

전복 종묘생산을 위한 부착 규조류의
대량배양 및 농축기술개발

Development of mass culture and concentration technique
of benthic diatoms for seeding production of abalone

2005. 12

연구기관
부경대학교

농림수산물자료실



0014585

해양수산부

[별지 제8호서식]

최 종 보 고 서

2002 년도 수산특정연구개발사업에 의하여 완료한 전복종묘생산을 위한 부착규조류의 대량배양 및 농축기술 개발에 관한 연구의 최종보고를 붙임과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 8부
2. 최종보고서 디스켓 1매
* 최종보고서 파일은 인터넷(<http://rptf.kmi.re.kr>)으로 제출

2005 년 12 월 일

총괄연구책임자 허 성 범 (인)

주관연구기관장 목 연 수 (직인)

해 양 수 산 부 장 관 귀 하

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “전북 종묘생산을 위한 부착 구조류의 대량배양 및 농축기술 개발” 과제
의 최종보고서로 제출합니다.

2005 년 12 월 일

주관연구기관명 : 부 경 대 학 교

총괄연구책임자 : 허 성 범

연 구 원 : 배진희, 김미정, 김해영

윤지현, 민병희, 박세진

윤주연, 고수근, 신호진

요 약 문

I. 제 목

전복 종묘생산을 위한 부착 규조류의 대량배양 및 농축기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성(필요에 따라 제목을 달리할 수 있음)

우리나라에서의 전복생산은 어민들의 경제적 소득은 물론 「전복죽」이라는 고급 식문화(食文化)의 인식으로 사회학적 측면에서도 뿌리 깊은 문화적 역사를 갖고 있다.

이러한 사회적 배경으로 우리나라에서는 1970년대 초부터 대학연구기관과 국립수산과학원에서 전복의 인공종묘생산을 위한 기초연구가 시작되었고 정부연구소 차원에서도 1970년대 국립수산과학원 북제주 종묘시험장의 건설을 시작으로 전국의 13개 종묘시험장에서 본격적인 전복 양식개발을 수행해왔다. 1980년대 이후 국립수산과학원에 의한 전복 종묘생산기술이 개발되어 대량생산한 치패를 어민에게 무상공급하기 시작하였고, 1990년대부터는 기술이 어민에게 확대되면서 전복 종묘생산은 각광받는 새로운 양식품종으로 대두하였다. 현재 우리나라의 전복 종패 생산량은 연간 약 3억마리로 괄목할만한 발전을 하였으나 아직도 기술적인 측면에서 해결해야할 어려움이 많고 생산단가는 여전히 높은 실정이다.

이와 같은 어려움의 근본문제는 전복 유생이 파란에 부착한 이후 먹이로 섭취하는 부착규조류의 대량배양에서 비롯된다. 현재의 기술은 막대한 양의 여과자연해수를 흘려주며 자연적으로 파란에 부착한 규조류에 의존하고 있다. 따라서 효율적인 전복 종묘생산을 위한 부착규조류의 질적 및 양적 확보기술은 아직도 매우 조방적이며 원시적인 방법에 머물러 있다. 또 전복 치패가 부착 후 약 두 달이 지나는 7월경에는 치패의 호흡공이 생길 단계인데 이 시기가 되면 파란에 부착하였던 부착규조류는 자체중량과 높은 수온으로 대량으로 탈락한다. 따라서 파란의 먹이는 거의 없는 상태가 되고 치패는 부착규조류와 함께 탈락하여 폐사한다. 남해안 전복 종묘생산업체의 경우 이 시기에 대량 폐사하는 부착치패가 80 ~90%에 달하고 있다. 따라서 먹이 효율이 우수한 부착규조류를 선발하여 대량 배양한 후 이들이 부착판에 우점적으로 부착하게 하고 부착규조류가 탈락할 경우 바로 손쉽게 재 부착하게 하는 기술의 확보는 경제적이고 안정적인 전복 치패의 대량생산기술에서 가장 중요한 관건이다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위(필요에 따라 제목을 달리할 수 있음)

1차년도에는 동해안 1지역(울진), 남해안 2지역(부산, 완도), 서해안 1지역(부안)의 배양장에서 지역별로 발생하는 부착규조류의 계절별 출현종, 출현량 및 영양을 분석하였고 그외 각 해역의 생산력을 파악하고자 수질 환경 및 색소를 분석하였다. 또 이들 4개 해역은 물론, 우리나라 연안에서 부착규조 110종을 순수분리하여 이중 49종의 genomic DNA 분석을 하였다. 또 대표적인 종들의 크기와 부착률을 조사하였다. 전복의 먹이생물로 가능성이 높은 부착규조류의 성장률을 조사하였으며 10여종의 우량 부착규조를 최종 선별하기 위한 연구를 수행하였다. 한편 2차년도에서 집중 연구될 참전복 유생 및 치패의 먹이효율을 연구하기 위하여 참전복을 대상으로 예비 실험을 하였다.

1차년도의 실험을 통하여 2차년도에는 동해, 남해, 서해안에서 전복 먹이생물로서 가능성이 높은 부착규조류 및 기타 부착 미세조류를 대상으로 전복과 섭식생태가 비슷할 것이라고 판단되는 부착성 동물플랑크톤인 *Tigriopus japonicus*를 대상으로 먹이효율 실험을 하였다. 이 결과, 전복의 먹이생물로 가능성이 높다고 추정되는 12종을 선별하여 참전복유생의 먹이효율을 조사하였다. 1차와 2차년도 전복 먹이 효율 실험 결과를 토대로 부착규조류 5종을 최종 선별하여 이들의 최적배양환경요인을 구명하기 위하여 빛, 온도, 염분에 따른 성장을 조사하였고, 육외 대량배양 기술 개발을 위하여 부착기질별 성장을 조사하였다. 이 밖에 최종 선발된 부착 규조류의 영양분석과 농업비료를 이용한 경제적배지개발 실험 등의 연구도 수행하였다.

3차년도에는 최종 선별된 부착규조류 2종과 1종의 담녹조류를 대상으로 부착률을 알아보고 부착유형별(그물부착, 벽면부착, 부유) 농축 부착 미세조류를 재접종하여 성장률을 조사하였다. 또한 농축된 부착 미세조류를 대상으로 밀도별, 온도별, 기간별, 화학물질(glycerol) 첨가 유무에 따른 생존율을 조사하였다. 이러한 실험들의 결과로 최종선별된 3종의 시제품을 개발하였고 전복양식장에서 pilot 규모의 현장실험을 수행하여 시제품에 대한 효율을 확인하였다.

Ⅳ. 연구개발결과(필요에 따라 제목을 달리할 수 있음)

본 연구 결과 전복종묘생산에 필요한 유용 부착규조류의 발생 생태를 파악함으로써 우리나라의 동해나 서해에서도 전복 종묘생산을 효율적으로 수행할 수 있는 기술이 개발되었다. 또 종묘생산을 위한 효율적인 먹이생물을 확보함으로써 기존의 방법에 비하여 생산 단가의 감소는 물론 양질의 건강하고 성장속도가 빠른 치패를 생산할 수 있게 되었다. 이러한 기술개발은 우리나라 전복양식 산업의 경쟁력을 더욱 강화시킬 수 있어 한국산 전복의 일본, 중국 등으로의 수출증대에 기여할 것이며 양식어민의 소득증대에 큰 기여를 할 것이다.

V. 연구개발결과의 활용계획

1. 부착규조의 확보 및 발생 특성: 연구를 통하여 확보된 부착규조류에 대한 순수과학 연구와 우리 나라 연안에서의 부착규조류 발생특성에 대한 해양생태학적 기초 자료로 활용
2. 부착규조류 대량배양기술: 부착규조류의 대량배양기술로 먹이생물로는 물론 타 분야의 생물공학 및 환경산업분야에도 활용
3. 부착규조류 농축, 수확 및 저장기술: 경제적 방법으로 부착규조류의 농축 및 수확이 가능하여 양식장 및 기타 산업체에 계획적인 공급이 가능
4. 전복유생사육기술: 전복유생 및 치패단계에서의 최적먹이생물 및 식성을 파악함으로써 전복종묘생산에는 물론 소라, 성게, 군소 등 부착성 무척추동물의 종묘생산이 가능
5. 사료개발기술: 부착성 규조를 필요로 하는 전복 등의 기능성 사료개발이 가능

S U M M A R Y

This study was carried out to develop the production of useful benthic diatoms for abalone (*Haliotis discus hannai*) larvae and spat.

In Korea, the seeds of abalone are mainly produced in south west-coast surrounding Wando and Jindo area. Thus, the first purpose of this research was focused to reveal the reason for this phenomenon. We choiced four sampling areas: Uljin (east coast), Busan (south-east coast), Wando (south-west coast) and Buan (west coast) and cultured benthic diatom seasonally using plastic plate with continuous flow of natural sea water at four areas. We compared the differences among four areas in terms of benthic diatom bloom such as water quality (°C, ‰, pH, nutrient) of sea water, species composition, size, pigment and biomass of diatom. In this experiment, we have found that the biomass of benthic diatoms, particularly, small diatoms less than 10 μm which were useful for first feeding of abalone larvae in spring season, was the highest at Wando area. We suggest that the bloom of the small benthic diatoms at this area, which is related to low water temperature, are the basic reason for high production of abalone seed in this area.

To develop the dietary value of benthic diatom for seeding production of abalone, many diatom species more than 110 strains were isolated from Korean coastal water including Wando area. First of all, we selected the diatoms showing high growth and adhesion and tested their dietary value on larvae and spat of abalone. On the other hand, we supposed that feeding habit on benthic diatoms of the benthic copepod *Tigriopus japonicus* would similar to that of abalone larvae. Therefore, we examined the reproduction rate of *T. japonicus* using different diatom species, and then, the dietary values of 12 species of diatom showing high reproductive rate of the copepod were also tested on abalone larvae. In this research, *Caloneis schroederi* was the best in the rate of settlement, metamorphosis, growth and survival of the larvae, and *Rhaphoneis* sp. was the best in growth and survival (%) of the spat.

The optimum environmental factors, such as °C, ‰ and light, and mass culture technique, such as substratum and media for these diatoms were investigated. On the other hand, harvesting method of cultured diatom and storage method on temperature, period, cell density and addition of glycerol were also tested.

Finally, we produced concentrated diatoms in pilot scale and inoculated them to 3 m³

tanks of commercial abalone hatchery. The abalone larvae were cultured for 19 weeks and compared to the control group (without artificial inoculation of cultured diatom) in terms of growth and survival (%).

Abalone spats produced by the method of this research were 1.3 times higher in shell length and total weight and 3.2 times higher in total biomass than those produced by current method without artificial inoculation of cultured diatom.

CONTENTS

Abstract	2
Summary	5
Chapter 1. Introduction of the research	14
1. Necessity of the research	14
• Technical aspects	14
• Economic and Industrial aspects	14
• Social and cultural aspects	15
2. Purpose of the research	15
• Final purpose	15
• Content and scope	15
Chapter 2. Present status of home and abroad technique	17
Chapter 3. Contents and results of the research	18
1. Method and Materials	18
(1) Faeture of benthic diatom bloom in east, west and south-west	18
• Sampling	18
• Water quality analysis	19
• Occurrence of benthic diatom	20
• Pigment analysis	20
• Nutrient (amino acids and fatty acids) analysis	21
(2) Isolation of benthic diatom and DNA analysis	21
• Genomic DNA	22
• RAPD-PCR	22
• Similarity	23
(3) Adhesion and growth of benthic diatom	23

(4) Reproductive rate of <i>Tigriopus japonicus</i>	25
(5) Larvae and spat culture of abalone	26
(6) Developement for mass culture of benthic diatom	31
• Optimum environmental factors for growth of the diatom	31
• Adhesion by the material of subtratum	32
• Adhesion by the dimension of subtratum	33
• Interspecific succession in mixed culture of the diatom	33
• Growth with CO ₂ supply	34
• Media with agricultural fertilizer	35
• Adhesion by pre-adhesion feature	35
(7) Concentration and storage of benthic diatom	36
• Concentration of the diatom	36
• Storage of concentrated diatom	36
• Growth of concentrated diatom	37
• Development of commercial concentrated diatom	38
(8) Technology transfer for industrialization	38
(9) Statistisal analysis	39
2. Results and Discussion	39
(1) Faecture of benthic diatom bloom in east, west and south-west coast	39
• Water quality analysis	39
• Occurrence of benthic diatom	42
• Pigment analysis	49
• Nutrient (amino acids and fatty acids) analysis	53
(2) Isolation of benthic diatom and DNA analysis	63
(3) Adhesion and growth of benthic diatom	73
(4) Reproductive rate of <i>Tigriopus japonicus</i>	79
(5) Larvae and spat culture of abalone	82
(6) Developement for mass culture of benthic diatom	105
• Optimum environmental factors for growth of the diatom	105
• Adhesion by the material of subtratum	111

• Adhesion by the dimension of substratum	113
• Interspecific succession in mixed culture of the diatom	114
• Growth with CO ₂ supply	117
• Media with agricultural fertilizer	118
• Adhesion by pre adhesion feature	120
(7) Concentration and storage of benthic diatom	120
• Concentration of the diatom	120
• Storage of concentrated diatom	123
• Growth of concentrated diatom	130
• Development of commercial concentrated diatom	133
(8) Technology transfer for industrialization	133
• Survival and growth of abalone larvae and spat	133
• Composition of benthic diatom	141
Chapter 4. Purpose achievement and contribution in related field	152
1. Purpose achievement	152
2. Contribution in related field	152
Chapter 5. Application plan of the results	154
Chapter 6. Collected technical informations from abroad	155
Chapter 7. References	156
Appendix 1. Occurrence of benthic microalgae by area and season.	
Appendix 2. Occurrence of organism from plastic plate and bottom and surface water in the culture tank of abalone larvae and spats.	

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	14
제 1절 연구개발의 필요성	14
1. 기술적 측면	14
2. 경제·산업적 측면	14
3. 사회·문화적 측면	15
제 2절 연구개발의 목표 및 내용	15
1. 최종목표	15
2. 연구개발의 내용 및 범위	15
제 2 장 국내외 기술개발 현황	17
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	18
제 1절 연구수행의 방법	18
1. 동, 서, 남해의 부착규조류 발생 특성	18
가. 실험설치 및 sampling	18
나. 실험 지역 해수의 계절별 환경조사	19
다. 부착 규조류 발생조사	20
라. 부착미세조류의 색소분석	20
마. 부착 규조류 영양분석	21
2. 부착 규조류의 분리와 유전자 분석	21
가. Genomic DNA 분리	22
나. RAPD-PCR	22
다. 유사도 측정	23
3. 부착규조류의 부착률과 성장률 조사	23
4. Tigriopus japonicus를 대상으로 한 부착 규조류의 먹이효율 분석	25
5. 참전복 유생 및 치패 실험	26
6. 부착 규조류 대량 배양 개발	31
가. 배양환경에 따른 부착 규조의 성장실험	31
(1) 온도와 염분에 따른 부착규조의 성장실험	31

(2) 온도와 조도에 따른 부착규조의 성장실험	32
나. 부착 규조의 부착 기질에 따른 부착력 조사.	32
다. 부착 기질의 면적에 따른 부착 규조의 부착률 조사	32
라. 부착 규조의 혼합 배양 시 중간 경쟁 및 천이 조사 실험	33
마. CO2 공급 여부와 공급 시간에 따른 부착 규조의 성장조사	34
바. 농업비료를 이용한 경제적 배지 개발	35
사. 부착생태에 따른 재 부착률	35
7. 부착미세조류의 농축 및 저장기술 개발	36
가. 미세조류의 농축기술 개발	36
나. 농축 미세조류의 저장기술 개발	36
다. 저장한 미세조류의 재접종을 통한 성장 조사	37
라. 농축미세조류의 시제품 개발	38
8. 기술 이전 및 산업화를 위한 pilot 규모의 전복종묘 생산	38
9. 통계처리	39
제 2절 연구수행 내용 및 결과	39
1. 동서남해의 부착규조류 발생 특성	39
가. 해수의 계절별 환경조사	39
(1) 수온, 염분, pH	39
(2) 영양염	40
나. 부착규조류 발생조사	42
(1) 부착규조류 정성분석	42
(2) 부착규조류 정량분석	44
(3) 우점종의 크기별 분포	46
다. 색소분석	49
(1) 각 계절별, 지역별 전체 색소량 비교	49
(2) 수온과 각 계절별, 지역별 색소량의 비교	51
(3) 색소별 색소량의 계절별, 지역별 비교	52
라. 부착규조류 영양분석	53
(1) 부착규조류 아미노산분석	53
(2) 부착규조류 지방산 분석	58
2. 부착 규조류의 분리와 유전자 분석	63

3. 부착규조류의 부착률과 성장률 조사	73
4. <i>Tigriopus japonicus</i> 를 대상으로 한 부착 규조류의 먹이효율 분석	79
5. 참전복 유생 및 치패 실험	82
가. 참전복 유생의 부착률, 변태율, 생존율 및 성장률	82
6. 부착규조류의 대량 배양을 위한 실험	105
가. 부착규조류의 배양환경에 따른 부착 실험	105
(1) 온도와 염분, 조도에 따른 부착규조의 성장 실험	105
나. 부착 규조의 부착 기질에 따른 부착력 조사.	111
다. 부착 기질의 면적에 따른 부착 규조의 부착률 조사	113
라. 부착 규조의 혼합 배양 시 종간 경쟁 및 천이 조사 실험	114
마. CO ₂ 공급 여부에 따른 부착 규조의 성장조사.	117
바. 농업비료를 이용한 경제적 배지개발	118
사. 미세조류의 부착생태 및 수확 기술 개발	120
7. 미세조류의 농축 및 저장기술 개발	120
가. 미세조류의 농축기술 개발	120
나. 농축된 미세조류의 저장기술 개발	123
(1) <i>Caloneis schroederi</i>	123
(2) <i>Raphoneis</i> sp.	125
(3) <i>Tetraselmis suecica</i>	125
다. 저장한 미세조류의 재접종을 통한 성장 조사	130
라. 농축미세조류의 시제품 개발	133
8. 기술 이전 및 산업화를 위한 pilot 규모의 전복종묘 생산	133
가. 참전복 유생 및 치패의 생존 및 성장	133
나. 생물 종조성	141
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	152
제 1절 연구개발 목표의 달성도	152
제 2절 관련분야에의 기여도	152
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	154

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 155

제 7 장 참고문헌 156

Appendix 1. Occurrence of benthic microalgae by area and season.

Appendix 2. Occurrence of organism from plastic plate and bottom and surface water in the culture tank of abalone larvae and spats.

제 1 장 연구개발과제의 개요

* 연구개발의 목적, 필요성 및 범위 등을 기술(필요에 따라 제목을 달리할 수 있음)

제 1절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

우리나라에서의 전복생산은 어민들의 경제적 소득은 물론 「전복죽」이라는 고급 식문화(食文化)의 인식으로 사회학적 측면에서도 뿌리 깊은 문화적 역사를 갖고 있다.

이러한 사회적 배경으로 우리나라에서는 1970년대 초부터 대학연구기관과 국립수산과학원에서 전복의 인공종묘생산을 위한 기초연구가 시작되었고^{1,2,3} 정부연구소 차원에서도 1970년대 국립수산과학원 북제주 종묘시험장의 건설을 시작으로 전국의 13개 종묘시험장에서 본격적인 전복 양식개발을 수행해왔다. 1980년대 이후 국립수산과학원에 의한 전복 종묘생산기술이 개발되어 대량생산한 치패를 어민에게 무상공급하기 시작하였고, 1990년대부터는 기술이 어민에게 확대되면서 전복 종묘생산은 각 광받는 새로운 양식품종으로 대두하였다⁴. 현재 우리나라의 전복 종패 생산량은 연간 약 3억마리로 괄목할만한 발전을 하였으나 아직도 기술적인 측면에서 해결해야할 어려움이 많고 생산단가는 여전히 높은 실정이다⁵.

이와 같은 어려움의 근본문제는 전복 유생이 파란에 부착한 이후 먹이로 섭취하는 부착규조류의 대량배양에서 비롯된다. 현재의 기술은 막대한 양의 여과자연해수를 흘려주며 자연적으로 파란에 부착한 규조류에 의존하고 있다. 따라서 효율적인 전복 종묘생산을 위한 부착규조류의 질적 및 양적 확보기술은 아직도 매우 조방적이며 원시적인 방법에 머물러 있다. 또 전복 치패가 부착 후 약 두 달이 지나면 7월경에는 치패의 호흡공이 생길 단계인데 이 시기가 되면 파란에 부착하였던 부착규조류는 자체중량과 높은 수온으로 대량으로 탈락한다. 따라서 파란의 먹이는 거의 없는 상태가 되고 치패는 부착규조류와 함께 탈락하여 폐사한다. 남해안 전복 종묘생산업체의 경우 이 시기에 대량 폐사하는 부착치패가 80 ~90%에 달하고 있다. 따라서 먹이 효율이 우수한 부착규조류를 선발하여 대량 배양한 후 이들이 부착판에 우점적으로 부착하게 하고 부착규조류가 탈락할 경우 바로 손쉽게 재 부착하게 하는 기술의 확보는 경제적이고 안정적인 전복 치패의 대량생산기술에서 가장 중요한 관건이다.

2. 경제·산업적 측면

본 연구가 시작되던 2002년도를 기준으로 볼 때 우리나라의 연간 전복 총생산은 약 200 ton으로 가격은 1 kg당 100,000원을 상회하며 전복 육질부를 식용한 후의 폐각 역시 재판매되고 있어 전복은 100% 가용자원으로 이용하는 고부가 양식품종이다. 국내의 상업적인 총 치패생산은 연간 약 3억 마

리(15 mm, 약 900억원)로 제주도를 포함한 남해안에서 전체생산량의 약 94%를 차지하고 있다. 특히 여수에서 진도까지의 전라남도 연안에서의 전복 종묘생산은 전체의 약 80%를 차지할 정도로 매우 활발하다⁵.

어민들의 설문조사에 의하면 여수를 기준으로 동쪽의 연안에서는 서쪽의 연안에 비해 부착규조류의 발생량이 크게 저조하고, 특히 동해안에 위치한 배양장에서는 부착규조 발생량이 매우 적어 파판당 치패생산량은 남해안의 10%에도 못 미치는 것으로 알려져 있다.

따라서 동해안의 경우 현재 치패 생산이 거의 이루어지지 않고 있으나 먹이효율이 우수한 부착규조류를 인위적으로 대량 배양하여 파판에 부착시키는 기술이 개발되면 동해안에서도 대량의 전복 치패 생산이 가능할 것이다. 또 넓은 조간대로 인해 취수시설이 까다로운 서해안에서도 어느 정도의 취수만 해결되면 대량 배양된 규조류를 이용하여 전복 종묘생산이 보다 용이할 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 연안에 서식하는 유용 부착규조류를 탐색하고 그 중 대량배양과 먹이효율이 탁월한 종을 선별하여 대량생산하고 농축시킨 후, 전국의 전복 종묘생산장에 보급하고자 한다. 이와 같은 기술개발은 전복 치패의 경제적인 대량생산을 가능하게 하여 식용을 위한 전복의 양성산업은 물론, 전복진주와 같은 보석 생산의 산업에도 크게 기여할 수 있으며 또 전복과 양식방법이 동일한 소라나 성게의 양식개발에까지 적용할 수 있어^{6,7} 경제·산업적으로 파급 효과는 막대할 것으로 생각된다.

3. 사회·문화적 측면

우리나라에서의 전복은 최고의 국민건강식품으로 인정받고 있어 대량생산 기술을 통한 가격의 대중화가 이루어진다면 사회·문화적 측면에서도 더욱 중요한 수산자원이 될 것이다.

제 2절 연구개발의 목표 및 내용

1. 최종목표

전복종묘생산에 유용한 부착규조류를 우리나라 연안에서 순수분리 선별하여 그 먹이효율을 탐색한 후 우리나라 환경에 가장 효과적인 5종의 부착규조류를 선별한다. 또 선별된 종의 대량배양과 농축기술을 개발하여 농축된 부착규조류를 전복 종묘생산업체에 공급함으로써 경제적이고 효율적인 대량 전복 종묘생산기술을 확보한다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

1차년도에는 동해안 1지역(울진), 남해안 2지역(부산, 완도), 서해안 1지역(부안)의 배양장에

서 지역별로 발생하는 부착규조류의 계절별 출현종, 출현량 및 영양을 분석하였고 그외 각 해역의 생산력을 파악하고자 수질 환경 및 색소를 분석하였다. 또 이들 4개 해역은 물론, 우리나라 연안에서 부착규조 110종을 순수 분리하여 이중 49종의 genomic DNA 분석을 하였다. 또 대표적인 종들의 크기와 부착률을 조사하였다. 전북의 먹이생물로 가능성이 높은 부착규조류의 성장률을 조사하였으며 10여종의 우량 부착규조를 최종 선별하기 위한 연구를 수행하였다. 한편 2차년도에서 집중 연구될 참전복 유생 및 치패의 먹이효율을 연구하기 위하여 참전복을 대상으로 예비 실험을 하였다.

1차년도의 실험을 통하여 2차년도에는 동해, 남해, 서해안에서 전북 먹이생물로서 가능성이 높은 부착규조류 및 기타 부착 미세조류를 대상으로 전북과 섭식생태가 비슷할 것이라고 판단되는 부착성 동물플랑크톤인 *Tigriopus japonicus*를 대상으로 먹이효율 실험을 하였다. 이 결과, 전북의 먹이생물로 가능성이 높다고 추정되는 12종을 선별하여 참전복유생의 먹이효율을 조사하였다. 이 중 부착규조류 5종을 최종 선별하여 이들의 최적배양환경요인을 구명하기 위하여 빛, 온도, 염분에 따른 성장을 조사하였고, 옥외 대량배양 기술 개발을 위하여 부착기질별 성장을 조사하였다. 이 밖에 최종 선별된 부착 규조류의 영양분석과 농업비료를 이용한 경제적 배지개발 실험 등의 연구도 수행하였다.

3차년도에는 최종 선별된 부착규조류 2종과 1종의 담녹조류를 대상으로 하여 부착률을 알아보고 부착유형별(그물부착, 벽면부착, 부유) 농축 부착 미세조류를 재접종하여 성장률을 조사하였다. 또한 농축된 부착 미세조류를 대상으로 밀도별, 온도별, 기간별, 화학물질(glycerol) 첨가 유무에 따른 생존율을 조사하였다. 이러한 실험들의 결과로 최종선별된 3종의 시제품을 개발하였고 전북양식장에서 pilot 규모의 현장실험을 수행하여 시제품에 대한 효율을 확인하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

전복은 세계적으로 100여종 이상이 서식하고 이중 산업적으로 중요한 종은 13여 종으로 각 대륙에 모두 서식하고 있다. 세계적으로 지난 10년간 양식 전복 생산의 증가율은 60%를 상회하며 현재 연간 생산량은 약 15,000톤이고 수요량은 20,000톤을 넘고 있다. 또 전복 육질만을 특수 건조 가공한 상품이 US\$ 1,200/kg을 넘을 정도로 매우 고가의 수산물이다. 따라서 일본, 중국, 대만은 물론 호주, 멕시코, 칠레, 미국, 남아프리카공화국 등 세계 각국에서 전복양식이 매우 활발히 발전하고 있다⁸.

그러나 외국의 경우 역시 인공종묘 생산시 부착규조류의 배양은 막대한 양의 자연해수를 흘려주면서 배양하는 조방적인 방법으로 인위적 조절 기술을 통한 부착규조류의 집약적 대량배양은 세계적으로 개발되지 않은 상태이다.

해양미세조류 중 *Chlorella*, *Thalassiosira*, *Tetraselmis*, *Spirulina*와 같은 부유성인 미세조류는 대량배양이 수월하고 성장조절이 용이하다. 그러나 기질에 부착하여 성장하는 부착성 규조류는 단일종 배양 자체도 어려울 뿐 아니라 기질이 있어야만 하는 이유로 단위 면적당 생산량도 낮고 정확한 영양염 요구도 밝혀져 있지 않다. 더욱이 부착조류가 성장함에 따라 자체 중량으로 기질로부터 탈락하므로 부착규조류의 경제적인 대량배양 기술은 아직 개발되지 않은 중요한 분야이다.

본 연구 책임자는 지난 20여년간 먹이생물의 관점에서 해양미세조류의 배양에 관해 연구해오고 있으며 1995년부터 국가지정 연구소재은행인 한국해양미세조류은행을 설립하여 운영해오고 있다⁹. 따라서 우리나라 연안에서 분리한 부착규조류의 확보는 물론 이를 이용한 전복치패의 먹이효율에 관한 연구도 수행한 바 있다^{10,11}. 또 한국해양수산개발원에서 지원한 「농축먹이생물 (*Chlorella* 류) 개발의 산업화」¹²에 관한 현장애로 수산특정연구과제(1995~1997)를 성공적으로 수행하여 그 결과를 알진텍, 클로랜드 등의 벤취사를 통해 산업화시킨 경험이 있다. 따라서 본 연구책임자는 「전복 종묘 생산을 위한 부착성 규조류의 대량배양 및 농축 기술개발」 역시 충분히 성공적으로 수행할 수 있는 연구배경과 기본 시설을 갖추고 본 연구를 수행하였으며 이를 통하여 최종 선정된 미세조류의 대량배양 및 농축기술을 개발, 시제품을 제작하여 전복양식장에서 직접 현장실험에 적용한 바, 전복 유생 및 치패의 먹이로서 충분한 가능성을 발견하게 되었다. 이러한 부착성 미세조류의 대량배양 및 농축기술은 국내의 전복 양식 산업의 수출 경쟁력을 향상시키고, 어민 소득 증대에 중요한 기술개발이라 할 수 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 연구수행의 방법

1. 동, 서, 남해의 부착규조류 발생 특성

울진, 부산, 완도, 부안 지역을 선정하여 동·서·남해의 부착규조류 발생특성을 조사하였다 (Fig. 1).

가. 실험설치 및 sampling

계절별 부착규조류 출현 조사를 위한 실험 시기 및 기간은 Table 1과 같다. 10×10 cm의 플라스틱 파판 10개를 비닐 코팅된 선으로 연결하여 40 L 수조에 3반복구로 설치하였다. 수조에 해수를 유수식으로 공급하였고 빛은 자연광상태로 두었다. 각 계절별로 8주 동안 부착규조류의 출현을 조사하였고 2주마다 한번씩 시료를 샘플 하였다. 지역간 같은 시기내에서 실험 시작일의 차이는 실험간의 오차를 줄이기 위해 최대 10일 이내로 하였으며 봄, 여름, 가을, 겨울의 시기는 각각 2~4월, 7~8월, 10~11월, 12~2월로 하였다.

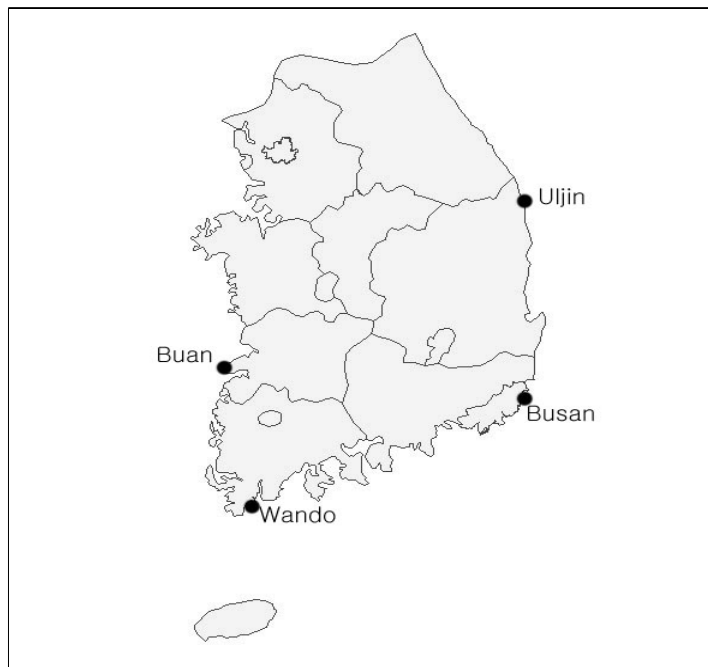


Fig. 1. Map showing four sampling areas.

Table 1. Sampling of benthic microalgae from four areas

Season	Area	Setting date	Sampling date
Spring			
	Uljin	Feb. 21	Mar. 7, 21, Apr. 4, 18
	Buan	Feb. 28	Mar. 14, 28, Apr. 11, 25
	Wando	Feb. 27	Mar. 13, 27, Apr. 10, 24
	Busan	Feb. 30	Mar. 16, 30, Apr. 13, 27
Summer			
	Uljin	July 6	July 20, Aug. 3, 17, 31
	Buan	July 3	July 17, 31, Aug. 14, 28
	Wando	July 2	July 16, 30, Aug. 13, 27
	Busan	July 1	July 15, 29, Aug. 12, 26
Autumn			
	Uljin	Oct. 16	Oct. 30, Nov. 13, 27, Dec. 11
	Buan	Oct. 19	Nov. 2, 16, 30, Dec. 13
	Wando	Oct. 18	Nov. 1, 15, 29, Dec. 12
	Busan	Oct. 13	Oct. 27, Nov. 10, 24, Dec. 7
Winter			
	Uljin	Dec. 21	Jan. 4, 18, Feb. 1, 15
	Buan	Dec. 19	Jan. 1, 15, 29, Feb. 12
	Wando	Dec. 18	Jan. 2, 16, 30, Feb. 13
	Busan	Dec. 15	Dec. 29, Jan. 12, 26, Feb. 9

나. 실험 지역 해수의 계절별 환경조사

수온, 염분, pH

수온과 염분은 실험지역의 해수를 YSI portable type salinometer (YSI)를 사용하여 측정하였고 pH는 pH meter (ISTEK)를 이용하여 측정하였다.

영양염

영양염은 비색법¹³으로 질산염과 인산염을 측정하였으며 영양염 분석을 위한 해수 시료는 현장에서 채수한 해수를 1 L 채수병에 1% 황산구리로 고정 후 유리섬유 여과지(GF/C)로 여과한 다음 그 시료를 분석시까지 deep freezer에서 -80℃로 냉동 보관하였다.

질산염(+아질산염)

아질산환원법중 Cd-Cu 환원관을 이용하여 측정하였다. NH₄Cl buffer 용액 상태에서 시료를 카드뮴 column에 통과시켜 아질산염으로 환원시킨 다음 sulfanilamide와 α-naphthylamine 용액으로 발색시켜 파장 543 nm에서 흡광도를 측정하였다.

인산염

Ammonium molybdate, H₂SO₄, potassium antimonyl tartrate, ascorbic acid의 혼합시약을

시료에 가해 발색시킨 후 파장 885 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Chlorophyll-*a* 함량

Chlorophyll-*a* 함량을 측정하기 위해 시료를 GF/C 필터를 이용하여 여과한 후 분석시까지 deep freezer에서 -80℃로 냉동 보관한 뒤 여과된 시료를 냉암소에서 90% acetone용액으로 24 시간 추출하여 원심분리기로 10분간 3,000 rpm에서 원심분리 한 후 상등액을 spectrophotometer를 이용하여 630 nm, 647 nm, 664 nm, 750 nm에서 흡광도를 측정하여 구하였다.

다. 부착 규조류 발생조사

부착규조류의 발생조사를 위해 각 샘플지역에 플라스틱 plate를 설치하여 계절별로 8주 동안 실시하였으며 2주마다 plate를 수거한 뒤 부착된 규조를 부드러운 brush를 이용하여 분리하였다. 분리한 시료는 2% 중성 포르말린 용액이 첨가된 여과해수에 보관하였다.

부착규조류 정성분석

각 지역 부착규조류의 정성분석을 위해 분리된 시료를 0.5 mL 채취한 후 광학현미경 (Nikon)을 이용하여 관찰 및 동정하였다.^{14, 15, 16}

부착규조류 정량분석

정량분석을 위해 농축된 시료 0.5~1 mL를 취하여 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣어 검경·계수한 후 이를 단위면적당 개체수(cells/cm²)로 환산하였다. 우점종은 출현종 가운데 현존량의 10% 이상인 종으로 간주하였다. 또 우점종의 크기별 분포 등을 조사하였다.

라. 부착미세조류의 색소분석

시료채취 및 처리

HPLC를 이용한 부착미세조류의 색소분석을 위하여 파관에 붙어있는 부착미세조류를 브러쉬를 이용하여 분리 한 후 47 mm GF/F 여과지로 여과하였다. 여과지는 알미늄 호일에 싸서 분석시까지 -80℃의 deep freezer에서 보관하였다. 식물플랑크톤의 광합성색소는 100% 아세톤 5 mL로 암냉소에서 24시간동안 추출하였으며 처리시의 손실을 보정하기 위하여 canthaxanthin (internal standard) 50 µL를 첨가하였다. 2000 rpm에서 10분간 원심분리한 다음 상등액 1 mL를 하여 300 µL의 3차 증류수와 잘 섞은 후 100 µL의 loop에 주입하여 분석하였다.

시약 및 사용기기

추출용 아세톤과 용매, 그리고 희석을 위한 증류수는 모두 HPLC등급을 사용하였으며 색소 분석을 위한 HPLC와 용매 system 그리고 solvent gradient는 Lee and Park의 방법¹⁷을 따랐다.

Calibration

Chromatogram의 peak에 대한 동정은 표준색소의 retention time과 한국해양미세조류은행 (Korea Marine Microalgae Culture Center : KMCC)로부터 분양받은 미세조류로부터 얻은 추출색소의 retention time과 비교하여 결정하였다. 표준색소는 chlorophyll-*a*, chlorophyll-*b*, Lutein, beta-carotene (Sigma Co.)과 chlorophyll-*c*, fucoxanthin, zeaxanthin, 19'-hexanoyloxyfucoxanthin, prasinoxanthin, alloxanthin, peridinin, violaxanthin, 19'-butanoyloxyfucoxanthin, diadinoxanthin (VKI, Denmark)을 이용하였고, internal standard는 canthaxanthin을 이용하였다. Phaeophytin *a*는 chlorophyll-*a*의 표준요액에 1 M HCl을 가하여 산화시킨 후 diethylether로서 추출하고 증류수로 세척 후 상등액을 회수하여 농축시켜서 이용하였다. 그리고 각 class별 식물플랑크톤이 가진 주요 광합성 색소는 Anderson *et al.*의 방법을 참고하였다.

해수 중 식물플랑크톤 색소의 정량분석

표준색소의 농도는 기존에 알려진 흡광계수¹⁸를 이용하여 흡광광도계로 보정하였다. 흡광도는 최대흡수파장과 750 nm에서 측정하였다. 표준색소의 농도는 Park *et al.*¹⁹의 방법에 의해 계산되었다.

마. 부착 규조류 영양분석

아미노산 및 지방산분석

영양분석을 위해 각 계절에 8주 동안 2주마다 plate에서 분리한 시료는 원심분리기를 통하여 농축한 뒤 분석시 까지 deep freezer에서 -80℃로 냉동 보관하였다. 아미노산의 분석은 Ninhydrin법을 이용하여 분석하였다. 지방의 분석은 gas chromatography를 이용하였고 지방의 추출 및 정제는 Folch법²⁰을 이용하였다.

2. 부착 규조류의 분리와 유전자 분석

부착 규조류는 파관에 부착한 것과 그외 표층수에서 채집한 sample로부터 분리하였다. 분

리 방법은 agar 처리, dilution 처리 또는 capillary pipette 방법을 이용하였다. 부착 규조류의 선별은 본 연구기간 중 분리되었거나 또는 부경대학교 한국해양미세조류은행에서 이미 보관중인 부착규조류를 대상으로 크기별로 10 μm 이하의 소형규조 38종, 20 μm 내외의 중형규조 34종, 30-40 μm 의 대형규조 31종, 60 μm 이상의 특대형규조 7종으로 구분하여 그룹별 대표종을 선택 [소그룹(*Cocconeis californica*), 중(*Caloneis schroder*), 대(*Amphora delicatissima*), 특대(*Pleurosigma* sp.)]하였다. 각 그룹의 선택된 대표종을 중심으로 종의 형태를 고배율현미경 하에서 관찰하고, 지역과 분리일자 등을 고려하여 유사종을 선별하였다.

그룹별로 선별된 종의 유전적 유사성을 밝히기 위하여 RAPD-PCR (random amplified polymorphic DNA polymerase chain reaction)을 실시하였다.

가. Genomic DNA 분리

Genomic DNA 추출은 CTAB 추출법을 이용하였다. 약 5 g의 시료를 원심분리하여 미세조류만 분리하고, 1×CTAB (cetyltrimethyl ammonium bromide) buffer [1%(w/v) CTAB, 50 mM Tris-HCl (pH 8.0), 10 mM EDTA (pH 8.0), 0.7 NaCl, 1% polyvinylpyrrolidone (PVP)]를 500 μL 첨가하여 67°C에서 2시간 열처리 한 후, chloroform-phenol (1:1) 용액을 동량 넣어서 11,000 g에서 3분간 원심분리 후 상등액만을 회수하였다. 회수한 상등액에 다시 chloroform-phenol (1:1) 용액을 동량 넣어 원심분리를 반복하고, 상등액이 투명해질 때까지 같은 방법을 수 회 반복하였다. 투명해진 상등액에 100 % ethanol을 2배 넣어 11,000 g에서 10분간 원심분리하여 침전된 genomic DNA만을 회수하고, 70% ethanol을 500 μL 넣어 11,000 g에서 2분간 원심분리하여 침전된 genomic DNA를 진공 건조시켰다. 완전히 건조된 genomic DNA에 TE buffer [0.1 M Tris-HCl (pH 8.0), 1 mM EDTA (pH 8.0)] 30 μL 를 넣어 37°C에서 15분간 녹인 후 4°C에서 보관하였다.

나. RAPD-PCR

Primer들은 10 nucleotides로 구성된 Bioneer사의 primer OPA-9, 10, 11, 12, 17까지 RAPD-PCR을 실시한 결과, OPA-17이 유사성과 재현성이 뛰어나서 본 실험의 RAPD-PCR의 primer로 사용하였다. OPA-17은 염기서열이 5'-GACCGCTTGT-3'이며, GC content는 60%이다. 전기 영동 시 표준 분자량 marker로는 ladder marker (100 bp)와 λ - Hind III digestion marker를 사용하였다.

PCR을 위한 반응액은 dNTP (2.5 mM) 0.5 μL , 10× PCR buffer 2 μL , primer (20pmol) 1 μL , genomic DNA (10 ng) 1 μL , Taq DNA polymerase (2.5 unit) 1 μL 를 첨가하고 증류수를 사용하여 최종 반응액이 20 μL 되게 제조하였다. PCR 반응은 Perkim Elmer 2400에서

denaturation은 94°C, 30초, annealing은 35°C, 30 초, extension은 72°C, 1 분 20 초의 순서로 34회 시행한 후 72°C에서 7분간 증폭하였다. PCR증폭 산물은 1% agarose gel 상에서 100 volt, 30 분 전기 영동하였고 EtBr에서 15분간 염색한 후 증류수에 5분간 탈색하여 UV transilluminator로 관찰하였다.

