	지누아리과			
	붉은까막살	-	+	-
	참지누아리	+	+	-
	털지누아리	-	+	-
	명주지누아리	-	+	+
미끌지누아리	-	+	+	
지누아리사촌	-	+	-	
마른나무과				
마른나무	+	+	+	
곱슬이과				
참곱슬이	+	+	+	

지역	국명	5m	10m	20~30m
고성군 봉포	돌가사리과			
	진두발	+	+	+
	돌가사리	-	+	-
	분홍치과			
	누른끈적이	+	+	-
	두갈래분홍치	+	-	-
	구멍분홍치	+	+	+
	마디잘록이과			
	마디잘록이	+	+	-
	보라잎과			
	잔금분홍잎	+	+	+
	누은분홍잎	+	+	+
	보라잎	+	+	+
	바다참나무잎	+	+	+
	바다참나무잎아재비	-	+	-
	다홍풀과			
	민자루다홍풀	+	+	+
	빨간검둥이과			
	검은서실	+	+	+
	참빗풀	+	+	+
모로우붉은실	+	+	-	
보라색우무	+	+	-	
가는보라색우무	-	+	-	

표 8. 2006년 강릉시 사근진의 수심별 해조분포상

지역	국명	5m	10m	20~30m
강릉시 사근진	녹조식물문			
	갈파래과			
	초록갈파래	+	+	-
	구멍갈파래	+	+	+
	청각과			
	청각	+	+	+
	갈조식물문			
	민가지말과			
	연두털말	-	+	-

지역	국명	5m	10m	20~30m
강릉시 사근진	고리매과			
	불레기말	+	+	+
	산말과			
	산말	+	+	+
	미역과			
	미역	+	+	+
	다시마과			
	야키시리구멍쇠미역	+	+	-
	쇠미역	+	+	+
	다시마	+	+	+
	개다시마	-	-	+
	그물바탕말과			
	미끈뼈대그물말	-	+	+
	주름뼈대그물말	-	-	+
	참그물바탕말	+	+	-
	모자반과			
	알송이모자반	+	+	+
	팽생이모자반	+	+	+
	잔가시모자반	-	+	-
	홍조식물문			
	김과래과			
	참김	+	-	-
	방사무늬김	+	-	-
	갈고리풀과			
	나도평꼬리	-	+	-
	우뭇가사리과			
우뭇가사리	+	+	+	
산호말과				
작은구슬산호말	+	+	+	
굵은마디말	-	+	+	
지누아리과				
붉은까막살	+	+	-	
미끌지누아리	-	+	-	
명주지누아리	-	+	+	
지누아리사촌	+	+	-	

지역	국명	5m	10m	20~30m
강릉시 사근진	마른나무과			
	마른나무	+	+	-
	곶솔이과			
	참곶솔이	-	+	+
	꼬시래기과			
	큰꼬시래기	+	-	-
	돌가사리과			
	진두발	+	+	+
	붉은은행초	-	-	+
	돌가사리	+	-	-
	분홍치과			
	누른끈적이	-	+	-
	구멍분홍치	+	+	+
	마디잘록이과			
	마디잘록이	+	+	-
	보라잎과			
	잔금분홍잎	+	+	+
	보라잎	+	+	+
	다홍풀과			
	민자루다홍풀	-	+	+
	빨간검둥이과			
	서실	+	+	+
	참빗풀	+	+	+
	모로우붉은실	+	+	+
	보라색우무	+	+	-
	가는보라색우무	+	-	+
	현화식물			
	잘피	-	+	+

제2절 생활사 및 생태 연구

1. 서식지 해양환경 특성 연구

개다시마 최대군락지인 강릉시 사근진 해역을 월별 정기적으로 서식지 군락밀도 및 성장과 성숙 등을 조사하였다. 이를 위하여 매월 엽체의 엽장, 엽폭 등 성장을 조사하였고, 조직절단을 통한 영양세포의 변화를 비롯하여 현미경으로 성숙 자낭반 부위를 절단하여 검경하였다.

2004년 9월부터 2005년 7월까지 개다시마 자연 서식지역의 수온 변화는 표와 같이 9월에 표층 21.1℃, 수심 5m 20.2℃, 수심 10m 18.6℃, 수심 20m 16.7℃, 수심 30m 15.8℃로 전체적으로 가장 높았으며, 3월에 표층 6.0℃, 수심 5m 5.7℃, 수심 10m 4.6℃, 수심 20m 3.4℃, 수심 30m 2.3℃로 가장 낮았다.

염분농도는 평균 33.02~34.20%의 범위를 보였다. 용존무기질소는 2월에 수심 30m에서 0.125mg/ℓ로 최고치를 나타내었으며, 11월에 수심 30m에서 0.018mg/ℓ로 최저치를 나타내었고, 대체로 0.1mg/ℓ 이하의 낮은 농도를 나타내었다. 또한 표층에서는 0.028~0.11mg/ℓ (평균 0.078mg/ℓ), 수심 5m에서는 0.025~0.118mg/ℓ (평균 0.075mg/ℓ), 수심 10m에서는 0.022~0.119mg/ℓ (평균 0.069mg/ℓ), 수심 20m에서는 0.020~0.120mg/ℓ (평균 0.064mg/ℓ), 수심 30m에서는 0.018~0.125mg/ℓ (평균 0.059mg/ℓ)로 저층에 비해 표층이 평균 0.019mg/ℓ 높은 것으로 나타났다.

용존무기인은 전반적으로 0.01mg/ℓ 이하로서 대체로 양호한 상태를 나타내었으며, 1월과 4월의 수심 30m에서 0.04mg/ℓ와 0.05mg/ℓ로 가장 높은 수치를 나타내었다(그림 3, 표 9, 10, 11, 12, 13).

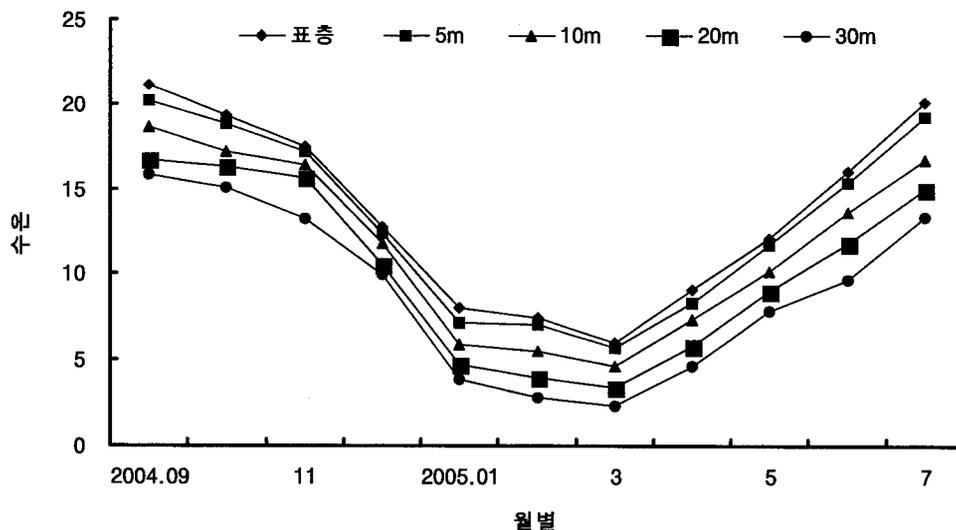


그림 3. 2004~2005강릉시 사근진의 수심별 온도 변화.

표 9. 강릉시 사근진 해역의 표층 영양염 변화

조사항목	월 별	2004년				2005년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		33.55	33.24	33.18	33.58	33.91	34.20	33.94	33.72	33.52	33.56	33.58
수소이온농도 (pH)		8.06	8.10	8.13	8.13	8.12	8.11	8.13	8.15	8.20	8.15	8.11
용존산소 (mg/l)		8.29	8.11	7.92	8.21	8.35	8.52	8.30	8.04	7.83	7.98	8.15
화학적산소요구량 (mg/l)		1.12	0.94	0.72	0.98	1.19	1.48	1.52	1.50	1.48	1.32	1.28
암모니아질소 (mg/l)		0.012	0.009	0.006	0.005	0.003	0.002	0.007	0.010	0.014	0.015	0.014
아질산질소 (mg/l)		0.001	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002
질산질소 (mg/l)		0.076	0.040	0.024	0.017	0.011	0.006	0.024	0.069	0.128	0.102	0.092
용존무기질소 (mg/l)		0.086	0.056	0.028	0.067	0.099	0.115	0.101	0.084	0.069	0.076	0.080
총질소 (mg/l)		0.000	0.025	0.054	0.216	0.512	0.746	0.428	0.195	0.053	0.031	0.000
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
총인 (mg/l)		0.000	0.010	0.020	0.050	0.080	0.110	0.120	0.070	0.040	0.030	0.010
Chlorophy ll-a (μg/l)		0.00	0.30	0.63	0.21	0.11	0.00	0.06	0.19	0.28	0.16	0.04

표 10. 강릉시 사근진 해역의 5m 영양염 변화

조사항목	월 별	2004년				2005년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		33.35	33.19	33.19	33.56	33.90	34.14	33.96	33.77	33.60	33.58	33.47
수소이온농도 (pH)		8.01	8.08	8.14	8.13	8.10	8.05	8.09	8.12	8.15	8.10	8.06
용존산소 (mg/l)		8.24	8.11	7.97	8.21	8.32	8.75	8.56	8.07	8.01	8.15	8.20
화학적산소요구량 (mg/l)		1.11	0.95	0.75	0.99	1.18	0.46	1.48	1.45	1.42	1.20	1.19
암모니아질소 (mg/l)		0.011	0.008	0.005	0.004	0.002	0.002	0.007	0.010	0.013	0.015	0.013
아질산질소 (mg/l)		0.001	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002
질산질소 (mg/l)		0.062	0.036	0.019	1.023	0.028	0.034	0.048	0.067	1.003	0.085	0.076
용존무기질소 (mg/l)		0.080	0.051	0.025	0.064	0.097	0.118	0.100	0.081	0.063	0.069	0.073
총질소 (mg/l)		0.000	0.023	0.052	0.103	0.388	0.772	0.290	0.158	0.059	0.040	0.000
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
총인 (mg/l)		0.000	0.010	0.020	0.043	0.062	0.086	0.102	0.060	0.041	0.031	0.014
Chlorophy ll-a (μg/l)		0.00	0.30	0.63	0.21	0.11	0.00	0.06	0.19	0.28	0.16	0.04

표 11. 강릉시 사근진 해역의 10m 영양염 변화

조사항목	월 별	2004년				2005년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		33.17	33.03	33.17	33.55	33.88	34.10	33.97	33.81	33.69	33.60	33.38
수소이온농도 (pH)		7.95	8.05	8.16	8.13	8.09	8.01	8.00	8.03	8.07	7.95	7.99
용존산소 (mg/l)		8.20	8.12	8.08	8.20	8.28	8.99	8.71	8.10	8.34	8.42	8.29
화학적산소요구량 (mg/l)		1.10	0.96	0.79	0.99	1.17	1.34	1.36	1.28	1.27	1.08	1.11
암모니아질소 (mg/l)		0.010	0.007	0.004	0.003	0.002	0.002	0.006	0.010	0.014	0.014	0.012
아질산질소 (mg/l)		0.001	0.001	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001
질산질소 (mg/l)		0.056	0.031	0.014	0.030	0.045	0.070	0.054	0.062	0.088	0.055	0.046
용존무기질소 (mg/l)		0.072	0.046	0.022	0.060	0.094	0.119	0.098	0.079	0.057	0.052	0.060
총질소 (mg/l)		0.000	0.019	0.051	0.087	0.111	0.826	0.133	0.112	0.066	0.043	0.016
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
총인 (mg/l)		0.000	0.020	0.019	0.038	0.045	0.059	0.084	0.052	0.042	0.033	0.020
Chlorophy ll-a (μg/l)		0.00	0.30	0.63	0.21	0.11	0.00	0.06	0.19	0.28	0.16	0.04

표 12. 강릉시 사근진 해역의 20m 영양염 변화

조사항목	월 별	2004년				2005년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		33.04	33.05	33.18	33.56	33.83	34.09	34.00	33.92	33.78	33.62	33.30
수소이온농도 (pH)		7.89	8.03	8.07	8.12	8.06	7.97	7.94	7.93	7.90	7.88	7.91
용존산소 (mg/l)		8.17	8.12	8.11	8.20	8.22	9.15	9.04	8.12	8.59	8.51	8.35
화학적산소요구량 (mg/l)		1.09	0.97	0.81	1.00	1.16	1.30	0.31	1.10	1.02	0.97	1.04
암모니아질소 (mg/l)		0.009	0.006	0.003	0.002	0.001	0.002	0.006	0.010	0.013	0.014	0.011
아질산질소 (mg/l)		0.000	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002	0.000
질산질소 (mg/l)		0.048	0.029	0.011	0.033	0.060	0.101	0.077	0.056	0.022	0.030	0.032
용존무기질소 (mg/l)		0.061	0.039	0.020	0.057	0.092	0.120	0.097	0.075	0.048	0.040	0.051
총질소 (mg/l)		0.000	0.015	0.050	0.064	0.099	0.891	0.100	0.097	0.070	0.048	0.022
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01
총인 (mg/l)		0.000	0.010	0.019	0.290	0.033	0.041	0.051	0.047	0.044	0.034	0.022
Chlorophy ll-a (μg/l)		0.00	0.30	0.63	0.21	0.11	0.00	0.06	0.19	0.28	0.16	0.04

표 13. 강릉시 사근진 해역의 30m 영양염 변화

조사항목	월 별	2004년				2005년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		32.94	33.02	33.19	33.54	33.81	34.05	34.00	33.97	33.88	33.63	33.24
수소이온농도 (pH)		7.86	8.01	8.18	8.12	8.05	7.93	7.90	7.88	7.83	7.85	7.84
용존산소 (mg/l)		8.12	8.13	8.16	8.20	8.24	9.29	9.21	8.13	8.97	8.62	8.41
화학적산소요구량 (mg/l)		1.08	0.97	0.84	1.01	1.15	1.28	1.22	1.00	0.84	0.96	0.99
암모니아질소 (mg/l)		0.008	0.005	0.002	0.001	0.000	0.002	0.006	0.009	0.013	0.013	0.011
아질산질소 (mg/l)		0.000	0.001	0.003	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.000
질산질소 (mg/l)		0.042	0.025	0.009	0.038	0.075	0.112	0.099	0.051	0.005	0.012	0.026
용존무기질소 (mg/l)		0.050	0.032	0.018	0.054	0.089	0.125	0.095	0.071	0.040	0.036	0.042
총질소 (mg/l)		0.000	0.012	0.049	0.058	0.084	1.005	0.089	0.081	0.077	0.052	0.031
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.05	0.01	0.01	0.00
총인 (mg/l)		0.000	0.010	0.019	0.022	0.025	0.026	0.034	0.040	0.046	0.035	0.026
Chlorophy ll-a (μg/l)		0.00	0.30	0.63	0.21	0.11	0.00	0.06	0.19	0.28	0.16	0.04

2005년 9월부터 2006년 7월까지 개다시마 자연 서식지역의 수온 변화는 그림 4 같이 9월에 표층 22.3℃, 수심 5m 22.1℃, 수심 10m 20.4℃, 수심 20m 15.8℃, 수심 30m 14.5℃로 전체적으로 가장 높았으며, 3월에는 표층 7.8℃, 수심 5m 5.7℃, 수심 10m 4.6℃, 수심 20m 3.4℃, 수심 30m 3.2℃로 가장 낮았다.

염분농도는 33.00~34.15‰(평균)의 범위를 보였다. 용존 무기질소는 2월에 수심 30m에서 0.126 mg/l 로 최고치를 나타내었으며, 11월에 수심 30m에서 0.019 mg/l 로 최저치를 나타내었고, 대체로 0.1 mg/l 이하의 낮은 농도를 나타내었다. 또한 표층에서는 0.030~0.113 mg/l (평균 0.079 mg/l), 수심 5m에서는 0.026~0.120 mg/l (평균 0.073 mg/l), 수심 10m에서는 0.020~0.121 mg/l (평균 0.067 mg/l), 수심 20m에서는 0.020~0.120 mg/l (평균 0.064 mg/l), 수심 30m에서는 0.019~0.126 mg/l (평균 0.058 mg/l)로 저층에 비해 표층이 평균 0.021 mg/l 높은 것으로 나타났다. 12월~5월중에 평년에 비해 저수온이 장기간 지속되었다.

용존무기인은 전반적으로 0.01 mg/l 이하로서 대체로 양호한 상태를 나타내었으며, 12월과 1월의 수심 30m에서 0.03 mg/l 와 0.05 mg/l 로 가장 높은 수치를 나타내었다(그림 4, 표 14, 15, 16, 17, 18).

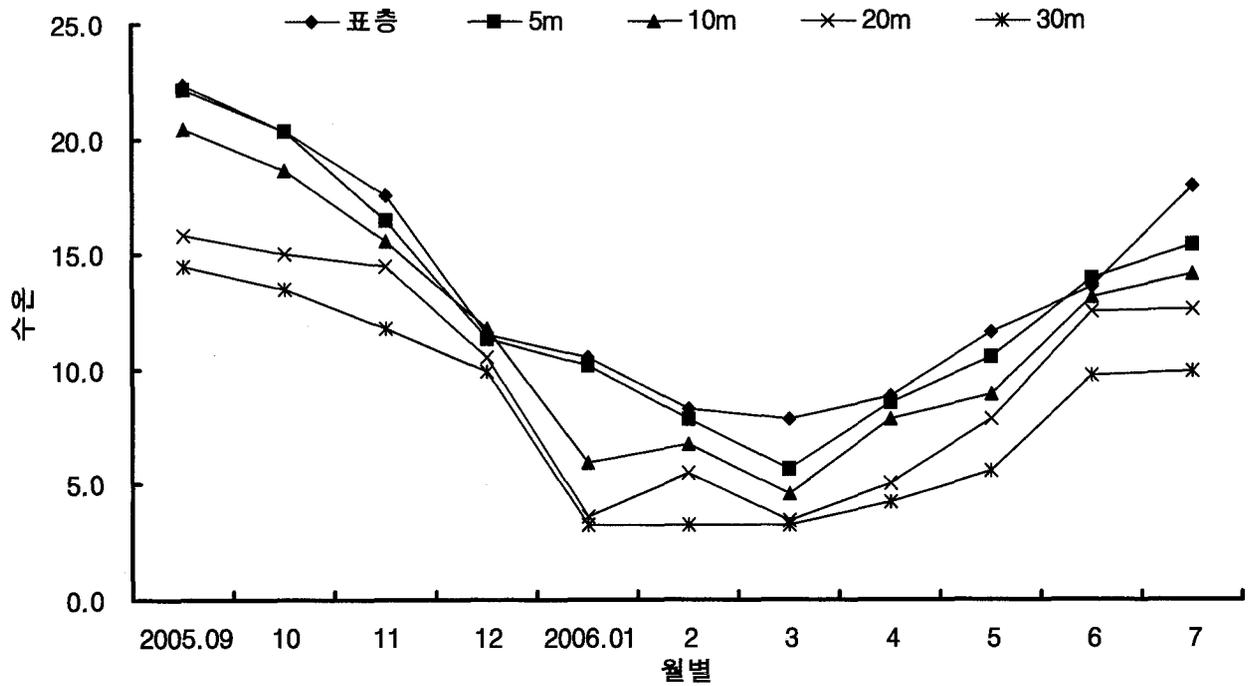


그림 4. 2005~2006년 강릉시 사근진의 수심별 온도 변화.

표 14 강릉시 사근진 해역의 표층 영양염 변화

조사항목	월 별	2005년					2006년					
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		33.53	33.22	33.20	33.51	33.72	34.15	33.90	33.69	33.51	33.54	33.55
수소이온농도 (pH)		8.07	8.10	8.12	8.12	8.11	8.11	8.12	8.13	8.19	8.15	8.12
용존산소 (mg/l)		8.28	8.10	7.90	8.22	8.35	8.53	8.28	8.02	7.85	7.99	8.11
화학적산소요구량 (mg/l)		1.11	0.95	0.76	0.99	1.18	1.45	1.53	1.50	1.46	1.34	1.29
암모니아질소 (mg/l)		0.010	0.009	0.005	0.004	0.003	0.002	0.006	0.009	0.012	0.014	0.013
아질산질소 (mg/l)		0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
질산질소 (mg/l)		0.075	0.040	0.024	0.016	0.010	0.008	0.023	0.065	0.128	0.109	0.093
용존무기질소 (mg/l)		0.083	0.058	0.030	0.061	0.095	0.113	0.105	0.088	0.071	0.078	0.082
총질소 (mg/l)		0.001	0.022	0.065	0.227	0.520	0.749	0.425	0.201	0.058	0.030	0.000
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
총인 (mg/l)		0.000	0.009	0.019	0.045	0.077	0.108	0.120	0.065	0.042	0.029	0.008
Chlorophy II-a (μg/l)		0.00	0.31	0.62	0.25	0.12	0.00	0.08	0.18	0.30	0.16	0.04

표 15. 강릉시 사근진 해역의 5m 영양염 변화

조사항목	월 별	2005년				2006년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		33.33	33.16	33.15	33.52	33.89	34.13	33.92	33.74	33.63	33.55	33.49
수소이온농도 (pH)		8.02	8.07	8.12	8.15	8.11	8.06	8.08	8.13	8.16	8.11	8.07
용존산소 (mg/l)		8.23	8.09	7.95	8.22	8.33	8.70	8.51	8.01	7.99	8.13	8.18
화학적산소요구량 (mg/l)		1.11	0.95	0.75	0.99	1.18	0.46	1.48	1.45	1.42	1.20	1.19
암모니아질소 (mg/l)		0.011	0.008	0.005	0.004	0.002	0.002	0.007	0.010	0.013	0.015	0.013
아질산질소 (mg/l)		0.001	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002
질산질소 (mg/l)		0.062	0.036	0.019	1.023	0.028	0.034	0.048	0.067	1.003	0.085	0.076
용존무기질소 (mg/l)		0.078	0.049	0.026	0.061	0.093	0.120	0.099	0.080	0.064	0.066	0.070
총질소 (mg/l)		0.000	0.023	0.052	0.103	0.388	0.772	0.290	0.158	0.059	0.040	0.000
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
총인 (mg/l)		0.000	0.010	0.020	0.043	0.062	0.086	0.102	0.060	0.041	0.031	0.014
Chlorophy ll-a (μg/l)		0.00	0.30	0.63	0.21	0.11	0.00	0.06	0.19	0.28	0.16	0.04

표 16. 강릉시 사근진 해역의 10m 영양염 변화

조사항목	월 별	2005년				2006년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		33.16	33.01	33.12	33.53	33.86	34.09	33.94	33.80	33.63	33.57	33.35
수소이온농도 (pH)		7.95	8.05	8.16	8.13	8.09	8.01	8.00	8.03	8.07	7.95	7.99
용존산소 (mg/l)		8.19	8.10	8.05	8.16	8.24	8.90	8.72	8.11	8.37	8.44	8.23
화학적산소요구량 (mg/l)		1.09	0.95	0.74	0.96	1.15	1.30	1.36	1.25	1.22	1.07	1.10
암모니아질소 (mg/l)		0.011	0.009	0.006	0.003	0.003	0.002	0.005	0.010	0.013	0.015	0.013
아질산질소 (mg/l)		0.001	0.001	0.002	0.004	0.003	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001
질산질소 (mg/l)		0.055	0.030	0.018	0.031	0.042	0.069	0.055	0.062	0.080	0.057	0.044
용존무기질소 (mg/l)		0.071	0.046	0.020	0.058	0.093	0.121	0.096	0.074	0.051	0.049	0.062
총질소 (mg/l)		0.001	0.015	0.050	0.089	0.112	0.825	0.134	0.111	0.065	0.042	0.015
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
총인 (mg/l)		0.000	0.015	0.021	0.039	0.046	0.060	0.085	0.051	0.043	0.035	0.022
Chlorophy ll-a (μg/l)		0.00	0.27	0.62	0.23	0.12	0.02	0.08	0.20	0.29	0.17	0.05

표 17. 강릉시 사근진 해역의 20m 영양염 변화

조사항목	월 별	2005년				2006년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		33.05	33.06	33.12	33.52	33.80	34.08	33.99	33.92	33.77	33.61	33.30
수소이온농도 (pH)		7.90	8.05	8.08	8.15	8.07	7.95	7.93	7.91	7.88	7.85	7.88
용존산소 (mg/l)		8.16	8.13	8.12	8.21	8.23	9.16	9.05	8.11	8.58	8.50	8.33
화학적산소요구량 (mg/l)		1.08	0.99	0.83	1.00	1.15	1.31	0.33	1.10	1.01	0.96	1.03
암모니아질소 (mg/l)		0.010	0.005	0.002	0.001	0.001	0.002	0.005	0.011	0.014	0.015	0.010
아질산질소 (mg/l)		0.000	0.002	0.002	0.004	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.000
질산질소 (mg/l)		0.047	0.028	0.012	0.031	0.061	0.100	0.076	0.058	0.023	0.031	0.030
용존무기질소 (mg/l)		0.061	0.039	0.020	0.057	0.092	0.120	0.097	0.075	0.048	0.040	0.051
총질소 (mg/l)		0.000	0.013	0.049	0.065	0.100	0.898	0.099	0.095	0.068	0.047	0.025
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
총인 (mg/l)		0.000	0.010	0.018	0.289	0.031	0.042	0.050	0.0478	0.045	0.033	0.020
Chlorophy II-a (μg/l)		0.00	0.31	0.65	0.20	0.12	0.01	0.05	0.18	0.29	0.15	0.04

표 18. 강릉시 사근진 해역의 30m 영양염 변화

조사항목	월 별	2005년				2006년						
		9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
염분 (%)		32.91	33.00	33.12	33.53	33.80	34.05	34.00	33.95	33.87	33.62	33.23
수소이온농도 (pH)		7.85	8.00	8.20	8.11	8.04	7.92	7.91	7.89	7.84	7.86	7.85
용존산소 (mg/l)		8.11	8.12	8.15	8.21	8.23	9.28	9.22	8.14	8.96	8.61	8.42
화학적산소요구량 (mg/l)		1.08	0.97	0.84	1.01	1.15	1.28	1.22	1.00	0.84	0.96	0.99
암모니아질소 (mg/l)		0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.001	0.005	0.008	0.012	0.014	0.010
아질산질소 (mg/l)		0.000	0.001	0.002	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002	0.000
질산질소 (mg/l)		0.043	0.026	0.010	0.037	0.076	0.111	0.097	0.050	0.006	0.013	0.027
용존무기질소 (mg/l)		0.048	0.031	0.019	0.052	0.087	0.126	0.091	0.067	0.042	0.035	0.040
총질소 (mg/l)		0.000	0.012	0.047	0.060	0.086	1.001	0.085	0.080	0.074	0.050	0.029
용존무기인 (mg/l)		0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
총인 (mg/l)		0.000	0.009	0.018	0.023	0.024	0.027	0.033	0.039	0.045	0.034	0.025
Chlorophy II-a (μg/l)		0.00	0.28	0.61	0.20	0.09	0.00	0.05	0.17	0.29	0.17	0.07

2. 생활사 연구

가. 분류적 특성 연구

개다시마는 다시마목(目) 다시마과(科)에 속하는 갈조류로서 학명은 *Kjellaniella crassifolia* Miyabe이며, 일본명은 Gagome 이다. 개다시마의 뿌리형태는 섬유상으로 뿌리에서 운생하고 엽장이 1~2m, 엽폭은 20~30cm로서 비교적 넓으며, 억세고 점질이 많다. 두께는 2~3mm, 중대부는 엽폭의 1/3~1/4로, 중대부의 양측에는 용무늬가 있어 노성하면 불분명해진다. 줄기의 하부는 원주상으로 위쪽은 편원되고 길이 4~6cm, 지름 10~12mm이다. 점심대에 서식하며 12월 이후에 유체가 출현하여 다음 가을까지 성장하였다.

나. 생활사 연구

우리나라에서는 강원 북부 연안에만 서식하고 있으며 수심 20~30m 서식하며 다년생해조류로 밝혀졌다. 유엽이 출현하는 시기는 12월이고, 다음 가을까지 성장하다가 유주자가 방출하면 엽체의 끝녹음 현상으로 더 성장하지 않다가 11월경이 되면 다시 성장대에서 성장을 시작하여 첫 해 자란 엽체를 위로 밀어 올리면서 2년생 엽체가 되었다. 2년째에는 생장이 빠르게 자라서 1년 엽체와 2년 엽체의 구분이 뚜렷하게 나타나고 자낭반은 처음 한쪽에만 발생되나 차차 반대편에도 형성되었다.

다. 성숙기 연구

개다시마의 월별 성숙기를 조사한 결과, 자낭반이 형성된 개체의 출현은 9월부터 시작되었으며, 이 때 성숙 비율은 10%이었다. 10월에는 성숙 개체의 비율이 증가하여 40%였고, 11월에는 85%, 12월 89%로 높아지다가 1월에 20%로 현저히 낮아져 11월과 12월이 개다시마의 성숙 절정기로 나타났다(그림 5).

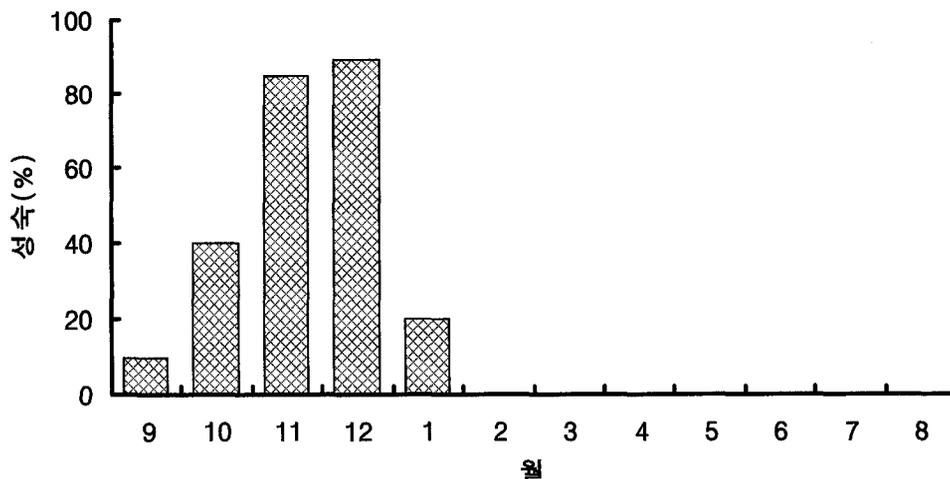


그림 5. 개다시마의 성숙기와 비율.

라. 자낭반 형성 면적 분석

동해안 애기다시마의 자낭반 형성 면적은 10월에 엽체 중량의 약 23%에 걸쳐 형성되었으나 개다시마의 경우 약 5%에 불과하여 생식 능력이 매우 떨어지는 경향을 보였다. 이러한 특성을 감안할 때 서식지가 한번 파괴되면 자연 스스로 회복하기에는 오랜 시간이 필요하고 많은 장애요소가 생길 수 있다. 따라서 서식지 복원을 위해서는 우량모조의 확보가 절실하나 자연에서는 자원량이 절대 부족하므로 우량모조 생산 및 보존이 절실한 실정이다.(그림 6).

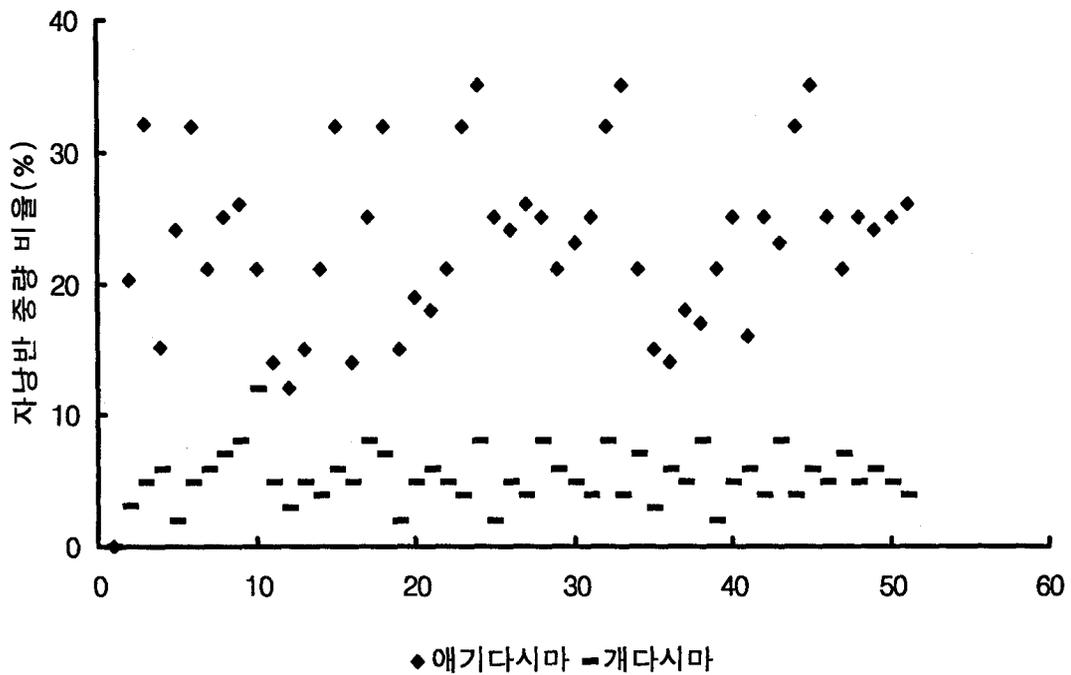
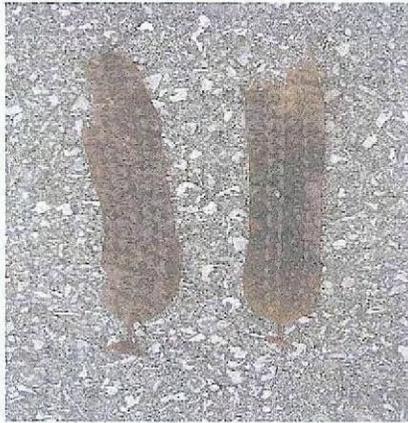


그림 6. 개다시마의 자낭반 형성 면적.

마. 개다시마의 기부형태 연구

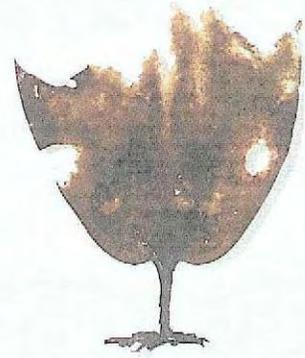
개다시마의 기부형태는 성장과 성숙기간 중에 변화가 있었다. 성숙이 시작되는 9월에 심장형이 70%, 등근형이 20%, 썩기형이 10%이었으며, 10월에는 심장형, 등근형, 썩기형이 각각 80%, 15%, 5%이었고, 11월에는 각각 80%, 20%로 썩기형 기부형태는 출현하지 않았다. 성숙이 완료되는 시점인 1월에는 각각 65%, 30%, 5%로 썩기형의 기부형태를 가진 개체가 다시 출현하였고, 등근형이 증가하는 경향을 보였다(그림 7, 8).



썰기형



둥근형



심장형

그림 7. 개다시마의 기부 형태.

