

최 중
연구보고서

BSPM42800-1899-3

TOU20357

Jellyfish bloom 발생기작 규명연구

A Study for Outbreak of Jellyfish Bloom

한국해양연구원

해양수산부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “Jellyfish bloom 발생기작 규명에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 10월 2일

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 신 경 순

연 구 원 : 강 정 훈

김 성 경

김 현 수

손 등 현

이 우 진

장 민 철

장 풍 국

황 옥 명

현 봉 길

(가나다 순서)

여 백

요 약 문

I. 제 목

Jellyfish bloom 발생기작 규명연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

해파리는 인간의 관심을 끌기에 충분한 개체군 대번성을 형성한다. 현재 세계 곳곳에서 해파리 대발생이 증가하고 있음은 간과할 수 없는 현실이다. 대발생은 어류의 남획, 기후변동, 부 영양화, 침입 종과 관련되어 있다. 그러나 대부분의 경우에서 대발생의 원인은 여전히 분명치 않다. 대발생이 생태학적, 경제, 사회활동에 미치는 영향은 대단히 크다. 그 예로, 해파리 대발생은 수산자원 어획량의 감소, 임해산업시설과 선박의 냉각용 취수구 막힘, 관광객들에게 주는 연안의 심미적 가치 훼손 등과 관련되어있다.

해파리 대발생은 다양한 분야에 피해를 주고 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위해서는 증식 및 대량출현의 원인을 규명하여 적절한 대응책을 마련해야 할 것이다. 또한 해파리 대발생 후 이동, 확산을 파악하는 일도 시급하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 무엇보다도 해파리의 생활사 및 생리, 생태학적 연구가 선행되어야 한다. 또한 해파리 대발생 출현은 이미 해당해역의 부영양화 또는 저 산소층 형성 및 남획등과 같은 심각한 환경변화가 있었음을 암시하기 때문에 이들의 생리 생태특성을 파악하는 것은 해당해역의 환경문제를 해결하는 데 상당히 중요하게 작용할 수 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

해파리 대발생 원인종의 생활사 연구

- 실험실과 현장 (마산만)에서 보름달물해파리 (*Aurelia aurita*)의 전 생활사 과정 분석
- 생활사 중 플라눌라 유생의 고착율부터 폴립발생, 폴립성장과정에 대한 수온, 염분의 영향 파악
- 폴립의 무성생식에 영향을 미치는 수온, 염분조건을 분석하고 먹이에 대한 섭식, 소화율에 걸리는 시간 측정

해파리 대발생 원인종의 생리, 생태학적 연구

- 보름달물해파리의 호흡률과 저산소층에서 생존 가능성 확인
- 보름달물해파리의 생화학적 구성성분 및 지방산 분석
- 현장의 폴립 부착판을 이용한 폴립으로부터 에피라 방출을 측정과 방출시기 조사.
- 부착판 종류에 따른 폴립의 발생 및 개체수 비교 분석
- 내만성 적조발생과 해파리 출현과의 상관성 분석

□ 해파리 대발생 기작규명

- 해파리의 위장 내용물의 일 변동 조사를 통한 포식리듬의 일 변화분석
- 해파리 대발생 시기와 환경변화와의 상관성 분석
- 연안에서 해파리 잠재생산량 추정

IV. 연구개발 결과

보름달물해파리 플라눌라 유생을 적색광의 세기를 달리하여 배양하며 폴립으로 부착한 개체수를 계수한 결과 적색등을 2개 켜주어 광도를 213 μM 으로 맞추어 배양한 실험구에서 가장 높게 나타났다

보름달물해파리의 생활사 중 폴립은 성장을 하면서 무성생식을 통해 폴립 수를 매우 빠르게 증가시켜, 대 증식의 원인으로 작용할 수 있다. 따라서 무성생식을 일으키는 조건은 해파리의 대증식과 매우 밀접하게 관계가 있을 것으로 추정되어, 수온, 염분조건에 따른 무성생식의 영향을 조사하였고, 수온은 20, 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 염분은 20, 30 psu에서 매우 빠른 폴립 수의 증가를 확인하였다. 보름달물해파리의 산소 소모율을 측정하기 위해 온도를 달리하고, 개체수를 달리하여 각각의 용존산소농도의 변화와 생존을 확인하였으며, 수조에 어류와 보름달물해파리를 동시에 수용하여 산소 소모에 따른 사망 실험을 실시하여 저 산소상태에서 어류보다 보름달물해파리가 오래 생존하는 것을 확인하였다.

Artemia 와 동물플랑크톤을 대상으로 보름달물해파리의 섭식 실험을 수행하여 시간이 지나면서 섭식이 활발하게 이루어지는 것을 관찰했다. 보름달물해파리가 *Artemia*를 섭식하여 시간이 경과함에 따라 위낭 안에 있는 *Artemia*가 소화되어 없어지는 것을 확인하였고 위낭 안의 *Artemia*를 소화시키는데 30분에서 60분 정도 걸리는 것으로 나타났다.

해파리의 생화학적 분석 결과 몸체 (body)에 비해서 구협 (oral lobe)과 생식엽 (gonad)이 탄수화물, 단백질 및 지질의 농도가 높게 나타났다. 지방산의 경우, 14cm 몸 전체를 분석한 실험에서는 포화지방산(saturated fatty acid)이 52.9%, 하나의 불포화지방산(MUFA)이 13.1%를 나타내고, 두 개 이상의 불포화지방산(PUFA)은 34%를 나타내었다.

또한 포화 지방산의 대부분은 C16:0(23.6%), C18:0(22.8%)을 나타내어 18:0이 다소 높은 값을 보여주었다. 주된 PUFA의 형태는 20:5n3 (15.1%), C22:6n3 (0.1%)을 나타내었고, C20:4n6) (0.04%)을 나타내어 20:5n3을 제외하고는 다소 낮은 값을 나타내었다.

마산만 현장조사에서 2004년부터 2006년까지 채집된 요각류의 개체수는 1월, 2월과 11, 12월에 대부분 높게 나타났고 3월, 4월에 낮게 나타났다. 동일 기간 동안 해파리 개체수는 3월, 4월경에 가장 높게 나타났는데 이는 보름달물해파리 (*Aurelia aurita*)의 에피라 유생이 방출되었기 때문이다. 보름달물해파리의 직경은 에피라 단계인 3월, 4월에 가장 작았고 8월, 9월에 성체로 성장하였다. 보름달물해파리의 위강 내용물 조사에서는 요각류가 관찰되었고 월별로 관찰한 위강 내용물에서 요각류의 개체수는 차이를 보였다.

연안 jellyfish bloom 원인종인 보름달물해파리의 플라놀라 유생이 고착, 발생하는 것을 알아보기 위하여 2005년부터 2007년까지 조사 정점에 부착판을 수심별로 설치하여 일정기간이 지난 후 회수하여 부착판에 고착한 폴립의 수를 계수하였다. 부착판의 폴립은 대체로 표층보다 저층에서 더 많이 발생하여 전 수층으로 퍼져 나가는 것을 확인하였고 보름달물해파리 성체가 성적으로 성숙하지 못한 3월, 4월, 5월, 6월, 7월에는 폴립의 발생이 없거나 그 수가 적은 것이 관찰되었다. 폴립의 발생은 10월, 11월경에 활발하였다.

마산만에 설치하여 보름달물해파리 폴립이 발생한 부착판을 연구어장에 매달고 관찰한 결과 3월에 황분체 발생이 시작되어 4월에 황분체 발생이 종료되는 것을 관찰하였다. 다양한 부착판 기질에서 보름달물해파리 폴립의 발생 개체수를 계수한 결과 콘크리트 조각, 스티로폼 부이 조각, 유리 조각에서 많은 수의 폴립이 발생한 것을 확인하였다.

마산만에서 25시간 일 변화를 조사한 결과 생활하천과 인접한 정점 1에서의 염분의 값의 변화가 정점 2보다 큰 것으로 보아 생활하천에 영향을 받는 것으로 보인다. 낮 동안 식물플랑크톤의 광합성 증가에 의해 높은 용존 산소를 나타내는 반면, 저층에서는 유기물 분해로 인한 산소 소모가 이루어는 것으로 판단된다. 이로 인해 정점 1과 정점 2의 저층에서는 규산염, 인산염 및 암모니아성 질소의 농도가 높게 나타난다. 정점 1은 표층에서 암모니아성 질소가 높게 검출되어 생활하수에 직접적인 영향을 받고 있음을 보여주었다. 정점 1에서의 영양염의 시공간적 분포특성은 생활하천에서의 담수의 유입과 저층의 재영양염화에 영향을 받는 반면, 정점 2는 저층에서의 재영양염화에 많은 영향을 받는 것으로 보인다. 정점 1의 표층과 저층의 평균 엽록소-a 농도는 $6.87 \mu\text{g l}^{-1}$ 과 $3.32 \mu\text{g l}^{-1}$ 로 나타났으며, 정점 2에서는 $5.42 \mu\text{g l}^{-1}$ 과 $1.90 \mu\text{g l}^{-1}$ 로 나타나 정점 1이 좀 더 높게 나타났다. 크기별 엽록소-a를 보면, nano phytoplankton이 다른 크기의 것보다 높게 나타났다.

마산만 조사 정점에서 25시간 조사한 결과 미세조류의 현존량은 표층에서 저층보다

높게 나타났고 조위변화에 따른 뚜렷한 상관관계는 발견되지 않았다. 관찰된 미세조류는 규조류, 와편모조류, 유모류, 유글레나강 그리고 미소편모류로 분류하였다. 모든 그룹 중 5 μ m 이하의 미소편모조류의 현존량이 정점 1, 2 표층과 저층 모두에서 가장 높게 발견되었고 와편모조류의 현존량이 그 뒤를 이었다. 와편모조류 중 *Heterocapsa triquetra*가 표층 저층 모두에서 가장 많은 개체수를 보였고 특히 표층에서 미소편모류를 제외한 전체 미세조류 현존량의 62%에서 90%를 차지했다. 정점 1과 2의 표층에서 미소편모류를 제외한 전체 현존량의 5% 이상을 차지한 우점종은 와편모조류인 *Gyrodinium fusiforme*, *Heterocapsa triquetra*, *Protoperidinium cerasus*이었고 저층에서는 *Cerataulina spp.*, *Pseudonitzschia pungens*, *Amphidinium spp.*, *Gyrodinium spp.*, *Heterocapsa triquetra*, *Katodinium spp.*, *Protoperidinium cerasus*, *Scrippsiella spp.*, *Mesodinium rubrum*을 포함해 총 9종 이었다. 조사정점에서 출현한 중형동물플랑크톤의 분류군은 21개로 동정되었다. 중형동물플랑크톤의 최우점종은 원생동물인 *Noctiluca scintillans*가 중형동물플랑크톤 가운데 가장 우점하였다. 요각류의 우점종은 *Acartia omorii*와 *Paracalanus indicus* 이었다. 조사정점에서 시간의 변화에 따라 중형동물플랑크톤의 개체수는 정점 1과 정점2에서 각각 4.4배와 4.9배의 큰 변동폭을 보였다. 해파리는 20:00에서 23:00에 걸쳐 많은 수가 표층에 분포하고 02:00부터 저층에 분포하였다. 특히 정점별로 채집된 해파리의 개체수와 직경에서 차이를 보였다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

- 연안해역 환경개선을 위한 기초자료 제시 및 수산자원관리, 연안역 통합관리를 위한 정책자료로 활용
- 연안환경변화 및 남획에 따른 생태계 파괴에 미치는 영향과 이에 따른 수산업 활동에 미치는 파급효과에 대한 어업인 교육 자료로 활용
- 해파리 대발생 예측, 예보 시스템 구축을 기본자료
- 해파리 대발생 저감 및 차단기술 개발을 위한 기본자료
- 국토이용 및 개발에 따른 환경영향평가를 위한 기본적 방법으로 활용
- 환경요인 변화 및 기후변동에 따른 생태계변화 감지의 지표생물로 활용

SUMMARY

I. Title of Project

A study for outbreak of jellyfish bloom

II. Necessity and Objective of the Project

Jellyfish from spectacular population blooms and there is now compelling evidence that jellyfish blooms have increased in many parts of the world. Blooms have been linked to over-fishing of fin-fish, climate change, eutrophication and species invasions, but in many cases the causes are still equivocal. The ecological, economic and societal impacts of blooms are enormous. For example, they have been implicated in the decline of commercial fisheries; they block the cooling water intakes of coastal industries and ships and reduce the amenity of coastal waters for tourists.

Mass occurrence of jelly fish play hazardous effects on the many aspects. To lessen the negative effects, clarifying the cause of large standing stocks could be proper answer to the problem. Studies on the life history, physiological and ecological characteristics of jelly fish should precede to understand the movement, dispersal after mass occurrence. High standing stocks of jelly fish is commonly coincident with the eutrophication or hypoxia and overexploitation, so studies related to jelly fish pose a major role in solving the environmental problems of coastal area of interest.

III. Research Contents and Scope

- Study on the life history of bloom forming species
 - Analysis in the full life history of *Aurelia aurita* in laboratory and in situ (Masan bay) experiment
 - During development time of *Aurelia aurita*, understanding the effects of temperature and salinity on the attachment rate of planula larvae, development of polyp, and its growth rate.
 - Clarification of the effects of temperature and salinity on the asexual reproduction of

polyp, and ingestion rate and duration of prey

- Physico-ecological study of jelly fish bloom forming species
 - Respiration rate and survivorship of *Aurelia aurita* in the hypoxic layer.
 - Assay of biochemical composition and fatty acid of *Aurelia aurita*
 - Investigation of rate and timing that ephyra is released from polyp attached to the artificial solid plate
 - Comparative analysis between development and abundance of polyp according to the surface characteristics
 - Correlation between neritic red-tide bloom and jelly fish occurrence
- Understanding the mechanisms of jelly fish mass occurrence
 - Variation in predation rhythm through daily observation of gut content of jelly fish
 - Correlation between environmental event and jelly fish mass occurrence
 - Precaution of potential jelly fish production in the coastal waters

IV. Results

As a light effect on the development of planula larvae was assessed under various experimental conditions of red light. Light intensity of 213 μM with red light was favourable conditions to the settlement of polyps.

During life history of *Aurelia aurita*, polyp increased rapidly their number by asexual growth, leading to large abundance of standing stocks. Assuming that asexual reproduction is very close to the jelly fish bloom, effects of temperature and salinity on the asexual reproduction was investigated as the possible controlling factors. As a result, the conditions of 20, 25°C and 20, 30 psu influenced the rapid increase in polyp. Oxygen consumption rate and survivorship of *Aurelia aurita* was determined under the mixed conditions of temperature and abundance. Jelly fish was more tolerant to hypoxic conditions than common fishes as a result of mortality experiment to the diverse conditions of oxygen.

Ingestion rate of *Aurelia aurita* to *Artemia* and ambient zooplankton as prey was dependent on the exposure time. As ingestion rate increased, *Artemia* inside gastric

pouch was digested within the time of 30 to 60minutes.

The concentration of carbohydrate, protein and lipid in oral lobe and gonad of jelly fish was higher than those in the body. As a result of fatty acid analysis of 14cm whole body, saturated fatty acid occupied 52.9% of total amount, MUFA was 13.1% and PUFA was 34%. Most of saturated acid consisted of C16:0(23.6%), C18:0(22.8%) with higher value of 18:0. The composition of PUFA showed low proportion of 20:5n3 (15.1%), C22:6n3 (0.1%), and C20:4n6 (0.04%) except 20:5n3.

High abundance of copepods were high in January, February, November and December, while low in March and April during 2004-2006. Concurrently, high abundance of jelly fish were found in March and April due to the release of *Aurelia aurita* ephyra. Diameter of *Aurelia aurita* was short at ephyra stage in March and April, was matured in August and September. Gastric pouch content of the jelly fish included mainly copepods which showed different abundance with month.

To understand the settlement and development of jellyfish bloom causative *Aurelia aurita*, artificial substrates were deployed at various depths, and settled polyps were observed and enumerated by collecting after proper exposure during 2005-2007. Large number of polyps on the artificial substrates was found in the lower depth and spreaded out through whole water column. Immature *Aurelia aurita* showed low number of polyp or no occurrence in March, April, May, June and July, whereas polyps were activated in October and November.

Artificial substrates on which polyps were settled at Masan bay were transferred into Jangmok bay with relatively less polluted environment. The results showed that strobilation started in March and ended in April. Polyps of *Aurelia aurita* showed large number on the various types of substrates such as concrete fracture, styrofoam buoy and glass fracture.

As results of two hour interval investigation during 25 hours in Masan bay, station 1 was vulnerable to the sewage rather than station 2 based on the salinity. High concentration of dissolved oxygen was observed in surface waters at day by phytoplankton production, whereas low concentration was found in bottom waters by decomposition of organic materials. Thus, high concentration of silicate, phosphate and ammonia was found at bottom in stations 1 and 2. Especially, high concentration of

ammonia was determined at station 1 indicating that sewage is directly input the station. Spatio-temporal distribution of nutrients at station 1 was influenced by intrusion of sewage by river and remineralization, while the station 2 was mainly by remineralization. Average chlorophyll-*a* concentrations at surface and bottom in station 1 were 6.87 $\mu\text{g l}^{-1}$ and 3.32 $\mu\text{g l}^{-1}$, 5.42 $\mu\text{g l}^{-1}$ and 1.90 $\mu\text{g l}^{-1}$ in station 2. Nano-sized phytoplankton dominated the total chl-*a* concentration.

The cell density of microalgae was larger at the surface than at the bottom during the study period, while there was not a clear relationship between the level of sea and the variation of cell density. Microalgae identified were classified into five groups; these were Bacillariophyceae, Dinophyceae, Ciliophora and Euglenophyceae, nanoflagellates. The cell density of nanoflagellates, which were smaller than 5 μm , was the largest among the cell densities of microalgal groups at the surface and bottom of all stations. The cell density of Dinophyceae was the second largest. One of Dinophyceae, *Heterocapsa triquetra*, predominated microalgal population at the surface and bottom of all stations. *Heterocapsa triquetra* dominated 62% to 90% of microalgal population, which excluded nanoflagellates, at the surface of stations 1 and 2. Species once dominated over 5% of microalgal population at the surface of stations 1 and 2 were dinoflagellates, such as *Gyrodinium fusiforme*, *Heterocapsa triquetra* and *Protoperidinium cerasus*. The dominant species over 5% of microalgal population at the bottom layer of station 1 and 2 were *Cerataulina* spp., *Pseudonitzschia pungens*, *Amphidinium* spp., *Gyrodinium* spp., *Heterocapsa triquetra*, *Katodinium* spp., *Protoperidinium cerasus*, *Scrippsiella* spp., *Mesodinium rubrum*.

The variation of mesozooplankton community according to tidal cycle in the fixed sampling near Masan Bay was studied. Twenty-one mesozooplankton taxa were identified in sampling stations. Predominant species of mesozooplankton was *Noctiluca scintillans* of protozoa. Dominant species of copepods were *Acartia omorii* and *Paracalanus indicus*. Mesozooplankton abundance according to tidal cycle in sampling stations showed considerable fluctuations with a range of 4.4 times (Station 1) and 4.9 times (Station 2).

Large number of jelly fish distributed in surface waters from 20:00 to 23:00 and in bottom waters after 02:00. Abundance and diameter of jelly fish varied with stations.

V. Application Plan of Developed Results

- Base information of policy making for coastal area environmental improvement, fisheries resources, and integrated coastal zone management
- Educational information to enlarge the understanding of fisherman about the relationship between engagement in fishery, overexploitation and coastal environmental destruction
- Base information to set up the infrastructure for prediction and alarming of jelly fish mass occurrence
- Base information for the reduction and control of jelly fish mass occurrence
- Using as a fundamental approach to the environmental impact assessment for the utilization and development of national territory
- Using as a indicator species to detect of ecosystem change according to the environmental and climatic changes

여 백

CONTENTS

Chapter I. Introduction	27
Paragraph I. Necessity	27
Paragraph II. Object and contents	29
Chapter II. States of technical development in the home and foreign countries	33
Paragraph I. Trends of abroad	33
Paragraph II. Trends of domestic	34
Chapter III. Contents and results of the study	39
Paragraph I. Physiological property and life stage of moon jellyfish	39
1. Material and methods	39
a. Life stages of moon jellyfish in laboratory	39
b. Settlement of planular larvae with light	40
c. Response to changes of temperature, salinity and dissolved oxygen	41
d. Ingestion	42
e. Biochemical composition	43
2. Results	45
a. Life stages of moon jellyfish in laboratory	45
b. Settlement of planular larvae with light	47
c. Response to changes of temperature, salinity and dissolved oxygen	49
d. Ingestion	59
e. Biochemical composition	65
Paragraph II. In situ study in Masan bay	69
1. Material and methods	69
a. Temperature, salinity and dissolved oxygen in Masan bay	70
b. Moon jellyfish and zooplankton in Masan bay	70
c. Attachment of polyps in Masan bay	71
d. Outbreak of ephyrae	72
e. Appearance of polyps with adhesive plates	72

2. Results	74
a. Temperature, salinity and dissolved oxygen in Masan bay	74
b. Moon jellyfish and zooplankton in Masan bay	78
c. Life stage of moon jellyfish in Masan bay	87
d. Attachment of polyps in Masan bay	88
e. Outbreak of ephyrae	98
f. Appearance of polyps with adhesive plates	102
Paragraph III. Diurnal variation of moon jellyfish	106
1. Material and methods	106
a. Temperature, salinity and dissolved oxygen	107
b. Nutrients	107
c. Chlorophyll-a	108
d. Standing stock and species composition of phytoplankton	108
e. Abundance of mesozooplankton with tidal cycle	109
f. Abundance of moon jellyfish	109
2. Results	110
a. Temperature, salinity and dissolved oxygen	110
b. Nutrients	114
c. Chlorophyll-a	121
d. Standing stock and species composition of phytoplankton	123
e. Abundance of mesozooplankton with tidal cycle	130
f. Abundance of moon jellyfish	137
Paragraph IV. Jellyfish bloom in Masan bay	141
Chapter IV. Achievement of the study goal	149
Paragraph I. Research aim achievement	149
Paragraph II. Contribution of related research field	150
Chapter V. Application and utilization plan of the results	155
Chapter VI. Reference	159

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	27
제 1 절	연구개발의 필요성	27
1.	기술적 측면	28
2.	경제·산업적 측면	28
3.	사회·문화적 측면	29
제 2 절	연구개발의 목적 및 내용	29
제 2 장	국내의 기술개발 현황 및 과학기술정보	33
제 1 절	국외 기술개발 및 연구동향	33
제 2 절	국내 기술개발 및 연구동향	34
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	39
제 1 절	보름달물해파리의 생활단계 및 생리적 특성	39
1.	재료 및 방법	39
가.	실험실에서 보름달물해파리의 생활단계	39
나.	광에 따른 보름달물해파리 플라놀라 유생의 고착률	40
다.	수온, 염분, 용존산소의 변화에 따른 반응	41
라.	보름달물해파리의 섭식	42
마.	보름달물해파리의 생화학적 구성성분	43
2.	연구 결과	45
가.	실험실에서 보름달물해파리의 생활단계	45
나.	광에 따른 보름달물해파리 플라놀라 유생의 고착률	47
다.	수온, 염분, 용존산소의 변화에 따른 반응	49
라.	보름달물해파리의 섭식	59
마.	보름달물해파리의 생화학적 구성성분	65
제 2 절	마산만 현장조사	69
1.	재료 및 방법	69
가.	마산만 수온, 염분, 용존산소농도	70

- 나. 마산만 보름달물해파리와 동물플랑크톤 70
- 다. 마산만 보름달물해파리 폴립의 부착 71
- 라. 보름달물해파리 에피라 발생 72
- 마. 부착 기질에 따른 보름달물해파리 폴립 발생 72
- 2. 연구결과 74
 - 가. 마산만 수온, 염분, 용존산소농도 74
 - 나. 마산만 보름달물해파리와 동물플랑크톤 78
 - 다. 현장에서 보름달물해파리의 생활단계 87
 - 라. 마산만 보름달물해파리 폴립의 부착 88
 - 마. 보름달물해파리 에피라 발생 98
 - 바. 부착 기질에 따른 보름달물해파리 폴립 발생 102
- 제 3 절 해파리의 일 변동 및 부유 생태계 106
 - 1. 재료 및 방법 106
 - 가. 수온, 염분 및 용존 산소 107
 - 나. 영양염 107
 - 다. 엽록소 -a 108
 - 라. 미세조류 종조성 및 현존량의 변화 108
 - 마. 조석주기에 따른 중형동물플랑크톤의 출현량 변화 109
 - 바. 해파리의 출현량 변화 109
 - 2. 연구 결과 110
 - 가. 수온, 염분 및 용존 산소 110
 - 나. 영양염 114
 - 다. 엽록소 -a 121
 - 라. 미세조류 종조성 및 현존량의 변화식물플랑크톤 123
 - 마. 조석주기에 따른 중형동물플랑크톤의 출현량 변화 130
 - 바. 해파리의 출현량 변화 137
- 제 4 절 마산만과 해파리 대발생의 관계 141
- 제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 149**
 - 제 1 절 연구개발목표의 달성도 149
 - 제 2 절 관련분야의 기여도 150

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 155

제 6 장 참고문헌 159

List of Figures

Fig. 3-1-1. <i>Aurelia aurite</i> in Masan Bay.	39
Fig. 3-1-2. Picture of incubator with red light.	40
Fig. 3-1-3. Summary of the role of environment variables in synchronizing and influencing the benthic and pelagic stages of the life cycle of <i>Aurelia aurita</i> (re-drawn from Gröndahl, 1988).	46
Fig. 3-1-4. Life stages of moon jellyfish in laboratory.	47
Fig. 3-1-5. Asexual reproduction methods of moon jellyfish in laboratory.	48
Fig. 3-1-6. The number of succession for the metamorphosis from planula larvae to polyps on <i>Aurelia aurita</i> according to the different intensity of red light.	49
Fig. 3-1-7. The number of succession for the metamorphosis from planula larva to polyps on <i>Aurelia aurita</i> according to the different temperature.	50
Fig. 3-1-8. Growth of polyps on <i>Aurelia aurita</i> according to the different temperature.	51
Fig. 3-1-9. The number of succession for the metamorphosis from planula larva to polyps on <i>Aurelia aurita</i> according to the different salinity.	52
Fig. 3-1-10. Variation of planula larva according to the different salinity in <i>Aurelia aurita</i>	52
Fig. 3-1-11. Development of polyps according to the different salinity in <i>Aurelia aurita</i>	53
Fig. 3-1-12. Change of polyp abundance on temperature variance in <i>Aurelia aurita</i>	54
Fig. 3-1-13. Change of polyp abundance on different variance in polyps.	55
Fig. 3-1-14. Variation of dissolved oxygen by <i>Aurelia aurita</i> in 10 °C.	57
Fig. 3-1-15. Variation of dissolved oxygen by <i>Aurelia aurita</i> in 20 °C.	57
Fig. 3-1-16. Variation of dissolved oxygen in different abundance of <i>Aurelia aurita</i>	58
Fig. 3-1-17. Variation of dissolved oxygen by <i>Aurelia aurita</i> with fish	59
Fig. 3-1-18. Variation of <i>Aurelia aurita</i> abundance as time passes in control and experiment (M1: 12.5cm; M2: 13cm; M3: 9.5cm).	60
Fig. 3-1-19. Dead body of <i>Artemia</i> released from gastric pouch of <i>Aurelia aurita</i>	61
Fig. 3-1-20. Picture of digested <i>Artemia</i> as time passes on gastric pouch of <i>Aurelia</i>	

<i>aurita</i> (red arrow : <i>Artemia</i>).	62
Fig. 3-1-21. Variation of zooplankton abundance as time passes in control and experiment (M1: 10cm; M2: 11.5cm; M3: 13cm).	64
Fig. 3-2-1. Sampling location in Masan Bay.	69
Fig. 3-2-2. Jellyfish blooming location in Masan Bay.	70
Fig. 3-2-3. Diagram of experimental adhesive plate.	72
Fig. 3-2-4. Picture for various kinds of adhesive plates	73
Fig. 3-2-5. Depth profile about temperature on inner of Masan Bay in 2004, 2005, 2006.	75
Fig. 3-2-6. Depth profile about salinity on inner of Masan Bay in 2004, 2005, 2006. ..	76
Fig. 3-2-7. Depth profile about dissolved oxygen on inner of Masan Bay in 2004, 2005, 2006.	77
Fig. 3-2-8. Variations of copepods abundance by netting in 2004.	79
Fig. 3-2-9. Variations of <i>Aurelia aurita</i> abundance in 2004.	79
Fig. 3-2-10. Diameter of <i>Aurelia aurita</i> in 2004.	80
Fig. 3-2-11. Copepods abundance on the inner gastric pouch of <i>Aurelia aurita</i> in 2004.	80
Fig. 3-2-12. Variations of copepods abundance by netting in 2005.	82
Fig. 3-2-13. Variations of <i>Aurelia aurita</i> abundance in 2005.	83
Fig. 3-2-14. Diameter of <i>Aurelia aurita</i> in 2005.	83
Fig. 3-2-15. Copepods abundance on the inner gastric pouch of <i>Aurelia aurita</i> from February, 2005 to January, 2006.	84
Fig. 3-2-16. Variations of copepods abundance by netting in 2006.	85
Fig. 3-2-17. Variations of <i>Aurelia aurita</i> abundance in 2006.	86
Fig. 3-2-18. Diameter of <i>Aurelia aurita</i> in 2006.	86
Fig. 3-2-19. Polyps of <i>Aurelia aurita</i> on adhesive plate.	90
Fig. 3-2-20. Density of appeared polyps up and down faces of adhesive plate at different depths from August, 2005 to November, 2005.	91
Fig. 3-2-21. Density of appeared polyps up and down faces of adhesive plate at different depths from November, 2005 to August, 2006.	93
Fig. 3-2-22. Density of appeared polyps up and down faces of adhesive plate at	

different depths from August, 2006 to August, 2007.	95
Fig. 3-2-23. Density of appeared polyps of adhesive plate in 2005.	96
Fig. 3-2-24. Density of appeared polyps of adhesive plate in 2006.	97
Fig. 3-2-25. Density of appeared polyps of adhesive plate in 2007.	98
Fig. 3-2-26. Strobilation of <i>Aurelia aurita</i> polyps on adhesive plate.	99
Fig. 3-2-27. The frequency of succession for the metamorphosis from polyps to strobila on <i>Aurelia aurita</i>	100
Fig. 3-2-28. Variation on <i>Aurelia aurita</i> 's polyps and ephyra in March and April, 2006.	100
Fig. 3-2-29. Cumulation abundance for <i>Aurelia aurita</i> 's polyps and ephyra from 11, March, 2006.	101
Fig. 3-2-30. Change of temperature and salinity in the pier (depth 1m).	101
Fig. 3-2-31. Polyps of <i>Aurelia aurita</i> on glass adhesive plate.	104
Fig. 3-2-32. Polyps of <i>Aurelia aurita</i> on styrofoam adhesive plate.	104
Fig. 3-2-33. Polyps of <i>Aurelia aurita</i> on concrete adhesive plate.	105
Fig. 3-2-34. Polyp abundance of <i>Aurelia aurita</i> per a unit area with various adhesive plate.	105
Fig. 3-3-1. Sampling location of mooring station in Masan Bay.	106
Fig. 3-3-2. Depth profile of temperature and salinity on the mooring for 25 hours in the station 1.	111
Fig. 3-3-3. Depth profile of temperature and salinity on the mooring for 25 hours in the station 2.	113
Fig. 3-3-4. Mooring data about the concentration of dissolved oxygen of the station 1 and 2 at surface and bottom.	114
Fig. 3-3-5. Mooring data about the concentration of silicate and phosphate of the station 1 and 2 at surface and bottom.	116
Fig. 3-3-6. Mooring data about the concentration of ammonia and nitrate+nitrite of the station 1 and 2 at surface and bottom.	118
Fig. 3-3-7. Mooring data about the ratio of NP and SP in the station 1 and 2 at surface and bottom.	120
Fig. 3-3-8. Mooring data about the concentration of chlorophyll-a of the station 1 and	

2 at surface and bottom.	122
Fig. 3-3-9. Total cell densities of microalgae collected every three hours between May 2 2007 and May 3 2007 with sea level data obtained from National Oceanographic Research Institute. The unit of sea level is shown on the right side of Y axis in cm.	126
Fig. 3-3-10. Microalgal cell densities collected every three hours between May 2 2007 and May 3 2007. Five Microalgal groups are presented; these are Bacillariophyceae, Dinophyceae, Ciliophora, Euglenophyceae, nanoflagellates. The scale of Y axis in plot D Station 2 (bottom) is different from the rest of plots due to the low cell density.	128
Fig. 3-3-11. Phytoplankton species once dominated over 5% of total population excluding nanoflagellates.	129
Fig. 3-3-12. Changes in the abundance of mesozooplankton and <i>Noctiluca scintillans</i> according to the tidal cycle.	134
Fig. 3-3-13. Changes in the abundance of copepods, <i>Acartia omorii</i> and <i>Paracalanus indicus</i> according to the tidal cycle.	135
Fig. 3-3-14. Changes in the relative abundance(%) of major taxa to the total mesozooplankton abundance according to the tidal cycle.	136
Fig. 3-3-15. Variations of <i>Aurelia aurita</i> abundance at the station 1.	138
Fig. 3-3-16. Variations of <i>Aurelia aurita</i> abundance at the station 2.	139
Fig. 3-3-17. Diameter of <i>Aurelia aurita</i> in survey area.	140
Fig. 3-4-1. Map showing the geomorphological changes of the Masan Bay from 1902 to 2011 (from KORDI, 2006)	143
Fig. 3-4-2. Variation of dissolved oxygen concentration, temperature and salinity in inner part of Masan Bay.	144
Fig. 3-4-3. Variations of <i>A. aurita</i> , copepoda and zooplankton in the study area.	145
Fig. 3-4-4. Relationship of copepod, zooplankton and <i>A. aurita</i> during the study period.	145

List of Tables

Table 3-1-1. Diameter and weight in <i>Aurelia aurita</i> using biochemical analysis.	65
Table 3-1-2. Biochemical Composition in <i>Aurelia aurita</i> . (unit: mg/ℓ of 1g jellyfish in dried weight)	66
Table 3-1-3. Diameter and weight in <i>Aurelia aurita</i> using the fatty acid analysis.	67
Table 3-1-4. Fatty acid analysis in <i>Aurelia aurita</i> (18.5cm, 15cm and 14cm in umbrella diameter).	68
Table 3-2-1. Gastric pouch's content of <i>Aurelia aurita</i> in October, 2004.	81
Table 3-2-2. Gastric pouch's content of <i>Aurelia aurita</i> in November, 2004.	81
Table 3-2-3. Appearance time of life stage based on natural sampling data in Masan Bay.	87
Table 3-2-4. Density of appeared polyps on experimental adhesive plate of Masan Bay in 2005.	89
Table 3-2-5. Density of appeared polyps on experimental adhesive plate of Masan Bay in 2006.	92
Table 3-2-6. Density of appeared polyps on experimental adhesive plate of Masan Bay in 2007.	94
Table 3-2-7. Density of appeared polyps with various kinds and position of experimental adhesive plate.	103
Table 3-3-1. Pearson's correlation coefficients between nutrients at the station 1.	119
Table 3-3-2. Pearson's correlation coefficients between nutrients at the station 2.	119
Table 3-3-3. The number of microalgal species found during the study. Microalgae is classified into five groups; Bacillariophyceae, Dinophyceae, Ciliophora and Euglenophyceae, Nanoflagellates.	124
Table 3-3-4. The list of microalgal species found at all stations. The presence of species at each site is abbreviated as 1s (Station 1 - surface), 2s (Station 2 - surface), 1b (Station 1 - bottom) and 2b (Station 2 - bottom)	125
Table 3-3-5. Time and height of the high and low tides of the sampling days.	130
Table 3-3-6. The list and abundance of mesozooplankton according to tidal cycle in station 1.	131

Table 3-3-7. The list and abundance of mesozooplankton according to tidal cycle in station 2.132

Table 3-3-8. Variations of *Aurelia aurita* abundance (inds./100m³).138

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

여 백

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

생태계는 인간을 포함한 동물 및 식물 등의 생물학적 요소와 햇빛, 공기, 물, 흙과 같은 무생물학적 요소가 있는 환경으로 구성되며 이들의 복잡한 생물학적 및 무생물학적 작용을 통해서 균형과 조화를 이루며 다양한 기능을 수행한다. 최근 들어 전 세계 연안에서 해파리 (jellyfish)의 폭발적인 증가는 인간의 직·간접적인 활동 즉 남획, 부영양화, 지구온난화에 따른 수온 상승에 의해 해양생태계가 심각하게 훼손되어지는 것을 나타내는 징조라고 많은 해양생물학자들은 경고하고 있다. 해파리 대발생은 국내외 연안에서 발전소 취수구 막힘으로 인한 중단 사태 및 수산업활동에 막대한 지장을 초래하고 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위해서는 증식 및 대량출현의 원인을 규명하여 적절한 대응책을 마련해야 할 것이다. 또한 해파리 대발생 후 이동, 확산을 파악하는 일도 시급하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 무엇보다도 해파리의 생활사 및 생리, 생태학적 연구가 선행되어야 한다. 또한 해파리 대발생 출현은 이미 해당해역에 부영양화 또는 저 산소층 생성 및 남획등과 같은 심각한 환경변화가 있었음을 암시하기 때문에 이들의 생리 생태 특성을 파악하는 것은 해당해역의 환경문제를 해결하는 데 상당히 중요하게 작용할 수 있다.

환경변화는 생태계 내 생물군집의 구조와 기능을 결정하는 중요한 요인 중의 하나이다. 생물군집은 안정된 것이 아니라 천이를 하는 동안에 구조 및 기능이 변하기 때문에 환경변화의 정도에 따라 다양하게 나타난다. 환경 변화에 따른 생물군집의 반응도 시공간적으로 다양하게 나타나며 환경변화의 정도는 군집의 구조와 기능에 영향을 미친다. 최근 부유생태계의 후생동물 먹이망 내에서 해파리의 역할에 대해 전 세계적으로 상당한 관심을 받고 있지만 이들을 정량적으로 채집하는 데 어려움 등으로 인하여 연구가 미비한 실정이다. 일반적으로 해파리는 생태계 내에서 성어나 치자어와 동물플랑크톤에 대한 먹이경쟁 관계에 놓여있고 종종 치자어나 어란을 포식하는 것으로 알려져 있다. 남획으로 인해 어류가 양적으로 감소된 지역에서는 해파리는 먹이 경쟁에 우위를 차지하여 대량증식을 하게 되며 이에 따른 동물플랑크톤의 감소는 식물플랑크톤의 대증식을 야기시킬 수 있다. 남획된 지역뿐만 아니라 부영양화된 지역에서도 해파리의 증식이 나타나는

데, 이러한 지역에서는 종종 어류가 건지기 힘들 정도의 낮은 용존산소 농도가 관측되어 어류는 다른 곳으로 이동하게 되고 낮은 농도에서도 잘 견딜 수 있는 해파리는 먹이경쟁 없이 쉽게 증식을 할 수 있다. 이는 해당해역의 생물군집의 구조와 기능이 변화되었음을 의미하며 먹이망의 안정성이 파괴되었다고 볼 수 있다. 결과적으로 어획량 및 상업적으로 중요한 어종의 감소까지 야기 시킬 수 있다. 이와 같은 해파리의 생리 생태적 연구는 전반적인 수서생태계 연구에 대해 학술적으로 많은 도움이 되고 국내 해파리 연구에 중요한 정보를 제공 할 것이다. 또한 환경요인 변화 및 기후변동에 따른 해파리 종 및 변화 양상을 조사하여 생물 다양성 보존을 위한 중요한 기초 자료로 활용할 수 있다. 또한 응용적인 측면에서는 해파리 자료 축적으로 지역 생태계의 환경변화를 추정 할 수 있고 생태계 건강성을 평가 할 수 있을 것이다.

1. 기술적 측면

해파리 대발생으로 인한 원전 취수구 막힘 및 수산업활동에 상당한 피해를 받았지만 연안 생태계의 한 구성원으로 해파리에 대해서 아는바가 별로 없고 해파리 증감의 실제 원인을 이해하기 위해서는 생활사 및 생리 생태학적인 기초 정보를 알아야 한다. 일반적으로 해파리는 성체가 되었을 때 문제를 일으키고, 매우 작은 폴립 단계에는 단단한 기질에 부착해 환경조건이 나빠져도 수년간 살아남을 수 있으며 이들 한 개체가 약 300 마리의 성체를 만들 수 있다. 대증식 원인을 이해하기 위해서는 반드시 생활사 연구가 필요하다. 또한 대증식 이후 다른 지역으로 어떻게 이동하는지 파악하는 것도 중요하며, 해파리 양의 장기적인 변화는 어획, 부영양화, 저 산소층, 기후변화와 관련된 것으로 보인다. 해파리의 변동은 지역 생태계의 환경변화를 의미하는 지표로도 활용 할 수 있을 것이며, 궁극적으로 생태계 평가 (관리)를 위해 이용할 수 있다.

2. 경제 · 산업적 측면

해파리의 대량 출현은 어업활동에 지대한 영향을 미치고 있고 그물에 어류와 해파리가 같이 포획됨으로써 해파리의 점액성분이나 촉수에 의해 어류가 죽거나 상품가치가 크게 하락 되어 경제적 손실을 불러오고 있다. 해파리가 상업적으로 중요한 종의 치자어와 어란에 대한 포식으로 인해 어자원이 감소되고 장기적으로 어업량 감소의 원인이 될 수

있으며, 또한 다른 생물의 다양성을 감소시키는 관계로 생태계의 변화를 야기 시킬 수 있을 것이다. 1990년대 중반 이후 발전소주변에서 해파리의 대량출현으로 인해 발전중단사태를 일으키는 심각한 상황이 보고되고 있으며, 이에 따른 피해와 위협을 줄이기 위한 대책이 필요한 실정이다.

3. 사회·문화적 측면

해파리는 히드라, 산호, 말미잘과 마찬가지로 자포동물의 한 그룹으로 이들은 썩기 세포(자세포)를 가지고 있으며, 일부 종들은 아주 강한 독을 가지고 있어 죽은 개체임에도 불구하고 여전히 독을 가지고 있다. 종에 따라 독성정도가 다르고 해파리에 쏘인 사람들은 격통, 경련, 구토를 일으키며 때로는 사망하기도 하여 외국의 경우 해파리가 많이 출현하는 지역에서 수영 및 다이빙이 금지된다. 이는 관광 및 여가활동의 감소를 불러와 지역경제에 영향을 줄 수 있다.

해파리는 주로 동물플랑크톤과 작은 어류들을 포식하기 때문에 해파리의 증가로 인한 동물플랑크톤의 감소는 식물플랑크톤의 증식을 유발시킬 수 있다. 특히 유해식물플랑크톤이 대 증식을 발생할 수 있는 기회를 제공할 수 있으므로 이는 수산자원 및 해양환경뿐만 아니라 국민의 공중보건에도 심각한 위협을 초래할 수 있다.

제 2 절 연구개발의 목적 및 내용

우리나라 연안에서 해파리 대발생을 일으키는 원인종의 생활사를 규명하고 생리, 생태학적 특성을 파악하여 연안에서의 발생기작을 규명하고자 한다.

이를 위해 다음과 같은 연구내용들이 수행되었다.

□ 해파리 대발생 원인종의 생활사 연구

- 실험실과 현장 (마산만)에서 보름달물해파리 (*Aurelia aurita*)의 전 생활사 과정 분석
- 생활사 중 플라눌라 유생의 고착율부터 폴립발생, 폴립성장과정에 대한 수온, 염분의 영향 파악
- 폴립의 무성생식에 영향을 미치는 수온, 염분조건을 분석하고 먹이에 대한 섭식, 소화율에 걸리는 시간 측정

- 해파리 대발생 원인종의 생리, 생태학적 연구
 - 보름달물해파리의 호흡률과 저산소층에서 생존 가능성 확인
 - 보름달물해파리의 생화학적 구성성분 및 지방산 분석
 - 현장의 폴립 부착판을 이용한 폴립으로부터 에피라 방출율 측정과 방출시기 조사
 - 부착판 종류에 따른 폴립의 발생 및 개체수 비교 분석
 - 내만성 적조발생과 해파리 출현과의 상관성 분석
- 해파리 대발생 기작규명
 - 해파리의 위강 내용물의 일 변동 조사를 통한 포식리듬의 일 변화분석
 - 해파리 대발생 시기와 환경변화와의 상관성 분석
 - 연안에서 해파리 잠재생산량 추정

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

여 백

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

제 1 절 국외 기술개발 및 연구동향

일본, 필리핀, 인도, 노르웨이, 발틱해, 북해, 호주 등 전 세계에서 해파리 대발생이 보고되고 있으며, 이에 따른 다각적인 측면에서 연구가 진행되고 있다.

미국의 Providence college 와 Roger Williams 대학교에서는 공동 연구로 hydromedusa 의 생태기능에 관한 연구를 하고 있다. Dauphin Island Sea 연구실에서는 Dock Watch 프로그램 (<http://dockwatch.disl.org/>)을 운영하여 해파리의 이동 및 분포, 생태연구를 진행하였다. 워싱턴 대학교 해양연구실에서는 환경 변화에 따른 해파리 대발생에 관한 연구를 하고 있으며, 플로리다 주의 harbor branch 해양연구소에서는 해파리와 어류와의 상관관계를 연구하였다. 하와이 대학교의 해파리 연구실에서는 다양한 분야의 연구를 시도하고 있으며, 미국 EPA와 메릴랜드 대학교의 환경연구센터에서 해파리 생태 및 행동기작, 해파리와 어류와의 상호작용 연구, 메릴랜드 대학교의 의과대학은 해파리 독성에 관한 연구를 수행하고 있다.

유럽은 EuroGel이라는 5th EU Framework의 일환으로 유럽내 공동연구가 매우 활성화되고 있다. 주로 jellyplankton 중의 천이 및 풍도를 조절하는 주요 요인을 분석 및 정량화, 해양생태계의 구조와 기능에서 jellyplankton의 역할을 이해하고, jellyplankton 대발생을 예상할 수 있는 모델 개발, 수산업, 양식, 임해산업시설 및 위락활동과 관련된 문제의 범위를 정하는 것에 초점을 두고 있다. 또한 영국의 Southampton 대학교에서는 해파리의 군집생태 및 유성생식에 관한 연구, 독일 뮌헨 대학에서는 해파리의 포식과 무성생식에 관한 연구를 수행하였다.

호주의 제임스 쿡 대학교 와 시드니 대학교에서 해파리 생태에 관한 연구, 제임스 쿡 대학교와 Western Australia 대학교에서는 공동으로 해파리 독성에 관한 연구를 수행하였다.

- 남아프리카의 Western Cape 대학교의 동물학과에서 해파리의 시공간적 분포, 분포 양상에 관한 연구를 수행하였다 .

일본의 경우는 예로, 동경수산대학교에서 해파리의 먹이생물 및 먹이 기작에 관한 연구를 수행하였으며, 최근 대형해파리의 출현으로 수산업 및 양식산업에 큰 피해를 입고

있다. 히로시마 대학의 연구결과에 따르면 이러한 대형해파리는 중국 서쪽 및 서남연안에 산란장을 형성하여 해류에 따라 우리나라 남해를 거쳐 일본 북서연안으로 유입되어 연안을 따라 북쪽으로 이동하여 일본열도 동남쪽까지 확산된 후 소멸하는 것으로 보고하였다. 또한 일본연안에서 대형해파리의 폴립이 발견되어 자생가능성을 시사하였다. 히로시마대학은 향후 5년간 대형해파리의 생리, 생태학적 연구를 수행할 예정이다. 또한 동경만을 중심으로 보름달물해파리의 생리, 생태학적 연구들이 활발히 진행하고 있으며, 발전소로 유입되는 생물들을 감시하여 미리 예보할 수 있는 시스템을 개발하여 가동 중에 있는 실정이다.

제 2 절 국내 기술개발 및 연구동향

최근까지 국내 해파리에 관한 연구를 보면, 분류학적 연구가 소수 그룹에 의해 이화여자대학교와 수원대학교에서 이루어졌지만, 생태학적인 연구는 전공자 부족으로 인해 기초적인 연구조차도 이루어지지 않은 실정이다. 해파리의 출현은 부영양화, 남획, 외래종 유입과 관련되어 있고, 먹이망 과정에서도 잠재적으로 중요함에도 불구하고 이에 대한 연구가 거의 이루어지지 않았다.

한국해양연구원에서는 2000년 초반부터 보름달물해파리의 생활사 및 생태특성 연구를 실시해 오고 있으며, 생활사를 중심으로 다양한 생리, 생태학적 연구를 시도하고 있다. 또한 국립수산물과학원에서는 최근 해파리에 의한 수산업의 피해가 증가하기 시작하자 자체적으로 '해파리 이상증식 원인과 수산업적 대응 연구'라는 과제를 수행 중에 있다.

그동안 국내의 원전 및 수산업 활동이 해파리 대발생으로 인해 커다란 피해를 입어왔지만 특별한 대처방안을 제시해 오지 못하고 있다, 이는 관련 전문가 부족으로 해파리에 관한 생리, 생태학적 기본적 정보가 부족할 뿐만 아니라 이 종이 피해지역에 서식하는 것인지, 해류에 의해서 밀려들어 온 것인지 파악이 안 되고 있는 실정이다. 또한 연안에서의 간척사업 및 해사채취로 인한 서식지 훼손과 대형 임해공단시설과 가정으로부터 유입되는 영양염류 및 기타 오염물질 등이 하구 및 연안생태계에 미치는 영향에 대한 많은 연구를 수행해 왔음에도 불구하고 먹이망 내 유기물들의 유기적 과정의 중요성을 인식하지 못하여 해파리가 많은 양 출현했어도 이들의 기능과 역할에 대한 고려가 거의 없었다.

생태계내의 먹이망 과정에서 해파리의 역할에 대한 잠재적 중요성이 인식되지 않아 거의 연구가 없었다. 그러나 해파리의 증식에 따른 문제를 극복하기 위해서는 우선적으로

이들의 생활사에 대한 연구가 수행되어야 하고 장기적으로 기초적인 환경요인과 생물군집구조 분석을 통하여 어떠한 요인들이 이들의 증식, 분포 및 이동양상에 영향을 주는지 파악해야만 한다. 또한 나아가 본 과제의 연구 결과를 이용하여 먹이관계 및 먹이사슬 분석을 통하여 생태계의 기능을 파악 및 훼손된 생태계의 회복과 건강성을 평가할 수 있는 기술 개발에 대한 연구도 절실히 필요하다.

-앞으로 전망

Medusae, siphonophores, ctenophores, salps, larvaceans를 포함하고 있는 끈적거리는 점착성을 갖고 있는 동물플랑크톤 (gelatinous zooplankton)에 대한 과학적 인식이 과거 30년간 현저하게 증가하였다. 최근 jellyfish bloom은 전 세계적인 경향으로 생태학적, 사회적으로 중요한 관심을 끌게 되었고, 2000년 1월 미국 Alabama에서 Jellyfish Blooms에 대한 국제학회를 개최하였다. 여기에는 5개 대륙으로부터 13개국에서 70명 이상의 과학자들이 참석하여 각국의 연구프로그램과 결과들을 발표하였다. 또한 참석자들은 jellyfish bloom 원리를 전 지구적 차원에서 이해하고, 해결하기 위한 노력으로 "JellyWatch" network의 개념적 기반마련의 필요성을 인식하였다. 또한 연구회는 증가된 공공의 관심, 다학제연구활동의 확장, 더 큰 규모의 연구들, 증가된 잠재적 연구투자의 필요성을 강조하였다.

우리나라에서도 jellyfish bloom은 이미 시작되었고, 수산업 및 산업시설의 직접적인 피해를 일으키고 있으며, 생태계 변화에 따른 간접적인 피해에 대해서는 추정조차 못하는 실정이다. 또한 jellyfish bloom이 출현하였다는 것은 이미 해당해역에 부영양화 또는 저산소층 생성 및 남획등과 같은 심각한 환경변화가 있었음을 암시한다. 전 지구적 기후변화와 관련하여 수온상승 및 난류수의 확장은 해양환경을 변화시키고, 남획에 따른 생태계 불균형, 연안오염에 따른 저 산소층 확대 등은 jellyfish bloom의 기회를 자주 제공하는 계기가 될 것이며, 적조와 같이 매해 심각한 경제, 사회적 문제를 일으킬 것이다. 적조연구처럼 기본연구를 소홀히 하고 당장의 가시효과만을 생각하여 방제연구에만 집중한다면, 연구의 효율과 많은 과학적 정보 및 분석기법 개발의 저해를 가져올 수 있다. 따라서 jellyfish bloom에 대처하기 위해 우선적으로 jellyfish의 생리, 생태, 행동적 특징 및 생활사 등 기본적 연구들이 수행되어야 한다. 이러한 연구의 결과를 바탕으로 물리적 환경과 연결된 jellyfish의 이동경로 예보 시스템을 구축 및 jellyfish bloom 저감 및 방제를 위한 연구를 시작할 수 있을 것으로 판단된다.

여 백

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

여 백

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 보름달물해파리의 생활단계 및 생리적 특성

1. 재료 및 방법

가. 실험실에서 보름달물해파리의 생활단계

보름달물해파리가 서식하고 있는 (Fig. 3-1-1) 마산만에서 보름달물해파리 성체를 채집하여 남해연구소 실험실로 운반하였다. 보름달물해파리로부터 방출된 플라눌라 유생을 배양하면서 보름달물해파리의 생활사를 관찰하였다. 먹이로는 *Artemia*를 사용하였고 해수는 GF/F 여과지로 여과하여 사용하였다.

