

BSPN 00224-740-1

# 熱帶 西太平洋의 海況變動性 研究

— 西太平洋 赤道 縱斷觀測

A Study on the Oceanographic Variabilities in the Western Tropical Pacific

—An Oceanographic Survey across the Equator in the Western Pacific

1994. 9.

研 究 機 關  
韓 國 海 洋 研 究 所

科 學 技 術 處

# 提 出 文

## 科學技術處 長官 貴下

본 보고서를 “熱帶 西太平洋의 海況變動性 研究 - 西太平洋 赤道 縱斷觀測”의 最終報告書로 提出합니다.

1994년 9월 19일

주관연구기관명 : 한국 해양 연구소

연구책임자 : 석 문 식

연 구 원 : 박 병 권, 홍 기 훈, 박 필 성

방 인 권, 유 신 재, 이 재 학

남 수 용, 정 창 수, 강 동 진

최 현 우, 황 상 철, 김 석 현

장 경 일, 전 동 철, 신 경 순

김 구, 김 경 렬, 강 인 식

연 구 조 원 : 장 영 석, 김 영 규, 김 준 영

조 양 기, 민 홍 식, 최 병 주

황 점 식, 양 해 규, 최 문 수

# 요 약 문

## I. 제 목

열대 서태평양의 해황변동성 연구 - 서태평양 적도 종단관측

## II. 연구의 필요성과 목적

근래에 와서 우리나라 뿐 아니라 세계 여러 지역에서 이상기후가 빈번하게 발생되고 있어 국제적으로 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 이러한 이상기후는 직접적으로 국민생활에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 정보 제공은 국가적으로 매우 중요한 일이다. 우리나라에서 발생하는 이상기후는 국지적 원인에만 기인한 것이 아니라, 전 지구의 기후 시스템 변동이 지구의 한 부분에 위치한 우리나라에 그렇게 나타나고 있는 것인 바, 기후변화는 전 지구적으로 이해하도록 접근하여야 함은 당연하다.

지구에 열에너지를 공급하는 태양의 복사량은 위도에 따라 다르며, 대기가 흡수한 부분은 대기의 역할에 의해 전 지구에 재분배되고 해양이 흡수한 부분은 해양의 역할로 재분배되어 지구의 기후 시스템을 형성하고 있다. 대기와 해양은 이 기후 시스템 속에서 상호작용을 하고 있는데, 대기는 현상을 빠르게 변화시키는 반면 해양은 느린 변화와 기후 형태를 이끌고 있다.

열대 서태평양의 평년 해면수온이 매우 높은 해역을 Warm-Pool이라고 부르는데, 이는 해양이 막대한 에너지를 대기로 공급하는 창구 역할을 하고 있다. 즉, 이 Warm-Pool이 전 지구의 기후 시스템을 움직이는 대기 대순환의 심장역할을 한다. Warm-Pool의 조그마한 변동, 즉 그 위치나 해면수온에 있어서의 변동이 전 지구 기후 시스템에 영향을 미치므로 이상기후를 이해하기 위해서는 해양의 역할을 이해하는 것이 매우 중요하다. 이 Warm-Pool과 관련된 엘니뇨현상은 해양에서 가장 큰 장주기 현상으로 오래 전부터 인지되어 왔으며, 지역적으로는 엘니뇨현상과 동반하여 발생하는 이상기후가 널리 알려져 있다.

TOGA 후반기의 중요한 노력으로 Warm-Pool에서의 정밀하고 집중적인 자료획득을 위한 IOP(Intensive Observation Period, 집중관측기간)가 설정되었다. 1992년 11월부터 1993년 2월까지 집중적이고 종합적인 실험 및 관측(IOP)이 적도 서태평양에서 실시되었는데, 본 연구사업을 통하여 우리나라도 이에 참여하였다. 비록 이 기간에는 연구인력 만이 참여하였으나 우리나라가 TOGA 연구사업에 기여한다는 것을 국제사회의 인식시킬 수 있었으며, 앞으로 기후 변동성 연구에 중요한 TOGA 연구사업의 국제적 성과를 공유하게 되는 최소한의 기반을 갖게 되었다.

열대해양에는 중고위도 해역과 구별되는 고유하고 독특한 역학적 현상이 있는데, 이는 적도에 접근함에 따라 감소하는 Coriolis 변수로 인하여 운동방정식에서의 역학적 균형이 중고위도 해역과 크게 다름에 기인한다. 비록 우리나라는 중위도 지역에 위치하고 있으나, 이 열대해역의 문제를 우리의 문제로 인식하는 것이 세계적인 지구화 추세에 부응하는 것이다. 그러므로 가용한 대양자료를 확보하여 우리나라에서 열대해양의 연구가 진행될

수 있는 기반을 조성하는 것이 필요하다.

### III. 연구개발의 내용

- 다자간 활용이 가능하고 여러 분야가 참여할 수 있는 국가 대양 관측정선을 구성하여 종합해양조사선인 온누리호를 사용한 대양항해를 실시함.
- 대양항해는 TOGA, JGOFS, WOCE 등의 국제관측계획의 연구주체와 긴밀한 유대를 갖고 연구계획을 고려하여 우리나라의 역할 분담이 가능하게 함.
- 국제적으로는 대양관련 연구가 해양연구에서 차지하는 비중이 높은 반면, 우리나라에서는 연구자 개인의 단편적인 경험을 바탕으로 할 뿐 실제적인 대양연구가 진행되지 못하였음. 대양관련 연구가 성공적으로 수행되기 위하여서는 대학이나 타기관 등에 있는 전문가들의 참여가 필수적임. 또한 대양관측은 기본적으로 선박사용료의 부담이 커서 이와 같은 기회가 많지 않으므로 가능한 범위 내에서 여러 분야와 여러 기관이 참여할 수 있도록 유도함.
- 열대 서태평양에 관측정선을 구성하여 관측을 실시함으로써 국제 TOGA 연구사업에 참여하였고 국제적 연구성과인 자료를 공여받을 수 있게 됨.
- 이러한 자료는 우리나라가 독자적으로 확보할 수 있는 한계를 넘

는 것이며, 우리나라의 기후에 영향을 미칠 수 있는 열대 서태평양의 해황변동 연구와 더불어 해양-대기 경계층의 역학과정 연구의 기초적 자료가 됨.

- 이러한 연구가 앞으로 원활하게 진행될 수 있도록 태평양 해양자료를 확보하고 항상 사용할 수 있도록 데이터베이스화 함.
- 금세기 최대 규모의 국제 해양관측계획인 TOGA/COARE의 IOP 동안에 연구인력이 참여하여 대양연구의 국제적 동향을 파악하고 우리나라의 연구능력을 확충함. TOGA/COARE는 열대 서태평양의 Warm-Pool 해역과 관련하여 TOGA의 기본적 목표이면서 미해결로 남아있는 논점에 대한 이론적 근거를 제시하는 사업임. Warm-Pool 해역에서 해양학이나 대기과학의 현상적 측면을 파악하는 것으로 COARE 항목을 정함.

## IV. 연구개발의 결과

### 1. 열대 서태평양 정선관측

1차년도에 계획, 수행한 정선관측을 2차년도에도 반복하여 수행하였다. 즉, 동경 137도선을 따라 북위 10도부터 북위 5도까지는 1도 간격으로, 그리고 북위 5도부터 적도까지는 30분 간격으로 정선을 구성하여 물리, 화학, 생물학적 요소를 관측하였다. 북위 9도, 7도, 5도, 4도, 3도, 2도, 1도, 그리고 적도의 정점에서 관측은 전 수심층을, 그 외의 정점은 상층 1,000미터

까지를 대상으로 하였다. CTD의 하강과 상승시 자료를 모두 수집하였는데 상승시에는 해수채취도 함께 수행되었다. 특히 북위 2도의 정점은 우리나라의 ATLAS 부이를 계류한 지점과 인접한 곳으로, 상층 1000미터까지의 수심층에 대하여 CTD와 ADCP의 24시간 연속관측도 이루어졌다. 그렇지만, 24시간 연속관측 동안에 ATLAS 부이는 현장에 있지 않았다.

## 2. 대양자료의 데이터베이스화

본 연구사업은 국제 TOGA 연구사업 주체와 긴밀한 협조체제를 유지하여, 대양연구와 전 지구적 연구를 위한 자료를 관리하고 있는 미국 NCAR로부터 대양자료를 확보하고 운용하는 방법을 습득하였다. 아울러 열대 태평양을 실시간 관측하는 ATLAS 부이 시스템을 운영하고 있는 미국 PMEL의 TOGA/TAO 관측자료를 준실시간으로 획득하고 활용하는 체제를 한국해양연구소 내에 갖추었다. 앞으로 확보할 자료는 국내에서 필요로 하는 대학과 연구기관에 제공하게 되는데 전문가들의 자문을 통하여 효율적 방안을 강구할 예정이었다. 그러나, 과학기술처의 연구과제 관리체계가 변경됨으로 인하여 2차년도로 사업을 마감하게 되어 중단되었다.

## 3. 국제 TOGA/COARE 연구 참여

열대 서태평양에서 1992년 11월부터 1993년 2월까지의 기간 동안에 정밀하고 집중적인 관측(IOP)이 이루어진 바 있다. 우리나라는 연구인력의 참여라는 부분적인 참여를 통하여 기술습득이 가능하였다. 이 4개월의 관측 기간 동안에 20여개국에서 참가한 1,200명에 가까운 연구참여자는 700일이 넘는 조사선 활용, 12,000여 개의 rawinsonde, 125번의 관측비행, 그리고 30

여 계류 정점에서 연속관측 등을 실시하였다.

이렇게 획득한 자료를 바탕으로 다양한 연구가 가능하게 되었다. 1994년 8월에는 TOGA/COARE 자료 워킹 국제회의가 프랑스에서 개최된 바 있는데 우리나라에서 3명이 참가하였고(해양분야는 한국해양연구소에서 2명, 기상분야는 서울대에서 1명), 1995년에는 TOGA-95 심포지움이 호주에서 열릴 예정이다.

## V. 결론 및 토의

1차년도에 이어 2차년도에도 열대 서태평양에서 동경 137도선을 따라 적도 종단관측을 실시하였다. 본 연구사업에서 획득한 해양관측자료는 우리나라의 대양연구에 활력소가 되며 국제사회에 우리나라의 실적으로 제공하게 된다. 대양연구가 실질적인 성과를 얻기 위하여서는 대양연구에 적합한 해양조사선을 보유하여야 하며, 관련 연구자의 적극적인 참여와 기여가 필요하다. 금번의 관측도 1차년도와 마찬가지로 해양물리, 화학, 생물분야의 연구원으로 구성된 조사팀에 의하여 수행되어 대양의 자료를 필요로 하는 연구를 공동으로 수행할 수 있었다. 해양에서의 물질순환은 아직 잘 알려져 있지 못한 관계로 대양에서의 물질순환 관련 자료의 획득은 그 자체로도 의미를 갖는다. 대양에서의 일차생산력은 용승이 일어나는 일부 해역을 제외하면 대체로 낮은 편이나 물질순환에서 차지하는 비중은 크다. 일차생산력은 원격탐사에 의해 추정이 가능하나, 직접적인 관측은 원격탐사 결과의 오차를 평가하는데 중요하다.

국제 TOGA 연구사업은 1985년에 출발한 이래 전세계적으로 많은 연구가 이 범주에서 이루어져 왔고 가장 성공적인 국제연구로 평가받고 있으



며, 금년에 그 10년 계획의 매듭을 짓는 시점에 와 있다. 지구과학 연구의 세계적 추세가 전지구기후 또는 지구환경변화 등에 중점을 두는 방향으로 계속되고 있고, 특히 TOGA 연구사업이 갖는 중요성이 크므로 TOGA를 승계하는 연구프로그램으로 새롭게 국제 CLIVAR 연구사업을 구성하게 되었다. 국제 CLIVAR 연구사업은 1995년부터 2010년까지의 15년 계획으로 범세계적 참여가 기대된다.

우리나라는 본 연구사업을 통하여 국제 TOGA 연구사업에 직접적으로 참여할 수 있게 되었을 뿐 아니라 우리나라의 대양연구 수준을 향상시킬 수 있게 되었다. 본 연구사업에서는 종합해양조사선인 온누리호를 이용하여 적도 종단관측 정선을 구성하여 실시하였으며, 국제 TOGA 연구사업 중 중점과제인 TOGA/COARE와 TOGA/TAO에도 연구인력의 참여를 유도하였다. 그렇지만, 2차년도 사업의 집행 도중인 1994년도에 과학기술처의 연구과제 관리체제의 대폭적인 변경으로 인하여 본 연구사업은 2차년도로 종료하게 되었다. 이러한 입장에서 「국가대양관측계획」의 필요성과 중요성을 강조하지 않을 수 없다. 혹자는 국제 TOGA 연구사업의 종료가 금년이니까 본 연구과제의 지속적 수행이 불필요한 것으로 비평하였으나, 그것은 지구환경변화 연구의 범주에서 기획하고 수행되어온 것이 본 연구과제이며, 또한 국제 TOGA 연구사업이었음을 망각한 견해라 사료된다. 그리하여 1995년부터 2010년까지의 15년 계획으로 수행될 국제 CLIVAR 연구프로그램을 바라보는 본 연구의 참여자들의 심정은 매우 착잡함을 언급하지 않을 수 없다.

# SUMMARY

## I. Title

**A Study on the Oceanographic Variabilities in the Western Tropical Pacific - An Oceanographic Survey across the Equator in the Western Pacific -**

## II. Significance and Objectives of the Study

In recent years, anomalous climate occurs frequently, not only in our country but also worldwide, giving rise to a growing interest in the change. Such anomalous climate has a direct influence on our everyday life, and hence, from a national point of view, it is vital to supply enough information on it. It is natural to try to understand such phenomena in the global point of view, since the anomalous climate in our country is not due to local reasons but is a projection of the variability of the global weather system.

The solar radiation that provides heat energy to the earth differs at different latitudes. But the portion absorbed by the atmosphere and the ocean is redistributed globally through their activities, to influence the global weather system. Ocean and the atmosphere, of course, interact each other in the global weather system. The former is

responsible for rapid changes, and the latter for the slower and the type of climate.

The region in the western tropical Pacific with very high annual sea surface temperature is called the Warm-Pool, and it plays a key role in transferring enormous energy to the atmosphere. That is, the Warm-Pool is the heart of the atmospheric circulation, which in turn, has significant influence on the global weather system. Since minor variability of the Warm-Pool, i.e., the changes in its position and the sea surface temperature, can influence the global climate system significantly, it is totally necessary to take the role of the ocean into account for better understanding of such anomalous climate changes. Associated with the Warm-Pool, El Niño events have been recognized for a long time as one of the longest-period oceanographic phenomena, and the resulting anomalous weather has been reported widely.

At its later stage, TOGA established the IOP (Intensive Observation Period) for more accurate and intensive data collection. By our first participation in the IOP, Korean researchers began to get involved in TOGA. Although it takes only a small portion of TOGA, our efforts and contribution will be recognized by ocean research community in the world, and we can share the fruits of TOGA program.

The tropical ocean has its own characteristic phenomena

distinguished from those occurring in mid and high latitudes, and that can be explained by differences in dynamical features. In tropical oceans, the momentum balance is different from that in the mid and high latitudes because of the diminishing Coriolis parameter as approaching the equator. Even though our country is located in the mid latitude, it is appropriate to view such anomalous variability in tropical regions as our own problem. Hence it is necessary to establish a foundation for tropical ocean research by obtaining available ocean data.

### III. Scope of the Study

1. Observation line is designed so that various groups of oceanographers can get what they want, and conducted ocean cruise by KORDI's R/V Onnuri.

2. The project enabled Korea to play an important part in cooperative international research programs by keeping close relationships with the main bodies of international programs like TOGA, JGOFS, and WOCE.

3. Internationally, the weight of ocean-related research in the field of oceanography is large. However, no systematic research has been conducted in Korea. Hence for successful conduction of ocean research, it is necessary for experts in universities and other organizations nationwide to join the project. Since ocean cruise basically requires a great amount of fund for ship charges, it is advised to create an atmosphere so that as many experts from various organizations as

possible can join the cruise.

4. By conducting oceanographic observations in the western tropical Pacific, it is now possible to join the international TOGA program and obtain valuable data from it.

5. The amount of such data set far exceeds the amount that our country alone can collect through our own measurements, and they can be the basis for future researches on the variability of oceanic conditions in the western tropical Pacific, that can influence the climate in our country, and on dynamical processes at the ocean-atmosphere boundary layer.

6. Obtained available valuable observation data in the Pacific, and established a database so that further research programs can be performed without difficulty.

7. By our joining in the TOGA/COARE during its IOP period, the project enabled us to identify the current research trend and to enhance Korea's research ability for the future. TOGA/COARE is a project that can give theoretical bases for handling problems yet to be solved associated with the western tropical Pacific Warm-Pool area, which is the ultimate goal of TOGA. Items for observations in COARE are defined to identify oceanographic and meteorological phenomenal aspects in the Warm-Pool area.

## IV. Result of the Study

### 1. Line observations in the western tropical Pacific

Physical, chemical, and biological observations were made at every 1° in latitude between 10°N and 5°N, and at every 30' between 5°N and 5°N, along the 137°E meridional line, as were done in the first year. The CTD castings were made at all depths to the bottom at stations located at 9, 7, 5, 4, 3, 2, 1°N and the equator, and up to 1,000m at other stations, recording data during both downcast and upcast, and taking water samples during upcast. Especially at the station at 2°N, which is close to where our ATLAS buoy was moored previously, 24-hour continuous CTD measurement was made in the upper 1,000m. However, the ATLAS buoy was absent during that period.

### 2. Establishment of an oceanographic database

This research project team has been keeping close relationship with the main groups of International TOGA Research Project, and obtained not only oceanographic data but also techniques of handling them from NCAR, an American organization that manages data for ocean and global research. In addition, KORDI is now ready for establishing a system to obtain and make use of the near-realtime TOGA/TAO observation data from the PMEL, the American organization that operates the realtime ATLAS buoy system in tropical

oceans. The data to be obtained will be distributed to research groups in universities and research institutes, and efficient system for data distribution will be set up by consulting experts. Unfortunately this project will be terminated after the second year according to the decision made by the new research project management system at the Ministry of Science & Technology of Korea.

### 3. Participation in the TOGA/COARE IOP study

During the IOP (Intensive Observation Period, from November 1992 to February 1993), intensive and detailed oceanographic and meteorological observations have been made in the tropical Western Pacific. By participating in the IOP, Korean researchers began to get involved in TOGA. During this 4-month period, over 1,200 researchers from more than 20 countries joined the IOP, making use of over 700 ship-days and 12,000 rawinsondes, and 125 observational air flights and continuous measurements at more than 30 mooring points.

Detailed researches have been made possible on the basis of such data. Three Korean researchers (two from KORDI in the field of oceanography, one from Seoul National University in the field of meteorology) participated in the TOGA/COARE Data Workshop held in France. The TOGA-95 Symposium will be held in Australia in 1995.

## V. Conclusions and Discussions

In the second year, oceanographic observations were made along the 137°E meridional line, as were done in the first year. The data collected in this project could be an important basis for our ocean research, and Korea provided its own data to the international TOGA program. For successful results in ocean research, it is necessary to have research vessels appropriate for our purposes, and researchers' active participation and voluntary contribution are also necessary. The observations made across the equator were performed by a cooperative group that consists of the researchers in the fields of physical, chemical, and biological oceanography. Material transfer processes in the ocean are not well-understood yet, and hence acquisition of such data has its own important meaning. Even though the primary productivity in the ocean is relatively low except in the regions where upwelling occurs, its role in the biogeochemical cycle is important. It can be studied by remote sensing, but field data is necessary to estimate accuracy of the results.

Since the beginning of the TOGA program in 1985, a great deal of researches performed worldwide fell into this category. This year is the end of the TOGA's 10-year period, and the program is now being evaluated successful. Since the recent international research trend still puts emphasis on global climate, earth environment, and their changes, the new international CLIVAR program is to be initiated as the successor of the TOGA program, realizing its significance. The CLIVAR



is a 15-year international program, from 1995 to 2010, and worldwide participation is anticipated.

Through this research project, Korea had a chance to take part in the international TOGA program, and enhance the level of our ocean research. In this project, observation line across the equator was designed, and observations along this line were made using KORDI's R/V Onnuri. This project also induced Korean researchers to join in TOGA's priority subjects like TOGA/COARE and TOGA/TAO. Unfortunately this project is to be terminated after the second year according to the decision made by the new research project management system at the Ministry of Science & Technology of Korea. A small number of people even insisted that this project had to be terminated on its way in the second year, since it is supposed to be terminated anyhow. However, it is a shortsighted opinion ignoring the important fact that this project was originally initiated by the necessity for researches on global environmental changes, and has been an important part of the international TOGA program. We should never ignore the necessity and importance of a national ocean observing program. Those who took part in this research project are still eager to find a way to join the 15-year CLIVAR program starting from 1995.



