

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001247-01

제주도 특산 해조류 넓미역의 대량양식기술개발
Mass cultivation of *Undariopsis peterseniana* Phaeophyta,
an endemic species in Jeju island

연구기관 : 목포대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “제주도 특산 해조류 넓미역의 대량양식기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2011년 11월 일

주관연구기관명 : 목포대학교

주관연구책임자 : 박찬선

연 구 원 : 박경양, 조현상,
박갑주, 이재경,
정남주, 이재환,
이건웅, 임성주,
박건영, 왕세호,
유병동

협동연구기관명 : 국립수산과학원
해조류바이오연구센터

협동연구책임자 : 황은경

연 구 원 : 공용근, 하동수,
황미숙, 이상용,
박은정, 황일기,
김미란, 심철홍,
박남희, 조오진

요 약 문

I. 제 목

제주도 특산 해조류 넓미역의 대량양식기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 목 적

우리나라 해조류 양식산업의 구조개선과 가격하락 문제를 개선하기 위하여, 해조류 양식 품종의 다변화는 꾸준히 수행되어야 하는 과제이다. 넓미역은 미역속 가운데에서 남방계 품종에 해당되며 제주지역에 제한적으로 분포하는 보호대상 해조류이다. 최근 넓미역에 대한 관심이 높아지고 있으나 자연자원 자체가 제한적이므로 자원의 보호와 효율적인 이용방안 마련에 대한 요구가 높아지고 있다.

따라서 본 연구에서는 넓미역 개체군의 생리생태학 및 양식학적 연구를 통하여 종묘생산 및 양식기술을 개발함으로써 해조류 양식품종의 다양화를 유도하고, 양식기술을 널리 보급함으로써 어업인의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 넓미역의 대량생산을 통한 고부가가치성을 창출하는 의약품용 원료 공급원으로 이용하고자 한다.

2. 필요성

넓미역 [*Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura]은 갈조류 다시마목 미역과에 속하는 일년생 해조류로 우리나라 제주도와 일본의 큐우슈우 서북부 지방에 분포한다(Kang, 1968; Kawashima, 1989). 우리나라에서의 분포는 제주 성산포와 우도사이 해협을 산호밭에 제한적으로 서식하고 있다. 제주지역에서는 넓미역을 씹 형태로 식용하여 왔으나 근래 넓미역의 자원량이 크게 줄면서 그 이용이 제한되고 있다. 한편, 정부에서는 최근에 넓미역을 보호대상 해조류로 지정하여 일정기간 채취를 금지하고 있다. 즉, 넓미역은 우리나라의 경우 제주도라는 매우 제한된 지역에만 서식하고 있으며, 자연군락의 규모도 점점 줄어들어 멸종 가능성이 있는 해조류로 인위적인 증식을 통한 서식지 확대와 넓미역 자연자원의 보호와 자원의 효율적인 이용이 강구되어야 하는 종이다.

넓미역은 우리나라 제주도와 일본의 남부해역의 수심 15 m 부근에 서식하고 있는 지역 특산종으로 현재까지 몇몇 분류학적 연구 (Migita, 1963; Kang, 1966; Lee and Koh, 1991; Lee, 1998)와 미역속간 종들의 교잡연구 (Saito, 1972) 등 제한된 연구만이 수행되었다. 선행된 연구에서 넓미역은 4월에 주걱모양의 3-5 cm 엽장으로 생장하기 시작하여 6월경 번무한 군집을 형성하고 7월에 성숙하며, 8월에는 엽체가 소실되는 것으로 알려져 있다 (Lee, 1998). 그러나 현재까지 보고된 넓미역에 관한 연구들은 일년중 넓미역의 특정 성장단계 시료만을 대상으로 분석된 결과가 대부분이며, 생태학적 측면에서 이 종의 연주기적 생장과 성숙주기를 상세히 밝히기 위한 연구는 수행된 바 없다.

넓미역은 전통적으로 제주 지역에서 횃감의 씌용으로 이용되어 왔으나, 자연자원이 급감하면서 수산자원관리법 시행령상의 유용 수산자원으로서 채취금지기간 설정의 대상이 되었다 (Hwang *et al.*, 2010). 최근 Hwang *et al.* (2010)은 보호대상 넓미역의 생태학적 연구를 통해 자연군락에서 생장 및 성숙 주기를 밝혔으며, Hwang *et al.* (2011a)는 해조류 양식이 주로 이루어지고 있는 전남 완도지역에 넓미역을 도입하여 시험양식에 성공함으로써 대량양식을 위한 적정 생육환경 조건을 구명하였다. 이외에도 남방계 미역 품종인 넓미역의 생리생태학적 특성을 이용하여 미역속간의 교잡 연구 등이 수행된 바 있으나 (Migita, 1963; Kang, 1966; Saito, 1972), 지속적인 품종 개량이나 산업적인 이용에는 이르지 못하였다. 이는 대형 갈조류군의 경우 배우체와 포자체의 세대교번이 대부분 이형세대교번으로 이루어지기 때문에 이들의 품종개량이나 교잡을 용이하게 하기 위해선 암수배우체의 분리, 배양 및 성숙유도 등의 기법이 요구되나 이와 같은 접근은 현재까지 시도된 바 없다. 유리배우체의 배양에 의한 증식 방법은 소량의 성숙 엽체만으로도 많은 양의 배우체 확보가 가능하며, 확보된 배우체는 무성적으로 대량증식을 통해 지속적인 계대배양이 가능할 뿐 아니 클론 배우체의 유도를 통한 우량 품종의 교배와 선발육종의 기초를 다질 수 있는 유용한 방법이다 (Wi *et al.*, 2008). 이러한 유리배우체의 대량배양을 위한 재생 및 성숙 유도 조건은 감태 (Wi *et al.*, 2008) 및 곶피 (Hwang *et al.*, 2010) 등에서 구명된 바 있으나, 넓미역의 경우 현재까지 유리배우체의 분리, 재생 및 성숙 유도 조건이 밝혀진 바 없다.

따라서 이 연구에서는 넓미역 자연개체군의 생태학적 시계열성 연구를 통한 넓미역의 생장과 성숙주기를 정확히 밝힘으로써 보호대상종인 넓미역의 인위적인 증식 및 자연개체군의 효율적인 보호 및 보전 관리의 과학적 근거를 마련하고자 하였다. 또한 남방계 미역 품종인 넓미역의 대량양식 조건을 구명하고, 넓미역 유리배우체의 분리, 재생 및 성숙 조건 구명을 통한 유리배우체 대량배양 조건을 밝힘으로써 미역속의 품종개량과 교잡 연구에 기여하고, 나아가서는 보호대상종인 넓미역의

안정적인 종묘수급방안 마련과 자연개체군의 효율적인 보호 방안 마련에 기여하고자 하였다.

1) 기술적 측면

우리나라의 해조자원은 현재까지 알려진 것이 총 735종으로 보고 (이와 강, 2002) 되어 있으나 그 가운데 실제로 이용되고 있는 종류는 20종 이내이며 (손, 1994), 대량 양식은 김, 미역, 다시마, 톳 등의 소수에 국한되어 이루어지고 있다. 따라서 효율적인 해조자원의 이용 및 해조류양식 산업의 품종 다변화를 위하여 다양한 양식 대상종의 개발에 노력을 기울여야만 하는 실정이다.

제주도 특산 해조류 넓미역은 미역속의 해조류로 우리나라의 제주도와 일본의 큐우슈 서북부 지방에 분포한다. 제주지역에서의 분포는 제주 성산포와 우도사이의 협해의 산호밭에 주로 제한적으로 서식하고 있다. 제주 지역에서는 넓미역을 쌈용으로 식용하여 왔으나 근래 자원량이 크게 줄면서 이용이 제한되고 있다. 정부에서는 최근에 넓미역을 보호대상 해조류로 지정하여 일정기간 채취를 금지하고 있는 해조류이기도 하다. 따라서 넓미역은 우리나라의 매우 제한된 지역에 서식하고 있으며, 그 자연군락의 규모도 점점 줄어들고 있는 멸종 위기에 처해있는 해조류로써 인공적인 증식을 통해 넓미역 천연자원의 보호와 자원의 효율적인 이용이 이루어져야 한다.

2) 경제·산업적 측면

우리나라 연안 해역에서 분포하는 것으로 기록된 해양식물은 남조류 48종, 녹조류 82종, 갈조류 139종, 홍조류 406종, 그 외에 와편모조류 등의 단세포성 조류로 구성되어 있다. 이들 상당수의 종들이 인간의 식량 자원 뿐 아니라 의약품, 공업용 등으로 이용이 되고 있으나 최근 우리나라의 환경 오염과 해양 생물의 남획 그리고 무분별한 외래종 유입 등으로 인하여 해양 생물 자원이 고갈되고, 유용 해양 생물의 유전적 열성화가 진행되고 있는 실정이다. 따라서 우리나라 연안의 해조 자원을 꾸준히 개발하고 종별 양식기법을 발전시키므로써 유용 해조류의 종 확보와 보존 기반의 마련이 시급한 실정이다.

3) 사회·문화적 측면

온대 해역에 속하는 우리나라 주변 해역의 해조류 자원은 매우 높은 종 다양성을 보유하고 있으며 이러한 유전자원 pool은 미래의 유전자 전쟁 등을 대비하는 매우 중요한 자원이 될 것이다. 따라서 제주도의 특산 해조류인 넓미역의 양식기법을

발전시키고 새로운 이용방안을 제시하므로써 우리나라 해조류 자원의 이용도를 높일 수 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 넓미역의 생태학적 연구

가. 서식환경 및 군락 면적 조사

넓미역의 분포조사는 넓미역이 주로 서식하는 제주도 성산포 종달리와 우도 사이 해역의 수심 12~20 m 지역을 대상으로 SCUBA diving에 의한 정성적 목시조사로 실시하였다. 환경조사는 매월 수온, 염분, 용존산소 및 전기전도도를 YSI-85 (YSI Inc. USA)로 현장에서 측정하였으며, 수온은 표층수온과 15m의 저층수온으로 구분하여 측정하였다.

나. 분포 조사

제주도 연안의 5개 지점을 선정하여 2009년 3월부터 2009년 7월까지 분포조사를 실시하였다. 5개 지점의 해조상 조사는 넓미역이 분포할 것으로 추정되는 수심 12~16m의 지역을 선정하여 이루어졌다. 군집조사는 조하대 수심 12~16m 지역을 대상으로 하여 10cm×10cm의 소방형구 25개로 나누어진 50cm×50cm의 대방형구를 연속적으로 옮겨 놓아가며 출현종의 피도와 빈도를 조사하였다. 우점종과 아우점종은 중요도 값을 근거로 정하였으며 중요도 값은 야외 조사에서 얻어진 출현종의 빈도와 피도 값을 이용하여 계산하였다.

다. 생장 및 성숙 주기

넓미역의 생장 및 성숙 주기는 2008년 12월부터 2009년 10월까지 매월 SCUBA diving을 실시하여, 50×50cm 방형구법을 통한 정량조사법으로 실시되었으며, 시료는 최소한 3개 이상의 방형구내에 분포하는 넓미역 엽체를 전량 채취하였다. 현존량 분석은 방형구별 넓미역의 출현 개체수 및 중량을 단위면적당 습중량 및 밀도로 환산하였다. 월별 엽장 빈도분포는 매월 채집된 넓미역 시료의 엽장을 0~300cm 구간 까지 25cm 단위별 크기 그룹으로 구분하여, 월별로 출현한 전체 엽체수에 대한 각 크기 그룹의 비율로 나타내었다.

라. 성숙적산온도의 추정

넓미역의 성숙을 위한 성숙 유효 적산온도의 추정은 생장 자료를 근거로 하여 넓미역의 생물학적 영점온도를 15°C로 설정하였고, 조사지점의 표층수온 측정치와 제주 지역의 연안수온 관측치 (2003년부터 2008년까지 5개년 동안 넓미역의 주생장기인 12월부터 익년 5월까지의 누적치를 평균한 값)를 근거로 하여 1일 평균 생육수온에서 성숙 유효 하한수온 (15°C)을 빼 값을 누적시켜 구하였다.

2. 넓미역의 생리학적 연구

가. 넓미역 엽체의 부위별 광합성능 비교

넓미역 엽체의 부위별 광합성능의 차이를 알아보기 위하여 엽상체 부분과 자낭반이 형성된 부위에서 각각 직경 1.1 cm 크기의 엽편을 디스크 모양으로 절취하여 디스크의 중량과 두께 그리고 각각의 광합성능을 측정하였다. 디스크의 절취는 각각 5개의 개체로부터 한 개씩 절취하여 생장대 부분과 자낭반 부위의 5반복 실험이 가능하도록 하였다. 광합성능의 측정은 부위별 디스크를 암적응시킨 후 PAM-2000 (Walz, Germany)를 사용하여 최적양자수율 (optimum quantum yield)을 구하였다.

나. 실내 배양 환경 연구

(1) 생육 단계별 실내 배양 환경 연구

(가) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 배우체의 생장

온도 및 조도 조건은 각각 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도 조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다. 광주기 조건별 배우체의 생장 실험은 온도와 조도를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 각각 10:14, 12:12 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 넓미역 배우체의 생장도를 측정하였다. 넓미역 배우체의 생장도 측정은 엽장 및 엽폭을 측정하였다.

(나) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 아포체의 생장

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

14:10h (L:D)의 조건하에서 넓미역 아포체의 성장도를 측정하였다. 넓미역 아포체의 성장도 측정은 엽장, 엽폭 및 1개의 암배우체당 아포체 수를 측정하였다.

(다) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 포자체의 성장

온도 및 조도 조건은 각각 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도 조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다. 광주기 조건별 포자체의 성장 실험은 온도와 조도를 15°C 및 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 각각 10:14, 12:12 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 넓미역 포자체의 성장도를 측정하였다. 넓미역 포자체의 성장도 측정은 엽장 및 엽폭을 측정하였다.

(2) 유리배우체 배양 조건

(가) 유주자 수집 및 암수배우체 분리

본 연구에 사용된 성숙 모조는 2009년 5월에 제주도 북제주군 우도면 수심 12-15m에서 채취하였다. 채취된 성숙 모조는 Ice box에 넣어 즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수회 세척한 후 멸균해수를 200 mL 채운 500 mL 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)을 이용하여 10°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D) 조건에서 4시간 동안 유주자 방출을 유도하였다. 방출된 유주자액 0.1mL를 취하여 12 multi well-plate를 이용한 희석법으로 유주자액을 차례로 분주하여 밀도를 낮추었다. 4-5일후 배우체가 암수로 구별되면 도립현미경 (Axio Observer A1, Carl zeiss, Germany)하에서 각각 암배우체와 수배우체로 구분하여 별도의 직경 5 cm의 멸균된 Petri dish에 수용하여 PESI 배양액 (Tatewaki, 1966) 20mL을 넣어 배양하면서 배양액은 2-3일 간격으로 환수하였다.

(나) 유리배우체 단편의 절단 크기별 재생

유리배우체 단편의 절단 크기별 재생을 파악하기 위하여 무성적으로 대량배양된 암수 배우체 덩어리 0.1g-fresh wt.를 멸균해수 100 mL와 함께 250 mL 비이커에 넣고 각각 호모게나이저 (DI 25 basic, GMBH & Co., Germany)의 회전속도 8,000, 9,500, 13,500, 20,500 및 24,000 rpm) 구간별로 60초간 세단한 후 15°C와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조건에서 12 multi well-plate를 사용하여 20일간 정치배양한 후 배우체의 길이생장과 세포수를 도립현미경 하에서 측정하였다. 세단된 배우체의 크기 그룹별 길이 및 세포수의 생장은 배양 개시시의 배우체 평균길이 및 평균 세포수를 배양 종료시의 그것과 비교하여 구하였다.

(다) 배양조건별 유리배우체 단편의 생장

유리배우체의 세단후 유리배우체 단편의 생장 및 성숙 유도에 유리한 최적 환경 조건을 파악하기 위해 덩어리로 자란 암수 유리배우체를 각각 호모게나이저로 재생 장이 가장 좋았던 세단 조건인 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여, 12 multi well-plate에 PESI 배지 1mL를 채우고 한 well당 1개씩의 암수배우체를 각각 수 용하였다. 배양조건은 4개 온도구간 (5, 10, 15, 20℃)과 4개 조도구간 (5, 10, 20, 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 3개 광주기 구간 [10:14, 12:12, 14:10h (L:D)]으로 설정하여 Multi room incubator (DS-14MCLP)를 이용하여, 배우체의 길이생장을 도립현미경 으로 관찰하였다. 조도의 측정은 LI-1400 (LI-COR, USA)으로 하였고, 조도 구간의 조정은 중성필터 (Lee Filter) ND 209, 210, 211호를 사용하여 조절하였다. 길이생장 은 호모게나이저 로 분쇄 후 절단된 배우체는 분지가 없는 상태의 것을 선별해 측정 하였으며 PESI 배지는 7일마다 교환해 주었다.

(라) 배양조건별 유리배우체 단편의 성숙

유리배우체의 세단후 유리배우체 단편의 생장 및 성숙 유도에 유리한 최적 환경 조건을 파악하기 위해 덩어리로 자란 암수 유리배우체를 각각 호모게나이저로 재생 장이 가장 좋았던 세단 조건인 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여, 12 multi well-plate에 PESI 배지 1mL를 채우고 한 well당 1개씩의 암수배우체를 각각 수 용하였다. 배양조건은 4개 온도구간 (5, 10, 15, 20℃)과 4개 조도구간 (5, 10, 20, 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 3개 광주기 구간 [10:14, 12:12, 14:10h (L:D)]으로 설정하여 Multi room incubator (DS-14MCLP)를 이용하여, 배우체의 성숙 여부를 도립현미경 으로 관찰하였다.

3. 넓미역의 양식학적 연구

가. 유주자 인공채묘

(1) 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘

넓미역 성숙 엽체는 2009년 5월 제주도 우도에서 채취하였으며, 채집 즉시 실험 실로 운반하였다. 유주자의 방출은 자낭반이 형성된 엽체 부위만을 선별 절단하여 약 1 시간정도 음건시킨 후 여과해수를 1/4 정도 채운 30L 사각 수조에 수용하여 유주자 방출을 유도하였다.

(2) 적정 채묘 시기 구명

넓미역의 적정 채묘 시기 구명을 위하여 2008년 12월부터 2009년 10월까지 제주도 북제주군 우도면 수심 12-16m에 분포하는 넓미역 자연개체군에서 방형구법에 의한 정량조사를 통하여 매월 넓미역의 성숙 엽체 출현 비율 및 자낭반 형성 면적을 조사하였다.

(3) 채묘기질별 성장 및 채묘효과

넓미역 유주자의 인공채묘시 채묘기질의 영향을 알아보기 위하여 크레모나사 21합사와 크레모나사 42합사로 구분하여 유주자를 채묘한 후 4개월간의 수조배양 기간중 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 배우체의 엽장, 1cm 당 배우체의 수를 측정하였다.

(4) 채묘시간별 성장 및 채묘효과

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

나. 유리배우체를 이용한 인공채묘

(1) 유리배우체의 대량배양

본 연구에 사용된 성숙 모조는 2009년 5월에 제주도 북제주군 우도면 수심 12-15m에서 채취하였다. 채취된 성숙 모조는 Ice box에 넣어 즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수회 세척한 후 멸균해수를 200mL 채운 500mL 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)을 이용하여 10°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D) 조건에서 4시간 동안 유주자 방출을 유도하였다. 방출된 유주자액 0.1mL를 취하여 12 multi well-plate를 이용한 희석법으로 그림 5와 같이 유주자액을 차례로 분주하여 밀도를 낮추었다. 4-5일후 배우체가 암수로 구별되면 독립현미경 (Axio Observer A1, Carl zeiss, Germany)하에서 각각 암배우체와 수배우체로 구분하여 별도의 직경 5cm의 멸균된 Petri dish에 수용하여 PESI 배양액 (Tatewaki, 1966) 20mL을 넣어 배양하면서 배양액은 2-3일 간격으로 환수하였다. 암수 배우체의 성장에 따라 배양용기를 250mL로 옮겨주고 PESI 배지를 첨가하여 각각의 암수배우체 덩어리가 직경 5mm 크기에 도달할 때까지 50-60일간 배양하였다.

(2) 유리배우체 채묘

암수배우체로 분리되어 각각의 3L 배양용기에서 증식된 넓미역 배우체를 혼합하여 야외 양식용 채묘틀에 채묘한 후 야외 양성시험에 이용하였다.

(3) 유주자와 유리배우체의 채묘효과 비교

넓미역의 유주자 채묘와 유리배우체 채묘방법의 효율성 비교를 위하여 유주자 채묘와 유리배우체 채묘를 실시하였다. 넓미역 유주자 수집을 위한 성숙 모조의 채집은 2010년 7월 제주도 우도면에서 실시하여 미역용 채묘틀 (크레모나사 21합사, 45×55cm)에 유주자를 채묘한 후 실험실로 옮겨 수조배양을 실시하였다. 유주자 채묘시 성숙 모조의 사용량은 채묘틀 1틀 당 약 200g의 자낭반을 사용하였다. 유리배우체의 채묘는 2008년 6월에 제주도 우도면에서 채취된 성숙 모조로부터 분리된 각각의 암수 유리배우체를 2010년 8월 27일까지 증식시켜 얻은 배우체 덩어리들을 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)로 분쇄후 혼합하여, 미역용 채묘틀 (크레모나사 21합사, 45×55cm)에 접종한 후 수조배양을 실시하였다. 유리배우체 채묘시 배우체의 양은 암수배우체 각각 3L 플라스크에서 채취된 배우체 중량 25g-fresh wt.을 암수 1:1의 비율로 1L의 여과해수와 혼합한 뒤 비닐봉투를 이용하여 채묘틀을 침적하는 방법을 사용하였다.

(4) 넓미역 유리배우체의 채묘방법별 밀도와 성장도

2010년 9월에 넓미역 암수 유리배우체의 비율을 1:2로 하여 30 g-fresh wt.을 멸균해수 1L와 함께 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)의 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여 채묘틀 (크레모나사 21합사, 45×55 cm)에 각각 살포식, 침지식 및 침지살포식으로 구분하여 유리배우체를 채묘하였다. 살포식은 유리배우체 분쇄액을 채묘틀에 살포하여 채묘하였고, 침지식은 채묘틀을 분쇄액에 적시는 방법으로 채묘하였다. 침지살포식은 50×60 cm 규격의 지퍼백을 이용하여 유리배우체 분쇄액과 채묘틀을 함께 넣어 강하게 흔들어주는 방법으로 채묘하였다.

(5) 넓미역 유리배우체의 농도별 부착밀도와 성장도

2010년 9월에 넓미역 암수 유리배우체의 비율을 1:2로 하여 30 g-fresh wt.을 멸균해수 1L와 함께 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)의 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여 채묘틀 (크레모나사 21합사, 45×55cm)에 침지살포식으로 유리배우체를 채묘하였다. 유리배우체 채묘시 배우체의 농도 조절은 배우체 분쇄액에 1L씩의 멸균해수를 첨가하여 희석시키는 방법을 사용하여 배우체 농도를 조절하였다. 채묘효과의 측정은 채묘후 종사 1cm 당 부착된 배우체의 수와 길이로 측정하였다.

다. 가이식

(1) 가이식 어장의 환경변화

가이식장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도, 유속, pH, 전기전도도, 수중광량, 영양염 등의 요소들을 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 2009년 10월부터 11월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다.

(2) 가이식 수심별 생장

가이식 실험은 2009년 10월부터 2009년 11월까지 37일간 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 수행할 예정이며, 환경측정은 수온과 수심별 수중광량을 측정하였다. 수중광량의 측정은 LI-1400 Data Logger (LI-Cor, USA)를 이용하여 7일 간격으로 수심 (0, 0.5, 1, 2, 3m)별로 측정하고, 측정시마다 5회 측정의 평균값으로 기록하였다. 가이식 수심은 각각 0.5, 1, 2 및 3 실험구별로 채묘틀을 수하식으로 시설하였으며, 넓미역의 생장 및 가이식 효과의 측정은 15일 간격으로 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 엽체의 길이생장 및 1cm 당 아포체 또는 유엽의 수를 측정하였다.

(3) 유주자와 유리배우체의 비교 가이식 생장

넓미역 유주자와 유리배우체의 채묘시 가이식 생장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 종사 10cm의 중량, 유엽의 엽장, 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다.

(4) 유리배우체의 채묘방법별 가이식 생장도

넓미역 유리배우체의 채묘시 채묘방법별 (살포식, 침지식 및 침지살포식) 가이식 생장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 종사 10cm의 중량, 유엽의 엽장, 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다.

(5) 유리배우체 농도별 가이식 생장도

넓미역 유리배우체 농도별 (100, 200, 400 개/mL) 가이식 생장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 종사 10cm의 중량, 유엽의 엽장, 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다.

(6) 해적생물상

가이식 기간중 넓미역 채묘틀의 종사에 출현한 해적생물상을 조사하였다. 해적생물상 조사는 30일 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

라. 양성

(1) 양성어장의 환경변화

적정 양성어장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도 및 전기전도도와 수중광량의 요소들을 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 2009년 12월부터 2010년 6월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다.

(2) 양성 생장도

양성실험은 2009년 12월부터 2010년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 실시하였으며, 양성 시설은 수평 연승식으로 본 양성 로프는 수심 2 m에 위치하도록 부자의 길이를 조절하였다. 매월 엽체의 생장도는 엽장, 엽폭, 엽중량, 주지길이 그리고 단위 m당 현존량과 개체수를 측정하였다.

(3) 양성 수심별 생장

양성 수심별 넓미역의 생장도는 2009년 12월부터 2010년 4월까지 수직 연승을 이용하여 수심 0.5-3 m까지 0.5 m 간격으로 구분하여 각각의 수심에서 엽체의 생장도를 비교하였다. 생장도의 측정은 엽장, 엽폭, 주지길이를 측정하였으며 50 cm 내에 부착된 모든 넓미역의 현존량을 해당 수심에서의 단위m당 현존량으로 환산하였다.

(4) 양성 수심별 수중광량의 표준화

넓미역의 양성 기간중 수중광량과 수심의 관계 표준화를 위하여 수중광량의 측정은 Li-Cor (LI-1400)을 이용하여 5회 측정한 값의 평균치를 구하였다. 광량측정 센서는 Spherical sensor를 이용하였다.

(5) 유주자와 유리배우체의 비교 양성 생장도

넓미역 유주자와 유리배우체의 채묘시 양성 생장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 12월부터 2011년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 0.5m에서 수평연승식 양성로프에 10cm 간격으로 3cm의 종사를 끼우기식으로 시설하여 1개월 간격으로 엽체의 엽장, 중량, 단위m 당 현존량 및 개체수를 측정하였다.

(6) 유리배우체의 채묘방법별 양성 성장도

넓미역 유리배우체의 채묘시 채묘방법별 (살포식, 침지식 및 침지살포식) 양성 성장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 12월부터 2011년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 0.5m에서 수평연승식 양성로프에 10cm 간격으로 3cm의 종사를 끼우기식으로 시설하여 1개월 간격으로 엽체의 엽장, 중량, 단위m 당 현존량 및 개체수를 측정하였다.

(7) 유리배우체 농도별 양성 성장도

넓미역 유리배우체 농도별 (100, 200, 400 개/mL) 양성 성장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 12월부터 2011년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 0.5m에서 수평연승식 양성로프에 10cm 간격으로 3cm의 종사를 끼우기식으로 시설하여 1개월 간격으로 엽체의 엽장, 중량, 단위m 당 현존량 및 개체수를 측정하였다.

(8) 해적생물상

2009년 12월부터 2010년 6월까지 양성기간중 넓미역 양성로프에 출현한 넓미역 이외의 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 뿔질 등이 주를 이루었으며, 1개월 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

마. 넓미역과 미역의 교잡

넓미역은 2008년 5월에 그리고 미역은 2004년 5월에 전남 완도군 약산면 시험어장에서 수집한 성숙 엽체로부터 분리한 유주자를 이용하여 암수 배우체를 분리하였다. 암수 배우체는 Westermeier et al. (2006)에 의해 언급된 바와 같이 주기적으로 분쇄해 주면서 낮은 조도 ($4-5.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 무성적인 상태로 억제 배양하였다. 넓미역 암수 유리배우체의 재생과 성숙을 조절하기 위한 최적배양조건의 구명은 Hwang et al. (2011)에 의하여 이루어진 바 있다. 따라서 이 조건을 활용하여, 넓미역 및 미역의 암수 유리배우체 클론들은 PESI 배지, $10-15^{\circ}\text{C}$ 및 $20-40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 각각 통기배양하면서 증식시켰다. 사상의 배우체들은 점차 공과 같은 형태의 덩어리로 자랐으며 직경 2mm를 넘으면 호모게나이저로 8,000 rpm에서 60초간 분쇄하여 $200 \mu\text{m}$ 크기로 잘라주었다. 이들 유리배우체 단편들은 충분한 양의 배우체로 자랄 때까지 지속적으로 증식시켰으며, 배지는 1주일에 한번씩 1/2를 교체해주었다.

암수배우체 클론은 각각 $50 \mu\text{m}$ 망목의 물러가아제를 이용하여 걸러준 후 3L 크기의 플라스크 분량이 될 때까지 세단과 증식을 반복하여 배양하였다. 암배우체는 세단을

하고, 멸균 처리한 4cm 길이의 크레모나사 절편 50개씩을 암배우체와 함께 플라스크에 함께 넣어 1개월간 통기배양하였다. 암배우체가 부착된 크레모나사 절편은 암배우체의 플라스크에서 꺼내어 수배우체 플라스크로 옮겨 14:10h (L:D) 광주기조건 하에서 1개월간 통기배양하였다. 크레모나사 절편은 일반적으로 미역이나 다시마 양식의 채묘에 이용되는 채묘틀에 사용되는 기질로, 폴리비닐계 섬유이며 직경은 1.43 ± 0.12 mm이다. 이 크레모나사는 4cm 길이로 잘라서 미리 70% 에틸알코올에 침적시킨뒤 dry oven에서 건조시켜 멸균하였다. 크레모나사 단편을 사용하는 이유는 소량의 유리배우체로도 효과적인 부착을 유도하기 위하여 사용하였다. 아포체의 부착이 확인된 크레모나사 단편은 직경 12mm의 폴리프로필렌 로프에 20cm 간격으로 끼워, 전남 완도군 약산면의 시험어장에서 양성 시험에 이용하였다.

(1) 넓미역과 미역 유리배우체 교잡종의 실내배양

넓미역과 미역 유리배우체 교잡종의 최적배양조건을 구명하기 위하여, 2010년 10월부터 11월까지 교잡실험을 수행하였다. 유리배우체는 6-10개의 세포를 가지는 필라멘트 크기로 세단하여 100 ± 20 mm 크기의 grid-SPL 배양용기에서 배양하였다. 모든 배양용기에는 50 ± 25 개/cm²의 암배우체 단편과 200 ± 50 개/cm²의 수배우체를 포함하도록 하여 암수의 성비가 1:4가 되도록 하였다. 배양조건은 3개의 광주기 조건 (10:14, 12:12 및 14:10h L:D), 4개의 온도 조건 (5, 10, 15 및 20°C) 및 4개의 조도 조건 (5, 10, 20 및 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 각각 넓미역 암배우체와 미역 수배우체의 교잡 구간 및 미역 암배우체와 넓미역 수배우체의 교잡 구간에서 아포체의 발달 여부를 측정하였다.

(2) 미역 암배우체와 넓미역 수배우체 교잡종의 야외 양성

암수배우체가 부착된 상태의 크레모나사 절편은 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D) 조건하에서 아포체 발달을 유도시켰으며, 이후 야외 양성 실험에 이용하였다. 넓미역 암배우체와 미역 수배우체간의 교잡 실험구는 아포체 형성율이 10%에도 미치지 못하였으므로, 아포체 형성율이 100%에 가까웠던 미역 암배우체와 넓미역 수배우체간의 교잡 실험구만 야외 양성실험을 실시하였다. 아포체의 부착이 확인된 크레모나사 단편은 직경 12mm의 폴리프로필렌 로프에 20cm 간격으로 끼워, 전남 완도군 약산면의 해조류바이오연구센터 시험어장에서 양성 시험에 이용하였다. 양성실험은 2010년 12월부터 2011년 6월까지 매월 1m의 양성 로프 내에 부착된 모든 엽체를 수거하여 엽체의 형태적 특징과 중량을 측정하였다.

4. 넓미역의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

넓미역 추출물의 피부노화방지 및 치료 후보물질로서의 가능성을 연구하기 위해 *in vitro* 레벨에서의 연구를 수행하였다. 즉, 넓미역추출물을 CCD-986sk cell line monolayer (human fibroblast, KCBL-21947)에 투여하여 피부세포에 대한 넓미역추출물의 피부세포 생리활성효과를 측정하였다.

나. 경제성 분석

넓미역 양식 어업의 경영분석은 크게 종묘생산부분과 양식부분으로 나누어 분석하였다. 넓미역의 종묘생산과 양식에 참여했던 시험어가를 통하여 조사된 기초자료를 이용하여 손익계산서, 공통형 손익계산서, 항목별 민감도분석을 실시하였다. 경영분석에 사용된 넓미역의 단가는 현재 유통 판매되고 있는 넓미역이 없기 때문에 완도, 진도지역에서 유통되고 있는 미역의 단가를 적용하였으며, 미역 양식 어업과 경영 비교분석을 위해 주요양식품종 어가별 소득자료집 (해양수산부, 2002)에 제시된 미역의 양식의 분석치가 적용되었다.

IV. 연구개발결과

1. 넓미역의 생태학적 연구

가. 서식환경 및 군락 면적 조사

넓미역은 제주도 성산포 종달리와 우도 사이의 유속이 0.5-1.5m/sec로 강한 수로에 주로 분포하고, 저질은 무절산호조류가 직경 2-4 cm의 괴를 형성하고 있었다. 분포 수심은 12-17 m 범위였으나, 넓미역이 가장 왕성하게 서식하는 곳의 수심은 14-16 m 범위였다. 조사지역에서 넓미역 개체군의 분포 면적은 약 228 ha로 추정되었다. 넓미역 서식지의 환경조사 결과 표층수온은 14.0-29.0 °C였으며, 수심 15 m의 저층 수온은 13.7-26.0 °C로 3월에 가장 낮고, 8월에 가장 높았다. 염분 농도는 31.6-34.3 ppt 범위였으며, 용존산소 농도는 5.4-7.6 mg/L 그리고 전기전도도는 40.8-48.5 ms 범위였다.

나. 분포 조사

본 조사에서 채집 동정된 해조류는 총 100종으로 녹조류 15종, 갈조류 23종 및 홍조류 62종이었다. 각 지점별 출현종수는 표선에서 총 45종으로 가장 많았으며, 종달리에서 총 39종, 비양도에서 총 37종 그리고 우도와 김녕이 각각 36종 및 25종 순으로 나타났다. 5개 지점에서 공통적으로 출현한 해조류는 감태, 흑돌잎 및 낭과적이었으며, 넓미역은 5개 지점 가운데 우도에서만 출현하였다.

다. 성장 및 성숙 주기

넓미역의 단위면적당 현존량은 2월부터 점차 증가하기 시작하여 5월에 $13.3 \pm 1.2 \text{ kg/m}^2$ 로 최대치를 보였고, 이후 점차 감소하여 9월에는 모든 엽체가 소실되었다. 단위면적당 엽체수는 3월에 $134.4 \pm 77.6 \text{ ind./m}^2$ 로 가장 많았으며, 이후 점차 감소하였다.

넓미역의 전장은 수심 15m의 저층수온이 15°C 이상으로 상승하기 시작하는 4월부터 빠른 신장이 이루어져, 저층수온이 18°C 인 6월에 $168.1 \pm 35.7 \text{ cm}$ 로 최대생장을 나타내었고, 저층수온이 19°C 이상으로 증가하면 엽체 소실이 일어나 급격하게 감소되는 경향을 보였다. 넓미역의 전장 크기별 빈도 분포는 1월에 전장이 주로 25 cm 이하 그룹으로 출현하였으나, 엽체의 길이 생장이 급격하게 이루어지는 5월과 6월에는 전장 25-50 cm 그룹부터 전장 250-275 cm 그룹까지 고른 출현비율을 나타내었다. 8월 이후에는 선단부터 녹아나가기 시작하여 다시 전장 100 cm 이하의 그룹만 출현하는 1년생 해조류의 전형적인 패턴을 보였다. 성숙 엽체의 자낭반 형성 면적은 저층수온이 18.0°C 인 6월에 $515.2 \pm 245.5 \text{ cm}^2/\text{ind.}$ 로 최대값을 보였다.

라. 성숙적산온도의 추정

해조류의 경우 성장이나 성숙과 같은 특정 종의 발달 단계를 위해 요구되는 누적 온도의 총합은 항상 일정하며 온도와 시간의 조합에 따라 같은 양으로 나타나게 된다(Baskerville and Emin, 1969; Allen, 1976). 넓미역의 경우 야외 개체군 조사에서 생물학적 영점온도는 15°C 로 추정되었으며, 성숙유효 적산온도 약 $236^\circ\text{C} \cdot \text{day}$ 가 경과되면 자연 상태에서 넓미역 엽체가 자낭반을 형성하는 것으로 추정되었다.

2. 넓미역의 생리학적 연구

가. 넓미역 엽체의 부위별 광합성능 비교

넓미역 엽체의 자낭반이 형성된 성숙 부위는 엽체의 두께와 중량이 영양엽 보다 크게 증가하였으나, 광합성능은 영양엽에 비하여 감소하는 것으로 나타났다.

나. 실내 배양 환경 연구

(1) 생육 단계별 실내 배양 환경 연구

(가) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 배우체의 생장

넓미역 암수배우체의 배양시 최적 배양조건은 15-25°C와 20-30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건이라 할 수 있으나 25°C 구간에서는 규조류의 발생이 심하였으므로, 15-20°C와 20-30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건이 넓미역 배우체의 최적 배양조건이라 할 수 있다. 광주기 조건별 넓미역 배우체의 길이생장은 광주기 조건에 따른 유의한 차이나 일정한 경향성을 보이지 않았다.

(나) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 아포체의 생장

넓미역 아포체의 길이생장은 10-20°C 온도조건에서는 비교적 고조도인 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 보다 빨랐으며, 25°C 온도조건에서는 비교적 낮은 조도인 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 빠른 길이생장을 나타내었다. 넓미역 아포체의 발달에는 광주기 조건중 단일조건에서 보다 효율적인 것으로 나타났다.

(다) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 포자체의 생장

넓미역 어린 포자체의 생장은 20-25°C 온도조건과 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도조건이 최적생장 조건인 것으로 나타났다. 넓미역의 어린 포자체의 경우 단일조건에서 길이생장이 우세한 것으로

(2) 유리배우체 배양 조건

(가) 유주자 수집 및 암수배우체 분리

넓미역 엽체의 자낭반으로부터 방출된 유주자는 방출 즉시 기물에 부착하여 구형으로 착생하였다. 15°C, 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D) 광주기 조건에서 배양 5일 후 각각 암배우체 또는 수배우체로 자랐다. 각각의 암수 배우체는 통기 조건하에서 약 30일이 경과되면 배우체 덩어리로 증식되었다. 호모게나이저를 이용하여 절단된 암수 배우체의 절편은 통기 조건하에서 다시 배우체 덩어리로 증식시키거나 정칙 배양을 실시하여 20일후 각각 장란기와 장정기 형성을 유도하였다.

(나) 유리배우체 단편의 절단 크기별 재생

유리배우체의 단편 크기별 길이생장은 암배우체의 절단 크기가 가장 작았던 $77.0 \pm 23.3 \mu\text{m}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $3.5 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며,

절단 크기가 가장 컸던 $163.4 \pm 21.4 \mu\text{m}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $1.4 \pm 0.4\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 수배우체의 경우도 배우체의 절단 크기가 가장 작았던 $95.4 \pm 29.9 \mu\text{m}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $4.1 \pm 0.5\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 절단 크기가 가장 컸던 $375.4 \pm 17.1 \mu\text{m}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $0.1 \pm 0.06\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다.

유리배우체의 세단은 단편의 크기가 작을수록 (약 $100\mu\text{m}$) 그리고 세포수가 적을수록 (암배우체의 경우 약 5 세포, 수배우체의 경우 약 10세포) 길이생장이나 세포수의 증가 측면에서 성장율이 높게 나타나는 경향을 보였다.

(다) 배양조건별 유리배우체 단편의 성장

유리배우체의 단편을 각기 다른 배양조건에서 배양한 결과 암배우체의 온도조건별 성장율은 배양 20일후 15°C 조건에서 $2.5 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 타 온도 조건에 비하여 가장 높았으며, 5°C 조건에서 $0.2 \pm 0.1\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 조도구간별로는 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $2.5 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, $5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $0.6 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 광주기 조건별로는 10:14h (L:D) 조건에서 $2.6 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았고, 14:10h (L:D)에서 $2.1 \pm 0.3\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$).

수배우체의 온도조건별 성장율은 배양 20일 후 15°C 조건에서 $1.6 \pm 0.3\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며 20°C 조건에서 $0.5 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 조도구간별로는 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $3.6 \pm 0.3\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, $5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 $0.9 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 광주기 조건별로는 14:10h (L:D) 조건에서 $2.7 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 10:14h (L:D) 조건에서 $1.0 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다 ($p > 0.05$).

(라) 배양조건별 유리배우체 단편의 성숙

암배우체의 성숙은 온도조건별로는 $15\text{-}20^\circ\text{C}$ 조건에서 배양 10일후 가장 먼저 장란기가 형성되기 시작하여, 15일후 30% 이상의 암배우체가 장란기를 형성하였고, 배양 20일후에는 약 50% 이상의 암배우체가 장란기 형성을 나타내었다. 그러나 $5\text{-}10^\circ\text{C}$ 조건에서는 배양 20일까지 장란기의 형성이 관찰되지 않았다. 조도조건별로는 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 배양 10일후 약 10%의 암배우체가 장란기를 형성하였으며 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서는 배양 20일후 장란기의 형성을 나타내었으나, $5\text{-}10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서는 배양 20일까지 장란기가 형성되지 않았다. 광주기 조건별로는 14:10h (L:D) 조건에서 배양 10일후 가장 먼저 장란기의 형성이 관찰되었으며 12:12h 및 10:14h (L:D) 조건에서는 배양 15일후 장란기의 형성이 관찰되었다.