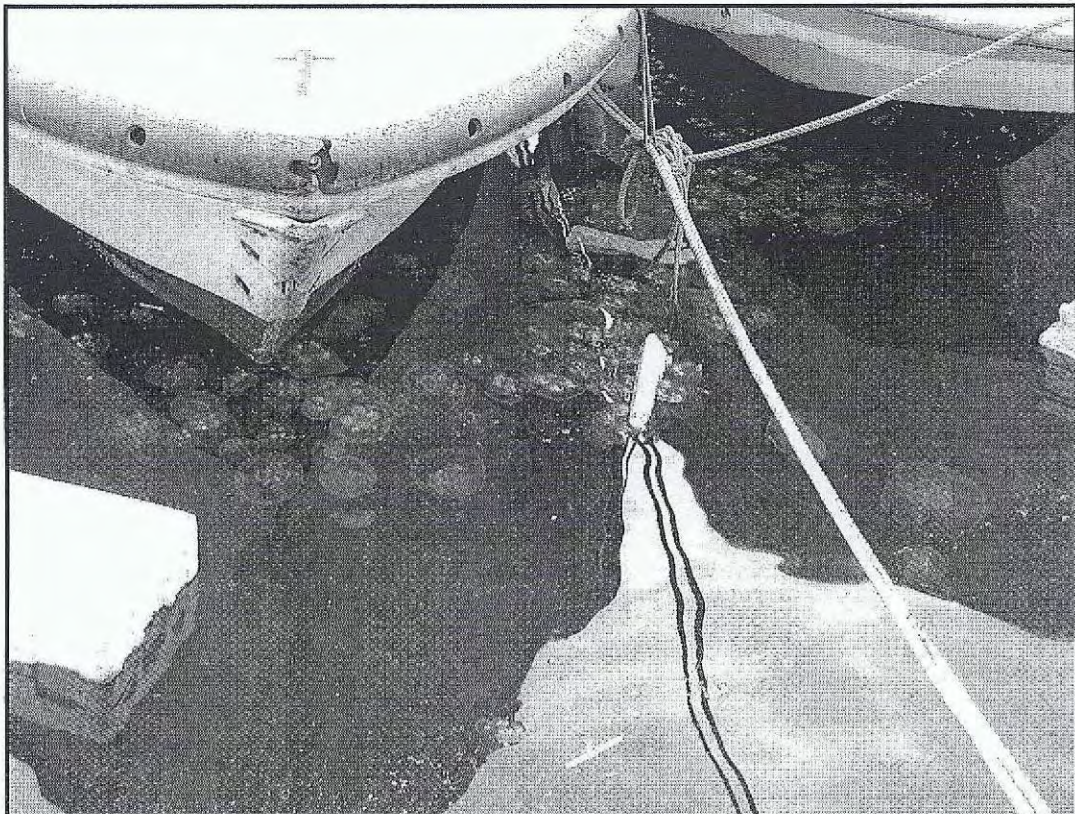


Fig. 3-1-1. *Aurelia aurite* in Masan Bay.

나. 광에 따른 보름달물해파리 플라놀라 유생의 고착률

마산만에서 2005년 8월 1일에 채집한 보름달물해파리 성체로부터 플라놀라 유생을 얻었다. 배양기의 전구 색을 적색으로 설치하였다. 전구의 수와 거리를 조절하여 광량을 213, 108, 18 μM 의 세 가지 실험 조건으로 나누었다 (Fig. 3-1-2). 각 조건마다 보름달물해파리 성체로부터 얻은 플라놀라 유생을 30마리씩 조직배양 용기에 넣어 폴립으로 발생하는 개체수를 해부현미경 하에서 계수하였다. 배양 시 광은 12시간 단위로 켜고 끄는 방법을 반복하였고, DO는 7.15 mg/ℓ 이상을 유지하였고, 염분은 29 ~ 33 psu, 수온은 20 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였다.



Fig. 3-1-2. Picture of incubator with red light.

다. 수온, 염분, 용존산소 (DO)의 변화에 따른 반응

1) 수온에 따른 보름달물해파리 플라놀라 유생의 부착과 성장

마산만에서 채집한 (2005년 3월 16일) 보름달물해파리 성체로부터 플라놀라 유생을 얻었다. 배양 온도를 실온 (5 ~ 20°C), 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C로 달리하여 각 조건마다 보름달물해파리 성체로부터 얻은 플라놀라 유생을 60마리씩 조직배양 용기에 넣어 폴립으로 발생하는 개체수를 5일 마다 해부현미경 하에서 계수하였다. 폴립으로 발생한 개체는 *Artemia*를 먹이로 공급하며 해부현미경 하에서 폴립의 직경을 측정하여 성장하는 것을 관찰하였다. 배양 시 광은 12시간 단위로 점멸을 반복하였고, 용존산소농도는 7.15 mg/l 이상을 유지하였고, 염분은 29 ~ 33 psu를 유지하였다

2) 염분에 따른 보름달물해파리 플라놀라 유생의 부착과 성장

마산만에서 채집한 (2005년 7월 26일) 보름달물해파리 성체로부터 플라놀라 유생을 얻었다. 배양 해수의 염분을 10psu, 20psu, 30psu, 40psu의 4가지로 달리하여 각 조건마다 보름달물해파리 성체로부터 얻은 플라놀라 유생을 30마리씩 조직배양 용기에 넣어 폴립으로 발생하는 개체수를 해부현미경 하에서 계수하였다. 폴립으로 발생한 개체는 *Artemia*를 먹이로 공급하며 해부현미경 하에서 폴립의 직경을 측정하여 성장하는 것을 관찰하였다. 배양 시 광은 12시간 단위로 점멸을 반복하였고, 용존산소농도는 7.15 mg/l 이상을 유지하였고, 수온은 20°C를 유지하였다

3) 수온 변화에 따른 보름달물해파리 폴립의 무성생식

본 연구실에서 2003년 11월부터 수온 25°C, 염분 30psu의 조건에서 배양하고 있는 보름달물해파리 폴립을 실험에 사용하였다. 배양 수온을 15°C, 20°C, 25°C, 30°C로 달리하여 각 조건마다 10개체의 보름달물해파리 폴립을 투여하여 폴립 개체수의 변화를 해부현미경 하에서 측정하였다. 배양 시 광은 차단하였고 용존산소농도는 7.15 mg/l 이상을 유지하였으며 염분은 29 ~ 33 psu를 유지하였고 먹이는 *Artemia*를 공급하였다. 배양 해수는 7일마다 전량 교환하였다.

4) 염분 변화에 따른 보름달물해파리 폴립의 무성생식

본 연구실에서 2003년 11월부터 수온 25°C, 염분 30psu의 조건에서 배양하고 있는 보름달물해파리 폴립을 실험에 사용하였다. 배양해수의 염분을 10psu, 20psu, 30psu, 40psu로 달리하여 각 조건마다 10개체의 보름달물해파리 폴립을 투여하여 폴립 개체수의 변화를 해부현미경 하에서 측정하였다. 배양 시 광은 12시간을 주기로 점멸하였고 용존산소농도는 7.3 mg/l 이상을 유지하였으며 수온은 25°C를 유지하였고 먹이는 *Artemia*를 공급하였다. 배양 해수는 5일마다 전량 교환하였다.

5) 보름달물해파리의 용존산소 (DO) 소비율

마산만과 거제도 장목면 한국해양연구원 남해연구소 연구부두에서 채집된 보름달물해파리 성체를 10°C, 20°C의 해수에 수용하여 용존산소농도 (mg/l)의 변화를 측정하였다. 해수는 메쉬크기 1mm의 채로 거른 여과해수 50l를 사용하였다. 용존산소농도는 YSI model 58을 이용하여 측정하였다. 보름달물해파리 실험은 10°C 해수에서 처리구 1에 14 ~ 15cm의 해파리 16마리를 수용하였고 처리구 2에 해파리 4마리를 수용하여 용존산소농도를 측정하였다. 또한 10°C에서 해파리가 없는 해수 (control)와 처리구 1 (직경 약 14cm 4마리), 처리구 2 (직경 약 16cm 4마리), 처리구 3 (직경 약 20cm 2마리)의 용존산소농도를 각각 측정하였다. 또한 20°C에서도 용존산소농도는 직경 14 ~ 15cm의 해파리 4마리씩을 수용한 처리구 1, 2, 3과 해파리가 없는 control에서 각각 측정하였다.

해파리의 저 산소농도에서의 적응력을 실험하기 위해 여과해수에 물고기와 해파리를 동시에 수용하여 용존산소농도 감소에 따른 행동 변화를 관찰하였다. 실험에는 해파리 (직경 16cm), 참돔 (체장 11.5cm), 농어 (체장 20cm), 노래미 (체장 21.5cm), 조피볼락 (체장 12.5cm)이 사용되었고, 실험 수온은 25°C 이었다.

라. 보름달물해파리의 섭식

1) 보름달물해파리의 *Artemia* 섭식

2005년 8월 16일 마산만에서 보름달물해파리를 채집하여 3일간 수온 25°C, 염분 29psu의 해수에서 순치하여 실험에 사용하였다. 메쉬크기 1mm 채로 거른 해수를 수조에

50ℓ씩 채워 4개의 수조를 준비하였다. 준비된 수조에 해파리를 1마리씩 넣은 실험구 3개와 해파리를 넣지 않은 대조구 1개로 나누어 모두 *Artemia*를 넣고 1시간마다 *Artemia*의 개체수를 해부현미경 하에서 계수하였다. 실험이 진행되는 동안 수온 25℃, 염분 29 ~ 30psu를 유지하였다. 24시간동안 측정하고 해파리의 직경을 측정하였다.

2) 보름달물해파리의 *Artemia* 소화시간

2005년 8월 16일 마산만에서 보름달물해파리를 채집하여 3일간 수온 25℃, 염분 29psu의 해수에서 순치하여 실험에 사용하였다. 메쉬크기 1㎍ 채로 거른 해수에 해파리를 넣고 *Artemia*를 투입하였다. 해파리가 *Artemia*를 섭식하여 위낭 (gastric pouch)이 가득 채워졌을 때부터 해부현미경 하에서 10분마다 관찰하여 *Artemia*의 소화정도를 확인하고 사진을 찍었다.

3) 보름달물해파리의 동물플랑크톤 섭식

2005년 8월 16일 마산만에서 보름달물해파리를 채집하여 3일간 수온 25℃, 염분 29psu의 해수에서 순치하여 실험에 사용하였다. 1㎍로 거른 해수를 수조에 50ℓ씩 채워 4개의 수조를 준비하였다. 준비된 수조에 해파리를 1마리씩 넣은 실험구 3개, 해파리를 넣지 않은 대조구 1개를 만들었다. 장목만에서 망목 200㎍의 동물플랑크톤 네트로 동물플랑크톤을 채집하여 일정량씩 실험구 3개, 대조구 1개에 투입하였다. 1시간마다 실험구와 대조구에서 100㎖씩 3반복 채수하여 해부현미경 하에서 동물플랑크톤을 계수하였다. 실험이 진행되는 동안 수온 25℃, 염분 29 ~ 30psu를 유지하였다. 24시간동안 측정하고 해파리의 직경을 측정하였다.

마. 보름달물해파리의 생화학적 구성성분

1) 탄수화물, 단백질, 지질분석

마산만에서 채집한 보름달물해파리를 영하 70℃에서 24시간 동결시킨 후 144시간 동안 동결건조 시킨 다음 분석시점까지 영하 70℃에서 보관하였다. 생화학적 분석을 위하여 일정량의 시료를 취하여 0.2N perchloric acid를 10㎖ 첨가하여 세포내에 존재하는 수용

성 탄수화물을 측정하고, 침전물은 지질, 저장성 탄수화물, 단백질을 분석하였다 (이 등 2000; 장 등 1998). 수용성 탄수화물이 제거된 시료에 chloroform : methanol (2:1, v/v)를 첨가한 후 약 30분간 방치하여 지질을 추출하고, 동량의 증류수를 첨가한 다음, 원심분리 (2000rpm, 10분)하여 하층의 chloroform 층을 취하였다. 추출된 지질은 질소가스 하에서 건조시킨 후 다음 실험이 수행될 때까지 영하 20℃에서 저장하였다. 추출된 지질은 chloroform : acetic acid (100:1, v/v) 2ml에 녹인 후 Sep-Pak cartridge (Waters)를 이용하여 중성지질, 당지질, 인지질로 분리하였다 (Norman and John 1986). 중성지질을 분리하기 위하여 10ml의 chloroform : acetic acid (100:1, v/v)와 5ml의 chloroform : acetone (80:20, v/v)을 연속하여 추출하였고, 당지질의 분리를 위하여 8ml의 acetone과 8ml의 acetone : acetic acid (100:1, v/v)를 연속 추출하였다. 인지질의 분리는 5ml의 methanol : chloroform : water (100:50:40, v/v/v)를 처리하여 분리하였다. 중성지질, 당지질, 인지질의 정량은 Dittmer and Wells(1969)의 방법에 따랐다. 즉 지질시료에 2ml의 dichromate solution (2.5g K₂Cr₂O₇, 1L H₂SO₄)을 넣은 후 45분 동안 증탕한다. 4℃에서 식인 후 1ml을 분취하여 9ml의 증류수를 첨가한 후 발색 강도를 350nm에서 흡광도를 측정하였고, 기준으로 1mg/ml의 palmitic acid를 사용하였다.

단백질의 정량은 Bio-Rad microassay kit를 사용하여 정량하였고, bovine serum albumin (BSA)을 기준으로 사용하였다.

탄수화물의 정량은 phenol-sulfuric acid 방법 (Dubois *et al.* 1956)을 이용하였다. 10 μ l의 시료에 50 μ l의 90% phenol 용액을 첨가하여 섞어준 후, 5ml의 황산용액을 첨가하여 30분간 실온에서 반응시키고 spectrophotometer (485nm)를 이용하여 정량하였다. 기준으로는 0.05%의 glucose을 이용하였다.

2) 지방산분석

해파리는 마산만에서 채집하여, 살아있는 상태로 실험실로 옮긴 다음 각각의 직경을 재고 증류수로 세척하고 습기를 제거하여 개체 전체 습중량 혹은 몸체, 입다리 (oral lobe), 생식소등을 분리하여 따로 습중량을 측정하였다. 습중량을 측정한 시료는 영하 70℃의 초저온냉동기에 보관하였다. 초저온냉동기에 보관하였던 시료를 꺼내어 동결건조 (PVT FD 10A, Ilshin Lab. Co.)로 옮겨서 12일간 보관하였다.

지방산 추출은 동결 건조된 샘플을 클로로포름과 메탄올을 2:1로 혼합된 용액으로 12시간 동안 배양하고 난 다음 초음파 분해를 20분 동안 시킨 다음, 0.58 %의 NaCl을 5ml

을 첨가한 다음 5분 동안 2000rpm에서 원심 분리를 시켰다. 지방산이 함유되어 있는 상층액을 추출한 다음 N₂ 가스로 샘플을 말린다. 톨루엔과 메탄올에 혼합한 0.5 N NaOH를 넣고 중탕을 한 다음 BF₃MeOH을 넣어 Fatty acid methyl esters (FAME)를 형성시킨다. 형성되어진 샘플을 가스크로마토그래피 (GC, YOUNG-IN M680D)를 이용하여 분당 32ml의 헬륨 가스로 이동 시켰으며, 분석조건은 주입 온도 270°C이고, 100°C에서 2분 동안 지속 시킨 다음 분 당 5°C씩 올려 100에서 250°C까지 올리도록 프로그램 하였다. 가스크로마토그래피에서 나온 피크는 37종의 Supelco FAME standard와 비교하여 면적을 계산하였다.

2. 연구 결과

가. 실험실에서 보름달물해파리의 생활단계

보름달물해파리의 생활단계는 Lucas (2001)의 보고와 본 연구팀의 직접적인 실험 (한국해양연구원, 2005)에 의해 잘 알려져 있다 (Fig. 3-1-3). 해파리는 암수의 구별이 있어서 암컷은 난자를 만들고 수컷은 정자를 만든다. 수컷의 정자는 수컷으로부터 방출되어 암컷의 입으로 들어가 난자와 수정이 되어 플라눌라 유생으로 발생한다 (Hickman *et al.*, 1979). 플라눌라 유생 (planula larva)은 실험용기 내 해수 속을 유영하다가 배양용기의 바닥에 부착하여 고착생활을 하는 폴립 (scyphistoma)으로 변태한다. 폴립은 성장하여 접시를 포개놓은 형태의 횡분체 (strobila)로 변태하였고 횡분체의 발생이 진행되면서 원반 모양의 에피라 유생 (ephyra)을 방출한다. 방출된 에피라 유생은 성장, 변태하여 해파리 (medusa)가 된다. 본 연구에서 각 생활 단계별 변화를 실험실에서 확인할 수 있었다 (Fig. 3-1-4). 보름달물해파리는 폴립 단계에서 무성생식으로 개체수가 증가하였으며 무성생식의 방법도 stolon, budding, podocyst 등으로 다양하였다 (Fig. 3-1-5).

실험실에서 보유하고 있는 폴립은 수온이나 염분을 달리하여 무성생식의 효율을 알아보는 실험에 주로 사용되었고 현재는 에피라 유생을 발생에 필요한 환경 조건을 찾기 위해 다양한 실험을 수행하고 있다.

MEDUSA DENSITY depends on recruitment of ephyrae and aggregation (hydrodynamics and behaviour)

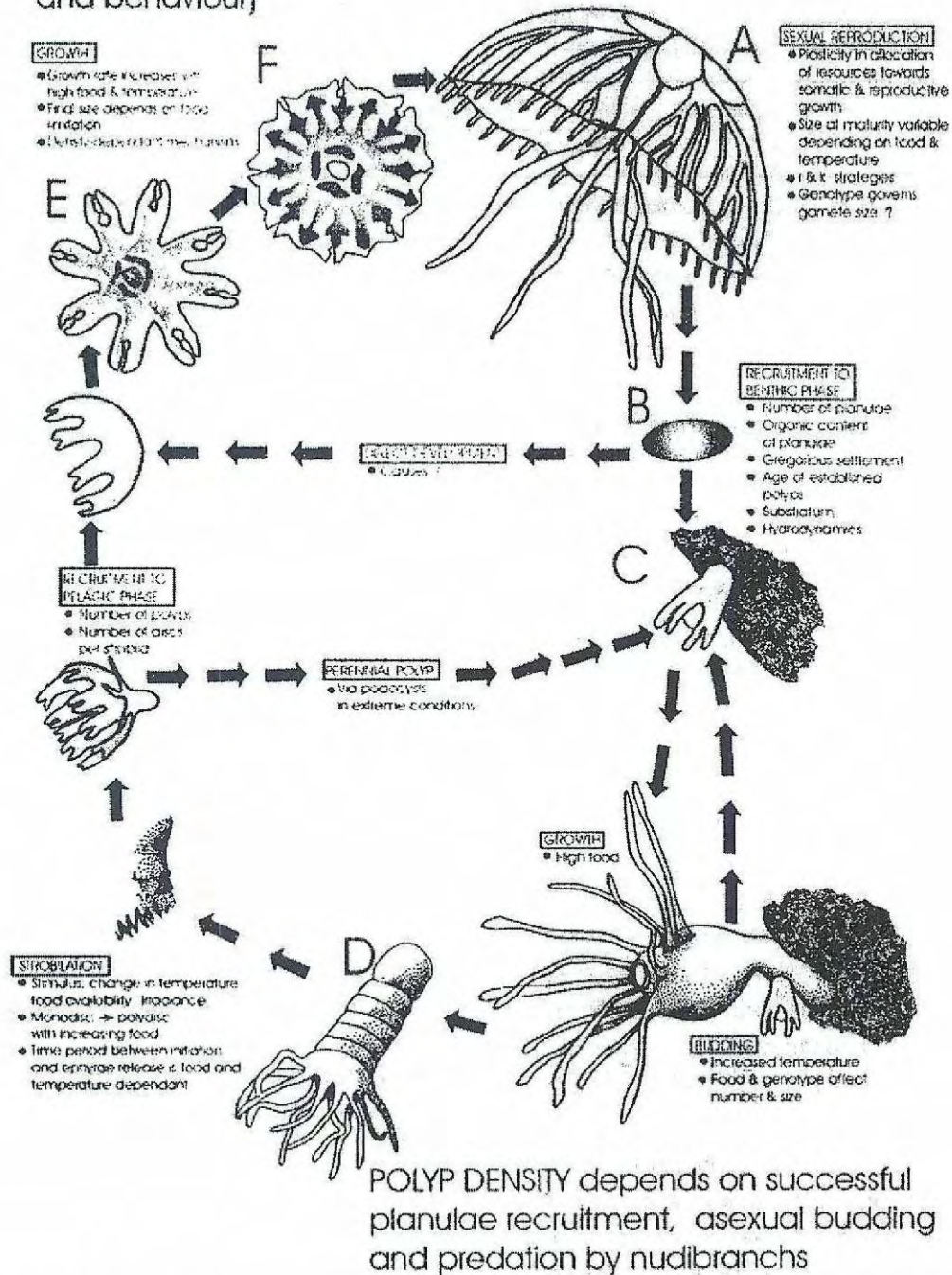


Fig. 3-1-3. Summary of the role of environment variables in synchronizing and influencing the benthic and pelagic stages of the life cycle of *Aurelia aurita* (re-drawn from Gröndahl, 1988).

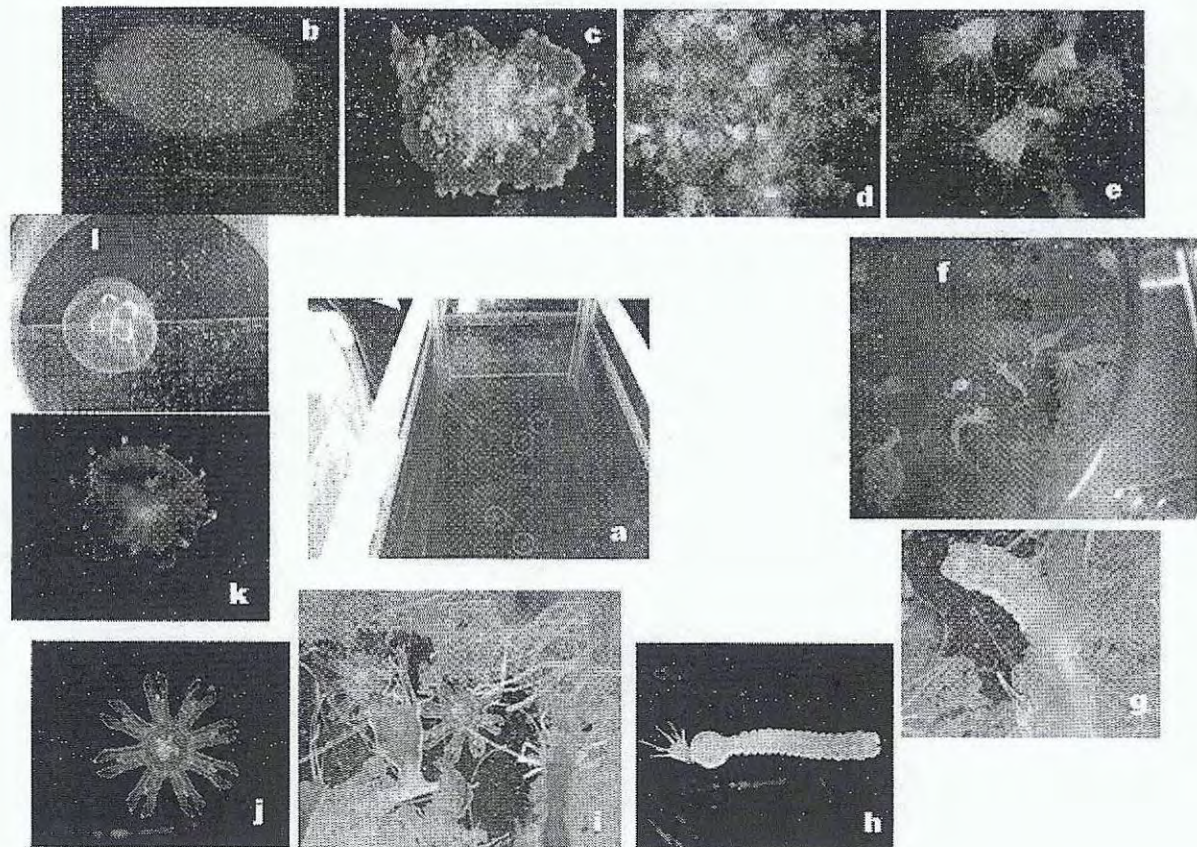


Fig. 3-1-4. Life stages of moon jellyfish in laboratory.

(a: culture tank, circle is polyp group, b: planula larva, c, d, e: polyp, f, g, h, i: strobilation and strobila, j: ephyra, k: young stage of medusa, l: medusa)

나. 광에 따른 보름달물해파리 플라눌라 유생의 고착률

본 연구실에서 선행 연구로 수행한 연구에 의하면 광색에 따른 폴립부착율은 백색등, 청색등, 적색등, UV에서 다소 차이를 보였지만, 모든 광색에서 일정기간 경과 후 폴립부착에 성공함을 보였지만 광색에 대한 일정기간 적응 후 최종적으로 폴립부착율이 적색광에서 높았다 (과학기술부, 2005).

보름달물해파리 플라눌라 유생을 적색광의 세기를 달리하여 배양하며 폴립으로 부착한 개체수를 계수한 결과 적색등을 2개 켜주어 광도를 $213 \mu\text{M}$ 으로 맞추어 배양한 실험구에서 가장 높게 나타났다 (Fig. 3-1-6). 적색광 $213 \mu\text{M}$ 의 실험구에서는 배양 시작 6일 후에 8개체, 8일 후에 14개체, 10일 후에 15개체, 12일 후에 23개체의 플라눌라 유생이 폴

립으로 부착·변태하여 약 76%의 부착율을 나타내어 3개의 실험구 중에 가장 높은 부착율을 나타냈다. 적색광 108 μM 의 실험구에서는 배양 시작 6일 후에 3개체, 12일 후에 8개체의 플라눌라 유생이 폴립으로 부착·변태하여 약 26%의 부착율을 나타냈다. 적색광 18 μM 의 실험구에서는 배양 시작 6일 후에 2개체, 8일 후에 8개체, 12일 후에 14개체의 플라눌라 유생이 폴립으로 부착·변태하여 약 46%의 부착율을 나타냈다.

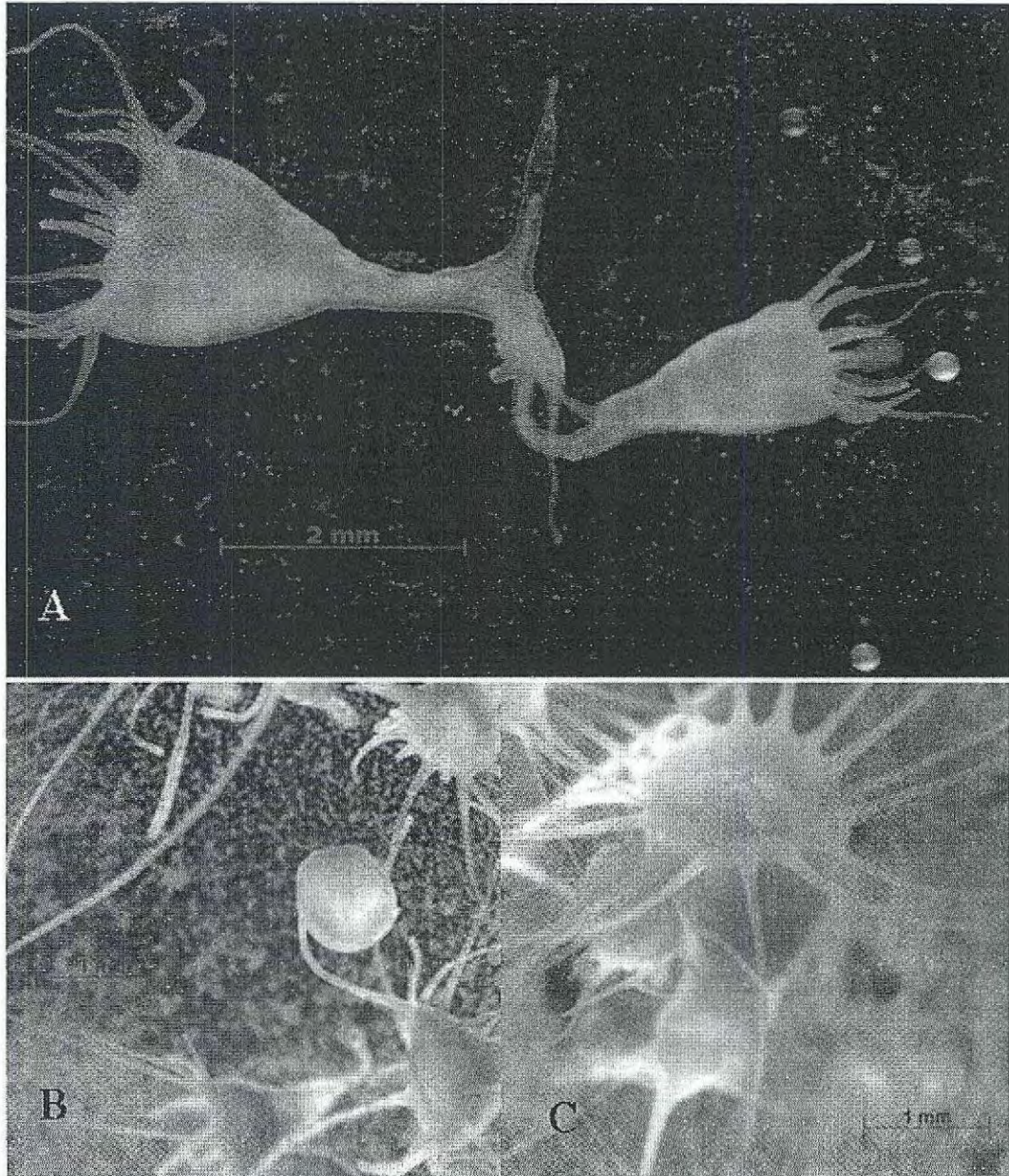


Fig. 3-1-5. Asexual reproduction methods of moon jellyfish in laboratory. (A: stolon, B: podocyst, C, budding).

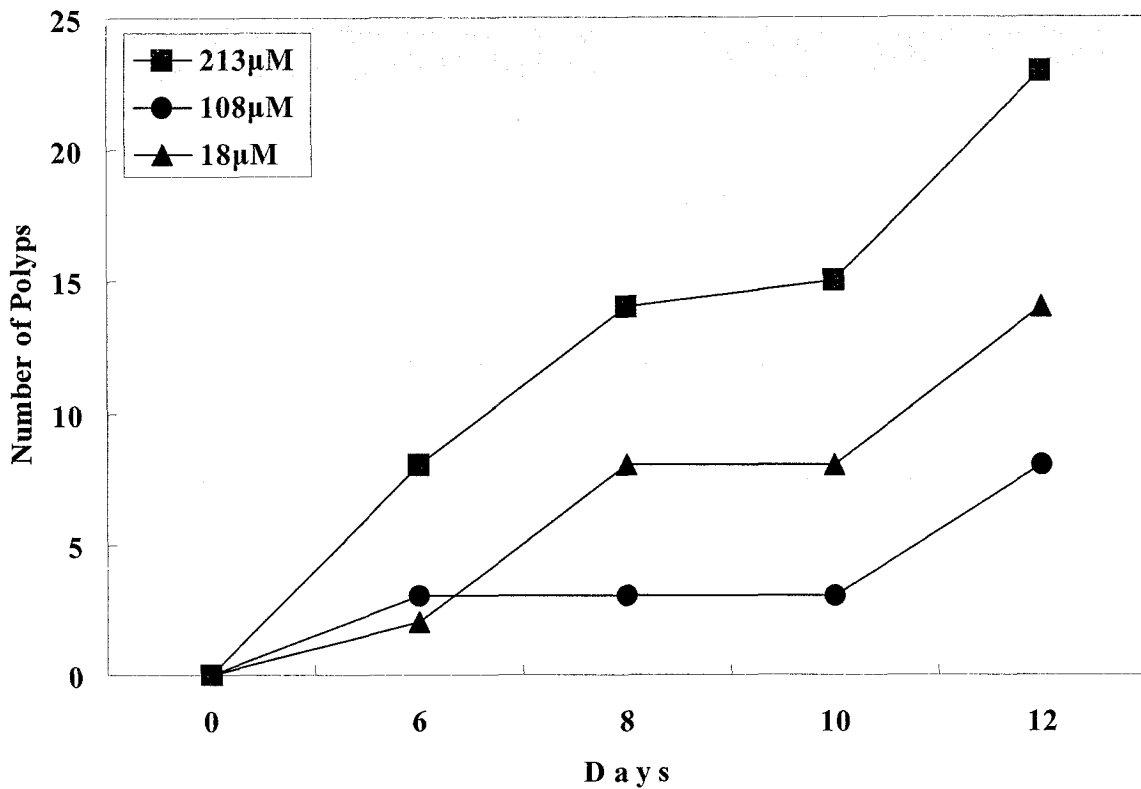


Fig. 3-1-6. The number of succession for the metamorphosis from planula larvae to polyps on *Aurelia aurita* according to the different intensity of red light.

다. 수온, 염분, 용존산소 (DO)의 변화에 따른 반응

1) 수온에 따른 보름달물해파리 플라눌라 유생의 부착과 성장

보름달물해파리 플라눌라 유생을 실온 (5 ~ 20°C), 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C의 배양 온도에서 배양하며 폴립으로 부착한 개체수를 계수한 결과 20°C에서 20일 후 10개체가 부착하여 가장 많이 부착하였다 (Fig. 3-1-7). 배양 온도 5-20°C의 실온에서는 5일 후에 2개체가 부착하였으며 그 후 실험기간동안 부착한 개체수는 증가하지 않았다. 배양 온도 5°C에서는 플라눌라 유생이 1개체도 부착하지 않고 모두 죽었다.

10°C의 배양 온도에서는 15일 후에 2개체 부착하고 20일 후에는 6개체가 부착하였다. 15°C의 배양 온도에서는 15일 후에 1개체 부착하고 20일 후에는 5개체가 부착하였다.

20℃의 배양 온도에서는 10일 후에 2개체가 부착하고 15일 후에는 3개체가 부착하였으며 20일 후 10개체가 부착하였다. 25℃의 배양 온도에서는 10일 후에 3개체가 부착하고 15일 후에는 5개체가 부착하였으며 20일 후 5개체가 부착하였다. 30℃의 배양 온도에서는 5일 후에 3개체가 부착하고 10일 후에는 5개체가 부착하였으며 15일 후 5개체가 부착하였으며 20일 후에는 7개체가 부착하였다.

이와 같은 결과를 보면 실온 같이 온도의 변화가 심한 환경과 5℃ 같이 온도가 아주 낮은 환경은 보름달물해파리 플라넬라 유생이 폴립으로 부착·변태하는데 적합하지 않다는 것을 알 수 있다.

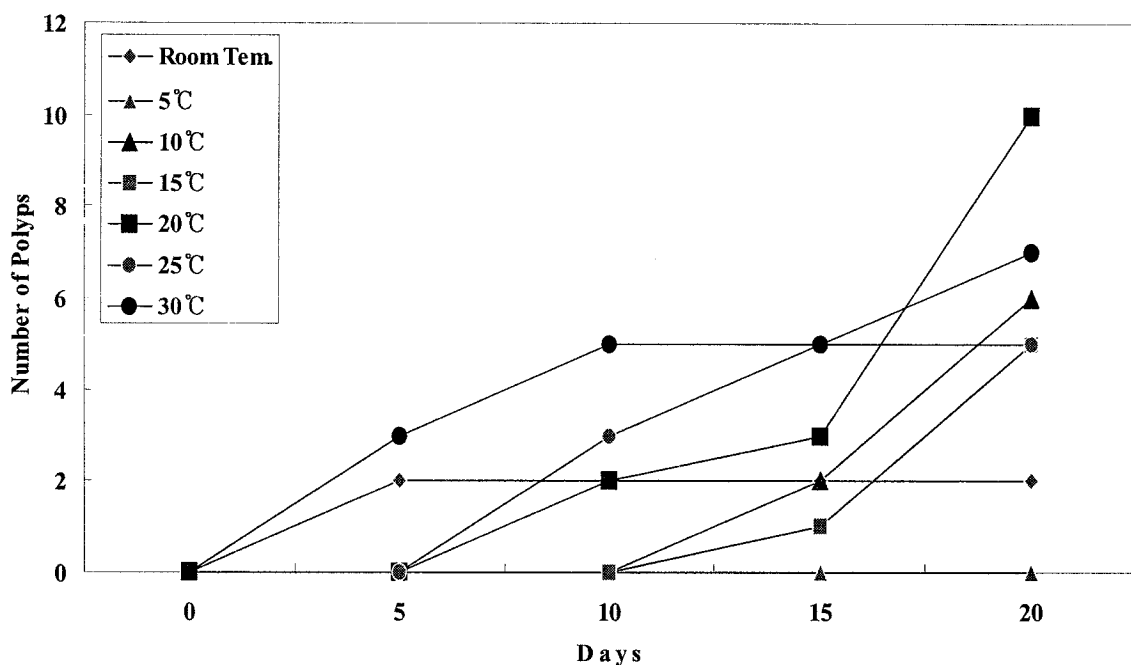


Fig. 3-1-7. The number of succession for the metamorphosis from planula larva to polyps on *Aurelia aurita* according to the different temperature.

수온에 따른 보름달물해파리 폴립의 평균 직경으로 성장유형을 3가지 그룹으로 나눌 수 있었다 (Fig. 3-1-8). 초기의 가장 빠른 성장은 실온과 30℃ 배양 그룹이고, 가장 느린 성장은 10℃와 15℃ 그룹, 앞의 두 그룹의 중간 정도의 성장을 보이는 20℃와 25℃ 그룹으로 나누어진다.

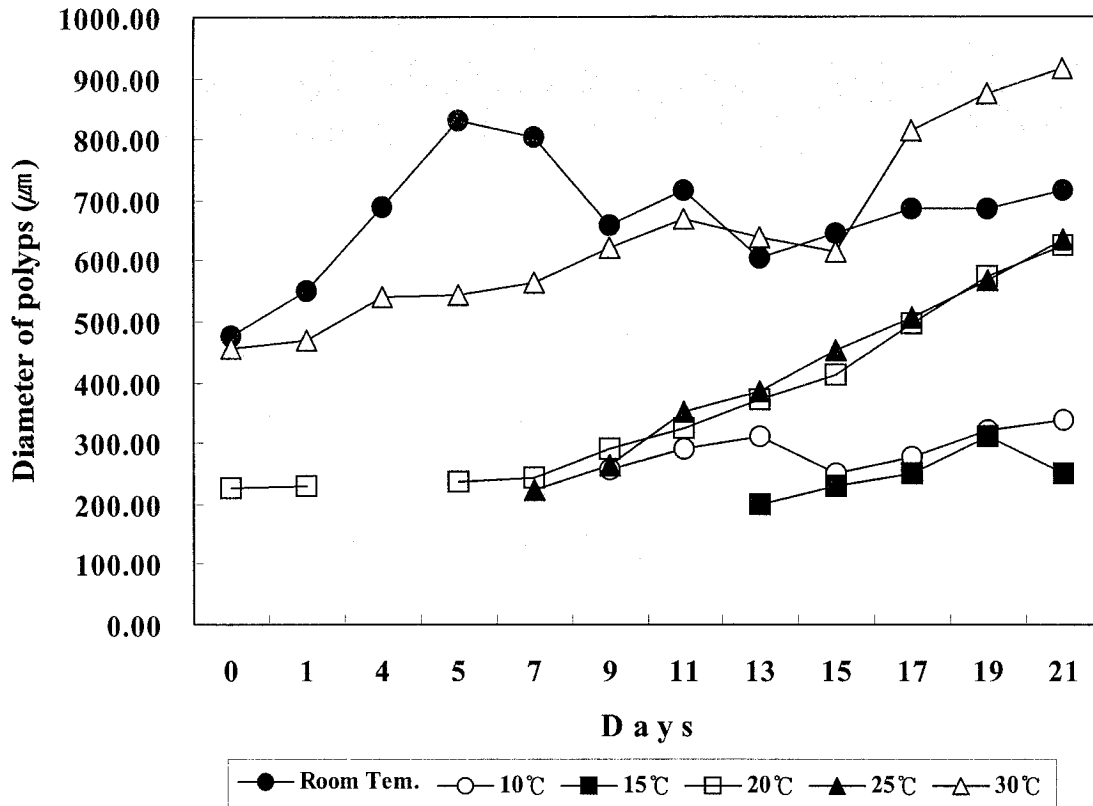


Fig. 3-1-8. Growth of polyps on *Aurelia aurita* according to the different temperature.

2) 염분에 따른 보름달물해파리 플라놀라 유생의 부착과 성장

염분에 따른 보름달물해파리 플라놀라 유생의 폴립으로 부착·변태하는 개체수를 분석한 결과는 다음과 같다 (Fig. 3-1-9). 플라놀라 유생을 투입한 10, 20, 30, 40psu의 염분 중에 20psu에서 13개체가 폴립으로 부착·변태하여 약 43%의 변태율을 보였다. 30psu의 실험구에서는 12개체가 폴립으로 부착·변태하여 40%의 변태율을 보였다. 20psu의 실험구와 30psu의 실험구에서 변태율의 차이는 3% 정도 밖에 나지 않았으며, 특히 실험 시작 후 15일까지는 20psu 실험구보다 30psu의 실험구에서 높은 변태율을 나타냈다. 30psu의 실험구의 경우 실험시작 2일 후부터 부착·변태가 일어났지만 20psu의 실험구는 실험시작 9일 후부터 부착·변태가 일어나기 시작하였다. 이와 같은 결과는 보름달물해파리 플라놀라 유생의 경우 낮은 염분에 대한 적응기간이 필요한 것을 나타내는 것으로 보인다. 10psu 실험구와 40psu 실험구에서는 플라놀라 유생이 폴립으로 부착·변태하지 않았다. 10psu 실험구의 경우 플라놀라 유생이 터졌고 40psu 실험구의 플라놀라 유생은 동그란 형태로 변했다 (Fig. 3-1-10).

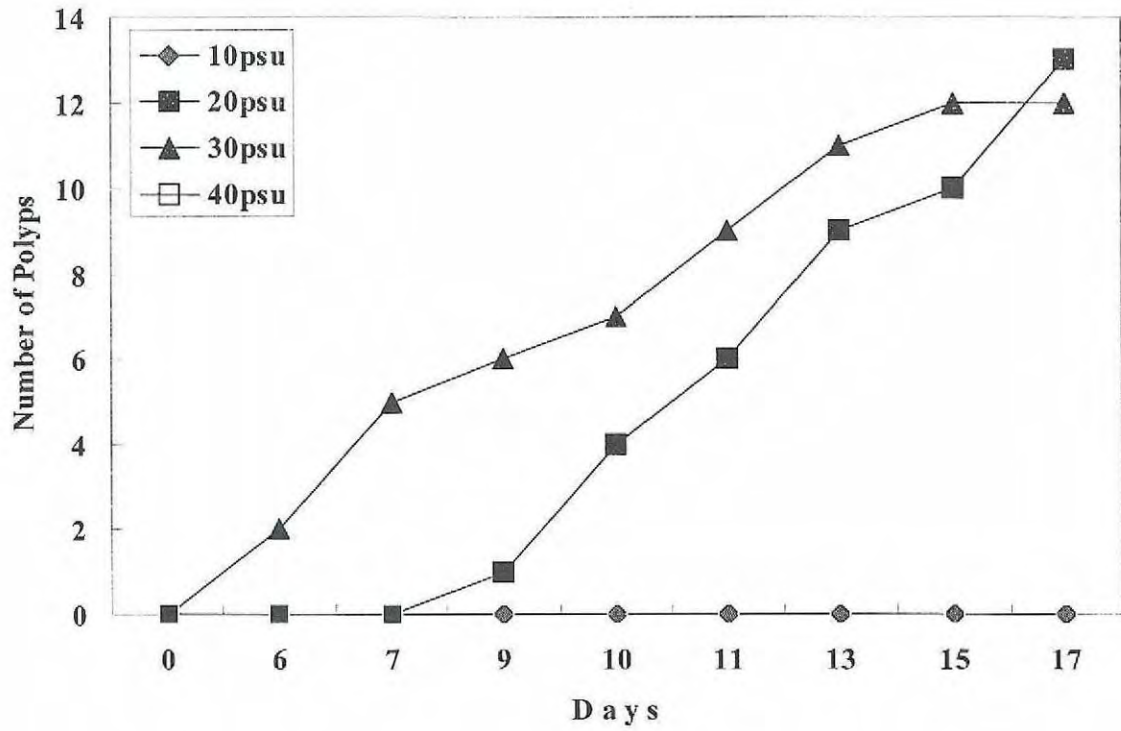


Fig. 3-1-9. The number of succession for the metamorphosis from planula larva to polyps on *Aurelia aurita* according to the different salinity.

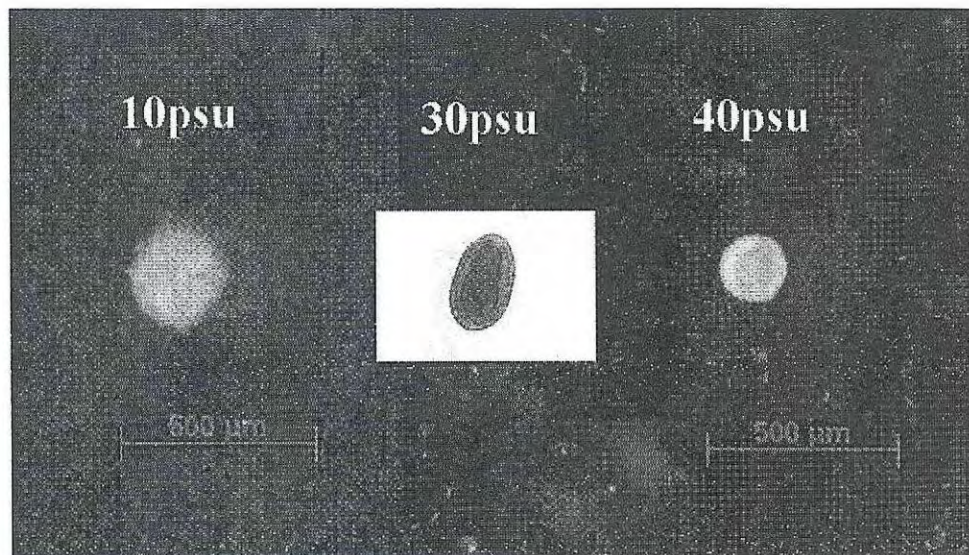


Fig. 3-1-10. Variation of planula larva according to the different salinity in *Aurelia aurita*.

위와 같은 결과에서 보름달물해파리의 플라눌라 유생은 육상의 담수가 어느 정도 유입되어 염분이 20psu로 감소하는 연안의 바다에서도 부착·변태하여 폴립으로 발생할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 많은 양의 담수 유입으로 염분이 10psu 정도로 급격히 감소하는 곳에서는 플라눌라 유생의 부착·변태는 물론 생존조차 어렵다는 것을 알 수 있다.

염분 농도에 따라 보름달물해파리 플라눌라 유생이 부착·변태하는 개체수를 알아본 결과 10psu와 40psu의 플라눌라 유생은 부착·변태하는 개체가 없었다. 따라서 염분 농도에 따른 보름달물해파리 폴립의 성장 실험은 플라눌라 유생이 부착·변태한 20psu와 30psu의 폴립을 대상으로 하였다. 염분 농도에 따른 보름달물해파리 폴립의 성장은 20psu보다 30psu에서 빨리 일어나는 것을 관찰하였다 (Fig. 3-1-11). 염분 농도 30psu의 배양액에서 *Artemia*를 먹이로 투여하여 13일간 배양한 결과 평균 직경 385 μ m로서 20psu의 배양액에서 배양한 폴립의 평균 직경 315 μ m보다 높게 나타났다. 배양기간 동안 20psu의 배양액에서 배양한 폴립의 평균 직경보다 30psu에서 배양한 폴립의 평균 직경이 크게 나타났다. 물론 배양 7일째에 20psu의 폴립 평균 직경이 240 μ m로서 30psu의 폴립 평균 직경 233 μ m보다 높게 나타나기도 했지만 이는 20psu에서 새로운 개체의 가입에 의해 나타난 일시적인 현상이다.

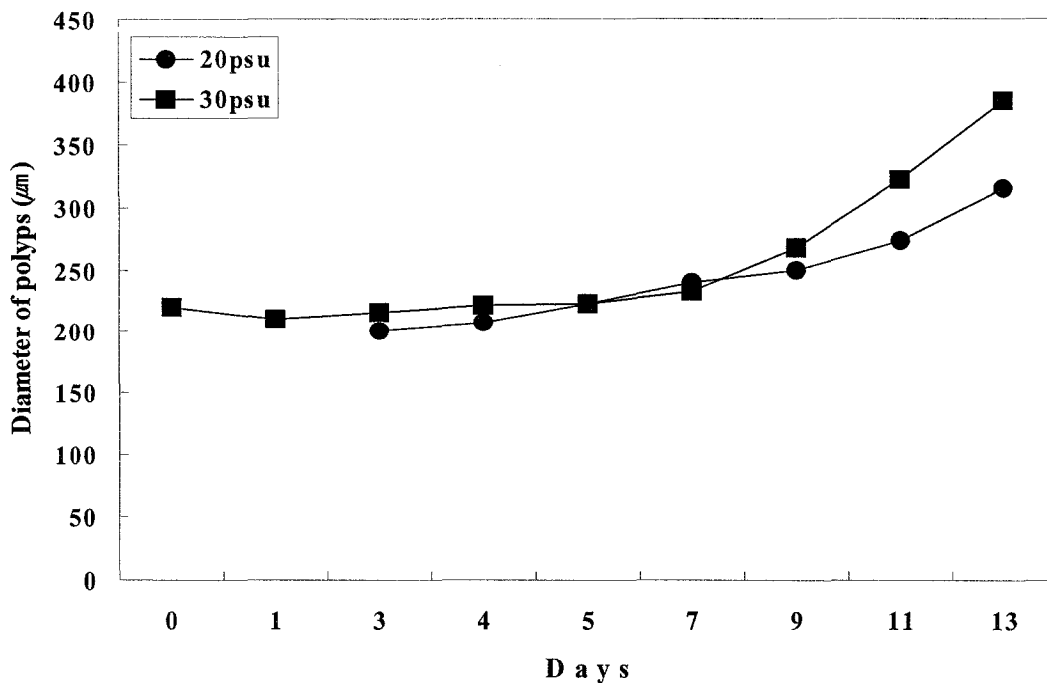


Fig. 3-1-11. Development of polyps according to the different salinity in *Aurelia aurita*.

3) 수온 변화에 따른 보름달물해파리 폴립의 무성생식

수온 변화와 보름달물해파리 무성생식의 속도 사이의 상관성을 알아보기 위한 실험의 결과 배양온도를 25°C에서 20°C로 변화시켰을 때 무성생식에 의해 개체수가 증가하는 것을 알 수 있었다 (Fig. 3-1-12). 20°C의 실험구는 10 개체의 폴립이 10일 후에 13 개체로 증가하고 30일 후에는 31 개체로 증가하여 310 %의 증가를 나타내어 4개의 실험구 중에서 가장 높은 증가율을 나타내었다. 25°C의 실험구는 10개체의 폴립이 10일 후에 12 개체로 증가하고 30일 후에는 28 개체로 증가하여 280 %의 증가율을 나타내었다. 15°C의 실험구는 10 개체의 폴립이 19일 후에 11 개체로 증가하여 수온 변화에 따라 무성생식이 지연된 것을 관찰하였으며, 30일 후에 14개체로 무성생식에 의한 개체수의 증가가 있었지만 20°C 실험구와 25°C 실험구에 비해 아주 낮은 증가를 보였다. 반면 30°C 실험구의 경우는 10 개체의 폴립이 10일 후까지 무성생식을 하지 않았을 뿐만 아니라 16일 후에는 3 개체가 죽어서 7개체로 개체수의 감소를 보이고 시간이 경과 할수록 죽는 개체가 늘어서 30일 후에는 1개체만이 살아남았다. 이와 같은 결과는 보름달물해파리 폴립의 경우 해수 온도의 급격한 상승에 의해 개체수의 감소가 이루어 질 수 있다는 것을 나타낸다.

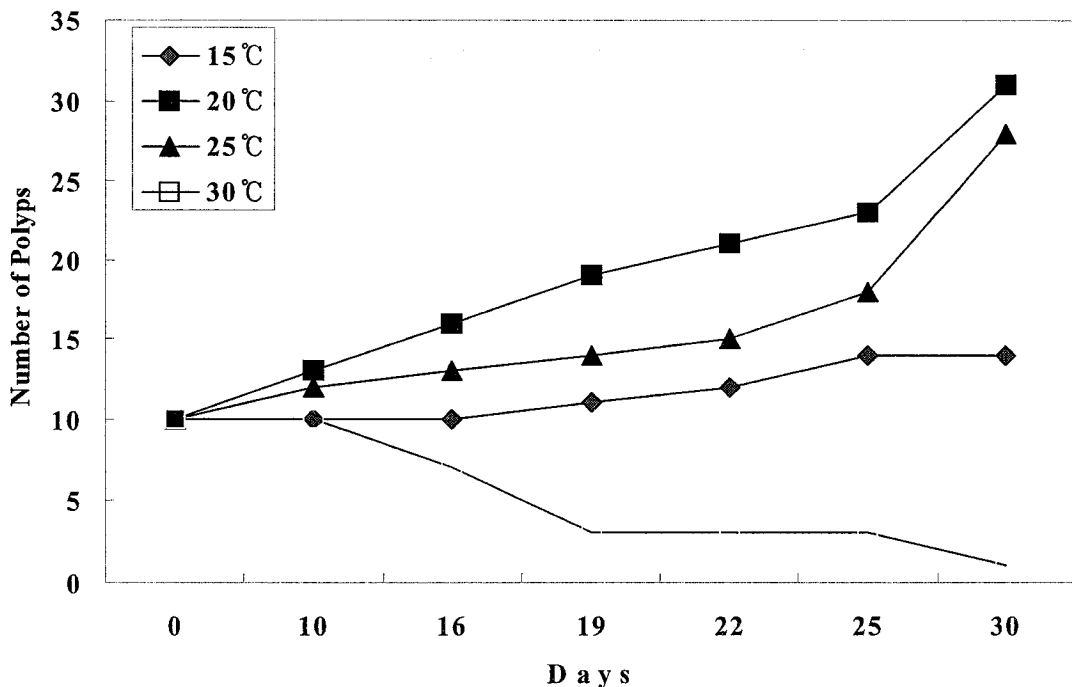


Fig. 3-1-12. Change of polyp abundance on temperature variance in *Aurelia aurita*.

4) 염분 변화에 따른 보름달물해파리 폴립의 무성생식

염분 30psu의 해수에서 키우던 보름달물해파리 폴립 10 개체씩을 10, 20, 30, 40psu의 해수에 옮겨 배양한 결과는 다음과 같다 (Fig. 3-1-13). 염분 10psu로 옮긴 10 개체는 22일 후에 모두 죽었다. 염분 20psu로 옮긴 10 개체는 무성생식을 하여 22일 후에 14 개체로 증가하였으며, 30psu로 옮긴 10 개체는 22일 후에 18 개체로 증가하였다. 40psu로 옮긴 10 개체는 22일 후에 11 개체로 증가하였다. 초기 28일까지는 30psu의 보름달물해파리 폴립의 무성생식 속도가 20psu와 40psu 보다 빨랐으나 30일 이후에는 20psu에서 배양한 보름달물해파리 폴립의 무성생식 속도가 30psu에서 배양한 폴립의 무성생식 속도보다 빨라져서 실험 종료 시점인 69일 후에는 20psu에서 배양한 폴립의 수가 75 개체로서 실험 시작 후 무성생식에 의해 750 %의 개체수 증가를 보였고 30psu에서 배양한 폴립의 수는 56 개체로서 실험 시작 후 무성생식에 의해 560 %의 개체수 증가를 보였다. 40psu에서 배양한 폴립은 69일 후에 22 개체로 220 %의 증가를 보였다.