다. 유사도 측정

각 종간의 유사도 측정을 위하여 RAPD-PCR 사진 상에 나타난 PCR 생성물을 각각 하나의 band로 간주하여 각각의 위치에 생성된 band의 유무에 따라 1과 0으로 표시하여 data matrix를 작성하였다. 이들 data는 유전적 연관성을 알아보기 위해 Nei and Li의 식²¹을 이용하였다. 유사도 계수 방정식은 아래와 같다.

$$F = 2n_{xy} / (n_x + n_y)$$

(n_x : 종 X로부터 생성된 band의 수, n_y : 종 y로부터 생성된 band의 수, n_{xy} : X, Y 종에서 같은 위치에 생성된 band의 수)

두 종간의 비교에 있어서 F값이 1.0에 가까워지면 유전적인 유사도가 높고, F값이 1.00일 경우, 두 종이 동일함을 나타낸다.

3. 부착규조류의 부착률과 성장률 조사

한국해양미세조류은행에서 미세조류 가운데 부착률이 비교적 높고 전복의 먹이로 양호한 것으로 추측되는 미세조류 32종을 5개의 그룹으로 구분하여 각 미세조류의 부착력과 성장률을 조사하였다(Table 2). 한국해양미세조류은행에서 각 종을 분양 받아 500 mL 플라스크에서 300 mL의 f/2 배지²²에 20 °C, 2000 lux 의 조건하에서 2주간 배양을 한 후, 부착력 실험을 위한 수조에 접종을 하였다.

각 종의 부착력 실험을 위한 수조는 14 L 원형 아크릴 수조에 10 L의 f/2배지를 채운 후, 부착기질로서 19×16 cm의 굴곡과판 5장을 사용하였다. 수조내의 총 부착기질은 수조벽면(1,583 cm²)과 바닥(451 cm²) 그리고 과판(3,040 cm²)으로 구분되며 총 부착면적은 5,074 cm²였다.

각 수조에 접종한 미세조류의 밀도는 세포계수와 건조중량을 haemocytometer 와 GF/C 필터를 이용하여 각각 측정하였다. 접종 후 미세조류는 23°C, 2000 lux, 24L의 상태로 2주간 통기배양하였다.

배양된 미세조류는 부착기질에 부착한 것과 부착되지 않은 것을 분리한 후, 부착한 세포는 부드러운 붓을 이용해 탈락시켜서 각각의 세포를 진공펌프를 이용해 GF/C 필터로 모은 후 부착률을 조사하였다.

모든 세포는 건조기에서 60°C 2시간동안 건조시킨 후, 건조중량을 전자저울을 이용해서 측정하였다. 부착률 과 성장률은 다음 공식을 사용하였다.

$$\text{성장률(\%)} = \{(n_1 - n_0) / n_0\} \times 100, \quad \text{부착률(\%)} = \{\text{ad} / (\text{ad} + \text{non-ad})\} \times 100$$

n_1 : 최종 생물량(mg) n_0 : 접종량(mg) ad: 부착한 미세조류량(mg) non-ad: 부착하지 않은 미세조류량(mg)

Table 2. List of microalgae for the attachment experiment

Group	species	Area	Length (mean±sd)
A (<i>Amphora</i> and <i>Amphora</i> -like species)	<i>Achnanthes</i> sp.	East coast	26.6±3.9
	<i>Amphiprora gigantea</i> var. <i>sulcata</i>	South coast	21.8±1.5
	<i>Amphora lineata</i>	South coast	42.0±6.7
	<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffeaeformis</i>	South coast	18.8±3.0
	<i>Amphora delicatissima</i>	Indonesia	17.5±2.3
	<i>Amphora delicatissima</i>	South coast	25.3±2.7
	<i>Amphora</i> sp.	West coast	23.3±3.3
	<i>Amphora</i> sp.	West coast	12.5±1.0
B (<i>Navicula</i> and <i>Navicula</i> -like species)	<i>Navicula annexa</i>	South coast	23.3±2.2
	<i>Navicula cancellata</i>	West coast	38.6±1.7
	<i>Navicula elegans</i>	South coast	13.7±1.2
	<i>Navicula incerta</i>	UTEX2046	19.3±1.9
	<i>Navicula viridis</i>	West coast	21.1±1.8
	<i>Navicula</i> sp.	East coast	15.8±4.2
	<i>Navicula</i> sp.	West coast	15.1±1.2
C (Other diatoms)	<i>Navicula</i> sp.	South coast	10.8±1.2
	<i>Nitzschia dissipata</i>	U.S.A SERI	26.3±1.1
	<i>Nitzschia</i> sp.	South coast	23.9±1.0
	<i>Cylindrotheca closterium</i>	South coast	33.6±4.0
	<i>Caloneis schroder</i>	West coast	21.0±2.6
	<i>Cocconeis californica</i>	West coast	23.8±9.1
	<i>Pleurosigma angulatum</i>	West coast	56.0±8.6
	<i>Rhaphoneis</i> sp.	South coast	5.0±0.0
	<i>Trachyneis aspera</i>	South coast	25.5±3.3
D (Chlorophyceae)	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Japan	16.8±1.8
	<i>Tetraselmis hazennii</i>	UTEX171	14.8±3.8
	<i>Chloromonas</i> sp.	South coast	12.8±2.6
	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	West coast	12.9±2.4
E (Cyanophyceae)	<i>Phormidium luridum</i>	South coast	2.8±0.2
	<i>Lynghia taylorii</i>	South coast	4.8±0.7
	<i>Oscillatoria splendida</i>	South coast	3.2±0.4
	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	South coast	9.4±1.0

4. *Tigriopus japonicus*를 대상으로 한 부착 규조류의 먹이효율 분석

본 연구에서는 많은 종류의 부착규조류가 전복 치패에 미치는 먹이효율을 조사하기에 앞서 채집과 관리가 쉽고 generation time이 짧은 요각류 *T. japonicus*를 대상으로 부착규조류를 포함한 미세조류를 4그룹으로 나누어 먹이 효율을 측정하였다. 이 요각류는 부착성 요각류로서 부착미세조류를 주로 섭취하므로 먹이 섭식 생태가 전복 치패와 유사할 것으로 판단하였다.

본 실험에 사용된 *T. japonicus*는 부산 동백섬 부경대학교 수산과학연구소 부근에 있는 tidal pool에서 100 μm 의 동물성부유생물망으로 채집하였다. 먹이로 사용된 미세조류중 A, B, C, D그룹은 크기가 소, 중, 대, 특대 부착규조류 중 유전적 분석 결과 그룹별 유전적 유사성이 낮은 종을 선별하였으며, E그룹은 앞선 전복 유생과 치패의 성장 및 생존 실험에서 결과가 좋았던 종류로 보고된^{23, 24} 11종을 대상으로 하였고, F그룹은 한국해양미세조류에서 보관 중인 남조류, 녹조류, 와편모조류, 착편모조류에서 12종을 선별하여 사용하였다(Table 3). 이와 같이 각 그룹에서 *T. japonicus*의 먹이효율을 조사한 후 최종 12종의 미세조류를 선별하여 *T. japonicus*의 먹이효율을 재조사하였다.

*T. japonicus*의 번식은 3 mL culture cell chamber에서 먹이가 함유된 2 mL 해수에 한 마리의 포란한 암컷을 넣고 매일 부화한 nauplius 유생을 현미경하에서 계수하고, 먹이와 해수는 매일 2 mL씩 환수하며 조사하였다. 온도는 22°C, 염분은 34‰로 하고, 조도는 5000 lux, 연속 조명 하였다. 실험기간은 A, B, C, D, E그룹에서 25일, F그룹에서 14일, 최종 선발된 12종 그룹은 22일간 각 미세조류별 3회 반복 실험하였다.

Table 3. Benthic diatoms of each groups for the hatching experiment of *Tigriopus japonicus*

Size group	Species
A (Small)	<i>Cocconeis californica</i> ^a
	<i>Navicula</i> sp. ^a
	<i>Amphora delicatissima</i>
	<i>Navicula</i> sp. ^b
	<i>Nitzschia flustulum</i>
	<i>Navicula</i> sp. ^c
	<i>Amphora veneta</i>
	<i>Cocconeis californica</i> ^b
	<i>Amphora</i> sp. ^a
	<i>Navicula</i> sp. ^d
	<i>Amphora</i> sp. ^b
	<i>Navicula</i> sp. ^e
<i>Navicula</i> sp. ^f	
<i>Amphora</i> sp. ^c	

Table 3. (continued)

Size group	Species
B (Middle)	<i>Caloneis schroder</i>
	<i>Navicula</i> sp. ^a
	<i>Navicula</i> sp. ^b
	<i>Navicula</i> sp. ^c
C (Large)	<i>Navicula</i> sp. ^d
	<i>Navicula cancellata</i>
	<i>Nitzschia closterium</i>
	<i>Navicula</i> sp.
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>
D (Super large)	<i>Cylindrotheca closterium</i>
	<i>Pleurosigma</i> sp.
	<i>Cylindrotheca</i> sp.
E (Other I)	<i>Nitzschia</i> sp.
	<i>Amphora</i> sp.
	<i>Rhaphoneis</i> sp.
	<i>Tetraselmis suecica</i>
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>
	<i>Platymonas subcordiformis</i>
	<i>Chloromonas</i> sp.
	<i>Cocconeis californica</i>
	<i>Chlorella ellipsoidea</i>
	<i>Navicula</i> sp.
<i>Oscillatoria splendida</i>	
F (Other II)	<i>Trichodesmium erythraeum</i>
	<i>Spirulina platensis</i>
	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
	<i>Amphidinium</i> sp.
	<i>Prorocentrum minimum</i>
	<i>Chattonella</i> sp.
	<i>Isochrysis galbana</i>
	<i>Pavlova lutheri</i>
	<i>Stidhococcus bacillaris</i>
	<i>Dunariella tertiolecta</i>
<i>Gloeocystis gigas</i>	
<i>Nannochloris oculata</i>	

5. 참전복 유생 및 치패 실험

실험 1

부착규조류의 부착률과 성장률 조사에서 각 그룹별 성장률이 양호한 9종을 선정 한 후(Table 4), 전복 유생의 부착률, 변태율, 생존율 및 초기성장을 조사하였다. 선정된 9종의 미세조류는

10일간 10 mL의 6-well cell culture chamber에서 배양하였다.

성숙된 전복 모패는 암컷과 수컷을 분리한 후, 3시간동안 간출자극을 시킨 후, 자외선을 조사한 해수에 모패를 분리 수용하여 방란 방정을 유도하였다. 수온 21°C에서 수정을 시킨 후, 한 수조에서 발생을 시켜 56시간이 지난 후, veliger 단계로 발달한 유생으로 실험을 시작하였다. 미세조류를 배양한 chamber에 유생을 넣기 전 남아있는 배지의 성분을 없애기 위해서 행 귀준 후, 10 mL의 여과해수를 채우고 유생을 30개체 씩 넣었다. 대조구로는 미세조류가 없이 여과해수만 채웠고 모든 실험구는 6반복으로 시행되었다. 3주의 실험기간동안 수온은 20°C, 조도는 2000 lux, 광주기는 8(L):16(D)로 하였다. 부착이 완료된 후에는 여과해수를 하루에 5 mL 씩 교환해 주었다.

해부현미경을 통해서 변태가 진행된 유생을 관찰한 후, 변태가 되지않은 유생은 모두 제거하였다. 유생의 생존은 매일 확인하였으며 10초 동안 어떤 움직임도 없이 고정되어있거나, 심장의 뿔을 관찰할 수 없는 유생은 죽은 개체로 간주하였다. 유생의 각장은 이틀 간격으로 측정하였다.

초기 미세조류의 세포수는 도립현미경을 이용하여 400배의 배율로 관찰하여 부착면의 세포를 계수한 후, 단위면적(mm²)당 세포수로 환산하여 계산하였다.

유생의 부착, 변태, 생존 및 성장률은 다음 식을 이용하였다.

$$\text{유생 부착률(\%)} = (\text{부착 개체수} / \text{초기 개체수}) \times 100$$

$$\text{유생 변태율(\%)} = (\text{변태 개체수} / \text{초기 개체수}) \times 100$$

$$\text{초기 생존율} = (\text{살아있는 개체수} / \text{초기 개체수}) \times 100$$

$$\text{후기 생존율} = (\text{살아있는 개체수} / \text{변태 개체수}) \times 100$$

$$\text{일간 성장률} = (\text{실험종료시 각장} / \text{초기 각장}) \times 100$$

Table 4. Size and inocula density of microalgae for the abalone larvae culture

Species	Size (μm)	Initial inocula density (cells/mm ²)
<i>Rhaphoneis</i> sp.	8.8±1.7	6.9×10 ⁴
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	16.8±1.8	12.9×10 ⁴
<i>Navicula</i> sp.	10.8±1.2	7.2×10 ⁴
<i>Nitzschia</i> sp.	23.94±1.0	6.5×10 ⁴
<i>Amphora</i> sp.	23.25±3.3	6.0×10 ⁴
<i>Cylindrotheca closterium</i>	33.61±4.0	4.9×10 ⁴
<i>Tetraselmis hazennii</i>	14.8±3.8	6.2×10 ⁴
<i>Chloromanas</i> sp.	12.8±2.6	5.8×10 ⁴
<i>Oscillatoria splendida</i>	3.2±0.4	*

*: 10 % of fully grown density

실험 2

부경대학교 한국해양미세조류은행에서 보관중인 부착 규조 중, 해역, 크기, 부착력, 영양분석 결과를 고려하여, 11종의 부착 규조를 선택하여 참전복 치패를 대상으로 먹이효율 조사를 실시하였다(Table 5).

평균 각장 약 7 mm의 참전복 치패를 2002년 12월 해림수산에서 분양 받아 10 L의 사각수조에 자외선 멸균해수를 8 L 채운 뒤 70개체씩 수용하였다. 실험구는 3 반복 실시하였다. 먹이 공급은 부착 규조가 부착된 플라스틱 파판(8×7 cm)을 3장씩 수조에 넣어 주었으며, 환수 때마다 새로운 파판 3장을 넣어주거나, 배양중인 부착 규조를 수거하여 공급하였다. 환수 방법은 주 2회, 1/2 환수와 전량 환수를 교대 반복하였고, 에어를 공급하고 지수식으로 배양하였다. 매일 폐사 개체수를 수거하여 각장, 각폭을 측정하였다. 실험 종료 시, 실험에 사용된 전복 치패를 모두 수거하여, 각장, 체중을 측정하였다.

한편 참전복 치패 실험에 사용된 부착 규조 11종 중, 참전복 치패의 성장과 생존율에 효과적 이었던 6종을 선택하였다. 이 선택된 6종을 대상으로 일반성분, 지방산, 구성아미노산의 영양 분석을 하였다. 또 위 실험 종료시 수거한 전복 육질을 대상으로 일반성분 분석을 하였다.

Table 5. List of benthic diatom for the experiment of *Haliotis discus hannai* larvae

Species	Area	Length (μm)
<i>Achnanthes</i> sp.	East coast	26.6±3.9
<i>Navicula</i> sp.	East coast	15.8±4.2
<i>Amphora</i> sp.	West coast	23.3±3.3
<i>Cocconeis californica</i>	West coast	23.8±9.1
<i>Navicula</i> sp.	West coast	15.1±1.2
<i>Navicula elegans</i>	West coast	13.7±1.2
<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffeaeformis</i>	South coast	18.8±3.0
<i>Navicula</i> sp.	South coast	10.8±1.2
<i>Nitzschia</i> sp.	South coast	24.0±1.0
<i>Cylindrotheca closterium</i>	South coast	33.6±4.0
<i>Caloneis schroder</i>	South coast	21.0±2.5

실험 3

앞의 참전복 치패실험(실험 2)에서의 결과를 참고하여 먹이 효율이 좋은 4종의 부착규조류를 선택하여 참전복 유생의 부착률과 먹이효율을 조사하였다(Table 6). 부착 규조는 각 종별로

플라스틱 petri dish (8.5×1.3 mm)에 7일간 배양하여 얇은 막을 형성하도록 incubator에서 배양하였으며, 배양온도는 20℃로 하였다. 실험 시작전, petri dish의 배양액을 제거하고, 그 용기에 GF/C로 여과한 해수를 채웠다. 유생사육 및 분석방법은 실험 1과 동일하였다.

Table 6. List of the benthic diatom for the experiment of *Haliotis discus hannai* larvae

Species	Area	Length (μm)
<i>Amphora</i> sp.	West coast	23.25±3.25
<i>Cocconeis californica</i>	West coast	23.8±9.1
<i>Nitzschia</i> sp.	South coast	23.94±1.00
<i>Caloneis schroder</i>	South coast	21.0±2.5

실험 4

*T. japonicus*의 먹이효율 실험의 결과로 선정된 12종의 미세조류를 대상으로(Table 7), 참전복 유생의 부착률, 변태율, 초기성장과 생존율을 조사하였다.

Table 7. Selected microalgae from each group for the hatching experiment of *Tigriopus japonicus*

Group	Species
small	<i>Cocconeis californica</i> ^a
	<i>Navicula</i> sp. ^a
middle	<i>Navicula</i> sp. ^b
	<i>Navicula</i> sp. ^c
large	<i>Phaeodactylum tricornutum</i> ^a
	<i>Navicula cancellata</i>
etc	<i>Tetraselmis suecica</i>
	<i>Cocconeis californica</i> ^b
	<i>Nitzschia</i> sp.
	<i>Rhaponeis</i> sp.
	<i>Amphora</i> sp.
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i> ^b

최종 선정된 12종의 미세조류는 유생의 부착률 및 먹이효율 실험을 위해서 7일간 10 mL의 6-well tissue culture chamber에서 배양하였다. 참전복 유생은 2004년 5월 해림수산으로 부터

분양받은 수정 후 88 시간 지난 veliger 유생을 사용하였다.

미세조류를 배양한 chamber에 유생을 넣기 전 남아있는 배지의 성분을 없애기 위해서 여과해수로 헹궈준 후, 10 mL의 여과해수를 채우고 유생을 30개체 씩 넣었다. 대조구로는 미세조류가 없이 여과해수만 채웠고 모든 실험구는 5반복으로 시행되었다. 실험은 16일동안 행해졌으며, 실험기간동안 수온은 20°C, 조도는 2000 lux, 광주기는 8시간 빛을 주었다. 부착이 완료된 후에는 여과해수를 하루에 5 mL씩 교환해 주었다.

유생의 사육 및 분석 방법은 실험 1과 동일하였다.

실험 5

앞의 실험결과를 통해 최종 선별된 4종의 부착 규조를 대상으로 하여 참전복 유생의 부착률과 변태율, 생존율 및 초기 성장을 재조사하였다. 실험은 해림수산에서 분양 받은 수정 후 88 시간 지난 veliger 유생을 사용하였고, 대상종은 다음 Table 8과 같다.

Table 8. Four species of benthic diatom for the experiment of *Haliotis discus hannai* larvae

Species	Length (μm)
Control (non-fed)	
<i>Caloneis schroederi</i>	21.0±2.5
<i>Raphoneis</i> sp.	8.8±1.7
<i>Cocconeis californica</i> (large type)	23.8±9.1
<i>Cocconeis californica</i> (small type)	4.0±0.6
mixed microalgae	

선정된 4종의 부착 규조는 7일간 6-well cell chamber에서 배양하여 얇은 막을 형성하도록 하였다. 4종 혼합구는 각 실험종을 같은 비율로 섞어서 넣고 배양하였고, 대조구는 부착 규조가 없이 여과해수만 채웠다. 배양은 20°C, 1000 lux에서 하였다. 부착 규조를 배양한 chamber에 유생을 넣기 전 남아있는 배지의 성분을 없애기 위해서 2~3회 헹궈준 후, 10 mL의 GF/C 여과해수를 채우고 유생을 30±10개체(3개체/ mL)씩 넣었다. 16일간의 실험기간동안 수온은 18°C 광주기는 8 (L):16 (D)로 하였다. 부착이 완료된 후에는 여과해수를 하루에 5 mL씩 교환하였다. 실험은 5반복 실시하였다.

각 시간별 유생의 관찰은 실험 시작 후 6, 12, 24시간에 하였고, 실험 1에서의 방법으로 분석하였다.

실험 6. 참전복유생과 *Tigriopus japonicus*의 경쟁 관계

전복 양식장에서 전복유생의 부착을 방해하는 것으로 판단되는 부착성 요각류 *T. japonicus*를 5종의 부착규조류(*Caloneis Scheroideri*, *Amphora* sp, *Navicula* sp., *Cocconeis californica*, *Rhaphoneis* sp.)를 섞어서 배양한 petri dish에 각각 0, 10, 20, 50마리씩 넣고, 전복유생을 100미내외로 함께 수용하여 전복유생의 부착에 *T. japonicus*가 영향을 미치는지 조사하였다.

본 실험에 사용된 *T. japonicus*와 참전복의 유생 및 미세조류의 배양법, 전복유생사육 방법 등은 실험 4와 5에서의 방법을 적용하였다.

6. 부착 규조류 대량 배양 개발

가. 배양환경에 따른 부착 규조의 성장실험

(1) 온도와 염분에 따른 부착규조의 성장실험

전복의 유생과 치패의 성장이 양호했던 최종 선별된 5종(Table 9)의 규조에 대한 온도와 염분에 따른 성장률을 측정하였다.

Table 9. List of benthic diatom for the experiment on the effect of temperature and salinity

Species	Length (μm)
<i>Caloneis schroederi</i>	21.0±2.5
<i>Rhaphoneis</i> sp.	8.8±1.7
<i>Navicula</i> sp.	15.1±1.1
<i>Cocconeis californica</i> (large type)	23.8±9.1
<i>Cocconeis californica</i> (small type)	4.0±0.6

실험 1

온도 23, 25, 27°C, 염분 24, 26, 28, 30‰로 구분하고 f/2배지를 사용하여 2반복 실험하였다. 접종량은 3 mL로 하였고, 실험 기간은 접종 후 6일 동안 실시하였다. 용기는 6-well cell chamber를 사용하였고, 배양은 low temperature incubator에서 조도 3000 lux에서 연속조명하에 실시하였다. 각 온도와 염분 구간별로 배양되는 규조를 매일 cell chamber 1 hole에서 수확한 뒤, 10 mL centrifuge tube에 넣고 원심분리를 하였다. 원심분리 후 위 상층액을 버린 후, 90%의 아세톤 10 mL를 넣어주었다. 24시간 냉장보관 뒤, -80°C 초저온 냉동고에 저장하였다. 규조의 성장측정은 spectrophotometer를 사용하여 chlorophyll-a를 매일 측정하였다. 실험은 3반복으로 하였다.

실험 2

위 실험 1에서 저온 23°C에서 성장이 양호한 *Raphoneis* sp. *Navicula* sp. *Caloneis schrederi*를 대상으로 온도 16, 18, 20, 22°C에서 성장을 재측정하였다. 또한, 고온에서 성장이 양호한 *C. californica* (large type), *C. californica* (small type), *C. schroederi*는 온도 24, 26, 28°C으로 하여 성장을 측정하였다. 염분은 30‰로 하였고, 그 외 배양조건, 성장측정 등은 위 실험 1과 동일하게 실시하였다.

(2) 온도와 조도에 따른 부착구조의 성장실험

위 실험 1, 2에서 온도와 염분에 따른 성장이 저조했던 *Navicula* sp.를 제외한 구조 4종을 선택하여 온도와 조도에 따른 부착 구조의 성장을 조사하였다.

실험 1

온도 18, 26°C에서 조도를 1000, 3000, 5000, 7000 lux로 구분하여 염분 30‰, f/2배지에서 2 반복 실험을 하였다. 배양 용기는 6-well cell chamber를 사용하였고, 배양은 low temperature incubator에서 연속조명하에 실시하였다. 접종량은 3 mL로 하였고, 접종 후 6일동안 성장 측정을 앞의 실험과 동일하게 실시하였다.

실험 2

실험 1과 동일한 조건에서 조도를 500, 1000, 2000, 2500, 3000 lux로 구분하여 온도와 조도에 따른 부착 구조의 성장률을 조사하였다.

나. 부착 기질에 따른 부착 구조의 부착력 조사

부착 구조의 부착 기질에 따른 부착력을 알아보기 위해 위 실험에서 전복의 유생에 가장 효과적이었던 2종(*C. californica* (large type), *Raphoneis* sp.)을 대상으로 하여 4가지 기질에 따른 부착률을 조사하였다. 기질은 각각 net, brush, plastic sheet, plastic mesh로 사용하였고, 기질의 면적은 84.5 ± 0.5 cm²였다. 실험은 밑 면적이 93 cm²인 유리병에 f/2배지 80 mL, 접종량은 20 mL로 하였다. 유리병에 각각의 부착 기질을 넣고 위 2종을 접종하였다. 실험 시작 후 5, 10, 15일 즉 5일 간격으로 15일 동안 각 기질에 대한 부착력을 조사하였다. 기질에 붙은 부착 구조, 유리병 벽면에 부착한 것, 부착하지 않은 것을 따로 분리수거하여, 10 mL centrifuge tube에 넣고 원심분리를 하였다. 원심분리 후, 위 상층액을 버리고, 90%의 아세톤 10 mL를 넣어 냉장보관 뒤, -80°C 초저온 냉동고에 저장하여, chlorophyll-a를 측정하여 조사하였다. 배

양은 low temperature incubator에서 1000 lux 연속조명하에서 실시하였다. 온도는 20℃, 염분은 30‰으로 하였고, 실험은 3반복 실시하였다. 부착 구조의 부착률은 다음 식을 이용하였다.

$$\text{전체 면적의 부착률(\%)} = \{(ad+(ad\text{-surface})) / (ad+(ad\text{-surface})+(non\text{-ad}))\} \times 100$$

$$\text{기질별 부착률(\%)} = \{ad / (ad+(ad\text{-surface})+(non\text{-ad}))\} \times 100$$

ad : 부착 기질에 부착한 부착 구조의 색소량, ad-surface : 벽면에 부착한 부착 구조의 색소량, non-ad : 부착하지 않은 부착 구조의 색소량.

다. 부착 기질의 면적에 따른 부착 구조의 부착률 조사

위 부착 기질의 실험에서 가장 효과적이었던 net를 사용하여, *C. schroederi* 와 *Raphoneis* sp. 2종을 대상으로, 부착 면적에 따른 부착 구조의 부착률을 조사하였다. 사용된 net 하나의 면적은 약 0.25 m²로, net를 5개, 7개, 10개로 하여 면적이 각각 약 1.2, 1.7, 2.5 m²가 되도록 하였다. 12 L round bottle에 f/2 배지 8 L, 접종량을 2 L로 하여 총 volume이 10 L가 되게 하였다. 여기에 각각의 net을 넣어주고, 에어공급은 에어스톤을 사용하여 약 8 L/분 정도의 에어를 공급하였다. 각각의 어망 사이의 간격은 net를 5개 넣은 것은 5 cm 이고, 7개, 10개의 경우는 각각 3.5, 2.5 cm 였다. 배양 10일 후, net에 부착한것, net외에 벽면에 부착한 것, 부착하지 않은 것을 따로 분리하여 수거하였다. 수거한 부착 구조는 원심분리하여 각각의 습중량(g)을 측정하였다. 배양액의 염분은 30‰, 실내 배양 온도는 10℃으로 하였고, 조도는 1000 lux로 하여 연속조명하에 실시하였다. 실험구는 3반복 실시하였다.

라. 부착 구조의 혼합 배양 시 중간 경쟁 및 천이 조사 실험

실험 1

앞의 조도 실험에서 사용한 대표적인 부착구조 4종을 대상으로 혼합 배양할 경우의 중간특성 및 천이를 조사하였다. 실험은 f/2 배지를 사용하여 6-well tissue cell chamber를 사용하였고, 총량 10 mL에 접종량은 종의 크기를 기준으로 한 cell chamber의 종별 부착 면적을 기준으로 하여 접종량을 조절하였다(Table 10). 배양 온도는 각 종별로 적정 온도 범위에 따라 종별 경쟁관계가 차이가 있음을 유념하여 온도 구간을 10, 15, 20, 25℃로 구분하여 실험하였고, 염분 30‰, 조도는 1000 lux, 연속조명 하에서 low temperature incubator에서 10일간 배양하였다.

각 종별 cell counting은 부착 구조를 초음파 세척기를 사용하여 충분히 종를 분리시킨 후,

세포밀도를 측정하여 종별 경쟁관계를 조사하였고, 종별 부착률은 다음식을 이용하였다.

$$\text{종별 부착률(\%)} = (A/B) \times 100$$

A: 단일종의 부착 면적(부착 구조의 부착 면적) × 개체수

B: 각 단일종의 부착 구조의 부착 면적의 총합

실험은 3반복으로 하였다.

Table 10. Settlement area and inocula volume of benthic microalgae for the experiment on the competition and succession in mixed culture

Species	Length (μm)	Settlement area (μm^2)	Inocula volume (μL)
<i>Caloneis schorederi</i>	21.0±2.5	22	564
<i>Rhaphoneis</i> sp.	8.8±1.7	235	54
<i>Cocconeis californica</i> (Large type)	23.8±9.1	10	1262
<i>Cocconeis californica</i> (Small type)	4.0±0.6	105	118
<i>Tetracelmis suecica</i>	7.9±1.5	48	48

실험 2.

전복 치패의 먹이효율 실험을 토대로 효과적이었던 부착 구조 2종(*C. schorederi*, *Rhaphoneis* sp.)과, 담녹조 1종(*Tetracelmis suecica*)을 대상으로 하여 위 실험 1동일한 방법으로 종간 경쟁을 조사하였다. 통계처리 역시 위 실험 1과 동일한 방법으로 실시하였다.

마. CO₂ 공급 여부와 공급 시간에 따른 부착 구조의 성장조사

실험 1

앞에서의 부착구조 4종을 대상으로 하여 CO₂의 공급 여부에 따라 성장의 차이가 어떠한지를 조사하였다. CO₂의 공급은 에어 공급량의 약 0.5%로 공급하였고, 공급시간은 22 hr/day하여 배양하였다. 배양은 f/2 배지를 사용하였고, 조도는 1000 lux, 염분은 30‰, 접종량은 1 L 유리 플라스크 용기에 600 mL의 양으로 총 volume으로 하고, 접종량은 총 volume의 20~30%로 접종하였다. CO₂를 공급전과 공급후의 pH의 변화를 알아보기 위해 pH를 측정하였고, CO₂공급 여부에 따른 부착 구조의 성장은 배양중인 샘플을 충분히 흔들어서 부착 구조가 뭉쳐지지 않은 상태에서 매일 10 mL의 샘플을 수거하여 chlorophyll-a를 측정하였다. 측정 처리 방법은 앞의 방법과 동일하게 하였다.

실험 2

앞에서의 부착 구조 2종과, 담녹조류 1종을 대상으로 하여 CO₂의 공급 여부에 따른 부착 구조2종과, 녹조 1종의 성장의 차이를 조사하였다. CO₂의 공급 시간은 8시간으로 하고, 용기는 2 L 유리 플라스크에 총 volume이 1.2 L가 되도록 하고, 그 외 방법 및 통계처리는 앞의 방법과 동일하게 하였다.

바. 농업비료를 이용한 경제적 배지 개발

농업용 비료를 이용한 부착구조류의 경제적 배지를 개발하기 위하여, *C. schroederi* 를 대상으로 농업용 비료와 oyster powder를 이용하여 조사하였다.²⁵ 기본 배지(해수(30%) 1 L에 복합비료 0.0417 g, 요소비료 0.0344 g, 질산염 200 mg, CuSO₄ 0.0588 mg을 첨가), 기본 배지 + Na₂SiO₃ (50mg), 기본 배지(950 mL) + oyster powder extract (50 ml), 기본 배지 (900 mL) + oyster powder extract (100 mL), 기본 배지 + 규산질 비료(200 mg) 및 기본 배지 + 규산질 비료(400 mg)로 구분한 배지를 이용하여 성장을 비교하였다. oyster powder extract는 oyster powder 100 g을 증류수 200 mL에 넣고 73°C에서 2시간 30분 끓여 식힌 후 상등액을 GF/C filter로 여과하여 이용하였다. 배양은 6 hole tissue cell chamber (총량 10 mL), 20°C, 1,000 lux 연속 조명하에서 14일간 3반복으로 실험하였으며, 성장은 매일 10 mL의 샘플을 수거하여 chlorophyll-a를 앞에서와 같은 방법으로 측정하였다.

사. 부착생태에 따른 재 부착률

1, 2년차 연구를 통하여 최종 선정된 3종(*C. schroederi*, *Rhaphoneis* sp., *T. suecica*)을 대상으로 하여 그물을 설치한 실험구와 설치하지 않은 실험구에 따른 부착률 실험을 하였다.

그물설치 실험구에 사용된 net 하나의 면적은 약 0.25 m² 였고, net 8장으로 하여 면적이 2 m²가 되도록 하였고, 19 L 사각수조에 f/2 배지 17L, 접종밀도는 *C. schroederi* 10.6×10⁴ cells/mL, *Rhaphoneis* sp. 7.84×10⁴ cells/ mL, *T. suecica* 7.8×10⁴ cells/ mL이 되게 하였다. 에어공급은 에어스톤을 사용하였고 실험 시작 7일 후 부착유형별(그물부착, 벽면부착, 부유) 부착률을 조사하였다. Net와 배양수조 벽면에 부착한 미세조류는 붓으로 수거하여 세척 후 침강시켜 수거하였으며, 부착하지 않은 것을 부유로 간주하여 분리 후 원심분리기로 침강시켜 수거하였다. 배양은 배양실에서 1000 lux 연속조명하에서 실시하였다. 온도는 20°C, 염분은 33‰으로 하였고, 실험은 3반복 실시하였다.

부착 구조의 부착률은 다음 식을 이용하였다.

$$\text{전체 부착률(\%)} = \{(\text{net-ad} + \text{ad-surface}) / (\text{net-ad} + (\text{ad-surface}) + (\text{floating}))\} \times 100$$

$$\text{그물 부착률(\%)} = \{ \text{net-ad} / (\text{net-ad} + (\text{ad-surface}) + (\text{floating})) \} \times 100$$

$$\text{벽면부착률(\%)} = \{ \text{ad-surface} / (\text{net-ad} + (\text{ad-surface}) + (\text{floating})) \} \times 100$$

(net-ad : net에 부착한 미세조류의 세포수, ad-surface : 벽면에 부착한 미세조류의 세포수, floating : 부유한 미세조류의 세포수)

7. 부착미세조류의 농축 및 저장기술 개발

가. 미세조류의 농축기술 개발

미세조류의 농축기술을 개발하기 위하여 3종(*Caloneis schroederi*, *Rhaphoneis* sp., *Tetraselmis suecica*)을 대상으로 하여 에어중단 후의 시간별 수심별 침강률을 조사하였다. 실험은 3반복으로 20℃ 배양실에서 20 L 원형수조(지름 30.5 cm×29.3 cm)에 수위 24 cm, f/2배지, 1,000 lux, 33‰로 통기배양하던 수확 직 전의 미세조류 수조의 에어를 중단시키고 그 시점을 0시간으로 하여 이 후 3, 6, 9, 12, 24시간 간격으로 수심을 표층, 10, 20 cm로 나누어 각각의 수심에서 배양액을 일회용 피펫으로 3 mm씩 3반복 채수하여 현미경 하에서 hemacytometer로 계수하였다. 24시간 후 바닥까지 완전히 침강되었다고 판단되는 미세조류의 수확률을 구하기 위하여 배양수조를 3반복으로 하여 siphon으로 위에서부터 배양액을 걸러낸 다음 *C. schroederi*와 *Rhaphoneis* sp.는 500 mL로, *Tetraselmis* sp.는 2.9 L로 농축하였다. 농축된 각각의 미세조류와 걸러진 배양액 속의 미세조류를 각각 입체현미경 하에서 hemacytometer를 이용하여 계수하고 총량과 수확량을 구하였다. 미세조류의 수확량 및 수확률은 다음 식을 이용하였다.

총 세포수: 수확된 세포수+여과된 세포수

$$\text{수확률(\%)} = (\text{수확된 세포수} / \text{총 세포수}) \times 100$$

나. 농축 미세조류의 저장기술 개발

최종 선별된 미세조류 3종의 저장밀도, 온도, 기간 및 glycerol 첨가 유무에 따른 성장률을 측정하였다. 각 종별 밀도를 높고 낮은 두 실험구로 나누어(Table 11) 온도는 4, 0, -20, -80℃, 저장기간은 2, 4, 8, 12주, 10% glycerol로 하여 첨가와 무첨가 실험구로 나누어 3 mL씩 3반복 저장하였다. 저장되었던 미세조류를 실온에서 자연 해동시켜 각 반복구에 f/2배지 12 mL를 첨가한 후 각 실험구별 3 mL씩 3반복, 15일간 배양 실험하였다. 용기는 12-well cell chamber를 사용하였고, 배양은 low temperature incubator에서 조도 1000 lux에서 연속조명하에 실시하였다. 성장측정은 3, 6, 9, 12, 15일로 나누어 수확한 뒤, 10 mL centrifuge tube에 넣고 원심분리

후 위 상층액을 버린 후, 90%의 아세톤 10 mL를 넣고 24시간 냉장보관 뒤, -80°C 초저온 냉동고에 저장한 후 spectrophotometer를 사용하여 chlorophyll-a를 측정하였다. 실험은 3반복으로 하였다.

Table 11. Inocula density of microalgae for storage

(unit: mg/m³)

Species	High density	Low density
<i>Caloneis schroederi</i>	163.6±15.4	84.1±12.5
<i>Rhaphoneis</i> sp.	87.0±13.3	41.9±6.9
<i>Tetraselmis</i> sp.	66.8±10.6	28.4±4.5

다. 저장한 미세조류의 재접종을 통한 성장 조사

미세조류 3종(*C. schroederi*, *Rhaphoneis* sp., *T. suecica*)을 대상으로 배양시의 부착유형별(그물부착, 벽면부착, 부유)로 나누어 수확한 후 4°C에 2, 4, 8주 보관한 후 재접종하여 성장을 조사하였다.

실험 수조는 10 L 사각수조에 파판(가로 15 cm×세로 16.5 cm×두께 0.05 cm) 9장을 넣고 f/2 배지 8 L에 접종밀도는 Table 12와 같이 하였다. 에어공급은 에어스톤을 사용하였고 실험 시작 7일 후 파판에 붙은 미세조류와 배양수조 벽면에 부착한 것은 붓으로 수거하였고, 부유한 것은 분리한 후 원심분리기로 침전시켜 수거하였다. 배양은 배양실에서 1000 lux 연속조명하에서 실시하였다. 온도는 20°C, 염분은 33‰으로 하였고, 실험은 3반복 실시하였다.

Table 12. Re-inocula density of microalgae

(unit: ×10⁴cells/ mL)

Attached type	<i>Caloneis schroederi</i>	<i>Rhaphoneis</i> sp.	<i>Tetraselmis suecica</i>
Net attached	0.8	3.6	1.6
Well surface attached	0.5	2.4	1.1
Floating	0.3	1.3	0.6

라. 농축미세조류의 시제품 개발

전복종묘생산을 위한 현장실험을 위하여 1, 2년차 실험을 통하여 전복의 먹이생물로 적합하다고 판단된 3종(*C. schroederi*, *Rhaphoneis* sp., *T. suecica*)의 농축시제품을 개발하기 위하여 20°C, f/2배지, 조도 1000 lux, 염분 33‰로 20 L 용기에서 대량배양한 후 3종의 미세조류를 농축실험을 통하여 도출된 결과를 이용하여 각각 완전히 침전시킨 후 수거하였다.

8. 기술 이전 및 산업화를 위한 pilot 규모의 전복종묘 생산

본 연구과제에서 도출된 기술들을 산업체에 이전하기 위하여 시제품으로 개발된 종(*Caloneis schroederi*, *Rhaphoneis* sp., *Tetraselmis suecica*)과 혼합미세조류(*Caloneis schroederi*+*Rhaphoneis* sp.+*Tetraselmis suecica*)를 해림수산의 실험수조에 접종하여 pilot 규모의 현장 실험을 수행하였다. 시제품으로 제작된 3종의 부착 구조를 대상으로 참전복 유생의 부착률, 생존율 및 초기 성장을 조사하였다. 실험은 2005년 5월 해림수산에서 수정 후 120 시간 지난 veliger 유생을 사용하였고 미세조류는 종류별로 4톤 수조에 약 3톤(5×1×0.6 m³)의 여과해수를 채우고 평판 600장(30×33 cm²), 굴곡파판(37.8×32.8 cm²) 120장씩 넣고 f/2배지를 접종하여 12일간 배양하여 전복파판에 얇은 막을 형성하도록 하였다. 3종 혼합구는 각 실험종 같은 비율로 섞어서 넣고 배양하였고, 대조구는 기존 양식어민들이 하는 방법대로 미세조류의 접종 없이 여과해수만 통과시켰다.

미세조류를 배양한 수조에 유생을 넣기 전 남아있는 배지의 성분을 없애기 위해서 24시간 여과해수를 유수시키고 유생을 파판당 약 250마리를 기준으로 넣었다. 실험기간은 총 19주로 하였고 실험기간동안 환경요인은 수온, 염분, pH, 영양염 등을 매주 측정하였다. 실험은 2반복 실시하였다.

각 수조의 파판에 부착한 부착미세조류 조사를 위하여 파판 3개를 현장에서 붓을 사용하여 표면부착미세조류를 채집하고, 기타생물은 50 mL hole pipette을 이용하여 수조 바닥을 250 mL씩 조사하였으며 부유생물은 배수구쪽의 해수 3 L를 20 μm sieve로 250 mL 농축하여 조사하였다. 세포밀도 및 종 동정은 현미경 하에서 hemacytometer를 이용하였다. 전복부착치패의 각장은 매주 30개체 이상씩 해부현미경을 이용하여 측정하였으나 호수공이 생성된 후부터는 디지털버니어캘리퍼를 이용하여 10 μm단위까지 계측하였다. 유생의 부착수는 매주 수조별 수조의 위치를 상(주수구쪽), 중(중앙), 하(배수구쪽)로 나누어 각 위치별 파판 3장씩 총 9장을 계수하였다. 전복유생을 넣은 후 치패의 이동이 심해진 5주째부터는 보다 정확한 생존율 및 성장을 조사하기 위하여 수조별 굴곡파판 45장(15×3틀)을 상(주수구쪽), 중(중앙), 하(배수구쪽)의 위치에 나누어 매달았다. 매달 이후에도 부착수 및 각장 측정은 전과 동일하였으며 12주부터는

부착수를 전수 조사하였다. 실험 종료시인 15주째는 매단 파판 45장을 모두 수거하여 실험실로 운반 후 실험구별 각장, 각쪽, 전중 및 전장을 약 100개체씩 계측하였다. 배양했던 미세조류의 공급은 유생을 넣은 후 4주, 7주, 9주, 11주에 하였고 먹이생물을 넣은 후 각 수조는 24시간 정수 후 다시 유수하였다. 공급된 먹이생물의 밀도는 Table 13과 같다.

Table 13. Inocula density of microalge for the abalone larvae culture

(unit: $\times 10^4$ cells/ mL)

Species	Initial	4 week	7 week	9week	11 week
<i>Caloneis schroederi</i> ¹	56	30	38	40	42
<i>Rhaphoneis</i> sp. ²	93	40	60	62	59
<i>Tetraselmis suecica</i> ³	48	25	37	37	36
mixed (1+2+3)	5+24+11	4+19+10	4+19+10	3+14+7	5+24+11

9. 통계처리

이 모든 실험 결과의 통계처리는 SPSS (Version 11) 통계패키지를 이용하여 one-way ANOVA test (Duncan's test)로 실시하였다.