수배우체의 성숙은 온도조건별로는 배양 5일후 10℃ 조건에서 장정기의 형성이 나타나기 시작하였으며, 5℃ 조건에서는 배양 10일후, 그리고 15~20℃ 조건에서는 배양 20일후 장정기의 형성이 관찰되었다. 조도조건별로는 배양 5일후 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 가장 먼저 장정기의 형성이 관찰되었으며, 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서는 배양 15일후 장정기의 형성이 관찰되었으나 20-40 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서는 배양 20일까지 장정기가 형성되지 않았다. 광주기 조건별로는 10:14h (L:D) 조건에서 배양 10일후 가장 먼저 장정기가 형성되기 시작하였으며, 12:12h (L:D)에서는 배양 10일후 장정기의 형성이 관찰되었으나, 14:10h (L:D)에서는 배양 20일후 가장 늦게 장정기의 형성이 관찰되었다.

3. 넓미역의 양식학적 연구

가. 유주자의 인공채묘

(1) 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘

넓미역 성숙 엽체에 나타나는 자낭반 부위를 절단해 보면 유주자낭 내부에 가득차 있는 유주자가 관찰된다. 유주자낭으로부터 방출된 유주자는 방출 즉시 기물에 착생하여 발아관을 형성하여 배우체로 자라게 된다. 이후 배양 10일 이후에는 각각 암수배우체의 성을 구분할 수 있게 되며 배양 30일 후에는 성성숙이 이루어지게 된다. 정자와 알세포간의 수정을 통하여 아포체가 형성되며, 이 아포체는 어린 포자체로 자라게 된다.

넓미역의 자낭반으로부터 대량의 유주자 방출을 유도하기 위하여 음건 시간은 약 1시간으로 하였으며, 여과해수를 담은 수조에 넣어 유주자를 방출 시켰다. 현미경 검경을 통하여 유주자의 활발한 운동을 확인한 후 채묘틀을 넣어 약 3시간 정도 유주자의 착생을 유도한 후 배양수조에 침지하여 배양하였다.

(2) 적정 채묘 시기 구명

넓미역 자연군락에서 성숙 엽체가 출현하는 시기는 5월부터이며 이후 점차 증가하기 시작하여 6월에는 자낭반 형성 면적이 최고 $515.2 \pm 245.5 \text{ cm}^2/\text{ind.}$ 를 나타내었다. 7월부터는 자낭반 형성 면적이 점차 감소하기 시작하여 9월부터는 엽체가 모두 녹아 자취를 감추었다. 따라서 넓미역 성숙 엽체의 자낭반 형성면적은 6월에 최고치를 나타내었다.

따라서 자연군락에서 넓미역의 성숙 엽체 출현 비율은 8월이 가장 높으나 성숙 개체의 자낭반 형성 면적 비율로서는 6월이 가장 높다고 할 수 있으므로, 6월이 넓미역의 인공채묘에 있어서 가장 적기라고 할 수 있다.

(3) 채묘기질별 생장 및 채묘효과

넓미역 유주자의 채묘 직후 부착밀도는 크레모나사 21합사의 경우 229.0 ± 46.6 개/cm를 나타내었으나 42합사의 경우 711.0 ± 19.1 개/cm를 나타내어 42합사의 경우 부착밀도가 높은 것으로 나타났다. 수조배양 기간이 지속되면서 부착밀도는 점차 감소하는 경향을 나타내었으며 120일후의 부착밀도는 21합사와 42합사에서 각각 98.6 ± 16.2 개/cm 및 119.0 ± 63.5 개/cm로 나타났다. 배우체의 생장도는 배양 120일 후 21합사의 경우 엽장 $63.5 \pm 15.4 \mu\text{m}$ 였으나 42합사의 경우 $49.1 \pm 22.5 \mu\text{m}$ 로 나타나 21합사의 실험구에서 넓미역 배우체의 생장도가 보다 우세한 것으로 나타났다.

(4) 채묘시간별 생장 및 채묘효과

넓미역의 인공채묘시 채묘시간은 유주자의 부착에 소요되는 시간을 결정하는데 중요한 요인이라 할 수 있다. 채묘 직후 유주자의 부착 밀도는 채묘 3시간 실험구에서 229.0 ± 46.6 개/cm로 최고치를 보였으며 1시간 실험구에서 154.1 ± 19.4 개/cm로 최저치를 나타내었다. 따라서 넓미역의 유주자를 인공채묘할 경우 채묘틀의 담금 시간은 3시간으로 유지하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

나. 유리배우체를 이용한 인공채묘

넓미역 엽체의 자낭반으로부터 방출된 유주자는 방출 즉시 기물에 부착하여 구형으로 착생하였다. 15°C , $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D) 광주기 조건에서 배양 5일 후 각각 암배우체 또는 수배우체로 자랐다. 각각의 암수 배우체는 통기 조건하에서 약 30일이 경과되면 배우체 덩어리로 증식되었다. 호모게나이저를 이용하여 절단된 암수 배우체의 절편은 통기 조건하에서 다시 배우체 덩어리로 증식시키거나 정치배양을 실시하여 20일후 각각 장란기와 장정기 형성을 유도하였다.

(1) 유주자와 유리배우체의 채묘효과 비교

넓미역 유주자로 채묘한 경우 채묘직후 부착밀도는 152.5 ± 25.2 개/cm 였으나 유리배우체의 경우 58.2 ± 9.2 개/cm로 나타나 초기 부착밀도는 유리배우체의 경우가 작은 것으로 나타났다. 배우체 길이는 채묘후 15일 경과후 유주자 채묘 실험구의 경우 $25.6 \pm 5.1 \mu\text{m}$ 였으나 유리배우체 채묘 실험구의 경우 $83.6 \pm 32.4 \mu\text{m}$ 로 생장이 빠른 것으로 나타났다.

(2) 유리배우체의 채묘방법별 밀도와 성장도

채묘직후 유리배우체의 부착밀도는 침지살포식 실험구에서 63.1 ± 12.4 개/cm로 가장 많았으며, 살포식에서 20.4 ± 6.5 개/cm로 가장 적었다. 배양 15일후에는 모든 실험구에서 부착밀도가 약간씩 감소하는 경향을 나타내었으나 역시 침지살포식 실험구에서 49.6 ± 15.4 개/cm로 가장 많았으며, 살포식에서 22.0 ± 4.7 개/cm로 가장 적었다.

(3) 유리배우체의 농도별 부착밀도와 성장도

넓미역 유리배우체의 분쇄액 농도별 배우체 부착밀도는 400 개/mL 농도 실험구에서 가장 높은 63.1 ± 12.4 개/cm을 보였으며 100 개/mL 농도 실험구에서 가장 낮은 20.4 ± 6.5 개/cm을 나타냈다. 유리배우체의 농도가 높은 실험구에서 부착밀도가 높게 나타나는 경향을 보였다.

다. 가이식

(1) 가이식 어장의 환경변화

넓미역의 가이식 기간이었던 2009년 10월부터 2009년 11월까지 수온은 23.5°C 에서 13.3°C 로 점차 감소하였으며, 염분농도는 31.6~33.5 ppt로 변화하였다. 용존산소 농도는 11월 14일에 6.18 mg/L로 가장 높았으며 10월 22일에 6.09mg/L로 가장 낮았다. 전기전도도는 42.68~48.34 ms로 변화하였다.

(2) 가이식 수심별 성장

넓미역 아포체의 수심별 실험구의 초기 밀도는 98.6 ± 16.2 개/cm였으며, 가이식 37일후 각 수심별로 차이를 보여 수심 2m 실험구에서 부착밀도가 15.2 ± 7.4 개/cm로 최고치를 나타내었으며, 수심 0.5m에서 1.1 ± 0.2 개/cm로 최저치를 나타내었다. 따라서 넓미역의 가이식 기간중 유업의 발달을 위한 최적 가이식 수심은 그림 8과 같이 수심 2m → 1m → 3m → 0.5m의 순인 것으로 나타났다. 가이식 수심별 일간생장율은 수심 2m 구간에서 0.041 ± 0.006 cm/day로 가장 높았으며, 수심 0.5m 구간에서 0.003 ± 0.001 cm/day로 가장 낮았다.

(3) 유주자와 유리배우체의 비교 가이식 성장

넓미역 유주자와 유리배우체의 채묘시 가이식 성장의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 유업의 엽장 및 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를

측정하였다. 넓미역 유주자와 유리배우체의 가이식 성장도는 가이식 30일후 각각 21.5 ± 9.4 개/cm 및 22.6 ± 9.2 개/cm로 유의한 차이가 없었으며, 유엽의 엽장 역시 가이식 30일후 각각 1.5 ± 0.7 mm 및 1.4개/cm 및 0.5mm로 유의한 차이를 보이지 않았다.

(4) 유리배우체의 채묘방법별 가이식 성장

넓미역 유리배우체의 채묘시 채묘방법별 (살포식, 침지식 및 침지살포식) 가이식 성장의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 유엽의 엽장 및 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다. 넓미역 유엽의 밀도는 가이식 30일후 종사 1cm당 침지배양식 실험구에서 15.8 ± 4.2 개/cm로 가장 높았으나 타 실험구와 비교하여 유의한 차이는 없었다. 또한 유엽의 엽장 역시 채묘방법별로 유의한 차이를 보이지 않았다.

(5) 유리배우체 농도별 가이식 성장

넓미역 유리배우체 농도별 (100, 200, 400 개/mL) 가이식 성장의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 유엽의 엽장 및 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다. 넓미역 유리배우체의 농도별 유엽의 밀도는 유리배우체의 농도가 높은 실험구일 수록 증가하는 경향을 나타내었으나 200 개/mL 농도 실험구와 400 개/mL 농도 실험구의 유엽 밀도가 각각 31.5 ± 11.5 개/cm 및 35.8 ± 15.6 개/cm 로 유의한 차이를 보이지 않았다.

(6) 해적생물상

넓미역의 가이식 기간중 채묘틀 및 종사에 출현한 해적생물은 9월에는 가장 많은 종수인 11종이 출현하였으며 해조류는 파래류와 모로우붉은실 등 7종, 규조류 및 기타 해적생물은 4종으로 나타났으며 특히 히드라충류 등이 다수 출현하였다. 10월에는 총 5종의 해적생물이 출현하였으며, 해조류가 3종 기타 해적생물이 2종으로 나타났다. 11월에는 구멍갈파래와 개꼬시래기 등 2종의 해적생물만이 출현하였다. 종사에 덮인 빨질은 9월부터 11월까지 지속적으로 출현하였다. 따라서 넓미역의 가이식 기간중 출현한 해조류는 10종이었으며 규조류와 동물을 포함하여 모두 14종의 해적생물이 출현하였다.

라. 양 성

(1) 양성 어장의 환경변화

양성기간중 수온은 8.8~19.9℃의 분포를 나타내었으며, 2010년 2월에 가장 낮은 8.8℃를 나타내었고 2010년 6월에 가장 높은 19.9℃를 나타내었다. 염분농도는 30.1~34.4 ppt의 분포를 나타내었으며, 2010년 5월에 가장 낮은 30.1 ppt를 나타내었고 2010년 2월에 가장 높은 34.4ppt를 나타내었다. 용존산소 농도는 매우 변화가 심하였으며 5.93~8.35 mg/L의 분포를 나타내었다. 전기전도도는 36.39~43.96 ms의 분포를 나타내었다.

(2) 양성 생장

넙미역의 엽장은 2010년 1월부터 빠르게 성장하기 시작하여 5월부터 길이생장이 감소하는 경향을 나타내었다. 엽장은 2010년 5월까지 지속적으로 증가하여 최고 286.3 ± 21.2 cm를 나타내었으며 이후 수온의 증가와 함께 엽장이 감소하는 경향을 나타내었다. 넙미역의 엽폭은 2010년 4월까지 빠르게 증가하여 35.1 ± 3.5 cm를 나타낸 이후 큰 변화를 나타내지 않았다. 주지길이는 2010년 1월부터 5월까지 꾸준히 증가하여 5월에 최고치인 93.1 ± 13.5 cm을 보였으며 6월부터 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 양성 로프의 단위m당 넙미역의 현존량은 2010년 1월부터 꾸준히 증가하는 경향을 보여 4월에 최고치인 31.0 ± 3.4 kg/m를 나타내었다.

(3) 양성 수심별 생장

넙미역의 수심별 양성 생장은 양성 초기부터 수심 0.5m 실험구에서 엽장의 증가가 뚜렷이 나타나기 시작하였으며 이러한 경향은 양식말기까지 지속되었다. 160일간의 양성기간중 수심 0.5m 실험구에서는 일간생장율이 2.085 ± 0.139 cm/day로 가장 높았으며, 수심 3m 실험구에서는 0.228 ± 0.090 cm/day로 일간생장율이 가장 낮았다. 따라서 넙미역의 양성 수심은 수심이 깊어질수록 생장율이 낮아지는 것으로 나타났다.

(4) 양성 수심별 수중광량의 표준화

넙미역의 가이식 기간중 적정 수심인 2m의 경우 평균 수중광량이 476.4 ± 59.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 양성 기간중 적정 수심인 0.5m의 경우 평균 수중광량이 $1,488.6 \pm 79.7$ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 인 것으로 나타났다.

(5) 유주자와 유리배우체의 비교 양성 성장

넓미역 유주자와 유리배우체 채묘 실험구의 엽장은 2010년 12월에 약 30cm에서 점차 증가하기 시작하여, 유주자 채묘 실험구의 엽장은 2011년 5월에 최대 410.9 ± 129.9 cm를 나타내었으며, 유리배우체 채묘 실험구의 엽장은 2011년 6월에 최대 398.6 ± 175.4 cm를 나타내었다. 주지길이는 2010년 12월에 유주자 채묘 실험구와 유리배우체 채묘 실험구에서 0.4~0.5 cm였으나 2011년 5월에 각각 87.3 ± 24.6 cm 및 82.9 ± 26.1 cm를 나타내었다. 엽중량은 두 실험구 모두 2010년 12월부터 점차 증가하기 시작하여 2011년 5월에 유주자 채묘 실험구에서 1002.8 ± 270.5 g 및 유리배우체 채묘 실험구에서 983.7 ± 254.7 g의 최대값을 나타내었다. 현존량은 2011년 4월에 유주자 채묘 실험구에서 35.5 ± 3.7 kg/m와 유리배우체 채묘 실험구에서 34.6 ± 1.9 kg/m로 최대값을 나타낸 이후 점차 현존량이 감소하는 경향을 나타내었다. 본 실험 결과에서 나타난 엽장, 주지길이, 엽중량 및 현존량 차이는 유주자와 유리배우체 채묘 실험구간 유의한 차이는 없었다($p > 0.01$).

(6) 해적생물상

양성기간중 넓미역의 양성 로프에 출현한 해적생물은 총 21종으로 나타났으며, 이 가운데 해조류는 12종이었고 기타 해적생물은 9종으로 나타났다. 해조류 가운데는 잎파래, 구멍갈파래 및 미끌지누아리의 출현빈도가 가장 많았으며 겨울철인 2009년 12월부터 2010년 2월까지의 출현빈도 보다는 봄철인 3월부터 6월까지의 출현빈도수가 많았다. 기타 해적생물의 출현양상은 주로 4월부터 5월까지의 시기동안 출현종수와 생물량이 가장 많았다.

마. 넓미역과 미역의 교잡

(1) 실내배양시 교잡종의 아포체 발달

미역 암배우체와 넓미역 수배우체간의 교잡 구간에서 아포체의 발달은 넓미역 암배우체와 미역 수배우체간의 교잡 구간에서 보다 유의하게 촉진되었다. 넓미역 암배우체와 미역 수배우체간의 교잡 구간에서 아포체의 발달은 12:12h(L:D), 10°C 이하의 수온 및 $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서는 배양 30일까지 전혀 이루어지지 않았으며, 미역 암배우체와 넓미역 수배우체간의 교잡 구간에 비하여 유의하게 낮은 아포체 형성율을 보였다.

(2) 야외 양성기간중 교잡종의 성장과 형태적 특징

양성기간중 수온은 7.6°C에서 18.4°C까지 변화하였다. 최고 수온은 2011년 6월이었으며, 최저 수온은 2011년 1월이었다. 교잡종은 수온이 7.6°C이상으로 상승하기 시작한 1월 이후 자라기 시작하였다. 3월부터 6월까지의 성장 기간 동안 수중광량은 300~1,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 표층광량의 13~45%를 받는 수심에서 양성실험이 이루어졌다. 교잡종의 엽장은 5월 중순에 최대 513.1 ± 85.5 cm를 나타내었으며, 이 기간 중 미역은 3월이면 엽장이 감소하기 시작하였고, 넓미역은 5월에 최대 410.9 ± 29.9 cm로 최대 성장을 나타내었다. 교잡종의 주지길이는 5월에 최대 100.1 ± 17.1 cm, 넓미역은 87.3 ± 24.6 cm 및 미역은 54.9 ± 11.6 cm의 순으로 나타났다. 교잡종의 엽중량은 3월 이후 크게 증가하기 시작하였으며, 넓미역의 1.8배 및 미역의 3배 까지 증가하였다. 교잡종의 형태는 전체적으로 넓미역과 미역의 중간형을 나타내었으나 성장면에서 기존의 넓미역과 미역보다 매우 크게 자라는 특징을 나타내었다.

(3) 교잡종의 현존량과 양식기간

2011년 5월에 교잡종의 평균 현존량은 최대 37.5 ± 3.1 kg/m를 나타내었으나 넓미역은 4월 이후에 현존량이 감소하기 시작하였고 미역은 3월 이후 현존량이 감소하기 시작하였다. 교잡종은 미역 보다는 약 1.5배의 현존량 증가를 보였으며 6월까지 수확이 가능하여 양식기간이 2개월 연장되는 효과를 보였다.

4. 넓미역의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

(1) 넓미역 추출물의 세포생리활성 연구

넓미역 추출물의 피부노화방지 및 치료 후보물질로서의 가능성을 연구하기 위해 *in vitro* 레벨에서의 연구를 수행하였다. 즉, 넓미역추출물을 CCD-986sk cell line monolayer (human fibroblast, KCBL-21947)에 투여하여 피부세포에 대한 넓미역추출물의 피부세포 생리활성효과를 측정하였다. 실험결과 대조군의 O.D. 값은 0.066 ± 0.002 를 나타낸 반면, 한국산 넓미역 시료투여군은 50mg/ml에서 0.166 ± 0.001 , 25mg/ml에서 0.133 ± 0.002 , 12.5mg/ml에서 0.112 ± 0.002 , 6.25mg/ml에서 0.089 ± 0.000 , 3.13mg/ml에서 0.078 ± 0.001 의 유의성있는 결과를 나타내어 한국산 넓미역추출물이 CCD-986sk human fibroblast 계대세포주에 대해 강력한 세포생리활성 효과를 나타내는 것으로

실험결과가 나타났다. 특히 50mg/ml에서 0.166 ± 0.001 의 유의성결과는 대조군에 비해 약 3배에 달하는 세포 생리활성효과를 나타낸 것으로 비록 *in vitro* 수준이기는 하지만 넓미역추출물의 항노화, 주름살제거효과 후보물질로서의 가능성을 보여주는 연구결과를 나타낸 것으로 사료된다.

(2) 성분분석

(가) 일반성분

넓미역의 일반성분을 보면 건조시료의 경우 단백질 함량이 17.7%로 가장 높았으며, 회분과 수분 및 조지방의 순으로 분석되었다. 넓미역의 단백질 함량은 미역이나 다시마와 비교하여도 매우 높은 수치인 것으로 나타났다.

(나) 원소분석

제주도 우도지역의 넓미역 군락으로부터 채집된 넓미역을 분말 시료 상태로 제작하여 (건조 분말, 약 50-100 mesh) 시료 중의 CHN함량을 분석하였다. 넓미역의 CHN 함량은 각각 37%, 5.6% 및 3.1%로 나타났으며, 미역 및 다시마와 비교하여 넓미역의 C 함량이 가장 높았다.

나. 경제성분석

넓미역 종묘 생산의 평균 자가노력비는 매출액의 40%인 20,000천원에 달한다. 그러므로 양식경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 넓미역 종묘 생산의 매출액 순이익을 실질매출액 순이익을 보다 40%나 과대하게 평가하게 된다.

넓미역 종묘 1,000틀의 판매로 발생하는 평균양식수익은 50,000천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균종묘생산비용은 40,500천원이었다. 넓미역 종묘 생산 어업에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 자가노력비로서 40%이며, 시설비보다 관리비가 차지하는 비율이 높은 이유는 종묘생산에 소요되는 인건비에 기술적 노력비용이 포함되어 있기 때문이다. 넓미역 종묘 생산비용은 양식수익의 41%를 차지하였고, 매출액 순이익율은 평균 19%로 분석되었다.

넓미역 양식 20대/ha의 생산판매로 발생하는 평균양식수익은 151,600천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균양식생산비용은 28,400천원이었다. 넓미역 양식 생산어업에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 자가노력비로서 11.11%이며, 시설비보다 관리비가 차지하는 비율이 높은 이유는 양식생산에 소요되는 인건비에 기술적 노력비용이 포함되어 있기 때문이다. 넓미역 양식 생산비용은 양식수익의 4.66%를 차지하여 매출액 순이익율은 평균 84.22%로 매우 높았다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 기대효과

가. 기술적 측면

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

본 연구의 기술적인 측면을 요약하면

- 첫째, 넓미역의 유리배우체 배양을 통하여 완전양식의 안정성을 확보하였으며,
- 둘째, 안정적인 인공종묘생산기술의 확립으로 넓미역의 대량양식화를 유도하였으며,
- 셋째, 적정 실내배양, 가이식, 양성 조건을 구명하고 이들 최적조건을 활용한 양식 생산 메뉴얼을 제시하였다.
- 넷째, 넓미역과 미역 유리배우체의 교잡을 통한 클론 배우체 배양기술력을 확보함으로써 해조류 품종개발에 크게 기여하였다고 판단된다.

나. 경제·산업적 측면

- 첫째, 해조류 양식 대상종의 다변화를 유도함으로써 해조양식 산업의 구조개선 및 활성화에 기여할 것으로 보이며,

- 둘째, 기존 미역의 양식기간을 2개월 이상 연장이 가능케 됨으로써 해조류 양식 어업인들의 소득증대에 기여할 것이다.
- 셋째, 넓미역의 대량생산체제에 연동하여 넓미역을 이용한 다양한 가공품의 개발, 생리활성물질 추출에 의한 건강보조식품의 개발, 의약품의 원료 추출 등의 가공 및 바이오산업의 연계가 가능할 것으로 예상된다.
- 넷째, 제주도 우도 연안에만 일부 군락으로 서식하는 넓미역의 자원보존 및 효율적인 이용을 통하여 해조류 산업의 활성화에 기여하므로써 산업적 가치가 매우 높다고 판단된다.

2. 활용방안

- 첫째, 넓미역의 인공양식기술을 매뉴얼화하여 보급함으로써 넓미역 양식의 산업화 유도
- 둘째, 넓미역의 안정적인 완전양식에 의한 높은 부가가치창출로 해조류 양식어가의 경영 경쟁력 확보
- 셋째, 넓미역의 완전양식기술을 다양한 미이용 유용 해조류의 인공양식기술 개발에 활용
- 넷째, 넓미역의 대량생산에 연계한 다양한 가공제품의 개발, 넓미역 추출물을 활용한 건강보조식품의 개발, 다양한 의약품의 원료 추출에 관계된 바이오산업에 활용
- 다섯째, 넓미역의 인공양식은 보호대상종 해조류의 자원회복 및 효율적인 이용의 기반을 제공하므로써 지역 경제활성화에 이바지

SUMMARY

The brown alga *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura only occurs in the Udo Strait between Udo Island and Jongdalri, Jeju Island in Korea (Lee 1998) although Kang (1966) reported the alga growing in Kapado as well as Udo Strait. The areas inhabited by this alga are directly affected by the Tsushima warm current. Within this area, the algae is reported as occurring within *Laminaria japonica* beds at the depth of 15 m (Lee and Koh 1991), and in areas where gravel-form nonarticulate coralline algae cover the sea bed (Lee 1998).

U. peterseniana has traditionally been used as a salad vegetable in Jeju Island, but recently the natural populations of this alga is in danger of disappearing. The Korean government tries to protect marine algal diversity and this alga is one of the species protected by the law in Korea (Ministry of Government Legislation, MGL 2010).

Recently, the growth and maturation period of *U. peterseniana* has been studied by Hwang et al. (2010). *U. peterseniana* has been described as a warm water species in the Order Laminariales (Kirihara et al., 2006). In other areas of Korea, populations of cool water kelps are declining. This decline has been partly attributed to increasing seawater temperatures around the Korean peninsula in the last decade (KHOA, 1997-2006). Associated with the increasing water temperatures is a change in the seaweed species composition found in the area. As *U. peterseniana* is a warm water species, it has been suggested that it may be a candidate for aquaculture in areas where environmental warming is occurring.

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

1. Ecological study of *Undariopsis peterseniana*

Ecological survey was conducted from January to December 2008 in Udo, Jeju Island. Natural population of *U. peterseniana* in Udo was distributed at 12 to 17 m of water depths in the narrow strait between Byyangdo and Udo. The area of the population estimated 228 ha at their maximum growth period. Among 5 survey points, *U. peterseniana* population was observed just in Udo. The *U. peterseniana* population formed dense patches at depths of 12~17 m depth. Growth in length of the alga reached a maximum of 168 ± 36 cm at June. Sorus were observed from May to August, and a maturation peak was detected in June, when bottom seawater temperatures were around 18°C . After zoospore release, the alga bleached and disappeared after August. Developmental initiation of sporophytes occurred at temperature above 15°C , and sorus formation required approximately 236 degree-days.

2. Physiological study of *Undariopsis peterseniana*

Photosynthetic yield of *U. peterseniana* was higher value in vegetative blade than sorus area. Environmental conditions for the alga was different according to their developmental stages. Gametophyte growth facilitated at $15\text{-}25^{\circ}\text{C}$, $20\text{-}30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Micro sporophyte growth facilitated at 20°C , $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 10:14h (L:D) conditions. Young blade of the alga grew faster under $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$ $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 10:14h (L:D) conditions than others. Induction of regeneration and maturation of the free-living gametophytes of *U. peterseniana* was studied at four temperatures (5, 10, 15, and 20°C), four levels of irradiance (5, 10, 20, and $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and three photoperiods (14:10, 12:12, and 10:14h L:D). Female gametophyte fragments were maintained in active regeneration without reaching sexual maturity under conditions of 15°C , $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 10:14h (L:D), whereas the conditions for male gametophytes were slightly different at 15°C , $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 14:10h (L:D). The sexual maturation of female and male gametophytes took place under 15°C , $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 14:10h (L:D) and 10°C , $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 10:14h (L:D), respectively. These results provide basic information for controlling the regeneration and maturation of free-living gametophytes for artificial seed production of *U. peterseniana*.

3. Cultivation study of *Undariopsis peterseniana*

Growth and maturation were investigated from December 2008 to October 2009 in their natural habitat. Zoospores were transplanted into an intensive seaweed culture ground in Wando, southern coast of Korea, for the mass cultivation of this species. Indoor and outdoor cultivation were conducted from June 2008 to May 2009. Mean production obtained from the zoospore seeding was 31.1 ± 1.5 kg wet wt. m^{-1} of culture rope during the cultivation period *in situ*. Transplanted F₁ thalli in Wando showed that length was 1.7 times longer than their parents in Udo and their maximal growth period changed from June (at 19.9°C in Udo of natural habitat) to April (at 14.0°C in Wando of culture ground). The relationship between optimal water depth for culture and underwater irradiance during the *U. peterseniana* cultivation was defined as: $y = -0.78X + 7.67$ ($r_2 = 0.92$). This study indicates that *U. peterseniana* could be successfully transferred to the northern coast beyond the original habitat in Jeju Island. We cultured a hybrid kelp consisting of a cross between free-living gametophytes of *U. peterseniana* and *U. pinnatifida* in an attempt to extend culture period of *Undaria* which is an important species for both the abalone industry and for commercial seaweed mariculture for human food applications. Morphological characters and cultivation period were compared between the parent thalli and the hybrid. The cultivation experiment was conducted in Wando, on the southern coast of Korea (34°26'18.68" N, 127°05'43.88" E). The morphological characteristics of the hybrid thalli were intermediated between the two species having shallow pinnated blades and a reduced reproductive organ. Hybrid thalli showed faster growth rates, 1.5 times greater biomass and a longer cultivation period than the parent thalli. The hybrid strain possessed characteristics that indicate it could be used as an alternative kelp source to supply the abalone feed industry.

4. Utilization and Economical evaluation

In order to investigate whether or not CCD-986sk cell line can be affected by *U. peterseniana* extract, we examined the MTT assay when we treated Korean *U. peterseniana* extract in CCD-986sk human fibroblast cell line.

80% methanol extract samples of *U. peterseniana* were tested for cell proliferation activity by means of a modification of the MTT assay.

U. peterseniana extracts showed significantly strong cell proliferation activity between 50mg/ml - 3.13mg/ml compared with control group. Especially 50mg/ml (O.D.=0.166±0.001) showed powerful cell proliferation activity more than 251 percent compared with the control group. These results suggest that Korean *U. peterseniana* extract could be an excellent candidate for protection of human skin aging.

From 20 set of installation (100 m of long-line culture rope), ca. 60 tons-wet wt of *U. peterseniana* can be produced. Total sale of the production is 180,000 thousand won and production cost is 28,400 thousand won, thus the net profit is 151,600 thousand won. The profit rate of *U. peterseniana* cultivation is 84.22%.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the study	43
1. Purpose of the study	43
2. Necessity of the study	43
3. Range of the study	45
Chapter 2. Status and overview of research in the world	46
Chapter 3. Contents and Results	48
1. Experimental method of study	48
1-1. Ecological study on <i>Undariopsis peterseniana</i>	48
1-1-1. Natural habitat and population	48
1-1-2. Distribution	48
1-1-3. Growth and maturation	49
1-1-4. Degree days for maturation	50
1-2. Physiological study on <i>Undariopsis peterseniana</i>	50
1-2-1. Photosynthetic yield	50
1-2-2. Culture environment	51
1-3. Cultivation study of <i>Undariopsis peterseniana</i>	56
1-3-1. Artificial seeding by zoospores	56
1-3-2. Artificial seeding by free-living gametophytes	57
1-3-3. Nursery culture	59
1-3-4. Main cultivation	60
1-3-5. Hybridization between <i>Undariopsis peterseniana</i> and <i>Undaria pinnatifida</i>	62
1-4. Utilization and economical efficiency of <i>Undariopsis peterseniana</i> cultivation	63
1-4-1. Utilization	63
1-4-2. Economic analysis	65

2. Results	66
2-1. Physiological study of <i>Undariopsis peterseniana</i>	66
2-1-1. Natural habitat and population	66
2-1-2. Distribution	68
2-1-3. Growth and maturation	77
2-1-4. Degree days for maturation	79
2-2. Physiological study on <i>Undariopsis peterseniana</i>	81
2-2-1. Photosynthetic yield	81
2-2-2. Culture environment	81
1) Culture environment according to growth stage	81
2) Culture condition for free-living gametophytes	88
2-3. Cultivation study of <i>Undariopsis peterseniana</i>	95
2-3-1. Artificial seeding by zoospores	95
1) Zoospore release and seeding	95
2) Optimal seeding time	95
3) Substrate on seeding	97
4) Period of seeding	97
2-3-2. Artificial seeding by free-living gametophytes	98
1) Comparison between zoospore and free-living gametophytes seeding	98
2) Seeding method of free-living gametophytes	99
3) Density of seeding by free-living gametophytes	100
2-3-3. Nursery culture	100
1) Environmental changes during the nursery culture	100
2) Growth according to depth	101
3) Growth between zoospore and free-living gametophyte seeding ..	103
4) Growth according to different seeding methods	104
5) Growth according to different density of seeding	104
6) Harmful organism	105

2-3-4. Main cultivation	107
1) Environmental changes during the main cultivation	107
2) Growth during the main cultivation period	107
3) Growth according to depth	108
4) Underwater irradiance	110
5) Comparison between zoospores and free-living gametophytes	110
6) Harmful organism	112
2-4. Utilization and economical efficiency of <i>Undariopsis peterseniana</i> cultivation	121
2-4-1. Utilization	121
2-4-2. Economic analysis	130
Chapter 4. Achievement and Contribution	144
Chapter 5. Application of results	148
Chapter 6. Information of science and technology in oversea	150
Chapter 7. References	154

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	43
제1절	연구개발의 목적	43
제2절	연구개발의 필요성	43
제3절	연구개발의 범위	45
제 2 장	국내외 기술개발 현황	46
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	48
제1절	이론적, 실험적 접근방법, 연구내용	48
1.	넓미역의 생태학적 연구	48
가.	서식환경 및 군락면적조사	48
나.	분포조사	48
다.	생장 및 성숙주기	49
라.	성숙적산온도의 추정	50
2.	넓미역의 생리학적 연구	50
가.	넓미역 업체의 부위별 광합성능 비교	50
나.	실내배양환경 연구	51
3.	넓미역의 양식학적 연구	56
가.	유주자 인공채묘	56
나.	유리배우체를 이용한 인공채묘	57
다.	가이식	59
라.	양성	60
마.	넓미역과 미역의 교잡	62
4.	넓미역의 이용 및 경제성 분석	63
가.	이용	63
나.	경제성 분석	65

제2절 연구결과	66
1. 넓미역의 생태학적 연구	66
가. 서식환경 및 군락면적조사	66
나. 분포조사	68
다. 생장 및 성숙주기	77
라. 성숙적산온도의 추정	79
2. 넓미역의 생리학적 연구	81
가. 넓미역 엽체의 부위별 광합성능 비교	81
나. 실내배양환경 연구	81
(1) 생육단계별 실내배양환경 연구	81
(2) 유리배우체 배양조건	88
3. 넓미역의 양식학적 연구	95
가. 유주자의 인공채묘	95
(1) 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘	95
(2) 적정 채묘시기 구명	95
(3) 채묘기질별 생장 및 채묘효과	97
(4) 채묘시간별 생장 및 채묘효과	97
나. 유리배우체를 이용한 인공채묘	98
(1) 유주자와 유리배우체의 채묘효과 비교	98
(2) 유리배우체의 채묘방법별 밀도와 생장도	99
(3) 유리배우체의 농도별 부착밀도와 생장도	100
다. 가이식	100
(1) 가이식 어장의 환경변화	100
(2) 가이식 수심별 생장	101
(3) 유주자와 유리배우체 채묘시 가이식 생장	103
(4) 유리배우체의 채묘방법별 가이식 생장	104
(5) 유리배우체의 농도별 가이식 생장	104
(6) 해적생물상	105
라. 양성	107
(1) 양성 어장의 환경변화	107
(2) 양성 생장	107

(3) 양성 수심별 성장	108
(4) 양성 수심별 수중광량의 표준화	110
(5) 유주자와 유리배우체의 비교 양성 성장	110
(6) 해적생물상	112
마. 넓미역과 미역의 교잡	113
바. 넓미역 완전양식 매뉴얼	118
4. 넓미역의 이용 및 경제성 분석	121
가. 이용	121
나. 경제성 분석	130
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	144
제1절 연구목표 및 내용	144
제2절 평가 착안점	145
제3절 연구개발 목표의 달성도 및 관련분야 기여도	146
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	148
제1절 활용계획	148
제2절 추가연구의 필요성	149
제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보	150
제 7 장 참고문헌	154

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

우리나라 해조류 양식산업의 구조개선과 가격하락 문제를 개선하기 위하여, 해조류 양식 품종의 다변화는 꾸준히 수행되어야 하는 과제이다. 넓미역은 미역속 가운데에서 남방계 품종에 해당되며 제주지역에 제한적으로 분포하는 보호대상 해조류이다. 최근 넓미역에 대한 관심이 높아지고 있으나 자연자원 자체가 제한적이므로 자원의 보호와 효율적인 이용방안 마련에 대한 요구가 높아지고 있다.

따라서 본 연구에서는 넓미역 개체군의 생리생태학 및 양식학적 연구를 통하여 종묘생산 및 양성기술을 개발함으로써 해조류 양식품종의 다양화를 유도하고, 양식기술을 널리 보급함으로써 어업인의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 넓미역의 대량생산을 통한 고부가가치성을 창출하는 의약품용 원료 공급원으로 이용하고자 한다.

제 2 절 연구개발의 필요성

넓미역 [*Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura]은 갈조류 다시마목 미역과에 속하는 일년생 해조류로 우리나라 제주도와 일본의 큐우슈우 서북부 지방에 분포한다 (Kang, 1968; Kawashima, 1989). 우리나라에서의 분포는 제주 성산포와 우도사이 해협에 산호밭에 제한적으로 서식하고 있다. 제주지역에서는 넓미역을 싹 형태로 식용하여 왔으나 근래 넓미역의 자원량이 크게 줄면서 그 이용이 제한되고 있다. 한편, 정부에서는 최근에 넓미역을 보호대상 해조류로 지정하여 일정기간 채취를 금지하고 있다. 즉, 넓미역은 우리나라의 경우 제주도라는 매우 제한된 지역에만 서식하고 있으며, 자연군락의 규모도 점점 줄어들어 멸종 가능성이 있는 해조류로 인위적인 증식을 통한 서식지 확대와 넓미역 자연자원의 보호와 자원의 효율적인 이용이 강구되어야 하는 종이다.

넓미역은 우리나라 제주도와 일본의 남부해역의 수심 15 m 부근에 서식하고 있는 지역 특산종으로 현재까지 몇몇 분류학적 연구 (Migita, 1963; Kang, 1966; Lee and Koh, 1991; Lee, 1998)와 미역속간 종들의 교잡연구 (Saito, 1972) 등 제한된 연구만이 수행되었다. 선행된 연구에서 넓미역은 4월에 주걱모양의 3-5 cm 엽장으로 생장하기 시작하여 6월경 번무한 군집을 형성하고 7월에 성숙하며, 8월에는 엽체가 소실되는 것으로 알려져 있다 (Lee, 1998). 그러나 현재까지 보고된 넓미역에 관한 연구들은 일년 중 넓미역의 특정 성장단계 시료만을 대상으로 분석된 결과가 대부분

이며, 생태학적 측면에서 이 종의 연주기적 성장과 성숙주기를 상세히 밝히기 위한 연구는 수행된 바 없다.

넓미역은 전통적으로 제주 지역에서 횃감의 짬용으로 이용되어 왔으나, 자연자원이 급감하면서 수산자원관리법 시행령상의 유용 수산자원으로서 채취금지기간 설정의 대상이 되었다 (Hwang et al., 2010b). 최근 Hwang et al. (20101)은 보호대상 넓미역의 생태학적 연구를 통해 자연군락에서 성장 및 성숙 주기를 밝혔으며, Hwang et al. (2011a)는 해조류 양식이 주로 이루어지고 있는 전남 완도지역에 넓미역을 도입하여 시험양식에 성공함으로써 대량양식을 위한 적정 생육환경 조건을 구명하였다. 이외에도 남방계 미역 품종인 넓미역의 생리생태학적 특성을 이용하여 미역속간의 교잡 연구 등이 수행된 바 있으나 (Migita, 1963; Kang, 1966; Saito, 1972), 지속적인 품종 개량이나 산업적인 이용에는 이르지 못하였다. 이는 대형 갈조류군의 경우 배우체와 포자체의 세대교번이 대부분 이형세대교번으로 이루어지기 때문에 이들의 품종개량이나 교잡을 용이하게 하기 위해선 암수배우체의 분리, 배양 및 성숙유도 등의 기법이 요구되나 이와 같은 접근은 현재까지 시도된 바 없다. 유리배우체의 배양에 의한 증식 방법은 소량의 성숙 엽체만으로도 많은 양의 배우체 확보가 가능하며, 확보된 배우체는 무성적으로 대량증식을 통해 지속적인 계대배양이 가능할 뿐 아니 클론 배우체의 유도를 통한 우량 품종의 교배와 선발육종의 기초를 다질 수 있는 유용한 방법이다 (Wi et al., 2008). 이러한 유리배우체의 대량배양을 위한 재생 및 성숙 유도 조건은 감태 (Wi et al., 2008) 및 곱피 (Hwang et al., 2010) 등에서 구명된 바 있으나, 넓미역의 경우 현재까지 유리배우체의 분리, 재생 및 성숙 유도 조건이 밝혀진 바 없다.

따라서 이 연구에서는 넓미역 자연개체군의 생태학적 시계열성 연구를 통한 넓미역의 성장과 성숙주기를 정확히 밝힘으로써 보호대상종인 넓미역의 인위적인 증식 및 자연개체군의 효율적인 보호 및 보전 관리의 과학적 근거를 마련하고자 하였다. 또한 남방계 미역 품종인 넓미역의 대량양식 조건을 구명하고, 넓미역 유리배우체의 분리, 재생 및 성숙 조건 구명을 통한 유리배우체 대량배양 조건을 밝힘으로써 미역속의 품종개량과 교잡 연구에 기여하고, 나아가서는 보호대상종인 넓미역의 안정적인 종묘수급방안 마련과 자연개체군의 효율적인 보호 방안 마련에 기여하고자 하였다.