# 목 차

요약문 .....	1
영문 요약문 .....	8
표 목차 .....	23
그림 목차 .....	25
제1장 서 론 .....	37
제1절 연구의 필요성 .....	37
제2절 연구의 목표 및 내용 .....	39
제2장 서태평양 적도 종단관측 .....	42
제1절 열대서태평양의 물리해양학적 특성 .....	42
제2절 동경 137도 경도선 현장조사 일정 및 개요 .....	45
제3절 해수특성 관측결과 .....	49
제4절 24시간 연속 관측결과 .....	70
제5절 ADCP 관측해류 .....	75
제6절 수온 및 염분의 수직미세구조 .....	81
제3장 화학해양학적 특성 관측결과 .....	93
제1절 용존산소량과 무기영양소 측정방법 .....	93
제2절 일반 해황 .....	94
제3절 무기영양소 .....	101
제4절 1992년 12월과 1994년 4월 자료비교 .....	105

제5절 무기영양소 상호간의 관계 .....	110
제6절 밀도와 화학물질 성분의 상관관계 .....	115
제7절 AOU와 무기영양소와의 관계 .....	117
제4장 일차생산력 .....	120
제1절 개요 .....	120
제2절 식물플랑크톤과 일차생산력의 측정 방법 .....	121
제3절 열대태평양의 일차생산력 .....	125
제4절 고찰 .....	152
제5장 COARE-EQ3 현장조사 .....	155
제1절 개요 .....	155
제2절 ATLAS부이 .....	157
제3절 CTD 관측결과 .....	160
제4절 ADCP 관측결과 .....	164
제6장 TAO 자료 수집 및 분석 .....	166
제1절 자료정리 .....	166
제2절 역학적 심도 .....	166
제3절 표층수온과 바람의 연변화 .....	174
제7장 국가대양관측계획의 구성 .....	176
제1절 지구화 추세의 현실 .....	176
제2절 지구환경변화와 국제환경질서 .....	177
제3절 지구환경변화 연구의 국제동향 .....	178

제4절 서태평양 연구의 당위성과 과학적 논거 .....	179
제5절 해양선진국의 서태평양 관측계획 .....	184
제6절 우리나라 국가대양관측계획의 추진전략 .....	190
1. 서태평양 종합해양조사를 위한 대양정선 구축 .....	191
2. 추진체계: 국제연구프로그램의 일환 .....	194
제8장 결론 및 토의 .....	196
참고문헌 .....	202
부록 .....	209

# CONTENTS

Summary .....	8
List of Tables .....	24
List of Figures .....	30
Chapter I. Introduction .....	37
Section 1. Significance of the study .....	37
Section 2. Objective and scope of the study .....	39
Chapter II. Observations across the Equator in the Western Pacific	42
Section 1. Physical oceanography of the tropical Pacific .....	42
Section 2. Summary of the observations along the 137°E line .....	45
Section 3. Physical oceanographic characteristics .....	49
Section 4. 24-hour continuous observation .....	70
Section 5. Currents observed by ADCP .....	75
Section 6. Vertical fine structures of temperature and salinity .....	81
Chapter III. Chemical Oceanographic Characteristics .....	93
Section 1. Methods for determining dissolved oxygen and inorganic nutrients .....	93
Section 2. General features .....	94
Section 3. Inorganic nutrients .....	101
Section 4. Comparison with the previous observations .....	105

Section 5. Relations among inorganic nutrients .....	110
Section 6. Relationship between density and chemical constituents	115
Section 7. Relationship between AOU and inorganic nutrients ....	117
Chapter IV. Primary Productivity .....	120
Section 1. Introduction .....	120
Section 2. Methods for determining phyto-plankton and primary productivity .....	121
Section 3. Primary productivity in the tropical Pacific .....	125
Section 4. Discussion .....	152
Chapter V. Oceanographic Survey Cruise of COARE-EQ3 .....	155
Section 1. Introduction .....	155
Section 2. The ATLAS Buoy .....	157
Section 3. CTD results .....	160
Section 4. ADCP results .....	164
Chapter VI. Collection and Analysis of TOGA-TAO Data .....	166
Section 1. Data collection .....	166
Section 2. Dynamic depth .....	166
Section 3. Annual variation of the zonal wind and the SST .....	174
Chapter VII. National Program for Observing the Ocean .....	176
Section 1. Trend in globalization .....	176
Section 2. International aspects of global changes .....	177



Section 3. Research trends on global changes .....	178
Section 4. Necessity and scientific reasons for the study in the Western Pacific .....	179
Section 5. International programs for observing the Pacific .....	184
Section 6. Strategies for Korean program for the Pacific .....	190
 Chapter VIII. Conclusions and Discussions .....	 196
 References .....	 202
 Appendix .....	 209



# 표 목 차

표 1. 각 정점에서 관측된 요소 .....	48
표 2. 12시간과 24시간 배양에 따른 일차생산력 .....	150
표 3. 해수면에 도달된 광도 .....	152

# LIST OF TABLES

Table 1. Observed parameters at each station. ....	48
Table 2. Primary productivity with 12 hr. and 24 hr. incubation at each stations. ....	150
Table 3. Light intensity of sea surface. ....	152

# 그림 목 차

그림 1. 열대대평양상의 a) 2월과 b) 8월의 평균 바람응력 분포도	43
그림 2. 연구해역 및 관측점 위치도	46
그림 3. 전 정점의 수온-염분 Diagram	50
그림 4. 관측정점별 수온, 염분 및 밀도의 수직분포	51
그림 5. a) 전체 수심과 b) 상층 500m에 대한 수온의 수직단면도	57
그림 6. a) 전체 수심과 b) 상층 500m에 대한 염분의 수직단면도	59
그림 7. a) 전체 수심과 b) 상층 500m에 대한 밀도의 수직단면도	61
그림 8. a) 전체 수심과 b) 상층 500m에 대한 용존산소의 수직단면도	63
그림 9. 수온-용존산소 Diagram	67
그림 10. 염분-용존산소 Diagram	68
그림 11. 밀도-용존산소 Diagram	69
그림 12. 북위 2도 동경 137도에서 24시간 연속관측한 수온-염분 Diagram	71
그림 13. 수온의 시간에 따른 변화	72
그림 14. 염분의 시간에 따른 변화	73
그림 15. 밀도의 시간에 따른 변화	74
그림 16. ADCP에 의해 관측된 해류의 a)동서성분과 b)남북성분의 수직단면도	76
그림 17. ADCP에 의해 관측된 순간속도장의 수직단면도	78
그림 18. 북위 2도 동경 137도에서 ADCP에 의해 25시간 연속관측한 해류의 순간속도장의 수직단면도	79
그림 19. 북위 2도 동경 137도에서 ADCP와 RCM에 의해 25시간 연속 관	

측한 표층해류의 비교 .....	80
그림 20. 1992년 관측된 a)전 정점의 수온-염분 Diagram과 b)북위 2도 동경 137도에서 24시간 연속관측한 수온-염분 Diagram .....	82
그림 21. 1992년 북위 2도에서 24시간 연속관측한 a) 수온과 b)염분의 시간에 따른 변화 .....	84
그림 22. 수심 21 m 마다의 평균값을 뺀 전형적인 열염의 미세구조 ...	86
그림 23. a) 수온과 염분의 수직분포, b) 밀도의 수직분포 그리고 c) 부력주파수 ( $N^2$ )의 수직분포 .....	87
그림 24. 1992년 ADCP에 의해 관측된 속도벡터의 수직분포도. 여기서 A와 B는 각각 북적도해류와 적도잠류를 말함 .....	88
그림 25. 염분과 수직전단속도의 수직분포 .....	90
그림 26. 부력주파수, 수직전단속도 그리고 Gradient Richardson 수의 수직분포도 .....	91
그림 27. 수온, 염분과 밀도비의 수직분포도. ....	92
그림 28. 동경 137도의 적도에서 북위 10도 종단면의 1994년 4월 수온분포 .....	95
그림 29 동경 137도의 적도에서 북위 10도 종단면의 1994년 4월 염분분포 .....	96
그림 30. 동경 137도의 적도에서 북위 10도 종단면의 1994년 4월 용존산소 분포 .....	98
그림 31. 동경 137도의 적도에서 북위 10도 종단면의 1994년 4월 결보기 산소모분포 .....	99
그림 32. 동경 137도의 적도에서 북위 10도 종단면의 1994년 4월 수온-염분분포 .....	100
그림 33. 동경 137도의 적도에서 북위 10도 종단면의 1994년 4월 질산이온	

분포 .....	102
그림 34. 동경 137도의 적도에서 북위 10도 종단면의 1994년 4월 인산이온 분포 .....	103
그림 35. 동경 137도의 적도에서 북위 10도 종단면의 1994년 4월 규산분포 .....	104
그림 36. 용존산소 수직분포, “+” 는 1994년 4월 최고 최저값, “사각형”은 1994년 평균값, “가로선” 은 1992년 12월 평균치 .....	106
그림 37. 질산이온 수직분포, 북태평양 자료는 서경 170도의 적도에서 북위 10도 종단면의 평균 질산이온분포임. “+” 는 1994년 4월 최고 최 저값, “사각형”은 1994년 평균값, “가로선” 은 1992년 12월 평균치 .....	107
그림 38. 인산이온 수직분포. “+” 는 1994년 4월 최고 최저값, “사각형”은 1994년 평균값, “가로선” 은 1992년 12월 평균치 .....	108
그림 39. 규산이온 수직분포. “+” 는 1994년 4월 최고 최저값, “사각형”은 1994년 평균값, “가로선” 은 1992년 12월 평균치 .....	109
그림 40. 질산이온-인산이온 성분상관도. 닫힌부호는 500m 이하, 열린부호 는 500m 이상 수심의 자료 .....	111
그림 41. 규산-질산이온 성분상관도. 닫힌부호는 500m 이하, 열린부호는 500m 이상 수심의 자료 .....	112
그림 42. 규산-인산이온 상관도. 부호 +, *,o 는 수괴 A, B, C에 해당 ·	114
그림 43. ot 와 용존산소, 질산이온, 인산이온, 규산 상관도 .....	116
그림 44. AOU 와 염분의 상관도. 닫힌부호는 500m 이하, 열린부호는 500m 이상 수심의 자료 .....	118
그림 45. AOU 와 질산이온, 인산이온, 초기인산이온, 규산의 상관도. 닫힌 부호는 500m 이하, 열린부호는 500m 이상 수심의 자료 .....	119

그림 46. 수온, 염분도, 엽록소 농도의 연속관측 위치 .....	123
그림 47. 일차생산력 측정 정점 .....	124
그림 48. 엽록소농도 ( $\mu\text{g/l}$ )와 형광값 사이의 관계 .....	126
그림 49. 연속관측한 표층의 수온, 염분도, 엽록소 농도의 수평적 변화	127
그림 50. 관측정점별 엽록소 농도의 수직분포 .....	143
그림 51. 상층 300m에 대한 엽록소 농도의 수직단면도 .....	146
그림 52. 엽록소 농도의 시간에 따른 변화 .....	148
그림 53. 탄소동화율과 광도 .....	149
그림 54. 조사기간의 PAR의 일주적 변화 .....	151
그림 55. COARE EQ3 항해중 회수 및 설치한 ATLAS 부이 위치도 ..	156
그림 56 ATLAS 부이 구조도 .....	158
그림 57. TOGA-TAO 분포도 .....	159
그림 58. COARE EQ3 항해중 관측된 수온-염분 Diagram .....	161
그림 59. 동경 165도선을 따라 수온의 수직분포도 .....	162
그림 60. 동경 165도선을 따라 염분의 수직분포도 .....	163
그림 61. 동경 165도선을 따라 수심 75m에서 125m까지 평균한 유속분포도 .....	165
그림 62. 수온과 specific volume anomaly의 상관관계 .....	169
그림 63a. 한국에서 설치한 ATLAS 부이(동경 137도, 북위 2도)에서 얻은 바람, 역학적고도, 수온의 시간에 따른 변화 (등온선 간격은 2°C) .....	170
그림 63b. 한국에서 설치한 ATLAS 부이(동경 137도, 북위 5도)에서 얻은 바람, 역학적고도, 수온의 시간에 따른 변화 (등온선 간격은 2°C) .....	171
그림 64. 동경 165도에서 역학적 고도의 시간에 따른 변화 .....	172

그림 65. 동경 165도에서 역학적 고도의 파워스펙트럼 .....	173
그림 66. 남위 2도에서 북위 2도까지 평균한 동서방향의 바람(A)과 표층수온(B)의 월평균 편차 (등치선 간격은 바람 1 m/sec, 수온 0.5°C). .....	175
그림 67. 전 세계 해양의 평균 해수면 수온분포도(위)와 서태평양의 warm-pool 해역에서 해양과 대기의 에너지 교환과정도(아래)·	182
그림 68. TAO 해양 관측망 .....	186
그림 69. 일본의 ENSO mooring 관측망 .....	188
그림 70. 한국의 대양관측 계획 .....	193
그림 71. 한국대양관측 계획의 상호 협조체제도 .....	194

# LIST OF FIGURES

Figure 1. Mean surface wind stress over the tropical Pacific for a) February and b) August. ....	43
Figure 2. Map of observation area and stations. ....	46
Figure 3. T-S Diagram for all stations. ....	50
Figure 4. Vertical profile of temperature, salinity and density at each stations. ....	51
Figure 5. Vertical distribution of temperature for a) all depth and b) 500m depth. ....	57
Figure 6. Vertical distribution of salinity for a) all depth and b) 500m depth. ....	59
Figure 7. Vertical distribution of density for a) all depth and b) 500m depth. ....	61
Figure 8. Vertical distribution of dissolved oxygen for a) all depth and b) 500m depth. ....	63
Figure 9. Temperature-Dissolved Oxygen Diagram. ....	67
Figure 10. Salinity-Dissolved Oxygen Diagram. ....	68
Figure 11. Density-Dissolved Oxygen Diagram. ....	69
Figure 12. T-S Diagram continuously observed for 24 hours at 2°N, 137°E. ....	71
Figure 13. Time variation of temperature. ....	72
Figure 14. Time variation of salinity. ....	73
Figure 15. Time variation of density. ....	74
Figure 16. Vertical distribution of a) E-W component and b) N-S	



component of velocity observed by ADCP. ....	76
Figure 17. Vertical distribution of instantaneous velocity vector observed by ADCP. ....	78
Figure 18. Vertical distribution of instantaneous velocity vector observed by ADCP for 25 hours at 2° N, 137° E. ....	79
Figure 19. Comparison of surface velocity vectors observed by ADCP and RCM for 25 hours at 2° N, 137° E. ....	80
Figure 20. T-S diagram of temperature and salinity a) observed all stations and b) observed during 24 hours at 2°N in 1992. ...	82
Figure 21. Time variation of a) temperature and b) salinity observed during 24 hours at 2°N in 1992. ....	84
Figure 22. Typical thermohaline fine structure obtained by filtering the mean values over 21 m depth range. ....	86
Figure 23. a) Vertical profiles of temperature and salinity, b) vertical profile of density, c) the buoyancy frequency squared, $N^2$ . The mean values are $2.0 \times 10^{-4}$ and $1.4 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-2}$ in 0-250 and 250-500m respectively. ....	87
Figure 24. Vertical distribution of velocity vector observed by ADCP. A and B are respectively the North Equatorial Current (westward) and the Equatorial Undercurrent (eastward). ....	88
Figure 25. Vertical profiles of salinity and vertical sheare of velocity. Strong shear appears at 130 - 150 m depth, i.e. near the low boundary of high salinity tongue. ....	90
Figure 26. The buoyancy frequency squared, vertical shear of velocity and the gradient Richardson number. ....	91
Figure 27. a) Temperature, b) salinity and c) estimated density ratio,	

$$R_\rho = \alpha \frac{\partial T}{\partial z} / \beta \frac{\partial S}{\partial z},$$

from nine selected data. It is show that

values of  $R_\rho$  are between 1.0 and 2.0 in the depth range of 160 - 190 m where salinity decreases with depth. .... 92

Figure 28 Vertical distribution of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) along  $137^{\circ}$  E between  $10^{\circ}$  N and Equator in April, 1994. .... 95

Figure 29. Vertical distribution of salinity (psu) along  $137^{\circ}$  E between  $10^{\circ}$  N and Equator in April, 1994. .... 96

Figure 30. Vertical distribution of dissolved oxygen ( $\mu\text{M}$ ) along  $137^{\circ}$  E between  $10^{\circ}$  N and Equator in April, 1994. .... 98

Figure 31 Vertical distribution of apparent oxygen utilization (AOU,  $\mu\text{M}$ ) along  $137^{\circ}$  E between  $10^{\circ}$  N and Equator in April, 1994. . .... 99

Figure 32. T-S diagram of 5 stations observed along  $137^{\circ}$  E in April, 1994. .... 100

Figure 33. Vertical distribution of nitrate concentration ( $\mu\text{M}$ ) along  $137^{\circ}$  E between  $10^{\circ}$  N and Equator in April, 1994. .... 102

Figure 34. Vertical distribution of phosphate concentration ( $\mu\text{M}$ ) along  $137^{\circ}$  E between  $10^{\circ}$  N and Equator in April, 1994. .... 103

Figure 35. Vertical distribution of Silicate concentration ( $\mu\text{M}$ ) along  $137^{\circ}$  E between  $10^{\circ}$  N and Equator in April, 1994. .... 104

Figure 36. Vertical profile of mean dissolved oxygen content ( $\mu\text{M}$ ). Plus represents maximum and minimum value in April, 1994. Square represents mean value in April, 1994. dashed line represents mean value in December, 1992. .... 106

Figure 37. Vertical profile of mean nitrate concentration ( $\mu\text{M}$ ). The data

of North Pacific are mean value of nitrate concentration between 10° N and Equator along 170° W (from Sharp, 1983). Plus represents maximum and minimum value in April, 1994. Square represents mean value in April, 1994. dashed line represents mean value in December, 1992. .... 107

Figure 38. Vertical profile of mean phosphate concentration ( $\mu\text{M}$ ). Plus represents maximum and minimum value in April, 1994. Square represents mean value in April, 1994. dashed line represents mean value in December, 1992. .... 108

Figure 39. Vertical profile of mean silicate concentration ( $\mu\text{M}$ ). Plus represents maximum and minimum value in April, 1994. Square represents mean value in April, 1994. dashed line represents mean value in December, 1992. .... 109

Figure 40. Scatter diagram of nitrate versus phosphate. Closed symbols represent the data shallower than 500m. Open symbols represents the data deeper than 500m. .... 111

Figure 41. Scatter diagram of silicate versus nitrate. Closed symbols represent the data shallower than 500m. Open symbols represents the data deeper than 500m. .... 112

Figure 42. Scatter diagram of silicate versus phosphate. The symbols of +, \*, and o represent group A, B, and C, respectively. .... 114

Figure 43. Scatter diagram of a) dissolved oxygen, b) nitrate, c) phosphate, d) silicate versus sigma-t for all data. .... 116

Figure 44. Scatter diagram of AOU versus salinity. Closed symbols represent the data shallower than 500m. Open symbols represents the data deeper than 500m. .... 118

Figure 45. Scatter diagram of a) nitrate, b) phosphate, c) preformed phosphate, d) silicate versus AOU. Closed symbols represent the data shallower than 500m. Open symbols represents the data deeper than 500m. ....	119
Figure 46. Continual observation area of temperature, salinity and chlorophyll .....	123
Figure 47 Observation stations of primary productivity .....	124
Figure 48 Relationship between chlorophyll concentration ( $\mu\text{g/l}$ ) and fluorescence .....	126
Figure 49. Horizontal variation of temperature, salinity and chlorophyll at sea surface. These data are measured to interval of 10 minutes. ....	127
Figure 50. Vertical profile of chlorophyll at each stations. ....	143
Figure 51. Vertical distribution of chlorophyll for 300m depth. ....	146
Figure 52. Time variation of chlorophyll. ....	148
Figure 53. Carbon assimilation rate ( $\text{mg C/mg chl./hr}$ ) and light intensity ( $\text{E/m}^2$ ) .....	149
Figure 54. Diurnal variation of PAR ( $\text{E/m}^2$ ) during cruise periods. ...	151
Figure 55. TAO array recovered and deployed during COARE-EQ3 ·	156
Figure 56. Schematic diagram of ATLAS buoy after Hayes et al.(1991) .....	158
Figure 57. Configuration of TOGA-TAO array .....	159
Figure 58. T-S diagram for all CTD data taken during COARE-EQ3 .....	161
Figure 59. Vertical distribution of temperature along $165^\circ \text{ E}$ .....	162
Figure 60. Vertical distribution of salinity along $165^\circ \text{ E}$ .....	163

Figure 61. Averaged Current from 75m to 125m depth along 165°E ·	165
Figure 62. Relationship between temperature and specific volume anomaly .....	169
Figure 63a. Time series of the wind, dynamic height and subsurface temperature obtained from Korean buoy at 137° E, 2° N. Contour interval for ocean temperature is 2°C .....	170
Figure 63b. Time series of the wind, dynamic height and subsurface temperature obtained from Korean buoy at 137° E, 5° N. Contour interval for ocean temperature is 2°C .....	171
Figure 64. Time series of the dynamic height along 165° E .....	172
Figure 65. Power spectrum of dynamic height along 165° E .....	173
Figure 66. Monthly mean anomalies of a) zonal winds (m/sec) and b) SST (°C) averaged between 2° N and 2° S. Contour interval is 1 m/sec in a) and 0.5°C in b) .....	175
Figure 67. Horizontal distribution of the mean sea surface temperature of the world ocean.(upper). Schematic diagram of the energy tranfer processes with the atmosphere at warm-pool area of the Western Pacific(lower). .....	182
Figure 68. TAO array. ....	186
Figure 69. ENSO mooring array of the Japan. ....	188
Figure 70. Korean program for observing the Pacific. ....	193
Figure 71. Cooperating system of Korean program for observing the Pacific. ....	194



# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 필요성

전지구적 기후변동을 파악하기 위하여 열대해양의 역할을 함께 이해하여야 하겠다는 인식이 대두되어 1985년부터 국제공동으로 TOGA (Tropical Oceans and Global Atmosphere) 연구사업이 시작되었는데 가장 성공적인 국제 협력사업으로 그동안 많은 성과가 있었다. 국제 TOGA 연구사업을 통하여 기후변화의 메카니즘을 파악하게 되고, 기후 분야에서 보다 향상된 서비스가 조만간에 가능할 것이며, 또한 향후 지속적 발전을 가능하게 하는 과학적 기반이 적절히 확보될 것이다. 기후변화 경보 시스템의 발전은 농업계획, 가뭄대책, 수자원관리 및 수력이용 등에서 뿐만 아니라 여러 분야에서 활용하게 된다. 그리하여 지구상의 모든 국가들은 국제 TOGA 연구사업의 결과로서 더욱 향상된 기후변화 경보 시스템을 통한 이득을 보게 될 것이다. 당연하게 우리나라도 혜택을 받는 국가이며 국가적 위상에 알맞는 기여를 계획하여야 할 것이다.

열대 태평양 중 최근 해양-대기 시스템 연구에 가장 관심의 대상이 되고 있는 해역이 열대 서태평양이다. 열대 서태평양의 평년 해수면온도가 매우 높은 해역을 Warm-Pool이라고 부르는데 이 Warm-Pool을 통하여 해양이 대기에 많은 양의 잠열을 공급하며, 이 지역에서 왕성하게 일어나는 대규모 열대 대류는 지구 대기의 순환계에 많은 열에너지를 공급한다. 즉, 이 Warm-Pool이 전지구의 기후 시스템을 움직이는 대기 대순환의 심장 역할을 한다. Warm-Pool의 조그마한 변동성, 그 위치나 해수면 수온에 있

어서의 변동성이 전지구의 기후 시스템을 바꾸어 놓는다고 할 때 이상 기후를 이해하기 위하여 해양의 역할이 매우 중요하다. 이 Warm-Pool과 관련하여 엘니뇨현상은 해양에서 가장 큰 장주기 현상으로 오래 전부터 인식되어 왔으며 지역적으로 엘니뇨현상과 동반하여 발생하는 이상기후가 널리 알려져 있다. 약 4-5년의 주기로 발생하는 엘니뇨의 두드러진 특징은 열대 태평양상의 무역풍의 약화와 표층수온의 증가이다. 열대 태평양의 변화는 전지구의 기후변화와 밀접한 관련이 있으며 해양 생태계에도 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Barber and Chavez, 1983).

그러나 TOGA 연구사업의 상당한 진전에도 불구하고, 해양과 대기를 연계하여 수 개월에서 수 년에 이르는 변동성을 예측하여야 하는 기본적인 학술목표를 성취하기 위하여서 해결하여야 할 근본적인 문제점이 아직 상당히 남아 있다. 이러한 문제점 중에서 무엇보다 중요한 것은 서태평양에서 Warm-Pool의 변이가 어떻게 유지되는가를 이해하는 것이고, 특히 Warm-Pool에서 대기-해양간의 플럭스, 해수면수온, 그리고 해양의 상층구조 등을 재현하는 연구가 필요하다. 전지구 기후변화, 그리고 계절간의 변동성을 이해하기 위하여 해양-대기를 연계하는 보다 향상된 설정이 필요하고, 이것은 Warm-Pool 해역에서 특히 중요하다. 여기서, 현상의 이해부족과 오차로 인하여 생길 수 있는 영향이 극대화될 소지가 있으므로 이 해역에서 일어나는 상호작용과 역화과정은 전지구 해양-대기 시스템을 이해하는데 필수적이다.

TOGA 연구사업의 전반기에 해당하는 1985년부터 1989년까지는 기존 자료와 수치모델 연구에 많은 성과가 있었다. 이 전반기 5년 동안의 성과를 바탕으로 후반기 연구방향이 정립되었는데 먼저, 전지구 기후의 단기



적인 변동성과 관련하여 ENSO (El Niño / Southern Oscillation) 현상이 갖는 중요성에 비추어 열대 태평양에서의 실시간 관측시스템의 개선에 노력을 기울이게 되었다. 이러한 개선에 지대한 공헌을 하고 있는 것은 열대 태평양을 지속적으로 모니터링하는 관측망을 형성하고 ARGOS 시스템을 사용하여 실시간으로 자료를 획득하는 TOGA-TAO (TOGA Tropical Atmosphere - Ocean) 사업이다. 이와 같은 모니터링을 통하여서 이상기후 정보체제를 확보할 수 있을 뿐 아니라 모델링 연구에 양질의 입력자료로서 또는 검증자료로서 활용할 수 있으므로 그 효용성은 매우 크다.

## 제 2 절 연구의 목표 및 내용

국제적으로 지난 10여년 동안은 해양과 대기의 역학적 상호작용에 전례없이 많은 관심이 있어왔다. 그리하여 방대한 자료가 수집되었으며 해양-대기를 연계시킨 모델의 개발에 노력을 경주하였다. 이러한 연구활동의 목적은 수 년의 크기로 나타나는 기후변화와 그 변동성을 예측하기 위한 물리적 기반을 확립하기 위함이다. 이러한 목표를 가지고 국제 학술단체는 TOGA 연구사업을 발족시켰는데, 여러 나라가 상당한 재원을 투입하도록 기여한 바 크다 (Webster & Lukas, 1992).

TOGA 연구사업은 수 개월에서 수 년 규모의 기후현상을 예측하는데 목적을 둔 세계기후연구계획(WCRP, 1985)의 주된 요소이다. TOGA 연구사업의 기본 철학은 열대해양과 전지구 대기와의 관계를 의도적으로 강조하는데 있으며 TOGA 연구사업의 기본 전제는 열대에서 해양의 역학적 적

용이 고위도 보다 훨씬 빠르고 따라서 대기와 매우 밀접하게 어울려 있다는 것이다. TOGA(WCRP, 1985)의 특별한 목표와 과학적인 목적은 다음과 같다.