제 2절 연구수행 내용 및 결과

1. 동서남해의 부착규조류 발생 특성

가. 해수의 계절별 환경조사

전북 종묘생산을 위한 규조의 수조배양시 연안별 유용 부착규조류 종의 차이를 비교하기 위해 동·서·남해 각각 샘플링 지역을 선정하였다. 샘플지역은 울진, 부산, 완도, 부안의 4곳으로 각 지역의 실험시기별 수온, 염분, pH, 영양염(질산염, 인산염), chlorophyll-a 농도는 Table 14와 같다.

(1) 수온, 염분, pH

봄철 지역간의 수온의 범위는 13.9~16.6°C로 울진이 가장 높고 부안지역이 가장 낮은 경향

을 보였다. 여름의 경우 20.5~27.5°C의 범위를 보였으며 부안지역이 가장 높고 부산이 가장 낮는데 완도와 부산의 경우 여름철에 낮은 수온을 보이는 이유는 냉수대의 영향으로 생각할 수 있다. 가을철의 경우는 14.6~19.8°C의 범위로 울진과 부산이 높고 부안과 완도가 낮은 경향을 보인다. 겨울철의 경우에도 3.5~12.0°C의 범위로 울진과 부산이 부안과 완도보다 3°C이상 높은 수온을 보이는데 가을, 겨울철의 울진, 부산 지역의 수온이 높은 이유는 쿠로시오 해류의 영향으로 판단된다.

염분은 계절에 따라 큰 변화는 없으나 다른 지역에 비해 모든 기간에서 부안지역의 염분이 평균 2‰ 이상 낮은 경향을 보였다. 이는 서해역이 중국에서 유입되는 담수에 많은 영향을 받기 때문으로 보인다.

실험지역 해수의 pH는 전기간을 걸쳐 7.77~8.22의 범위를 보이고 있으며 계절과 실험 지역간의 뚜렷한 차이는 없었다

(2) 영양염

봄철 질산염 농도는 부산이 0.265 mg/L로 최대값을 보였고 울진이 0.032 mg/L로 제일 낮았다. 여름철에는 완도와 울진이 각각 0.024, 0.032 mg/L의 농도로 부안과 부산의 0.236, 0.210 mg/L보다 현저히 낮은 농도를 보였다. 가을철에는 부안이 0.242 mg/L로 최대값을 나타냈고 나머지 세 지역은 각각 0.131~0.143의 비슷한 농도 범위를 보였다. 겨울철 질산염 농도는 부안이 0.328 mg/L로 제일 높았고 울진이 0.040 mg/L으로 최저값을 보였다. 봄철을 제외하고 부안 지역의 질산염이 다른 지역보다 높은 경향을 보였는데 이는 중국과 내륙에서 흘러오는 육수의 영향을 받은 것으로 보인다.

계절과 지역에 따른 인산염 농도를 보면 봄철에는 완도지역이 0.018 mg/L로 최대치를 보이고 부안이 0.00 mg/L로 검출한계 이하의 최저값을 보였다. 여름철에는 부산지역이 0.021 mg/L로 최대였으며 역시 부안이 0.002 mg/L로 매우 낮은 농도를 보였다. 가을철의 결과를 보면 울진지역이 0.009 mg/L로 제일 낮은 값을 보였고 부산이 0.035 mg/L로 제일 높은 값을 보였다. 겨울철 인산염의 농도를 보면 울진이 0.01 mg/L로 제일 낮았고 나머지 지역은 0.023~0.028 mg/L로 서로 비슷한 높은 농도를 보였다. 인산염 농도는 봄, 여름철에는 부안, 가을, 겨울철에는 울진지역이 낮은 경향을 보였고 봄철에는 완도 여름부터 겨울까지는 부산지역의 인산염 농도가 높은 결과를 보였다.

Chlorophyll-a

봄철에는 울진지역이 0.66 mg/L으로 제일 낮으며 부산이 2.69 mg/L, 부안지역이 2.27 mg/L로 높은 값을 보였다. 여름철에는 울진지역이 0.19 mg/L로 낮은 함량을 보였으며 부산이 6.44 mg/L

로 최대 함량을 보였다. 가을철에는 울진이 0.13 mg/L으로 최저값을 부안이 2.34 mg/L로 최고 값을 보였으며 겨울철에는 울진이 0.14 mg/L로 최저값을, 완도가 1.91 mg/L로 최고 값을 보였다. 울진의 경우 전시기를 통해 가장 낮은 chlorophyll-a의 농도를 보였으며 봄철의 농도가 가장 높았다. 부안의 경우 봄과 가을의 chlorophyll-a 농도가 높았고 겨울철에 제일 낮은 경향을 보였으며 완도의 경우는 봄~가을은 비슷한 농도를 보였고 겨울철에 약간 높은 chlorophyll-a의 함량을 나타냈다. 부산의 경우 봄과 여름철의 chlorophyll-a 함량이 높았고 겨울철의 함량이 제일 낮은 편이었다.

Table 14. Coastal water quality of four areas

Season	Area	Temp. (°C)	Salinity (‰)	pH	N (mg/L)	P (mg/L)	Chlorophyll-a (µg/L)
Spring							
	Uljin	16.6	34.02	8.11	0.032	0.008	0.66
	Buan	13.9	31.43	7.92	0.204	0.000	2.27
	Wando	15.4	33.88	8.21	0.078	0.018	1.47
	Busan	14.6	33.50	7.77	0.265	0.011	2.69
Summer							
	Uljin	25.0	33.33	8.22	0.032	0.014	0.19
	Buan	27.5	31.03	8.22	0.236	0.002	1.75
	Wando	22.5	33.85	8.10	0.024	0.016	1.60
	Busan	20.5	32.29	7.78	0.210	0.021	6.44
Autumn							
	Uljin	18.6	33.21	7.97	0.143	0.009	0.13
	Buan	14.9	31.88	8.13	0.242	0.020	2.34
	Wando	14.6	33.36	7.98	0.131	0.011	1.52
	Busan	19.8	33.48	8.13	0.134	0.035	0.78
Winter							
	Uljin	11.1	33.14	8.16	0.040	0.010	0.14
	Buan	3.5	31.60	8.17	0.328	0.023	1.31
	Wando	7.8	33.92	8.15	0.240	0.028	1.91
	Busan	12.0	33.99	8.10	0.259	0.028	0.17

나. 부착규조류 발생조사

(1) 부착규조류 정성분석

실험기간을 통해 동정, 분류된 부착규조류는 총 191종으로 이들은 다시 2목 5아목 13과 37속 191종으로 구성되었으며 분류군 별로는 Pennales가 6과 26속 173종, Centrales가 7과 9속 18종으로 이루어졌다. 각 지역에 따른 종의 분류를 살펴보면 울진 지역은 2목 5아목 9과 25속 85종이었으며 *Navicula*, *Amphora*, *Achnanthes*속이 우점하였다. 부안지역은 총 2목 3아목 7과 24속 106종의 부착규조류를 발견 할 수 있었으며 *Navicula*, *Amphora*, *Licmophora*속이 우점하였고, 완도지역은 2목 4아목 7과 23속 85종, *Navicula*, *Fragilaria*, *Amphora*속이 우점하였다. 부산의 경우는 2목 4아목 12과 31속 105종으로 다른 지역보다 다양한 분류군의 부착규조류를 볼 수 있었는데 우점은 *Navicula*, *Amphora*속이었다. 계절별 해역별 출현종의 출현율은 Appendix I 과 같다.

(가) 봄철 부착규조류 출현종

봄철 각지역에서 동정, 분류된 부착규조류의 출현을 보면 봄철 울진지역의 부착규조류는 2주째에 30종, 4주 22종, 6주 21종, 8주 32종으로 총 63종의 규조류의 출현이 있었고 그중 우점종은 2주째의 *Navicula viridula*, *N. radiosa*, *Flagilia construens*, 4주 *N. radiosa*, *N. viridula*, 6주 *N. radiosa*, *N. grevillei* var. *monor*, *N. viridula*, 8주 *N. radiosa* var. *tenella*, *Stephanopyxis nipponica*였다. 부안지역의 봄철 부착규조류는 총 59종으로 2주째에 31종, 4주 23종, 6주 30종, 8주 23종의 출현이 있었고 우점종은 각각 2주째의 *Grammatophora angulosa*, *N. tumida*, 4주 *N. spicula*, *Nitzschia* sp., 6주 *N. radiosa*, *N. transitrans* f. *delicatula* var. *derasa*, 8주 *N. capitata*, *Gyrosigma fasciola* var. *arcuata*였다. 완도지역의 부착규조류의 출현은 총 64종으로 2주째에 43종의 출현이 있었고 4주, 6주, 8주 각각 25종, 19종, 24종의 부착규조류의 출현을 보였다. 그리고 우점종은 2주째 *Nitzschia petitiana*, *Flagilia psedonana*, 4주 *N. mollis*, *F. cylindrus*, 6주 *F. capucina*, *Achnanthes haukiana*, 8주 *F. islandica*, *F. cylindrus*였다. 부산지역의 부착규조류는 총 87종으로 2주째 40종, 4주 36종, 6주 36종, 8주 19종의 출현이 있었고 그중 우점종은 2주째 *N. radiosa* var. *tenella*, *N. cincta*, *Licmophora paradoxa*, 4주 *N. scutiformis*, *L. californica*, *F. capucina*, 6주 *N. rotaeana*, *N. pygmaea*, 8주 *Thalassiosira subtilis*, *Thalassiosira* spp.였다. 봄철 4지역에서의 부착규조류의 출현은 부산지역이 87종으로 제일 많으며 부안지역은 59종으로 제일 적은 경향을 보였다. 각 지역의 우점종은 서로 다른 경향을 보이고 있으며 그 중 *Navicula*와 *Flagilia*속의 우점도가 큰 편이었다.

(나) 여름철 부착규조류 출현종

여름철 각지역에서 동정, 분류된 부착규조류의 출현을 보면 울진지역의 부착규조류는 총 41종으로 2주째에 26종, 4주 25종, 6주 23종, 8주 23종의 출현이 있었고 우점종은 각각 2주째의 *N. incerta*, *N. rotaeana*, *N. gracilis*, 4주 *N. gracilis*, *N. rotaeana*, *N. cryptocephala*, 6주 *Amphora holsatica*, *Achnanthes haukiana*, *Melosira mummuloides*, 8주 *Amphora* sp., *Ac. haukiana*, *N. incerta*였다. 부안지역의 봄철 부착규조류는 총 61종으로 2주째 32종, 4주 32종, 6주 28종, 8주 22종의 출현이 있었고 그중 우점종은 2주째 *Licmophora tenuis*, *N. cinta* 4주 *N. spicula*, *L. tenuis* 6주 *N. spicula*, *Am. costata* 8주 *Am. coffeaformis*, *N. cryptocephala*였다. 완도지역의 부착 규조류의 출현은 총 60종으로 2주째에 30종의 출현이 있었고 4주, 6주, 8주 각각 29종, 30종, 29종의 부착규조류의 출현을 보였다. 그리고 우점종은 2주째 *F. capucaina*, *N. viridula* 4주 *F. cylindrus*, *F. oceanica* 6주 *F. cylindrus*, *Navicula* spp. 8주 *F. cylindrus*, *F. oceanica*였다. 부산지역의 부착규조류는 2주째에 30종, 4주 25종, 6주 36종, 8주 19종으로 총 65종의 규조류의 출현이 있었고 그중 우점종은 2주째의 *N. gracilis*, *Navicula* sp., 4주 *Diploneis* sp., 6주 *N. rotaeana*, *Navicula* spp., 8주 *Th. subtilis*, *Th. spp.*였다. 봄철 4지역에서의 부착규조류의 출현은 부산지역이 65종으로 제일 많으며 울진지역은 41종으로 제일 적은 경향을 보였다. 각 지역의 우점종은 서로 다른 경향을 보이고 있었다.

(다) 가을철 부착규조류 출현종

가을철 각지역에서 동정, 분류된 부착규조류의 출현을 보면 울진지역의 부착규조류는 2주째에 19종, 4주 23종, 6주 26종, 8주 12종으로 총 45종의 규조류의 출현이 있었고 그 중 우점종은 2주째의 *Ac. brevipes*, *Ac. hauckiana*, 4주 *Ac. brevipes*, 6주 *N. incerta*, *N. parvar*, 8주 *Ac. brevipes*, *Ac. hauckiana*, *Mastigolia elliptica*였다. 부안지역의 봄철 부착규조류는 총 51종으로 2주째에 23종, 4주 24종, 6주 18종, 8주 18종의 출현이 있었고 우점종은 각각 2주째의 *N. parvar*, *N. mollis*, 4주 *N. cinta*, *N. mollis*, 6주 *N. corymbosa*, *N. parvar*, 8주 *N. mollis*, *N. parvar*, *N. scutiformis*였다. 완도지역의 부착규조류의 출현은 총 45종으로 2주째에 17종의 출현이 있었고 4주, 6주, 8주 각각 20종, 22종, 22종의 부착규조류의 출현을 보였다. 그리고 우점종은 2주째 *Am. ovalis*, *Cocconeis scutellum*, *Nitzschia lorenzia*, 4주 *Am. ovalis*, *Am. spp.*, *N. scutiformis* Grunow, 6주 *Ac. delicatula*, *Am. ovalis*, *N. incerta*, *N. scutiformis*, 8주 *Am. coffeaformis*, *Am. ovalis*였다. 부산지역의 부착규조류는 총 40종으로 2주째 13종, 4주 17종, 6주 21종, 8주 21종의 출현이 있었고 그중 우점종은 2주째 *Am. coffeaformis*, *N. gracilis*, *N. parvar*, 4주 *Am. ovalis*, *Am. coffeaformis*, 6주 *N. incerta*, *Am. coffeaformis*, *N. gracilis*, 8주 *N. corymbosa*, *Am. coffeaformis*, *N. parvar*였다. 봄철 4지역에서의 부착규조류의 출현은 부안

지역이 51종으로 제일 많으며 부산지역은 40종으로 제일 적은 경향을 보였다. 각 지역의 우점종은 서로 다른 경향을 보이고 있으며 그 중 *Navicula*와 *Amphora* 속의 우점도가 큰 편이었다.

(라) 겨울철 부착규조류 출현종

겨울철 각지역에서 동정, 분류된 부착규조류의 출현을 보면 봄철 울진지역의 부착규조류는 총 46종으로 2주째 19종, 4주 23종, 6주 26종, 8주 12종의 출현이 있었고 그 중 우점종은 2주째 *Ac. brevipes*, *Ac. hauckiana*, 4주 *Ac. brevipes*, 6주 *N. incerta*, *N. parvar*, 8주 *Ac. hauckiana*, *Ac. brevipes*, *M. elliptica*였다. 부안지역의 봄철 부착규조류는 총 33종으로 2주째에 13종, 4주 17종, 6주 15종, 8주 15종의 출현이 있었고 우점종은 각각 2주째의 *Am. exigua*, *Am. ovalis*, *Ni. fasciculata*, 4주 *N. incerta*, *Ni. fasciculata*, *N. gracilis*, 6주 *Ni. fasciculata*, *N. gracilis*, *N. incerta*, 8주 *N. incerta*, *Ni. pevillardi*, *N. gracilis*였다. 완도지역의 부착규조류의 출현은 총 39종으로 2주째에 19종의 출현이 있었고 4주, 6주, 8주 각각 16종, 17종, 17종의 부착규조류의 출현을 보였다. 그리고 우점종은 2주째 *Ac. brevipes*, *F. capucina*, *Am. coffeaformis*, 4주 *N. incerta*, *N. corymbosa*, *Ac. brevipes*, *Gomphonema laceolatum*, 6주 *G. laceolatum*, *Ac. brevipes*, *Ni. sigma*, 8주 *G. laceolatum*, *Ni. pevillardi*, *Ac. brevipes*였다. 부산지역의 부착규조류는 2주째에 16종, 4주 22종, 6주 21종, 8주 20종으로 총 48종의 규조류의 출현이 있었고 그중 우점종은 2주째의 *N. cincta*, *N. parvar* 4주 *Diploneis schmiditii*, *N. gracilis*, *N. mollis* 6주 *N. capitata*, *N. radiosa*, *N. mollis*, 8주 *Ni. fructulum*이었다. 겨울철 4지역에서의 부착규조류의 출현은 부산과 울진지역이 각각 48, 46종으로 높았으며 부안지역은 33종으로 제일 낮은 경향을 보였다. 각 지역의 우점종은 서로 다른 경향을 보이고 있으며 그 중 *Achnanthes*, *Navicula*, *Nitzschia* 속의 우점도가 큰 편이었다.

(2) 부착규조류 정량분석

(가) 계절별 부착규조류 출현량

봄철 각지역에 설치된 plate의 부착규조류 출현량은 Table 15와 같다. 2주째의 부착규조류량은 부안이 8.3×10^3 cells/mm²으로 가장 높았고 부산이 0.6×10^3 cells/mm²로 가장 낮았다. 울진의 경우 0.7×10^3 cells/mm²로 부산과 비슷하게 낮은 출현량을 보였고 완도는 2.4×10^3 cells/mm²였다. 4주째의 출현량은 울진지역이 471.1×10^3 cells/mm²로 가장 높았으며 부안, 완도, 부산 순으로 출현량이 낮아졌고 특히 부산은 1.2×10^3 cells/mm²로 가장 낮았다. 6주째의 출현량은 울진지역이 368.6×10^3 cells/mm²로 가장 높았으며 부안 89.8×10^3 cells/mm², 완도 25.1×10^3 cells/mm², 부산

5.9×10³ cells/mm² 순이었다. 8주째의 경우에도 울진, 부안, 완도, 부산이 각각 255.8×10³ cells/mm², 157.8×10³ cells/mm², 44.3×10³ cells/mm², 1.1×10³ cells/mm²로 4주, 6주의 경우와 같은 경향을 보였다.

여름철 실험지역의 부착규조류의 출현량은 2, 4주에는 울진이, 6, 8주에는 완도가 높은 출현량을 보였다. 각 실험지역별로 살펴보면 2주째에는 울진이 392.×10³ cells/mm², 부안 69.9×10³ cells/mm², 완도 1.6×10³ cells/mm², 부산 0.1×10³ cells/mm²였고 4주째에는 울진, 부안, 완도, 부산지역이 각각 512.4×10³ cells/mm², 69.9×10³ cells/mm², 2.8×10³ cells/mm², 0.7×10³ cells/mm²의 출현량을 보여 2주째의 출현량과 같은 경향을 보였다. 6주의 결과를 보면 완도지역이 206.6×10³ cells/mm²로 가장 높은 출현량을 보였고 부안, 울진, 부산 순이었다. 8주에서도 완도가 460.8×10³ cells/mm²로 가장 높은 출현량을 보였고 울진 101.7×10³ cells/mm², 부안 98.5×10³ cells/mm², 부산, 1.1×10³ cells/mm² 순이었다.

Table 15. Variation of standing crop of benthic diatoms on plate

(unit : 10³ cells/mm²)

Season	Area	Weeks				Sum
		2	4	6	8	
Spring						
	Uljin	0.7	471.1	368.6	255.8	1096.2
	Buan	8.3	92.2	89.8	157.8	348.1
	Wando	2.4	7.8	25.1	44.3	79.6
	Busan	0.6	1.2	5.9	1.1	8.8
Summer						
	Uljin	392.5	512.4	52.0	101.7	1058.6
	Buan	18.7	70.0	66.7	98.5	253.9
	Wando	1.6	2.8	206.6	460.8	671.8
	Busan	0.1	0.7	5.9	1.1	7.8
Autumn						
	Uljin	76.3	200.4	510.4	96.0	883.1
	Buan	20.4	271.3	161.3	152.5	605.5
	Wando	6.7	249.3	410.7	261.1	927.8
	Busan	0.5	15.0	34.6	110.7	160.8
Winter						
	Uljin	6.9	210.2	401.9	528.0	1147.0
	Buan	9.6	114.4	167.2	163.4	454.6
	Wando	12.4	127.1	199.5	149.6	488.6
	Busan	6.7	16.6	184.4	55.7	263.4

가을철 지역별 부착규조류의 출현량은 2주에는 울진지역이 76.3×10^3 cells/mm²로 가장 높은 출현량을 보였고 부안, 완도, 부산 순이었다. 4주에는 부안이 271.3×10^3 cells/mm²로 가장 높은 출현량을 보였고 완도, 울진 지역은 각각 249.3×10^3 cells/mm², 200.0×10^3 cells/mm²였고 부산은 15.0×10^3 cells/mm²으로 가장 낮은 출현량을 보였다. 6주의 출현량을 보면 울진이 510.4×10^3 cells/mm²로 가장 높았고 완도가 410.7×10^3 cells/mm², 부안이 161.3×10^3 cells/mm², 부산이 34.6×10^3 cells/mm²의 순이었다. 8주에는 완도가 261.1×10^3 cells/mm²로 가장 높았고 부안, 부산, 울진이 각각 152.5×10^3 cells/mm², 110.7×10^3 cells/mm², 96.0×10^3 cells/mm²의 출현량을 보였다.

겨울철 실험지역의 부착규조 출현량은 2주째에는 완도가 가장 높았고 4주부터는 울진의 출현량이 높은 경향을 보였다. 2주에는 완도지역이 12.4×10^3 cells/mm², 부안 9.6×10^3 cells/mm², 울진 6.9×10^3 cells/mm², 부산 6.7×10^3 cells/mm²의 출현량을 보였고 4주에는 울진, 완도, 부안, 부산 순으로 출현량이 높았다. 6주에는 울진지역이 401.9×10^3 cells/mm²로 출현량이 가장 높았으며 완도, 부산, 부안이 각각 199.5×10^3 cells/mm², 184.4×10^3 cells/mm², 167.2×10^3 cells/mm²의 출현량을 보였다. 8주에는 울진지역이 528.0×10^3 cells/mm²이 가장 높았고 부안, 완도, 부산 순으로 높은 출현량을 보였다.

(3) 우점종의 크기별 분포

계절별 비교

실험기간 동안 출현한 종들 중에서 우점종들을 크기별로 구분하여 그 분포를 계절별로 비교하였다(Table 16).

봄철의 경우 크기가 0~10 μ m의 것은 완도가 11.77%로 가장 높은 분포를 보였고 울진에서 2.34%의 분포를 보였으나 부안과 부산의 경우는 없었다. 11~20 μ m의 크기의 것은 울진과 부안, 부산이 각각 11.31%, 15.22%, 20.09%였고 완도의 경우는 없었다. 21~30 μ m는 전 지역에서 가장 많은 분포를 나타내는 크기 범위로 부산에서 60.38%로 가장 많은 분포를 보였으며 울진, 부안, 완도 각각 44.37%, 43.70%, 45.42%였다. 31~40 μ m의 경우 울진, 부안, 완도가 각각 6.34%, 14.13%, 14.48%였고 부산은 그 범위를 보이는 우점종이 없었다. 41~50 μ m의 경우는 울진에서 35.00%, 부안에서 19.90%, 완도에서 18.27%, 부산에서 11.30%로 울진이 많은 분포를 보였다. 50 μ m 이상 되는 우점종은 울진, 부안, 완도, 부산 각각 0.58%, 7.05%, 10.04%, 8.23%였다.

여름철은 봄철과 같이 0~10 μ m의 우점종은 울진과 완도에서만 보였고 각각 7.80%, 6.41%였다. 울진과 부안의 경우 크기 범위중 11~20 μ m의 범위에서 가장 많은 분포를 보였으며 각각 52.40%, 55.48%였고 완도와 부산은 24.42%, 27.77%였다. 21~30 μ m의 크기는 완도와 부산이

Table 16. Composition (%) of dominant benthic microalgae by size in spring and summer

Size (μm)	Spring				Summer			
	Uljin	Buan	Wando	Busan	Uljin	Buan	Wando	Busan
0_10	2.34	0.00	11.77	0.00	7.80	0.00	6.41	0.00
11_20	11.37	15.22	0.00	20.09	52.40	55.48	24.42	27.77
21_30	44.37	43.70	45.42	60.38	26.11	4.97	43.23	70.00
31_40	6.34	14.13	14.48	0.00	8.91	6.12	21.16	2.22
41_50	35.00	19.90	18.27	11.30	4.78	2.68	3.84	0.00
50_	0.58	7.05	10.04	8.23	0.00	30.75	0.94	0.00

가장 많이 분포하는 범위로 각각 43.23, 70.00%를 차지하였고 울진은 26.11%, 부안은 4.97%로 제일 적었다. 31~40 μm 의 경우 완도가 21.16%로 지역중에 제일 높았으며 나머지 울진, 부안, 부산은 각각 8.91%, 6.12%, 2.22%였다. 41~50 μm 의 범위에서는 울진, 부안, 완도가 각각 4.78%, 2.68%, 3.84%의 범위를 보였고 부산의 경우는 없었다. 크기가 50 μm 이상인 우점종은 부안에서 30.75%로 높았으며 부안과 부산은 출현하지 않았고 완도는 0.94%로 아주 낮았다.

가을철과 겨울철의 크기분포는 Table 17과 같다. 가을철의 경우 11~20 μm 의 범위가 전지역에서 가장 많은 분포를 보였고 울진은 11~30 μm , 부안은 11~40 μm , 완도는 0~20 μm , 부산은 11~30 μm 의 범위에서 대부분의 우점종이 분포하였다. 0~10 μm 는 완도만 7.1%의 분포를 보였고 다른 지역에서는 나타나지를 않았다. 11~20 μm 는 완도와 부산이 각각 87.96%, 79.33%로 가장 많은 분포율을 보였으며 울진은 37.98%, 부안은 30.73%였다. 21~30 μm 의 범위에서는 울진이 33.04%로 제일 많은 분포를 보였으며 부안, 완도, 부산은 각각 27.25%, 0.67%, 17.36%를 나타내었다. 31~40 μm 의 경우 부안이 32.33%로 최대였고 울진과 완도는 각각 16.95%, 3.66%였으며 부산의 경우는 이 범위내의 분포가 없었다. 41~50 μm 의 범위에서는 울진만이 11.14%의 출현을 보였고 나머지 지역에서는 분포가 없었다. 50 μm 이상에서는 울진, 부안, 부산이 0.89%, 9.79%, 3.32%였으며 완도의 경우 이 범위내에서 출현이 없었다.

겨울의 우점종 크기는 울진을 제외한 세 지역에서 11~30 μm 의 범위를 가지는 우점종이 대부분을 차지하였고 울진은 11~50 μm 까지 서로 비슷한 분포를 보였다. 0~10 μm 의 범위에서는 네지역 모두 출현이 없었으며 11~20 μm 의 경우는 부안이 46.39%로 가장 많은 분포를 보였고 그 외에 완도, 부산이 울진 순으로 각각 37.09%, 36.33%, 23.01%의 분포를 보였다. 21~30 μm 범위에서는 부산과 완도가 각각 47.46%, 39.76%로 많은 분포를 나타냈으며 울진과 부안은 각각 26.42%, 22.26%였다. 31~40 μm 에서는 울진이 26.73%를 차지하였고 부산, 부안, 완도가 각각 13.32%, 5.59%, 3.10% 순이었다. 41~50 μm 는 울진과 부안만이 각각 23.19%와 2.53%를 차지했고 나머지 지역에서는 출현하지 않았다. 50 μm 이상의 범위에서는 부안과 완도가 각각

23.22%, 20.05% 였으며 부산이 2.90%, 울진이 0.66%로 낮았다.

전체적으로 비교해 볼 때 봄철에서 가을철의 경우 0~10 μm 범위의 작은 크기의 우점종이 다른 지역에 비해 완도지역에서 많이 분포함을 알 수 있었으며 그 외 지역에서는 울진에서만 봄철과 여름철에서 출현을 보였다. 봄철에는 21~30 μm 범위의 종들이 많은 분포를 나타내고 있고 여름철에는 울진과 부안은 11~20 μm 크기 범위의 우점종이, 완도와 부산은 21~30 μm 크기의 우점종이 많았다. 그리고 가을철에는 완도와 부산이 경우 특히 11~20 μm 크기의 우점종이 대다수를 차지하고 있었고, 울진의 경우는 11~30 μm 가, 부안의 경우는 11~40 μm 가 각 범위내에서 비슷한 분포를 하고 있었다. 겨울철의 경우 울진에서는 11~50 μm 크기 범위에서 각각 비슷하였고, 부안은 11~20 μm 가 많은 범위를 나타내었고 완도와 부산은 11~30 μm 크기의 우점종들이 대부분이었다.

Table 17. Composition (%) of dominant benthic microalgae by size in autumn and winter

Size (μm)	Autumn				Winter			
	Uljin	Buan	Wando	Busan	Uljin	Buan	Wando	Busan
0_10	0.00	0.00	7.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11_20	37.98	30.73	87.96	79.33	23.01	46.39	37.09	36.33
21_30	33.04	27.25	0.67	17.36	26.42	22.26	39.76	47.46
31_40	16.95	32.22	3.66	0.00	26.73	5.59	3.10	13.32
41_50	11.14	0.00	0.00	0.00	23.19	2.53	0.00	0.00
50_	0.89	9.79	0.00	3.32	0.66	23.22	20.05	2.90

지역별 비교

실험기간동안 출현한 우점종들을 크기별로 구분한 뒤 그 분포를 지역별로 비교한 결과는 Table 18과 같다.

울진의 경우 봄철과 여름철에 0~10 μm 크기의 작은 우점종들이 존재하였으나 가을과 겨울철에는 그 출현이 없었다. 봄철에는 12~30 μm 와 14~50 μm 크기의 우점종들이 다수 분포하였고 여름철에는 11~20 μm 크기의 우점종이 50 % 이상을 차지하였다. 가을철에는 우점종의 크기가 11~30 μm 의 것이 많았으며 겨울철에는 11~50 μm 사이의 우점종들이 고루 분포되어 있었다.

부안의 우점종 크기별 분포를 보면 먼저 0~10 μm 의 것은 분포하지 않았고 주로 11~30 μm 의 것들이 대부분의 분포를 차지하고 있었다. 봄철에는 21~30 μm 크기의 것이 43.7%로 다수였으며 여름철에는 11~20 μm 가 55.48%, 50 μm 이상의 것이 30.75%로 다수를 차지하고 있었다.

가을철에는 11~40 μm 사이의 것들이 27.25~32.22%의 분포율을 보였으며 겨울철에는 11~20 μm 가 46.39%로 제일 많은 분포율을 나타냈다.

완도의 경우는 다른 지역과 달리 봄철부터 가을철까지 0~10 μm 의 작은 크기의 우점종들이 분포해 있었으며 봄철과 여름철에는 21~30 μm 의 것이 각각 45.42%, 43.23%의 점유율을 보였으며, 가을철에는 11~20 μm 가 87.96%로 대부분을, 겨울철에는 11~30 μm 가 37.09~39.76%를 보여 이들 크기가 각 지역 우점종들의 분포가 제일 많은 것으로 나타났다.

부산은 부안지역과 같이 전 계절동안 0~10 μm 크기의 우점종이 분포하지 않았다. 봄철과 여름철에는 21~30 μm 크기의 우점종이 각각 60.38%, 70.00%, 가을철에는 11~20 μm 의 것이 79.33%로 대부분을 차지하고 있었고 겨울철에는 11~20 μm , 21~30 μm 의 우점종들이 각각 36.33%, 47.46%의 점유율을 나타냈다.

Table 18. Composition (%) of dominant benthic microalgae by size during experiment

Size (μm)	Uljin				Buan			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
0_10	2.34	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11_20	11.37	52.40	37.98	23.01	15.22	55.48	30.73	46.39
21_30	44.37	26.11	33.04	26.42	43.70	4.97	27.25	22.26
31_40	6.34	8.91	16.95	26.73	14.13	6.12	32.22	5.59
41_50	35.00	4.78	11.14	23.19	19.90	2.68	0.00	2.53
50_	0.58	0.00	0.89	0.66	7.05	30.75	9.79	23.22
Size (μm)	Wando				Busan			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
0_10	11.77	6.41	7.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11_20	0.00	24.42	87.96	37.09	20.09	27.77	79.33	36.33
21_30	45.42	43.23	0.67	39.76	60.38	70.00	17.36	47.46
31_40	14.48	21.16	3.66	3.10	0.00	2.22	0.00	13.32
41_50	18.27	3.84	0.00	0.00	11.30	0.00	0.00	0.00
50_	10.04	0.94	0.00	20.05	8.23	0.00	3.32	2.90

다. 색소분석

(1) 각 계절별, 지역별 전체 색소량 비교

울진, 부안, 완도, 부산 4개 지역의 계절별 시간에 따른 전체 색소량의 변화를 구하였다 (Table 19).

봄철의 경우 2주에는 완도지역이 912.12 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 로 제일 높았으며 4주, 6주, 8주에는 울진지역

이 각각 908.21, 1546.02, 1413.54 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 실험지역 중 제일 높은 색소량을 보였다. 울진과 부산 지역의 경우 2주부터 6주째 까지 증가하다 감소하는 경향을 보였으며 완도지역은 2주째 높았다가 감소하여 다시 6주째부터 증가하는 경향을 보였다. 부안의 경우 2주부터 6주까지 조금씩 증가하다가 6주부터 급격히 증가하는 경향을 보였다.

여름철의 경우는 2주와 4주에는 울진지역이 각각 1067.92, 1292.52 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 가장 높았고 6주와 8주에는 완도가 각각 726.25, 1182.10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 제일 높은 색소량을 보였다. 울진의 경우 4주째까지 증가하다 감소하여 6주째 다시 증가하는 경향을 보였고 완도와 부산의 경우는 지속적인 증가를, 부안의 경우 2주째부터 감소하는 경향을 보였다.

가을철의 색소량은 2주째는 부안이 625.39 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 제일 높고 4주부터 6주까지는 울진이 각각 1270.68, 1619.35 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로, 8주에는 다시 부안이 1348.93 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 으로 제일 높았다. 울진과 완도의 경우 6주째까지 증가하다 감소하는 경향을 보였고 부안은 4주째까지 증가하다 감소하여 다시 8주째 증가하는 경향을, 부산은 계속적으로 증가하는 경향을 보였다.

겨울철의 경우 2주째는 부산이 142.63 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 으로 제일 높았으며 2주째는 울진에서 1456.63 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 6주째와 8주는 다시 부산에서 각각 2184.55, 2293.53 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 으로 가장 높은 색소함량을 나타내었다. 울진과 완도의 경우 6주째까지 증가하다가 8주째에 감소하는 경향을 보였고 부산과 부안은 8주까지 지속적인 증가를 보였다.

Table. 19. Total pigment of each area during experimental period

(unit : $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

Area	Spring				Summer			
	2W	4W	6W	8W	2W	4W	6W	8W
Uljin	229.23	908.21	1546.02	1413.54	1067.92	1292.52	336.86	1054.3
Buan	7.87	22.31	51.1	433.45	149.99	1023.02	678.88	626.29
Wando	912.12	639.44	522.94	991.38	159.27	368.05	726.25	1182.1
Busan	3.29	43.97	253.31	3.83	1.78	2.41	6.16	289.11
Area	Autumn				Winter			
	2W	4W	6W	8W	2W	4W	6W	8W
Uljin	195.41	1270.68	1619.35	1233.84	31.52	1456.63	2049.59	1526.27
Buan	625.39	1188.13	638.53	1348.93	24.63	309.64	760.82	1452.06
Wando	54.92	390.51	1378.22	661.77	59.31	424.4	790.18	570.39
Busan	13.57	152.03	517	672.98	142.63	1104.13	2184.55	2293.53

W: week

(2) 수온과 각 계절별, 지역별 색소량의 비교

실험기간동안의 수온변화, 계절별 색소량의 변화 그리고 지역별 색소량의 변화를 비교하였다. 먼저 각 지역의 계절별 평균 색소량과 수온과의 관계를 비교하였다(Table 20, 21).

봄철 수온의 변화는 13.9~16.6℃로 울진이 제일 높았으며 부안이 제일 낮은 경향을 보였다. 색소량의 경우를 보면 온도가 높았던 울진과 완도의 경우 색소량에서도 높은 경향을 보였고 상대적으로 온도가 낮았던 부안과 부산은 색소량에서도 낮은 결과를 보였다. 여름철에는 각 지역간의 수온의 변화가 20.5~27.5℃로 그 차이가 컸으며 부안의 경우 제일 높았고 부산이 제일 낮았다. 색소량의 변화를 보면 울진이 제일 높았고 부안과 완도는 비슷한 량을 나타냈으며 부산이 제일 적었다. 가을철 수온은 지역에 따라 14.6~19.8℃를 나타냈으며 부산과 울진이 높았으며 부안과 완도가 낮았다. 색소량은 울진, 부안, 완도, 부산 순이었다. 겨울에는 각 지역에 따라 3.5~12.0℃의 범위를 보였으며 울진과 부산이 높았으며 부안이 제일 낮은 경향을 보였다. 색소량의 경우 부산이 제일 높았고 동해안에 위치한 부산과 울진이 부안과 완도보다 색소량이 높았는데 이는 온도와 관계가 있는 것으로 생각된다.

수온과 지역별 색소량의 변화를 볼 때 봄철과 겨울철의 경우 온도에 따라 색소량의 차이를 나타냈으나 여름과 가을철은 뚜렷한 변화를 보이지는 않았다.

Table. 20. Average pigment amount and temperature of each area during experimental period

Area	Pigments ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)				Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
Uljin	1024.25	937.9	1079.82	1266.00	16.6	25.0	18.6	11.1
Buan	128.68	619.54	950.25	636.79	13.9	27.5	14.9	3.5
Wando	766.47	608.91	621.36	461.07	15.4	22.5	14.6	7.8
Busan	76.1	74.86	338.9	1431.21	14.6	20.5	19.8	12.0

Table. 21. Maximum pigment amount and temperature of each area during experimental period

Area	Pigments ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)				Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
Uljin	1546.02	1292.52	1619.35	2049.59	16.6	25.0	18.6	11.1
Buan	433.45	1023.02	1348.93	1452.06	13.9	27.5	14.9	3.5
Wando	991.38	1182.10	1378.22	790.82	15.4	22.5	14.6	7.8
Busan	253.31	289.11	672.98	2293.53	14.6	20.5	19.8	12.0

(3) 색소별 색소량의 계절별, 지역별 비교

분석된 각 색소별 색소량의 계절별, 지역별 비교를 해보았다. 먼저 실험 기간동안 공히 많은 양을 나타내었던 fucoxanthin의 양이 대부분 50%이상을 차지하여 주 색소로 나타났으며 chlorophyll c가 대부분 20%이상을 차지하며 두 번째로 많은 색소량을 보였고 diadinoxanthin과 β -carotene의 색소량이 각각 세 번째와 네 번째로 많았다(chlorophyll a의 분해산물인 phytin a는 제외). 이로 볼 때 chlorophyll a, c, fucoxanthin, diadinoxanthin, β -carotene을 주 색소로 하는 diatoms가 전체 미세조류 생체량의 대부분을 차지하는 주요종으로 나타났으며 이외에 blue green algae (zeaxanthin), dinoflagellates (peridxanthin), cryptophytes (alloxanthin), 그리고 chrysophytes (fucoxanthin+violaxanthin)가 소수종으로 존재하였다. 전 계절별로 완도 지역이 타 지역에 비해 출현군의 종류가 다양함을 알 수 있었고, 각 색소량의 경우 특이한 경향은 보이지 않았다(Table 22).

봄철 색소별 색소량을 통한 조성을 지역적으로 비교해보면 diatoms를 제외하고 완도지역에서 blue green algae, dinoflagellates, cryptophytes, chrysophytes로 가장 많은 출현을 보였으며 울진지역에서는 dinoflagellates, cryptophytes가, 부안지역에는 blue green algae, cryptophytes, chrysophytes가 출현하였으며 부산지역에는 diatoms외의 출현군이 보이지 않았다. 봄철에서는 완도에서 peridxanthin, zeaxanthin, 부안에서 alloxanthin, zeaxanthin의 양이 다른지역에 비해 높았다.

여름철에는 울진, 완도 모두 diatoms, dinoflagellates, cryptophytes, chrysophytes가, 부안과 부산의 경우 diatoms, dinoflagellates, cryptophytes의 출현이 있었고 전지역에서 blue green algae의 출현은 없었다. peridxanthin의 경우 완도와 부산, violaxanthin은 울진, alloxanthin은 부안이 각각 높은 색소양을 보였다.

가을철의 경우 전지역에서 diatoms, blue green algae, dinoflagellates, cryptophytes, chrysophytes의 출현이 있었으며 다른 지역에 비해 부산에서 peridxanthin, 울진에서 violaxanthin, zeaxanthin, 부안에서 alloxanthin의 양이 높았다.

겨울철에는 완도에서 diatoms, blue green algae, dinoflagellates, cryptophytes, chrysophytes의 출현이 있었으며 울진에서는 diatoms, cryptophytes, chrysophytes가, 부안과 부산에서는 diatoms, dinoflagellates, chrysophytes가 출현을 하였다. 색소별로는 다른 지역에 비해 부산에서 peridxanthin, 완도에서 violaxanthin, 울진에서 alloxanthin, 완도에서 zeaxanthin의 양이 높았다.

Table. 22. Composition (%) of pigment in each season and area (except chlorophyll-*a*)

	CHL C (C1+C2)	PERID	FUCO	VIOLA	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEA+ LUT	CHL B	PHYTIN A	β -CARO
Spring											
Uljin	26.67	0.67	47.10	0.00	6.54	0.42	0.00	0.00	1.59	14.54	2.46
Buan	23.82	0.00	58.83	0.11	9.94	0.33	0.00	0.03	0.05	5.11	1.79
Wando	25.79	0.85	45.41	0.03	8.07	0.31	0.33	0.03	2.64	14.70	1.84
Busan	20.57	0.00	52.36	0.00	8.82	0.00	0.00	0.00	3.67	12.12	2.46
Summer											
Uljin	24.01	0.02	45.03	0.48	8.32	0.01	0.43	0.00	4.84	14.15	2.73
Buan	22.95	0.63	53.30	0.00	9.43	0.41	0.22	0.00	2.31	7.52	3.24
Wando	37.73	1.00	40.48	0.04	9.53	0.22	0.87	0.00	1.26	6.25	2.63
Busan	17.42	0.94	57.04	0.00	9.23	0.10	0.00	0.00	2.39	10.59	2.29
Autumn											
Uljin	23.94	0.05	54.01	0.56	7.88	0.06	0.47	0.56	2.61	5.88	3.98
Buan	21.86	0.02	59.55	0.04	7.11	0.53	0.12	0.03	1.81	6.49	2.45
Wando	24.38	0.07	58.45	0.20	6.60	0.18	0.00	0.26	2.63	4.47	2.75
Busan	27.90	0.46	51.63	0.02	8.62	0.14	0.46	0.02	2.92	5.20	2.63
Winter											
Uljin	25.08	0.00	53.70	0.15	7.94	0.12	0.89	0.00	3.08	5.41	3.63
Buan	23.35	0.06	56.53	0.06	7.67	0.00	0.16	0.00	3.23	5.85	3.08
Wando	22.29	0.14	56.98	0.27	7.95	0.01	0.48	0.01	2.33	6.39	3.16
Busan	24.36	0.43	58.21	0.06	8.30	0.00	0.50	0.00	1.50	3.66	2.98

라. 부착규조류 영양분석

(1) 부착규조류 아미노산분석

(가) 봄철 부착규조류 아미노산 분석

봄철 울진지역 부착규조류의 총아미노산의 양은 실험기간에 따라 8.22~20.33%를 보였으며 실험지역중 제일 높은 함량을 나타냈고 4주째 총 아미노산의 양이 제일 높았다. 부안지역의 부착규조류의 아미노산 분석 결과 2주의 총아미노산 양은 3.95%로 가장 낮았고 4주는 6.84%, 6주 7.94% 8주의 경우 8.10%로 제일 높아 실험기간의 경과에 따라 증가하는 경향을 보였다.