제 3 절 연구개발의 범위

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구범위
1차년도	2008	개체군의 생리생태학적연구	<ul style="list-style-type: none"> - 군집의 시계열적 변동 분석 - 유리배우체 배양조건확립 	<ul style="list-style-type: none"> - 군집의 연주기 생태자료 확보 - 배양을 통한 생리적 특성 자료 확보
2차년도	2009	인공채묘 및 가이식연구	<ul style="list-style-type: none"> - 인공채묘 조건확립 - 가이식조건구명 - 해적생물 조사 	<ul style="list-style-type: none"> - 인공종묘 생산 기법을 위한 자료 확보 - 가이식을 위한 생리생태 자료 확보
3차년도	2010	양성기법 연구 및 경제성 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 양성기법 확립 - 이용방안 - 경제성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 양성 생리생태 자료 확보 - 이용방안 및 경제성 분석 자료 확보

제 2 장 국내외 기술개발 현황

넓미역은 우리나라 제주도와 일본의 남부해역의 수심 15 m 부근에 서식하고 있는 지역 특산종으로 현재까지 몇몇 분류학적 연구 (Migita, 1963; Kang, 1966; Lee and Koh, 1991; Lee, 1998)와 미역속간 종들의 교잡연구 (Saito, 1972) 등 제한된 연구만이 수행되었다. 선행된 연구에서 넓미역은 4월에 주걱모양의 3-5 cm 엽장으로 성장하기 시작하여 6월경 번무한 군집을 형성하고 7월에 성숙하며, 8월에는 엽체가 소실되는 것으로 알려져 있다 (Lee, 1998). 그러나 현재까지 보고된 넓미역에 관한 연구들은 일년중 넓미역의 특징 성장단계 시료만을 대상으로 분석된 결과가 대부분이며, 생태학적 측면에서 이 종의 연주기적 성장과 성숙주기를 상세히 밝히기 위한 연구는 수행된 바 없다.

넓미역은 전통적으로 제주 지역에서 횡감의 쌈용으로 이용되어 왔으나, 자연자원이 급감하면서 수산자원관리법 시행령상의 유용 수산자원으로서 채취금지기간 설정의 대상이 되었다 (Hwang et al., 2010). 최근 Hwang et al. (2011b)은 보호대상 넓미역의 생태학적 연구를 통해 자연군락에서 성장 및 성숙 주기를 밝혔으며, Hwang et al. (2011a)는 해조류 양식이 주로 이루어지고 있는 전남 완도지역에 넓미역을 도입하여 시험양식에 성공함으로써 대량양식을 위한 적정 생육환경 조건을 구명하였다. 이외에도 남방계 미역 품종인 넓미역의 생리생태학적 특성을 이용하여 미역속간의 교잡 연구 등이 수행된 바 있으나 (Migita, 1963; Kang, 1966; Saito, 1972), 지속적인 품종 개량이나 산업적인 이용에는 이르지 못하였다. 이는 대형 갈조류군의 경우 배우체와 포자체의 세대교번이 대부분 이형세대교번으로 이루어지기 때문에 이들의 품종개량이나 교잡을 용이하게 하기 위해선 암수배우체의 분리, 배양 및 성숙유도 등의 기법이 요구되나 이와 같은 접근은 현재까지 시도된 바 없다. 유리배우체의 배양에 의한 증식 방법은 소량의 성숙 엽체만으로도 많은 양의 배우체 확보가 가능하며, 확보된 배우체는 무성적으로 대량증식을 통해 지속적인 계대배양이 가능할 뿐 아니 클론 배우체의 유도를 통한 우량 품종의 교배와 선발육종의 기초를 다질 수 있는 유용한 방법이다 (Wi et al., 2008). 이러한 유리배우체의 대량배양을 위한 재생 및 성숙 유도 조건은 감태 (Wi et al., 2008) 및 곱피 (Hwang et al., 2010) 등에서 구명된 바 있으나, 넓미역의 경우 현재까지 유리배우체의 분리, 재생 및 성숙 유도 조건이 밝혀진 바 없다.

따라서 이 연구를 통하여 넓미역 자연개체군의 생태학적 시계열성 연구를 통한 넓미역의 성장과 성숙주기를 정확히 밝힘으로써 보호대상종인 넓미역의 인위적인 증식 및 자연개체군의 효율적인 보호 및 보전 관리의 과학적 근거를 마련하게 되었다.

또한 남방계 미역 품종인 넓미역 의 대량양식 조건을 구명하고, 넓미역 유리배우체의 분리, 재생 및 성숙 조건 구명을 통한 유리배우체 대량배양 조건을 밝힘으로써 미역속의 품종개량과 교잡 연구에 기여하였으며, 나아가서는 보호대상종인 넓미역의 안정적인 종묘수급방안 마련과 자연개체군의 효율적인 보호 방안 마련에 기여할 수 있게 되었다.

이러한 연구성과는 한국수산과학회지의 Hwang et al. (2010; 2011a,b)등 총 3편의 연구논문으로 투고되었으며, 2건의 특허출원 성과 및 3건의 국내학술논문 발표 성과를 거두었다. 또한 2011년도 6월 19-24일에 캐나다에서 개최된 제4차 국제응용해조류학회에서 학술논문 발표를 수행하였으며, 이 학회에서 발표된 논문은 Journal of Applied Phycology 인터넷판에 게재(2011년 10월 5일, DOI 10.1007/s10811-011-9727-7) 되었다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 이론적, 실험적 접근방법, 연구내용

1. 넓미역의 생태학적 연구

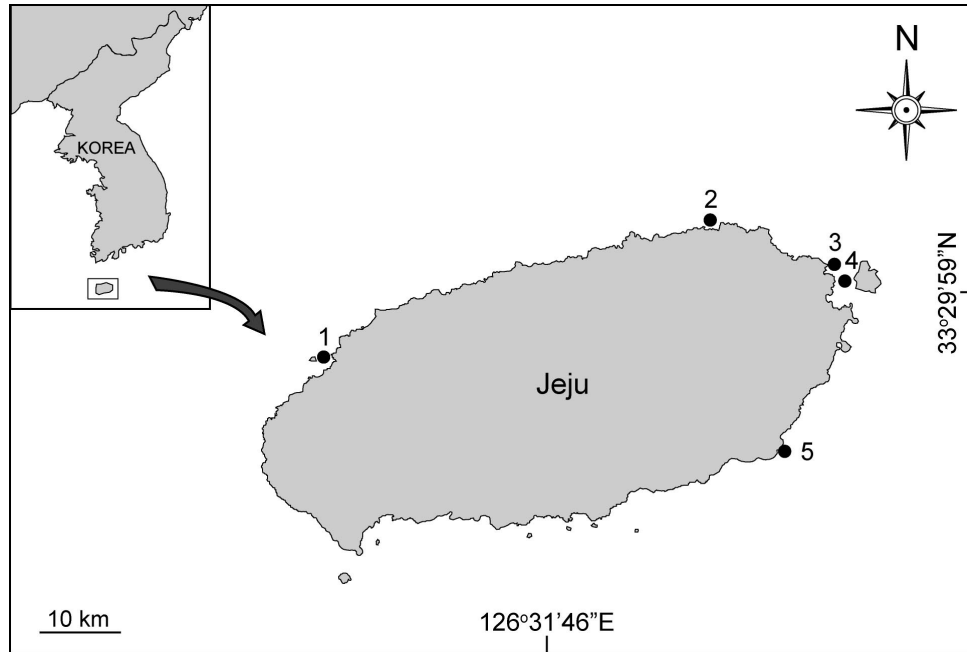
가. 서식환경 및 군락 면적 조사

넓미역의 분포조사는 넓미역이 주로 서식하는 제주도 성산포 종달리와 우도 사이 해역의 수심 12-20 m 지역을 대상으로 SCUBA diving에 의한 정성적 목시조사로 실시하였다. 환경조사는 매월 수온, 염분, 용존산소 및 전기전도도를 YSI-85 (YSI Inc. USA)로 현장에서 측정하였으며, 수온은 표층수온과 15m의 저층수온으로 구분하여 측정하였다.

나. 분포 조사

넓미역이 빠른 생장을 보이는 3~7월 사이에 제주도 연안의 5개 지점 (그림 1-1)을 선정하여 분포조사를 실시하였다. 5개 지점의 해조상 조사는 넓미역이 분포할 것으로 추정되는 수심 12~16m의 지역을 선정하여 2009년 3월부터 2009년 7월까지 이루어졌다. 해조상 조사를 위하여 채집된 시료는 현장에서 5-10% 중성포르말린-해수용액으로 고정하여 실험실로 운반하여 동정하였다. 출현 종 목록은 녹조류, 갈조류 및 홍조류에 국한하여 작성되었다. 해조류의 목록은 Yoshida et al. (2000)와 이와 강 (1986, 2002)의 분류체계를 참고하여 배열하였다.

해조류 군집조사는 조하대 수심 12~16m 지역을 대상으로 하여 10cm×10cm의 소방형구 25개로 나누어진 50cm×50cm의 대방형구를 연속적으로 옮겨 놓아가며 출현종의 피도와 빈도를 조사하였다 (Saito and Atobe, 1970). 우점종과 아우점종은 중요도 값 (Importance Value: IV)을 근거로 정하였으며 중요도 값은 야외 조사에서 얻어진 출현종의 빈도와 피도 값을 이용하여 계산하였다 (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974; Lee et al., 2001; 손 등, 2007).



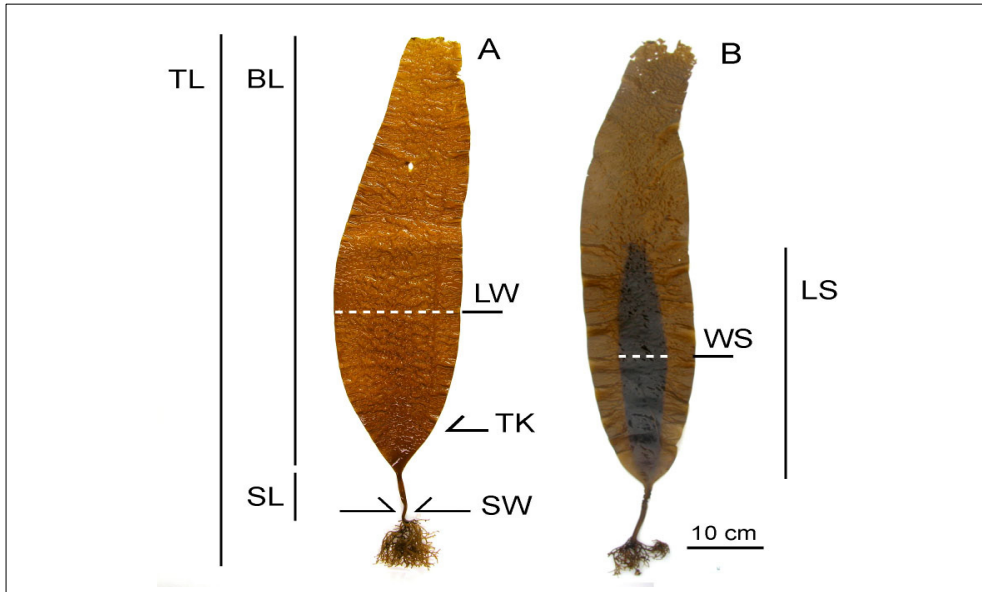
〈그림 1-1〉 제주연안 5개 조사지점. 1: 비양도. 2: 김녕. 3: 종달. 4: 우도. 5: 표선.

다. 생장 및 성숙 주기

넓미역의 생장 및 성숙 주기는 2008년 12월부터 10월까지 매월 SCUBA diving을 실시하여, 50×50cm 방형구법을 통한 정량조사법으로 실시되었으며, 시료는 최소한 3개 이상의 방형구내에 분포하는 넓미역 엽체를 전량 채취하였다. 현존량 분석은 방형구별 넓미역의 출현 개체수 및 중량을 단위면적당 습중량 및 밀도로 환산하였다.

월별 엽장 빈도분포는 12월부터 10월까지 매월 채집된 넓미역 시료의 엽장을 0~300 cm구간까지 25cm 단위별 크기 그룹으로 구분하여, 월별로 출현한 전체 엽체수에 대한 각 크기 그룹의 비율로 나타내었다.

채집된 넓미역 엽체의 형태 형질은 시료를 실험실로 옮겨 전장, 엽장, 엽폭, 주지 길이, 주지폭, 엽체 두께, 자낭반 형성면 길이, 자낭반 형성면 폭을 구분하여 측정하여 분석하였다(그림 1-2). 생식세포 형성 및 형성율, 성숙 주기는 넓미역 엽체의 자낭반 형성 유무 확인, 자낭반 형성 개체의 출현비율 및 자낭반 형성 면적의 비율을 월별로 측정하여 분석하였다.



〈그림 1-2〉 넓미역의 형태측정부위. A: 미성숙 포자체. B: 자낭반 형성 포자체. TL: 전장 (Total length). BL: 엽장(Blade length). SL: 주지길이(Stipe length). SW: 주지폭(Stipe width). TK: 두께(Thickness). LW: 최대엽폭(The largest width). LS: 자낭반 길이(Length of sorus). WS: 자낭반 폭(Width of sorus).

라. 성숙적산온도의 추정

넓미역의 성숙을 위한 성숙 유효 적산온도의 추정은 생장 자료를 근거로 하여 넓미역의 생물학적 영점온도를 15℃로 설정하였고, 조사지점의 표층수온 측정치와 제주 지역의 연안수온 관측치 (2003년부터 2008년까지 5개년 동안 넓미역의 주생장기인 12월부터 익년 5월까지의 누적치를 평균한 값)를 근거로 하여 1일 평균 생육수온에서 성숙 유효 하한수온 (15℃)을 뺀 값을 누적시켜 구하였으며, 관계식은 Allen (1976)의 식을 응용하여 아래와 같이 구하였다.

$$Y_n = \sum_{i=1}^n (t_i - \theta)$$

[Y_n: 성숙 유효 적산온도, t_i: 생육수온, θ: 성숙 유효 하한수온 (15℃)]

2. 넓미역의 생리학적 연구

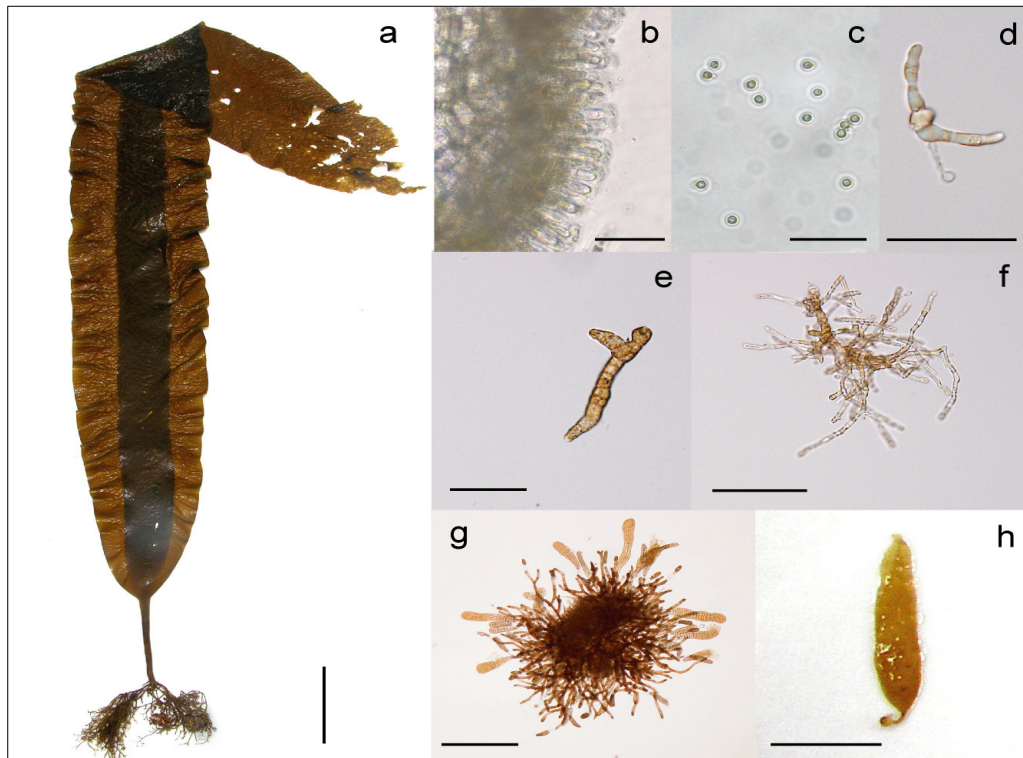
가. 넓미역 엽체의 부위별 광합성능 비교

넓미역 엽체의 부위별 광합성능의 차이를 알아보기 위하여 엽상체 부분과 자낭반이 형성된 부위에서 각각 직경 1.1cm 크기의 엽편을 디스크 모양으로 절취하여 디스크의 중량과 두께 그리고 각각의 광합성능을 측정하였다. 디스크의 절취는 각각 5개의

개체로부터 한 개씩 절취하여 성장대 부분과 자낭반 부위의 5반복 실험이 가능하도록 하였다. 광합성능의 측정은 부위별 디스크를 암적응시킨 후 PAM-2000 (Walz, Germany) 를 사용하여 최적양자수율 (optimum quantum yield)을 구하였다. 넓미역 엽체의 암적응 방법은 멸균해수를 넣은 petri dish에 넣어 빛이 투과되지 않는 Ice box 내에서 5분간 유지하였다.

나. 실내 배양 환경 연구

넓미역의 유주자로부터 배우체와 아포체 및 유엽으로 발달은 그림 1-3과 같으며 각 생육단계별 실내배양환경은 배우체, 아포체 및 포자체의 3단계로 구분하여 실시하였다. 넓미역 엽체 (그림 1-3a)의 자낭반 (그림 1-3b)으로부터 방출된 유주자 (그림 1-3c)는 방출 즉시 기물에 부착하여 구형으로 착생하였다. 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D) 광주기 조건에서 배양 5일후 5-8세포의 배우체 (그림 1-3d)로 자라며, 15일후 각각 암배우체 (그림 1-3e) 또는 수배우체 (그림 1-3f)로 성장하였다. 배양 30일후에는 다수의 아포체 (그림 1-3g)를 형성하였으며 배양 50일후에는 어린 포자체 (그림 1-3h)으로 성장하였다.



<그림 1-3> 넓미역의 유주자 수집과 배양과정. a: 성숙엽체. b: 유주자낭. c: 유주자. d: 배양 5일후 배우체. e: 배양 15일후의 암배우체. f: 배양 15일후의 수배우체. g: 배양 30일후의 아포체. h: 배양 50일후의 유엽. 배양조건은 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 14:10 (L:Dh). Scale bar 10cm (a), 50 μm (b-f), 200 μm (g) and 1cm (h).

(1) 생육 단계별 실내 배양 환경 연구

(가) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 배우체의 성장

실험에 사용한 넓미역 엽체는 2009년 5월에 제주도 우도에서 채취하였다. 넓미역 성숙 엽체는 채집 즉시 실험실로 운반하여 자낭반 일부를 절취하고 멸균해수로 수회 세척한 후 항생제 용액 (Provasoli's antibiotic concentrated solution, Sigma)에 2-3분간 침적하였다. 자낭반은 100ml의 멸균해수를 넣은 비이커에 수용하여 15°C와 $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D)의 조건하에서 유주자 방출을 유도하였다. 10cm 직경의 petri dish를 이용하여 바닥에는 멸균된 cover glass를 깔고 멸균해수 20 ml와 유주자액 2 ml을 분주하여 cover glass에 방출된 유주자가 착생하도록 하였다. 유주자가 착생된 cover glass는 다시 5cm 직경의 petri dish로 옮겨 각각의 온도, 조도 및 광주기 실험 조건으로 옮겨 배우체의 성장을 측정하였다. 배양액은 PESI medium (Tatewaki, 1966)에 항생제 용액을 첨가하여 사용하였으며 2-3일 마다 전량 교체하였다.

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

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

(나) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 아포체의 성장

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

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

(다) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 포자체의 성장

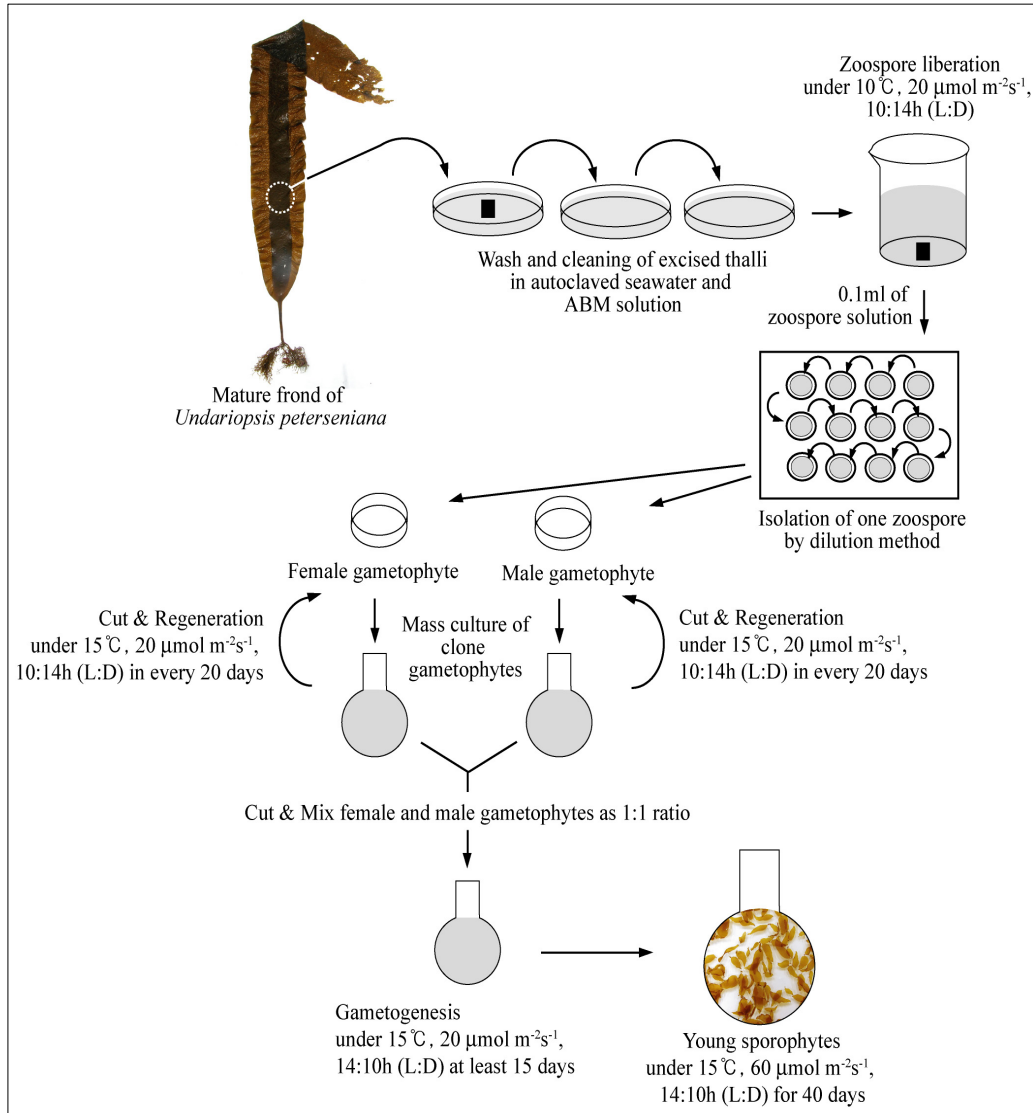
온도 및 조도 조건은 각각 4개 온도 조건 (10, 15, 20, 25°C) 및 3개 조도 조건 (20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조합인 12개 실험구간에서 각각 3반복 실험구의 평균값을 구하였으며 광주기 조건은 10:14h (L:D)로 하였다.

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

(2) 유리배우체 배양 조건

(가) 유주자 수집 및 암수배우체 분리

본 연구에 사용된 성숙 모조는 2009년 5월에 제주도 북제주군 우도면 수심 12-15m에서 채취하였다. 채취된 성숙 모조는 Ice box에 넣어 즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수회 세척한 후 멸균해수를 200 mL 채운 500 mL 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)을 이용하여 10°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 10:14h (L:D) 조건에서 4시간 동안 유주자 방출을 유도하였다. 방출된 유주자액 0.1mL를 취하여 12 multi well-plate를 이용한 희석법으로 그림 1-4와 같이 유주자액을 차례로 분주하여 밀도를 낮추었다. 4-5일후 배우체가 암수로 구별되면 독립현미경 (Axio Observer A1, Carl zeiss, Germany)하에서 각각 암배우체와 수배우체로 구분하여 별도의 직경 5 cm의 멸균된 Petri dish에 수용하여 PESI 배양액 (Tatewaki, 1966) 20mL을 넣어 배양하면서 배양액은 2-3일 간격으로 환수하였다. 암수 배우체의 성장에 따라 배양용기를 250mL로 옮겨주고 PESI 배지를 첨가하여 각각의 암수배우체 덩어리가 직경 5mm 크기에 도달할 때까지 50-60일간 배양하였다.



〈그림 1-4〉 넓미역 유리배우체 대량배양의 모식도.

(나) 유리배우체 단편의 절단 크기별 재생

유리배우체 단편의 절단 크기별 재생을 파악하기 위하여 무성적으로 대량배양된 압수 배우체 덩어리 0.1g-fresh wt.를 멸균해수 100mL와 함께 250mL 비이커에 넣고 각각 호모게나이저 (DI 25 basic, GMBH & Co., Germany)의 회전속도 8,000, 9,500, 13,500, 20,500 및 24,000 rpm) 구간별로 60초간 세단한 후 15°C와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조건에서 12 multi well-plate를 사용하여 20일간 정치배양한 후 배우체의 길이생장과 세포수를 도립현미경 하에서 측정하였다. 세단된 배우체의 크기 그룹별 길이 및 세포수의 생장은 배양 개시시의 배우체 평균길이 및 평균 세포수를 배양종료시의 그것과 비교하여 구하였다.

(다) 배양조건별 유리배우체 단편의 성장

유리배우체의 세단후 유리배우체 단편의 성장 및 성숙 유도에 유리한 최적 환경 조건을 파악하기 위해 덩어리로 자란 암수 유리배우체를 각각 호모게나이저로 재생장이 가장 좋았던 세단 조건인 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여, 12 multi well-plate 에 PESI 배지 1mL를 채우고 한 well당 1개씩의 암수배우체를 각각 수용하였다. 배양조건은 4개 온도구간 (5, 10, 15, 20℃)과 4개 조도구간 (5, 10, 20, 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 3개 광주기 구간 [10:14, 12:12, 14:10h (L:D)]으로 설정하여 Multi room incubator (DS-14MCLP)를 이용하여, 배우체의 길이생장을 도립현미경으로 관찰하였다. 조도의 측정은 LI-1400 (LI-COR, USA)으로 하였고, 조도 구간의 조정은 중성필터 (Lee Filter) ND 209, 210, 211호를 사용하여 조절하였다. 길이생장은 호모게나이저로 분쇄 후 절단된 배우체는 분지가 없는 상태의 것을 선별해 측정하였으며 PESI 배지는 7일마다 교환해 주었다. 유리배우체의 상대생장을 (RGR)은 Serisawa et al. (2002)의 방법을 응용하여 아래와 같은 식으로 구하였다.

$$\text{RGR (\% day}^{-1}\text{)} = 100t^{-1} \ln (V_a/V_b)$$

V_a : length at time t_2

V_b : length at time t_1

t : number of days from t_1 to t_2

(라) 배양조건별 유리배우체 단편의 성숙

유리배우체의 세단후 유리배우체 단편의 성장 및 성숙 유도에 유리한 최적 환경 조건을 파악하기 위해 덩어리로 자란 암수 유리배우체를 각각 호모게나이저로 재생장이 가장 좋았던 세단 조건인 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여, 12 multi well-plate 에 PESI 배지 1mL를 채우고 한 well당 1개씩의 암수배우체를 각각 수용하였다. 배양 조건은 4개 온도구간 (5, 10, 15, 20℃)과 4개 조도구간 (5, 10, 20, 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 3개 광주기 구간 [10:14, 12:12, 14:10h (L:D)]으로 설정하여 Multi room incubator (DS-14MCLP)를 이용하여, 배우체의 성숙 여부를 도립현미경으로 관찰하였다. 조도의 측정은 LI-1400 (LI-COR, USA)으로 하였고, 조도 구간의 조정은 중성필터 (Lee Filter) ND 209, 210, 211호를 사용하여 조절하였다. 길이생장은 호모게나이저로 분쇄 후 절단된 배우체는 분지가 없는 상태의 것을 선별해 측정하였으며 PESI 배지는 7일마다 교환해 주었다.

3. 넓미역의 양식학적 연구

가. 유주자 인공채묘

(1) 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘

넓미역 성숙 업체는 2009년 5월 제주도 우도에서 채취하였으며, 채집 즉시 실험실로 운반하였다. 유주자의 방출은 자낭반이 형성된 업체 부위만을 선별 절단하여 약 1 시간정도 음건시킨 후 여과해수를 1/4 정도 채운 30L 사각 수조에 수용하여 유주자 방출을 유도하였다. 유주자 방출 수를 현미경으로 검정한 후 채묘틀 (45×55cm) 을 약 3시간 동안 유주자액에 담가 채묘를 실시하였다. 3시간 후 채묘틀은 여과해수를 채운 1.5톤 수조로 옮겨 수조배양을 실시하였다. 수조배양시 표면조도는 약 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 1주일 간격으로 채묘틀의 상하를 교체하였다.

(2) 적정 채묘 시기 구명

넓미역의 적정 채묘 시기 구명을 위하여 2008년 12월부터 2009년 10월까지 제주도 북제주군 우도면 수심 12-16m에 분포하는 넓미역 자연개체군에서 방형구법에 의한 정량조사를 통하여 매월 넓미역의 성숙 업체 출현 비율 및 자낭반 형성 면적을 조사하였다. 성숙 업체의 출현비율은 방형구당 출현한 업체의 수에 대한 자낭반 형성 업체의 비율로 구하였다. 자낭반 형성 면적은 한 개체 내에 형성된 자낭반의 분포 면적을 모두 더하여 개체당 자낭반 형성 면적으로 구하였다.

(3) 채묘기질별 성장 및 채묘효과

넓미역 유주자의 인공채묘시 채묘기질의 영향을 알아보기 위하여 크레모나사 21합사와 크레모나사 42합사로 구분하여 유주자를 채묘한 후 4개월간의 수조배양 기간중 생장의 측정은 1개월 간격으로 종사 10cm의 중량, 배우체의 엽장, 1cm 당 배우체의 수를 측정하였다.

(4) 채묘시간별 성장 및 채묘효과

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

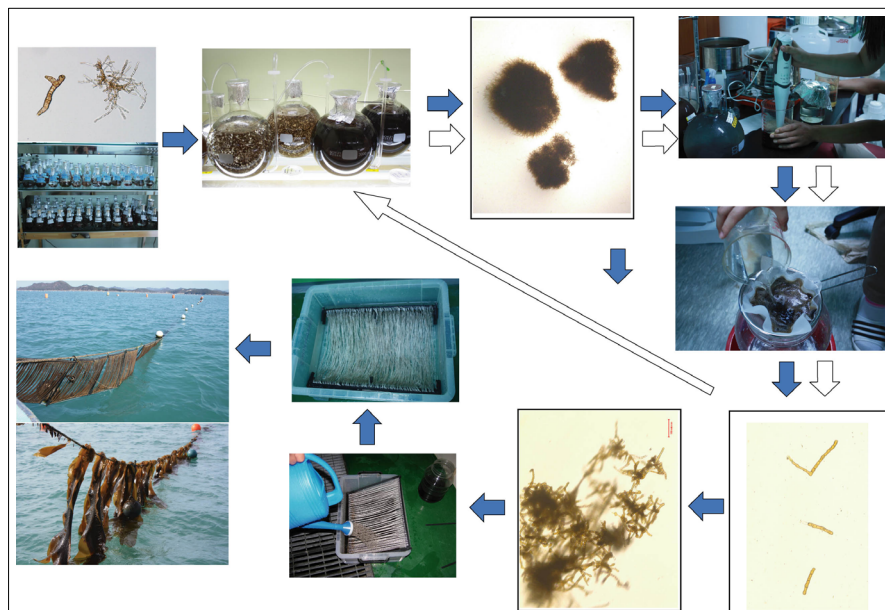
나. 유리배우체를 이용한 인공채묘

(1) 유리배우체의 대량배양

본 연구에 사용된 성숙 모조는 2009년 5월에 제주도 북제주군 우도면 수심 12-15m에서 채취하였다. 채취된 성숙 모조는 Ice box에 넣어 즉시 실험실로 운반한 뒤, 자낭반 부분을 절취하여 멸균해수로 수회 세척한 후 멸균해수를 200 mL 채운 500 mL 용량의 비이커에 자낭반 조각을 넣고, Incubator (EYELA MTI-202B, Japan)을 이용하여 10°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 및 10:14h (L:D) 조건에서 4시간 동안 유주자 방출을 유도하였다. 방출된 유주자액 0.1 mL를 취하여 12 multi well-plate를 이용한 희석법으로 그림 1-5와 같이 유주자액을 차례로 분주하여 밀도를 낮추었다. 4-5일 후 배우체가 암수로 구별되면 도립현미경 (Axio Observer A1, Carl zeiss, Germany)하에서 각각 암배우체와 수배우체로 구분하여 별도의 직경 5cm의 멸균된 Petri dish에 수용하여 PESI 배양액 (Tatewaki, 1966) 20 mL을 넣어 배양하면서 배양액은 2-3일 간격으로 환수하였다. 암수 배우체의 생장에 따라 배양용기를 250 mL로 옮겨주고 PESI 배지를 첨가하여 각각의 암수배우체 덩어리가 직경 5 mm 크기에 도달할 때까지 50-60일간 배양하였다.

(2) 유리배우체 채묘

암수배우체로 분리되어 각각의 3L 배양용기에서 증식된 넓미역 배우체를 혼합하여 야외 양식용 채묘틀에 채묘하는 과정은 그림 1-5와 같다.



〈그림 1-5〉 넓미역 유리배우체의 채묘 및 양식에 이용 과정 모식도

(3) 유주자와 유리배우체의 채묘효과 비교

넓미역의 유주자 채묘와 유리배우체 채묘방법의 효율성 비교를 위하여 유주자 채묘와 유리배우체 채묘를 실시하였다. 넓미역 유주자 수집을 위한 성숙 모조의 채집은 2010년 7월 제주도 우도면에서 실시하여 미역용 채묘틀 (크레모나사 21합사, 45×55cm)에 유주자를 채묘한 후 실험실로 옮겨 수조배양을 실시하였다. 유주자 채묘시 성숙 모조의 사용량은 채묘틀 1틀 당 약 200g의 자낭반을 사용하였다. 유리배우체의 채묘는 2008년 6월에 제주도 우도면에서 채취된 성숙 모조로부터 분리된 각각의 암수 유리배우체를 2010년 8월 27일까지 증식시켜 얻은 배우체 덩어리들을 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)로 분쇄후 혼합하여, 미역용 채묘틀 (크레모나사 21합사, 45×55cm)에 접종한 후 수조배양을 실시하였다. 유리배우체 채묘시 배우체의 양은 암수배우체 각각 3L 플라스크에서 채취된 배우체 중량 25 g-fresh wt.을 암수 1:1의 비율로 1L의 여과해수와 혼합한 뒤 비닐봉투를 이용하여 채묘틀을 침적하는 방법을 사용하였다.

(4) 넓미역 유리배우체의 채묘방법별 밀도와 성장도

2010년 9월에 넓미역 암수 유리배우체의 비율을 1:2로 하여 30 g-fresh wt.을 멸균해수 1L와 함께 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)의 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여 채묘틀 (크레모나사 21합사, 45×55 cm)에 각각 살포식, 침지식 및 침지살포식으로 구분하여 유리배우체를 채묘하였다. 살포식은 유리배우체 분쇄액을 채묘틀에 살포하여 채묘하였고, 침지식은 채묘틀을 분쇄액에 적시는 방법으로 채묘하였다. 침지살포식은 50×60cm 규격의 지퍼백을 이용하여 유리배우체 분쇄액과 채묘틀을 함께 넣어 강하게 흔들어주는 방법으로 채묘하였다.

모든 채묘틀은 채묘후 1시간 가량 그늘에서 건조후 가이식 이전까지 0.5톤 규모의 실내수조에서 배양중이다. 채묘효과의 측정은 2주 간격으로 채묘후 종사 1cm 당 부착된 배우체의 수와 길이로 측정하였다.

(5) 넓미역 유리배우체의 농도별 부착밀도와 성장도

2010년 9월에 넓미역 암수 유리배우체의 비율을 1:2로 하여 30 g-fresh wt.을 멸균해수 1L와 함께 호모게나이저 (DI 25basic, GMBH & Co., Germany)의 8,000 rpm의 속도로 1분간 분쇄하여 채묘틀 (크레모나사 21합사, 45×55 cm)에 침지살포식으로 유리배우체를 채묘하였다. 유리배우체 채묘시 배우체의 농도 조절은 배우체 분쇄액에 1L씩의 멸균해수를 첨가하여 희석시키는 방법을 사용하여 배우체 농도를 조절하였다. 채묘효과의 측정은 채묘후 종사 1cm 당 부착된 배우체의 수와 길이로 측정하였다.

다. 가이식

(1) 가이식장 환경변화

가이식장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도, 유속, pH, 전기전도도, 수중광량, 영양염 등의 요소들을 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 2009년 10월부터 11월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다.

(2) 가이식 수심별 성장도

가이식 실험은 2009년 10월부터 2009년 11월까지 37일간 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 수행할 예정이며, 환경측정은 수온과 수심별 수중광량을 측정하였다. 수중광량의 측정은 LI-1400 Data Logger (LI-Cor, USA)를 이용하여 7일 간격으로 수심 (0, 0.5, 1, 2, 3m)별로 측정하고, 측정시마다 5회 측정의 평균값으로 기록하였다. 가이식 수심은 각각 0.5, 1, 2 및 3 실험구별로 채묘틀을 수하식으로 시설하였으며, 넓미역의 성장 및 가이식 효과의 측정은 15일 간격으로 각각의 종사를 10cm 길이로 3개씩 절단하여 종사 10cm의 중량, 엽체의 길이성장 및 1cm 당 아포체 또는 유엽의 수를 측정하였다.

(3) 유주자와 유리배우체의 비교 가이식 성장도

넓미역 유주자와 유리배우체의 채묘시 가이식 성장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 종사 10cm의 중량, 유엽의 엽장, 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다.

(4) 유리배우체의 채묘방법별 가이식 성장도

넓미역 유리배우체의 채묘시 채묘방법별 (살포식, 침지식 및 침지살포식) 가이식 성장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 종사 10cm의 중량, 유엽의 엽장, 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다.

(5) 유리배우체 농도별 가이식 성장도

넓미역 유리배우체 농도별 (100, 200, 400 개/mL) 가이식 성장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 종사 10cm의 중량, 유엽의 엽장, 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다.

(6) 해적생물상

가이식 기간중 넓미역 채묘틀의 종사에 출현한 해적생물상을 조사하였다. 해적생물상 조사는 30일 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

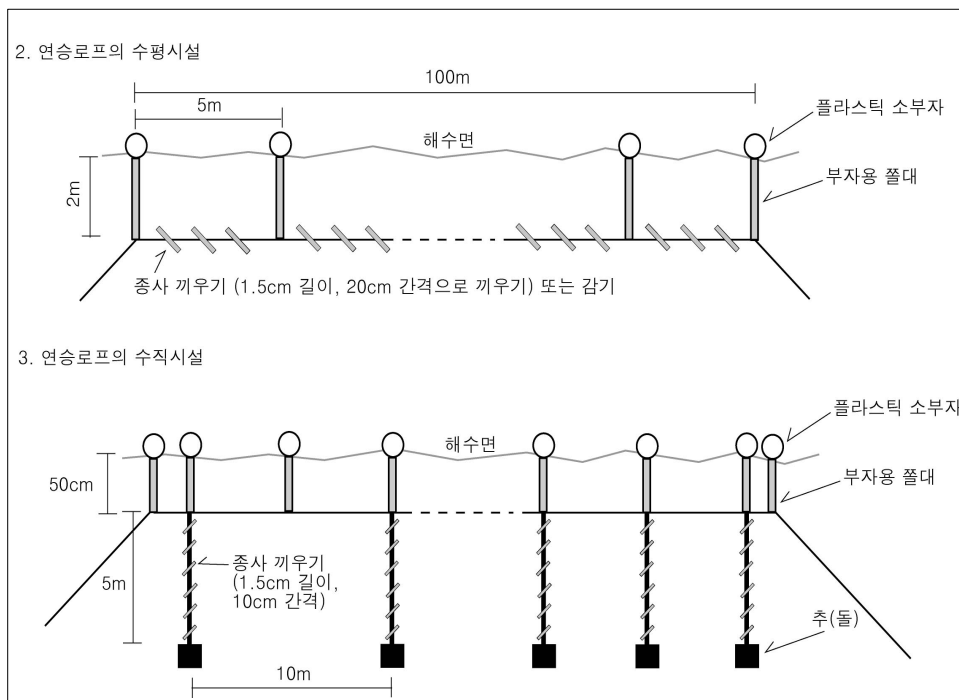
라. 양성

(1) 양성어장의 환경변화

적정 양성어장의 환경조건 파악은 수온, DO, 염분도 및 전기전도도와 수중광량의 요소들을 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 2009년 12월부터 2010년 6월까지 매월 환경 측정치를 모니터링 하였다. 넓미역의 양성 기간중 수중광량과 수심의 관계 표준화를 위하여 수중광량의 측정은 Li-Cor (LI-1400)을 이용하여 5회 측정값의 평균치를 구하였다. 광량측정 센서는 Spherical sensor를 이용하였다.