- 수 개월에서 수 년 시간 크기로 예측가능한 시스템의 범위를 결정하고 이 예측성에 내포되어 있는 메카니즘과 과정을 이해하기 위하여 열대해양과 전지구 대기를 시간에 따른 시스템으로 서술할 수 있게 함.
- 수 개월에서 수 년의 시간에 대한 변화를 예측하려는 목적에 따라 해양과 대기의 연계된 시스템을 모델링하는 타당성을 검토함.
- 해양과 대기를 연계하는 모델로서 가능성이 보여진다면 운영적 차원의 예측을 시행하기 위한 관측 및 자료전송 시스템을 설계하는데 과학적 배경을 제공함.

TOGA 목표를 완수하기 위해 상층 해양과 대기를 장기간 모니터링하는 것과, 집중적이고 특수한 과정을 이해하기 위한 연구 및 모델링 등의 전략을 개발시켜왔다(WCRP, 1985). 이러한 계획은 국가적, 다국가적, 그리고 국제적인 노력으로 수행되어 왔다 (e.g., National Academy Science, 1986; WCRP, 1986).

특히 TOGA 후반기의 중요한 노력으로 Warm-Pool에서 정밀하고 집중적인 자료 획득을 위한 IOP (Intensive Observation Period; 집중관측기간)를 설정하였다 (WCRP, 1990). 1992년 11월부터 1993년 2월까지 집중적이고 종합적인 실험 및 관측(IOP)이 적도 서태평양에서 실시되었는데 본 연구사업을 통하여 우리 연구소도 참여하였다. 부분적인 연구인력의 참여일

지라도 우리나라가 TOGA 연구사업에 기여한다는 점을 국제사회의 인식시킬 수 있으며, 앞으로 기후변동성 연구에 중요한 기초자료가 되는 TOGA 연구사업의 국제적 성과를 공유하게 되는 최소한의 기반을 갖게 된다.

이와같이 앞에서 언급된 TOGA 연구의 목적과 내용을 기준으로 우리나라가 기여하고 담당할 역할을 모색하여 본 연구의 목적과 내용을 구성하게 되었다. 지구기후변화 또는 지구환경변화와 관련된 연구는 여러 나라가 공동의 목적을 갖고 전체적으로 보완하는 노력이 매우 중요하다. 이에 따라 우리 연구소는 동경 137도선을 따라 적도종단 정선관측을 주된 연구 내용으로 계획하였다.

열대해양에는 중고위도 해역과 구별되는 고유하고 독특한 현상이 있는데 이것은 그 역학적 특성이 다름으로 설명할 수 있다. 열대해양에서의 역학적 특성은 적도에 접근함에 따라 소멸되는 Coriolis 변수로 인하여 운동방정식에서의 역학적 균형이 중고위도 해역과 크게 다름에 기인한다. 본 연구사업에서는 그 동안에 확보된 기본자료 중에서 열대해양의 상층구조를 분석하고 토의한다. 아울러, 현장조사 참여 뿐만 아니라 다양한 연구 방법으로서의 접근과 기본적 분석을 위하여 서울대학교에 위탁연구를 계획하였다. 서울대학교가 열대 서태평양 상에서 TOGA-COARE 및 TOGA-TAO를 수행하기 위한 COARE-EQ3항해에 참여하여 관측한 내용의 일부를 본 연구에 포함한다.

## 제 2 장 서태평양 적도 종단관측

### 제 1 절 열대태평양의 물리해양학적 특성

열대태평양 상층의 해류계는 서향류인 남적도해류 (남위 10도 - 북위 4도) 와 북적도해류 (북위 8도 - 북위 20도), 그리고 그 사이 (북위 4도 - 북위 8도)에서 반대 방향으로 흐르는 적도반류 (North Equatorial Counter Current, NECC)와 적도 부근 (남위 2도 - 북위 2도) 상부 혼합층 아래에 얇은 리본 모양으로 서쪽의 Phillipines 제도에서 동쪽의 Panama 만에 이르는 연장 15,000 km의 적도잠류 (Equatorial Undercurrent)로 규정할 수 있다.

이 해류계는 바람에 의하여 발생·유지되며 적도에 대하여 비대칭인 무역풍계와 마찬가지로 (그림 1) 적도에 대해 비대칭인 형태를 보인다. 또한, 북동풍과 남동풍의 무역풍이 수렴하는, 바람의 세기가 무역풍에 비해 10 - 30% 정도 약한 무풍대 (doldrums; 북위 4도 - 북위 8도)의 위치가 계절적으로 변함에 따라, 또한 서태평양에서는 계절풍의 영향에 의해 해류계도 연변화를 보인다.

하와이 남쪽 (태평양 중부)에서는 북적도해류 (NEC)의 유속이 25 - 30 cm/sec 이고 수송량은 약 45 Sv ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) 이다. 남적도해류 (SEC)는 유속이 50 - 65 cm/sec 이고, 연평균 수송량은  $17 \pm 10 \text{ Sv}$  이다 (Wyrtki et al., 1981). 남북방향의 바람응력 구배에 의해 발생하는 동향의 적도반류 (NECC)는 북적도해류나 남적도해류보다 변화가 더 심하여 표층

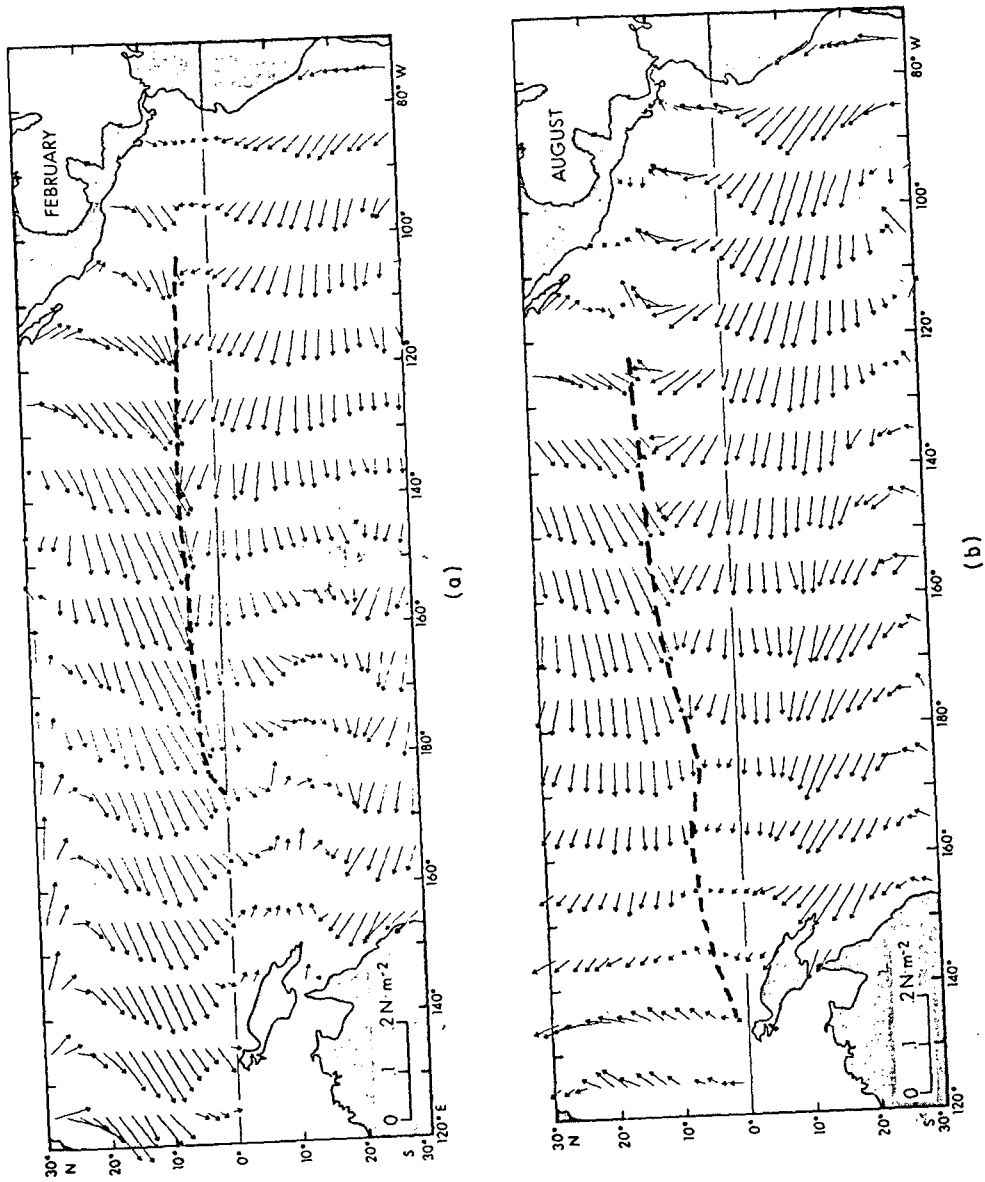


Figure 1. Mean surface wind stress over the tropical Pacific for a) February and b) August.

유속이 보통 35 - 60 cm/sec 이나 3월과 4월 사이에는 20 cm/sec 이하로 감소한다. 이 적도반류는 수온약층 이심의 매우 깊은 곳까지 (약 1500 m) 세력을 뻗치기도 하는데, 그 수송량은 5 - 35 Sv 정도를 보인다 (Wyrтки, 1980).

서태평양(동경 174도의 서쪽)에서는 태평양 중부 혹은 동부에 비하여 해류계가 매우 복잡하고 계절풍 변이(monsoon wind variations)에 따른 변화가 크다. 2월경에는 남동무역풍 세력이 약화되어 계절풍의 영향으로 때때로 바람의 방향이 바뀌어 동쪽으로 불기도 한다. 남동풍이 지배적인 8월의 경우는 앞에서 언급한대로 전형적인 적도태평양의 해류계 양상을 보이며, 역학적으로 북적도해류와 남적도해류에 대한 보상류 (compensation flow) 역할을 담당하는 적도잠류 (EUC)의 최대유속과 연평균 수송량은 각각 150 cm/sec,  $40 \pm 13$  Sv 이다.

적도잠류의 존재는 적도를 가로지르는 남북 수온단면에서 렌즈 모양의 등온선 분포에서 알 수 있다. 즉, 적도잠류의 핵 위에서는 등온선이 불룩하게 위로 향하고 핵 아래에서는 오목하게 아래로 들어간다. 용존산소 분포도 수온분포와 비슷하게 나타난다. 고염의 핵이 보통 적도잠류 중심부의 남쪽에 위치하는데, 이는 남태평양의 Subtropical Gyre 중앙부에서 형성된 물(South Pacific Subtropical Water)이 가라앉아서 서쪽으로 이동하고 다시 적도로 진입하여 잠류에 동반이행(entrain)된 것이다. 적도잠류는 보통 2개의 핵을 가지는데, 상부 핵은 혼합층(mixed layer)의 하부, 그리고 하부 핵은 수온약층 내에 존재한다. 적도잠류 아래에는 적도중층해류(Equatorial Intermediate Current, EIC)가 서쪽으로 흐르고, 그 아래에서는 동향의 심층류가 존재한다. 서태평양에서 1-3월경 바람의 방향이 동쪽으로 역전되어

블게 되면, 표층에서는 동향해류가 발생하고 표층하부에서는 서향해류, 그 하부에서는 동향의 적도잠류가 흐른다.

서태평양에서는 적도잠류(EUC)와 북적도반류(NECC)는 흔히 표층 아래에 함께 존재하기도 한다. 동태평양에서는 남동무역풍이 연중 강세를 보이므로 표층에서 해류의 역전 현상은 일어나지 않는다. 적도잠류의 중심값이도 수은약층의 동서방향 경사를 따라 동부로 갈수록 낮아져서 표층의 남적도해류(SEC) 바로 밑에서 역류로서 존재한다.

적도해역은 풍부한 어족 자원을 제공하기도 한다. 이는 해류의 방향과 Coriolis 효과에 의한 수렴 및 발산작용으로, 각각 상층부의 플랑크톤 농도를 높이거나 용승(upwelling)을 통하여 하층부의 영양염을 표층으로 풍부히 공급해주기 때문이다.

## 제 2 절 동경 137도 경도선 현장조사 일정 및 개요

국제 TOGA 연구사업의 일환으로 열대 서태평양에서 일어나는 해양과 대기의 반응 및 상호작용에 관한 문제를 해결하기 위해 한국해양연구소에서 적도 종단관측을 계획, 실시하였다. 관측해역은 열대태평양의 서쪽 끝 부분에 해당하는 동경 137도 경도선을 따라 북위 10도에서부터 적도에 이르기까지 남북을 종단하는 정선이며 (그림 2), 1992년 12월과 1994년 4월, 두 차례의 조사 연구를 수행하였다. 본 관측정선은 동서방향으로 서로 엇갈려 흐르는 4개의 주요 표층해류역을 관통하고 있다. 북위 8도 이북에서 흐르는 북적도해류(NEC), 북위 8도에서 북위 4도에 걸쳐 흐르는 적도반류(ECC), 남위 10도에서부터 북위 4도 사이에서 흐르는 남적도해류(SEC)와,

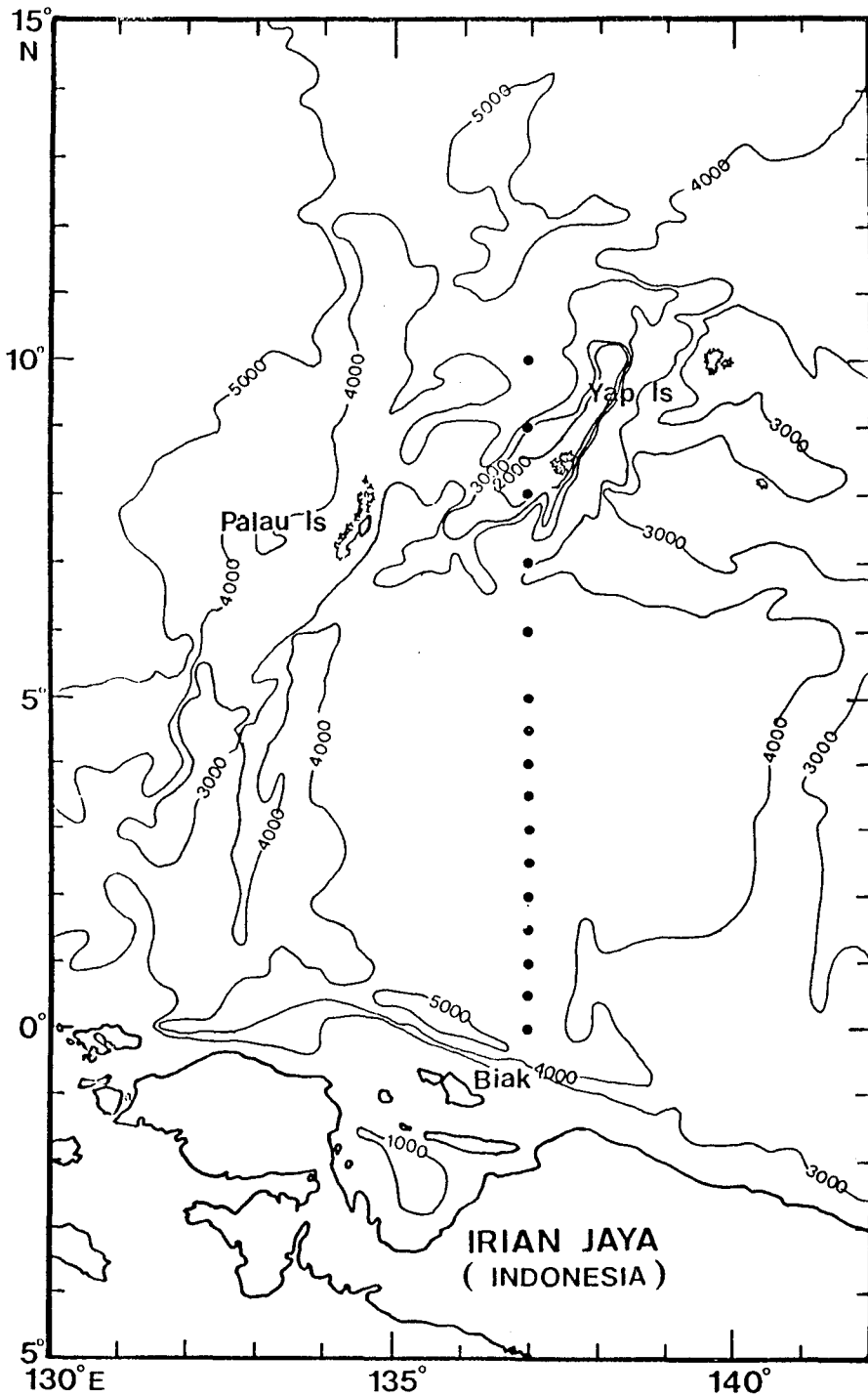


Figure 2. Map of observation area and stations.



적도를 중심으로 남·북위 2도 내외로 흐르는 적도잠류(EUC)가 그것이다. 조사해역은 서태평양의 가장자리에 위치한 서캐롤라인 분지의 일부로써, 서쪽으로는 필리핀 해구(Phillippine Trench)를 거쳐 필리핀 제도로 막혀있고 동쪽으로는 Eanrippik Rise 등의 여러 턱 (sill)으로 분리되어 있으며 남쪽으로는 파푸아 뉴기니섬으로 둘러싸인 수심 5000 m 내외의 심해분지이다. 따라서 이 분지내 해역에 존재하는 수괴의 생화학적 특성은 서태평양의 다른 해역과도 구분될 것으로 보인다. 조사해역 해저의 북부는 붉은 진흙(red clay)으로 덮혀있고 남부는 석회질 연니(calcareous ooze)로 덮혀있다.

대기 및 해수의 운동에 대하여 Coriolis 힘은 적도에 접근함에 따라 미약해지므로, 열대 해양의 상층부는 그 경계면을 통하여 바람 응력이나 열 에너지 유입과 같은 외력에 매우 민감하게 반응한다. 이러한 역학적 특성을 고려하여, 적도 가까이에서는 국제관측계획의 일반적인 기준을 따라 관측 간격을 좁게 설정하였다. 따라서 동경 137도 선을 따라 북위 10도 (정점 1번)부터 북위 5도까지는 1도 간격으로, 그리고 북위 5도부터 적도 (정점 16번)까지는 30분 간격으로 정선을 구성하여 물리, 화학, 생물학적 요소를 관측하였다 (그림 2, 표 1). 해양조사선은 제 1차 관측 (1992년 12월)에서와 같이 한국해양연구소의 온누리호이며, 짝수 정점에서는 해저면까지 (수심이 4000m보다 깊을 경우는 4000m까지) 관측을 하였고 홀수정점에서는 수심 1000m까지 관측하였다. 자료는 모든 정점에서 CTD 하강과 상승시 모두 수집하였으며 채수는 CTD 상승시에 수행되었다. 우리나라의 ATLAS 부이를 계류한 위치와 인접한 정점 12번 (북위 2도)에서는 제 1차 관측 (수심 500 m 까지)과 달리 상층 1000 m까지 24시간 연속관측을 실시하였다.

Table 1. Observed Parameters at each station

ITEMS ST. (*N)	CTD	ADCP	WAV	MET	WS	HYD	SW	BC	RI. GAS	PP	TAR, SPR	CHL	ZOO
TEQ 1 ( 10)	○	○	○	○		○	○			○	○	○	
TEQ 2 ( 9)	○	○	○	○		○	○					○	○
TEQ 3 ( 8)	○	○	○	○		○	○					○	
TEQ 4 ( 7)	○	○	○	○	○	○	○				○	○	
TEQ 5 ( 6)	○	○	○	○		○	○					○	○
TEQ 6 ( 5)	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○	
TEQ 7 (4.5)	○	○	○	○		○	○						
TEQ 8 ( 4)	○	○	○	○	○	○	○					○	
TEQ 9 (3.5)	○	○	○	○		○	○				○	○	
TEQ10 ( 3)	○	○	○	○		○	○					○	○
TEQ11 (2.5)	○	○	○	○		○	○						
TEQ12 ( 2) (SUPER ST.)	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○
TEQ13 (1.5)	○	○	○	○		○	○						
TEQ14 ( 1)	○	○	○	○		○	○					○	○
TEQ15 (0.5)	○	○	○	○		○	○				○		
TEQ16 (EQ)	○	○	○	○	○	○	○					○	○

REMARKS:

- CTD : CTD Casting
- ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler
- WAV : Surface Wave
- MET : Wind Direction and Speed, Air Temperature
- WS : Water Sampling for Salinity Calibration
- HYD : Hydrocasting for Water Sampling(DO, Nutrients,  $\delta^{18}O$ )
- SW : Surface Water (Trace Metals, POM, SPM)
- BC : Box Core for Sediment Chemistry
- RI : Radioactive Isotopes ( $^{210}Pb$ ,  $^{210}Po$ )
- GAS : Dissolved  $N_2O$  and CFCs
- PP : Primary Production
- SPR : Spectro Radiometer
- CHL : Chlorophyll
- ZOO : Zooplankton

### 제 3 절 해수특성 관측결과

16개 전체 정점의 T-S Diagram (그림 3)상에서 전체 조사지역의 수온분포( $1^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ )와 염분분포 (34 psu - 35.4 psu)를 살펴보면 표층의 수온은 1992년 12월의 관측보다는 약  $2^{\circ}\text{C}$  정도 상승한  $30^{\circ}\text{C}$ 를 가지며, 염분도 최대염분이 약 0.05 psu 정도 상승한 34.45 psu를 갖는다. 전체적인 T-S 구조는 관측해역 북쪽에서는 전층에 걸쳐 염분이 35 psu 이하이며 최대염분이 가장 저수온에서 나타나는 T-S 구조를 보이며 적도역으로 갈수록 중층에서 35 psu 이상의 고염이 나타난다. 이러한 35 psu 이상의 고염은 수온이  $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ ,  $18^{\circ}\text{C} - 20.5^{\circ}\text{C}$ 와  $13^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$  사이에서 나타난다. 중층에서 나타나는 관측된 염분중에서 최대염분인 35.4 psu 이상의 염분은 수온이 약  $19^{\circ}\text{C}$ 에서 나타난다. 1992년도 관측결과와 본 관측결과와의 가장 큰 차이는 중층에서의 염분변화로써 본 관측에서의 염분변화가 보다 복잡한 양상을 띠고있다. T-S Diagram상에서 일반적인 수괴분석에 의하면 수괴는 크게 4개로 구별할 수 있다. 각각의 수괴의 특성을 살펴보면 수온이  $28^{\circ}\text{C}$  이상, 염분이 33.95 psu에서 34.6 psu를 갖는 고온고염의 표층수, 그 표층수 아래에 존재하는 염분이 35 psu 이상을 보이는 고온고염수는 수온이  $14^{\circ}\text{C}$ 에서  $22^{\circ}\text{C}$ 를 갖는다. 저수온역에는 수온이  $9^{\circ}\text{C}$ 에서  $13^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 보이고 염분이 34.5 psu 이하의 최저염분을 갖는 저온저염수와 수온이  $5^{\circ}\text{C}$  이하이고 염분이 34.6 psu 이상을 갖는 저온고염의 저층수로 대별될 수 있다.

그림 4는 정점별 CTD 관측성과인 수온, 염분 및 밀도의 수심에 따른 변화이다. 이 그림에서 수온의 수심에 따른 변화를 살펴보면 계절수온약층 (Seasonal Thermocline)은 수심 30 - 50 m에 형성되어 있고, 영구수온약층 (Permanent Thermocline)은 200m 에서 250m 수심 사이에서 나타난다.