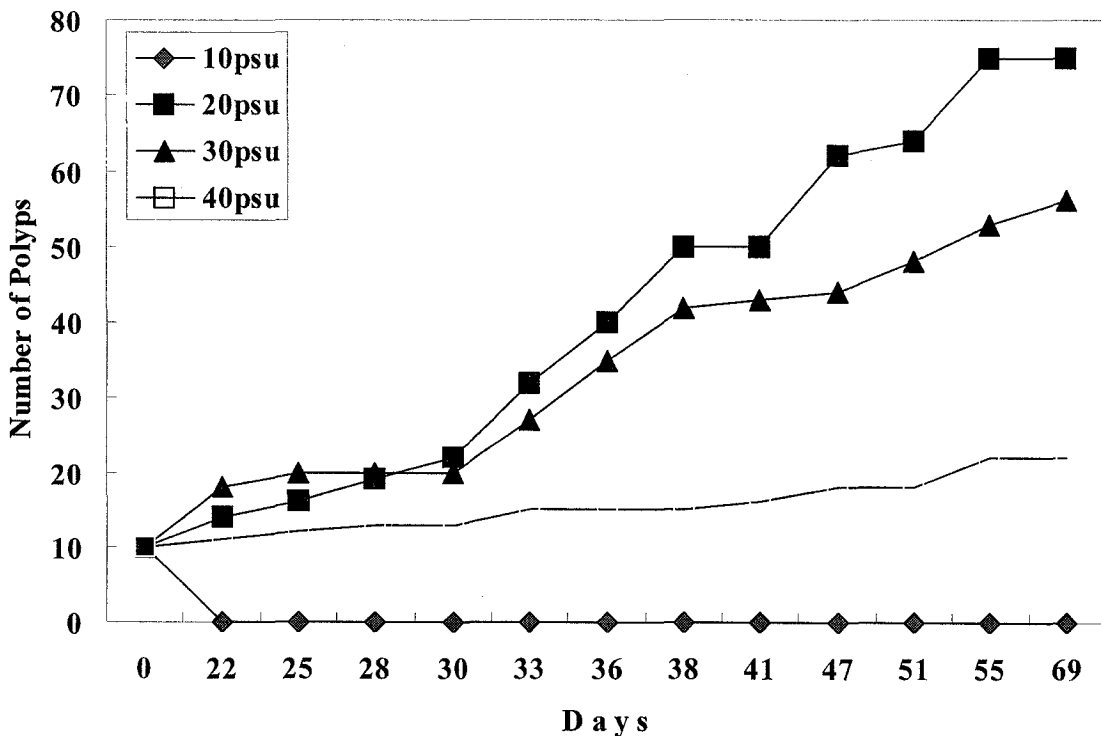


Fig. 3-1-13. Change of polyp abundance on different variance in polyps.

5) 보름달물해파리의 용존산소 (DO) 소비율

보름달물해파리가 있는 실험구에서 용존산소농도는 10℃에서 실험 초기에 평균 9.11 mg/l에서 47 시간 후 평균 5.08 mg/l로 감소하여 이 기간 동안 약 4.03 mg/l의 용존산소가 감소하였다 (Fig. 3-1-14). 10℃에서 실험한 용존산소농도는 시작부터 평균값이 계속해서 감소하는 경향을 보였고, 시간이 지날수록 직경이 큰 (평균 직경 16cm) 해파리가 직경이 작은 (평균 직경 14cm) 것 보다 많은 양의 산소를 소비하는 것으로 나타났다. 평균 직경 20cm의 해파리는 실험 수조에 2마리만 수용하였는데도 다른 처리구에 비해 많은 양의 산소를 소비하였다.

20℃ 실험에서 보름달물해파리가 있는 실험구에서 용존산소농도는 실험 초기에 평균 7.75 mg/l에서 74 시간 후 평균 3.90 mg/l로 감소하였으며, 이 기간 동안 약 3.85 mg/l의 감소를 보였다 (Fig. 3-1-15). 실험 시작 24시간 후에 용존산소농도는 평균 4.89 mg/l로 급격히 감소한 반면 24시간 후부터 74시간 까지는 평균 0.99 mg/l의 감소를 보였다. 이는 해파리가 해수 중에 녹아 있는 산소농도에 따라 산소 소비량을 줄인 것으로 판단된다. 해파리의 이러한 조절기능은 마산만에서 상습적으로 발생하는 저층의 저 산소층에서 적응하는 데 다른 생물들보다 유리할 것으로 사료된다.

보름달물해파리의 개체수를 달리하여 실험한 결과 4마리 넣은 곳에서 용존산소농도는 73시간 동안 거의 변화를 보이지 않았으나 16마리를 넣은 곳에서는 초기 20시간동안 급격한 용존산소농도의 감소를 보이다가 20시간 이후 73시간까지 비교적 일정한 값을 보였다 (Fig. 3-1-16). 보름달물해파리 16개체를 넣은 곳에서 용존산소농도는 초기 3.37 mg/l에서 20시간 후에 1.63 mg/l으로 급격히 감소하였고 26시간 후에 1.40 mg/l로 감소하였다가 45시간 후에 1.74 mg/l로 다소 증가하였다가 73시간 후에 0.97 mg/l로 감소하였다. 이는 20시간 후에 저 산소농도의 조건이 만들어졌으며, 이시기부터 해파리들의 산소 소비가 급격히 줄어서 용존산소농도의 변화를 거의 보이지 않았다. 해파리들이 저 산소조건인 해수에서 산소 소비를 최소로 조절하면서 유지할 수 있음을 보인 것으로 사료된다.

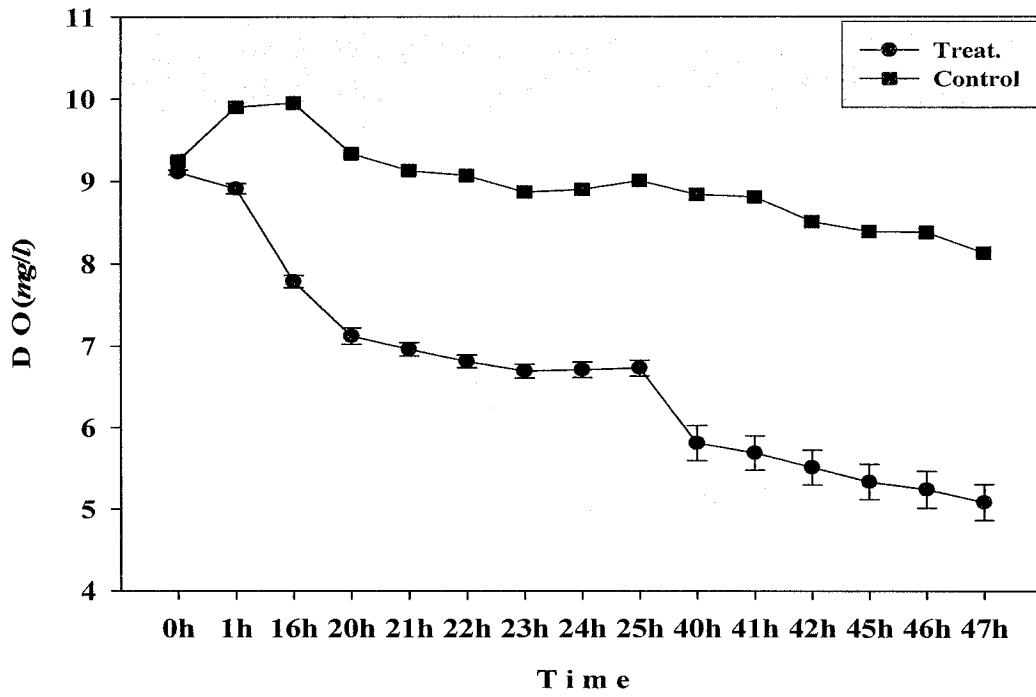


Fig. 3-1-14. Variation of dissolved oxygen by *Aurelia aurita* in 10 °C.

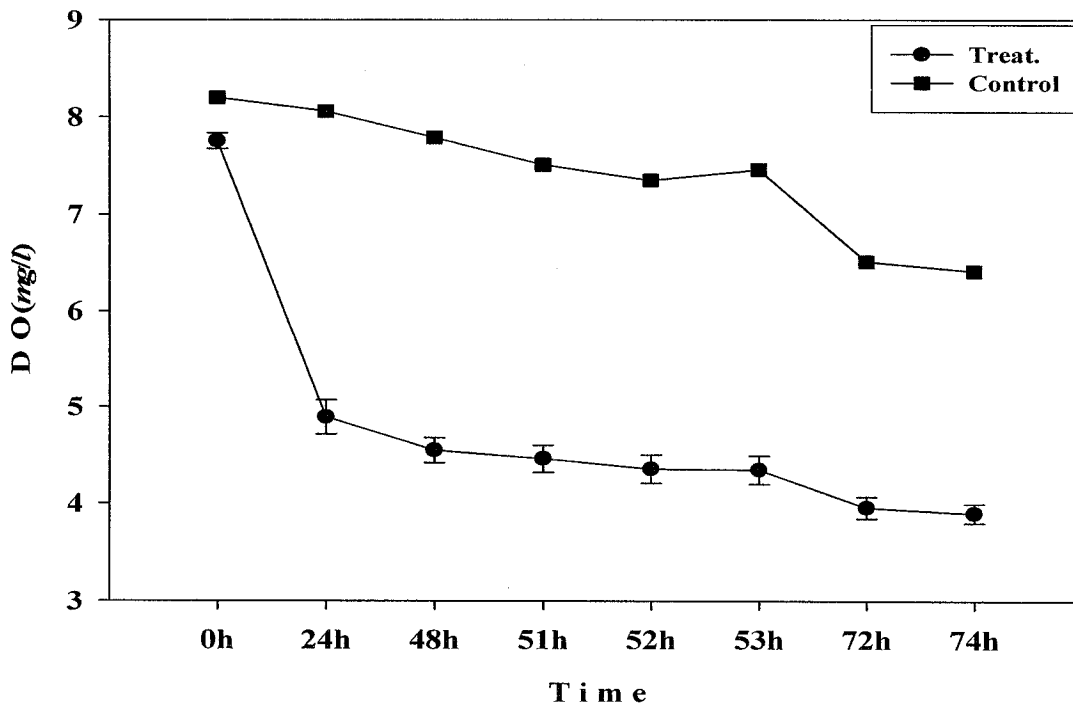


Fig. 3-1-15. Variation of dissolved oxygen by *Aurelia aurita* in 20 °C.

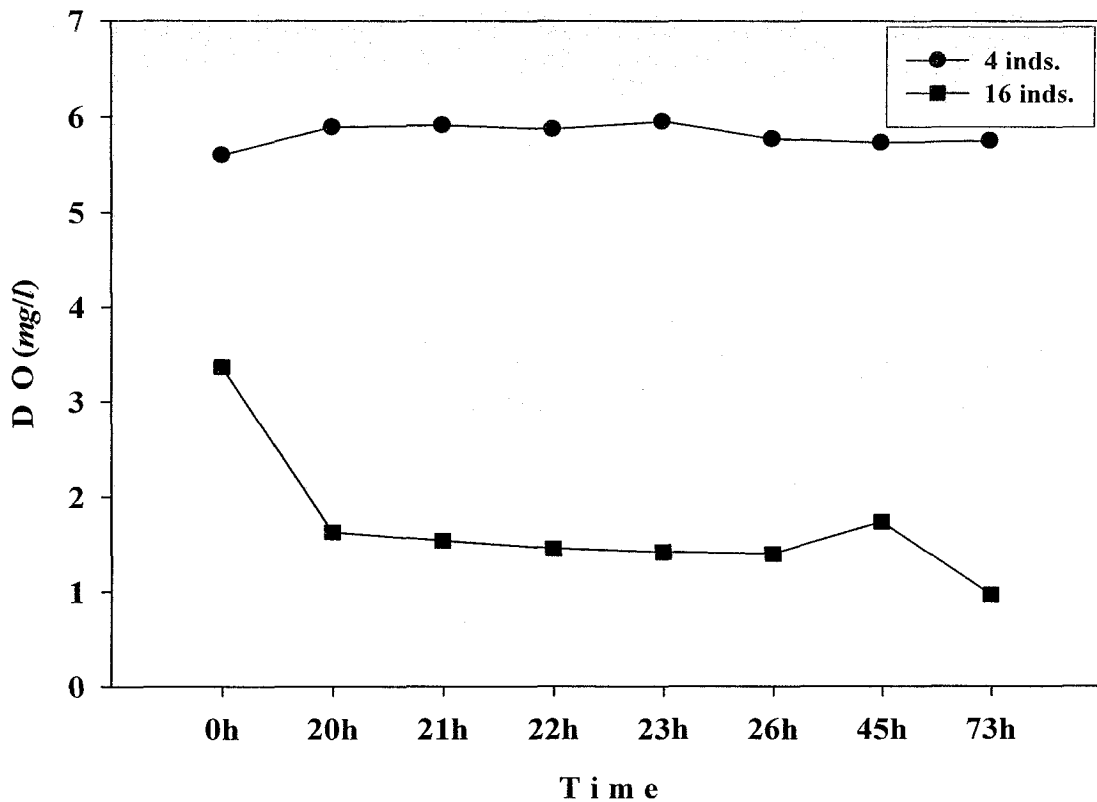


Fig. 3-1-16. Variation of dissolved oxygen in different abundance of *Aurelia aurita*.

보름달물해파리와 여러 종류의 어류를 한 수조에 넣고 산소 소모에 따른 행동변화를 관찰하였다. 실험 시작 후 약 4시간 30분 경과할 때 어류들은 모두 사망하였고 해파리만 수조에서 움직임을 보였다. 용존산소농도는 실험 시작 2시간 후에 2.24 mg/l을 보였고, 이 농도에서 농어가 수면위로 뛰어 올랐고, 그 후 약 17분이 더 지나서 용존산소농도가 2.1 mg/l일 때 죽었다 (Fig. 3-1-17). 조피볼락은 실험 시작 2시간 40분 후 수면위로 뛰어 올랐으며, 그 후 약 1시간정도 더 경과하여 용존산소농도 1.46 mg/l 에서 사망하였다. 조피볼락이 농어보다 좀 더 낮은 용존산소농도에 견딜 수 있음을 보였다. 참돔은 3시간 40분경과 시 수중에서 옆으로 누었다가 약 20분이 더 지났을 때 사망하였고 이때 용존산소농도는 1.24 mg/l이었다. 노래미는 약 4시간 경과할 때 수면위로 뛰어 올라 왔으며, 그 후 25분이 더 지나서 사망하였고 용존산소농도는 1.14 mg/l이었다. 그러나 보름달물해파리는 실험 마지막까지 죽지 않았고 수중에서 활발히 움직였다. 실험에 사용된 어류 모두는 저 산소조건인 2 mg/l 정도부터 사망하기 시작하였고, 노래미가 가장 낮은 용존산소

농도 (1.14 mg/l)에서 죽었다. 그러나 보름달물해파리는 저 산소조건에서도 활발한 운동성을 보여주었다. 이는 저 산소조건이 해파리 행동에 영향을 주지 못함을 시사하는 것으로 사료된다.

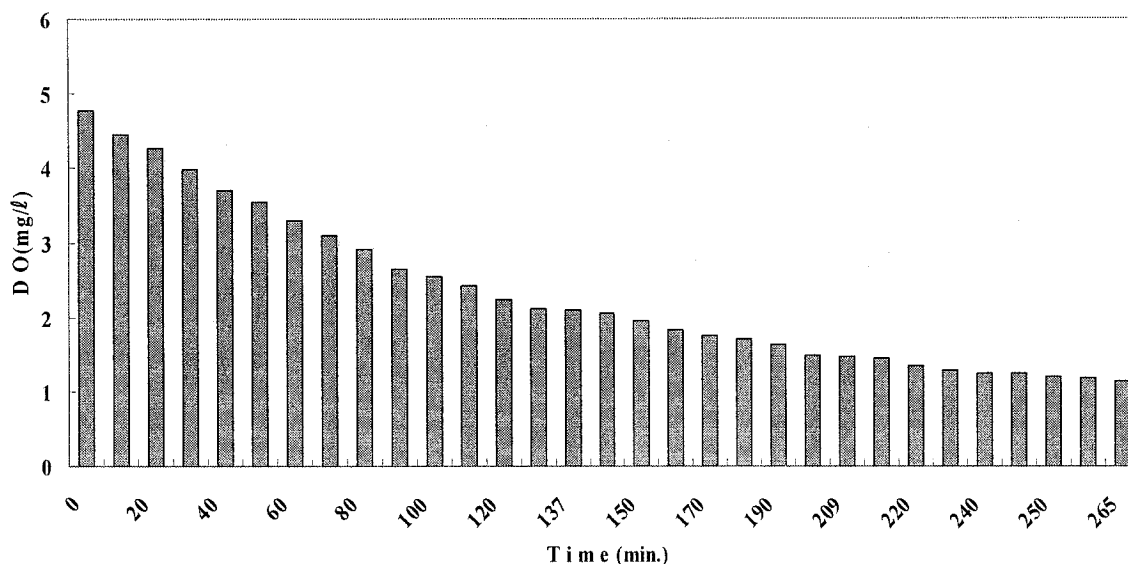


Fig. 3-1-17. Variation of dissolved oxygen by *Aurelia aurita* with fish

라. 보름달물해파리의 섭식

1) 보름달물해파리의 *Artemia* 섭식

보름달물해파리의 *Artemia* 섭식 실험에 사용된 해파리의 직경은 13cm, 12.5cm, 9.5cm 이었다. 각각의 실험구에서는 보름달물해파리에 의한 *Artemia*의 섭식이 시간이 지나면서 활발하게 이루어 졌다 (Fig. 3-1-18).

직경 12.5cm 크기의 보름달물해파리가 들어있는 실험구 (용량 50l)에서 초기 *Artemia* 개체수가 약 66,000개 (/50l) 이었으나 4시간 후 약 24,000 으로 빠르게 감소하였으며 12시간 후에는 수조안에 약 4,000 개체만 남았고 24시간 후에는 거의 모든 *Artemia*가 보름달물해파리에게 섭식되었다.

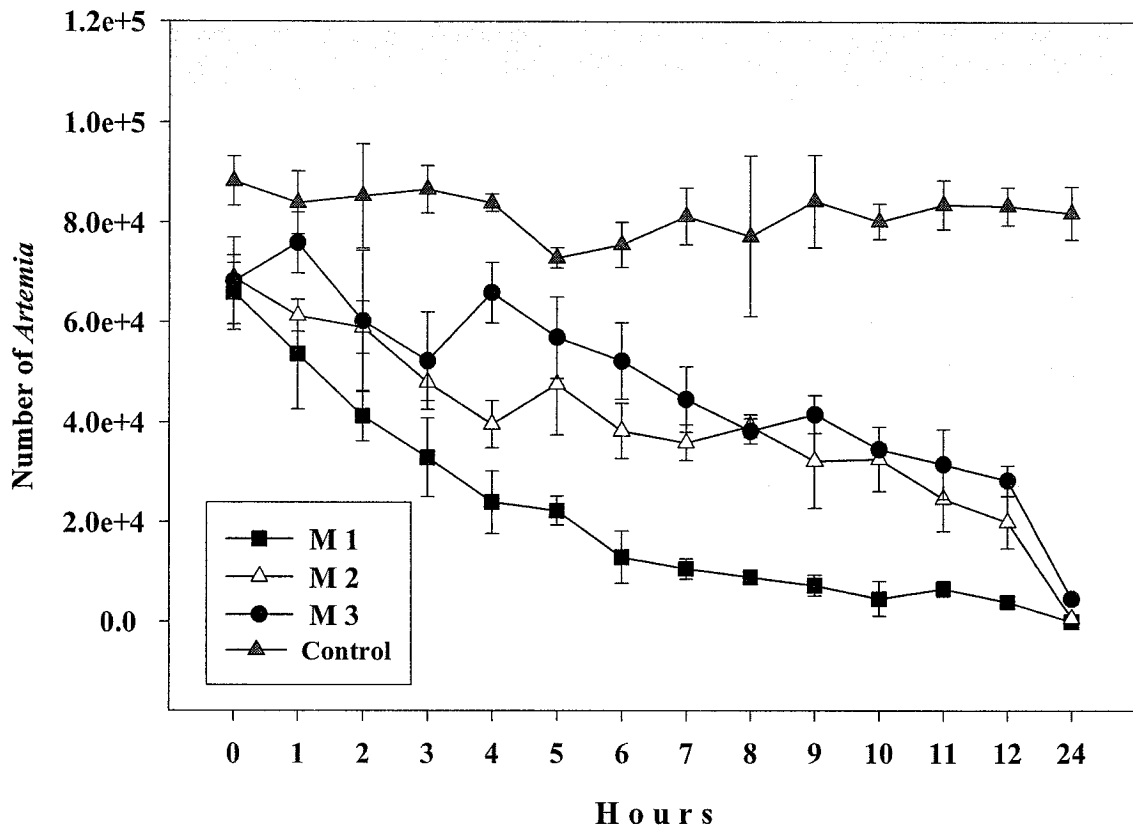


Fig. 3-1-18. Variation of *Aurelia aurita* abundance (inds/50l) as time passes in control and experiment (M1: 12.5cm; M2: 13cm; M3: 9.5cm).

보름달물해파리 직경 13cm 실험구의 경우 초기 *Artemia* 개체수가 약 69,000 이었으나 보름달물해파리에게 섭식되는 *Artemia*의 수가 증가하면서 4시간 후에는 약 39,000 개체로 감소하였다. 그러나 5시간 후에는 *Artemia*의 수가 47,000 으로 증가하는 현상을 보였다. 이는 보름달물해파리의 먹이 섭식에서 특이하게 보이는 현상으로 위낭 내에 *Artemia*가 가득 차면 소화시키지 못한 *Artemia*를 뭉쳐서 다시 해수 중으로 방출 (Fig. 3-1-19)하는 현상 때문에 나타난 결과이다. 이렇게 방출한 *Artemia*와 해수 중에 활발하게 움직이는 *Artemia*는 다시 보름달물해파리가 섭식하여 12시간 후에는 약 20,000 개체의 *Artemia*만 남았고 24시간 후에는 거의 모든 *Artemia*가 보름달물해파리에게 섭식되었다.

보름달물해파리 직경 9.5cm 실험구의 경우 초기 *Artemia* 개체수가 약 68,000 이었으나 보름달물해파리에게 섭식되는 *Artemia*의 수가 증가하면서 3시간 후에는 약 52,000 개체로 감소하였다. 그러나 4시간 후에는 *Artemia*의 수가 66,000 으로 증가하였다. 이는 보

름달물해파리 직경 13cm 실험구에서 4시간 후에 나타난 현상과 같이 위낭 내에 *Artemia*가 가득 차서 소화시키지 못한 *Artemia*를 다시 해수 중으로 방출한 것이다. 보름달물해파리의 섭식은 지속적으로 계속되어 12시간 후에는 약 28,000 개체의 *Artemia*만 남았고 24시간 후에는 거의 모든 *Artemia*가 보름달물해파리에게 섭식되고 약 4,000 개체의 *Artemia*가 남았다.

해파리를 넣지 않은 대조구의 경우 초기의 *Artemia* 개체수가 24시간 동안 거의 일정하게 유지 되어 자연 사망에 의한 *Artemia*의 감소량은 거의 나타나지 않았다.

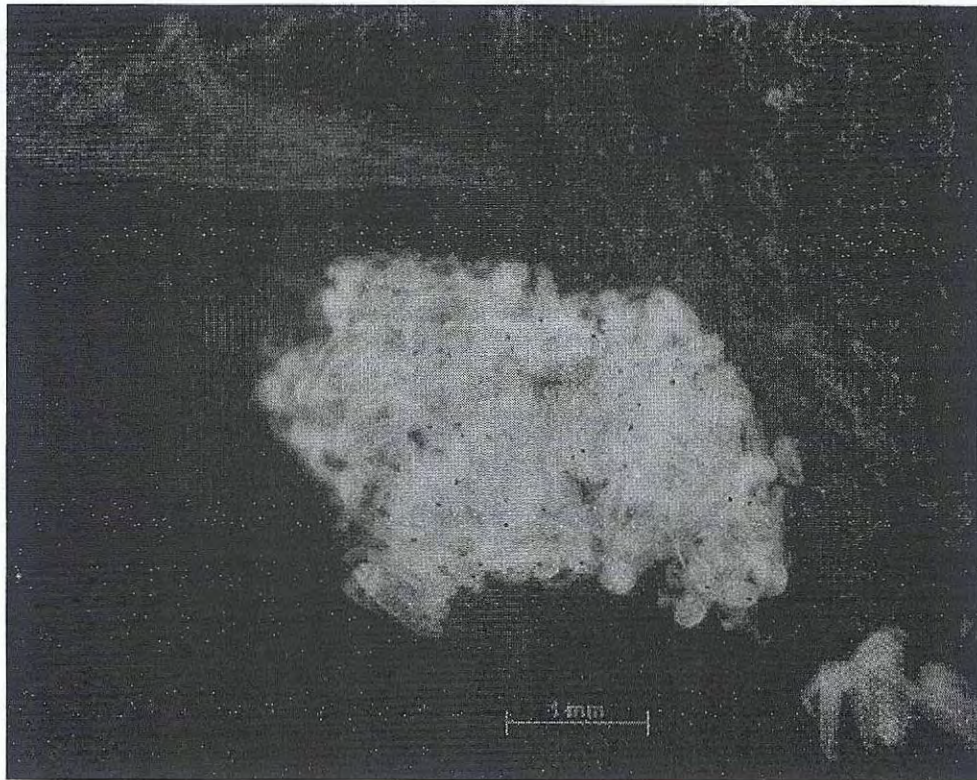


Fig. 3-1-19. Dead body of artemia released from gastric pouch of *Aurelia aurita*.

2) 보름달물해파리의 *Artemia* 소화시간

보름달물해파리가 *Artemia*를 섭식하여 시간이 경과함에 따라 위낭 안에 있는 *Artemia*가 소화되어 없어지는 것을 확인하였다 (Fig. 3-1-20). 보름달물해파리가 섭식한 *Artemia*는

위낭 안에 덩어리로 뭉쳐있었다. 10분 후에 별다른 변화가 관찰되지 않았지만 20분 후에는 위낭 안에 덩어리로 뭉쳐 있던 *Artemia*가 소화되어 없어지는 것을 관찰할 수 있었다. 30분 후에는 더 많은 *Artemia*가 소화되어 위낭 안에 덩어리로 뭉쳐 있던 *Artemia*가 많이 감소하였다. 60분 후에는 보름달물해파리의 위낭에 있던 *Artemia*가 모두 소화되어 흰색의 위사 (gastric filament)가 보이고 *Artemia*는 보이지 않았다. 이와 같은 결과에서 보름달물해파리는 위낭 안의 *Artemia*를 소화시키는데 30분에서 60분 정도 걸리는 것으로 나타났다.

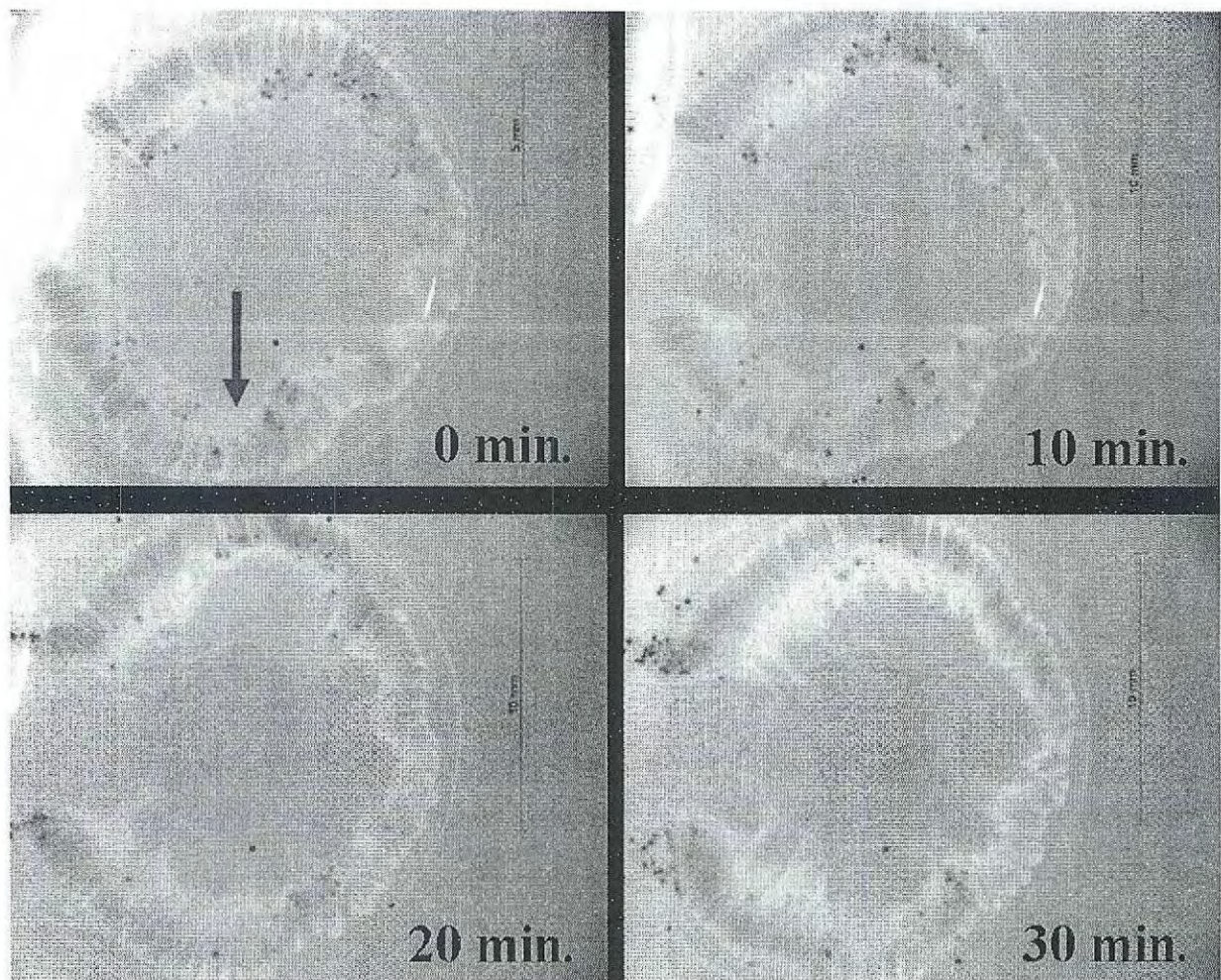


Fig. 3-1-20. Picture of digested *Artemia* as time passes on gastric pouch of *Aurelia aurita* (red arrow : *Artemia*).

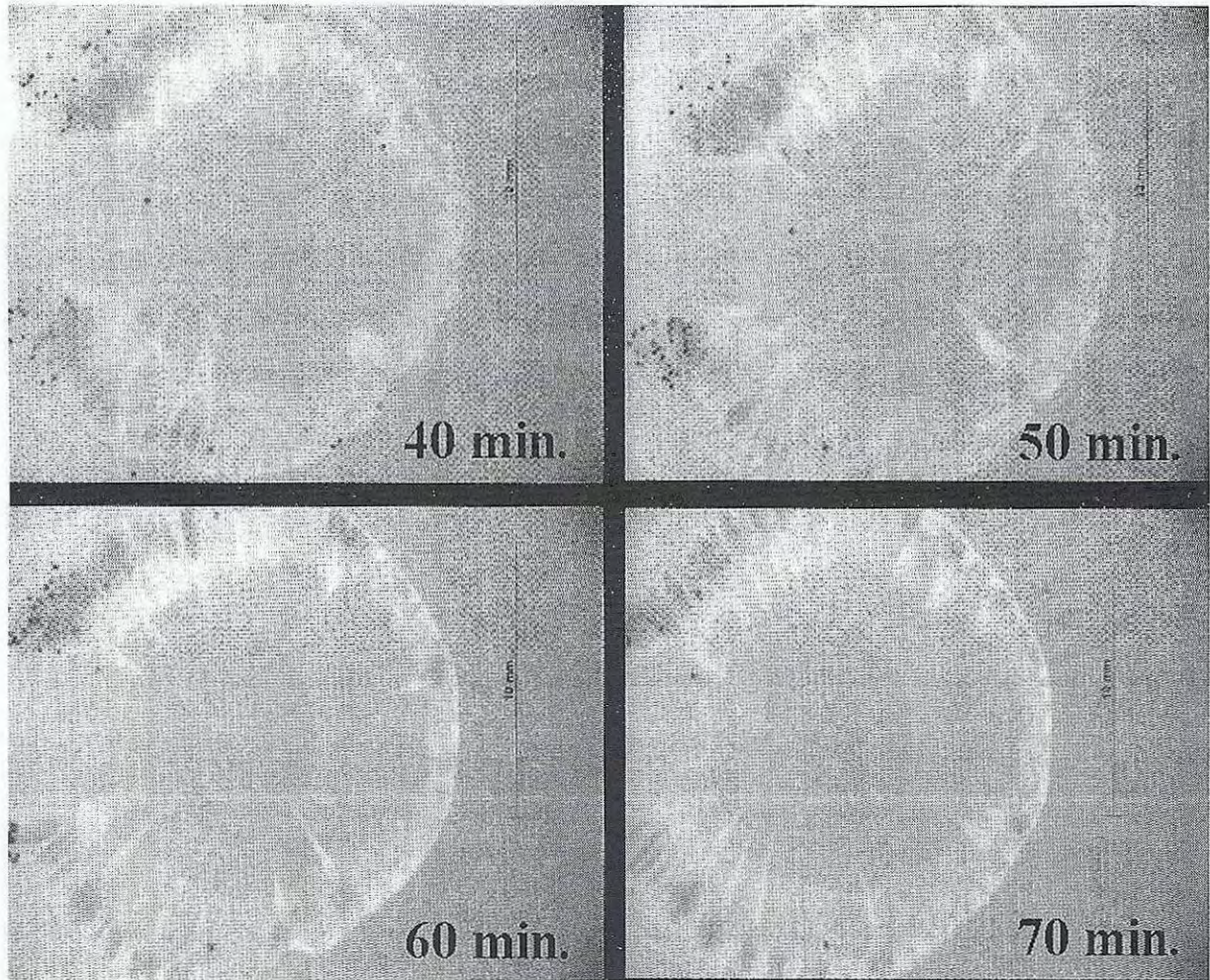


Fig. 3-1-20. Continued.

3) 보름달물해파리의 해양동물플랑크톤 섭식

보름달물해파리의 동물플랑크톤 섭식 실험에 사용된 해파리의 직경은 10cm, 11.5cm, 13cm 이었다. 각각의 실험구에서는 보름달물해파리에 의한 동물플랑크톤의 섭식이 활발하게 이루어 졌다 (Fig. 3-1-21).

보름달물해파리 직경 10cm 개체가 들어있는 실험구 (50ℓ)에서 초기 동물플랑크톤 개체수는 약 8,000개 (50ℓ)이었으며 시간이 경과함에 따라 보름달물해파리의 섭식에 의해 동물플랑크톤의 개체수가 줄어들어서 12시간 후에는 약 2,500 개체로 감소하였다. 24시간 후에는 해파리에게 섭식되지 않고 남아있는 동물플랑크톤 개체수는 약 600 이었다.

보름달물해파리 직경 11.5cm 실험구의 경우 초기 동물플랑크톤 약 8,100 정도 있었으

나 보름달물해파리에게 섭식되는 동물플랑크톤의 수가 증가하면서 6시간 후에는 약 4,000 개체로 감소하였다. 그러나 7시간 후에는 동물플랑크톤의 수가 5,300 으로 증가하는 현상을 보였다. 보름달물해파리가 섭식을 계속하여 12시간 후에는 약 1,500 개체의 동물플랑크톤만 남았고 24시간 후에는 거의 모든 동물플랑크톤이 보름달물해파리에게 섭식되어 약 300 개체 정도의 동물플랑크톤이 남았다.

보름달물해파리 직경 13cm 실험구의 경우 초기 동물플랑크톤 개체수가 약 8,600 이었으나 보름달물해파리에게 섭식되는 동물플랑크톤의 수가 증가하면서 12시간 후에는 약 1,300 개체로 감소하였다. 그리고 24시간 후에는 동물플랑크톤이 약 100 개체 정도만 남았다.

해파리를 넣지 않은 대조구의 경우 초기의 동물플랑크톤 개체수가 약 6,500 이었으나 시간이 지나면서 동물플랑크톤의 개체수가 증가하여 5시간 후에는 약 11,000 개체에 이르렀다가 다시 감소하여 24시간 후에는 약 3,000 개체로 감소하였다.

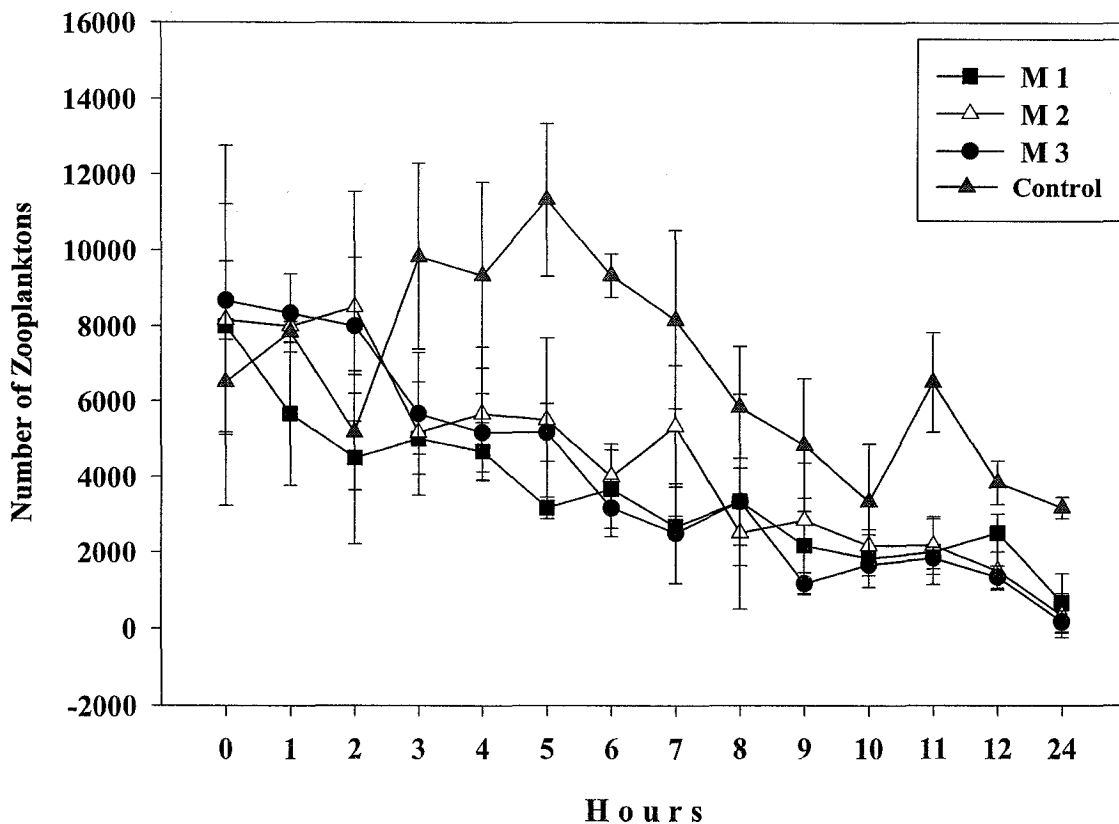


Fig. 3-1-21. Variation of zooplankton abundance (inds/50l) as time passes in control and experiment (M1: 10cm; M2: 11.5cm; M3: 13cm).

마. 보름달물해파리의 생화학적 구성성분

1) 탄수화물, 단백질, 지질분석

생화학적 분석에 사용된 보름달물해파리는 직경 16.5와 17cm 이며, 몸통, 입다리, 생식소로 절개하여 각각의 습중량과 건중량을 측정하였다 (Table 3-1-1). 보름달물해파리는 탄수화물을 많이 갖고 있으며, 다음으로 지질, 단백질 순 이었다 (Table 3-1-2). 탄수화물 중에서 저장성과 수용성은 개체에 따라 다소 차이를 보였다. 탄수화물은 주로 입다리와 생식소에 많이 함유되어 있음을 보였다. 단백질은 구성물 중 가장 적은 함량을 보였으나, 탄수화물과 같이 입다리와 생식소에 많았다. 보름달물해파리가 함유하고 있는 지질은 주로 중성지질이며, 다음으로 인지질이고, 당지질이 가장 적었다. 모든 종류의 지질은 생식소에 많이 함유되어 있음을 보였다.

Table 3-1-1. Diameter and weight in *Aurelia aurita* using biochemical analysis.

	직경(cm)	부위	습중량(g)	건중량(g)
1	16.5	몸통(umbrella) 1/2	93.6	2.5
		입다리(oral lobe)	15.3	0.5
		생식소(gonad)	17.3	0.5
2	17	몸통(umbrella)	109.4	3
		입다리(oral lobe)	14.1	0.4
		생식소(gonad)	29.8	0.9
3	16.5	전체(body)	173.1	4.6

Table 3-1-2. Biochemical Composition in *Aurelia aurita*. (unit: mg/1 of 1g jellyfish in dried weight)

Size		탄수화물				단백질		지질					
		수용성		저장성		평균	편차	중성지질		당지질		인지질	
		평균	편차	평균	편차			평균	편차	평균	편차	평균	편차
16.5cm	body	9.26	0.30	3.54	1.61	0.32	0.06	2.89	2.31	0.08	0.10	0.88	0.02
	oral lobe	35.25	0.77	10.00	1.53	1.02	0.20	4.65	4.26	0.30	0.29	1.34	1.53
	gonad	20.38	0.59	30.98	11.79	1.34	0.57	8.43	1.60	3.96	5.54	3.38	0.26
17cm	body	4.71	1.59	4.87	1.10	0.76	0.13	2.65	0.25	0.09	0.08	0.77	0.45
	oral lobe	13.37	4.66	23.83	10.38	1.73	0.17	9.23	0.03	0.18	0.26	2.18	0.17
	gonad	11.60	3.01	11.65	2.78	1.03	0.15	4.88	2.39	1.13	1.96	2.05	0.89
16.5	whole body	5.73	0.79	4.60	1.81	0.46	0.07	5.39	0.96	0.05	0.04	1.12	0.22

2) 지방산분석

지방산 분석에 사용된 보름달물해파리는 직경 14, 15, 18.5cm 이며, 몸통, 입다리, 생식소로 절개하여 각각의 습중량과 건중량을 측정하였다 (Table 3-1-3). 자연 상태의 해파리를 4월, 5월, 6월, 8월과 9월에 채집하여 분석한 Y. Fukuda and T. Naganuma (2001)의 논문을 보면, 전체 지방산 (TFA) 중에서 포화지방산 (Saturated fatty acid)이 43~50%, 하나의 불포화지방산 (MUFA)이 16~23%를 나타내고 두 개 이상의 불포화지방산 (PUFA)은 24~34%를 나타낸다고 보고했다. 또한 포화 지방산의 대부분은 C16:0 (22~29%), C18:0 (13~18%) 그리고 C14:0 (2~4%)로 나타났고, 주된 PUFA의 형태는 20:5n3 (10~16%), C22:6n3 (3~7%)을 나타내었고, C20:4n6 (3~9%)을 나타내었다고 보고했다. 14cm 몸 전체를 분석한 본 실험에서는 포화지방산 (Saturated fatty acid)이 52.9%, 하나의 불포화지방산 (MUFA)이 13.1%를 나타내고 두 개 이상의 불포화지방산 (PUFA)은 34%를 나타내어 Y. Fukuda and T. Naganuma의 보고와 유사한 값의 범위를 보였다 (Table 3-1-4). 또한 포화 지방산의 대부분은 C16:0 (23.6%), C18:0 (22.8%)을 나타내어 18:0이 다소 높은 값을 보여주었다. 주된 PUFA의 형태는 20:5n3 (15.1%), C22:6n3 (0.1%)을 나타내었고, C20:4n6 (0.04%)을 나타내어 20:5n3을 제외하고는 다소 낮은 값을 나타내었다. 단지 4월의 값으로 Y. Fukuda and T. Naganuma (2001)의 논문과 비교해보면, 포화지방산과 PUFA은 높게

나타났고, MUFA는 낮게 나타났다. 본 실험에서 나타내듯이 부위별로 다른 지방산의 값을 나타내었고, 특히 크기가 작을 경우 umbrella의 경우에 높은 불포화 지방산을 가지는 반면, 크기가 큰 경우에는 입다리와 생식소에서 더 높은 불포화 지방산을 나타내었다. Y. fukuda and T. Naganuma (2001)는 5월과 8월에 크기별 TFA에 대한 조사했는데, 크기가 제일 작은 것이 상대적인 불포화 지방산이 높다고 하였다.

Table 3-1-3. Diameter and weight in *Aurelia aurita* using the fatty acid analysis.

	직경(cm)	부위	습중량(g)	건중량(g)
1	18.5	몸통(umbrella) 1/2	109.9	4.5
		몸통(umbrella) 2/2	96	3.9
		입다리(oral lobe)	20.6	0.9
		생식소(gonad)	15.1	0.7
2	14	몸통(umbrella)	80.2	3.2
		입다리(oral lobe)	6.9	0.3
		생식소(gonad)	8.1	0.2
3	15	전체(body)	162.4	6.3

Table 3-1-4. Fatty acid analysis in *Aurelia aurita* (18.5cm, 15cm and 14cm in umbrella diameter).

Fatty acid	18.5cm						15cm						14cm	
	Umbrella		Oral lobe		Gonad		Umbrella		Oral lobe		Gonad		Whole body	
	Avg.	S.D	Avg.	S.D	Avg.	S.D	Avg.	S.D	Avg.	S.D	Avg.	S.D	Avg.	S.D
C10:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
C11:0	0.35	0.48	1.15	1.51	0.67	0.95	1.44	1.30	2.21	2.94	11.75	14.06	1.93	2.59
C12:0	0.63	0.29	0.20	0.07	0.43	0.61	1.07	0.31	1.19	0.44	0.79	0.60	0.56	0.18
C13:0	0.54	0.16	0.95	0.72	0.79	0.12	0.95	0.22	0.96	0.65	6.24	5.70	1.07	1.15
C14:0	0.59	0.14	0.62	0.36	0.53	0.02	0.26	0.14	0.49	0.03	0.46	0.34	0.22	0.06
C15:0	0.75	0.67	0.42	0.40	0.21	0.30	0.63	0.38	0.85	0.44	0.79	0.01	0.55	0.34
C16:0	34.4	7.9	20.1	8.9	18.8	9.7	24.0	6.2	14.3	6.0	13.8	0.2	23.6	4.41
C17:0	2.21	0.70	2.21	1.01	2.07	1.13	2.07	0.60	2.59	1.31	1.84	0.41	1.81	0.40
C18:0	23.3	6.0	28.7	13.4	34.4	21.1	27.3	8.3	33.6	16.1	34.4	6.38	22.8	4.83
C20:0	0.12	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05
C22:0	0.23	0.40	0.00	0.00	0.21	0.25	0.05	0.09	0.07	0.10	0.00	0.00	0.06	0.06
C23:0	0.06	0.10	0.03	0.05	0.01	0.02	0.15	0.05	0.59	0.70	0.52	0.73	0.12	0.09
C24:0	0.38	0.65	0.01	0.01	0.00	0.01	0.20	0.24	0.09	0.12	0.00	0.00	0.14	0.13
C14:1	0.44	0.76	0.28	0.49	0.26	0.08	0.17	0.29	0.26	0.37	0.00	0.00	0.36	0.44
C15:1	0.42	0.72	0.36	0.63	0.39	0.35	0.48	0.57	0.72	0.75	0.36	0.52	0.39	0.56
C16:1	5.20	5.11	1.37	0.74	0.16	0.06	3.05	2.90	1.52	1.61	0.93	1.14	3.89	3.39
C17:1	0.72	0.59	1.21	0.42	1.93	1.37	0.88	0.51	0.64	0.01	2.57	1.57	1.22	0.93
C18:1n9c	4.14	2.37	0.93	0.81	0.91	1.29	2.05	1.34	0.96	0.53	0.77	0.81	2.84	1.97
C18:1n9t														
C20:1n9	1.69	2.47	1.63	1.33	1.05	1.33	0.83	1.23	1.55	2.16	0.73	1.03	1.12	1.65
C22:1n9	0.17	0.30	0.99	0.84	0.00	0.00	0.76	1.02	0.62	0.88	0.00	0.01	0.85	1.00
C24:1n9	4.79	0.40	8.32	11.33	18.7	13.1	2.13	2.02	18.8	23.7	10.09	9.6	2.41	0.43
C18:2n6c	1.27	0.21	1.22	0.37	1.23	0.19	1.12	0.18	1.47	0.23	1.26	0.80	1.12	0.24
C18:2n6t														
C18:3n6	0.70	0.15	0.85	0.45	0.83	0.43	0.88	0.29	1.16	0.55	0.94	0.26	0.47	0.18
C18:3n3	0.64	0.27	0.28	0.24	0.17	0.24	0.23	0.02	0.22	0.15	0.00	0.00	0.58	0.51
C20:2	1.84	0.99	0.87	0.76	1.79	0.16	2.15	0.22	0.66	0.80	1.48	2.09	0.99	0.88
C20:3n6	0.43	0.17	0.00	0.00	0.29	0.27	1.09	0.19	0.17	0.24	0.00	0.00	0.62	0.15
C21:0														
C20:3n3	4.93	3.78	7.40	3.89	4.85	6.85	10.18	4.75	7.12	3.79	7.35	10.40	15.0	4.46
C20:4n6	0.20	0.35	0.00	0.00	0.11	0.15	0.13	0.22	0.12	0.17	0.00	0.00	0.04	0.07
C20:5n3	8.89	13.7	19.5	12.4	9.2	13.0	15.6	14.8	5.71	5.15	1.34	0.35	15.1	13.4
C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.12	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
C22:6n3	0.00	0.00	0.42	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	1.87	1.62	2.29	0.10	0.18
Total	100		100		100		100		100		100		100	
Saturation	63.5	14.8	54.3	25.3	58.1	30.1	58.2	16.0	57.0	21.6	70.6	26.6	52.9	10.7
MUFA	17.6	4.9	15.1	9.9	23.4	11.2	10.4	2.7	25.1	21.6	15.5	11.6	13.1	3.1
PUFA	18.9	14.8	30.6	16.6	18.5	18.9	31.5	14.9	18.0	0.1	14.0	15.0	34.0	10.1

제 2 절 마산만 현장조사

1. 재료 및 방법

Jellyfish bloom의 요인을 알아보기 위하여 2004년 2월부터 2006년 7월까지 보름달물해파리가 서식하는 마산만 조사정점 (Fig. 3-2-1)에서 수온, 염분, 용존산소농도의 환경자료를 측정하였다. 또한 보름달물해파리와 동물플랑크톤의 관계를 알아보기 위하여 마산만에서 보름달물해파리와 동물플랑크톤을 채집하여 분석하였다. 마산만의 조사 정점은 보름달물해파리의 bloom이 자주 목격되는 곳이다 (Fig. 3-2-2).

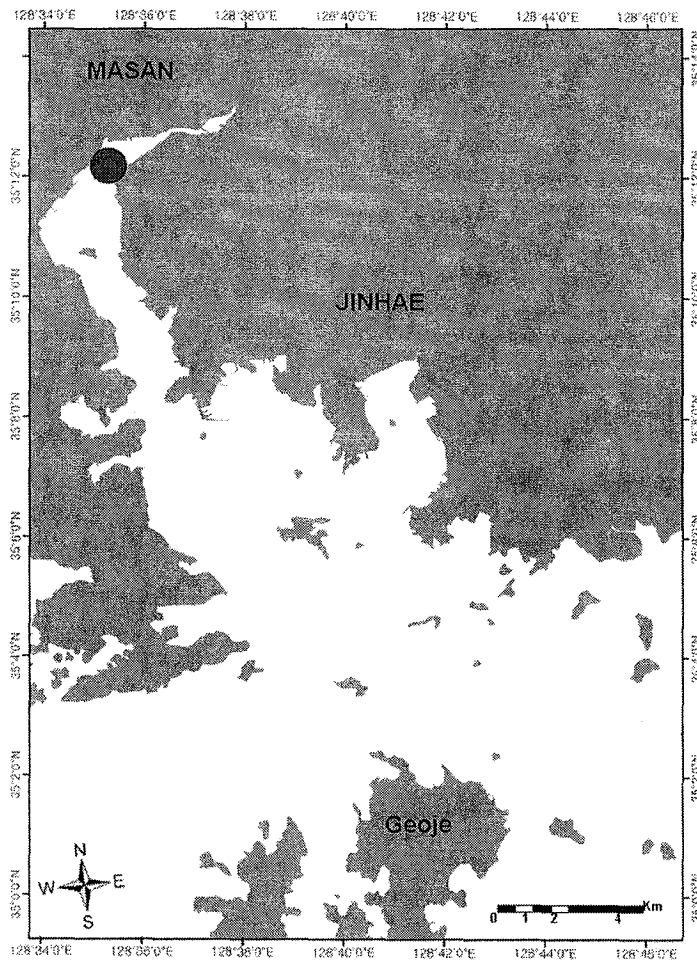


Fig. 3-2-1. Sampling location in Masan Bay.



Fig. 3-2-2. Jellyfish blooming location in Masan Bay.

가. 마산만의 수온, 염분, 용존산소농도

2004년에 2월, 4월, 5월, 7월, 8월, 10월 11월, 2005년에 1월, 2월, 4월, 5월, 7월, 8월, 10월 11월, 2006년 1월, 2월, 5월, 8월에 조사 정점에서 3년간 19회에 걸쳐 수온, 염분, 용존산소농도를 CTD를 이용하여 측정하였다. Ocean Seven 319 CTD (IDRONAUT Inc, Italy)를 이용하여 표층부터 저층까지 측정하였다.

나. 마산만 보름달물해파리와 동물플랑크톤

마산만 조사정점에서 보름달물해파리와 동물플랑크톤을 채집하였다. 보름달물해파리 성체는 90cm×50cm, 망목 5mm의 트롤을 이용하여 저층부터 표층까지 약 5 ~ 10분간 2노트 의 속도로 예인하여 채집하였다. 동물플랑크톤 시료와 보름달물해파리 에피라의 채집은 NORPAC net (구경 60cm, 망목 200 μ m, 500 μ m)를 이용하여 수직 채집 하였다. 보름달물해 파리 성체는 트롤을 예인하여 채집하였고, 현장에서 개체의 직경과 수를 측정하여 기록하

였다. 성체시료의 일부는 위강 부분을 절개하여 5% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 동물플랑크톤과 에피라 시료 또한 현장에서 5% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 정량분석을 위하여 트롤과 네트에 유속계 (Hydro-Bios Kiel 438115)를 부착하여 여과 해수량을 측정하였다.