(2) 양성 성장도

양성실험은 2009년 12월부터 2010년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 시험어장에서 실시하였으며, 양성 시설은 수평 연승식으로 본 양성 로프는 수심 2 m에 위치하도록 부자의 길이를 조절하였다(그림 1-6). 매월 엽체의 성장도는 엽장, 엽폭, 엽중량, 주지길이 그리고 단위 m당 현존량과 개체수를 측정하였다.



〈그림 1-6〉 넓미역 양성시설 (수평식 및 수직식).

(3) 양성 수심별 성장

양성 수심별 넓미역의 성장도는 2009년 12월부터 2010년 4월까지 수직 연승을 이용하여 수심 0.5-3 m까지 0.5 m 간격으로 구분하여 각각의 수심에서 곰피 엽체의 성장도를 비교하였다. 성장도의 측정은 엽장, 엽폭, 주지길이, 신생엽체의 수 및 길이, 포복지의 수 및 길이를 측정하였으며 50 cm 내에 부착된 모든 곰피의 현존량을 해당 수심에서의 단위m당 현존량으로 환산하였다. 모든 성장도의 측정은 매월 2개씩의 수직 연승을 수거하여 반복 실험구로 사용하였다.

(4) 양성 수심별 수중광량의 표준화

넓미역의 양성 기간중 수중광량과 수심의 관계 표준화를 위하여 수중광량의 측정은 Li-Cor (LI-1400)을 이용하여 5회 측정한 값의 평균치를 구하였다. 광량측정 센서는 Spherical sensor를 이용하였다.

(5) 유주자와 유리배우체의 비교 양성 성장도

넓미역 유주자와 유리배우체의 채묘시 양성 성장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 12월부터 2011년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 0.5m에서 수평연승식 양성로프에 10cm 간격으로 3cm의 종사를 끼우기식으로 시설하여 1개월 간격으로 엽체의 엽장, 중량, 단위m 당 현존량 및 개체수를 측정하였다.

(6) 유리배우체의 채묘방법별 양성 성장도

넓미역 유리배우체의 채묘시 채묘방법별 (살포식, 침지식 및 침지살포식) 양성 성장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 12월부터 2011년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 0.5m에서 수평연승식 양성로프에 10cm 간격으로 3cm의 종사를 끼우기식으로 시설하여 1개월 간격으로 엽체의 엽장, 중량, 단위m 당 현존량 및 개체수를 측정하였다.

(7) 유리배우체 농도별 양성 성장도

넓미역 유리배우체 농도별 (100, 200, 400 개/mL) 양성 성장도의 차이를 알아보기 위하여 2010년 12월부터 2011년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 0.5m에서 수평연승식 양성로프에 10cm 간격으로 3cm의 종사를 끼우기식으로 시설하여 1개월 간격으로 엽체의 엽장, 중량, 단위m 당 현존량 및 개체수를 측정하였다.

(8) 해적생물상

2009년 12월부터 2010년 6월까지 양성기간 중 넓미역 양성로프에 출현한 넓미역 이외의 해적생물상을 조사하였다. 해적생물은 해조류, 요각류, 규조류 및 빨질 등이 주를 이루었으며, 1개월 간격으로 해적생물의 출현 빈도와 발생량을 분석하였다.

마. 넓미역과 미역의 교잡

넓미역은 2008년 5월에 그리고 미역은 2004년 5월에 전남 완도군 약산면 시험어장에서 수집한 성숙 엽체로부터 분리한 유주자를 이용하여 암수 배우체를 분리하였다. 암수 배우체는 Westermeier et al. (2006)에 의해 언급된 바와 같이 주기적으로 분쇄해 주면서 낮은 조도 ($4-5.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 무성적인 상태로 억제 배양하였다. 넓미역 암수 유리배우체의 재생과 성숙을 조절하기 위한 최적배양조건의 구명은 황 등 (2011)에 의하여 이루어진 바 있다. 따라서 이 조건을 활용하여, 넓미역 및 미역의 암수 유리배우체 클론들은 PESI 배지, $10-15^\circ\text{C}$ 및 $20-40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 각각 통기배양하면서 증식시켰다. 사상의 배우체들은 점차 공과 같은 형태의 덩어리로 자랐으며 직경 2mm를 넘으면 호모게나이저로 8,000 rpm에서 60초간 분쇄하여 $200 \mu\text{m}$ 크기로 잘라주었다. 이들 유리배우체 단편들은 충분한 양의 배우체로 자랄 때까지 지속적으로 증식시켰으며, 배지는 1주일에 한번씩 1/2를 교체해 주었다.

암수배우체 클론은 각각 $50 \mu\text{m}$ 망목의 물러가아제를 이용하여 걸러준 후 3L 크기의 플라스크 분량이 될 때까지 세단과 증식을 반복하여 배양하였다. 암배우체는 세단을 하고, 멸균 처리한 4cm 길이의 크레모나사 절편 50개씩을 암배우체와 함께 플라스크에 함께 넣어 1개월간 통기배양하였다. 암배우체가 부착된 크레모나사 절편은 암배우체의 플라스크에서 꺼내어 수배우체 플라스크로 옮겨 14:10h (L:D) 광주기조건 하에서 1개월간 통기배양하였다. 크레모나사 절편은 일반적으로 미역이나 다시마 양식의 채묘에 이용되는 채묘틀에 사용되는 기질로, 폴리비닐계 섬유이며 직경은 $1.43 \pm 0.12 \text{ mm}$ 이다. 이 크레모나사는 4cm 길이로 잘라서 미리 70% 에틸알코올에 침적시킨뒤 dry oven에서 건조시켜 멸균하였다. 크레모나사 단편을 사용하는 이유는 소량의 유리배우체로도 효과적인 부착을 유도하기 위하여 사용하였다. 아포체의 부착이 확인된 크레모나사 단편은 직경 12mm의 폴리프로필렌 로프에 20cm 간격으로 끼워, 전남 완도군 약산면의 시험어장에서 양성 시험에 이용하였다.

(1) 넓미역과 미역 유리배우체 교잡종의 실내배양

넓미역과 미역 유리배우체 교잡종의 최적배양조건을 구명하기 위하여, 2010년 10월부터 11월까지 교잡실험을 수행하였다. 유리배우체는 6-10개의 세포를 가지는 필라멘트 크기로 세단하여 $100 \pm 20 \text{ mm}$ 크기의 grid-SPL 배양용기에서 배양하였다. 모든

배양용기에는 50 ± 25 개/cm²의 암배우체 단편과 200 ± 50 개/cm²의 수배우체를 포함하도록 하여 암수의 성비가 1:4가 되도록 하였다. 배양조건은 3개의 광주기 조건 (10:14, 12:12 및 14:10h L:D), 4개의 온도 조건 (5, 10, 15 및 20°C) 및 4개의 조도 조건 (5, 10, 20 및 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 각각 넓미역 암배우체와 미역 수배우체의 교잡 구간 및 미역 암배우체와 넓미역 수배우체의 교잡 구간에서 아포체의 발달 여부를 측정하였다. 아포체 발달의 정량화는 각각 3개의 grid 구획에서 배우체를 검경하여 평균한 후 단위면적당 아포체 형성 갯수로 환산하였다.

(2) 미역 암배우체와 넓미역 수배우체 교잡종의 야외 양성

암수배우체가 부착된 상태의 크레모나사 절편은 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D) 조건하에서 아포체 발달을 유도시켰으며, 이후 야외 양성 실험에 이용하였다. 넓미역 암배우체와 미역 수배우체간의 교잡 실험구는 아포체 형성율이 10%에도 미치지 못하였으므로, 아포체 형성율이 100%에 가까웠던 미역 암배우체와 넓미역 수배우체간의 교잡 실험구만 야외 양성실험을 실시하였다. 아포체의 부착이 확인된 크레모나사 단편은 직경 12mm의 폴리프로필렌 로프에 20cm 간격으로 끼워, 전남 완도군 약산면의 시험어장에서 양성 시험에 이용하였다. 양성실험은 2010년 12월부터 2011년 6월까지 매월 1m의 양성 로프 내에 부착된 모든 엽체를 수거하여 엽체의 형태적 특징과 중량을 측정하였다. 교잡종의 생장은 모친이 되는 넓미역 및 미역과 함께 동일 양성 어장에서 양성 실험을 통하여 비교하였다.

4. 넓미역의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

(1) 넓미역 추출물의 세포생리활성 연구

넓미역 추출물의 피부노화방지 및 치료 후보물질로서의 가능성을 연구하기 위해 *in vitro* 레벨에서의 연구를 수행하였다. 즉, 넓미역추출물을 CCD-986sk cell line monolayer (human fibroblast, KCBL-21947)에 투여하여 피부세포에 대한 넓미역추출물의 피부 세포 생리활성효과를 측정하였다.

(2) 성분분석

본 실험에 사용된 넓미역 시료는 건조분말 (약 50-100 μm mesh) 상태로 제작하여 시료중의 일반성분 및 원소 분석을 실시하였다.

일반성분중 수분은 상압가열건조법에 의하여 항량으로 미리 가열된 칭량접시에 검체 3-5g을 정밀히 달아 105-110°C의 건조기에 넣어 3-5시간 건조후 데시케이터

중에서 30분간 식힌 후 무게를 측정하였다. 1회에 4시간 건조하여 수분량을 측정하였다.

회화를 위한 전처리는 깨끗한 회화용기를 전기로에서 600℃ 이상으로 여러시간 강하게 가열한 후 데시케이터에 옮겨 실온으로 식힌 다음 곧 화학천칭으로 칭량하였다. 다시 2시간동안 강하게 가열하여 건조 칭량하고, 이 조작을 항량이 될 때까지 반복하였다. 전처리 후 용기를 그대로 회화로에 옮겨 550-600℃에서 여러시간 가열하여 백색-회백색의 회분이 얻어질 때까지 계속하였다. 회화가 끝난 후 가열을 그치고 그대로 식혀 온도가 약 200℃로 되었을 때 데시케이터에 옮겨 식힌 후 칭량하였다. 회화한 다음 데시케이터에 옮겨 식히고 실온으로 되면 곧 칭량하여 검체의 회분량(%)을 산출하였다.

조지방은 에테르 추출법으로 측정하였다. 미세한 분말로 만든 검체 2-10g을 달아 원통여과지에 넣고 검체 위에 탈지면을 가볍게 충전하여 이를 적당한 용기에 담아 100-105℃의 건조기에서 2-3시간 건조한 후, 데시케이터에서 식히고 추출관에 넣었다. 받는 그릇에 무수에테르 약 1/2 용량을 넣어 장치하고 8시간 추출하였다. 추출이 끝난 후 냉각기를 떼고 추출관 속의 원통여과지를 핀셋으로 꺼내 다시 냉각기를 모두 추출관에 연결하여 수욕상에서 가온하여 받는 그릇중의 에테르가 전부 추출관에 옮겨지면 받는 그릇을 떼어 수욕중에서 에테르를 완전히 증발시켰다. 받는 그릇의 바깥을 거즈로 깨끗이 닦은 후 98-100℃의 건조기에 넣어 약 1시간 함량이 될 때까지 건조한 다음 데시케이터에서 식히고 칭량하였다.

조단백은 질소 함량이 2-3mg에 해당하는 양의 검체를 정밀히 취하여 킬달클라스크에 넣고 여기에 분해촉진제 약 13.5g을 넣은 후 플라스크 내벽을 따라 황산 15 ml를 조금씩 넣었다. 플라스크를 천천히 가열하고 검체의 탄화물이 보이지 않을 때까지 온도를 높여 끓이고 분해액이 투명한 담청색이 되면 다시 1-2시간 가열을 계속하였다. 분해액을 실온으로 냉각시킨 후 물 250ml를 가하고 NaOH 용액 60 ml를 넣어 증류장치에서 가열하여 증류되어 나오는 암모니아를 봉산 25 ml가 들어있는 수기에 흡수시켰다. 증류가 끝나면 청록색의 수용액이 회백색으로 될 때까지 0.1 n-HCl 용액으로 적정하였다.

원소분석은 CHN analyzer를 이용하여 분석하였다.

(3) 제품개발

넙미역의 건조품 제작에는 제품의 균질성 및 색택의 보전성을 높일 수 있도록 피건조물 중의 수분을 열풍으로써 가열, 증발시키고, 증발한 수분을 송풍기로서 기류를 강제 순환시켜 제서하는 열풍건조법이 적용되었다. 건피조물을 쇠그물로 제작된 선반에 담아 차곡차곡 끼워 넣은 후 건조기에 수용하여 열풍을 흘려 건조시켰다.

제품개발은 전라남도 진도군 고군면 향동리 소재의 (주) 아침가리에서 이루어졌다.

건조품 제조 과정은 다음과 같다.

① 원료 채취

완전히 다 자란 넓미역 엽체의 부착부 위쪽을 절단하여 채취한다.

② 세척

빨, 규조토, 기타 이물질 제거, 깨끗한 해수나, 2% 염수용액으로 2회 이상 실시한다.

③ 선별

성실엽의 하단은 줄기가 되어 있는 부분까지, 상단은 끝녹음이 나타나는 부분을 절단한다.

④ 탈수

엽체를 그물망에 넣어 탈수기에 수용하여 100rpm에서 3-4분 동안 수분을 가능한 제거한다.

⑤ 건조

엽체를 쇠그물 건조대에 펼친 후 건조기에 수용하여 40℃에서 2시간 동안 건조시켜 수분함량이 8-10%가 되도록 한다.

⑥ 재선별

건조된 엽체들 가운데 노쇄엽, 황갈색엽, 변색된 것, 이물질이 제거되지 않는 것들을 제거한다.

⑦ - (커트 넓미역) - 건조된 엽체를 2*2cm 크기로 절단한다.

- (쌈 넓미역) - 건조된 엽체를 10*10cm 크기로 절단한다.

⑦ ⑧ 내포장

0.04mm 이상의 polyethylene 포장지에 넣고 접착기로 밀봉한다.

나. 경제성 분석

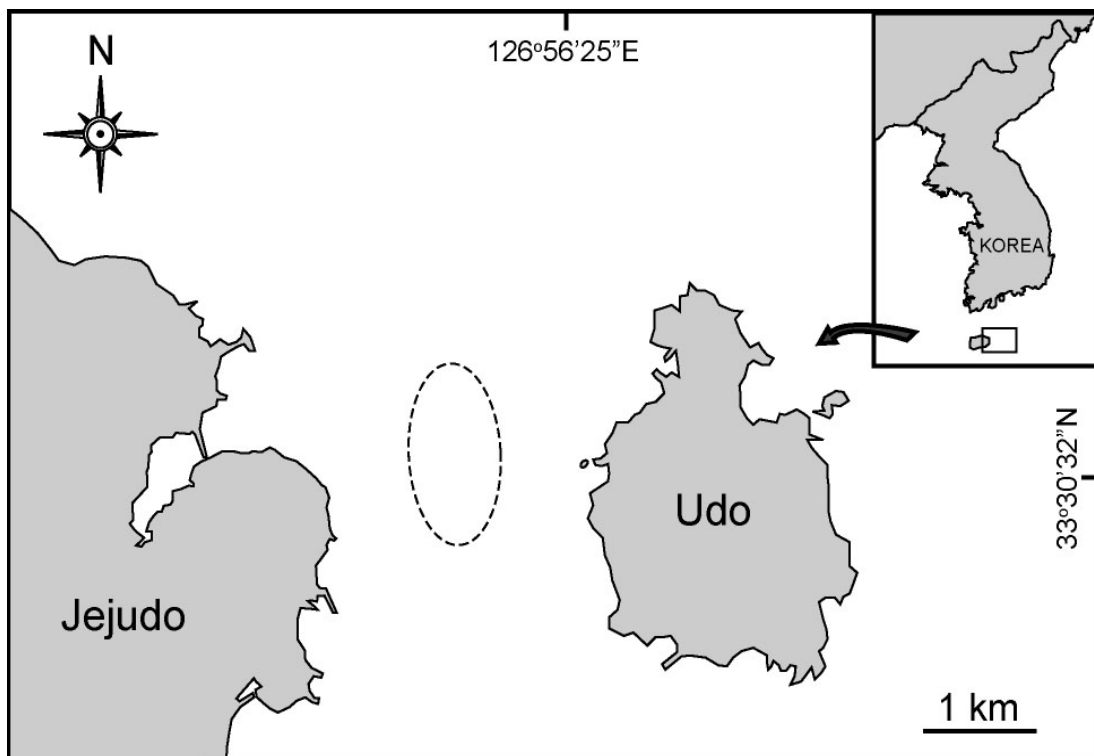
넓미역 양식 어업의 경영분석은 크게 종묘생산부분과 양식부분으로 나누어 분석하였다. 넓미역의 종묘생산과 양식에 참여했던 시험어가를 통하여 조사된 기초자료를 이용하여 손익계산서, 공통형 손익계산서, 항목별 민감도분석을 실시하였다. 경영분석에 사용된 넓미역의 단가는 현재 유통 판매되고 있는 넓미역이 없기 때문에 완도, 진도지역에서 유통되고 있는 미역의 단가를 적용하였으며, 미역 양식 어업과 경영 비교분석을 위해 주요양식품종 어가별 소득자료집 (해양수산부, 2002)에 제시된 미역의 양식의 분석치가 적용되었다.

제 2 절 연구결과

1. 넓미역의 생태학적 연구

가. 서식환경 및 군락 면적조사

넓미역은 제주도 성산포 종달리와 우도 사이의 유속이 0.5-1.5m/sec로 강한 수로에 주로 분포하고, 저질은 무절산호조류가 직경 2-4cm의 괴를 형성하고 있었다. 분포 수심은 12-17 m 범위였으나, 넓미역이 가장 왕성하게 서식하는 곳의 수심은 14-16 m 범위였다. 조사지역에서 넓미역 개체군의 분포 면적은 약 228 ha로 추정되었다(그림 2-1). 현재까지 알려진 넓미역의 분포지역은 우리나라의 경우 제주도 우도와 비양도, 가파도 (Kang, 1966; Lee and Koh, 1991) 및 청산도 (Lee et al., 1991)의 수심 15 m 이상인 지역으로 보고되었으나, 광범위하게 넓은 지역에 군집을 형성하는 곳은 제주도 우도 지역이 유일한 것으로 파악되었다. 넓미역이 분포하거나 우점군집을 형성하는 서식지역은 수심이 깊고, 투명도가 높으며 외양역에 면해 조류의 흐름이 빠르며, 쿠로시오 난류의 영향이 강한 해역인 것으로 분석되었다.



〈그림 2-1〉 제주도 우도 지역의 넓미역 개체군 분포지역.

넓미역 서식지의 환경조사 결과 표 2-1과 같이 표층수온은 14.0-29.0 °C였으며, 수심 15 m의 저층수온은 13.7-26.0 °C로 3월에 가장 낮고, 8월에 가장 높았다. 염분 농도는 31.6-34.3 ppt 범위였으며, 용존산소 농도는 5.4-7.6 mg/L 그리고 전기전도도는 40.8-48.5 ms 범위였다.

표 2-1. 제주도 우도 지역의 넓미역 분포지역 환경조사자료

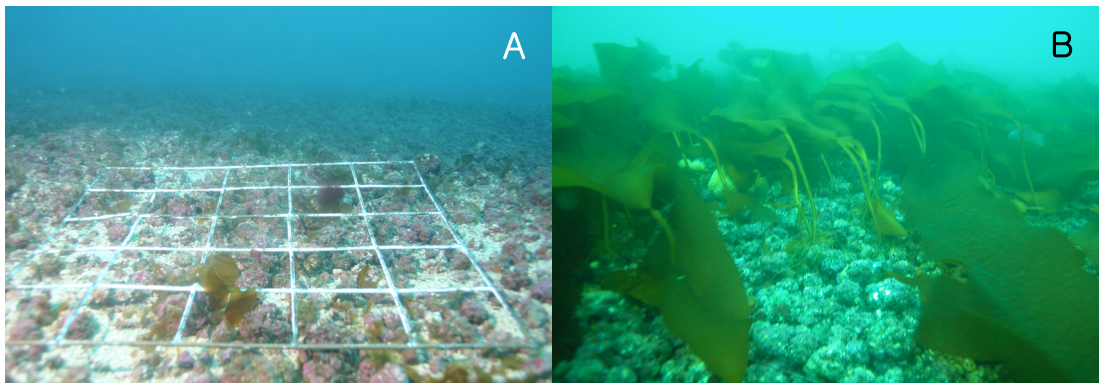
월	환경조사자료				
	표층수온 (°C)	저층수온	염분 (ppt)	DO (mg/L)	Con. (ms)
2008년 12월	17.20	17.3	34.4	6.63	44.5
2009년 1월	15.60	15.4	34.20	38.18	42.65
2월	14.90	14.6	33.50	7.50	41.38
3월	14.00	13.7	33.20	7.65	40.78
4월	15.70	15.3	34.30	6.95	42.97
5월	17.50	17	33.40	6.89	43.48
6월	18.90	18	33.90	6.48	45.46
7월	23.00	19	33.10	5.97	48.50
8월	29.00	26	33.6	6.43	45.49
9월	24.60	21	31.6	6.29	48.04
10월	21.30	20.5	33.60	5.46	47.00

미역이나 다시마류의 분포 및 생물량은 일반적으로 수온에 따라 매우 다른 양상을 보이는 것으로 알려져 있다 (Kirihara et al., 2006). 즉, 22°C 또는 그 이상의 수온 조건에서 성숙하고 생물량도 증가하는 종류로는 미역과 곶피가 있으나 대부분의 다른 다시마류 (*Laminaria japonica*, *Kjellmaniella crassifolia*, *Agarum cribrosum f. rugosum* 및 *Costaria costata*)는 20°C 이하의 수온 조건하에서 성숙된다 (Kirihara et al., 2006). 일본의 큐우슈우 북부지역의 연안에 서식하는 넓미역의 경우는 수온 25°C 이상인 조건에서 성숙하는 것으로 알려져 있다 (Migita, 1963). 본 조사결과 넓미역 성숙 업체의 출현비율이 가장 높았던 시기는 8월로 표층수온은 29°C였으나, 넓미역이 분포하는 저층의 수온은 26°C로 Migita (1963)의 보고와 유사한 수온범위를 보였다.

우도 지역 넓미역 서식지의 저질은 홍조 산호조류인 *Lithophyllum* spp.가 괴를 형성해 밀집하여 쌓여있는 독특한 상태이며 (그림 2-2), 넓미역은 이들 산호조류에

착생하여 서식하고 있다. 넓미역이 이들 산호조류에 부착하여 서식하는 기질특이성과 같은 현상에 대해서는 알려진 바 없으나 이지역의 저질이 주로 무절산호조류의 피로 덮여 있어 넓미역은 기질선택의 여지없이 저질의 기질을 이루고 있는 무절산호조류의 피에 부착 서식할 수밖에 없기 때문인 것으로 보였다. 그 근거로서는, 본 연구자들이 실시한 넓미역 인공 양식실험의 결과에 의하면 넓미역 유주자가 양식 로프에도 성공적으로 부착하여 생육됨이 확인되었다. 이는 넓미역이 무절산호조류의 피와 같은 특정 기질에만 선대적으로 부착 생육할 수 있는 것이 아니라 넓미역 자연군락 서식지의 저질을 무절산호조류의 피와 같은 특정 기질이 우점하여 형성하고 있기 때문에 넓미역의 유주자들이 기질 선택의 여지없이 주로 산호조류에 착생하여 생육하고 있는 것으로 추론되었다.

또한 넓미역이 순군락을 이루어 분포하는 서식지의 해조상은 매우 단조로워 담배 잎산말, 감태 그리고 몇몇 소형 홍조류들만이 출현하는 양상을 보였다. 즉, 넓미역 개체군의 서식군락에는 다른 대형갈조류의 서식이 거의 확인되지 않았다. 이와 같은 분포양상은 성장속도가 빠른 대형의 1년생인 넓미역 개체군이 서식지의 공간 및 수광 경쟁에서 성장속도가 느린 다년생인 감태 또는 모자반류, 소형의 홍조류들 보다 앞서고, 또한 서식지의 기질이 무절산호조류의 피들로 이루어져 감태 또는 모자반류와 같이 엽체가 크고 다육질인 해조류가 강한 파도나 강한 조류의 흐름에 견디어 낼 수 있도록 엽체를 견고히 부착시키는데 다소 부적합하기 때문인 것으로 판단되었다.



〈그림 2-2〉 제주도 우도의 넓미역 서식지. A: 2월. B: 5월.

나. 분포조사

본 조사에서 채집 동정된 해조류는 총 100종으로 녹조류 15종, 갈조류 23종 및 홍조류 62종이었다 (표 2-2). 각 지점별 출현종수는 표선에서 총 45종으로 가장 많았으며, 종달에서 총 39종, 비양도에서 총 37종 그리고 우도와 김녕이 각각 36종 및 25종 순으로 나타났다. 5개 지점에서 공통적으로 출현한 해조류는 감태, 흑돌잎

및 낭과적이었으며, 넓미역은 5개 지점 가운데 우도에서만 출현하였다. 해조류의 중요도는 표 2-3과 같이 감태가 모든 지점에서 공통적으로 5 이상의 높은 중요도를 나타내었으며, 흑돌잎은 표선을 제외한 나머지 4개 지점에서 모두 5 이상의 높은 중요도를 보였다. 단위면적당 현존량은 표 2-4와 같다. 현존량이 가장 높았던 종은 우도에서 출현한 넓미역으로 997g/m²였으며, 감태는 모든 지점에서 공통적으로 높은 현존량을 나타내었다.

비양도에서 조사된 해조류의 출현종수는 총 37종이 출현하였으며, 분류군별로는 녹조류 7종, 갈조류 8종 및 홍조류 21종이 출현하였다. 비양도 지역의 어업인들에 의하면 과거에는 이 지역에 넓미역이 분포하였으나 현재는 사라진 상태라고 하였으며, 본 조사에서도 넓미역은 관찰되지 않았다. 비양도 지역에서 중요도가 가장 높았던 우점종은 흑돌잎이었으며 아우점종은 낭과적과 두갈래사슬풀, 감태 등으로 나타났다(표 2-3, 그림 2-3). 비양도의 경우 해조상이 밀집되어 분포한다기 보다는 매우 분산되어 분포하므로 단위면적당 현존량은 다른 지점에 비하여 비교적 낮게 나타났다(표 2-4).



〈그림 2-3〉 비양도의 해조 군락 사진 (좌: 저질은 사질로 덮여 있으며 흑돌잎과 감태 군락이 분포.
우: 사질의 저질과 흑돌잎에 부착된 소형 홍조류).

김녕에서 조사된 해조류 출현종수는 총 25종이 출현하였으며, 분류군별로는 녹조류 5종, 갈조류 7종 및 홍조류 13종이 출현하였다. 김녕에서도 넓미역은 관찰되지 않았으며, 중요도가 높았던 우점종은 감태였고, 참곱슬이, 미역, 흑돌잎 등이 아우점종으로 나타났다(표 2-3, 그림 2-4). 김녕 지역에서 단위면적당 현존량이 가장 높았던 종은 감태로 94 g/m²였다(표 2-4).



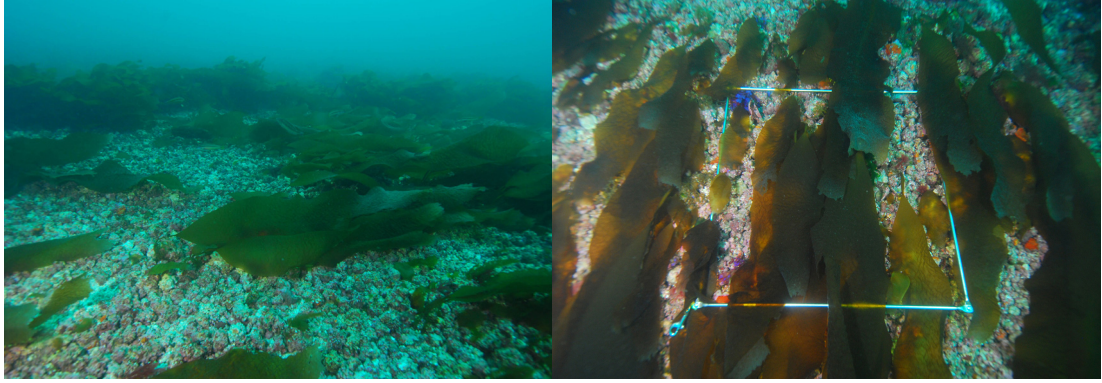
〈그림 2-4〉 김녕의 해조 군락 사진 (좌: 암반에 부착된 감태 엽체. 우: 감태 유엽)

종달에서 출현한 해조류의 수는 총 39종이 출현하였으며, 분류군별로는 녹조류 8종, 갈조류 9종 및 홍조류 22종이 출현하였다. 종달 지역의 저질은 산호조류의 피가 산재하고 있어 우도 지역의 그것과 매우 유사한 특징을 가지고 있으나 넓미역은 관찰되지 않았다(그림 2-5). 종달 지역에서 중요도가 가장 높았던 우점종은 갈래곰보였으며, 아우점종은 감태, 미끌지누아리 등이었다(표 2-3). 단위면적당 현존량이 가장 높았던 종은 갈래곰보로 324.9 g/m^2 이었다(표 2-4).



〈그림 2-5〉 종달의 해조 군락 사진. 좌: 산호조류로 덮인 저질과 말청각 엽체. 우: 감태 엽체와 소형 홍조류들

우도에서는 총 36종의 해조류가 출현하였으며, 분류군별로는 녹조류 8종, 갈조류 9종 및 홍조류 19종이 출현하였다. 이 지역은 5개 조사지점중 유일하게 넓미역의 군락이 분포하는 지역으로 저질은 산호조류가 피를 형성하고 있었다(그림 2-6). 우도 지역에서 가장 높은 중요도를 보인 우점종은 흑돌잎이었으며, 아우점종은 넓미역으로 나타났다(표 2-3). 단위면적당 현존량은 넓미역이 997 g/m^2 으로 가장 많았다(표 2-4).



〈그림 2-6〉 우도의 해조 군락 사진. 좌: 산호조류로 덮인 저질과 넓미역 군락.
우: 소형 홍조류와 넓미역 군락.

표선에서 조사된 해조류는 총 45종으로 나타났으며, 분류군별로는 녹조류 5종, 갈조류 12종 및 홍조류 28종이 출현하였다. 표선에서도 넓미역은 관찰되지 않았으며, 가장 높은 중요도를 보인 우점종은 감태였으며 아우점종은 넓은게발로 나타났다 (표 2-3, 그림 2-7).



〈그림 2-7〉 표선의 해조 군락 사진. 좌: 암반 및 사질의 저질과 감태 엽체.
우: 암반에 부착된 개그물 바탕말과 소형 홍조류

〈표 2-2〉 제주 연안 5개 지점에서 조사된 조하대 해조류의 종목록

학 명	국 명	조사지점					Total
		비양도	김녕	종달	우도	표선	
<i>Enteromorpha compressa</i>	납작파래		+			+	
<i>Ulva lactuca</i>	참갈파래			+	+		
<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래	+		+			
<i>Ulva conglobata</i>	모란갈파래	+		+	+	+	
<i>Cladophora albida</i>	숨대마디말				+		
<i>Cladophora japonica</i>	큰대마디말	+	+	+		+	
<i>Cladophora opaca</i>	흐린대마디말	+					
<i>Cladophora conchopheria</i>	고동옷대마디말				+		
<i>Cladophora wrightiana</i>	갈색대마디말			+			
<i>Bryopsis plumosa</i>	참깃털말		+		+	+	
<i>Codium adhaerens</i>	떡청각	+		+	+	+	
<i>Codium coactum</i>	누운청각	+	+		+		
<i>Codium subtubulosum</i>	말청각			+			
<i>Codium fragile</i>	청각	+		+	+		
<i>Codium minus</i>	구슬청각		+				
<i>Leathesia difformis</i>	바위두룩				+	+	
<i>Colpomenia bullosa</i>	긴불레기말	+					
<i>Colpomenia sinuosa</i>	불레기말	+			+	+	
<i>Desmarestia tabacoides</i>	담배잎산말		+	+	+	+	
<i>Sporochnus radicumformis</i>	참털비말			+			
<i>Undariopsis peterseniana</i>	넓미역				+		
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역	+	+	+		+	
<i>Ecklonia cava</i>	감태	+	+	+	+	+	
<i>Dictyopteris divaricata</i>	미끈뼈대그물말	+				+	
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뼈대그물말	+		+			
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뼈대그물말					+	
<i>Dictyopteris undulata</i>	주름뼈대그물말		+				
<i>Dictyota dichotoma</i>	참그물바탕말				+		
<i>Dilophus okamurae</i>	개그물바탕말		+	+		+	
<i>Padina arborescens</i>	부챗말	+			+		
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말					+	
<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반			+			
<i>Sargassum confusum</i>	알쏭이모자반				+	+	
<i>Sargassum fulvellum</i>	모자반			+			

〈표 2-2〉 (계속)

학 명	국 명	조사지점					Total
		비양도	김녕	종달	우도	표선	
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	짜잎모자반	+				+	
<i>Sargassum horneri</i>	괭생이모자반		+				
<i>Sargassum ringgodianum</i>	큰잎모자반				+	+	
<i>Sargassum thunbergii</i>	지층이		+	+			
<i>Auduinella codicola</i>	청각나룻말					+	
<i>Galaxaura falcata</i>	여린가위손말		+			+	
<i>Galaxaura hystrix</i>	외꼭지가위손말	+					
<i>Scinaia japonica</i>	외호늘풀	+		+	+		
<i>Palmaria palmata</i>	팔손이풀			+			
<i>Acanthopeltis japonica</i>	새발		+	+		+	
<i>Gelidium amansii</i>	우뭇가사리			+			
<i>Gelidium divaricatum</i>	애기우뭇가사리			+		+	
<i>Pterocladia capillaceae</i>	개우무				+	+	
<i>Dudresnaya japonica</i>	자주비로드				+		
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고	+	+			+	
<i>Hildenbrandtia rubru</i>	진분홍딱지					+	
<i>Lithophyllum okamurae</i>	흑돌잎	+	+	+	+	+	
<i>Lithophyllum cystocarpioideum</i>	낭과쩍	+	+	+	+	+	
<i>Mesophyllum erubescens</i>	돌나무쩍				+		
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발					+	
<i>Amphiroa dilatata</i>	넓은게발		+			+	
<i>Amphiroa ephedraea</i>	에페드라게발					+	
<i>Corallina officinalis</i>	참산호말					+	
<i>Corallina pilulifera</i>	작은구슬산호말			+		+	
<i>Jania adhaerens</i>	덩이애기산호말	+					
<i>Jania arborescens</i>	나무꼴애기산호말					+	
<i>Marginisporum aberrans</i>	방황게발혹			+			
<i>Marginisporum crassissima</i>	둘레게발혹				+		
<i>Prionitis angusta</i>	붉은뼈까막살	+			+		
<i>Prionitis cornea</i>	붉은까막살		+				
<i>Grateloupia imbricata</i>	꽃지누아리		+				
<i>Grateloupia turuturu</i>	미끌지누아리	+		+	+		
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	참도박				+		
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎			+			
<i>Meristotheca papulosa</i>	갈래곰보			+		+	
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이	+	+	+		+	
<i>Hypnea chaoides</i>	참가시우무				+		
<i>Hypnea saidana</i>	사이다가시우무					+	

〈표 2-2〉 (계속)

학 명	국 명	조사지점					Total
		비양도	김녕	종달	우도	표선	
<i>Phecelocarpus japonicus</i>	평꼬리풀			+			
<i>Gracilaria chorda</i>	개꼬시래기			+			
<i>Gracilaria textorii</i>	앞꼬시래기					+	
<i>Gymnogogrus flabelliformis</i>	부챗살	+		+	+		
<i>Chondrus crispus</i>	주름진두발			+			
<i>Chondrus ocellatus</i>	진두발	+			+	+	
<i>Chondracanthus intermedia</i>	애기돌가사리			+		+	
<i>Chondracanthus tenella</i>	돌가사리	+		+		+	
<i>Chrysomenia grandis</i>	주머니끈적이	+	+		+		
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치	+			+		
<i>Rhodymenia pertusa</i>	구멍분홍치				+		
<i>Lomentaria catenata</i>	마디잘록이				+		
<i>Champia bifida</i>	두갈래사슬풀	+					
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀				+		
<i>Campylaeophora crassa</i>	굵은석묵	+		+		+	
<i>Centroceras clavulatum</i>	가시풀					+	
<i>Ceramium boydenii</i>	단박			+			
<i>Plenosporium segawae</i>	세가와오디풀		+				
<i>Acrosorium polyneurum</i>	잔금분홍잎		+		+		
<i>Martensia denticulata</i>	비단망사					+	
<i>Ardissonula regularis</i>	다홍나래풀		+				
<i>Heterosiphonia japonica</i>	엇가지풀	+		+		+	
<i>Laurencia intermedia</i>	검은서실	+				+	
<i>Laurencia pinnata</i>	깃꼴서실					+	
<i>Laurencia okamurae</i>	쌍발이서실	+					
<i>Neosiphonia japonica</i>	떨기나무붉은실	+					
<i>Polysiphonia morrowi</i>	모로우붉은실	+			+		
<i>Symphyclocladia latiuscula</i>	참보라색우무		+	+	+		
Chlorophyta		7	5	8	8	5	15
Phaeophyta		8	7	9	9	12	23
Rhodophyta		21	13	22	19	28	62
Sum		37	25	39	36	45	100

〈표 2-3〉 제주 연안 5개 조사지점에서 나타난 해조류의 중요도 (5이상만 표시함)

학 명	국 명	조사지점				
		비양도	김녕	종달	우도	표선
<i>Ulva lactuca</i>	참갈파래				6.7	
<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래	6.7				
<i>Undariopsis peterseniana</i>	넓미역				21.3	
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역		6.5	5.4		
<i>Ecklonia cava</i>	감태	7.4	39.8	12.2	5.1	33.9
<i>Scinaia japonica</i>	외흐늘풀			6.4		
<i>Acanthopeltis japonica</i>	새발					7.5
<i>Lithophyllum okamurae</i>	흑돌잎	20.5	5.5	5.2	28.4	
<i>Lithothamnion cystocarpioideum</i>	낭과적	8.3				6.4
<i>Amphiroa anceps</i>	넓은게발					12.2
<i>Grateloupia turuturu</i>	미끌지누아리			10.6	5.3	
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎			6.4		
<i>Meristotheca papulosa</i>	갈래곰보			13.6		
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이	5.6	7.9			
<i>Chrysymenia grandis</i>	주머니끈적이	6.8				
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치	5.6				
<i>Champia bifida</i>	두갈래사슬풀	7.9				
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실				6.2	

〈표 2-4〉 제주 연안 5개 조사지점에서 나타난 해조류의 단위면적당 현존량 (g/m²)

학명	국명	조사지점				
		비양도	김녕	종달	우도	표선
<i>Ulva lactuca</i>	참갈파래			27.3	3.7	
<i>Cladophora japonica</i>	큰대마디말		1.3			23.3
<i>Codium coactum</i>	누운청각	1.3	2.7		2	
<i>Colpomenia sinuosa</i>	불레기말				6.3	2.7
<i>Desmarestia tabacoides</i>	담배잎산말			29	12.9	4.7
<i>Sporochmus radiformis</i>	참털비말			23		
<i>Undariopsis peterseniana</i>	넓미역				997	
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역		6.7	19.7		46
<i>Ecklonia cava</i>	감태	3.3	94	92.3	5.1	862
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뼈대그물말			5.3		
<i>Dictyopteris undulata</i>	주름뼈대그물말			1.7		
<i>Dictyota dichotoma</i>	참그물바탕말					6.7
<i>Dilophus okamurae</i>	개그물바탕말		1.3			
<i>Scinaia japonica</i>	외호늘풀			86.2		
<i>Acanthopeltis japonica</i>	새발					68
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고		1.3			16.7
<i>Amphiroa anceps</i>	넓은게발		1.3			83.3
<i>Corallina officinalis</i>	참산호말					2.7
<i>Grateloupia turuturu</i>	미끌지누아리			127.4	39.4	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	참도박				18	
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎			27.5		
<i>Meristotheca papulosa</i>	갈래곰보			324.9		14.7
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이	0.7	4	4.7		
<i>Gracilaria chorda</i>	개꼬시래기			27.3		
<i>Chrysymenia grandis</i>	주머니끈적이	2				
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치	0.7			3.3	
<i>Rhodymenia pertusa</i>	구멍분홍치				3.1	
<i>Champia bifida</i>	두갈래사슬풀	2.7				
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀				3.3	
<i>Laurencia pinnata</i>	깃꼴서실					1.3
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실	0.7			23.3	

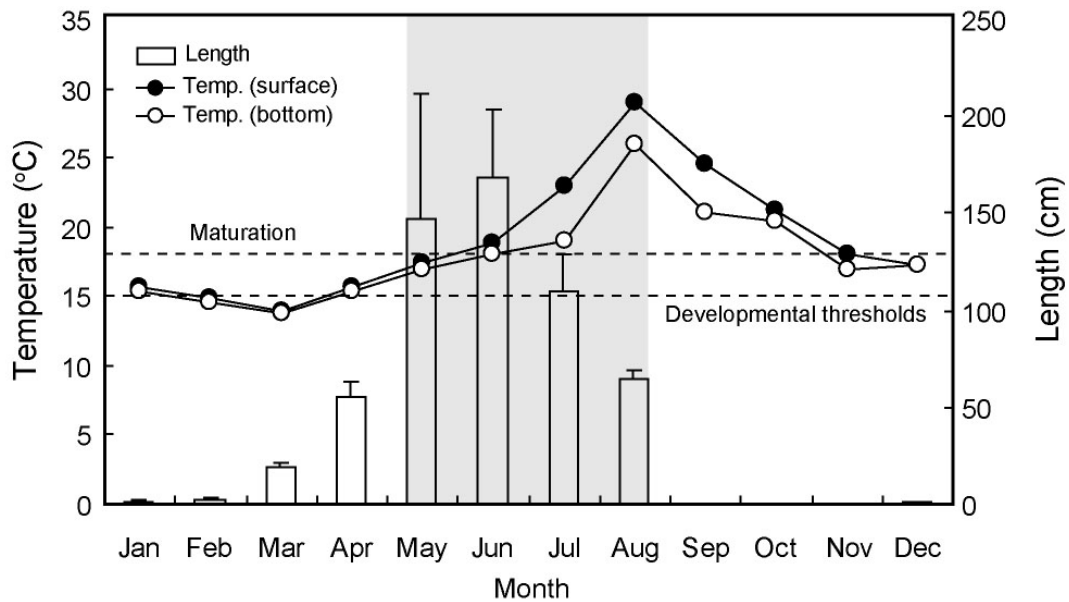
다. 성장 및 성숙 주기

넓미역의 단위면적당 현존량 (표 2-5)은 2월부터 점차 증가하기 시작하여 5월에 $13.3 \pm 1.2 \text{ kg/m}^2$ 로 최대치를 보였고, 이후 점차 감소하여 9월에는 모든 엽체가 소실되었다. 단위면적당 엽체수 (표 2-5)는 3월에 $134.4 \pm 77.6 \text{ ind./m}^2$ 로 가장 많았으며, 이후 점차 감소하였다.