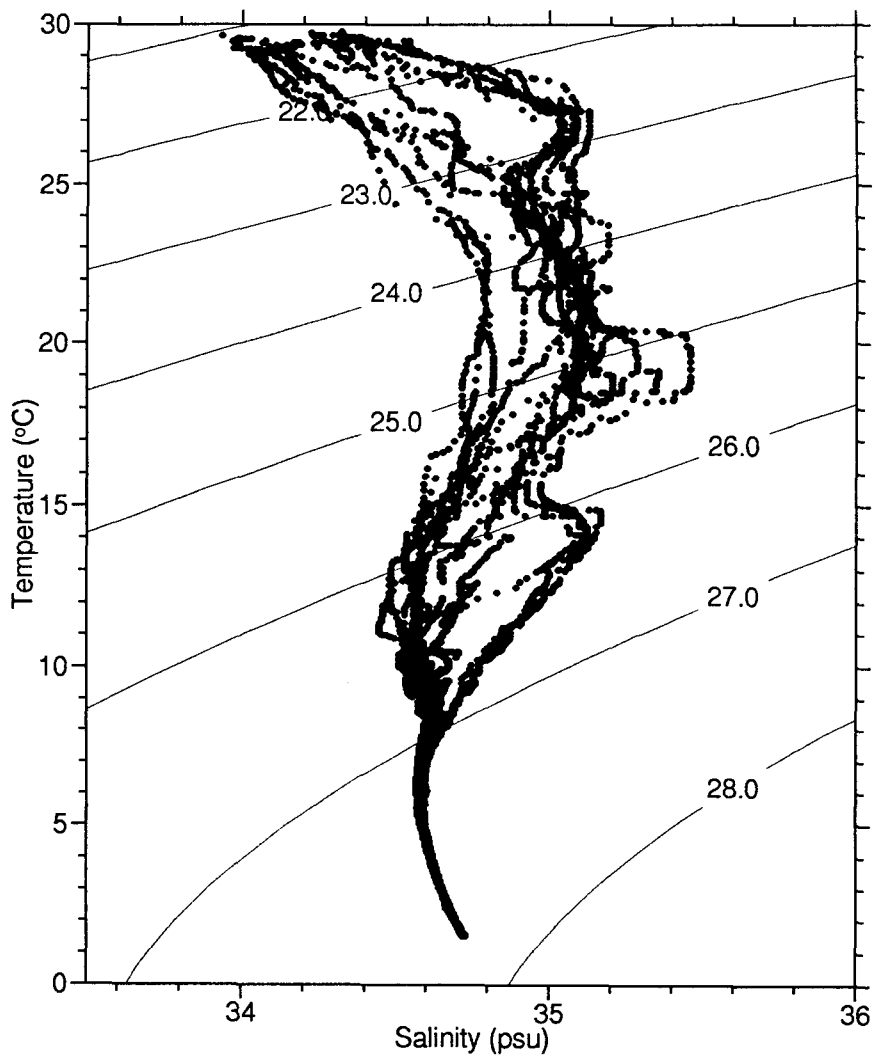


Figure 3. T-S Diagram for all stations.

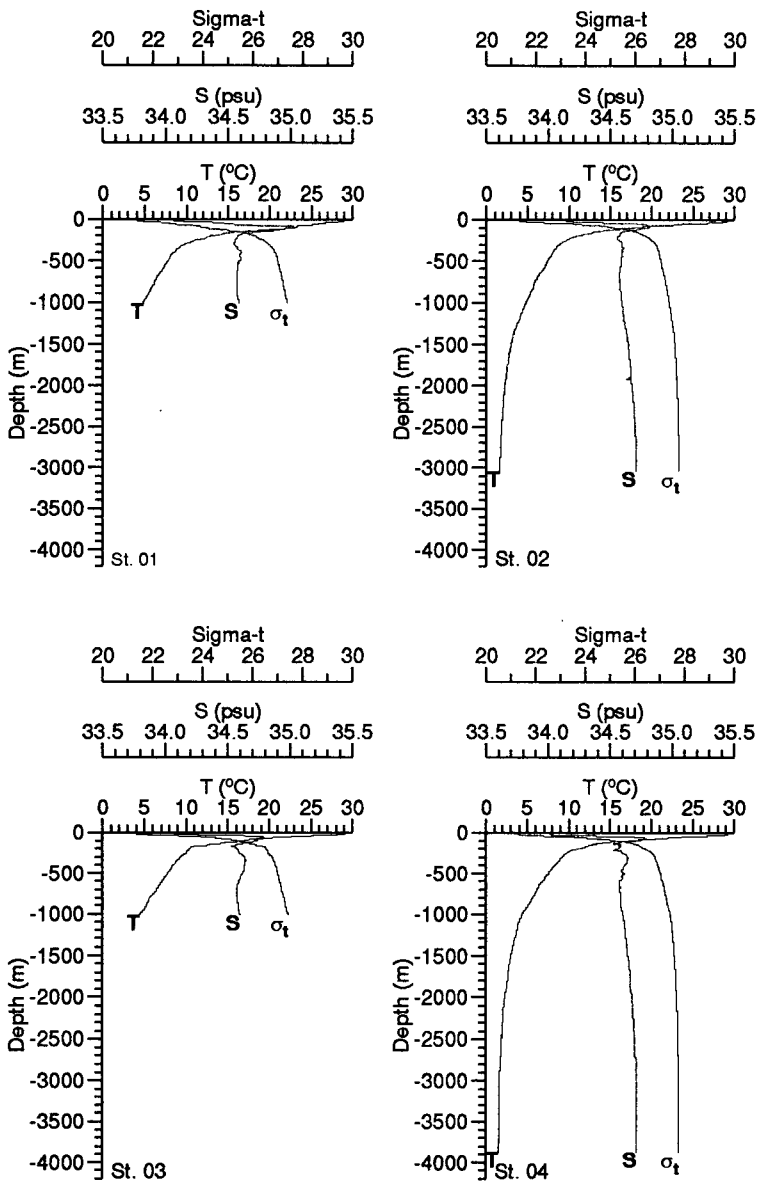


Figure 4. Vertical profile of temperature, salinity and density at each stations.

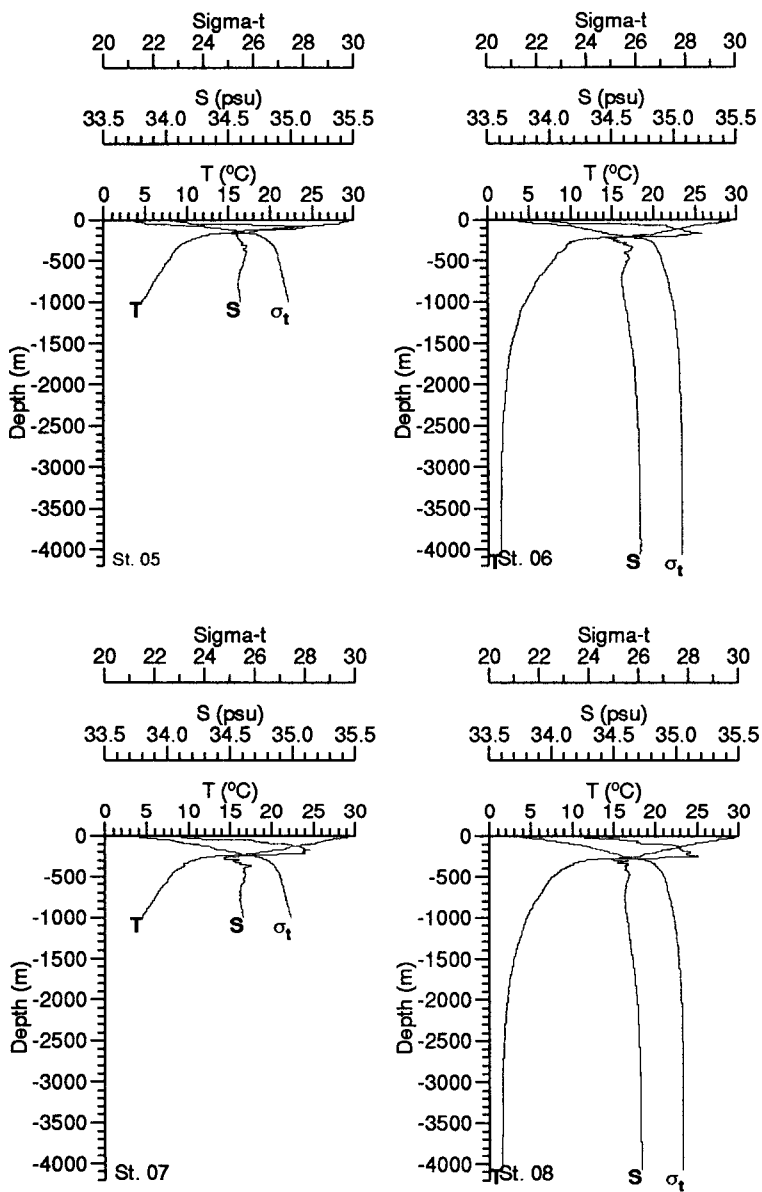


fig4 continued

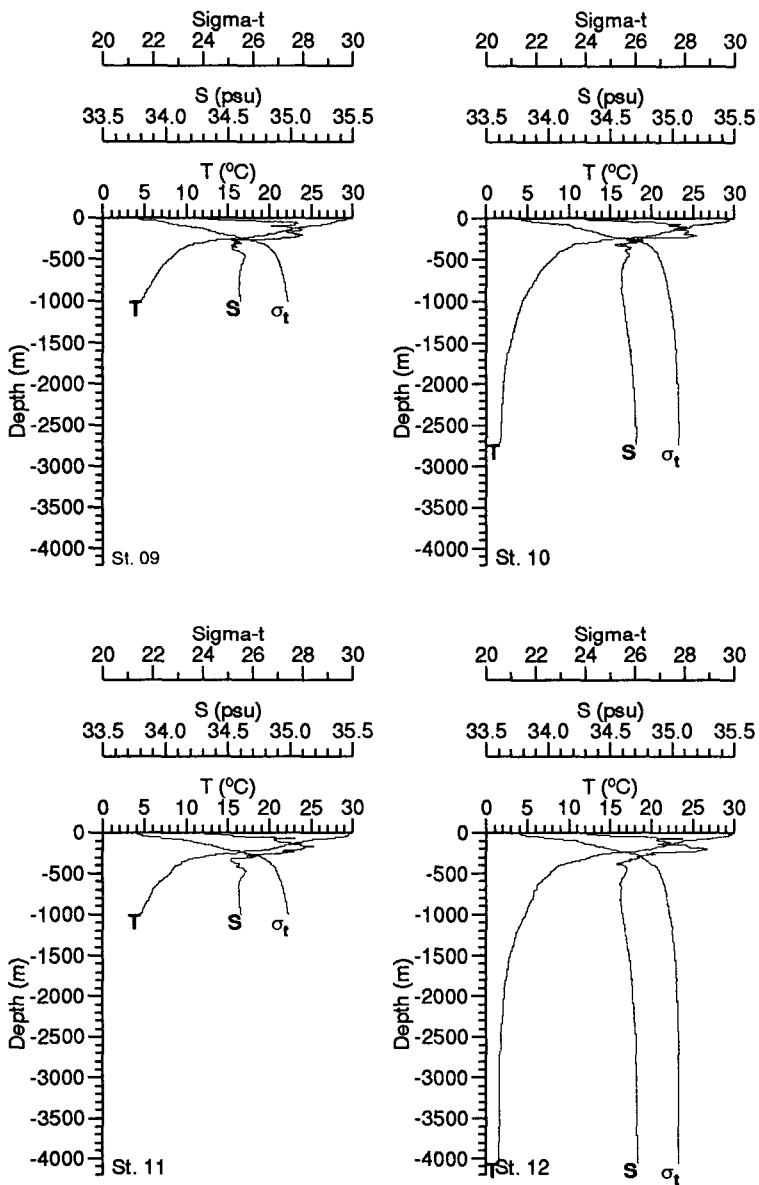


fig4 continued

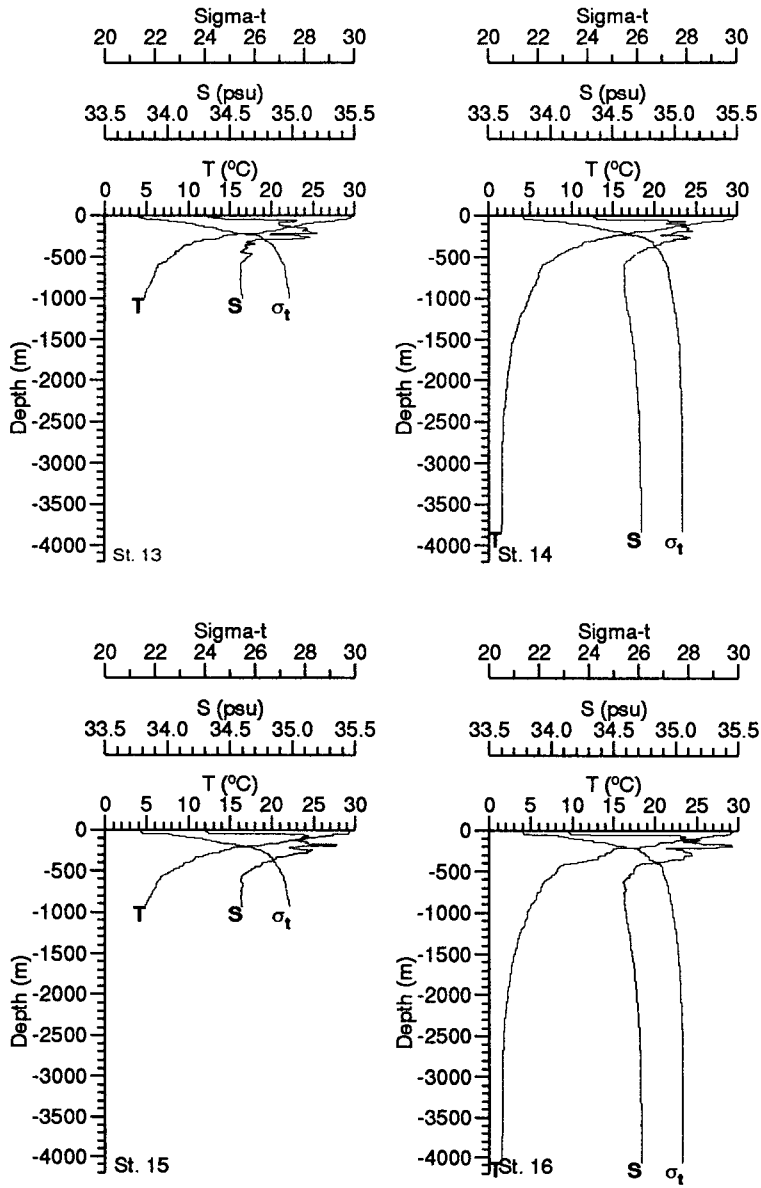


fig4 continued



염분 변화에 있어서는 표층 혼합층 바로 아래에 35 psu 이상인 고염의 핵이 나타나고, 영구수온약층 위에 고염수 (35 psu 이상)가 항시 나타난다. 영구수온약층 바로 아래에는 최소염분층이 존재하며 저층으로 갈수록 점차 염분이 증가하는 양상을 띠고있다. 정점별 수직변화 양상을 살펴보면 정점 2에서 정점 4번까지는 중층의 고염수가 35 psu를 넘지 않으며 정점 1과 그 외의 모든 정점에서는 35 psu 이상의 고염을 갖는다. 여기서 정점 1번 중층에 나타나는 고염수는 북위 10도 이북에 있는 북적도해류 (NEC)의 고염수의 영향으로 생각되며, 정점 5번 이남에서 나타나는 고염수는 남적도해류 (SEC)의 고염수로 사료된다. 수심 약 60m 부근에 나타나는 35 psu 이상의 고염수는 적도잠류(EUC)의 관입에 의한 것으로 사료된다. 수직적으로 고염수의 두께는 북위 8도(정점 5번)까지는 약 100m 정도이며 남쪽으로 갈수록 점차 두꺼워져 적도에서는 약 300 m에 이르게 되며, 그 두께내에서 수직변화도 남쪽으로 갈수록 복잡한 양상을 띠고 있다.

수온, 염분, 밀도 및 용존산소량의 전층에 대한 수직단면은 그림 5a, 6a, 7a, 8a에 도시하였으며, 특히 수심 500m 이내의 상층부에 대한 수직단면은 그림 5b, 6b, 7b, 8b에 제시하였다. 동경 137도, 북위 10도에서 적도에 이르는 남북방향의 관측정선을 따라 작성된 수온의 수직단면도(그림 5)를 보면, 해면수온은 전 지역 모두 29℃ 이상의 높은 수온을 유지하고 있으며, 상부 등온층의 두께는 북위 10도에서는 약 18 m이며 적도로 갈수록 점차 깊어져 약 수심 50m에 이르고 있다. 수직적 수온구배가 가장 큰 깊이는 북위 8도에서 수심 40m로 가장 얇고 남쪽으로 갈수록 점차 깊어져 북위 4도에서는 250m까지 깊어지며 다시 적도로 갈수록 얇아져 적도에서는 수심 200m에 존재한다. 북위 8도에서 북쪽으로도 점차 깊어져 북위 10도에서는 수심 120m에서 나타난다. 이러한 수온구배의 모양에서 북위 5도에서 10도 사이에 용승현상(upwelling)을 알 수 있으며, 이러한 현상은 거의 수심

1000m까지 나타난다. 1992년 관측에서도 북위 4도 이북에서 이러한 용승현상이 보이지만 본 관측에 비해 미약하게 나타난다. 또한 1992년 관측에서는 북위 4도와 2도 사이의 구간에서 등온선이 급격히 깊어지는데 반해 본 관측에서는 1992년도에 비해 적도의 고온수역이 북쪽으로 확장되어 북위 5도에서 7도 사이에서 나타난다.

염분의 경우 수온의 분포보다 더욱 복잡하다 (그림 6). 염분이 34.3 psu 이하의 저염을 띠는 적도 표층수는 30 - 50m 두께로 분포하고 있고 그 아래층에서는 34.6 psu 이상의 고염수로 채워져있다. 특히 34.8 psu 이상의 고염의 핵은 북위 9도에서 10도 사이와 적도에서 북위 7도 사이의 해역에 분포하며 그 두께는 적도에서는 약 290m로 (수심 60m - 350m) 북쪽으로 갈수록 얇아져 북위 7도에서는 그 두께가 약 40m에 이른다. 북위 9도와 10도 사이에 위치한 고염의 핵은 수심 100m 부근에만 나타난다. 본 관측에서 35.4 psu 이상의 고염수는 적도의 수심 160m에서 200m 사이에서 나타난다. 1992년 관측에서 적도역에 나타나는 고염의 핵은 적도에서 북위 3도 사이에 걸쳐 나타났지만 본 관측에서는 고염의 핵이 북쪽으로 보다 확장되어 북위 7도까지 나타난다. 이러한 고염의 핵 바로 아래에는 34.6 psu 이하의 상대적인 저염수가 전역에 걸쳐 수심 250m에서 600m 사이에 나타나며, 그 아래로는 수심이 깊어질수록 염분이 점차 증가한다. 1992년 관측에서는 중층에 나타나는 저염수의 염분값이 34.5 psu 이하도 나타나지만 본 관측에서는 1992년 관측에 비해 약간 높게 나타난다. 수온의 수직단면도에서 북위 6도에서 9도 사이에 나타나는 용승현상이 염분의 수직단면도에서도 나타난다. 이런 고염핵의 확장에 대한 해양학적 근거는 본 자료만으로는 해석할 수 없으므로 차후 모든 TOGA 자료를 TOGA 자료본부로부터 획득하여 이러한 적도 고염역의 확장에 대한 해양학적 고찰을 시도하고자 한다.

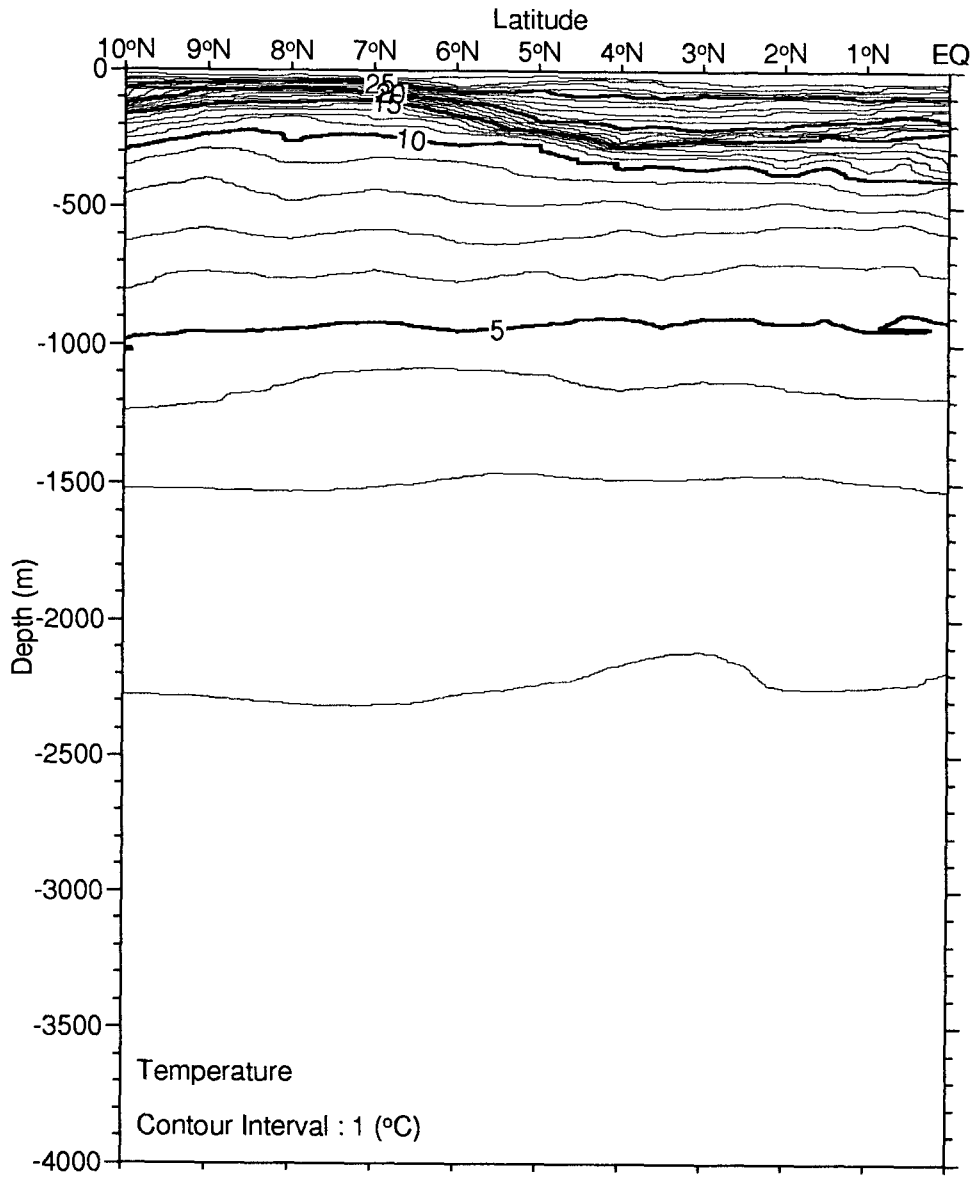


Figure 5. Vertical distribution of temperature for a) all depth and

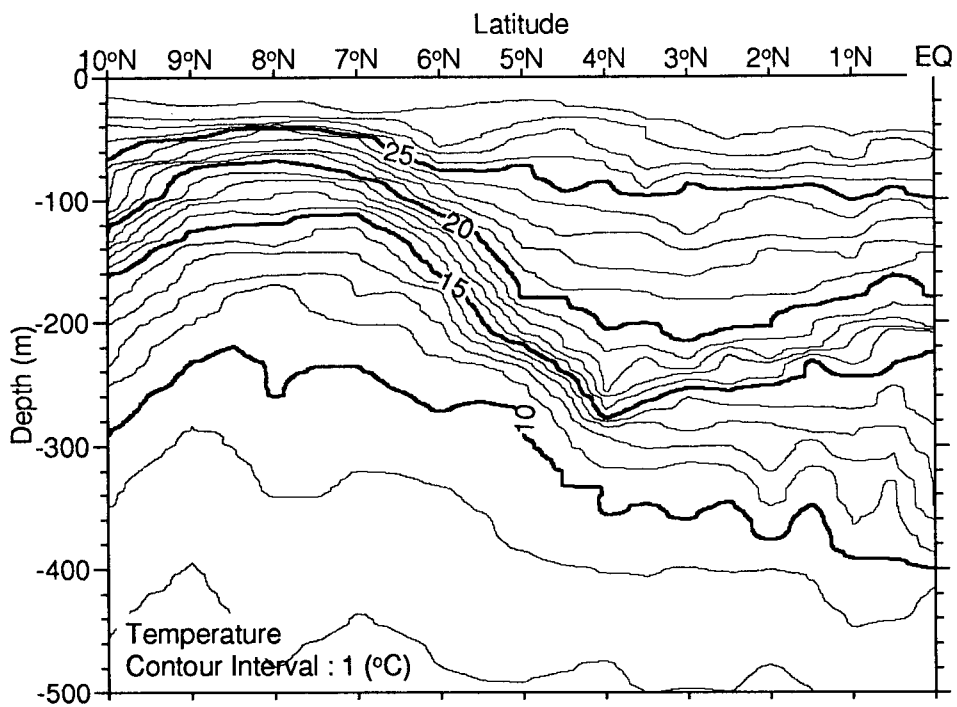


fig5b) 500m depth.