실험실에서 보름달물해파리의 위강 내용물을 알아보기 위해서 현장에서 절개한 위강의 내용물을 분리하여 해부현미경 (Leica S6D LEICA Co.) 하에서 동정 및 계수하였고 동물플랑크톤과 에피라 시료는 Bogorovo 계수판에 옮긴 후 해부현미경과 광학현미경 (Axioskop ZEISS Co.) 하에서 동정 및 계수하여 단위체적 당 개체수 (ind./m³)로 환산하였다.

다. 마산만 보름달물해파리 폴립의 부착

보름달물해파리 플라눌라 유생이 고착변태를 거쳐 폴립으로 발생하는 계절별 개체수를 측정하기 위하여 2005년 7월부터 2007년 9월까지 마산만의 조사정점에 부착판을 설치하여 관찰했다. 부착판을 설치한 날짜는 2005년 7월 20일, 7월 25일, 8월 1일, 8월 16일, 8월 29일, 9월 14일, 10월 3일, 10월 25일, 11월 15일, 11월 30일, 2006년 1월 3일, 1월 15일, 2월 4일, 2월 14일, 3월 9일, 3월 30일, 4월 28일, 5월 30일, 6월 20일, 7월 14일, 8월 9일, 12월 5일, 2007년 1월 9일, 2월 2일, 3월 2일, 4월 13일, 6월 12일, 7월 9일, 8월 10일, 9월 6일 이다. 부착판을 마산만에 설치하여 회수, 관찰한 방법은 회수시기를 예로 들어 설명하면, 7월 20일에 설치한 부착판은 7월 25일에 새로운 부착판을 설치하면서 회수하여 당일에 관찰하였다. 2005년 11월 30일에 설치한 부착판은 2006년 1월 3일에 확인한 결과 분실되어 2005년 11월 30일부터 2006년 1월 3일 사이에 발생한 보름달물해파리 폴립의 자료는 누락되었다. 부착판은 Corning사의 24well cell culture cluster를 사용하였고 부착판 한 개의 면적은 212.5 cm² 이었다. 수면위의 부이에서 수중으로 연결된 밧줄에 부착판을 3개 (상, 중, 하) 연결하여 수층별 분포와 부착판의 윗면, 아랫면에 대한 발생을 알아보았다 (Fig. 3-2-3). 여기서 상층은 표층으로부터 약 1m 이내의 수심, 중층은 약 1 ~ 2m 사이, 하층은 약 2 ~ 3m 사이의 수심이다. 이와 같이 부착판을 연결한 밧줄을 3개 설치하여 일정 기간이 지난 후 회수하고 새로운 부착판을 설치하여 실험을 진행하였다. 회수한 부착판은 해수로 채운 운반용기에 넣어 거제도에 위치한 한국해양연구원 남해연구소의 실험실로 이동시켰다. 운반되어 온 부착판은 해부현미경 (Leica S6D) 하에서 발생한 폴립의 개체수를 윗면과 아랫면별로 따로 계수하였다.

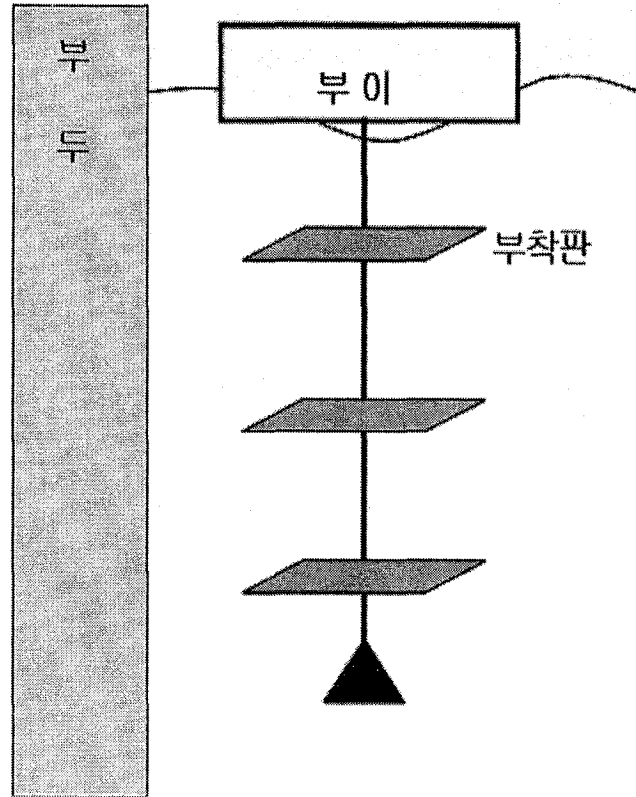


Fig. 3-2-3. Diagram of experimental adhesive plate.

라. 보름달물해파리 에피라 발생

마산만에서 2005년 10월 25일부터 11월 15일까지 부착판 (Corning사의 24well cell culture cluster 면적, 212.5 cm²)을 설치하여 폴립이 발생한 것과 11월 15일부터 11월 30일까지 설치된 부착판에 폴립이 발생한 것을 거제도 한국해양연구원 남해연구소 연구용부두 (pier)로 옮겨 현장에 설치하여 횡분체와 에피라의 발생을 조사하였다. 연구용부두에 부착판을 설치한 날부터 조사기간 동안 수온 염분을 측정하였다. 횡분체가 발생한 부착판을 폐쇄생태계 (mesocosm)에 넣고 3일 후에 에피라 유생의 발생을 조사하였다. 해부현미경 (Leica S6D) 하에서 폴립과 횡분체 개체수를 계수하여 횡분체 발생률을 측정하였고 에피라의 개체수를 계수하였다.

마. 부착 기질에 따른 보름달물해파리 폴립 발생

부착 기질종류에 따른 보름달물해파리 폴립의 발생률을 조사하기 위해 우리나라 연안에서 자주 볼 수 있는 콘크리트 조각, FRP 선박동체 조각, 스티로폼 부이 조각, 플라스틱 부이 조각, 오래된 밧줄 조각, 굴 껍데기, 자연석, 유리 조각과 부착판 실험에 주로 사용하였던 Corning사의 6 well cell culture cluster를 부착판으로 사용하였다. 다양한 종류의 부착기질을 하나의 판에 고정하고 (Fig. 3-2-4) 마산만 조사정점의 수심 2m 정도 위치 하도록 2세트를 설치하였다. 특히 부착판으로 사용된 6 well cell culture cluster는 상층(수심 20cm)과 수심 1m에도 설치해서 수심별 폴립 발생의 변화를 조사하였다. 부착판은 2006년 8월 9일에 설치해서 같은 달 25일에 회수하여 해수에 담긴 상태로 실험실로 운반하였다. 운반된 각 부착기질들에 고착한 폴립 개체수를 해부현미경 하에서 계수하였다. 계수한 폴립의 수는 단위면적당 평균 개체수 (inds/100cm²)로 환산하였다.

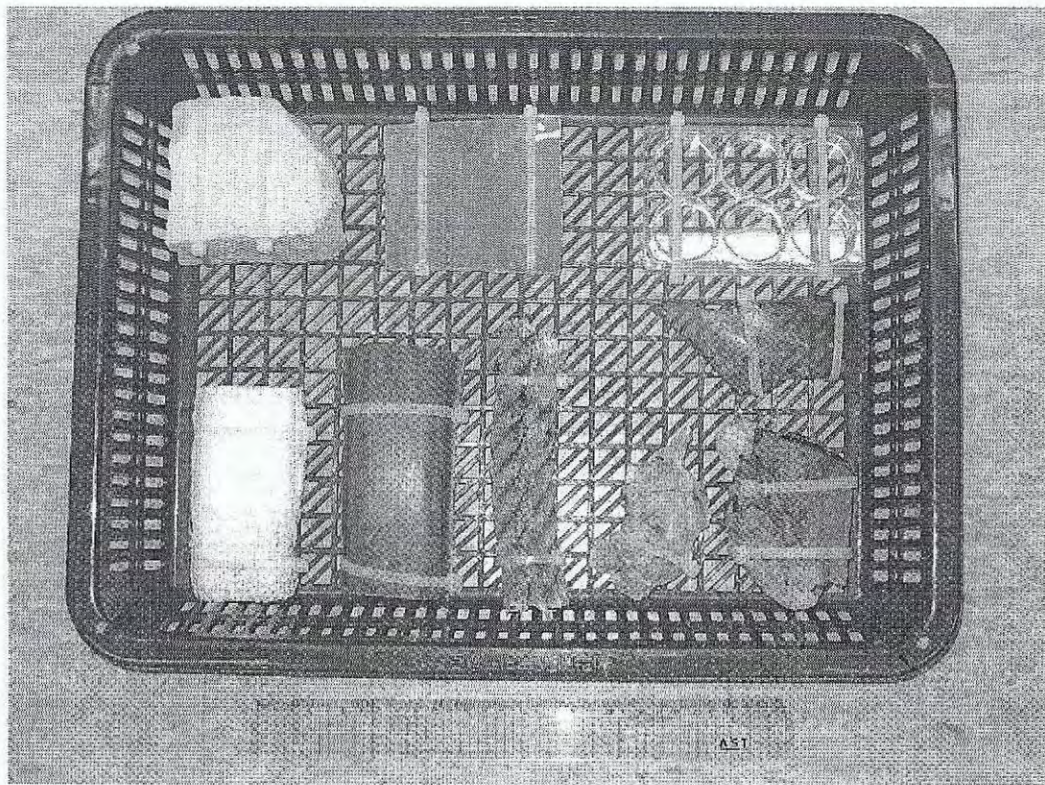


Fig. 3-2-4. Picture for various kinds of adhesive plates

2. 연구결과

가. 마산만의 수온, 염분, 용존산소농도

조사지역의 수온의 변화를 보면, 2004년에는 5.64 ~ 25.4 °C (평균 17.0), 2005년에는 5.18 ~ 25.3 °C (평균 14.3 °C), 2006년에는 4.50 ~ 27.5 °C (평균 12.8 °C)의 값의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-2-5). 염분의 변화는 2004년에는 19.8 ~ 33.0 psu (평균 30.2 psu), 2005년에는 26.8 ~ 33.1 psu (평균 14.3 psu), 2006년에는 28.4 ~ 32.9 psu (평균 31.6 psu)의 값의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-2-6). 용존 산소는 2004년에는 2.17 ~ 7.30 mg l⁻¹ (평균 5.15 mg l⁻¹), 2005년에는 0.95 ~ 15.2 mg l⁻¹ (평균 7.42mg l⁻¹), 2006년에는 6.63 ~ 12.6 mg l⁻¹ (평균 9.98mg l⁻¹)의 값의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-2-7). 전반적으로 수온의 경우 연도별 차이가 다소 있는데, 이는 조사 시기가 년도마다 조금씩 차이가 있기 때문이다. 염분은 수온에 비해 연도별 차이가 더 크게 나타나는데, 이는 조사 지역이 내만에 위치하고 있어 직접적인 생활하천에서의 담수 유입에 영향을 받기 때문이다. 염분 또한 조사 시기의 차이로 값의 범위 및 평균값의 차이가 다르게 나타난다. 특히 2006년 8월의 경우 저층에서 저산소층이 나타나지 않았는데, 이는 2006년 여름조사가 저산소층이 일어나는 시기인 6월 ~ 9월 사이에 단 한차례만 이루어졌기 때문에 저층에서 높은 값을 보인 것으로 판단된다.

4월부터 깊이별 최고 수온과 최저 수온의 차이가 1 °C이상 나타나기 시작하여 수온 약층이 생성되는 것을 볼 수 있다. 이러한 수온 약층은 7월에 가장 큰 구배를 보이다가 9월 이후에는 서서히 사라지는 경향을 나타낸다. 염분 또한 4월부터 깊이별 농도의 구배가 나타나기 시작하지만, 수온과는 달리 8월에 가장 큰 구배를 보인다. 용존 산소도 수온, 염분과 마찬가지로 4월부터 서서히 수층 간에 구배를 나타내기 시작하다가 7월과 8월에 농도의 범위가 가장 커진다. 이는 표층에서 식물플랑크톤의 광합성이 증가하여 용존산소가 증가하는 반면, 저층에서는 유기물 분해에 의한 용존 산소의 소모가 극대화되기 때문인 것으로 사료된다.

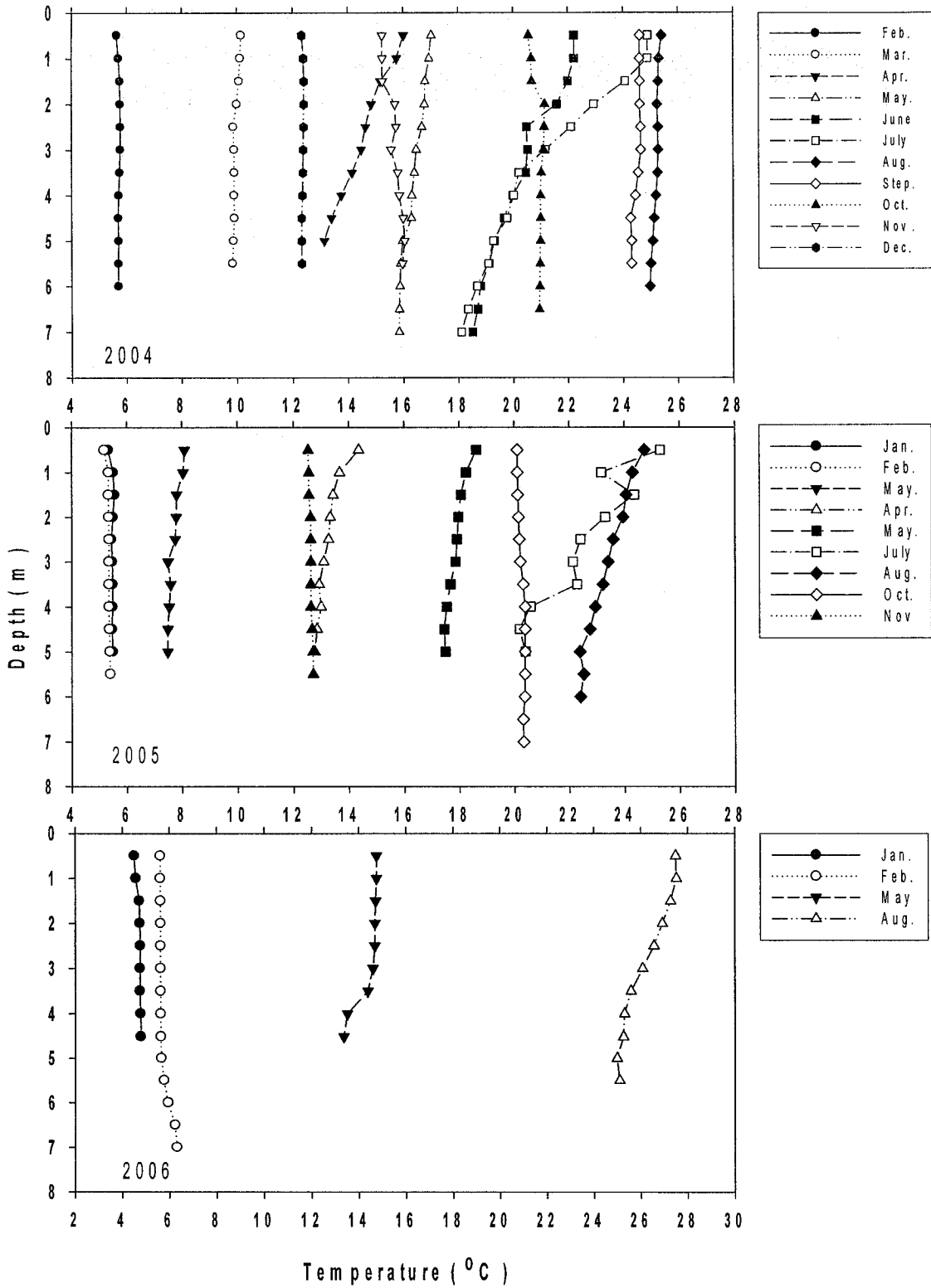


Fig. 3-2-5. Depth profile about temperature on inner of Masan Bay in 2004, 2005, 2006.

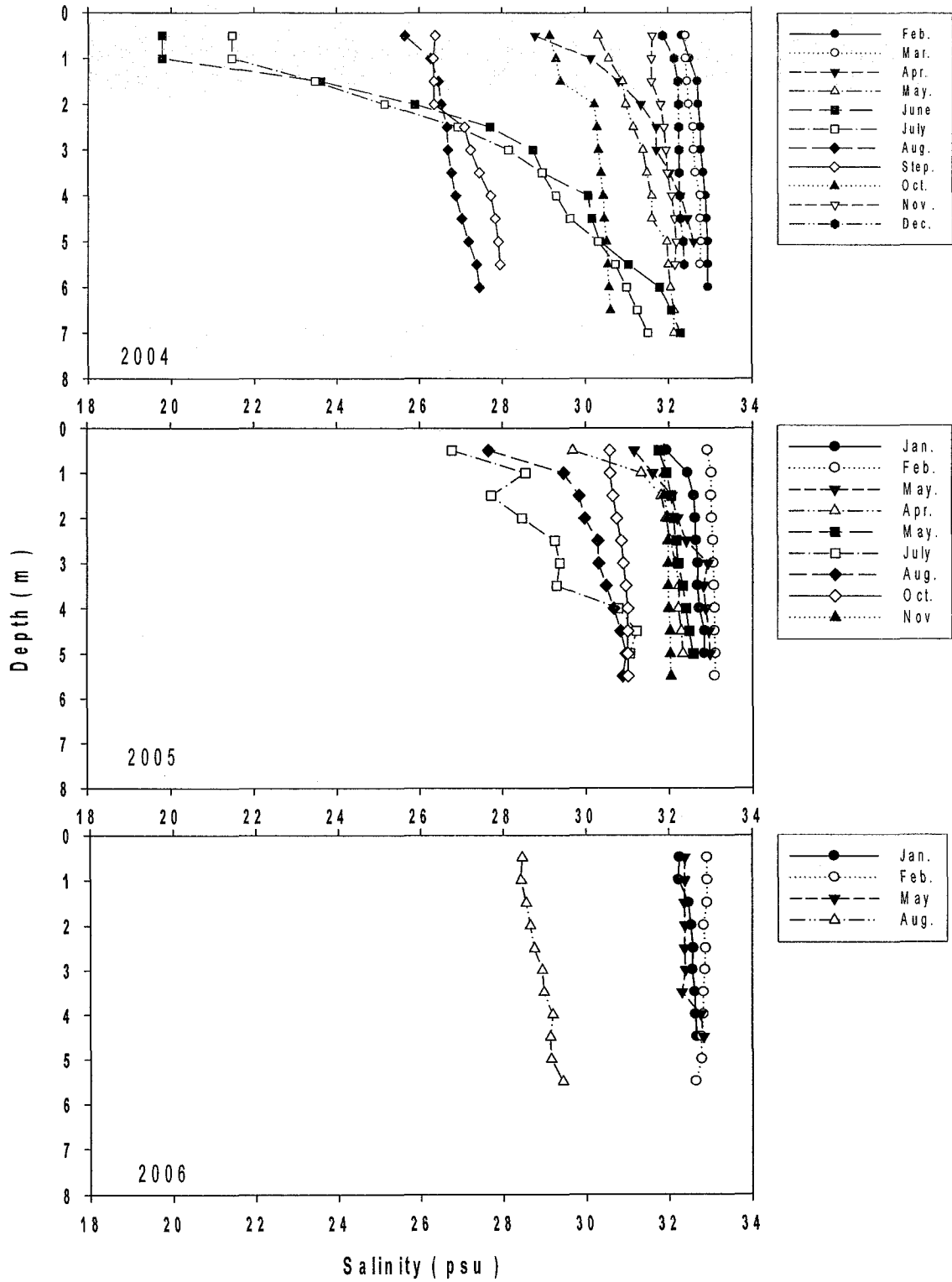


Fig. 3-2-6. Depth profile about salinity on inner of Masan Bay in 2004, 2005, 2006.

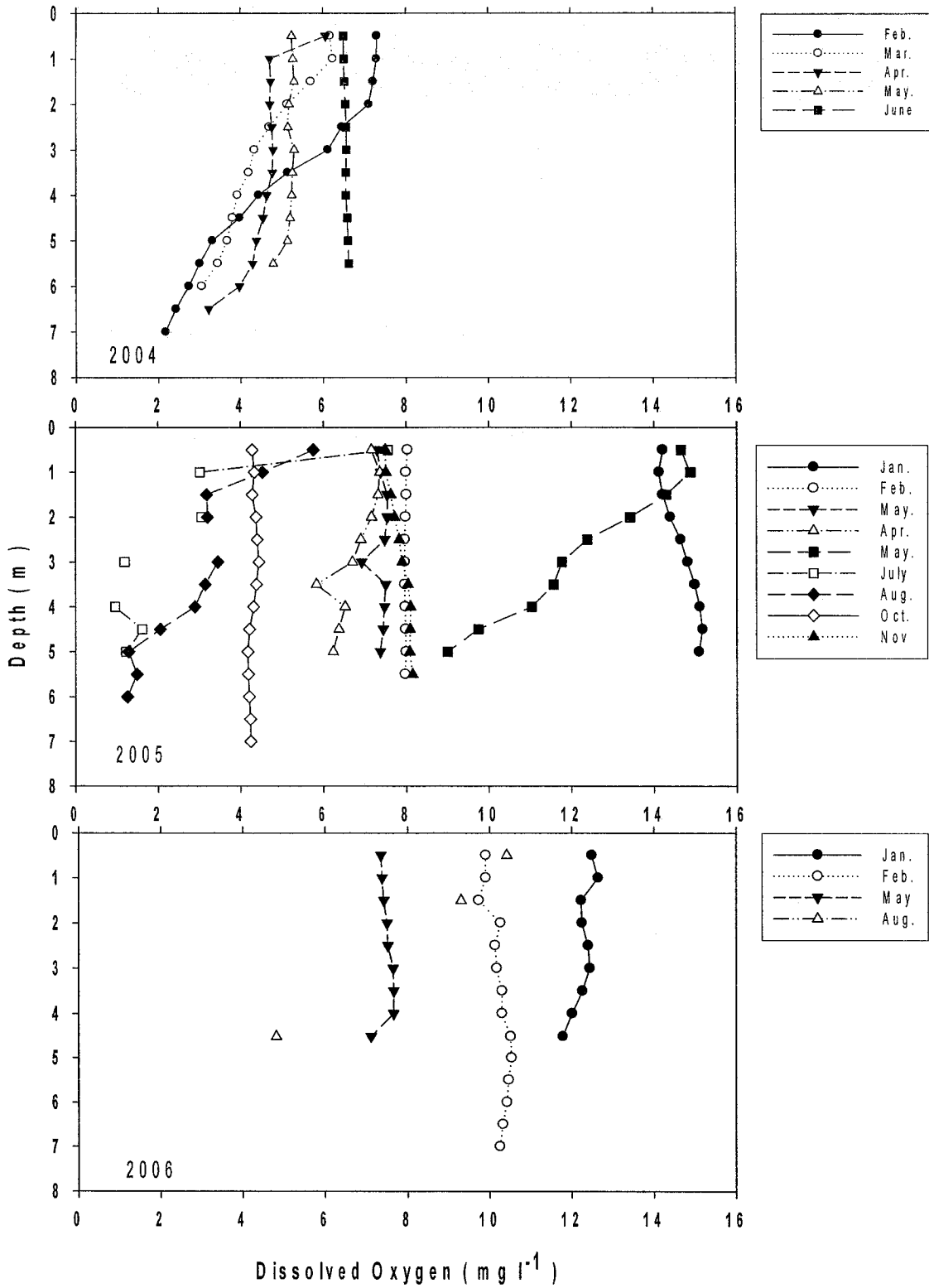


Fig. 3-2-7. Depth profile about dissolved oxygen on inner of Masan Bay in 2004, 2005, 2006.

나. 마산만 보름달물해파리와 동물플랑크톤

마산만에서 보름달물해파리와 요각류의 관계를 분석하기 위하여 2004년부터 2006년까지 조사된 자료를 사용하였다. 2004년 2월 채집된 요각류는 3,776 (ind./m³)개체 이었으나 3월에는 374개체로 크게 감소하였다. 4월에 300개체, 5월에 863개체로 증가하지만 6월에 257개체, 7월에는 연중 가장 적은 73개체가 채집되었다. 이와 같이 증감을 반복하며 10월까지 약 1,000개체 미만의 요각류가 채집되었고 11월에 1,087개체로 증가하여 12월에는 3,000개체 이상이 채집되었다 (Fig. 3-2-8). 같은 기간 보름달물해파리 개체수는 2월에 13 (ind./100m³)개체로 최저를 나타냈으며 3월에 1,900개체로 연중 최대를 나타냈다 (Fig. 3-2-9). 3월에 보름달물해파리의 개체수가 최대로 나타난 것은 Fig. 3-2-10에 나타난 것처럼 직경이 약 2.9mm인 에피라 유생의 대량 출현으로 그 수가 증가한 것이다. 4월이 되면서 보름달물해파리 개체수는 965개체로 감소하여 5월 416개체, 6월 119개체로 감소하였다. 7월에 147개체로 증가하였다가 8월에 최저의 개체수를 나타내었다. 9월에 다시 증가하여 10월에 575개체로 증가하고 11월에는 다시 감소하여 101개체로 감소하였다. 12월에는 보름달물해파리가 채집되지 않았다.

보름달물해파리의 직경은 2월에 평균 172mm의 성체가 채집되었고 3월에 성체는 채집되지 않고 2.9mm의 에피라 유생만 채집되었다. 에피라 유생은 5월까지 느리게 성장하여 직경이 평균 24.4mm에 이르렀다. 5월부터 6월까지 사이에 보름달물해파리는 빠르게 성장하여 평균 직경 135.4mm에 달하였다. 7월 평균 직경 154.4mm로 증가한 후 8월에는 평균 직경이 85mm까지 감소하였다가 9월에 다시 증가하였다. 10월, 11월에는 평균 직경 127mm, 132mm로 변화의 폭이 크지 않았다.

2004년 2월에 많은 개체수의 요각류가 채집되었으나 3월에 급격히 개체수가 줄어든 것은 보름달물해파리 에피라 유생이 대량 출현하면서 요각류를 먹이로 포식하였을 것으로 사료된다. 3월부터 9월까지 요각류의 개체수가 1,000 개체 이하에서 증감을 반복한 것은 보름달물해파리 에피라 유생이 성장하면서 개체수는 감소하였지만 평균 직경이 증가하면서 개체 당 더 많은 요각류를 포식하면서 나타난 현상으로 생각된다. 10월과 11월 채집된 보름달물해파리 위장 내용물을 조사한 결과 10월에는 요각류가 평균 10개체, 11월에는 2개체 관찰되었다 (Fig. 3-2-11).

2004년 10월, 11월에 채집된 보름달물해파리의 위낭에서는 *Paracalanus indicus*와 cirripedia & cypris larvae가 많이 나타났다 (Table 3-2-1, Table 3-2-2). 특히 10월에는 *Paracalanus indicus*가 해파리 1개체 당 20 개체까지 나타났고 11월에는 cirripedia & cypris larvae가 해파리 1개체 당 25 개체까지 나타났다.

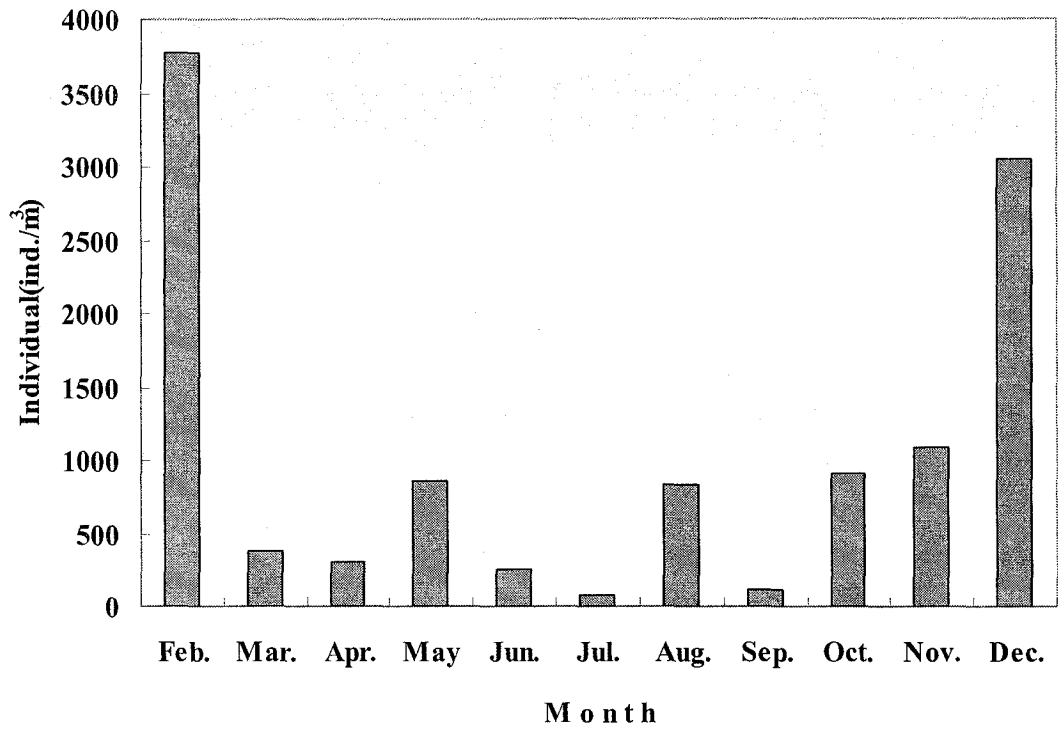


Fig. 3-2-8. Variations of Copepods abundance by netting in 2004.

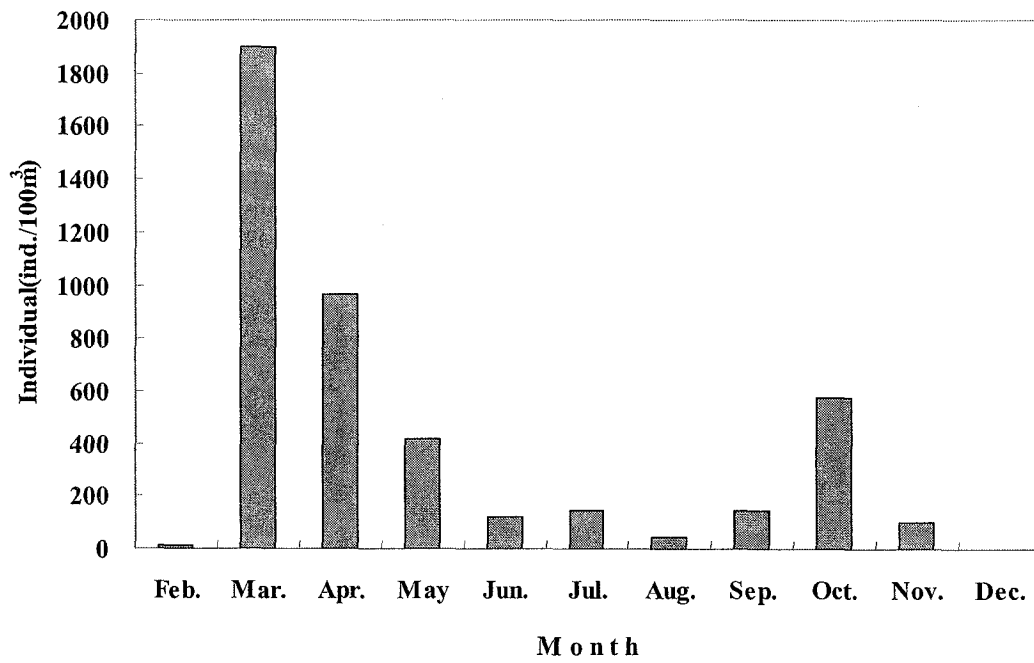


Fig. 3-2-9. Variations of *Aurelia aurita* abundance in 2004.

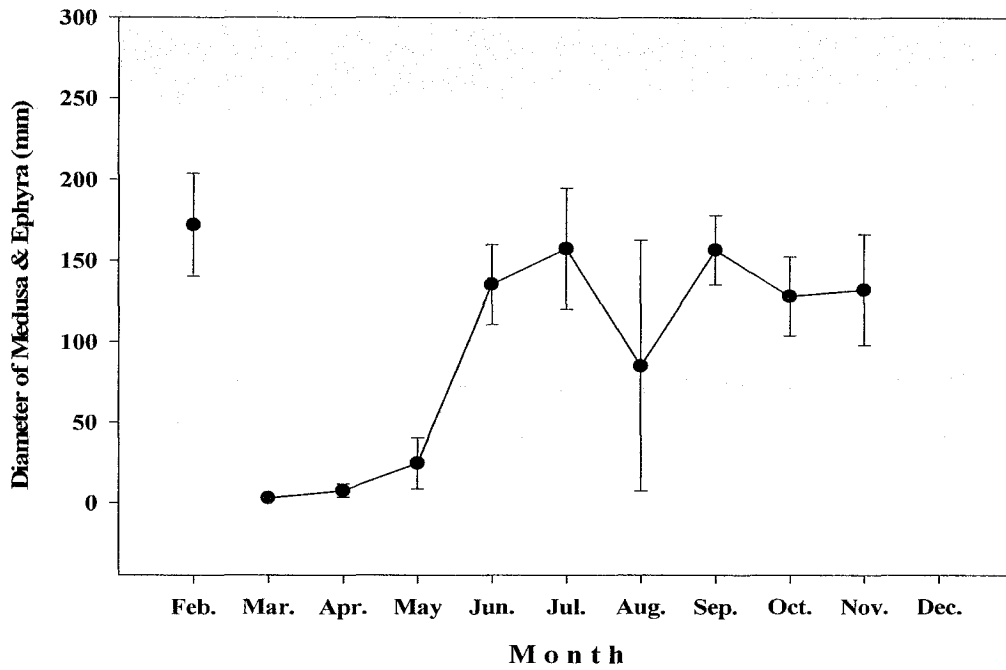


Fig. 3-2-10. Diameter of *Aurelia aurita* in 2004.

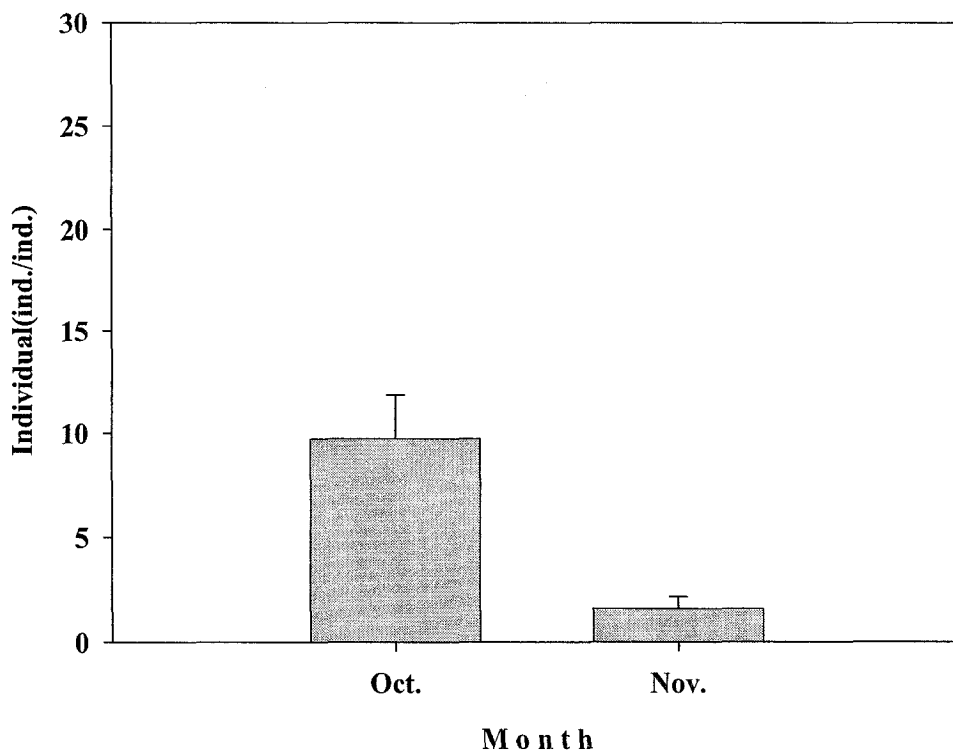


Fig. 3-2-11. Copepods abundance on the inner gastric pouch of *Aurelia aurita* in 2004.

Table 3-2-1. Gastric pouch's content of *Aurelia aurita* in October, 2004.

Species \ Size(diameter)	12cm	16cm	15cm	16.5cm	15cm	17.5cm	14.5cm	16cm	13.5cm	11cm	13cm
<i>Penilia avirostris</i>	1	1									
<i>Calanus sinicus</i>				2			1				
<i>Paracalanus indicus</i>	4	6	3	20	4	5	2	1	10	4	1
<i>Temora turbinata</i>				1		2		1	2	1	
<i>Acartia erythraea</i>	2	2	2	3		2	2	1			
<i>Oithona</i> sp.		2		2	1	3		2	1	2	5
copepodite(Others)						3		1	1		
copepoda nauplius					1					1	
appendicularia			1				1		1		
polychaeta larvae							2				1
cirripedia and cypris larvae	2	2	3		9	10	2	3	2	1	10
bivalve larvae			2						2		
gastropoda larvae		1						1			
Total number (inds/medusa)	9	14	11	28	15	25	10	10	19	9	17

Table 3-2-2. Gastric pouch's content of *Aurelia aurita* in November, 2004.

Species \ Size(diameter)	15cm	10cm	11.5cm	19cm	10cm	15cm	19cm	16cm	17.5cm	15cm
<i>siphonophora</i>										1
<i>Podon leuckarti</i>			1	2			1	3	1	1
<i>Evadne tergestina</i>								1		
<i>Paracalanus indicus</i>	1			4			1			1
<i>Temora turbinata</i>					1	1			1	2
<i>Oithona</i> sp.					1			1		
<i>Corycaeus affinis</i>				1						
copepodite(Others)				1						
cirripedia and cypris larvae	5	1	1	15	1	4	25	21	15	9
bivalve larvae	2				2		4		1	
Total number (inds/medusa)	8	1	2	23	5	5	31	26	18	14

2005년에 채집한 요각류의 개체수는 1월에 최대치로서 약 12,657개체 2월에는 그 수가 감소하여 5,482개체 3월에는 1,184개체 4월에는 12개체로서 최소를 나타내었다 (Fig. 3-2-12). 5월에는 1,499개체로 증가하였다가 다시 7월 44개체, 8월 32개체, 10월 30개체로 감소하였다. 11월에는 8,013개체로 크게 증가하여 12월에 4,316개체로 감소하였다. 같은 기간 보름달물해파리 개체수는 1월에 2개체로 최저를 나타냈으며 2월에는 정량채집이 이루어지지 않았고 3월에 363개체, 4월에 550개체로 증가하였다 (Fig. 3-2-13). 5월에는 8개체로 개체수의 감소가 급격히 일어났다. 그러나 7월에는 329개체, 8월에 587개체로 최대를 나타내었으며 다시 감소하여 10월에 282개체, 11월에 120개체, 12월에 26개체가 채집되었다. 같은 기간 보름달물해파리의 평균 직경은 1월에 155mm, 2월에 220mm 로서 성체가 채집되었고 3월에는 평균 직경 3.5mm의 에피라 유생이 채집되었다. 3월 이후 보름달물해파리의 평균 직경은 증가하여 4월 5.1mm, 5월 평균 직경 43.6mm, 7월 평균 직경 87.5mm, 8월 평균 직경 143.8mm, 10월 평균 직경 163mm로 최대를 나타내었다 (Fig. 3-2-14). 11월에는 감소하여 평균 직경 152mm, 12월에는 평균 직경 145mm를 나타내었다.

2005년 보름달물해파리의 위장 내용물 중 요각류의 개체수는 2월에 평균 21개체, 7월에 평균 8개체, 8월에 평균 1개체, 10월에 평균 27개체, 11월에 평균 45개체, 12월에 평균 56개체가 관찰되었다 (Fig. 3-2-15).

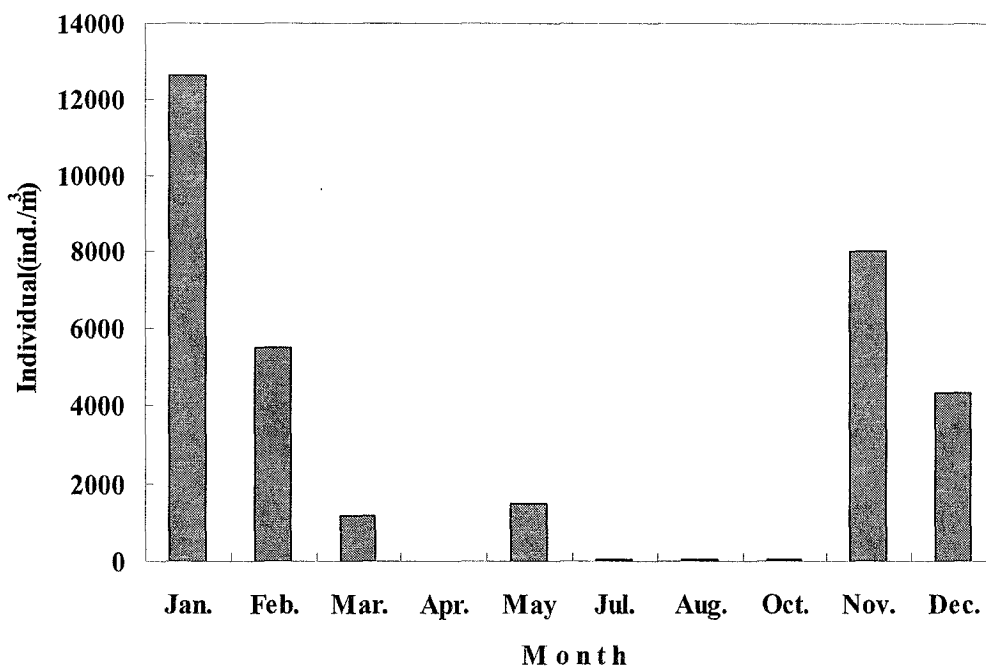


Fig. 3-2-12. Variations of Copepods abundance by netting in 2005.

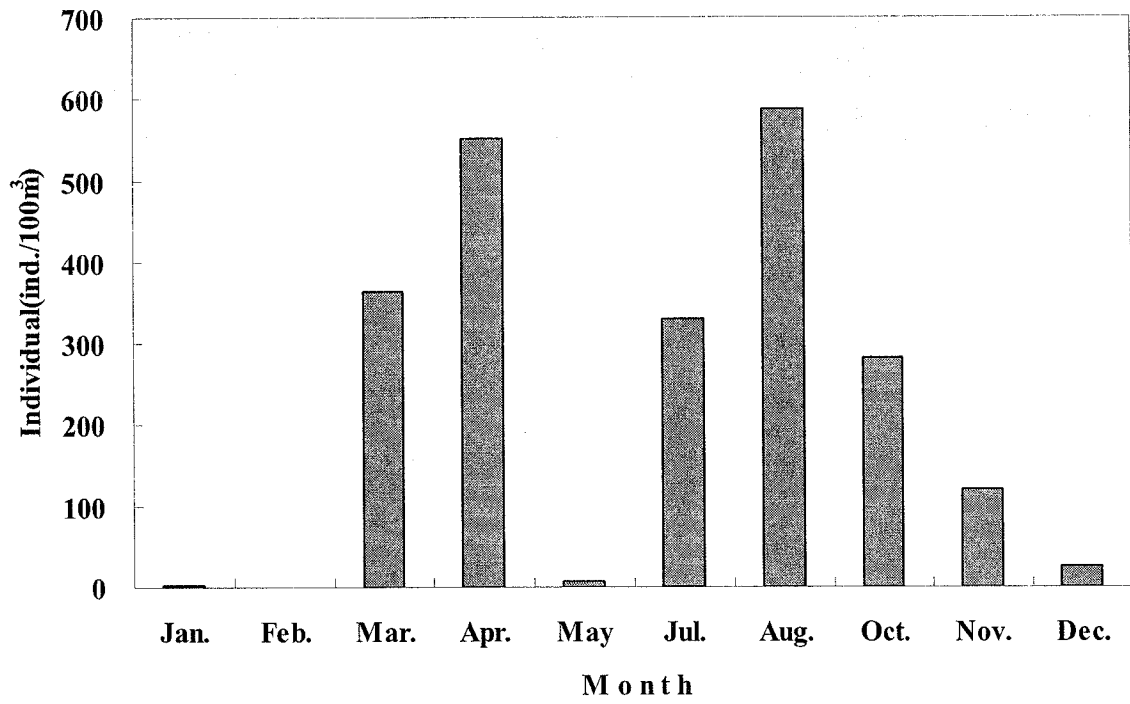


Fig. 3-2-13. Variations of *Aurelia aurita* abundance in 2005.

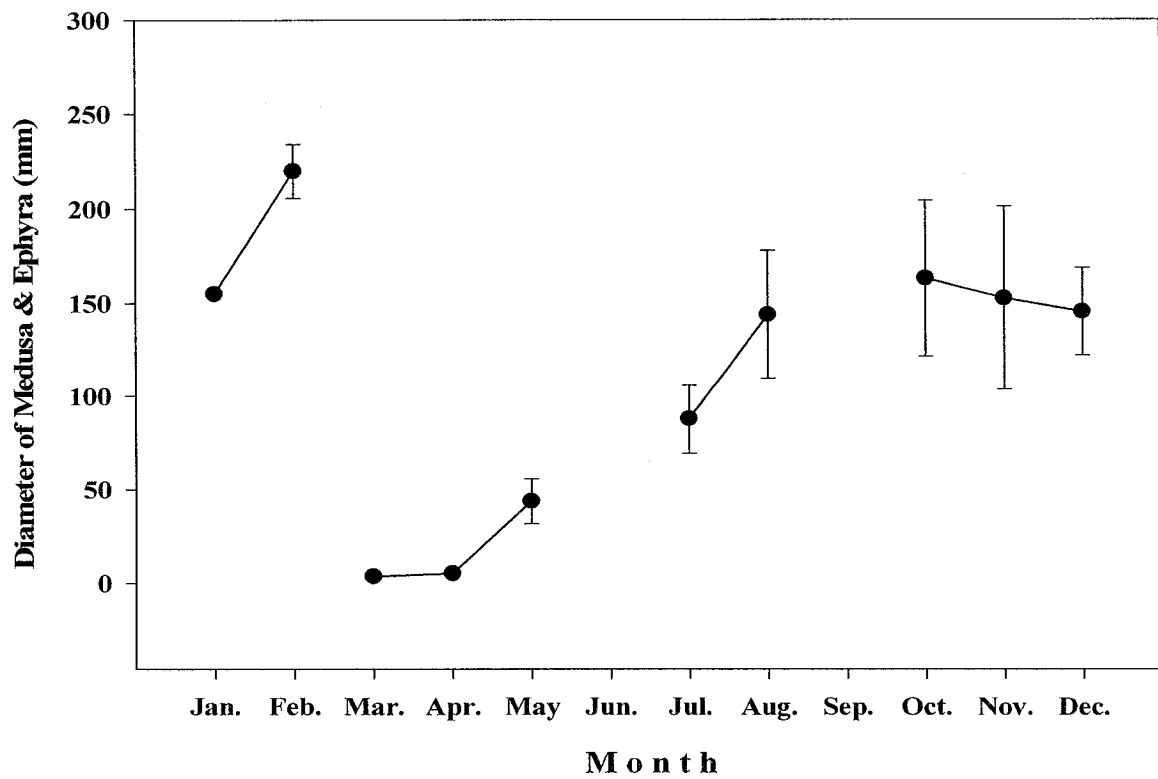


Fig. 3-2-14. Diameter of *Aurelia aurita* in 2005.

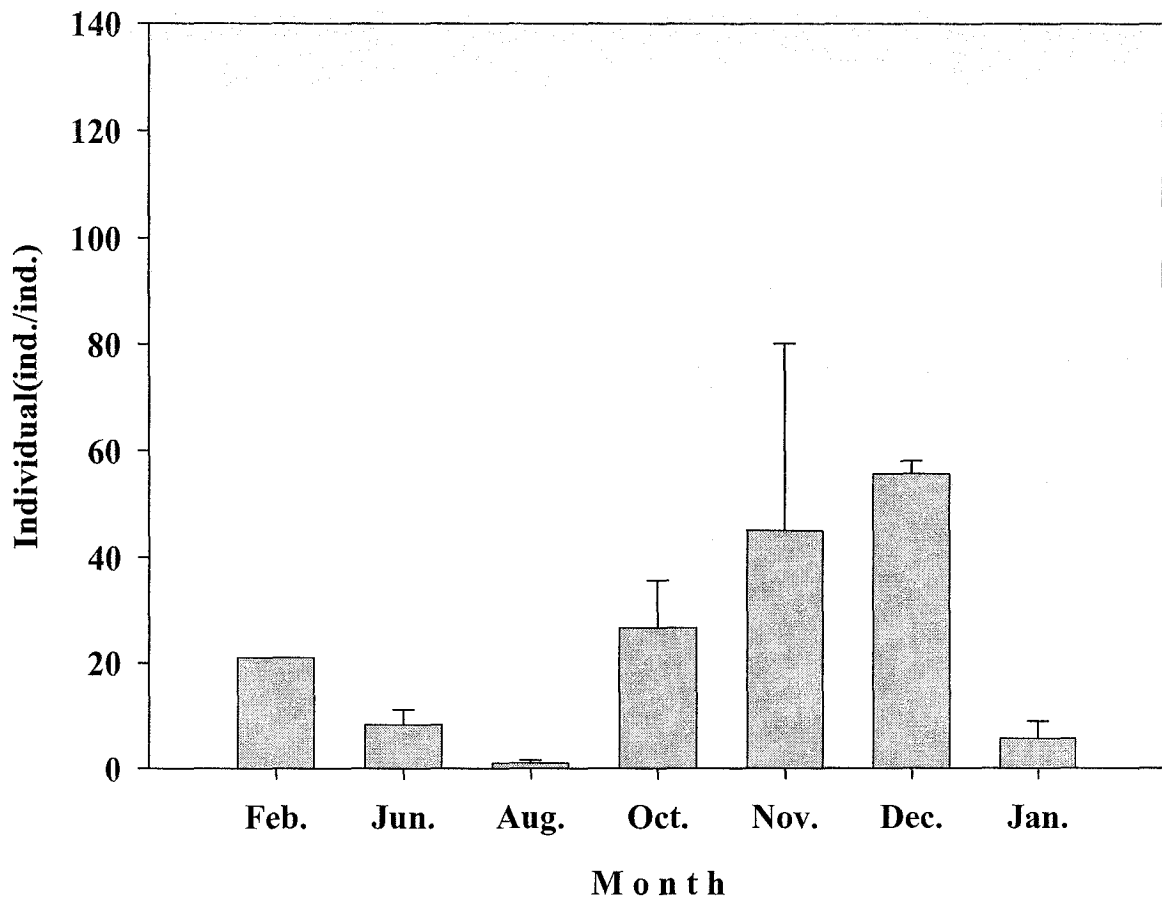


Fig. 3-2-15. Copepods abundance on the inner gastric pouch of *Aurelia aurita* from February, 2005 to January, 2006.

2005년 조사정점에서 요각류의 개체수는 1월에 최대를 나타내었다가 2월, 3월로 가면 서 큰 폭으로 감소하여 4월에는 가장 적은 수의 요각류가 채집된 반면 이 시기에 보름달 물해파리의 개체수는 1월에 최저를 나타내고 3월에 에피라 유생의 발생으로 그 수가 급격히 증가 하여 4월에는 550개체에 이르렀다. 2005년 3월부터 5월까지 요각류 개체수의 감소는 보름달물해파리의 출현과 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다. 또한 7월, 8월, 10월에 적은 수의 요각류가 채집된 것은 보름달물해파리의 개체수와 직경의 증가에 의해 대량으로 요각류를 섭식하였다고 생각된다. 이는 보름달물해파리의 위장 내용물에서 요각류의 개체수가 증가하는 것에서도 알 수 있다.

2006년 조사정점에서 채집된 요각류의 개체수는 1월에 6,870개체, 2월에 2,641개체, 3월에 443개체로 감소하였다 (Fig. 3-2-16). 이러한 감소 경향은 2004년과 2005년의 결과와 같았다. 4월에 요각류가 30개체, 5월에는 15개체로 가장 적은 개체수를 나타내었고, 6월에

216개체로, 7월에는 2,243개체로 증가하였다.

2006년 1월 보름달물해파리 성체가 3개체, 2월에 6개체 채집되었다. 2004년, 2005년의 조사와 비슷하게 3월에 에피라 유생이 발생하면서 2,200개체로 급격히 증가하였고 4월에는 3,000개체에 이르렀고 5월에 감소하여 2,100개체였다 (Fig. 3-2-17).

2006년 보름달물해파리의 평균 직경은 1월에 141mm에서 2월에 180mm로 증가하였으며 3월에 에피라 유생이 방출되면서 평균 직경 2.3mm를 나타내었다. 4월에는 3.2mm, 5월에는 18mm로 나타났다 (Fig. 3-2-18). 2006년 3월과 4월의 에피라 평균직경은 2004년과 2005년 에피라 평균직경보다 더 작았는데, 이는 2006년 에피라 유생의 발생시기가 2004년과 2005년보다 더 늦었음을 나타내는 것으로 판단된다.

보름달물해파리의 위장 내용물에서 요각류가 관찰되었다고 보름달물해파리가 많은 수의 요각류만 섭식한다고 생각하기에는 무리가 있지만, 보름달물해파리가 포식한 *Artemia*를 위장 내에서 소화시키는데 약 30분에서 60분 정도 걸리는 것으로 미루어 생각하면, 보름달물해파리를 채집하여 위장을 절개하고 고정한 순간의 위장 내용물에서 형태를 알아 볼 수 있는 것은 약 1시간 이내에 섭식한 것으로서 하루 동안 섭식하는 요각류의 개체 수는 더 많을 것이라고 생각된다.