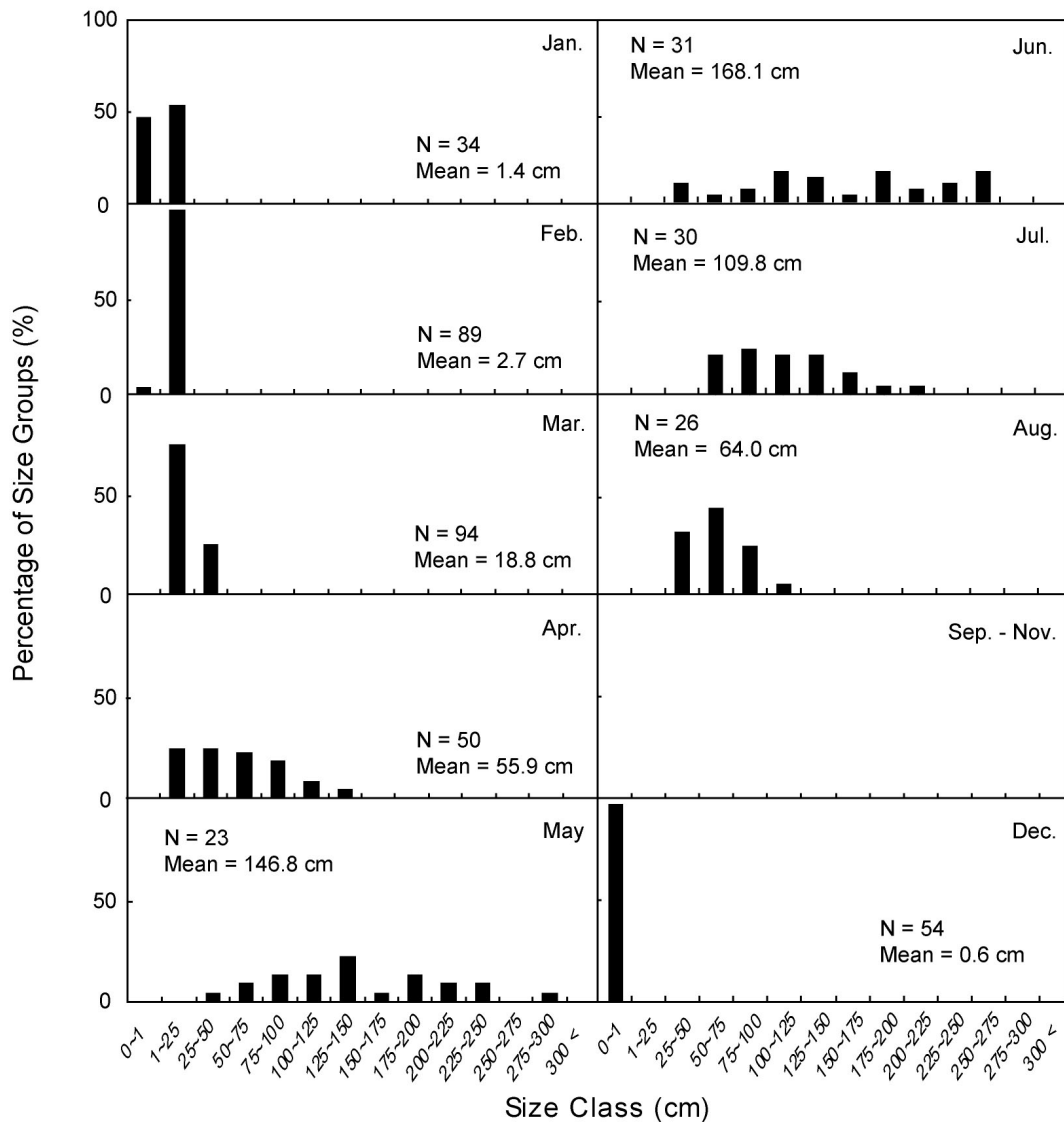
넓미역의 전장 (표 2-5, 그림 2-8)은 수심 15 m의 저층수온이 15°C 이상으로 상승하기 시작하는 4월부터 빠른 신장이 이루어져, 저층수온이 18°C 인 6월에 $168.1 \pm 35.7 \text{ cm}$ 로 최대생장을 나타내었고, 저층수온이 19°C 이상으로 증가하면 엽체 소실이 일어나 급격하게 감소되는 경향을 보였다. 넓미역의 전장 크기별 빈도 분포 (그림 2-9)는 1월에 전장이 주로 25 cm 이하 그룹으로 출현하였으나, 엽체의 길이 생장이 급격하게 이루어지는 5월과 6월에는 전장 25-50 cm 그룹부터 전장 250-275 cm 그룹까지 고른 출현비율을 나타내었다. 8월 이후에는 선단부터 녹아나가기 시작하여 다시 전장 100 cm 이하의 그룹만 출현하는 1년생 해조류의 전형적인 패턴을 보였다.

〈표 2-5〉 제주도 우도의 자연군락에서 채집된 넓미역의 형태 측정자료

월	현존량 (kg-fresh wt/m ²)	밀도 (ind./m ²)	전장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	주지길이 (cm)	성숙엽체 비율 (%)	자낭만 면적 (cm ² /ind.)
2008. 12	-	-	0.6±0.4	0.5±0.3	0.3±0.1	0.1±0.1	-	-
2009. 1	-	7	1.4±1.1	1.3±1.1	0.7±0.5	0.2±0.1	-	-
2	0.007	118.7±23.1	2.7±0.5	2.4±0.4	1.0±0.1	0.3±0.1	-	-
3	0.2±0.1	134.4±77.6	18.8±2.5	15.1±1.9	5.1±0.7	3.6±0.5	-	-
4	1.1±0.2	95.0±4.5	55.9±7.0	44.7±5.9	9.2±0.9	11.2±1.7	-	-
5	13.3±1.2	92.0±17.2	146.8±64.5	130.6±62.8	18.7±6.8	16.3±6.2	13	36.5±11.7
6	7.0±0.7	41.3±12.2	168.1±35.7	152.0±35.7	23.7±2.2	16.1±0.6	65	515.2±245.5
7	3.3±1.1	40.0±4.5	109.8±18.8	96.8±17.4	17.8±2.4	13.5±1.3	79	377.1±51.9
8	1.1±0.1	34.7±2.3	64.0±5.4	48.2±5.3	10.2±0.5	15.8±0.2	100	286.2±61.2
9~10	-	-	-	-	-	-	-	-



〈그림 2-8〉 제주도 우도의 자연군락에서 넓미역의 성장 및 성숙과 수온의 관계. 수직자는 표준편차를 나타냄. 음영은 성숙시기를 나타냄.



〈그림 2-9〉 제주도 우도의 자연군락에서 넓미역의 월별 엽장 빈도 분포

라. 성숙적산온도의 추정

Lee (1998)는 넓미역의 성숙엽체 출현 시기를 7월로 보고하였으나 본 연구결과 성숙 엽체는 5월부터 관찰되기 시작하였고, 성숙엽체의 출현비율은 5월 (저층수온 17.0°C) 이후 8월 (저층수온 26.0°C)까지 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 성숙 엽체의 자낭반 형성 면적은 저층수온이 18.0°C인 6월에 $515.2 \pm 245.5 \text{ cm}^2/\text{ind.}$ 로 최대값을 보였으며(표 2-5), 이후에는 점차 유주자의 방출 및 수온 상승에 따른 엽체의 소실 때문에 감소하여 9월에 엽체의 대부분이 거의 소실되는 경향을 보였다. 이와 같이 넓미역의 성숙시기가 빨라진 것은 해조류의 성숙에 직간접적인

영향을 미치는 요소 중의 하나인 수온변화를 고려해 볼 수 있다. 실제로 제주도 연안의 최근 10년간 연평균수온은 18.1℃ (KHOA, 1997-2006)였던 것이 2007년에 19.1℃로 1.0℃가 상승되었고, 특히 12월부터 3월까지의 겨울철 수온은 최근 10년간 평균수온보다 무려 1.8℃나 높아진 것으로 분석되었다. 해조류의 경우 생장이나 성숙과 같은 특정 종의 발달 단계를 위해 요구되는 누적온도의 총합은 항상 일정하며 온도와 시간의 조합에 따라 같은 양으로 나타나게 된다(Baskerville and Emin, 1969; Allen, 1976). 넓미역의 경우 야외 개체군 조사에서 생물학적 영점온도는 15℃로 추정되었으며(표 2-6), 성숙유효 적산온도 약 236 °C·day가 경과되면 자연 상태에서 넓미역 엽체가 자낭반을 형성하는 것으로 추정되었다. 이는 Hwang et al. (2003)이 옥덩굴 (*Caulerpa okamurae*) 개체군의 성숙유효 적산온도가 약 270 degree-days로 보고한 것에 비교하면 상대적으로 비교적 짧은 시간으로 이와 같은 차이는 해조류 종별 생리생태학적 특이성에서 기인된 것으로 보인다. 본 넓미역의 생태학적 연구 결과는 지구온난화에 따른 지속적인 연근해 수온상승이 연안에 서식하는 해조류의 시계열성에 직간접적인 영향을 미치고 있다는 것을 시사한다 하겠다.

〈표 2-6〉 넓미역의 적산온도 추정치

기간 (수온)	적산온도 (Degree days, °Cday)	비 고
2003년 12월 1일(15℃)~2004년 5월 29일(18℃)	228.6	
2004년 12월 1일(15.5℃)~2005년 5월 30일(18.9℃)	301.1	
2005년 12월 3일(15.2℃)~2006년 5월 31일(18.1℃)	321.3	Developmental thresholds: 15℃
2006년 12월1일(14.9℃)~2007년 5월 31일(18.1℃)	135.6	
2007년 12월 3일(14.9℃)~2008년 5월 29일(18.1℃)	193.5	
평 균	236.0±76.6	

2. 넓미역의 생리학적 연구

가. 넓미역 엽체의 부위별 광합성능 비교

자연에서 넓미역 엽체의 자낭반이 형성되는 시기인 5월에 채취된 엽체로부터 영양엽과 자낭반 형성 부위에서 절취한 직경 1.1cm의 중량과 두께는 표 2-7과 같다. 즉 자낭반이 형성된 성숙 부위는 엽체의 두께와 중량이 영양엽 보다 크게 증가하였으나, 광합성능은 영양엽에 비하여 감소하는 것으로 나타났다.

〈표 2-7〉 넓미역 엽체의 영양엽과 자낭반 형성 부위의 형태적 차이 및 광합성능 비교

구분	직경 1.1cm 디스크의 형태적 특성		광합성능 (Yield)
	중량 (g)	두께 (mm)	
영양엽 부위	0.062±0.013	0.204±0.026	0.478±0.148
성숙 부위	0.096±0.14	0.544±0.051	0.022±0.020

나. 실내배양환경연구

(1) 생육단계별 실내배양환경연구

(가) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 배우체의 생장

넓미역의 배우체는 표 2-8과 같이 배양 온도 및 조도 조건별로 길이생장에 차이를 나타내었다. 배양 10일후 20℃와 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 길이생장이 최대치인 120 μm 를 나타내었으며, 20℃와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 구간에서 최저치인 32 μm 을 나타내었다. 배양 10일 이후부터 암수배우체의 구분이 가능하였으므로 모든 실험구별로 암수배우체의 구분을 통한 길이생장을 측정하였다. 배양 20일후 암배우체의 길이생장은 20℃와 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최고치인 380 μm 을 나타내었으며, 배양 20일후 10℃와 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 128 μm 을 나타내었다. 수배우체의 길이생장은 배양 20일후 25℃와 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최고치인 475 μm 을 나타내었으며, 10℃와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 160 μm 을 나타내었다.

따라서 넓미역 암수배우체의 배양시 최적 배양조건은 15-25℃와 20-30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건이라 할 수 있으나 25℃ 구간에서는 규조류의 발생이 심하였으므로, 15-20℃와 20-30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건이 넓미역 배우체의 최적 배양조건이라 할 수 있다.

넓미역의 배우체 배양시 광주기 조건은 표 2-9와 같이 배양 5일후 10:14 (L:D) 실험구에서 최고치인 평균 35 μm 를 보였으며 12:12 (L:D) 실험구에서 최저치인 30 μm 를 나타내었다. 배양 20일후 암배우체의 길이생장은 10:14(L:D) 실험구에서 최고치인 316 μm 를 나타내었으며, 12:12 (L:D) 실험구에서 최저치인 270 μm 를 나타내었다. 배양 20일후 수배우체의 길이생장은 14:10 (L:D) 실험구에서 최고치인 465 μm 를 나타내었으며, 12:12 (L:D) 실험구에서 최저치인 263 μm 를 나타내었다. 따라서 광주기 조건별 넓미역 배우체의 길이생장은 광주기 조건에 따른 유의한 차이나 일정한 경향성을 보이지 않았다.

〈표 2-8〉 온도 및 조도 조건별 넓미역 배우체의 성장 (엽장 평균, μm)

온도 ($^{\circ}\text{C}$)	조도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	암수 배우체	배양일수 (일)					
			0	2	5	10	15	20
10	20	♀	26	27	29	33	66	140
		♂					80	160
	30	♀	26	29	32	41	75	136
		♂					85	186
	60	♀	26	28	33	39	76	128
		♂					106	166
15	20	♀	26	30	31	56	130	210
		♂					180	276
	30	♀	26	27	35	73	167	316
		♂					93	350
	60	♀	26	35	34	80	147	308
		♂					146	337
20	20	♀	26	30	31	32	190	356
		♂					221	425
	30	♀	26	31	33	68	172	380
		♂					120	236
	60	♀	26	32	31	97	198	275
		♂					112	205
25	20	♀	26	30	31	32	133	415
		♂					217	430
	30	♀	26	29	32	67	170	335
		♂					88	226
	60	♀	26	31	33	82	172	308
		♂					137	230

〈표 2-9〉 광주기조건별 넓미역 배우체의 성장도

(평균 길이, μm , 배양온도 15°C , 조도 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

광주기 (L:D)	암수 배우체	배양일수 (일)					
		0	2	5	10	15	20
10:14	♀	26	27	35	73	167	316
	♂				93	198	350
14:10	♀	26	31	32	80	185	290
	♂				120	246	465
12:12	♀	26	27	30	52	156	270
	♂				69	174	263

(나) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 아포체의 생장

넓미역의 암수배우체는 배양 30일 이후 수정이 이루어져 아포체로 발달하게 되는데, 각 온도 및 조도 조건별 넓미역 아포체의 생장은 표 2-10과 같다. 아포체는 15°C 및 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 가장 먼저 발달하기 시작하였으며, 배양 115일후 아포체의 길이생장은 15°C 및 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최고치인 5,550 μm 를 나타내었으며, 20°C 및 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 298 μm 를 나타내었다. 따라서 넓미역 아포체의 길이생장은 10-20°C 온도조건에서는 비교적 고조도인 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 보다 빨랐으며, 25°C 온도조건에서는 비교적 낮은 조도인 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 빠른 길이생장을 나타내었다.

넓미역의 아포체 배양시 광주기 조건은 표 2-11과 같이 배양 80일후 10:14 (L:D) 실험구에서 최고치인 평균 124 μm 를 나타내었으며 12:12 (L:D) 실험구에서 최저치인 70 μm 를 나타내었다. 배양 115일후에는 10:14 (L:D) 실험구에서 최고치인 평균 1,200 μm 를 나타내었으며 12:12 (L:D) 실험구에서 최저치인 984 μm 를 나타내었다. 따라서 넓미역 아포체의 발달에는 광주기 조건중 단일조건에서 보다 효율적인 것으로 나타났다.

<표 2-10> 온도 및 조도 조건별 넓미역 아포체의 생장 (엽장 평균, μm)

온도 (°C)	조도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	배양일수 (일)							
		30	40	50	70	85	95	105	115
10	20	-	-	-	-	-	-	-	733
	30	-	-	-	-	-	-	125	867
	60	-	-	-	-	-	-	204	464
15	20	-	-	42	85	357	1,053	2,020	2,870
	30	-	120	150	170	243	541	850	1,200
	60	96	117	365	410	1,250	2,275	3,678	5,550
20	20	-	-	-	108	185	217	280	298
	30	-	-	174	180	183	439	888	1,370
	60	-	-	95	104	272	642	1,185	2,260
25	20	-	-	-	-	219	335	921	1,522
	30	-	-	-	-	135	247	451	1,095
	60	-	-	-	-	275	380	675	717

-: 아포체 관찰되지 않음.

〈표 2-11〉 광주기 조건별 넓미역 아포체의 성장도

(엽장 평균, μm , 배양온도 15°C , 조도 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

광주기(L:D)	배양일수 (일)				
	80	85	95	105	115
10:14	124	243	541	850	1,200
14:10	105	284	297	798	1,160
12:12	70	145	165	570	984

(다) 광, 온도 및 광주기 조건별 넓미역 포자체의 성장

넓미역의 어린 포자체 성장단계에서 각 온도 및 조도 조건별 성장 차이는 표 2-12 및 그림 2-10과 같다. 10°C 온도 조건에서는 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 배양 90일 후 길이생장이 최고치인 0.43 mm 였으며, $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 0.21 mm 를 나타내었다. 15°C 온도 조건에서는 $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최고치인 0.82 mm 였으며, $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 0.52 mm 를 나타내었다. 20°C 온도조건에서는 $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최고치인 1.45 mm 의 길이생장을 나타내었으며, $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 0.56 mm 를 보였다. 25°C 온도 조건에서는 $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최고치인 1.09 mm 를 보였으며, $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서 최저치인 0.42 mm 를 나타내었다. 따라서 넓미역 어린 포자체의 생장은 $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$ 온도조건과 $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도조건이 최적성장 조건인 것으로 나타났다.

광주기 조건별 넓미역 어린 포자체의 생장은 표 2-13 및 그림 2-11과 같이 차이를 보였다. 배양 90일후 넓미역 포자체의 길이생장은 10:14h (L:D)의 단일조건에서 최고치인 평균 0.82 mm 로 나타났으며, 14:10h (L:D)의 장일조건에서 0.52 mm 의 최저치를 나타내었다. 따라서 넓미역의 어린 포자체의 경우 단일조건에서 길이생장이 우세한 것으로 나타났다.

〈표 2-12〉 온도 및 조도 조건별 넓미역 포자체의 생장

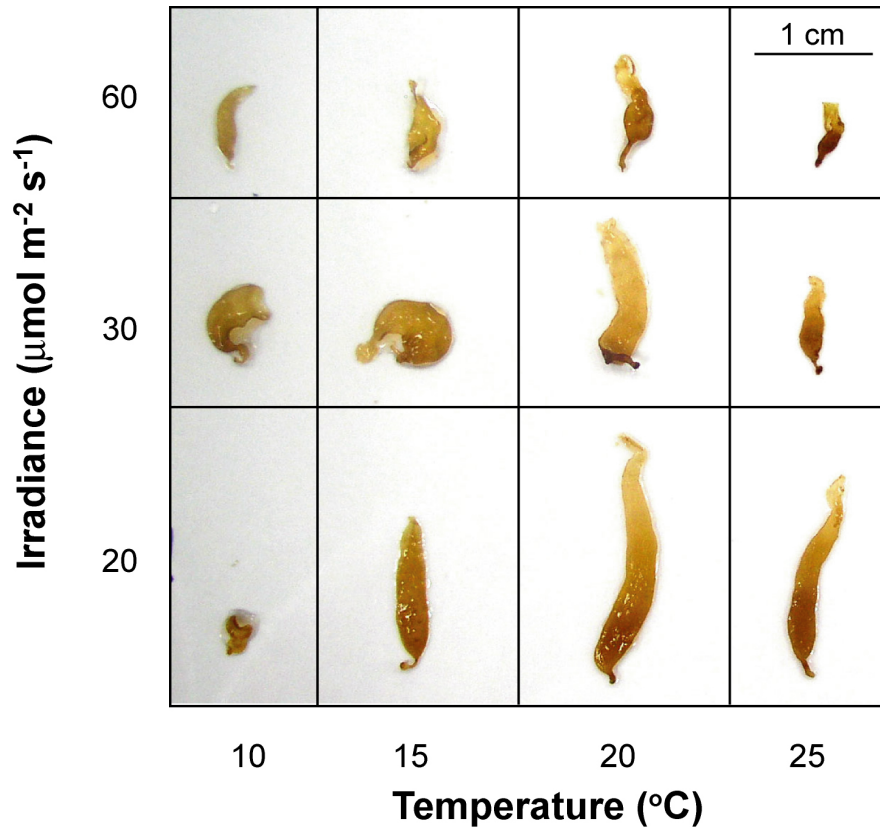
(엽장 평균, mm; 광주기 조건 10:14h (L:D))

온도 (°C)	조도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	배양일수 (일)													
		0	6	13	20	27	34	41	48	55	62	69	76	83	90
10	20	0.095	0.14	0.24	0.27	0.33	0.37	0.39	0.39	0.37	0.35	0.33	0.30	0.26	0.21
	30	0.095	0.16	0.22	0.35	0.55	0.56	0.57	0.52	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43
	60	0.095	0.16	0.23	0.25	0.33	0.38	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.36	0.35	0.32
15	20	0.095	0.15	0.21	0.25	0.35	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.60	0.71	0.82
	30	0.095	0.16	0.24	0.37	0.39	0.42	0.43	0.44	0.44	0.46	0.48	0.50	0.50	0.62
	60	0.095	0.16	0.34	0.49	0.35	0.38	0.34	0.43	0.46	0.49	0.68	0.74	0.59	0.52
20	20	0.095	0.15	0.21	0.30	0.36	0.36	0.45	0.51	0.62	0.65	0.91	1.04	1.19	1.45
	30	0.095	0.16	0.23	0.30	0.36	0.43	0.50	0.57	0.63	0.66	0.76	0.86	0.86	0.86
	60	0.095	0.15	0.22	0.35	0.44	0.51	0.59	0.59	0.57	0.56	0.57	0.57	0.56	0.56
25	20	0.095	0.13	0.16	0.23	0.25	0.28	0.28	0.33	0.41	0.55	0.59	0.67	0.84	1.09
	30	0.095	0.14	0.15	0.24	0.27	0.35	0.42	0.43	0.53	0.68	0.62	0.72	0.78	0.55
	60	0.095	0.13	0.21	0.31	0.40	0.40	0.43	0.44	0.52	0.47	0.44	0.43	0.42	0.42

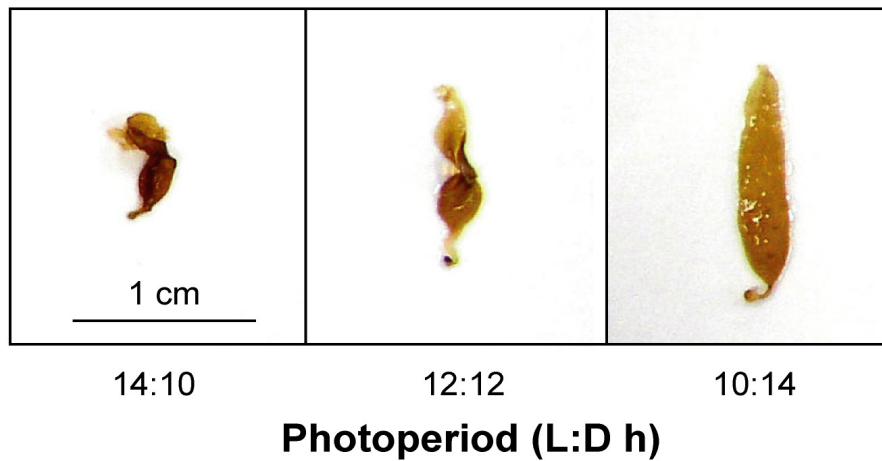
〈표 2-13〉 광주기 조건별 넓미역 포자체의 생장

(엽장 평균, mm; 배양온도 15°C, 조도 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

광주기 (L:D)	배양일수 (일)													
	0	6	13	20	27	34	41	48	55	62	69	76	83	90
10:14	0.095	0.15	0.21	0.25	0.35	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.60	0.71	0.82
14:10	0.095	0.19	0.22	0.20	0.20	0.24	0.13	0.18	0.18	0.18	0.23	0.45	0.64	0.53
12:12	0.095	0.13	0.16	0.25	0.35	0.35	0.40	0.43	0.47	0.57	0.52	0.53	0.65	0.69



<그림 2-10> 배양 90일후 넓미역 포자체의 온도 및 조건별 성장비교

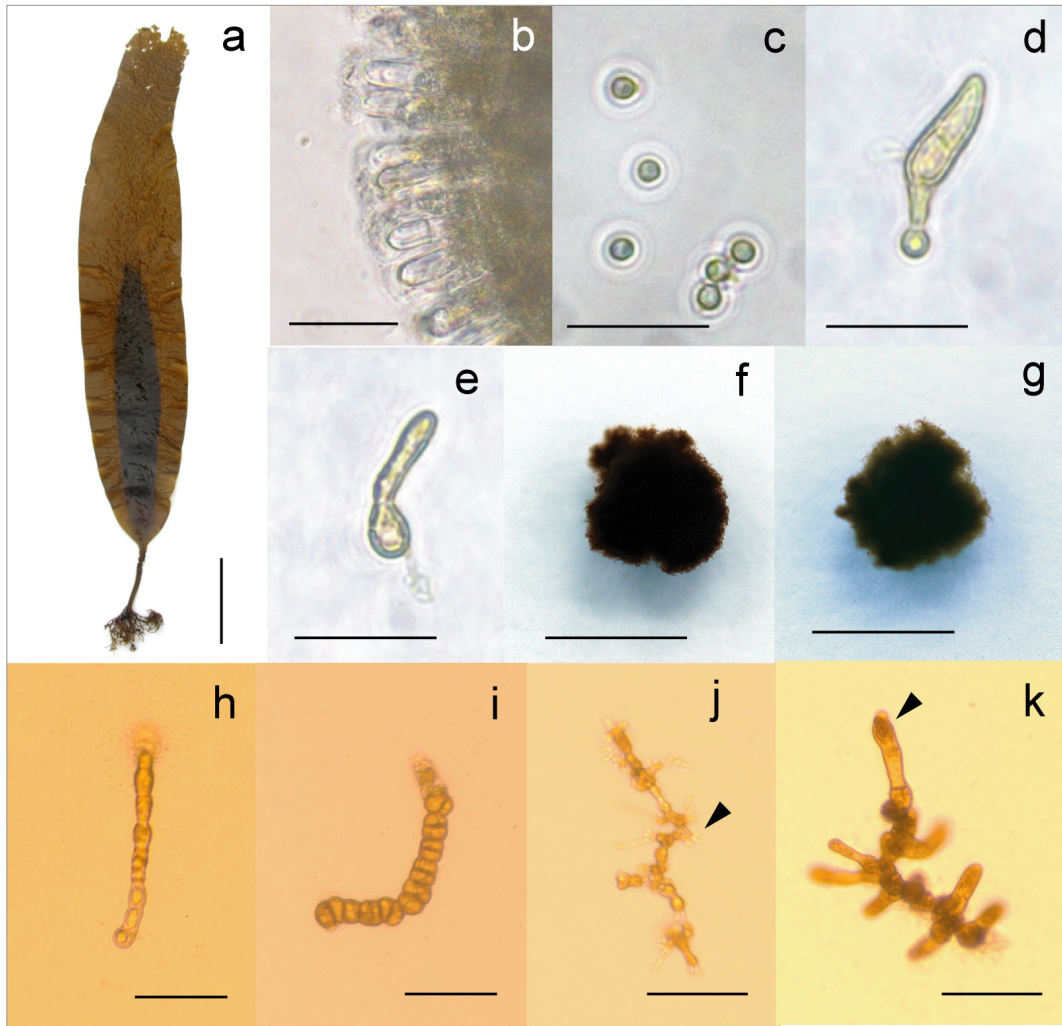


<그림 2-11> 배양 90일후 넓미역 포자체의 광주기 조건별 성장비교

(2) 유리배우체 배양조건

(가) 유주자 수집 및 암수배우체 분리

넓미역 엽체 (그림 2-12a)의 자낭반 (그림 2-12b)으로부터 방출된 유주자 (그림 2-12c)는 방출 즉시 기물에 부착하여 구형으로 착생하였다. 15°C, 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 및 14:10h (L:D) 광주기 조건에서 배양 5일후 각각 암배우체 (그림 2-12d) 또는 수배우체 (그림 2-12e)로 자랐다. 각각의 암수 배우체는 통기 조건하에서 약 30일이 경과되면 그림 2-12f-g와 같이 배우체 덩어리로 증식되었다. 호모게나이저를 이용하여 절단된 암수 배우체의 절편 (그림 2-12h-i)은 통기 조건하에서 다시 배우체 덩어리로 증식시키거나 정치배양을 실시하여 20일후 그림 2-12j-k와 같이 각각 장란기와 장정기 형성을 유도하였다.



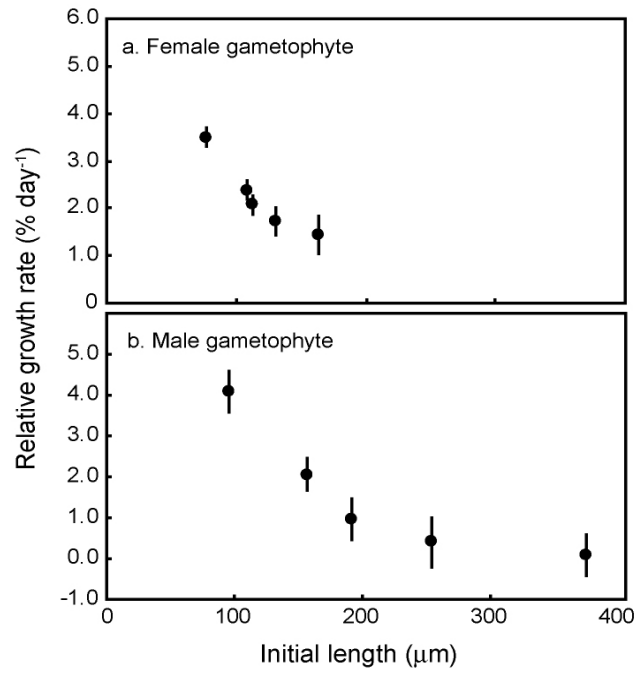
<그림 2-12> 넓미역 유리배우체의 분리 및 암수배우체 배양과정. a: 성숙엽체. b: 유주자낭. c: 유주자. d: 배양 5일후 암배우체. e: 배양 5일후의 수배우체. f: 배양 30일후의 암배우체 덩어리. g: 배양 30일후의 수배우체 덩어리. h: 수배우체 덩어리를 분쇄하여 얻어진 수배우체 단편. i: 암배우체 덩어리를 분쇄하여 얻어진 암배우체 단편. j: 장정기가 형성된 수유리배우체 단편. k: 장란기가 형성된 암유리배우체 단편. 배양조건은 15°C, $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 14:10 (L:Dh). Scale bar 10cm (a), $20 \mu\text{m}$ (b-e), 5mm (f-g), $50 \mu\text{m}$ (h-i), $100 \mu\text{m}$ (j-k).

(나) 유리배우체 단편의 절단 크기별 재생

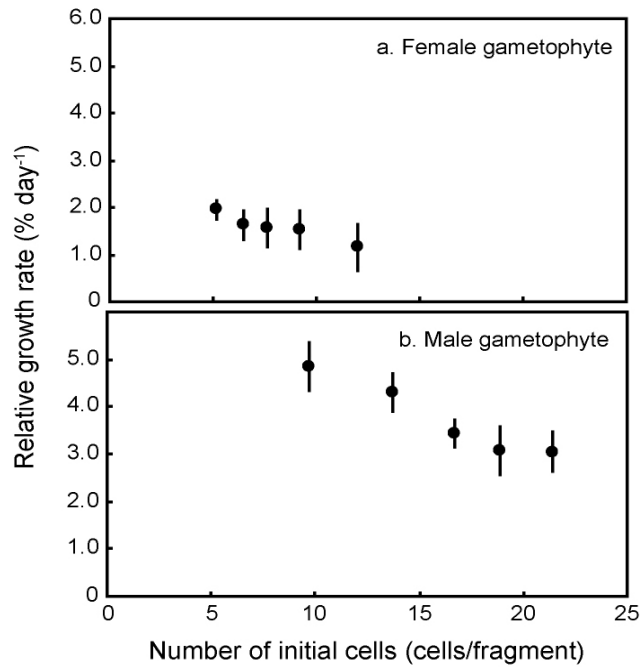
유리배우체의 단편 크기별 길이생장은 그림 2-13 및 그림 2-14와 같이 실험시작시 각각의 세단크기 및 세포수 조건별로 차이를 나타내었다.

배우체의 절단 크기별로는 암배우체의 경우 그림 2-13a와 같이 배우체의 절단 크기가 가장 작았던 $77.0 \pm 23.3 \mu\text{m}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $3.5 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 절단 크기가 가장 컸던 $163.4 \pm 21.4 \mu\text{m}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $1.4 \pm 0.4\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 수배우체의 경우도 그림 2-13b와 같이 배우체의 절단 크기가 가장 작았던 $95.4 \pm 29.9 \mu\text{m}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $4.1 \pm 0.5\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 절단 크기가 가장 컸던 $375.4 \pm 17.1 \mu\text{m}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $0.1 \pm 0.06\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다.

배우체의 절단시 세포수 조건별로는 암배우체의 경우 그림 2-14a와 같이 실험시작시 세포수가 가장 적었던 $5.2 \pm 2.1 \text{ cell/ind.}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $2.0 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 세포수가 가장 많았던 $12.0 \pm 0.5 \text{ cell/ind.}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $1.1 \pm 0.2\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 수배우체의 경우 그림 2-14b와 같이 실험시작시 세포수가 가장 적었던 $9.7 \pm 0.5 \text{ cell/ind.}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $4.8 \pm 0.5\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 세포수가 가장 많았던 $21.4 \pm 0.4 \text{ cell/ind.}$ 조건에서 배양 20일후 성장율이 $3.1 \pm 0.4\% \text{ day}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 따라서 유리배우체의 세단은 단편의 크기가 작을수록 (약 $100 \mu\text{m}$) 그리고 세포수가 적을수록 (암배우체의 경우 약 5 세포, 수배우체의 경우 약 10세포) 길이생장이나 세포수의 증가 측면에서 성장율이 높게 나타나는 경향을 보였다.



〈그림 2-13〉 넓미역 유리배우체의 초기 절단크기별 상대성장율.
 a: 암배우체. b: 수배우체. 배양조건은 15°C,
 20 μmol m⁻² s⁻¹ 및 14:10h (L:D).



〈그림 2-14〉 넓미역 유리배우체의 절단시 세포수 조건별 상대성장율.
 a: 암배우체. b: 수배우체. 배양조건은 15°C,
 20 μmol m⁻² s⁻¹ 및 14:10h (L:D).

(다) 배양조건별 유리배우체 단편의 생장

유리배우체의 단편을 각기 다른 배양조건에서 배양한 결과 표 2-14와 같이 차이를 나타내었다.

암배우체의 온도조건별 생장율은 배양 20일 후 15℃조건에서 2.5 ± 0.2 % day⁻¹로 타 온도 조건에 비하여 가장 높았으며, 5℃조건에서 0.2 ± 0.1 % day⁻¹로 가장 낮았다 (p<0.05). 조도구간별로는 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 $2.5 \pm 0.$ % day⁻¹로 가장 높았으며, 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 $0.6 \pm 0.2\%$ day⁻¹로 가장 낮았다(p<0.05). 광주기 조건별로는 10:14h (L:D) 조건에서 $2.6 \pm 0.2\%$ day⁻¹로 가장 높았고, 14:10h (L:D)에서 $2.1 \pm 0.3\%$ day⁻¹로 가장 낮았다 (p<0.05).

수배우체의 온도조건별 생장율은 배양 20일 후 15℃조건에서 $1.6 \pm 0.3\%$ day⁻¹로 가장 높았으며 20℃조건에서 $0.5 \pm 0.2\%$ day⁻¹로 가장 낮았다 (p<0.05). 조도구간별로는 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 $3.6 \pm 0.3\%$ day⁻¹로 가장 높았으며, 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 $0.9 \pm 0.2\%$ day⁻¹로 가장 낮았다 (p<0.05). 광주기 조건별로는 14:10h (L:D) 조건에서 $2.7 \pm 0.2\%$ day⁻¹로 가장 높았으며, 10:14h (L:D) 조건에서 $1.0 \pm 0.2\%$ day⁻¹로 가장 낮았다(p>0.05).

<표 2-14> 넓미역 유리배우체의 온도, 조도 및 광주기 조건별 상대생장율

실험조건	시작시 길이 ($\mu\text{m} \pm \text{SD}$)		종료시 길이 ($\mu\text{m} \pm \text{SD}$)		상대생장율 (% day ⁻¹)		
	암배우체	수배우체	암배우체	수배우체	암배우체	수배우체	
온도(℃)	5	114.4±28.5	154.2±23.8	119.0±88.1	188.1±92.2	0.2±0.1 ^a	1.0±0.2 ^a
	10			159.2±67.3	202.9±71.1	1.7±0.3 ^b	1.4±0.2 ^b
	15			186.9±74.1	210.4±68.4	2.5±0.2 ^c	1.6±0.3 ^b
	20			147.6±55.6	172.1±87.2	1.3±0.2 ^b	0.5±0.2 ^c
조도 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	5	127.9±25.9	136.1±8.8	144.7±56.7	163.5±60.3	0.6±0.2 ^a	0.9±0.2 ^a
	10			154.4±57.5	186.5±62.5	0.9±0.3 ^a	1.6±0.2 ^b
	20			211.2±86.8	280.0±64.1	2.5±0.2 ^b	3.6±0.3 ^c
	40			194.8±85.7	240.5±44.9	2.1±0.2 ^c	2.8±0.3 ^d
광주기 (L:D)	14:10	122.8±8.3	154.9±9.1	188.4±47.7	264.1±75.8	2.1±0.3 ^a	2.7±0.2 ^a
	12:12			193.0±38.7	244.6±61.8	2.3±0.2 ^a	2.3±0.2 ^a
	10:14			206.1±85.8	187.5±64.6	2.6±0.2 ^b	1.0±0.2 ^b

모든 수치는 3반복 실험의 평균과 편차로 나타내었으며, 동일 열의 첨자들은 5%에서 유의함을 표시함.

(라) 배양조건별 유리배우체 단편의 성숙

암배우체의 성숙은 표 2-15와 같이 온도, 조도 및 광주기 조건별로 차이를 나타내었다. 온도조건별로는 15-20°C 조건에서 배양 10일후 가장 먼저 장란기가 형성되기 시작하여, 15일후 30% 이상의 암배우체가 장란기를 형성하였고, 배양 20일후에는 약 50% 이상의 암배우체가 장란기 형성을 나타내었다. 그러나 5-10°C 조건에서는 배양 20일까지 장란기의 형성이 관찰되지 않았다. 조도조건별로는 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 배양 10일후 약 10%의 암배우체가 장란기를 형성하였으며 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서는 배양 20일후 장란기의 형성을 나타내었으나, 5-10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서는 배양 20일까지 장란기가 형성되지 않았다. 광주기 조건별로는 14:10h (L:D) 조건에서 배양 10일후 가장 먼저 장란기의 형성이 관찰되었으며 12:12h 및 10:14h (L:D) 조건에서는 배양 15일후 장란기의 형성이 관찰되었다.

수배우체의 성숙은 표 2-16과 같이 온도, 조도 및 광주기 조건별로 차이를 나타내었다. 온도조건별로는 배양 5일후 10°C 조건에서 장정기의 형성이 나타나기 시작하였으며, 5°C 조건에서는 배양 10일후, 그리고 15~20°C 조건에서는 배양 20일후 장정기의 형성이 관찰되었다. 조도조건별로는 배양 5일후 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 가장 먼저 장정기의 형성이 관찰되었으며, 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서는 배양 15일후 장정기의 형성이 관찰되었으나 20-40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서는 배양 20일까지 장정기가 형성되지 않았다. 광주기 조건별로는 10:14h (L:D) 조건에서 배양 10일후 가장 먼저 장정기가 형성되기 시작하였으며, 12:12h (L:D)에서는 배양 10일후 장정기의 형성이 관찰되었으나, 14:10h (L:D)에서는 배양 20일후 가장 늦게 장정기의 형성이 관찰되었다.