완도지역의 봄철 부착규조류의 아미노산 총 함량은 1.95~4.66%의 범위로 실험지역 중 가장 낮은 결과를 보였다. 시기별로 보면 8주가 4.66%로 가장 높았고 2주 4.19% 4주 1.95%, 6주 2.62%로 2주째 높은 총 아미노산의 함량을 보이다가 4주째 감소 후 시간의 증가에 따라 다시 증가하는 경향을 보였다. 부산지역의 봄철 부착규조류의 총아미노산의 함량은 시기에 따라 각각 4.97%, 6.20%, 10.36%, 2.62%로 2주부터 증가하여 6주에 최고의 함량을 보이고 다시 감소하는 경향을 보였다(Table 23).

(나) 여름철 부착규조류 아미노산 분석

여름철 울진지역 부착규조류의 총아미노산의 양은 실험기간에 따라 12.04~16.73%를 보였으며 2주째 가장 높고 차츰 감소하여 8주째 가장 낮은 경향을 보였다. 부산지역 여름철 부착규조류의 아미노산 분석 결과 2주의 총아미노산 양은 7.33%로 가장 낮았고 4주는 8.59%, 6주 12.10% 8주의 경우 12.54%로 제일 높아 실험기간의 경과에 따라 증가하는 경향을 보였다. 여름철 완도지역 부착규조류의 아미노산 총 함량은 8.07~14.94%의 범위였으며 시기별로 보면 6주가 14.94%로 가장 높았고 2주 8.94% 4주 8.07%, 8주 10.59%였다. 부산지역의 봄철 부착규조류의 총 아미노산의 함량은 시기에 따라 각각 4.74%, 4.29%, 4.29%, 7.89%로 4주와 6주에 감소했다가 8주에 최고의 함량을 보이며 증가하는 경향을 보였다(Table 24).

(다) 가을철 부착규조류 아미노산 분석

가을철 울진지역 부착규조류의 총아미노산의 양은 실험기간에 따라 13.29~16.23%를 보였으며 2주째 총 아미노산의 양이 제일 높았고 차츰 감소하는 경향을 보였다. 부산지역의 봄철 부착규조류의 아미노산 총 함량은 6.76~9.37%의 범위를 보였다. 시기별로 보면 6주가 9.37%로 가장 높았고 2주 9.00% 4주 9.27%, 8주 6.76%로 2주부터 6주까지 증가하다가 8주에 감소하는 경향을 보였다. 완도지역의 부착규조류의 아미노산 분석 결과 2주의 총아미노산 양은 6.17%로 가장 낮았고 4주는 8.93%, 6주 8.20% 8주의 경우 7.83%으로 4주때 제일 높은 함량을 보이다가 감소하는 경향을 보였다. 부산지역의 봄철 부착규조류의 총아미노산의 함량은 시기에 따라 각각 11.49%, 13.31%, 12.82%, 12.59%로 2주부터 증가하여 4주에 최고의 함량을 보이고 다시 감소하는 경향을 보였다(Table 25).

(라) 겨울철 부착규조류 아미노산 분석

겨울철 울진지역 부착규조류의 총아미노산의 양은 실험지역중 제일 높은 함량을 나타냈고 실험기간에 따라 10.88~17.33%를 보였으며 2주째 15.51%에서 4주에 10.88%로 감소하였다가 계속 증가하여 8주째 17.33%의 제일 높은 함량을 보였다. 부산지역의 봄철 부착규조류의 아미

노산 총 함량은 3.05~5.58%의 범위를 보였다. 시기별로 보면 8주가 5.58%로 가장 높았고 2주 4.61% 4주 3.05%, 6주 4.39%로 4주에 감소하였다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 완도지역의 부착규조류의 아미노산 분석 결과 2주의 총아미노산 양은 5.63%로 가장 낮았고 4주는 6.50%, 6주 7.82% 8주의 경우 7.87%로 6구까지 증가하다가 정체하는 경향을 보였다. 부산지역의 봄철 부착규조류의 총아미노산의 함량은 시기에 따라 각각 10.45%, 9.37%, 10.25%, 10.47%로 2주때 약간 감소하고 다른 구간은 비슷한 함량을 가지는 경향을 보였다(Table. 26).

Table 23. Total amino acids of diatom on plate from four areas in spring

(unit: % in sample)

	2W	4W	6W	8W
Uljin				
Total	8.22	20.33	16.78	17.03
EAA	3.59	9.96	7.94	8.41
NEAA	4.63	10.37	8.84	8.62
EAA/NEAA	0.78	0.96	0.90	0.98
Buan				
Total	3.95	6.84	7.04	8.10
EAA	1.86	3.35	3.48	3.86
NEAA	2.09	3.49	3.56	4.24
EAA/NEAA	0.89	0.96	0.98	0.91
Wando				
Total	4.19	1.95	2.62	4.66
EAA	1.83	0.88	1.24	2.23
NEAA	2.36	1.07	1.38	2.43
EAA/NEAA	0.76	0.82	0.90	0.92
Busan				
Total	4.97	6.20	10.36	2.62
EAA	2.43	2.96	5.23	1.24
NEAA	2.54	3.24	5.13	1.38
EAA/NEAA	0.96	0.91	1.02	0.90

Table 24. Total amino acids of diatom on plate from four areas in summer

(unit: % in sample)

	2W	4W	6W	8W
Uljin				
Total	16.73	15.23	12.33	12.04
EAA	8.06	7.19	6.13	5.8
NEAA	8.67	8.04	6.2	6.24
EAA/NEAA	0.93	0.89	0.99	0.93
Buan				
Total	7.33	8.59	12.10	12.54
EAA	3.53	4.25	5.72	6.05
NEAA	3.80	4.34	6.38	6.49
EAA/NEAA	0.93	0.98	0.90	0.93
Wando				
Total	8.94	8.07	14.94	10.59
EAA	4.35	4.11	7.83	5.34
NEAA	4.59	3.96	7.11	5.25
EAA/NEAA	0.95	1.38	1.10	1.02
Busan				
Total	4.74	4.29	4.29	7.89
EAA	2.12	1.94	1.94	3.73
NEAA	2.62	2.35	2.35	4.16
EAA/NEAA	0.81	0.83	0.83	0.90

Table 25. Total amino acids of diatom on plate from four areas in autumn

(unit: % in sample)

	2W	4W	6W	8W
Uljin				
Total	16.23	13.58	13.41	13.29
EAA	7.31	6.47	6.65	6.56
NEAA	8.92	7.11	6.76	6.73
EAA/NEAA	0.82	0.91	0.98	0.97
Buan				
Total	9.00	9.27	9.37	6.76
EAA	4.47	4.58	4.75	3.23
NEAA	4.53	4.69	4.62	3.53
EAA/NEAA	0.99	0.98	1.03	0.91
Wando				
Total	6.17	8.93	8.20	7.83
EAA	3.03	4.49	4.01	4.01
NEAA	3.14	4.44	4.19	3.82
EAA/NEAA	0.96	1.01	0.96	1.05
Busan				
Total	11.49	13.31	12.82	12.59
EAA	5.28	6.53	6.43	6.24
NEAA	6.21	6.78	6.39	6.35
EAA/NEAA	0.85	0.96	1.01	0.98

Table 26. Total amino acids of diatom on plate from four areas in winter

(unit: % in sample)

	2W	4W	6W	8W
Uljin				
Total	15.51	10.88	13.08	17.33
EAA	7.67	5.45	6.7	9
NEAA	7.84	5.43	6.38	8.33
EAA/NEAA	0.98	1.00	1.05	0.08
Buan				
Total	4.61	3.05	4.39	5.58
EAA	2.11	1.43	2.18	2.75
NEAA	2.5	1.62	2.21	2.83
EAA/NEAA	0.84	0.88	0.99	0.97
Wando				
Total	5.63	6.50	7.82	7.87
EAA	2.75	3.16	4.01	3.96
NEAA	2.88	3.34	3.81	3.91
EAA/NEAA	0.95	0.95	1.05	1.01
Busan				
Total	10.45	9.37	10.25	10.47
EAA	4.68	4.6	5.1	5.36
NEAA	5.77	4.77	5.15	5.11
EAA/NEAA	0.81	0.96	0.99	1.05

(2) 부착규조류 지방산 분석

(가) 봄철 실험지역 부착규조류의 지방산 분석

봄철 전 실험기간동안 지방산 중 대부분은 C₁₈이하의 포화 또는 불포화 지방산이 주를 이루고 있었으며 palmitic acid와 palmitoleic acid의 양이 전체 지방산 함량 중 대부분을 차지하고 DHA의 검출은 없었다(Table 27). 울진지역 부착규조류의 지방산은 n-3 HUFA (high unsaturated fatty acids)의 함량이 6주째 14.76%로 제일 높았고 2주째 4.28%로 제일 낮았다. 4주와 6주는 각각 10.93%, 7.75%의 함량을 보였으며 부안지역의 n-3 HUFA의 함량은 2주에 20.85%로 기간 중 제일 높은 함량을 보였고 4주, 6주, 8주는 각각 9.12%, 5.53%, 6.32%의 함량

을 보였다. 완도지역 부착규조류의 봄철 지방산 함량은 완도 지역의 경우, n-3 HUFA는 6주에 서만 10.97%로 함량을 보였고 나머지 구간에서 검출되지 않았다. 봄철 부산지역 부착규조류의 지방산 함량을 보면 n-3HUFA의 경우 8주에 9.81%로 제일 높았고 4주에는 검출이 없었다. 그리고 다른 지역과는 달리 전 기간내의 EPA의 검출이 없었다.

(나) 여름철 실험지역 부착규조류의 지방산 분석

여름철 전 실험기간동안 대부분 C₁₈이하의 포화 또는 불포화 지방산이 주를 이루고 있었으며 봄철과 같이 palmitic acid와 palmitoleic acid의 양이 전체 지방산 함량 중 대부분을 차지하고 있었고 DHA의 검출은 없었다. 울진지역 부착규조류의 지방산은 n-3HUFA 경우 4주째 28.25%로 함량이 제일 높았고, 2주째 27.73%, 6주째 12.47%, 8주 1.56%로 감소하는 경향을 보였다. 부안지역의 경우, n-3HUFA는 2주에 17.68%로 기간중 제일 높은 함량을 보였고 4주, 6주, 8주는 각각 8.28%, 6.73%, 6.04%의 함량을 보였다. 여름철 완도지역 부착규조류의 n-3HUFA는 2주에 18.88%로 가장 높았고 4주 6.55%, 6주 5.73%, 8주 8.69%의 함량을 보였다. 부산지역 부착규조류의 여름철 지방산 함량을 보면 n-3HUFA의 경우 2, 4, 6, 8주가 각각 4.80%, 6.46%, 18.45%, 17.61%로 6주가 가장 높았다(Table 28).

(다) 가을철 실험지역 부착규조류의 지방산 분석

가을철 부착규조류의 지방산 분석결과를 보면 전 실험기간동안 지방산 중 대부분은 C₂₀이하의 포화 또는 불포화 지방산이 주를 이루고 있었으며 palmitic acid와 palmitoleic acid의 양이 전체 지방산 함량 중 대부분을 차지하고 있었다. 그리고 n-3 HUFA인 EPA와 DHA의 검출이 있었다. 울진지역 부착규조류의 n-3 HUFA 함량의 경우 2주째 27.46%로 함량이 제일 높았고, 8주 21.04%, 6주 9.88%, 2주 4.15%의 순이었다. 부안지역의 경우 8주에 18.15%로 실험기간 중 제일 높은 함량을 보였고 2주, 4주, 6주는 각각 15.37%, 13.16%, 12.66%의 함량을 보였다. 완도 지역 부착규조류의 경우, 가을철 실험지역중 제일 높은 값을 보였으며 n-3 HUFA는 2주에 21.67%로 가장 높았고 4주, 6주, 8주 각각 16.53%, 18.00% 20.55%였다. 부산지역 부착규조류의 n-3 HUFA 함량은 2, 4, 6, 8주가 각각 8.20%, 19.65%, 17.99%, 16.53%로 4주에 가장 높았다가 차츰 감소하였다(Table 29).

(라) 겨울철 실험지역 부착규조류의 지방산 분석

겨울철 전 실험기간동안 부착규조류의 지방산 중 대부분은 C₁₈이하의 포화 또는 불포화 지방산이 주를 이루고 있었으며 다른 계절과 달리 palmitic acid와 palmitoleic acid의 함량이 50% 이하를 나타내고 oleic acid의 함량이 증가하는 경향을 보였다. 그리고 전구간에 걸쳐 n-3

HUFA인 EPA와 DHA의 검출이 있었다.

울진지역 부착규조류의 지방산은 n-3 HUFA의 경우 4주째 19.68%로 함량이 제일 높았고, 2주 16.27%, 8주 14.44%, 6주 2.67%의 순이었다. 겨울철 부안지역 부착규조류의 경우 n-3 HUFA는 8주와 6주에 각각 27.97%, 17.66%로 높은 함량을 보였고, 2주와 4주는 낮은 함량을 나타냈다. 완도지역 부착규조류의 n-3 HUFA의 함량은 2주에 17.18%의 함량을 보이고 4주, 6주에 15.70%, 11.86%로 감소하였다가 8주에 15.65%로 다시 증가하는 경향을 보였다. 부산지역 부착규조류의 지방산 함량은 n-3 HUFA의 경우 겨울철 실험지역 중 제일 높은 값을 보였으며 2, 4, 6, 8주가 각각 23.96%, 25.79%, 8.27%, 23.05%로 4주때가 가장 높았다(Table 30).

Table 27. Total n3-HUFA content of diatom on plate in spring

(unit : % fatty acid)

	2W	4W	6W	8W
Uljin				
Total	4.28	10.93	16.85	7.75
EPA	4.28	10.93	14.76	7.75
DHA	-	-	-	-
Others	-		2.09	
Buan				
Total	20.85	9.12	5.53	6.32
EPA	20.85	7.82	5.53	6.32
DHA	-	-	-	-
Others		1.30		
Wando				
Total	0	0	12.22	0
EPA	-	-	10.97	-
DHA	-	-	-	-
Others	-	-	1.25	-
Busan				
Total	5.72	0	4.22	9.81
EPA	-	-	-	-
DHA	-	-	-	-
Others	5.72	0	4.22	9.81

Table 28. Total n3-HUFA content of diatom on plate in summer

(unit : % fatty acid)

	2W	4W	6W	8W
Uljin				
Total	27.73	28.25	12.47	3.79
EPA	26.35	26.01	8.86	2.23
DHA	-	-	-	-
Others	1.38	2.24	3.61	1.56
Buan				
Total	17.68	8.28	6.73	6.04
EPA	13.38	4.13	5.00	4.73
DHA	-	-	-	-
Others	4.30	4.15	1.73	1.31
Wando				
Total	18.88	6.55	5.73	8.69
EPA	16.20	5.63	4.22	6.32
DHA	-	-	-	-
Others	2.68	0.92	1.51	2.37
Busan				
Total	4.80	6.46	18.45	17.61
EPA	3.42	5.19	4.16	12.01
DHA	-	-	-	-
Others	1.38	1.27	14.29	5.60

Table 29. Total n3-HUFA content of diatom on plate in autumn

(unit : % fatty acid)

	2W	4W	6W	8W
Uljin				
Total	4.15	27.46	9.88	21.04
EPA	4.15	4.39	9.88	19.26
DHA	-	2.11	-	1.27
Others	-	0.96	-	0.51
Buan				
Total	15.37	13.16	12.66	18.15
EPA	12.89	11.47	11.40	16.57
DHA	2.05	1.25	0.92	1.07
Others	0.43	0.44	0.34	0.51
Wando				
Total	21.67	16.53	18.00	20.55
EPA	19.26	15.72	16.52	19.91
DHA	1.08	0.81	1.48	0.64
Others	1.33	-	-	-
Busan				
Total	8.20	19.65	17.99	16.53
EPA	16.51	18.15	15.97	15.03
DHA	1.18	1.17	1.60	1.25
Others	0.51	0.33	0.42	0.25

Table. 30. n-3 HUFA in fatty acids of diatom that grown on plastic plate in winter

(unit : % fatty acids)

	2W	4W	6W	8W
Uljin				
Total	16.27	19.58	2.67	14.44
EPA	12.64	14.41	2.09	9.47
DHA	3.63	5.17	0.58	4.97
Others	-	-	-	-
Buan				
Total	8.66	5.11	17.66	27.97
EPA	5.61	4.19	15.77	25.59
DHA	3.05	0.92	1.89	1.51
Others	-	-	-	0.87
Wando				
Total	17.18	15.7	11.86	15.65
EPA	14.81	13.18	10.61	13.80
DHA	2.37	1.82	0.80	1.55
Others	-	0.70	0.45	0.30
Busan				
Total	23.96	25.79	8.27	23.05
EPA	19.21	23.71	7.69	20.96
DHA	4.75	2.08	0.58	2.09
Others	-	-	-	-

2. 부착 규조류의 분리와 유전자 분석

전복의 먹이 생물로 개발하고자 하는 규조류의 경우 정확한 분류학적 구명이 어려운 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 유사한 규조류끼리 구분하여 유전자 분석을 실시하여 유사도를 기준으로 다양한 규조류를 선별하고자 하였다. 사용된 규조류는 본 연구를 수행하는 과정에서 순수 분리되었거나 또는 한국해양미세조류은행에서 이미 확보한 종들을 이용하였다. 일차적으로 순수 분리된 다양한 부착규조류 110종을 크기를 기준으로 소(38종), 중(34종), 대(31종), 특대(7종)로 구분하였다(Table 31, 32, 33, 34).

Genomic DNA는 대부분의 종에서 성공적으로 검출되었다. 각 크기별 그룹에서 선별된 종들에게서 추출한 genomic DNA를 주형으로 하고, OPA-17 primer로 사용하여 RAPD-PCR을 수행한 결과를 분석하였다(Fig. 2, 3, 4, 5). 그룹별로 종에 따라 PCR 증폭 산물이 나타나지 않은 경우도 있었으므로, PCR 산물이 나타난 종에 대해서만 분석하였다. 증폭된 DNA band는 대부분 크기 0.5~2.0 kb 범위에서 나타났다.

실험에서 사용된 그룹별 부착규조류간의 similarity matrix를 분석한 결과 F값의 범위는 0.00에서 1.00까지 었다(Table 35, 36, 37, 38). 각 그룹별 대표종과 유사성을 비교하여 살펴보

Table 31. Small benthic diatoms group (*Cocconeis* and *Coconeis*-like spp.)

Species	Size (μm)
<i>Amphora veneta</i>	2.5±1.5
<i>Amphora veneta</i>	8.8±3.0
<i>Navicula</i> sp.	6.1±0.7
<i>Amphora delicatissima</i>	5.0±3.1
<i>Navicula</i> sp.	8.2±1.1
<i>Amphora veneta</i>	6.5±2.2
<i>Navicula</i> sp.	7.6±2.9
<i>Amphora</i> sp.	7.3±0.8
<i>Amphora</i> sp.	6.8±1.3
<i>Navicula</i> sp.	5.8±1.7
Unid. Bacillariophyceae	5.0±0.4
Unid. Bacillariophyceae	5.0±1.5
<i>Amphora</i> sp.	7.5±1.2
<i>Navicula</i> sp.	5.2±0.6
<i>Navicula</i> sp.	9.0±1.5
<i>Cocconeis californica</i>	3.8±0.3
Unid. Bacillariophyceae	2.5±0.6
<i>Thalassiosira</i> sp.	9.5±0.8
<i>Navicula</i> sp.	8.7±2.5
Unid. Bacillariophyceae	6.3±0.5
<i>Navicula</i> sp.	9.8±0.8
<i>Amphora</i> sp.	3.8±1.1
<i>Amphora</i> sp.	6.3±1.0
<i>Navicula</i> sp.	6.3±0.6
<i>Navicula</i> sp.	6.3±0.8
<i>Amphora</i> sp.	2.5±0.7
<i>Navicula</i> sp.	5.4±0.6
<i>Amphora coffeaeformis</i> var. <i>acustuscula</i> .	3.8±0.8
<i>Navicula</i> sp.	8.4±0.7
<i>Amphora veneta</i>	7.8±0.8
<i>Navicula</i> sp.	7.3±5.8
<i>Nitzschia flustulum</i>	7.2±0.9
<i>Navicula</i> sp.	9.9±0.8
<i>Navicula</i> sp.	7.5±0.5
<i>Amphora</i> sp.	10.0±0.6
Unid. Bacillariophyceae	9.0±2.5
<i>Navicula</i> sp.	6.1±2.0
<i>Amphora</i> sp.	5.0±1.5

Table 32. Middle benthic diatoms group (*Caloneis* and *Caloneis*-like spp.)

Species	Size (μm)
<i>Navicula</i> sp.	17.0±2.5
<i>Navicula</i> sp.	18.6±3.1
<i>Caloneis schreoderi</i>	21.0±2.5
<i>Navicula</i> sp.	16.3±1.2
<i>Navicula</i> sp.	19.0±1.3
<i>Navicula</i> sp.	15.8±4.2
<i>Navicula</i> sp.	26.1±1.3
<i>Navicula</i> sp.	15.1±1.3
<i>Navicula</i> sp.	15.1±1.1
Unid. Bacillariophyceae	15.0±4.2
<i>Navicula</i> sp.	16.4±1.3
<i>Navicula</i> sp.	18.6±2.7
<i>Navicula</i> sp.	21.2±3.3
<i>Navicula</i> sp.	20.8±3.7
<i>Navicula</i> sp.	24.1±1.3
<i>Achnanthes</i> sp.	23.8±5.0
<i>Navicula</i> sp.	16.9±2.4
<i>Navicula</i> sp.	20.0±2.1
<i>Navicula</i> sp.	17.7±5.7
<i>Navicula</i> sp.	18.8±3.0
<i>Achnanthes</i> sp.	23.2±6.1
<i>Navicula</i> sp.	15.5±1.8
<i>Navicula</i> sp.	13.6±1.3
<i>Navicula</i> sp.	15.1±0.8
<i>Navicula</i> sp.	21.4±4.9
<i>Navicula</i> sp.	10.1±1.6
<i>Navicula</i> sp.	27.5±1.4
Unid. Bacillariophyceae	22.5±2.5
<i>Nitzschia</i> sp.	20.0±3.1
<i>Navicula</i> sp.	17.2±2.4
<i>Amphora</i> sp.	21.3±2.3
<i>Achnanthes</i> sp.	22.0±3.9
<i>Achnanthes</i> sp.	23.2±6.1
<i>Navicula</i> sp.	15.1±2.4

Table 33. Large benthic diatoms group group (*Amphora* and *Amphora*-like spp.)

Species	Size (μm)
<i>Navicula cancellata</i>	38.6±1.7
<i>Phaeodactylum tricornerutum</i>	27.5±5.6
<i>Nitzschia closterium</i>	27.3±2.0
<i>Nitzschia hybrida</i>	29.4±2.0
<i>Navicula</i> sp.	39.2±4.0
<i>Navicula</i> sp.	29.2±1.9
<i>Navicula</i> sp.	46.7±1.2
<i>Achnanthes brevipes</i>	25.7±4.9
<i>Amphora lineata</i>	27.3±3.5
<i>Amphora delicatissima</i>	29.0±3.5
<i>Nitzschia sudpacifica</i>	28.3±3.6
<i>Navicula</i> sp.	27.5±4.7
<i>Navicula</i> sp.	34.6±0.6
<i>Amphiprora gigantea</i> var. <i>sulcata</i>	32.5±4.8
<i>Navicula</i> sp.	29.1±6.8
<i>Amphiprora gigantea</i> var. <i>sulcata</i>	32.5±1.2
<i>Lithodesmium undulatum</i>	29.7±1.7
Unid. Bacillariophyceae	47.5±1.5
<i>Navicula</i> sp.	31.1±7.7
<i>Navicula</i> sp.	27.5±1.4
<i>Cylindrotheca closterium</i>	33.6±4.0
<i>Navicula</i> sp.	33.4±2.3
<i>Biddulphia</i> sp.	25.4±3.8
<i>Navicula</i> sp.	31.7±6.6
<i>Pleurosigma angulatum</i>	47.5±5.6
<i>Amphora</i> sp.	29.3±5.8
<i>Navicula</i> sp.	29.0±3.0
<i>Navicula</i> sp.	38.9±3.8
<i>Nitzschia</i> sp.	36.0±7.7
<i>Navicula</i> sp.	27.8±1.4
<i>Navicula</i> sp.	46.5±10.6

Table 34. Super large benthic diatoms(*Pleurosigma* sp. and *Pleurosigma*-like spp.)

Species	Size (μm)
<i>Cylindrotheca closterium</i>	88.4±4.3
<i>Pleurosigma angulatum</i>	60.2±10.7
<i>Pleurosigma angulatum</i>	58.5±5.4
<i>Pleurosigma angulatum</i>	63.3±8.7
<i>Pleurosigma</i> sp.	64.2±6.0
<i>Navicula</i> sp.	61.1±5.7
<i>Cylindrotheca</i> sp.	221.4±7.8

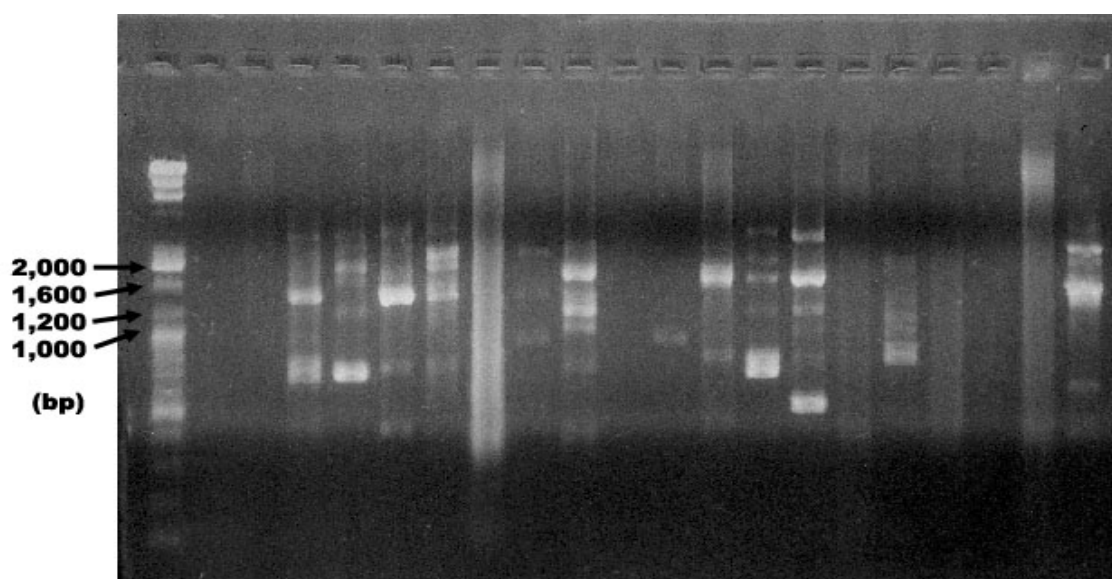


Fig. 2. PCR amplification of genomic DNA from small benthic diatoms group (*Cocconeis* and *Coconeis*-like spp).

lane 1: morecular weight marker, lane 4: KMCC B-66, lane 5: KMCC B-67, lane 6: KMCC B-76, lane 7: KMCC B-77 ,lane 9: KMCC B-116, lane 10: KMCC B-107, lane 12: KMCC B-123, lane 13: KMCC B-151, lane 14: KMCC B-161, lane 15: KMCC B-201, lane 21: KMCC B-319

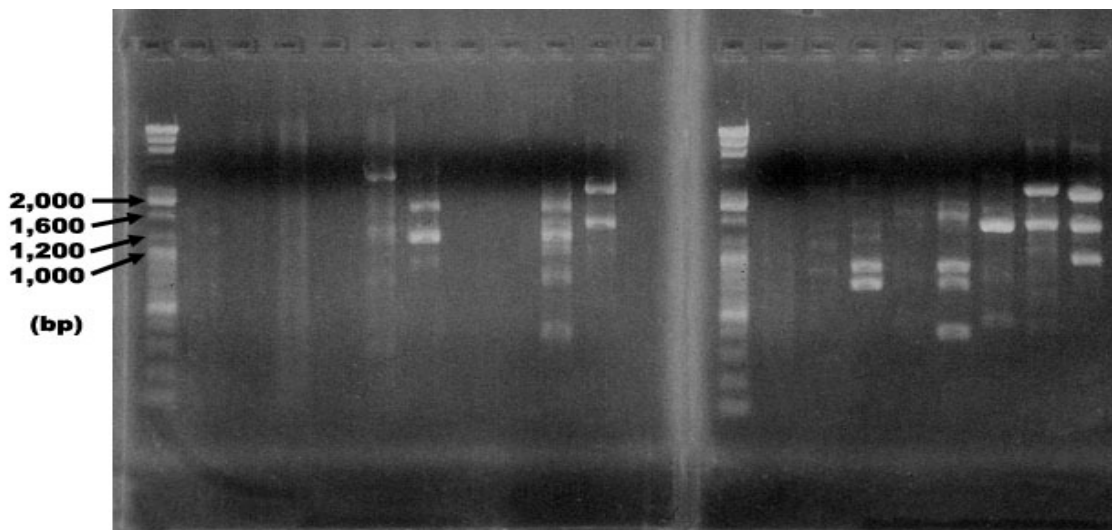


Fig. 2. continue.

lane 1: morecular weight marker, lane 6: KMCC B-415, lane 7: KMCC B-482, lane 10: KMCC B-527, lane 11: KMCC B-534, lane 16: KMCC B-584, lane 18: KMCC B-587, lane 19: KMCC B-590, lane 20: KMCC B-591, lane 21: KMCC B-597

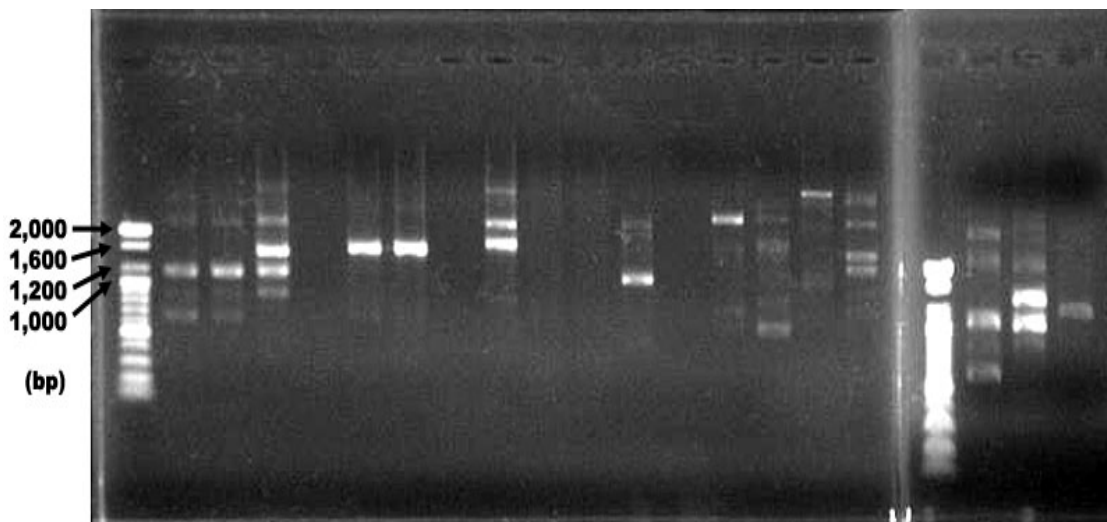


Fig. 3. PCR amplification of genomic DNA from middle benthic diatoms group (*Caloneis schroederi* and *Caloneis*-like spp.).

lane 1: morecular weight marker, lane 2: KMCC B-2, lane 3, KMCC B-38, lane 4 KMCC B-39, lane 6: KMCC B-82, lane 7: KMCC B-83, lane 9: KMCC B-105, lane 12: KMCC B-264, lane 14: KMCC B-347, lane 15: KMCC C-394, lane 16: KMCC C-516, lane 17 KMCC C-528; lane 18: morecular weight marker, lane 19: KMCC B-532, lane 20, KMCC B-553, lane 21 KMCC B-581

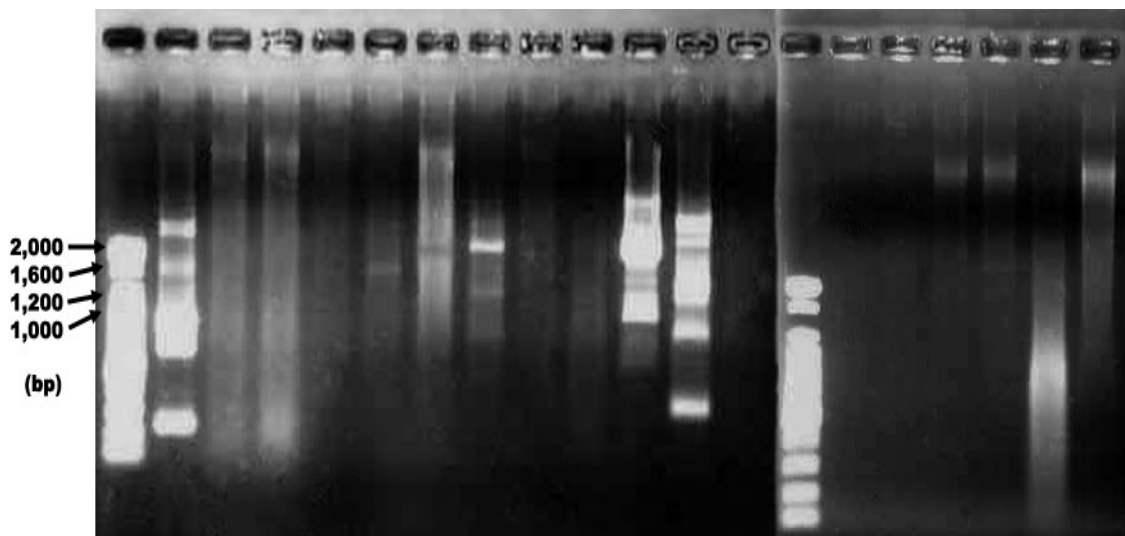


Fig. 3. continue.

lane 1: morecular weight marker, lane 2: KMCC B-268, lane 6 KMCC B-46, lane 8: KMCC B-245, lane 11: KMCC B-292, lane 12: KMCC B-393,

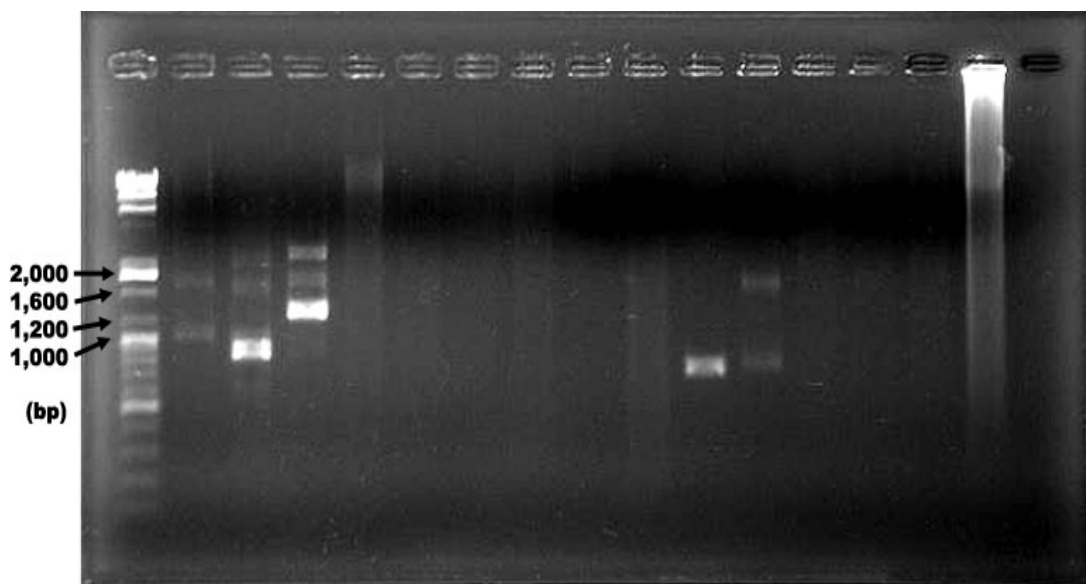


Fig. 4. PCR amplification of genomic DNA from large benthic diatoms group (*Amphora delicatissima* and *Amphora*-like spp.).

lane 1: morecular weight marker, lane 2: KMCC B-4, lane 3: KMCC B-13, lane 4: KMCC B-45, lane 11: KMCC B-194, lane 12: KMCC B-200

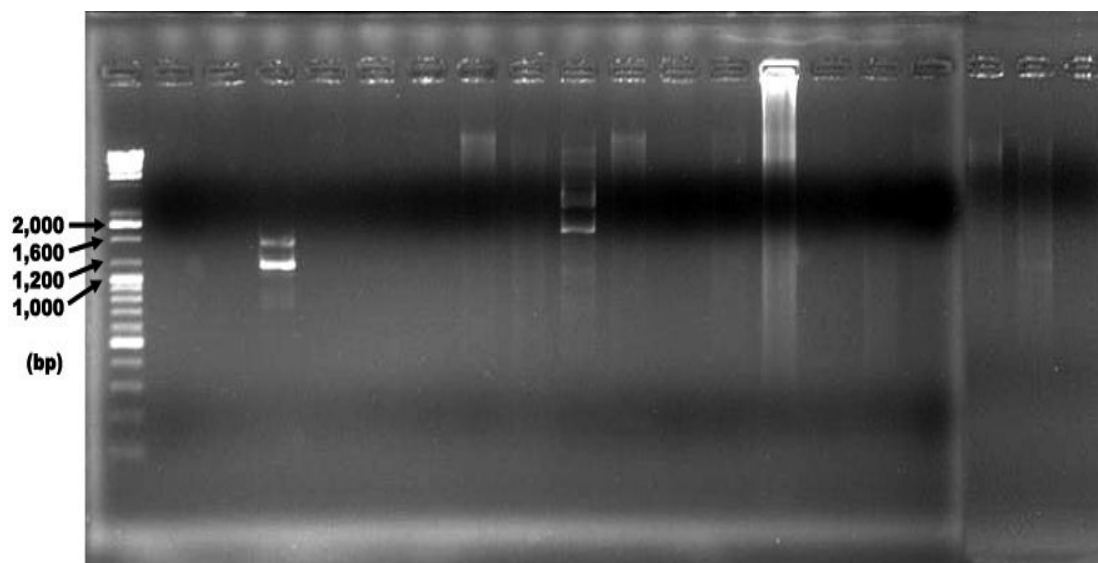


Fig. 4. continue.

lane 1: morecular weight marker, lane 4: KMCC B-293, lane 10: KMCC B-411, lane 19 KMCC B-586

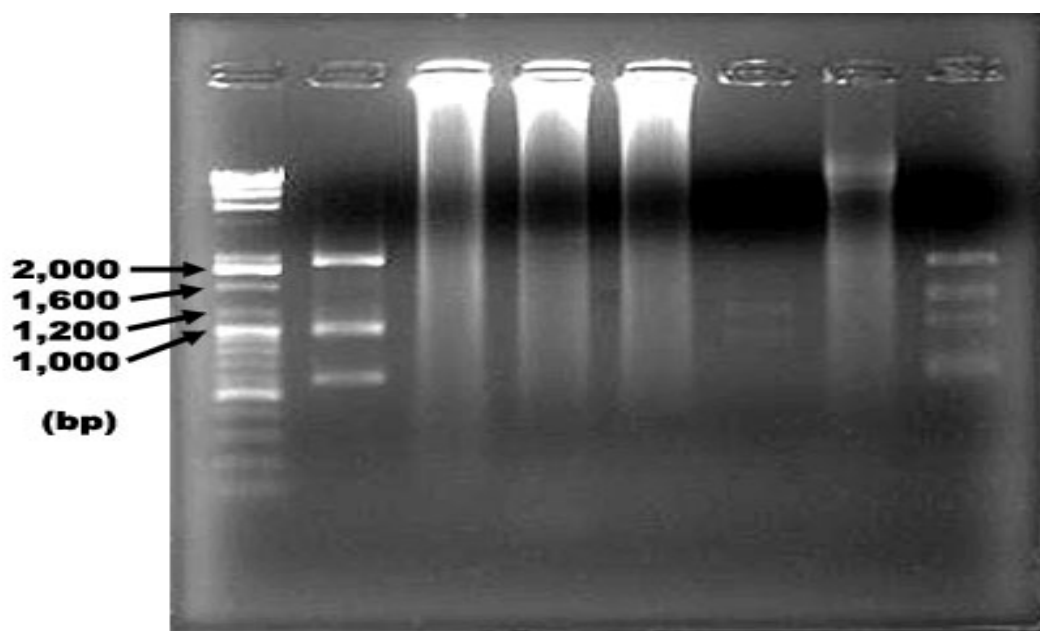


Fig. 5. PCR amplification of genomic DNA from super-large benthic diatoms group (*Pleurosigma* and *Pleurosigma*-like spp.).

lane 1: morecular weight marker, lane2: KMCC B-84, lane 6: KMCC B-511, lane 8: KMCC B-522

Table 37. F values among large benthic diatoms group (*Amphora* and *Amphora*-like spp.) based on band sharing analysis

	B-4	B-13	B-45	B-194	B-200	B-293	B-411	B-586
B-4	-							
B-13	0.40	-						
B-45	0.40	0.33	-					
B-194	0.00	0.00	0.00	-				
B-200	0.50	0.40	0.40	0.67	-			
B-293	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-		
B-411	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	-	
B-586	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	-

Table 38. F values among super-large benthic diatoms group (*Pleurosigma* and *Pleurosigma*-like spp.) based on band sharing analysis

	B-84	B-511	B-522
B-84	-		
B-511	0.00	-	
B-522	0.00	0.00	-

면, 특대, 대, 소그룹에서 유사성이 높은 종들에 비하여 유사성이 낮은 종들이 더 많이 나타난 반면, 중그룹에서는 그 반대였다.

3. 부착규조류의 부착률과 성장률 조사

그룹별의 부착률과 성장률을 조사한 결과, A 그룹에서 성장률은 *Amphora* sp.가 642%로 최고값을 *Achnanthes* sp.가 150.3%로 최저값을 나타내었고, *Amphora* sp.는 *Am. veneta* var. *coffeaformis*를 제외한 그룹 내의 다른 종들과 비교하였을 때 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$, Table 39). 부착률에서는 *Amphora* sp.에서 97%로 최고값을 나타내면서 다른 종들과 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타내었으며($P < 0.05$), *Achnanthes* sp.는 13.9%의 부착율을 나타내며 *Amphora* sp.를 제외한 다른 종들과 비교하였을 때 유의적으로 낮은 값을 나타내었다($P < 0.05$, Table 39). B 그룹에서는 *Navicula* sp.가 1,826%의 성장률을 보이면서 다른 실험구들과 비교하였을 때 유의적으로 높은 성장률을 보였고($P < 0.05$), 부착률에서는 *Navicula cancellata*가 42.7%를 나타내면서 *N. incerta*, *N. viridis*, *Navicula* sp.⁽¹⁾와 *Navicula* sp.⁽²⁾에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였고($P < 0.05$), *Navicula* sp.는 부착율에서도 비교적 높은 값을 나타내었다(Table 40). 그룹 C에서는 *Cylindrotheca closterium*이 성장률에서 2,302%로 그룹 내의 다른 종들에 비해서 유의적으로 높은 값을 나타내었고($P < 0.05$), 부착률에서는 *Rhaphoneis*

sp.가 80.2%로 최고값을 보여 *Pleurosigma angulatum*을 제외한 다른 종들에 비해서 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$, Table 41). 녹조류를 대상으로 한 D 그룹의 실험에서 나타난 결과는 *Dunaliella tertiolecta*가 성장률에서는 최고값을 나타내었지만(593.4%), 부착률은 17%로 최저값을 나타내고 *Tetraselmis hazennii*, *Chloromonas* sp.와 비교하였을 때 유의적으로 낮은 값을 나타내었다($P < 0.05$, Table 42). 남조류를 대상으로 한 E 그룹의 실험결과, 성장률은 *Phormidium luridum*, *Lynghia taylorii*, *Oscillatoria splendida*, *Trichodesmium erythraeum*의 전 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았고($P < 0.05$), 부착률에서는 *Lynghia taylorii*와 *O. splendida*가 각각 83.2%, 89.7%로 그룹내의 다른 실험구에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$, Table 43).