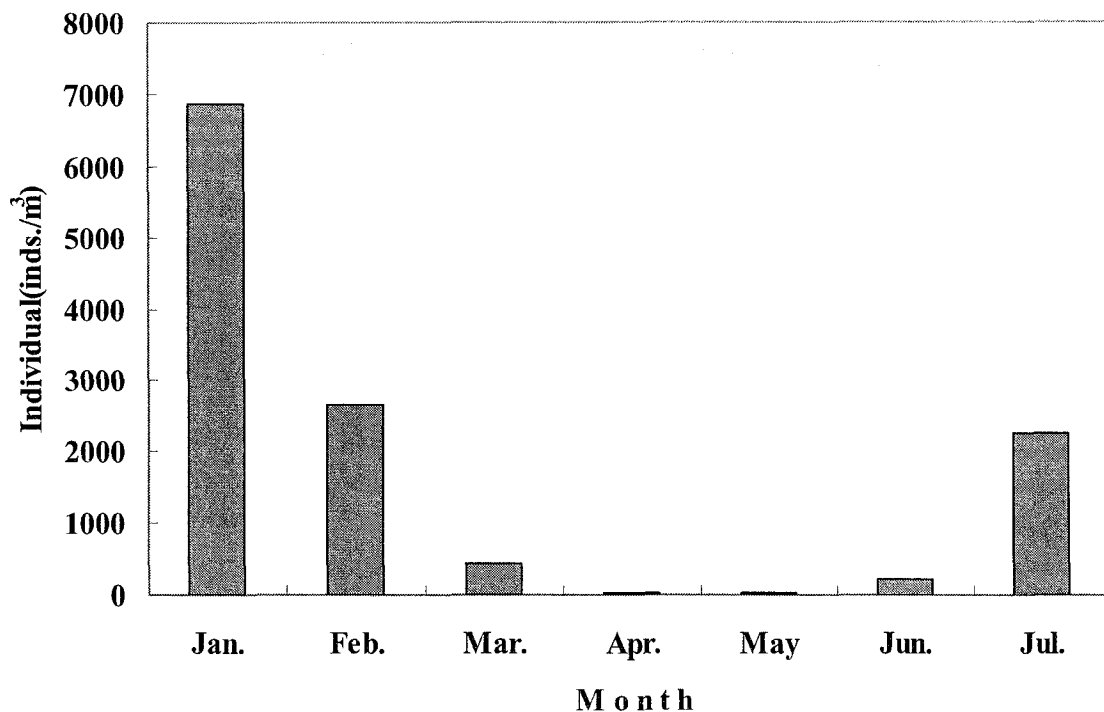


Fig. 3-2-16. Variations of Copepods abundance by netting in 2006.

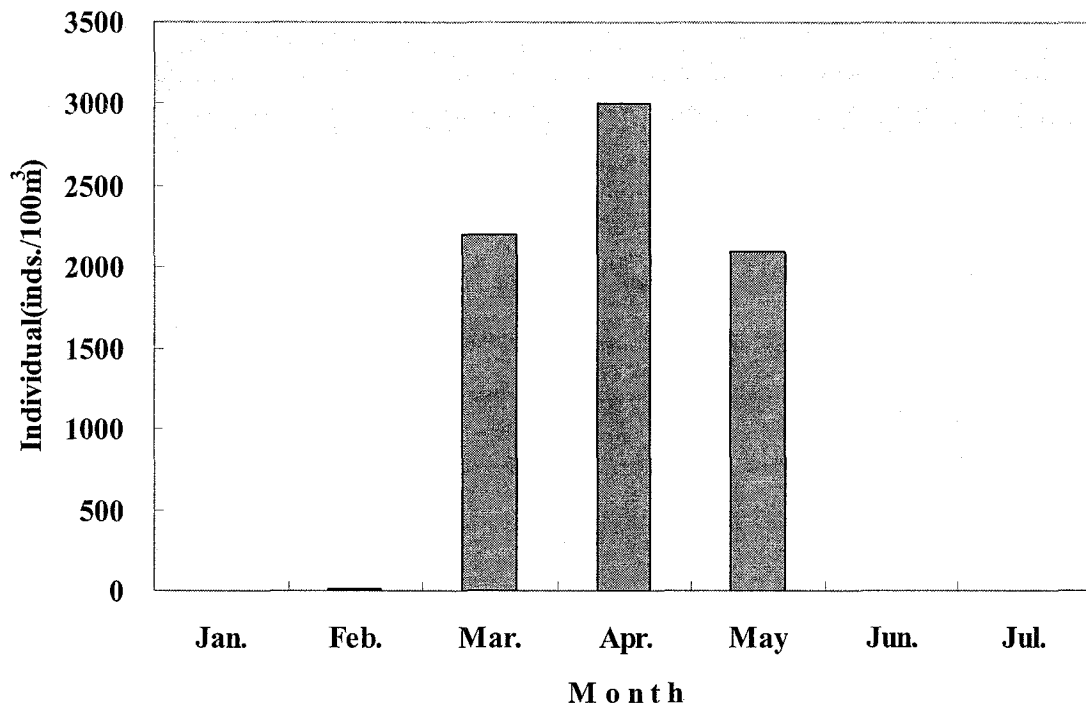


Fig. 3-2-17. Variations of *Aurelia aurita* abundance in 2006.

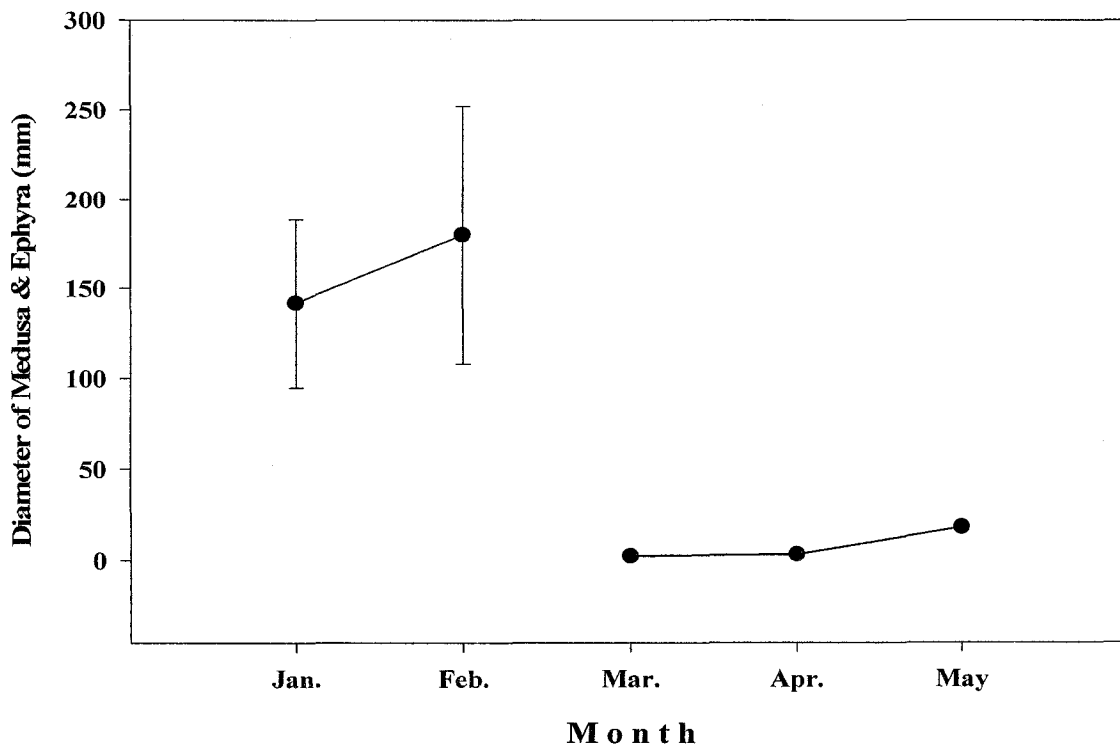



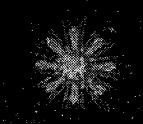



Fig. 3-2-18. Diameter of *Aurelia aurita* in 2006.

다. 현장에서 보름달물해파리의 생활단계

마산만지역에 서식하는 보름달물해파리는 대부분 1년생인 것으로 보인다. 해파리의 성체가 존재하는 약 6, 7월부터 2월까지 계속적인 수정으로 플라눌라 유생이 출현하고 있으며, 부착기질에 고착하여 변태과정을 통해 폴립이 나타난다. 폴립은 연중 존재하는 것으로 추측된다. 폴립에서 횡분체형성은 연중 수온의 일변화가 가장 심한 2월에서 4월 사이에 진행되며, 이와 비슷한 시기에 에피라가 출현하고, 에피라는 성장하여 medusa가 출현 한다 (표 3-2-3).

Table 3-2-3. Appearance time of life stage based on natural sampling data in Masan Bay.

생활단계	형태	월별기간	특징
1. Planula	유생 (larva)	7월 - 2월	부착기질탐색 
2. Scyphistoma	폴립	연중 (?)	무성생식 
3. Strobila	고착	2월 - 4월(?)	5~16개 판 / 무성생 
4. Ephyra	유영	2월 - 4월	얇은 판형태 
5. Medusa	유영	4월 - 2월	유성생식 

라. 마산만 보름달물해파리 폴립의 부착

마산만 조사정점에서 보름달물해파리의 플라눌라 유생이 고착·변태하여 폴립으로 발생하는 것을 관찰하기 위해 부착판 실험을 실시한 결과 2005년 7월 20일에 설치하여 7월 25일에 회수한 부착판은 저층의 아랫면에 1개 (ind./212.5cm²)의 폴립이 부착하였다 (Table 3-2-4). 7월 25일에 설치하여 8월 1일에 회수한 부착판에서는 보름달물해파리 폴립이 관찰되지 않았다. 그러나 8월 1일에 설치하여 16일에 회수한 부착판은 저층의 부착판 아랫면에서 평균 10개체의 폴립이 관찰되었다 (Fig. 3-2-19). 8월 16일에 설치하여 8월 29일에 회수한 부착판에서는 저층뿐만 아니라 중층과 상층의 부착판에서도 폴립이 관찰되었다. 그러나 저층의 아랫면에 평균 214개체가 발생하여 저층 윗면의 평균 3개체보다 많은 수가 발생하였다. 중층과 저층도 윗면보다는 아랫면에 많은 수의 폴립이 발생하였으며 상층보다 중층이 더 많은 폴립이 발생하였고 중층보다 저층에서 더 많은 수의 폴립이 발생하였다 (Fig. 3-2-20). 이는 7월보다 8월에 보름달물해파리 플라눌라 유생의 발생이 많아지면서 발생한 플라눌라 유생은 상층보다 저층에 더 많이 분포한다는 것을 나타낸다.

부착판에 발생하는 보름달물해파리 폴립의 수는 8월보다 9월에 더 증가하였으며 저층에서 더 많은 수의 폴립이 발생하는 경향이 지속되었다. 그러나 10월 25일에 설치하여 11월 15일에 회수한 부착판에서는 앞선 8월, 9월과는 다른 양상을 보였다. 11월 15일에 회수하여 관찰한 부착판은 상층, 중층, 하층 모두에서 다른 기간에 비해 가장 많은 수의 폴립이 발생하였다. 상층의 아랫면에서 발생한 폴립의 평균 개체수는 3,372, 중층의 아랫면에서 발생한 폴립의 평균 개체수는 2,584, 하층의 아랫면에서 발생한 폴립의 평균 개체수는 2,912 로서 하층 아랫면보다 상층 아랫면에서 더 많은 폴립이 발생하였다 (Fig. 3-2-21). 이후 11월 30일까지 상, 중, 하층 모두에서 폴립의 발생이 관찰되었다.

Table 3-2-4. Density of appeared polyyps on experimental adhesive plate of Masan Bay in 2005.

	1		2		3			
	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)		
2005.07.20- 07.25	50	0	20	0				
	165	0	140	0				
	287	1	275	0				
2005.07.25- 08.01	50	0	30	0				
	97	0	115	0				
	197	0	230	0				
2005.08.01- 08.16	282	0						
	30	0	30	0			35	0
	112	0	110	0			135	0
2005.08.16- 08.29	207	5	205	5	240	20		
	30	0	70	8	50	0		
	105	23	150	112	105	18		
	175	96	220	387	175	166		
2005.08.29- 09.14	250	513	305	1429	258	410		
	40	2	30	20	28	7		
	160	185	135	261	123	166		
2005.09.14- 10.03	250	1121	255	1401	238	624		
	50	1	30	6	30	12		
	170	204	170	349	170	323		
2005.10.03- 10.25	270	1026	300	1023	310	6096		
	20	41	20	67	20	60		
	115	42	90	151	120	197		
2005.10.25- 11.15	215	825	190	1476	195	1230		
	25	2664	20	2592	30	6096		
	135	1686	110	3126	130	3984		
2005.11.15- 11.30	235	1692	210	5360	235	3138		
	30	615	20	549	20	594		
	120	716	120	480	120	285		
	205	1533	210	1578	215	840		

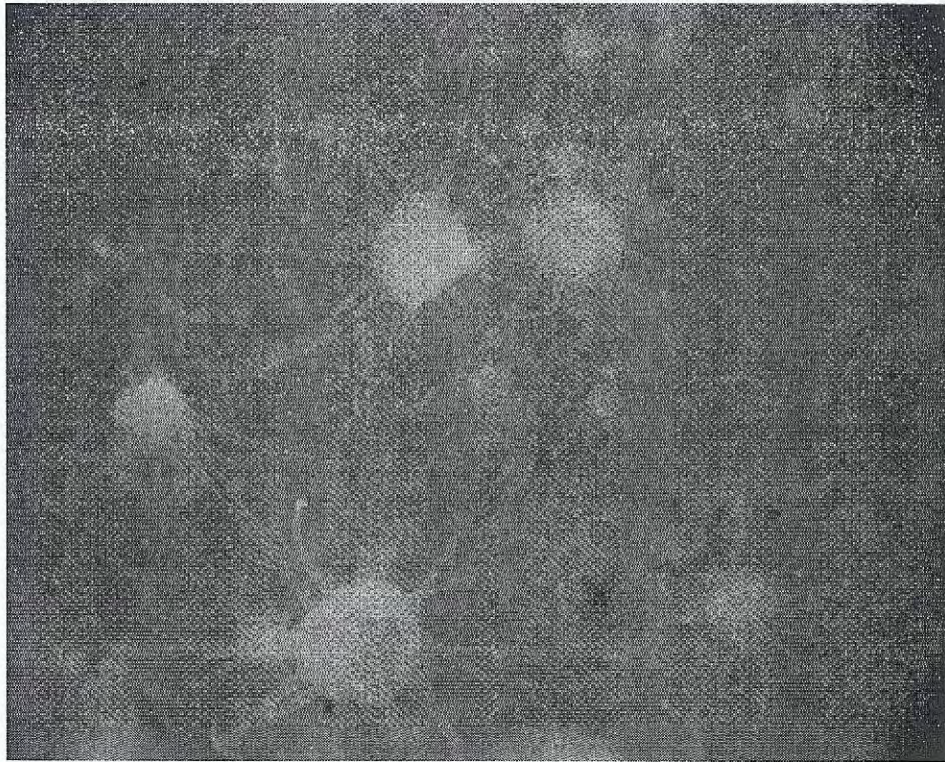


Fig. 3-2-19. Polyps of *Aurelia aurita* on adhesive plate.

2006년 1월부터 2월 중순까지 마산만에 설치된 부착판에서 폴립이 관찰되었다 (Table 3-2-5). 그러나 11월에 비해 아주 적은 수의 폴립이 관찰되었다. 1월 3일 설치하여 1월 15일에 회수한 부착판에서는 저층 아랫면에 평균 4개체, 1월 15일에 설치하여 2월 4일 회수한 부착판에서는 중층 아랫면에 평균 약 4개체, 2월 4일 설치하여 2월 14일 회수한 부착판에서는 저층 아랫면에 평균 약 1개체가 관찰되었다 (Fig. 3-2-21).

2월 14일 이후 4월 28일까지 부착판에서 폴립은 관찰되지 않았다. 그러나 4월 28일에 설치하여 5월 30일에 회수한 부착판에는 저층 윗면에서 평균 7개체의 폴립이 관찰되었으며 중층과 상층에서는 폴립이 관찰되지 않았다. 4월 28일부터 5월 30일의 기간은 보름달물해파리 성체는 대부분 사라지고 에피라가 해파리로 성장하는 시기로서 이 시기에 부착판에 폴립이 발생한 것은 이미 주변에서 자라고 있던 폴립의 무성생식에 의해 발생한 것으로 생각된다. 그러나 보름달물해파리 성체가 5월까지 마산만에 존재하며 플라눌라 유생을 방출하였을 가능성에 대해서도 지속적 관찰이 필요하다.

5월 30일에 설치한 부착판과 6월 20일에 설치하여 7월 14일에 회수한 부착판에서 폴립이 관찰되지 않았다. 7월 14일에 설치하여 8월 9일에 회수한 부착판에서는 저층 아랫면에 평균 6개체, 저층 윗면에 평균 4개체의 폴립을 발견하였다. 8월 9일에 설치한 부착판

은 4개월 후인 12월 5일에 회수하여 관찰하였다 (Fig. 3-2-22). 3개의 부착판에서 수심에 상관없이 윗면 보다 아랫면에서 더 많은 개체의 폴립이 관찰되었다.

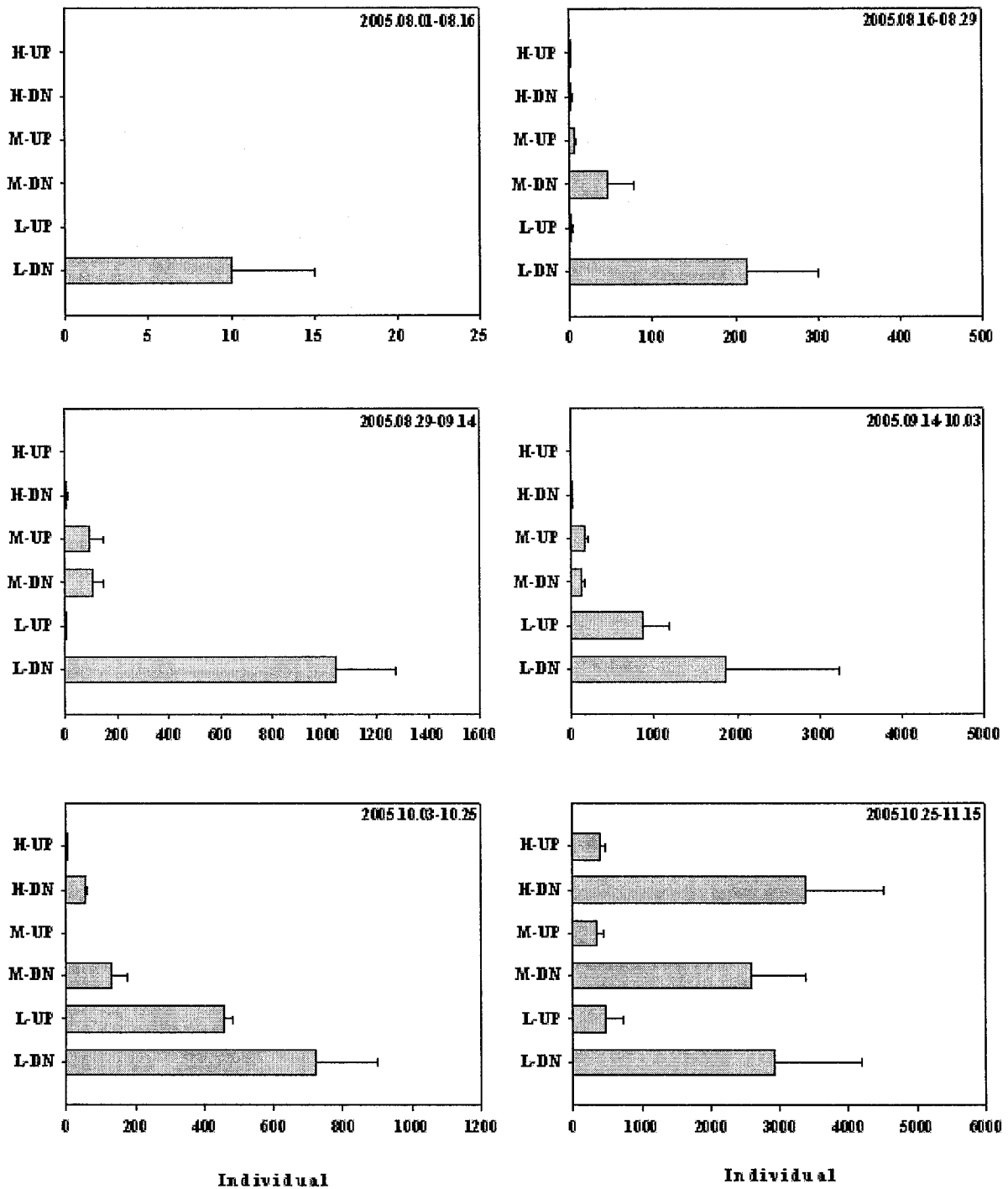


Fig. 3-2-20. Density of appeared polyps up and down faces of adhesive plate at different depths from August, 2005 to November, 2005.

(H-UP : Top-up, H-DN : Top-down, M-UP : Middle-up, M-DN : Middle-down, L-UP : Bottom-up, L-DN : Bottom-down)

Table 3-2-5. Density of appeared polyyps on experimental adhesive plate of Masan Bay in 2006.

	1		2		3	
	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)
2006.01.03- 01.15	20	0	20	0	10	0
	110	0	110	6	90	0
	195	6	185	9	170	0
2006.01.15- 02.04	80	1	95	1	76	0
	162	12	185	11		0
		0		0		0
2006.02.04- 02.14	20	0	30	0	20	0
	85	0	115	2	95	2
	175	0	198	2	175	3
2006.02.14- 03.09	20	0	25	0	50	0
	85	0	105	0	135	0
	175	0	170	0	220	0
2006.03.09- 03.30	25	0	30	0	30	0
	80	0	110	0	105	0
	160	0	195	0	190	0
2006.03.30- 04.28	40	0				
	110	0				
	185	0				
2006.04.28- 05.30	30	0	25	0		
	110	0	105	0		
	180	12	180	2		
2006.05.30- 06.20	40	0	5	0	30	0
	120	0	90	0	105	0
	200	0	180	0	190	0
2006.06.20- 07.14	50	0	30	0	40	0
	140	유실	110	0	115	0
	230	0	200	0	190	0
2006.07.14- 08.09	65	0	30	0	35	0
	140	0	105	0	110	0
	225	21	185	6	190	3
2006.08.09- 12.05	35	17	30	120	55	44
	110	33	120	48	135	17
	190	7	205	31	215	13
2006.12.05- 2007.01.09	55	0	45	15	18	27
	131	0	133	6	98	43
	221	24	208	18	183	155

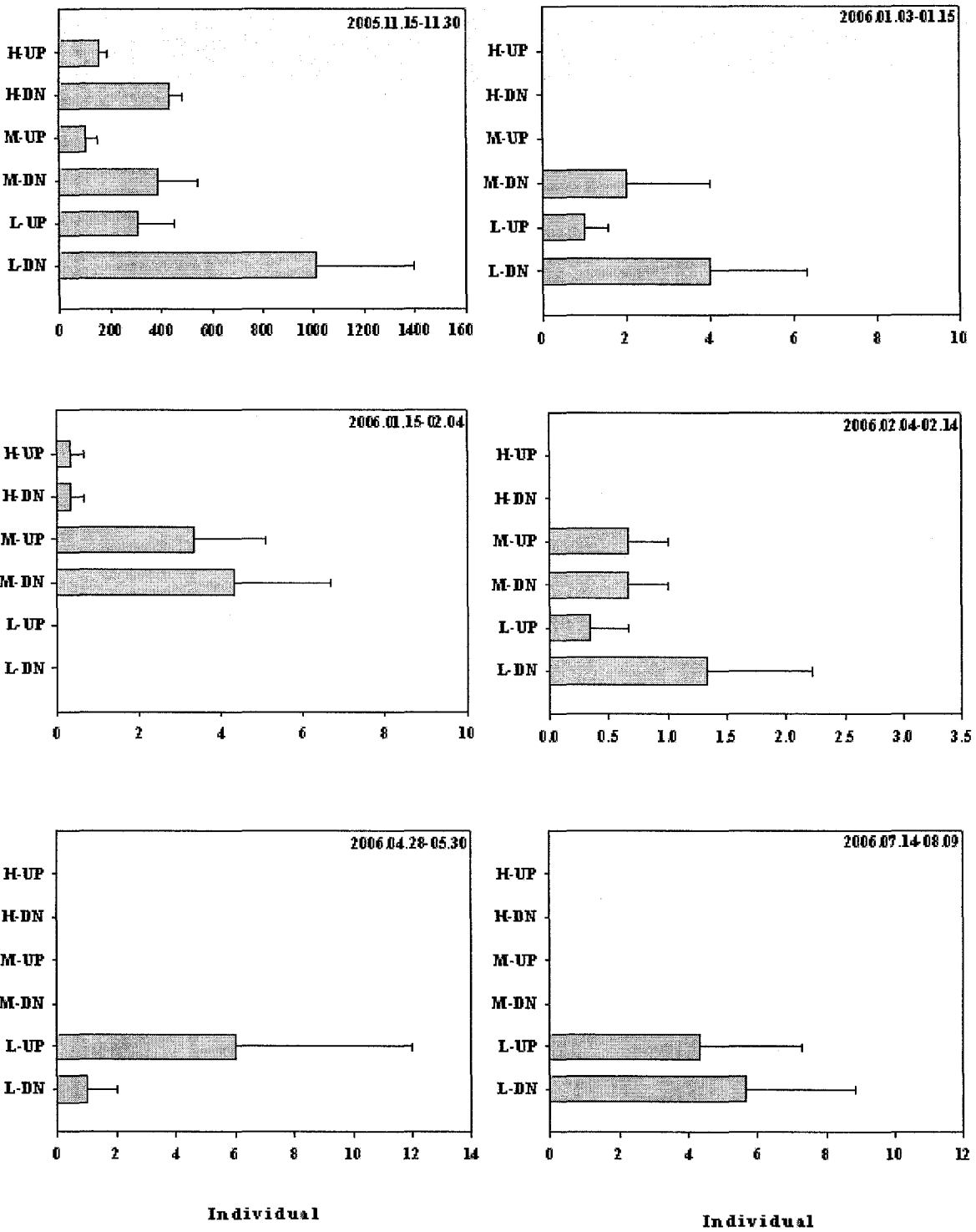


Fig. 3-2-21. Density of appeared polyps up and down faces of adhesive plate at different depths from November, 2005 to August, 2006.

(H-UP : Top-up, H-DN : Top-down, M-UP : Middle-up, M-DN : Middle-down, L-UP : Bottom-up, L-DN : Bottom-down)

2007년 1월 9일에 설치하여 2월 2일에 관찰한 부착판에서는 폴립이 관찰되었지만 2월 2일부터 7월 9일까지 설치되어 회수한 부착판들에서는 폴립이 관찰되지 않았다 (Table 3-2-6). 1월 9일에 설치하여 2월 2일에 관찰한 부착판 아랫면에는 폴립이 관찰되지 않았고 상층 윗면에 평균 약 5개체, 중층 윗면에 평균 3개체가 관찰되었다 (Fig. 3-2-22).

2월부터 6월까지 설치·회수하여 관찰한 부착판에서는 폴립이 관찰되지 않았다. 2월부터 6월까지의 보름달물해파리의 성체가 잘 관찰되지 않고 에피라 유생이나 성적으로 성숙하지 않은 해파리 단계 시기로서 2006년의 결과와 2007년의 결과가 거의 흡사한 경향을 보였다.

Table 3-2-6. Density of appeared polyps on experimental adhesive plate of Masan Bay in 2007.

	1		2		3	
	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)	수심 (cm)	부착폴립수 (inds./212.5cm ²)
2007.01.09- 02.02	50	2	45	6	55	6
	135	2	128	5	131	2
	120	0	214	0	211	0
2007.02.02- 03.02	60	0	60	0	62	0
	155	0	153	0	152	0
	247	0	248	0	247	0
2007.03.02- 04.13	34	0	28	0	38	0
	119	0	116	0	125	0
	206	0	208	0	215	0
2007.04.13- 06.12	47	0	38	0	36	0
	132	0	126	0	128	0
	222	0	229	0	217	0
2007.06.12- 07.09	55	0	50	0	56	0
	138	0	137	0	145	0
	227	0	227	0	243	0
2007.07.09- 08.10	55	4	50	2	60	1
	139	7	133	0	142	6
	225	41	222	32	232	27
2007.08.10- 09.06	40	0	40	0	20	0
	123	0	120	0	105	0
	205	0	200	0	185	0

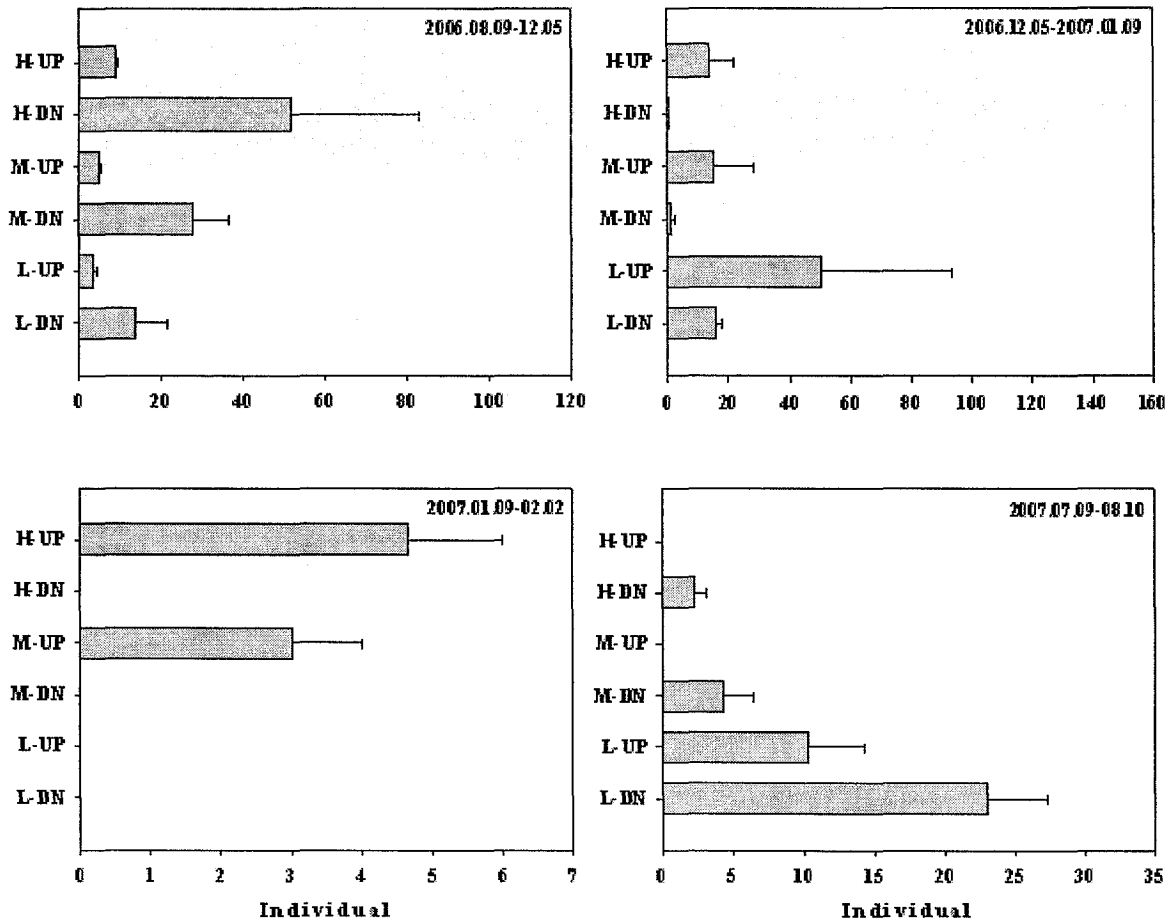


Fig. 3-2-22. Density of appeared polyps up and down faces of adhesive plate at different depths from August, 2006 to August, 2007.

(H-UP : Top-up, H-DN : Top-down, M-UP : Middle-up, M-DN : Middle-down, L-UP : Bottom-up, L-DN : Bottom-down)

마산만에 설치하였던 부착판 1개 (425cm)에 발생한 폴립의 평균 개체수를 알아보기 위하여 기간별로 수층에 관계없이 관찰 일을 기준으로 평균값을 계산하였다. 2005년 7월 25일에 부착판에서 폴립이 관찰되었고 8월 1일에는 폴립이 관찰되지 않았다. 8월 16일 폴립이 평균 3개체 발생하면서 폴립의 발생이 증가하기 시작하였다. 8월 29일 평균 90개체, 9월 14일 평균 420개체, 10월 3일에는 평균 1,004개체까지 증가하였다. 10월 25일에 관찰한 부착판에서 폴립의 개체수가 평균 454개체로 10월 3일보다 감소하였지만 여전히 많은 수의 폴립이 발견되었다. 특히 11월 15일에 관찰한 부착판에서 평균 3,370개체가 관찰되어 조사기간 중에서 가장 많은 폴립이 나타났다. 11월 30일에는 평균 799개체로 감소하였다 (Fig. 3-2-23).

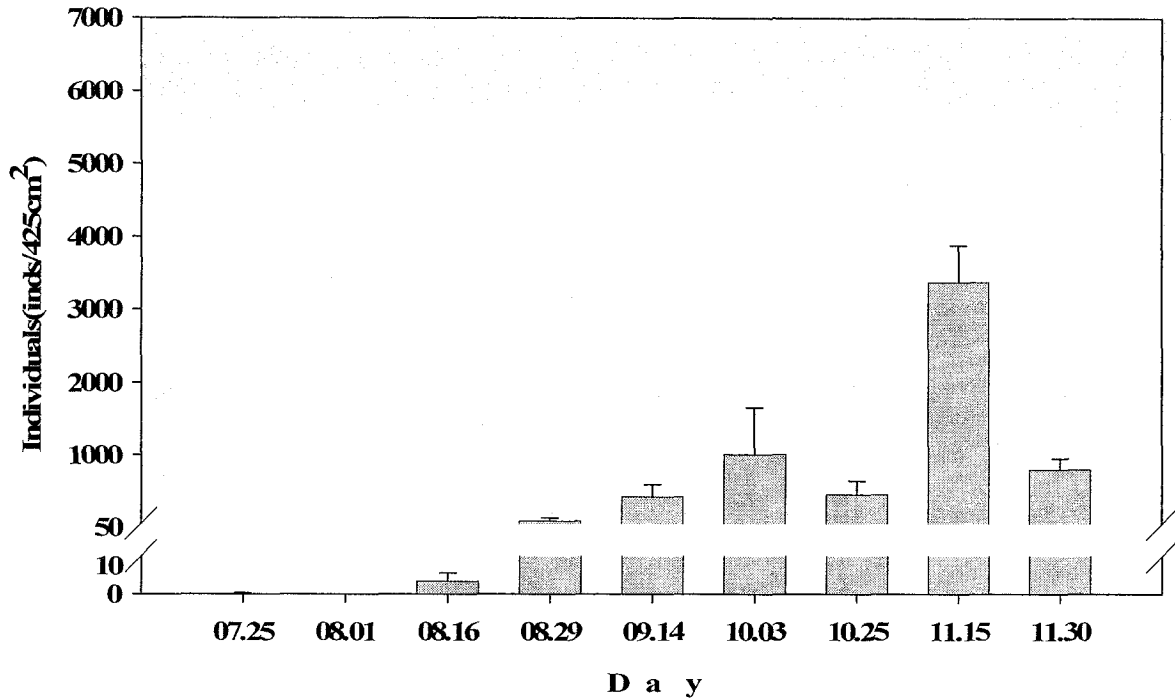


Fig. 3-2-23. Density of appeared polyyps of adhesive plate in 2005.

2006년 1월 15일에 관찰한 부착판에는 평균 2개체의 폴립이 나타났다 (Fig. 3-2-24). 이는 2005년 11월에 관찰된 폴립의 수에 비해 아주 적은 것으로 보름달물해파리 성체의 개체수가 줄었거나 유성생식에 의해 발생하는 플라눌라 유생의 수가 줄어든 것으로 사료된다. 2월 4일에 관찰한 부착판에는 평균 3개체의 폴립이 관찰되었고 2월 14일 평균 1개체의 폴립이 발생한 후 5월까지 부착판에 발생한 폴립은 없었다. 일반적으로 3월과 4월은 보름달물해파리의 에피라가 발생하는 시기로서 유성생식은 일어나지 않았을 것으로 예상된다. 그러나 5월 3일에 관찰한 부착판에서 평균 2개체의 폴립이 발생한 것은 특이한 사항이다. 이러한 결과는 4월 28일부터 5월 3일 사이에 보름달물해파리 성체가 성적으로 성숙하여 유성생식을 하였다고 볼 수도 있고, 반면 기존에 마산만에서 서식하고 있던 보름달물해파리 폴립에 의한 무성생식으로 부착판에서 폴립이 발생하였다고 생각할 수도 있다. 이에 대해 추가적으로 조사가 수행되어야 할 것이다. 6월과 7월에는 부착판에서 폴립을 관찰할 수 없었으나 8월 9일에 부착판에서 평균 3개체의 폴립이 관찰되었다. 8월 9일 설치하여 12월 5일 회수하여 관찰한 부착판에는 평균 약 37개체의 폴립이 관찰되었다.

2006년 12월 5일에 회수하여 관찰한 부착판의 폴립 개체수가 평균 약 37개체로 나타

난 것은 2005년 11월 15일에 관찰한 부착판에서 평균 3,370개체, 11월 30일에는 평균 799개체가 관찰된 것에 비하면 아주 적은 수의 폴립이 부착하고 있는 것이다. 이러한 원인은 여러 가지가 있을 수 있겠으나 4개월 동안 설치되어 있던 부착판에 폴립이 자랐을 때, 폴립을 죽이거나 먹이로 섭취하는 생물에 의해 폴립의 숫자가 감소한 것으로 생각 할 수 있다.

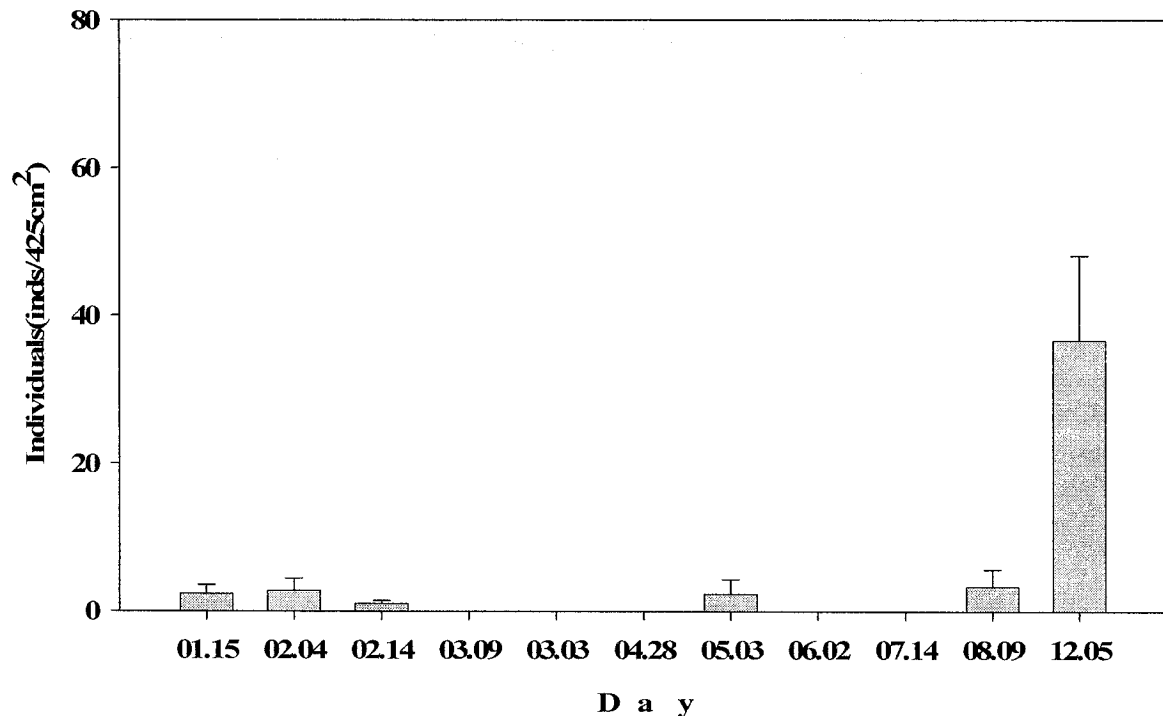


Fig. 3-2-24. Density of appeared polyps of adhesive plate in 2006.

2007년 1월 9일에 관찰한 부착판에는 평균 32개체의 폴립이 나타났다 (Fig. 3-2-25). 2월 2일에 관찰한 부착판에서는 평균 약 3개체의 폴립이 관찰되어 1월에 비해 10배 정도 감소하였다. 3월, 4월, 6월, 7월에 관찰한 부착판에서는 폴립이 관찰되지 않았다. 8월 10일에 관찰한 부착판에서 평균 약 13개체가 관찰 되었지만 9월 6일에 관찰한 부착판에서는 폴립이 관찰되지 않았다.

2005년 7월부터 2007년 9월까지 약 2년간 마산만에서 부착판을 이용한 보름달물해파리 폴립의 발생을 조사한 결과 1월과 2월에 적은 수의 폴립이 발생하고 7월까지 폴립 발생수의 변동은 크지 않다가 7 ~ 8월부터 저층에서 폴립의 발생이 증가하기 시작하는 것

으로 판단된다. 7 ~ 8월에 저층의 부착판 아랫면에서 발생하기 시작한 폴립은 9월, 10월이 되면서 발생 범위가 표층까지 확대되고 개체수도 증가하였다. 11월에는 전 수층에서 거의 비슷한 수의 폴립이 발생하였다. 또한 폴립의 발생이 대부분 부착판의 윗면보다는 아랫면에서 더 많은 개체가 발생하였다.

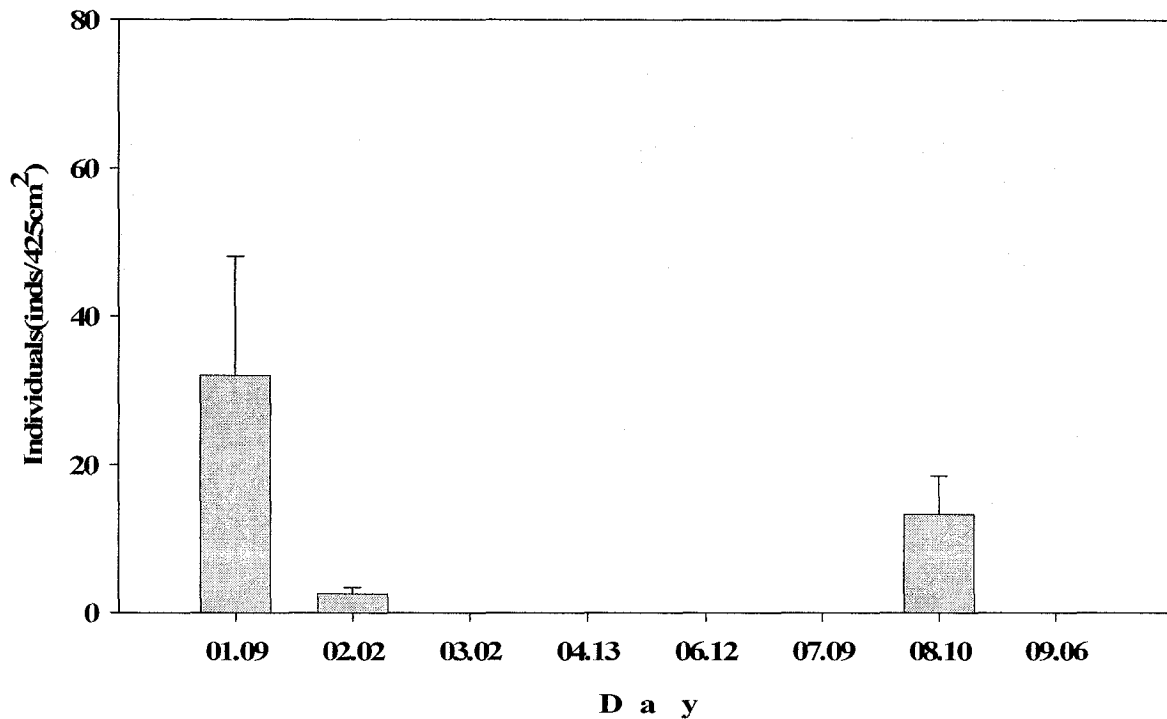


Fig. 3-2-25. Density of appeared polyps of adhesive plate in 2007.

마. 보름달물해파리 에피라 발생

마산만에서 2005년 10월 25일부터 11월 15일까지 설치하여 보름달물해파리 폴립이 발생한 부착판을 2006년 3월 11일에 관찰한 결과 황분체가 발생하였다 (Fig. 3-2-26). 황분체 발생율은 22.9% 정도였고, 11월 15일부터 11월 30일까지 설치하여 폴립이 발생한 부착판을 3월 21일에 관찰한 결과 45.5% 정도의 황분체 발생율을 보였다 (Fig. 3-2-27). 부착판을 3월 31일에 관찰했을 때 전체 폴립의 23% 정도가 황분체를 형성하였고 4월 10일에는 전체 폴립의 12% 정도가 황분체를 형성하였다. 이는 보름달물해파리가 3월 중순경에 가장 많은 황분체를 형성하는 것으로 예상할 수 있다.

황분체 발생을 조사했던 시기별로 황분체를 만든 폴립이 있는 부착판을 폐쇄생태계

(mesocosm)로 옮겨서 3일후에 에피라 유생의 발생을 관찰하였다. 실험결과 3월 11일에 가장 적은 평균 5개체, 3월 21일에 가장 많은 평균 152개체의 에피라가 발생하였다 (Fig. 3-2-28). 이는 폴립의 개체수보다 많은 수의 에피라 유생이 발생함을 보였다. 3월 31일은 폴립의 평균 개체수 16, 에피라 평균 개체수 14로 나타났고 4월 10일은 폴립 평균 34개체, 에피라 평균 9개체로서 에피라의 발생이 아주 적게 일어났다.

조사기간 동안 에피라 발생이 처음 관찰된 날 부터 부착판에 서식하는 폴립의 개체수와 폴립으로 부터 발생한 에피라 유생의 개체수를 누적하여 알아본 결과 3월 21일에 에피라 유생이 큰 폭으로 증가한 이후 4월 10일까지 소폭의 증가를 보였다 (Fig. 3-2-29). 이는 폴립의 개체수가 3월 21일 보다 4월 10에 큰 폭으로 증가한 것과 비교하면 4월 10일에 폴립으로부터 에피라의 발생이 거의 이루어 지지 않았다는 것을 나타낸다.

부착판을 남해연구소 연구어장에 설치한 2005년 11월 16일부터 2006년 4월 28일까지 연구어장에 설치되어 있는 CTD를 이용하여 수심 1 m의 수온과 염분을 측정 한 결과 실험 초기인 11월 16일 경 14 °C의 수온이 12월 15일 약 8°C, 2006년 1월 1일 약 6 °C, 2월 1일 약 6 °C, 3월 1일 약 7 °C, 4월 1일 약 10 °C로 변화하였다 (Fig. 3-2-30).

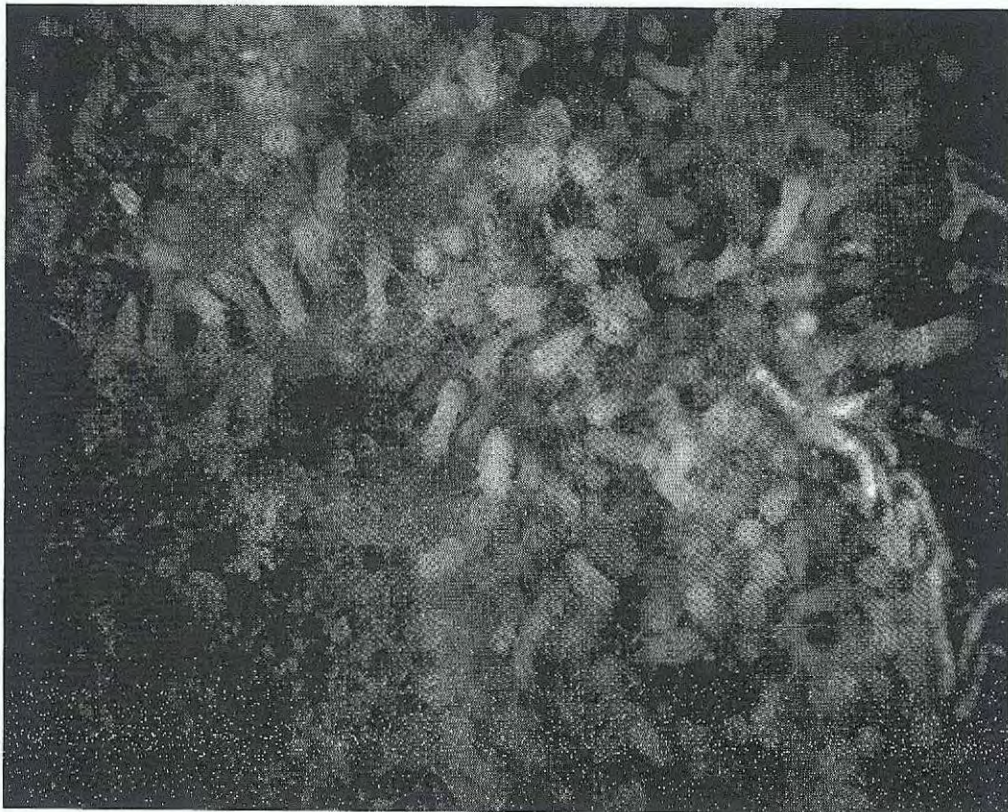


Fig. 3-2-26. Strobilation of *Aurelia aurita* polyps on adhesive plate.

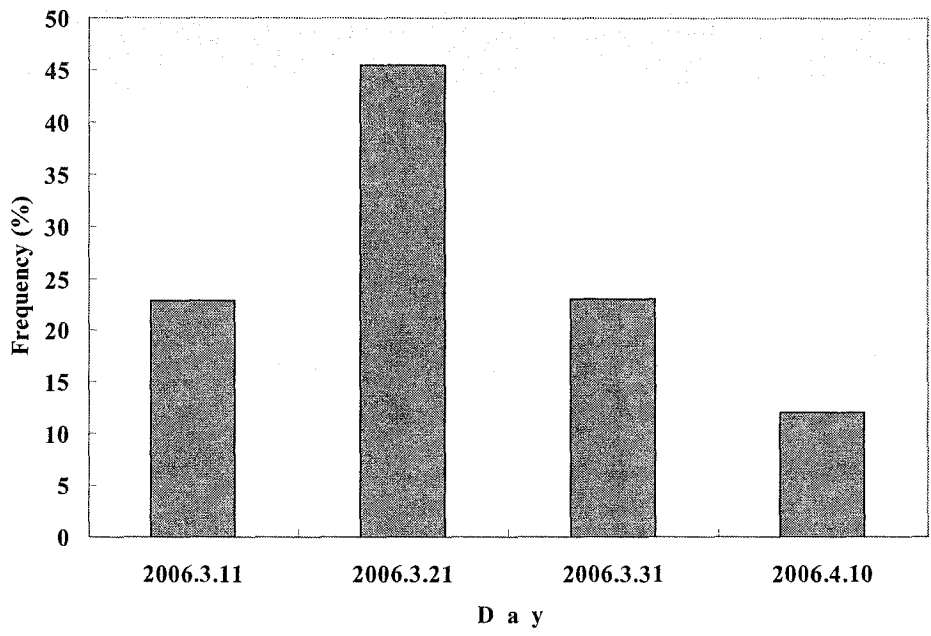


Fig. 3-2-27. The frequency of succession for the metamorphosis from polyps to strobila on *Aurelia aurita*.

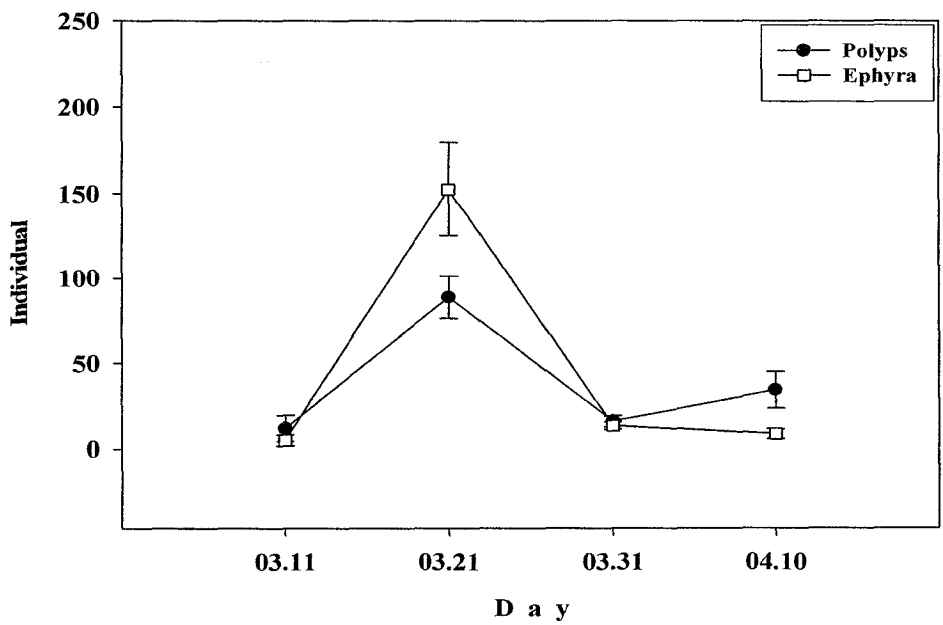


Fig. 3-2-28. Variation on *Aurelia aurita*'s polyps and ephyra in March and April, 2006.

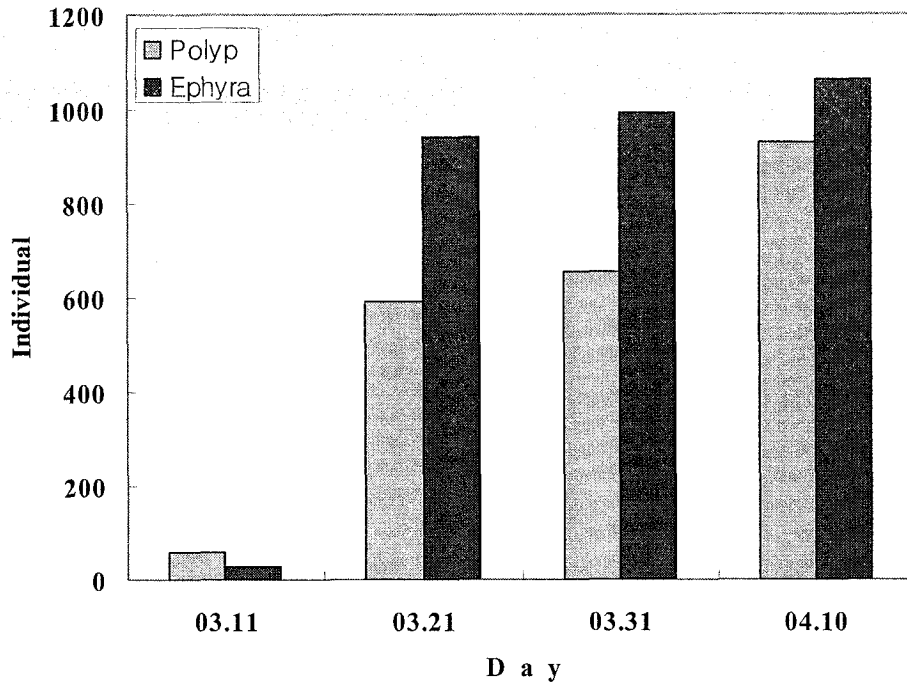


Fig. 3-2-29. Cumulation abundance for *Aurelia aurita*'s polyps and ephyra from 11, March, 2006.