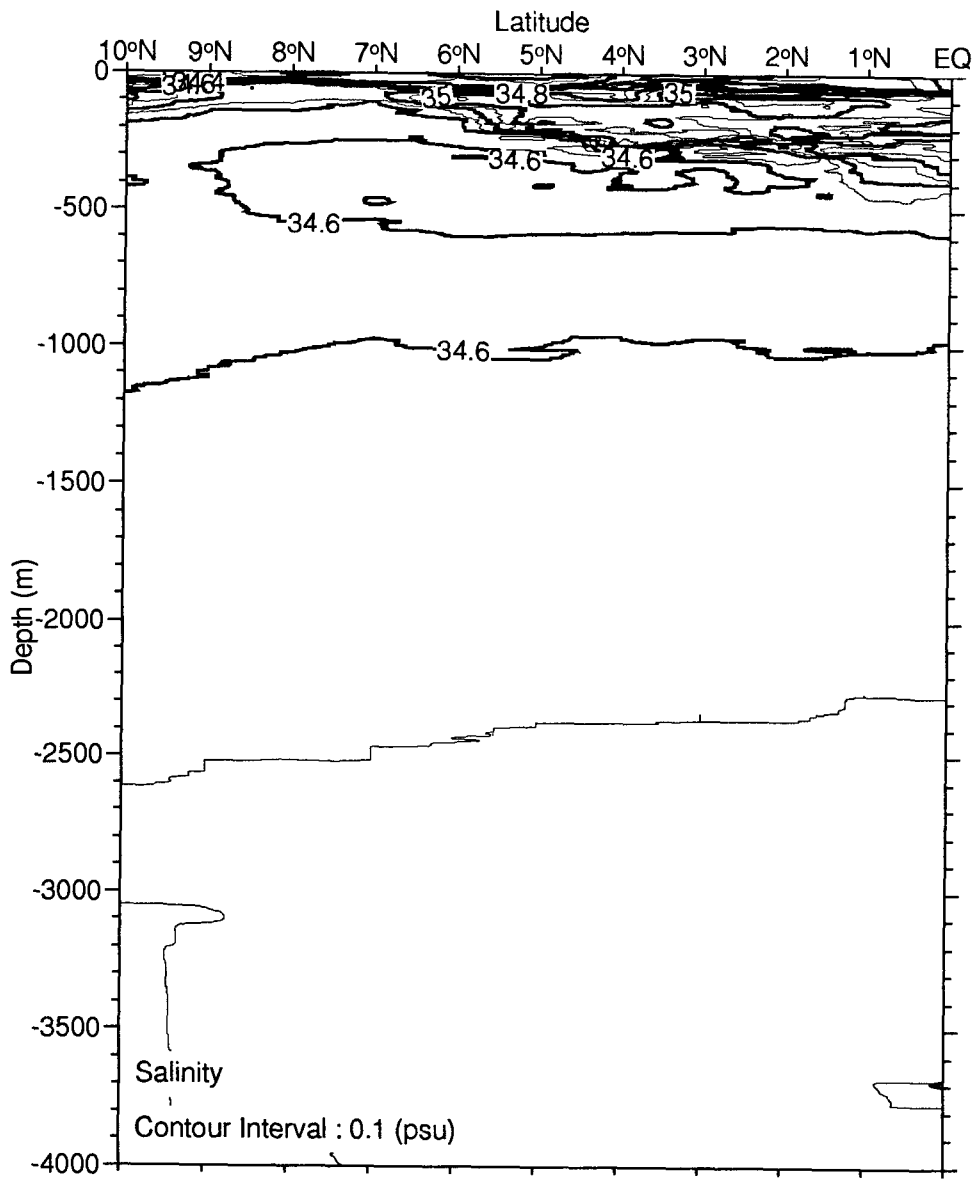


Figure 6. Vertical distribution of salinity for a) all depth and

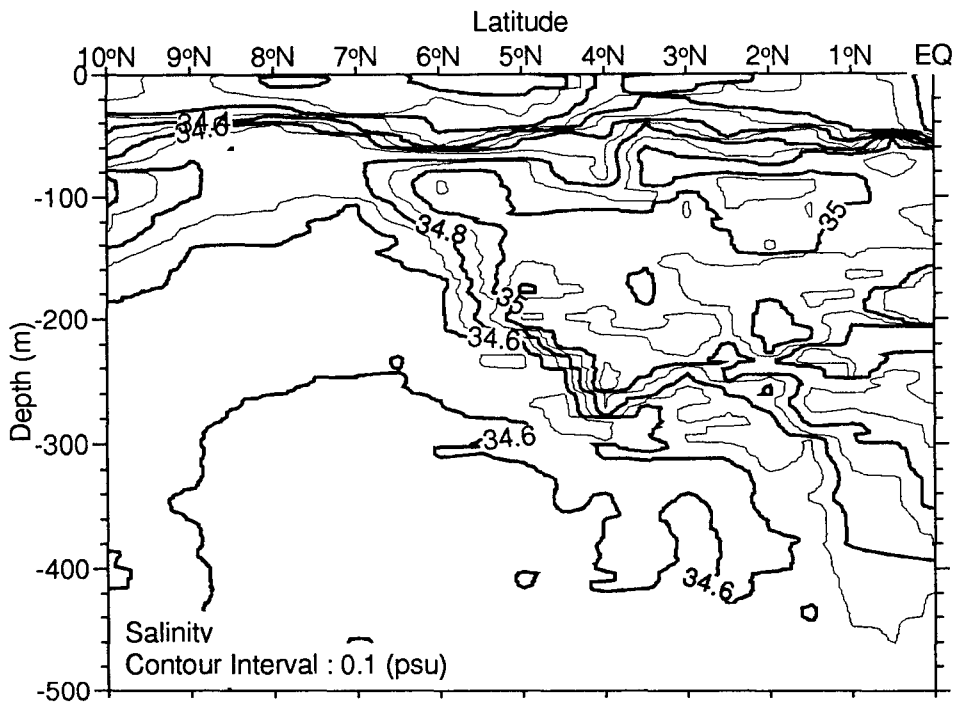


fig6 b) 500m depth.

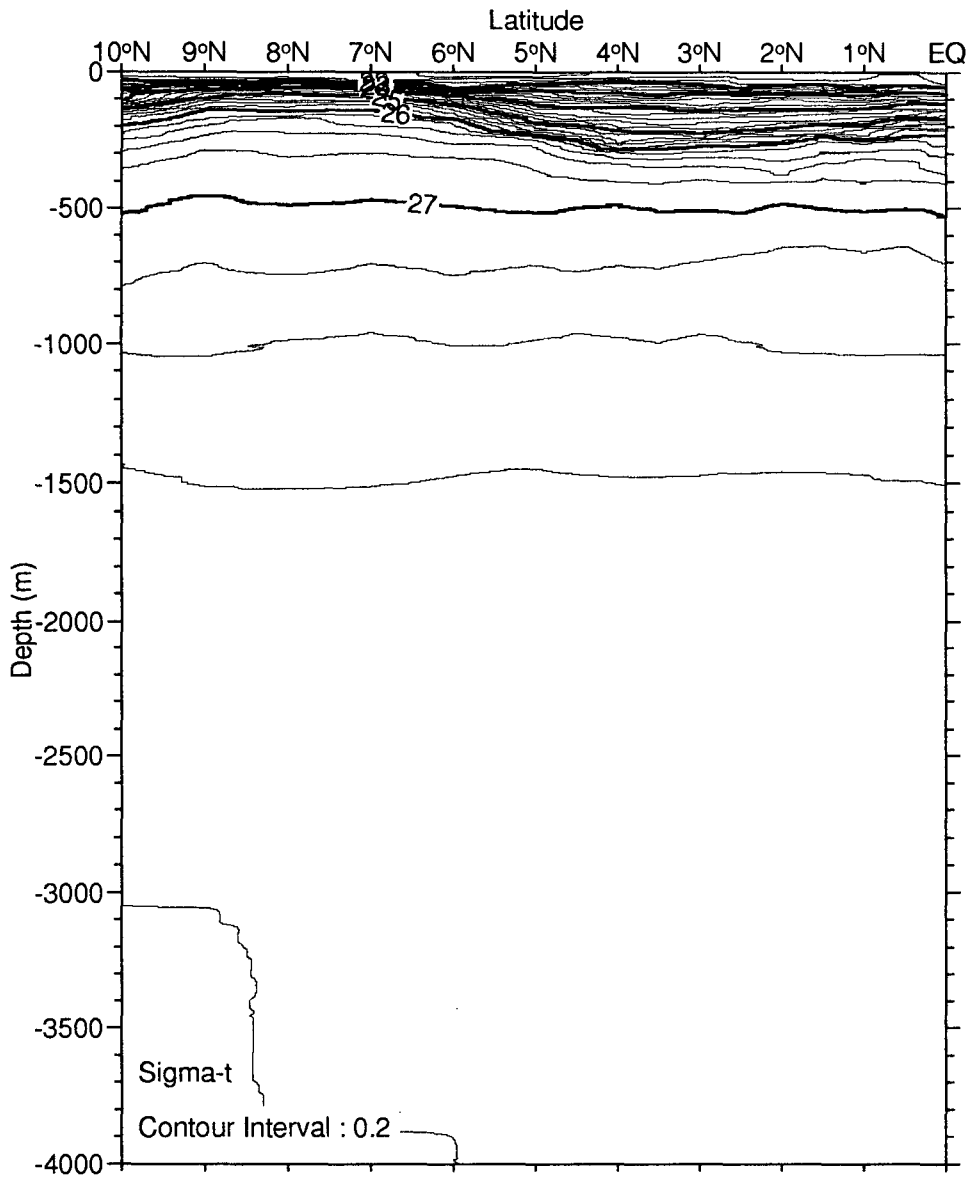


Figure 7. Vertical distribution of density for a) all depth and

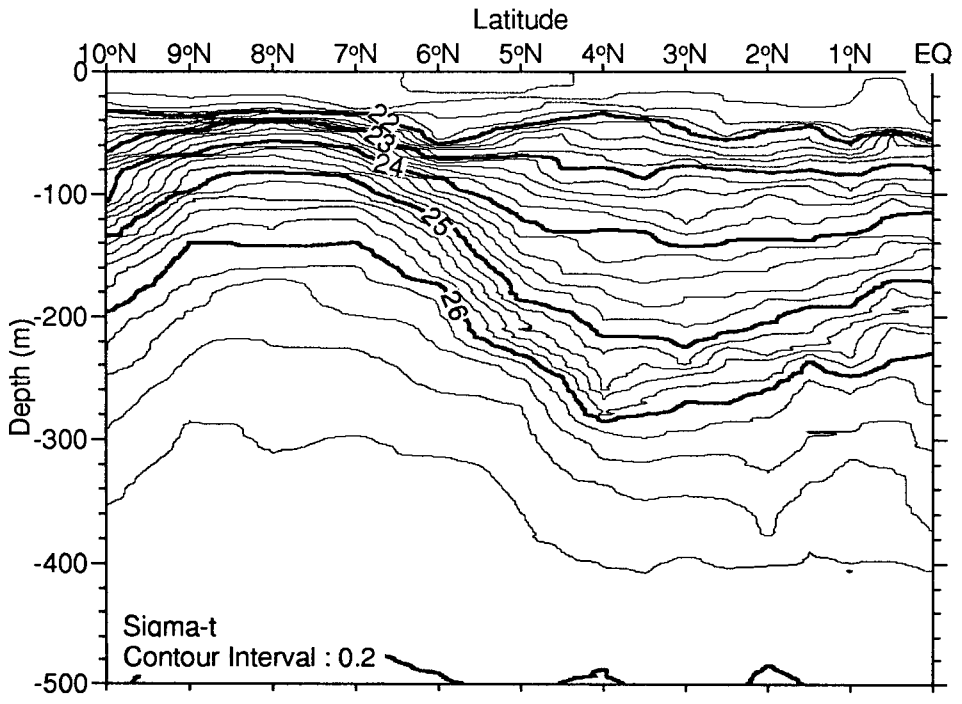


fig7 b) 500m depth.



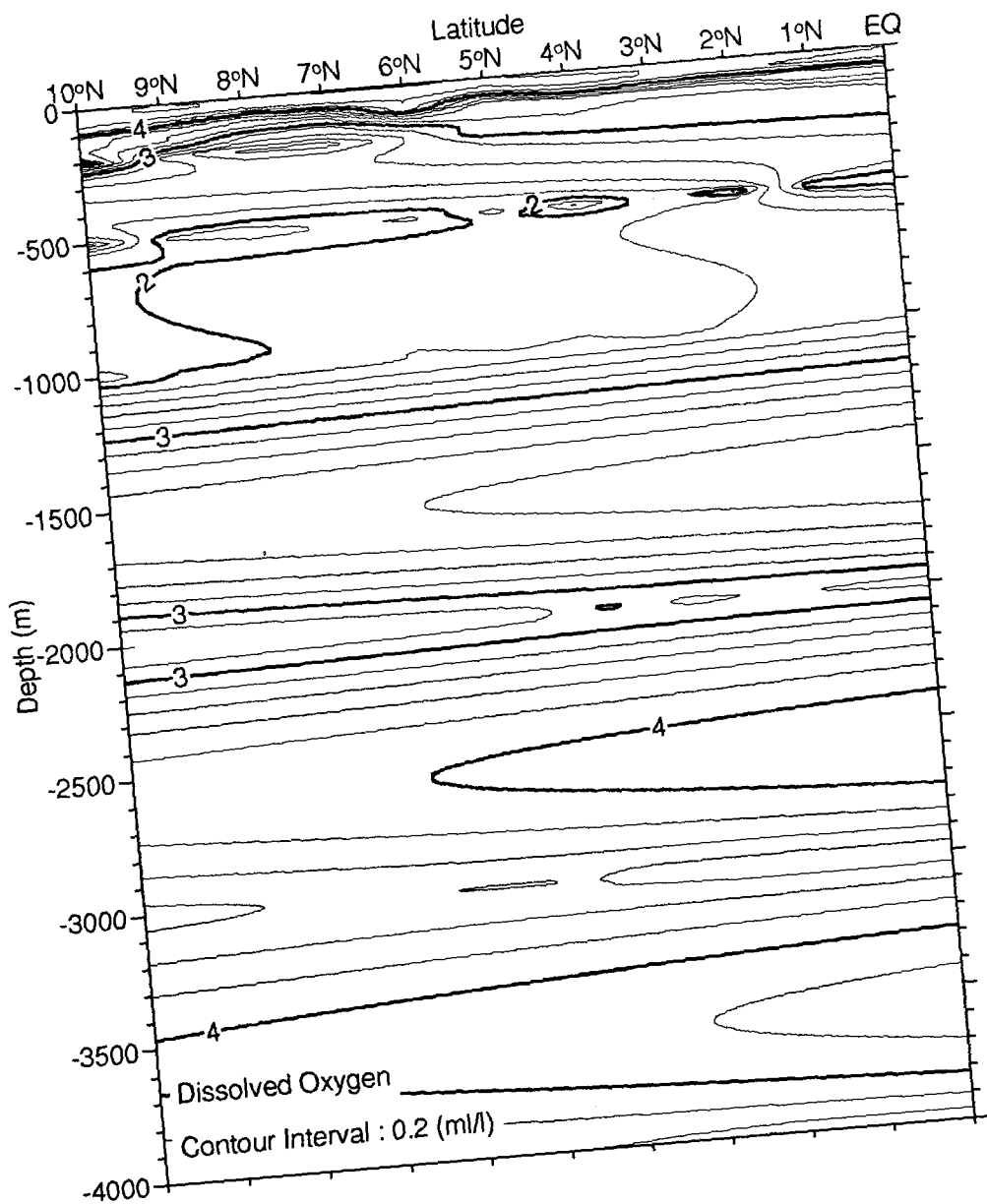


Figure 8. Vertical distribution of dissolved oxygen for a) all depth and

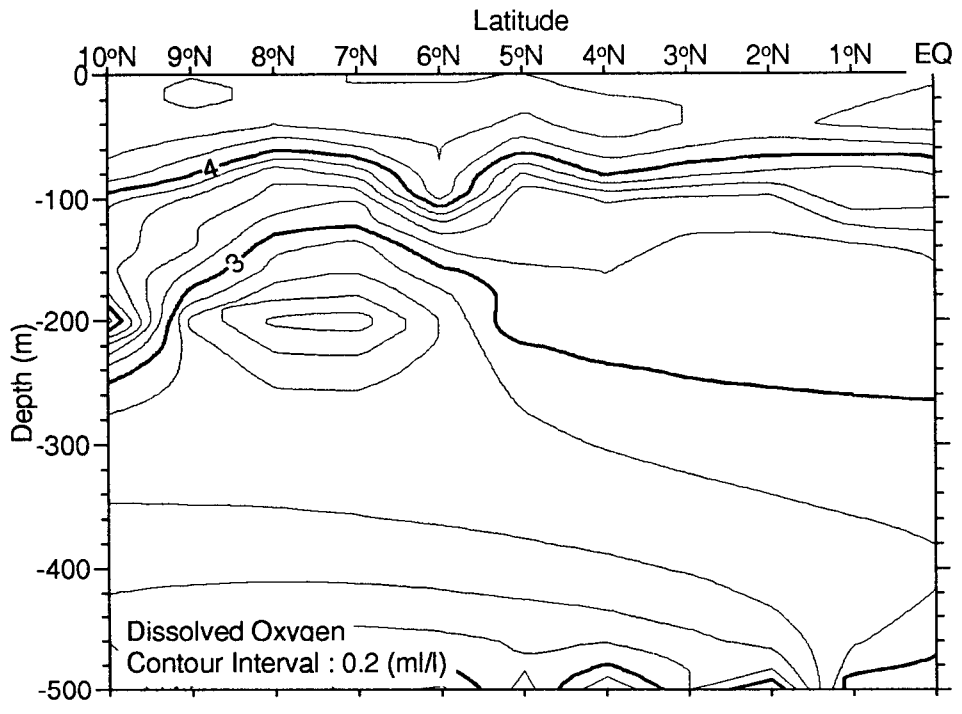


fig8b) 500m depth.

밀도분포 (그림 7)는 수온분포와 같은 특성을 보이며 이러한 밀도분포로부터 밀도구배에 의한 경압류를 생각할 수 있다. 먼저 적도에서 북위 4도까지는 등밀도선이 수심이 깊어지는 방향으로 서서히 기울어져 있으므로 약한 서향류를 생각할 수 있으며, 이러한 서향류는 남적도해류(SEC)로 사료된다. 북위 4도에서 북위 8도까지는 등밀도선이 수심이 얕아지는 방향으로 급격히 기울어져 나타나므로 강한 동향류를 생각할 수 있으며, 북위 8도에서 북위 10도 사이는 서향류를 추론할 수 있다. 이러한 동향류와 서향류는 각각 적도반류(NECC)와 북적도해류(NEC)에 해당되는 것으로 사료된다.

용존산소는 수괴의 특성을 밝히는데 자주 이용된다. 용존산소의 수직단면은 그림 8에 제시하였다. 용존산소의 수직단면도를 살펴보면 표면에서 수심 100m까지는 약 3.8 ml/l 이상의 고용존산소량을 보이고 수심이 깊어지면서 점차 감소하여 약 500m 수심에서 2 ml/l 이하의 최저 용존산소량을 나타내며 다시 수심이 깊어짐에 따라 용존산소량이 증가하는 양상을 띠고 있다. 또한 그림 22b에서 나타나는 것처럼 북위 6도에서 북위 9도 사이, 수심 200m 부근에 2.6 ml/l 이하의 저용존산소량이 나타난다. 이러한 저용존산소는 저온저염의 특성을 가지며 수심 500m 부근의 저온저염 그리고 저용존산소를 갖는 수괴가 융승되어 형성된것으로 생각된다. 고염의 핵이 자리하고 있는 곳의 용존산소의 폭은 약 2.8 ml/l에서 4.2 ml/l 사이를 갖는다. 용존산소-수온, 용존산소-염분, 용존산소-밀도의 관계를 살펴보기 위하여 각각의 Diagram을 그림 9, 10, 11에 제시하였다. 용존산소-수온의 Diagram을 살펴보면 표층의 고온수는 4 ml/l 이상의 고용존산소량을 가지며, 수온이 7℃에서 약 1.8 ml/l의 최소 용존산소량을 보이며 수온이 7℃에서 저수온으로 갈 수록 용존산소량은 점차 증가하여 3.6 ml/l 이상을 보인

다. 용존산소-염분의 Diagram상에서 용존산소량이 3 ml/l 이하인 수괴는 대략 34.6 psu 정도의 염분값을 가지며 염분이 34.4 psu 이하인 저염수는 대부분 4 ml/l 이상의 고용존산소량을 보이는 반면 염분이 34.8 psu 이상의 고염수는 용존산소량의 분포폭이 3.2 - 4.6 ml/l로 넓다. 용존산소-밀도의 Diagram으로부터 밀도가 27 - 27.2 사이에서 최소 용존산소량이 보이며 저 밀도에서 고밀도로 갈 수록 용존산소 분포폭은 점차 넓게 나타난다. 즉 최소 용존산소량 갖는 수괴특성은 염분이 34.6 psu, 수온이 약 7℃, 밀도가 27 - 27.2 사이를 가지며 그 깊이는 약 수심 500 - 800m 사이에서 나타난다.

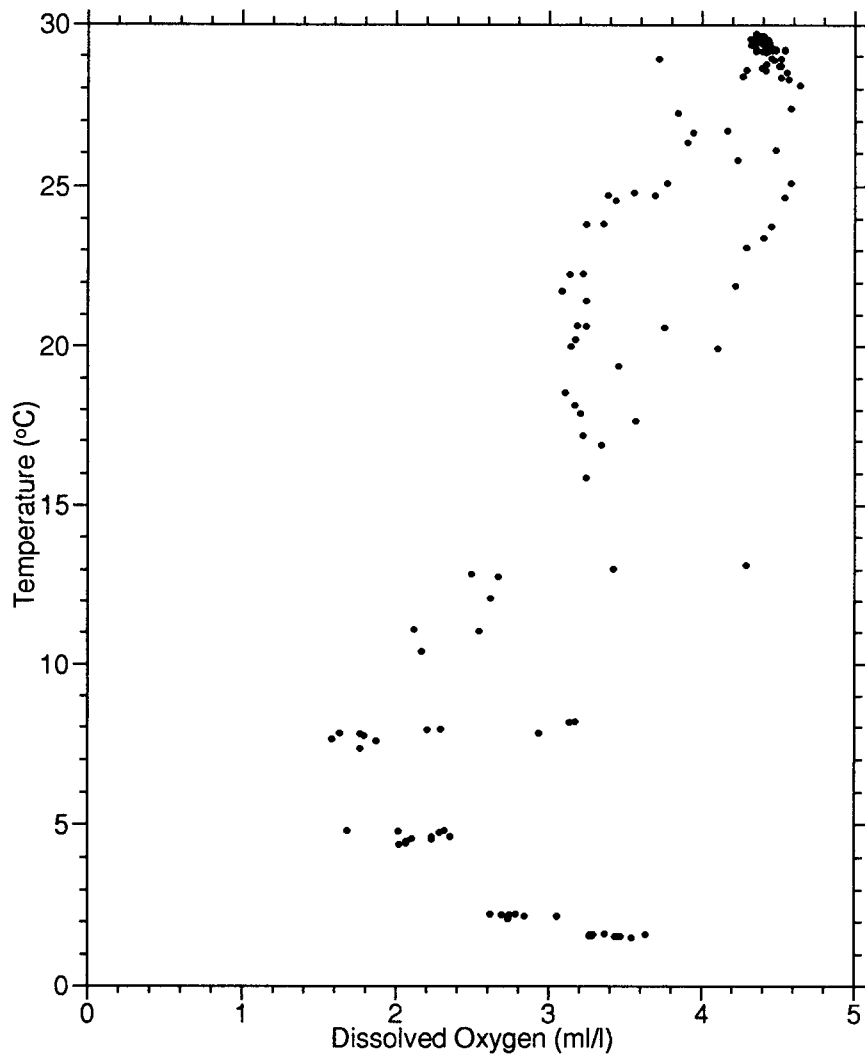


Figure 9. Temperature-Dissolved Oxygen Diagram.