부착한 생물량을 살펴보면, A 그룹에서는 *Amphora* sp.가 483 mg으로 그룹 내의 다른 실험구들과 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타내었으며, *Achnanthes* sp.는 22 mg으로 최저값을 나타내면서 유의적으로 낮았다($P < 0.05$, Fig. 6). B 그룹 내에서는 *Navicula* sp.가 1,254 mg으로 유의적으로 높은 부착생물량을 보였고($P < 0.05$), *Navicula cancellata*가 152 mg의 최저값으로 유의적으로 낮았다($P < 0.05$, Fig. 7). C그룹에서는 *Cylindrotheca closterium*이 558 mg으로 최고값을 보이면서 그룹 내의 다른 실험구와 비교하였을 때, 유의적으로 높은 부착생물량을 보였으며($P < 0.05$), 다음으로 *Rhaphoneis* sp., *Nitzschia* sp., *Phaeodactylum tricornutum*이 각각 311 mg, 315 mg, 334 mg으로 높은 부착생물량을 나타내었다(Fig. 8). 녹조류를 대상으로 한 D 그룹의 부착생물량을 살펴보면, *Chloromonas* sp.와 *Tetraselmis hazennii*가 각각 377 mg과 186 mg으로 그룹 내에서는 높은 값을 나타내었다(Fig. 9). 남조류를 대상으로 부착생물량을 알아본 E 그룹의 결과는, *Oscillatoria splendida*가 774 mg으로 그룹 내 다른 실험구와 비교하였을 때, 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$, Fig. 10).

Table 39. Adhesive and growth rate of microalgae in group A (*Amphora* and *Amphora*-like species).

Species	Growth rate	Adhesive rate
<i>Achnanthes</i> sp.	150.27 ^f	13.86 ^e
<i>Amphiprora gigantea</i> var. <i>sulcata</i>	362.78 ^{de}	44.35 ^c
<i>Amphora lineata</i>	430.39 ^{cd}	30.99 ^{cd}
<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffeaeformis</i>	592.89 ^{ab}	42.22 ^c
<i>Amphora delicatissima</i> ⁽¹⁾	254.44 ^{ef}	65.98 ^b
<i>Amphora delicatissima</i> ⁽²⁾	239.70 ^{ef}	39.22 ^{cd}
<i>Amphora</i> sp. ⁽¹⁾	497.51 ^{bc}	97.01 ^a
<i>Amphora</i> sp. ⁽²⁾	641.97 ^a	24.42 ^{de}

Table 40. Adhesive and growth rate of microalgae in group B (*Navicula* and *Navicula*-like species).

Species	Growth rate	Adhesive rate
<i>Navicula cancellata</i>	359.14 ^e	42.70 ^b
<i>Navicula incerta</i>	597.11 ^{cde}	70.79 ^a
<i>Navicula elegans</i>	843.08 ^b	56.91 ^{ab}
<i>Navicula viridis</i>	606.08 ^{bcd}	70.97 ^a
<i>Navicula annexa</i>	487.04 ^{de}	63.49 ^{ab}
<i>Navicula</i> sp. ⁽¹⁾	838.08 ^{bc}	72.21 ^a
<i>Navicula</i> sp. ⁽²⁾	1826.37 ^a	68.64 ^a

Table 41. Adhesive and growth rate of microalgae in group C (other diatoms).

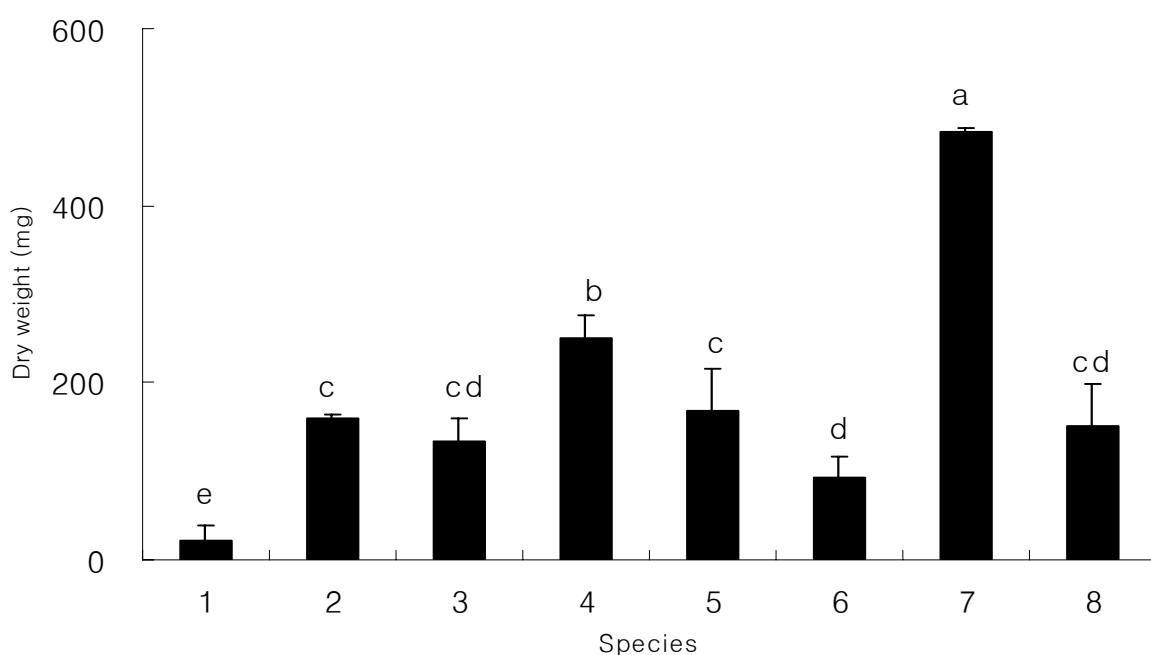
Species	Growth rate	Adhesive rate
<i>Trachyneis aspera</i>	359.55 ^d	40.38 ^d
<i>Nitzschia dissipata</i>	161.32 ^e	66.92 ^c
<i>Rhaphoneis</i> sp.	389.33 ^d	80.22 ^a
<i>Cocconeis californica</i>	217.33 ^e	69.02 ^{bc}
<i>Caloneis schroederi</i>	261.80 ^{de}	71.65 ^{bc}
<i>Pleurosigma angulatum</i>	256.69 ^{de}	76.89 ^{ab}
<i>Cylindrotheca closterium</i>	2301.86 ^a	24.34 ^f
<i>Nitzschia</i> sp.	1057.20 ^b	29.80 ^{ef}
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	901.10 ^c	36.92 ^{de}

Table 42. Adhesive and growth rate of microalgae in group D (Chlorophyceae).

Species	Growth rate	Adhesive rate
<i>Tetraselmis hazennii</i>	274.87 ^b	68.69 ^a
<i>Chloromonas</i> sp.	593.36 ^a	16.96 ^b
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	432.27 ^{ab}	87.25 ^a

Table 43. Adhesive and growth rate of microalgae in group E (Cyanophyceae).

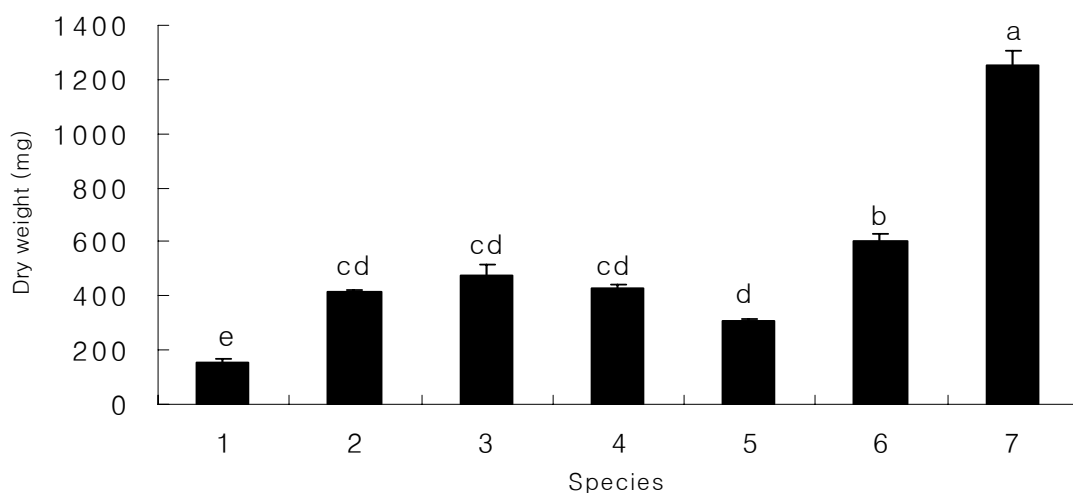
Species	Growth rate	Adhesive rate
<i>Phormidium luridum</i>	1377.56 ^a	10.64 ^b
<i>Lynghia taylorii</i>	675.64 ^a	83.18 ^a
<i>Oscillatoria splendida</i>	862.64 ^a	89.67 ^a
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	995.71 ^a	5.73 ^b



1: *Achnanthes* sp., 2: *Amphiprora gigantea* var. *sulcata*, 3: *Amphora lineata*, 4: *Amphora veneta* var. *coffeaformis*, 5: *Amphora delicatissima*, 6: *Amphora delicatissima*, 7: *Amphora* sp., 8: *Amphora* sp.

Fig. 6 Total attached biomass of cultured microalgae in group A.

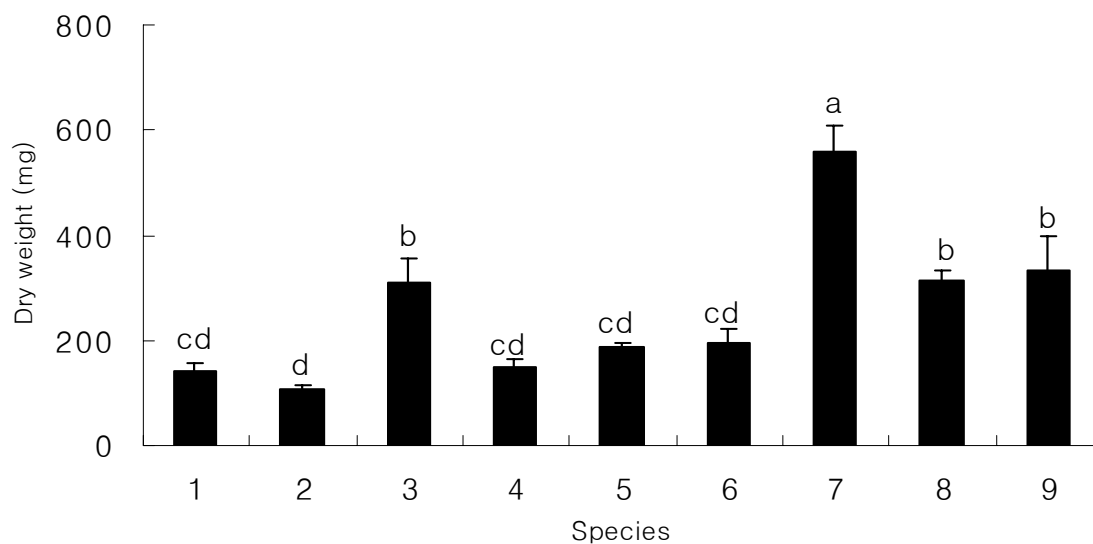
Different letters on the histogram were significantly different ($p < 0.05$).



1: *Navicula cancellata*, 2: *Navicula incerta*, 3: *Navicula elegans*, 4: *Navicula viridis*, 5: *Navicula annexa*, 6: *Navicula* sp.⁽¹⁾, 7: *Navicula* sp.⁽²⁾

Fig. 7. Total attached biomass of cultured microalgae in group B.

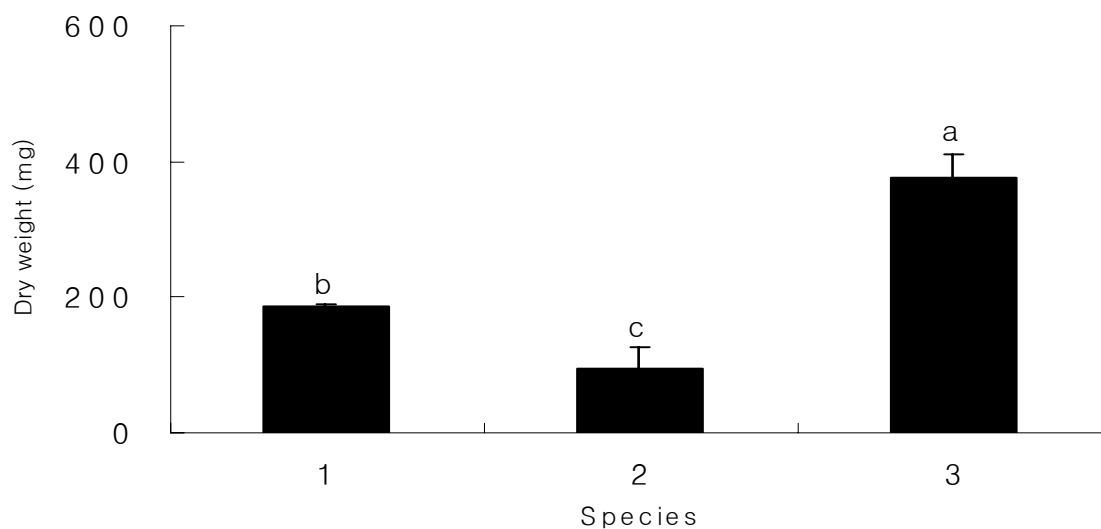
Different letters on the histogram were significantly different ($p < 0.05$).



1: *Trachyneis aspera*, 2: *Nitzschia dissipata*, 3: *Rhaphoneis* sp., 4: *Cocconeis californica*, 5: *Caloneis schroederi*, 6: *Pleurosigma angulatum*, 7: *Cylindrotheca closterium*, 8: *Nitzschia* sp., 9: *Phaeodactylum tricornerum*

Fig. 8. Total attached biomass of cultured microalgae in group C.

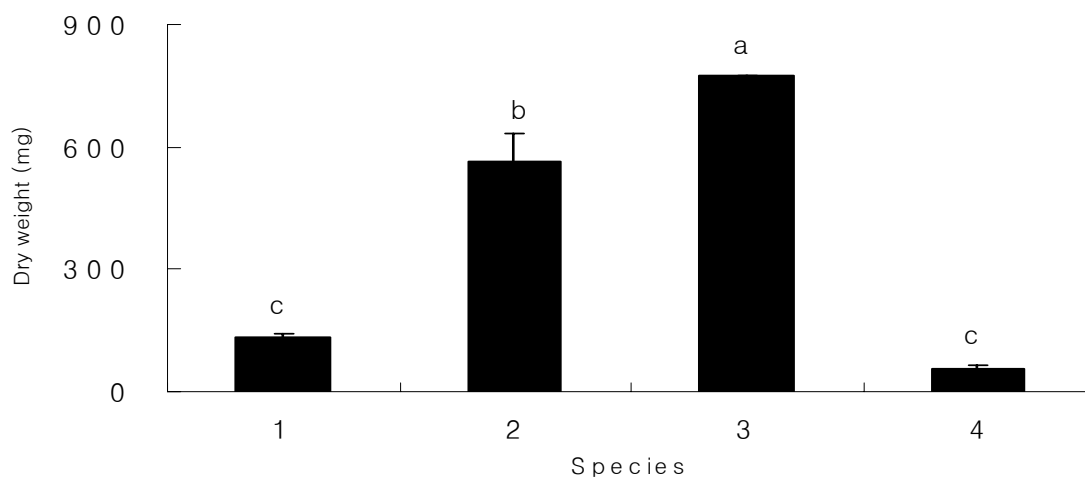
Different letters on the histogram were significantly different ($p < 0.05$).



1: *Tetraselmis hazennii*, 2: *Dunaliella tertiolecta*, 3: *Chloromonas sp.*

Fig. 9. Total attached biomass of cultured microalgae in group D.

Different letters on the histogram were significantly different ($p < 0.05$).



1: *Phormidium luridum*, 2: *Lynghia taylorii*, 3: *Oscillatoria splendida*,
4: *Trichodesmium erythraeum*

Fig. 10. Total attached biomass of cultured microalgae in group E.

Different letters on the histogram were significantly different ($p < 0.05$).

4. *Tigriopus japonicus*를 대상으로 한 부착 규조류의 먹이효율 분석

앞의 유전자 분석 결과 각 그룹별로 유사도가 0.5 이하로 서로 낮은 종들만을 선별하여 이들 부착규조에 대한 *T. japonicus*의 번식력(개체당 nauplii 평균 부화수) 조사 결과는 Table 44, 45, 46, 47, 48, 49와 같다. *Cocconeis* and *Cocconeis*-like spp. 그룹에서는 *Cocconeis californica*^a가 214.33미로 가장 높았고, *Amphora* sp.^c에서 45.67미로 가장 낮았다. *Caloneis* and *Caloneis*-like spp. 그룹에서는 *Navicula* sp.^a가 255.67미로 가장 높았던 반면 *Navicula* sp.^d가 29.67미로 가장 낮았다. 한편 *Amphora* and *Amphoras*-like spp. 그룹에서는 *Phaeodactylum tricornutum* 228로 가장 높았고, *Nitzschia* sp.에서 9.67미로 가장 낮았다. *Pleurosigma* and *Pleurosigma*-like spp. 그룹에서는 *Cylindrotheca* sp.가 120.67미로 가장 높았던 반면 *Pleurosigma* sp.가 23.67미로 가장 낮았다. 그 외 Other group (I)에서는 *Nitzschia* sp.가 241미로 가장 높았고 *Oscillatoria splendida*에서 78.33미로 가장 낮았다. Other group (II)에서는 *Nannochloris oculata*가 60.67미로 가장 높았던 반면 *Scropsiella trochoidea*가 11.67미로 가장 낮았다.

이상의 그룹별 *T. japonicus*의 부화실험 결과를 토대로하여 최종 선별된 12종의 미세조류를 먹이로 하여 포란한 *T. japonicus*의 평균 nauplius 부화수를 재실험한 결과 *Navicula* sp.^b가 299미 가장 높았으며, 그 다음으로 *Amphora* sp. 288.33미, *P. tricornutum*^b 251미, *P. tricornutum*^a 237.33미 순이었으며, *C. californica*^b에서 55.33미로 가장 낮았다.(Table 50).

Table 44. Number of nauplii hatched out from a gravid female of *Tigriopus japonicus* fed on small benthic diatoms group (*Cocconeis* and *Cocconeis*-like species)

(unit: no. of nauplii)

Microalgae	1	2	3	Sum	Mean±SD
<i>Cocconeis californica</i> ^a	196	221	226	643	214.33±16.07 ^a
<i>Navicula</i> sp. ^a	214	155	257	626	208.67±51.21 ^{ab}
<i>Navicula</i> sp. ^b	185	197	197	579	193.00±6.93 ^{abc}
<i>Navicula</i> sp. ^c	180	171	195	546	182.00±12.12 ^{abc}
<i>Navicula</i> sp. ^d	162	189	137	488	162.67±26.01 ^{abcd}
<i>Navicula</i> sp. ^e	140	172	129	441	147.00±22.34 ^{bcd}
<i>Amphora</i> sp. ^a	177	50	185	412	137.33±75.74 ^{cde}
<i>Cocconeis californica</i> ^b	125	162	114	401	133.67±25.15 ^{cde}
<i>Navicula</i> sp. ^f	84	135	167	386	128.67±41.86 ^{cde}
<i>Nitzschia frusfrulum</i>	191	87	103	381	127.00±56.00 ^{cde}
<i>Amphora</i> sp. ^b	111	83	107	301	100.33±15.14 ^{def}
<i>Amphora delicatissima</i>	94	75	67	236	78.67±13.87 ^{ef}
<i>Amphora veneta</i>	41	63	44	148	49.33±11.93 ^f
<i>Amphora</i> sp. ^c	32	72	33	137	45.67±22.81 ^f

Table 45. Number of nauplii hatched out from a gravid female of *Tigriopus japonicus* fed on middle benthic diatoms group (*Caloneis* and *Caloneis*-like species)

(unit: no. of nauplii)

Microalgae	1	2	3	Sum	Mean±SD
<i>Navicula</i> sp. ^a	249	254	264	767	255.67±7.64 ^a
<i>Navicula</i> sp. ^b	234	90	36	360	120.00±102.35 ^b
<i>Navicula</i> sp. ^c	93	81	54	228	76.00±19.97 ^b
<i>Caloneis schroder</i>	37	31	29	97	32.33±4.16 ^b
<i>Navicula</i> sp. ^d	27	37	25	89	29.67±6.43 ^b

Table 46. Number of nauplii hatched out from a gravid female of *Tigriopus japonicus* fed on each microalgae in large group (*Amphora* and *Amphora*-like species)

Species	1	2	3	Sum	Mean±SD
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	189	238	257	684	228.00±35.09 ^a
<i>Navicula cancellata</i>	222	238	219	679	226.33±10.21 ^a
<i>Navicula</i> sp.	193	228	199	620	206.67±18.72 ^a
<i>Cylindrotheca closterium</i>	192	165	126	483	161.00±33.18 ^b
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	117	113	94	324	108.00±12.29 ^c
<i>Nitzschia</i> sp.	10	10	9	29	9.67±0.58 ^d

Table 47. Number of nauplii hatched out from a gravid female of *Tigriopus japonicus* fed on each microalgae in super large group (*Pleurosigma* and *Pleurosigma*-like species)

Species	1	2	3	Sum	Mean±SD
<i>Cylindrotheca</i> sp.	138	106	118	362	120.67±16.17 ^a
<i>Cylindrotheca closterium</i>	88	84	100	272	90.67±8.33 ^b
<i>Pleurosigma</i> sp.	22	21	28	71	23.67±3.79 ^c

Table 48. Number of nauplii hatched out from a gravid female of *Tigriopus japonicus* fed on each microalgae in other group- I

Microalgae	1	2	3	Sum	Mean±SD
<i>Nitzschia sp.</i>	252	222	249	723	241.00±16.52 ^a
<i>Rhaphoneis sp.</i>	242	206	223	671	223.67±18.01 ^a
<i>Amphora sp.</i>	194	222	249	665	221.67±27.50 ^a
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	270	194	154	618	206.00±58.92 ^{ab}
<i>Tetraselmis suecica</i>	169	222	225	616	205.33±31.50 ^{ab}
<i>Chloromonas sp.</i>	183	170	99	452	150.67±45.21 ^{bc}
<i>Cocconeis californica</i>	157	110	171	438	146.00±31.95 ^{bcd}
<i>Platymonas subcordiformis</i>	130	142	125	397	132.33±8.74 ^{cd}
<i>Navicula sp.</i>	180	44	155	379	126.33±72.39 ^{cd}
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	145	96	127	368	122.67±24.79 ^{cd}
<i>Oscillatoria splendida</i>	80	73	82	235	78.33±4.73 ^{cd}

Table 49. Number of nauplii hatched out from a gravid female of *Tigriopus japonicus* fed on each microalgae in other group- II

Microalgae	1	2	3	Sum	Mean±SD
<i>Nannochloris oculata</i>	68	53	61	182	60.67±7.51 ^a
<i>Spirulina platensis</i>	84	53	37	174	58.00±23.90 ^{ab}
<i>Gloeocystis gigas</i>	68	22	83	173	57.67±31.79 ^{ab}
<i>Dunariella tertiolecta</i>	38	51	81	170	56.67±22.05 ^{ab}
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	65	62	25	152	50.67±22.28 ^{ab}
<i>Isochrysis galbana</i>	50	57	37	144	48.00±10.15 ^{abc}
<i>Pavlova lutheri</i>	24	64	28	116	38.67±22.03 ^{abcd}
<i>Amphidinium sp.</i>	38	25	34	97	32.33±6.66 ^{abcd}
<i>Prorocentrum minimum</i>	19	45	32	96	32.00±13.00 ^{abcd}
<i>Stidhococcus bacillaris</i>	16	42	22	80	26.67±13.61 ^{bcd}
<i>Chattonella sp.</i>	17	15	17	49	16.33±1.15 ^{cd}
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	12	13	10	35	11.67±1.53 ^d

Table 50. Number of nauplii hatched out from a gravid female of *Tigriopus japonicus* fed on each microalgal species selected from previous experiment

Species	1	2	3	Sum	Mean±SD
<i>Navicula</i> sp. ^b	320	291	286	897	299.00±18.36 ^a
<i>Amphora</i> sp.	265	309	291	865	288.33±22.12 ^a
<i>Phaeodactylum tricornerutum</i> ^b	247	272	234	753	251.00±19.31 ^b
<i>Phaeodactylum tricornerutum</i> ^a	252	229	231	712	237.33±12.74 ^{bc}
<i>Nitzschia</i> sp.	234	248	226	708	236.00±11.14 ^{bc}
<i>Navicula cancellata</i>	218	205	240	663	221.00±17.69 ^{bc}
<i>Cocconeis californica</i> ^a	238	216	163	617	205.67±38.55 ^c
<i>Rhaphoneis</i> sp.	215	195	203	613	204.33±10.07 ^c
<i>Navicula</i> sp. ^a	166	169	183	518	172.67±9.07 ^d
<i>Tetraselmis suecica</i>	134	126	174	434	144.67±25.72 ^{de}
<i>Navicula</i> sp. ^c	118	122	134	374	124.67±8.33 ^e
<i>Cocconeis californica</i> ^b	40	66	60	166	55.33±13.61 ^f

5. 참전복 유생 및 치패 실험

가. 참전복 유생의 부착률, 변태율, 생존율 및 성장률

실험 1

미세조류의 부착률과 성장률이 양호했던 9종에 대한 참전복유생을 대상으로 실험한 결과 유생의 부착률은 전반적으로 24시간째 높은 부착률을 보였으며, 이 후 부착률이 감소하는 경향을 보였다. 먹이생물의 분류군별로 볼 때, 규조류에서는 *Rhaphoneis* sp.와 *Nitzschia* sp.가 높은 부착률을 보였으며, 그 외에는 *Tetraselmis subcordiformis*가 비교적 높게 나타났다. 수정 후 80 시간째 *Rhaphoneis* sp.를 공급한 실험구에서 98.3%로 가장 높게 나타났는데 비해, 같은 시간 *Phaeodactylum tricornerutum*을 공급한 실험구에서는 42.2%로 가장 낮게 나타났다. *Oscillatoria splendida*를 준 실험구에서는 다른 실험구와 비교해 볼 때, 68시간째 63.2%의 부착률을 보여 비교적 빠른 시간내에 유생이 부착한 것으로 판단된다(Table 51).

유생의 변태율은 수정 후 6.5일째와 8.5일째 모두 *Rhaphoneis* sp.를 공급한 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05, Table 52). 변태 전 생존율에서는 수정 후 152시간째 *O. splendida*를 공급한 실험구에서 81.1%로 최고값을 보이며, *P. tricornerutum*과 *Cylindrotheca closterium*을 공급한 실험구에서 각각 28.8%와 27.2%로 유의적으로 낮은 생존율을 나타냈다(P<0.05, Table 53).

Table 52. Metamorphosis (%) of abalone larvae fed on different microalgae

(unit : %)

Microalgae	Days after fertilization	
	6.5	8.5
Control	7.7 ^c	9.4 ^{de}
<i>Rhaphoneis</i> sp.	38.7 ^a	57.4 ^a
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	4.8 ^{cde}	6.9 ^{ef}
<i>Navicula</i> sp.	8.8 ^{cd}	12.8 ^{de}
<i>Nitzschia</i> sp.	6.0 ^{cd}	7.7 ^{def}
<i>Amphora</i> sp.	8.9 ^e	13.8 ^d
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0.5 ^e	1.5 ^f
<i>Tetraselmis hanzenii</i>	14.8 ^b	22.3 ^c
<i>Chloromanas</i> sp.	4.0 ^{de}	6.2 ^{ef}
<i>Oscillatoria splendida</i>	16.8 ^b	29.1 ^b

변태 후 유생의 생존율을 보면, 15일 후 *Rhaphoneis* sp.를 공급한 실험구에서 67.0%로 최고값을 나타내면서 다른 실험구와 유의적인 차이를 보였다($P < 0.05$, Table 54). 유생 부착 이후의 성장을 보면, *Rhaphoneis* sp.를 공급한 실험구에서 부착 21일째 807 μm 로 가장 높은 성장을 보였고($P < 0.05$, Table 55), 일간성장량도 25 μm 로 가장 높았다(Table 56).

실험 2

참전복 치패를 대상으로 구조종별 먹이 효율을 실험한 결과(Table 57), 생존율에서는 *C. schroder*가 37.1%, *Nitzschia* sp. 35.0%, *Navicula* sp.가 31.4%로 대체로 높은 생존율을 보인 반면에, *N. elegans*이 6.4%, *C. closterium*은 10.7%로 낮은 생존율을 보였다. 실험 종료 후 전복 각장의 성장을 측정된 결과, *C. californica*가 9.3 mm, *Achnanthes* sp.은 9.3 mm으로 대체로 높은 성장을 보였다. 이에 반해, *N. elegans*는 8.60 mm으로 낮은 성장을 보였다. 전복 육질은 *Amphora* sp.에서 총 무게와 육질의 무게에서 각각 0.0877 g, 0.0352 g으로 높았으며, *C. californica*과 *Achnanthes* sp.에서 대체적으로 높게 나타났다. *N. elegans*는 각장의 성장과 비례하여 가장 낮은 증육을 보였다.

한편 참전복 치패 실험에 사용된 부착 구조 11종의 일반성분, 지방산, 구성아미노산의 영양 분석을 하였다(Table 58). 또 위 실험 종료시 수거한 전복 육질을 대상으로 일반성분 분석을 하였다(Table 59). 조지방과 조단백에서 가장 높은 구조류는 *Nitzschia* sp.였으며 EPA는 *A. veneta* var. *coffeaformis*, DHA와 아미노산은 *Amphora* sp.에서 가장 높은 값을 보였다. 각 구조류를 공급한 전복치패의 육질의 경우 조지방은 *C. closterium*에서 가장 높은 값을 보였다. 생존개체가 적었던 실험구에서는 시료가 충분하지 못해서 조단백을 모두 분석하지 못했으나 *Amphora* sp.에서 가장 높은 값을 보였다.

Table 56. Daily growth increment in shell length of abalone larvae fed on different microalgae

(unit : μm)			
Microalgae	Daily growth increment	Microalgae	Daily growth increment
Control	10.9	<i>Amphora</i> sp.	18.6
<i>Rhaphoneis</i> sp.	25.3	<i>Cylindrotheca closterium</i>	4.8
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	8.5	<i>Tetraselmis subcordiformis</i>	18.6
<i>Navicula</i> sp.	17.6	<i>Chloromanas</i> sp.	12.4
<i>Nitzschia</i> sp.	19.1	<i>Oscillatoria splendida</i>	18.3

Table 57. Dietary values of *Haliotis discus hannai* fed on different benthic diatoms

Microalgae	Final survival (%)	Shell length (mm)	Total weight (g)	Meat weight (g)
<i>Caloneis schroder</i>	37.14±4.04 ^a	9.14±0.43 ^{ab}	0.0806±0.0121 ^a	0.0269±0.0049 ^{bc}
<i>Navicula elegans</i>	6.43±1.01 ^b	8.60±0.62 ^c	0.0671±0.0195 ^c	0.0267±0.0088 ^{bc}
<i>Navicula</i> sp.	20.00±4.04 ^{ab}	9.18±0.48 ^{ab}	0.0805±0.0100 ^a	0.0299±0.0056 ^{ab}
<i>Navicula</i> sp.	31.43±10.10 ^{ab}	9.07±0.69 ^{ab}	0.0769±0.0163 ^{ab}	0.0279±0.0068 ^{bc}
<i>Navicula</i> sp.	12.86±2.02 ^{ab}	8.98±0.83 ^{ab}	0.0777±0.0187 ^{ab}	0.0306±0.0114 ^{ab}
<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffeaeformis</i>	23.57±7.07 ^{ab}	9.00±0.68 ^{ab}	0.0775±0.0155 ^{ab}	0.0317±0.0081 ^{ab}
<i>Nitzschia</i> sp.	35.00±1.01 ^a	8.74±0.71 ^c	0.0720±0.0183 ^{ab}	0.0273±0.0075 ^{bc}
<i>Amphora</i> sp.	27.14±4.04 ^{ab}	9.22±0.40 ^a	0.0877±0.0127 ^a	0.0352±0.0043 ^a
<i>Cocconeis californica</i>	28.57±14.14 ^{ab}	9.33±0.26 ^a	0.0877±0.0111 ^a	0.0323±0.0043 ^{ab}
<i>Cylindrotheca closterium</i>	10.71±1.01 ^{ab}	8.76±0.66 ^c	0.0732±0.0191 ^{ab}	0.0287±0.0104 ^{bc}
<i>Achnanthes</i> sp.	17.86±5.05 ^{ab}	9.27±0.44 ^a	0.0847±0.0107 ^a	0.0344±0.0052 ^a

Table 58. Nutrition analysis of benthic diatom

(unit : %)

Microalgae	Proximate chemical composition		Fatty acid		Total amino acid
	Crude lipid	Crude protein	EPA	DHA	
<i>Caloneis schroder</i>	11.21	16.75	6.351	0.228	29.190
<i>Navicula elegans</i>	8.43	21.87	8.282	-	29.449
<i>Navicula</i> sp.	2.51	24.16	-	1.400	5.640
<i>Navicula</i> sp.	6.52	19.08	9.223	0.172	18.596
<i>Navicula</i> sp.	5.11	21.82	10.991	0.451	22.692
<i>Amphora veneta</i> var. <i>coffeaeformis</i>	6.46	23.77	15.738	0.115	22.587
<i>Nitzschia</i> sp.	36.68	31.21	10.328	0.260	36.748
<i>Amphora</i> sp.	7.61	31.02	4.078	0.624	37.680
<i>Cocconeis californica</i>	2.49	25.72	15.775	0.446	33.082
<i>Cylindrotheca closterium</i>	5.92	21.65	0.010	0.212	28.364
<i>Achnanthes</i> sp.	2.06	24.20	12.785	0.284	24.573

Table 59. Nutrition analysis of abalone meat

Microalgae	Proximate chemical composition (%)	
	Crude lipid	Crude protein
<i>Caloneis schroder</i>	3.83±0.33	53.0±0.33
<i>Navicula elegans</i>	14.4±0.29	-
<i>Amphora veneta</i>	4.72±0.15	-
<i>Navicula</i> sp.	16.9±0.24	63.7±0.62
<i>Navicula</i> sp.	4.16±0.80	62.8±0.00
<i>Nitzschia</i> sp.	4.23±0.97	-
<i>Amphora</i> sp.	17.3±0.77	66.6±0.69
<i>Cocconeis californica</i>	10.4±0.43	66.3±0.63
<i>Navicula</i> sp.	14.1±0.34	-
<i>Cylindrotheca closterium</i>	21.4±0.58	-
<i>Achnanthes</i> sp.	5.73±0.67	-

실험 3

전복 유생의 부착률, 사망률, 변태율, 유생의 성장과 최종 생존율은 Table 60, 61, 62, 63, 64와 같다. 유생의 부착률에서 수정후 152시간 *C. californica*에서 47.3%로 가장 높은 반면, *C.*

*schroder*에서 23.8%로 가장 낮았다. 사망률은 수정 후 8.5일째, *C. californica*에서 63.6%로 가장 낮게 나타났고, *Nitzschia* sp.에서 90.4%로 가장 높게 나타났다. 유생의 변태율은 수정 후 8.5일째, *C. californica*에서 98.5%로 가장 높은 결과를 보였다. 유생의 일간 성장량 역시 *C. californica*에서 25.4 $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 높았고, *Nitzschia* sp.에서 13.9 $\mu\text{m}/\text{day}$ 에서 낮았다. 전복 유생의 최종 생존율은 수정 후 23.5일째 기준으로 대체로 변태율과 일간 성장량이 높았던, *C. californica*에서 7.8%로 가장 높게 나타났다.

Table 60. Percentage of settlement of abalone larvae fed on different diatoms

Microalgae	Hours after fertilization					
	62	68	80	104	128	152
<i>Caloneis schroder</i>	12±2.9 ^b	17.6±5.6 ^c	35.8±8.1 ^b	69.8±10.5 ^c	78.0±6.9 ^c	23.8±10.6 ^c
<i>Nitzschia</i> sp.	26.4±8.0 ^a	42.0±10.5 ^a	58.2±13.3 ^a	95.3±5.5 ^a	83.1±15.0 ^b	24.0±18.6 ^c
<i>Amphora</i> sp.	10.9±4.0 ^b	30.0±4.5 ^b	48.9±6.0 ^b	80.2±7.1 ^b	82.9±3.9 ^b	31.1±14.2 ^{bc}
<i>Cocconeis californica</i>	12.0±2.9 ^b	32.7±6.2 ^a	56.7±11.5 ^a	87.1±8.4 ^a	93.8±4.8 ^a	47.3±4.2 ^a

Table 61. Survival (%) of abalone larvae from veliger stage to attachment before metamorphosis, which were fed on different diatoms

Microalgae	Days after fertilization					
	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5
<i>Caloneis schroder</i>	1.8±2.3	7.8±6.5	14.4±6.6	76±11	78.7±11.3	85.3±8.7 ^a
<i>Nitzschia</i> sp.	0.9±0.9	4.7±3.7	15.6±11.7	68.4±23.1	77.6±25.3	90.4±18.9 ^a
<i>Amphora</i> sp.	2.7±2.2	6±2.7	14.4±5.2	62.4±9.5	66.4±9.5	78.2±5.1 ^a
<i>Cocconeis californica</i>	1.1±1.1	4±2.3	12.7±1.9	55.1±6.5	59.3±8.5	63.6±8.1 ^b

Table 62. Percentage of metamorphosis of abalone larvae fed on different diatoms

Microalgae	Days after fertilization		
	6.5	7.5	8.5
<i>Caloneis schroder</i>	39.1±10.9 ^c	51.5±8.1 ^{bc}	72.2±9.7 ^{bc}
<i>Nitzschia</i> sp.	47.0±20.5 ^{bc}	59.3±27.1 ^b	81.25±41.8 ^{ab}
<i>Amphora</i> sp.	61.94±9.6 ^a	81.2±3.3 ^a	90.7±8.3 ^a
<i>Cocconeis californica</i>	60.2±6.7 ^{ab}	92.9±4.9 ^a	98.5±2.0 ^a

Table 63. Mean daily growth increment of abalone larvae fed on different diatoms

(unit: μm , N=50)

Microalgae	$\mu\text{m}/\text{day}$
<i>Caloneis schroder</i>	16.9 ^b
<i>Nitzschia</i> sp.	13.9 ^b
<i>Amphora</i> sp.	21.0 ^{ab}
<i>Cocconeis californica</i>	25.4 ^a

Table 64. survival (%) of abalone larvae fed on different diatoms

Microalgae	Days after fertilization							
	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	14.5	17.5	23.5
<i>Caloneis schroder</i>	18.9±9.7 ^b	18.2±10.9 ^{bc}	12.0±6.3 ^{bc}	9.3±7.4 ^b	6.9±8.0 ^b	2.7±6.0 ^b	0.7±1.5 ^b	0.0±0.0 ^b
<i>Nitzschia</i> sp.	14.0±17.6 ^b	8.0±4.0 ^b	5.3±4.0 ^c	5.1±3.6 ^b	3.3±3.8 ^b	1.1±2.5 ^b	1.1±2.5 ^b	0.0±0.0 ^b
<i>Amphora</i> sp.	25.3±8.4 ^b	22.2±6.7 ^b	20.9±7.3 ^b	16.4±10.5 ^b	14.4±10.8 ^b	6.4±5.7 ^b	4.9±6.9 ^b	4.9±6.9 ^b
<i>Cocconeis californica</i>	42.9±11.3 ^a	40.9±13.7 ^a	40.7±13.7 ^a	40.2±13.7 ^a	38.9±15.5 ^a	33.6±18.8 ^a	29.8±20.8 ^a	7.8±15.1 ^a

실험 4

그룹별 *T. japonicus*의 부화실험 결과를 토대로하여 선별된 12종의 미세조류를 대상으로 한 유생의 부착률과 변태율을 알아보았다. 참전복 유생의 부착률은 수정 후 94시간이 지난 후부터

는 부착기질에 대한 반응이 나타나서 부착활동을 시작하였다. 136시간이 지났을 때 전 실험구에서 높은 부착률을 보였으며, 이 후 부착률이 감소하는 경향을 보였다.

136시간이 지난 후 참전복유생의 부착기질로 먹이생물의 분류군별로 볼 때, 모든 실험구에서 대조구보다 부착률은 높게 나타났으며 *Rhaponeis* sp.와 *C. californica*^b, *Navicula* sp.^b가 각각 82.2%와 80.5%, 71.8%로 높은 부착율을 보이며 다른 실험구보다 유의적으로 높은 결과를 보였다($p < 0.05$). *Nitzschia* sp.를 공급한 실험구에서는 수정 후 94시간째 55.0%로 다른 실험구에 비해 부착률이 유의적으로 매우 높았으나 100시간 이후 시간이 지날수록 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

수정 후 184시간이 지난 후 유생의 부착률을 비교해보면, *C. californica*^b와 *Rhaponeis* sp.가 각각 76.9%와 75.4%로 다른 실험구들과 비교하였을 때 유의적으로 높은 값을 나타내었으며 ($p < 0.05$), *P. tricorutum*^b과 대조구에서 낮은 값을 나타내었다(Table 65).

참전복 유생의 변태는 수정한 뒤 실험 시작 후, 4일이 지났을 때부터 이루어졌다. 실험 시작 후 4일째 *Navicula* sp.^b, *C. californica*^b, *Rhaponeis* sp.에서 유의적으로 높은 값을 나타내었고, 6일이 지난 후에도 이들 중에서 변태율이 높게 나타났으며, *Navicula* sp.^c와 대조구에서 4일째와 6일째 모두 유의적으로 낮은 값을 나타내었다(Fig. 11).

유생의 생존율은 변태전과 변태후로 나누어 조사를 하였는데 변태 전 생존율에서는 수정 후 94시간과 후부터 184시간째까지 계속해서 *Navicula* sp.^b의 실험구에서 유의적으로 높은 값을 보였다($p < 0.05$). 수정 후 184시간째의 생존율을 비교해보면 *Navicula* sp.^b, *Rhaponeis* sp., *C. californica*^b가 유의적으로 높은 값을 보인 반면, *P. tricorutum*^b, *C. californica*^a와 대조구에서 유의적으로 낮은 값을 나타내었다($p < 0.05$, Table 66).