〈표 2-15〉 넓미역 암유리배우체의 온도, 조도 및 광주기 조건별 재생 및 성숙

실험조건		배양일수				
		0	5	10	15	20
온도 (°C)	5	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-
	15	-	-	+	++	+++
	20	-	-	+	++	+++
조도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	5	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-
	20	-	-	+	++	+++
	40	-	-	-	-	+
광주기 (L:D)	14:10	-	-	+	++	+++
	12:12	-	-	-	+	++
	10:14	-	-	-	+	++

-, 미성숙; +, 100% 이하의 장란기 형성; ++, 30% 이하의 장란기 형성; +++, 50% 이하의 장란기 형성

〈표 2-16〉 넓미역 수유리배우체의 온도, 조도 및 광주기 조건별 재생 및 성숙

실험조건		Day				
		0	5	10	15	20
온도 (°C)	5	-	-	+	+	+
	10	-	+	+	+	+
	15	-	-	-	-	+
	20	-	-	-	-	+
조도 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	5	-	-	-	+	+
	10	-	+	+	+	+
	20	-	-	-	-	-
	40	-	-	-	-	-
광주기 (L:D)	14:10	-	-	-	-	+
	12:12	-	-	+	+	+
	10:14	-	+	+	+	+

-, 미성숙; +, 장정기 형성

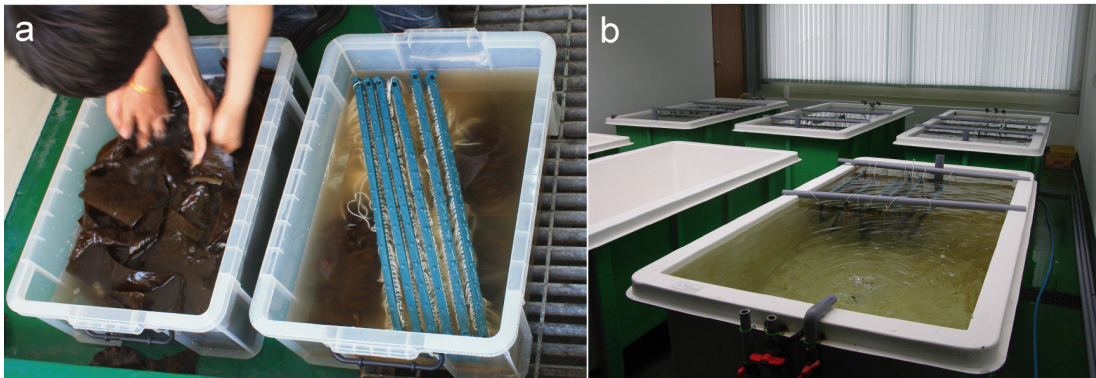
3. 넓미역의 양식학적 연구

가. 유주자의 인공채묘

(1) 유주자 대량방출 유도 및 인공채묘

넓미역 성숙 엽체 (그림 1-3a)에 나타나는 자낭반 부위를 절단해 보면 그림 1-3b와 같이 유주자낭 내부에 가득 차 있는 유주자가 관찰된다. 유주자낭으로부터 방출된 유주자 (그림 1-3c)는 방출 즉시 기물에 착생하여 발아관을 형성하여 배우체로 자라게 된다(그림 1-3d). 이후 배양 10일 이후에는 각각 암수배우체(그림 1-3e-f)의 성을 구분할 수 있게 되며 배양 30일 후에는 성성숙이 이루어지게 된다. 정자와 알세포 간의 수정을 통하여 아포체가 형성되며(그림 1-3g), 이 아포체는 어린 포자체(그림 1-3h)로 자라게 된다.

넓미역의 자낭반으로부터 대량의 유주자 방출을 유도하기 위하여 음건 시간은 약 1시간으로 하였으며, 여과해수를 담은 수조에 넣어 유주자를 방출 시켰다(그림 2-15a). 현미경 검경을 통하여 유주자의 활발한 운동을 확인한 후 채묘틀을 넣어 약 3시간 정도 유주자의 착생을 유도하한 후 배양수조에 침지하여 배양하였다(그림 2-15b).



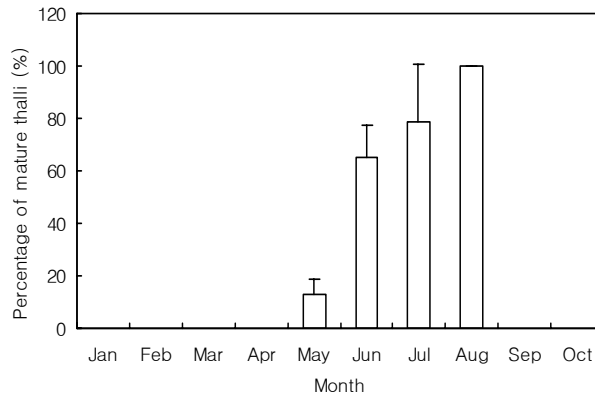
〈그림 2-15〉 넓미역의 인공채묘. a: 유주자 방출 및 채묘. b: 채묘틀의 수조배양

(2) 적정 채묘 시기 구명

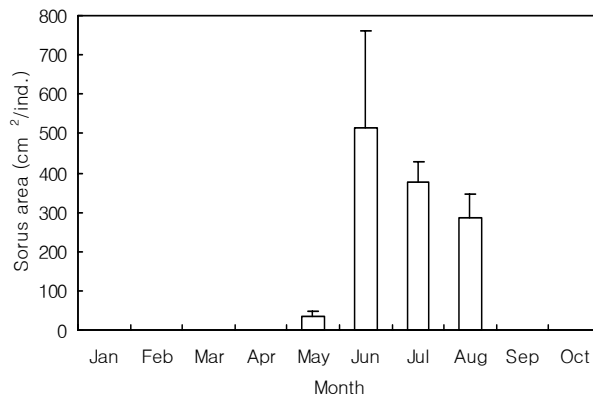
넓미역의 적정 채묘 시기는 자연에서 넓미역의 성숙 엽체가 출현하는 시기와 밀접한 관련이 있다. 따라서 자연군락에서 넓미역의 성숙 엽체 출현 시기를 조사한 결과는 그림 2-16과 같다. 넓미역 자연군락에서 성숙 엽체가 출현하는 시기는 5월 부터이며 이후 점차 증가하기 시작하여 8월에 거의 대부분의 엽체가 자낭반을 형성하여 성숙 엽체 출현율이 100%에 달하였다. 이후 넓미역 엽체는 소실되어 9월 이후 부터는 넓미역 엽체가 자취를 감추었다.

넓미역 엽체의 총 면적중 자낭반을 형성한 면적의 비율은 실제로 유주자를 방출하는 면적이 되므로 채묘 시기의 결정에 직접적인 영향을 준다고 할 수 있다. 넓미역 엽체의 실제 자낭반 형성 면적의 월별 변동결과는 그림 2-17과 같다. 넓미역 자연군락에서 성숙 엽체가 출현하는 시기는 5월부터이며 이후 점차 증가하기 시작하여 6월에는 자낭반 형성 면적이 최고 $515.2 \pm 245.5 \text{ cm}^2/\text{ind.}$ 를 나타내었다. 7월부터는 자낭반 형성 면적이 점차 감소하기 시작하여 9월부터는 엽체가 모두 녹아 자취를 감추었다. 따라서 넓미역 성숙 엽체의 자낭반 형성면적은 6월에 최고치를 나타내었다.

따라서 자연군락에서 넓미역의 성숙 엽체 출현 비율은 8월이 가장 높으나 성숙 개체의 자낭반 형성 면적 비율로서는 6월이 가장 높다고 할 수 있으므로, 6월이 넓미역의 인공채묘에 있어서 가장 적기라고 할 수 있다.



〈그림 2-16〉 제주지역 자연군락에서 넓미역 성숙엽체 출현비율의 월별 변화



〈그림 2-17〉 제주지역의 자연군락에서 넓미역 엽체중 자낭반 형성면적의 월별 변화

(3) 채묘기질별 생장 및 채묘효과

넓미역 인공채묘시 채묘기질별 생장효과는 표 2-17과 같다. 유주자의 채묘 직후 부착밀도는 크레모나사 21합사의 경우 229.0 ± 46.6 개/cm를 나타내었으나 42합사의 경우 711.0 ± 19.1 개/cm를 나타내어 42합사의 경우 부착밀도가 높은 것으로 나타났다. 수조배양 기간이 지속되면서 부착밀도는 점차 감소하는 경향을 나타내었으며 120일 후의 부착밀도는 21합사와 42합사에서 각각 98.6 ± 16.2 개/cm 및 119.0 ± 63.5 개/cm로 나타났다. 배우체의 생장도는 배양 120일후 21합사의 경우 엽장 $63.5 \pm 15.4 \mu\text{m}$ 였으나 42합사의 경우 $49.1 \pm 22.5 \mu\text{m}$ 로 나타나 21합사의 실험구에서 넓미역 배우체의 생장도가 보다 우세한 것으로 나타났다.

<표 2-17> 수조배양기간중 채묘기질별 넓미역 배우체의 밀도와 생장도

배양 일수	구 분	채 묘 기 질	
		No. 21	No. 42
0	밀도 (cell/cm)	229.0 ± 46.6	711.0 ± 19.1
	엽장 (μm)	4.8 ± 2.5	4.8 ± 2.4
30	밀도 (cell/cm)	210.0 ± 54.5	338.7 ± 34.2
	엽장 (μm)	17.3 ± 9.4	15.3 ± 5.7
60	밀도 (cell/cm)	209.0 ± 43.4	294.7 ± 17.3
	엽장 (μm)	34.2 ± 15.1	28.5 ± 9.4
90	밀도 (cell/cm)	142.3 ± 26.1	248.7 ± 57.1
	엽장 (μm)	57.1 ± 21.5	42.7 ± 18.5
120	밀도 (cell/cm)	98.6 ± 16.2	119.0 ± 63.5
	엽장 (μm)	63.5 ± 15.4	49.1 ± 22.5

(4) 채묘시간별 생장 및 채묘효과

넓미역의 인공채묘시 채묘시간은 유주자의 부착에 소요되는 시간을 결정하는데 중요한 요인이라 할 수 있다. 넓미역의 유주자액에 채묘틀을 담그는 시간을 1, 2, 3 및 4 시간으로 하였을 때 종사에 부착된 배우체의 생장 및 채묘효과는 표 2-18과 같다. 채묘 직후 유주자의 부착 밀도는 채묘 3시간 실험구에서 229.0 ± 46.6 개/cm로 최고치를 보였으며 1시간 실험구에서 154.1 ± 19.4 개/cm로 최저치를 나타내었다. 따라서 넓미역의 유주자를 인공채묘할 경우 채묘틀의 담금 시간은 3시간으로 유지하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

〈표 2-18〉 채묘시간별 넓미역 배우체의 밀도와 생장도

배양 일수	구 분	채묘시간 (hr)			
		1	2	3	4
0	밀도 (cell/cm)	154.1±19.4	217.2±24.6	229.0±46.6	220.4±51.4
	엽장 (μm)	4.9±2.4	4.8±2.4	4.8±2.5	4.8±2.5
60	밀도 (cell/cm)	131.7±29.1	183.4±32.7	209.0±43.4	197.5±57.1
	엽장 (μm)	32.1±8.1	35.5±6.4	34.2±15.1	32.1±11.4
90	밀도 (cell/cm)	97.5±24.4	121.5±31.5	142.3±26.1	134.9±54.1
	엽장 (μm)	58.1±35.1	59.4±31.7	57.1±21.5	45.1±
120	밀도 (cell/cm)	46.1±31.9	75.4±25.1	98.6±16.2	84.7±23.3
	엽장 (μm)	62.1±18.4	65.0±25.1	63.5±15.4	51.6±23.6

나. 유리배우체를 이용한 인공채묘

넓미역 엽체의 자낭반으로부터 방출된 유주자는 방출 즉시 기물에 부착하여 구형으로 착생하였다. 15°C, 20 μmol m⁻² s⁻¹ 및 14:10h (L:D) 광주기 조건에서 배양 5일후 각각 암배우체 또는 수배우체로 자랐다. 각각의 암수 배우체는 통기 조건하에서 약 30일이 경과되면 배우체 덩어리로 증식되었다. 호모게나이저를 이용하여 절단된 암수 배우체의 절편은 통기 조건하에서 다시 배우체 덩어리로 증식시키거나 정치배양을 실시하여 20일후 각각 장란기와 장정기 형성을 유도하였다.

(1) 유주자와 유리배우체의 채묘효과 비교

넓미역 유주자와 유리배우체의 채묘시 배우체의 부착밀도 및 생장도는 표 2-19와 같다. 유주자로 채묘한 경우 채묘직후 부착밀도는 152.5±25.2 개/cm 였으나 유리배우체의 경우 58.2±9.2 개/cm로 나타나 초기 부착밀도는 유리배우체의 경우가 작은 것으로 나타났다. 배우체 길이는 채묘후 15일 경과후 유주자 채묘 실험구의 경우 25.6±5.1 μm 였으나 유리배우체 채묘 실험구의 경우 83.6±32.4 μm로 생장이 빠른 것으로 나타났다.

〈표 2-19〉 넓미역 유주자와 유리배우체의 부착 밀도 및 성장도

측정치	채묘대상	채묘후 경과일수(일)	
		0	15
부착밀도 (개/cm)	유주자	152.5±25.2	113.8±11.0
	유리배우체	58.2±9.2	39.4±11.2
배우체길이 (μm)	유주자	5.7±0.5	25.6±5.1
	유리배우체	52.4±10.6	83.6±32.4

(2) 유리배우체의 채묘방법별 밀도와 성장도

넓미역 유리배우체의 채묘방법별 배우체 부착밀도와 성장도는 표 2-20과 같다. 채묘직후 유리배우체의 부착밀도는 침지살포식 실험구에서 63.1 ± 12.4 개/cm로 가장 많았으며, 살포식에서 20.4 ± 6.5 개/cm로 가장 적었다. 배양 15일후에는 모든 실험구에서 부착밀도가 약간씩 감소하는 경향을 나타내었으나 역시 침지살포식 실험구에서 49.6 ± 15.4 개/cm로 가장 많았으며, 살포식에서 22.0 ± 4.7 개/cm로 가장 적었다.

〈표 2-20〉 채묘방법별 넓미역 유리배우체의 밀도와 성장도

채묘후 배양일수	구 분	채묘방법		
		살포식	침지식	침지살포식
0	밀도 (개/cm)	20.4±6.5	35.7±13.4	63.1±12.4
	엽장 (μm)	55.7±4.3	57.3±5.6	55.1±6.2
15	밀도 (개/cm)	22.0±4.7	38.2±5.1	49.6±15.4
	엽장 (μm)	67.0±4.2	56.1±11.3	62.4±14.1

(3) 유리배우체의 농도별 부착밀도와 성장도

넓미역 유리배우체의 분쇄액 농도별 배우체 부착밀도는 표 2-21과 같다. 채묘직 후 배우체의 부착밀도는 400 개/mL 농도 실험구에서 가장 높은 63.1 ± 12.4 개/cm을 보였으며 100 개/mL 농도 실험구에서 가장 낮은 20.4 ± 6.5 개/cm을 나타냈다. 유리 배우체의 농도가 높은 실험구에서 부착밀도가 높게 나타나는 경향을 보였다.

<표 2-21> 넓미역 유리배우체의 농도별 부착밀도와 성장도

채묘후 배양일수	구 분	부착밀도 (개/mL)		
		100	200	400
0	밀도 (개/cm)	20.4 ± 6.5	31.2 ± 9.4	63.1 ± 12.4
	엽장 (μm)	50.4 ± 14.2	56.3 ± 14.6	55.1 ± 6.2
15	밀도 (개/cm)	19.2 ± 7.2	30.7 ± 8.2	49.6 ± 15.4
	엽장 (μm)	64.4 ± 8.2	72.1 ± 14.1	62.4 ± 14.1

다. 가이식

(1) 가이식 어장의 환경변화

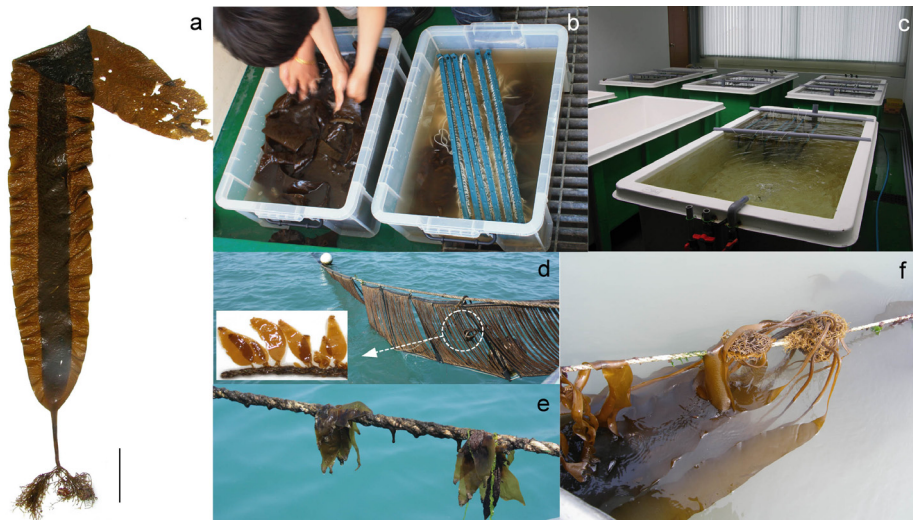
넓미역의 가이식은 10월에 실시하여 약 30일후 육안적으로 유엽의 발아를 확인할 수 있다(그림 2-18). 유엽이 발아된 종사는 약 2 cm 길이로 잘라 10 cm 간격으로 양성로프에 끼워 본양성 시설을 실시하였으며 양성 3개월 후 엽장 2m에 달하는 성엽으로 성장하였다.

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

넓미역의 가이식 기간이었던 2009년 10월부터 2009년 11월까지 수온, 염분, 용존 산소 및 전기전도도의 변화는 표 2-22와 같다. 즉 수온은 23.5°C 에서 13.3°C 로 점차 감소하였으며, 염분농도는 31.6~33.5 ppt로 변화하였다. 용존산소 농도는 11월 14일에 6.18 mg/L 로 가장 높았으며 10월 22일에 6.09 mg/L 로 가장 낮았다. 전기전도도는 $42.68 \sim 48.34 \text{ ms}$ 로 변화하였다.

〈표 2-22〉 가이식 기간 동안 가이식장의 수온, 염분, 용존산소 및 전기전도도

조사일자 (가이식일수)	수온(°C)	염분(ppt)	DO(mg/L)	전기전도도(ms)
10월 7일(0)	23.5	33.5	6.14	43.82
10월 16일(9)	21.6	32.3	6.12	42.73
10월 22일(15)	20.2	31.6	6.09	48.34
11월 1일(24)	18.2	32.1	6.13	42.68
11월 14일(37)	13.3	32.4	6.18	43.56



〈그림 2-18〉 넓미역의 채묘, 가이식 및 양성과정

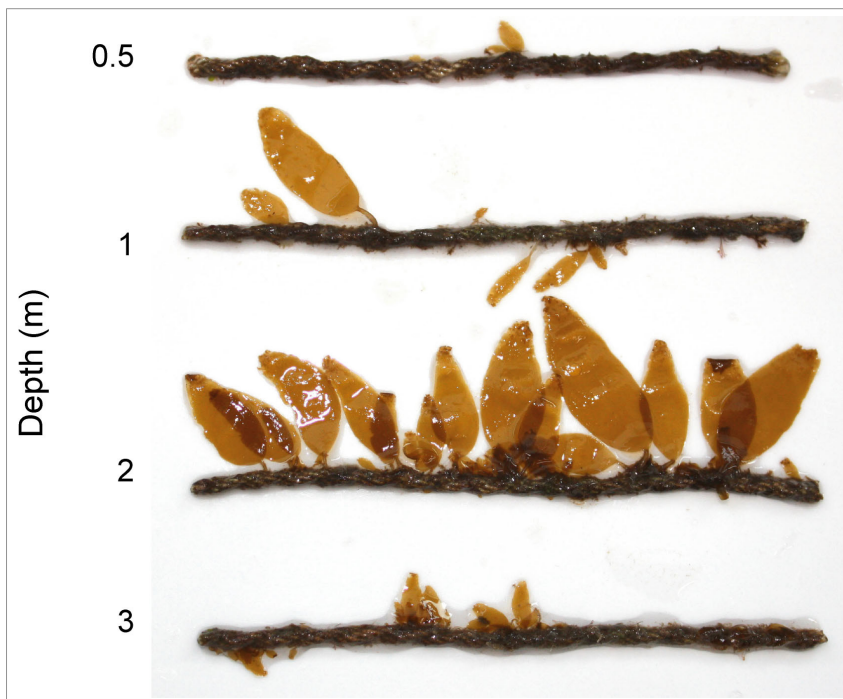
(2) 가이식 수심별 성장

넓미역의 가이식 기간중 수심별 생장은 표 2-23 및 그림 2-19와 같다. 넓미역 아포체의 수심별 실험구의 초기 밀도는 98.6 ± 16.2 개/cm였으며, 가이식 37일후 각 수심별로 차이를 보여 수심 2m 실험구에서 부착밀도가 15.2 ± 7.4 개/cm로 최고치를 나타내었으며, 수심 0.5m에서 1.1 ± 0.2 개/cm로 최저치를 나타내었다. 따라서 넓미역의 가이식 기간중 유엽의 발달을 위한 최적 가이식 수심은 그림 2-19와 같이 수심 2m → 1m → 3m → 0.5m의 순인 것으로 나타났다.

가이식 수심별 일간성장율은 표 2-24와 같이 수심 2m 구간에서 0.041 ± 0.006 cm/day로 가장 높았으며, 수심 0.5m 구간에서 0.003 ± 0.001 cm/day로 가장 낮았다.

〈표 2-23〉 가이식 수심별 넓미역 아포체 및 유엽의 밀도와 생장

가이식 일수	구 분	가이식 수심 (m)			
		0.5	1	2	3
0	밀도 (개/cm)	98.6±16.2			
	엽장 (μm)	63.5±15.4			
7	밀도 (개/cm)	27.1±10.3	37.3±13.8	45.4±11.5	35.5±13.0
	엽장 (μm)	150.7±31.5	241.0±97.4	358.1±114.4	183.5±64.1
25	밀도 (개/cm)	5.9±2.2	17.1±4.2	25.4±1.4	11.5±7.1
	엽장 (μm)	415.4±34.1	714.2±71.2	913.0±74.1	560.4±85.8
37	밀도 (개/cm)	1.4±0.5	4.1±4.7	9.7±2.5	3.2±1.2
	엽장 (mm)	1.1±0.2	11.3±3.1	15.2±7.4	5.0±2.4



〈그림 2-19〉 넙미역의 가이식 수심별 생장.

〈표 2-24〉 넓미역의 가이식 수심별 일간생장율

구 분	가이식 생장도				
	수심(m)	가이식 시작시 엽장 (cm)	가이식 종료시 엽장 (cm)	가이식 기간(일)	일간생장율 (cm/day)*
가이식	0.5	0	0.1±0.02	37	0.003±0.001 ^a
	1.0	0	1.1±0.3	37	0.030±0.004 ^b
	2.0	0	1.5±0.7	37	0.041±0.006 ^c
	3.0	0	0.5±0.2	37	0.013±0.005 ^d

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

(3) 유주자와 유리배우체의 비교 가이식 생장

넓미역 유주자와 유리배우체의 채묘시 가이식 생장의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 유엽의 엽장 및 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다. 넓미역 유주자와 유리배우체의 가이식 생장도는 표 2-25와 같이 가이식 30일후 각각 21.5±9.4개/cm 및 22.6±9.2개/cm로 유의한 차이가 없었으며, 유엽의 엽장 역시 가이식 30일후 각각 1.5±0.7mm 및 1.4개/cm 및 0.5mm로 유의한 차이를 보이지 않았다.

〈표 2-25〉 넓미역 유주자와 유리배우체의 가이식 생장

구 분	생장도			
	경과일수	유주자	경과일수	유리배우체
밀도(개/cm)	0	0	0	0
엽장(mm)		0		0
밀도(개/cm)	15	14.3±5.7	15	13.8±5.2
엽장(mm)		0.9±0.3		0.8±0.4
밀도(개/cm)	30	21.5±9.4	30	22.6±9.2
엽장(mm)		1.5±0.7		1.4±0.5

(4) 유리배우체의 채묘방법별 가이식 생장

넓미역 유리배우체의 채묘시 채묘방법별 (살포식, 침지식 및 침지살포식) 가이식 생장의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 11월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 유엽의 엽장 및 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다. 넓미역 유엽의 밀도는 표 2-26과 같이 가이식 30일후 종사 1cm당 침지배양식 실험구에서 15.8 ± 4.2 개/cm로 가장 높았으나 타 실험구와 비교하여 유의한 차이는 없었다. 또한 유엽의 엽장 역시 채묘방법별로 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 넓미역의 유리배우체 채묘시 살포식, 침지식 또는 침지배양식 어느 방법을 이용하는가에 상관없이 가이식 이후 유엽의 생장에는 큰 영향을 미치지 않아 보다 편리한 채묘방법인 살포식을 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

<표 2-26> 넓미역 유리배우체의 채묘방법별 가이식 생장

가이식 일수	구 분	유리배우체 채묘방법별		
		살포식	침지식	침지배양식
0	밀도 (개/cm)	0	0	0
	엽장 (mm)	0	0	0
30	밀도 (개/cm)	15.4 ± 7.0	16.5 ± 7.3	15.8 ± 4.2
	엽장 (mm)	1.6 ± 0.3	1.5 ± 0.7	1.6 ± 0.6

(5) 유리배우체 농도별 가이식 생장

넓미역 유리배우체 농도별 (100, 200, 400 개/mL) 가이식 생장의 차이를 알아보기 위하여 2010년 10월부터 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 2m에 실험구별 채묘틀을 설치하여 2주 간격으로 유엽의 엽장 및 종사 1cm 당 부착 엽체의 수를 측정하였다. 넓미역 유리배우체의 농도별 가이식 생장은 표 2-27와 같이 유엽의 밀도는 유리배우체의 농도가 높은 실험구일 수록 증가하는 경향을 나타내었으나 200 개/mL 농도 실험구와 400 개/mL 농도 실험구의 유엽 밀도가 각각 31.5 ± 11.5 개/cm 및 35.8 ± 15.6 개/cm 로 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 넓미역 유리배우체 채묘시 유리배우체의 농도는 200 개/mL가 적당한 것으로 판단되었다.

〈표 2-27〉 넓미역 유리배우체의 채묘시 유리배우체의 농도별 가이식 성장

가이식 일수	구 분	유리배우체 농도(개/mL)		
		100	200	400
0	밀도 (개/cm)	0	0	0
	엽장 (mm)	0	0	0
30	밀도 (개/cm)	16.4±5.1	31.5±11.5	35.8±15.6
	엽장 (mm)	1.8±0.2	1.6±0.4	1.6±0.5

(6) 해적생물상

넓미역의 가이식 기간중 채묘틀 및 종사에 출현한 해적생물은 표 2-28과 같다. 9월에는 가장 많은 종수인 11종이 출현하였으며 해조류는 파래류와 모로우붉은실 등 7종, 규조류 및 기타 해적생물은 4종으로 나타났으며 특히 히드라충류 등이 다수 출현하였다. 10월에는 총 5종의 해적생물이 출현하였으며, 해조류가 3종 기타 해적생물이 2종으로 나타났다. 11월에는 구멍갈파래와 개꼬시래기 등 2종의 해적생물만이 출현하였다. 종사에 덮인 빨질은 9월부터 11월까지 지속적으로 출현하였다. 따라서 넓미역의 가이식 기간중 출현한 해조류는 10종이었으며 규조류와 동물을 포함하여 모두 14종의 해적생물이 출현하였다.

〈표 2-28〉 가이식 기간중 출현한 해적생물

출현종	월	2009 9	10	11
해조류				
<i>Enteromorpha prolifera</i> (가시파래)		+		
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)		+	+	+
<i>Cladophora japonica</i> (큰대마디말)			+	
<i>Codium fragile</i> (청각)			+	
<i>Petalonia fascia</i> (개미역쇠)		+		
<i>Acrosorium polyneurum</i> (잔금분홍잎)		+		
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)		+		
<i>Lomentaria hakodatensis</i> (애기마디잘록이)		+		
<i>Gracilaria chorda</i> (개꼬시래기)				+
<i>Polysiphonia morrowii</i> (모로우붉은실)		+		
규조류 및 기타 해적생물				
<i>Navicular</i> sp.		+	+	
<i>Caprella</i> sp.		+		
<i>Gammaropsis</i> sp.		++		
Hydrozoans		++	++	
Mud		+	+	+

라. 양성

(1) 양성 어장의 환경변화

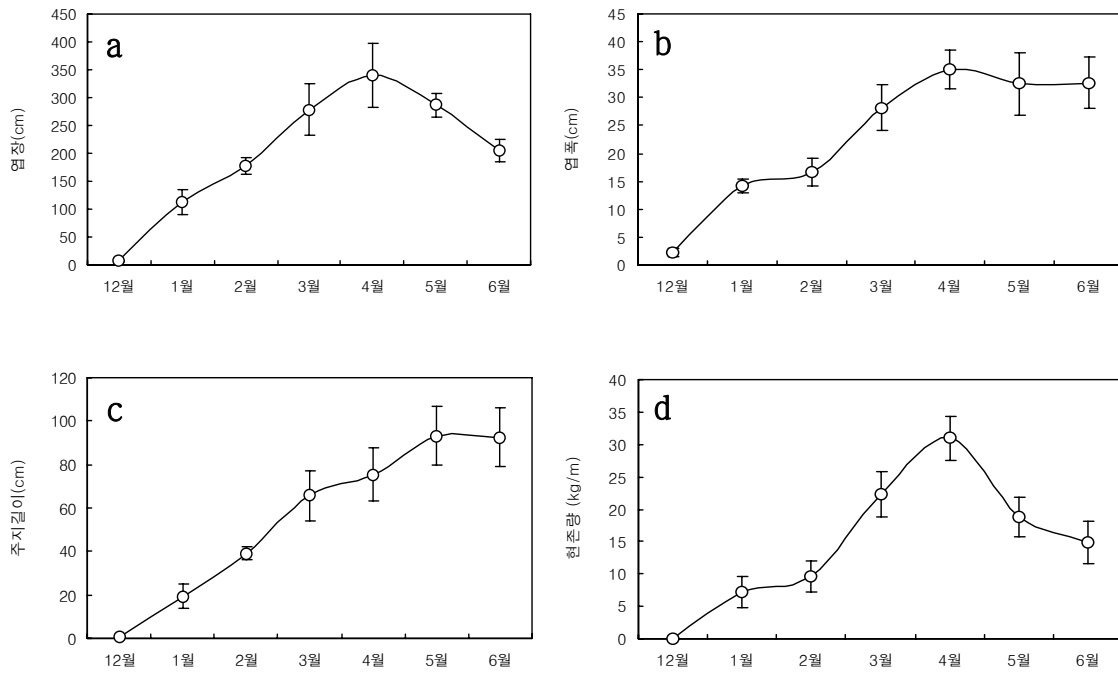
양성기간중 수온은 8.8~19.9℃의 분포를 나타내었으며, 2010년 2월에 가장 낮은 8.8℃를 나타내었고 2010년 6월에 가장 높은 19.9℃를 나타내었다. 염분농도는 30.1~34.4 ppt의 분포를 나타내었으며, 2010년 5월에 가장 낮은 30.1 ppt를 나타내었고 2010년 2월에 가장 높은 34.4ppt를 나타내었다. 용존산소 농도는 매우 변화가 심하였으며 5.93~8.35 mg/L의 분포를 나타내었다. 전기전도도는 36.39~43.96 ms의 분포를 나타내었다(표 2-29).

〈표 2-29〉 넓미역 양성기간중 양성 어장의 환경자료

월	수온(℃)	염분(ppt)	DO (mg/L)	전기전도도(ms)
2009년12월	15.7	34.3	6.95	42.97
2010년 1월	10.2	33.8	8.35	37.04
2월	8.8	34.4	8.15	36.39
3월	11.1	34.0	7.31	38.16
4월	12.1	34.1	8.01	39.10
5월	15.0	30.1	6.15	36.59
6월	19.9	31.9	5.93	43.96

(2) 양성 생장

넓미역의 엽장은 2010년 1월부터 빠르게 생장하기 시작하여 5월부터 길이생장이 감소하는 경향을 나타내었다(그림 2-20a). 엽장은 2010년 5월까지 지속적으로 증가하여 최고 286.3 ± 21.2 cm를 나타내었으며 이후 수온의 증가와 함께 엽장이 감소하는 경향을 나타내었다. 넓미역의 엽폭은 2010년 4월까지 빠르게 증가하여 35.1 ± 3.5 cm를 나타낸 이후 큰 변화를 나타내지 않았다(그림 2-20b). 주지길이는 2010년 1월부터 5월까지 꾸준히 증가하여 5월에 최고치인 93.1 ± 13.5 cm을 보였으며 6월부터 다시 감소하는 경향을 나타내었다(그림 2-20c). 양성 로프의 단위m당 넓미역의 현존량은 2010년 1월부터 꾸준히 증가하는 경향을 보여 4월에 최고치인 31.0 ± 3.4 kg/m를 나타내었다(그림 2-20d).



〈그림 2-20〉 넓미역의 월별 양성 성장도. a: 엽장(cm). b: 엽폭(cm).
c: 주지길이(cm). d: 단위m당 현존량(kg/m).

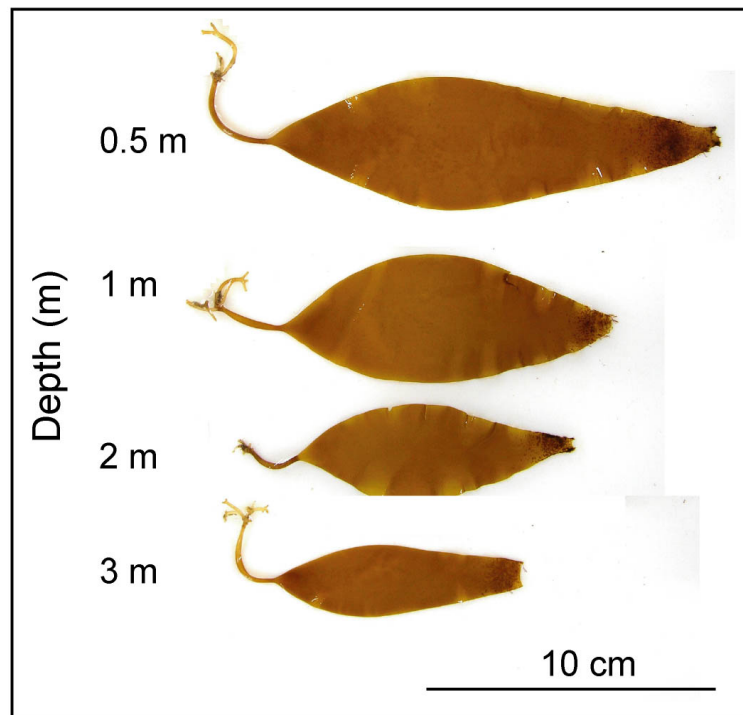
(3) 양성 수심별 성장

넓미역의 수심별 양성 성장은 표 2-30 및 그림 2-21과 같다. 양성 초기부터 수심 0.5m 실험구에서 엽장의 증가가 뚜렷이 나타나기 시작하였으며 이러한 경향은 양식 말기까지 지속되었다. 160일간의 양성기간중 수심 0.5m 실험구에서는 일간성장율이 2.085 ± 0.139 cm/day로 가장 높았으며, 수심 3m 실험구에서는 0.228 ± 0.090 cm/day로 일간성장율이 가장 낮았다. 따라서 넓미역의 양성 수심은 수심이 깊어질수록 성장율이 낮아지는 것으로 나타났다.

〈표 2-30〉 넓미역의 양성 수심별 일간생장율

구 분	양성 생장				
	수심(m)	양성 시작시 엽장 (cm)	양성 종료시 엽장 (cm)	양성기간(일)	일간생장율 (cm/day)*
양성	0.5	6.4±1.3	340.0±23.5	160	2.085±0.139 ^a
	1.0	6.4±1.3	191.4±18.0	160	1.157±0.104 ^b
	2.0	6.4±1.3	157.3±25.4	160	0.943±0.150 ^b
	3.0	6.4±1.3	42.7±15.7	160	0.228±0.090 ^c

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



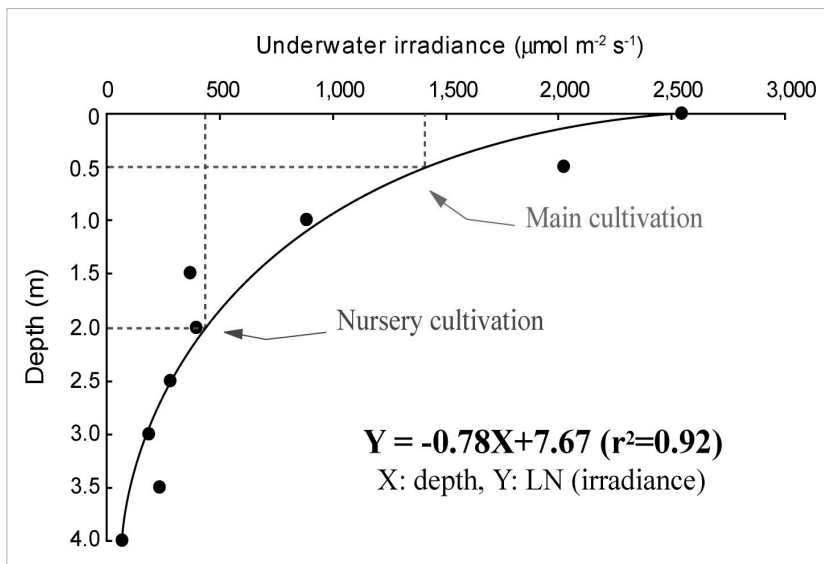
〈그림 2-21〉 넓미역의 양성수심별 생장

(4) 양성 수심별 수중광량의 표준화

넓미역의 양성기간중 수심별 수중광량의 평균값은 그림 2-22와 같이 일반화 할 수 있다. 이때의 수중광량을 자연로그값으로 치환하여 수심과의 상관관계를 구해보면 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$\text{“수중광량 (Y) = -0.78X+7.67 (r^2=0.92)”}$$

따라서 넓미역의 가이식 기간중 적정 수심인 2m의 경우 평균 수중광량이 $476.4 \pm 59.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 양성 기간중 적정 수심인 0.5m의 경우 평균 수중광량이 $1,488.6 \pm 79.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 인 것으로 나타났다.



<그림 2-22> 넓미역의 가이식 및 양성수심과 수중광량의 관계

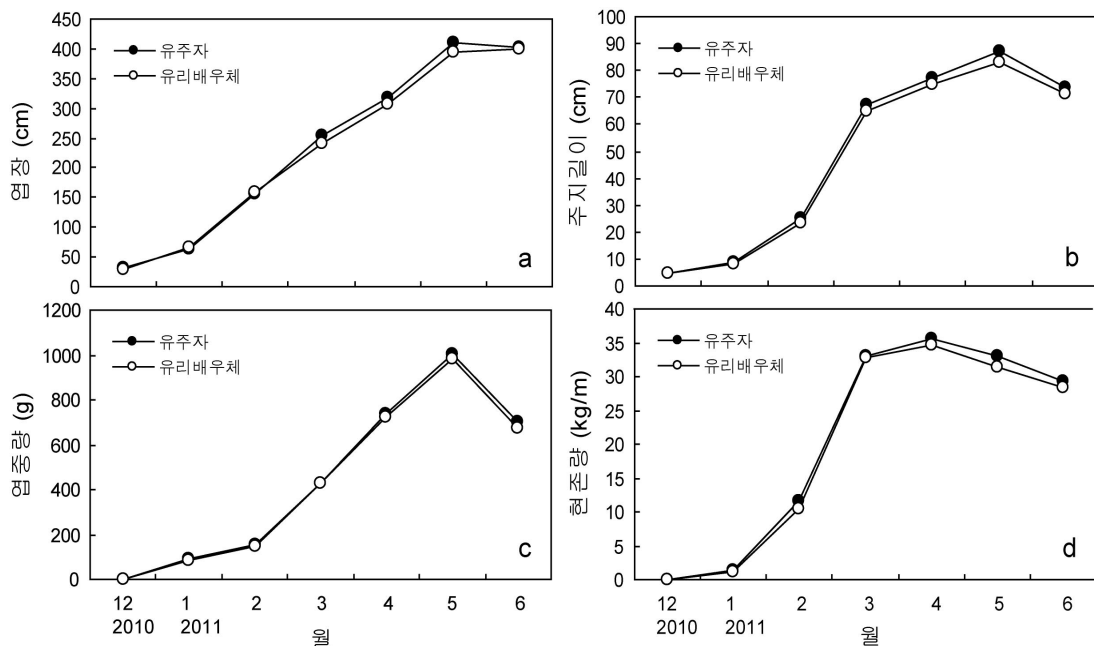
(5) 유주자와 유리배우체의 비교 양성 성장

넓미역 유주자와 유리배우체의 채묘시 양성 성장의 차이를 알아보기 위하여 2010년 12월부터 2011년 6월까지 전남 완도군 약산면 장용리 지선의 수심 0.5m에서 수평 연승식 양성로프에 10cm 간격으로 3cm의 종사를 끼우기식으로 시설하여 1개월 간격으로 엽체의 엽장, 중량, 단위m 당 현존량 및 개체수를 측정하였다.