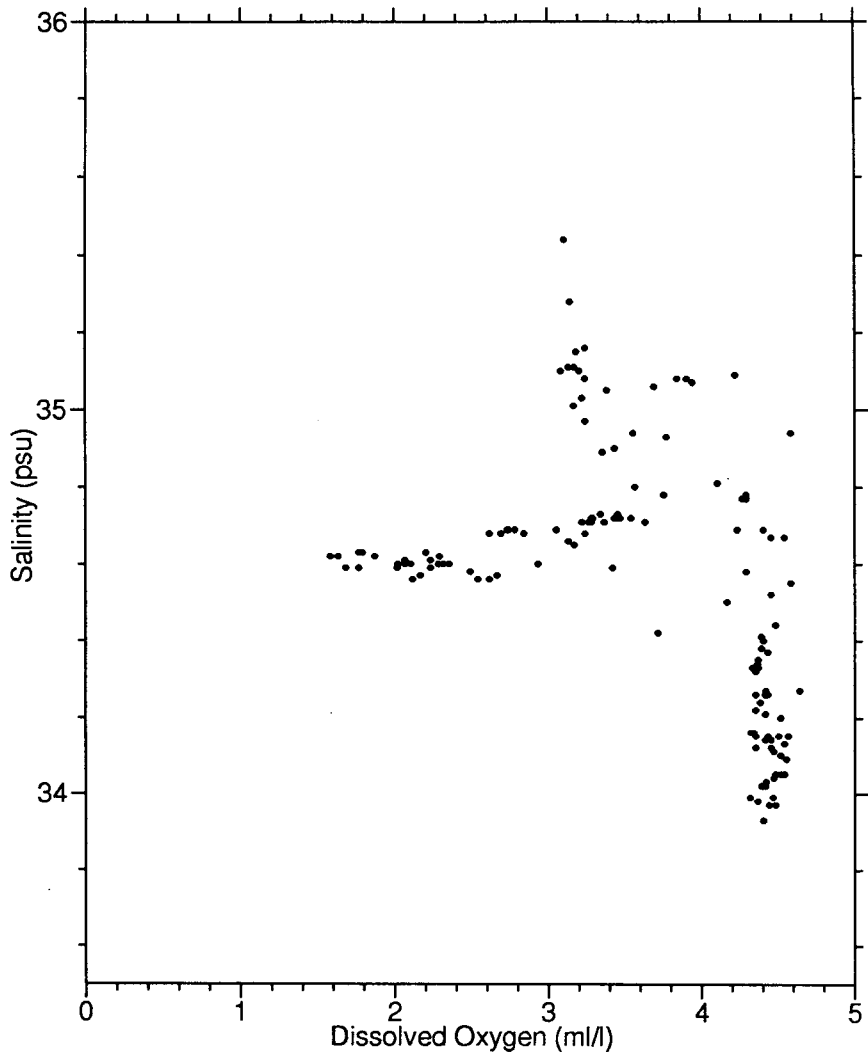


Figure 10. Salinity-Dissolved Oxygen Diagram.

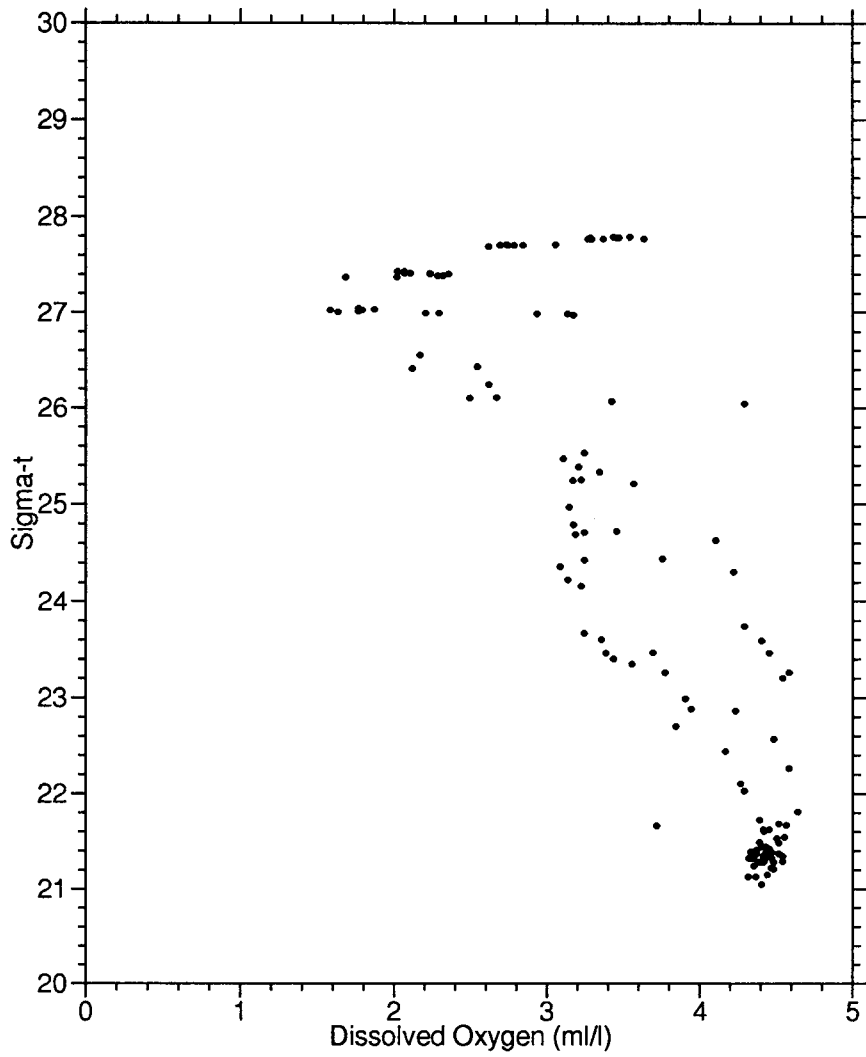


Figure 11. Density-Dissolved Oxygen Diagram.

## 제 4 절 24시간 연속 CTD 관측결과

그림 12는 북위 2도, 경도 137도에서 상층 1000m까지의 수심층에 대하여 1994년 4월 30일 10시부터 5월 1일 10시까지 2시간 간격으로 24시간 관측한 것의 T-S Diagram이다. 24시간 연속관측을 시행한 북위 2도에서 T-S구조는 35 psu 이상의 고염이 26.8℃ - 28.4℃와 16℃ - 21.5℃ 수온에서 나타나며 최소염분은 수온이 약 9.7℃에서 나타난다. 이러한 구조는 적도에서는 35 psu 이상의 고염이 약 14℃의 수온에서도 나타나는 것과는 다소 다른 구조이다. 1992년 연속관측에서는 관측위치가 고염핵의 가장자리에 위치하여 적도나 북위 10도와 다른 뚜렷한 천이지역의 T-S 구조를 보였지만 본 관측에서는 북위 2도인 관측위치가 고염핵의 중간위치이기 때문에 1992년과는 다른 구조를 갖는다.

수온, 염분 그리고 밀도의 시간에 따른 변화를 그림 13, 14, 15에 각각 제시하였다. 1992년 연속관측에서는 천이지역에서의 관측이라 짧은 시간 동안에도 상당한 폭의 변화를 보이고 있지만 본 관측에서는 그러한 큰 변화는 보이지 않는다. 표층에 나타나는 계절 수온약층의 깊이변화는 일변화처럼 16시에 최대수심을 가지며 24시에서 02시 사이에 최소치를 보인다. 이러한 변화는 약 60 m에서 나타나는 최대염분층의 깊이에서도 같은 변화를 갖는다. 그러나 100 m 이심에서 보이는 고염층의 시간에 따른 변화는 일변화가 아닌 혼합정도에 따른 변화를 겪는 것처럼 나타난다. 고염핵의 위층과 아래층에서 변화의 특징을 나타내는 크기의 폭은 수 m 정도이고 수온 및 밀도보다는 염분에 있어서 변화폭이 훨씬 크다. 이러한 미세구조의 변화는 일반적으로 salt finger나 이중확산(double diffusion) 형태의 확산과정에 의해 일어난다고 알려져 있다.



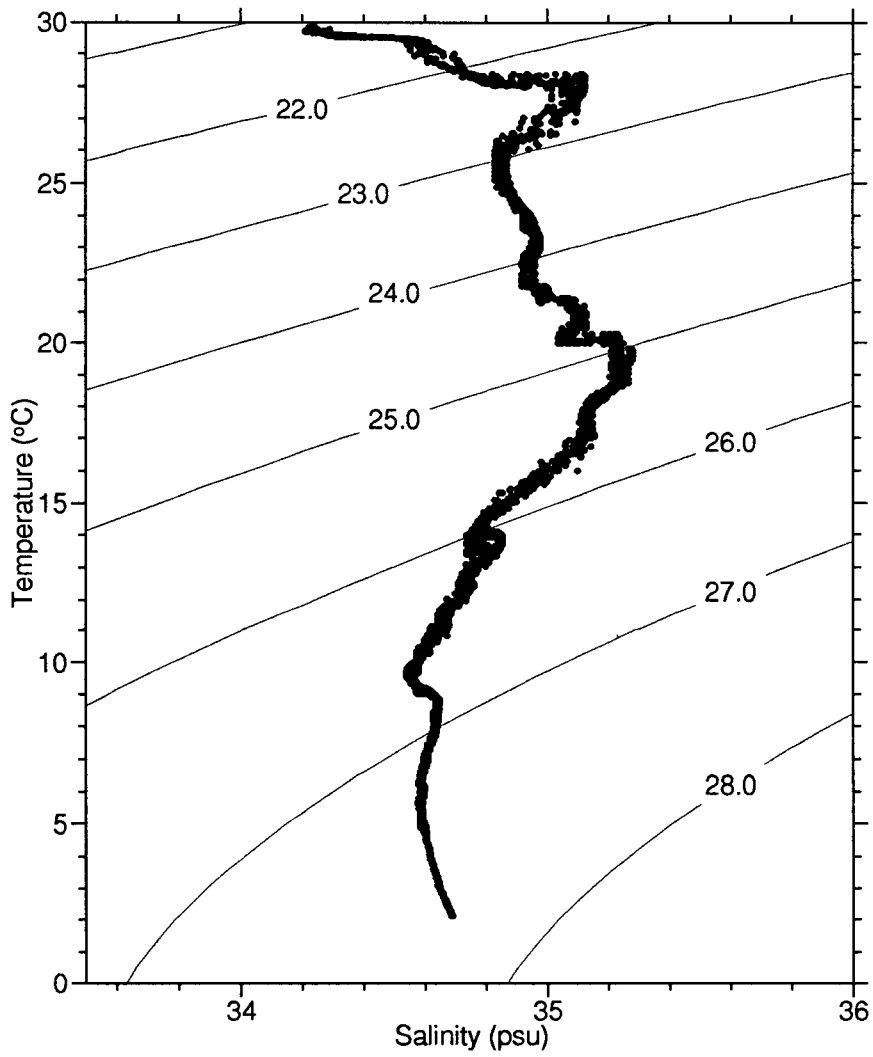


Figure 12. T-S Diagram continuously observed for 24 hours at 2°N, 137°E.

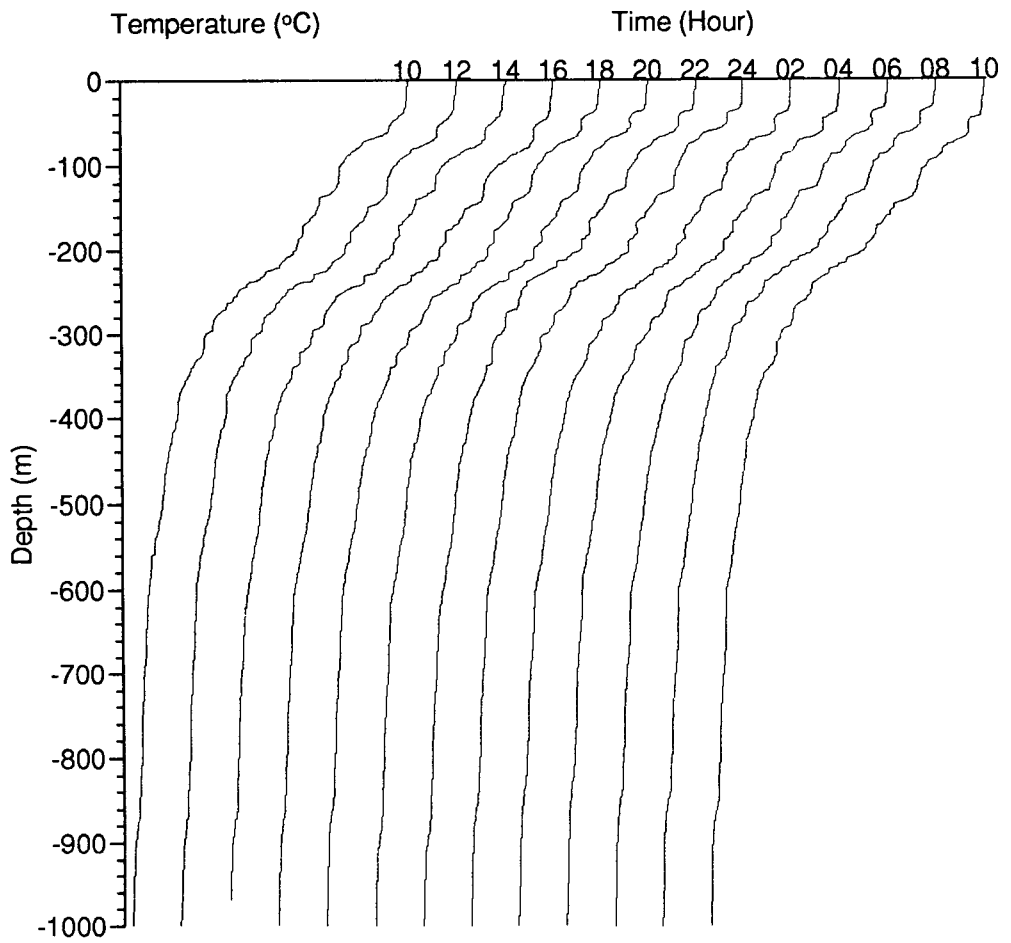


Figure 13. Time variation of temperature.

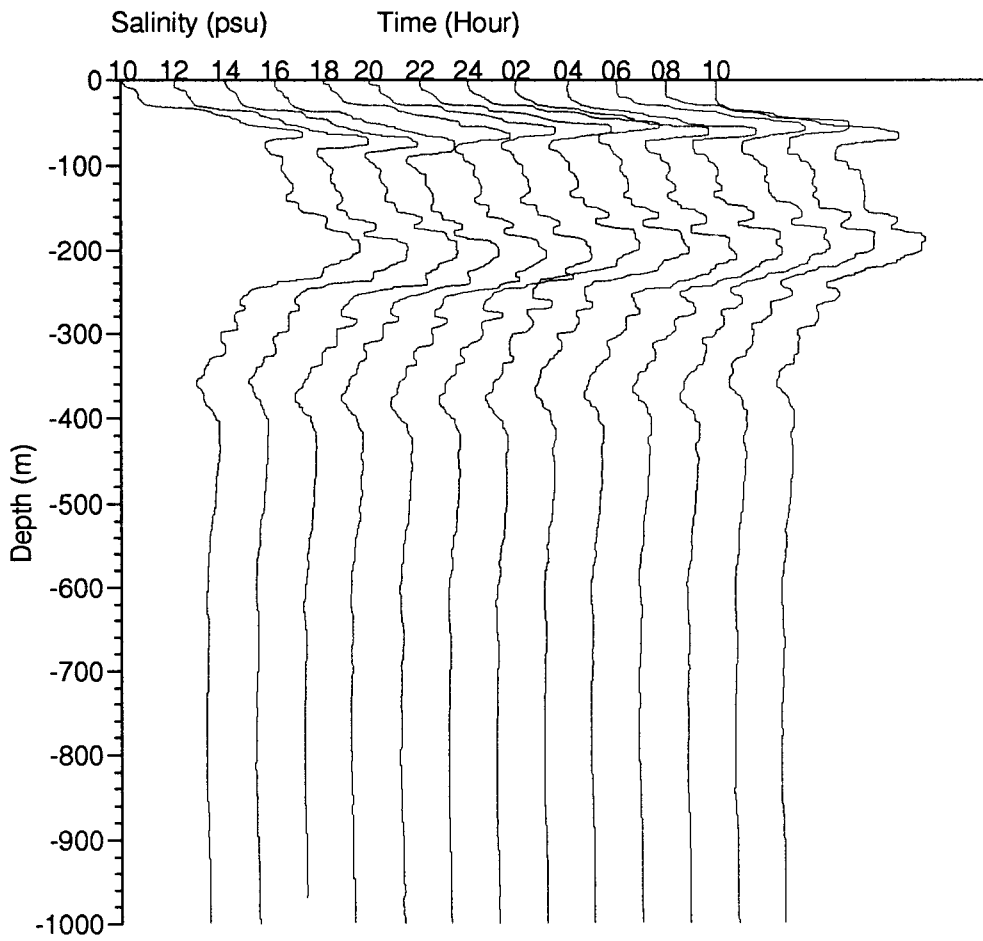


Figure 14. Time variation of salinity.

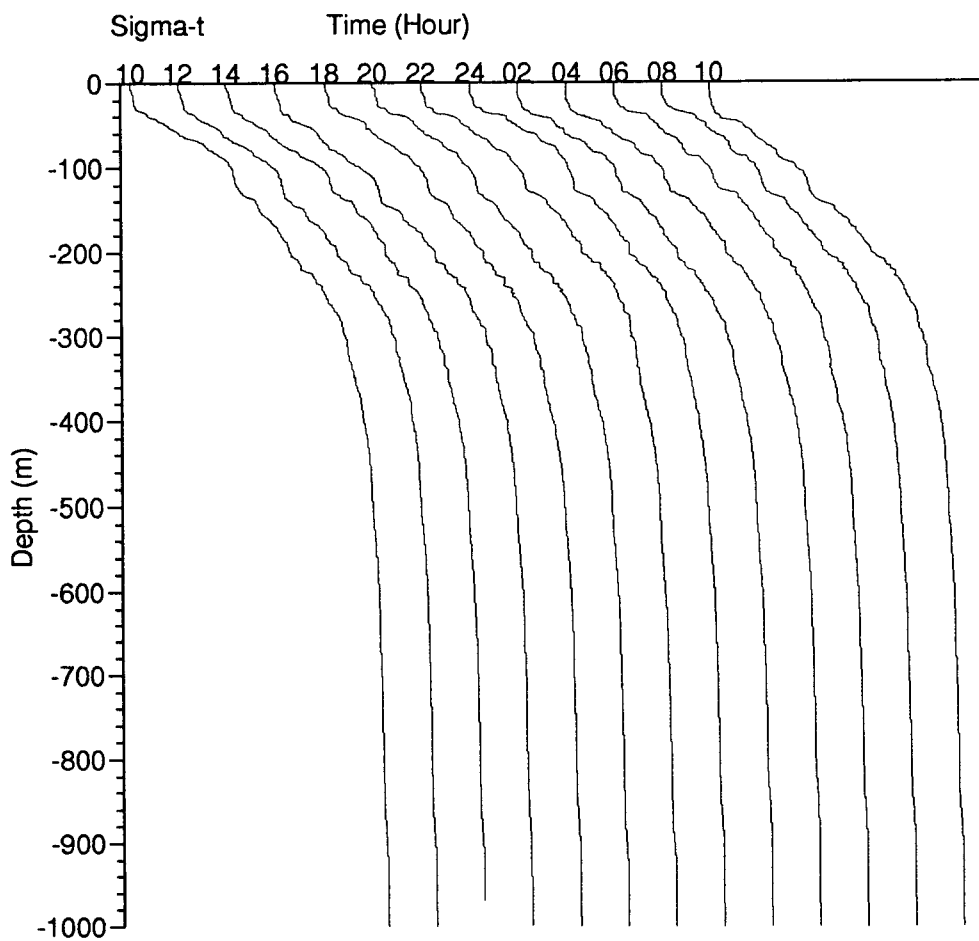


Figure 15. Time variation of density.

## 제 5 절 ADCP 관측해류

온누리에 장착된 ADCP(RD-VM0150)를 사용한 해류관측이 동경 137도 경도선을 따라 북위 10도에서 적도에 이르는 구간까지 16개 정점을 포함한 정점 및 정선 관측이 4일여 간에 걸쳐(4월 25일 15:00 - 4월 29일 18:00) 수행되었으며, 다시 동경 137도 북위 2도 지점에서 25시간(4월30일 09:00 - 5월 1일 10:00) 연속정점 관측이 수행되었다.

ADCP 관측이 이루어진 관측점의 위치를 얻기 위해 온누리호에 장착된 GPS 위치측정기를 이용하여 매 30초 마다의 시간, 위도, 경도의 자료를 구하였다. 관측기간 중 ADCP의 bin depth 간격은 8 m 이며 각 bin depth 별 2분 평균된 자료를 얻었으며, 2분 간격의 전 자료는 1시간 간격으로 수십별 유속과 위치를 평균하여 정리하였다.