변태 후 생존율을 보면, 9일째 *Cocconeis californica*^b를 공급한 실험구에서 69.8%로 최고값을 나타내면서 다른 실험구와 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 변태가 진행된 후 *Navicula* sp.^c의 실험구에서는 6일째 모두 사망하였다. 또한 9일이 지난 후 *Phaeodactylum tricorutum*^a에서 생존율이 다른 실험구보다 유의적으로 낮은 값을 나타내었다($p < 0.05$, Table 67).

변태한 유생의 성장을 살펴보면, 변태 직후부터 먹이를 먹기 시작하여 지속적인 성장을 보였으며, 먹이가 공급되지 않은 대조구에서도 성장이 되는 것을 관찰할 수 있었다(Table 68). *C. californica*^b의 실험구는 실험 종료시까지 782.3 μm 까지 성장하면서 다른 모든 실험구에 비해 유의적으로 높은 성장을 나타낸 반면, *Navicula* sp.^c의 실험구에서는 499.2 μm 까지 성장 한 후 전 개체가 사망하였다. 또한 *C. californica*^b와 성장이 가장 낮은 대조구를 제외한 전 실험구에서 성장에 대한 유의적인 차는 없었다($p < 0.05$).

각 실험구별 일간 성장을 보면, *C. californica*^b와 *Rhaponeis* sp.의 실험구에서 각각 33.7

μm , 32.5 μm 로 유의적으로 높게 나타난 반면, 대조구에서 13.1 μm 로 가장 낮게 나타났다. 그 외 실험 종료시까지 생존한 개체가 있는 실험구에서의 개체들은 약 10~30 μm 사이의 일간 성장률을 보였다(Table 69).

Table 69. Daily growth increment in shell length of *Haliotis discus nannai* larvae fed on different microalgae for 16 days from veliger larvae

Microalgae	No. of abalone larvae (inds.)	Daily growth increment ($\mu\text{m}/\text{day}$)
<i>Cocconeis californica</i> ^b	25	33.7±1.8 ^a
<i>Rhaphoneis</i> sp.	25	32.5±1.3 ^a
<i>Cocconeis californica</i> ^a	18	25.4±4.5 ^b
<i>Navicula</i> sp. ^b	25	25.2±3.1 ^{bc}
<i>Tetraselmis suecica</i>	15	23.7±2.3 ^{bcd}
<i>Navicula</i> sp. ^a	13	23.2±1.4 ^{bcd}
<i>Amphora</i> sp.	25	23.2±5.0 ^{bcd}
<i>Navicula cancellata</i>	19	22.9±5.8 ^{bcd}
<i>Nitzschia</i> sp.	25	22.9±3.5 ^{bcd}
<i>Phaeodactylum tricornutum</i> ^b	6	20.8±1.5 ^{bcd}
<i>Navicula</i> sp. ^c	2	18.3±3.8 ^e
<i>Phaeodactylum tricornutum</i> ^a	8	16.6±2.5 ^{cd}
non-fed	2	13.1±4.2 ^{de}

실험 5

유생의 부착률은 전반적으로 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.에서 유의적으로 높았다. 수정 후 184시간 때의 부착률을 보면 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.에서 76.9%, 75.4%로 높은 부착률은 보인 반면, *C. californica* (small type)와 자연해수를 공급한 실험구에서는 36.4%, 33.7%로 낮은 부착률은 보였다. 그리고 먹이를 공급하지 않은 대조구에서는 가장 낮은 11.0%의 부착률을 보였다(Table 70).

유생의 생존율은 모든 실험구에서 변태개체가 보이기 시작한 시기인 수정 후 160시간이 수정 후 136시간에 비해서 생존율이 저조하였다. 수정 후 184시간 *C. californica* (large type)와 *Rhaphoneis* sp.의 생존율은 각각 67.7%, 69.5%로 다른 실험구에 비해 높게 나타났고, *C. shroederi* 실험구에서 62.3%로 비교적 높게 나타났다. 반면, *C. californica* (small type) 실험구 26.8%, 대조구 7.0%로 낮게 나타났다(Table 71).

유생의 변태율 역시 수정 후 10일째, *C. californica*(large type)에서 49.5%, *Rhaphoneis* sp.에서 45.5%로 다른 먹이를 공급한 실험구에 비해 높게 나타났고, *C. californica* (small type)를 공급한 실험구에서는 16.1%로 낮게 나타났다. 4종을 혼합한 실험구 역시 28.4%로 비교적 낮은

변태율을 보였다(Table 72).

유생의 변태 이후의 생존율을 살펴보면, *C. californica* (large type)에서 69.0%로 최고값은 보이며, *Raphoneis* sp.에서 61.0%, *C. shroederi*에서 58.0%, 4종 혼합구 55.6%로 비교적 높게 나타났다. 그에 반해, *C. californica* (small type)실험구 36.1%낮았고, 대조구는 14.0%로 변태 이후의 생존율이 매우 저조하였다(Table 73).

유생의 실험기간 중 각장의 성장률을 살펴본 결과, 부착률과 생존율, 변태율에서 높은 값은 보였던 *C. schroederi*에서 가장 좋았고, *Raphoneis* sp.에서 역시 비교적 높은 성장률을 보였다(Fig 12). 유생의 일간 성장률 역시 *C. californica* (large type)에서 33.7 $\mu\text{m}/\text{day}$, *Raphoneis* sp.에서 32.5 $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 높은 성장률을 보이면서, 다른 실험구와 유의적인 차이를 보였다($P < 0.05$). 반면, *C. californica* (small type)와 4종 혼합구는 22.9 $\mu\text{m}/\text{day}$, 21.8 $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 낮은 성장률을 보였고, 대조구는 13.4 $\mu\text{m}/\text{day}$ 로 가장 저조하였다(Table 74).

이와 같이 여러 번 실시한 전복 유생과 치패 실험결과를 종합적으로 볼 때 전복유생과 치패의 초기먹이생물로 적합하다고 판단되는 최종 6종의 먹이생물로 *C. californica* (large, small), *Raphoneis* sp., *Navicula* sp., *C. schroederi*, *T. suecica*를 선정하였다. 이들 종류의 불포화 지방산(EPA+DHA)은 *C. californica* (large)에서 아미노산은 *C. schroederi*에서 가장 높게 나타났다(Table 75).

실험 6. 참전복 유생과 *Tigriopus japonicus*의 경쟁 관계

유생의 부착률과 변태율: 참전복 유생과 *T. japonicus*의 경쟁관계를 알아보기 위하여 5종의 미세조류를 혼합배양한 petri-dish에 veliger 유생기의 참전복과 *T. japonicus*를 함께 수용하여 유생의 부착률과 변태율을 알아보았다. 참전복 유생의 부착률은 veliger 유생기에서 실험을 시작한 후, 6시간이 지난 후부터는 부착기질에 대한 반응이 나타나서 부착활동을 시작하였다. 24시간이 지날 때까지 전 실험구에서 부착률이 높아졌으나 48시간이 지나면서 급격히 감소하기 시작하여 96시간째가 되면 대조구를 제외한 전 실험구에서 5% 미만의 생존율을 보였다(Table 76).

참전복 유생의 변태는 전 실험구에서 실험 시작 후, 4일이 지날 때까지도 이루어지지 않았으며, 6일 이후에도 대조구와 *T. japonicus* 10미 수용한 실험구에서만 이루어지고, 나머지 실험구에서는 6일 이전에 전개체가 사망하여 변태율을 구할 수가 없었다(Fig. 13).

Table 74. Mean daily growth increment of *Haliotis discus hannai* larvae fed on different diatoms

(unit : μm , N=25)

Micoralgae	$\mu\text{m}/\text{day}$
non-fed	13.4±3.8 ^d
<i>Caloneis schroederi</i>	29.0±1.8 ^b
<i>Rhaphoneis</i> sp.	32.5±1.3 ^a
<i>Cocconeis californica</i> (large type)	33.7±1.8 ^a
<i>Cocconeis californica</i> (small type)	22.9±1.4 ^c
mixed microalgae	21.8±1.6 ^c

Table 75. Nutritional analysis of benthic diatom

Microalgae	Fatty acid (%)		Total amino acid (%)
	EPA	DHA	
<i>Caloneis schroeder</i>	6.4	0.2	29.2
<i>Cocconeis californica</i> (large)	22.8	1.9	20.1
<i>Cocconeis californica</i> (small)	8.0	-	15.4
<i>Navicula</i> sp.	7.1	1.7	20.9
<i>Rhaphoneis</i> sp	12.5	0.8	15.9
<i>Tetraselmis suecica</i>	3.9	0.1	14.8

Table 76. Percentage of settlement of abalone larvae with different densities of *Tigriopus japonicus*

No. of <i>T. japonicus</i> /petridish	Hours from veliger stage					
	6	12	24	48	72	96
0	14.1±4.9 ^{ab}	18.9±6.2 ^{ab}	34.2±6.9 ^{ab}	46.6±11.4 ^a	37.5±9.3 ^a	28.9±12.9 ^a
10	10.8±3.5 ^{ab}	13.3±10.2 ^b	36.5±13.1 ^{ab}	32.2±2.9 ^b	10.0±12.8 ^b	4.2±2.3 ^b
20	15.4±3.9 ^b	18.4±0.31 ^{ab}	22.6±4.3 ^b	28.6±4.4 ^{bc}	1.8±1.8 ^b	0.6±1.0 ^b
50	8.3±1.8 ^b	17.3±7.6 ^{ab}	28.8±10.4 ^b	14.1±9.8 ^d	3.3±3.2 ^b	-

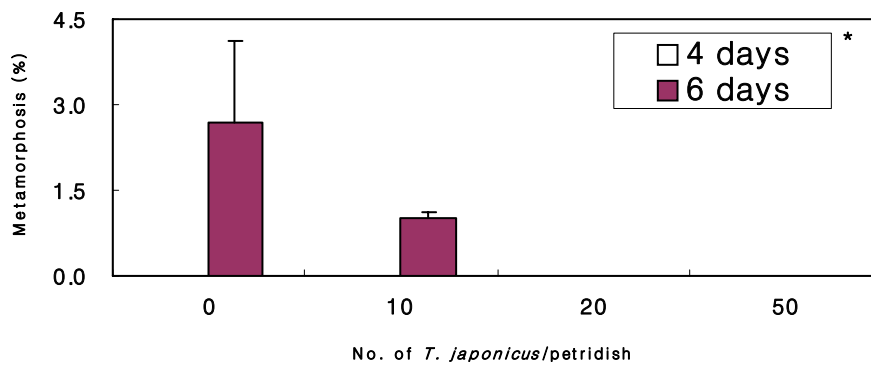


Fig. 13. Percentage of larval metamorphosis of *Haliotis discus nannai* on different densities of *Tigriopus japonicus*.

* Days after inoculation of veliger larvae grown for 96 hours after fertilization

유생의 생존율 및 성장: 유생의 생존율은 변태전과 변태후로 나누어 조사를 하였는데 변태 후인 7일째 대조구를 제외한 전 실험구의 개체가 사망하였으므로 변태전의 생존율과 성장률에 대해서만 조사하였다. 변태 전 생존율에서는 대조구를 제외한 전 실험구에서 48시간 이후부터 급격한 감소를 보였으며 *T. japonicus* 50미를 수용한 실험구에서는 72시간 이후 전개체가 사망하였다(Table 77).

유생의 성장을 살펴보면, 4일째 대조구에서 332.8 μm 까지 성장하면서 다른 모든 실험구에 비해 유의적으로 높은 성장을 나타내었다(Table 78). 또한 대조구를 제외한 전 실험구에서 성장에 대한 유의적인 차는 없었다($p < 0.05$).

각 실험구별 일간 성장도 대조구에서 22.4 μm 로 높은 값을 나타내었으나 다른 실험구에서는 유의적인 차가 없었다($p < 0.05$). 이상의 결과로 전복유생의 부착시기에 *T. japonicus*가 출현하였을 경우, 개체수의 다소와 상관없이 전복유생의 부착에 심각한 악영향을 초래할 수 있다고 판단된다(Table 78).

Table 77. Early survival (%) of abalone larvae with different densities of *Tigriopus japonicus* before veliger stage

No. of <i>T. japonicus</i> /petri dish	Ellapsed times (hr)					
	6	12	24	48	72	96
0	99.6±0.6 ^a	99.6±0.6 ^a	96.0±5.2 ^a	88.5±4.7 ^a	74.0±2.6 ^a	50.4±10.3 ^a
10	99.3±1.3 ^a	95.5±2.0 ^a	87.5±9.0 ^a	62.8±1.8 ^b	19.0±19.3 ^b	8.4±6.8 ^b
20	100.0±0.0 ^a	97.4±2.6 ^a	92.3±1.9 ^a	59.7±5.0 ^{bc}	9.2±1.6 ^b	3.9±1.9 ^b
50	100.0±0.0 ^a	97.3±2.7 ^a	79.9±16.6 ^a	40.2±17.7 ^{cd}	10.4±9.5 ^b	0.0±0.0 ^b

Table 78. Shell length and daily growth increment of *Haliotis discus nannai* larvae with different densities of *Tigriopus japonicus* from veliger stage during four days experiment

No. of <i>T. japonicus</i> /petridish	No. of abalone larvae	Shell length (μm)	Daily growth increment (μm)
0	18	332.8 \pm 12.8 ^a	22.4 \pm 3.2 ^a
10	8	273.1 \pm 19.6 ^b	7.5 \pm 4.9 ^b
20	6	275.2 \pm 9.1 ^b	8.04 \pm 2.3 ^b
50	20	266.6 \pm 3.1 ^b	5.94 \pm 0.8 ^b

6. 부착규조류의 대량 배양을 위한 실험

가. 부착규조류의 배양환경에 따른 부착 실험

(1) 온도와 염분, 조도에 따른 부착규조의 성장 실험

실험1

부착 규조를 대상으로 5종 부착규조의 온도에 따른 성장을 조사한 결과(Fig. 14) 23°C에서는 *Raphoneis* sp., *Caloneis schroederi*, *Navicula* sp.에서 좋은 성장을 보인 반면 27°C에서는 *C. californica* (large type), *C. californica* (small type), *C. schroederi*에서 높은 결과를 보였다.

염분에 따른 부착 규조의 성장은 대부분 각 종의 배양 온도에 따라 좌우되었다. *Raphoneis* sp.는 23°C일 때는 염분 30%에서 성장이 양호하였고, 26°C이면 염분 24%에서 성장이 양호하였다. 즉 배양온도가 높아질 경우, 다소 낮은 염분에서 성장이 좋았다. *C. californica* (large type)와 *C. californica* (small type)는 염분에 따른 성장의 차이가 뚜렷하지 않았다(Fig. 15). 따라서 23°C 이하의 16, 18, 20, 22°C에서 저온에 적합한 3종의 규조류와 23°C 이상의 24, 26, 28°C에서 고온에 적합한 3종의 규조류를 30%에서 다시 배양한 결과는 Fig. 16, 17과 같다. *C. schroederi*는 26, 28°C에서 성장이 양호했으며 유의적인 차이가 없었다. *C. californica* (large type)는 26°C까지 배양 온도가 높을수록 성장이 양호하였지만 26°C 이상에서는 성장이 급격히 감소하였다. 그에 반해 *Raphoneis* sp.는 23°C까지 배양온도가 높을수록 성장이 양호하였고, 그 이상의 수온에서는 성장이 저조하였다. *C. californica* (small type)는 각 온도별 실험 구에 따른 성장의 차이가 뚜렷하지 않았고, 위의 3종에 비해 성장이 상대적으로 불량하였다. 따라서 *C. schroederi*, *C. californica* (large type)는 상대적으로 고온에서 성장이 양호하고, *Raphoneis* sp.는 23°C 이상에서는 부적합한 것으로 판단된다.

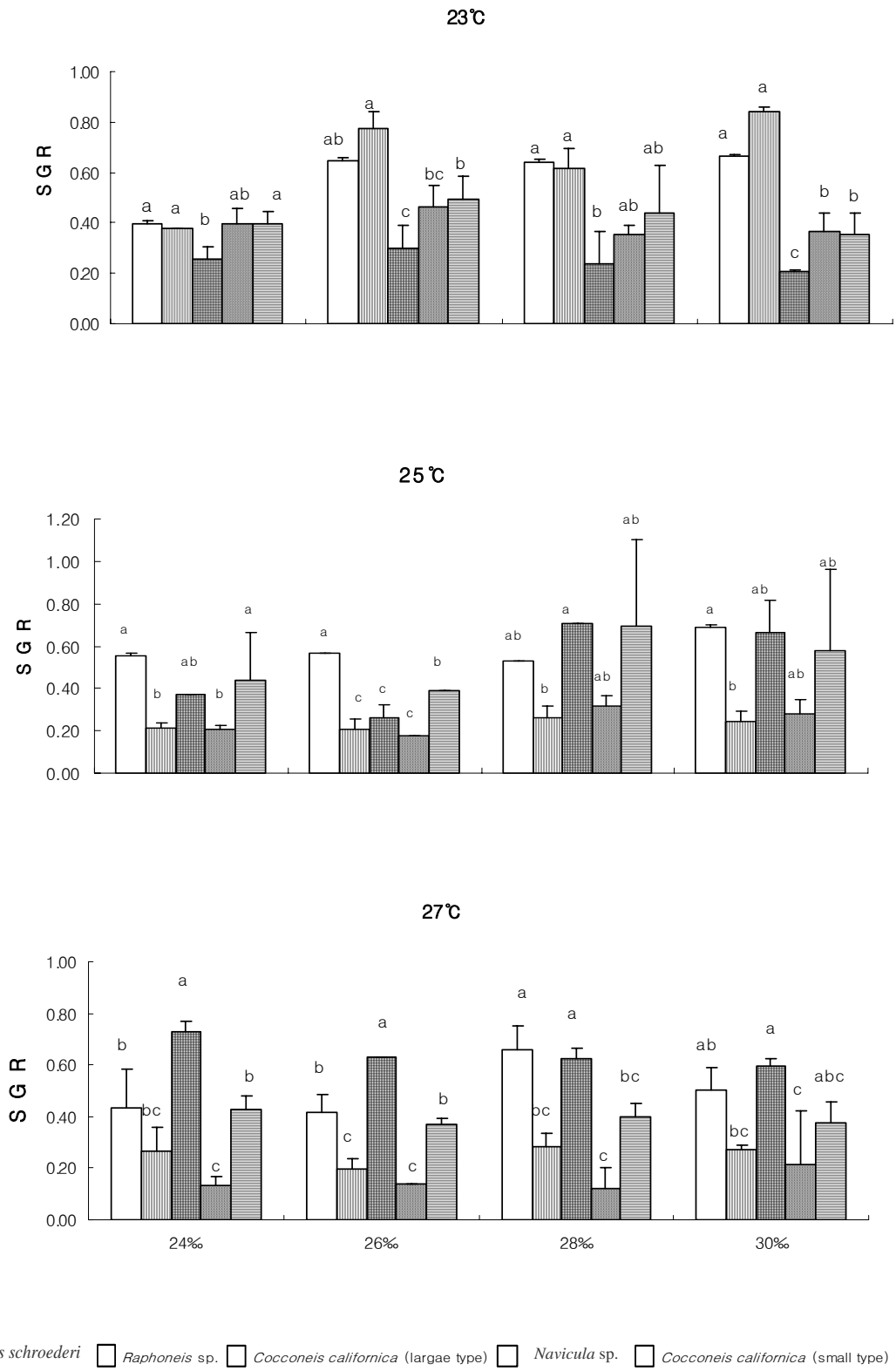
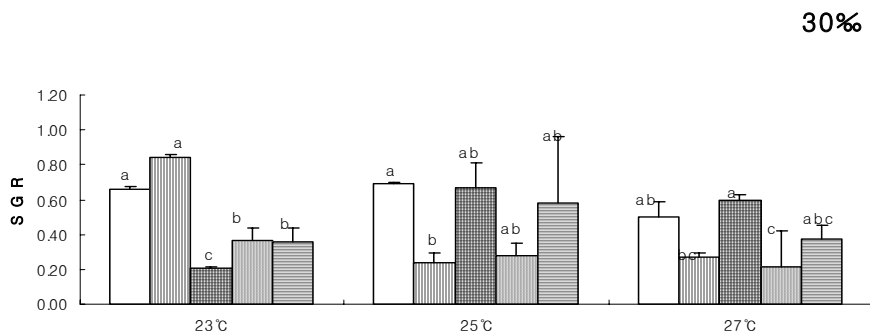
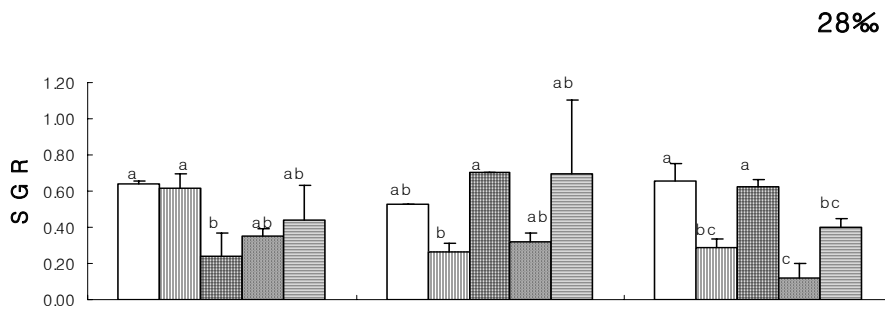
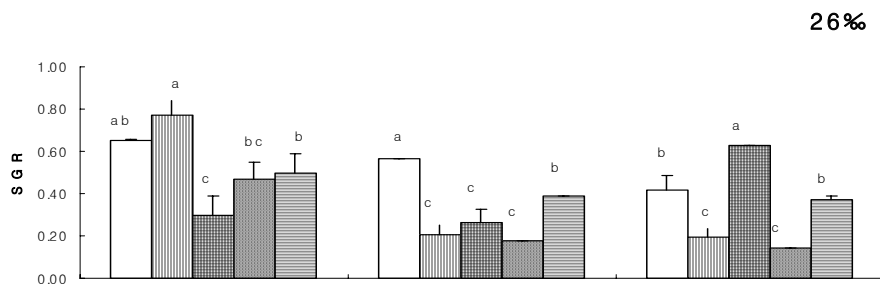
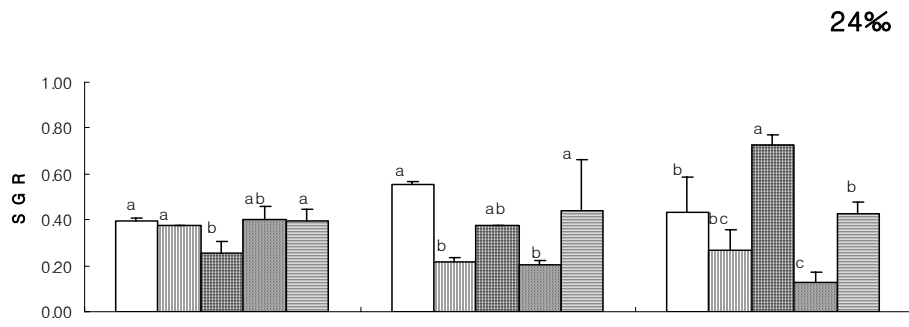


Fig. 14. Specific growth rate (SGR) of benthic diatom with different temperatures.



Caloneis schroederi
 Raphoneis sp.
 Cocconeis californica (largae type)
 Navicula sp.
 Cocconeis californica (small type)

Fig. 15. Specific growth rate (SGR) of benthic diatom with different salinities.

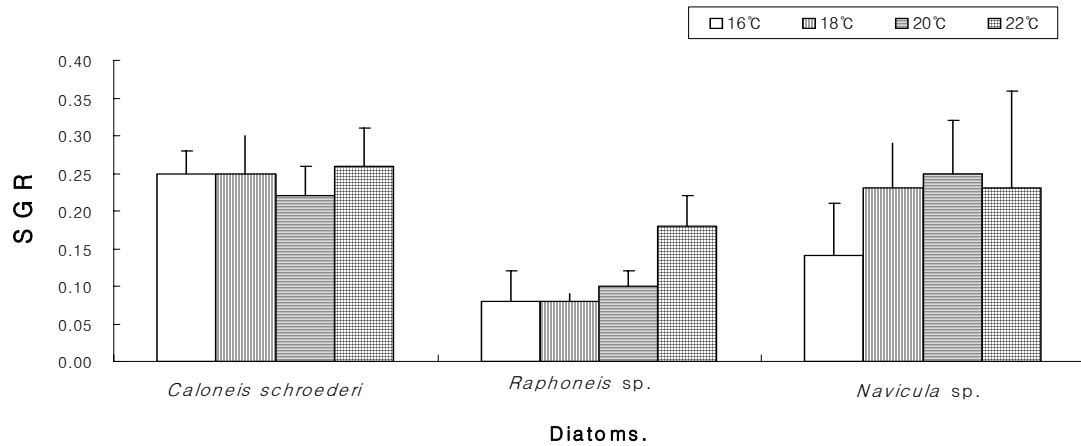


Fig. 16. Specific growth rate (SGR) of benthic diatom in low temperatures ranging from 16°C to 22°C at 30‰.

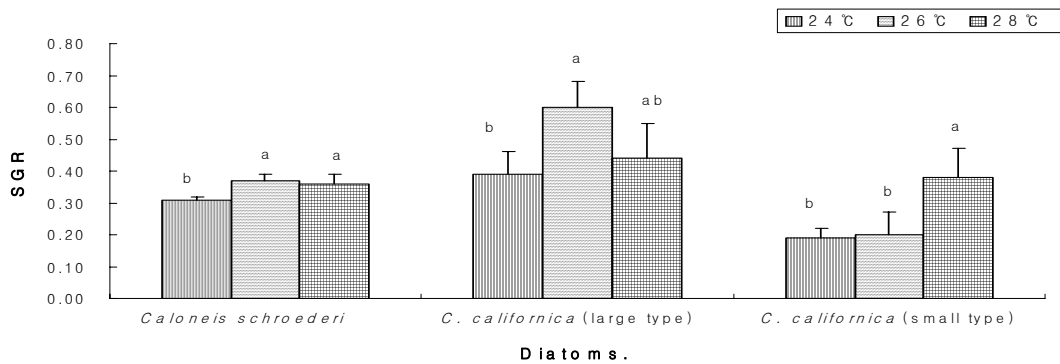


Fig. 17. Specific growth rate (SGR) of benthic diatom in high temperatures ranging from 24°C to 28°C at 30‰.

실험 2

실험 1에서 가장 광온성인 *C. schroeder*를 대상으로 염분과 온도에 따른 성장을 재조사한 결과는 Table 79과 같다. *C. schroeder*의 염분에 따른 성장은, 19°C에서 28‰에서 가장 높은 성장을 보였고, 22°C에서는 24, 26‰에서 높은 성장을 보였다. 25°C에서는 24, 26‰에서 높은 성장을 보였다. 그리고 온도별로, 30, 32‰에서 낮은 성장을 보였다. 온도에 따른 *C. schroeder*의 성장은 24‰에서는 22°C에서 높은 성장을, 26‰에서는 25°C에서 높은 성장을, 28‰에서는 25°C에서 높은 성장을 보였다. 30‰에서나 32‰에서도 마찬가지로 25°C에서 *C. schroeder*가 높은 성장을 보였다.

실험 3

18, 26°C의 온도 조건하에서 조도를 1,000, 3,000, 5,000 및 7,000 lux로 구분하여 조사 (Fig. 18)한 후 다시 조도를 500에서 3,000 lux까지 6구간으로 세분한 후(Fig. 19) 조도에 따른 성장을 조사하였다. 4종 모두 1,000 lux에서 가장 높은 성장률을 보였다. 비교적 저온에서 성장이 양호한 *Raphoneis* sp.의 경우 18°C에서는 1,000 lux에서 성장이 가장 높았고, 조도가 높아짐에 따라 성장이 완만하게 감소하였으나, 26°C의 고온에서는 2,500, 3,000 lux로 높아짐에 따라 성장이 급격히 감소하였다. 비교적 고온에서 성장이 좋은 *C. californica* (large type)의 경우 18°C에서는 조도별로 큰 성장의 차이를 보이지 않았고, 26°C에서는 2,500, 3,000 lux에서 성장이 급격히 감소하였다.

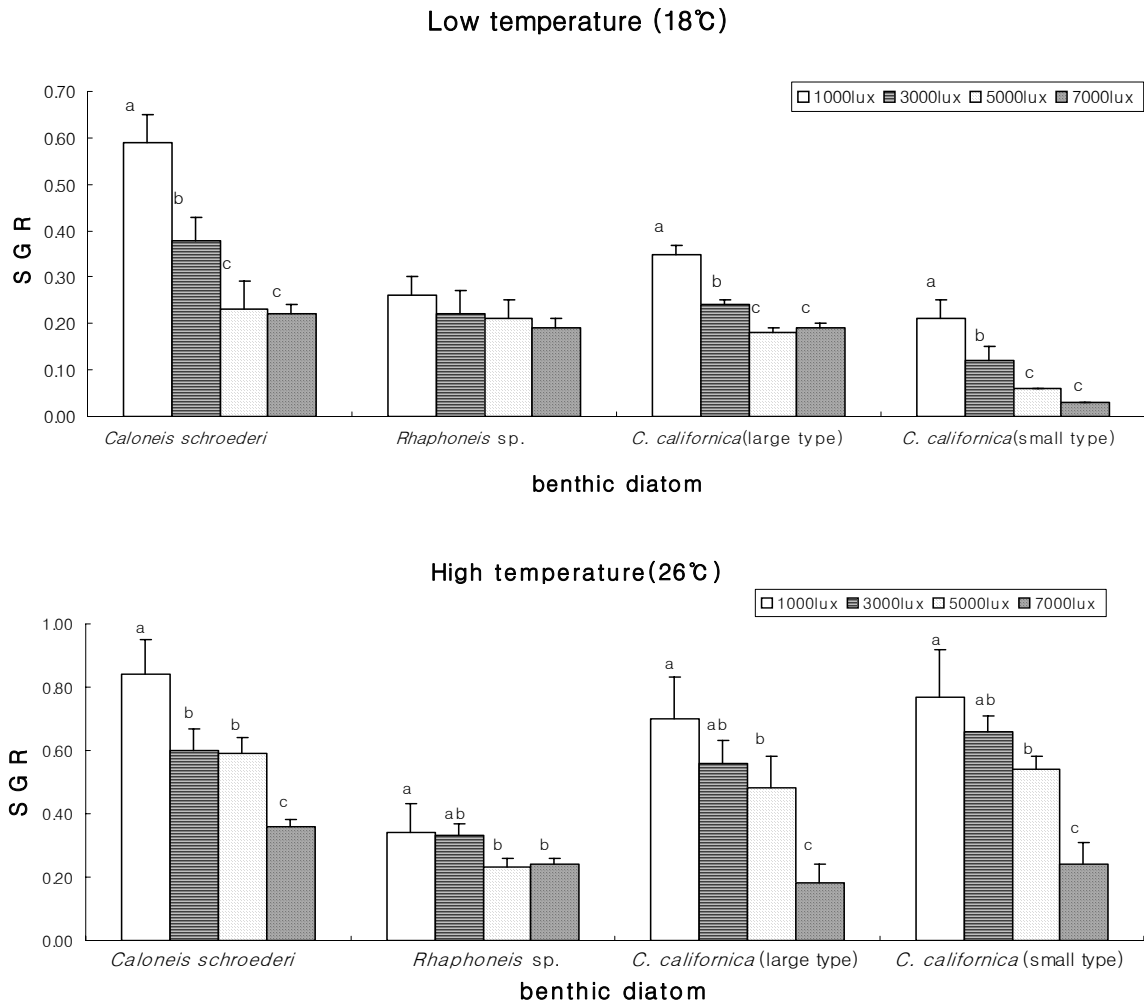


Fig. 18. Specific growth rate (SGR) with different illumination intensities ranging from 1000 lux to 7000lux, of benthic diatom in low and high temperature at 30‰.

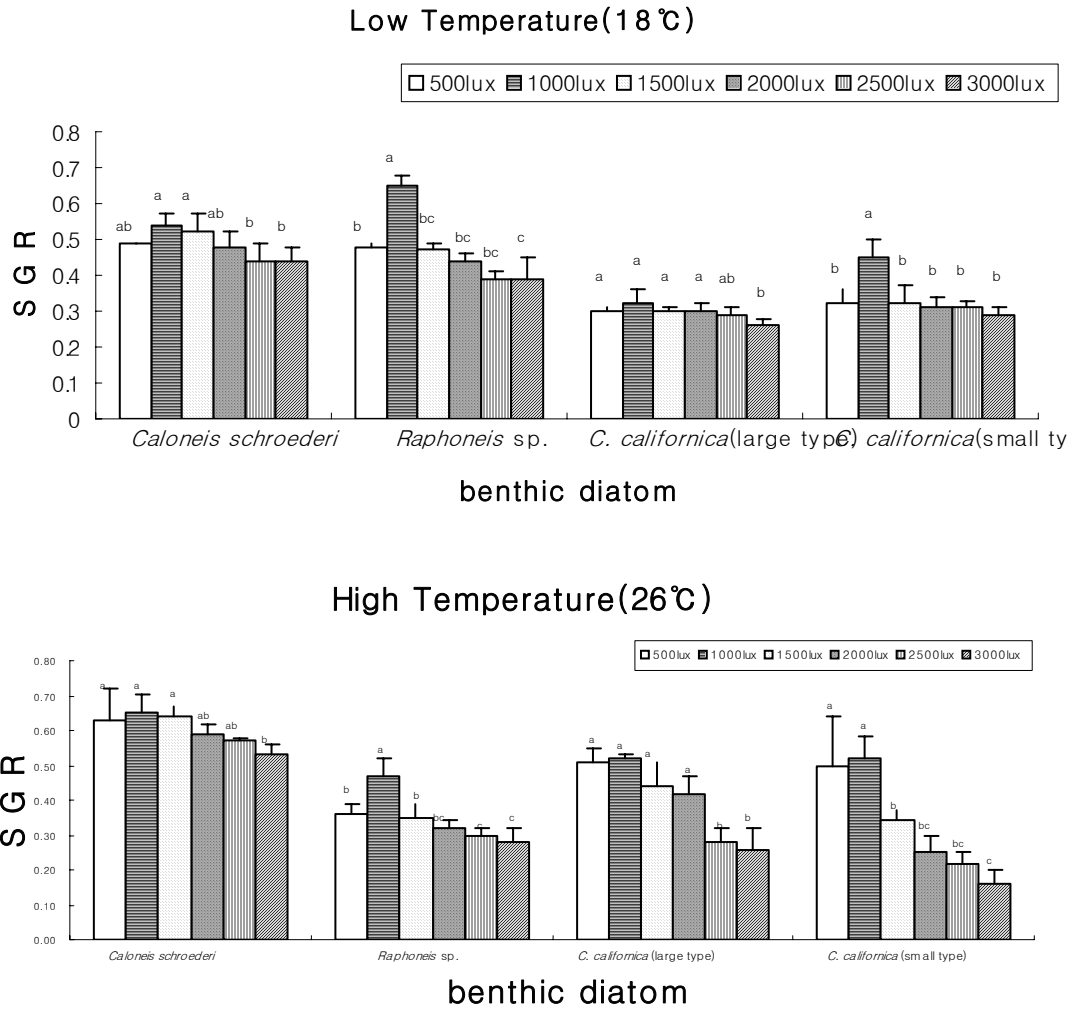


Fig. 19. Specific growth rate (SGR) of benthic diatom with different illumination intensities ranging from 500 lux to 3000 lux in low and high temperature at 30‰.

나. 부착 구조의 부착 기질에 따른 부착력 조사.

*Caloneis schroederi*의 기질별 부착률은 배양 기간 5일째 net에서 34.7%로 가장 높은 부착률을 보였고, 10일째 35.2%, 15일째 29.3%로 다소 떨어지긴 하였지만, 다른 실험구에 비해서 상대적으로 높은 부착률을 보였다. brush는 배양 15일째, 30.5%로 net와 같이 높은 부착률을 보였다. 그에 반해, plastic sheet, plastic mesh는 배양 15일째 17.4%, 16.1%로 배양 5, 10일째와 거의 변화를 보이지 않으면서 낮은 부착률을 보였다(Table 80).

*Raphoneis sp.*의 기질별 부착률 역시 배양 5일째, 30.4%로 다른 실험구에 비교하여 가장 높은 부착률을 보였고, 10일째 역시 33.1%로 높은 부착률을 보였다. 그리고 brush의 경우, 배양 5일째는 plastic sheet와 plastic mesh와 같이 낮은 부착률을 보이다가 배양 10일째는 26.4%로 비교적 높은 부착률을 보였다. 그에 반해 plastic mesh와 plastic sheet는 배양기간동안 부착

를 변화가 거의 보이지 않았다(Table 81). 전체 면적의 부착률은 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.에서 모두 기질별 부착률에 비해서 큰 차이를 보이지 않았지만, net와 brush에서 다른 실험 구에 비해 다소 높은 부착률을 보였다(Table 82, 83).

Table 80. Adhesion (%) of *Caloneis schroederi* with different prostrates

Culture days	Net	Brush	Plastic sheet	Plastic mesh
5	34.7±2.9 ^a	24.7±6.9 ^b	18.6±1.4 ^{bc}	15.3±2.2 ^c
10	35.2±3.8 ^a	30.4±4.0 ^a	19.4±2.4 ^b	19.4±3.5 ^b
15	29.3±6.1 ^a	30.5±1.7 ^a	17.4±1.9 ^b	16.1±2.2 ^b

Table 81. Adhesion (%) of *Raphoneis* sp. with different prostrate

Culture days	Net	Brush	Plastic sheet	Plastic mesh
5	30.4±5.0 ^a	19.0±3.4 ^b	16.7±2.2 ^b	16.9±3.2 ^b
10	33.1±5.3 ^a	26.4±4.7 ^a	18.7±2.1 ^b	17.8±0.4 ^b
15	25.5±2.7 ^a	26.7±3.2 ^a	17.2±1.8 ^b	17.1±1.7 ^b

Table 82. Total adhesion (%) of *Caloneis schroederi* with different prostrates at total area.

Culture days	Net	Brush	Plastic sheet	Plastic mesh
5	90.6±4.0 ^a	86.1±7.9 ^a	88.1±3.2 ^a	87.8±1.2 ^a
10	93.5±0.7 ^a	91.9±2.1 ^{ab}	90.0±2.8 ^{ab}	88.3±3.7 ^b
15	90.9±0.5 ^b	92.3±0.5 ^a	89.4±0.8 ^c	87.1±1.1 ^d

Table 83. Total adhesion (%) of *Raphoneis* sp. with different prostrates at total area

Culture days	Net	Brush	Plastic sheet	Plastic mesh
5	87.8±0.2 ^a	88.7±5.0 ^a	84.6±7.4 ^{ab}	85.0±4.9 ^{ab}
10	92.1±2.0 ^a	89.4±1.5 ^a	85.1±6.1 ^a	87.3±2.5 ^a
15	89.6±0.5 ^b	90.1±0.7 ^a	87.0±2.9 ^{bc}	86.4±1.4 ^c

다. 부착 기질의 면적에 따른 부착 구조의 부착률 조사

부착 기질의 면적에 따른 부착률을 조사한 결과 *Caloneis schroederi*에서 net를 5개 넣은 실험구가 43.46%로 net를 7개, 10개 넣은 실험구보다 유의적으로 높은 부착률을 보였다. 또한 net를 7개 넣은 실험구의 부착률이 39.09%로 net를 10개 넣은 실험구의 35.94%의 보다 높은 부착률을 보였다. *Raphoneis* sp.에서도 마찬가지로 net를 5개를 넣은 실험구가 57.27%로 다른 실험구에 비해 높은 부착률을 보였다(Table 84).

총부착 면적의 부착률을 조사한 결과 역시 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.에서 모두 net를 5개 넣은 실험구에서 높은 부착률을 보였고, net를 7개 넣은 실험구가 10개를 넣은 실험구에 비해서 유의적으로 높은 부착률을 보였다(Table 85).

Table 84. Adhesion (%) of benthic diatom with different net densities

No. of net	<i>Caloneis schroederi</i>	<i>Raphoneis</i> sp.
5	43.46±3.04 ^a	57.27±0.24 ^a
7	39.09±4.25 ^{ab}	49.83±2.13 ^b
10	35.94±1.69 ^b	39.12±0.28 ^c

Table 85. Adhesion (%) of benthic diatom with different total areas

No. of net	<i>Caloneis schroederi</i>	<i>Raphoneis</i> sp.
5	80.13±2.96 ^a	84.83±2.76 ^a
7	70.96±3.71 ^{ab}	72.03±2.34 ^b
10	62.20±3.32 ^b	62.80±1.34 ^c

라. 부착 구조의 혼합 배양 시 중간 경쟁 및 천이 조사 실험

실험 1

전복의 유생과 부착성 요각류 *Tigriopus japonicus*의 먹이효율이 높았던 부착 구조 4종을 대상으로 온도별로 중간 경쟁 및 천이를 조사하기 위해서 부착률(settlement, %)을 온도별로 조사한 결과 경향은 크게 차이가 나지 않았다. 10°C에서는 대체로 소형 *Cocconeis californica* 이 배양 5일째까지는 50%이상을 유지하면서 우점하였고, 배양 기간이 지나면서 *Caloneis schroederi*는 비율이 배양 5일째, 배양 50일째, 26.2%, 48.8%로 증가하면서 그 비율이 높아졌다. 그러나, *Rhaphoneis* sp., 와 *C. californica*은 그 비율이 배양기간 중 10%이하를 지속적으로 유지하면서 비교적 낮은 비율을 차지하였고, 변동 비율도 크지 않았다. 15, 20°C역시 10°C에서와 유사한 경향을 나타내었고, 25°C에서는 *C. schroederi*의 비율이 배양 3일째부터 30.9%를 차지하면서 다른 온도 구간 때보다 빠르게 우점하였고, 그 외는 다른 온도 구간과 유사하였다 (Fig. 20).

실험 2

전복 치패의 먹이효율 실험을 토대로 효과적이었던 부착 구조2종과, 담녹조류 1종을 대상으로 중간 경쟁 및 천이 조사 실험 결과 온도 10, 15, 20, 25°C에서 모두 *Tetraselmis suecica*가 빠르게 우점하였고, *C. schroederi*는 비율의 변화를 거의 보이지 않으면서 매우 낮은 성장을 보였다. 그 반면 *Rhaphoneis* sp.의 경우는 그 비율이 배양기간에 따라 점점 낮아지는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 21). 즉. 온도 10°C에서 *T. suecica*가 배양 1일째, 14.4%의 비율에서 배양 2일째 47.9%으로 2배 이상의 비율로 증가하였고, 배양 3일째, 74.2%, 배양 6일째 81.8%, 배양 10일째에는 92.0%로 매우 높은 비율을 차지하였다. 그러나 위 실험 1에서 배양 기간에 따라 우점했던 *C. schroederi*는 부착 구조와 혼합배양 시보다 *T. suecica*를 혼합배양하게 되면 거의 성장이 되지 않는 것을 관찰할 수 있었다. 즉 온도구간 10°C에서 배양 1일째, 4.9%를 차지하였고, 배양 5일째, 배양 10일째, 각각 8.1%, 1.6%를 차지하면서 그 비율이 크게 증가하지도 못하고 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다. *Rhaphoneis* sp.의 경우는 온도 구간 10°C에서 배양 2일째 33.4%로 비교적 높은 비율을 차지하다가, 배양 5일, 배양 10일째 18.3%, 6.4%로 완만하게 감소하는 경향을 보였다.