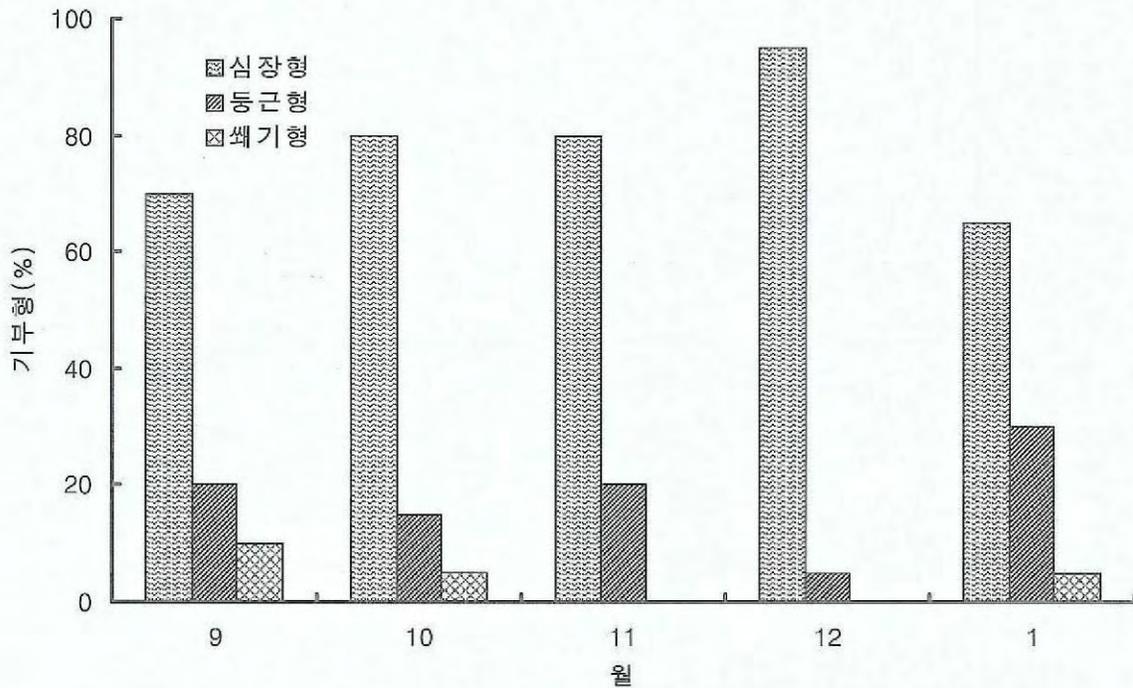


그림 8. 개다시마의 성숙기의 기부형태 변화.

바. 월별 성장 연구

개다시마의 생태조사를 목적으로 조사한 월별 생장은 9월에 엽장, 엽폭, 중량이 각각 $65 \pm 11.5\text{cm}$, $22 \pm 3.3\text{cm}$, $65 \pm 8\text{g}$ 이었고, 10월에 각각 $75 \pm 17.5\text{cm}$, $23 \pm 5\text{cm}$, $70 \pm 5\text{g}$ 으로 나타났다. 성숙 절정기인 11월에는 각각 $61 \pm 10.5\text{cm}$, $25 \pm 4.5\text{cm}$, $55 \pm 4.5\text{g}$, 12월에 각각 $54 \pm 13.0\text{cm}$, $24 \pm 3.3\text{cm}$, $40 \pm 6.9\text{g}$ 으로 유주자 방출로 인한 엽장은 현저히 줄어들고 엽폭은 조금씩 증가하였으나 중량은 끝녹음 현상으로 줄어드는 현상을 보였다. 3월부터 엽장이 성장하기 시작하였는

데, 이 때 엽장, 엽폭, 중량이 각각 $65\pm 16.0\text{cm}$, $12\pm 2.5\text{cm}$, $55\pm 5.9\text{g}$ 이었고 5월에 각각 $87\pm 16.0\text{cm}$, $15\pm 5\text{cm}$, $70\pm 8.7\text{g}$ 으로 엽장이 성장하는 모습을 보였고, 7월에 각각 $110\pm 22.5\text{cm}$, $18\pm 5.4\text{cm}$, $85\pm 11\text{g}$ 이었고, 8월에 각각 $87\pm 20.5\text{cm}$, $21\pm 6\text{cm}$, $62\pm 6.4\text{g}$ 으로 이 기간 중에는 생장이 지속적으로 이루어지고 있었다(그림 9, 10, 11).

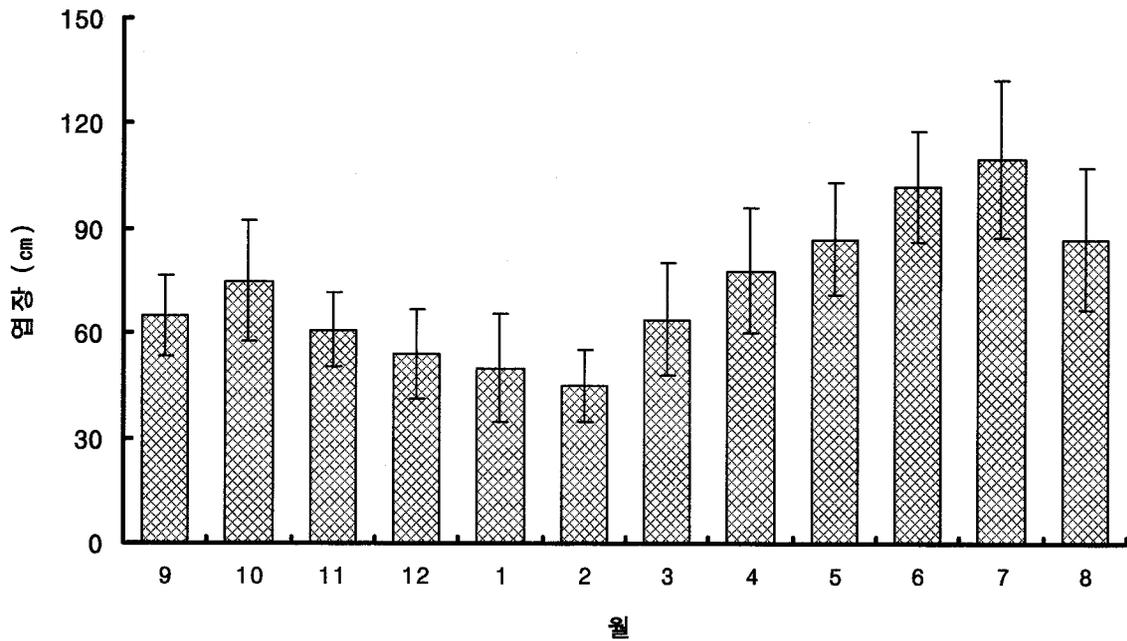


그림 9. 개다시마의 월별 엽장 변화.

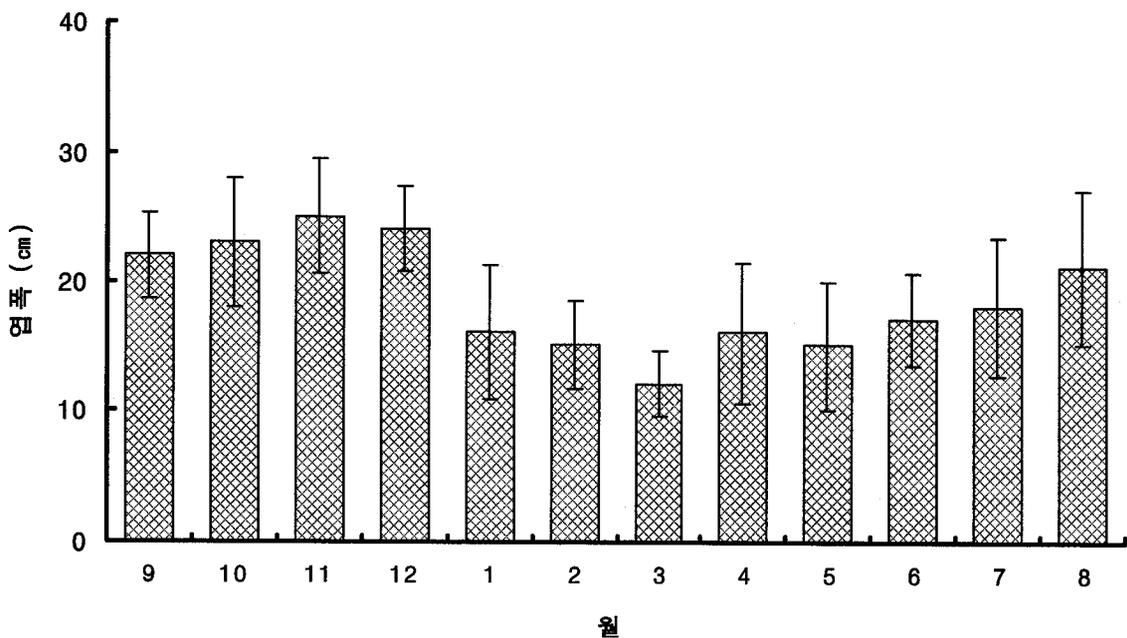


그림 10. 개다시마의 월별 엽폭 변화.

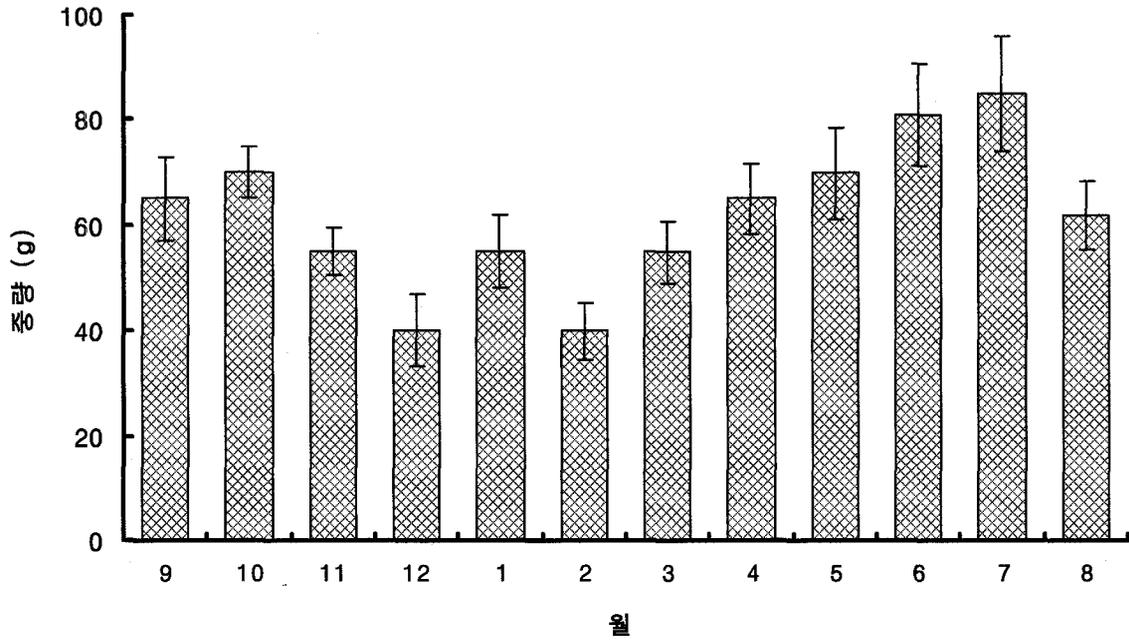


그림 11. 개다시마의 월별 중량 변화.

사. 엽장과 엽폭 비율 연구

엽장과 엽폭비는 성숙기와 성장기간 동안 각각 비율이 다르게 나타났다. 성숙기에는 비율이 줄어들어 2.8~2.9비율을 보였으나 2월 이후 3.1로 엽장이 상대적으로 엽폭보다 생장이 빠르게 진행되었고 3월부터는 4.1로 증가하여 8월에는 4.4가 되었다(그림 12).

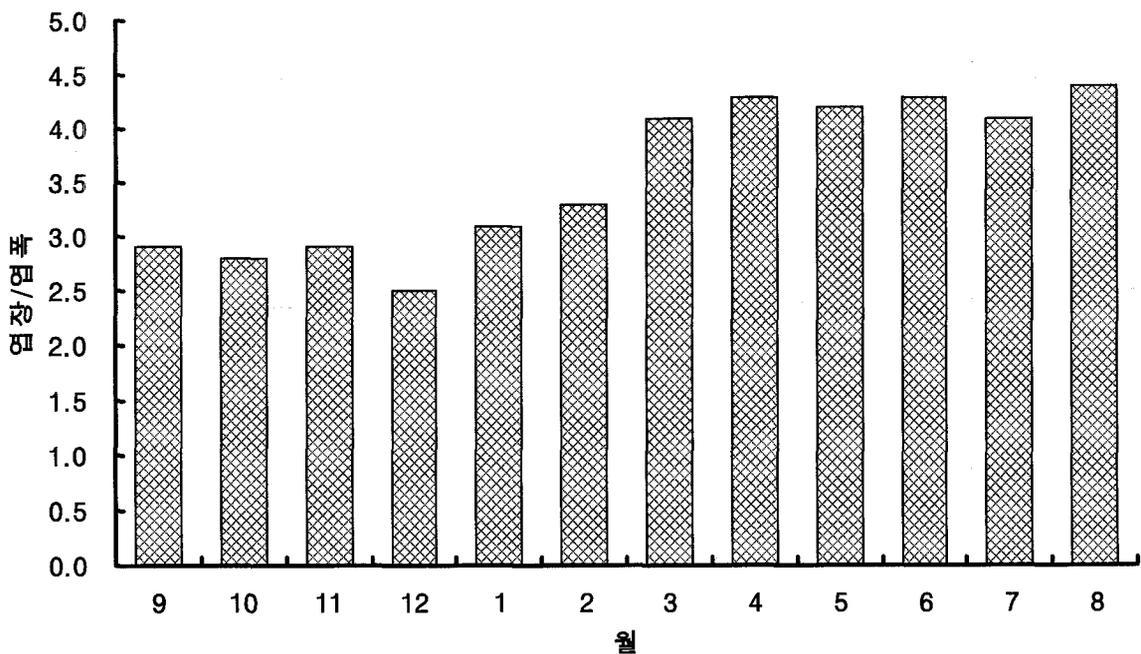


그림 12. 개다시마의 엽장과 엽폭 비율.

제3절 유주자 방출 유도 연구

채취한 개다시마 모조로부터 자낭반을 잘라내고, 각각 기존 방법인 12시간 실내음건, 30분 햇빛건조, 채취 즉시 방출 그리고 12시간 냉장음건의 4가지 방법으로 연구하였다. 유주자 방출 유도를 위해서 햇빛을 직접 받는 평평한 장소에 설치된 투명 수조에 넣어 멸균 해수 또는 1 μ m 필터로 여과한 해수에 채취된 자낭반 부위를 넣은 다음, 천천히 막대로 저어주었다. 약 10분부터 현미경으로 유주자 움직임과 밀도를 조사하고, 현미경 100배 시야에서 약 30개체 이상 보이고 움직임이 활발하면 건강하고 적절한 유주자로 판정하였다. 측정은 10번 반복하였다.

효과적인 유주자 방출과 건강한 종묘를 확보하기 위하여 자극방법별 효율을 조사한 결과 12시간 냉장음건 처리한 모조에서 현미경 100배 시야 당 55 \pm 18개가 나타나 유주자 방출량이 월등하였다. 30분 햇빛건조 시험구는 15 \pm 9개이었고, 채취 즉시 방출은 20 \pm 12개, 12시간 실내음건 처리 시험구는 35 \pm 12개로 나타났다. 이러한 결과로 심해의 저수온과 저광량의 환경에 적응된 개다시마는 실내음건, 햇빛 건조, 즉시 방출유도 등에서 유주자 방출 자극의 효과가 미미한 것으로 나타났다(표 19).

표 19. 조건별 유주자 방출

구분	12시간 실내음건	30분 햇빛건조	채취 즉시 방출	12시간 냉장음건
유주자량(개)	35 \pm 12	15 \pm 9	20 \pm 12	55 \pm 18
유주자 움직임	다소 활발	다소 활발	다소 활발	매우 활발

제4절 환경조절에 의한 종묘생산연구

1. 환경조절에 의한 실내 종묘생산 연구

모조는 개다시마의 특성인 용무늬가 선명하고, 뿌리 부분에서 심장형이 선명한 성숙된 것을 연구에 사용하였다. 실내 환경에서 인공종묘 생산기술개발을 위하여 세포배양에 적합한 온도, 광주기, 광량 등의 환경을 구명하였다. 모조로부터 자낭반 형성 부위를 잘라내고, 12시간 약 4℃ 냉장음건 방법으로 방출자극을 하였다. 배양 수조는 햇빛이 직접 투과되는 아크릴 수조를 사용하여 평평한 장소에 설치하였다. 1 μ m 필터로 여과시킨 멸균 해수를 사용하였고, 채취된 자낭반 부위를 넣고 천천히 막대로 저어주었다. 유주자 상태 등을 확인한 다음 모조를 제거하고 채묘틀을 수평으로 놓은 다음 약 2시간 동안 채묘하였다.

가. 적정 배양온도 연구

각각 실험구 별로 3반복하여 5, 10, 15, 20, 25, 30℃의 온도 6단계의 시험구로 배양하였으며, 배지는 일주일 간격으로 교환하였다. 또한 광량은 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 광주기는 12시간 명조 조건 : 12시간 암조건(12L:12D)으로 하여 40일간 배양하였다. 배양기간 중 현미경으로 관찰하여, 배우체 형성, 성장 상태 등을 연구하였으며, 배양 한 달 경과 후에 아포체의 성장 길이를 측정하였다.

1) 환경 조건별 유주자 발생 연구

유주자 발아율은 수온 15℃, 광량 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 80.0%로 최대였으며, 20℃, 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 10.0%로 최저였다. 수온이 상대적으로 낮은 5℃와 10℃에서는 고광량에서 발아율이 높게 나타났고, 수온이 상대적으로 높은 15℃와 20℃에서는 저광량에서 높은 발아율을 보였으며, 수온 25℃에서는 발아하지 않았다(그림 13).

2) 환경 조건별 배우체 성장 연구

개다시마의 배우체 성장률은 배양 20일까지 5℃에서는 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 95.6 \pm 8.04 μm 으로 생장이 양호하였고, 10℃에서는 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 286.0 \pm 35.20 μm 으로 모든 시험구 중 가장 좋은 성장을 보였다. 15℃에서는 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 277.0 \pm 113.60 μm 으로 성장하였고, 20℃에서는 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 68.8 \pm 36.64 μm 으로 생장이 좋았으며, 25℃에서는 배양 5일까지 발아되지 않고 모든 개체가 사멸하였다(그림 14).

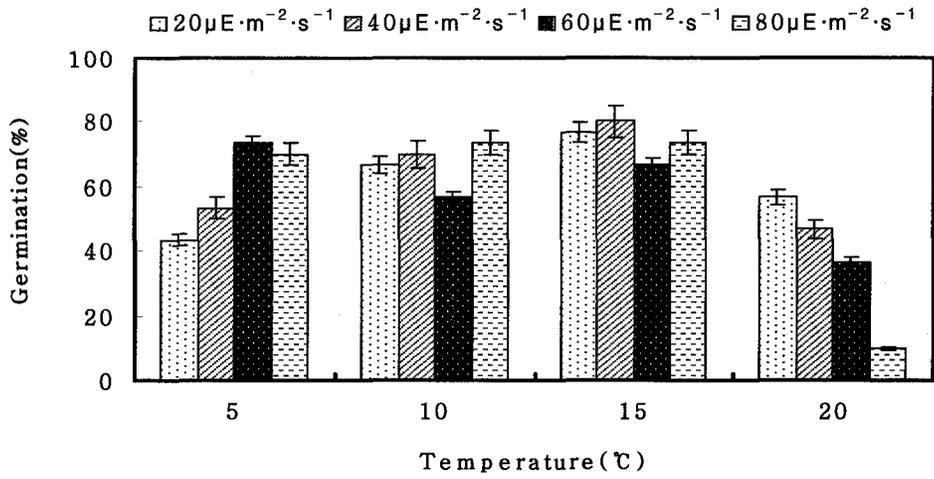


그림 13. 온도 · 광량별 개다시마의 유주자 발아율.

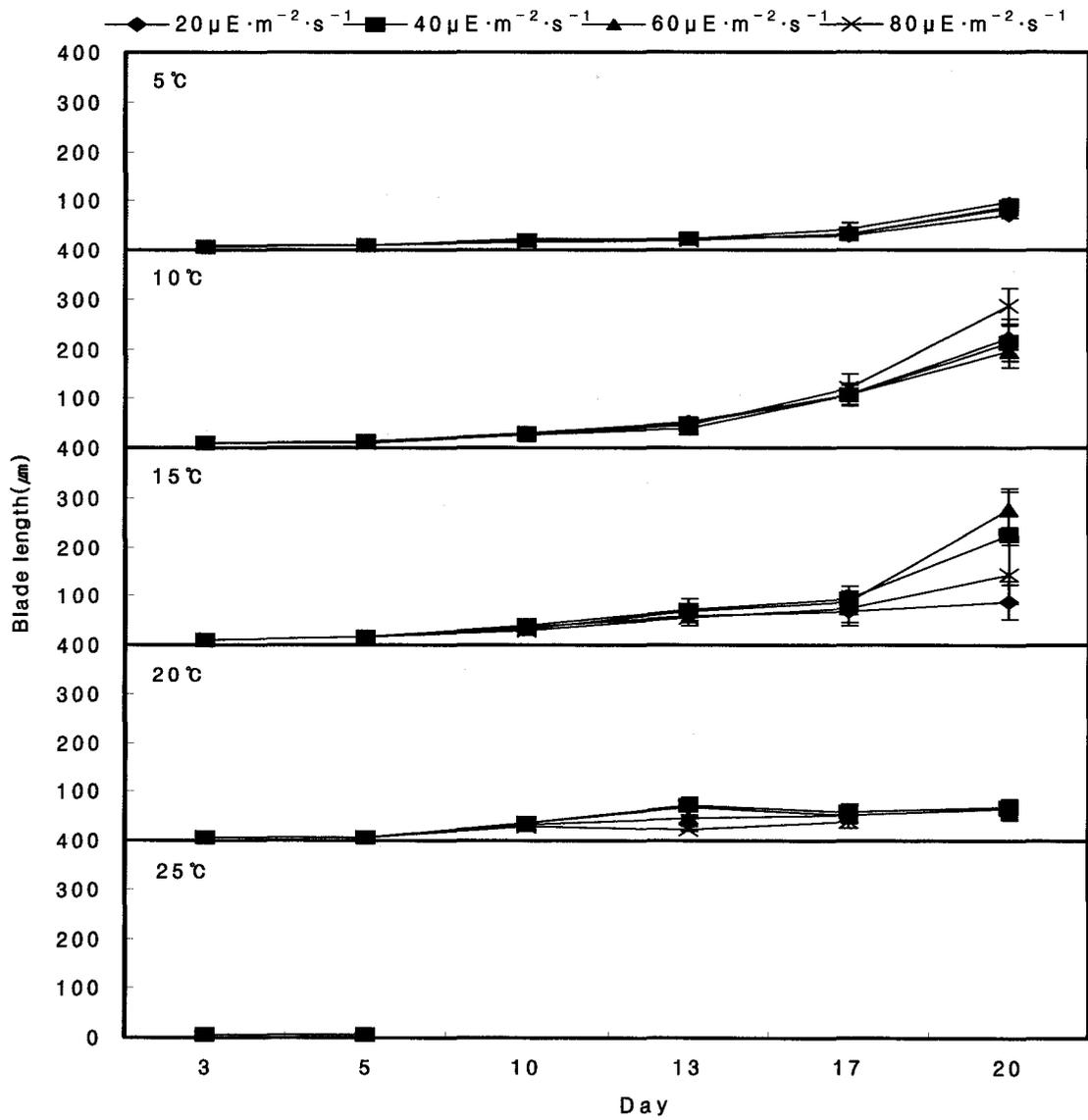


그림 14. 온도 · 광량별 개다시마의 배우체 성장.

3) 환경 조건별 아포체 발생 연구

수온 5℃ 시험구는 포자 발달이 느려 약 25일경 배우체가 형성 되었으며, 한 달 후 생장은 215 μm 이었다. 10℃ 시험구는 생장에 적합한 환경으로 한 달 후 아포체 상태로 574 μm 로 성장하여 타 시험구에 비해 가장 양호하였다. 15℃ 시험구는 한 달 후 480 μm 로 성장하여 10℃ 시험구와 비슷하였으나 색상 등에서 다소 활력이 떨어졌다. 20℃ 시험구는 320 μm 로 나타났고, 25℃ 시험구는 배양 17일 만에 배우체 단계에서 고사하였으며, 발생속도도 현저히 늦었다. 30℃ 시험구는 배양 7일 만에 고사하였으며, 배우체를 형성하지 못하고 세포이동 단계에 머물렀다(그림 15).

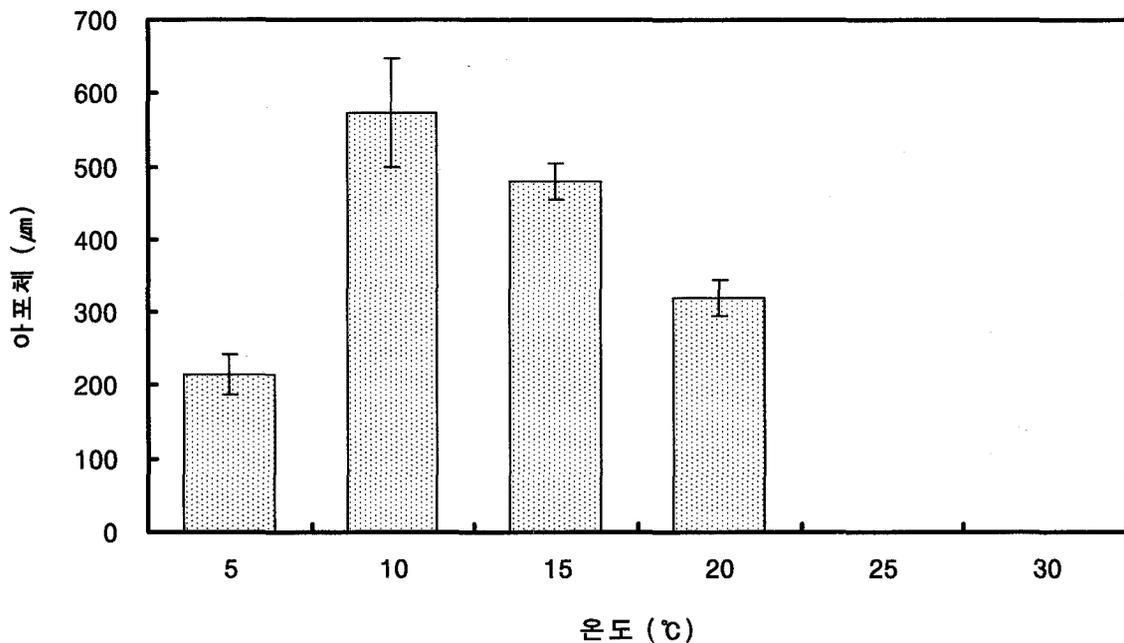


그림 15. 온도별 성장 시험.

유주자는 수분에서 30분 이내에 대부분 부착기질에 부착하였으나, 일부 유주자는 약 3시간 까지 움직임이 관찰되기도 하였다. 유주자의 약 60%는 부동포자였으며, 유주자도 다른 다시마류에 비해 움직임이 활발하지 못하였다. 배양 약 18시간에서 1일 만에 세포질 이동을 통한 발아관이 형성되기 시작하였고 포자의 발아는 10~15℃ 조건에서 배양 3일 만에 90% 이상 발아관이 형성되었고, 가장 빠른 성장을 보여 발생의 적정 수온으로 판명되었으며, 저수온인 5℃에서 가장 느린 발생을 보였다. 배양 12일 이내 모든 시험 조건에서 포자의 발아가 관찰되었다. 또한 최초의 배우체 형성은 배양개시 5일부터 보이기 시작함과 동시에 세포분열이 일어나기 시작하였다. 암·수배우체가 구분되기 시작한 시기는 배양 14일로 암수의 비율은 6:4 정도로 암배우체의 비율이 높게 나타났으나 일부 배양에서는 반대의 결과도 있었다. 암·수배우체의 성장과 성숙은 온도조건이 높은 10~15℃에서 가장 먼저 성숙하여 아포체로 형성되었으며, 높

은 온도 조건에서도 고광량보다는 저광량 조건에서 성장과 성숙이 먼저 이루어졌다. 20°C 조건에서도 배우체가 성숙하여 아포체 단계로 진행이 되었지만 5°C 조건에서는 암·수배우체가 성숙이 매우 느리고 아포체 단계로 진행율이 매우 낮았다. 아포체를 정치배양하여 그 성장 경향을 파악한 경우, 10~15°C 조건에서 가장 높게 나타났다.

나. 적정 광량 연구

적정 광량 구명을 위한 시험에서 광량을 10, 20, 40, 60, 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 5단계 시험구를 설정하여 한 달 간 배양하였으며, 수온 10°C, 배지는 PESI 배지로 하였고, 일주일 간격으로 배지를 전량 교환하였다. 그 결과 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 시험구는 155 μm , 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 는 450 μm , 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 는 578 μm , 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 는 369 μm , 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 시험구는 고사하여 시험구 중 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 양호한 성장 결과를 나타냈다(그림 16).

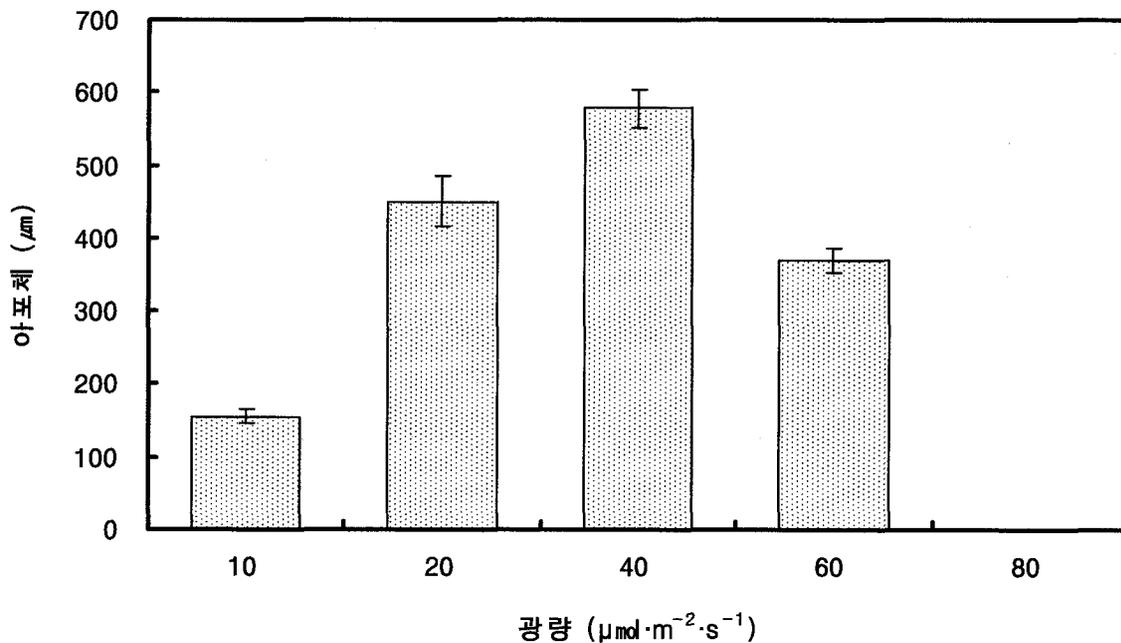


그림 16. 광량별 성장 시험.

다. 광주기 연구

광주기 효과를 조사한 결과 8L:16D에서 530 \pm 120 μm , 12L:12D에서 410 \pm 112 μm , 16L:8D에서 290 \pm 35 μm , 5L:19D에서 310 \pm 52 μm , 19L:5D에서 180 \pm 31 μm 로 나타나 19L:5D에서 저조한 반면 8L:16D 광주기가 가장 좋은 결과를 보였고, 생존율도 가장 높았다(그림 17).

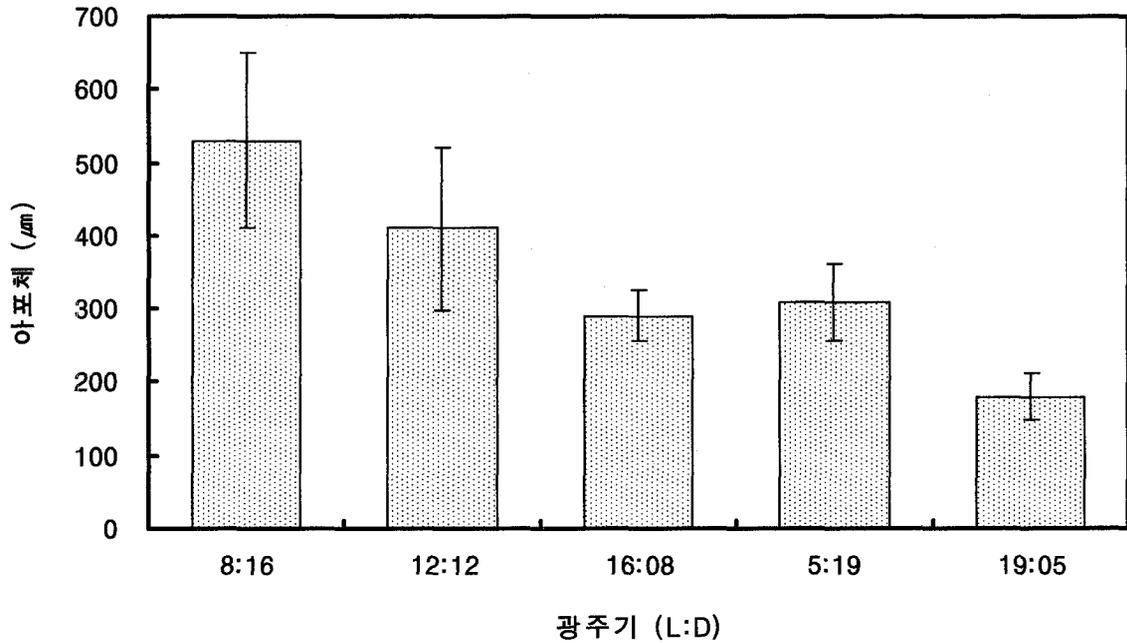


그림 17. 광주기별 성장 시험.

라. 친승이식 연구

5~10cm인 유엽을 18mm 로프에 10cm 간격으로 이식하여 뿌리가 로프에 걸착될 수 있도록 한 달간 실내수조에 배양 후 수심 10m 바다에 이식하였다. 배양 1일째 유엽 $7.8 \pm 2.4\text{mm}$, 배양 10일째 $8.7 \pm 3.2\text{mm}$, 20일 $8.9 \pm 3.4\text{mm}$, 30일 $9.1 \pm 3.9\text{mm}$ 로 실내 배양에서는 생장이 저조하였으며, 실내 온도 상승 등의 원인으로 바다에 이식하여 60일 $30.4 \pm 11.5\text{cm}$, 90일 $68.7 \pm 15.6\text{cm}$, 120일 $110.3 \pm 32.1\text{cm}$ 로 급속히 성장하였다(그림 18). 친승이식은 30일 0.91cm/일 에서 60일 30.4cm/일 로 빠른 성장을 보였고, 그 후부터는 일간 두 배의 성장률을 보이면서 일간성장률도 60일에서 120일까지 11.5cm/일 과 15.6cm/일 , 21.1cm/일 로 나타났다. 일간성장률은 1-10일간 0.010cm/일 의 성장을 보인 반면 10-20일과 20-30일 각각 0.002cm/일 의 성장률을 나타냄으로써 성장률이 줄어든 것을 알 수 있다. 그러나 30-60일에 0.983cm/일 로 빠른 성장을 나타내었다(그림 19).