관측해역의 수심이 깊어 Ship Tracking 방법으로 8 m 간격의 bin 자료를 수직적으로 64개씩 얻었으나, 수심 217 m 이상 및 25 m 이내의 자료는 불량이 많아 자료 처리시 제외 시켰다. 또한 관측 유효수심 구간에서의 유속자료는 조사선의 이동이나 해류 등의 성분이 복합되어 있으므로 상대적인 유속을 구하기 위해 본 관측의 최대 유효수심인 217 m 수심층을 기준으로하여 분석하였다. 매 시간별 위치 (위도)의 변화에 따른 상대유속의 수직단면도는 그림 16a, b 와 같다. 해류의 동서방향 성분의 수직구조(그림 16a)는 적도 부근에서의 해류양상을 잘 보여준다. 적도에서 북위 3도까지의 해역에서는 서향류가 지배적인 남적도해류 (SEC)에 해당하며, 북위 3도에서 북위 7.5도에 이르는 해역에서는 최대 90cm/sec에 이르는 강한 동향류가 보이는데 이는 적도반류 (NECC)에 해당하며 북위 7.5도에서 북위

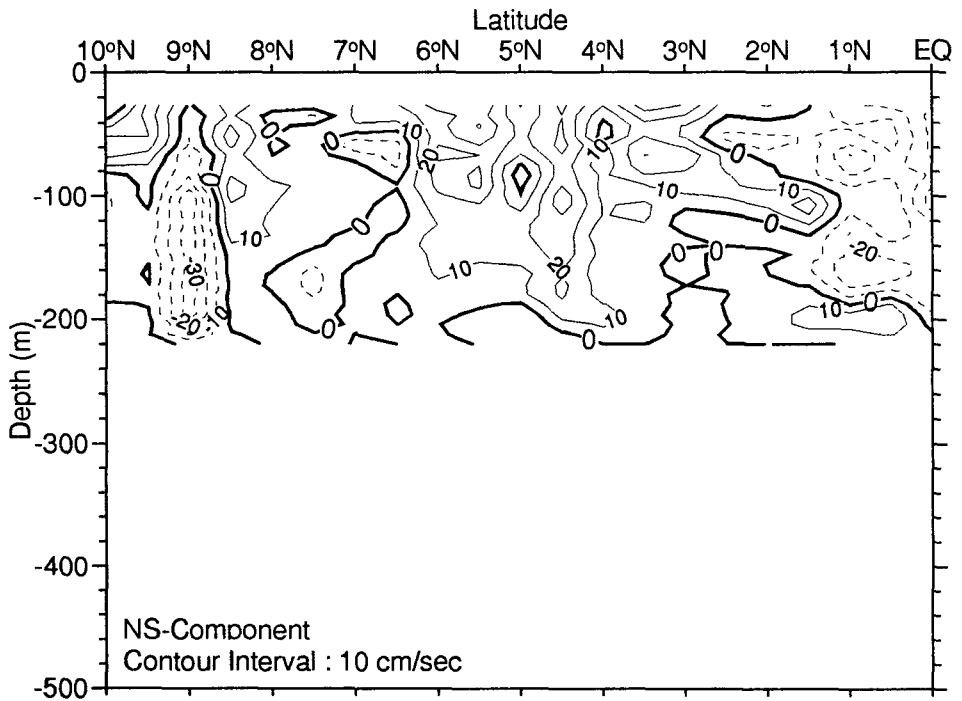
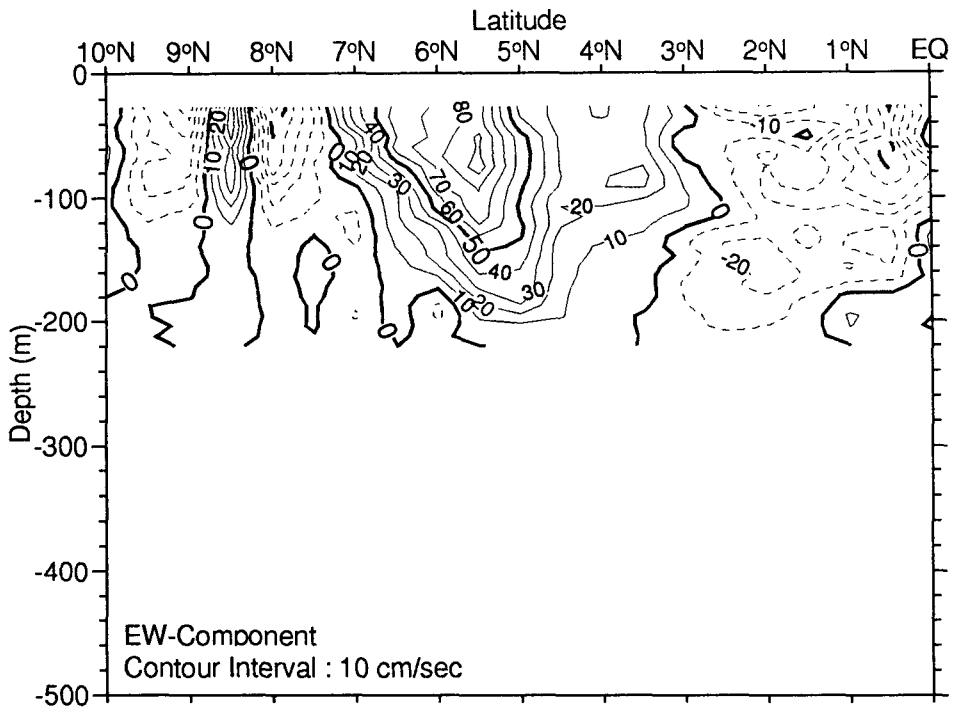


Figure 16. Vertical distribution of a) E-W component and b) N-S component of velocity observed by ADCP.

10도에 이르는해역에서는 서향류가 지배적인 북적도해류 (NEC)의 양상이 보인다. 해류의 남북방향 성분의 수직구조(그림 16b)는 적도에서 북위 1.5도에 이르는 해역과 북위 9도 부근 해역에서 약 30 cm/sec 이하의 남향류 성분이 보이며, 북위 1.5도 이북의 해역에서는 전반적으로 약 30 cm/sec 이하의 북향류 성분이 지배적으로 보여 북위 1.5도선 에서 서향류인 남적도해류가 남과 북의 방향으로 발산함을 보여주고 있다. 이와같은 위도선을 따라 해류의 수직적인 벡터장 변화를 그림 17에 나타내었다.

북위 2도, 동경 137도 지점에서 ADCP와 RCM-7에 의한 25시간 연속 해류관측 자료는 30분 간격으로 각각 평균한 후 ADCP 측정유속자료 및 RCM의 측정 유속자료를 전술한 방법과 같이 217 m를 기준면으로 삼아 처리하였고, RCM의 유속자료는 연속관측기간 중 조사선의 이동으로 인한 기기의 출수로 인해 누락된 부분이 있었다. 그림 18은 ADCP에 의한 수직적인 유속의 벡터장을 시계열로 나타낸 것이며, 그림 19는 ADCP의 표층부인 25 m 층과 RCM의 측정 수심인 약 10 m 층에서 유속의 벡터를 25시간 시계열로 비교하여 나타낸 것이다. 그림 18에서와 같이 북위 2도 동경 137도 해역에서는 전 층에서 남적도해류에 해당하는 북서방향의 해류가 시간에 따라 유속의 크기가 변하면서 기간 중 최대 약 60 cm/sec 까지 보였다. 그림 19에서와 같이 표층부에서 거의 동시적으로 측정한 ADCP와 RCM의 관측 결과에 의하면 평균유속의 차이가 10 cm/sec 이하로 ADCP 관측의 신뢰성을 보여주었다.

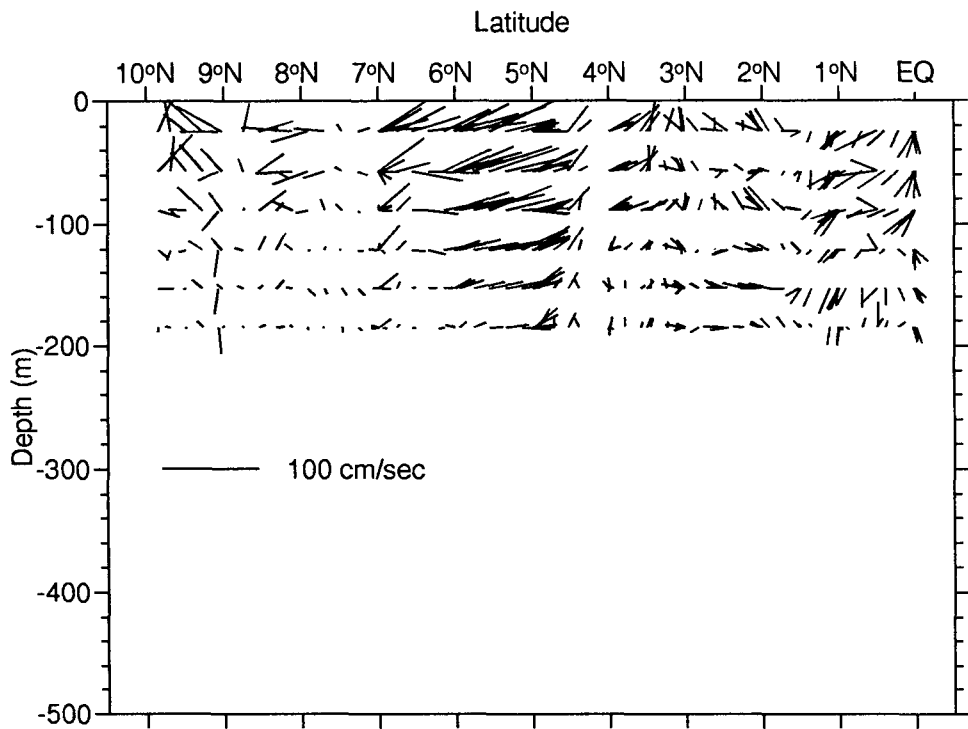


Figure 17. Vertical distribution of instantaneous velocity vector observed by ADCP.



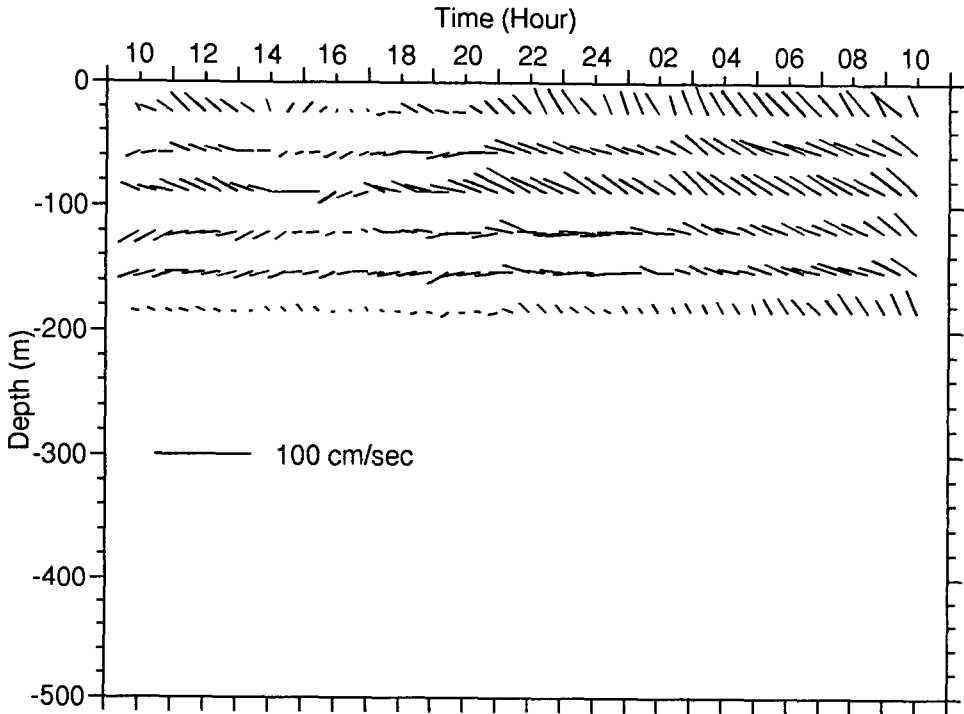


Figure 18. Vertical distribution of instantaneous velocity vector observed by ADCP for 25 hours at 2° N, 137° E.

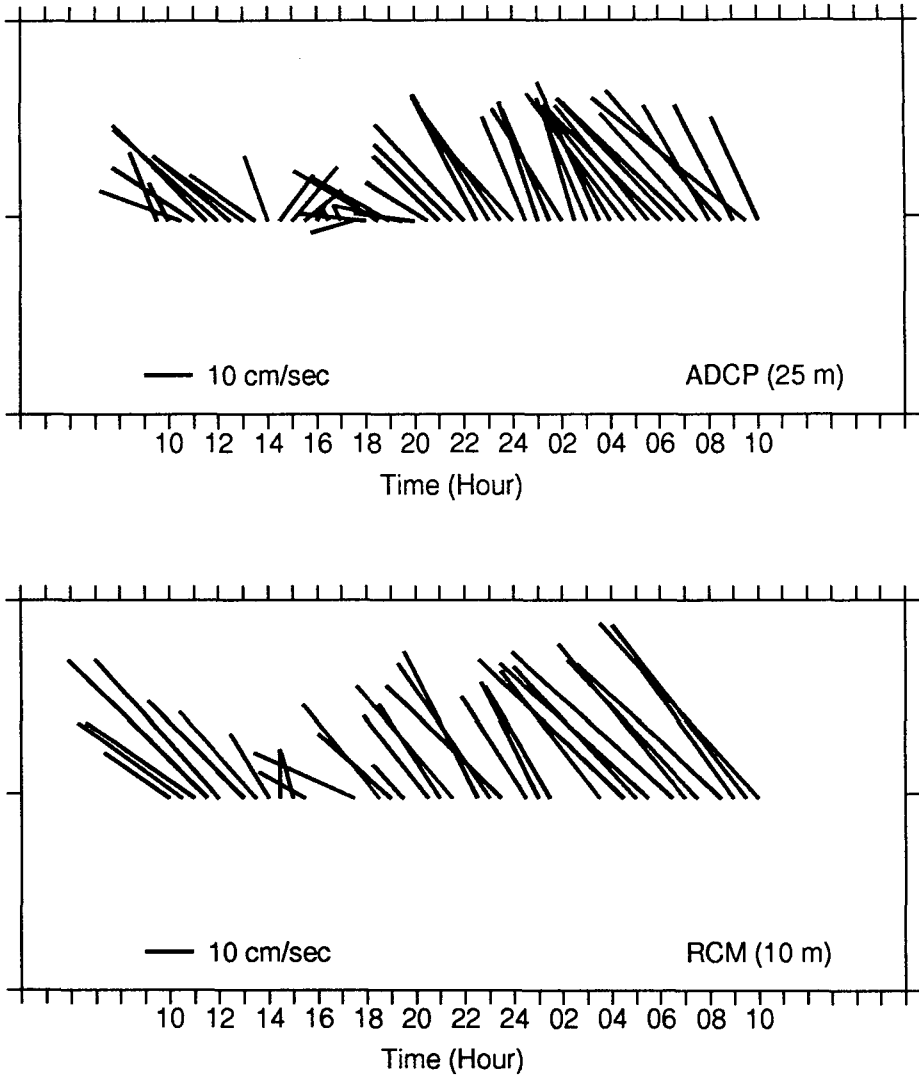


Figure 19. Comparison of surface velocity vectors observed by ADCP and RCM for 25 hours at 2° N, 137° E.

## 제 6 절 수온 및 염분의 수직미세구조

1992년 12월 5-6일에 북위 2도, 동경 137도 (그림 2)에서 매 2시간 마다 24시간 동안 관측된 CTD 와 ADCP 자료를 바탕으로 수온 및 염분의 수직구조를 관찰하였다. 기본적인 해황은 그림 20a의 수온-염분 Diagram에서 살펴볼 수 있다. 그림 20b의 수온-염분 Diagram은 분석에 사용한 24시간 연속관측 자료이다. 수온은 계속 깊이에 따라 감소하지만 염분은 최대염분층과 최소염분층이 반복하여 나타나 있음을 알 수 있다. 이러한 구조는 각각 A와 B로 표시된 고염의 적도쪽 해수와 상대적으로 저염인 아열대 해역의 해수 사이에 위치하여 24시간 관측 해역에서 두 해수간의 접촉과 관입이 있음을 암시하고 있으며 이에 따른 다양한 미세 수직구조의 형성 가능성을 시사해 준다. 그림 21은 연속관측된 수온 및 염분 자료의 수직분포도를 시간별로 도시한 것으로 수심 50 - 250 m 에서 수온과 염분은 각각 계단과 썩기 형태의 구조가 복잡하게 형성되어 있음을 볼 수 있다. 각각의 구조들은 시간이 지남에 따라 수직이동이 있음을 보여준다. 이러한 수온과 염분의 미세구조는 그림 22에 나타난 바와 같이 유사성이 매우 높아 coherency 계수의 절대값이 0.9 이상으로 나타났다. 이는 수온과 염분의 구조변화가 동일한 물리적 과정에 의하고 있음을 의미하고 있다. 밀도의 구조는 250 m 의 수심을 중심으로 수직 변화가 뚜렷이 구분이 되어 (그림 23) squared buoyancy frequency,  $N^2$ , 값은 상층과 하층에서 각각  $2.0 \times 10^{-4}$  과  $1.3 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-2}$  을 보이고 있다. 24시간 관측 해역의 수온과 염분의 수직구조가 복잡한 이유를 설명하기 위하여 우선 ADCP 자료를 살펴 보았다. 그림 24는 적도에서 북위 3도까지 자료로 북위 2도를 중심으로 북쪽에는 서향류인 북적도해류가 거의 전 층에 걸쳐 존재하고 남쪽에는 65 - 129 m 에서 동향류인 적도잠류가 있음을 보인다. 따라서 방향이 서로 다른 두 해

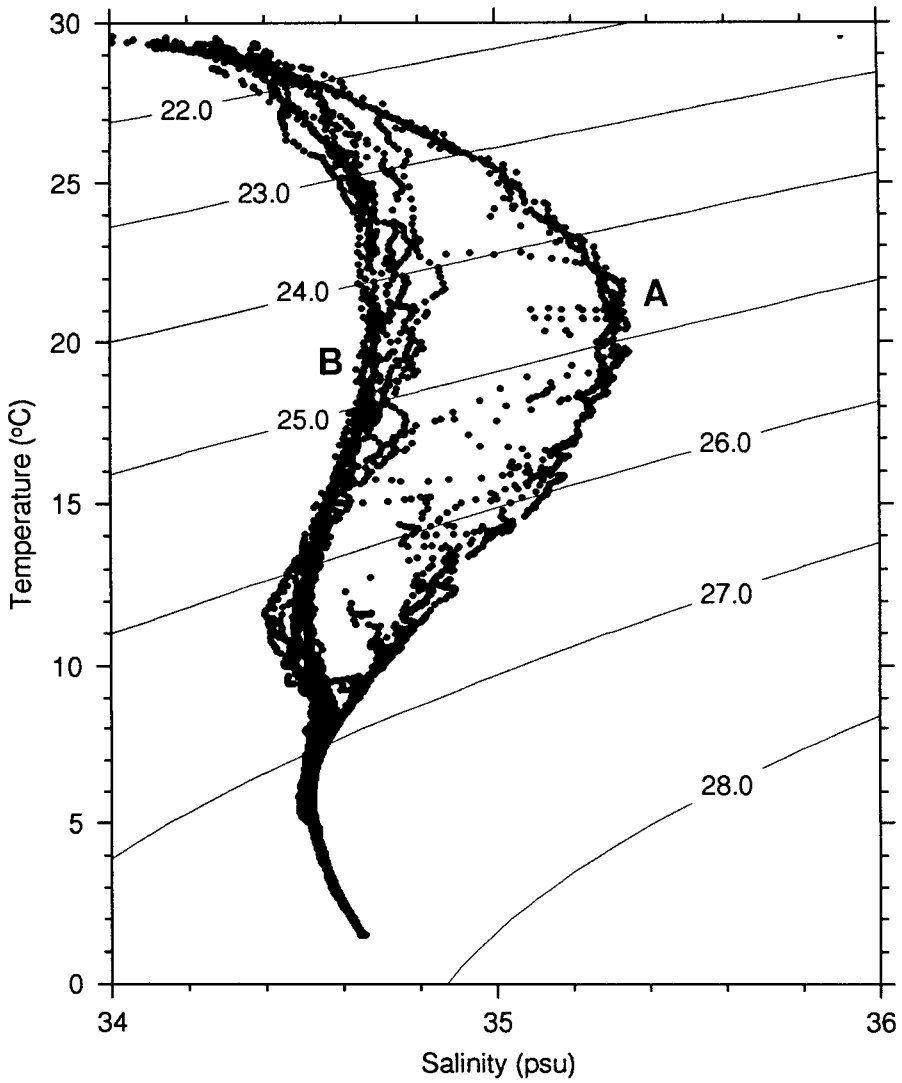


Figure 20. T-S diagram of temperature and salinity a) observed all stations and

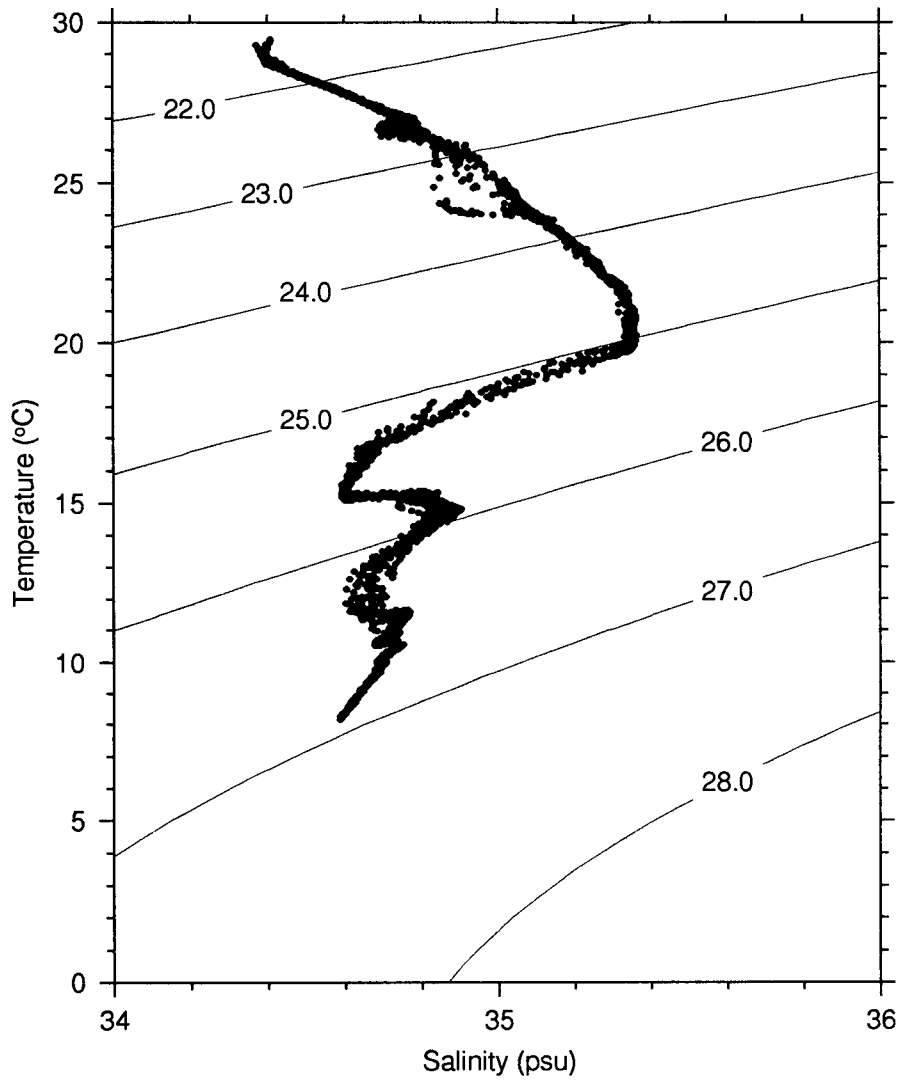


fig20 b) observed during 24 hours at 2°N in 1992.