넓미역 유주자와 유리배우체 채묘 실험구의 엽장은 그림 2-23a와 같이 2010년 12월에 약 30 cm에서 점차 증가하기 시작하여, 유주자 채묘 실험구의 엽장은 2011년 5월에 최대 410.9 ± 129.9 cm를 나타내었으며, 유리배우체 채묘 실험구의 엽장은

2011년 6월에 최대 398.6 ± 175.4 cm를 나타내었다. 주지길이는 그림 2-23b와 같이 2010년 12월에 유주자 채묘 실험구와 유리배우체 채묘 실험구에서 0.4~0.5 cm였으나 2011년 5월에 각각 87.3 ± 24.6 cm 및 82.9 ± 26.1 cm를 나타내었다. 엽중량은 그림 2-23c와 같이 두 실험구 모두 2010년 12월부터 점차 증가하기 시작하여 2011년 5월에 유주자 채묘 실험구에서 1002.8 ± 270.5 g 및 유리배우체 채묘 실험구에서 983.7 ± 254.7 g의 최대값을 나타내었다. 현존량은 그림 2-23d와 같이 2011년 4월에 유주자 채묘 실험구에서 35.5 ± 3.7 kg/m와 유리배우체 채묘 실험구에서 34.6 ± 1.9 kg/m로 최대값을 나타낸 이후 점차 현존량이 감소하는 경향을 나타내었다. 본 실험 결과에서 나타난 엽장, 주지길이, 엽중량 및 현존량 차이는 유주자와 유리배우체 채묘 실험구간 유의한 차이는 없었다 ($p > 0.01$). 따라서 넓미역의 경우 모조의 확보가 어렵고 자원이 매우 한정되어 있으므로 성숙한 모조로부터 유주자를 수집하는 것 보다 유리배우체의 배양을 통하여 양식의 종묘를 확보하는 것이 효과적일 것이다.

본 실험 결과 넓미역 엽중량의 증가에도 불구하고 5-6월의 현존량이 감소하는 것은 넓미역 엽체의 주지 및 부착기 부분이 물리적 자극에 약해 탈락되는 현상이 나타났기 때문으로 보인다.



〈그림 2-23〉 넓미역 유주자와 유리배우체 채묘시 양성 성장 비교

(6) 해적생물상

양성기간중 넓미역의 양성 로프에 출현한 해적생물은 표 2-31과 같이 총 21종으로 나타났으며, 이 가운데 해조류는 12종이었고 기타 해적생물은 9종으로 나타났다. 해조류 가운데는 잎파래, 구멍갈파래 및 미끌지누아리의 출현빈도가 가장 많았으며 겨울철인 2009년 12월부터 2010년 2월까지의 출현빈도 보다는 봄철인 3월부터 6월까지의 출현빈도수가 많았다. 기타 해적생물의 출현양상은 주로 4월부터 5월까지의 시기동안 출현종수와 생물량이 가장 많았다.

<표 2-31> 넓미역 양성기간중 출현한 해적생물

출현종	월	2009 12	2010 1	2	3	4	5	6
해조류								
<i>Enteromorpha linza</i> (잎파래)		+	+	+	++	+	+	+
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)				+	+	+	++	+
<i>Cladophora japonica</i> (큰 대마디말)			+	+	+	+		
<i>Codium fragile</i> (청각)					+	+	++	++
<i>Petalonia fasciata</i> (개미역쇠)						+	+	+
<i>Grateloupia turuturu</i> (미끌지누아리)		+	+		+	++	++	
<i>Graatelopia lanceolata</i> (개도박)							+	+
<i>Acrosorium polyneurum</i> (잔금분홍잎)					+		+	
<i>Lomentaria catenata</i> (마디잘록이)					+	+	+	
<i>Lomentaria hakodatensis</i> (애기마디잘록이)						+		
<i>Gracilaria chorda</i> (개꼬시래기)		+			+	+	+	
<i>Polysiphonia morrowii</i> (모로우붉은실)						+		+
규조류 및 기타 해적생물								
<i>Navicular</i> sp.						+	+	
<i>Caprella</i> sp.						++	+	++
<i>Gammaropsis</i> sp.						+	+	++
<i>Obelia</i> sp.							+	++
이끼벌레류					+	+	+	+
Hydrozoans				+		+	+	+
미더덕		+						
오만둥이		+					+	
유령멍게							+	+
Mud		+	+	+	+	+	+	+

마. 넓미역과 미역의 교잡

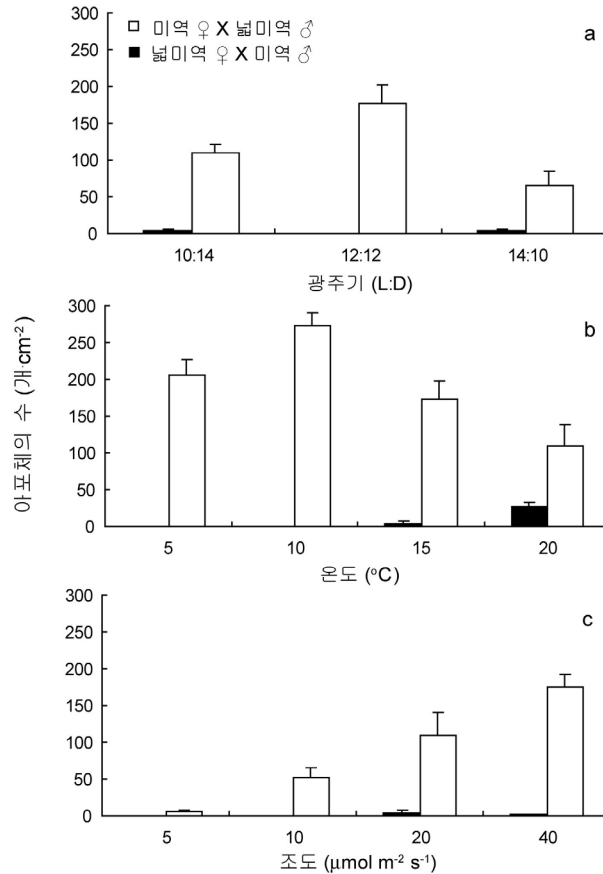
우도지역의 넓미역을 모조로 하여 채묘틀에 유주자를 채묘한 뒤 해조류 양식이 활발히 이루어지고 있는 완도지역으로 이식하여 양식한 결과 길이생장이 촉진되어 성공적인 양식성과를 나타내었다. 그러나 넓미역의 양식 과정중 양성로프에 부착된 부착기와 줄기 부분이 연약하여 엽체가 쉽게 탈락하거나 줄기 부분이 마모되어 엽상체가 떨어져 나가는 현상이 관찰되었다. 엽체의 탈락은 생산성에 직접적인 영향을 주게 되므로, 이러한 단점을 극복하기 위하여 넓미역의 암수 유리배우체를 미역의 그것과 상호교배하여 (표 2-32) 교잡종을 제작하고 교잡종의 생장 및 생산성을 넓미역 및 미역과 비교하였다.

〈표 2-32〉 교잡실험에 사용한 넓미역과 미역 유리배우체의 정보

명 칭	채집일시	채집장소
넓미역♀	2008년 5월 2일	전남 완도 (제주도 우도군락의 F ₁)
넓미역♂	2008년 5월 2일	전남 완도 (제주도 우도군락의 F ₁)
미역♀	2004년 5월 27일	전남 완도
미역♂	2004년 5월 27일	전남 완도

(1) 실내배양시 교잡종의 아포체 발달

미역 암배우체와 넓미역 수배우체간의 교잡 구간에서 아포체의 발달은 그림 2-24와 같이 넓미역 암배우체와 미역 수배우체간의 교잡 구간에서 보다 유의하게 촉진되었다. 넓미역 암배우체와 미역 수배우체간의 교잡 구간에서 아포체의 발달은 12:12h(L:D), 10°C 이하의 수온 및 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도조건에서는 배양 30일까지 전혀 이루어지지 않았으며, 미역 암배우체와 넓미역 수배우체간의 교잡 구간에 비하여 유의하게 낮은 아포체 형성율을 보였다.



〈그림 2-24〉 배양 30일후 넓미역과 미역의 유리배우체 교잡 실험구간별 아포체의 발달. a 광주기. b 온도. c 조도.

(2) 야외 양성기간중 교잡종의 성장과 형태적 특징

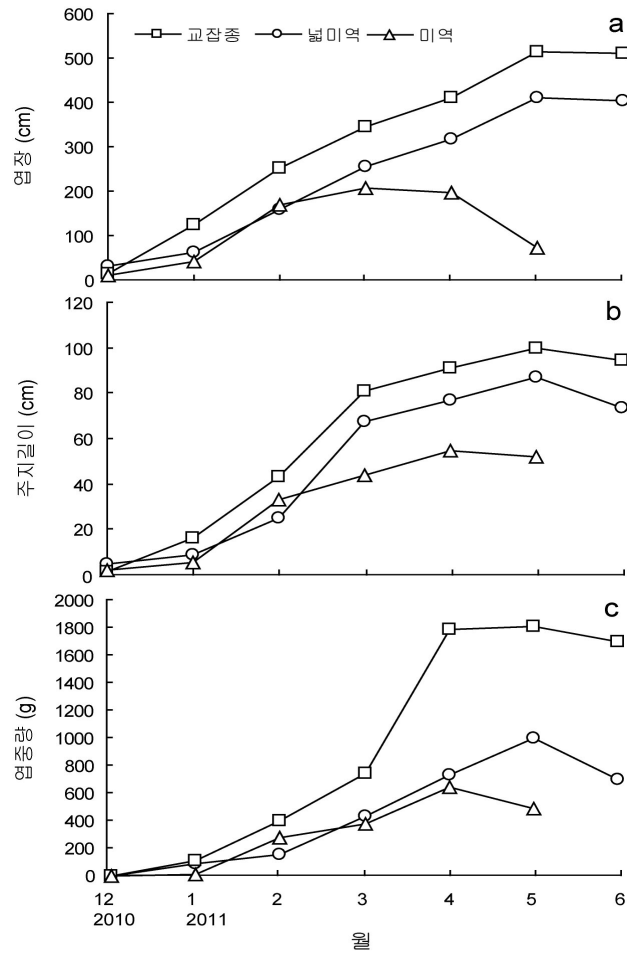
양성기간중 수온은 7.6°C에서 18.4°C까지 변화하였다. 최고 수온은 2011년 6월이였으며, 최저 수온은 2011년 1월이였다. 교잡종은 수온이 7.6°C 이상으로 상승하기 시작한 1월 이후 자라기 시작하였다. 3월부터 6월까지의 성장 기간 동안 수중광량은 300~1,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이였으며, 표층광량의 13~45%를 받는 수심에서 양성실험이 이루어졌다. 교잡종의 엽장은 그림 2-25a와 같이 5월 중순에 최대 513.1 ± 85.5 cm를 나타내었으며, 이 기간중 미역은 3월이면 엽장이 감소하기 시작하였고, 넓미역은 5월에 최대 410.9 ± 29.9 cm로 최대 성장을 나타내었다. 교잡종의 주지길이는 5월에 최대 100.1 ± 17.1 cm, 넓미역은 87.3 ± 24.6 cm 및 미역은 54.9 ± 11.6 cm의 순으로 나타났다 (그림 2-25b). 교잡종의 엽중량은 3월 이후 크게 증가하기 시작하였으며, 그림 2-25c와 같이 넓미역의 1.8배 및 미역의 3배 까지 증가하였다.

교잡종의 형태적 특징은 표 2-33과 같이 미역 및 넓미역과 비교하였다. 넓미역의 엽장과 엽폭간의 비율은 2010년 12월부터 2011년 2월까지 증가하여 2월에 17.2 ± 1.5 로 최대값을 나타내었으며, 교잡종은 3월에 5.8 ± 1.7 그리고 미역은 3월에 15.6 ± 2.8 로 최대값을 나타내었다. 교잡종의 엽장과 주지길이간의 비율은 12월에 8.5 ± 0.9 로 최대값을 나타내었으나 엽체가 생장함에 따라 점차 감소하였다. 넓미역과 미역에서 엽장과 주지길이간의 비율은 교잡종 보다는 작았다. 형태적인 차이로 보면 교잡종 엽체는 넓미역이나 미역 보다는 더 많은 가식부를 가지는 것으로 나타나 전복의 먹이 등으로 이용이 가능할 것으로 판단되었다.

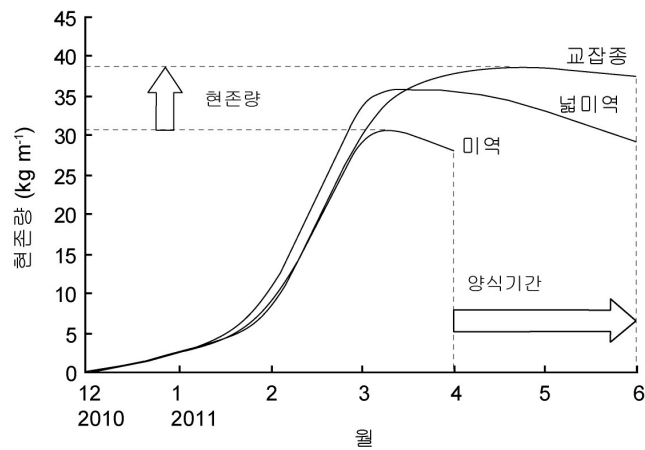
넓미역은 양성기간동안 엽체 연변부에 돌기상의 열편을 형성하지 않았으나 교잡종은 12월부터 열편을 형성하여 4월까지 점차 증가하는 경향을 보였다. 넓미역은 중륙을 가지지 않지만 교잡종은 1월부터 중륙을 형성하였다. 교잡종의 중륙 폭은 미역의 중륙 폭과 유의한 차이를 보이지 않았다. 교잡종의 엽두께는 넓미역과 미역의 중간인 것으로 나타났다. 넓미역은 성숙하면 엽체에 자낭반을 그리고 미역은 성숙하면 포자엽을 가지는데 교잡종은 4월까지 자낭반 또는 포자엽을 형성하지 않았다. 5월 중순경부터 교잡종의 약 10%의 엽체에서 작은 포자엽이 형성되기 시작하였으며 6월에는 약 30%의 교잡종에서 자낭반과 포자엽을 동시에 가지는 엽체가 관찰되었다.

(3) 교잡종의 현존량과 양식기간

2011년 5월에 교잡종의 평균 현존량은 최대 37.5 ± 3.1 kg/m를 나타내었으나(그림 2-26) 넓미역은 4월 이후에 현존량이 감소하기 시작하였고 미역은 3월 이후 현존량이 감소하기 시작하였다. 교잡종은 미역 보다는 약 1.5배의 현존량 증가를 보였으며 6월까지 수확이 가능하여 양식기간이 2개월 연장되는 효과를 보였다.



<그림 2-25> 양성기간중 넓미역과 미역 교잡종의 성장. a 업장. b 주지길이. c 업중량.



<그림 2-26> 넓미역, 미역 그리고 넓미역과 미역의 교잡종 사이의 현존량 비교

〈표 2-33〉 양성기간중 넓미역, 미역 및 넓미역과 미역간 교잡종의 형태적 특징 비교

형태적 특징	월	넓미역	교잡종	미역
엽장 / 엽폭	2010년 12월	4.7±1.1	2.6±1.5	3.3±1.2
	2011년 1월	7.4±1.2	4.4±1.5	4.7±1.3
	2월	17.2±1.5	5.3±1.4	12.4±1.3
	3월	13.4±1.4	5.8±1.7	15.6±2.8
	4월	13.1±1.5	5.7±1.6	12.3±2.4
	5월	12.8±1.8	5.4±1.4	8.6±2.2
	6월	12.7±1.9	5.4±1.3	-
엽장 / 주지길이	2010년 12월	7.1±1.2	8.5±0.9	7.3±0.9
	2011년 1월	6.5±1.1	7.7±1.0	5.3±1.1
	2월	6.3±1.0	5.8±1.1	5.1±1.1
	3월	3.8±0.9	5.1±1.1	4.7±1.0
	4월	3.7±1.1	4.5±1.2	3.6±1.2
	5월	3.3±1.2	4.3±1.2	1.4±1.2
	6월	3.3±1.5	4.3±1.5	-
열편길이 (cm)	2010년 12월	- ^a	0.3±0.1	2.1±0.6
	2011년 1월	-	1.3±0.8	4.2±1.4
	2월	-	14.3±2.8	18.1±3.0
	3월	-	16.1±3.4	27.7±4.8
	4월	-	18.0±5.6	32.9±7.5
	5월	-	11.2±2.1	34.2±6.7
	6월	-	10.5±3.1	-
중륜 폭 (cm)	2010년 12월	-	-	0.2±0.1
	2011년 1월	-	0.9±0.4	2.5±1.4
	2월	-	1.5±0.5	2.7±0.8
	3월	-	2.0±0.8	2.8±0.8
	4월	-	3.1±0.4	3.2±1.2
	5월	-	3.0±1.4	3.3±1.2
	6월	-	3.0±1.5	-
엽 두께 (mm)	2010년 12월	0.11±0.02	0.10±0.02	0.03±0.01
	2011년 1월	0.13±0.05	0.25±0.04	0.12±0.01
	2월	0.45±0.03	0.64±0.05	0.25±0.01
	3월	0.57±0.06	0.95±0.08	0.34±0.02
	4월	1.01±0.08	1.05±0.06	0.52±0.02
	5월	1.01±0.07	0.95±0.05	0.52±0.02
	6월	1.00±0.09	0.94±0.06	-
자낭반 (So) 또는 포자엽 (Sp) 형성	2010년 12월	-	-	Sp
	2011년 1월	-	-	Sp
	2월	-	-	Sp
	3월	So	-	Sp
	4월	So	-	Sp
	5월	So	Sp ^b	Sp
	6월	So	Sp & So ^c	-

^a 관찰되지 않음.

^b 10% 이하 포자엽 형성.

^c 30% 이하 포자엽 및 자낭반 형성.

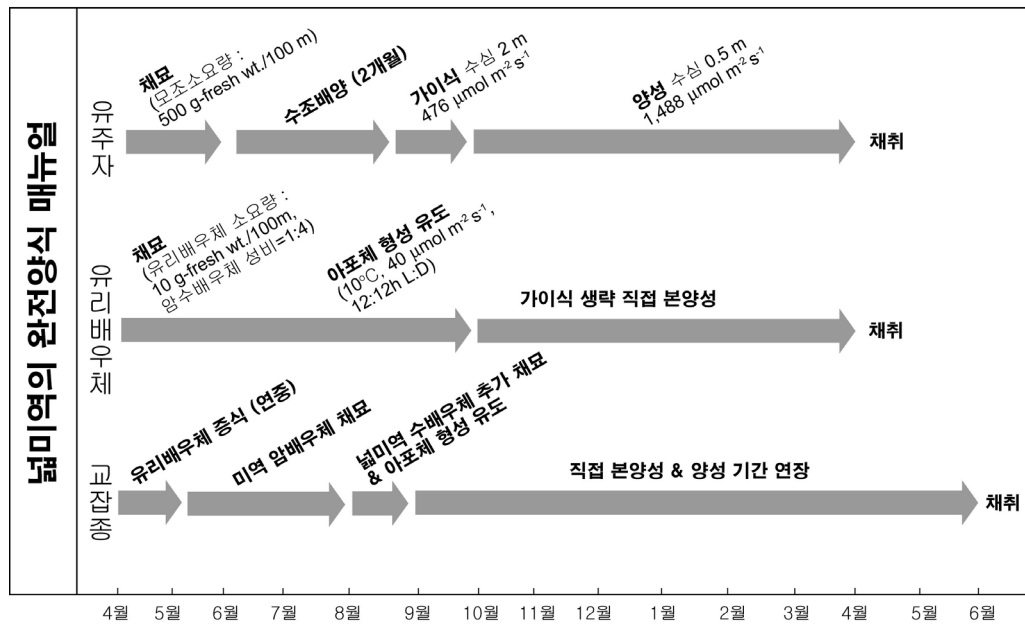
바. 넓미역 완전양식 매뉴얼

전남 완도군 약산면 지역에서 넓미역의 가이식 및 양성과정중 수온 변화는 8.8℃~23.5℃까지 변화하였으며 최고 수온은 10월에 그리고 최저 수온은 2월에 각각 기록되었다.

넓미역의 가이식 기간중 각 수심별 성장율과 수심과의 관계는 표 2-34와 같다. 가이식 37일후 넓미역의 일간성장율은 수심 2m 실험구에서 0.041±0.006 cm/day로 가장 높았으며, 이 시기의 수중광량은 476.4±59.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 측정되었다 (그림 2-27).

넓미역의 양성기간중 일간성장율은 표 2-34와 같이 수심 0.5m 실험구에서 160일 후 2.085±0.139 cm/day로 가장 높았으며, 이 시기의 수중광량은 1,488.6±79.7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 측정되었다. 넓미역의 가이식 및 양성기간중 수심과 수중광량간의 관계는 $Y = -0.78x + 7.67$ ($r^2=0.92$)의 식으로 표준화할 수 있다 (그림 2-27).

따라서 넓미역의 대량양식을 위한 적정 가이식 및 양성 조건은 그림 2-28과 같이 요약할 수 있다. 넓미역 양성과정중 적정 수중광량 조건을 이용하여 단위면적당 생산 가능한 양식수확량을 추정한 결과는 표 2-35와 같다. 넓미역의 양성실험 결과 수심 0.5m 실험구에서 얻어진 34.5 kg-fresh wt./m를 이용하여 단위면적 1ha당 15대를 시설하였을 경우, 넓미역의 생산량은 51,750 kg-fresh wt./ha로 추정할 수 있다 (표 2-35). 그리고 넓미역과 미역의 교잡종을 동일 수심에서 양성한 결과 56,250 kg-fresh wt./ha로 생체량이 증가하게 된다. 이러한 생산량은 미역의 ha당 생산량 28,000 kg-fresh wt./ha과 다시마의 ha당 생산량 36,000 kg-fresh wt./ha보다 높은 수준으로, 단위 ha당 생산량이 매우 높아 전복먹이 공급원으로 충분히 경쟁력이 있을 것으로 보인다. 뿐만 아니라 넓미역과 미역의 교잡종은 유리배우체의 대량배양을 이용하여 지속적인 종묘공급이 가능하고 양식기간도 양식 미역에 비하여 연장되어 전복 양식 산업의 경제성제고에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.



〈그림 2-27〉 넓미역의 완전양식 매뉴얼.

〈표 2-34〉 넓미역의 양식 단계별 성장과 수중광량과의 관계

구 분	성장도					수심과 수중광량의 관계
	수심(m)	실험 시작시 엽장 (cm)	실험 종료시 엽장 (cm)	기간(일)	일간성장율 (cm/day)*	
가이식	0.5	0	0.1±0.02	37	0.003±0.001 ^a	Y=-0.78x+7.67 (r ² =0.92)
	1.0	0	1.1±0.3	37	0.030±0.004 ^b	
	2.0	0	1.5±0.7	37	0.041±0.006 ^c	
	3.0	0	0.5±0.2	37	0.013±0.005 ^d	
양성	0.5	6.4±1.3	340.0±23.5	160	2.085±0.139 ^a	
	1.0	6.4±1.3	191.4±18.0	160	1.157±0.104 ^b	
	2.0	6.4±1.3	157.3±25.4	160	0.943±0.150 ^b	
	3.0	6.4±1.3	42.7±15.7	160	0.228±0.090 ^c	

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

〈표 2-35〉 넓미역의 단위면적당 생산량 및 생산액 추정

양성대상	생체량* (kg-fresh wt./m)	생산량** (kg-fresh wt./ha)	타 해조류 (kg-fresh wt./ha)	
			미역***	다시마***
넓미역	34.5±12.4	51,750	28,000	36,000
교잡종	37.5±5.1	56,250		

* 3반복 실험구의 평균값과 표준편차.

** ha당 양성로프의 간격은 6-7m (15대) 기준.

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

4. 넓미역의 이용 및 경제성 분석

가. 이용

(1) 넓미역 추출물의 세포생리활성 연구

(가) 서론

나이가 들어감에 따라 피부와 피부를 이루는 부속물들은 변화를 겪게 된다. 즉, 피부가 거칠어지며 주름이 증가하고 탄력을 잃게 되면서 피부조직이 얇아지게 된다(Lavker *et al.*, 1987). 보고된 바에 의하면 피부노화는 intrinsic aging과 extrinsic aging으로 대별되는데 intrinsic aging이란 자연스러운 피부의 노화로써 피부구조와 생리학적 기능이 자연스럽게 쇠퇴하는 것을 말하며, extrinsic aging 은 자외선 및 스트레스에 의해 유발되는 피부의 노화를 말한다(Lavker *et al.*, 1987). 잘 알려진 바와 같이 자외선은 가장 강력한 피부노화 유발물질 중의 하나이다. 피부는 자외선에 노출되면 피부의 구성성분인 collagen과 elastin이 변성되며 연이어 horny layer가 두꺼워지고 주름이 지게 된다(Braveman *et al.*, 1982). 또한 자외선에 노출된 피부는 pigmentary deposit이 증가하게 되고 이에 따라 피부세포 내에 melanin cell의 수가 증가하게 되어 피부가 거칠고 검게 변하는 것이다(Kim *et al.*, 1988). 따라서 인간의 피부노화를 방지하기 위해 많은 과학자들이 수많은 연구들을 진행하여 왔는데, 피부세포 활성화의 지표인 collagen을 증가, 활성화시키고, fibroblasts를 활성화시키며, extracellular matrix를 증가, 활성화시키는 물질의 개발에 연구역량을 집중하여 왔다(Han *et al.*, 1987). 이러한 예로 Lee *et al.* (1997) L-Ascorbic 산의 fibroblast growth 및 collagen biosynthesis에 관해 보고하였고, Kang *et al.* (1996) retinoids와 vitamin D의 피부노화 방지 효과에 대해 보고하였으며, Kim *et al.* (1989) Panax Ginseng과 Radix Astragali의 피부노화 방지 효과, Han *et al.* (1987) sulfhydryl compounds와 cysteine, glutathione 등의 피부노화방지 효과, Hwang *et al.* (2007)은 곰피(*Ecklonia stolonifera* Okamura)의 피부노화 방지 효과 등에 대해 보고하였다.

상기에 언급된 바와 같이 임상적으로 유용한 피부노화 치료물질을 개발하기 위해 다양한 chemical compound에 대한 연구가 진행되어 왔고 현재도 진행 중이지만 이들 chemical compound들은 세포독성 및 부작용으로 인해 그 사용이 일정부분 제한되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 천연물 또는 의학용 약초를 이용하여 임상적으로 안전한 피부노화물질을 개발하기 위한 연구가 미국, 일본, 영국 등 구미 선진국을 중심으로 점차적으로 증가하고 있는 추세이다.

넓미역 (*Undariopsis peterseniana*)은 미역속의 해조류로 우리나라의 제주도와 일본의 큐우슈 서북부 지방에 분포한다. 제주지역에서의 분포는 제주 성산포와 우도사이의 협해의 산호밭에 주로 제한적으로 서식하고 있으며 제주 지역에서는 넓미역을 씹음으로 식용하여 왔고 미역류 해초에 많이 포함된 것으로 알려진 L-Ascorbic 산 및 collagen이 다량 함유되어 있는 것으로 추정되어 피부노화방지제 개발을 위한 천연물 후보물질로서의 가능성이 충분한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구팀은 넓미역 추출물의 피부노화방지 및 치료 후보물질로서의 가능성을 연구하기 위해 *in vitro* 레벨에서의 연구를 수행하였다. 즉, 넓미역추출물을 CCD-986sk cell line monolayer (human fibroblast, KCBL-21947)에 투여하여 피부세포에 대한 넓미역추출물의 피부세포 생리활성효과를 측정하였다.

(나) 넓미역추출물 시료가 CCD-986sk cell line(사람피부계대세포주-human skin fibroblast)의 생리활성에 미치는 영향

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

본 실험에서는 0.8% methanol에 용해한 넓미역추출물 시료(200 μ l, 넓미역추출물 시료 1000mg/ml을 함유)를 0.8% methanol을 이용하여 연속적으로 2배 계단희석한 후 각 well에 투여한 넓미역추출물 시료투여군을 시험군으로 하였고, 아무시료도 첨가되지 않은 일반 0.8% methanol을 연속적으로 2배 계단희석하여 각 well에 첨가한 군을 대조군으로 사용하여 대조군과 비교하여 시험군의 CCD-986sk cell line에 대한 피부세포활성화 정도를 측정하고 이를 표 2-34에 나타내었다.

표 2-36에서 보여주는 것과 같이 대조군의 O.D. 값은 0.066 ± 0.002 를 나타낸 반면, 한국산 넓미역 시료투여군은 50mg/ml에서 0.166 ± 0.001 , 25mg/ml에서 0.133 ± 0.002 , 12.5mg/ml에서 0.112 ± 0.002 , 6.25mg/ml에서 0.089 ± 0.000 , 3.13mg/ml에서 0.078 ± 0.001

의 유의성있는 결과를 나타내어 한국산 넓미역추출물이 CCD-986sk human fibroblast 계대세포주에 대해 강력한 세포생리활성 효과를 나타내는 것으로 실험결과가 나타났다. 특히 50mg/ml에서 0.166 ± 0.001 의 유의성결과는 대조군에 비해 약 3배에 달하는 세포 생리활성효과를 나타낸 것으로 비록 *in vitro* 수준이기는 하지만 넓미역추출물의 항노화, 주름살제거효과 후보물질로서의 가능성을 보여주는 연구결과를 나타낸 것으로 사료된다.

그 동안 기 수행된 연구결과에 의하면 intrinsic problem(피부구조조직의 쇠퇴 및 생리적 기능의 쇠퇴)와 extrinsic problem(자외선 노출 또는 stress)이 피부노화를 야기하는 가장 큰 causative agent이며, 이로 인해 야기된 skin horny layer의 주름을 방지하기 위해 skin collagen과 elastin을 renature 시키기 위한 많은 drug이 개발되었다. 그러나 chemical compound를 이용한 연구에 대한 보고는 많았으나 천연물소재를 이용한 drug 개발은 제한적으로 행해졌다.

따라서 본 연구에서는 천연물을 소재로 하여 항노화, 주름살제거효과가 있는 drug를 개발하기 위해 한국 연근해에 자생하는 넓미역추출물의 CCD-986sk 사람 피부계대세포주에 대한 세포생리활성 효과 연구가 수행되고, 상기에 기술된 연구 결과를 고려해 볼 때, 넓미역추출물은 *in vitro* 수준에서 항노화, 주름살제거효과 후보 물질로서의 가능성을 보여주었다.

<표 2-36> CCD-986sk human fibroblast cell의 생장에 대한 넓미역 추출물의 효과

실험구	추출물 농도별 560 nm에서의 흡광도							
	200(mg/ml)	100(mg/ml)	50(mg/ml)	25(mg/ml)	12.5(mg/ml)	6.25(mg/ml)	3.13(mg/ml)	1.56(mg/ml)
대조구	0.066±0.002	0.066±0.002	0.066±0.002	0.066±0.002	0.066±0.002	0.066±0.002	0.066±0.002	0.066±0.002
넓미역 추출물	0.051±0.002	0.048±0.004	0.166±0.001*	0.133±0.002*	0.112±0.002*	0.089±0.000*	0.078±0.001*	0.061±0.001

모든 실험구는 4반복 실험의 평균과 편차로 표시함.

*: Student t-test 결과 유의함.

(2) 성분분석

(가) 일반성분

넙미역은 현재 제주지역에서 씹 형태로 소비가 이루어지고 있으나 자연산 업체만으로는 절대적인 공급 부족으로 인하여 내수기반의 확충이 상당히 어려운 실정이다. 넙미역의 일반성분을 보면 건조시료의 경우 표 2-37과 같이 단백질 함량이 17.7%로 가장 높았으며, 회분과 수분 및 조지방의 순으로 분석되었다. 넙미역의 단백질 함량은 미역이나 다시마와 비교하여도 매우 높은 수치인 것으로 나타났다.

〈표 2-37〉 넙미역, 미역 및 다시마의 일반성분분석결과 (건조시료)

시료명	수분(%)	단백질(%)	조지방(%)	회분(%)
넙미역	8.41	17.77	0.35	14.62
미역	8.17	13.53	1.16	29.17
다시마	10.14	9.11	3.44	17.90

(나) 원소분석

제주도 우도지역의 넙미역 군락으로부터 채집된 넙미역을 분말 시료 상태로 제작하여 (건조 분말, 약 50-100 mesh) 시료 중의 CHN함량을 분석하였다. 넙미역의 CHN 함량은 표 2-38과 같이 각각 37%, 5.6% 및 3.1%로 나타났으며, 미역 및 다시마와 비교하여 넙미역의 C 함량이 가장 높았다.

〈표 2-38〉 넙미역, 미역 및 다시마의 원소분석결과

시료명	Nitrogen	Carbon	Hydrogen
넙미역	3.104	37.329	5.622
미역	2.358	29.551	4.808
다시마	1.623	35.887	5.820

(3) 제품개발

일반적으로 수산식품의 건제품을 가공하는데 있어 세균이 발육할 수 있는 최저 수분량은 약 40%이지만, 곰팡이는 이 보다 수분량이 적어도 잘 자란다. 그래서 수산 건제품은 부패하지 않아도 곰팡이가 자랄 위험성은 항상 있다. 건조에 의한 식품 보장 원리는 수분을 감소시킴으로써 용질의 상대적 농도를 높여 식품의 수분활성을 저하시키는 것이다. 수분을 감소시키는 수단으로서는 ① 복사열로써 수분을 증발시키는 천일건조, 기계건조 등의 보통 건조법, ② 감압하에서 물의 비등점을 낮추어 증발을 촉진시키는 진공 또는 감압건조법, ③ 식품 중의 수분을 동결시킨 다음 이어서 용해 유출시키는 동건법, ④ 동결 상태 그대로 고도의 감압하에서 식품 중의 얼음을 승화시키는 동결건조법, ⑤ 콜로이드상의 점토 중에 매몰시키거나, 도토판 사이에 끼워 수분을 이행시키는 확산법, ⑥ 압출법, ⑦ 원심분리법, ⑧ 건조제에 의한 방법 등이 있다.

넙미역의 시제품 개발은 국립수산물과학원 해조류바이오연구센터 및 (주)아침가리의 양해각서 체결 및 공동연구로 진행이 되었다. 2010년 4월 12일 해조류바이오연구센터와 (주)아침가리는 “제주도 특산 넙미역의 브랜드화 연구”를 위하여 상호 공동연구 및 교류에 뜻을 함께 하고 상호 협력 협약서를 교환 (그림 2-28) 하였으며, 이때부터 넙미역 제품의 시제품 개발에 박차를 가하게 되었다.

넓미역 시제품의 개발을 위한 사전 협의회의 (그림 2-29)에서는 넓미역의 제품 종류에 대하여 가닥미역, 줄기미역 및 커트미역 등의 세종류를 제작하기로 협의하였다. 또한 커트미역은 다시 짬용과 국거리용으로 세분화하여 제작하기로 협의하였다. 또한 시제품의 도안 및 라벨 표시는 그림 2-30와 같이 임시 표기하기로 협의하였다.



〈그림 2-29〉 넓미역 시제품 개발을 위한 사전 협의회의.



〈그림 2-30〉 넓미역 시제품의 제품 표시 로고 도안.

(가) 가닥 넓미역

넓미역 엽체를 채취한 후 염분을 제거하고 건조시킨 후 부착기 부분만을 제외한 전체 엽체 부분을 모두 함께 제조한 제품이다 (그림 2-31).



〈그림 2-31〉 넓미역 시제품 (가닥 넓미역).

(나) 커트 넓미역

(1) 찜용 커트 넓미역

넓미역을 가로 세로 약 10 cm 씩 절단하여 건조시킨 후 물에 불렸을 때 찜용으로 사용하기 위한 찜용 커트 넓미역은 그림 2-32와 같이 제조하였다.



〈그림 2-32〉 넓미역 시제품 (찜용 커트 넓미역)

(2) 국거리용 커트 넓미역

넓미역을 2 cm 크기 이하로 세단하여 건조시킨 후 국거리용으로 제작한 넓미역 시제품은 그림 2-33과 같다.



〈그림 2-33〉 넓미역 시제품 (국거리용 커트 넓미역)

따라서 넓미역의 시제품 개발을 통하여 얻어진 다양한 제품들은 그림 2-34와 같이 종합하여 볼 수 있다.



〈그림 2-34〉 넓미역의 다양한 시제품

나. 경제성 분석

해조류 양식 산업의 부가가치성은 크게 3가지 측면에서 인식되어야 한다. 첫째, 친환경적 양식 산업으로 부영양염의 흡수원 및 자연의 생산력을 이용하는 양식 시스템에 의한 해양 생태계의 1차생산자, 둘째, 다양한 해양생물의 산란, 서식, 먹이 제공에 의한 연안 생태계의 안정화 및 지구온난화의 주범인 이산화탄소의 흡수, 셋째, 고칼로리의 영양섭취 시대에 있어 저칼로리의 알칼리성 식품 및 천연의 자연식품의 제공이라는 다양한 잠재적 가치를 지니고 있다. 이에 대한 관심은 연구 분야뿐만 아니라 우리들의 실생활에 점점 증대되고 있는 실정이다. 그러므로 해조류 양식업은 산업으로써 그 경쟁력을 확보할 가능성이 매우 높다하겠다. 특히, 새롭게 양식기술이 개발되는 넓미역의 경우 서식범위가 매우 제한적이고, 보호대상종으로 그 자원량이 적기 때문에 인위적인 양식을 통한 부가가치 창출은 매우 클 것으로 판단된다.

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

가) 넓미역 양식 및 유통

(1) 양식 기술 개발 현황

넓미역은 최근까지도 양식기술이 개발되지 않아서 넓미역의 생산은 전적으로 자연 서식지의 군락으로부터의 수확에 의존하는 불완전한 시스템에 의존해 왔으나, 수산 동식물 품종별 포획금지법(국립수산과학원 2005)이 발효되면서 자연서식의 채취마져 할 수 없는 상황이 되었다. 실제로 2009년 본 연구가 수행되면서 넓미역의 인공종묘 생산 및 양성기술개발이 시도되면서 완전양식시스템이 도입되고 있다. 현재는 전남 완도군 약산도를 중심으로 넓미역의 시험양식이 점차 확대되고 있다. 이와 같이 서남해안을 중심으로 넓미역의 양식이 확대되고 있는 이유는 첫째로 넓미역의 자연 서식지와 환경조건이 상당부분 비슷하여 넓미역의 정상적인 생장이 가능하고, 둘째로는 전복양식이 집약적으로 이루어지고 있는 지역으로 여름철 고수온기 전복먹이의 안정적인 확보의 필요성이 크기 때문이고, 셋째로는 서남해역이 전통적으로 해조류 양식이 성행한 지역으로써 넓미역 양식기술의 개발과 현장 적용이 다른 지역보다 빠르고, 넷째로는 국립수산과학원 해조류바이오연구센터가 서남해역인 목포에 위치하기 때문에 해조류양식기술지원이 타 지역에 비해 상대적으로 용이하기 때문이다.

(2) 면허 및 생산현황

해조류의 생산은 크게 일반해면어업과 천해양식어업으로 구분된다. 표 2-39와 같이 넓미역의 2009년도 생산량은 명확하게 구분되어있지 않고 기타 해조류의 일부에 포함되어 있는 상태이다. 넓미역의 주생산지는 제주도로 그 생산량은 매우 적으며 전적으로 일반해면어업에 의해 생산되고 있다. 현재 서남해역을 중심으로 넓미역의 양식생산이 본격적으로 이루어진다면 생산량은 크게 증가할 것으로 보인다. 현재 넓미역 양식만을 단독으로 행하는 어장은 표 2-40과 같이 거의 전무한 상태이나 넓미역의 양식은 기존의 미역 또는 다시마 양식시설로 가능하기 때문에 유희어장의 활용도를 높이므로써 단위 어장당 생산성 향상에 기여할 수 있다.

〈표 2-39〉 해조류 종별 생산량 (2009, M/T)

종	일반 해면어업	천해 양식어업
기타 해조류	1,122	2,819
김 (<i>Porphyra</i>)	23	211,444
꼬시래기 (<i>Gracilaria</i>)	113	45
다시마 (<i>Laminaria</i>)	354	306,183
도박류 (<i>Pachymeniopsis</i>)	670	-
모자반 (<i>Sargassum</i>)	381	1,826
미역 (<i>Undaria</i>)	3,882	309,155
우뭇가사리 (<i>Gelidium</i>)	822	-
풀가사리 (<i>Gloiopeltis</i>)	36	-
툃 (<i>Hizikia</i>)	2,590	19,533
파래 (<i>Enteromorpha</i>)	297	599
청각 (<i>Codium</i>)	553	1,796
총	10,843	853,400

〈표 2-40〉 천해 해조류 양식업의 연도별 어업권 현황 (2009, ha)

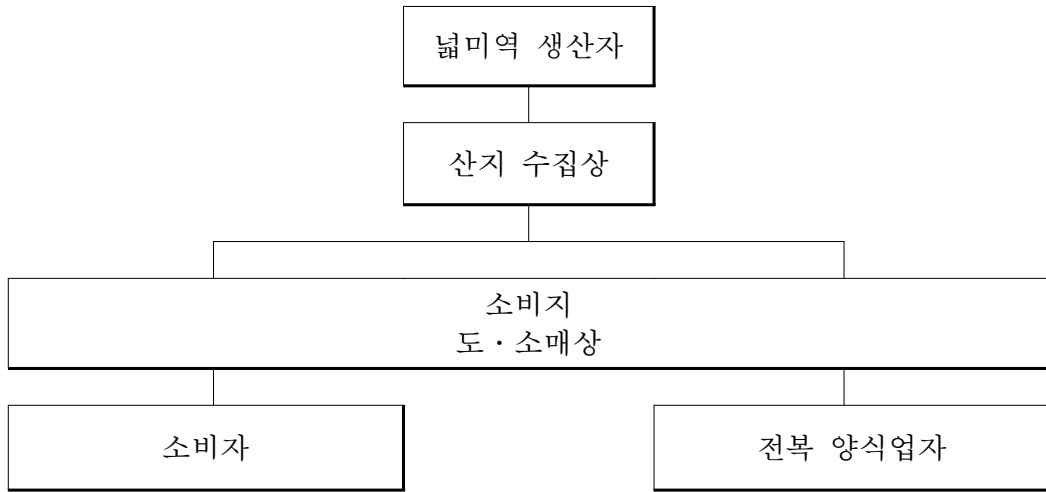
종	건 수	면 적
기타	80	907
미역 (<i>Undaira</i>)	432	5,288
다시마 (<i>Laminaria</i>)	661	8,765
파래 (<i>Enteromorpha</i>)	41	387
우뭇가사리 (<i>Gelidium</i>)	0	0
톳 (<i>Hizikia</i>)	407	5,380
갈래곰보 (<i>Meristotheca</i>)	0	0
모자반 (<i>Sargassum</i>)	93	3,634
김 (<i>Porphyra</i>)	939	57,240
총	2,653	81,601

(3) 판매형태 및 유통경로

넓미역의 판매는 일반적으로 비계통판매의 비율이 매우 높다. 이는 김, 미역, 다시마, 파래, 청각, 모자반과 매우 유사한 형태이다. 넓미역이 거의 대부분 비계통 판매 형태를 띠는 것은 넓미역의 생산이 완전양식시스템에 의한 대량생산이 아닌 소규모의 자연채취의 형태를 띠고, 주로 식용의 생체 무침용 또는 찜용으로 제한된 지역에서 제한적으로 소비되고, 그리고 제한된 지역에서 제한된 생산시기를 가지고 있기 때문인 것으로 보인다.