2차년도 종묘생산된 종묘를 대상으로 친승이식 시험을 실시하였다. 유엽 5~10cm 대상으로 18합사 크레모나에 10cm 간격으로 이식하여 18mm 로프에 다시 감는 방법으로 뿌리가 로프에 활착될 수 있도록 한 달간 실내수조에서 배양한 후 바다에 이식하였다. 배양 1일째 유엽 $12.5 \pm 3.4\text{mm}$, 배양 10일째 $16.7 \pm 5.4\text{mm}$, 20일 $20.3 \pm 5.9\text{mm}$, 30일 $25.4 \pm 6.1\text{mm}$ 로 실내 배양에서 생장이 매우 저조하였으며, 실내 온도가 상승되기 시작하여 이식하였다(그림 20). 친승이식 수심은 20-30m로 하였다. 일간성장률은 1-10일간 0.42mm/일 의 성장을 보인 반면 10-20일에는 0.36mm/일 , 20-30일 0.15mm/일 의 성장률을 나타냄으로써 성장률이 일시적 줄어들었다(그림 21).

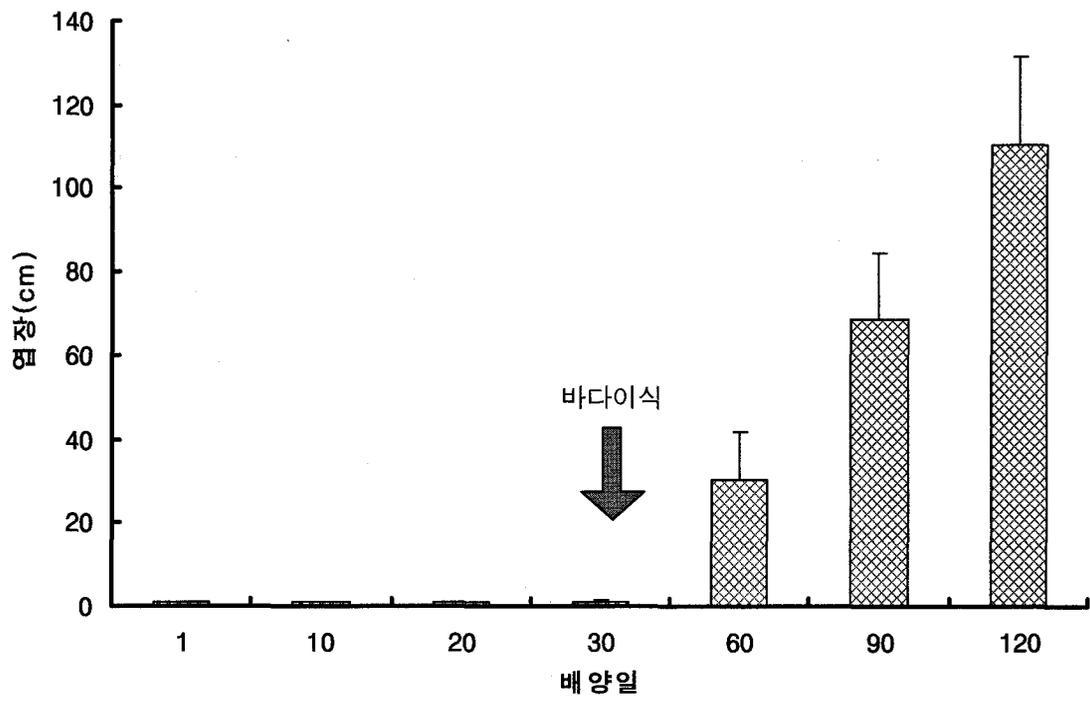


그림 18. 친송 이식 후 개다시마의 성장.

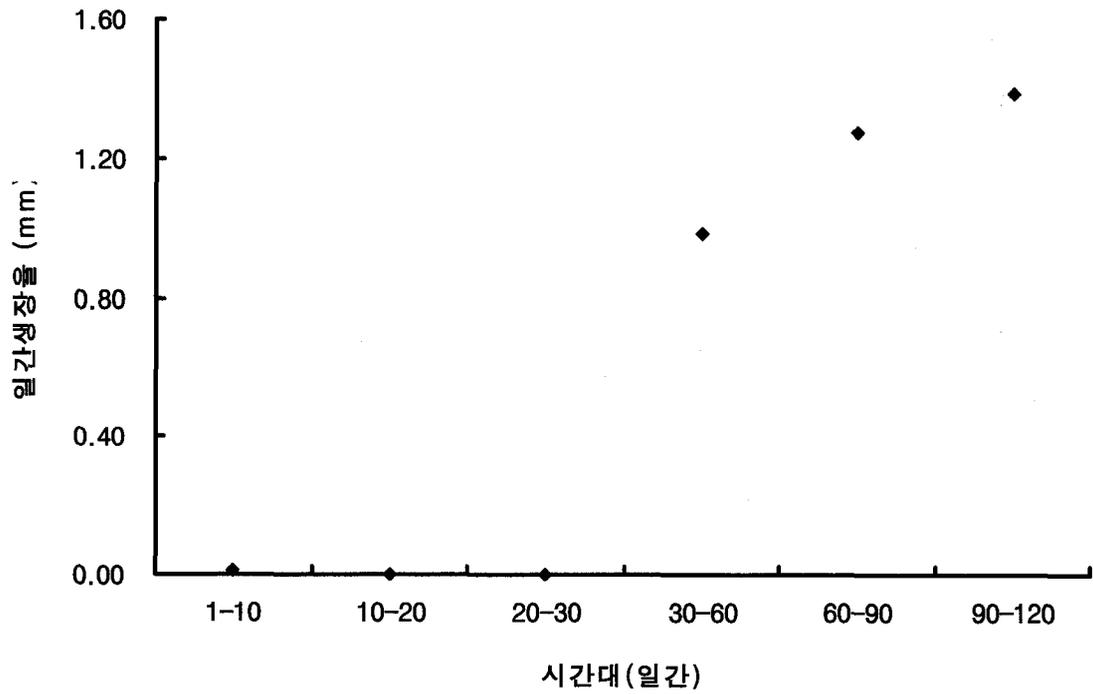


그림 19. 친송 이식 후 일간생장률 변화.

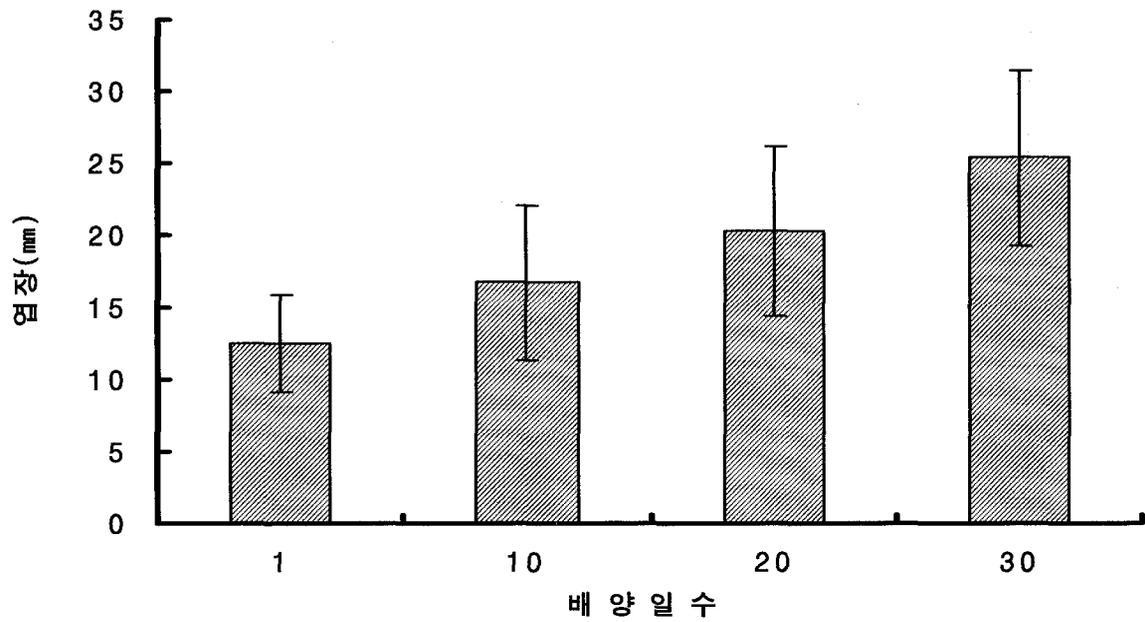


그림 20. 친송 이식 후 성장 변화.

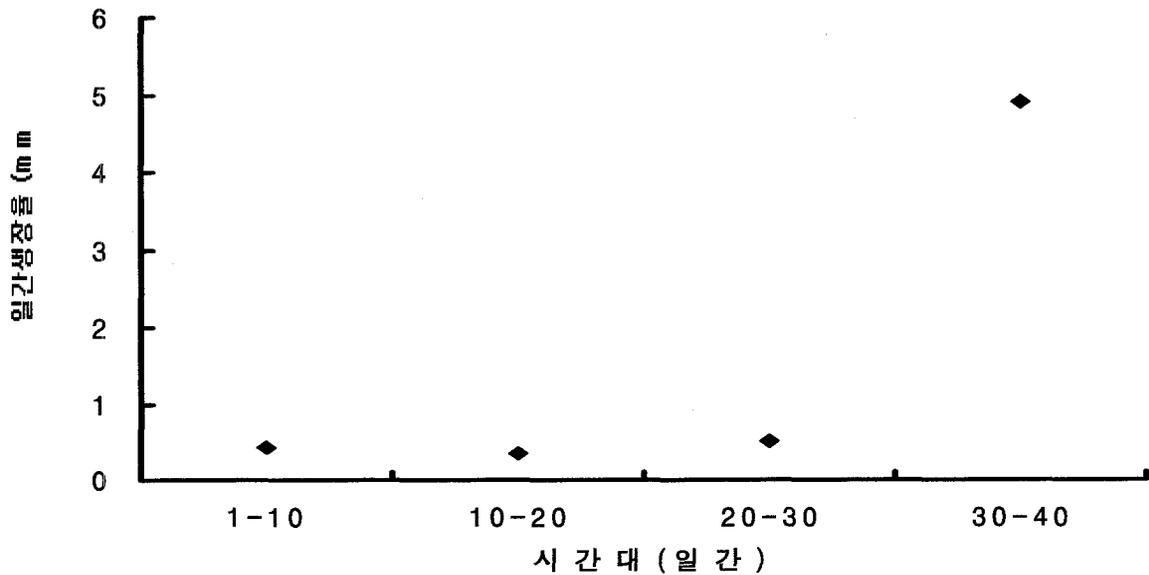


그림 21. 친송 이식 후 일간생장률 변화.

마. 유리배양 연구

우랑모조 생산을 위하여 종묘 2~7mm 유엽을 대상으로 유리배양을 실시하였다. 배양 환경은 10~12°C, 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 12L:12D로 하였으며 PES배지를 일주일 간격으로 전량 환수하여 3ℓ 둥근 플라스크에서 배양하였다. 유엽 3.6±1.6mm를 대상으로 유래개체 배양한 결과, 배양 10일째 4.5±1.9mm, 20일 6.9±2.3mm, 30일 7.4±2.5mm, 40일 7.8±2.8mm, 50일 8.0±3.4mm로 생

장하였으나 실내배양 30일 이후 생장이 저조하였다(그림 22). 유리배양은 채묘틀배양과 친승이식과는 달리 완만한 성장과 일간성장률을 나타내었다. 일간성장율은 1-10일 0.100mm/일과와 10-20일 0.240mm/일의 성장률을 보였으나 20일 이후부터는 일간성장률이 20-30일 0.050mm/일로 급격히 줄어들었으며, 30-40일 0.40mm/일과 40-50일 0.020mm/일로 계속해서 줄었다(그림 23).

2차년도 연구에서는 종묘 5~10mm 유엽을 대상으로 유리배양을 실시하였다. 배양 환경은 $15\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, $50\sim 60\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 12L:12D로 PESI배지를 일주일 간격으로 전량 환수하였으며, 배양용기는 5ℓ 아크릴 수조를 사용하였다. 유엽 $4.1\pm 0.96\text{mm}$ 를 대상으로 유래개체 배양한 결과, 배양 10일째 $6.2\pm 1.1\text{mm}$, 20일 $8.7\pm 2.6\text{mm}$, 30일 $10.9\pm 3.1\text{mm}$, 40일 $12.3\pm 3.5\text{mm}$, 50일 $13.7\pm 3.0\text{mm}$, 60일 $14.2\pm 4.0\text{mm}$ 로 성장하였으나 실내배양 30일 이후 생장이 저조하였다(그림 24). 유리배양은 채묘틀 배양과 친승이식과는 달리 완만한 성장과 일간성장률을 나타내었다. 일간성장율은 1-10일 0.21mm/일과와 10-20일 0.25mm/일의 성장률을 보였으나 20일 이후 부터는 일간성장률이 20-30일 0.22mm/일로 줄어들었으며, 30-40일 0.14mm/일과 40-50일 0.14mm/일, 50-60일 0.05mm/일로 계속해서 줄었다(그림 25).

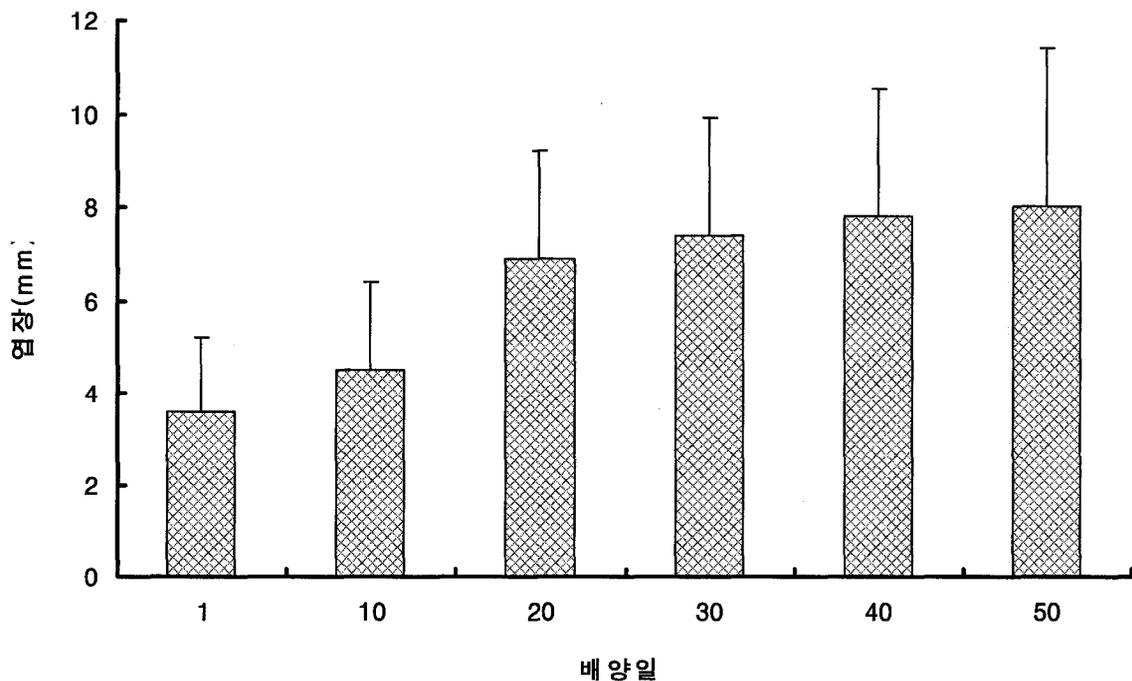


그림 22. 유리배양에 의한 엽장 성장.

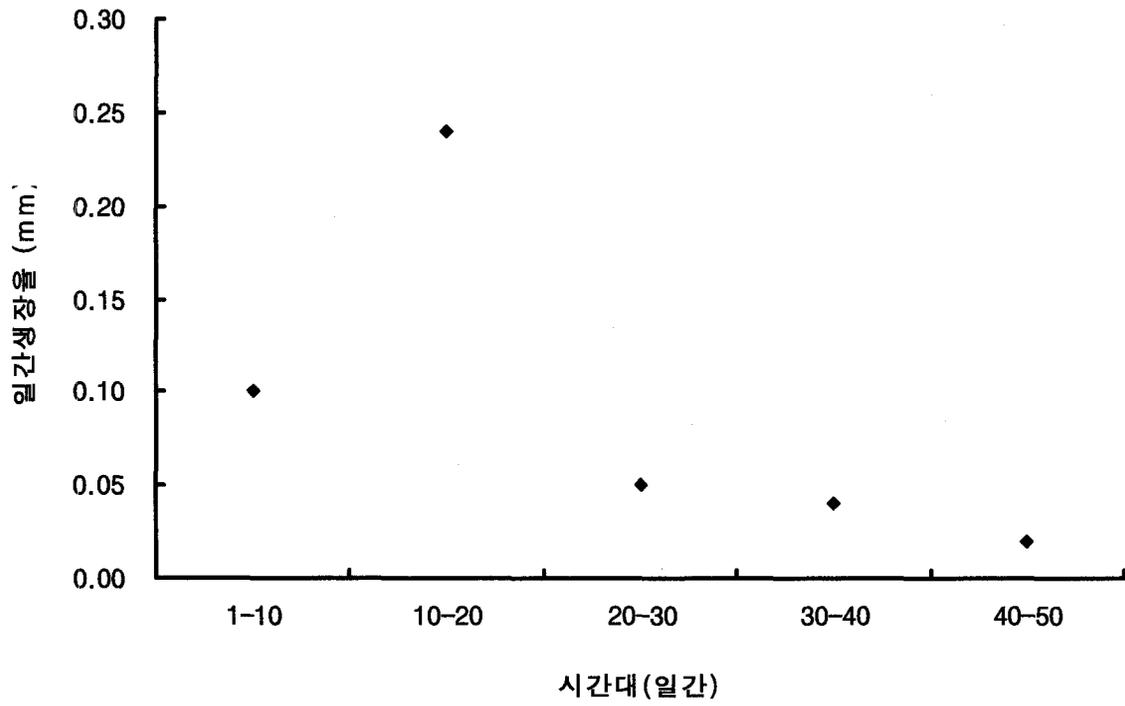


그림 23. 유리배양에 의한 일간생장률 변화.

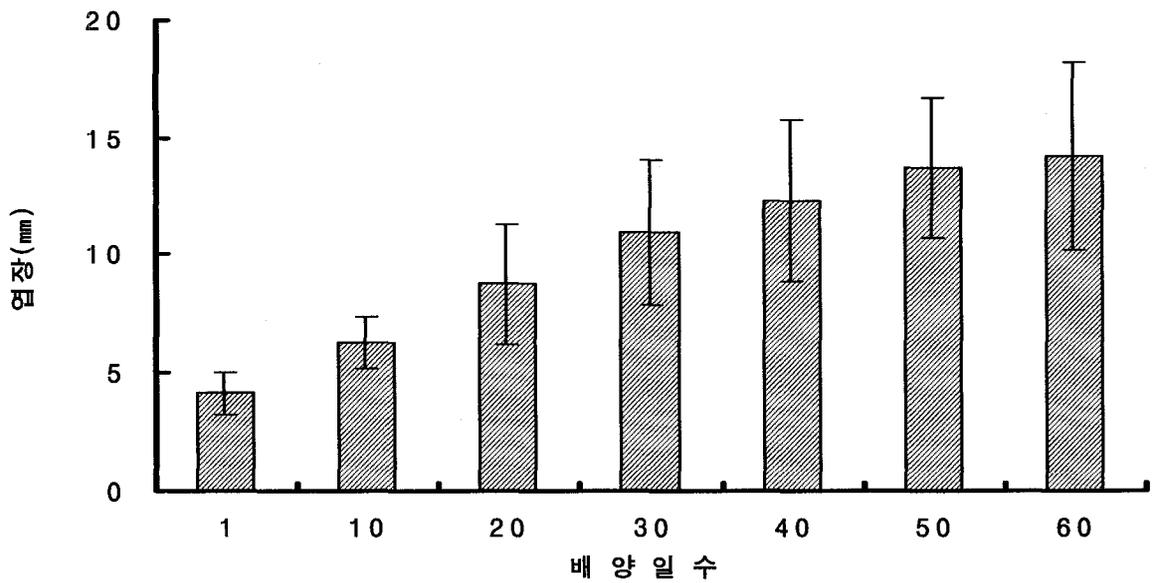


그림 24. 유리배양에 의한 엽장 성장.

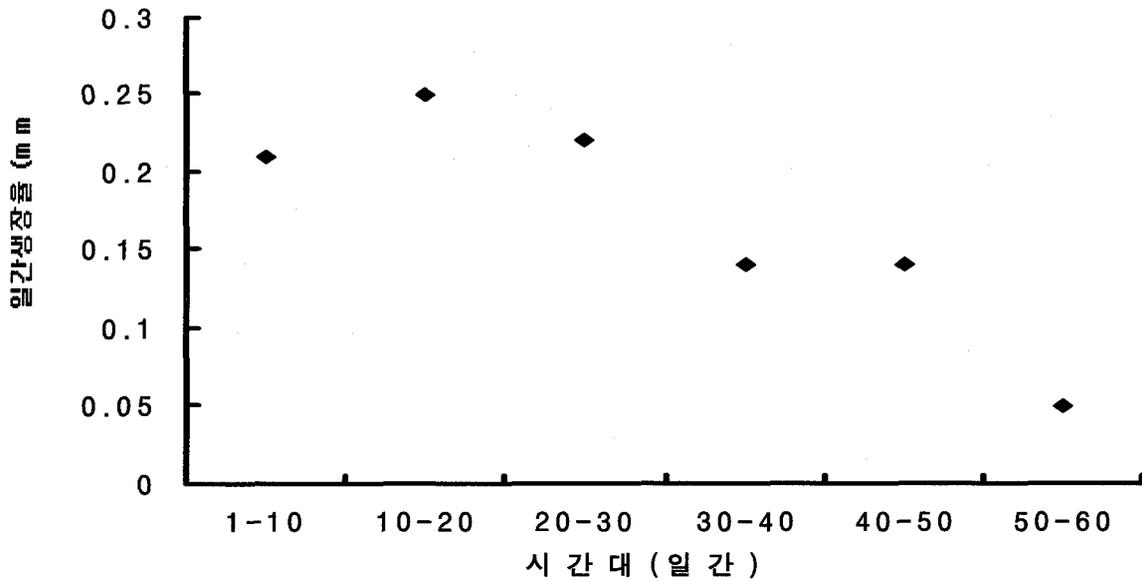


그림 25. 유리배양에 의한 일간생장률 변화.

2. 자연 유수식 종묘생산 연구

가. 18합사 크레모나 기질을 이용한 종묘생산 연구

유주자 채묘를 위하여 12시간 냉장 음건 처리한 모조를 직사광선이 비치는 평평한 장소의 투명수조에 여과해수를 넣은 후 부드럽게 저어주었다. 방출 유도 10분 뒤부터 현미경으로 유주자 방출 및 움직임 등을 관찰 후 100배 시야 당 30개체가 될 때에 채묘틀을 넣었다. 채묘틀(18합사 구라론사)은 500ℓ 아크릴 투명수조에서 온도 10~12℃, 광량 40 μmol · m⁻² · s⁻¹, 광주기 12L:12D 및 PESI 배지로 자연 유수식 배양을 하였으며, 배양 중 발생하는 규조류 및 녹조류는 깨끗이 제거하였다.

18합사 크레모나에 유주자를 채묘하여 실내 배양한 결과 세포이동, 배우체 형성 및 수정, 분화 과정은 채묘기질 특성상 관찰 및 측정이 어려워 아포체가 형성되는 시점인 배양 20일 부터 측정을 실시하였다. 그 결과, 배양 20일 0.12±0.02mm, 배양 30일 0.32±0.08mm, 배양 50일째 0.87±0.2mm로 육안으로 관찰 가능해졌다. 배양 90일째 8.7±2.6mm, 배양 110일 15.3±4.5mm까지 성장하였으나 수온이 18℃ 이상 상승하여 일부 고사되거나 끝녹음 현상이 발생하여 실내 배양을 중지하고 바다로 가이식하였다(그림 26). 일간생장률을 분석하면, 20-30일에 20μm/일로 성장하였고, 50-70일에 167μm/일로 엽장이 급격한 성장을 나타내었고, 90-110일에 330μm/일로 높은 성장률을 나타냈다(그림 27).

2차년도 연구에서는 채묘틀(18합사 크레모나)에 유주자를 채묘하여 자연수온인 5~17℃, 40~80 μmol · m⁻² · s⁻¹의 자연광량, 일주일 간격으로 전량 환수하였으며, 이 때 부착규조류, 부니 등을 제거하였으며, 5~10톤 시멘트 수조에서 배양하였다. 배양 중 발생하는 규조류와 녹조류

는 광량을 조절함으로써 제거하였다.

대량생산 시험의 일환으로 18합사 크레모나에 유주자를 채묘하여 실내 시멘트 수조에서 배양한 결과 세포이동, 배우체 형성 및 수정, 분화 과정은 채묘기질 특성상 관찰 및 측정이 어려워 아포체가 형성되는 시점인 유주자 채묘시점에서 배양 20일부터 측정을 실시하였다. 그 결과, 배양 20일 $0.25 \pm 0.025m$, 배양 30일 $0.77 \pm 0.09mm$, 배양 50일째 $3.95 \pm 0.31mm$ 로 육안으로 관찰 가능해졌다. 배양 70일째 $6.85 \pm 0.87mm$, 배양 90일째 $9.12 \pm 1.31mm$, 배양 110일째 $17.35 \pm 3.75mm$ 까지 성장하였으나 수온이 약 $5^{\circ}C$ 까지 하강하여 실내에서 생장이 느리고 탈락되는 등 관리상 어려운 점으로 배양 70일째 실내배양을 중지하고 연구어장으로 가이식하였다(그림 28, 29). 일간성장률을 분석하면, 실내 배양기간에는 $0.052 \sim 0.159mm/일$ 이었으나 바다 가이식 후 $0.114mm/일$ 로 증가하였으며, 배양 110일째는 $0.412mm/일$ 로 생장이 좋았다(그림 30).

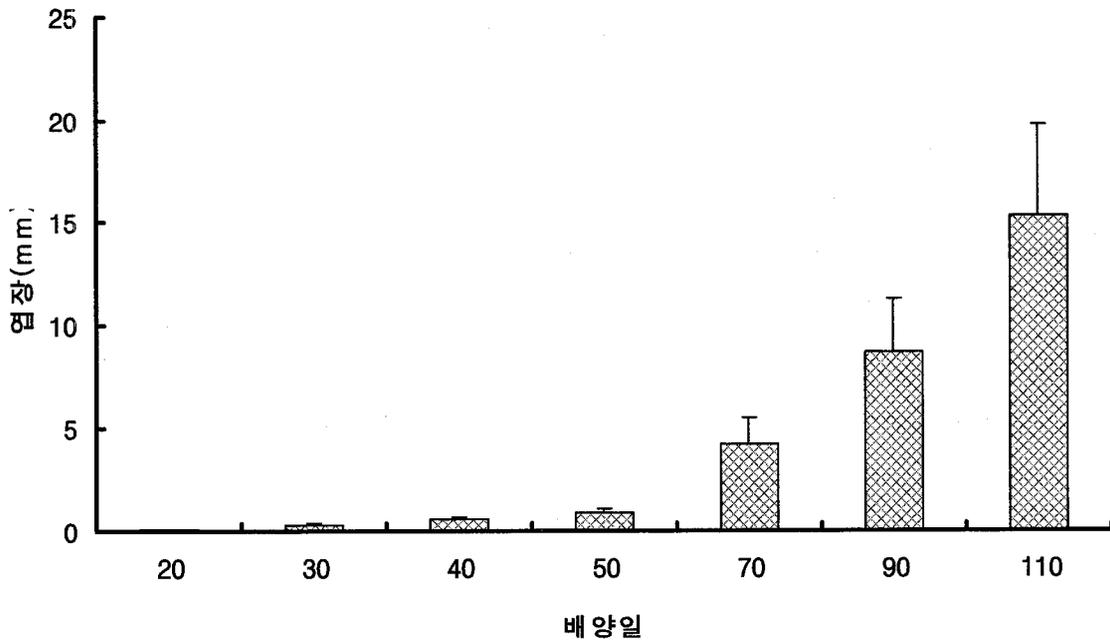


그림 26. 18합사 크레모나에 채묘된 개다시마의 성장.

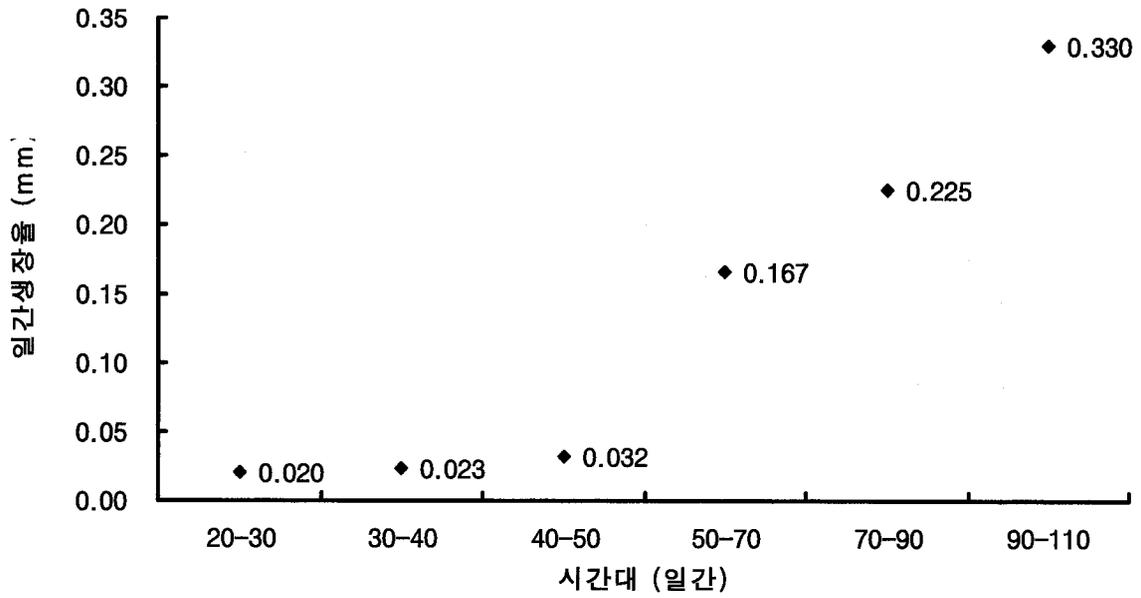


그림 27. 18합사 크레모나에서의 개다시마의 일간생장률.

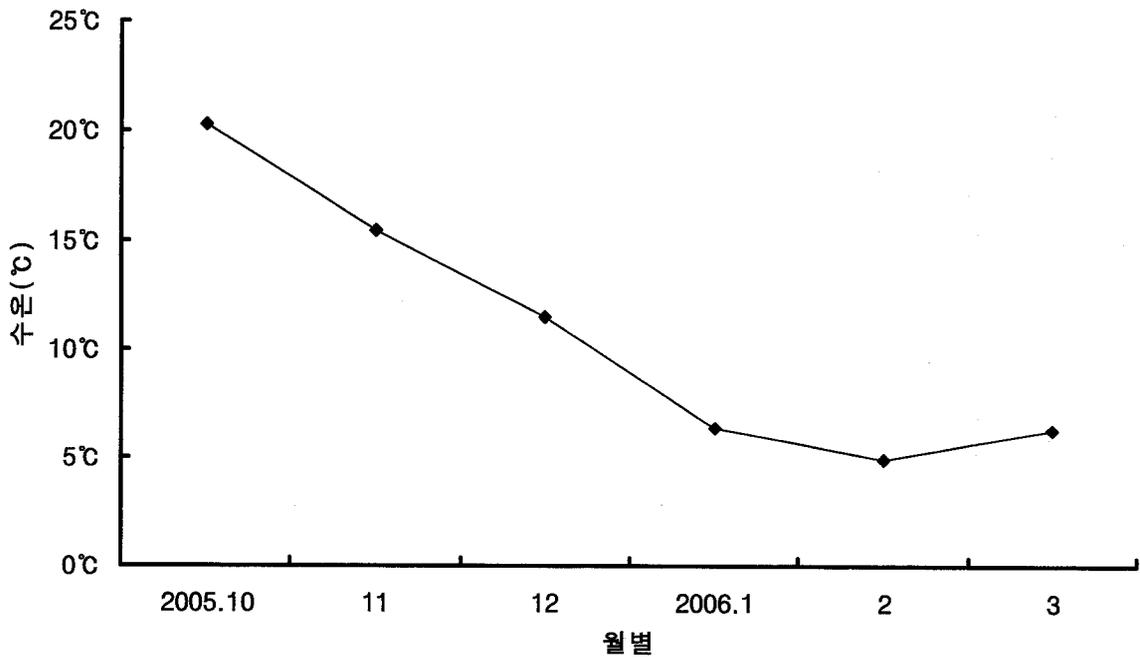


그림 28. 강릉시 사근진의 표층 수온.

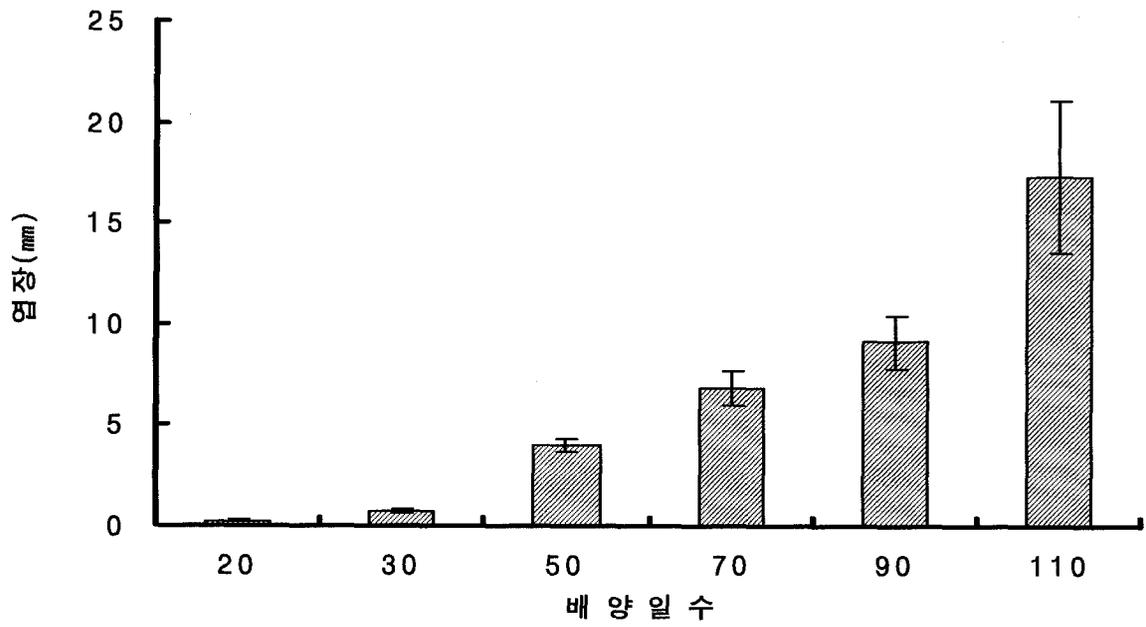


그림 29. 18합사 크레모나에서 채묘 및 배양 결과.