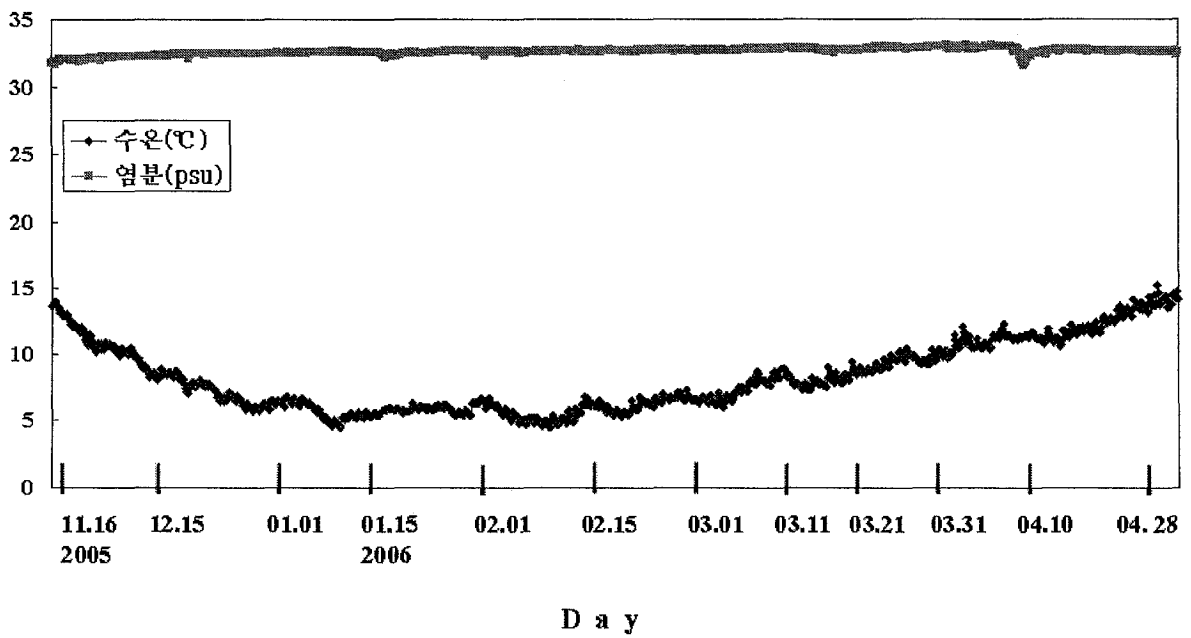


Fig. 3-2-30. Change of temperature and salinity in the pier (depth 1m).

바. 부착 기질에 따른 보름달물해파리 폴립 발생

마산만 연안의 수심 2m에 설치된 다양한 부착판 중에서 스티로폼 부이 옆면에서 가장 많은 수의 폴립이 발생한 반면, 6 well 윗면에서 가장 적었다 (Table 3-2-7). 부착판의 종류별로 폴립 발생은 비교적 큰 차이를 보였다. 특히 유리 조각 (Fig. 3-2-31), 스티로폼 부이 조각 (Fig. 3-2-32), 콘크리트 조각 (Fig. 3-2-33)에서 많은 수의 폴립이 발생하였다. 실험이 수행된 수심 2m에 폴립발생은 다른 수층에서 보다 비교적 높게 나타났다 (Table 3-2-7). 이는 부착판 6 well을 상층 (수심 20cm), 수심 1m, 2m에 설치한 결과 상층에서 폴립이 발생하지 않았고, 수심 1m에서는 윗면에 평균 8 개체/100cm², 아랫면에 평균 1 개체/100cm² 발생하였고, 수심 2m에서는 윗면에 평균 11 개체/100cm², 아랫면에 평균 57 개체/100cm² 발생하였다. 이와 같은 수심별 폴립발생 양상은 2005년 8월 부착실험 결과와도 비슷하였다. 수심 2m에 위치한 다양한 부착판들의 폴립발생 양상을 보면, 6 well 은 윗면에 11 개체/100cm², 아랫면에 57 개체/100cm²가 발생하였고, 자연 상태에서 흔히 볼 수 있는 굴 껍데기는 윗면 20, 아랫면 17 개체/100cm²로서 상대적으로 적은 수의 폴립 발생을 보였다. 자연석에서는 윗면 35, 아랫면 51 개체/100cm²의 폴립이 발생하였다. 이는 바줄에서 발생한 폴립의 개체수보다 높은 수치이지만 유리 조각의 윗면 64, 아랫면 224 개체/100cm² 보다 낮았다. 스티로폼 부이 조각은 윗면 28, 아랫면 245, 옆면 318 개체/100cm²의 폴립이 발생하였고, 콘크리트 조각은 윗면 52, 아랫면 49, 옆면 264 개체/100cm²의 폴립이 발생하였다.

본 실험에서 특히 유리 조각, 스티로폼 부이 조각, 콘크리트 조각에서 폴립발생이 다른 부착판들에 비해 비교적 높았다. 이는 연안에 길게 설치된 방파제와 양식 산업에서 많이 사용되는 스티로폼 부이가 해파리 폴립발생의 최적지임을 제시하는 것이다. 부착판의 윗면, 아랫면의 구분 없이 발생한 폴립의 개체수를 비교해 보면, 스티로폼 부이 조각에서 평균 197 개체/100cm²로 해파리의 플라눌라 유생이 가장 선호하는 것으로 나타났다 (Fig. 3-2-34). 스티로폼 부이 조각에 이어 두 번째로 많은 수의 폴립이 발생한 것은 유리 조각이고, 콘크리트 조각에서 평균 122 개체/100cm²로 세 번째로 많이 발생하였다. 반면 굴 껍데기에서 평균 19 개체/100cm²로 가장 적은 수의 폴립이 발생하였고 플라스틱 부이 조각과 자연석에서도 50 개체/100cm² 미만의 폴립이 발생하였다.

위의 결과에서 해파리 폴립발생은 자연에서 흔히 볼 수 있는 굴 껍데기와 자연석에서 비교적 적은 수를 보인 반면 인공적으로 만들어진 유리 조각, 스티로폼 부이 조각, 콘크리트 조각에서 많은 수를 보였다. 이는 최근의 해파리 bloom이 연안개발에 따른 넓은

인위적 서식지 확보와 밀접한 관계가 있을 것으로 사료된다.

Table 3-2-7. Density of appeared polyyps with various kinds and position of experimental adhesive plate.

구분	수심(cm)	부착판 종류	위 치	단위면적당 평균 개체수 (inds./100cm ²)
상부	20	6 well	윗면	0
			아랫면	0
중부	100	6 well	윗면	8
			아랫면	1
하부	200	6 well	윗면	11
			아랫면	57
		콘크리트 조각	윗면	52
			아랫면	49
			옆면	264
		스티로폼 부이 조각	윗면	28
			아랫면	245
			옆면	318
		FRP선박조각	윗면	44
			아랫면	72
		플라스틱 부이 조각	윗면	16
			아랫면	80
		밭줄	윗면	12
			아랫면	48
		유리 조각	윗면	64
			아랫면	224
		굴 껍데기	윗면	20
			아랫면	17
		자연석(돌맹이)	윗면	35
			아랫면	51

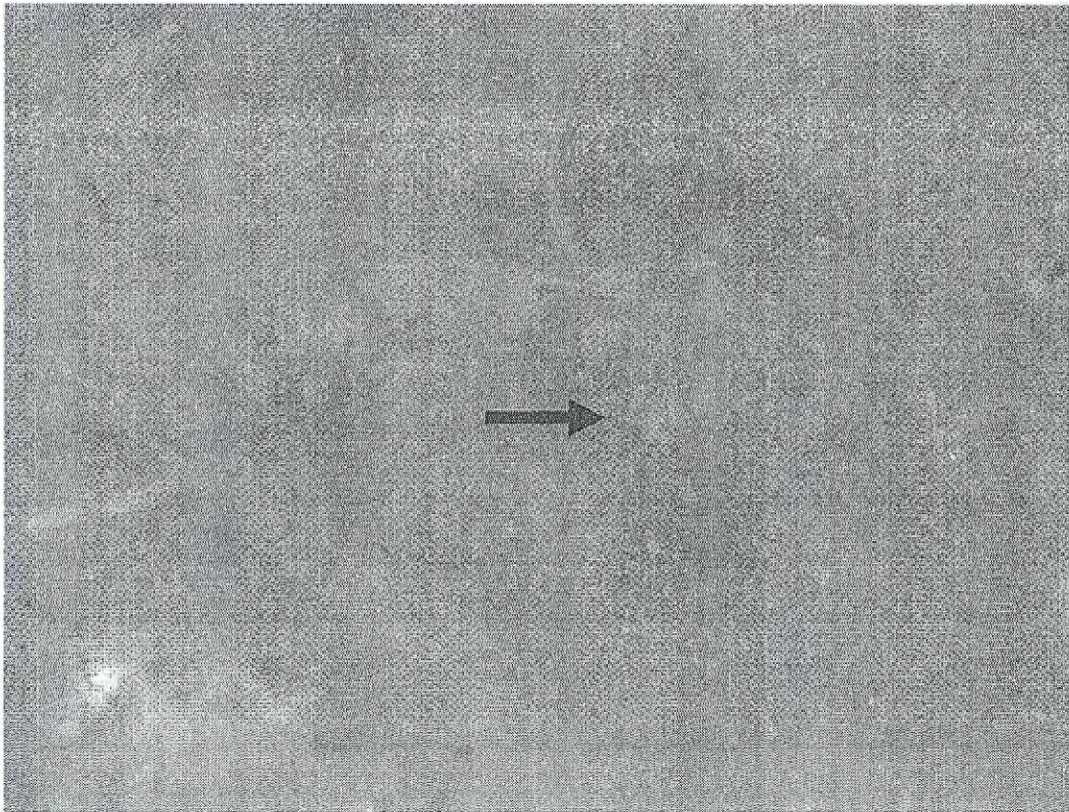


Fig. 3-2-31. Polyps of *Aurelia aurita* on glass adhesive plate.



Fig. 3-2-32. Polyps of *Aurelia aurita* on styrofoam adhesive plate.

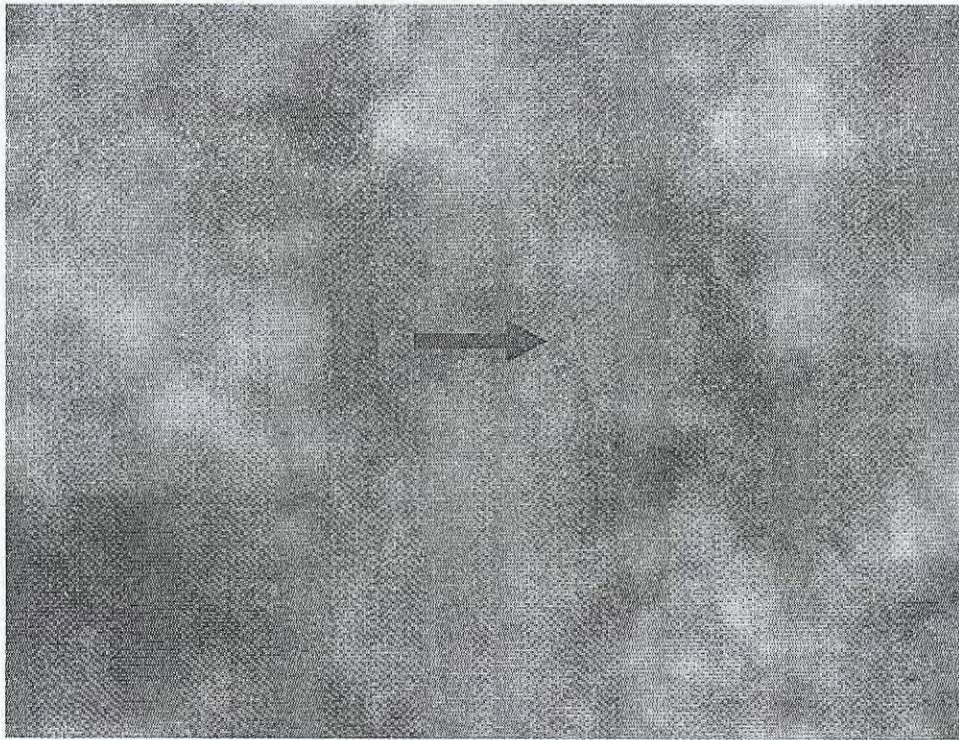


Fig. 3-2-33. Polyps of *Aurelia aurita* on concrete adhesive plate.

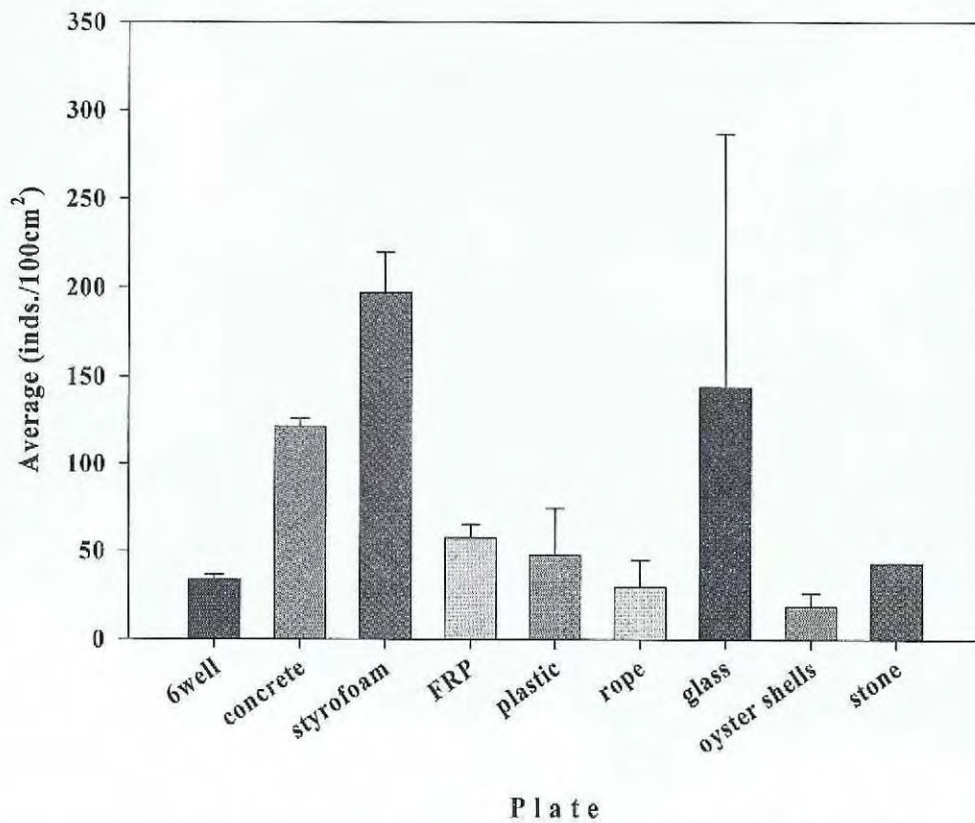


Fig. 3-2-34. Polyp abundance of *Aurelia aurita* per a unit area with various adhesive plate.

제 3 절 해파리의 일 변동 및 부유 생태계

1. 재료 및 방법

부유생태계 중에서 상위 포식자에 속하는 중형플랑크톤인 해파리의 동태를 시간의 변화에 따른 25시간 관측을 실시하였으며, 이를 위해 일반적 환경요소 및 영양염과 엽록소-a, 식물플랑크톤, 중형동물플랑크톤의 시·공간적인 분포 양상을 파악하였다. 조사 시기는 2007년 5월 2일 11:00 (T1)부터 14:00 (T2), 17:00 (T3), 20:00 (T4), 23:00 (T5), 5월 3일 02:00 (T6), 05:00 (T7), 08:00 (T8), 11:00 (T9) 까지 3시간 간격으로 두 개의 조사정점 (Fig. 3-3-1)에서 9회 조사하였다.

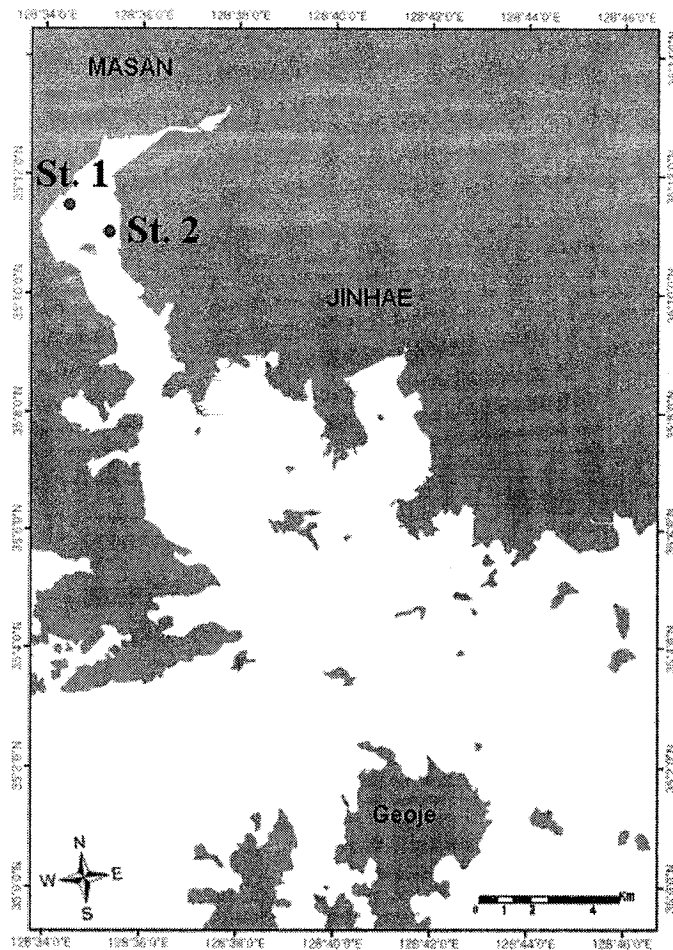


Fig. 3-3-1. Sampling location of mooring station in Masan Bay.

가. 수온, 염분 및 용존 산소

정점 1에서 수온 및 염분의 현장 관측은 Ocean Seven 319 CTD (IDRONAUT Inc, Italy)을 이용하여 측정하였다. 용존 산소의 관측은 YSI DO meter (Model 58)를 이용하여 측정하였다. 정점 2에서는 YSI 6600 CTD을 이용하여 수온, 염분 및 용존 산소를 측정하였다.

나. 영양염

영양염의 시료 채취는 현장에서 Watman GF/F 여과지로 거른 다음 시료의 일정량을 채취하여 50ml의 플라스틱 vial에 넣어 냉동 보관하였다. 영양염류는 발색법 (Parsons *et al*, 1984)으로 시료를 발색시켜 발색 강도를 측정하였다. 발색된 강도는 자동 영양염 분석기인 FIA (Flow Injection Analyzer, Quickchem 8000, LACHAT Co.)로 분석하였다.

1) 규산염

해수 시료 중의 규산염은 일차적으로 산성의 몰리브덴산암모늄 (Ammonium molybdate solution)을 가하여 노란색의 몰리브덴산 규산화합물을 만든 후 이차적으로 옥살산 (Oxalic acid solution)과 스테이노우스 클로라이드 환원시약 (Stannous chloride reducing solution)에 의해서 발색된 시료를 820nm 필터로 측정하였다.

2) 인산염

해수 시료중의 인산염을 산성의 몰리브덴산과 안티 모니가 첨가된 시약 (Molybdate color reagent)으로 일차적으로 반응 시킨 후 아스코르빈산 (Ascorbic acid)으로 환원 시켜 나타난 푸른색의 용액을 880nm 필터로 측정하였다.

3) 암모니아성 질소

해수 시료중의 암모니아성 질소는 염기성인 차아염소산용액 (Sodium hypochlorite) 과 산화 반응하여 모노클로라민을 생성한 후 페놀 (Phenol)과 촉매인 니트로프로시드

(Sodium nitroprusside)를 가해 푸른색의 인도 페놀을 생성시킨다. 이를 안정시키기 위해 실온에서 두 시간 방치한 후 자동분석기 (autoanalyzer)에서 최대 흡수 파장인 640nm에서 흡광도를 측정하였다.

4) 질산성 질소 및 아질산성 질소

해수 시료 중의 질산성 질소 및 아질산성 질소를 분석하기 위하여 시료를 카드뮴 관을 통과 시켜 질산성 질소를 아질산성 질소로 환원시켰다. 이 환원된 시료는 일차적으로 슬퍼니아미드 (Sulfanilamide)와 반응하여 디아조늄 이온을 형성한 후 이차적으로 염화나폴틸에틸렌디아민 용액 ($C_{12}H_{14}N_2 \cdot 2HCl$)과 반응시켜 분홍색 용액으로 만들어 520nm 필터로 측정하였다.

다. 엽록소 -a

식물플랑크톤 세포)의 크기는 환경 변화에 따른 식물플랑크톤 군집의 반응 민감도와 수 생태계 먹이사슬에 대한 영향을 결정하기 때문에, 해양 생태계에서 1차 생산을 담당하는 식물플랑크톤의 동역학 (dynamics)을 보다 자세히 이해하기 위해서 크기 구조에 따라 식물플랑크톤이 분포 특성을 파악하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 식물플랑크톤을 3개의 크기로 분류하여 분석하였다 (net-size ($>20\mu m$), nano-size ($<20\mu m$), pico-size ($<3\mu m$)). 전체 엽록소-a는 채수된 해수시료 500ml를 유리 섬유 여과지 (GF/F filter, 직경 25mm, Whatman, pore size $0.7\mu m$)로 여과하였다. 사용된 여과지들을 엽록소 추출용액인 90% 아세톤 10ml이 들어있는 용기에 넣은 후 24시간 동안 암소에서 보관하였다. 추출된 용액 중에 섞여 있는 입자를 제거하기 위해 원심분리 시킨 후 상등액만을 취하여 형광측정기 (Turner Designs 10-AU Fluorometer)를 이용하여 측정하였다. 크기별 엽록소-a를 측정하기 위해서 $20\mu m$ Nytex mash, $3.0\mu m$ (ISOPORE™ MEMBRANE FILTERS) 여과지를 이용해서 채수된 해수 시료 적당량을 핸드 펌프 ($<60mmHg$)를 사용해서 여과한 직후 형광측정기를 이용하여 해수 중 형광값 (FSU : Fluorescence Unit)을 측정하였다. 이 형광값은 아세톤 추출법에 의해 측정되어진 전체 엽록소 a 값과의 비를 통해서 크기별 엽록소 a 로 환산하였다.

라. 미세조류 종조성 및 현존량의 변화

24시간 동안 마산만의 미세조류 현존량 및 우점종 조사를 위해 마산 어시장 앞 (정점 1)과 건너편 (정점 2) 2개 정점에서 2007년 5월 2일 오전 11:00부터 5월 3일 오전 11:00 까지 채수하였다. 조사기간 동안 매 3시간마다 총 9회 해수를 채수하였고 500ml 폴리에틸렌 병에 담아 0.5 % Lugol's Iodine solution (Willén, 1976) 용액으로 고정하였다. 정량시료는 격막펌프를 이용하여 표층과 저층에서 채수하였고 정성조사를 위한 시료는 20 μ m 식물플랑크톤ネットで 저층부터 표층까지 끌어올려 채취 하였다. 정량분석을 위한 시료내의 미세조류를 하루 이상 침전시켜 상등액을 걷어내고 약 50ml로 농축하였으며 다시 한 번 하루 이상 침전시켜 최종적으로 약 20ml로 시료를 농축한 뒤 광산화 방지를 위해 냉암소에 보관하였다. 식물플랑크톤의 정량분석을 위해 최종시료에서 0.1 ~ 0.2ml를 뽑아 Sedgwick-Rafter counting chamber에 분산시킨 뒤 광학현미경으로 ($\times 200$) 계수하였다 (Sournia, 1978). 정성분석은 400 또는 1000 배율에서 이루어졌고 참고문헌을 이용하였다 (심, 1994; Cupp, 1943; Dodge, 1982; Tomas, 1997).

마. 조석주기에 따른 중형동물플랑크톤의 출현량 변화

조석 주기에 따른 중형동물플랑크톤의 변화양상을 조사하기 위하여 마산만의 정점 1과 2에서 2007년 5월 2일 오전 11시부터 5월 3일 11시까지 3시간 간격으로 9회에 걸쳐 원추형 넷 (구경 60cm, 망목 200 μ m)로 수직 채집하였다. 채집된 동물플랑크톤을 현장에서 5% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 정량분석을 위하여 넷에 설치한 유속계 (Hydro-Bios Kiel 438115)를 부착하여 여과 해수량을 측정하였다. 채집된 시료는 우점종 개체수가 100개체 이상 계수될 정도의 시료를 취하여 Bogorove 계수판에 놓고 해부현미경 (Stemi SV11 ZEISS Co.)과 광학현미경 (Axioskop ZEISS Co.) 하에서 동정 및 계수하여 단위체적 당 개체수 (inds./m³)로 환산하였다. 종 다양성을 비교 분석하기 위하여 Shannon and Weaver (1963)의 종 다양성지수 (H')를 구하였다.

바. 해파리의 출현량 변화

2007년 5월 2일 11:00부터 5월 3일 11:00까지 3시간마다 정점 1과 2에서 해파리를 채집하였다. 해파리는 90cm \times 50cm, 망목 5mm의 트롤을 이용하여 표층과 저층으로 나누어 채집했다. 저층의 해파리 채집을 위하여 트롤을 바닥까지 내린 상태에서 배를 3노트의 속도

로 3분 예인하여 채집했다. 표층의 해파리는 수심의 절반까지 트롤을 내린 상태에서 배를 3노트의 속도로 3분 예인하여 채집 했다. 채집된 해파리는 개체수를 세고 직경을 측정하였다.

2. 연구 결과

가. 수온, 염분 및 용존 산소

정점 1에서 시간에 따른 수온의 변화 범위는 14.4 ~ 17.1°C (평균 15.5°C)을 나타내었고, 염분은 30.9 ~ 32.7 psu (평균 32.2 psu)를 보였다 (Fig. 3-3-2). 수온의 경우, 오전 11시에 (T1, T9)에서 가장 낮은 표층 온도를 나타내었고, 오후 시간인 T2 (14:00) ~ T3 (17:00)에 높은 수온을 나타내었다. 염분의 경우는 오전 11시 (T1, T9)에서 표층이 가장 높은 염분을 나타내었고, 새벽 02:00 (T6)부터 05:00 (T7)까지 낮은 염분을 나타내었다. 정점 1은 마산 어시장과 가까운 정점으로서 마산 지역의 생활 하천인 교방천과 척산천이 인근에 위치하고 있다. 양 (1994)의 연구에 따르면 하천 유량의 시간별 변화에서 오전 오후 10시 경에 가장 많은 유량을 보인다고 하였다. 본 조사는 11:00 (T1)의 경우 오히려 낮은 수온과 높은 염분 값을 보여, 생활하천수의 유량에는 조사 정점이 크게 영향을 받지 않은 것으로 보인다. 조사 시기의 조석을 보면 새벽 03:00분경 (T6), 오후 14:30분경 (T2)에 간조의 시기였으며, 만조 시기는 오전 08:35분경 (T1, T9), 저녁 21:02 (T4)분경으로 나타났다. 이는 조사 시기에 표층에서 염분의 최고치와 최저치가 조석의 주기와 일치하는 것으로 보여 조석에 영향이 담수의 유입의 영향보다 큰 것으로 사료된다. 이는 조사 시기인 5월초는 강우의 유입이 없어 하천의 유량이 적었던 것이 원인으로 판단된다. 그러나 정점 1에서의 염분 변화가 30.9 ~ 32.1 psu를 나타내어, 정점 2 (31.98 ~ 32.4 psu)보다 변화의 폭이 큰 것으로 보아 하천의 유량과의 상관성은 낮지만, 하천수의 직·간접적인 영향을 받는 것으로 판단된다. 저층에서의 염분의 변화의 폭은 적어 해수의 영향권에 있음을 보여주었다. 수온의 경우 오전 11시경이 오히려 새벽 시간 때보다 낮은 수온을 나타내었다.

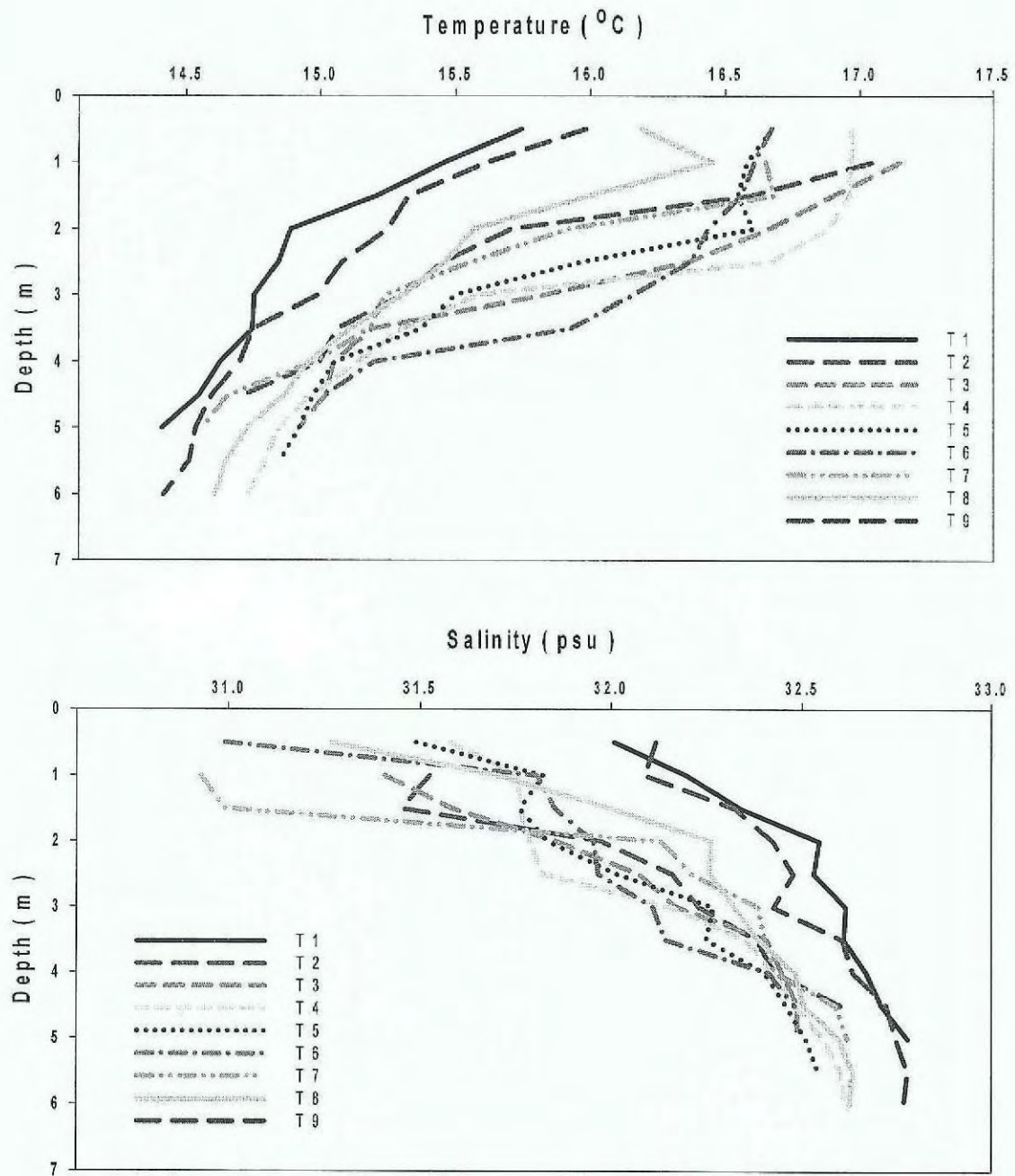


Fig. 3-3-2. Depth profile of temperature and salinity on the mooring for 25 hours in the station 1.

정점 2의 시간에 따른 수온의 변화 범위는 13.9 ~ 17.5°C (평균 15°C)를 나타내었고, 염분은 32 ~ 33.3 psu (평균 32.8 psu)를 보였다 (Fig. 3-3-3). 수온의 경우 오전 11시에 (T1)에서 가장 낮았고, 정점 1과는 달리 새벽시간의 표층 온도가 낮게 조사되었다. 오후 시간인 T3 (17:00)에 가장 높은 온도를 보였으며, 정점 1과는 달리 T9 (오전 11:00)에도 높은 온도를 나타내었다. 염분의 경우는 T3 (17:00)에 가장 낮은 농도를 보였으며, 저녁 23시 (T5)에서 가장 높은 표층 염분 값을 보였다. 그러나 표층 염분은 작은 변동 폭 (31.98 ~ 32.4 psu)을 나타내어 담수의 영향은 거의 받지 않는 곳으로 판단되며, 조석 주기와 잘 일치하고 있다.

마산만 내만 지역은 여름철부터 저산소층 (3 mg l^{-1} 이하)이 형성되는 지역이다 (한국 해양연구원, 2006). 본 조사 시기는 5월 초라 저층에서 이러한 현상을 나타내지는 않았지만, 저층의 용존산소의 뚜렷한 감소 현상이 나타났다. 정점 1은 표층에서의 변화는 7.85 ~ 11.47 mg l^{-1} (평균 9.47 mg l^{-1})로 나타났으며, 저층은 4.28 ~ 6.51 mg l^{-1} (평균 5.20mg l^{-1})의 값의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-4). 표층에서는 T1에서 가장 낮은 값을 나타내었고, T3에서 가장 높은 값을 나타내었다. 저층에서는 T1에서 가장 낮은 값과 T2에서 가장 높은 값을 보였다. 표층에서의 용존 산소는 식물플랑크톤의 성장과 높은 상관성을 가지고 있는데, 이는 식물플랑크톤이 광합성을 할 때 산소를 만들기 때문이다. 또한 식물플랑크톤의 성장 요인 중 수온과 빛의 조건이 좋은 시기에 성장이 활발하게 일어나기 때문에 주로 낮 시간 때에 성장이 활발하고, 이로 인해 용존산소의 농도도 높아진다. 정점 1의 경우도 낮 시간 때의 용존 산소의 농도가 다른 시기보다 높게 나타나는 경향을 보인다.

정점 2의 표층 변화는 8.68 ~ 10.09 mg l^{-1} (평균 9.45 mg l^{-1})로 나타났으며, 저층은 4.19 ~ 5.07 mg l^{-1} (평균 4.66 mg l^{-1})의 값의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-4). 표층 평균값은 정점 1과 2가 거의 유사하게 나타났지만, 최고치는 정점 1에서 나타내어 식물플랑크톤의 성장 조건이 더 좋은 것으로 판단된다. 저층에서의 평균 농도는 정점 2에서 더 낮은 값을 보이는데, 이는 정점 2의 수심 (10m)이 정점 1 (5m)보다 깊기 때문에 수층혼합이 잘 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

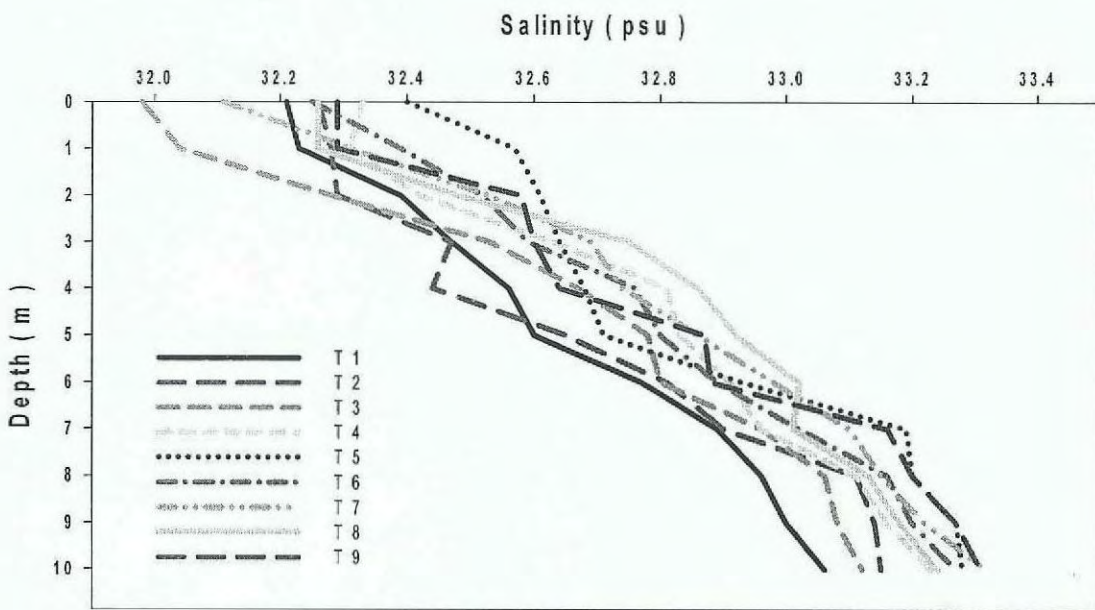
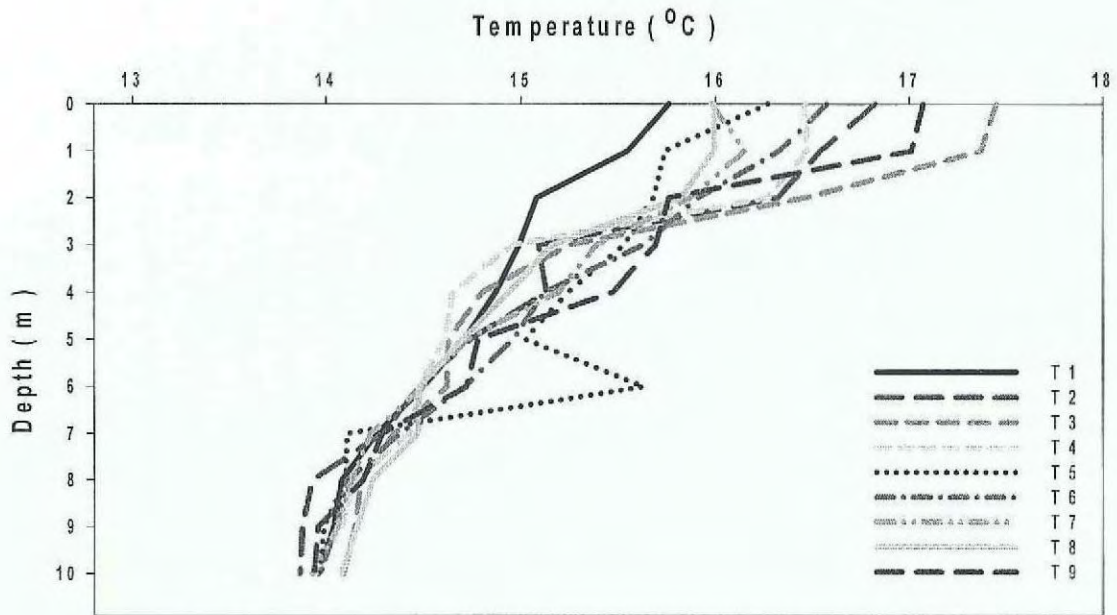


Fig. 3-3-3. Depth profile of temperature and salinity on the mooring for 25 hours in the station 2.

Dissoved Oxygen

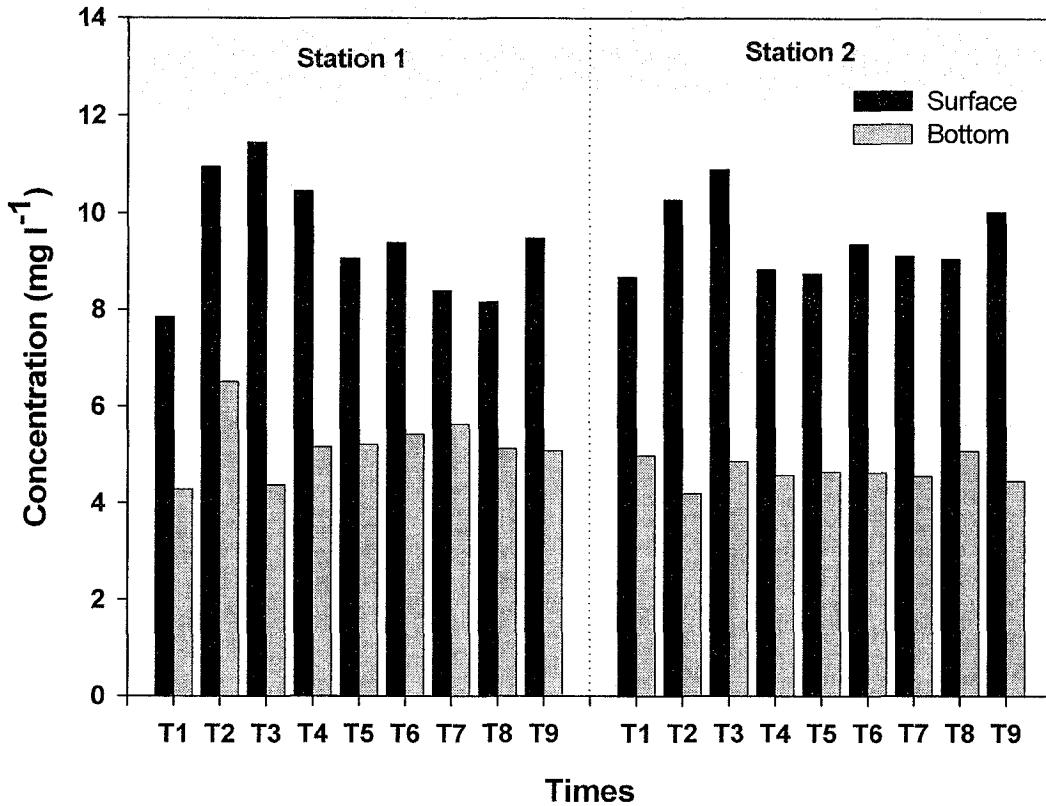


Fig. 3-3-4. Mooring data about the concentration of dissolved oxygen of the station 1 and 2 at surface and bottom.

나. 영양염

1) 규산염

정점 1에서 규산염은 표층에서 12.8 ~ 35.5 μ M (평균 28.3 μ M), 저층에서는 23.4 ~ 35.9 μ M (평균 29.3 μ M)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-5a). 표층과 저층에서의 평균 농도의 차이는 없지만 표층에서 변화의 폭이 크게 나타났다. 이는 표층 부근에서 식물플랑크톤의 성장이 활발하기 때문에 식물플랑크톤의 성장에 이용되어진 것으로 판단된다. 또한 앞에서도 언급한 것과 마찬가지로 정점 1의 위치가 생활하천의 영향을 받는 곳이기 때문에 하천에서의 유입가능성이 있다. T2 (14:00)에서 높은 농도를 보였다가 T4에서 급속히 감소하고 다시 증가하는 경향을 보인다. 이는 T2의 시기가 간조이기 때문에 담수의 영향을 받은 것으로 추정할 수 있으며, 농도가 가장 낮은 시기인 T4는 대조기이기 때문

에 해수의 영향으로 보인다. 그러나 새벽 시간부터는 조석의 차이가 있더라도 값의 변화가 크게 나타나지 않은 반면, 낮 시간은 조석 차이에 의해서 변화의 폭이 크게 나타났다. 이는 수층의 영양염 공급이 단순히 담수의 유입에 의해서 발생하지 않은 것으로 판단된다. 저층에서의 농도를 보면 꾸준히 높은 값을 나타내고 있어 저층에서의 재 영양염화도 수층에 영양염을 공급하는 한 요소로 판단된다. 낮 시간동안의 대조기라서 영양염이 감소했다기보다는 식물플랑크톤의 증가에 따른 감소로 판단되어진다.

정점 2에서의 농도변화는 표층에서 8.69 ~ 25.7 μ M (평균 20.8 μ M), 저층에서는 18.2 ~ 27.1 μ M (평균 23.1 μ M)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-5a). 정점 2는 정점 1과 달리 표층에서 규산염의 농도 변화가 T2와 T7일 때 낮은 농도를 나타내었다. 다른 시기에서도 적은 농도의 증감이 나타났다. 정점 1과 정점 2에서 표층 및 저층의 평균 농도를 비교해보면, 마산에 위치한 정점 1에서 농도가 높게 나타난다.

2) 인산염

정점 1에서 인산염은 표층에서 0.48 ~ 3.49 μ M (평균 1.74 μ M), 저층에서는 1.49 ~ 3.13 μ M (평균 2.10 μ M)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-5b). 표층과 저층에서의 평균 농도를 보면, 저층에서 인산염의 평균 농도가 높다. 또한 표층의 경우는 간조기이며, 생활하수가 유입될 수 있는 조건인 T2에서 높은 농도를 나타낸 반면, 저층에서는 오히려 오전 8시 경인 T8에서 가장 높은 값을 보였다. 저층에서의 평균 농도가 표층에서보다 높은 이유는 저층에서의 재 영양염화가 발생한 것으로 보인다. 표층 및 저층의 인산염 농도변화 양상도 규산염과 유사한 경향을 보이고 있어, 앞에서 언급한 이유와 마찬가지로 생활하수와 저층에서의 재 영양염화 및 표층에서의 식물플랑크톤의 증가가 인산염의 시공간적 분포특성을 결정하는 것으로 보인다.

정점 2의 농도변화는 표층에서 0.35 ~ 0.75 μ M (평균 0.52 μ M), 저층에서는 1.38 ~ 1.75 μ M (평균 1.50 μ M)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-5b). 정점 2는 정점 1과는 달리 표층의 인산염 농도 변화도 정점 2의 규산염 변화와 마찬가지로 T2와 T7 그리고 T9에서 낮은 농도를 보였지만 규산염과는 달리 적은 농도의 변화폭을 보였다. 정점 1과 정점 2의 표층 및 저층의 평균 농도를 비교해보면, 마산에 위치한 정점 1에서 농도가 높게 나타난다. 또한 정점 2에서 저층의 농도가 표층의 농도보다 훨씬 높게 나타나 창원에 위치한 정점 2는 생활하수의 영향이 적은 반면, 저층에서의 재 영양염화가 더 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

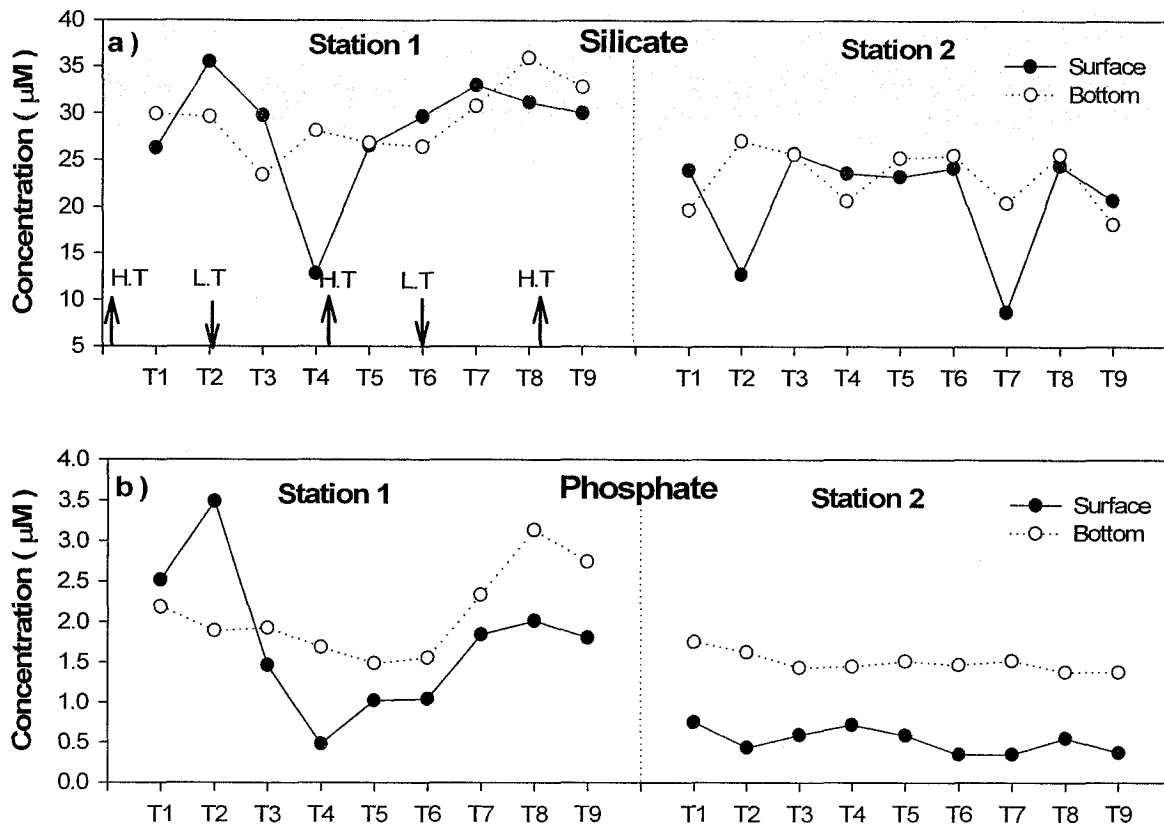


Fig. 3-3-5. Mooring data about the concentration of silicate and phosphate of the station 1 and 2 at surface and bottom.

3) 암모니아성 질소

정점 1에서 암모니아성 질소는 표층에서 0.00 ~ 67.6µM (평균 31.9µM), 저층에서는 8.94 ~ 33.7µM (평균 22.1µM)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-6a). 표층과 저층에서의 평균 농도를 보면, 표층에서 암모니아성 질소의 평균 농도가 저층보다 더 높다. 이는 생활하수가 직접적으로 큰 영향을 미치는 곳임을 보여주는 것이다. 규산염 및 인산염과 마찬가지로 표층의 경우 간조기이며, 생활하수가 유입될 수 있는 조건이 되는 T2에서 가장 높은 농도를 나타내었다. 저층은 표층에 비해서 농도 감소의 차가 크게 나타나지 않았지만, T8과 T9에서 증가한 경향을 나타내었다. 표층 및 저층의 암모니아성 질소의 농도변화 양상도 규산염 및 인산염과 유사한 경향을 보이고 있어, 앞에서 언급한 이유와 마찬가지로 생활하수와 저층에서의 재 영양염화 및 표층에서의 식물플랑크톤의 증가가 암모니아성 질소의 시공간적 분포특성을 결정하는 것으로 보인다.

정점 2의 농도변화는 표층에서 4.97 ~ 10.4 μ M (평균 7.51 μ M), 저층에서는 15.1 ~ 21.1 μ M (평균 17.6 μ M)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-6a). 정점 2는 정점 1과는 달리 표층 및 저층에서 암모니아성 질소의 농도 변화가 거의 나타나지 않았으며, 저층에서의 농도가 표층보다 높게 나타났다. 정점 1의 농도와 평균값을 비교해보면, 표층은 정점 1이 2배 정도 높은 반면, 저층은 거의 유사한 값을 보여 정점 2는 다른 영양염과 마찬가지로 생활하수의 영향보다는 저층의 영양염이 영양염의 시공간적 분포특성에 영향을 주는 것으로 판단된다.

4) 질산성 질소 및 아질산성 질소

정점 1에서 질산염 (질산성질소 + 아질산성 질소)의 표층 농도는 1.80 ~ 10.7 μ M (평균 5.88 μ M), 저층은 1.08 ~ 2.01 μ M (평균 1.61 μ M)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-6b). 표층과 저층의 평균 농도를 보면, 표층의 질산염 평균 농도가 저층보다 더 높다. 또한 같은 질소계인 암모니아성 질소에 비하면 상당히 낮은 농도를 나타내는데, 이는 질산성 질소가 인위적인 활동에 의해서 생성되지 않고, 암모니아 형태가 미생물에 의해서 질산성 질소의 형태로 변하기 때문이다. 또한 저층에서의 질산염 농도는 표층보다 낮은 농도를 보여주는데, 이는 저층에서 재 영양염화에 의해서 형성되어지는 질소계 영양염이 암모니아성 질소이기 때문에 질산염 농도가 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 표층에서 다른 영양염과 마찬가지로 T4에서 가장 낮은 농도를 보이며, 저층에서는 거의 농도의 변화가 나타나지 않았다.

정점 2의 농도변화는 표층에서 1.23 ~ 3.47 μ M (평균 2.60 μ M), 저층에서 0.83 ~ 1.31 μ M (평균 1.10 μ M)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-6b). 정점 2는 정점 1의 규산염과 마찬가지로 T2와 T7일 때 낮은 농도를 나타내었다. 다른 시기에서도 적은 농도의 증감이 나타났다. 정점 1과 정점 2의 표층 및 저층에서 평균 농도를 비교해보면, 표층에서는 마산에 위치한 정점 1에서 농도가 높게 나타났고, 저층에서는 거의 유사한 값을 보여주었다.

각 정점별 영양염 간의 상관성을 보면, 정점 1의 경우 표층과 저층에서 영양염 간의 상관성이 높은 것으로 나타났다 (Table 3-3-1). 표층에서 규산염은 인산염, 암모니아성 질소 및 질산염과의 상관성이 0.684, 0.790, 0.786으로 나타났다. 인산염은 암모니아와 0.981, 질산염과는 0.957의 높은 상관성을 나타내었고, 암모니아와 질산염은 0.970의 높은 상관성을 보였다. 전반적으로 보면, 표층에서 암모니아성 질소가 다른 영양염간의 높은 상관성을 보여 정점 1에서는 표층으로 생활하수의 공급이 주된 요인인 것으로 판단된다.

저층에서 규산염은 인산염 및 암모니아성 질소와 각각의 상관성이 0.857, 0.907을 나타내었고, 질산염과는 유의한 상관성을 보여주지 않는다. 인산염은 암모니아성 질소와 0.718의 값을 보였다. 전반적으로 보면, 저층에서는 인산염이 다른 영양염간의 높은 상관성을 보인다.

정점 2는 표층과 저층에서 규산염과 질산염만이 0.940, 0.781로 유의한 상관값을 나타내었다 (Table 3-3-2). 정점 1과 정점 2에서 영양염 중 일부와 식물플랑크톤의 엽록소-*a*와 의 낮은 상관성을 보이는 경우도 있었지만, 유의수준 ($p < 0.05$)이 합당하지 않았다. 이는 영양염이 식물플랑크톤의 증감에 직접적인 요인이기는 하지만 식물플랑크톤 간의 생리적인 차와 물리적인 환경도 중요한 요인이기 때문에 영양염과 식물플랑크톤간의 일대일 상관성은 나타나지 않은 것으로 판단된다.