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

넓미역의 판매형태는 다른 해조류와 마찬가지로 소비지 도매시장으로의 반출보다는 산지의 수집상으로 직접 유입되는 경우가 대부분일 것으로 보이며(그림 2-35), 여기서 생산자-산지 수집상-소비지 도매상-소비자의 유통경로와 생산자-산지 수집상-소비지 도·소매상-전복양식업자의 유통경로가 형성될 것으로 예상된다.



〈그림 2-35〉 넓미역의 유통경로

나) 넓미역 양식 어업의 경영분석

(1) 종묘생산 수지분석

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

손익계산서의 구성항목에 대한 값을 구하기 위하여 넓미역 종묘 생산 시험어가에 배분한 손익조사표를 이용하여 종묘생산으로부터 발생하는 비용을 조사하였다.

표 2-40과 표 2-41은 표본으로부터 계산한 넓미역 종묘 생산 어업 (1,000톤 생산 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 넓미역 종묘 생산 어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 자가노력비가 넓미역 종묘생산에서 차지하는 비중을 나타내기 위하여 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우와 자가노력비를 비용에 포함시킬 경우의 손익계산서를 제시함으로써 양식경영자의 경영에 대한 새로운 인식을 가지게 하였다. 표 2-40에서와 같이 넓미역 종묘 생산의 평균 자가노력비는 매출액의 40%인 20,000천원에 달한다. 그러므로 양식경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 넓미역 종묘 생산의 매출액 순이익을 실질매출액 순이익을 보다 40%나 과대하게 평가하게 되는 것이다.

넓미역 종묘 1,000톨의 판매로 발생되는 평균양식수익은 50,000천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균종묘생산비용은 40,500천원이다. 이와 같은 종묘생산수익과 종묘생산비용의 평균값은 상대적으로 종묘생산의 규모에 따라 차이를 갖는다.

〈표 2-40〉 넓미역 종묘 생산의 경제성 분석

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			50,000	
	판매소득		1,000톨	50,000	50,000
생 산 비	경 영 비	시설비	1,000톨	5,000	5,000
		종묘비	500kg	6,000	3,000
		부대시설비	-	8,000,000	8,000
		감가상각비	-	2,500,000	2,500
		운영관리비	-	1,500,000	1,500
		판매수수료	-	500,000	500
	소 계				20,500
자가노력비				20,000	
총 계				40,500	
총소득(조수입-경영비)				29,500	
소득율(총소득÷조수입) × 100				59%	
순소득(조수입-생산비)				9,500	
이익율(순소득÷조수입) × 100				19%	

〈표 2-41〉 넓미역 종묘 생산의 경제성 분석 (자가노력비 제외)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			50,000	
	판매소득	1,000틀	50,000	50,000	
생 산 비	경 영 비	시설비	1,000틀	5,000	5,000
		종묘비	500kg	6,000	3,000
		부대시설비	-	8,000,000	8,000
		감가상각비	-	2,500,000	2,500
		운영관리비	-	1,500,000	1,500
		판매수수료	-	500,000	500
		소계			20,500
	자가노력비			0	
총계				20,500	
총소득(조수입-경영비)				29,500	
소득율(총소득÷조수입) × 100				59%	
순소득(조수입-생산비)				29,500	
이익율(순소득÷조수입) × 100				59%	

표 2-42는 넓미역 종묘 생산에 대한 각 계정과목의 비율을 나타낸 공통형 손익 계산서이다. 넓미역 종묘 생산 어업에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 자가노력비로서 40%이며, 시설비보다 관리비가 차지하는 비율이 높은 이유는 종묘생산에 소요되는 인건비에 기술적 노력비용이 포함되어 있기 때문이다. 넓미역 종묘 생산비용은 양식수익의 41%를 차지하였고, 매출액 순이익율은 평균 19%로 분석되었다.

〈표 2-42〉 넓미역 종묘 생산 어업의 공통형 손익계산서

(단위: %)

항 목	평 균
판 매 소 득	1.00
경 영 비	0.41
시 설 비	0.10
종 묘 비	0.06
부 대 시 설 비	0.16
감 가 상 각 비	0.05
운 영 관 리 비	0.03
판 매 수 수 료	0.01
총 소 득	0.59
자 가 노 력 비	0.40
순 소 득	0.19

(2) 종묘생산의 민감도 분석

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

표 2-43은 비용항목인 시설비, 종묘비, 부대시설비, 운영관리비, 감가상각비, 판매수수료와 종묘생산수익이 다른 항목이 일정하다는 가정하에서 각 항목이 20% 변화할 경우의 종묘생산수익에 대한 종묘생산비용의 비율과 종묘생산매출이익율의 변화를 나타낸 것이다.

시설비가 20% 감소할 경우에 양식비용 백분율은 2.46% 감소하며, 종묘생산매출액 순이익율은 11.76% 증가한다. 그리고 감가상각비가 20% 감소할 경우에 종묘생산비용 백분율은 1.23% 감소하며 종묘생산 매출이익율은 5.55% 증가한다. 자가노력비가 20% 감소하면 종묘생산비용 백분율은 9.87% 감소하며 종묘생산 매출이익율은 72.72% 증가한다. 넓미역 종묘생산의 매출액이익율의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 비용은 시설비와 자가노력비로 분석된다.

〈표 2-43〉 넓미역 종묘 생산 어업의 공통형 손익계산서의 변동

판매소득	-	-	-	-	-	-	-	±20%
시설비	±20%	-	-	-	-	-	-	
종묘비	-	±20%	-	-	-	-	-	
부대시설비	-	-	±20%	-	-	-	-	
감가상각비	-	-	-	±20%	-	-	-	
운영관리비	-	-	-	-	±20%	-	-	
판매수수료	-	-	-	-	-	±20%	-	
자가노력비	-	-	-	-	-	-	±20%	
생산비	±2.46	±1.48	±3.95	±1.23	±0.74	±0.24	±9.87	
순소득	±11.76	±6.74	±20.25	±5.55	±3.26	±1.06	±72.72	

(3) 양식생산 수지분석

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

손익계산서의 구성항목에 대한 값을 구하기 위하여 넓미역 시험양식 어가에 배분한 손익조사표를 이용하여 양식생산으로부터 발생하는 비용을 조사하였다.

표 2-44와 표 2-45는 표본으로부터 계산한 넓미역 양식 생산 어업 (미역조기산 시중 판매 단가 3,000원/kg, 20대/ha 양식 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 넓미역 양식 생산 어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 자가노력비가 넓미역 양식 생산에서 차지하는 비중을 나타내기 위하여 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우와 자가노력비를 비용에 포함시킬 경우의 손익계산서를 제시함으로써 양식경영자의 경영에 대한 새로운 인식을 가지게 하였다. 표 2-44에서 보는 바와 같이 넓미역 양식 생산의 평균자가노력비는 매출액의 11.1%인 20,000천원에 달한다. 그러므로 양식경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 넓미역 양식 생산의 매출액 순이익은 실질매출액 순이익을 보다 11.1%나 과대하게 평가하게 되는 것이다.

넓미역 양식 20대/ha의 생산판매로 발생하는 평균양식수익은 151,600천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균양식생산비용은 28,400천원이다. 이와 같은 양식생산수익과 양식생산비용의 평균값은 상대적으로 양식생산의 규모에 따라 차이를 갖는다.

〈표 2-44〉 넓미역 양식 생산의 경제성 분석 (20대/ha)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			180,000	
	양식소득	60,000kg	3,000	180,000	
생 산 비	경 영 비	시설비	20틀 (대)	100,000	2,000
		종묘비	20틀 (대)	50,000	1,000
		부대시설비	-	2,000,000	2,000
		감가상각비	-	2,000,000	2,000
		운영관리비	-	1,000,000	1,000
		판매수수료	-	400,000	400
		소계			8,400
	자가노력비			20,000	
총계				28,400	
총소득 (조수입-경영비)				171,600	
소득율 (총소득 ÷ 조수입) × 100				95.33	
순소득 (조수입-생산비)				151,600	
이익율 (순소득 ÷ 조수입) × 100				84.22	

〈표 2-45〉 넓미역 양식 생산의 경제성 분석 (자가노력비 제외)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			180,000	
	양식소득		60,000kg	3,000	180,000
생 산 비	경 영 비	시설비	20톤 (대)	100,000	2,000
		종묘비	20톤 (대)	50,000	1,000
		부대시설비	-	2,000,000	2,000
		감가상각비	-	2,000,000	2,000
		운영관리비	-	1,000,000	1,000
		판매수수료	-	400,000	400
		소계			8,400
	자가노력비			0	
총계				8,400	
총소득 (조수입-경영비)				171,600	
소득율 (총소득 ÷ 조수입) × 100				95.33	
순소득 (조수입-생산비)				171,600	
이익율 (순소득 ÷ 조수입) × 100				95.33	

표 2-46은 넓미역 양식 생산에 대한 각 계정과목의 비율을 나타낸 공통형 손익 계산서이다. 넓미역 양식 생산어업에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 자가노력비로서 11.11%이며, 시설비보다 관리비가 차지하는 비율이 높은 이유는 양식생산에 소요되는 인건비에 기술적 노력비용이 포함되어 있기 때문이다. 넓미역 양식 생산비용은 양식수익의 4.66%를 차지하여 매출액 순이익율은 평균 84.22%로 매우 높다.

〈표 2-46〉 넓미역 양식어업의 공통형 손익계산서

(단위 : %)

항 목	평 균
판매소득	1.0000
경영비	0.0466
시설비	0.0111
종묘비	0.0055
부대시설비	0.0111
감가상각비	0.0111
운영관리비	0.0055
판매수수료	0.0022
총소득	0.9533
자가노력비	0.1111
순소득	0.8422

(4) 양식생산의 민감도 분석

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

표 2-47은 비용항목인 시설비, 종묘비, 부대시설비, 운영관리비, 감가상각비, 판매수수료와 양식 생산 수익이 다른 항목이 일정하다는 가정하에서 각 항목이 20% 변화할 경우의 양식 생산 수익에 대한 양식 생산 비용의 비율과 양식 생산 매출이익율의 변화를 나타낸 것이다.

시설비, 종묘비, 부대시설비가 20%씩 감소할 경우에 양식비용 백분율은 0.7-1.41% 감소하며, 양식생산 매출액 순이익율은 0.13-0.26% 증가한다. 그리고 감가상각비, 운영관리비가 20%씩 감소할 경우에 양식 생산 비용 백분율은 1.41% 감소하며 양식 생산 매출이익율은 0.26% 증가한다. 자가노력비가 20% 감소하면 양식 생산 비용 백분율은 14.08% 감소하며 양식생산 매출이익율은 2.64% 증가한다. 넓미역 양식 생산의 매출액이익율의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 비용은 시설비와 자가노력비이다.

〈표 2-47〉 넓미역 양식 어업의 공통형 손익계산서의 변동

판매소득	-	-	-	-	-	-	-	±20%
시설비	±20%	-	-	-	-	-	-	
종묘비	-	±20%	-	-	-	-	-	
부대시설비	-	-	±20%	-	-	-	-	
감가상각비	-	-	-	±20%	-	-	-	
운영관리비	-	-	-	-	±20%	-	-	
판매수수료	-	-	-	-	-	±20%	-	
자가노력비	-	-	-	-	-	-	±20%	
생산비	±1.41	±0.7	±1.41	±1.41	±0.7	±0.28	±14.08	
순소득	±0.26	±0.13	±0.26	±0.26	±0.13	±0.05	±2.64	

다) 넓미역 양식 어업의 경영 개선 방안

(1) 수익증대 방안

넓미역 양식은 넓미역 단독 양식보다 다른 양식대상종과 양식을 병행하는 복합 양식의 성격을 띠며, 대량생산의 이점뿐만 아니라 높은 경제성을 지니고 있다. 특히, 넓미역 양식은 미역과 다시마와 같은 유사한 방법으로 종묘생산이 가능하고 양성법도 동일하여 양식기술상 어려움이 적다는 이점뿐만 아니라 여름철 고수온기 어한기 어장의 활용도를 높임으로써 단위 어장 당 생산성의 극대화로 수익증대에 일조 할 수 있다. 그리고 넓미역은 여름철 고수온기에 생체량이 최대치에 도달하기 때문에 여름철 고수온기 부족한 전복먹이 공급을 위한 해조류로 대체 활용할 수 있다는 장점도 있다.

넓미역 양식 산업의 활성화와 지속적인 발전을 유도하기 위해서는 넓미역 양식의 규모화 및 시스템화가 필요하다. 또한, 적정 양식생산으로 적정 공급과 수요를 충족 시키면서 일정 수익을 지속적으로 얻을 수 있는 계획생산을 위한 양식시스템을 구축해야 할 것이며, 국내외의 다양한 형태의 소비를 촉진할 수 있는 다양한 제품의 개발 또는 유용성에 대한 홍보 등을 통하여 지속적인 소비를 유도해야할 것이다. 그리고 여름철 고수온기 부족되고 있는 전복먹이 공급을 위한 대규모 양식시스템의 개발이 필요하다.

(2) 넓미역 양식과 미역 양식의 단위 면적당 수익성 비교

표 2-48은 표본어가로부터 계산된 미역 양식 생산 어업 (20대/ha 양식 기준)의 손익계산서를 나타낸 것이다. 미역 양식 생산 어업의 수지상황을 이해할 수 있도록 각 계정과목의 평균값을 제시하였다. 그리고 계정과목에 자가노력비를 포함시킨 손익계산서를 제시함으로써 표 2-44의 넓미역 양식 생산 경제성과 미역 양식 생산의 경제성을 직접 비교하였다. 표 2-44에서 보는 바와 같이 넓미역 양식 생산의 평균 자가노력비는 매출액의 11.11%인 20,000천원에 달한다. 그러므로 양식 경영자가 자가노력비를 비용에 포함시키지 않을 경우 넓미역 양식 생산의 매출액 순이익을 실질매출액 순이익을 보다 11.11%나 과대하게 평가하게 되는 것이다. 반면에 표 2-48의 미역 양식 생산의 평균 자가노력비는 매출액의 17.8%인 1,000천원에 달하여 넓미역 양식 생산에 있어 자가노력비 보다 상대적으로 높았다.

〈표 2-48〉 미역 양식 생산의 경제성 분석 (해양수산부, 2002)

비 목		수 량	단가 (원)	금액 (천원)	
조수입	계			5,600	
	양식소득	28,000kg	200	5,600	
생 산 비	경 영 비	시설비	20틀 (대)	45,000	900
		종묘비	20틀 (대)	20,000	400
		부대시설비	-	600,000	600
		감가상각비	-	54,000	54
		운영관리비	-	320,000	320
		판매수수료	-	30,000	30
		소 계			1,504
	자가노력비			1,000	
총 계				2,504	
총소득 (조수입-경영비)				4,096	
소득율 (총소득÷조수입)×100				73.14%	
순소득 (조수입-생산비)				3,096	
이익율 (순소득÷조수입)×100				55.28%	

넓미역 양식 ha당 20대의 생산판매로 발생하는 평균양식수익은 180,000천원이고 자가노력비를 비용에 포함시킨 경우의 평균양식생산비용은 28,400천원이다. 즉, 넓미역 양식 20대/ha기준 순이익은 넓미역 양식의 평균양식수익 180,000천원에서 자가노력비를 포함시킨 평균양식생산비용 28,400천원을 뺀 171,600천원이 된다. 미역 양식 20대/ha기준 순이익은 미역 양식의 평균양식수익 5,600천원에서 자가노력비를 포함시킨 평균양식생산비용 2,504천원을 뺀 3,096천원이 된다.

넓미역 양식과 미역 양식의 순이익을 단순히 식용 판매 단가기준으로만 비교하면 넓미역 양식의 경우가 미역 양식 보다 순이익에서 약 48배 정도 높은 소득을 내는 것으로 분석되었다. 이와 같은 높은 순이익의 차이는 넓미역의 판매단가를 단순히 시중의 자연산 넓미역을 채취하여 소량으로 판매할 때의 판매단가를 적용한 것이어서 실제적으로 넓미역이 양식되어 시중에 대량으로 판매될 때 형성되는 판매가격에 따라 순이익은 변동될 것으로 판단된다. 그리고 표 2-45와 같이 넓미역의 양식 생산량은 약 60톤/ha으로 기존의 전복먹이원이 되는 해조류와 단위 ha당 생체량을 비교하여 볼 때도 오히려 높아 고수온기 부족한 전복먹이의 대체먹이원으로써의 경제적 또는 산업적 가치가 클 것으로 판단된다.

(3) 내수시장 확대방안

제주도 특산 해조류의 이미지를 부각시키는 브랜드 상품 개발 및 다양한 소비자의 기호에 맞는 다양한 제품개발과 홍보, 여름철 고수온기 전복먹이 공급원으로 안정적인 위치를 확보하는 것이 필요할 것이다. 그러기 위해선 일차적으로 양식의 규모화 및 시스템화가 선행되어야 할 것이다. 넓미역은 현재 찜 또는 스프, 조림 형태의 소비가 이루어지고 있으나 다양한 가공품의 개발이 없어 내수기반의 확충은 상당히 어려운 실정이다. 전복의 먹이는 주로 미역 및 다시마로 한정되어 있는데 보다 다양한 먹이원의 가능성을 시험하고 전복의 안정적인 성장유도를 위한 고수온기 먹이 공급 시스템 확보에 넓미역을 적극 활용한다면 넓미역의 내수시장은 크게 확대될 것으로 보인다.

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표 및 내용

1. 연구목표

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

가. 넓미역의 생태학적 특성을 파악

나. 넓미역의 생식방법을 이용한 인공종묘 생산 기술 개발

다. 넓미역 양식을 위한 적정 인공채묘, 가이식, 양성 기법의 확립

라. 넓미역의 고부가가치적 이용을 위한 추출물을 이용한 세포생리활성도 파악

마. 넓미역 양식을 통한 어가의 수익률 증대 효과 파악

2. 연구내용

가. 개체군의 생리생태학적 연구

- 넓미역 개체군의 계절별 분포 조사
- 넓미역의 계절별 성장 및 성숙 주기 분석
- 실내배양환경 구명
- 유리배우체 배양을 통한 인공채묘 조건 확립

나. 인공채묘 및 가이식 기법연구

- 대량배양에 의한 인공채묘 조건 구명
- 가이식 연구

다. 양성기법 연구 및 경제성 분석

- 양성 기법 연구
- 경제성 분석
- 이용방안 연구
- 넓미역 대량배양 및 종묘 보급 체계 확립

제 2 절 평 가 착 안 점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척도 (점수)*
1차년도 (2009년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실내배양 및 유주자 방출 유도 ○ 대량배양 조건 구명 ○ 인공채묘 및 가이식 기법 확립 	35 35 30
2차년도 (2010년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실내배양 환경 구명 ○ 인공채묘 기법 확립 ○ 양성 기법 확립 	30 35 35
3차년도 (2011년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가이식 기법 확립 ○ 양성 기법 확립 ○ 해적생물 구제법 마련 	35 35 30
최종평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양성 기법 확립 ○ 경제성 분석 ○ 이용 방안 마련 	35 35 30

제 3 절 목표 달성도 및 관련분야 기여도

1. 연구 개발 목표의 달성도

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

- 특허출원 : 국내 2건
 - 넓미역 유리배우체의 재생 및 성숙 유도를 통한 넓미역 대량생산방법 (2011-0062259호, 2011년 6월 27일 출원)
 - 넓미역 및 미역 유리배우체에 의한 이중교배 양식방법 (2011-0120894호, 2011년 11월 18일 출원)
- 전문학회지 논문 게재 : 국내 2건 투고 완료, SCI 2편
- 학회 및 세미나 발표 : 국내 3건, 국제 3건,
 - ※ 어업인 및 수산사무소 담당자 기술교육 1건
- 인력양성 : 석사 2명 (과정중)

2. 관련분야 기여도

가. 학문적 활용에 대한 기여도

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

나. 경제·사회적 활용에 대한 기여도

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

다. 교육·홍보에 대한 기여도

- 본 연구의 결과들은 천해 양식 어업에 종사하는 어업인들을 대상으로 하는 수산양식분야의 교육자료로 활용함으로써 해조류 양식의 이론과 실체를 교육 하는데 활용하여도 손색이 없을 것이다. 특히, 넓미역 양식 또는 종묘생산을 하고자하는 어업인들에게 필요한 넓미역 양식의 교본으로 활용될 것으로 기대 된다.
- 남방계 미역 품종인 넓미역의 우수한 생장 특성으로 인하여 넓미역의 양식에 대해 관심을 표명한 많은 어업인들이 있었으며, 실제로 몇몇 어업인들은 내방 하여 종묘생산 기술을 전수 받아가기도 하였다. 이와 같은 사실은 해조류 양식 분야에 종사하고 있는 많은 어업인들이 유용 해조류에 대한 양식 기술 개발에 큰 관심을 가지고 있다는 것을 반영한다 하겠다. 본 넓미역 대량 생산을 위한 양식 기술 개발과 같은 연구결과들은 양식 산업 현장에서 직접적으로 적용하며 응용할 수 있는 것들로 대어업인들을 대상으로 한 수산 양식 기술 개발부분의 홍보에 크게 기여할 것으로 본다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 활용계획

본 연구에서 얻어진 결과의 활용계획은 다음과 같다.

1. 넓미역의 인공 양식 기술을 매뉴얼화하여 보급함으로써 넓미역 양식의 산업화 유도
2. 넓미역의 안정적인 완전양식에 의한 높은 부가가치창출로 해조류 양식어가의 경영경쟁력 확보
3. 해조류 양식 대상종의 다변화를 유도함으로써 해조양식 산업의 구조개선에 활용
4. 넓미역의 완전양식기술을 다양한 미이용 유용 해조류의 인공양식기술 개발에 활용
5. 넓미역의 대량생산에 연계한 다양한 가공제품의 개발, 넓미역 추출물을 활용한 건강보조식품의 개발, 다양한 의약품의 원료 추출에 관계된 바이오산업에 활용
6. 넓미역의 인공양식은 여름철 고수온기 전복의 보조먹이원으로 활용

제 2 절 추가연구의 필요성

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

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

가. 연구사례의 조사

(1) 외국의 경우

미역 양식은 우리나라와 중국, 일본에서 이루어지고 있으며 일본의 경우 1960년대에 넓미역의 교배실험을 수행한 바 있으나(Migita 1963, 1967) 이후 지속적인 연구는 이루어지지 않았다. 최근 암수배우체 분리 배양을 통한 클론 배우체의 대량 배양 기법이 확립되면서 세계 각국은 자국의 해조류 자원의 증강을 위해 배우체 배양을 통한 양식기법을 확립해 나가고 있다(Morita et al. 2003, Westermeier et al. 2006).

(2) 국내의 경우

넓미역에 관한 국내에서의 연구는 분류학적인 검토는 Lee (1998)에 의하여 이루어진바 있으나 자연서식지에 대한 연중 조사를 통한 생장 및 성숙주기의 과학적 검토는 국립수산물과학원 해조류연구센터에 의해 수행된 것을 제외하고는 보고된바 없다. 또한 넓미역 자체가 제주도 우도와 같이 제한된 지역에만 남아 있는 보호대상 해조류이므로 연구자체가 매우 어려운 형편이었다.

(3) 조사연구개발사례에 대한 평가

넓미역의 연구사례 조사는 대부분 넓미역의 분류, 생태, 생리부분에 대한 단편적인 것들로 넓미역 양식 기술 개발에 필요한 양식학적 연구는 매우 미비한 것으로 평가되었다.

나. 세부 기술사항의 검토 분석

(1) 국내·외 기술수준 비교표

넓미역 양식 기술은 아직까지 확보되어 있지 않기 때문에 국내외의 넓미역 양식 기술에 대한 기술수준의 비교는 현실적으로 불가능하다고 생각된다. 따라서 이하의 (2) 및 (3)항은 해당사항이 없음.

(2) 공정단위별로 주요 기술사항 및 그 기술수준의 분석평가를 다음 사항에 걸쳐 기술함.

(가) 외국의 경우

(나) 국내의 경우

(다) 개발되었거나 개발 중인 새로운 기술

(3) 기존 공정방법, 기술의 사례를 조사하여 다음 사항에 걸쳐 평가분석함.

(가) 기술적인 평가 : 적용의 난이성, 기술수준 등

(나) 경제적인 평가 : 제조원가, 투자규모 등

(다) 산업기술에 미치는 파급효과 분석

(4) 주요 관련기술의 검토

본 연구개발로 개발된 기술이나 제품을 실제 생산에 응용할 때에 관련된 제반기술의 국내현황을 조사 기술함.

넓미역의 양식 기술이 개발된다면 온난대성 대형 갈조류의 인공종묘생산 및 양식 기술을 확보할 수 있어 현재 우리나라에서 행하여지고 있는 미역 및 다시마의 양식 어기 연장 또는 고내온성 양식품종의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

다. 특허 및 기술도입과의 중복여부에 대한 검토·분석

(1) 관련기술의 특허내용과 차이점 비교

국내외적으로 해조류 양식 기술 및 종묘생산에 관한 특허는 매우 제한적이어서 본 과제외적으로 양식 기술 개발 대상종인 넓미역의 경우 현재까지 본 종과 관련된 특허 등록은 되어 있지 않다. 현재 특허출원중인 곶피의 종묘생산 및 양식 기술에 관한 특허는 본 연구과제의 넓미역과 종묘생산 및 양식 기술에 있어 유사한 점들이 있으나 종의 수준에서 차이가 있으므로 양식 기술의 개발 및 활용에는 문제가 없을 것으로 보임.

(2) 관련기술도입 내용과 차이점 비교

기존의 해조류 양식을 위한 종묘생산 및 양식 기술은 기본 원리나 응용면에서 매우 유사한 점들이 많이 있다. 본 연구과제의 양식 기술 개발 대상종인 넓미역도 마찬가지로 미역 또는 다시마의 그것들과 유사한 기술이나 응용면이 있다. 그러나 이와 같은 관련 기술의 유사성을 하등한 식물군인 해조류의 생물학적 특이성 때문으로 종의 수준에서 그 차이를 확인할 수 있다 하겠다.

라. 원재료에 대한 검토 분석

(1) 원재료의 국내·외 수급현황(생산, 수요, 수출입량 등) 및 그 전망

넓미역의 생산은 제주도 성산포와 우도사이의 해협에서 소량으로 자연 채취되기 때문에 통계상으로 확인할 만큼의 양은 아니다. 넓미역의 대량 생산 기술이 확립된다면 다양한 형태로 넓미역이 이용될 수 있어 그 수요량은 크게 증가될 것으로 전망된다.

(2) 원재료에 관련된 국내·외 기술의 현황분석 및 전망

대부분의 해조류 생산은 수요 요구량에 의해 크게 영향을 받는다. 즉, 해조류에 대한 수요 요구량이 증가된다면 현재의 양식 기술 수준으로 볼 때 어느 정도까지는 수급 조절이 가능하다. 넓미역의 경우도 마찬가지로 양식 기술이 확립된다면 원재료의 수급 조절은 큰 문제가 없을 것으로 전망된다.

마. 산업계 현황

(1) 제품수명주기 (Product life cycle)로 볼 때

(가) 생산하려는 제품이 세계시장에서 현재 어느 상태에 있으며, 넓미역 양식 기술 개발은 아직까지 확립되지 못하고 있음.

(나) 생산 또는 수출을 시작할 때에 동 제품이 선진국에서는 어느 상태에 있을 것인지 각각 아래의 커브위에 (1), (2)로 표기함.

(1)	(2)			
개발기	도입기	성장기	포화기	쇠퇴기

(2) 시장규모

○ 주시장(국가 또는 지역) : 제주 , 대한민국 , 동남아시아

○ 시장규모 : 정확하게 파악되어 있지 않음.

구 분	현재의 시장규모	예상되는 시장규모
세계시장규모	백만 \$	(20 년) 백만 \$
한국시장규모	백만원	(20 년) 백만원

(3) 세계시장의 성격 (해당란에 모두 표시)

- 안정성이 큼 영속성이 있음
 성장성이 있음 독점성 (또는 과점성)이 있음

(4) 본 기술을 보유하고 있는 외국회사는?

- 5개사 이상 회사 : (국명 :)외
 5개사 미만

제 7 장 참고문헌

- Allen JC. 1976. A modified sine wave method for calculating degree-days. Environ Entomol 5, 388- 396.
- Baskerville GL and Emin P. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. Ecology 50, 514-517.
- Braverman, Irwin M and Eileen Fonferko. 1982. Studies in cutaneous aging. Soc. Invest. Dermatol. 78(5), 444-448.
- Han Kyung Won, Ki Bum Myung, Jeong Hee Hahm and Hong Il Kook. 1987. The effect of sulfhydryl compounds on melanosomal morphology of epidermal melanocytes in UV - irradiated black mice. Kor. J. Dermatol. 25(5), 553-561.
- Hwang EK, Cho MH, Park CS, Kim MH, Park KJ. 2008. In vitro effect of *Ecklonia stolonifera* Okamura extract on the cell growth in CCD-986sk human fibroblast and melanin formation inhibition in clone M-3 mouse melanocyte cell line. Korean J Environ.l Biol, 26, 30-35.
- Hwang EK, Gong YG, Park CS. 2010. Ecological character of the endangered brown alga, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura, in Jeju, Korea: Growth and maturation. Korean J Fish Aquatic Sci 43:63-68
- Hwang EK, Gong YG, Park CS. 2011a. Cultivation of a brown alga, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe et Okamura as a warm temperature species by artificial seed production in Korea. J Appl Phycol 23:449-455
- Hwang EK, Park CS, Han JW, Shin WJ, Choi CG and Sohn CH. 2003. Growth and maturation of a green alga, *Caulerpa okamurae* Weber van Boss. Algae 18, 217-223.
- Hwang EK, Shim CH, Ha DS, Gong YG, Park CS. 2011b. Regeneration and maturation induction of free-living gametophytes of *Undariopsis peterseniana* for their mass production. Korean J Fish Aquat Sci 44:155-161
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull. Pusan Fish. Coll. 7: 1-125.
- Kang JW. 1968. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Marine algae. 8: 465.
- Kang SW, Li XY, Voorhees JJ. 1996. Pharmacology and molecular action of retinoids and vitamin D in skin. Soc. Invest. Dermatol. 1(1), 15-21.

- Kawashima S. 1984. Kombu cultivation in Japan for human foodstuff. Jpn. J. Phycol. 32, 379-394.
- KHOA. 1997-2006. Seawater temperature statistics. <http://www.khoa.go.kr>. downloaded 12 August 2009.
- Kim YK, Park YK, Kim HJ. 1988. The effect of UV-B radiation on epidermal melanocytes of C57BL Mouse. Kor J Dermatol, 26(2), 139-144.
- Kim YH, Ahn KS, Song DK, Wie MB. 1989. Effects of Panax Ginseng and Radix Astragali on age-related physiological alterations in rats. J. K.O.M.S., 10(2), 26-46.
- Kirihara S, Nakamura T, Kon N, Fujita D and Notoya M. 2006. Recent fluctuations in distribution and biomass of cold and warm temperature species of Laminariales algae at Cape Ohma, northern Honshu, Japan J Appl Phycol 18, 521-527.
- Kirihara S, Nakamura T, Kon N, Fujita D, Notoya M. 2006. Recent fluctuations in distribution and biomass of cold and warm temperature species of Laminariales algae at Cape Ohma, northern Honshu, Japan. J Appl Phycol 18, 521-527.
- Lavker RM, Zheng P, Dong G. 1987. Aged skin: A study by light, transmission electron, and scanning electron microscopy. Soc Invest Dermatol, 88(3), 44s-51s.
- Lee JW, Kim YH, Lee HB. 2001. The community structure of intertidal marine benthic algae in the east coast of Korea. II. Sokcho. Algae, 16, 113-118.
- Lee KW and Koh SJ. 1991. Algal flora of four islets without inhabitants along the coast of Cheju Island. Rep Sci Res, Four inhabited islets in the vicinity of Cheju Island. Cheju MBC, 235-269.
- Lee OS, Lee KW, Hong JE, Cho YK, Lee YS. 1997. Studies on the synthesis of L-Ascorbic acid-3-aminopropane phosphoric acid diester and its applications. J Soc Cos Sci Kor, 23(2), 97-109.
- Lee YP and Kang SY. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National Univ Press, 1-662.
- Lee YP. 1998. *Undariella*, a new genus of the Alariaceae (Laminariales, Phaeophyta). Algae 13, 419-426.
- Migita S. 1963. Studies on ecology and culture of *Undaria peterseniana*. Bull Fac Fish Nagasaki Univ. 15. 24-48.

- Migita S. 1967. Studies on artificial hybrids between *Undaria peterseniana* (Kjellm.) Okam. and *U. pinnatifida* (Harv.) Sur. Bull Fac Fish Nagasaki Univ 24, 9-20.
- Migita S. 1984. Intergeneric and interspecific hybridization between four species of *Eiseniana* and *Ecklonia*. Bull Fac Fish Nagasaki Univ 56, 15-20.
- Mueller-Dombois D, Ellenberg H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. New York. Wiley. p.547.
- Saito Y, Atobe S. 1970. Phytosociological study of intertidal marine algae. 1. Usujuri Benten-Jima, Hokkaido. Bull Fac Fish Hokkaido Univ 21, 37-69.
- Saito Y. 1972. On the effects of environmental factors on morphological characteristics of *Undaria pinnatifida* and the breeding of hybrids in the genus *Undaria*. In: Contributions to the systematics of benthic marine algae of the North Pacific. Abbott IA and Kurogi M eds. Jpn Soc Phycol 117-132.
- Serisawa Y, Yokohama Y, Aruga Y and Tanaka J. 2002. Growth of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes transplanted to a locality with different temperature conditions. Phycol Res, 50, 201-207.
- Sohn CH, Lee IK, Kang JK. 1982. Benthic marine algae of Dolsan Island in the southern coast of Korea I. Pub Inst Mar Sci Nat Fish Univ Busan, 14, 37-50.
- Sohn CH. 1993. *Porphyra*, *Undaria* and *Hizikia* cultivation in Korea. Korean J Phycol 8, 207- 216.
- Tatewaki M. 1966. Formation of a crustaceos sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. Phycologia 6, 62-66.
- Westermeier R, Patiño D, Piel MI, Maier I, Müller DG (2006) A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophytseedlings from gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis*. Aqua Res 37, 164-171.
- Wi MY, Hwang EK, Kim SC, Hwang MS, Baek JM, Park CS. 2008. Regeneration and maturation induction for the free-living gametophytes of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). J Kor Fish Soc, 41, 381-388.
- Yoshida T, Yoshinaga K, Nakajima Y. 2000. Check list of marine algae of Japan (revised in 2000). Jpn J Phycol, 48, 113-166.
- 국립수산과학원. 2005. 수산동식물 품조별 포획금지 관련규정 검토보고서. p.237.



자연산 넓미역 엽체



양식 넓미역 엽체



넓미역 유주자 방출 유도 및 채묘



넓미역 가이식



넓미역 양식장 엽체



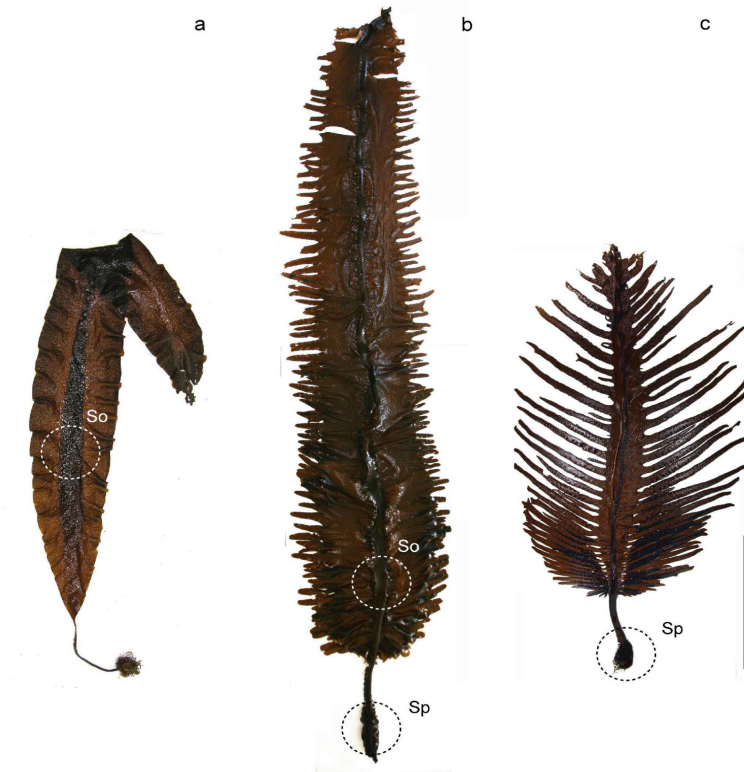
넓미역 엽체의 부착기와 주지



양식 넓미역 엽체



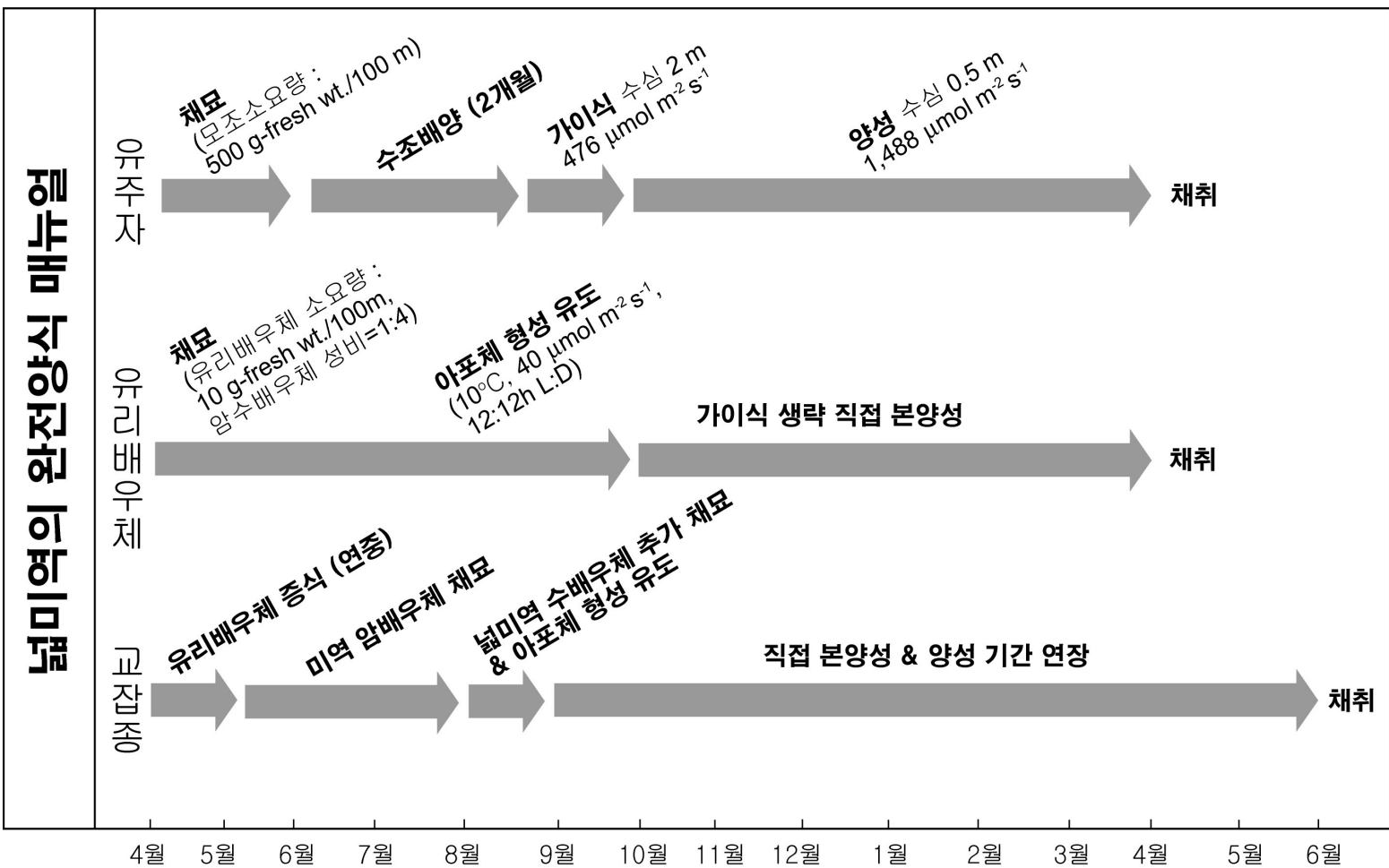
양성중인 넓미역 엽체



넓미역과 미역간 유리배우체 교잡종의 형태. a 양식 넓미역. b 교잡종. c 미역. So 자낭반. Sp 포자엽.



넓미역과 미역의 교잡종 양성 모습



주 의

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