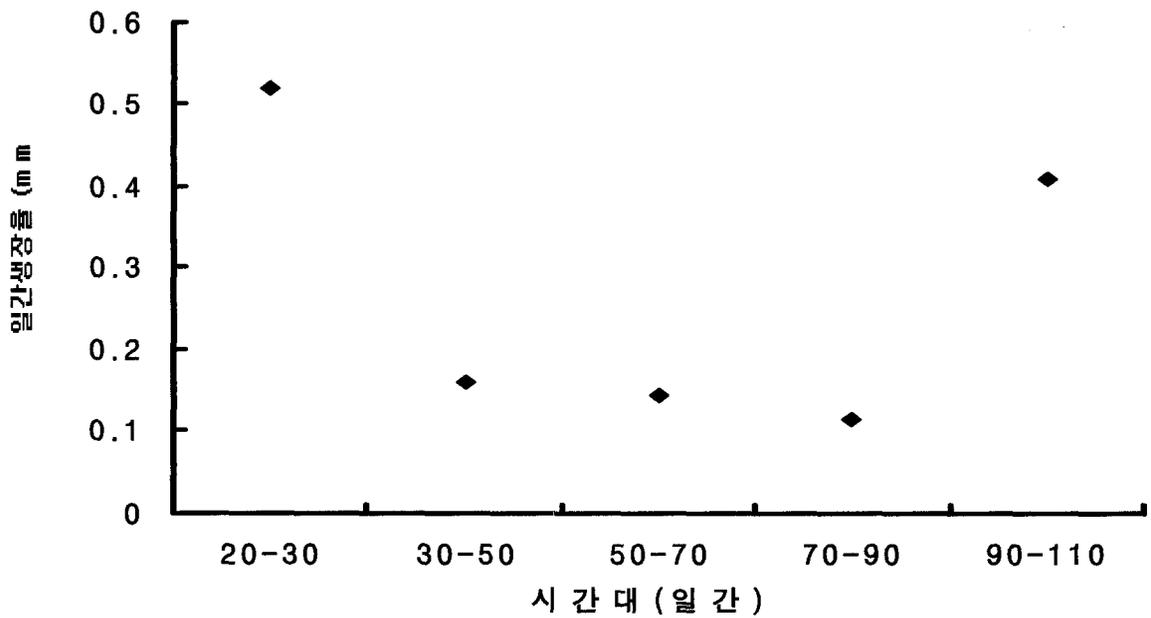


그림 30. 18합사 크레모나에서의 개다시마의 일간생장률.

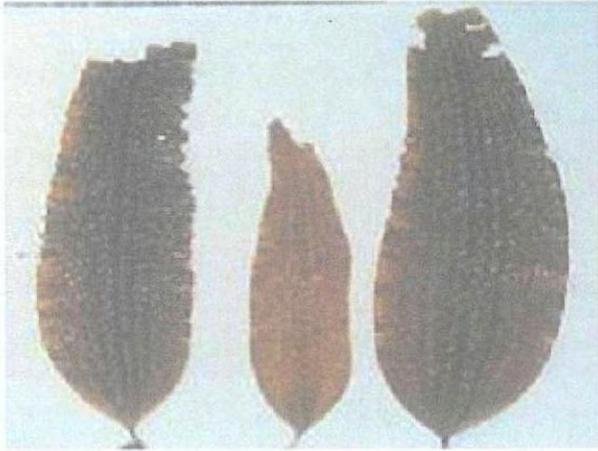


그림 31. 용무늬가 특징인 개다시마.

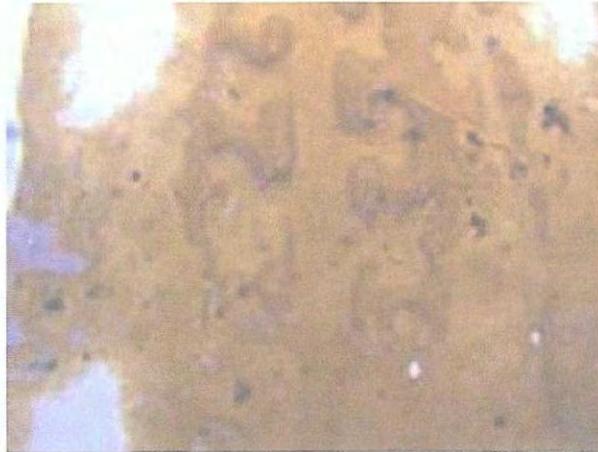


그림 32. 자낭반 형성 및 개다시마 모조.

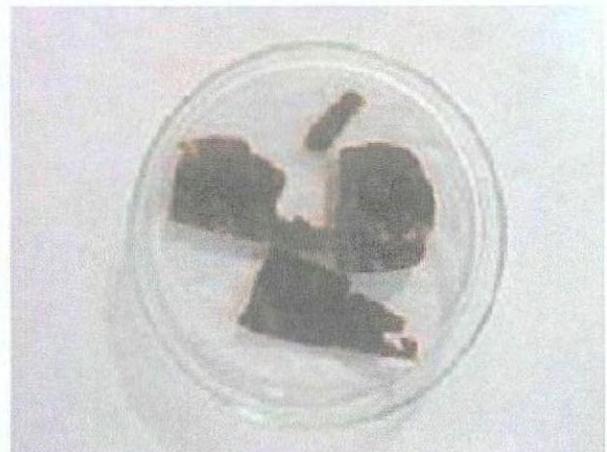


그림 33. 자낭반 채취 및 유주자 방출 유도.

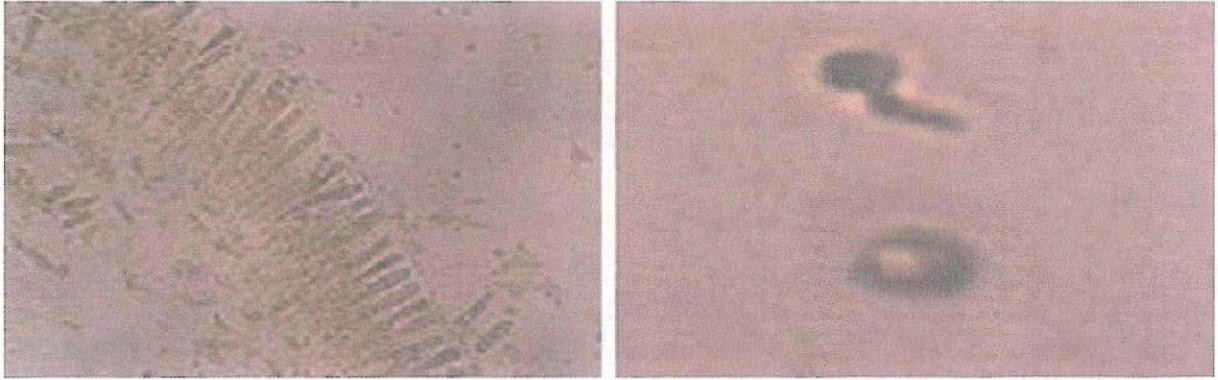


그림 34. 조직 절단에 의한 성숙 생식도 및 유주자 및 세포 분열.



그림 35. 유주자 배양.

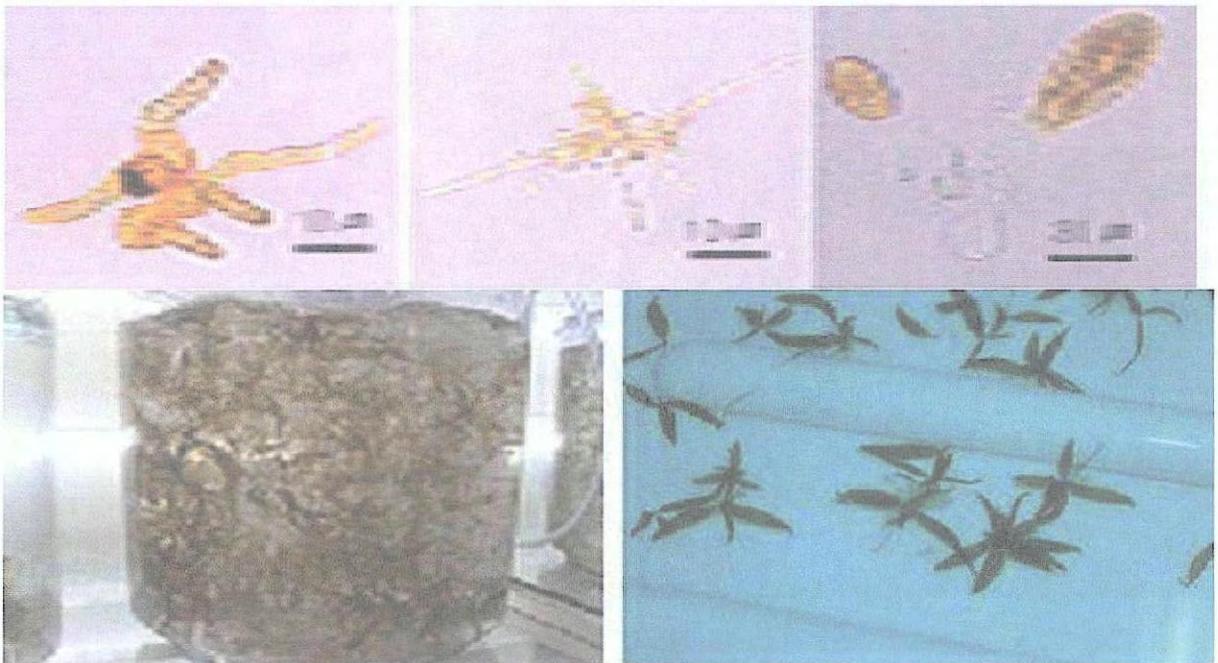


그림 36. 배양 및 종묘.

제5절 유전자 위치 및 분석 연구

다시마(*Laminaria*) 속은 우리나라 연안에서 분포지역을 넓혀가고 있는데 비해 개다시마(*Kjellmaniella*) 속은 강릉시 사근진에서 부터 고성군 대진리의 깊은 바다에 까지 분포하여 1990 년대에 연간 습중량으로 1,000여 톤의 자연 생산량을 보였으나 최근 과도한 자원이용, 자원관리 이해 부족과 태풍으로 인한 연안환경 변화로 인하여 해마다 자원량이 급속히 감소하고 있는 추세여서 복원 필요성이 절실하다.

최근의 분자생물학적 연구에서는 Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) 방법에 의한 동정(Stiller and Waaland, 1993), Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs) 방법에 의한 동정(Dutcher and Kapraun, 1994), Rubisco spacer 염기서열에 의한 분류(Brodie et al., 1998), isozyme에 의한 분류(Yamazaki et al., 1996) 등의 방법들이 쓰이고 있다. 그 중 특히 세포 핵 내에 존재하는 ribosomal RNA 지령의 유전자(rDNA)는 직렬로 반복되어 있는 repeated transcription unit로서 진핵생물에서는 28S rDNA, 18S rDNA, 5.8S rDNA의 3개의 전사영역을 포함하고 있다(Williams et al., 1988). 이들 영역들 중에서 특히 18S rDNA gene은 염기서열이 많이 보존되어 있어서 종의 구별 등 분류학적 연구에 많이 쓰여지고 있다.

따라서 현재 멸종 위기에 있는 동해안의 지역 토속종인 개다시마를 대상으로하여 18S rDNA 유전자의 염기서열분석을 수행하여 한국산 해조류의 유전자 database 자료를 집적화하며 이를 기준으로 하여 외국 종과의 유전자원을 비교 분석함으로써 유전자원으로서의 보존활용, 종묘 및 개체 수준에서의 종 보존 및 품종 확인 등의 기초자료로서 제공하는 것을 목적으로 한다.

1. 시료채집 및 전처리

실험에 사용된 개다시마는 강원도 고성군 봉포리 해역에서 2006년 1월에 Scuba diving에 의해 채집한 것을 사용하였다. 채집한 염체는 실험실에 옮긴 직후 부착생물의 오염을 제거하기 위하여 초음파세척기로 1분씩 2번 처리한 후 1% Betadine 용액에 1분간 담그었다가 멸균해수로 세척을 3회 반복하였다. 실온에서 4시간 건조시킨 다음 실험에 사용될 때까지 -20℃에서 냉동보관 하였다(Park et al., 1998).

2. DNA 추출

건조 보관된 개다시마 조직으로부터 Total DNA의 추출은 LiCl방법(Hong et al., 1995)을 이용하여 개다시마 조직으로부터 추출하였다. 시료는 0.1g을 잘게 자른 후, plastic tube에 넣고 4ml의 추출용액(lysis buffer; 0.8M LiCl, 10mM EDTA, 0.6% Sarcosyl, 0.2% PVPP, 5% b-mercaptoethanol, pH 9.0)으로 55℃에서 10분간 처리한 다음 4℃에서 1시간 동안 진탕하였

다. 반응 후, 5분간 원심분리(1,000rpm)를 하여 상등액을 새로운 plastic tube에 옮겨 0.1 volume의 3M sodium acetate (pH 5.4)와 2 volume의 ethanol를 넣어 침전이 잘 이루어지도록 -20°C에 1시간 보관 하였다. 그 후 5분간 3000rpm에서 원심분리를 하여 추출된 DNA를 회수 하고, 70% ethanol로 세척 후 건조 시켜서 300 μ l의 증류수에 녹였다.

3. DNA 정량

추출한 DNA는 spectrophotometer (260/280nm)로 정량하여, PCR의 주형으로 사용하기 위해서 최종농도를 3ng/ μ l로 맞추었다.

4. PCR 증폭

PCR증폭은 iCycler DNA thermal cycler (Bio-Rad Co.)를 사용하여 수행 하였다. 18S rDNA 영역을 증폭하기 위해서 specific한 primers set인 5'SSU와 NS2, NS3와 NS4, NS5와 NS6, NS7과 3'SSU의 조합으로 사용하였다(표 20). PCR 반응 용액은 총 25 μ l 당 1 μ l의 template DNA (3ng/ μ l), 1 μ l each primer (20pmol/ μ l), 1 μ l 2.5mM dNTPs, 2 μ l 25mM MgCl₂, 2.5 μ l 10X PCR buffer, 1 μ l 12.5% Tween 20, 0.3 μ l Taq DNA polymerase (5u/ μ l, Promega)를 첨가하였다. PCR 반응 조건은 초기반응을 94°C에서 5분 반응 한 후, 94°C 30초간 DNA denaturation, 56°C와 60°C에서 30초간 primer annealing, 72°C 1분 20초간 DNA extension으로 35회 반응시키고 나서, 마지막으로 72°C에서 10분간 PCR 생성물들을 충분히 extension하였다.

표 20. Primer list for amplification of 18S rDNA sequence used in this work

Primer	Sequence	Reference
5'SSU	5'-CAACCTGGTTGATCCTGCCAG-3'	Stiller and Waaland, 1993
NS2	5'-GGCTGCTGGCACCAGACTTGC-3'	White et al., 1990
NS3	5'-GCAAGTCTGGTGCCAGCAGCC-3'	White et al., 1990
NS4	5'-CTTCCGTCAATTCCTTTAAG-3'	White et al., 1990
NS5	5'-AACTTAAAGGAATTGACGGAAG-3'	White et al., 1990
NS6	5'-GCATCACAGACCTGTTATTGCCTC-3'	White et al., 1990
NS7	5'-GAGGCAATAACAGGTCTGTGATGC-3'	White et al., 1990
3'SSU	5'-TGATCCTTCTGGCAGGTTACCTAC-3'	Stiller and Waaland, 1993

5. Agarose gel electrophoresis 및 DNA 회수

10 μ l의 PCR product을 0.5ug/ml의 EtBr이 포함된 1.2% agarose gel 상에서 0.5 \times TAE buffer(20 mM Tris-acetate, 1 mM EDTA, pH 8.0)로 100V 전압으로 25분간 전기영동을 수행하였다(Sambrook et al., 1989). 전기영동을 한 후, 원하는 DNA band를 agarose gel에서 잘라내

어 MiniElute Gel extraction kit (Qiagen Co.)의 방법에 따라 DNA를 회수하였다.

6. DNA ligation 및 transformation

DNA ligation과 형질전환은 Invitrogen 사의 Topo TA cloning kit의 방법에 따라 수행하였다.

7. Plasmid 추출 및 제한효소처리

Plasmid 추출은 QIAprep spin Miniprep kit (Qiagen Co.)의 방법에 따라 추출하였으며, Plasmid를 추출한 다음, 원하는 PCR product가 삽입되었는지의 여부를 확인하기 위하여 Eco RI 제한효소로 절단하여 DNA 삽입을 확인하였다.

8. 동해안 개다시마의 18S rDNA 염기서열분석

DNA 염기서열은 DNA Auto Sequencer (ABI PRISM 377, Perkin Elmer Co.)로 분석하였으며, 염기 상동성은 NCBI의 BLAST search 프로그램을 이용하여 비교하였다. 전체 18S rDNA sequence는 기존의 NCBI에 등록된 Laminariaceae 종들(표 21)을 대상으로 Clustal W 1.83 program을 이용하여 alignment 시켰고, alignment view는 Genedoc program (Nicholas et al., 1997)을 사용하였다. Phylogentic tree는 Treecon program (Van de Peer and de Wachter, 1994)을 이용하여 그렸다.

표 21. The Laminariaceae species and GenBank accession numbers for genetic analysis

Species	GenBank accession number	Reference
<i>Laminaria japonica</i>	AB022817.1	Yotsukura et al. (1999)
<i>Laminaria angustata</i>	AB022818.1	Yotsukura et al. (1999)
<i>Costaria costata</i>	AB022819.1	Yotsukura et al. (1999)
<i>Saccharina japonica</i>	AF123575.1	Boo et al. (1999)
<i>Saccharina sculpera</i>	AF123577.1	Boo et al. (1999)
<i>Ecklonia cava</i>	AF123579.1	Boo et al. (1999)

9. 18S rDNA의 증폭

전체 18S rDNA 영역을 증폭하기 위하여 각종 Primer set를 조합하여 PCR 반응시킨 결과 primer 5'SSU-NS2를 사용한 경우 578bp 크기의 생성물이 증폭되었다. 그리고 primer NS3-NS4를 사용한 경우 603bp 크기의 생성물, NS5-NS6를 사용한 경우 289bp 크기의 생성물, NS7-3'SSU를 사용한 경우 363bp 크기의 생성물들이 각각 증폭되었다(그림 27). 이들 4가지

PCR 생성물들을 TA cloning vector인 pCR 2.1에 삽입하여 *E. coli* INVaF'에로 형질전환 시켰다. 이 때 PCR product가 정확히 삽입된 plasmid인지의 여부를 확인하기 위하여 형질전환 된 각 집락으로부터 vector plasmid를 추출한 후, 우선 제한효소 *Eco* RI으로 분해하여 비교하여 보았다. 이 형질전환 집락으로부터 약 3ml의 균체를 배양하여 제조된 plasmid를 plasmid isolation kit로서 분리하여 DNA 염기서열 조사를 행하였다.

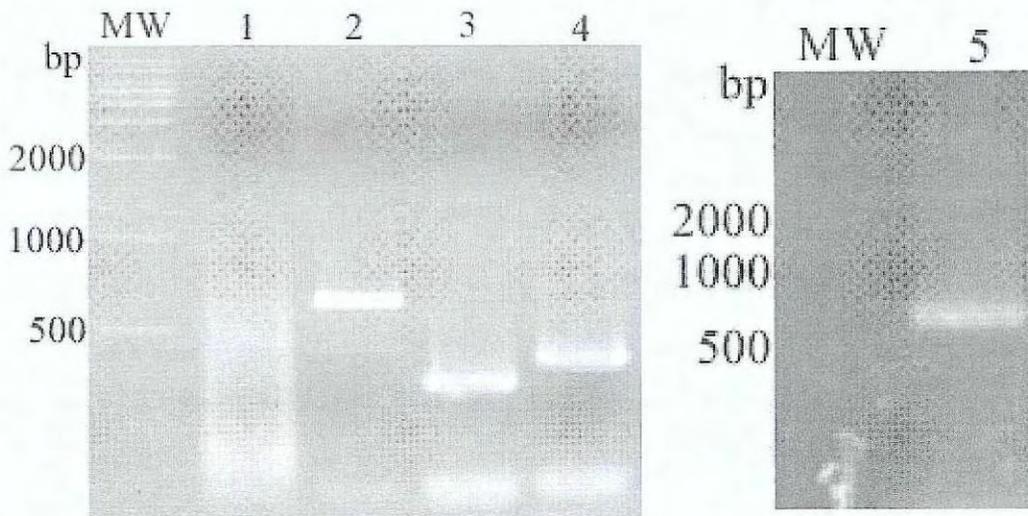


Fig. 37. Partial fragments of 18S rDNA amplified with primer sets: MW, DNA size marker; Lane 1, PCR product with a primer set 5'SSU-NS2; Lane 2, PCR product with a primer set NS3-NS4; Lane 3, PCR product with a primer set N5-NS6; Lane 4, PCR product with a primer set NS7-3'SSU; Lane 5, PCR product with a primer set 5'SSU-NS2. Annealing temperatures were 56°C from lane 1 to 4 and 60°C at lane 5.

10. DNA 염기서열의 비교

TA cloning vector에 삽입된 18S rDNA 부분의 구조를 알기위하여, DNA sequencer에 의한 그 염기서열을 조사하였다.

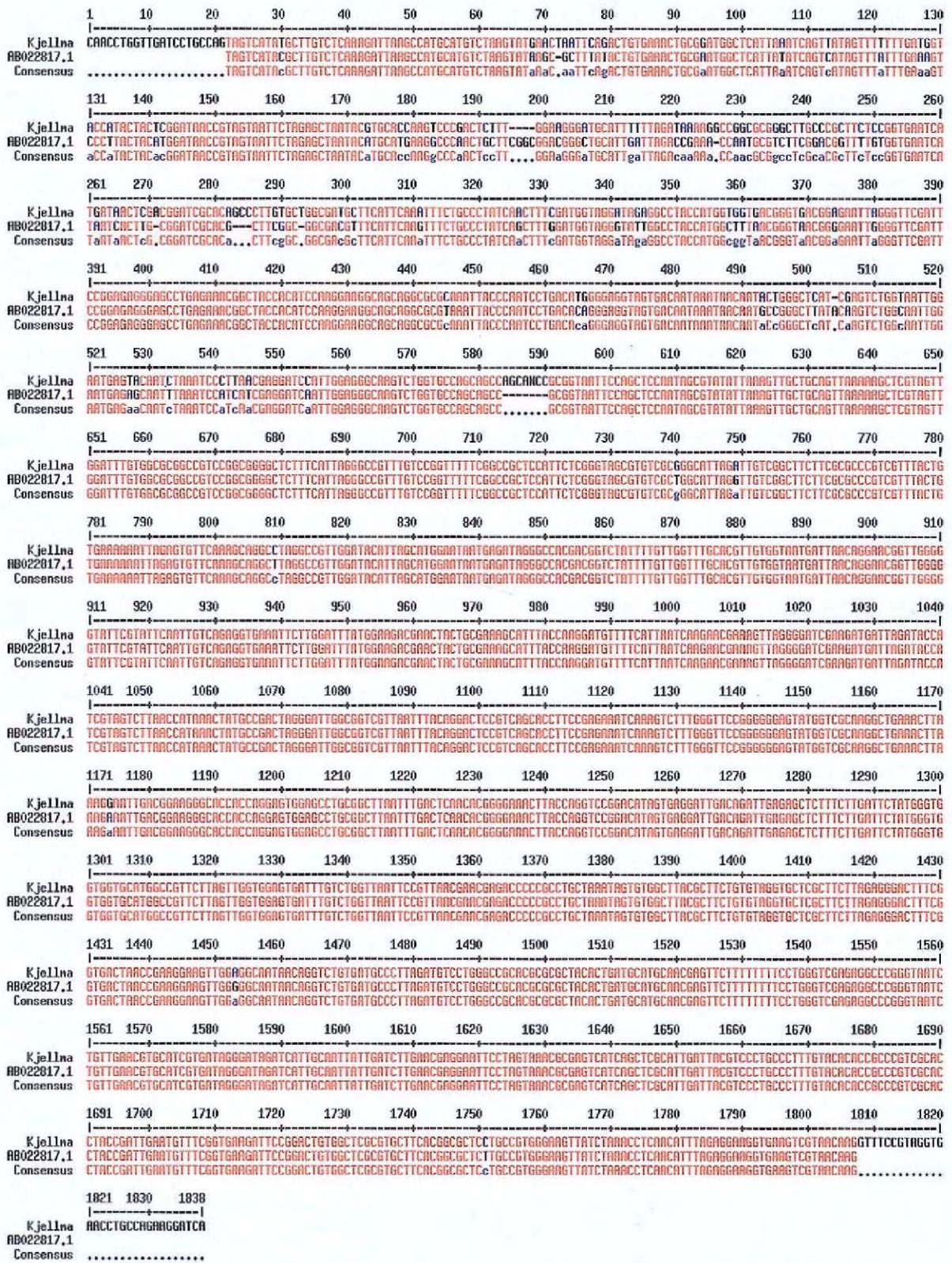


그림 38. Alignment of 18S rDNA sequence from *Kjellmaniella crassifolia*. The AB022817.1 indicates the *L. japonica* in GeneBank (NCBI accession number AB022817.1). Numbers refer to nucleotide positions. Dots represent identity with the sequences. Dashes denote alignment gaps.

그림 41과 같이 1838개의 염기로 구성되어 있는 것으로 나타났으며, 개다시마의 18S rDNA sequence 부분을 NCBI의 BLAST search 프로그램을 이용하여 알려진 다시마과의 18S rDNA 유전자들과 유사성 검색을 실시한 결과, GenBank accession number AB022817.1의 참다시마(*Laminaria japonica*)와 비교하여 97%의 상동성을 보였으며, 염기서열 1690bp 염기가 일치하였다. 그리고 Treecon program으로 작성한 phylogenetic tree (그림 39) 상에서도 개다시마는 다른 다시마과 비교하였을 때 97%의 유사성을 나타내었다. 따라서 개다시마는 18S rDNA의 염기서열로 다시마과에 속하는 것으로 나타났다.

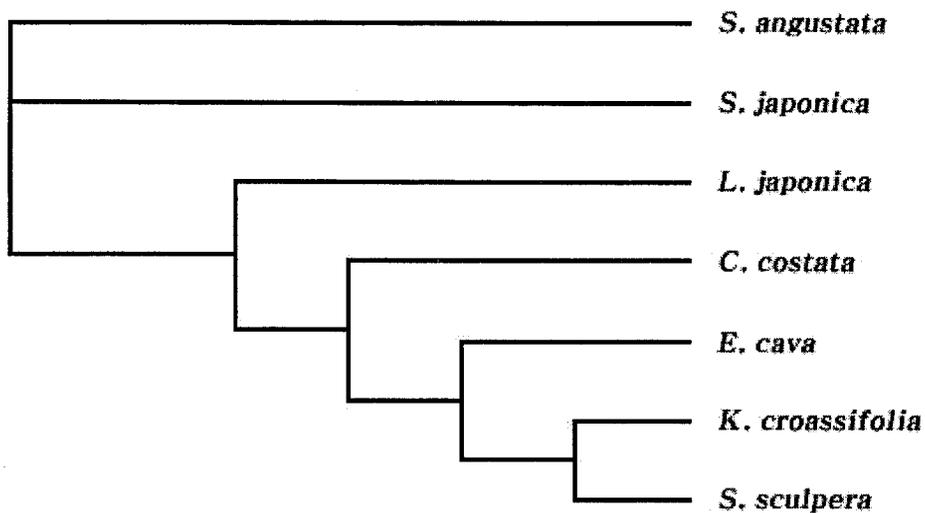


그림 39. Phylogenetic tree of the members of the Laminariaceae species based on the neighbor-joining method, determined by bootstrap analysis with 1000 replications.

제6절 암·수배우체 분리 및 보존 연구

1. 채집 및 전처리

개다시마의 성숙 포자체는 2006년 1월에 강원도 고성군 봉포리 해역(그림 40)에서 Scuba diving을 통해 채취하였고, 채집한 모조는 여과해수로 표면에 붙은 이물질을 제거한 후 실험실로 운반하였다. 포자엽 중 성숙한 부위를 절단한 후 멸균해수를 사용하여 brush로 2~3번 세척해 epiphyte 등 부착생물을 제거 하였다. 엽체는 약 15°C이 실내에서 3시간 음건시킨 후 멸균해수가 든 비이커에 엽체를 넣고 유리봉으로 가볍게 저어 유주자의 방출을 유도하였다. 유주자 방출 조건으로는 수온은 15°C, 광량은 $40\sim60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 하였다. 유주자는 자낭반에서 10분 후에 방출되기 시작하였으며, 100배 시야당 15개체가 방출되었다. 또한 유주자 방출 시 함께 엽체에서 나오는 알긴산 등을 제거하기 위해 100 μm 나이론망에 두 번 여과 시켰다.

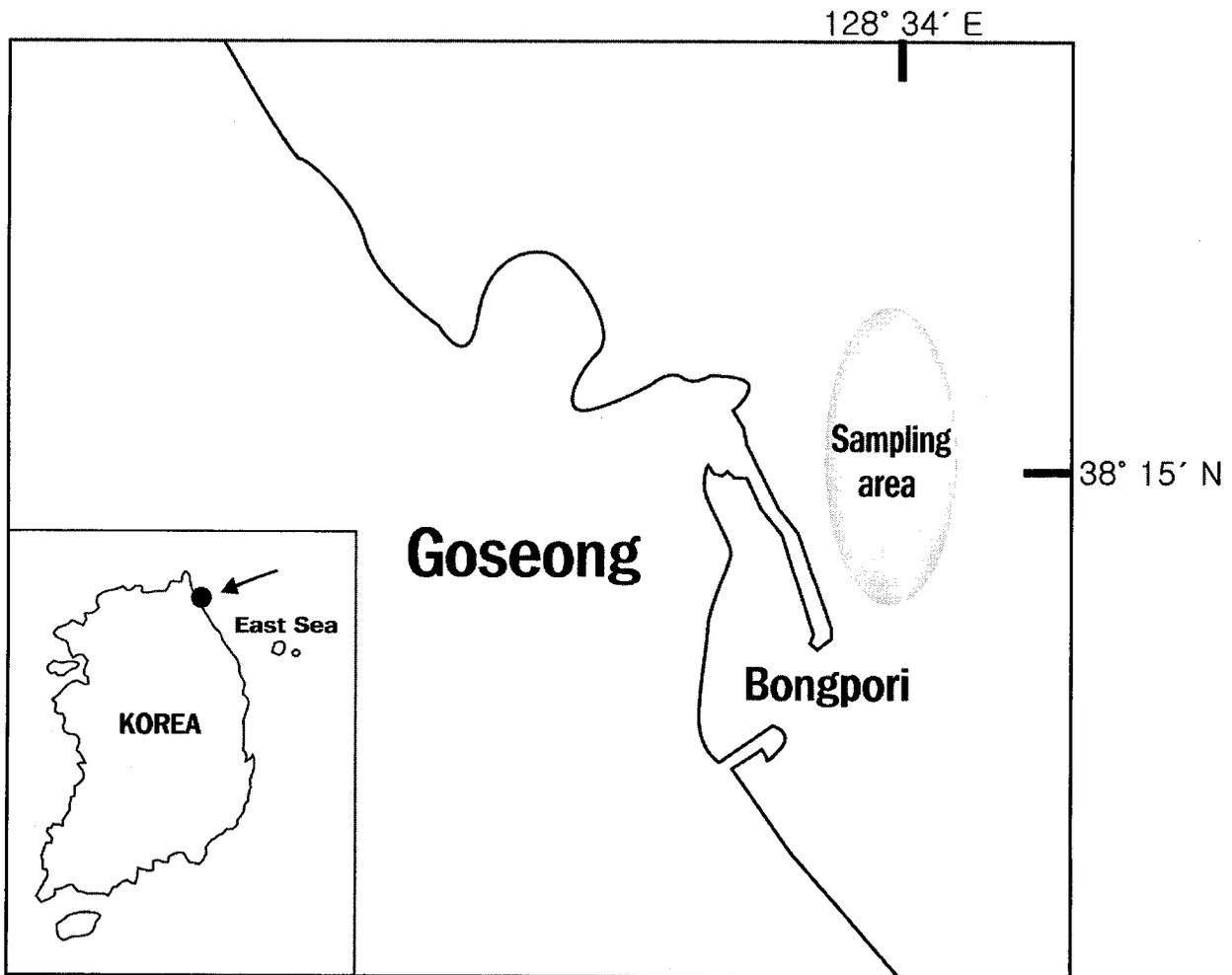


그림 40. 개다시마 모조 채집 해역.

2. 배지

유주자 방출, 배우체 성장 및 성숙, 아포체 성장 등 각종 발생단계별 배양에 사용하는 배지는 액체배지(표 22)와 고체배지(표 23)를 사용하였으며, 액체배지는 멸균해수에 PESI 원액(Provasoli, 1968)을 첨가하여 사용하였고, 고체배지는 해조류의 조직배양에 사용되는 1.0% 한천(Agar; Sigma, A 1296), 1.0% Transfer gel(Sigma, T 5660), 1.0% 고강도한천(Agar, High gel strength; Sigma, A 9799), 1.0% 정제한천(Purified agar; Sigma, A 7921)을 사용하였다(Jin et al., 1997). 또한 부착성 규조류의 번식에 의한 실험의 오류를 방지하기 위해 GeO_2 (PESI 배지 1ℓ 당 2ml 첨가)을 배양용액에 첨가하였다.

표 22. PESI(Provasoli, 1968)의 조성

B vitamin mixture		
vitamin B ₁₂	1.0mg	
Thiamine	50.0mg	
Biotin	0.5mg	D.W 100ml
Fe (as EDTA 1:1 molar sol)		
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄)*6H ₂ O	1.40g	
or Fe ₂ (NH ₄) ₂ (SO ₄)*24H ₂ O	2.12g	
Na ₂ EDTA	1.32g	D.W 2000ml
PII Trace metal mixture		
Boric acid	2.24g	
Fe(FeCl ₃)*6H ₂ O	0.096g	
Mn(MnSO ₄)	0.24g	
Zn (ZnSO ₄)*7H ₂ O	0.044g	
Co (CoSO ₄)*7H ₂ O	0.0096g	
Na ₂ -EDTA	2.00g	D.W 2000ml
Germanium dioxide stock		
GeO ₂	0.25g	D.W 1000ml
Stock solution		
Na ₂ glycerol phosphate	1.00g	
NaNO ₃	7.00g	
Tris HCl	8.14g	
Tris Base	1.86g	D.W 970ml (autoclave)
B vitamin mixture	20 ml (filter-sterize)	
Fe (as EDTA 1:1 molar sol)	500 ml (autoclave)	
PII Trace metal mixture	500 ml (autoclave)	
KI (0.25 mg/ml)	10 ml (autoclave)	Total 2000ml
※ GeO ₂ stock(autoclave) 2ml/ L PES © 20ml (PESI stock solution) / 1 L (sterile seawater)		

3. 유주자의 발아 및 배우체와 아포체의 성장 연구

가. 유주자의 발아 연구

유주자의 발아 연구를 위하여 항온배양기를 수온 5단계(5, 10, 15, 20 및 25℃)와 광량 4단계(20, 40, 60 및 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)로 조정하여 액체배지 20개 시험구와 고체배지 80개(20개×고체배지 4종) 시험구의 총 100개 시험구를 만들어 배양하였다. 우선, 준비한 유주자액을 액체배지는 커버 글라스(18×24 mm) 2개를 넣고 커버 글라스 1개당 유주자 1000cell을 접종하여 15분간 정치시켜 유주자를 부착시켰다. 유주자가 부착하면 87×15 mm 크기의 Petri dish에 액체배지를 넣고 배양하였다. 고체배지에는 35×12mm 크기의 Petri dish에 배우체 분리가 편리하도록 하기 위하여 밀도를 작게 하여 200cell을 도말하여 각 실험조건으로 옮겨 48시간 배양하였다. 광주기는 12L:12D로 유지하였다.