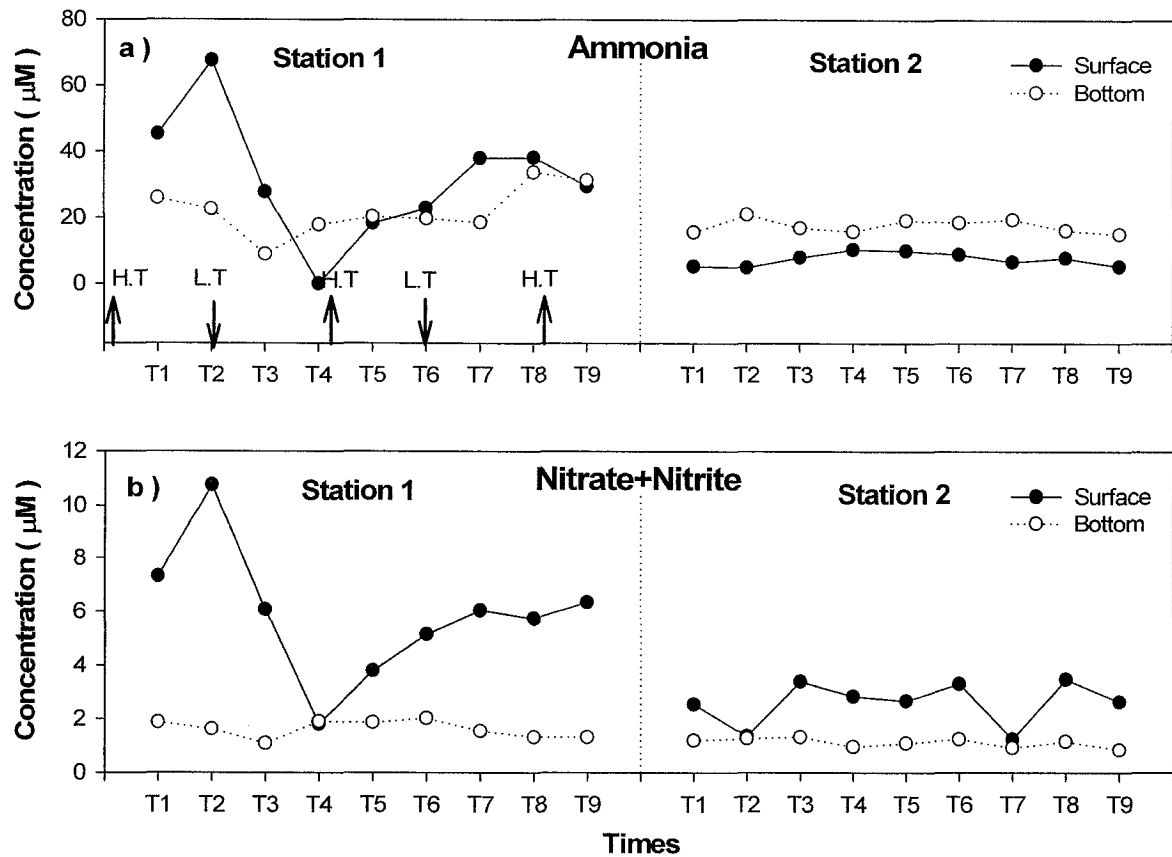


Fig. 3-3-6. Mooring data about the concentration of ammonia and nitrate+nitrite of the station 1 and 2 at surface and bottom.

Table 3-3-1. Pearson's correlation coefficients between nutrients at the station 1.

		SI_S	Si_B	OP_S	OP_B	NH_S	NH_B	NA_S	NA-B
SI_S	상관값(r)								
	유의확률(p)								
Si_B	상관값(r)								
	유의확률(p)								
OP_S	상관값(r)	0.684							
	유의확률(p)	0.042							
OP_B	상관값(r)		0.857						
	유의확률(p)		0.003						
NH_S	상관값(r)	0.790		0.981					
	유의확률(p)	0.011		0.000					
NH_B	상관값(r)		0.907		0.718				
	유의확률(p)		0.001		0.029				
NA_S	상관값(r)	0.786		0.957		0.970			
	유의확률(p)	0.012		0.000		0.000			
NA-B	상관값(r)								
	유의확률(p)								

Table 3-3-2. Pearson's correlation coefficients between nutrients at the station 2.

		SI_S	Si_B	OP_S	OP_B	NH_S	NH_B	NA_S	NA-B
SI_S	상관값(r)								
	유의확률(p)								
Si_B	상관값(r)								
	유의확률(p)								
OP_S	상관값(r)								
	유의확률(p)								
OP_B	상관값(r)								
	유의확률(p)								
NH_S	상관값(r)								
	유의확률(p)								
NH_B	상관값(r)								
	유의확률(p)								
NA_S	상관값(r)	0.940							
	유의확률(p)	0.000							
NA-B	상관값(r)		0.781						
	유의확률(p)		0.013						

N/P 비를 보면, 정점 1은 표층에서 3.74 ~ 26.9 (평균 20.5), 저층에서 5.21 ~ 14.9 (평균 11.4)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-7a). 정점 2는 10.4 ~ 35.5 (평균 20.5), 저층에서 9.62 ~ 13.8 (평균 12.5)의 범위를 나타내었다. 정점 1에서 표층의 N/P 비는 T4를 제외하면 유사한 값 (평균 22.4)을 가지며, 정점 2에서는 T1과 T6을 제외하면 유사한 값 (평균 19.8)을 가진다. 정점 1에서 저층은 T3을 제외하면 유사한 값 (평균 12.2)을 가지며, 정점 2는 거의 유사한 값 (평균 12.4)을 가진다. NP 비는 무기영양염의 유입 특성과 이를 소모하는 식물플랑크톤의 종조성에 따라서 다른 값을 보여 줄 수 있다. 정점 1과 2는 생활하천의 유무와 식물플랑크톤의 종조성의 차이로 인해 표층에서는 약간의 값의 차이를 보인 것으로 판단된다. 그러나 저층에서는 식물플랑크톤의 성장이 적기 때문에 영양염 유입원의 차이에 따라 값의 차이를 보여줄 수 있는데, 유사한 값을 나타내는 것으로 보아 발생원인 (재 영양염화)이 같은 것으로 판단된다.

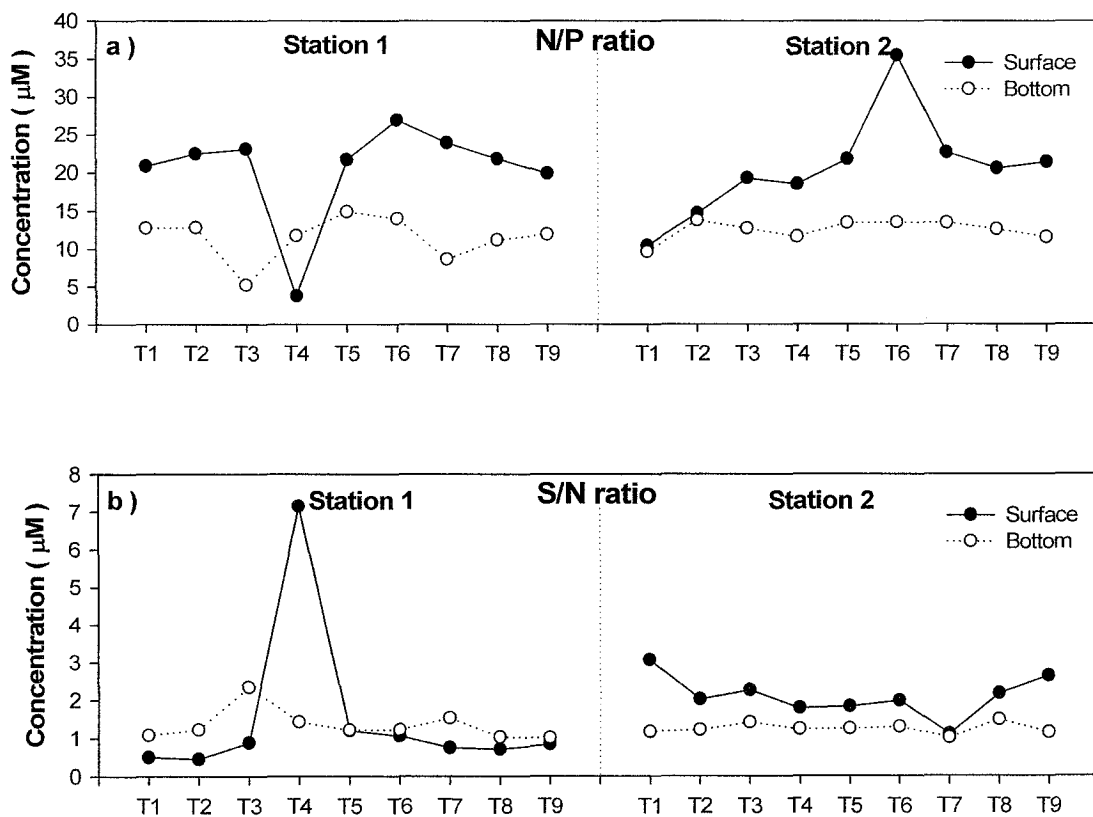


Fig. 3-3-7. Mooring data about the ratio of NP and SP in the station 1 and 2 at surface and bottom.

S/N 비를 보면, 정점 1에서는 표층에서 0.45 ~ 7.14 (평균 1.5), 저층에서는 1.01 ~ 2.33 (평균 1.33)의 범위를 나타내었다 (Fig. 3-3-7b). 정점 2에서는 1.10 ~ 3.05 (평균 2.09), 저층에서는 1.00 ~ 1.47 (평균 1.24)의 범위를 나타내었다. 정점 1에서 표층의 S/N 비는 T4를 제외하면 유사한 값 (평균 0.80)을 가지며, 정점 2에서는 T1과 T7을 제외하면 유사한 값 (평균 2.09)을 가진다. 정점 1에서 저층은 T3을 제외하면 유사한 값 (평균 1.21)을 가지며, 정점 2는 거의 유사한 값 (평균 1.24)을 가진다. 이는 NP 비와 유사한 경향을 보이는데, 특히 표층에서 뚜렷하게 다른 값을 보임으로서 두 지역이 인근에 위치하고 있지만 생활하천에 직접적인 영향 여부에 따라 영양염의 특성과 이에 따른 영양염 비의 차이가 표층에서는 다른 식물플랑크톤의 성장을 보여 줄 수 있음을 암시한다.

다. 엽록소 -a

전체 엽록소-a의 표층 값은 정점 1에서 3.40 ~ 16.3 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 6.87 $\mu\text{g l}^{-1}$), 정점 2에서는 2.11 ~ 15.6 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 5.42 $\mu\text{g l}^{-1}$)의 범위를 나타내었다. 20 μm 이상의 엽록소-a (Micro-phytoplankton)는 정점 1의 표층 값은 0.46 ~ 4.76 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 1.77 $\mu\text{g l}^{-1}$), 정점 2는 0.04 ~ 7.82 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 1.68 $\mu\text{g l}^{-1}$)의 값의 범위를 보였다. 20 μm 와 3 μm 사이의 엽록소-a (nano-phytoplankton)는 정점 1의 표층 값은 2.19 ~ 11.65 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 4.46 $\mu\text{g l}^{-1}$), 정점 2는 1.64 ~ 6.80 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 3.28 $\mu\text{g l}^{-1}$)의 값을 나타내었다. 3 μm 이하 엽록소-a (pico-phytoplankton)는 정점 1의 표층 값은 0.37 ~ 1.07 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 0.64 $\mu\text{g l}^{-1}$), 정점 2는 0.22 ~ 0.94 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 0.46 $\mu\text{g l}^{-1}$)의 값을 나타내었다 (Fig. 3-3-8a).

전체 엽록소-a의 저층 값은 정점 1에서 2.52 ~ 4.22 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 3.32 $\mu\text{g l}^{-1}$), 정점 2에서는 1.26 ~ 2.72 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 1.90 $\mu\text{g l}^{-1}$)의 범위를 나타내었다. 20 μm 이상의 엽록소-a는 정점 1의 저층 값은 0.72 ~ 1.13 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 0.99 $\mu\text{g l}^{-1}$), 정점 2는 0.67 ~ 1.97 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 1.11 $\mu\text{g l}^{-1}$)의 값의 범위를 보였다. 20 μm 와 3 μm 사이의 엽록소-a는 정점 1의 저층 값은 1.15 ~ 2.66 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 1.88 $\mu\text{g l}^{-1}$), 정점 2는 0.27 ~ 0.63 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 0.49 $\mu\text{g l}^{-1}$)의 값을 나타내었다. 3 μm 이하 엽록소-a는 정점 1의 저층 값은 0.27 ~ 0.70 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 0.44 $\mu\text{g l}^{-1}$), 정점 2는 0.19 ~ 0.46 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 0.30 $\mu\text{g l}^{-1}$)의 값을 나타내었다 (Fig. 3-3-8b).

정점 1에서 표층 전체 엽록소-a의 값이 높게 나타난 시기는 T3과 T7에서 높은 값을 나타내었다. 이 시기에 크기별 엽록소-a 값을 보면, pico-phytoplankton의 엽록소-a 값의 차이는 없었지만 nano-phytoplankton의 값은 상대적으로 증가하였다. 특히 T7에서는 nano-phytoplankton의 엽록소-a 값이 월등히 다른 크기의 엽록소-a보다 높게 나타났다.

정점 2에서는 T3에서 다른 시점보다 높은 값을 나타내었고, 정점 1과는 달리 micro-phytoplankton 값이 nano-phytoplankton의 엽록소-a보다 조금 더 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 과도한 영양염의 공급과 질소계 중에서 암모니아의 농도가 높은 정점 1은 이를 쉽게 영양분으로 이용할 수 있는 nano-phytoplankton의 성장이 다른 크기의 엽록소-a보다 높게 나타난 것으로 추정된다.

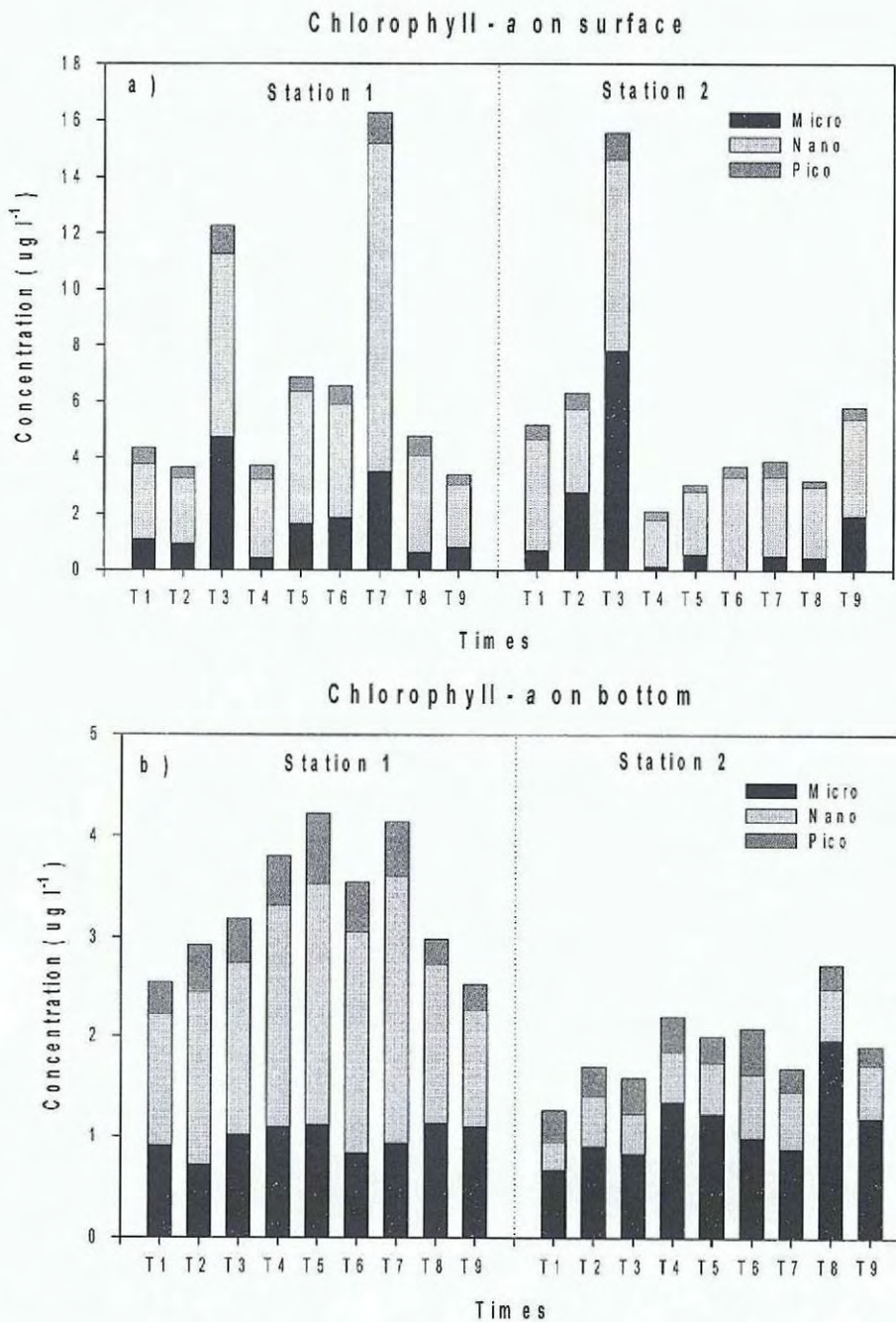


Fig. 3-3-8. Mooring data about the concentration of chlorophyll-a of the station 1 and 2 at surface and bottom.

저층에서 엽록소-*a* 값의 변화는 적은 농도 범위에서 변화하였다. 정점 1은 시간이 지날수록 서서히 증가하다가 T7을 지나면서 감소하는 경향을 보이고, 정점 2는 농도의 증감이 계속해서 조금씩 나타났다. 저층에서의 정점 1과 정점 2의 뚜렷한 차이는 표층과 마찬가지로 정점 1의 경우는 nano-phytoplankton의 비율이 큰 반면, 정점 2는 오히려 micro-phytoplankton의 비율이 다른 크기의 엽록소-*a*보다 상대적으로 높은 값을 나타냈다.

라. 미세조류 종조성 및 현존량의 변화식물플랑크톤

2007년 5월 2일 11:00에서 5월 3일 11:00까지 마산만에서 24시간 동안 2개 정점의 표층과 저층에서 3시간 간격으로 총 9회 실시된 식물플랑크톤 조사를 통하여 정점 1의 표층에서 규조류 12종, 와편모조류 20종, 유모류 6종, 유글레나강 1종을 발견하였고 정점 1의 저층에서는 규조류 15종, 와편모조류 26종, 유모류 5종, 유글레나강 1종이 출현하였다 (Table 3-3-3, Table 3-3-4). 정점 2의 표층에서는 규조류 9종, 와편모조류 25종, 유모류 8종, 유글레나강 1종이 출현 하였으며 정점 2의 저층에서는 규조류 12종, 와편모조류 21종, 유모류 9종, 유글레나강 1종이 나타났다 (Table 3-3-3, Table 3-3-4). 이 밖에 5 μ m 이하의 광학현미경에서 동정하기 어려운 작은 종들은 미소편모류(nanoflagellates)로 분류하였고 유모류 중 동정이 어려운 종들은 크기에 따라서 20 μ m 미만 (oligotrich 1), 20 μ m에서 50 μ m 사이 (oligotrich 2), 50 μ m 이상 (oligotrich 3) 의 3그룹으로 구분하였다 (Table 3-3-4). Table. 3-3-3은 조사기간 중 정점별로 표층과 저층에서 발견된 미세조류 종 수를 분류학적 그룹에 따라 정리하였다. Table. 3-3-4는 조사기간 중 출현했던 모든 종의 목록을 수록했고 종들이 발견된 각 정점과 수층을 표시하였다.

Table 3-3-3. The number of microalgal species found during the study. Microalgae is classified into five groups; Bacillariophyceae, Dinophyceae, Ciliophora and Euglenophyceae, Nanoflagellates.

	Station 1 surface	Station 1 bottom	Station 2 surface	Station 2 bottom
Bacillariophyceae	12	15	9	12
Dinophyceae	20	26	25	21
Ciliophora	6	5	8	9
Euglenophyceae	1	1	1	1
Nanoflagellates	-	-	-	-

조사기간 중 미세조류의 총 개체수는 표층이 저층보다 대체로 많았다 (Fig. 3-3-9). Fig. 3-3-9는 정점별 표층과 저층의 미세조류 총 개체수를 시간변화에 따라 정리하였다. 또한 마산항 제3부두 (35° 12' 25" N, 128° 35' 20" E)에 위치한 마산조위관측소로부터 얻은 조위정보를 함께 비교하였다 (국립해양조사원 2007). 조사시작으로부터 세 번째 채수를 실행했던 5월 2일 17:00의 정점 1 표층에서 가장 많은 미세조류의 현존량을 발견할 수 있었다. 5월 2일 17:00의 정점 1 표층에서 계수된 미세조류 총 개체수는 7.7×10^6 cells/l 이었으며 5월 2일 17:00의 정점 2 표층의 총 개체수는 3.9×10^6 cells/l로 같은 시각 정점 1 (1.3×10^6 cells/l)과 정점 2 (7.4×10^5 cells/l)의 저층 보다 높은 현존량을 보였다. 정점 1 표층의 총 개체수는 5월 2일 20:00에 급감하지만 (2.0×10^6 cells/l) 다시 서서히 증가하여 5월 3일 08:00에 4.8×10^6 cells/l 까지 도달하였다. 이후 정점 1 표층의 총 개체수는 실험이 종료된 5월 3일 11:00에 3.3×10^6 cells/l 의 현존량을 보여 주었다. 정점 2 표층은 5월 2일 17:00이후 개체수의 감소를 보이다 5월 3일 05:00 (1.4×10^6 cells/l) 이후에 다시 서서히 증가하여 5월 3일 11:00에 3.1×10^6 cells/l로 조사가 종료 되었다. 정점 1 저층의 미세조류 개체수는 5월 2일 14:00부터 (6.4×10^5 cells/l) 점차 증가하여 5월 3일 02:00에는 정점 1 표층의 개체수와 비슷한 3.1×10^6 cells/l까지 도달하고 조사가 끝날 때 까지 감소세를 보인다. 정점 2 저층은 다른 시료채취 지점보다 낮은 미세조류 개체수를 보여주었으며 $0.87 \sim 7.5 \times 10^5$ cells/l의 현존량이 관측됐다. 조위가 간조에서 만조로 변동하는 5월 2일 14:25에서 21:02 사이에 정점 1과 2 표층의 미세조류 총 개체수는 최고치에 도달 했으며 (5월 2일 17:00) 저층에서는 간조 시간인 5월 3일 02:57 바로 전 채수된 02:00 시료에서 가장 많은 미세조류 현존량을 보였다.

Table 3-3-4. The list of microalgal species found at all stations. The presence of species at each site is abbreviated as 1s (Station 1 - surface), 2s (Station 2 - surface), 1b (Station 1 - bottom) and 2b (Station 2 - bottom)

Bacillariophyceae		Dinophyceae		Ciliophora	
<i>Actinoptychus senarius</i>	1b, 2b	<i>Akashiwo sanguinea</i>	1s, 2s	<i>Favella</i> spp.1	1s, 2s, 1b, 2b
<i>Cerataulina</i> spp. 1	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Alexandrium</i> spp. 1	2s, 1b, 2b	<i>Helicostomella subulata</i>	1s, 2s, 1b, 2b
<i>Chaetoceros</i> spp. 1	1b	<i>Amphidinium</i> spp. 1	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Mesodinium rubrum</i>	1s, 2s, 1b, 2b
<i>Coscinodiscus</i> spp. 1	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Amylax</i> spp. 1	1s, 2s, 1b, 2b	oligotrich 1 (<20um)	1s, 2s, 1b, 2b
<i>Cylindrotheca closterium</i>	2s	<i>Ceratium fusus</i>	1b	oligotrich 2 (20~50um)	1s, 2s, 1b, 2b
<i>Eucampia zodiacus</i>	1s, 1b, 2b	<i>Cochlodinium</i> spp. 1	2s, 1b	oligotrich 3 (>50um)	1s, 2s, 2b
<i>Lauderia annulata</i>	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Dinophysis acuminata</i>	1s, 2s, 2b	<i>Strombidium</i> spp.1	2s, 2b
<i>Navicula</i> spp. 1	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Gyrodinium aureolum</i>	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Tiarina fusus</i>	2s, 2b
<i>Navicula</i> spp. 2	1s, 2s	<i>Gyrodinium estuariale</i>	1s, 2s, 1b	<i>Tintinnopsis beroidea</i>	2b
<i>Nitzschia</i> spp. 1	1s, 1b	<i>Gyrodinium fusiforme</i>	1s, 2s, 1b, 2b		
<i>Pleurosigma</i> spp.1	1s, 1b, 2b	<i>Gyrodinium lebourae</i>	1s, 2s, 1b, 2b		
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Gyrodinium pepo</i>	1s, 2s, 1b, 2b		
<i>Rhizosolenia pungens</i>	1b	<i>Gyrodinium pingue</i>	1s, 2s, 1b, 2b		
<i>Skeletonema costatum</i>	1b	<i>Gyrodinium prunus</i>	2s, 1b		
<i>Stephanopyxis turris</i>	1b, 2b	<i>Gyrodinium spirale</i>	1s, 2s, 1b, 2b	Euglenophyceae	
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	1s, 1b	<i>Gyrodinium</i> spp. 1	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Eutripta</i> spp.1	1s, 2s, 1b, 2b
<i>Thalassiosira</i> spp. 1	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Gyrodinium</i> spp. 2	1s, 2s, 1b, 2b		
<i>Thalassiosira</i> spp. 2	1s, 2s, 1b, 2b	<i>Heterocapsa triquetra</i>	1s, 2s, 1b, 2b		
<i>Tropidoneis</i> spp. 1	2b	<i>Katodinium</i> spp.1	1s, 2s, 1b, 2b		
		<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	1s, 2s, 1b, 2b		
		<i>Prorocentrum minimum</i>	2s		
		<i>Prorocentrum trestinum</i>	2b	Nanoflagellates (<5um)	1s, 2s, 1b, 2b
		<i>Protooperidinium brevipes</i>	1s, 1b		
		<i>Protooperidinium cerasus</i>	1s, 2s, 1b, 2b		
		<i>Protooperidinium conicum</i>	1b		
		<i>Protooperidinium pellucidum</i>	1b		
		<i>Protooperidinium pentagonum</i>	1b		
		<i>Protooperidinium quarnerense</i>	2s, 1b, 2b		
		<i>Scrippsiella precaria</i>	1s, 2s, 1b, 2b		
		<i>Scrippsiella</i> spp.1	1s, 2s, 1b, 2b		
		<i>Scrippsiella trochoidea</i>	1s, 2s, 1b, 2b		

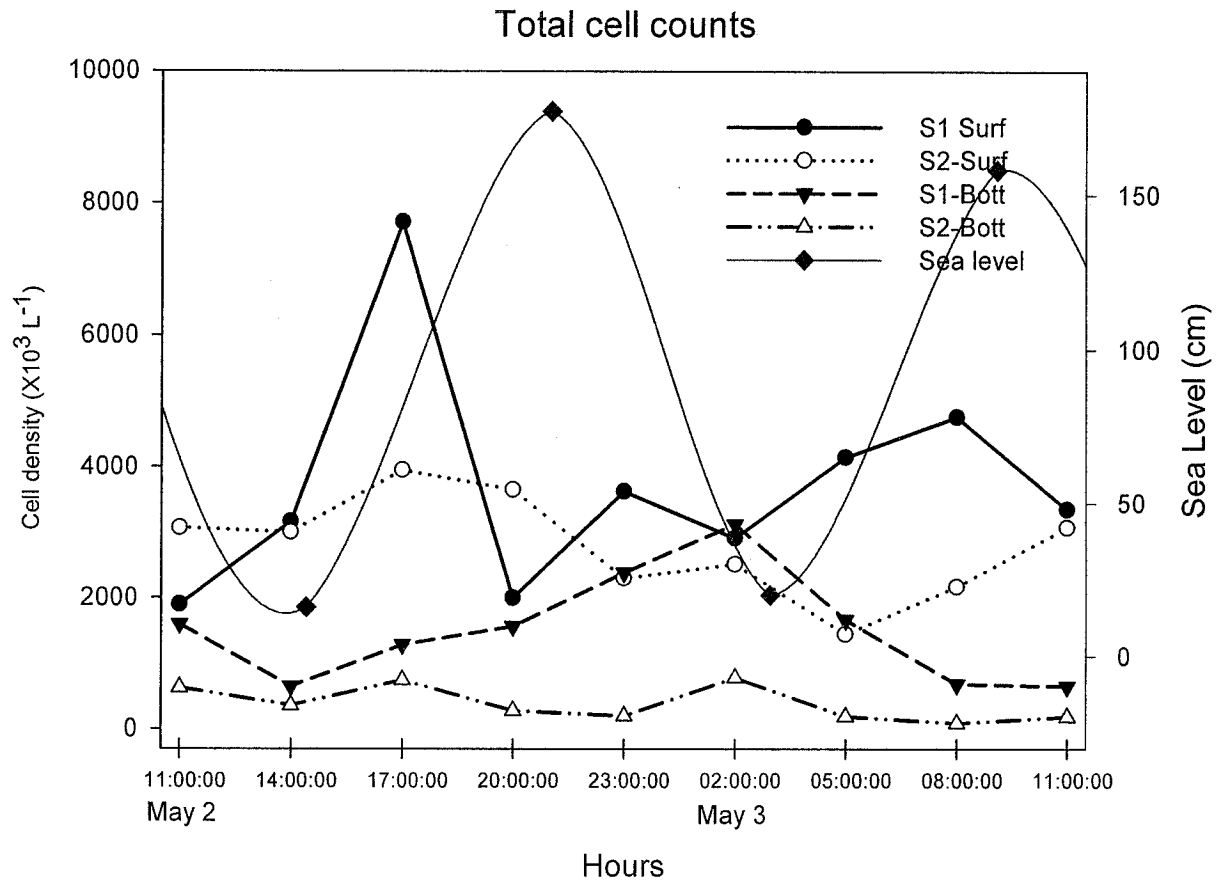


Fig. 3-3-9. Total cell densities of microalgae collected every three hours between May 2 2007 and May 3 2007 with sea level data obtained from National Oceanographic Research Institute. The unit of sea level is shown on the right side of Y axis in cm. (S1-Station 1; S2-Station 2; Surf-Surface; Bott-Bottom)

조사 기간 중 관찰된 미세조류는 규조류, 와편모조류, 유모류, 유글레나강 그리고 미소편모류 (Nanoflagellates)로 분류되었다 (Fig.3-3-10). 모든 정점의 표층과 저층에서 5 μ m 이하 미소편모류가 가장 많이 계수 되었고 (3.4×10^4 cells/l ~ 3.8×10^6 cells/l, 평균 1.59×10^6 cells/l) 이어서 와편모조류가 우점 (3×10^3 cells/l ~ 2.3×10^6 cells/l, 평균 5.1×10^5 cells/l) 하였다. 정점 1 표층의 5월 2일 17:00 시료에서 모든 그룹의 미세조류가 증가하였으며 미소편모류와 와편모조류의 개체수는 각각 3.8×10^6 cells/l와 3.7×10^6 cells/l 이었다. 미소편모류와 와편모조류에 이어서 유글레나강이 6.5×10^4 cells/l, 유모류가 4.6×10^4 cells/l, 규조류가 3.1×10^4 cells/l를 기록했다. 정점 1 표층의 5월 3일 08:00 시료에서 미소편모류, 유모류, 유글레나강이 다시 한 번 증가 하였고 개체수는 각각 3.3×10^6

cells/l, 4.4×10^4 cells/l, 3.6×10^4 cells/l를 기록했다. 이에 앞서 5월 3일 05:00에 와편모조류와 규조류의 두 번째 증가가 관측되었고 이들의 개체수는 각각 1.8×10^6 cells/l과 3.8×10^4 cells/l 이었다. 정점 2 표층에서는 미소편모류의 개체수 최고치가 5월 2일 20:00에 관측되었고 (3.3×10^6 cells/l) 와편모조류의 최고치는 17:00에 관측되었다 (2.3×10^6 cells/l). 정점 2 표층에서 유글레나강과 규조류의 개체수는 조사기간 동안 3.0×10^4 cells/l 이하를 유지했으나 유모류는 5월 2일 14:00과 17:00에 각각 3.5×10^4 cells/l 와 4.5×10^4 cells/l의 개체수를 기록했다. 정점 1과 2의 저층에서도 미소편모류와 와편모조류가 우점하였으나 개체수는 표층에 비해 감소하였다. 정점 1 저층에서 미소편모류와 유모류의 가장 많은 개체수는 5월 3일 02:00에 관찰 되었고 각각 2.7×10^6 cells/l과, 5.0×10^4 cells/l를 기록했다. 한편 정점 1 저층에서 5월 2일 23:00에 와편모조류 (4.9×10^5 cells/l)와 유글레나강이 (2.8×10^4 cells/l) 최고치를 기록 했다. 정점 2 저층의 미소편모류 개체수는 5월 2일 11:00에 6.3×10^5 cells/l를 기록 했으며 조사기간 동안 7.0×10^5 cells/l를 넘지 못했다. 와편모조류는 5월 3일 2시에 1.6×10^5 cells/l를 기록 했으며 나머지 그룹의 개체수는 2.0×10^4 cells/l이하 이었다.

정점 1과 2의 표층에서 미소편모류를 제외한 전체 현존량의 5% 이상을 차지한 우점종은 와편모조류인 *Gyrodinium fusiforme*, *Heterocapsa triquetra*, *Protoperidinium cerasus* 3종이었다. 정점 1과 2의 저층에서 5%이상 우점한 종은 규조류인 *Cerataulina* spp., *Pseudonitzschia pungens*, 와편모조류인 *Amphidinium* spp., *Gyrodinium* spp., *Heterocapsa triquetra*, *Katodinium* spp., *Protoperidinium cerasus*, *Scrippsiella* spp., 유모류인 *Mesodinium rubrum*을 포함해 총 9종 이었다. 이들 중 *Heterocapsa triquetra*과 *Protoperidinium cerasus*는 정점 1,2의 표층과 저층 모두에서 우점하였으며 특히 *Heterocapsa triquetra*는 미소편모류를 제외한 표층 미세조류의 62%에서 90%를 차지했다 (Fig. 3-3-11). Fig. 3-3-11은 미소편모류를 제외한 전체 개체수에서 5%이상 우점한 종들을 정리하였다. 5월 2일 17:00에 정점 1과 2 표층에서 *Heterocapsa triquetra*는 각각 80%와 89%우점하였고 개체수는 정점 1 표층에서 3.1×10^6 cells/l, 그리고 정점 2 표층에서 2.2×10^6 cells/l를 기록했다. *Protoperidinium cerasus* 역시 5월 2일 17:00에 정점 1과 2 표층에서 가장 많은 개체수를 보였으며 정점 1에서 3.9×10^5 cells/l 그리고 정점 2에서 7.5×10^4 cells/l를 기록했다. 정점 1 저층에서 5월 2일 11:00에 *Heterocapsa triquetra*는 개체수 3.9×10^5 cells/l를 기록해 전체 미세조류의 72%를 우점하였으며 *Protoperidinium cerasus*는 5월 3일 02:00에 전체 미세조류의 24%를 차지해 조사 기간 중 최고의 개체수 (8.6×10^4 cells/l)를 기록했다. 정점 2 저층에서는 5월 2일 17:00에 *Gyrodinium* spp. 가 34% 우점하며 가장 많은 개체수를 보였으며 (4.0×10^4

cells/l) *Heterocapsa triquetra*가 15%를 우점하며 뒤를 이었다. 이후 *Heterocapsa triquetra*는 5월 3일 02:00에 가장 많은 개체수로 (7.4×10^4 cells/l) 전체 미세조류의 41%를 우점하였다.

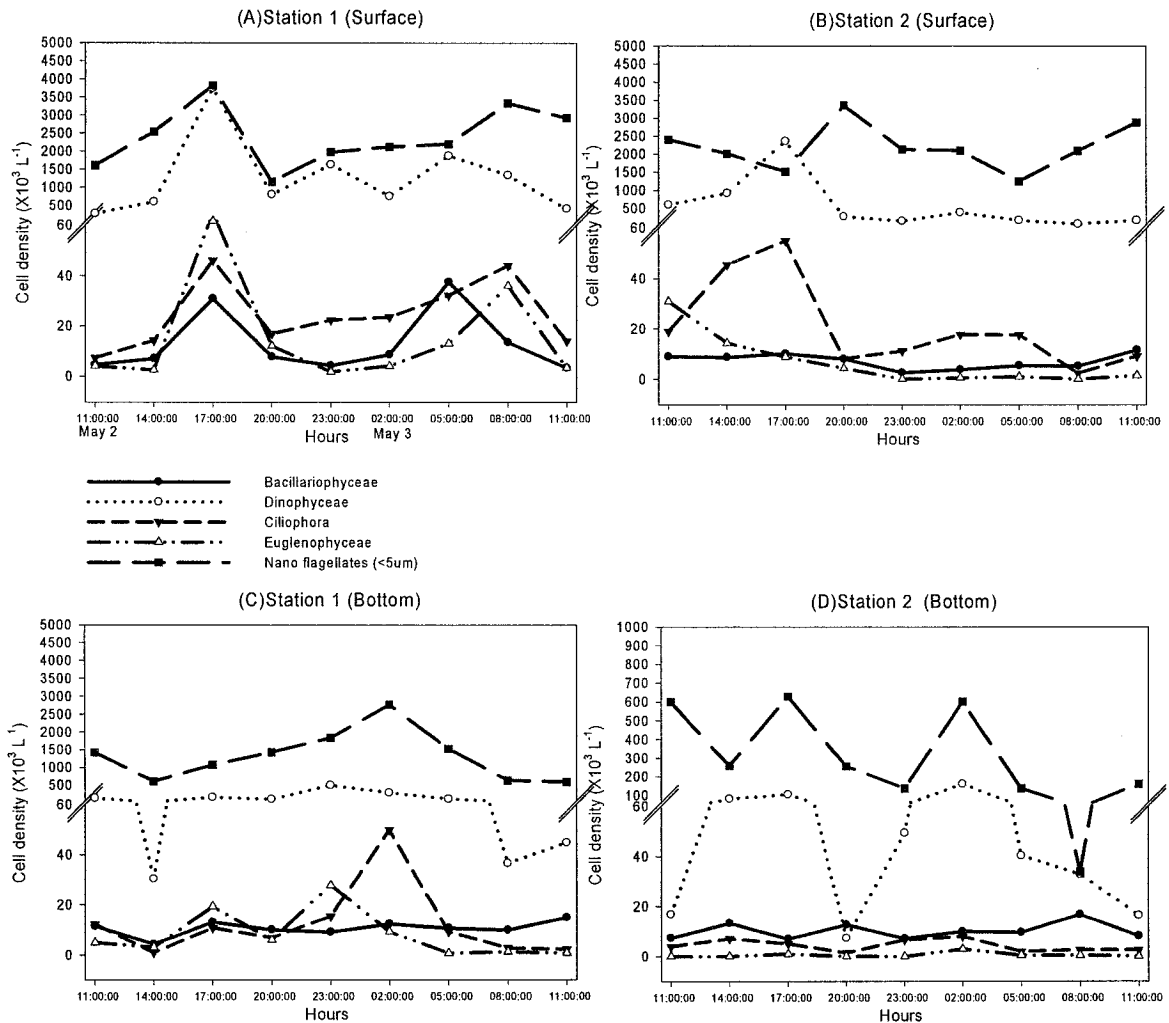


Fig. 3-3-10. Microalgal cell densities collected every three hours between May 2 2007 and May 3 2007. Five Microalgal groups are presented; these are Bacillariophyceae, Dinophyceae, Ciliophora, Euglenophyceae, nanoflagellates. The scale of Y axis in plot D Station 2 (bottom) is different from the rest of plots due to the low cell density.

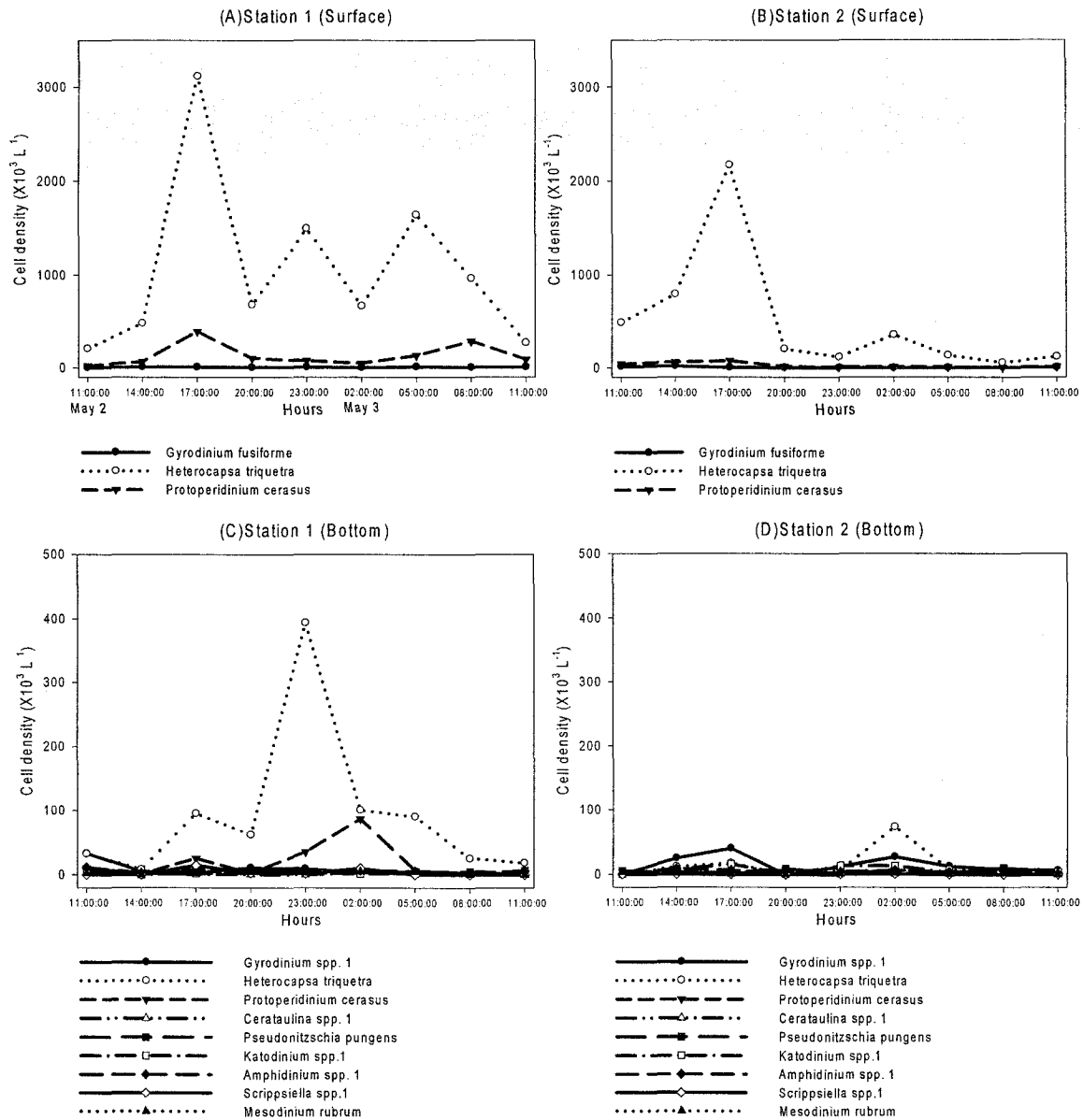


Fig. 3-3-11. Phytoplankton species once dominated over 5% of total population excluding nanoflagellates.

미세조류의 개체수 변화를 관찰한 결과 표층의 총 개체수가 저층의 총 개체수보다 많이 관찰되었다. 한편 표층에서는 *Heterocapsa triquetra*의 단일종 대발생이 저층에서 보다 두드러졌다. 해수의 간조와 만조의 변화에 따른 총 개체수 증감의 상관관계는 명확히 확인할 수 없었으며 이는 염분을 비롯한 물리화학요인에 의한 생태계교란이 조사지역에서 강한 영향을 미쳤기 때문인 것으로 사료된다. 5월 2일 오후 2시부터 5시 사이에 정점 1 표층에서 전체 미세조류의 개체수가 급증했음을 볼 수 있는데 이는 일조량의 영향에 따

른 것으로 사료되며 특히 정점 1,2의 표층에서 대발생하는 자가영양성 와편모조류인 *Heterocapsa triquetra* 가 오후 2시에서 5시 사이 가장 높은 현존량 증가를 기록하고 있다. *Heterocapsa triquetra*는 봄철 마산만에서 흔히 적조를 일으키는 종으로 잘 알려져 있다 (Lee and Lim, 2006; Han *et al.*, 1991). 조사 기간 중 5 μ m 이하의 미소편모류는 자가영양성과 종속영양성이 함께 계수되었다. 종속영양 미소편모류의 현존량은 이들의 포식활동이나 먹이의 생물량에 따라 조절되므로 종속영양 미소편모류의 명확한 시공간적 변동양상을 파악하기 위해서는 이들의 주된 먹이인 종속영양 박테리아와의 상관관계를 파악하는 것이 필요하다 (Gasol and Vaque, 1993).

마. 조석주기에 따른 중형동물플랑크톤의 출현량 변화

중형동물플랑크톤 군집의 조석 변화에 따른 변화양상을 조사하기 위하여 2007년 5월 2일과 5월 3일에 정점 1과 2에서 실시되었으며, 조사당시의 고조와 저조 때 조고 및 시각은 Table 3-3-5에 나타내었다.

Table 3-3-5. Time and height of the high and low tides of the sampling days.

Date \ Tide	Low Tide		High Tide	
	Time	Height(cm)	Time	Height(cm)
May 2	02:26	21	08:35	159
	14:25	16	21:02	177
May 3	02:57	20	09:05	158
	14:50	16	21:31	177

조사해역의 정점 1과 2에서 출현한 중형동물플랑크톤은 원생동물, 강장동물, 모악동물, 지각류, 요각류, 미충류, 유생군 등의 21종류가 출현하였다. 정점 1에서 19종류로 정점 2의 21종류에 비해 출현종수가 적었다. 두 조사정점의 종조성은 큰 차이를 보이지 않았다 (Table 3-3-6, 3-3-7).

Table 3-3-6. The list and abundance of mesozooplankton according to tidal cycle in station 1.

Station	St.1								
	Date	2007. 5. 2				2007. 5. 3			
Species / Times	11:00	14:00	17:00	20:00	23:00	02:00	05:00	08:00	11:00
Protozoa									
<i>Noctiluca scintillans</i>	26531	24702	14875	13858	15115	10070	10790	17162	45993
Hydoroza									
hydroida	13	5		7					
Scyphozoa									
<i>Aurelia aurita</i> -Juvenile	4	2	2	1	3	3	2	9	4
Chaetognatha									
<i>Sagitta crassa</i>	3	10	4	20		8	32	11	31
Cladocera									
<i>Podon leuckarti</i>	7		4	27	16		8	25	12
Copepods									
<i>Paracalanus indicus</i>	66	20	4	54	85	47	88	22	131
<i>Centropages abdominalis</i>	7				16	8	16	15	25
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>				7	8	8	8		
<i>Acartia omorii</i>	512	25	77	493	543	567	590	65	475
<i>Oithona sp.</i>	73	5	4	7	31	16	16	7	44
<i>Corycaeus affinis</i>	40	15		20	54	8	40	22	44
harpacticoid		5							
copepodite(<i>Acartia.</i>)	93	5		20	85	23	32	11	56
Appendicularia	27	50	7	128	62	8	24	65	156
Larvae									
polychaeta larvae		25		20	16	31	24	7	31
decapoda larvae	7								
cirripedia larvae	27	10		7		8	8	4	12
bivalve larvae			4						
fish eggs	7								
Total abundance(inds./m³)	27417	24879	14981	14669	16034	10805	11678	17425	47014

Table 3-3-7. The list and abundance of mesozooplankton according to tidal cycle in station 2.

Station	St.2									
	Date	2007. 5. 2				2007. 5. 3				
Species / Times	11:00	14:00	17:00	20:00	23:00	02:00	05:00	08:00	11:00	
Protozoa										
<i>Noctiluca scintillans</i>	17167			22379	36624	6382	26592	9472	10216	
Hydoroza										
hydroida							13			
Scyphozoa										
<i>Aurelia aurita</i> -Juvenile					21	5	26	8		
Chaetognatha										
<i>Sagitta crassa</i>				11	142	14	13		6	
Cladocera										
<i>Podon leuckarti</i>					35	11	26	26	30	
<i>Eoadne nordmanni</i>							26		6	
Copepods										
<i>Paracalanus indicus</i>	151	N o d a t a	N o d a t a	149	425	133	210	130	54	
<i>Centropages abdominalis</i>				64	177	13	105	26	24	
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>				11	71	24	4			
<i>Acartia omorii</i>	602			832	2972	1163	1878	431	368	
<i>Oithona sp.</i>	75			235	425	255	197	196	181	
<i>Corycaeus affinis</i>	151			96	212	122	171	104	66	
harpacticoid				11		22		13		
copepodite(<i>Acartia</i>)	301			96	318	111	341	183	175	
copepodite(Others)				21	35					
Appendicularia	452			406	495	211	486	104	127	
Larvae										
copepoda nauplius						11				
polychaeta larvae						75	318	44	53	26
decapoda larvae	75						4		6	
cirripedia larvae				11		55		52	12	
fish eggs									6	
Total abundance(inds./m³)	18974			24408	42270	8565	30145	10771	11301	

정점 1에서 시간에 따른 전체 중형동물플랑크톤의 개체수 범위는 10,805 ~ 47,014 inds./m³로 시간에 따라 약 4.4배의 변동 폭을 보여주고 있다 (Fig. 3-3-12). 시간에 따른 변화양상은 조사가 시작된 11시 이후 저조 1시간 전인 다음날 02시까지 지속적으로 감소하다가 이후 다시 증가하는 양상을 보였으며, 조석의 변화에 대한 뚜렷한 양상을 보이지는 않았다. 야광충인 *Noctiluca scintillans*의 개체수 변화 범위는 10,070 ~ 45,993 inds./m³로 전체 중형동물플랑크톤의 변화양상을 주도한 것으로 나타났다. 정점 2에서 시간 변화에 따른 중형동물플랑크톤의 개체수 변화는 8,565 ~ 42,270 inds./m³로 4.9배의 변동 폭을 보였다. 변화양상은 정점 1과는 달리 시간의 변화에 따라 증감이 반복되는 양상을 보였으며, 5월 3일 저조 1시간 전인 02시에 최저 개체수를 보인점이 정점 1과 동일하였다. 정점 2에서 *Noctiluca scintillans*는 5.7배의 변동 폭을 보였으며, 정점 1과 마찬가지로 전체 중형동물플랑크톤의 변화양상을 주도한 것으로 나타났다.

시간의 변화에 따른 요각류 개체수 변화는 정점 1에서 75 ~ 822 inds./m³을, 정점 2에서 868 ~ 4,635 inds./m³로 정점 1에서 월등히 높은 개체수를 보였다 (Fig. 3-3-13). 시간에 따른 변동폭은 정점 1에서 11배로 정점 2의 5.3배에 비해 크게 나타났다. 조석 변화에 따른 정점 1과 2에서 요각류의 변화양상은 조석 변화에 대해 특징적인 양상을 보이지 않았으며, 정점 2에서 요각류 변화양상은 전체 중형동물플랑크톤의 변화양상과 동일한 경향을 보였다. 요각류의 소형종인 *Acartia omorii*의 개체수 변화는 정점 1과 정점 2에서 각각 25 ~ 590 inds./m³과 368 ~ 2,972 inds./m³로 요각류의 변화양상을 주도하였다.

주요 분류군의 점유율에 대해 살펴보면, 야광충인 *Noctiluca scintillans*가 정점 1과 2에서 전체 중형동물플랑크톤의 대부분을 차지한 것으로 나타났고, 특히 정점 1의 경우 대부분의 조사시간에서 90% 이상의 매우 높은 점유율을 보였다 (Fig. 3-3-14). 시간의 변화에 따른 요각류의 점유율 범위는 정점 1에서 0.3 ~ 6.8%를, 정점 2에서 6.2 ~ 21.5%로 정점 2에서 높은 점유율을 나타내었다.

마산만은 과거부터 현재까지 지속적인 항만개발에 따른 매립과 안전항로를 위한 준설 등 각종 개발로 인해 항만의 환경이 크게 변화되어 왔다. 이러한 변화는 만의 물리·화학적 환경에 변화를 초래할 것으로 판단되며, 결국 동·식물플랑크톤의 군집구조에도 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 실제로, 조석의 변화는 동·식물플랑크톤 생태에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Sameoto, 1975; Levasseur *et al.*, 1984; 박, 1989; 최, 1991; Freire *et al.*, 1993; 김과 장, 2001). 또한, 조류나 바람에 의한 수직혼합은 포식자가 먹이 생물과 만날 수 있는 확률에 영향을 미치므로 치자어를 포함한 부유생물의 영양역학관계에도 중요한 역할을 한다 (Rothschild and Osborn, 1988; MacKenzie and Leggett, 1991).

본 조사의 결과에서도 조석주기에 따라 중형동물플랑크톤의 개체수가 매우 큰 변동 폭을 보였다. 이러한 결과는 일차적으로 조사해역의 물리적인 변화에 의해 영향을 받은 것으로 사료되며, 또한 중형동물플랑크톤의 섭식환경과 포식자에 의한 포식활동 등도 영향을 미친 것으로 판단된다.