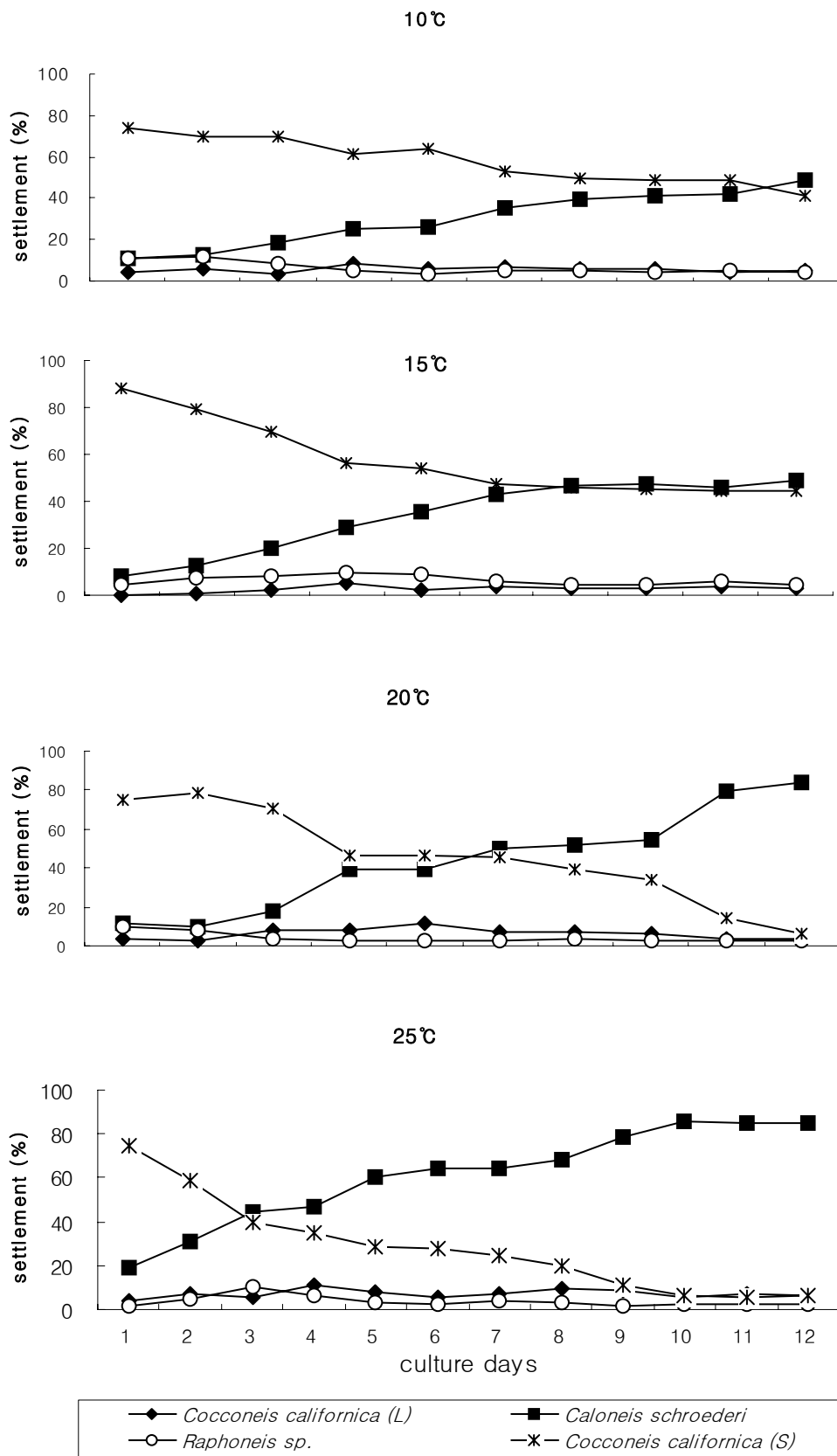


Fig. 20. Variation of the settlement (%) of four-mixed microalgae species with different temperatures.

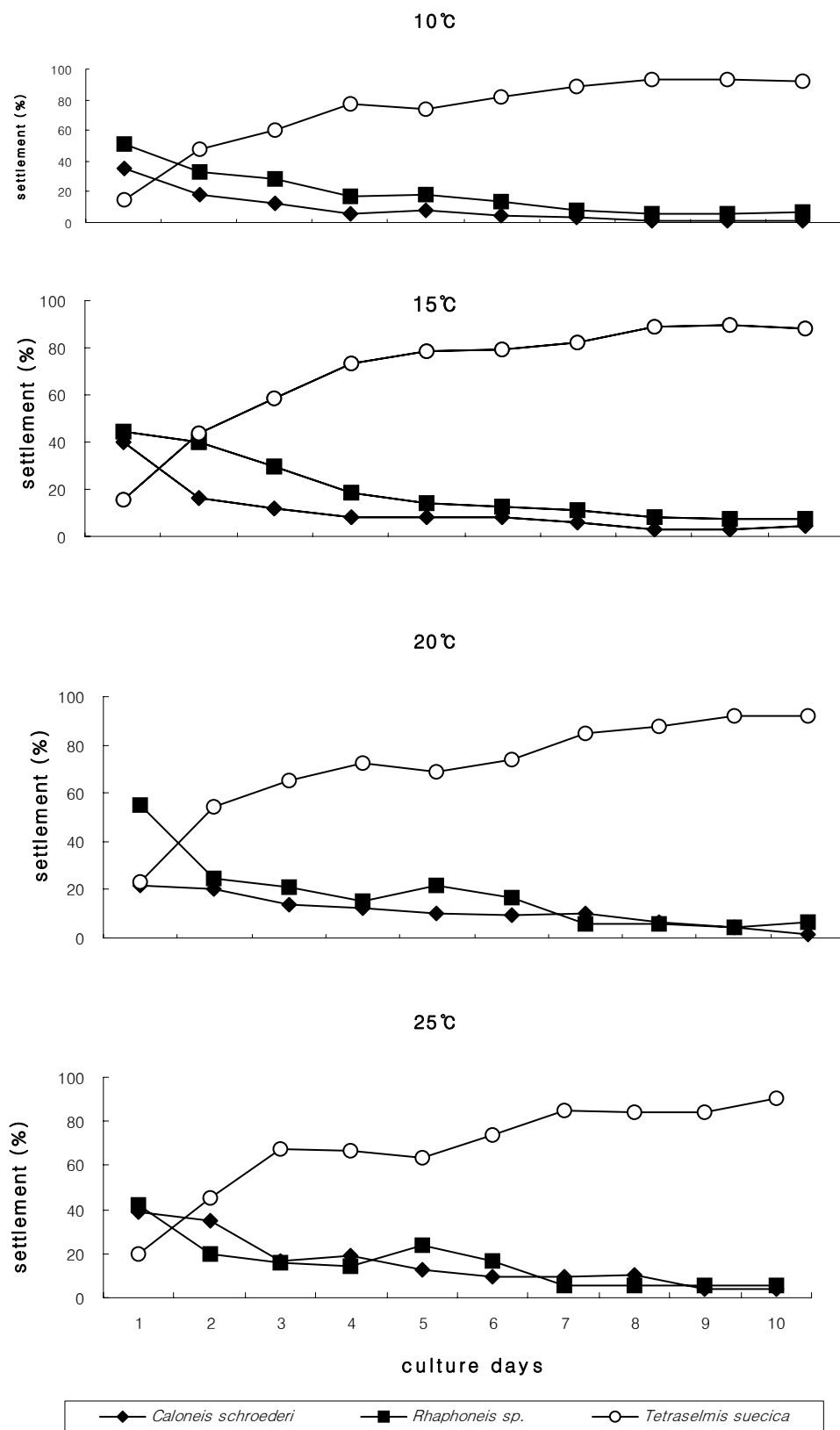


Fig. 21. Variation of the settlement (%) of three-mixed microalgae species with different temperatures.

마. CO₂ 공급 여부에 따른 부착 규조의 성장조사.

전복의 유생과 부착성 요각류의 *Tigriopus japonicus*의 성장에 효율적이었던 부착성 미세조류 3종을 대상으로 하여 CO₂의 공급 여부에 따라 성장의 차이를 조사한 결과 매일 22시간 CO₂를 공급한 결과 3종 모두 성장 차이가 뚜렷하게 나타나지는 않았다. *Caloneis schroederi*의 경우 실험 6일 동안 CO₂를 공급한 실험구와 공급하지 않은 실험구에서 성장의 유의적인 차이를 보이지 않았고, *Rhaphoneis* sp.의 경우 역시 *C. schroederi*와 유사한 결과를 보였다. 반면 *Tetraselmis suecica*의 경우는 배양 5일째까지 CO₂공급 여부에 따라 성장차이를 보이지 않다가, 배양 6일째, 공급 실험구에서 chlorophyll-a의 함량이 무공급 실험구에 비해 유의적으로 높은 성장을 나타내었다(Table 86).

CO₂를 공급함에 따라 pH의 변화는 CO₂공급전과 무공급 실험구에서는 8.7~9.3의 범위를 보이고 공급 후 측정된 pH의 값은 6~7사이의 값을 나타내었다(Table 87).

Table 86. Growth (chlorophyll-a) of the microalgae with or without CO₂ supply for twenty two hours per day

(unit: mg/m³)

Culture day	<i>Caloneis schroederi</i>		<i>Rhaphoneis</i> sp.		<i>Tetraselmis suecica</i>	
	Supply	Non-supply	Supply	Non-supply	Supply	Non-supply
0	98.9±2.5 ^a	98.9±2.5 ^a	15.8±2.1 ^a	15.8±1.4 ^a	20.8±1.5 ^a	20.8±0.8 ^a
1	100.8±12.5 ^a	102.7±2.9 ^a	18.2±9.6 ^a	16.3±2.4 ^a	49.9±3.5 ^a	40.8±2.5 ^a
2	231.7±25.4 ^a	231.7±12.3 ^a	37.7±20.6 ^a	33.2±3.6 ^a	49.8±4.5 ^a	48.2±1.6 ^a
3	329.7±5.9 ^a	296.3±35.6 ^a	64.7±5.6 ^a	41.9±8.6 ^a	63.2±11.2 ^a	58.0±3.4 ^a
4	336.0±21.4 ^a	333.0±22.6 ^a	65.1±4.6 ^a	74.9±14.2 ^a	187.7±18.6 ^a	141.5±7.2 ^a
5	320.3±20.5 ^a	311.7±14.3 ^a	83.3±10.3 ^a	85.7±10.2 ^a	250.0±15.4 ^a	162.9±13.6 ^a
6	312.7±15.6 ^a	313.7±18.6 ^a	132.7±25.6 ^a	126.7±24.6 ^a	305.0±20.5 ^a	136.3±22.5 ^b

Table 87. Variation of pH during the culture period of the microalgae with or without CO₂ supply

Culture day	<i>Caloneis schroederi</i>			<i>Rhaphoneis</i> sp.			<i>Tetraselmis suecica</i>		
	Supply		Non supply	Supply		Non supply	Supply		Non supply
	Before	After		Before	After		Before	After	
0	8.78		8.85	8.77		8.73	9.16	-	9.12
1	8.89	6.24	8.90	8.92	6.07	8.77	9.08	6.93	8.93
2	8.91	6.36	8.87	8.73	6.12	8.88	8.62	6.48	9.03
3	9.21	6.18	8.95	8.87	6.19	9.04	8.85	6.59	8.92
4	9.36	6.21	8.89	8.98	6.21	8.96	8.82	6.49	9.16
5	9.34	6.59	8.92	9.06	7.05	9.05	8.97	6.54	9.08
6	9.13	6.32	9.05	8.95	6.54	8.99	9.03	6.58	9.12

바. 농업비료를 이용한 경제적 배지개발

부착 규조류를 대량 배양하기 위하여 농업용 비료를 이용한 경제적 배지를 개발하기 위하여 농업용 비료에 각각 다른 Si 성분을 첨가하여 배양하였다. f/2 배지를 대조구로 하고 기본 배지는 해수 1L에 농업용 비료[복합비료(0.0417g), 요소비료(0.0344g)]와 NaNO₃ (200 mg), CuSO₄ (0.0588 mg)를 첨가하여 제조하였다. 그 이외의 배지는 기본배지에 서로 다른 규소원을 달리 첨가하였다. 규소원으로는 Na₂SiO₃ (50mg), 규산질비료(200 mg)를 첨가하거나 또는 oyster powder extract 50 mL를 기본배지 950 mL에 첨가하여 제조하였다.

8일간 배양 후의 chlorophyll-a의 값은 Table 88과 같다. 대조구의 f/2배지에서 성장은 가장 낮았으며 규소원으로 oyster powder extract를 공급한 실험구가 가장 높은 성장을 보였다. 그러나 Na₂SiO₃를 첨가한 실험구는 규산질 비료를 첨가한 실험구보다는 유의적으로 높았으나 oyster powder extract를 첨가한 실험구보다는 유의적으로 낮은 값을 보였다.

앞의 실험 결과를 토대로 기본배지에 서로 다른 규소원을 다른 농도로 첨가하여 14일간 배양한 결과는 Table 89와 같다. 배양 2일째까지는 각 배지에 따른 뚜렷한 성장 차이를 나타내지 않았으나, 배양 7일째부터 기본배지(950 mL)+oyster powder extract (50 mL)와 기본배지(900 mL)+oyster powder extract (100mL/900mL)의 세 실험구에서 비교적 높은 chlorophyll-a의 함량을 나타내었다. 배양 14일째 oyster powder extract를 첨가한 실험구에서 다소 높은 성장 경향을 보였다.

Table 88. Growth of *Caloneis schroederi* cultured with f/2 media and fertilizer media added with different silicate elements

(unit: mg/m³)

Culture days	Media			
	1	2	3	4
0	227.57	227.571	227.571	227.571
1	293.03	304.507	302.927	323.890
2	481.50	448.495	615.938	541.377
3	532.38	527.558	581.375	646.863
4	573.37	575.142	593.808	690.370
5	576.49	821.515	613.028	622.188
6	598.44	850.447	632.628	662.195
7	548.31	806.732	966.045	673.067
8	470.83	740.513	875.550	575.562
SGR	0.1311 ^d	0.2128 ^b	0.2430 ^a	0.1673 ^c

1: f/2 media, 2: Fertilizer (950 mL)+Na₂SiO₃ (50mg), 3: Fertilizer (950 mL)+Oyster powder extract (50 mL), 4: Fertilizer+Silicate fertilizer (200 mg),

* Fertilizer : compound, 0.1176 mg/L+urea, 0.1637 mg/L+NaNO₃, 200 mg/L+CuSO₄, 0.0588 mg/L

Table 89. Growth of *Caloneis schroederi* cultured with different fertilizer media and concentration of silicate

(unit: mg/m³)

Culture days	Media					
	1	2	3	4	5	6
0	125.46	125.46	125.46	125.46	125.46	125.46
1	216.46	219.37	225.79	245.21	259.20	246.01
2	387.02	416.34	413.89	444.52	455.25	419.09
3	451.74	418.90	412.10	459.72	510.59	451.09
4	641.53	711.09	689.33	619.77	673.98	630.07
5	1149.16	952.56	1013.79	1128.63	1197.57	801.85
6	1465.69	1154.52	1376.97	1396.39	1381.04	867.55
7	1731.57	1283.69	1433.13	1487.10	1380.48	761.08
8	1527.30	1138.53	1120.29	1384.13	1192.00	596.37
9	1779.54	1210.45	1711.50	1693.25	1170.30	836.95
10	1838.74	1246.43	1698.09	1712.67	1194.15	784.45
11	1872.78	1438.40	1804.83	1509.37	1419.56	914.89
12	1877.30	1531.46	1803.08	1625.52	1585.05	925.95
13	1851.23	1383.67	1725.63	1845.53	1358.21	853.34
14	1817.88	1346.19	1836.77	1838.54	1296.21	802.45
SGR	0.2755 ^a	0.2445 ^b	0.2766 ^a	0.2767 ^a	0.2406 ^b	0.1912 ^c

1: Fertilizer (compound, 0.1176 mg/L+urea, 0.1637 mg/L+NaNO₃, 200 mg/L+CuSO₄, 0.0588 mg/L).

2: 1+Na₂SiO₃ (50 mg), 3: 1(950 mL)+oyster powder extract (50 mL/950 mL), 4: 1(900 mL)+oyster powder extract (100 mL).

5: 1+Silicate fertilizer (200 mg), 6: 1+silicate fertilizer (400 mg).

사. 미세조류의 부착생태 및 수확 기술 개발

*Caloneis schroederi*의 부착기질별 부착수는 그물실험구에서 그물 부착이 52.66×10^4 cells/ mL로 가장 많았고, 부유가 20.34×10^4 cells/ mL로 가장 적었다. 비그물실험구에서는 벽면부착이 60.24×10^4 cells/ mL로 부유보다 많았다. 총 세포수에 있어서 그물실험구와 비그물실험구 간 유의적인 차는 없었다. *Raphoneis* sp.에서도 그물실험구에서 그물부착이 48.28×10^4 cells/ mL로 가장 많았으며 벽면부착이 8.79×10^4 cells/ mL로 가장 적었다. 비그물실험구도 벽면부착이 28.84×10^4 cells/ mL로 부유보다 높았고 총 세포수는 그물실험구가 비그물실험구보다 유의적으로 많았다. 반면 *Tetraselmis suecica*에서는 그물실험구에서 부유가 73.0×10^4 cells/ mL로 가장 많았고, 벽면부착은 10.04×10^4 cells/ mL로 가장 적었다. 또한 비그물실험구 역시 부유가 109.3×10^4 cells/ mL으로 벽면부착보다 많았으며 총세포수에 있어서 유의적인 차는 없었다. 이때 그물실험구에서의 가장 많았던 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.의 그물부착률은 각각 45.79%, 68.20%로 나타났고, 비그물실험구에서 벽면 부착률은 각각 53.78%, 58.37%로 나타났다. *T. suecica*에서는 그물실험구와 비그물실험구에서 가장 많았던 부유가 각각 72.75%, 88.89%였다(Table 90).

한편 그물실험구와 비그물실험구에서 부유를 제외하고 그물과 벽면에 부착된 3종의 총 부착수 및 부착률을 비교해보면, 그물실험구에서의 총 부착수 및 부착률이 *C. schroederi* 87.54×10^4 cells/ mL, 82.13%, *Raphoneis* sp. 57.07×10^4 cells/ mL, 81.46%, *T. suecica* 27.25×10^4 cells/ mL, 27.18%로 나타났고 비그물실험구에서는 *C. schroederi* 60.24×10^4 cells/ mL, 53.78%, *Raphoneis* sp. 28.84×10^4 cells/ mL, 58.37%, *T. suecica* 13.63×10^4 cells/ mL, 11.11%로 나타나 그물을 넣은 실험구에서 3종 모두 유의적으로 높게 나타났다(Table 91).

7. 미세조류의 농축 및 저장기술 개발

가. 미세조류의 농축기술 개발

*Caloneis schroederi*의 시간별, 수심별 침강세포수를 살펴보면, 공기공급을 중단한 직후 표층에서 18.3×10^4 cells/ mL였던 것이 24시간 후에는 관찰되지 않았고, 수심 10 cm와 20 cm에서도 처음 세포수가 각각 48.3×10^4 cells/ mL, 60.3×10^4 cells/ mL로 관찰되던 것이 시간이 지날수록 급격히 감소하였다. *Raphoneis* sp.에서는 표층에서 공기공급을 중단한 직후에도 종이 관찰되지 않았고, 수심 10 cm에서는 공기공급을 중단한 직후 7.3×10^4 cells/ mL였던 것이 9시간 후부터는 관찰되지 않았고 수심 20 cm에서도 12시간 후부터는 종이 관찰되지 않았다. 반면 *Tetraselmis suecica*에서는 표층, 10 cm, 20 cm 모두 공기공급을 중단한 직후부터 24시간동안 종이 관찰되었으나 시간이 지날수록 감소하는 경향을 보였다(Table 92).

이렇게 하여 24시간 후 실험구에 농축된 미세조류를 각각 수확한 종별 수확비율은 Table 92와 같다. 침강이 잘 일어난 *C. schroederi*, *Raphoneis* sp.는 총 배양액 17.5 L 중 각각 500 mL씩 수확한 반면 *T. suecica*는 종이 표층부터 남아있어 2.9 L 수확하였다. *C. schroederi*는 95.3%, *Raphoneis* sp.는 99.0%가 수확된 반면 *T. suecica*는 65.1% 수확되었다(Table 93).

Table 92. Sinking density of microalgae according to water depth and hour after non-aeration

Depth (cm)	Hours after non-aeration	($\times 10^4$ cells/ mL)		
		<i>Caloneis schroederi</i>	<i>Raphoneis</i> sp.	<i>Tetraselmis suecica</i>
0	0	18.3±7.6	0.0±0.0	159.0±63.2
	3	5.0±8.7	0.0±0.0	123.7±53.6
	6	2.3±2.1	0.0±0.0	107.3±39.5
	9	1.7±2.1	0.0±0.0	89.7±19.8
	12	1.0±1.7	0.0±0.0	60.3±22.8
	24	0.0±0.0	0.0±0.0	45.7±14.0
10	0	48.3±15.3	7.3±7.5	185.7±16.8
	3	17.3±21.2	1.3±1.5	172.3±20.3
	6	10.7±9.7	0.3±0.6	143.7±21.0
	9	4.0±3.5	0.0±0.0	106.7±7.6
	12	1.7±1.5	0.0±0.0	72.3±24.4
	24	0.3±0.6	0.0±0.0	62.0±21.0
20	0	60.3±13.7	8.3±7.6	279.7±57.7
	3	27.3±28.4	2.3±2.1	264.0±61.0
	6	22.3±20.4	0.7±1.2	226.7±69.2
	9	21.7±10.6	0.3±0.6	212.3±81.2
	12	3.7±2.5	0.0±0.0	151.3±30.7
	24	2.3±0.6	0.0±0.0	103.7±24.9

Table 93. Harvesting data of cultured microalgae at twenty four hours after non-aeration
($\times 10^7$ cells/ mL)

Species	Harvested biomass	Filtered biomass	Total biomass	Harvesting (%)
<i>Caloneis schroederi</i>	1,966.0 \pm 256.0	96.3 \pm 80.3	2,062.3 \pm 236.9	95.3 \pm 4.1
<i>Rhaphoneis</i> sp.	1,442.5 \pm 393.1	17.0 \pm 17.0	1,459.5 \pm 410.1	99.0 \pm 0.9
<i>Tetraselmis suecica</i>	2,154.7 \pm 213.1	1,163.1 \pm 194.4	3,317.8 \pm 397.9	65.1 \pm 1.9

나. 농축된 미세조류의 저장기술 개발

미세조류 3종의 저장밀도, 온도, glycerol 첨가 유무에 따라 2, 4, 8, 12주 저장 후 재접종한 후의 15일간 배양 후 성장을 chlorophyll-a 함량으로 조사한 결과를 살펴보았다.

(1) *Caloneis schroederi*

고밀도 저장

glycerol 첨가구에서는 4°C에서 2주간 저장하였던 실험구가 195.5 mg/m³로 가장 높은 값을 보였으며 -20°C와 -80°C에서 각각 12주, 8주 저장하였던 실험구가 모두 0.6 mg/m³씩의 값을 나타내 가장 낮았다. Glycerol 비첨가구에서도 4°C에서 2주간 저장하였던 실험구가 15일 후 199.7 mg/m³으로 높은 값을 보인 반면 -80°C에서 8주, 12주 저장하였던 실험구가 모두 0.8 mg/m³로 낮게 나타났다. 한편 2주간 저장하였던 실험구에서는 -80°C에서 glycerol 첨가구보다 비첨가구의 성장이 유의적으로 높게 나타났으며 나머지 온도에서는 유의적인 차가 없었고 저장기간이 4주였던 실험구에서는 온도 구간별 유의적인 차가 보이지 않았다. 저장기간 8주, 12주에서 0°C 모두 glycerol 첨가구보다 비첨가구의 성장이 높게 나타났으나 나머지 온도에서는 유의적인 차가 보이지 않았다(Table 94, p<0.05).

저밀도 저장

Glycerol 첨가구에서는 4°C, glycerol 비첨가구에서는 0°C에서 2주간 저장하였던 실험구가 각각 106.2 mg/m³, 147.7 mg/m³으로 높은 값을 보인 반면 glycerol 첨가구와 비첨가구 모두 -80°C에서 12주 저장한 실험구가 각각 0.0 mg/m³, 0.3 mg/m³로 낮게 나타났다. 한편 2주간 저장한 실험구에서는 4, 0, -80°C에서 모두 glycerol 첨가구보다 비첨가구의 성장률이 유의적으로 높게 나타났다. 4주, 8주, 12주 저장 후 15일간 배양한 실험구에서는 각각 -80, 0, 4°C에서 glycerol

첨가구보다 비첨가구의 성장률이 유의적으로 높게 나타났으며 나머지 온도구간에서는 차이가 없었다(Table 95, $p < 0.05$).

(2) *Raphoneis* sp.

고밀도 저장

Glycerol 첨가구에서는 4°C, glycerol 비첨가구에서는 0°C에서 2주간 저장하였던 것을 접종한 뒤 15일 배양한 실험구가 각각 54.2 mg/m³, 71.1 mg/m³으로 높은 값을 보인 반면 glycerol 첨가구, 비첨가구 모두 -20°C와 -80°C에서 12주간 저장한 실험구가 chlorophyll-a의 함량이 나타나지 않아 가장 낮았다. 한편 2주간 저장하였던 실험구에서는 0, -80°C가 glycerol 첨가구보다 비첨가구의 성장률이 유의적으로 높게 나타났으며 저장기간이 4주였던 실험구에서는 0, -20°C, 저장기간 8주 실험구는 4, 0, -20°C, 저장기간 12주 실험구는 4°C에서 glycerol 첨가구보다 비첨가구의 성장률이 유의적으로 높게 나타났다(Table 96, $p < 0.05$).

저밀도 저장

Glycerol 첨가구에서 4°C, glycerol 비첨가구에서 0°C에서 2주간 저장하였던 실험구가 각각 40.0 mg/m³, 63.3 mg/m³으로 높은 값을 보인 반면 glycerol 첨가구와 비첨가구 모두 -20°C에서 12주, -80°C에서 4, 8, 12주 저장한 실험구가 chlorophyll-a의 함량이 나타나지 않아 가장 낮았다. 한편 2주간 저장하였던 실험구에서는 0°C, 4주간 저장하였던 실험구는 4°C와 0°C, 8주간 저장하였던 실험구는 4°C에서 모두 glycerol 첨가구보다 비첨가구의 성장률이 유의적으로 높게 나타났으나 그 외의 실험구에서는 저장기간별, 온도별, glycerol 첨가유무와 관계없이 성장률에 유의적인 차는 보이지 않았다(Table 97, $p < 0.05$).

(3) *Tetraselmis suecica*

고밀도 저장

Glycerol 첨가구에서는 0°C, glycerol 비첨가구에서는 4°C에서 2주간 저장하였던 실험구가 각각 175.7 mg/m³, 195.0 mg/m³으로 높은 값을 보인 반면 glycerol 첨가구, 비첨가구 모두 -80°C에서 12주 저장한 실험구가 각각 0.2 mg/m³, 1.1 mg/m³으로 가장 낮았다. 한편 2주간 저장하였던 실험구에서는 온도별 glycerol 첨가구와 비첨가구의 성장률에 유의적인 차가 없었으며 4주간 저장하였던 실험구에서는 -20, -80°C, 저장기간 8주, 12주 실험구는 4, 0°C에서 glycerol 첨가구보다 비첨가구의 성장률이 유의적으로 높게 나타났다(Table 98, $p < 0.05$).

저밀도 저장

Glycerol 첨가구, glycerol 비첨가구 모두 4°C에서 2주간 저장하였던 실험구에서 각각 125.0 mg/m³, 133.3 mg/m³으로 높은 값을 보인 반면 glycerol 첨가구와 비첨가구 모두 -20°C, -80°C에서 12주간 저장한 실험구가 chlorophyll-a의 함량이 나타나지 않아 가장 낮았다. 한편 2주간 저장 하였던 실험구에서는 -80°C, 4주간 저장하였던 실험구는 -20°C, 8주간 저장하였던 실험구는 4, 0, -80°C에서 모두 glycerol 첨가구보다 비첨가구의 성장률이 유의적으로 높게 나타났으나 그 외의 실험구에서는 저장기간별, 온도별, glycerol 첨가유무와 관계없이 성장에 유의적인 차는 보이지 않았다(Table 99, p<0.05).

이상의 결과를 종합해 보면, 저장밀도, 온도, 기간 및 glycerol 첨가유무에 따른 미세조류 3종의 성장경향은 대체로 유사하게 나타났다. 3종 모두 저장 온도별 성장은 4°C에서 가장 높았고 저장 온도가 낮아짐에 따라 낮게 나타났다. 또한 보관 온도에 관계없이 저장기간이 길어질수록 성장은 낮게 나타났으며 glycerol 비첨가구가 첨가구에 비하여 온도, 저장기간에 상관없이 15일 배양 후 높은 값을 보였으나 몇 개의 실험구를 제외하면 유의적인 차는 보이지 않았다(p<0.05).

다. 저장한 미세조류의 재접종을 통한 성장 조사

부착조건에 따라 별도로 수확한 3종의 미세조류를 4°C에서 2, 4, 8주 보관 후 재접종한 뒤 성장을 조사한 결과는 Table 100과 같다. *C. schroederi*의 경우 그물에 부착했던 종을 재접종한 실험구에서 2, 4, 8주 모두 파판부착이 각각 16.4×10^4 cells/ mL, 14.4×10^4 cells/ mL, 10.4×10^4 cells/ mL로 벽면부착이나 부유보다 많았다. 벽면에 부착했던 종을 재접종한 실험구에서는 벽면부착이, 부유했던 종을 재접종한 실험구에서는 그물부착종을 재접종한 실험구와 마찬가지로 파판부착에서 2, 4, 8주 모두 가장 많았다.

Raphoneis sp.에서는 그물에 부착했던 종을 재접종한 실험구에서 2, 4, 8주 모두 벽면부착이 각각 20.0×10^4 cells/ mL, 17.5×10^4 cells/ mL, 12.7^4 cells/ mL로 벽면부착이나 부유보다 많았고 벽면에 부착했던 종을 재접종한 실험구에서는 파판부착에서, 부유했던 종을 재접종한 실험구에서 2, 4주에는 파판부착이 높았고 8주에는 부유에서 더 높았다. 반면 *Tetraselmis suecica*에서는 그물부착종, 벽면부착종, 부유종을 재접종한 모든 실험구에서 2, 4, 8주 전 기간에 걸쳐 부유종에서 가장 높았다.

전 실험 기간을 통틀어 총 세포수 및 SGR은 전 실험구에서 2주가 가장 높았고 4, 8주가 지날수록 낮아지는 경향을 보였다(Table 101).

Table 101. Specific growth rate (SGR) of re-inoculated microalgae which were stored at 4°C according storage period

Storage period (weeks)	Attached type	<i>Caloneis schroederi</i>	<i>Raphoneis</i> sp.	<i>Tetraselmis suecica</i>
2	Net	0.71±0.17 ^b	0.52±0.06 ^a	0.41±0.04 ^b
	Well surface	0.77±0.05 ^b	0.60±0.01 ^a	0.48±0.04 ^b
	Floating	0.92±0.13 ^a	0.59±0.07 ^a	0.67±0.07 ^a
4	Net	0.68±0.21 ^b	0.50±0.08 ^a	0.37±0.09 ^b
	Well surface	0.56±0.03 ^b	0.51±0.01 ^a	0.45±0.04 ^{ab}
	Floating	0.89±0.16 ^a	0.55±0.03 ^a	0.65±0.08 ^a
8	Net	0.62±0.15 ^b	0.32±0.11 ^a	0.33±0.09 ^b
	Well surface	0.50±0.01 ^b	0.50±0.01 ^a	0.41±0.08 ^{ab}
	Floating	0.82±0.06 ^a	0.50±0.03 ^a	0.59±0.07 ^a

라. 농축미세조류의 시제품 개발

전복종묘생산을 위한 현장실험을 위하여 1, 2년차 실험을 통하여 전복의 먹이생물로 적합하다고 판단된 3종(*C. schroederi*, *Raphoneis* sp., *T. suecica*)을 대량배양한 후 시제품형태로 개발하였다. 또 이 시제품은 전복부화장에서 대량배양용으로 접종하여 전복과판에 붙여진 후 현장 실험의 먹이생물로 이용되었다.

8. 기술 이전 및 산업화를 위한 pilot 규모의 전복종묘 생산

가. 참전복 유생 및 치패의 생존 및 성장

시제품으로 생산된 3종의 미세조류를 대상으로 전복종묘생산업체인 해림수산에서의 현장 실험 결과를 살펴보면, 전 실험 기간 중 수온의 범위는 16.1~24.80°C로 13주째 가장 높았고 유생을 수조에 사육하기 전인 5월 19일이 가장 낮았다. 매 주 수조별로는 큰 차이가 보이지 않았다(Table 102).

염분은 실험 기간 동안 수조별 큰 변화가 없었으나 유생을 사육하기 전인 5월 19일 대조구

를 제외하고 28.80~29.85%의 범위로 대조구에 비해 약 3% 정도 낮은 경향을 보였는데 이는 먹이를 접종한 5월 10일 이 후부터 19일 사이의 강수에 의한 영향때문으로 판단된다(Table 103).

pH는 1주째인 5월 19일에 9.25~9.63의 범위로 다른 실험기간동안보다 높은 경향을 나타내었으나 전복을 사육하던 2주째부터는 8.4~8.9 사이로 실험기간동안 수조별 큰 차이를 보이지 않았다(Table 104).

유생의 부착수 및 부착률을 살펴보면(Table 105, 106), 유생의 부착률은 5월 20일 수조에 사육하기 시작한 후, 1주일째 전 실험구에서 가장 높았고 2주째부터는 계속해서 감소하는 경향을 보였다. 또한 모든 실험구에서 대조구보다 부착률은 높게 나타났으며 4주째까지 *C. schroederi*에서 계속하여 가장 높은 부착률을 보였다. 1, 2주째는 *C. schroederi*에서 각각 81.47%, 75.07%로 가장 높게 나타났으며 다른 실험구들에서는 유의적인 차가 보이지 않았다 ($p < 0.05$). 3, 4주째도 *C. schroederi*에서 각각 60.67%, 46.00%로 가장 높게 나타났으며 *Rhaphoneis* sp.가 두 번째로 높아 36.73%, 35.53%로 나타난 반면 나머지 실험구들에서는 유의적인 차가 보이지 않았다($p < 0.05$).

Table 105. Attached number of *Haliotis discus hannai* larvae on a plate during first four weeks

Culture tank	Weeks (Date)			
	1 (5/25)	2 (6/1)	3 (6/9)	4 (6/15)
<i>Caloneis schroederi</i>	203.67±178.05 ^a	187.67±76.00 ^a	151.67±84.88 ^a	115.00±76.95 ^a
<i>Rhaphoneis</i> sp.	114.83±44.22 ^b	109.00±20.34 ^b	91.84±22.06 ^{ab}	88.84±38.76 ^{ab}
<i>Tetraselmis suecica</i>	136.67±43.85 ^b	71.50±25.71 ^b	57.25±15.23 ^b	36.78±12.48 ^b
Mixed	125.67±48.01 ^b	113.50±23.15 ^b	75.67±30.13 ^b	57.22±27.67 ^b
Control	91.00±30.84 ^b	82.84±17.06 ^b	70.84±24.27 ^b	37.89±16.89 ^b

Table 106. Attached percentage of *Haliotis discus hannai* larvae on a plate during first four weeks

Culture tank	Weeks (Date)	2 (6/1)	3 (6/9)	4 (6/15)
<i>Caloneis schroederi</i>	1 (5/25)	2 (6/1)	3 (6/9)	4 (6/15)
<i>Rhaponeis</i> sp.	45.94±17.69 ^b	43.60±22.56 ^{ab}	36.73±24.20 ^{ab}	35.53±27.58 ^{ab}
<i>Tetraselmis suecica</i>	54.67±15.73 ^b	28.60±9.62 ^b	22.90±7.77 ^b	14.71±6.87 ^b
Mixed	50.27±17.34 ^b	45.40±28.30 ^{ab}	30.27±16.95 ^b	22.89±14.50 ^b
Control	36.40±13.11 ^b	33.13±10.45 ^{ab}	28.33±12.86 ^b	15.16±8.10 ^b

6월 23일 파판당 전복치패를 약 60마리씩 부착시킨 후 8월 24일까지의 치패의 생존율은 Table 107과 같다. 파판을 매단 후 1주째인 6주째는 전 실험구에서 87.52~97.59 %의 범위로 나타나 유의적인 차가 없었고($p < 0.05$) 7주째는 *C. schroederi*가 87.40%로 가장 높았으며 8주부터 11주째까지는 대조구에서 대체로 높다가 그 후 계속해서 전 실험구의 생존율이 지속적으로 감소하였고 매단 파판을 수확했던 14주째에는 *Rhaponeis* sp.가 31.75%로 생존율이 가장 높게 나타났다.

유생의 성장을 살펴보면, 유생을 수조에 살포하여 부착한 후부터 먹이를 먹기 시작하여 지속적인 성장을 보였으며 *Rhaponeis* sp.의 실험구는 실험 종료시까지 6.83 mm까지 성장하면서 다른 모든 실험구에 비해 유의적으로 높은 성장을 나타낸 반면, 혼합먹이구에서는 5.35 mm까지 성장하여 유의적으로 가장 낮았다($p < 0.05$, Table 108). 총 생체량에서도 *Rhaponeis* sp.가 44.88 g으로 가장 많았고 *Tetraselmis suecica*가 14.30 g으로 가장 적었다(Table 109).

매단 파판을 수확한 5주 후 각 실험 수조내의 참전복 치패를 모두 수확한 결과를 살펴보면 (Table 110), *Rhaponeis* sp.의 실험구에서 각장이 12.94 mm로 가장 컸고 대조구가 9.84 mm로 가장 작게 나타났으며 생체량에 있어서도 *Rhaponeis* sp., *C. schroederi*가 4,600 g, 2,800 g 순으로 많이 나왔으며 나머지 실험구에서는 유의적인 차가 없었다($p < 0.05$).

한편 전 실험기간에 걸친 각 실험구별 파판부착생물, 기타생물, 부유생물의 관찰 결과는 Appendix 2와 같다.

이상과 같이 시제품으로 생산된 최종 선별 미세조류 3종을 해림수산에서 파판에 대량으로 배양시켜 전복종묘생산을 위한 현장실험을 수행하면서 미세조류 배양기술, 저장기술, 농축 및 접종기술은 현재 이전 중에 있다.

Table 109. Growth of *Haliotis discus hannai* on 24 Aug., 2005

Culture tank	Total biomass (g)	Total number (inds.)	Inds./Plate	Shell length (mm)	Total weight (g)
<i>Caloneis schroederi</i>	27.48±7.85 ^b	627.3±17.7 ^{bc}	13.94±8.88 ^{bc}	5.79±1.91 ^{bc}	0.043±0.015 ^{bc}
<i>Rhaphoneis</i> sp.	44.88±23.47 ^a	922.5±371.2 ^a	20.50±9.44 ^a	6.83±2.34 ^a	0.050±0.018 ^a
<i>Tetraselmis suecica</i>	14.30±1.54 ^c	296.6±42.4 ^c	6.59±5.29 ^d	6.31±2.10 ^{ab}	0.046±0.015 ^{ab}
Mixed	23.60±11.65 ^b	674.65±493.6 ^{bc}	14.99±8.84 ^{bc}	5.35±1.80 ^c	0.039±0.014 ^c
Control	32.47±0.91 ^{ab}	806.9±30.4 ^{ab}	17.93±8.33 ^{ab}	5.61±1.89 ^{bc}	0.041±0.013 ^{bc}

Table 110. Final harvest of *Haliotis discus hannai* spat on 29 Sept., 2005

Culture tank	Total biomass (g)	Total number (inds.)	Inds./Plate	Shell length (mm)	Total weight (g)
<i>Caloneis schroederi</i>	2,800±1,272 ^{ab}	13,344±5,935 ^b	19.77±8.79 ^{ab}	11.69±3.05 ^b	0.21±0.16 ^b
<i>Rhaphoneis</i> sp.	4,600±1,697 ^a	17,201±6,235 ^a	25.48±9.24 ^a	12.94±3.87 ^a	0.27±0.23 ^a
<i>Tetraselmis suecica</i>	1,200±283 ^b	6,461±1,437 ^b	9.57±2.13 ^b	11.55±2.80 ^b	0.18±0.12 ^b
Mixed	1,450±354 ^b	10,267±2,441 ^c	15.21±3.62 ^{ab}	10.58±2.53 ^c	0.14±0.09 ^c
Control	1,450±71 ^b	14,275±849 ^c	21.15±1.26 ^{ab}	9.84±2.32 ^c	0.10±0.07 ^c

나. 생물 종조성

과관 부착생물

실험 기간동안 각 수조에 설치된 plate의 부착규조류 출현량은 Appendix 2-1과 같다.

전 실험기간 동안 대체로 전복유생 접종 전과 1주까지는 각 배양수조에 인위적으로 접종하였던 먹이생물(*C. schroederi*, *Rhaphoneis* sp., *T. suecica*) 외에 다른 종은 거의 관찰되지 않았으나 2주째부터는 생물의 조성이 다양해지는 경향을 보였다. 전복유생의 탈락원인이 된다고 알려진 *Licmophora* sp.는 전 실험기간에 걸쳐 출현하였으나 모든 배양수조에서 전복유생의 부착에 크게 영향을 미칠만한 양은 아니었다.

C. schroederi 배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 19속 23종 및 미확인 규조류 1종이 출현하였고 그 외 녹조류 1종, 동물플랑크톤 2종이 출현하였다. 전복

유생을 수조에 넣기 전주인 5월 19일의 부착규조류량은 *C. schroederi*가 22.4×10^4 cells/cm² 출현하였으며 다른 미세조류는 출현하지 않았고 전복사육을 시작한 지 1주일째는 *C. schroederi*가 9.7×10^4 cells/cm²로 감소하고 *Cylindrotheca closterium*이 소량 출현하였다. 2주째부터는 파관에 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하여 총 7종이 출현하였으나 나머지 종들에 비하여 *C. schroederi*가 3.1×10^4 cells/cm²로 우점하였고 3주까지 *C. schroederi*가 우점적으로 나타났으나 4주째는 *Navicula* sp.가 2.7×10^4 cells/cm²로 우점하였고 *C. schroederi*가 0.8×10^4 cells/cm²로 두 번째로 높게 출현하였다.