액체배지의 유주자 발아율(%)은 Petri dish의 전체 cell 중 배양 6일까지 초기 배우체 단계로 넘어간 cell을 측정하여 각각의 온도·광량별 조건에서 측정하였고, 고체배지는 액체배지와 마찬가지로 Petri dish의 전체 cell 중 배양 28일까지 초기 배우체 단계로 넘어간 cell을 측정하여 백분율로 조사하였다.

1) 액체배지

유주자의 발아율은 수온 20℃, 광량 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 93.5%로 가장 좋은 발아율을 보였고, 수온 25℃, 광량 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 7.5%로 가장 낮은 발아율을 보였다. 온도별로는 수온 5℃에서 평균 32.4%의 발아율을 보였으며 수온 10℃에서는 평균 79.1%의 발아율을 보였고, 수온 15℃에서는 86.9%의 발아율을 보였다. 수온 20℃에서는 평균 88.4%의 발아율을 보여 온도 구간 중 가장 높은 발아율을 보였고, 수온 25℃에서는 평균 12.5%로 가장 낮은 발아율을 보였으며, 배우체로 진행되지 못하고 모든 개체가 사멸하였다. 광량은 전체 온도 구간뿐만 아니라 동일 온도 구간 내에서도 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 액체배지에서 온도와 광량을 조합하여 유주자 발아를 실험한 결과 평균 80% 이상의 발아율을 보인 것은 수온 15℃와 20℃에서는 모든 광량 구간(20~80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), 수온 10℃에서는 20~60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 구간이며, 수온 5℃와 25℃에서는 발아율이 저조하였다(그림 41).

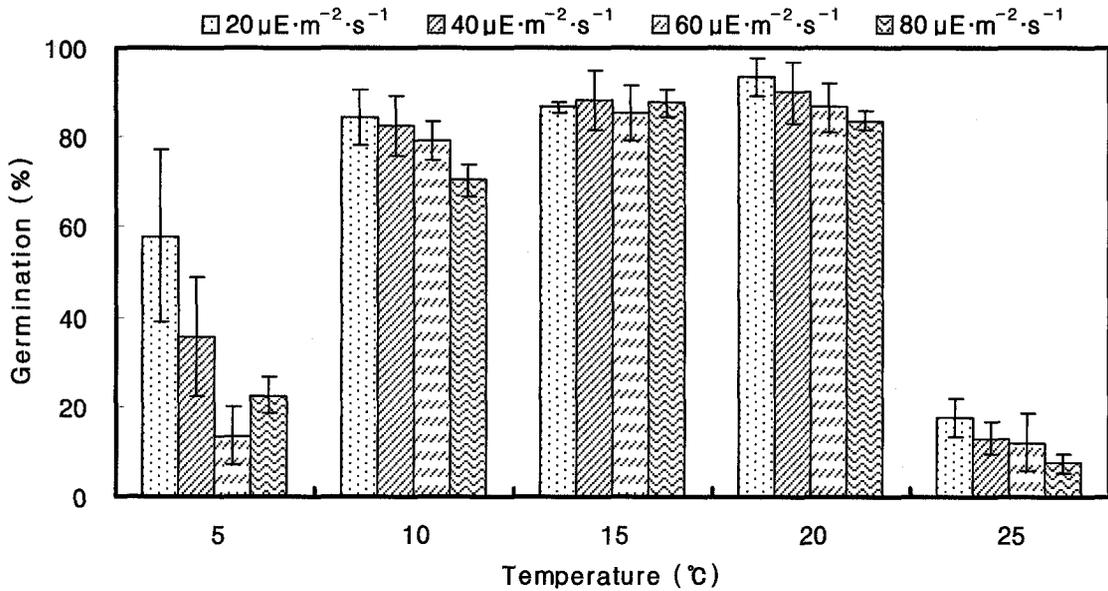


그림 41. PESI 배지에서 온도 및 광량별 유주자의 발아율.

2) 고체배지

가) Transfer gel

유주자의 발아율은 수온 15°C, 광량 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 발아율 85.0%로 가장 높은 발아율을 보였다. 온도별로는 5°C에서 평균 64.9%의 발아율을 보였으며, 10°C에서는 평균 78.9%의 발아율을 보였다. 15°C에서는 79.8%로 온도 구간 중 가장 높은 발아율을 보였으며, 20°C에서는 평균 72.9%의 발아율을 보였다. 25°C에서는 평균 8.1%로 가장 낮은 발아율을 보였으며, 배우체로 진행되지 못하고 모든 개체가 사멸하였다. 광량별로는 고체배지도 액체배지와 마찬가지로 전체 온도뿐만 아니라 동일 온도 시험구에서도 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. Transfer gel 배지에서 온도와 광량을 조합하여 유주자 발아를 시험한 결과, 수온 5~20°C에서는 광량 조건에 관계없이 60% 이상, 수온 10~20°C에서는 70% 이상의 유주자 발아율을 보였다. 그러나 수온 25°C의 경우 광량 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 을 제외한 광량 40, 60, 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 시험구에서 포자는 발아하지 못하고 배양 4일 만에 사멸하는 것으로 나타났다(그림 42).

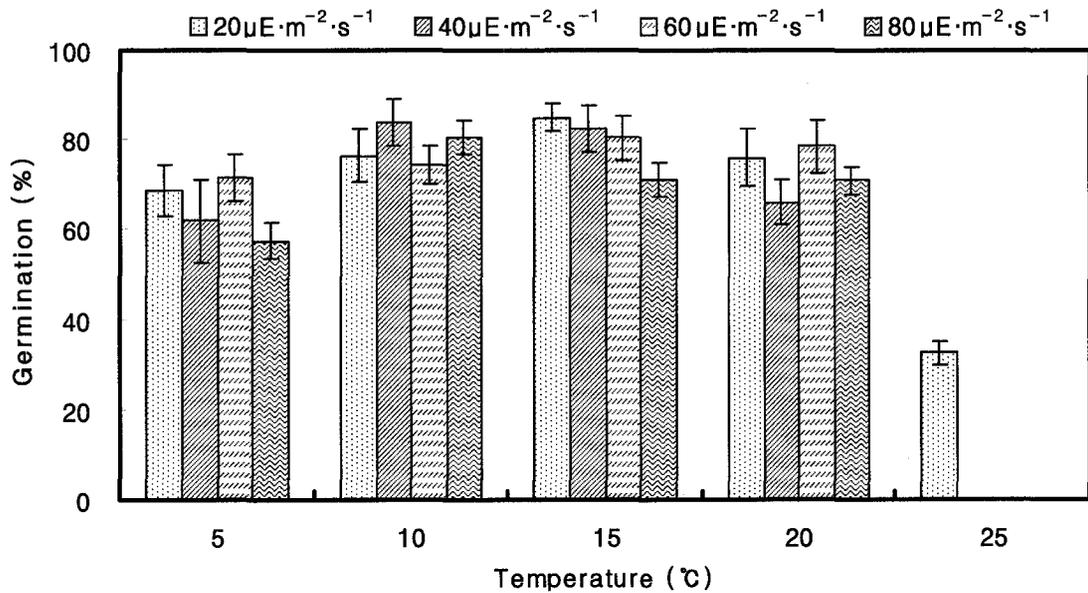


그림 42. Transfer gel 배지에서 온도 및 광량별 유주자의 발아율.

나) Purified agar

유주자의 발아율은 수온 10°C, 광량 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 44.5%로 가장 높은 발아율을 보였고, 수온 20°C, 광량 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 8.0%로 가장 낮았으며 수온 25°C에서는 발아 개체가 없었다. 온도별로는 수온 5°C에서 평균 19.9%의 발아율을 보였으며, 10°C에서는 평균 35.0%의 발아율을 보여 온도 구간 중 가장 높게 나타났다. 15°C에서는 평균 25.0%의 발아율을 보였으며, 20°C에서는 평균 15.5%의 발아율을 보였다. 광량별로는 전체 온도뿐만 아니라 동일 온도 구간에서도 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. Purified agar 배지에서 온도와 광량을 조합하여 유주자 발아 시험을 한 결과, 수온 5~20°C 구간에서는 광량 조건에 관계없이 유주자 발아가 일어났으나 발아율이 40% 이하로 낮았다. 또한 수온 5°C, 광량 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서는 수온 25°C의 모든 광량 시험구와 마찬가지로 발아하지 않고, 계속 포자상태를 나타냈다. Purified agar의 경우 모든 시험구마다 측정된 결과 PESI 배지와 Transfer gel과 다르게 유주자의 발아율이 현저하게 낮으며, 계속 배양하였으나 포자 상태를 유지하였다(그림 43).

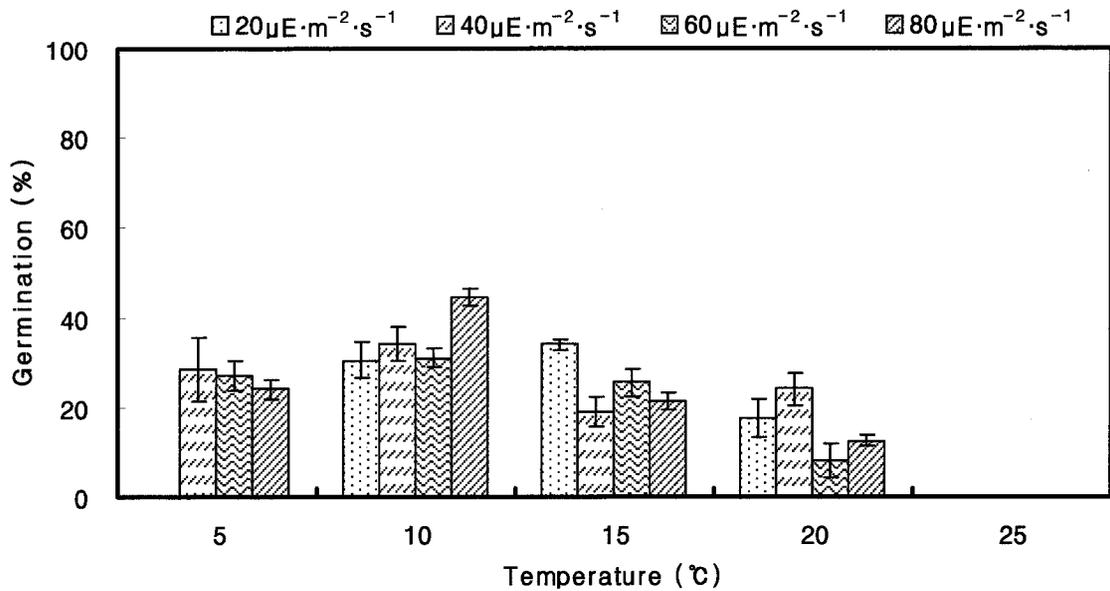


그림 43. Purified agar 배지에서 온도 및 광량별 유주자의 발아율.

다) Agar

유주자의 발아율은 수온 10°C, 광량 40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 28.0%로 가장 높은 발아율을 보였으며, 수온 5°C, 광량 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 12.5%로 가장 낮은 발아율을 보였다. 그러나 수온 20°C와 25°C의 경우 전혀 발아하지 않고 그대로 포자상태를 나타내었다. 온도별로는 수온 5°C에서 평균 16.9%의 발아율을 보였으며, 10°C에서는 평균 25.4%의 발아율을 보여 온도 구간 중 가장 높게 나타났다. 15°C에서는 22.1%의 발아율을 보였다. 광량별로는 전체 온도 구간뿐만 아니라 동일 온도 구간 내에서도 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. Agar 배지에서 온도와 광량을 조합하여 유주자 발아 시험을 한 결과, 수온 5~15°C 구간에서는 광량조건에 관계없이 유주자 발아가 일어났으나 발아율이 30% 이하로 현저하게 낮았다. Agar의 경우도 Purified agar와 마찬가지로 포자가 발아를 하지 않아 계속 포자 상태를 유지하였다(그림 44).

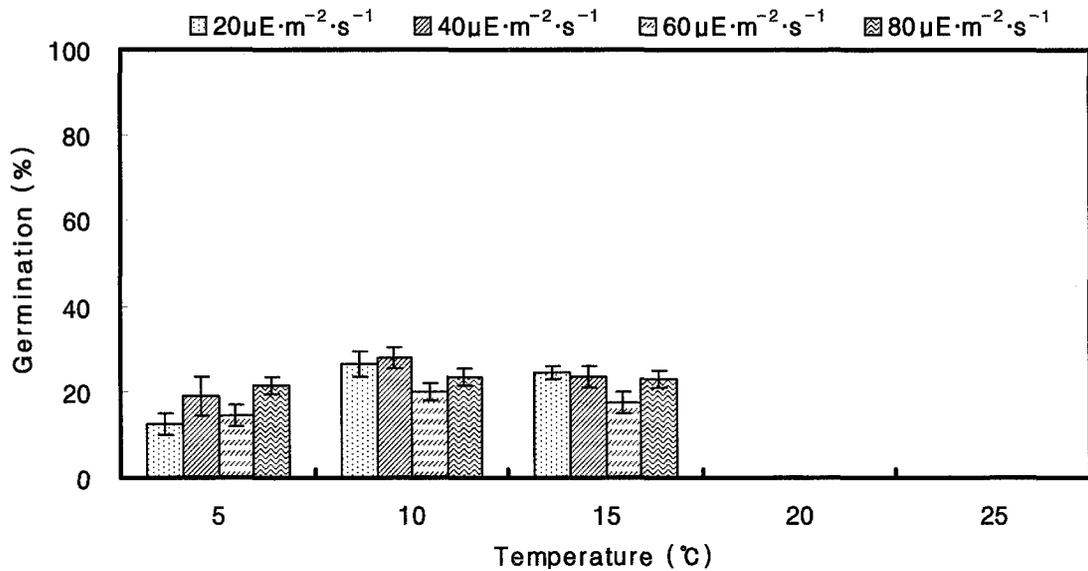


그림 44. Agar 배지에서 온도 및 광량별 유주자의 발아율.

라) High gel strength agar

유주자의 발아율은 수온 10°C, 광량 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 34.0%로 가장 높은 발아율을 보였으며, 수온 5°C, 광량 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 10.5%로 가장 낮았다. 그러나 수온 25°C의 경우 전혀 발아하지 않고 그대로 포자상태를 나타내었다. 온도별로는 수온 5°C에서 평균 10.5%의 발아율을 보였으며, 10°C에서는 평균 24.3%의 발아율을 보여 온도 구간 중 가장 높게 나타났다. 15°C에서는 22.1%의 발아율을 보였으며, 20°C에서는 평균 17.0%의 발아율을 보였다. 광량별로 전체 온도뿐만 아니라 동일 온도 구간에서도 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. High gel strength agar 배지에서 온도와 광량을 조합하여 유주자 발아 시험을 한 결과, 수온 5~20°C 구간에서는 광량 조건에 관계없이 발아가 일어났으나 발아율이 30% 이하로 현저하게 낮았다. High gel strength agar의 경우도 Purified agar와 Agar와 마찬가지로 포자가 발아를 하지 않아 계속 포자 상태를 유지하였다(그림 45).

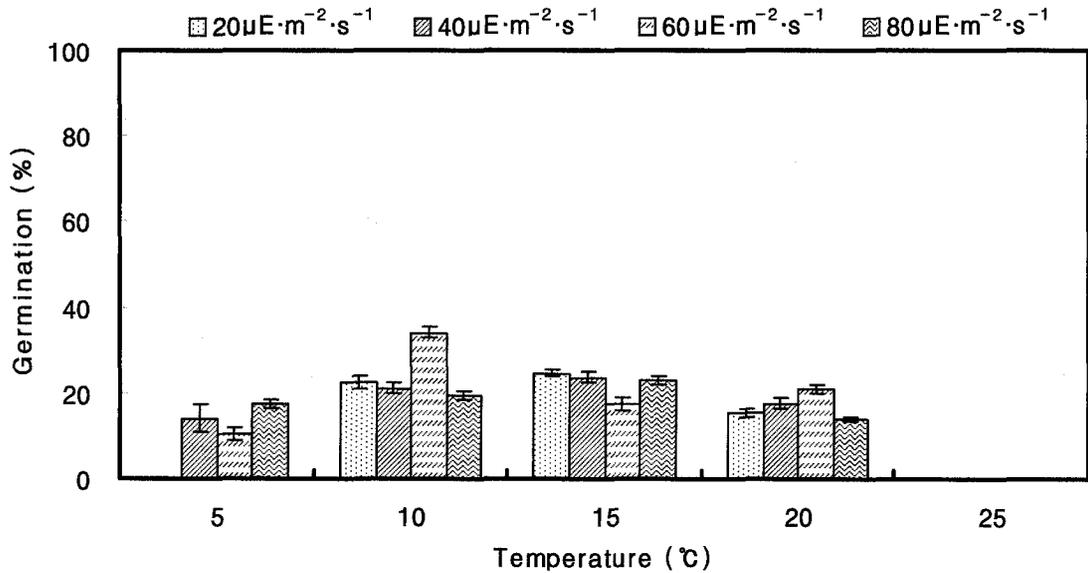


그림 45. High gel strength agar 배지에서 온도 및 광량별 유주자의 발아율.

나. 배우체의 성장과 성숙 연구

배우체의 성장과 성숙을 알아보기 위하여 액체배지와 고체배지는 수온 5단계(5, 10, 15, 20 및 25°C)와 광량 4단계(20, 40, 60 및 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)로 조정하여 액체배지 20개 시험구와 고체배지 80개 시험구의 총 100개 시험구를 만들어 배양하였다. 우선, 준비한 유주자액을 액체배지는 커버 글라스(18×24 mm) 2개를 넣고 커버 글라스 1개당 유주자 1000cell을 접종하여 15분간 정치시켜 유주자를 부착시킨다. 유주자가 부착하면 87×15 mm 크기의 Petri dish에 액체배지를 넣고 배양하였다. 고체배지에는 35×12 mm 크기의 Petri dish에 배우체 분리가 편리하도록 하기 위하여 밀도를 작게 하여 200cell을 도말하여 각 실험조건으로 옮겨 48시간 배양하였고, 광주기는 12L:12D로 유지하였다.

액체배지의 배우체의 성장과 성숙은 초기 배우체에서 아포체 전까지의 성장을 측정하였고, 고체배지는 배양 35일까지의 성장을 측정하여 비교하였다. 배우체의 생장은 배우체의 최대 크기를 측정하여 비교하였다.

1) 액체배지

배양 6일부터 배우체가 나타나기 시작하여 배양 18일까지 측정한 결과 배우체는 수온 20°C, 광량 40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 구간에서 76.7 μm 까지 성장하여 가장 좋은 성장을 보였다. 온도별로 수온 5°C에서는 측정을 시작한 배양 6일 10.7 μm 에서 배양 18일에는 40.3 μm 까지 성장하였으나 배우체 성숙이나 아포체로 진행되지 못하였다. 수온 10°C의 경우 배양 6일 11.5 μm 에서 배양 16일에 41.5 μm 까지 성장하였다. 배양 16일 이후부터는 배우체가 성숙되어 아포체로 진행되었는데 배양 18일째 아포체의 크기는 38.2 μm 였다. 수온 15°C의 경우 배양 6일 18.7 μm 에서 배양 16일에 60.6 μm 까지

생장하였다. 배양 16일 이후부터는 배우체가 성숙되어 아포체로 진행되었는데 배양 18일째 아포체의 크기는 $53.7 \mu\text{m}$ 였다. 수온 20°C 의 경우 배양 6일 $22.8 \mu\text{m}$ 에서 배양 16일에 $61.1 \mu\text{m}$ 까지 성장하여 온도 구간 중 가장 높은 성장을 보였다. 배양 16일 이후부터는 배우체가 성숙되어 아포체로 진행되었는데 배양 18일째 아포체의 크기는 $58.4 \mu\text{m}$ 였다. 수온 25°C 의 경우 포자가 발아하여 배우체가 되지 못하고 그대로 사멸하였다. 광량의 경우 수온 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 에서는 큰 차이가 없었으나 수온 20°C 에서는 저광량인 $20\sim 40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 구간에서 빠른 성장과 성숙을 나타내었으며, 수온 15°C 에서는 고광량인 $60\sim 80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 구간에서 빠른 성장과 성숙을 나타내었다. 배양 16일에 5°C 를 제외한 모든 구간에서 배우체가 성숙되어 배양 18일에는 아포체가 되었다(그림 46).

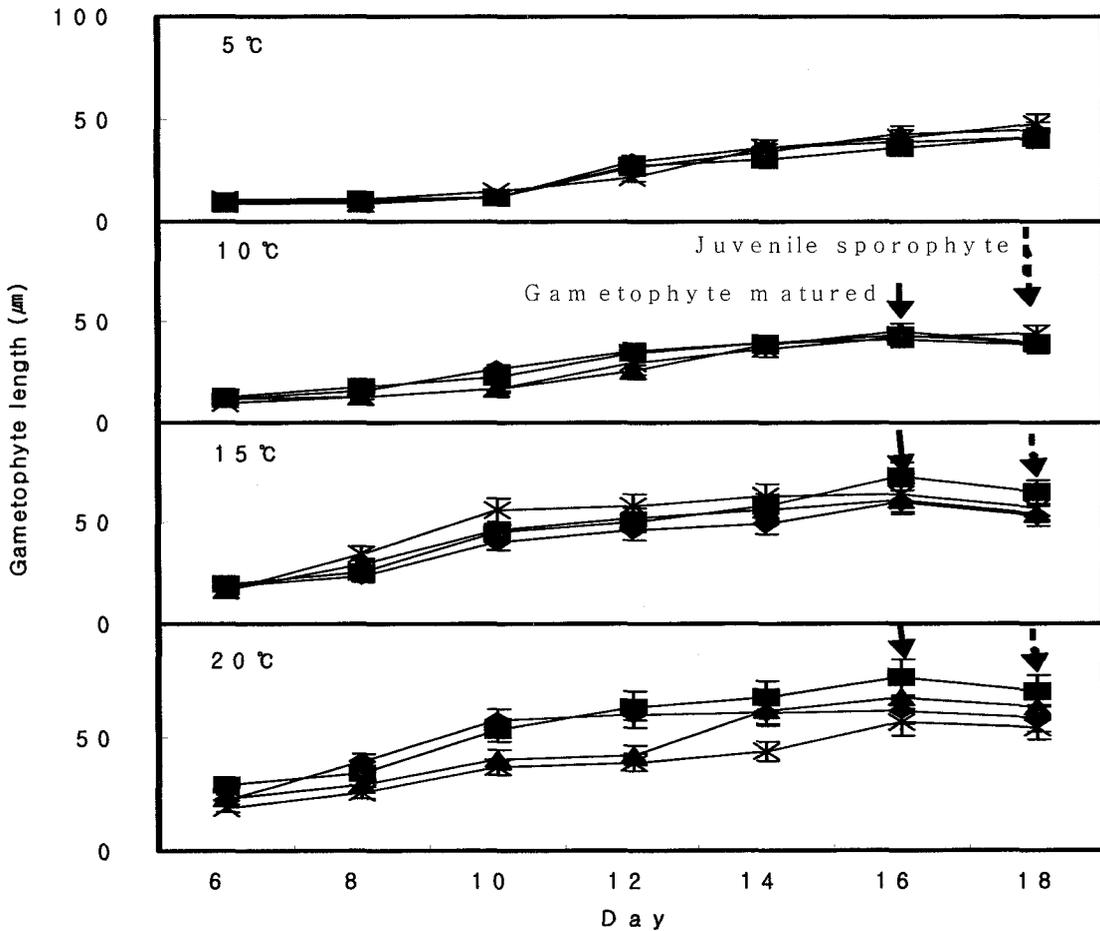


그림 46. PESI 배지에서 온도와 광량별 배우체 성장(◆: $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ■: $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▲: $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ×: $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

2) 고체배지

가) Transfer gel

배우체는 수온 15°C 광량 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 $252 \mu\text{m}$ 까지 성장하여 가장 높은 성장을 보였으며, 수온 25°C 에서는 모든 광량 구간에서 배양 7일 후 더 이상 성장을 하지 못하고 모두 사

떨하였지만 수온 10~20℃에서는 배우체 생장이 상당히 좋게 나타났다. 수온 5℃에서는 광량에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 수온 10℃에서는 배양 35일까지 고광량인 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 높은 성장을 보였고, 수온 15℃와 20℃에서는 광량 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 성장을 보였다. Transfer gel 배지에서의 배우체는 성장만 이루어질 뿐 성숙이나 아포체로의 진행은 없었다(그림 47).

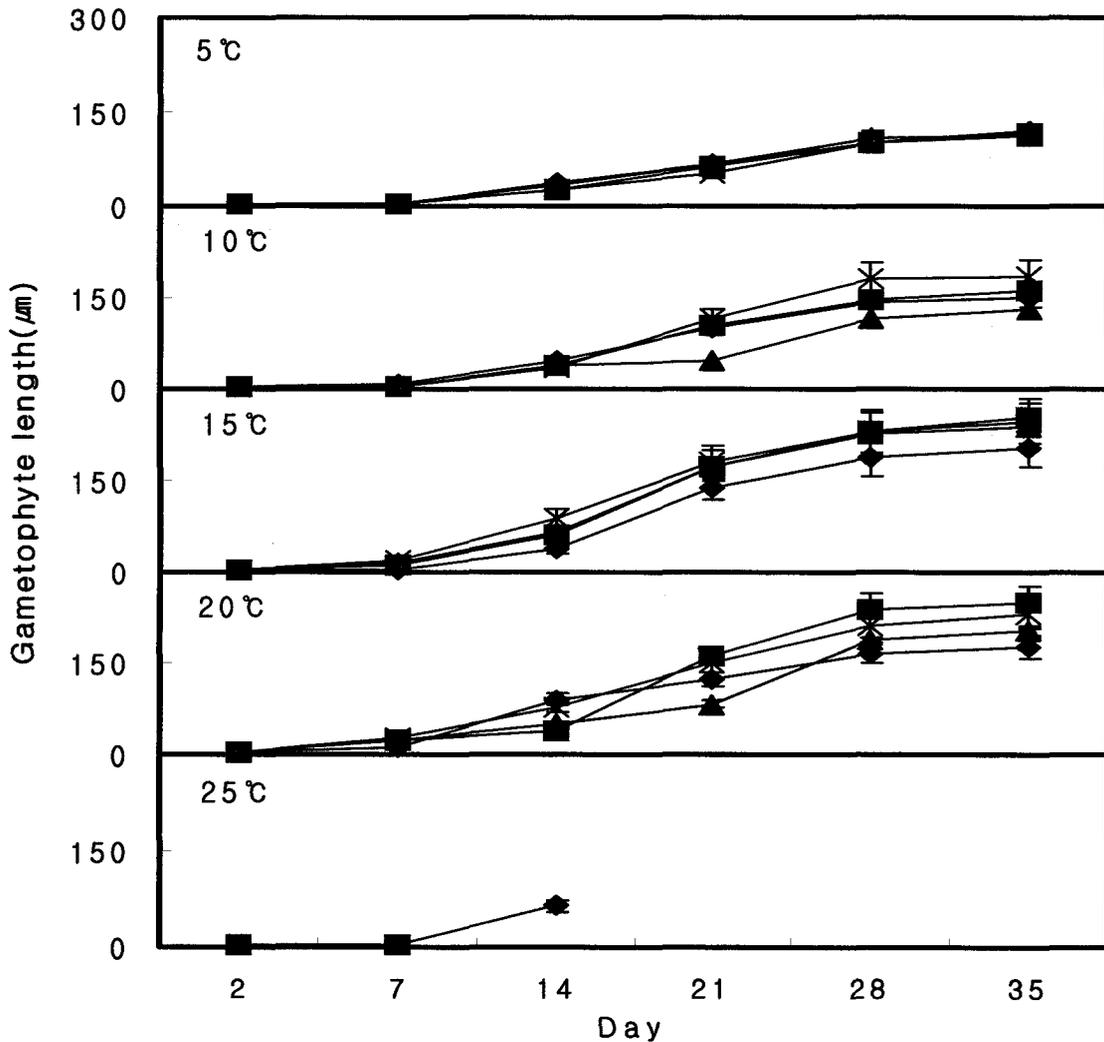


그림 47. Transfer gel에서 온도 광량별 배우체 성장(◆: $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ■: $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▲: $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ×: $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

나) Purified agar

Transfer gel보다 생장이 늦었지만 수온 20℃, 광량 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 $108 \mu\text{m}$ 까지 성장하여 가장 좋은 성장을 보였다. 온도별로 수온 5℃에서는 배양 28일까지 성장을 하지 않다가 배양 35일에 고광량인 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서만 성장을 하였다. 수온 10℃에서도 수온 5℃에서와 마찬가지로 배양 28일까지 성장을 하지 않다가 배양 35일에 고광량인 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서만

생장을 하였다. 수온 15℃에서는 배양 14일까지 생장을 하지 않다가 배양 21일부터 성장하기 시작하였고, 고휘량인 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 나타냈다. 수온 20℃에서도 고휘량인 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였으며 저광량인 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 낮은 생장을 보였다. 수온 25℃에서는 배양 35일까지 전혀 성장하지 않는 것으로 나타났다. Purified agar에서는 수온은 20℃에서 광량은 저광량보다 고휘량에서 더 생장이 높은 것으로 나타났다. 또한 유주자가 발아하여 배우체로 성장하였으나 모든 구간에서 유주자 발아를 하지 않은 대부분의 개체가 배양 한 달까지 유주자 상태로 있는 것을 확인 할 수 있었다(그림 48).

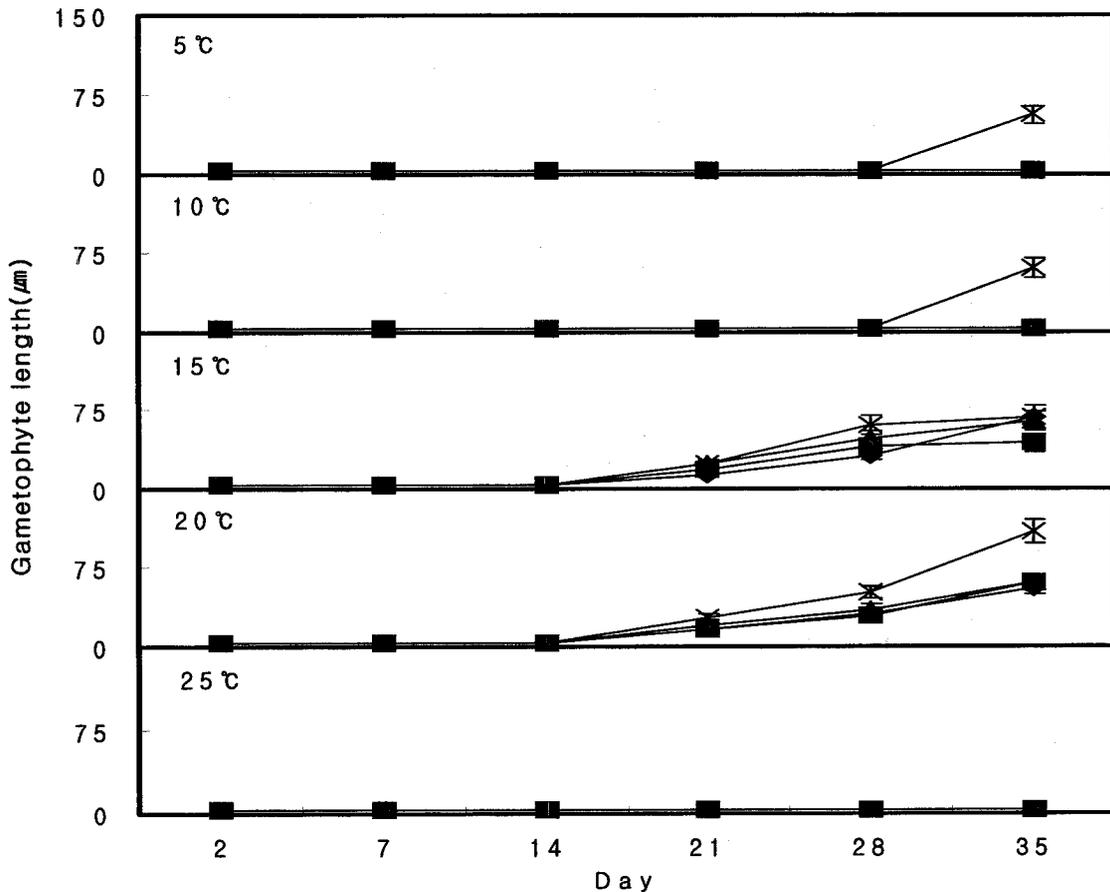


그림 48. Purified agar에서 온도 광량별 배우체 성장(◆: $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ■: $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▲: $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ×: $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

다) Agar

배우체의 생장은 수온 10℃, $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 92 μm까지 성장하여 가장 높은 생장을 보였다. 온도별로 5℃에서는 배양 21일까지 성장하지 않다가 배양 21일 이후부터 성장하기 시작하여 광량 20 및 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 높은 생장을 보였다. 수온 10℃에서는 저광량인 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였고, 온도 구간 중 가장 좋은 생장을 보였다. 수온 15℃의 경우 광량 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였으며, 광량 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 배양

35일까지 생장을 하지 않은 것으로 나타났다. 수온 20℃에서는 모든 광량 구간에서 생장을 하지 않았으며, 수온 25℃에서도 배양 21일까지 생장하지 않고 사멸하였다. 또한 Purified gel과 마찬가지로 유주자가 발아하여 배우체로 성장하였으나 모든 구간에서 유주자 발아를 하지 않은 대부분의 개체가 배양 한 달까지 유주자 상태로 있는 것을 확인 할 수 있었다(그림 49).