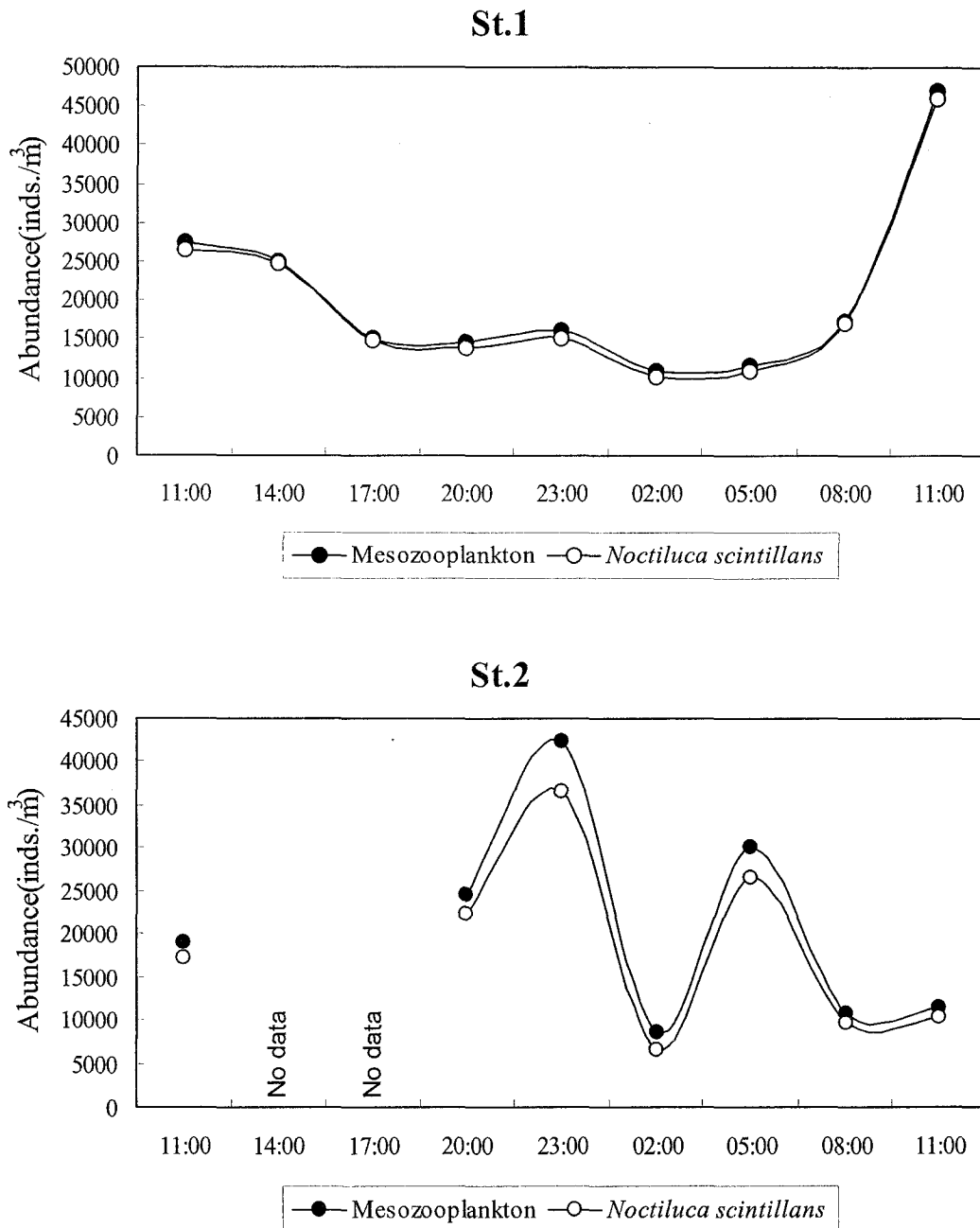


Fig. 3-3-12. Changes in the abundance of mesozooplankton and *Noctiluca scintillans* according to the tidal cycle.

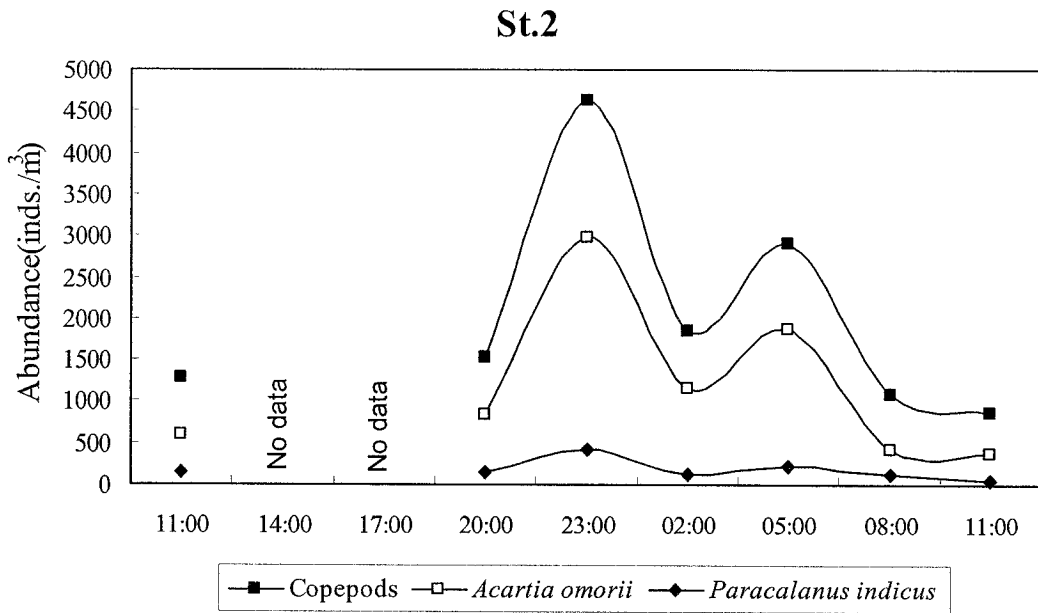
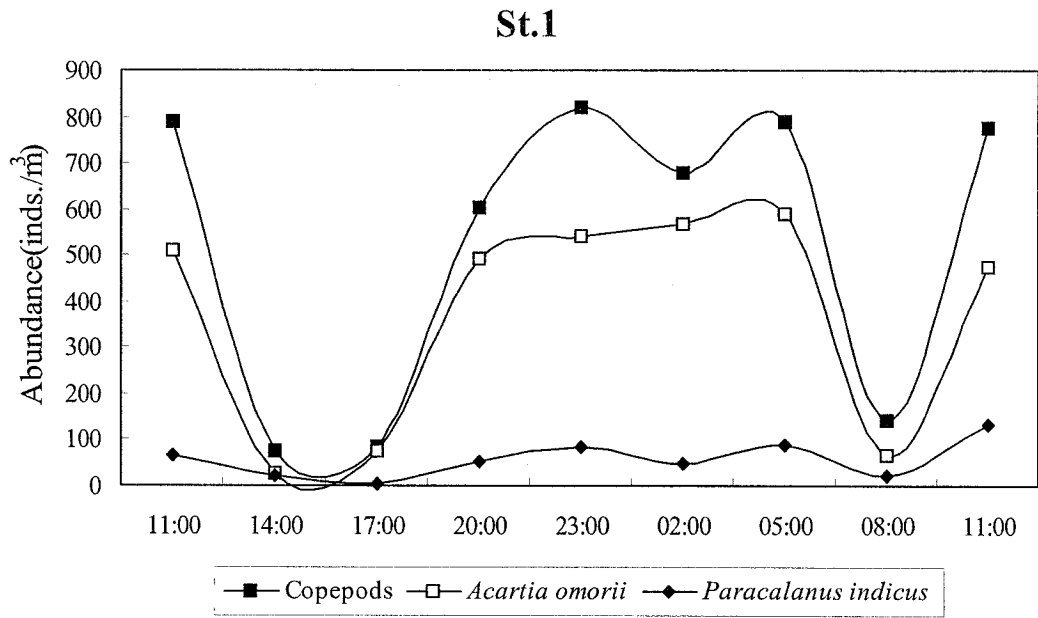


Fig. 3-3-13. Changes in the abundance of copepods, *Acartia omorii* and *Paracalanus indicus* according to the tidal cycle.

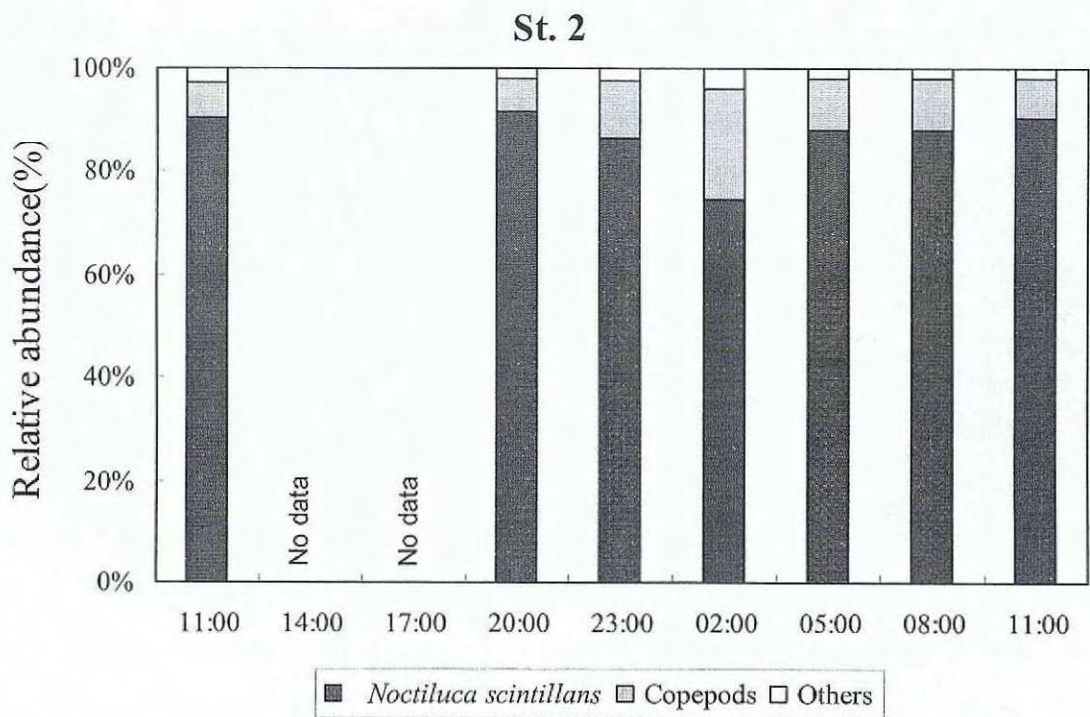
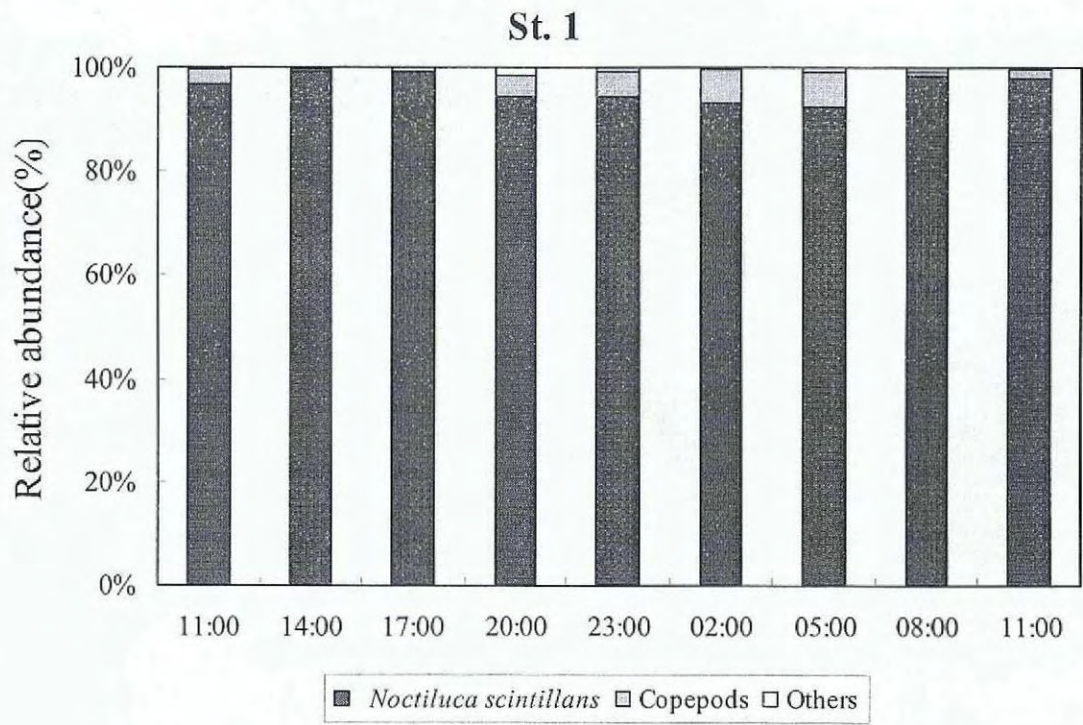


Fig. 3-3-14. Changes in the relative abundance(%) of major taxa to the total mesozooplankton abundance according to the tidal cycle.

바. 해파리의 출현량 변화

2007년 5월 2일 11:00부터 5월 3일 11시까지 3시간 마다 마산만의 조사 정점 1, 2에서 해파리를 채집한 결과 모두 보름달물해파리가 채집되었다 (Table 3-3-8). 정점 1에서 5월 2일 11:00에 채집된 해파리는 표층 10 inds./100m³, 저층 9 inds./100m³로서 표, 저층 별 차이가 크게 보이지 않았다. 14:00에는 표층에서 2 inds./100m³, 저층에서 6 inds./100m³로 저층에서 많은 해파리가 채집되었다. 17:00에는 표층 4 inds./100m³, 저층 5 inds./100m³로 표, 저층 간 큰 차이를 보이지 않았지만 20:00에는 표층 4 inds./100m³, 인 반면에 저층에서는 채집되지 않았다. 23:00에는 조사기간 중 정점 1에서 가장 많은 241 inds./100m³의 해파리가 표층에서 채집되었고 저층에서 47 inds./100m³ 채집되었다. 5월 3일 02:00에는 표층에서 6 inds./100m³, 저층 19 inds./100m³로 저층에서 많은 해파리가 채집되었다. 이후 05:00 표층 11 inds./100m³, 저층 58 inds./100m³, 08:00 표층 40 inds./100m³, 저층 66 inds./100m³, 11:00 표층 0 inds./100m³, 저층 83 inds./100m³로 시간 경과에 따라 저층에서 채집되는 해파리의 개체수가 증가하였다.

정점 2에서 5월 2일 11:00에 채집된 해파리는 표층 86 inds./100m³, 저층 304 inds./100m³로서 표층보다 저층에서 많이 출현하였다. 14:00에는 표층에서 36 inds./100m³, 저층에서 62 inds./100m³로 저층에서 많은 해파리가 채집되었다. 17:00에는 표층 203 inds./100m³, 저층 379 inds./100m³로 표, 저층 간 큰 차이를 보이지 않았지만 20:00에는 조사기간 중 정점 2에서 가장 많은 25,544 inds./100m³의 해파리가 표층에서 채집되었고 저층에서 715 inds./100m³의 해파리가 채집되었다. 23:00에는 표층 42 inds./100m³, 저층 89 inds./100m³의 해파리가 채집되었다. 5월 3일 02:00에는 표층에서 508 inds./100m³, 저층 12,680 inds./100m³로 저층에서 많은 해파리가 채집되었다. 이후 05:00 표층 401 inds./100m³, 저층 1,174 inds./100m³, 08:00 표층 193 inds./100m³, 저층 5,537 inds./100m³, 11:00 표층 486 inds./100m³, 저층 1,181 inds./100m³로 표층보다 저층에서 많은 해파리가 채집되었다.

정점 1의 해파리 출현 양상은 5월 2일 11:00부터 17시까지 채집된 해파리의 개체수에서 표, 저층 간의 차이는 크게 나타나지 않았지만 20시에 표층의 해파리 개체수가 저층의 개체수보다 커지고 23시에는 표층에서 가장 많은 해파리가 출현하였다 (Fig. 3-3-15). 이후 5월 3일 02시부터 11시까지 표층보다 저층에 더 많은 해파리가 분포하는 것으로 나타났으며 그 개체수도 시간 경과에 따라 증가하였다.

Table 3-3-8. Variations of *Aurelia aurita* abundance (inds./100m³).

		2007. 5. 2					2007. 5. 3			
		11:00	14:00	17:00	20:00	23:00	2:00	5:00	8:00	11:00
St. 1	Surface	10	2	4	4	241	6	11	40	0
	Bottom	9	6	5	0	47	19	58	66	83
St. 2	Surface	86	36	203	25544	42	508	401	193	486
	Bottom	304	62	379	715	89	12680	1174	5537	1181

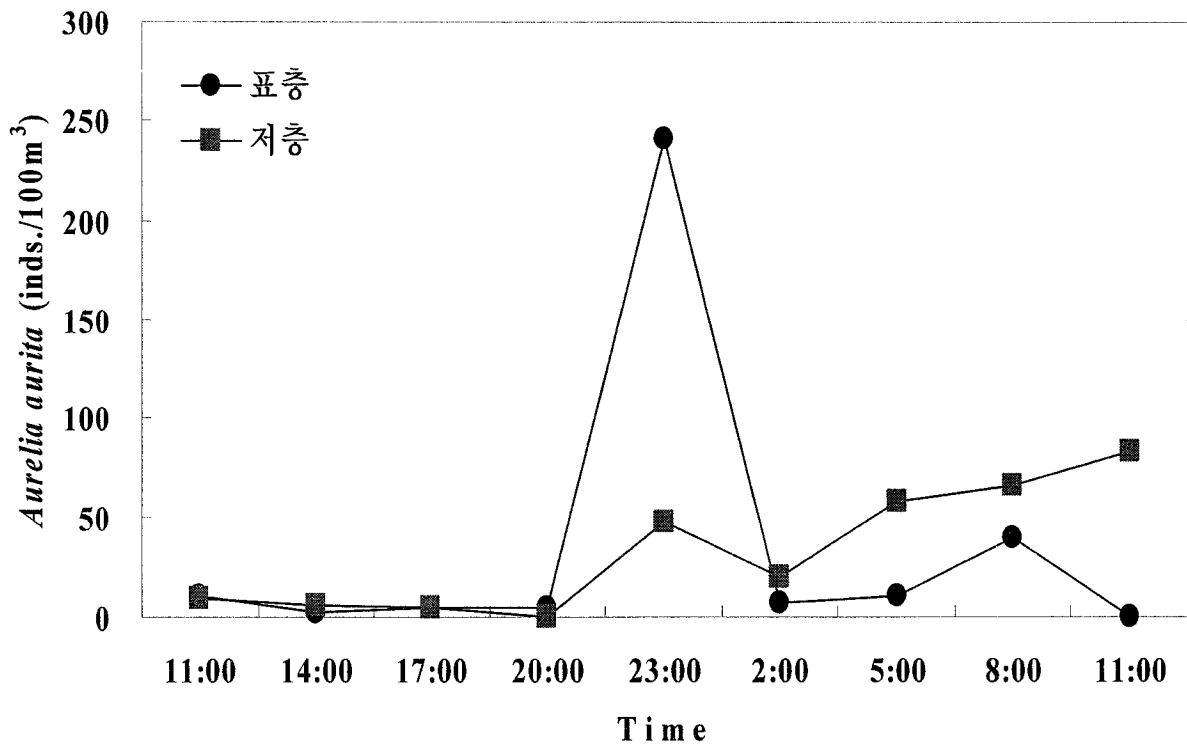


Fig. 3-3-15. Variations of *Aurelia aurita* abundance at the station 1.

정점 2의 해파리 출현 양상은 5월 2일 11시부터 17시까지 채집된 해파리의 개체수에 서 표, 저층 간의 차이는 크게 나타나지 않았지만 20시에 표층에서 가장 많은 해파리가 출현하였다 (Fig. 3-3-16). 23시에는 표층과 저층에서 큰 차이를 보이지 않았지만 5월 3일 02시에는 표층보다 저층의 해파리 개체수가 크게 증가 하였다. 이후 05시부터 11시까지 개체수의 진폭은 있지만 표층보다 저층에서 많은 해파리가 출현하였다.

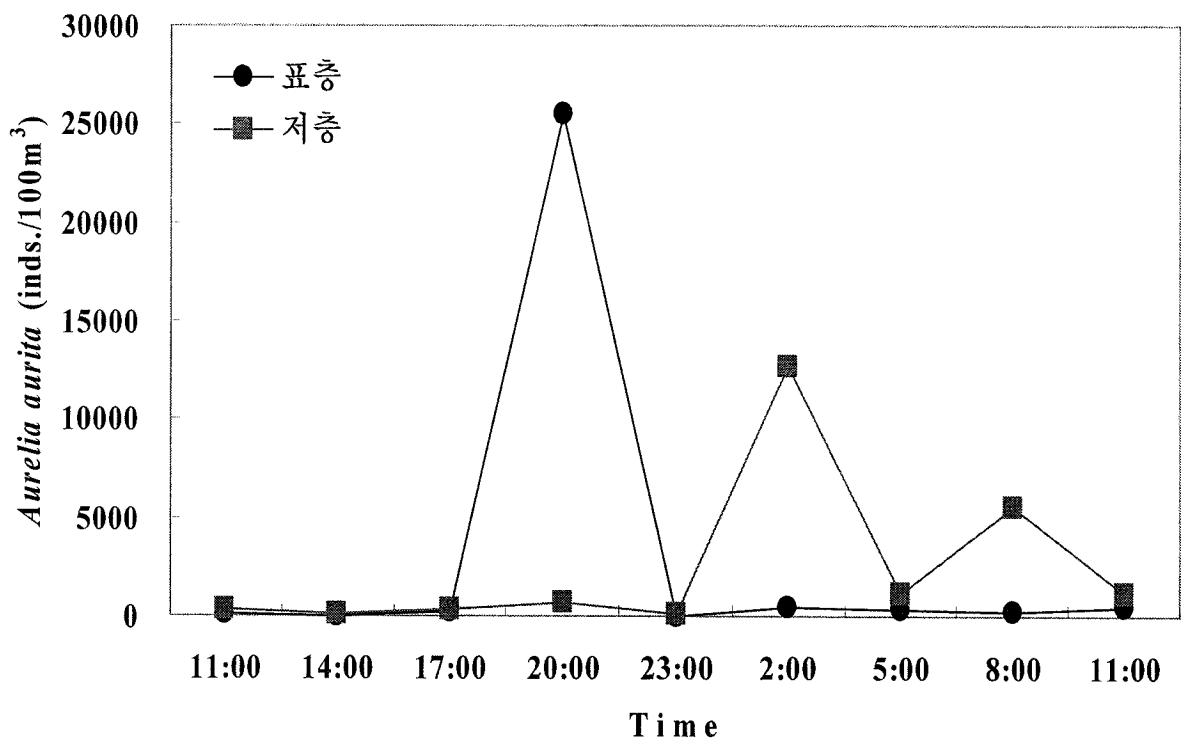


Fig. 3-3-16. Variations of *Aurelia aurita* abundance at the station 2.

조사기간 동안 정점 1, 2의 채집된 해파리의 직경을 분석한 결과 표층보다 저층의 해파리 직경이 약간 더 큰 것으로 나타났다 (Fig. 3-3-17). 정점 1에서 표층 해파리의 평균 직경은 19.54 mm, 저층은 25.17 mm 이었고 정점 2에서 표층 해파리의 평균 직경은 24.73

mm, 저층은 28.79 mm로 측정되었다. 두 정점에서 표층과 저층 모두에서 채집된 해파리의 평균 직경은 정점 1에서 22.76 mm, 정점 2에서 26.76 mm로 측정되었다.

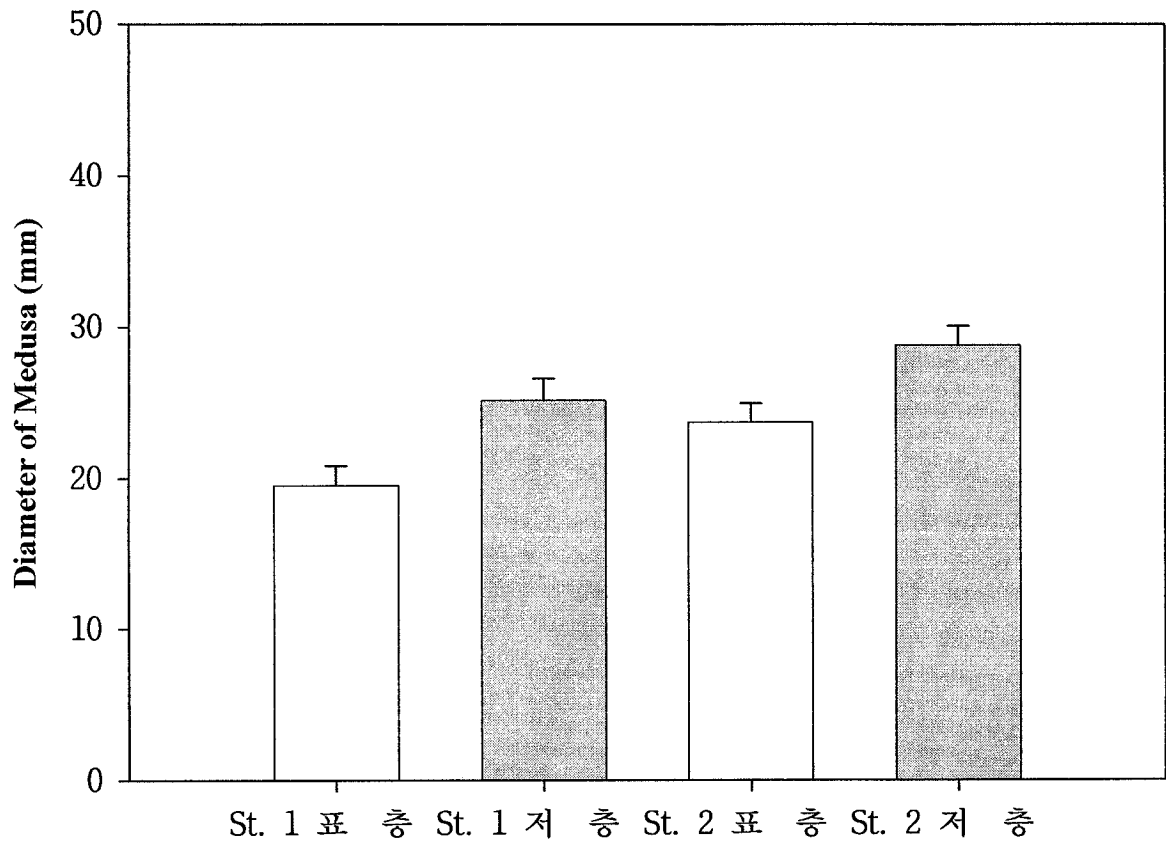


Fig. 3-3-17. Diameter of *Aurelia aurita* in survey area.

제 4 절 마산만과 해파리 대발생의 관계

마산만은 반 폐쇄성 내만으로 1970년 이후부터 임해산업단지로 개발되어졌다. 주변의 소하천을 통한 생활하수 및 오폐수의 유입증가는 수질 및 퇴적물 오염화와 생태계 변화를 야기하고 있다 (한국해양연구원 1999, 2003). 또한 만 주변의 공장부지와 부두확보를 위한 해안 매립과 항로개발, 오니제거를 위한 해저토 준설은 만의 해안지형과 해저지형의 심각한 변형을 이루어지고 있다 (마산시, 1994; 한국수산개발원, 2002). 향후에도 항만시설 확대 개발계획에 따라 해안 매립과 해저토 준설작업이 계속적으로 이루어질 예정이다.

미국 해군에 의해 1902년에 제작된 것으로 추정되는 지도에서 현재 마산 수출자유공단이 들어서 있는 마산만 북쪽 지역의 넓게 발달한 갯벌지역이 잘 나타나며, 이 당시 만의 전체 면적은 약 21.59 km²로서 측정된다. 이후 제대로 된 지형도인 1964년도 지형도면은 북쪽 만과 동쪽의 마산항 주변에 주로 매립되어 만의 면적이 약 19.88 km²로 줄어들었고, 1974년에 북쪽 해역의 확장 매립으로 약 19.50 km²로 감소되었다. 1985년과 1992년은 마산만 동쪽 만들이 집중적으로 매립되어, 현재 두산 중공업과 연안의 항만시설이 건설되었다. 1998년은 마산만 서쪽이 일부 매립되면서 현재의 해안선이 형성되었다. 1985년과 1998년의 만 면적은 약 16.80과 14.83 km²로 측정된다. 앞으로 2011년도에는 마산만 서측 해역의 매립으로 약 11.62km² 으로 감소할 것으로 예상된다. 1902년을 기준으로 2004년의 만 면적 감소율은 33.4%이며, 향후 2011년에는 약 47%로 원래의 절반 정도가 줄어들 것으로 예상된다 (Fig. 3-4-1, 한국해양연구원 2006). 마산만은 자연해안선이 거의 존재하지 않으며 인공해안선으로 만들어졌다. 해파리의 서식지로서 폴립부착 기질이 계속적으로 공급되어 온 것으로 판단된다.

마산 내만과 연결된 작은 소하천들로부터 지속적인 오염물질이 공급되고 있으며, 만 외부와의 느린 해수순환은 자정능력을 떨어뜨리는 원인으로 작용하기도 한다. 마산만 내만에서의 부영양화와 수시로 발생하는 식물플랑크톤 대발생은 늦봄부터 여름철까지 저층의 저산소층 형성을 발생시킨다. 마산지방해양수산청 부근에 위치한 해양수산부 해양수질 자동측정망의 자료에서 저 산소층 형성이 주기적으로 출현함을 보여주고 있다 (Fig. 3-4-2) 이러한 저산소층 형성은 저서성 어류 및 저서생물의 출현을 감소시키며, 이는 해파리 성장에 유리하게 작용한다. 해파리는 어류에 비해 낮은 산소농도에서 월등히 잘 적응한다. 또한 부착기질에 형성된 폴립은 마산만에서 봄부터 횡분체형성을 통해 에피라를 발생시키며, 에피라 성장은 봄부터 초여름까지 진행된다 (Fig. 3-2-10, 3-2-14). 이러한 시기

에 포식자인 어류의 출현이 환경요인에 의해서 제한받으므로 해파리의 초기성장에 매우 유리한 환경으로 사료된다.

해파리의 생활단계에서 폴립밀도는 planula 유생의 저서(부착)생태계로 성공적인 가입을 의미한다 (Lucas, 2001). 또한 폴립은 무성생식을 통해 급격히 개체수를 폭발적으로 증가시킬 수 있다. 그러나 planula 유생이 부착할 수 있는 부착기질이 존재해야 하며, 폴립이 개체수를 증가할 수 있도록 포식자들로부터 포식압력이 낮아야 한다. 폴립의 부착기질로는 흔히 연안에서 쉽게 볼 수 있는 스티로폼, 콘크리트, 유리 등에서 높은 폴립밀도를 보였다 (Fig. 3-2-34). 특히 콘크리트는 부두 및 방파제를 만드는 데 사용하는 것으로 연안에서 쉽게 볼 수 있다. 결국 인간의 연안개발은 폴립의 서식지를 만들어 주었다. 마산만도 지속적인 개발에 의해 긴 인공해안선은 폴립의 좋은 서식처를 제공하였을 것이다.

해파리 성체인 medusa 밀도는 횡분체에서 떨어져 나온 에피라의 부유생태계로 가입에 의존한다 (Lucas, 2001). 에피라의 지속적인 공급과 안정적인 성장이 medusa의 밀도에 영향을 미치게 된다. 또한 에피라와 어린 medusa는 주 먹이원인 중형 동물플랑크톤 (주로 요각류)과 포식자들의 밀도에 영향을 받는다. 앞에서 언급했듯이 저 산소층은 포식자들의 밀도를 유지하는 데 영향을 미칠 것이다. 그러나 해파리와 중형 동물플랑크톤의 출현량을 보면 매우 상관성이 있는 것으로 보인다 (Fig. 3-4-3). 특히 해파리와 요각류 출현량은 서로 상반되는 양상을 보이는 데, 해파리 출현량이 증가하면 요각류 출현량이 감소함을 보이고 해파리 출현량이 감소하면 요각류 출현량이 증가함을 보였다. 해파리와 요각류 출현량은 서로 역 상관성을 보였다 (Fig. 3-4-4). 이는 해파리 성장에 있어서 요각류가 주요 먹이원으로 사용되고 있는 것으로 사료된다. 또한 마산만에서 자주 발생하는 식물플랑크톤의 봄철 대발생 (spring bloom)은 해파리에 의한 요각류의 밀도 조절에 의해서 발생할 수 있음을 시사한다.

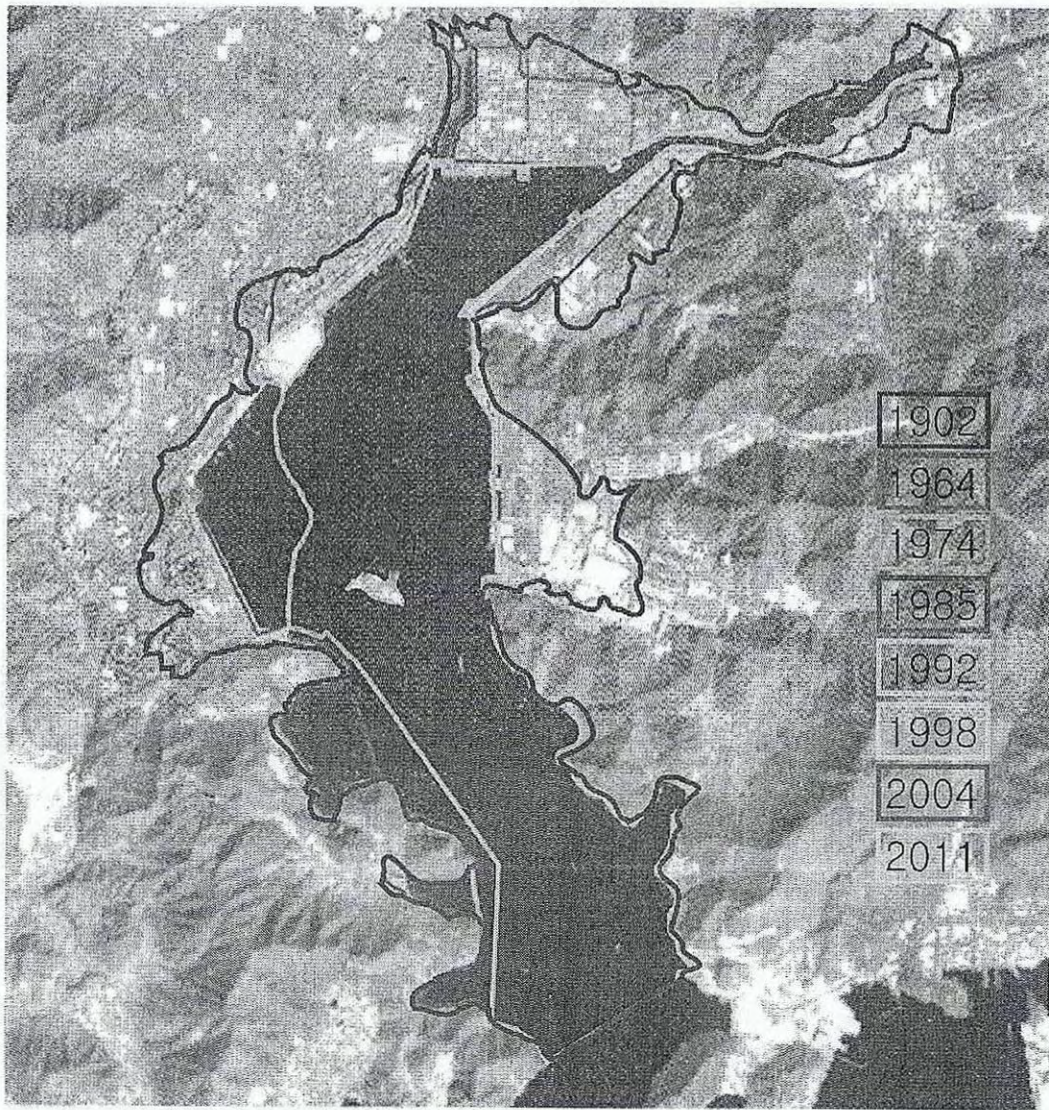


Fig. 3-4-1. Map showing the geomorphological changes of the Masan Bay from 1902 to 2011 (from KORDI, 2006)

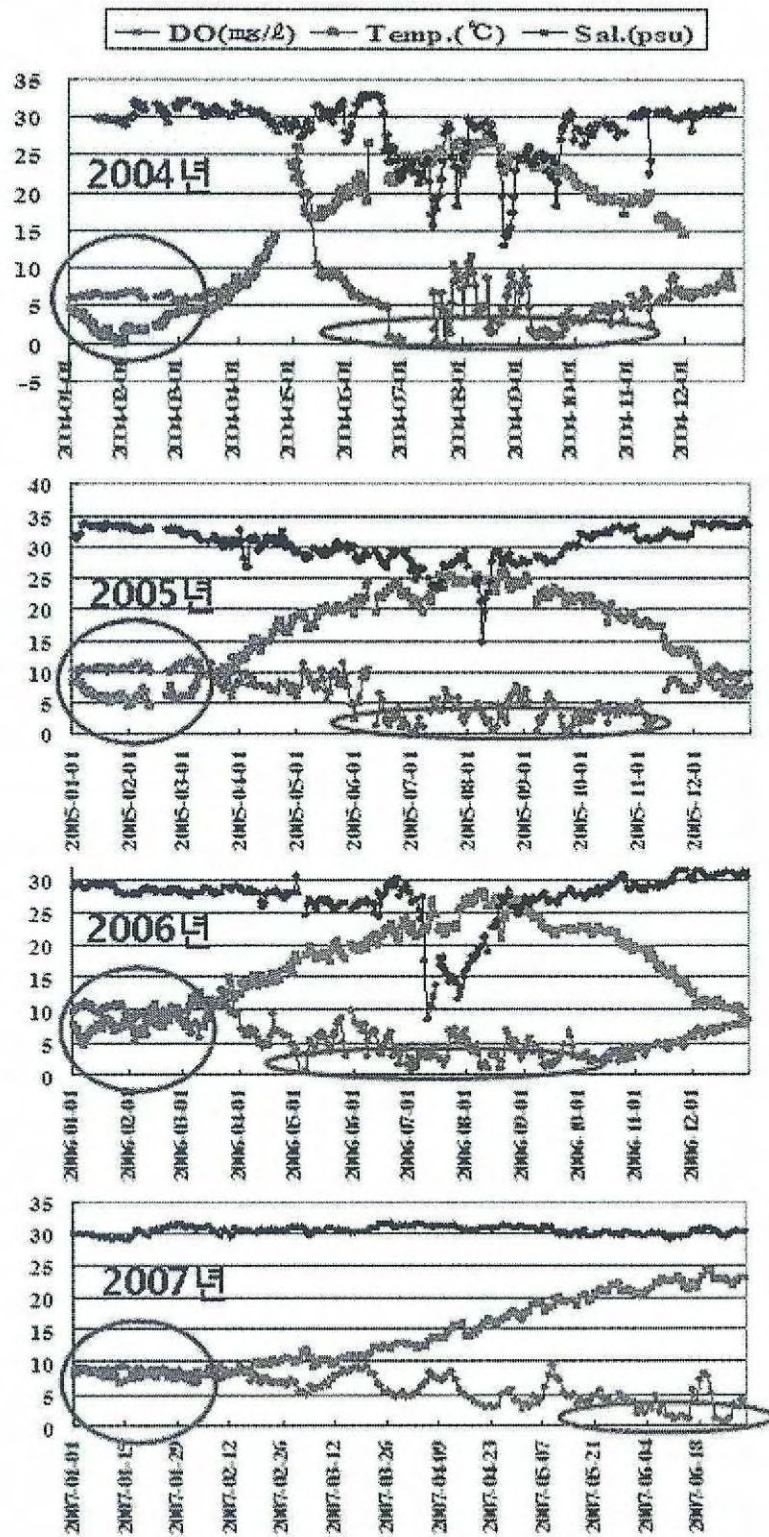


Fig. 3-4-2. Variation of dissolved oxygen concentration, temperature and salinity in inner part of Masan Bay.

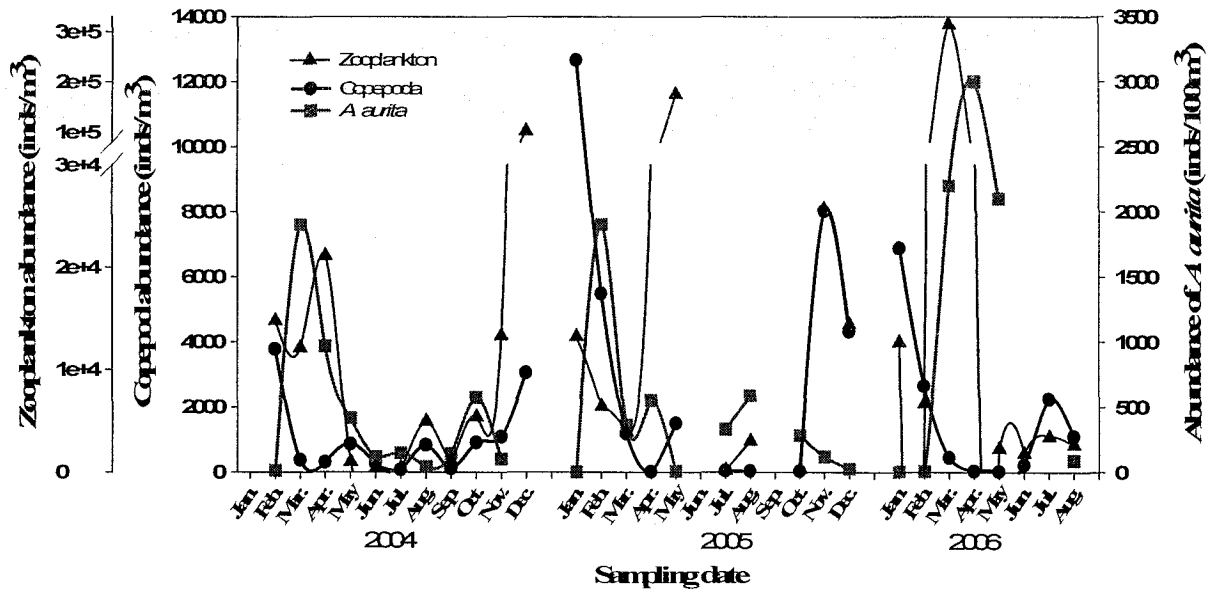


Fig. 3-4-3. Variations of *A. aurita*, copepoda and zooplankton in the study area.

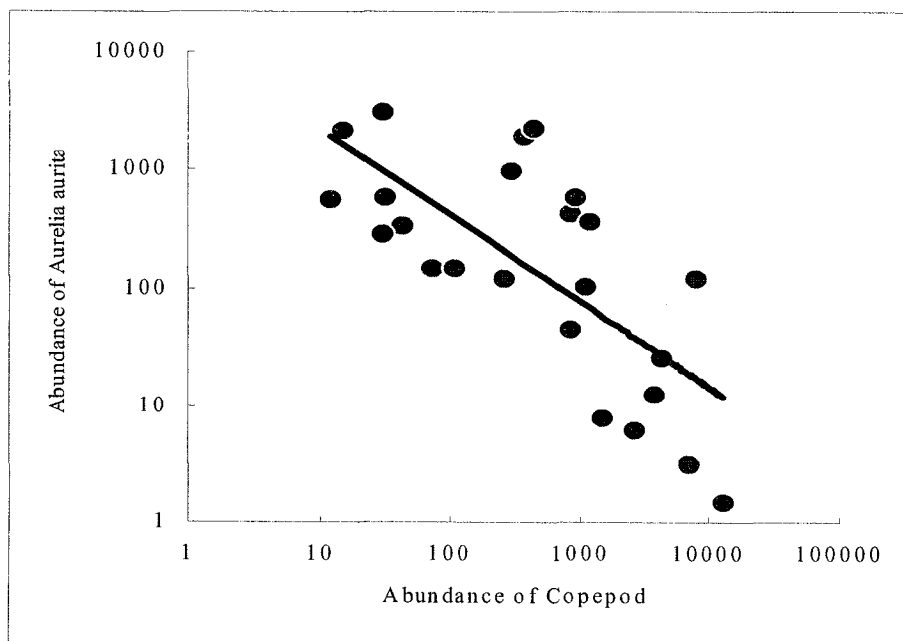


Fig. 3-4-4. Relationship of copepod, zooplankton and *A. aurita* during the study period.

여 백

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

여 백

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발목표의 달성도

구 분	연구계획	달성내용
1차년도 (2004)	○ 해파리 생활사 과정 분석	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해파리 대발생 원인 종인 보름달물해파리 (<i>Aurelia aurita</i>)의 전 생활사과정을 실험실과 현장 (마산만)에서 분석하였음.
	○ 생활사 단계별 최적성장조건 확립	<ul style="list-style-type: none"> ■ 보름달물해파리의 플라눌라 유생의 고착을부터 폴립발생, 성장과정에 대한, 수온, 염분의 영향을 조사, 분석하였음.
	○ 생활사 중 무성생식기 역할과 환경변화가 미치는 영향 제시	<ul style="list-style-type: none"> ■ 보름달물해파리 폴립의 무성생식에 영향을 미치는 수온, 염분조건을 조사하였으며, 보름달물해파리의 섭식, 소화시간을 조사, 분석하였음. ■ 현장에서 폴립부착판을 설치하여 폴립부착율, 수심 등에 대한 정보를 획득하였음.
2차년도 (2005)	○ 저 산소층이 해파리에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해파리 대발생 원인 종인 보름달물해파리 (<i>Aurelia aurita</i>)의 산소소모량과 생존에 대한 실험을 하였음.
	○ 폴립 부착기질 평가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현장에서 보름달물해파리 플라눌라 유생의 고착, 발생을 부착판을 이용하여 조사, 분석하였음. ■ 연안에서 사용 가능한 여러 종류의 부착판을 이용하여 부착기질의 선택성을 조사하였음
	○ 해파리의 생화학적 성분 분석	<ul style="list-style-type: none"> ■ 보름달물해파리 성체를 각 조직별로 동결, 건조하여 지방산, 탄수화물, 단백질, 지질을 분석하였음.
	○ 해파리가 먹이망에 미치는 영향 분석	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현장에서 보름달물해파리와 동물플랑크톤을 채집하여 개체수의 변화를 비교하고 보름달물해파리의 위장 내용물을 분석하였음.

3차년도 (2006)	○ 해파리의 diurnal 특성 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해파리 대발생 원인 중인 보름달물해파리의 일일 변화측정을 위해 두 개의 정점에서 25시간 관측을 실시하였음. ■ 일반적인 환경요인, 영양염, 엽록소농도, 동, 식물플랑크톤을 동시에 측정하여 시, 공간적 변동을 분석하였음.
	○ 현장에서의 폴립 부착물 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2차 년도부터 계속해서 현장에서 보름달물해파리 플라눌라 유생의 고착, 발생을 부착판을 이용하여 조사, 분석하였음.
	○ 마산만에서 해파리 대발생 연구	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해파리 대발생을 위한 마산만의 지역적 특성(연안개발, 오염 등)과 해파리의 환경적응력 및 생활단계의 특성 분석

제 2 절 관련분야의 기여도

1. 환경기술적 기여도

본 연구를 통하여 획득될 자료의 축적 및 기술 확보는 다양한 측면에서 다음과 같이 기여할 수 있다고 판단된다.

- ◆ 해파리는 쉽게 손상 받고, 끈적끈적한 점착성 물질을 갖고 있어서 정량적 채집이 매우 어려움. 그러나 폴립의 밀도와 이로부터 에피라 유생의 방출율과 사망률로부터 잠재적인 현존량 추정 기술을 확보
- ◆ 해파리 생활사 분석 기술 확보
- ◆ 해파리의 생리적 상태 진단기술 확보
- ◆ 해파리 대발생의 확산 및 이동예보 시스템 구축의 필수적인 자료 확보
- ◆ 내만성 적조발생 기작 규명을 위한 자료 확보
- ◆ Bloom 기작 분석기술 확보
- ◆ 해파리 진단키트 개발을 위한 기반기술 확보

2. 사회·경제적 기대효과

- ◆ 해파리 대발생의 어장 및 산업시설 내습으로 인한 피해 저감대책 마련을 위한 기본적인 정보 제공
- ◆ 해파리 중 다양성 자료 확보
- ◆ 해파리의 잠재서식지 정보화를 위한 기반자료를 제공함
- ◆ 연안개발을 위한 인위적 구조물 선택과 인위적으로 훼손된 생태계의 복원을 위한 정책 방향설정을 자료를 제공함

여 백

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

여 백

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구는 해파리 연구의 기초적인 단계로 생활사부터 현장 (마산만)에서의 개체군 변동까지를 포함하고 있다. 본 연구를 통해 해파리 폴립을 배양하고 유지할 수 있으며, 폴립으로부터 황분체를 만들어서 에피라를 발생시킬 수 있는 시스템을 확보할 수 있었다. 이러한 시스템이 최근 수산업계에 큰 영향을 미치고 있는 대형해파리 생활사 연구에 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 폴립 부착판을 사용한 연구는 보름달물해파리의 서식처를 찾아내는 데 유용한 도구로 활용할 수 있었다. 이러한 부착판은 대형해파리의 예상 이동경로에 설치하여 우리나라 연근해에서의 자생가능성을 타진하는 데 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

이외에도 다음과 같이 활용될 수 있다.

- 연안해역 환경개선을 위한 기초자료 제시 및 수산자원 관리, 연안역통합관리를 위한 정책 자료로 활용
- 연안환경변화 및 남획에 따른 생태계 파괴에 미치는 영향과 이에 따른 수산업 활동에 미치는 파급효과에 대한 어업인 교육 자료로 활용
- Jellyfish bloom 예측, 예보 시스템 구축을 기본자료
- Jellyfish bloom 저감 및 차단기술 개발을 위한 기본자료

본 연구결과를 토대로 앞으로 우리나라 연안에 서식하는 해파리 분포를 파악하고 종의 서식지를 확인함으로써 외부에서 유입되어 일시적으로 출현한 것인지 또는 자생지역인지를 확인해야 한다. 현재 해파지 종의 다양성은 기후변동 및 환경변화와 밀접한 관계를 갖고 있으므로 매우 중요하다. 자생지역에 대한 생태계정보와 해파리 개체군의 변동연구를 통해 해파리 개체군은 관리하거나 조절하는 방안을 마련할 수 있을 것이다.

여 백

제 6 장 참고문헌

여 백

제 6 장 참고문헌

- 국립해양조사원. 2007. 해양자료실. (on-line). Available from: <http://www.nori.go.kr/korea> (Accessed Sep. 19 2007).
- 김용서, 장민철. 2001. 황해 소난지도 인근해역에서 조류(潮流)에 따른 요각류 개체수의 변화. 환경생물학회지, 19(2): 137-145.
- 마산시. 1994. 마산만 준설에 따른 해양환경 종합 모니터링 보고서. 264p.
- 박 철. 1989. 연안역 동물플랑크톤 시료의 변이: 반복 채집 및 시간별 채집의 필요성. 한국해양학회지, 24(4): 165-171.
- 심재형. 1994. 한국동식물도감 -제 34권 해양식물플랑크톤편-. 문교부, pp. 487.
- 양기섭. 1994. 마산만 수질에 영향을 미치는 유입 오염부하 특성. 경남대 석사학위논문.
- 이택건, 박명환, 신경순, 장 만. 2000. 질산염과 인산염 농도 변화에 따른 *Gymnodinium sanguineum*과 *Skeletonema costatum*의 성장과 생화학적 구성성분의 비교. 한국환경생물학회지, 18(4), 395-401.
- 장 만, 조진하, 신경순, 이우성, 이택건. 1998. 적조원인종인 *Prorocentrum minimum*의 온도에 따른 생화학적 조성의 변화. 한국환경생물학회지, 16(4), 397-401.
- 최중기. 1991. 황해 중동부 연안 수역의 조석전선이 식물플랑크톤 생산력과 분포에 미치는 영향. 한국해양학회지, 26(3):223-241.
- 한국수산개발원. 2002. 제1차 마산만 특별관리해역 지역포럼 자료집. 89p.
- 한국해양연구원. 1999. 진해 마산만 수질환경 관리모델 개발(II). BSPE98703-01-1147-2, 395p.
- 한국해양연구원. 2003. 연안역에서의 육지와 해양 상호작용 연구 (1)남해 동부연안역의 영양 물질 유입과 생물 생산력 개발 환경조성 기반기술. BSPE827-01-1493-4, 505p.
- 한국해양연구원. 2005. 해양생물에 의한 취수구 폐쇄현상 방지기술. BSPN52700-1716-3. 과학기술부, pp 525.
- 한국해양연구원. 2006. 남해특별관리해역의 환경위해성평가 연구. BSPE, 97104 -1868-3.
- Cupp, E.E., 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. University of California press, Berkeley and L.A., 237pp.
- Dittmer JC and MA Wells. 1969. Quantitative and qualitative analysis of lipids and

- lipids components. *Method Enzymol*, 14, pp. 482-531.
- Dodge, J.D., 1982. *Marine dinoflagellates of the British Isles*. Her Majesty stationary office. London, 303pp.
- Dubois M, KA Gilles, JK Hamilton. PA Rebers and F Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem*, 28, pp 350-356.
- Freire AS, MJC Coelho, SLC Bonecker. 1993. Short term spatial-temporal distribution patterns of zooplankton in Admiralty Bay(Antarctica). *Polar Biol*, 13: 433-439.
- Gasol, J.M. and D., Vaque. 1993. Lack of coupling between heterotrophic nanoflagellates and bacteria: A general phenomenon across aquatic system? *Limnol. Oceanogr.*, 38, 657-665.
- Gröndahl, F., 1988. Interaction between polyps of *Aurelia aurita* and planktonic larvae of scyphozoans: an experimental study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 45: 87-93.
- Han, M.S., Kim, S.W. and Y.O., Kim. 1991. Influence of discontinuous layer on plankton community structure and distribution in Masan Bay. Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24, 459-471
- Hickman, C. P., C. P. Hickman, F. M. Hickman and L. S. Roberts, 1979. *Integrated principles of zoology*. The C. V. Mosby Co., St. Louis, Toronto, London.
- Lee, C. and Lim, W. 2006. Variation of Harmful Algal Blooms in Masan-Chinhae Bay. *ScienceAsia*, 32, 51-56.
- Levasseur M, J-C Therriault and L Legendre. 1984. Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 19: 211-222.
- Lucas, C.H., 2001. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment. *Hydrobiologia* 451: 229-246.
- MacKenzie BR and WC Leggett. 1991. Quantifying the contribution of small-scale turbulence to the encounter rates between larval fish and their zooplankton prey: effects of wind and tide. *Mar. Eco. Pro. Ser.*, 73: 1149-160.
- Normann HA and JBS John. 1986. Metabolism of unsaturated monogalactosyl diacylglycerol molecular species in *Arabidopsis thaliana* reveals different sites and substrate for linolenic acid synthesis. *Plant Physiol*, 81, pp 731-736.

- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli. 1984. Nutrient. p.1-28. In: A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. ed. by. T.R. Parsons, Y. Maita, and C.M. Lalli. Pergamon Press, New York.
- Rothschild BJ and Osborn TR. 1988. The effects of turbulence on planktonic contact rates. J. Plankton Res., 10(3): 465-474.
- Sameoto DD. 1975. Tidal and diurnal effects of zooplankton sample variability in a nearshore marine environment. J. Fish. Res. Board Can., 32: 347-366.
- Shannon, C.E., and W. Weaver. 1963. Diversity indices. In Ludwig, J.A., and J.F. Reynolds. 1988. Statistical ecology. John Wiley & Sons, pp. 89-92.
- Sournia, A. 1978. Phytoplankton manual. Unesco, Paris, 337pp.
- Tomas, C.R. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic press, San diego, 858pp.
- Willén, T. 1976. A simplified method of phytoplankton counting. British phycology Journal, 11, 265-278.
- Y. fukuda and T. Naganuma. 2001. Potential dietary effects on the fatty acid composition of the common jellyfish *Aurelia aurita*. Marine biology, 138: 1029-1035.