그러나 4주째 먹이생물 재접종의 영향으로 5주째는 다시 *C. schroederi*가 2.0×10^4 cells/cm²로 우점하게 나타났으나 수조청소로 인하여 파관에 우점적으로 부착하였던 *C. schroederi*가 많은 탈락을 보였다. 더구나 6, 7주째는 *Navicula* sp.가 우점적으로 출현하고 파관 부착생물도 더욱 다양해지는 경향을 보여 7주째는 먹이생물을 2차 재접종하였고 8주째는 다시 *C. schroederi*가 2.0×10^4 cells/cm²로 우점하였다. 이 후 9주와 11주째 *C. schroederi*를 재접종해 주었으며 14주째까지 *C. schroederi*가 다른 출현종에 비하여 비교적 우점적으로 출현하는 양상을 보였다. 한편 *C. schroederi* 배양수조에서는 전 실험기간에 걸쳐 *C. schroederi* 외에 *Navicula* spp.가 거의 출현하면서 우점양상을 보였고 그 외에도 *C. closterium*, *Bacillaria* sp., *Amphora* sp. 등이 다양하게 출현하면서 우점하는 경향을 보였다. 실험을 종료하던 19주째는 총 10종의 부착규조류가 출현하였으며 그 중 *C. schroederi*가 파관에 0.01×10^4 cells/cm²로 매우 적게 출현한 반면 *Licmophora* sp.가 1.0×10^4 cells/cm²로 우점적으로 나타났으며 그 다음 순으로 *C. closterium*이 0.7×10^4 cells/cm²로 출현하였다. 동물플랑크톤은 4, 11, 12, 13주에 각각 소량 출현하였다.

Raphoneis sp. 배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 17속 20종 및 미확인 규조류 1종이 출현하였고 그 외 녹조류 1종, 동물플랑크톤 2종이 출현하였다. 전복 유생을 수조에 넣기 전주인 5월 19일의 부착규조류량은 *Raphoneis* sp.가 1.5×10^4 cells/cm² 출현하였고, 전복사육을 시작한 지 1주일째는 *Raphoneis* sp.가 1.4×10^4 cells/cm²로 전 주보다 감소하였고 그 외 *C. closterium*을 포함한 4종의 규조류가 소량 출현하였다. 2주째부터는 파관에 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하여 총 7종이 출현하였으며 *Raphoneis* sp.가 1.3×10^4 cells/cm² 출현하여 가장 많았고 그 다음으로 *Amphora* sp.와 *Navicula* sp.는 각각 0.5×10^4 cells/cm², 0.3×10^4 cells/cm² 순으로 많았다.

3주, 4주째도 *Raphoneis* sp.는 계속해서 감소하는 경향을 보였으나 3주째는 1.2×10^4 cells/cm²로 우점적으로 출현하였다. 4주째는 *Navicula* sp.가 2.7×10^4 cells/cm²로 우점적으로 나타났고 *Raphoneis* sp.는 1.1×10^4 cells/cm²로 두 번째로 많았다. 그러나 4주째 먹이생물 재접종의 영향으로 5주째는 다시 *Raphoneis* sp.가 2.5×10^4 cells/cm²로 우점적으로 나타났으나 수조청소로 인하여

여 *Raphoneis* sp.가 많은 탈락을 보였다. *Raphoneis* sp.는 7주째까지 다른 출현규조류에 비해서는 우점적으로 출현하였으나 계속 출현량이 감소하고 파판 부착생물도 더욱 다양해지는 경향을 보였다. 7주째는 먹이생물을 2차 재접종한 후 8주째는 다시 *Raphoneis* sp.가 0.9×10^4 cells/cm²로 우점하였다. 이 후 9주와 11주째 *Raphoneis* sp.를 재접종해 주었으며 14주째까지 *Raphoneis* sp.가 다른 출현종에 비하여 비교적 우점하여 출현하는 양상을 보였다. 한편 *Raphoneis* sp. 배양수조에서는 전 실험기간에 걸쳐 *Raphoneis* sp. 외에 *Navicula* spp.가 거의 출현하면서 우점양상을 보였고 그 외에도 *C. closterium*, *Bacillaria* sp., *Amphiprora* sp., *Amphora* sp. 등이 다양하게 출현하였다.

실험을 종료하던 19주째는 총 9종의 부착규조류가 출현하였으며 그 중 *C. schroederi* 배양수조와 마찬가지로 *Raphoneis* sp.가 파판에 0.03×10^4 cells/cm²로 매우 적게 출현한 반면 *Fragilaria* sp.가 2.2×10^4 cells/cm²로 우점적으로 출현하였다. 동물플랑크톤은 4, 5, 12주에 각각 소량 출현하였다.

T. suecica 배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 15속 18종 및 미확인 규조류 1종이 출현하였고 그 외 녹조류 1종, 동물플랑크톤 1종이 출현하였다. 한편 *T. suecica*는 재접종 다음 주에만 소량 출현하였으나 그 이 후에는 출현하지 않고 다른 부착미세조류만 관찰되었는데 이는 *T. suecica*가 담녹조류로서 부착성이 있기는 하나 다른 부착규조류에 비하여 부착력이 현저히 낮은 때문인 것으로 판단된다. 전복유생을 수조에 넣기 전주인 5월 19일에는 *T. suecica*가 2.5×10^4 cells/cm²로 우점하였으며, 전복사육을 시작한 지 1주일째는 *T. suecica*가 0.5×10^4 cells/cm²로 전 주보다 감소하였고 그 외 *Navicula* sp.가 소량 출현하였다.

2주째부터는 파판에 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하여 총 7종이 출현하였으며 *Navicula* sp.가 0.9×10^4 cells/cm² 출현하여 가장 많았고 그 다음으로 *T. suecica*가 0.5×10^4 cells/cm²로 많았다. 3주째도 *T. suecica*는 계속 감소하여 4주째는 출현하지 않았고 *Navicula* sp.가 2.6×10^4 cells/cm²로 가장 많은 출현량을 보였다. 4주째 재접종의 영향으로 5주째는 *T. suecica*가 0.3×10^4 cells/cm²의 출현량을 보였다. 그러나, 우점적으로 출현한 *Navicula* sp.의 2.3×10^4 cells/cm²에는 미치지 못하였고 그나마 수조청소로 인하여 많은 탈락을 보여 6, 7주째까지 출현량은 없었고 파판 부착생물이 다양해지는 경향을 보였다. 다른 먹이생물 배양수조와 마찬가지로 7주째는 *T. suecica*를 재접종하였고 8주째는 다시 *T. suecica*가 0.2×10^4 cells/cm²로 다른 종에 비하여 우점하였다. 이 후 *T. suecica*의 출현이 없었던 9주와 11주째 재접종해 주었으나 10주와 12주에 각각 0.1×10^4 cells/cm², 0.2×10^4 cells/cm²의 출현량을 보이고 11, 13, 14주째는 출현이 관찰되지 않았다.

T. suecica 배양수조에서는 전 실험기간 중 거의 전 기간에 걸쳐 *Navicula* sp.가 출현하였

고 5-7월 중순까지는 우점양상을 보이다가 7월 하순부터는 *Navicula* spp. 외에도 *Bacillaria* sp., *Fragilaria* sp. 등이 우점하는 경향을 보였다. 실험을 종료하던 19주째는 총 9종의 부착규조류가 출현하였으며 그 중 *T. suecica*의 출현은 없었고 *C. closterium*과 *Licmophora* sp.가 각각 0.9×10^4 cells/cm² 씩으로 우점적으로 출현하였다. 한편 동물플랑크톤은 4, 10, 11주에 각각 소량 출현하였다.

먹이생물 혼합배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 18속 20종, 미확인 규조류 1종 및 동물플랑크톤 3종이 출현하였다. 한편 먹이생물 혼합배양수조에도 재접종 다음 주에는 배양먹이생물 출현량이 증가하였다. 전복유생을 수조에 넣기 전주인 5월 19일에는 *C. schroederi*, *Raphoneis* sp., *T. suecica*가 각각 4.0×10^4 cells/cm², 1.0×10^4 cells/cm², 0.7×10^4 cells/cm²로 우점하였으며, 전복사육을 시작한 지 1주일째는 세 종 모두 각각 1.1×10^4 cells/cm², 0.9×10^4 cells/cm², 0.4×10^4 cells/cm²로 전 주보다 감소하였고 그 외 *Navicula* sp.가 소량 출현하였다.

2주째부터는 파관에 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하여 총 8종이 출현하였으며 *Raphoneis* sp.가 0.8×10^4 cells/cm² 출현하여 가장 많았고 그 다음으로 *C. schroederi*와 *T. suecica*가 각각 0.7×10^4 cells/cm², 0.3×10^4 cells/cm² 순으로 많았다. 3주째도 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.가 각각 0.6×10^4 cells/cm², 0.5×10^4 cells/cm² 순으로 우점하였으며 *T. suecica*는 소량 출현하였다. 4주째는 *C. schroederi*, *Raphoneis* sp., *T. suecica* 3종 모두 급격히 감소하여 *C. schroederi*, *Raphoneis* sp.는 소량 출현한 반면 *T. suecica*는 출현하지 않았고 *Navicula* sp.가 0.7×10^4 cells/cm²로 우점적으로 출현하였다.

한편 혼합 먹이생물의 재접종으로 5주째는 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.가 각각 0.2×10^4 cells/cm², 0.3×10^4 cells/cm² 순으로 다른 출현종에 비하여 우점적으로 나타났으며 *T. suecica*가 소량 출현하였다. 수조청소로 인하여 파관에 우점적으로 부착하였던 배양 먹이생물 3종이 모두 많은 탈락을 보여 6주째는 *Navicula* sp.가 0.5×10^4 cells/cm²로 우점적으로 출현하였으며 계속 출현량이 감소하고 파관 부착생물도 더욱 다양해지는 경향을 보였다.

7주째는 재접종으로 8주째는 다시 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.가 각각 0.3×10^4 cells/cm²로 우점하였다. 이 후 3종의 먹이생물량이 적어진다고 판단되는 9주와 11주째 먹이생물을 재접종해 주었으며 이 후 14주째까지 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.가 다른 출현종에 비하여 비교적 우점하여 출현하는 양상을 보였다.

혼합배양수조에서는 전 실험기간에 걸쳐 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp. 외에 *Navicula* spp.가 항상 출현하면서 우점양상을 보였고 그 외에도 *C. closterium*, *Fragilaria* sp., *Amphiprora* sp., *Amphora* sp 등이 다양하게 출현하였다.

실험을 종료하던 19주째는 총 10종의 부착규조류가 출현하였으며 그 중 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp., *T. suecica*의 출현은 없었고 *Licmophora* sp.가 1.6×10^4 cells/cm²로 우점적으로 출현하였으며 그 다음 순으로 *Fragilaria* sp.가 0.7×10^4 cells/cm² 이었다. 동물플랑크톤은 4, 6, 10주에 각각 소량 출현하였는데 다른 실험수조의 파판에서는 출현하지 않았던 *Tigriopus japonicus*가 4주째에 소량 나타난 특이한 현상이 보였다.

먹이생물을 인위적으로 배양하지 않고 자연해수를 흘려 먹이생물을 파판에 부착시킨 대조구에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 14속 18종 및 미확인 규조류 1종이 출현하였고 동물플랑크톤 1종이 출현하였다. 대체로 전복유생 접종 전과 1주까지는 다른 먹이생물배양수조에서와 마찬가지로 많은 종이 출현하지 않고 규조류가 각각 3, 4종씩 출현한 반면 2주째부터는 생물의 조성이 다양해지는 경향을 보였다. 전복유생을 수조에 넣기 전주인 5월 19일에는 *Navicula* sp.가 0.3×10^4 cells/cm²로 우점하였으나 다른 먹이생물 배양수조에는 못미치는 양이었다. 전복사육을 시작한 지 1주일째도 *Amohora* sp.가 0.9×10^4 cells/cm² 외에 *Achnanthes* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Navicula* sp. 가 소량 출현하였다.

2주째부터는 파판에 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하여 총 9종의 부착규조류와 1종의 섬모충류가 출현하였으며 *Navicula* sp.가 2.6×10^4 cells/cm² 출현하여 가장 많았고 그 다음으로 *N. incerta*와 *Bacillaria* sp.가 각각 1.1×10^4 cells/cm², 0.4×10^4 cells/cm² 순으로 많았다. 3주째 역시 *Navicula* sp.가 2.4×10^4 cells/cm² 출현하여 가장 많았고 그 다음으로 *C. closterium*.이 0.3×10^4 cells/cm²로 많이 출현하였다. 4주째는 부착규조류가 9종으로 다양하게 나타났으나 3주째까지 우점하였던 *Navicula* sp.의 출현량이 현저히 감소하였고 소량 출현하였던 *Bacillaria* sp.의 출현량이 증가하였다. 5주째는 10종의 부착규조류가 출현하였으며 *Navicula* sp.가 1.1×10^4 cells/cm²로 가장 많이 출현하였으며 다음으로 *Navicula cancellata*와 *Navicula incerta*.가 각각 0.9×10^4 cells/cm², 0.6×10^4 cells/cm²로 다른 출현종에 비하여 우점적으로 나타났으며 나머지 7종은 소량 출현하였다.

수조청소로 인하여 파판에 부착하였던 먹이생물이 8종으로 감소하였으며 6주째는 *Fragilaria* sp.가 0.8×10^4 cells/cm²로 우점적으로 출현하였으며 다음으로 *Bacillaria* sp.가 0.5×10^4 cells/cm²로 다른 출현종에 비하여 우점적으로 나타났으며 나머지 6종은 소량 출현하였다. 7주째는 *Navicula* sp.가 0.3×10^4 cells/cm²로 가장 많이 출현하였으며 8주째는 출현한 9종의 부착규조류 모두 0.1×10^4 cells/cm² 이하의 출현량을 보였다.

이 후 14주째까지 *Navicula* spp., *Bacillaris* sp., *Cocconeis* sp.를 제외하면 출현한 모든 종에서 0.1×10^4 cells/cm² 이하의 출현량을 보였던 한편 대조구에서는 전 실험기간에 걸쳐 *Navicula* spp.가 거의 출현하면서 우점양상을 보였고 그 외에도 *Amphiprora* sp., *Amphora*

sp., *Bacillaris* sp. 등이 다양하게 출현하였다.

실험을 종료하던 19주째는 총 5종의 부착규조류가 출현하였으며 그 중 *Licmophora* sp.가 1.9×10^4 cells/cm²로 우점적으로 출현하였으며 그 다음 순으로 *Bacillaria* sp.가 0.4×10^4 cells/cm²이었다. 동물플랑크톤은 전복유생접종 전, 2, 3, 4, 5, 11주에 각각 소량 관찰되어 다른 실험수조에 비해 많은 기간에 걸쳐 출현하였다.

수조 저서생물

실험 기간동안 각 수조의 밑바닥에서 채집한 생물의 출현량은 Appendix 2-2와 같다.

먼저 전복 유생과 먹이경쟁이 되어 대량 탈락의 원인이 된다고 알려진 *Tigriopus japonicus*는 모든 실험수조에서 4주째부터 출현하여 거의 전 기간에 걸쳐 나타났으며 주로 4주째부터 8주째까지는 1 mL당 1마리 이상의 출현을 보였다. 그 이 후 1마리 이하로 감소하는 경향을 보였으나 14주째 *Raphoneis* sp.와 먹이생물 혼합배양수조를 제외하면 mL당 1마리 이상의 출현을 보였다. 그러나 실험기간동안 모든 실험수조에서 전복유생의 갑작스런 대량 탈락은 보이지 않았으므로 *T. japonicus*에 의해 전복유생의 생존율이 크게 영향을 받았다고는 판단되지 않았다.

한편 수조의 밑바닥에서 채집한 생물의 출현경향도 파판생물과 마찬가지로 전 실험기간 동안 대체로 전복유생 접종 전과 1주까지는 각 배양수조에 인위적으로 접종하였던 먹이생물(*C. schroederi*, *Raphoneis* sp., *T. suecica*) 외에 다른 종은 거의 관찰되지 않았다. 그러나 2주째부터는 생물의 구성이 다양해지는 경향을 보였다. 전복유생의 탈락원인이 된다고 알려진 *Licmophora* sp.는 전 실험기간에 걸쳐 출현하였으나 모든 배양수조에서 전복유생의 부착에 크게 영향을 미칠만한 양은 아니었다.

C. schroederi 배양수조 밑바닥에서 채집된 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 19속 23종 및 미확인 규조류 1종이 출현하였고 그 외 녹조류 1종, 동물플랑크톤 4종이 출현하였다. 전복유생을 수조에 넣기 전 주인 5월 19일의 부착규조류량은 *C. schroederi*가 168.0×10^4 cells/mL 출현하였으며 다른 미세조류는 출현하지 않았다. 전복사육을 시작한 지 1주일째는 *C. schroederi*가 52.0×10^4 cells/mL로 감소하고 *Licmophora* sp.와 소형규조류가 소량 출현하였다.

2주째부터는 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하였으나 나머지 종들에 비하여 *C. schroederi*가 42.1×10^4 cells/mL로 우점하였다. 3, 4주까지 *C. schroederi*가 각각 19.7×10^4 cells/mL, 12.5×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였으며 4주째 먹이생물 재접종의 영향으로 5주째도 *C. schroederi*가 11.2×10^4 cells/mL로 우점하게 나타났으나 수조청소로 인하여 *C. schroederi*가 많이 제거되었음에도 다른 기타생물종보다 우점함을 알 수 있었다.

6, 7주째는 *Navicula* sp.와 *Diploneis* sp.가 각각 19.0×10^4 cells/mL, 3.8×10^4 cells/mL로 기타생물도 더욱 다양해지는 경향을 보였다. 7주째의 먹이생물을 재접종 후 8주째는 다시 *C. schroederi*가 11.0×10^4 cells/mL로 우점하였으며 9주와 11주째는 재접종을 통해 다시 *C. schroederi*가 우점하는 경향을 보였다. 14주째까지 *C. schroederi*가 다른 출현종에 비하여 비교적 우점하여 출현하는 양상을 보이는 한편 *C. schroederi* 배양수조에서는 전 실험기간에 걸쳐 *C. schroederi* 외에 *Navicula* spp.가 거의 전 기간에 걸쳐 출현하면서 우점양상을 보였다. 그 외에도 *C. closterium*, *Bacillaria* sp., *Amphora* sp. *Pleurosigma* sp. 등이 다양하게 출현하면서 우점하는 경향을 보였다.

실험을 종료하던 19주째는 총 11종의 부착규조류가 출현하였으며 그 중 *C. schroederi*가 0.3×10^4 cells/mL로 매우 적게 출현한 반면 *Bacillaria* sp.가 3.3×10^4 cells/mL로 우점적으로 나타났으며 그 다음 순으로 *Licmophora* sp.가 2.2×10^4 cells/mL 출현하였다. *T. japonicus*의 출현을 제외하면 동물플랑크톤은 4, 7, 9, 12, 13주에 출현하였다.

Raphoneis sp. 배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 16속 21종 및 미확인 규조류 1종이 출현하였고 그 외 동물플랑크톤 4종이 출현하였다. 전복유생을 수조에 넣기 전 주인 5월 19일의 부착규조류량은 *Raphoneis* sp.가 58.5×10^4 cells/mL 출현하였으며 다른 미세조류는 출현하지 않았고 전복사육을 시작한 지 1주일째는 *Raphoneis* sp.가 41.5×10^4 cells/mL로 감소하고 *C. closterium*, *Pleurosigma* sp.와 소형규조류가 소량 출현하였다.

2주째부터는 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하였으나 나머지 종들에 비하여 *Raphoneis* sp.가 27.5×10^4 cells/mL로 우점하였고 3주까지 *Raphoneis* sp.가 24.0×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였다. 그러나 4주째는 *Raphoneis* sp.가 1.7×10^4 cells/mL로 급격히 감소하고 *Navicula* sp.가 8.9×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였다. 먹이생물 재접종의 영향으로 5주째는 다시 *Raphoneis* sp.가 19.5×10^4 cells/mL로 우점하게 나타났고 수조청소로 인하여 *Raphoneis* sp.가 많이 제거되었음에도 다른 기타생물종보다 우점하였다. 6, 7주째는 *N. incerta*와 *Navicula* sp.가 각각 14.2×10^4 cells/mL, 6.7×10^4 cells/mL로 기타생물도 더욱 다양해지는 경향을 보였고 7주째 재접종한 후 8주째는 다시 *Raphoneis* sp.가 16.5×10^4 cells/mL로 우점하였다. 9주와 11주째 먹이생물을 재접종을 통해 다시 *Raphoneis* sp.가 우점하는 경향을 보였고 14주째까지 *Raphoneis* sp.가 다른 출현종에 비하여 비교적 우점하여 출현하는 양상을 보였다.

한편 *C. schroedri* 배양수조에서와 마찬가지로 *Raphoneis* sp. 배양수조에서도 전 실험기간에 걸쳐 *Raphoneis* sp. 외에 *Navicula* spp.가 거의 전 기간에 걸쳐 출현하면서 우점양상을 보였고 그 외에도 *C. closterium*, *Bacillaria* sp., *Amphora* sp. *Pleurosigma* sp. 등이 다양하게

출현하면서 우점하는 경향을 보였다. 실험을 종료하던 19주째는 총 6종의 부착규조류가 출현하였으며 그 중 *Raphoneis* sp.는 출현하지 않았고 반면 *Navicula* sp.가 3.3×10^4 cells/mL로 우점적으로 나타났으며 그 다음 순으로 *Bacillaria* sp.가 1.5×10^4 cells/mL 출현하였고 나머지 종은 소량 출현하였다. *T. japonicus*의 출현을 제외하면 동물플랑크톤은 5주와 7주 이 후 거의 전 실험기간에 걸쳐 출현하였다.

T. suecica 배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 16속 18종 및 미확인 규조류 1종이 출현하였고 그 외 녹조류 1종, 동물플랑크톤 4종이 출현하였다. 전복유생을 수조에 넣기 전 주인 5월 19일의 부착규조류량은 *T. suecica*가 73.0×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였으며 다른 미세조류는 출현하지 않았다. 전복사육을 시작한 지 1주일째는 다른 배양수조와 달리 부착규조 6종이 더 출현하였으나 *T. suecica*가 16.7×10^4 cells/mL로 우점하였고 나머지는 *T. suecica*에 비하여 소량 출현하였다.

2주째도 나머지 종들에 비하여 *T. suecica*가 15.4×10^4 cells/mL로 우점하였으나 3주째는 *Navicula* sp.가 74.0×10^4 cells/mL로 우점하였다. 4주째는 *T. suecica*가 0.5×10^4 cells/mL로 급격히 감소하고 *Navicula* sp.가 18.0×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였으며 먹이생물을 재접종한 뒤 5주째에도 *T. suecica*가 0.7×10^4 cells/mL 정도로 밖에 회복되지 못하였다. 이 후 2, 3, 4차에 걸친 재접종에도 출현량은 다른 출현종에 비하여 우점하지 못했던 것은 먹이생물 재접종 후 해수를 24시간 정수 후 다시 유수시켰는데 *T. suecica*가 다른 부착규조류보다 부유성이 강하여 재접종 후 이 정도의 정수로는 파판 및 수조바닥이나 벽면에 부착할 만한 충분한 시간 확보가 되지 않았던 것에서 기인한다고 판단된다.

5주째 수조청소 후 *T. suecica*는 6, 7주째까지 출현하지 않았고 기타생물이 다양해지는 경향을 보였다. 7주째 재접종한 후 8주째는 다시 *T. suecica*가 0.3×10^4 cells/mL의 출현량을 보였으나 우점적으로 출현한 *Navicula* sp.의 7.3×10^4 cells/mL에는 미치지 못하였다. *T. suecica*의 출현이 없었던 9주와 11주째 먹이생물을 재접종해 주었으나 10주와 12주에 각각 0.3×10^4 cells/mL, 0.7×10^4 cells/mL의 출현량을 보이고 11, 13, 14주째는 출현이 관찰되지 않았다. *T. suecica*. 배양수조에서는 전 실험기간 중 거의 전 기간에 걸쳐 *Navicula* sp.가 우점적으로 출현하였고 그 외에도 *Cylindrotheca closterium*, *Pleurosigma* sp., *Licmophora* 등이 다양하게 출현하였다.

실험을 종료하던 19주째는 총 9종의 규조류가 출현하였는데 그 중 *T. suecica*의 출현은 없었으며 *Navicula elegans*와 *Bacillaria* sp.가 각각 17.2×10^4 cells/mL, 3.7×10^4 cells/mL 씩으로 우점적으로 출현하였고 나머지 종은 소량 출현하였다. *T. japonicus*의 출현을 제외하면 동물플랑크톤은 1, 4, 5, 7, 9, 10주에 출현하였다.

먹이생물 혼합배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 17속 19종 및 미확인 규조류 1종 및 녹조류 1종이 출현하였고 동물플랑크톤 3종이 출현하였다. 전복유생을 수조에 넣기 전 주인 5월 19일에는 *C. schroederi*, *Raphoneis* sp., *T. suecica*가 각각 56.1×10^4 cells/mL, 23.9×10^4 cells/mL, 18.5×10^4 cells/mL로 우점하였으며, 전복사육을 시작한 지 1주일째는 세 종 모두 각각 46.5×10^4 cells/mL, 4.2×10^4 cells/mL, 15.0×10^4 cells/mL로 전 주보다 감소하였다.

2주째는 총 5종이 출현하였으며 *C. schroederi*가 24.0×10^4 cells/mL로 우점하였으며 그 다음으로 *Bacillaria* sp.가 20.7×10^4 cells/mL의 출현량을 보였고 *Raphoneis* sp.는 4.0×10^4 cells/mL 출현하였고 *T. suecica*는 3.7×10^4 cells/mL로 소량 출현하였다. 3주째는 먹이생물로 배양된 3종의 출현량이 감소하면서 생물종이 다양해지기 시작하여 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp., *T. suecica*가 각각 10.7×10^4 cells/mL, 2.5×10^4 cells/mL, 2.0×10^4 cells/mL의 출현량을 보인 반면 *Achnanthes* sp.가 20.7×10^4 cells/mL로 출현량이 가장 많았다.

4주째는 *C. schroederi*, *Raphoneis* sp., *T. suecica* 3종 모두 급격히 감소하여 *C. schroederi*, *Raphoneis* sp., *T. suecica*는 소량 출현한 반면 *Navicula* sp.가 15.4×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였다. 한편 먹이생물 재접종의 영향으로 5주째는 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.가 각각 15.2×10^4 cells/mL, 13.0×10^4 cells/mL 순으로 다른 출현종에 비하여 우점적으로 나타났으며 *T. suecica*가 소량 출현하였다.

수조청소로 인하여 우점적으로 출현하였던 배양 먹이생물 3종이 모두 많은 탈락을 보였음에도 6주째는 *C. schroederi*가 3.5×10^4 cells/cm³로 우점적으로 출현하였으며 *Navicula* sp.가 1.84×10^4 cells/mL로 두 번째로 많이 출현하였다. 7주째 계속 출현량이 감소하고 생물도 더욱 다양해지는 경향을 보였고 재접종한 후 8주째는 다시 *C. schroederi*, *Raphoneis* sp., *T. suecica*가 각각 4.2×10^4 cells/mL, 1.4×10^4 cells/mL, 1.0×10^4 cells/mL로 우점하였다.

이 후 3종의 먹이생물량이 적어진다고 판단되는 9주와 11주째 먹이생물을 재접종해 주었으며 이 후 14주째까지 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp.가 다른 출현종에 비하여 비교적 우점하여 출현하나 *T. suecica*는 접종 다음 주 소량 출현하였다가 이 후 출현하지 않는 양상을 보였다. 한편 혼합배양수조에서는 전 실험기간에 걸쳐 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp. 외에 *Navicula* sp.가 거의 전 실험기간에 걸쳐 출현하면서 우점하는 양상을 보였고 그 외에도 *Bacillaria* sp., *Fragilaria* sp., *Amphora* sp., *Pleurosigma* sp 등이 다양하게 출현하였다.

실험을 종료하던 19주째는 총 8종의 생물이 출현하였으며 그 중 *C. schroederi*와 *Raphoneis* sp., *T. suecica*의 출현은 없었고 *Licmophora* sp.가 1.3×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였으며 그 다음 순으로 *Fragilaria* sp.가 1.0×10^4 cells/mL 이었다. *T. japonicus*의 출현

을 제외하면 동물플랑크톤은 1, 4, 5, 7, 9, 10주에 출현하였다. 동물플랑크톤은 4~6주, 9, 10, 12, 13, 14주째에 각각 소량 출현하였다.

먹이생물을 인위적으로 배양하지 않고 자연해수를 흘려 먹이생물을 파관에 부착시킨 대조구에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 18속 22종 및 미확인 규조류 1종이 출현하였고 동물플랑크톤 4종이 출현하여 다른 배양수조보다 다양하게 출현하였다. 대체로 전 복유생 접종 전과 1주까지는 다른 먹이생물배양수조에서와 마찬가지로 많은 종이 출현하지 않고 규조류가 각각 4, 5종씩 출현한 반면 2주째부터는 생물의 조성이 다양해지는 경향을 보였다.

전복유생을 수조에 넣기 전 주인 5월 19일에는 *Navicula* sp.가 5.2×10^4 cells/mL로 우점하였으나 다른 먹이생물 배양수조에는 못미치는 양이었다. 전복사육을 시작한 지 1주일째도 *N. cancellata*가 4.3×10^4 cells/mL로 우점하였으며 그 다음으로 *Pleurosigma* sp.가 4.3×10^4 cells/mL 출현하였다. 2주째부터는 파관에 출현하는 생물종이 다양해지기 시작하여 총 10종의 부착규조류가 출현하였으며 *N. incerta*가 4.7×10^4 cells/cm² 출현하여 가장 많았고 그 다음으로 *Navicula* sp.가 4.4×10^4 cells/mL 순으로 많았으며 나머지 종은 소량 출현하였다. 3주째는 역시 *N. cancellata*가 7.0×10^4 cells/mL 출현하여 가장 많았고 그 다음으로 *Navicula* sp.가 4.7×10^4 cells/mL로 많이 출현하였다. 4주째는 10종의 규조류가 다양하게 나타났으며 3주째까지 우점하였던 *Navicula* spp.의 출현량이 현저히 감소하였고 거의 출현하지 않았던 *Bacillaria* sp.의 출현량이 6.7×10^4 cells/mL로 가장 많았다.

5주째는 9종의 규조류가 출현하였으며 *Bacillaria* sp.의 출현량이 7.5×10^4 cells/mL로 가장 많이 출현하였으며 다음으로 *N. cancellata*가 5.2×10^4 cells/mL로 다른 출현종에 비하여 우점적으로 나타났으며 나머지 6종은 소량 출현하였다. 수조청소로 인하여 먹이생물이 5종으로 감소하고 출현량도 감소하였고 6주째는 *Navicula* sp.가 3.5×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였으며 다음으로 *Bacillaria* sp.가 1.5×10^4 cells/mL로 많았으며 나머지 7종은 소량 출현하였다. 7주째는 *Navicula* sp.가 12.3×10^4 cells/mL로 가장 많이 출현하였으며 8주째는 *Bacillaria* sp.의 출현량이 28.5×10^4 cells/mL로 가장 많았다.

이 후 14주째까지 *Licmophora* sp., *Navicula* sp., *Cocconeis* sp.가 우점양상을 보였고 그 외에도 *Bacillaris* sp. *C. closterium*, *Pleurosigma* sp. 등이 다양하게 출현하였다. 실험을 종료하던 19주째는 총 6종의 규조류가 출현하였으며 그 중 *Licmophora* sp.가 2.0×10^4 cells/mL로 우점적으로 출현하였으며 그 다음 순으로 *C. closterium*이 0.8×10^4 cells/mL였다. *T. japonicus*의 출현을 제외하면 동물플랑크톤은 11, 12주째를 제외하면 5주부터 계속해서 소량 출현하였다.

부유생물

실험 기간동안 각 수조의 배수구 부근에서 채집한 부유생물 출현량은 Appendix 2-3과 같다. 전 실험기간동안 부유생물은 모든 실험수조에서 일부 종을 제외하면 소량 출현하였으며 동물플랑크톤은 관찰되지 않았다.

C. schroederi 배양수조에서는 전 실험기간에 걸쳐 총 12속 14종이 출현하였으며 3주째부터 종이 관찰되면서 *Thalassiosira* sp. 1종만이 0.3×10^4 cells/mL 출현하였고 4주째는 3종이 출현하였으나 *Navicula* sp.가 3.0×10^4 cells/mL 출현한 외 2종은 모두 0.1×10^4 cells/mL 미만이었다. 5주부터 8주째까지 출현한 종은 모두 0.1×10^4 cells/mL 미만이었고 9주째는 *Bacillaria* sp.와 *Rhodomonas* sp.가 각각 17.0×10^4 cells/mL, 15.0×10^4 cells/mL의 출현량을 보여 전 실험기간 중 가장 많았으며 실험을 종료했던 19주째는 부유생물이 출현하지 않았다.

Raphoneis sp. 배양수조에서는 전 실험기간에 걸쳐 총 8속 12종이 출현하였고 출현한 모든 출현종이 0.1×10^4 cells/mL 미만이었다.

T. suecica 배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 10속 12종이 출현하였다. *T. suecica* 배양수조에서는 다른 먹이생물 배양수조에서와 달리 전복유생을 수조에 넣기 전 주인 5월 19일과 1주째 *T. suecica*가 각각 10.0×10^4 cells/mL, 0.5×10^4 cells/mL의 양이 출현하였는데 이는 다른 먹이생물과는 달리 *T. suecica*가 부유성이 강하기 때문인 것으로 판단된다. *T. suecica* 배양수조에서도 10주째 *C. closterium*과 19주째 *Thalassiosira* sp.가 각각 0.3×10^4 cells/mL의 출현량을 보인 것을 제외하면 모든 출현종이 0.1×10^4 cells/mL 미만이었다.

먹이생물 혼합배양수조에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 11속 13종이 출현하였다. 19주째 *Licmophora* sp.가 2.2×10^4 cells/mL의 출현량을 보여 전 실험기간 중 가장 많았으며 13주와 19주째 출현한 종의 출현량을 제외하면 모든 출현종이 0.1×10^4 cells/mL 미만이었다.

먹이생물을 인위적으로 배양하지 않고 자연해수를 흘려 먹이생물을 파관에 부착시킨 대조구에서의 미세조류 출현량을 살펴보면, 전 실험기간동안 총 7속 7종이 출현하였다. 대조구에서 부유생물은 3, 4, 6, 8, 9, 19주째만 관찰되었는데 3주째 *Climacosphenia* sp.가 4.3×10^4 cells/mL의 출현량을 보여 가장 많았으며 19주째 *Licmophora* sp.와 *Amphiprora* sp.가 각각 0.2×10^4 cells/mL 출현한 것을 제외하면 모든 출현종이 0.1×10^4 cells/mL 미만이었다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1절 연구개발 목표의 달성도

전체적으로 총 연구기간에 계획했던 조사는 예정대로 진행되었다.

동해안(울진), 남해안(부산, 완도), 서해안(부안)의 배양장에서 지역별로 발생하는 부착규조류의 계절별 수질 환경, 출현종, 출현량, 영양분석, 색소 및 크기분포 등을 분석하여 전복종묘생산이 서부 남해해역에서 적합한 이유를 구명하였다. 또 이들 4개 해역은 물론, 우리나라 연안에서 부착규조 110종을 순수분리하여 대표적인 종들의 크기, 성장률 및 부착률을 조사하고 이중 49종의 genomic DNA 분석을 하였다.

미세조류의 부착률과 성장률 등을 고려하여 선택된 종들을 대상으로 전복유생 및 치패의 먹이생물로서 가능성이 높은 부착규조류의 먹이효율을 조사하였다. 또 전복과 섭식생태가 비슷할 것이라고 판단되는 부착성 동물플랑크톤인 *Tigriopus japonicus*를 대상으로 각 부착규조종에 대한 번식력을 조사한 후 전복의 먹이생물로 가능성이 높다고 판단되는 종을 선택하여 참전복유생에 대한 먹이효율을 조사하였다. 다회에 걸친 부착규조류 먹이효율실험 결과를 종합적으로 비교하여 5종을 선별하여 영양가를 분석하였다.

또 이들 종류의 대량 배양 기술 개발을 위하여 온도, 염분, 조도에 따른 최적배양환경요인을 조사하였고 부착기질별 성장실험, 농업비료를 이용한 경제적배지개발 실험 및 CO₂ 공급에 따른 성장실험 등의 연구도 수행하였다.

전복종묘생산의 산업현장에 적용하기에 적합한 부착규조류 2종과 1종의 담녹조류를 최종 선정하여 대량배양시의 수확율과 부착유형별(그물부착, 벽면부착, 부유) 농축 미세조류를 재접종하여 성장률을 조사하였다. 또한 농축된 미세조류를 대상으로 밀도별, 온도별, 기간별, glycerol 첨가별 생존율을 조사하였다. 이러한 실험들의 결과로 최종선별된 3종의 먹이생물을 대량으로 배양하여 시제품형태로 농축시켰다.

농축된 시제품을 전복종묘업체의 수조과판에 재접종한 후 전복의 부착, 성장, 생존 등에 관한 상업적 규모의 현장실험을 수행하여 본 연구의 결과를 재확인하였다. 본 연구를 수행하면서 부분적으로 미흡한 부분도 있었으나 전체적인 연구개발의 목표는 달성하였다고 판단된다.

제 2절 관련분야에의 기여도

본 연구 결과 전복종묘생산에 필요한 유용 부착규조류의 발생 생태를 해역별로 파악함으로써 우리나라의 동해나 서해에서도 전복 종묘생산을 효율적으로 수행할 수 있는 기술을 개발하였다. 또 종묘생산을 위한 효율적인 먹이생물을 확보함으로써 기존의 방법에 비하여 생산 단가

의 감소는 물론, 건강하고 성장속도가 빠른 양질의 치패를 생산할 수 있다. 이러한 기술개발은 우리나라 전복양식 산업의 경쟁력을 더욱 강화시킬 수 있어 일본, 중국 등으로의 수출증대에 기여할 것이며 양식어민의 소득증대에 큰 역할을 할 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

해양 부착규조류는 해양에서의 1차 생산자로서 특히 포복성 해양동물 유생의 일차적인 먹이생물이다. 해양 부착규조류의 배양기술은 부유성인 규조와 달리 부착 기질을 요구하고 부착에 따른 빛, 영양염 등의 공급이 부착정도 즉 성장에 따라 다르다. 특히 성장이 높을 경우 자체 무게로 인한 탈락이 발생하여 부착규조류의 계획적인 대량배양은 매우 어려운 기술이다.

따라서 본 연구를 통한 부착규조류의 대량 배양 기술 확보는 부착성 미세조류를 먹이로 하는 전복, 소라, 성게, 군소 등 대부분의 포복성 무척추 동물의 종묘생산에 큰 역할을 할 수 있다. 또 동물부유생물 가운데 부착성인 요각류인 Harpacticoida와 같은 동물부유생물의 기초 생물학적 연구 및 배양 등은 물론, 부착규조류를 이용한 기능성 사료개발 및 기타 생물공학적인 연구개발도 크게 활용될 수 있을 것이다. 한편, 본 연구를 통해 순수분리 확보된 부착 규조류는 이를 필요로 하는 교육, 연구 및 산업계를 위하여 유용한 재로로 활용될 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 최근 세계 각국에서는 전복양식 산업이 크게 팽창하고 있으며 주로 중국과 일본 시장을 겨냥한 것으로 특히 대형 활전복을 선호하는 중국시장을 타겟으로 하고 있다. 따라서 크기가 큰 말전복의 양식이 세계적으로 증가하고 있어 우리나라도 중국시장을 겨냥한 수출전략이 필요하다.
2. 최근 본 연구와 유사한 인위적으로 배양한 부착구조와 배합사료를 이용한 전복종묘생산 방법이 호주에서 시도된 바 있으나 본 연구의 결과에 비하여 부착률 및 성장률이 저조한 것으로 판단된다.
3. 해외에서는 자연산 전복자원 회복을 위한 자원관리에 관한 연구가 활발한데 반해 국내에서는 이러한 연구가 전혀 시도되고 있지 않다. 따라서 전복의 양식기술 개발 뿐만 아니라 환경친화적 자원관리의 관점에서도 전복 자원 관리 연구가 필요하다.

제 7 장 참고문헌

1. 변충규. 1970. 전복 증식에 관한 연구. 한국수산학회지 3(3), 177-186.
2. 노 섬, 박춘규, 변충규. 1974. 전복 증식에 관한 연구. 수산진흥원 연구보고서 13, 77-92.
3. 이택열, 변충규, 진평, 홍성윤. 1978. 전복 종묘생산기술 확립과 인공사육에 관한 연구. 부산수산대학 해양과학연구소보 11, 47-61.
4. 국립수산진흥원. 1998. 경제난 극복을 위한 전략양식 육성. 전복양식 워크숍. 국립수산진흥원. 127pp.
5. 해양수산부. 2001. 가두리식 전복양식. 해양수산부. 수산기술지 12호. 72pp.
6. Fujii, A., T. Yotsui and N. Maesako. 1989. Feeding experiment of marine algae on genus topshell *Batillus cornutus*. Bull. Nagasaki prefectural Inst. Fish., No 15, 21-23
7. Andrew, N and S. B. Hur 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 40, 343-425.
8. Gordon, H. R. and P. A. Cook. 2001. World abalone supply, markets and pricing : historical, current and future. J. of Shell. Res. 20 (2), 567-570.
9. 허성범. 1998. 한국해양미세조류의 현황과 전망. Proceedings of KMCC workshop. 1-146.
10. 한형균, 허성범. 2000. 참전복 치패에 대한 부착성 규조류의 먹이효율. 한국양식학회지, 13(2), 153-161.
11. 한형균, 허성범. 2000. 성장이 늦은 소형 참전복 치패의 성장회복을 위한 부착성규조류의 먹이효율. 한국양식학회지, 13(2), 163-168.
12. 허성범. 1997. 농축식물먹이생물(*Chlorella*류) 개발의 산업화. 농림부. 농림수산특정연구사업. 186pp.
13. Strickland T. D. H. and T. R. Parson. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 169 (2nd Ed.), 311pp.
14. Thomas, C. R. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic press. 858pp.
15. Chihara M. and M. Murano. 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai Univ. Press, 1,574pp.
16. Yamaji, I. 1980. Illustration of the marine plankton of Japan. Hoikusha Pub. Co., LTD., 537pp.
17. Anderson, R. A., R. R. Bidigare, M. D. Keller, and M. Latasa. 1996. A comparison of HPLC pigment signatures and electron microscopic observation for waters of the North Atlantic and Pacific Ocean. Deep Sea Res. II. 43, 517-537.
18. Jeffry, S. W., M. Veski, and R. F. C. Mantoura. 1997. The phytoplankton pigments: windows

into the pastures of the sea. Aqua. Sci. and Fish., 33 (2), 14-29.

19. Park, M. O. and J. S. Park. 1997. HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. J. Korean Soc. Oceanogr., 32, 46-55.
20. Folch, J., M. Lees, and G. H. S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem., 226, 497-509.
21. Nei, M. and W. H. Li. 1979. Mathematical model for study genetic variation in terms of restriction endonucleases. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 74, 5267-5273.
22. Guillard, R. R. L. and J. H. Ryther, 1962. Studies of marine plankton diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve). Gran. Can. J. Microbiol., 8, 229-239.
23. 고수근. 2004. 참전복(*Haliotis discus hannai*) 유생사육을 위한 먹이생물. 부경대학교 석사학위논문, 43pp.
24. 박세진. 2005. 참전복(*Haliotis discus hannai*) 종묘생산을 위한 부착규조의 먹이효율과 배양환경. 부경대학교 석사학위논문, 57pp.
25. 배진희. 2004. *Chlorella*와 *Nannochloris*의 계절별 대량 배양을 위한 적종 선택과 배지 개발. 부경대학교 박사학위논문, 105pp.

주 의

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