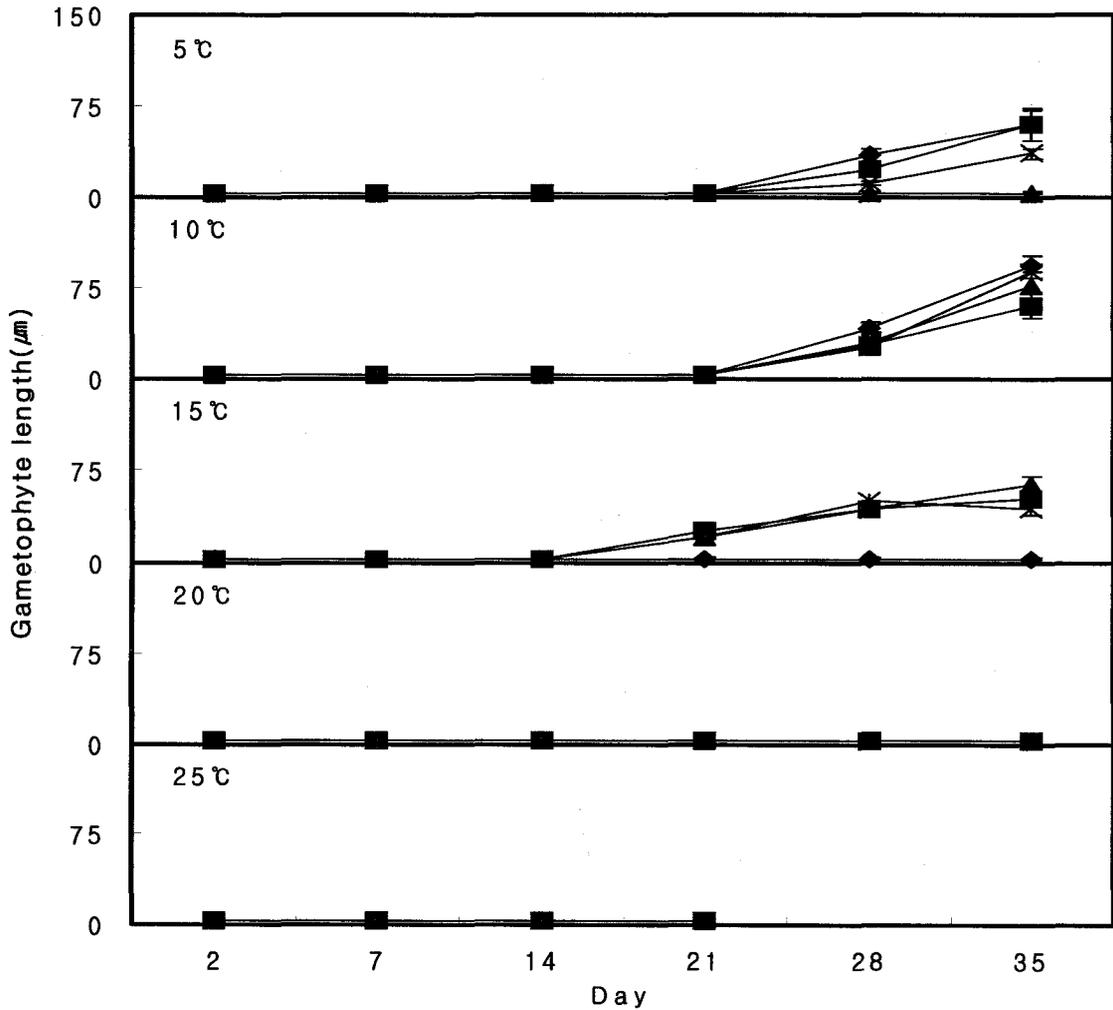


그림 49. Agar에서 온도 광량별 배우체 성장(◆: $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ■: $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▲: $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ×: $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

라) High gel strength agar

배우체의 생장은 수온 15℃, 광량 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 빨리 발아하고, 134 μm까지 성장하여 가장 좋은 성장을 보였다. 온도별로 수온 5℃에서는 배양 21일까지 생장을 하지 않다가 배양 21일 이후부터 성장하기 시작하여 고풍량인 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 성장을 하였고, 저광량인 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 배양 35일까지 생장을 하지 않았다. 수온 10℃에서는 광량 20, 40, $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 배양 21일까지 생장을 하지 않다가 배양 21일 이후부터 성장을 시작하였고, 광량 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 배양 28일까지 생장을 하지 않다가 배양 28일 이후부터

생장을 시작하여 저광량인 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였으며, 고광량인 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 낮은 생장을 보였다. 수온 15°C 에서는 배양 7일까지 생장을 하지 않다가 배양 7일 이후부터 성장하기 시작하여 광량 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였다. 수온 20°C 에서는 광량 20, 40, $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 배양 21일까지 생장을 하지 않다가 배양 21일 이후부터 생장을 시작하였고, 광량 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 배양 14일까지 생장을 하지 않다가 배양 14일 이후부터 성장하기 시작하여 배양 35일까지 가장 높은 생장을 나타냈다. 수온 25°C 에서는 배양 35일까지 생장을 하지 않고 계속 유주자 상태를 보였다. High gel strength agar에서도 Purified agar 및 Agar와 마찬가지로 유주자가 발아하여 배우체로 성장하였으나 모든 구간에서 유주자 발아를 하지 않은 대부분의 개체가 배양 한 달까지 유주자 상태로 있는 것을 확인 할 수 있었다(그림 50).

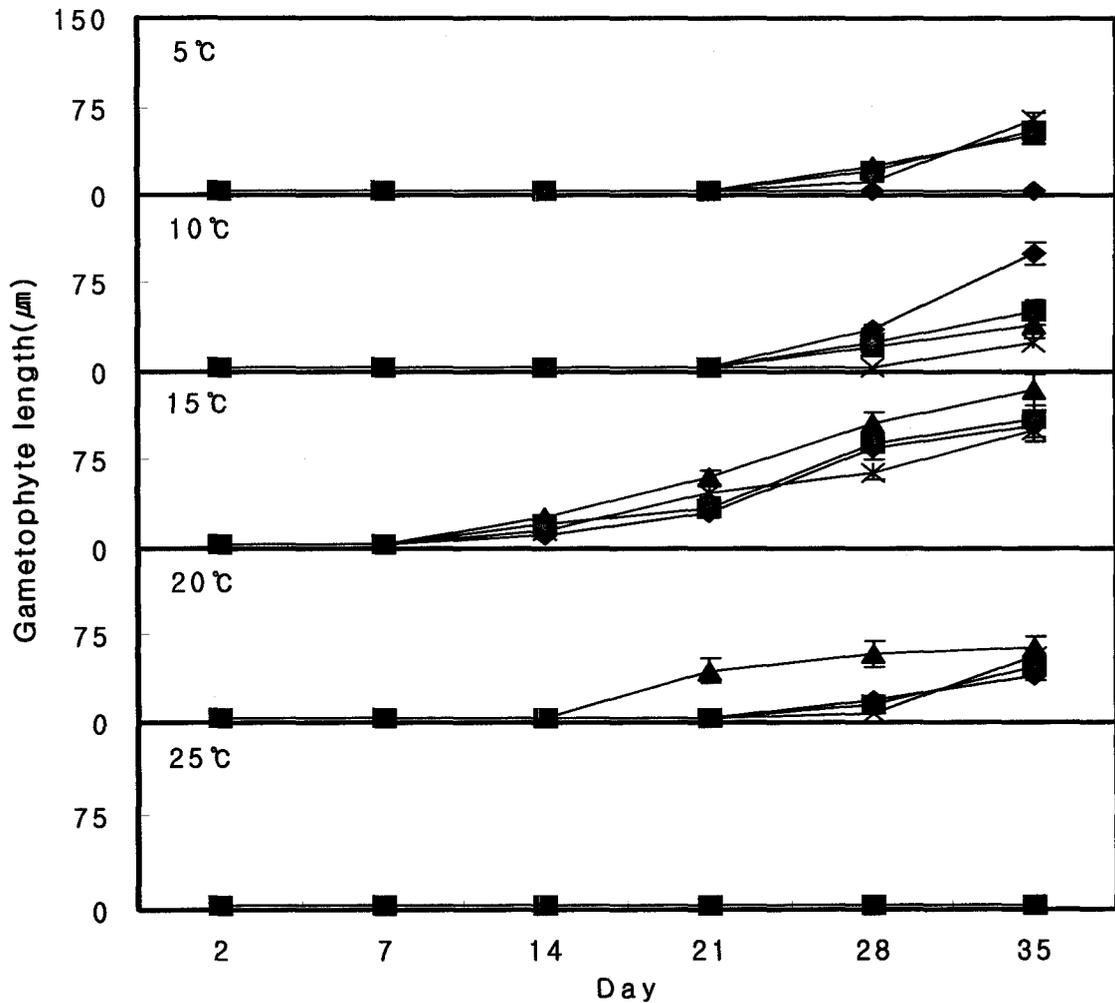


그림 50. High gel strength agar에서 온도 광량별 배우체 성장(◆: $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ■: $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▲: $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ×: $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

다. 아포체의 성장 연구

아포체의 성장을 알아보기 위하여 액체배지와 고체배지는 수온 5단계(5, 10, 15, 20 및 25°C)와 광량 4단계(20, 40, 60 및 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)로 조정하여 액체배지 20개 시험구와 고체배지 80개 시험구의 총 100개 시험구를 만들어 배양하였다. 우선, 준비한 유주자액을 액체배지는 커버 글라스 (18×24 mm) 2개를 넣고 커버 글라스 1개당 유주자 1000cell을 접종하여 15분간 정치시켜 유주자를 부착시킨다. 유주자가 부착하면 87×15 mm 크기의 Petri dish에 액체배지를 넣고 배양하였다. 고체배지에는 35×12 mm 크기의 Petri dish에 배우체 분리가 편리하도록 하기 위하여 밀도를 작게 하여 200cell을 도말하여 각 실험조건으로 옮겨 48시간 배양하였고, 광주기는 12L:12D로 유지하였다. 아포체의 생장은 각 조건에서 아포체가 나타난 배양 18일부터 아포체 성장 한 달까지의 생장을 측정하여 비교하였다.

1) 액체배지

아포체의 생장은 배양 29일까지 수온 15°C, 광량 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 901 μm 까지 성장하여 가장 높은 성장을 보였다. 온도별로 5°C에서는 배양 21일까지 광량별로 비슷한 성장을 하다가 배양 29일 이후 광량 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 급속히 성장하여 가장 높은 성장을 나타냈다. 수온 10°C에서는 광량별로 배양 7일까지 비슷한 성장을 하다가 배양 7일 이후부터 광량 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 급격한 성장을 보여 배양 29일까지 가장 높은 성장을 보였다. 수온 15°C에서도 광량별로 배양 14일까지 비슷한 성장을 하다가 배양 14일 이후부터 배양 29일까지 광량 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 높은 성장을 나타냈다. 수온 20°C에서는 광량 20, 40, 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 배양 7일까지 비슷한 성장을 보이다가 배양 7일부터는 아포체가 사멸하였고, 광량 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 배양 3일 이후 아포체가 사멸하였다. PESI 배지에서 아포체의 생장은 수온 15°C에서 가장 좋은 성장을 보였고, 광량은 모든 온도 구간에서 고광량보다 저광량이 생장이 좋은 것으로 나타났다(그림 51).

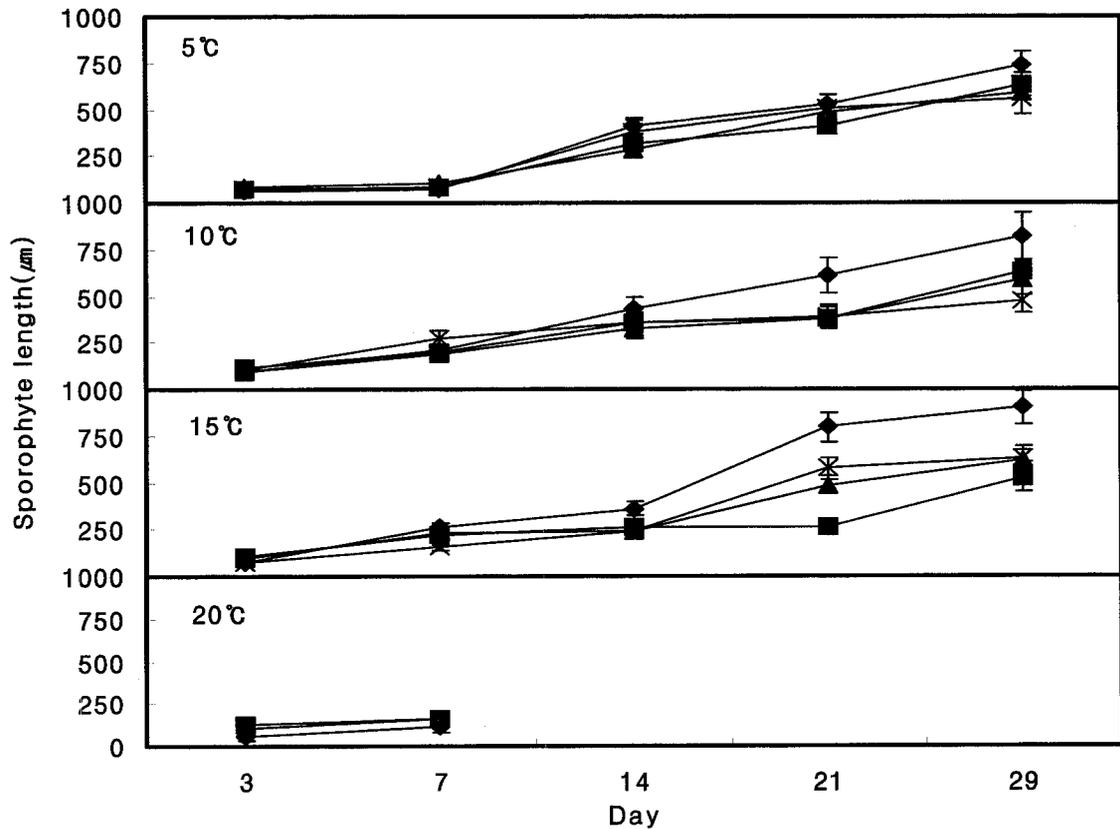


그림 51. PESI 배지에서 온도 광량별 아포체의 성장(◆: $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ■: $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▲: $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ×: $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

2) 고체배지

고체배지인 1.0% 한천(Agar; A 1296), 1.0% Transfer gel(T 5660), 1.0% 고강도한천(Agar, High gel strength; A 9799), 1.0% 정제한천(Purified agar; A 7921)에서는 배지의 특성상 아포체가 형성되지 못하고, 그대로 유주자 상태이거나 배우체 상태를 보여 아포체의 생장은 이루어지지 않았다.

4. 배우체 분리 및 번식 연구

가. 배우체 분리 연구

배우체가 성숙된 각 구간에서 Pasteur pipette의 끝 부분을 녹여 배우체의 크기에 따라 100 μm 내외의 Hole을 만든 후, 현미경 하에서 암·수 배우체를 분리하여 96well plate와 35×12 mm의 Petri dish에 분리 보관하였다.

1) 액체배지

배우체가 형성되는 배양 7일~9일 경과한 구간에서 유리관의 끝 부분을 녹여 100 μm 의 구멍을 만든 후, 현미경에서 암·수 배우체를 분리한 결과 액체배지에서 암 배우체 28개체, 수 배우체 14개체 분리하여 총 배우체 42개체 분리하였고, 분리된 개체는 배우체 성장시험에서 전 구간 걸쳐 고른 성장을 보인 수온 15 $^{\circ}\text{C}$, 광량 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 보관하였다(표 24).

2) 고체배지

가) Transfer gel

배우체가 형성되는 배양 11일~13일 경과한 구간에서 유리관의 끝 부분을 녹여 100 μm 의 구멍을 만든 후, 현미경에서 암·수 배우체를 분리한 결과 고체배지 중에서 성장을 가장 빠르게 보인 Transfer gel에서 암 배우체 93개체, 수 배우체 157개체 분리하여 총 배우체 250개체를 분리하였고, 분리된 개체는 배우체 성장시험에서 전 구간에 걸쳐 좋은 성장을 보인 수온 15 $^{\circ}\text{C}$, 광량 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 보관하였다. Transfer gel은 액체배지와 고체배지의 중간단계의 배지로 액체배지보다 배우체의 이동이 적고 고정이 되어 있어서 배우체의 분리가 비교적 쉬웠다(그림 52, 표 24).

나) Purified agar

Purified agar에서는 대부분의 개체가 발아를 하지 않고 유주자 상태 그대로를 유지하였고, 유주자가 발아를 한 개체라 하더라도 대다수의 개체가 배우체로의 발생이 느렸다. 또한 배우체로 성장했다 하더라도 현미경의 위상차로 암·수 배우체 확인이 불분명하였고, 구분이 가능한 암·수 배우체도 배지의 특성상 배우체 부분을 배지와 함께 떼내야하는 어려움이 있어서 배우체 분리는 하지 않았다(표 24).

다) Agar

Agar에서는 대부분이 배우체로 성장하지 못하고 계속 포자 상태를 보였다. 또한 Purified agar에서와 마찬가지로 유주자를 배지에 도달한 후 배우체로 증식하여서 현미경에서 암·수 배우체 확인이 불분명하였다. 배우체 분리에서도 배지의 특성상 배우체 부분을 배지와 함께 떼내야하는 어려움이 있어서 배우체 분리는 하지 않았다(표 24).

라) High gel strength agar

High gel strength agar에서도 Agar와 마찬가지로 대부분이 배우체로 성장하지 못하고 계속 포자 상태를 보였다. 또한 유주자를 배지에 도달한 후 배우체로 증식하여서 현미경하에서 암·수 배우체 확인이 불분명하였다. 배우체 분리에서도 배지의 특성상 배우체 부분을 배지와 함께 떼내야하는 어려움이 있어서 배우체 분리는 하지 않았다(표 24).

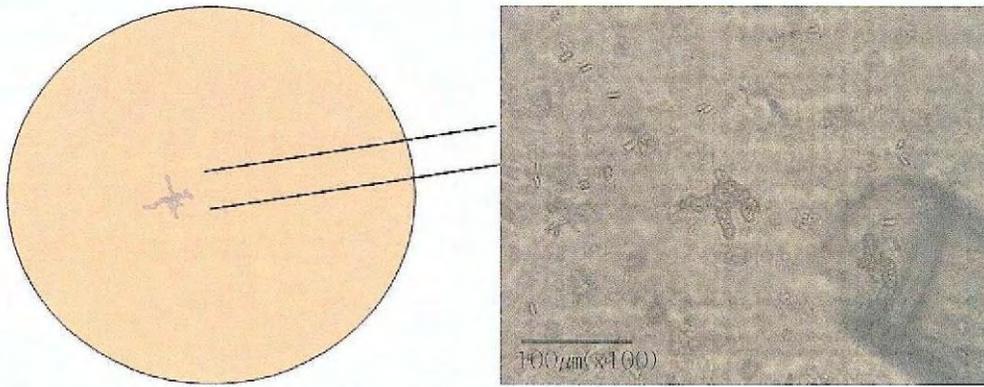


그림 52. Transfer gel에서 배우체를 분리하는 모습.

표 24. 배지별 배우체가 분리된 개체수

Medium		Male gametophyte	Female gametophyte
Liquid	PESI	14	28
	Transfer gel	157	93
Gelling agent	Purified agar	-	-
	Agar	-	-
	High gel strength agar	-	-

나. 배우체 번식 연구

35×12 mm의 Petri dish에 보관된 암·수 배우체는 homogenizer를 이용하여 세단하였다. Homogenizer 사용 시 발생하는 열로 인한 스트레스를 줄이기 위해 액체배지 500 μl를 넣은 1.5 ml micro tube에 배우체 3개체를 넣는다. 얼음물에서 배우체가 손상되지 않는 범위에서 30~40 μm의 크기로 만들기 위해 암 배우체의 경우 15~20초간 세단하였고, 수 배우체는 10~15초간 세단하였다. 세단한 암·수 배우체는 생장이 가장 빠른 액체배지에 접종하여 수온 5단계(5, 10, 15, 20 및 25℃)와 광량 4단계(20, 40, 60 및 80 μmol·m⁻²·s⁻¹)로 맞춘 총 20구간으로 조정 후 암·수 배우체 각각의 번식 조건을 알아보기 위하여 성장과 생존율을 측정하여 비교하였다.

PESI 배지와 Transfer gel에서 암 배우체 121개체, 수 배우체 171개체로 총 292개체를 분리하여 수온 5단계(5, 10, 15, 20 및 25℃)와 광량 4단계(20, 40, 60 및 80 μmol·m⁻²·s⁻¹)로 조정하여 총 20개 시험구를 만들고 시험구마다 암·수 배우체 각각 10개체씩 따로 분리하여 Homogenize 한 암·수 배우체를 Petri dish 35×12 mm에 PESI 배지를 넣어 배양한 후 암·수 배우체의 성장을 측정한 결과 암 배우체의 경우 수온 20℃, 광량 20 μmol·m⁻²·s⁻¹에서 가장 높

은 생장을 보였다. 온도별로 수온 5°C에서는 초기생장은 광량 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 높은 생장을 보였으나 배양 14일부터는 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 높은 생장을 보였다. 수온 10°C에서는 초기생장은 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 높은 생장을 보였으나 배양 7일부터는 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 높은 생장을 보였다. 수온 15°C에서는 광량별로 고른 생장을 보였으나 그중 광량 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 높은 생장을 보였다. 수온 20°C에서는 광량 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였으며 온도 구간 중 광량별로 가장 높은 생장을 보였다. 수온 25°C에서는 광량 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였으나 배양 3일 후 개체가 사멸하기 시작하여 배양 14일에는 모든 개체가 사멸하였다(그림 53, 55A). 수 배우체의 경우 수온 10°C, 광량 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였다. 온도별로 5°C에서는 광량별로 생장의 차이는 크지 않았으나 그 중 광량 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였다. 수온 10°C에서는 온도 구간 중 광량별로 가장 높은 생장을 보였으며 광량 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였고, 광량 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 낮은 생장을 보였다. 수온 15°C에서는 가장 낮은 생장을 보인 광량 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 제외하고 모두 비슷한 생장을 보였으나 그 중 광량 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였다. 수온 20°C에서는 저광량인 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였으며 배양 7일 이후부터 개체가 사멸하기 시작하여 배양 14일에는 모든 개체가 사멸하였다. 수온 25°C에서도 수온 20°C와 마찬가지로 저광량인 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생장을 보였으나 배양 3일 이후부터 개체가 사멸하기 시작하여 배양 7일에는 모든 개체가 사멸하였다(그림 54, 55B). 이와 같이 암 배우체와 수 배우체의 성장 조건이 온도별, 광량별로 다른 것으로 나타났다.

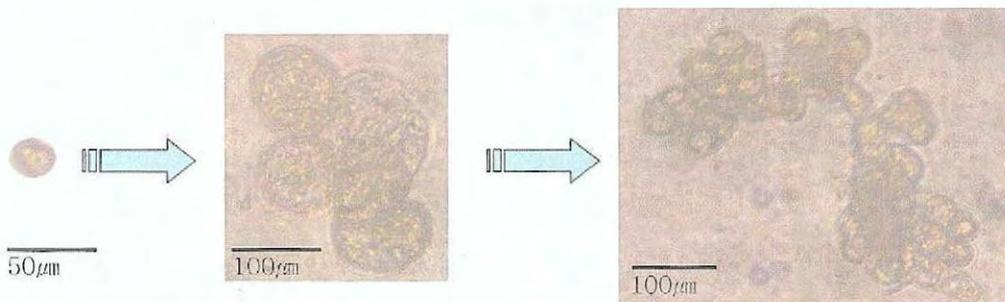


그림 53. 암배우체의 성장 및 번식.

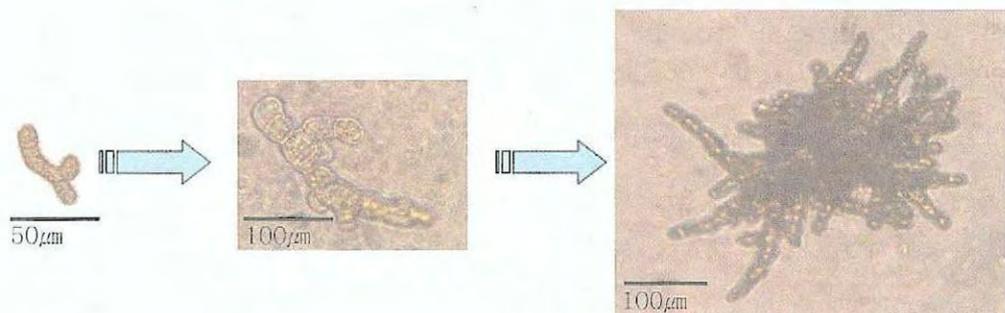


그림 54. 수배우체의 성장 및 번식.

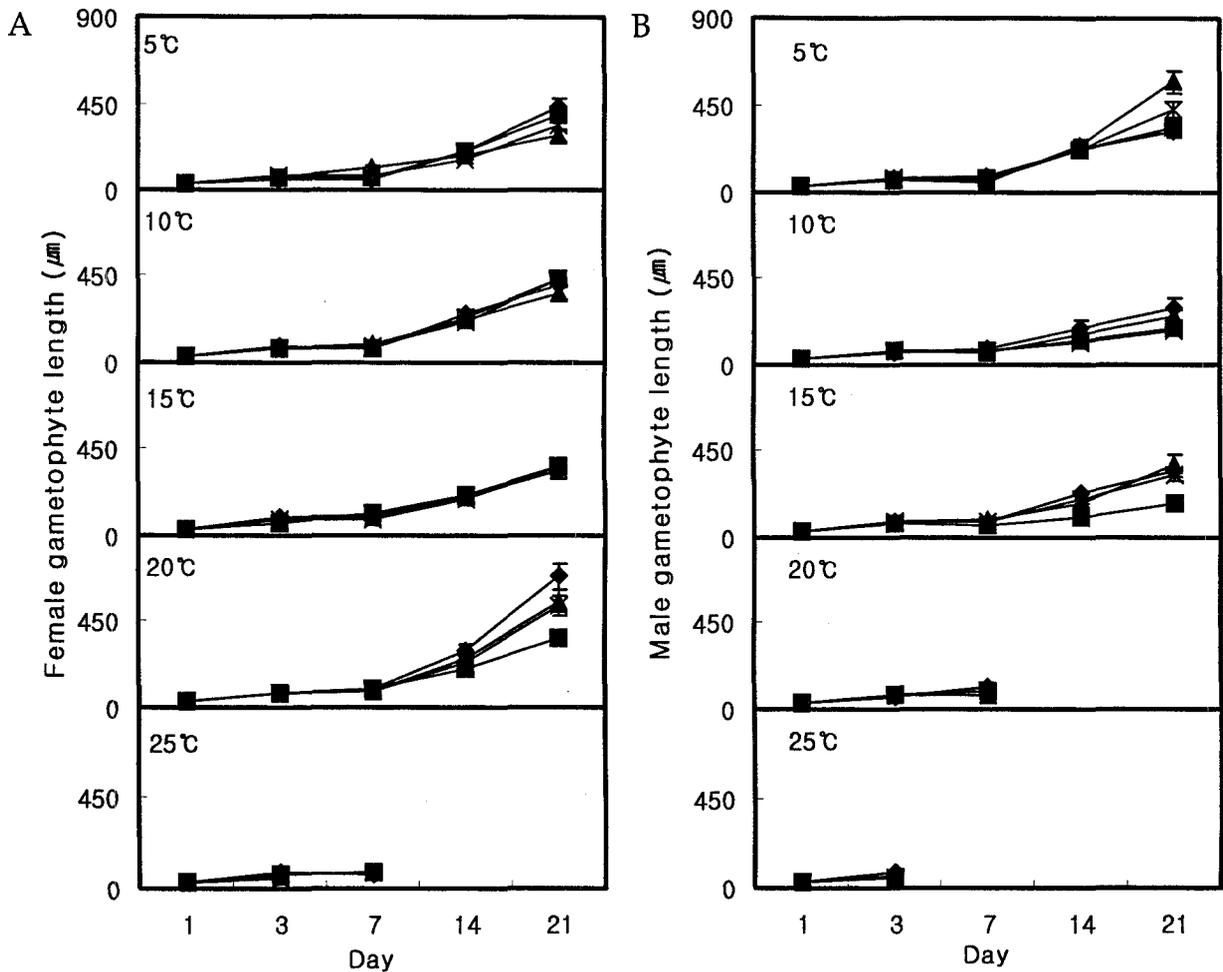


그림 55. 암·수배우체의 온도 광량별 성장 변화.

5. 배우체 수정 연구

수온 5단계(5, 10, 15, 20 및 25°C)와 광량 4단계(20, 40, 60 및 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)로 맞춘 20개 구간마다 각각 10개체씩 따로 분리한 암·수 배우체를 96 well plate 에 액체배지를 넣어 배양하여 아포체로 발아된 개체를 수정된 것으로 간주하고, 암·수 배우체(10개체)당 수정 개체를 수정율(%)로 계산하였다.

액체배지에서 번식시킨 암·수 배우체를 각 시험구마다 10개체씩 분리하여 96 well plate에 수정을 시켜 수온 5단계(5, 10, 15, 20 및 25°C)와 광량 4단계(20, 40, 60 및 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)로 조정하여 총 20개 시험구를 만들고 액체배지를 넣어 배양하였다. 이와 같은 과정을 3번 반복하여 배양한 결과, 수온 5°C에서는 광량 20 및 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 63.3%로 가장 높은 수정율을 보였으며 고광량인 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 30.0%로 가장 낮은 수정율을 보였다. 수온 10°C에서는 광량 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 86.7%로 가장 높은 수정율을 보였으며, 광량 80 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 46.7%로 가장 낮은 수정율을 보였다. 수온 15°C에서는 광량 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 93.3%로 온도

구간 중 가장 높은 수정율을 보였으며, 광량 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 43.3%로 가장 낮은 수정율을 보였다. 수온 20°C 에서는 광량 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 63.3%로 가장 높은 수정율을 보였으며, 광량 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 23.3%로 가장 낮은 수정율을 보였다. 수온 25°C 에서는 모든 광량 구간에서 암·수 배우체가 수정되지 못하고 사멸하였다. 이와 같이 암·수 배우체의 수정율은 수온 15°C , 광량 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높았으며, 각 온도 구간 별로 고광량 보다는 저광량에서 높은 수정율을 보이는 것으로 나타났다(그림 56, 57). 고체배지에서는 배지의 특성상 암·수 배우체의 수정이 이루어지지 않았다.

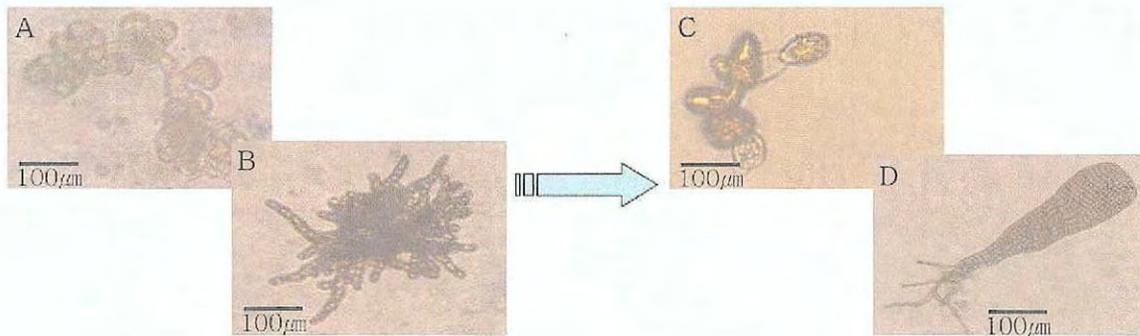


그림 56. PESI 배지에서 암·수배우체의 수정(A: 암배우체, B: 수배우체, C: 수정, D: 어린 아포체).

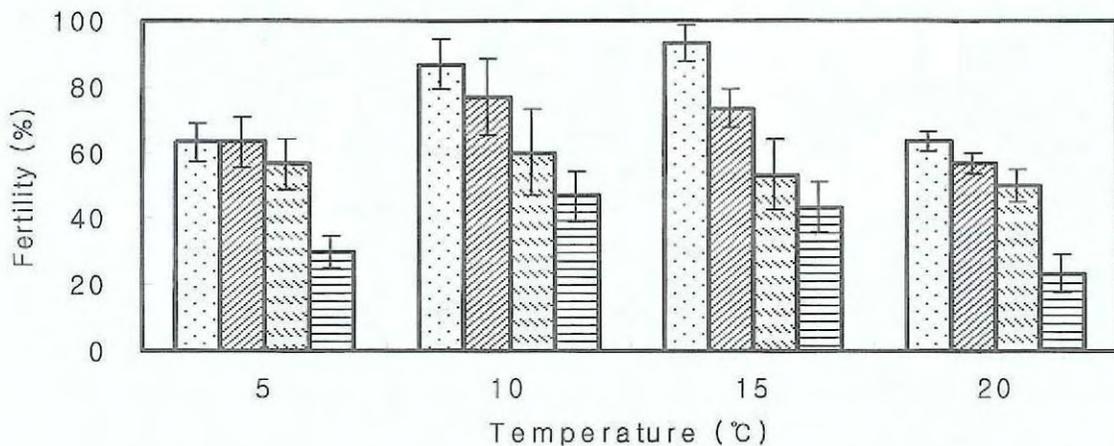


그림 57. PESI 배지에서 온도 광량별 암·수배우체의 수정율(□: $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▨: $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▩: $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ▪: $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

6. 배우체 보존 연구

고체배지(1.0% Agar, Transfer gel, High gel strength agar and purified agar)와 액체배지(PESI)에서 수온 5단계($5, 10, 15, 20$ 및 25°C)와 광량 4단계($20, 40, 60$ 및 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

로 조정하여 총 100개 시험구를 만들어 배양하였고, 배우체 성장 및 생존율을 분석하여 배우체 보존 능력을 연구하였다.

액체배지는 번식한 암·수 배우체를 일주일 간격으로 배지를 교환한 결과, 암·수 배우체가 10개월 보존이 되는 것으로 나타났다. 고체배지인 Transfer gel에서는 배우체의 번식 속도가 액체배지인 PESI 배지와 비슷하나 배우체의 수정이 이루어지지 않아 배우체 보존의 가능성을 보였고, Purified agar, Agar, High gel strength agar에서는 대부분이 배우체로 생장이 안 되고 계속 유주자 상태를 보였으며, 유주자가 발아를 한 개체들은 배우체로 성장하여 아포체로 되지 않고 그대로 배우체 상태를 유지하였다. 따라서 배우체뿐만 아니라 유주자도 12개월 보존되는 것으로 나타났다(그림 58).

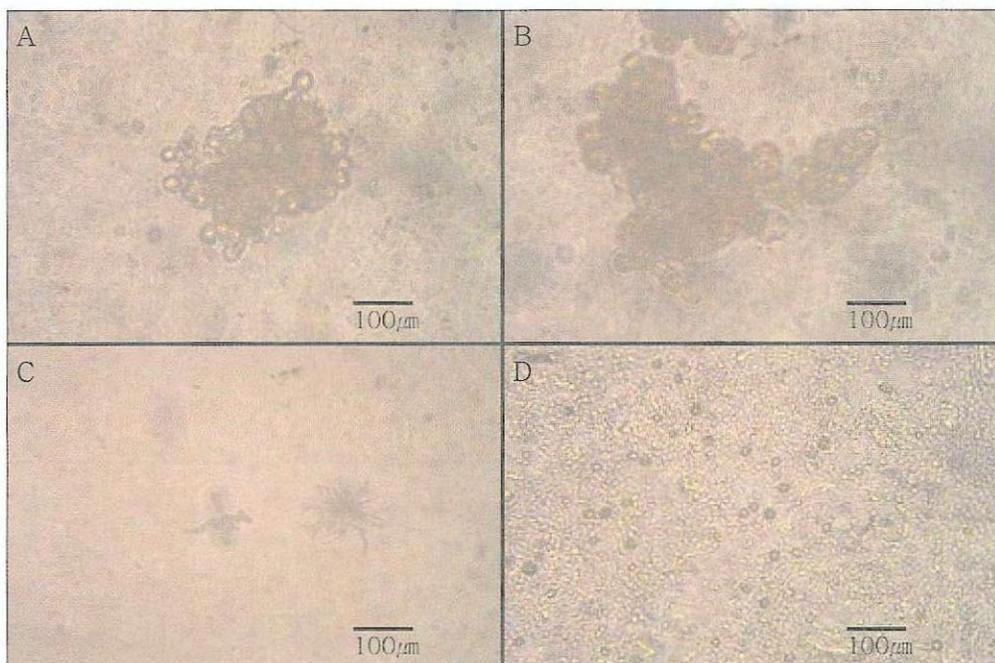


그림 58. 배우체 및 유주자의 보존(A: PESI 배지에서의 배우체 보존, B: Transfer gel에서의 배우체 보존, C, D: Agar, Purified agar, High gel strength agar 배지에서의 유주자 및 배우체 보존)

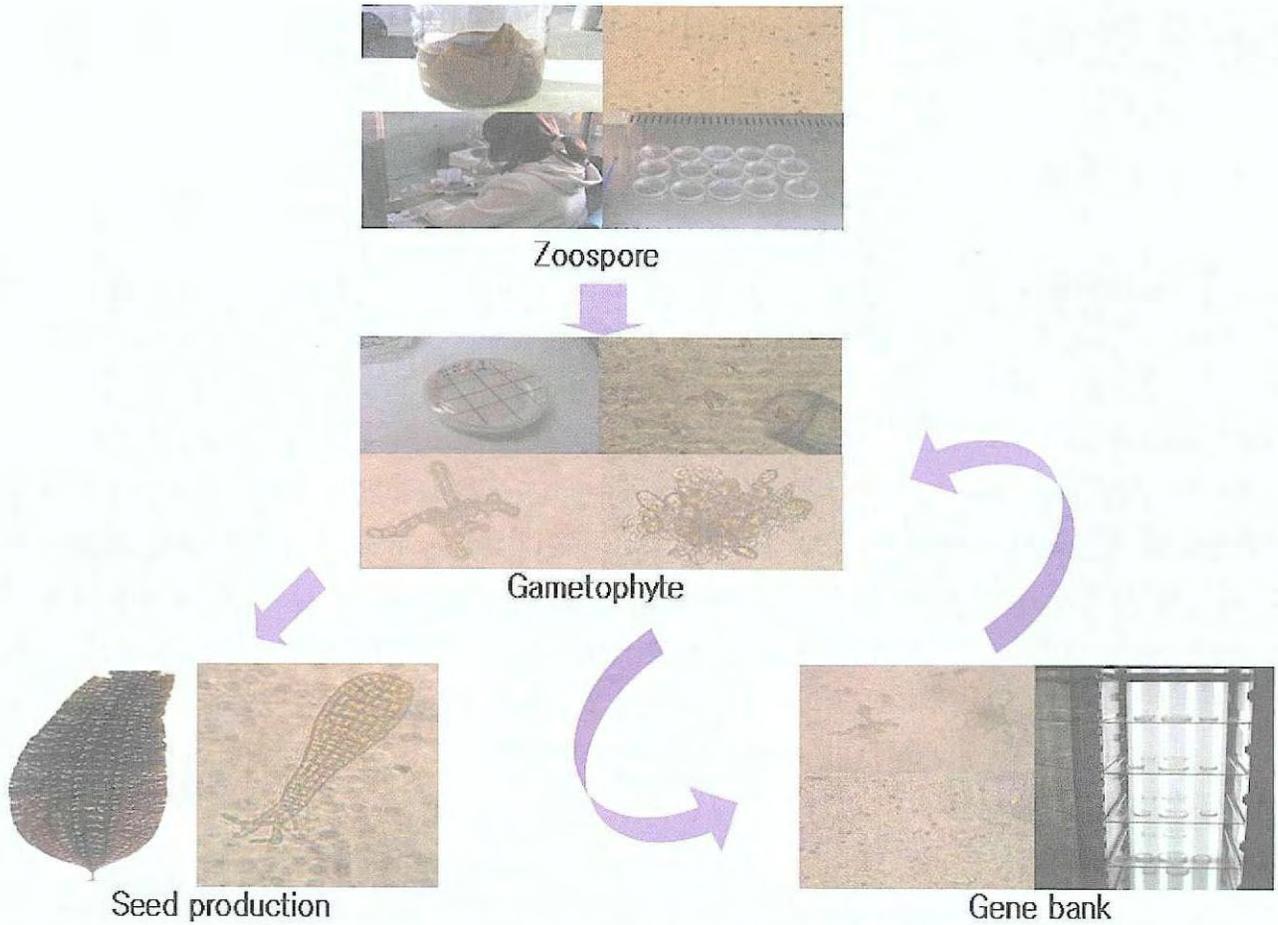


그림 59. 개다시마(*Kjellmaniella crassifolia*)의 인공종묘 생산을 위한 과정 모습.

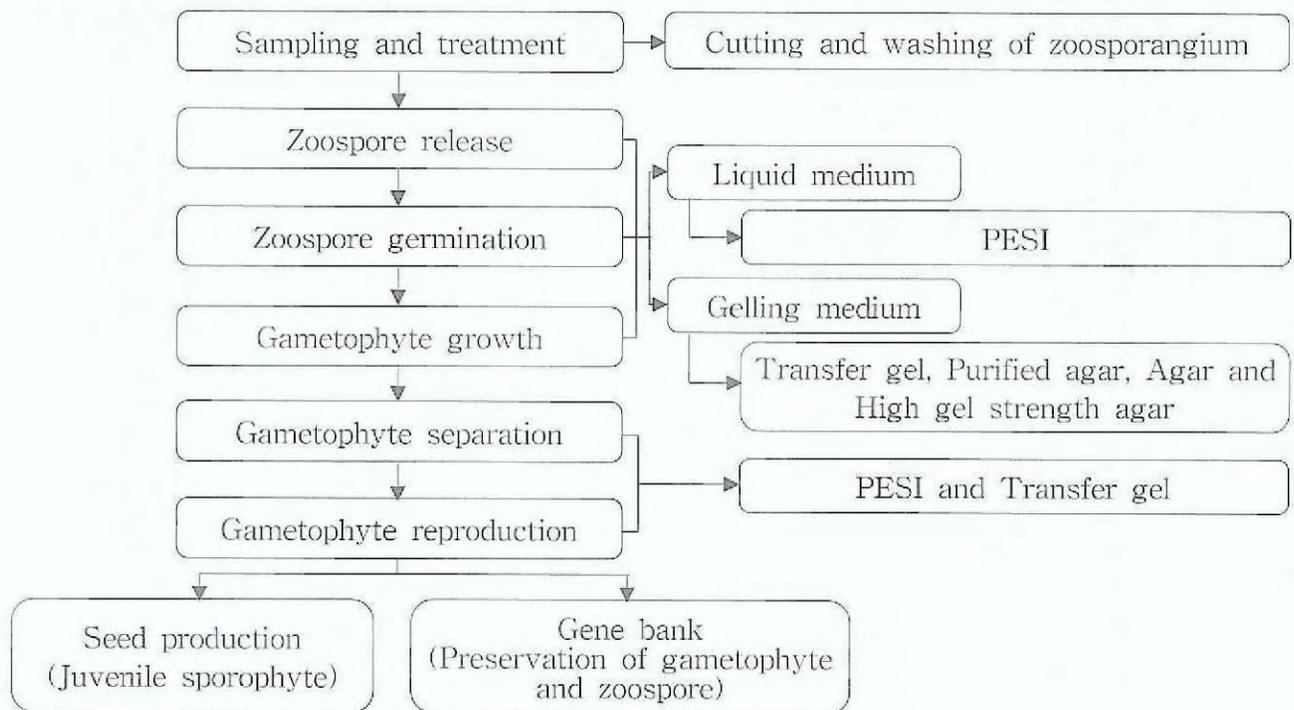


그림 60. 해조류로부터 배우체의 분리와 보존을 위한 과정.

제7절 적정수심 구명에 의한 양식기술개발 연구

1. 월별 성장 연구

2004년 11월에 양성한 개다시마는 2005년 10월과 12월에 수심 30 m에서 각각 25.1 ± 9.2 cm와 31.5 ± 13.1 cm의 엽장 성장을 보였고, 수심 5 m에서 20.5 ± 7.8 cm와 19.5 ± 13.5 cm로 가장 적은 엽장 성장을 나타내었다. 2006년 2월과 4월, 6월까지는 수심 20 m에서 각각 50.3 ± 12.2 cm와 59.1 ± 15.3 cm, 62.3 ± 16.9 cm로 엽장 성장을 나타냈고, 2006년 2월과 4월에는 수심 5 m에서 각각 36.7 ± 9.8 cm와 40.5 ± 12.9 cm, 6월에는 수심 10 m에서 55.9 ± 20.5 cm, 8월에는 수심 5 m에서 75.9 ± 18.9 cm로 가장 빠른 성장을 나타냈으며, 수심 30 m에서 60.5 ± 16.3 cm로 가장 적어 초기와 다른 형태의 성장을 보였다. 수심 5 m에서 2005년 10월에는 최소치 성장하여 각 조건별 시험에서 가장 작은 엽장을 보였으나 2006년 8월에 최대치 성장하여 가장 빠른 성장을 보였고, 수심 30 m에서는 2005년 10월에 시험구 중 가장 큰 엽장을 나타냈으나 2006년 8월에 가장 작은 엽장을 보여 가장 느린 성장을 했다. 개다시마 2년생의 양성은 수심 5 m가 성장에는 가장 적합한 것으로 나타났다(그림 61).

엽폭은 수심 30 m에서 2005년 10월 6.2 ± 3.9 cm였던 개체들이 2006년 8월 27.1 ± 8.3 cm로 20.9 cm의 성장을 보여 기간 중 가장 큰 성장을 보였으며, 수심 5 m에서 2005년 10월 5.2 ± 3.4 cm였던 개체들이 2006년 8월 16.5 ± 3.7 cm로 11.3 cm의 성장을 보여 기간 중 가장 느리게 성장하였다(그림 62). 개다시마는 2005년 10월에서 2006년 8월까지 수심 5 m에서 엽폭은 크지 않고, 엽장만 성장하는 형태를 보였으며, 수심 30 m에서는 상대적으로 엽장보다 엽폭이 많이 성장하였다.

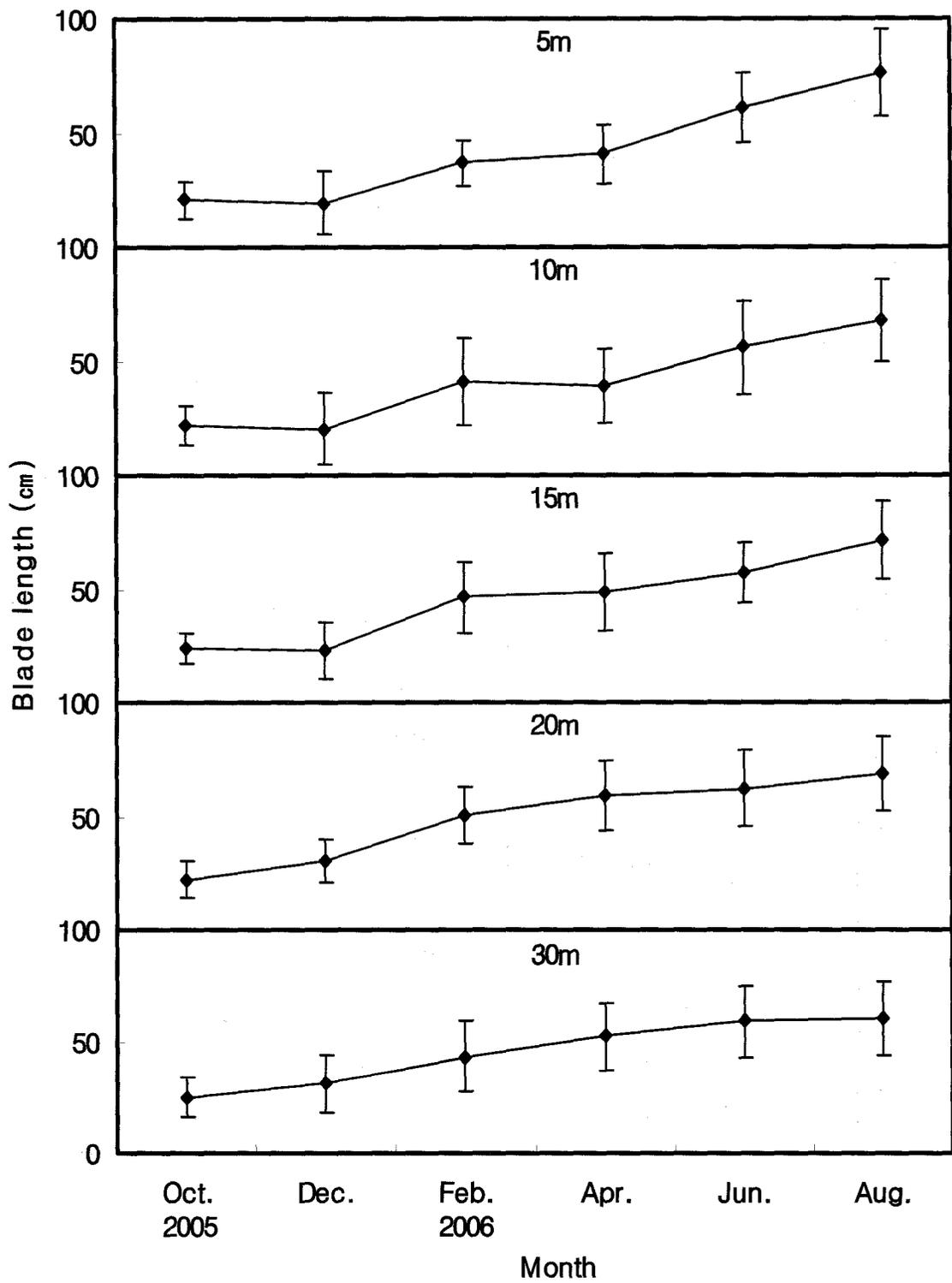


그림 61. 개다시마의 월별 엽장 변화.

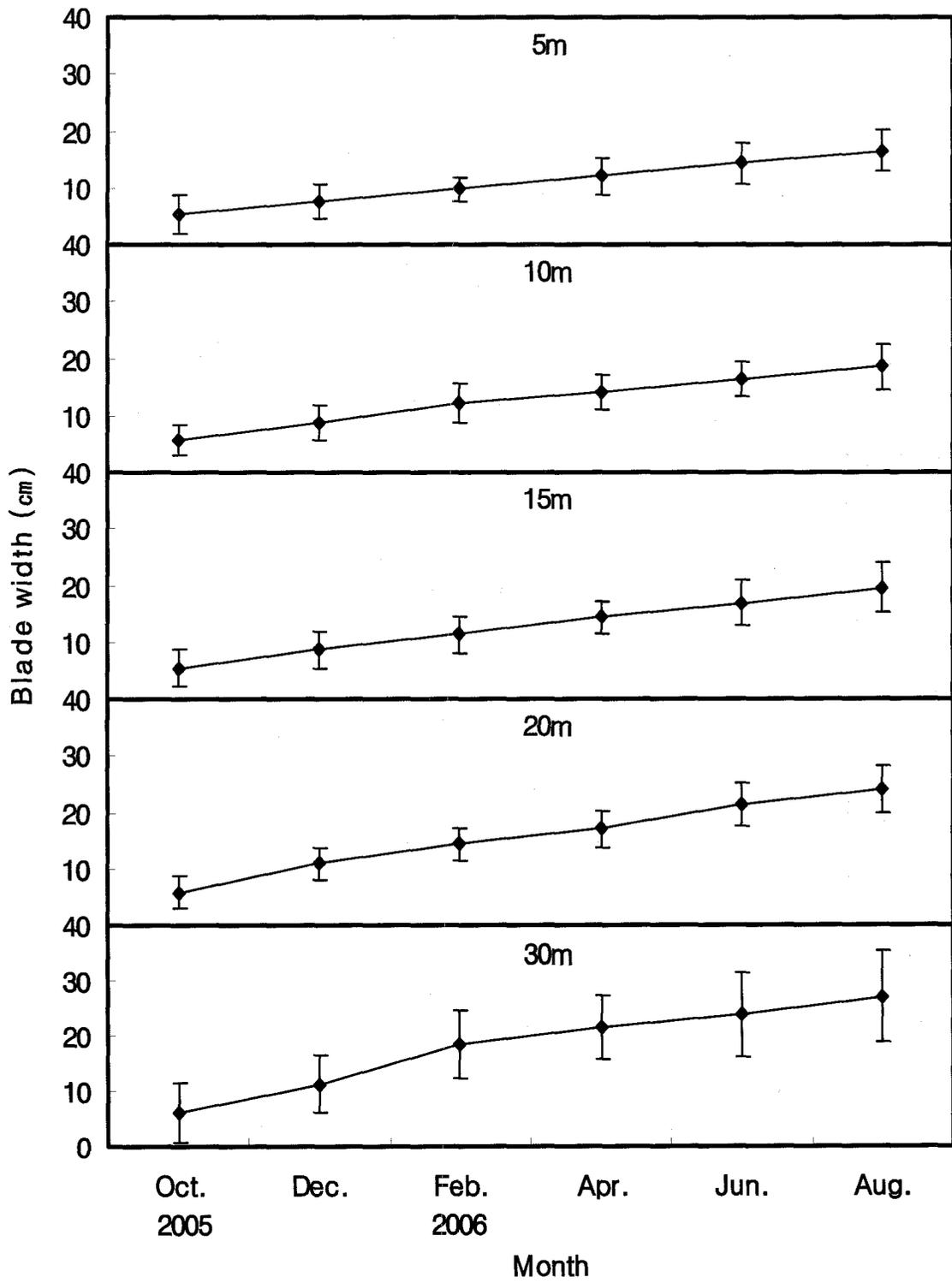


그림 62. 개다시마의 월별 엽폭 변화.

제8절 서식지복원 연구

1. 그물망에 의한 서식지복원 연구

2005년 11월에 종묘생산을 하여 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 한 결과 엽장은 2005년 12월부터 2006년 8월까지 69.9cm의 생장을 보이다가 끝녹음이 시작되어 2006년 10월에는 64.3±15.2cm로 생장이 줄어들었다. 그 후 다시 성장하기 시작하여 2007년 8월에는 107.4±24.7 cm의 생장을 나타내었다(그림 63).

엽폭도 엽장과 비슷한 경향으로 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 한 결과 2005년 12월부터 2006년 8월까지는 13.4cm로 급격한 생장을 보이다가 끝녹음이 시작되면서 줄어들기 시작하여 2006년 10월에는 14.7±5.2cm의 생장을 나타내었다. 그 후 다시 성장하기 시작하여 2007년 8월에는 16.5±7.3cm의 생장을 나타내었다(그림 64). 30×30m 면적에서 m²당 15±5개체의 개다시마가 복원되었다.

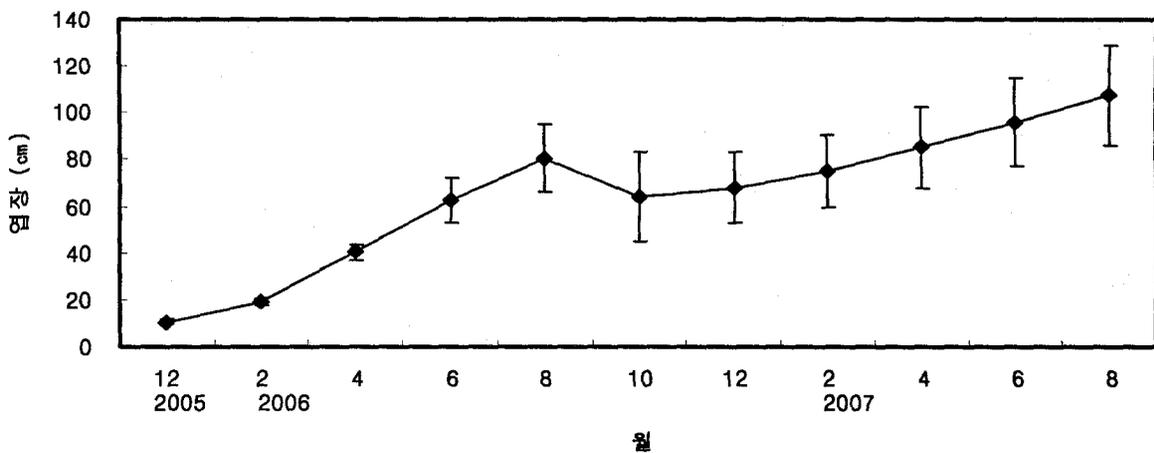


그림 63. 개다시마의 서식지 이식 후 엽장 변화.

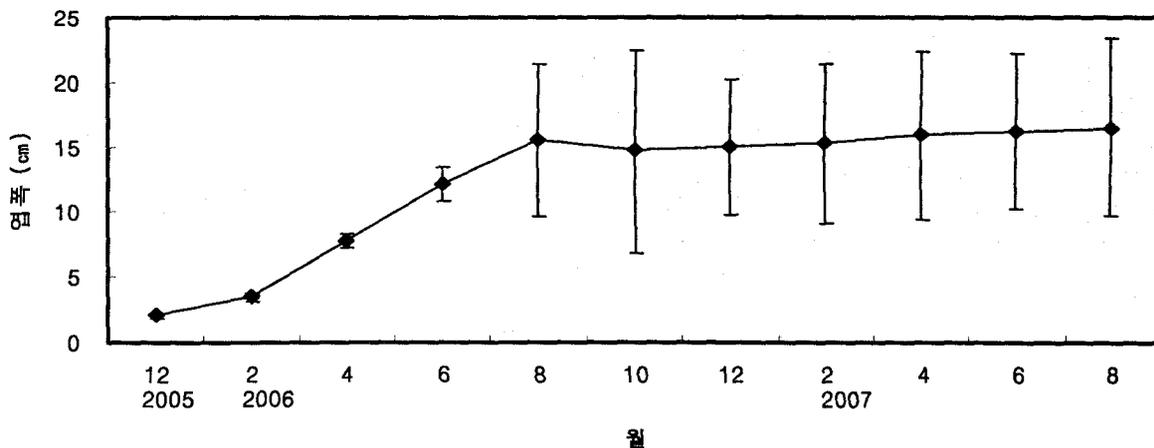


그림 64. 개다시마의 서식지 이식 후 엽폭 변화.

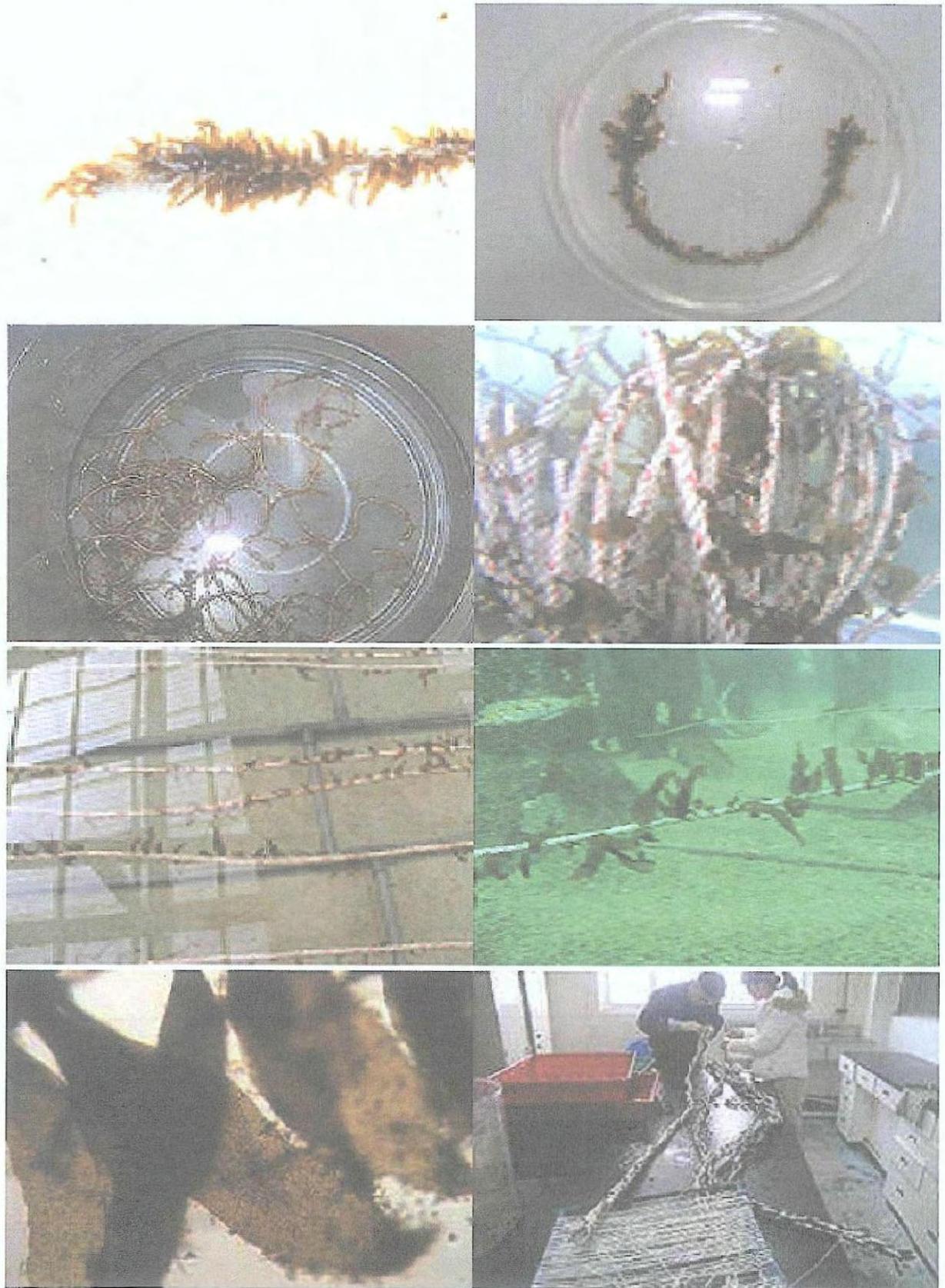


그림 65. 종사 및 수하연 제작.

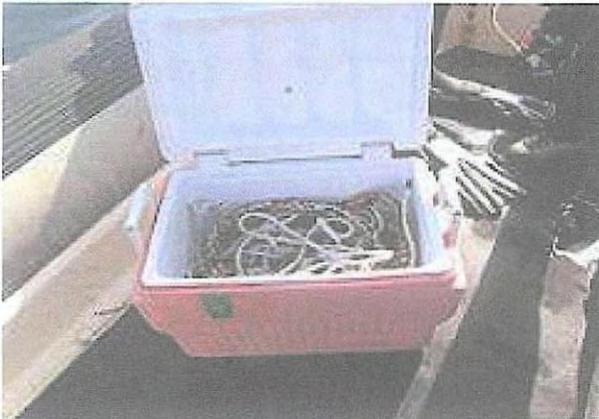


그림 66. 개다시마의 양식.

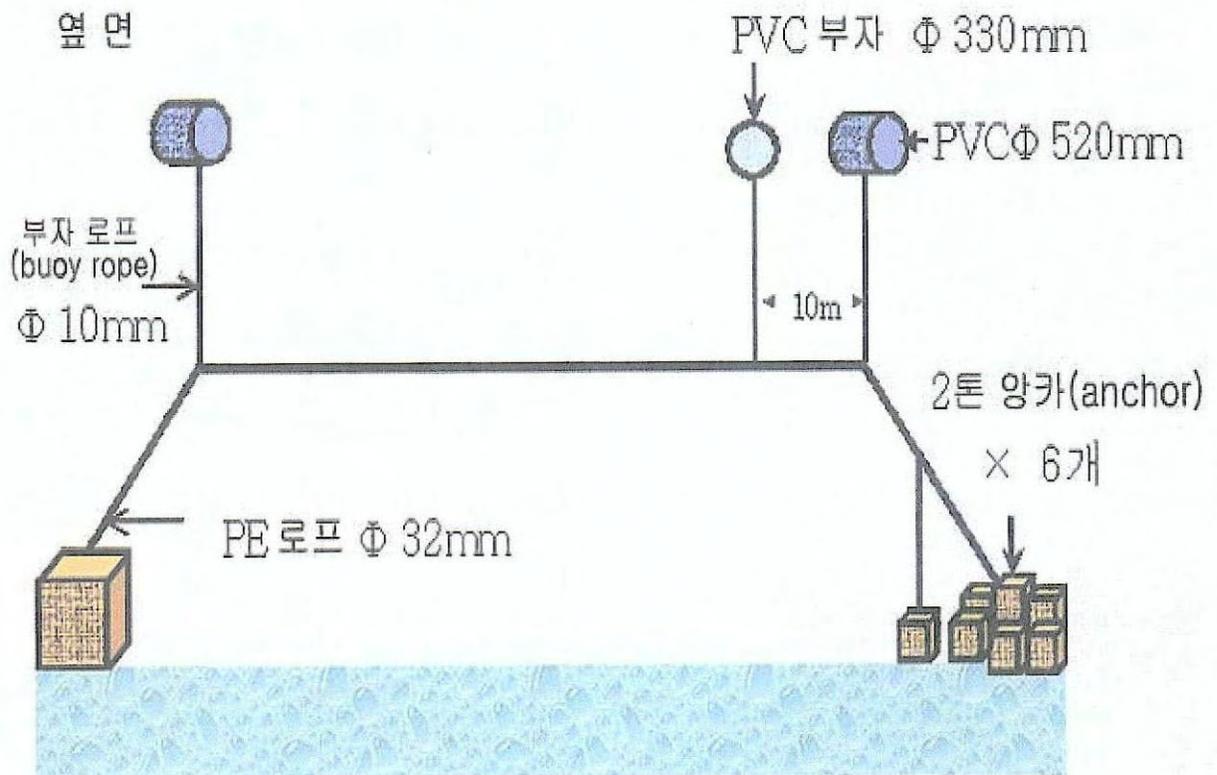
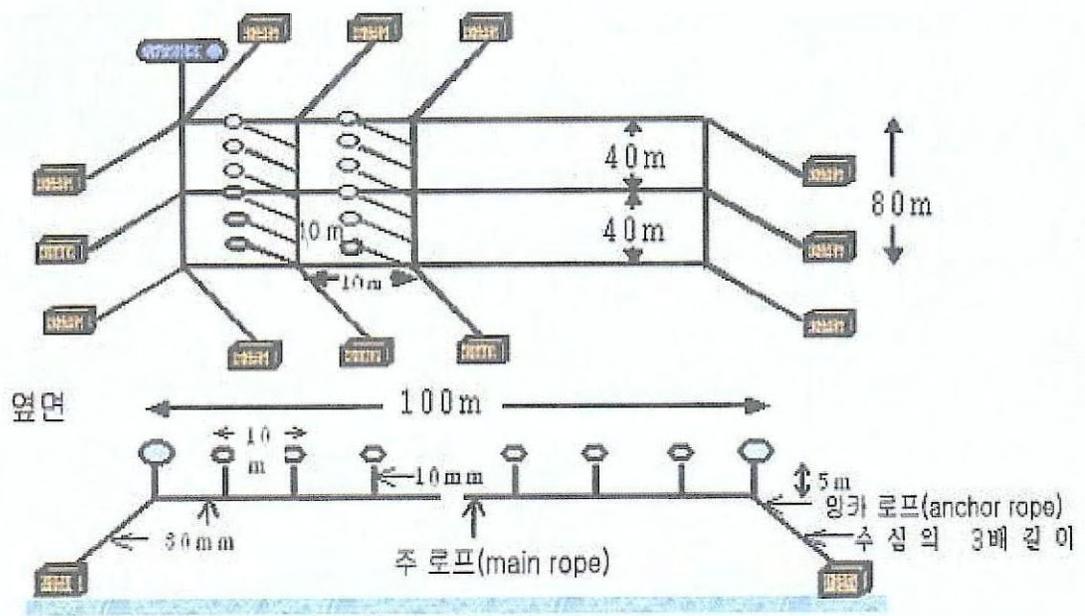


그림 67. 개다시마 양식시설 설계도.

2. 해중림초 이식에 의한 서식지복원 연구

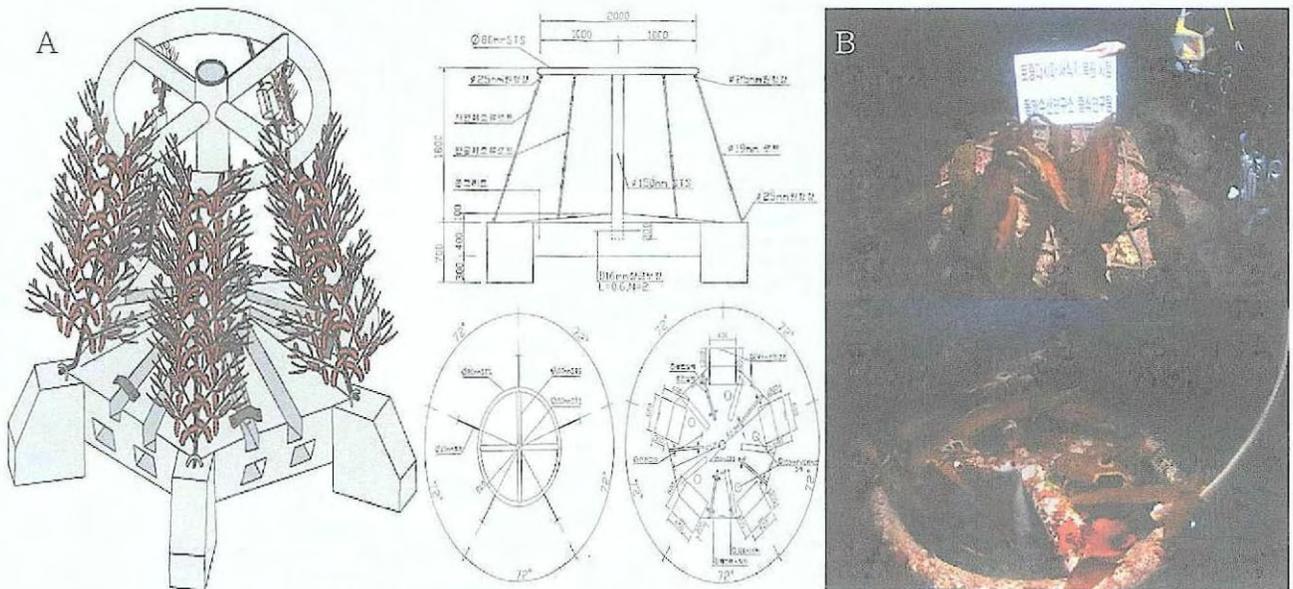


그림 68. 방사형 해중림초 모형(A)과 이식된 개다시마(B).

2006년 11월에 종묘생산을 하여 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 한 결과 엽장은 2007년 2월과 2007년 4월까지 22.6±3.5cm와 45.1±9.8cm의 성장을 보이다가 6월에는 61.8±19.4cm로 성장하여 8월에는 70.8±25.7cm로 최대 엽장을 나타내어 2월에서 8월까지 48.2cm의 높은 성장을 나타내었다(그림 69).

엽폭도 엽장과 비슷한 경향으로 수심 25~30m에서 서식지 이식 시험을 한 결과 2007년 2월과 2007년 4월까지 2.5±0.6cm와 3.9±0.9cm로 느린 성장을 보이다가 4월부터 9.8±3.4cm로 급격하게 성장하여 8월에는 12.6±4.0cm로 최대 엽폭을 나타내어 2월에서 8월까지 10.1cm의 높은 성장을 나타내었다(그림 70).

서식지복원 연구를 위한 이식 당시 개체수는 2005년 10월에 m²당 320±32개체 이였으나 2개월후 탈락 및 고사 등으로 급격히 떨어져 m²당 150±25개체로 약 47%로 떨어졌다. 2006년 4월까지 생존율은 m²당 90±12개체로 약 28%를 유지하였으나 이 이후 탈락과 고사 개체를 줄여들이 안정적이였다. 그러나 2006년 10월에 강력한 너울성 파도로 m²당 25±12개체로 생존율은 약 7.8%로 낮아졌다. 이후 다시 안정적인 성장과 생존율을 보여 2007년 8월에 m²당 15±5개체, 생존율은 약 4.7%가 나타났다(그림 71).

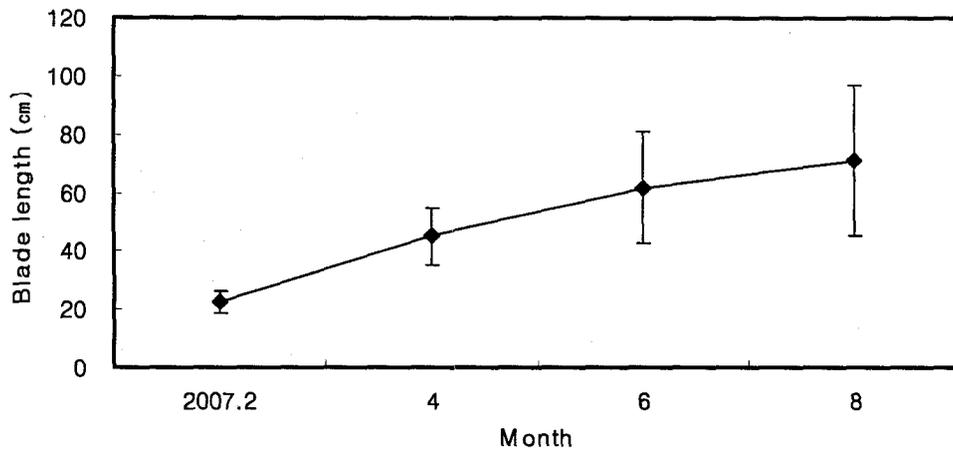


그림 69. 개다시마의 서식지 이식 후 엽장 변화.

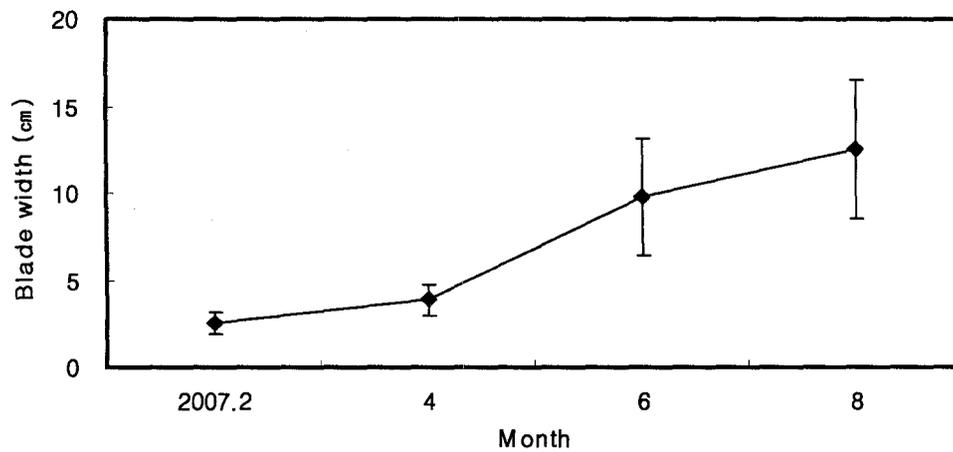


그림 70. 개다시마의 서식지 이식 후 엽폭 변화.

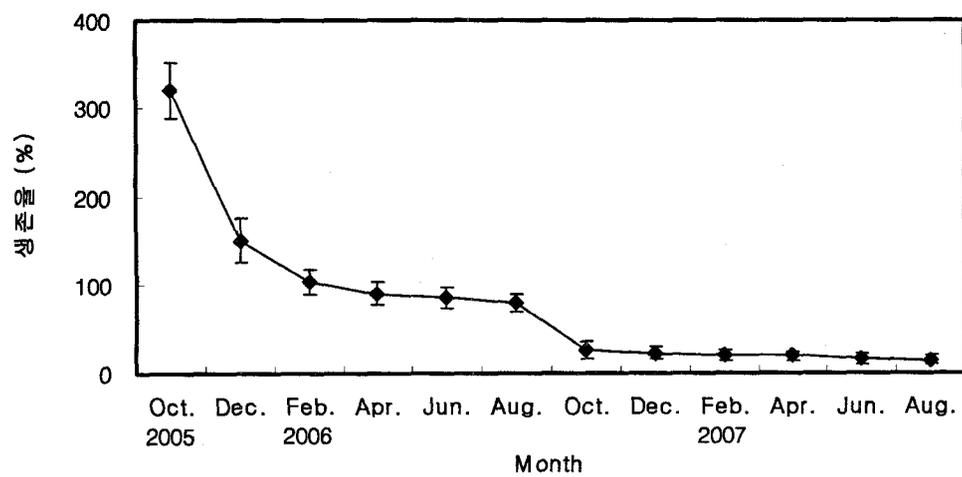


그림 71. 개다시마의 생존율.

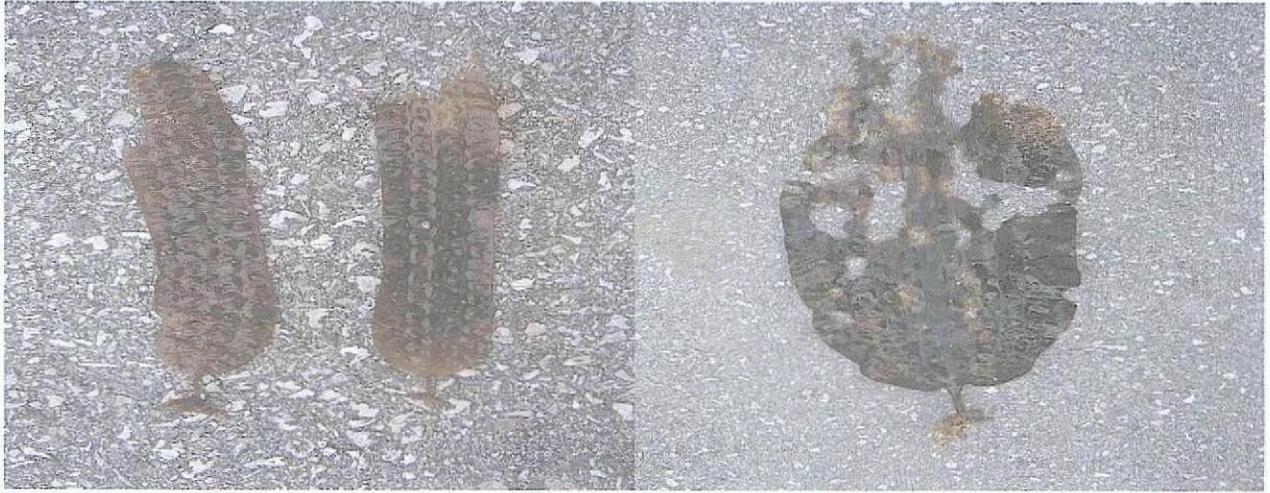


그림 72. 1년생과 3년생 개다시마.

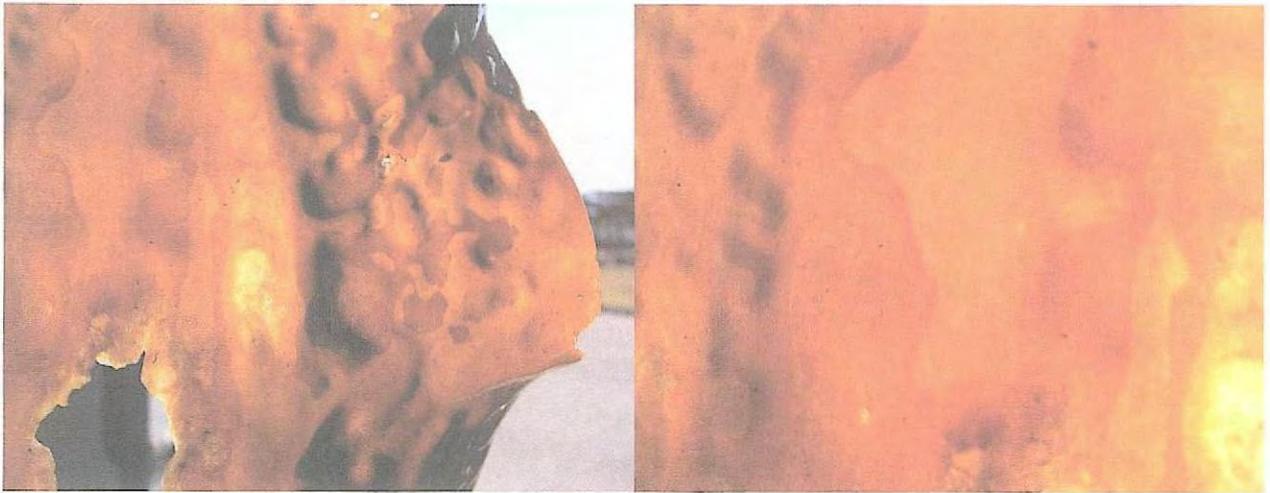


그림 73. 자낭반을 가진 성숙 개다시마.



그림 74. 유주자 방출 유도 및 채묘.

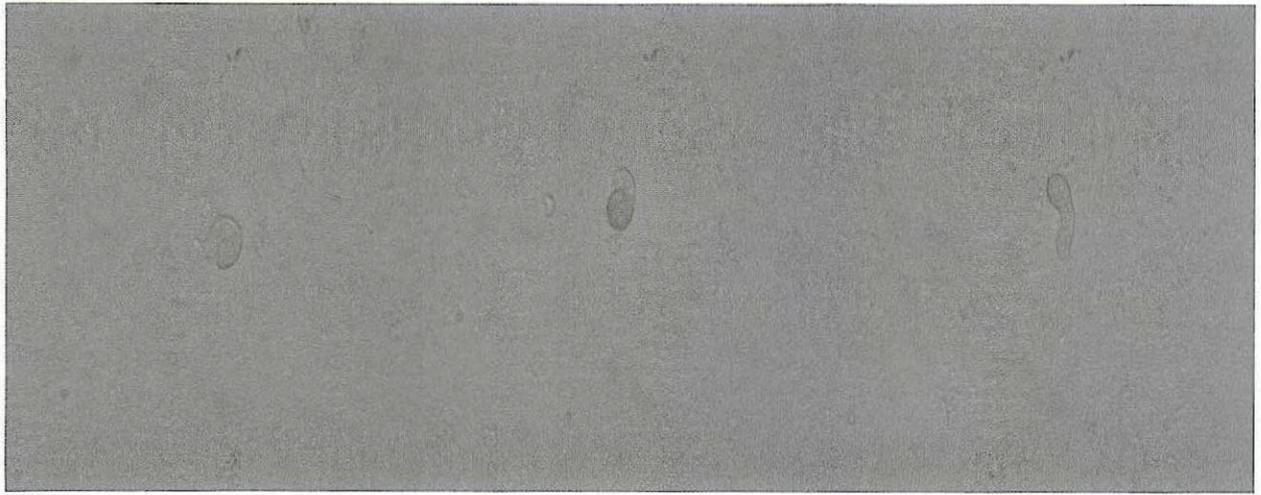


그림 75. 우주자의 발생 및 분화.



그림 76. 크레모나에서 성장중인 개다시마.



그림 77. 유리배양 및 친송 이식.



그림 78. 개다시마 유연.

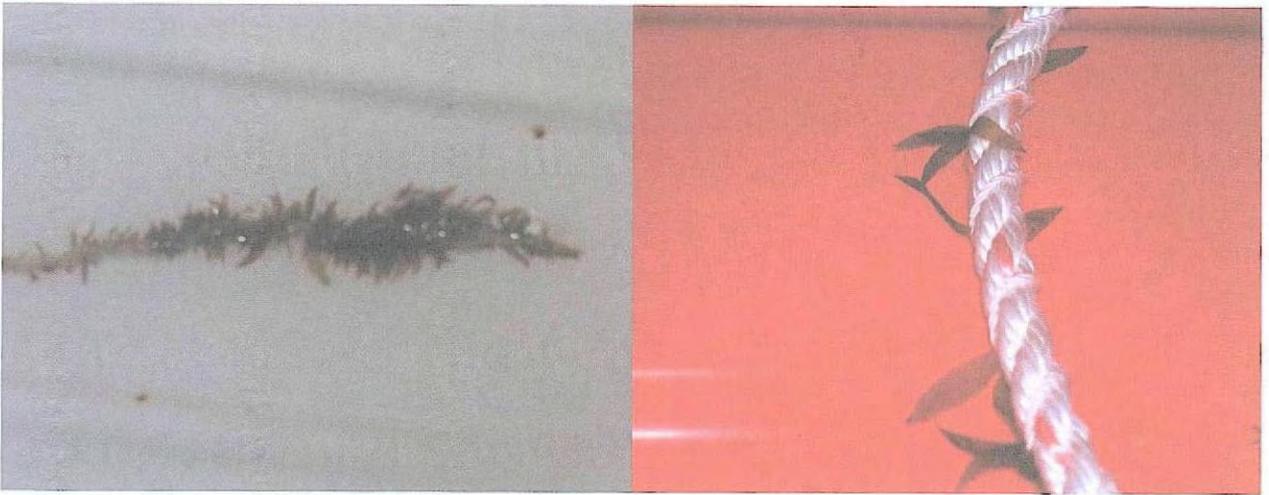


그림 79. 친승이식 및 서식지 이식시험.



그림 80. 이식 개다시마

제9절 개다시마 산업화에 따른 경영수지 분석

1. 건강식품 개발에 따른 경영수지 분석

5ha의 양식을 한다면 1ha당 100m 양성줄 20개 시설 가능하고 100m 한 줄에 습중량으로 약 1.8톤이 생산 가능할 것으로 예상되어 총 180톤의 생산가능하다. 식품으로 가공하기 위해서 이물질 부착되어 있거나 훼손된 부분 등을 제거하여 사용해야 되는데 통상 업체의 1/3정도가 제품으로 만들 수 있어 약 60톤이 가공 가능하다. 현재의 시세로 계산하면 3병을 박스로 포장하여 60,000원에 판매되고 있어 총액 60억원의 소득이 예상된다. 상품으로 판매하기 위한 지출 내역을 살펴보면, 고정비인 감가상각비를 포함한 양식장 운영비가 4억8천만원, 시설보수비 3억6천만원, 종묘대금(200틀기준) 2억원으로 총액 10억4천만원이 소요된다. 변동비인 운영비가 월간 24억원, 유통망 유지가 3억6천만원, 포장비가 5천7백만원, 홍보비가 2억4천만원, 기타잡비가 3억6천만원으로 총액 지출비는 44억5천7백만원으로 순수 수익은 표 25와 같이 연간 15억4천3백원이 창출 될 것으로 예상된다.

10ha의 양식을 한다면, 1ha당 100m 양성줄 20개 시설 가능하고 100m 한 줄에 습중량으로 약 1.5톤이 생산 가능할 것으로 예상되어 총 300톤의 생산가능하다. 식품으로 가공하기 위해서 이물질 부착되어 있거나 훼손된 부분 등을 제거하여 사용해야 되는데 통상 업체의 1/3정도가 제품으로 만들 수 있어 약 100톤이 가공 가능하다. 현재의 시세로 계산하면 3병을 박스로 포장하여 60,000원에 판매되고 있어 총액 100억원의 소득이 예상된다. 상품으로 판매하기 위한 지출 내역을 살펴보면, 고정비인 감가상각비를 포함한 양식장 운영비가 8억4천만원, 시설보수비 2억4천만원, 종묘대금(400틀기준) 4억원으로 총액 10억8천만원이 소요된다. 변동비인 운영비가 월간 43억2천만원, 유통망 유지가 5억1천6백만원, 포장비가 1억1천4백만원, 홍보비가 3억6천만원, 기타잡비가 6억원으로 총액 지출비는 73억9천만원으로 순수 수익은 표 26와 같이 연간 26억1천만원이 창출 될 것으로 예상된다. 이는 5ha 양성시보다 수익이 10억6천7백만원의 소득이 추가로 얻을 수 있어 있다. 이는 공장운영비, 양식장리비 등은 5ha 생산량에서 10ha 생산 면적이 두배 증가되어도 생산량은 두배가 되지 않을 것으로 예상된다. 그러나 적정 생산량과 소비 촉진 등에 관해서는 좀 더 면밀한 분석이 요구되어진다. 다시마류의 특성상 건다시마 판매도 가능하여 개다시마의 우수성이 홍보되고 물량만 확보된다면 이에 관련된 생산과 수익이 예상된다. 향후, 강원도 대표수산물로 육성한다면 수익 구조는 한층 더 늘어날 것으로 예상된다. 그러나, 상기의 경영수지 분석은 개다시마의 최대 생산력으로 추정된 것으로 종묘생산 및 양식생산량이 부진한 경우에는 순수 이식이 줄어들 수도 있다.

수심 20~30m는 해조류의 특성으로 볼 때 심해이고 동해의 해조류 서식 한계수심으로 볼 수가 있다. 이 심해 생태계에 야키시리구멍쇠미역이 우점종으로 천이되어 경제성은 물론 생태계의 구조면에서도 바람직하지 않아 이를 개선하고, 우량으로 구조를 바꾼다면 무형의 생산성

이 더욱 늘어나고 생태계는 보다 더 건강해 질 것으로 예상된다. 최근 화석 연료 사용의 증가와 경제 성장에 따른 산업 활동에 의한 대기 중 CO₂ 농도의 증가는 계속되고 있어 이로 인한 지구 온난화 현상이 급속히 진행되고 있다. 지구온난화(Global Warming)와 기후변화(Climate Change)는 인간의 건강, 식량안보, 사회기반 및 환경 등에 막대한 지장을 초래하여 세계적으로 계속적 발전의 장애 요소로 인식되고 따라서, 유엔기후변화협약(UNFCCC) 체결과 정부간패널(IPCC)에서 지구온난화와 기상이변에 대처하고 있다.

1980년 이후 우리나라의 1인당 CO₂ 배출량과 에너지 사용량 증가율이 경제협력개발기구(OECD)회원국 가운데 가장 높은 것으로 나타났으며, 우리나라 CO₂ 배출량은 5억8천2백만 톤으로(2003, <http://www.cdrs.re.kr>) 세계 9위, 지난 10년간 증가율은 연평균 5.0%로서 세계 1위이다. 따라서 앞으로 10년 이내에 의무감축 대상국으로 지정될 것으로 예상되고 있어 이에 대한 대책이 시급히 요구되어지고 있다.

연안의 서식하고 있는 해조류를 이용한 이산화탄소 흡수는 기후변화 대응체계에서 온실가스를 감축하는 하나의 방법으로 거론되고 있다. 해조류에 의한 온실가스 흡수가 육상식물에 비해 높다는 연구 결과가 있으며, 해조류의 온실가스 흡수 능력을 사회경제적으로 이용해야 될 것으로 판단된다. 따라서 심해생태계의 우점종인 개다시마의 서식지복원은 무형의 경제적 가치가 더욱 증대 될 것으로 생각된다.

표 25. 개다시마 양식 경영수지 분석(5ha 양식시)

항 목	품 목	금액(백만원)	산출내역(원)	
수입	개다시마	6,000	1. 건강식품으로 판매 : 60억원 가. 세부내역 - 개다시마를 이용한 환가공품 1박스 (120g×3병) 당 60,000원 판매 - 개다시마 1kg당 5병 제조 - 5ha 양식시 180톤 생산중 약 60톤 가공가능 - 60,000kg×5병×60,000원(3개입 한 박스당 금액)/3=60억원 소득예상	
지출	합계		4,457	
	고정비	양식장 감가상각비 등	840	- 인건비 및 감가상각비 등 4천만원×12개월 = 4.8억원 - 시설보수비 3천만원×12개월=3.6억원
		종묘대금	200	- 종묘생산 대금(200틀기준) = 2억원 · 모조 및 양성장운영 등
	변동비	운영비	2,400	- 월간 2억원×12개월 24억원 양식장 운영비 등
		유통망유지	360	- 월간 3천만원×12개월= 3.6억원 · 직접판매 및 인터넷 등
		포장비	57	- 병 포장비 90,000kg×5병=450,000개×100원 =0.45억원 - 박스 포장비 450,000/3 =150,000개×80원 =0.12억원
		홍보비	240	- 월간 2천만원×12개월=2.4억원
		기타잡비	360	- 월간 3천만원×12개월=3.6억원 · 기타 운영비등
순수익	수입-지출	1,543		
※ 약 5ha의 양식시(1ha당 100m 양성줄 20개시설 기준)				

표 26. 개다시마 양식 경영수지 분석(10ha 양식시)

항 목	품 목	금액(천원)	산출내역(원)	
수입	개다시마	10,000	1. 건강식품으로 판매 : 100억원 가. 세부내역 - 개다시마를 이용한 환가공품 1박스 (120g×3병) 당 60,000원 판매 - 개다시마 1kg당 5병 제조 - 10ha 양식시 300톤 생산중 약 100톤 가공가능 - 100,000kg×5병×60,000원(3개입 한 박스당 금액)/3=100억원 소득예상	
지출	합계		7,390	
	고정비	양식장 감가상각비 등	1,080	- 인건비 및 감가상각비 등 7천만원×12개월=8.4억원 - 시설보수비 2천만원×12개월=2.4억원
		종묘대금	400	- 종묘생산 대금(400틀기준) = 4억원 · 모조 및 양성장운영 등
	변동비	운영비	4,320	- 월간 3.6억원×12개월=43.2억원 양식장운영비 등
		유통망유지	516	- 월간 4천3백만원×12개월 5.16억원 · 직접판매 및 인터넷 등
		포장비	114	- 병 포장비 180,000kg×5병=900,000개×100원 =0.9억원 - 박스 포장비 900,000/3 = 300,000개×80원 =0.24억원
		홍보비	360	- 월간 3천만원×12개월=3.6억원
	기타잡비	600	- 월간 5천만원×12개월=6억원 · 기타 운영비등	
순수익	수입-지출	2,610		

※ 약 10ha의 양식시(1ha당 100m 양성줄 20개시설 기준)



그림 81. 1990년대 개다시마 군락지(좌)와 머구리잠수부의 채취모습(우).



그림 82. 건강식품으로 판매되는 개다시마 .

제 4 장 참 고 문 헌

- 강제원. 1968. 한국동식물도감. 식물편(해조류) 465pp.
- 김미정, Long-Guo Jin, 진형주, 조지영, 박중연, 장영진, 홍용기. 2001. 한국주변해역 가리비로부터 분리한 18S rDNA의 염기서열 분석. 한국수산학회지 34(2). 137-444.
- 김영대, 김형근, 이주, 홍용기. 2003. 동해안 긴잎돌김 (*Porphyra pseudolinearis*)의 성숙기 특성. 생명과학회지 13. 359-364.
- 김영대, 최재석, 이주, 손용수, 홍용기. 2003. 한국산 해산 홍조류 긴잎돌김 (*Porphyra pseudolinearis* Ueda)에서의 원형질체 분리. 생명과학회지 13. 516-521. (BK21)
- 김형근, 이주일, 이승복, 박중구. 1999. 강릉연안 다시마의 분포와 현존량. 삼척대 환경기술연구소 1(1). 153-158.
- 박선미, 박수일, 허민도, 홍용기. 1999. 녹차추출물을 이용한 어병세균의 collagen 분해 효소 및 생육 억제. 한국어병학회지 12. 83-88. (국내)
- 박정홍. 1975. 한국산 양식 다시마류의 형태학적 연구. 부산수대연구보고 15(1,2). 34-47.
- 박흥기, 정은영, 이유정, 정종문, 홍용기. 2002. 낙동강 하류에 분포하는 남조류 *Microcystis aeruginosa*의 무균분리 및 16S rDNA 유전자 염기서열 분석. 한국생명과학회지 12. 158-163.
- 裴健雄, 張貞源, 成文鉉. 1977. 다시마 養殖에 관한 研究. (4) 無機質 培養에 의한 다시마 種苗의 成培養. 水振研究報告 16. 151-163.
- 백국기. 1977. 다시마 종묘 배양에 관한 연구 (I)발생과정과 부착효과. 수진연구보고 17. 53~65.
- 백국기, 박병하. 1979. 2년생 참다시마 양성시험. 수진사업보고 49. 281-321.
- 백국기, 변충규. 1973. 강원 연안에서의 참다시마 생장에 관하여. 수진연구보고 11. 79-92.
- 서근한, 안갑환, 조문철, 조진구, 진형주, 홍용기. 2001. 알송이 모자반 *Sargassum confusum*을 이용한 Pb 및 Cr의 생물학적 흡착 및 탈착. 한국수산학회지 34(1). 1-6.
- 서정길, 김찬희, 배운정, 문호성, 김근용, 박희연, 윤호동, 김창훈, 변대석, 홍용기, 박남규. 2003. 항균성펩타이드인 Mastoparan B의 살조효과. 한국어병학회지 16(3). 193-201. (2003 BK21)
- 손용수, 김성철. 1994. 쇠미역 *Costaria costata* 양식기술개발시험. 동수연사업보고. 157-161.

- 이인규, 강제원. 1986. 한국산 해조류의 목록. 한국조류학회지 1. 311-325.
- 장정원. 1975. 양식다시마의 월하 생태조사. 수진사업보고 31. 5-21.
- 장정원, 정덕영. 1971. 다시마 양식에 관한 연구 (2) 애기다시마 월하에 대하여. 수진연구보고 8. 31-43.
- 장정원, 정덕영, 배건웅, 윤문남. 1973. 다시마 양식에 관한 연구 (3) 참다시마의 생장비교 시험. 수진연구보고 11. 37-57.
- 조은섭, 서귀문, 이상준, 홍용기. 1998. Application of FITC-conjugated lectin probes for the recognition and differentiation of red tide microalgae. J. Fish. Sci. Tech 1. 250-254. (국내).
- 허종수, 장정원, 정덕영, 배건웅, 윤문남. 1972. 다시마 양성 시험. 수진사업보고 14. 9-87.
- 홍용기. 1998. 유용 해조류의 생물공학 및 분자생물학적 특성. Algae 13. 251-260. (국내)
- Long-Guo Jin, 김명숙, 조지영, 진형주, 홍용기. 2002. 한국산 잇바디돌김 (*Porphyra dentate*)의 핵 18S rDNA 염기서열 분석. 한국생명과학회지 12(4). 427-432.
- Long-Guo Jin, 김명숙, 최재석, 조지영, 진덕희, 홍용기. 2003. 한국산 참김 (*Porphyra tenera*) 의 핵 18rDNA 염기서열 분석. 한국수산학회지 36. 35-38.
- Long-Guo Jin, 김명숙, 최재석, 조지영, 진형주, 홍용기. 2000. 여름철 서식 한국산 홍조류 둥근돌김(*Porphyra suborbiculata*)의 형태 및 18S rDNA 염기서열. 한국수산학회지 33(6). 489-495.
- Long-Guo Jin, 김명숙, 최재석, 조지영, 진형주, 홍용기. 2002. 한국산 방사무늬김 (*Porphyra yezoensis*) 의 핵 18S rDNA 염기서열 분석. 한국수산학회지 35(6). 633-638.
- Long-Guo Jin, 김영대, 김명숙, 진형주, 조지영, 최재석, 홍용기, 김형근. 2000. 긴잎돌김 *Porphyra-pseudolinearis*의 엽체형간 18S rDNA 염기서열 상동성. 한국수산학회지 33(6). 496-500.
- Abe, E. K. Matsuyama and Y. Tsuji. 1982. On the reclonization of *Laminaria relioiosa* Miyabe, in Oshoro Bay. Hokkaido. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Sta 24. 41~50.
- Choi J. S., Cho J. Y., Jin L. G., Jin H. J., Lim H. K., Hong Y. K., 2002. Procedures for the axenic isolation of chonchocelis and monospore for the red seaweed *Porphyra yezoensis*. J. Appl. Phycol. 14. 115-121.
- Fang. T. C., C. Y. Wu, B. Y. Jiang, J. J. Li and K. Z. Ren. 1962. The breeding of a

- new breed of haidai (*Laminaria japonica* Aresh) and its preliminary genetic analysis. *Acta Bot. Sinica* 10. 197-209.
- Funano, T. 1980. Ecological and maricultural studies on *Laminaria japonica* growing on the shores of Date City, Hokkaido. I. Ecology of *L. japonica*. *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Sta* 22. 17-77.
- Funano, T. 1981. Ecological and maricultural studies on *Laminaria japonica* growing on the shores of Date City, Hokkaido. II. Technical approaches to create laminarian forests by concrete blocks and stones. *ibid* 23. 9-52.
- Funano, T. 1983a. The ecology of *Laminaria religiosa* Miyabe. I. The life history and the alteration of nuclear phases of *Laminaria religiosa*, and the physiological ecology of the gametophytes and the embryonal sporophytes. *ibid* 25. 61-109.
- Funano, T. 1983b. The ecology of *Laminaria religiosa* Miyabe. II. The ecology of the populations different image and site in Oshoro Bay and its surroundings, Otaru City, Hokkaido. *ibid* 25. 111-186.
- Funano, T. and Y. Sakai. 1967. Ecological studies on 2-years-old *Laminaria religiosa* prox. growing on the coast of Oshoro Bay, Hokkaido, Japan. *Hokkaido fish. exp. sta* 8. 1-37.
- Hasegawa, Y. 1962. An ecological study of *Laminaria angustata* Kjellman on the coast of Hidaka prov. Hokkaido. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.* 24. 116-138.
- Jin H. J., Y. S. Kim, M. A. Dunn. 2003. Refolding and purification of unprocessed porcine myostatin expressed in *E. coli*. 2003 Annual Meeting American Society of Animal Science. 81. supplement 1. pp305.
- Hong Y. K., Sohn C. H., Lee K. W., and Kim H. G., 1997. Nucleic acid extraction from seaweed tissues for the polymerase chain reaction. *J. Mar. Biotechnol.* 5. 95-99. (국외SCIE 1.416)
- IOMF(Section of Seaweed Cultivation, Institute of Marine Fisheries, Qindao, & Section of Seaweed Genetic and Breeding, Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qindao). 1976. The breeding of new varieties of haidai(*Laminaria japonica* Aresch) with high production and high iodine content. *Sci. Sinica*. 19. 243-252.
- Jeong J. H., Jin H. J., Sohn C. H., Suh K. H., Hong Y. K., 2000. Algicidal activity of

- the seaweed *Corallina pilulifera* against red tide microalgae. J. Appl. Phycol 12. 37-43.
- Jin H. J., Dunn M. A., Borthakur D, Kim Y. S., 2004. Refolding and purification of unprocessed porcine myostatin expressed in *Escherichia coli*. Protein expression and purification. 35. 1-10.
- Jin HJ, Hong YK. 2000. Factors Influencing growth and algicidal substance production by cultures of the *Corallina pilulifera*. 한국조류학회지 학술발표회. pp. 35.
- Jin H. J., Jin L. G., Hong S. Y., Hong Y. K., 2000. Effect of photosensitizer against anti red tide - 동해안 해조장조성 연구.
- Jin H. J., Kim J. H., Sohn C. H., DeWreede R. E., Choi T. J., Tower G. H. N., Hudson J. B., and Hong Y. K., 1997. Inhibition of Taq DNA polymerase by seaweed extracts from British Columbia, Canada and Korea. J. Appl. Phycol 9. 383-388. (국외SCI 0.993)
- Joon Yeong Kwon, Ji Won Park, Yong-Han Lee, Jung-Youn Park, Yong-Ki Hong, and Young Jin Chang. 1999. Morphological variation and genetic relationship among populations of the shortnecked clam *Ruditapes philippinarum* collected from different habitats. J. Fish. Sci. Tech. 2. 98-104. (국내)
- Kain, J. M., 1967. Population of *Laminaria hyperborea* at various latitudes. Helgolander Wiss. Meeresunters. 15. 489~499.
- Kain, J. M., 1971. The biology of *Laminaria hyperborea* IV. Some Norwegian populations. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 51. 387-408.
- Kanda, T., 1936. On the gametophytes of some Japanese species of Laminariales I. Sci. Rep. Inst. Alg. Res. Fac. Sci. Hokkaid Imp. Univ. 1(2). 221-260.
- Kanda, T., 1938. On the gametophytes of some Japanese species of Laminariales II. ibid 2(1). 87-111.
- Kanda, T., 1941. On the gametophytes of some Japanese species of Laminariales III. ibid 3(2). 155-193.
- Kaneko, T., 1972. Sporogenesis in *Laminaria japonica* var. *ochotensis* Okamura. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Sta 14. 45-53.
- Kaneko, T., 1973. Morphology of the female gametophyte and young sporophyte of *Laminaria japonica* var. *Ochotensis* Okamura in nature. ibid 15. 1-18.

- Kang J. W., 1966. On the geographical distribution of the marine algae in Korea. Bull. Pusan. Fish. Coll 7. 1-125.
- Kawashima, S., 1983. Sporangial sorus formation of *Laminaria angusta* Kjellman. Jap. J. Phycol 31. 208-216.
- Kim Y. D., Lee J. Y., Hong Y. K., Hikima J., Hirono I. and Aoki T., 1997. Molecular cloning and sequence analysis of transferrin cDNA from Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Fish. Sci 63. 582-586. (국외SCI 0.525)
- Nam K. W., C. S. Lee, S. D. Lee, J. W. Chang and Y. C. Kim. 1985. Ecological studies on *Laminaria religiosa* Miyabe of the Coast in kangwon Province of Korea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency. 36. 89-103.
- Niihara, Y., 1975. Physiological studies of *Laminaria japonica* var. *ochotensis*. The effect of temperature, light intensity and salinity upon photosynthesis and respiration of young sporophytes. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Sta 17. 11-17.
- Park J. H., Lee J. H., Kim Y. S., Hong Y. K., Kong I. S., 2001. Molecular cloning and expression of a sodium-driven flagella motor component gene (mot X) from *Vibrio fluvialis*. J. Microbiol. Biotechnol. 11. 973-978. (국내 SCI). (2002. 10. Sea Grant지원).
- Sasaki S., 1969. L An ecological study of *Laminaria angustata* var. *longissima* (M.)Miyabe on the coast of kushiro prov., Hokkaido. I. on the life of winter population. sci. Rep. Hokkaido fish. Exp. Stat 10. 1-42.
- Sohn C. H., 1987. Phytogeographical characterization and quantitative analysis of algal communities in korea. Ph.D. Thesis. CNU. pp.111.
- unano T., 1983. The ecology of *Laminaria religiosa* MIYABE. II. The ecology of the population different in age and site in Oshoro Bay and at its surroundings Otara City, Hokkaido. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Sta 25. 111-186.
- Yabu H., 1964. Early development of several species of laminariales in Hokkaido. Mem. Fac. Fish. hokkaido Univ. 12(1). 1-72.
- Yanagida K., M. Kakichi and Y. Tsuji, 1971. Ecological Study on *Laminaria japonica* var. *ochotensis*(Miyabe)Okamura in the vicinity of Monbetsu on the Okhotsh Sea Coast of Hokkaido. Japan. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Sta 13. 1-18.
- Hong Y. K., L. G. Jin, J. S. Choi, H. J. Jin, H. W. Shin, 2001. Isolation of pollutant stress-responding genes from the seaweed *Porphyra yezoensis* tissue. 70th

anniversary of the Japanese society of fisheries science. pp.138

Young Sik Kim, Han Gil Choi, Ki Wan Nam, Yong-Ki Hong, and Jong Hwa Lee.

1998. Morphology and Reproduction of *Acrosorium polyneurum* and *A. yendoi* (Delesseriaceae, Rhodophyta) in Korea. J. Fish. Sci. Tech 1. 1-6.

船野隆. 1978. 北海道沿岸に産するコンブの交配賣験. 北水試月報 35(6). 23-42.

船野隆. 1980. 北海道沿岸に産するコンブの交配賣験(2). 北水試月報 37. 181-207.

船野隆, 石川政雄. 1974. 促成マコンブの種苗育成および本養成試験. 北水是月報. 31(10). 1-12.