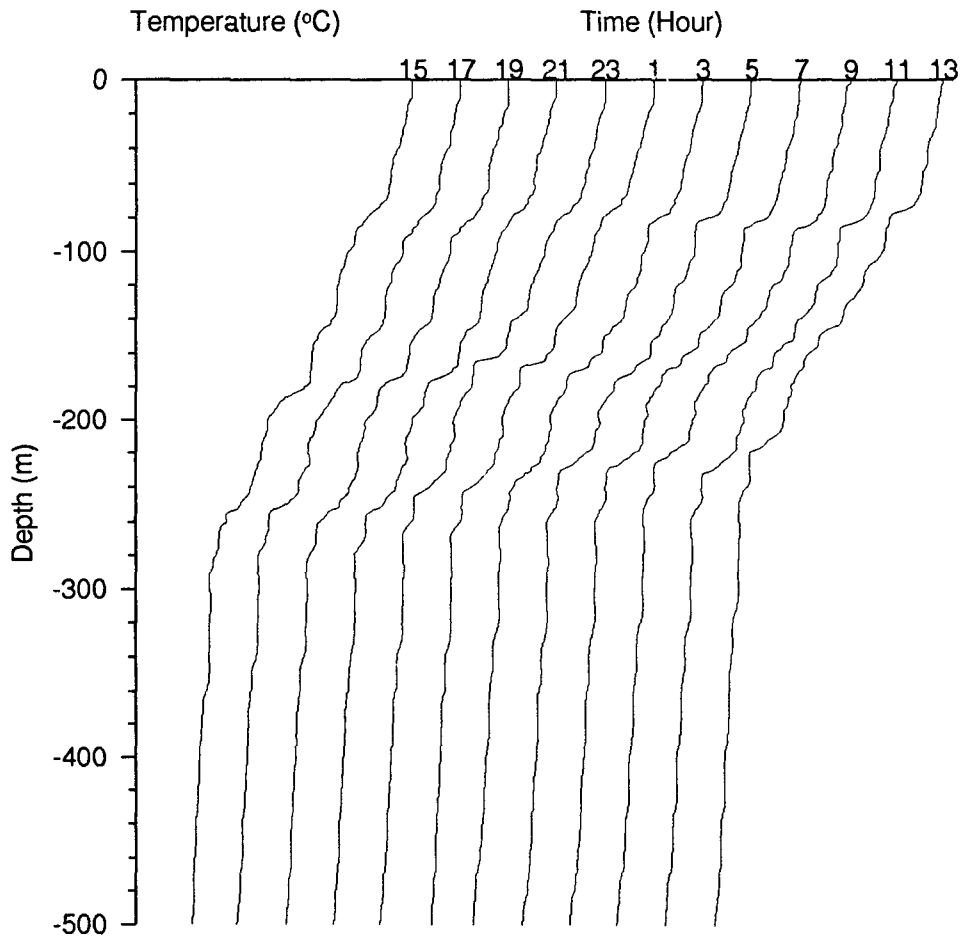


Figure 21. Time variation of a) temperature and

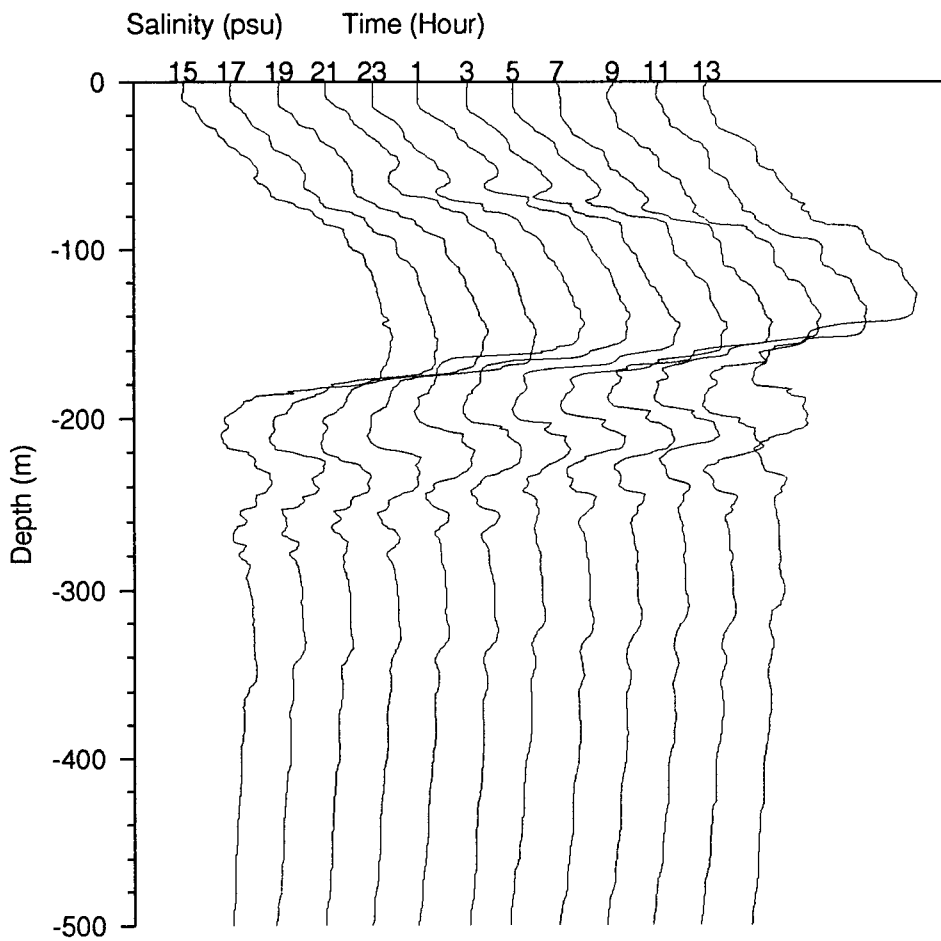


fig21 b) salinity observed during 24 hours at 2°N in 1992.

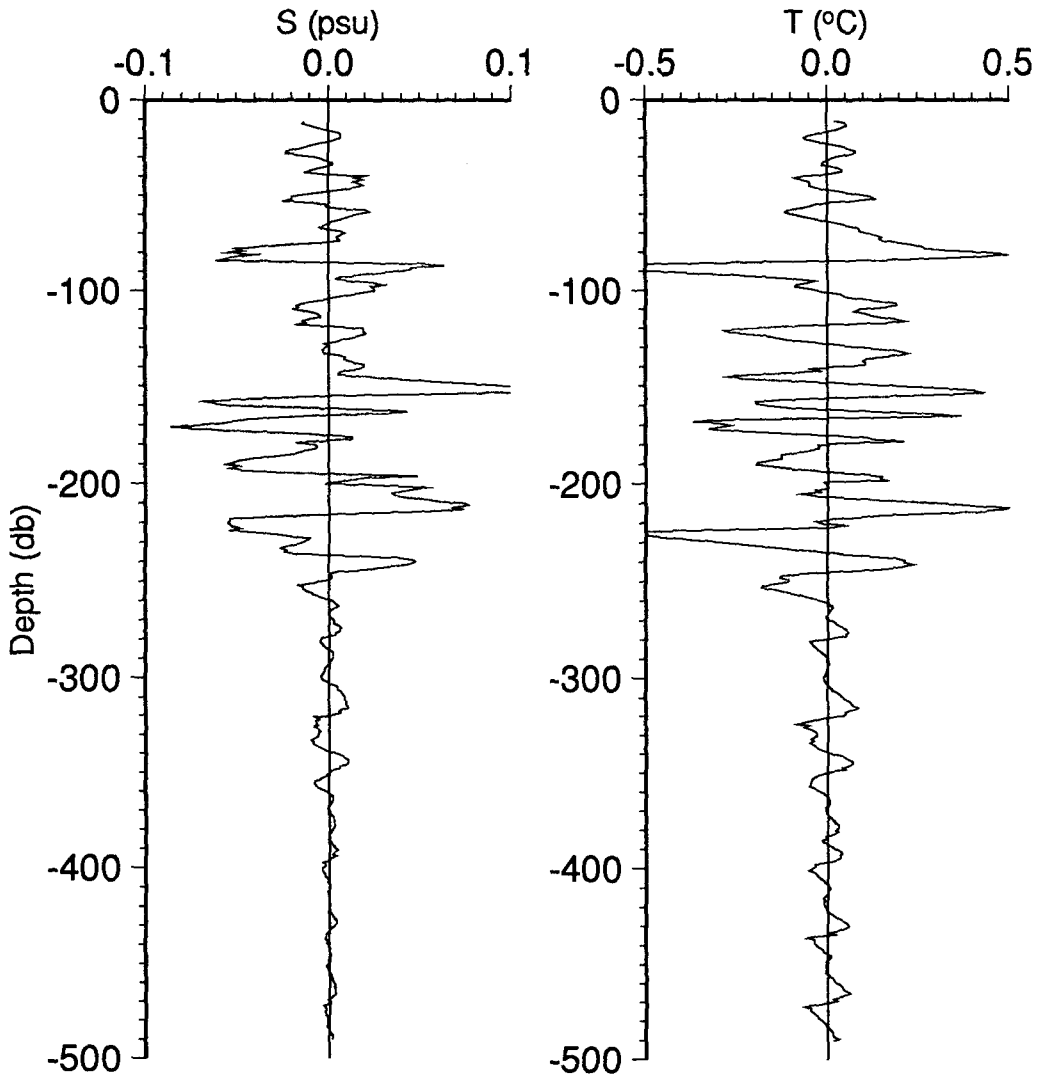


Figure 22. Typical thermohaline fine structure obtained by filtering the mean values over 21 m depth range.



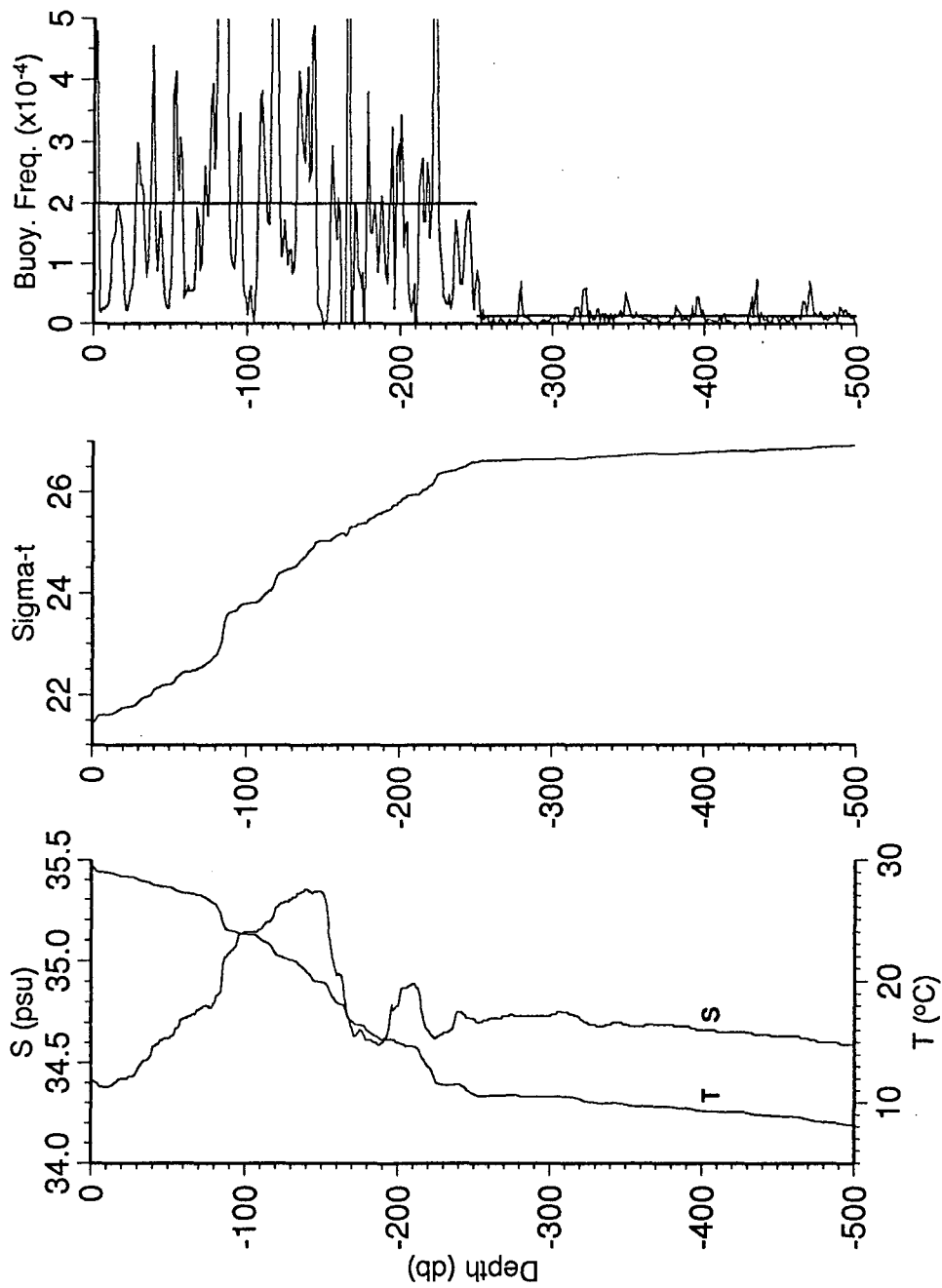


Figure 23. a) Vertical profiles of temperature and salinity, b) vertical profile of density, c) the buoyancy frequency squared,  $N^2$ . The mean values are  $2.0 \times 10^{-4}$  and  $1.4 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-2}$  in 0-250 and 250-500m respectively.

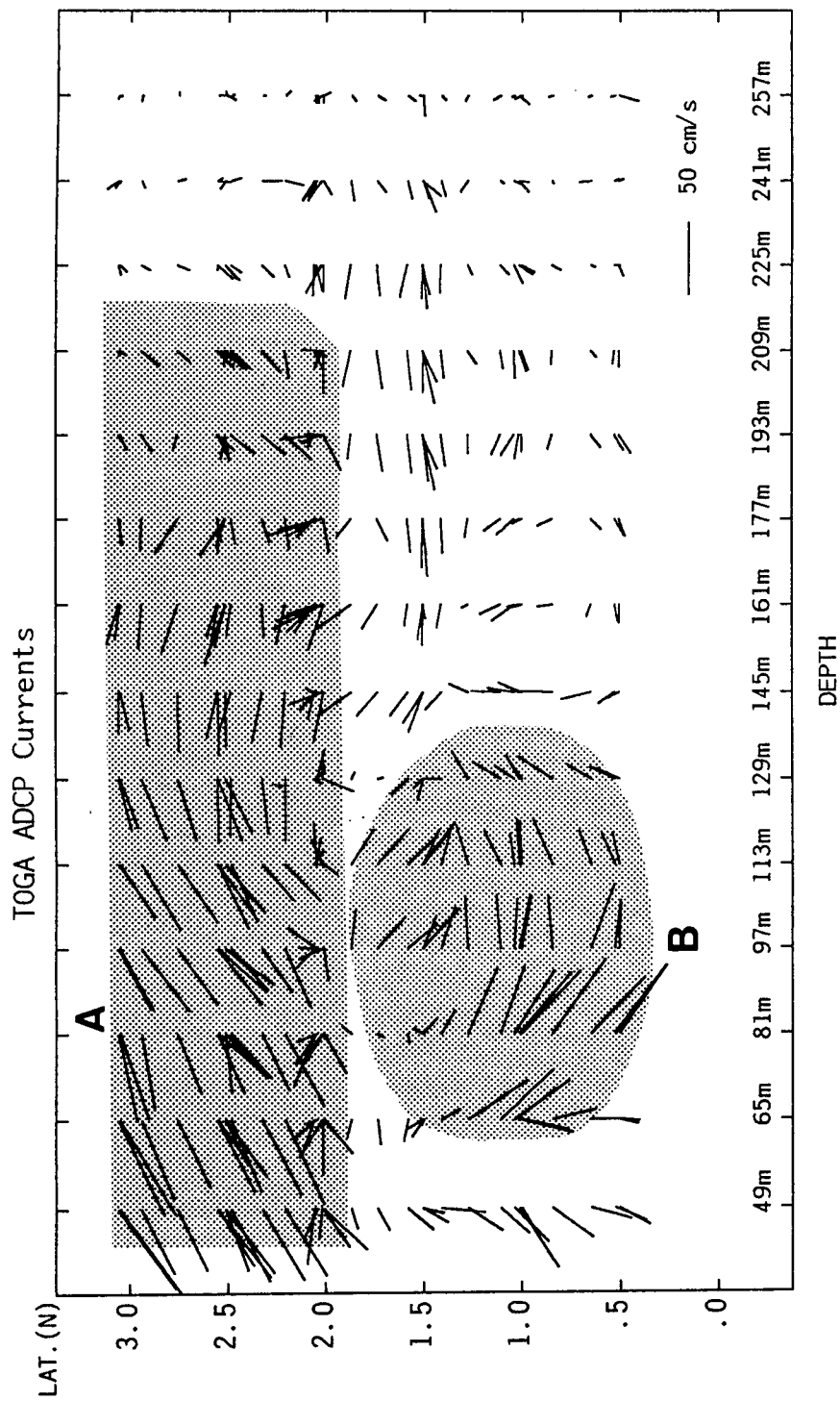


Figure 24. Vertical distribution of velocity vector observed by ADCP. A and B are respectively the North Equatorial Current (westward) and the Equatorial Undercurrent (eastward).

류의 접촉으로 인한 수괴간의 해수 교환이 활발할 것으로 보이며 앞에서 관측한 미세구조들은 이의 영향일 것으로 생각된다. 그림 25는 염분의 수직 구조와 유속의 수직변형을 표시한 것으로 160m 부근의 고염분층 아래 경계부분과 강한 유속변형층이 일치하고 있음을 보여준다. 이러한 배치는 강한 유속변형에 의한 불안정으로 발달하는 난류현상 때문에 국지적인 수직 혼합이 활발할 가능성을 암시해주는 것이다. 그러나 계산된 Richardson 수는 이론에 의한 난류(turbulence)가 활발할 가능수치인 0.25 보다 작은 경우가 극히 제한된 범위에서만 나타나기 때문에 (그림 26) 관찰되는 수직 미세 구조의 원인이 전적으로 난류에 의한다고 보기는 어렵다. 한편, 160 - 180 m에서의 염분구조가 수온과 마찬가지로 깊이에 따라 감소하기 때문에 salt finger 형태의 이중확산에 의한 수직 혼합도 가상해 볼 수 있다. 그림 27에 계산된 수직 density ratio를 도시하였는데 salt fingering이 매우 가능한 1.0-2.0 범위의 값들을 나타내고 있다. 이는 적도해역에서 염분이 깊이에 따라 감소하는 적도잠류의 하부에서는 이중확산이 에너지의 수직이동에 큰 역할을 할 것임을 보여주는 것이다.

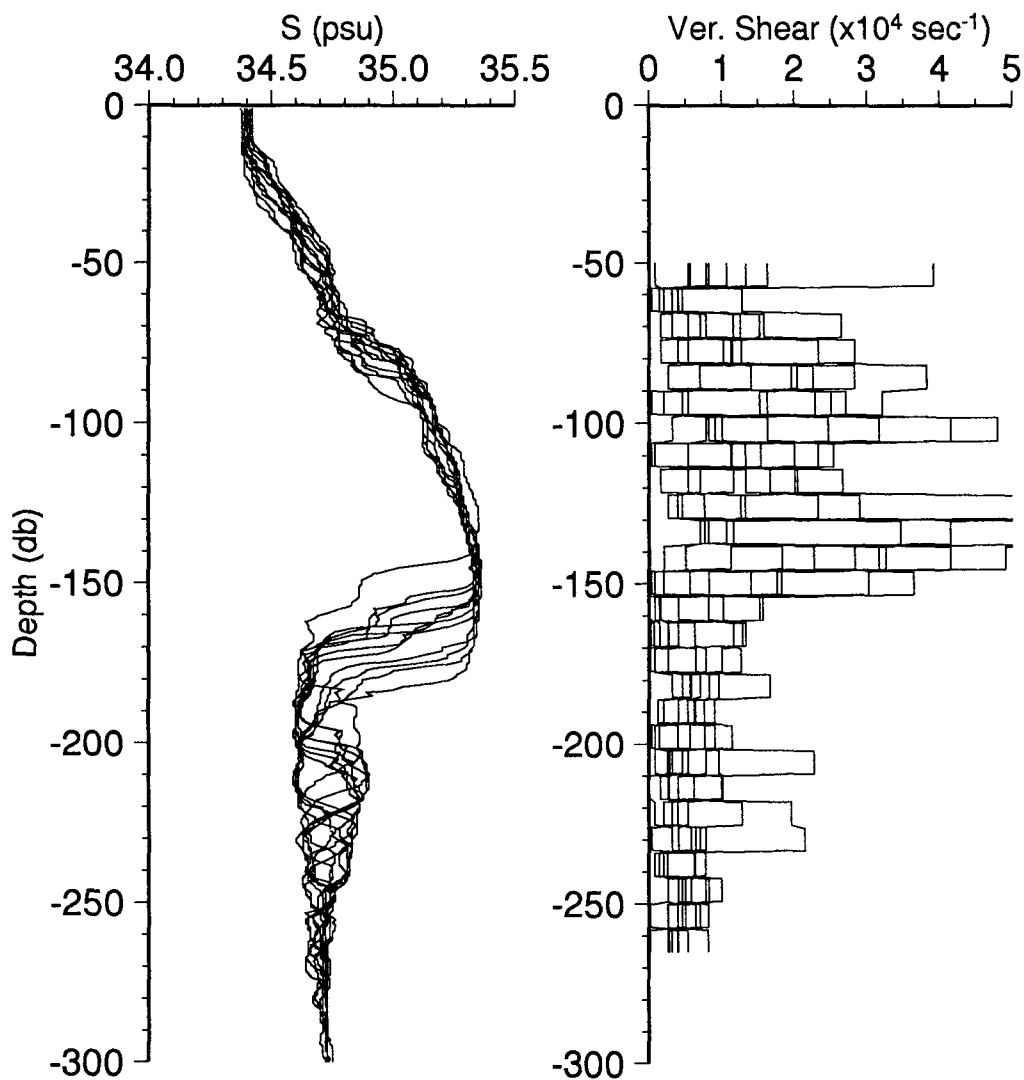


Figure 25. Vertical profiles of salinity and vertical sheare of velocity. Strong shear appears at 130 - 150 m depth, i.e. near the low boundary of high salinity tongue.

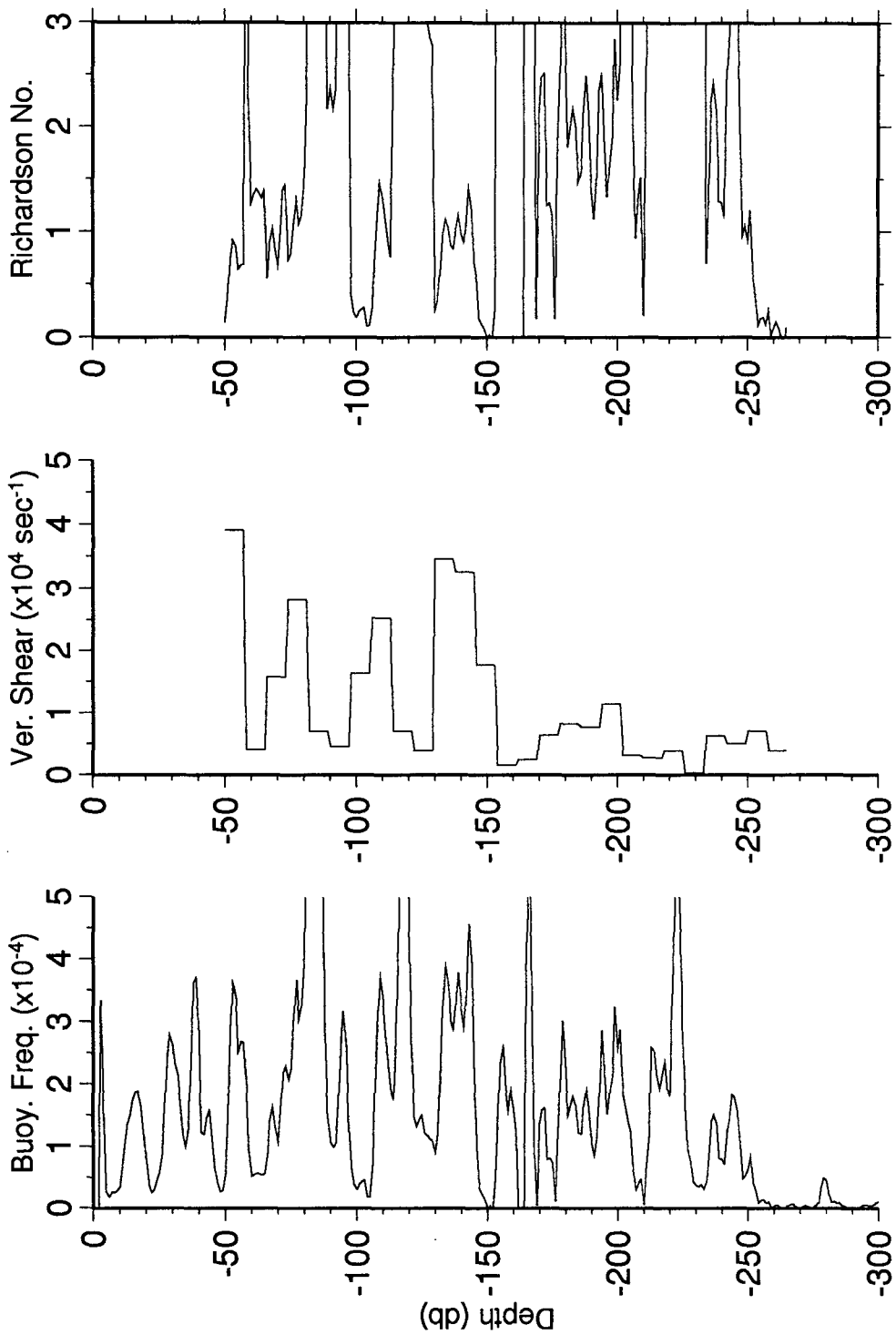


Figure 26. The buoyancy frequency squared, vertical shear of velocity and the gradient Richardson number.

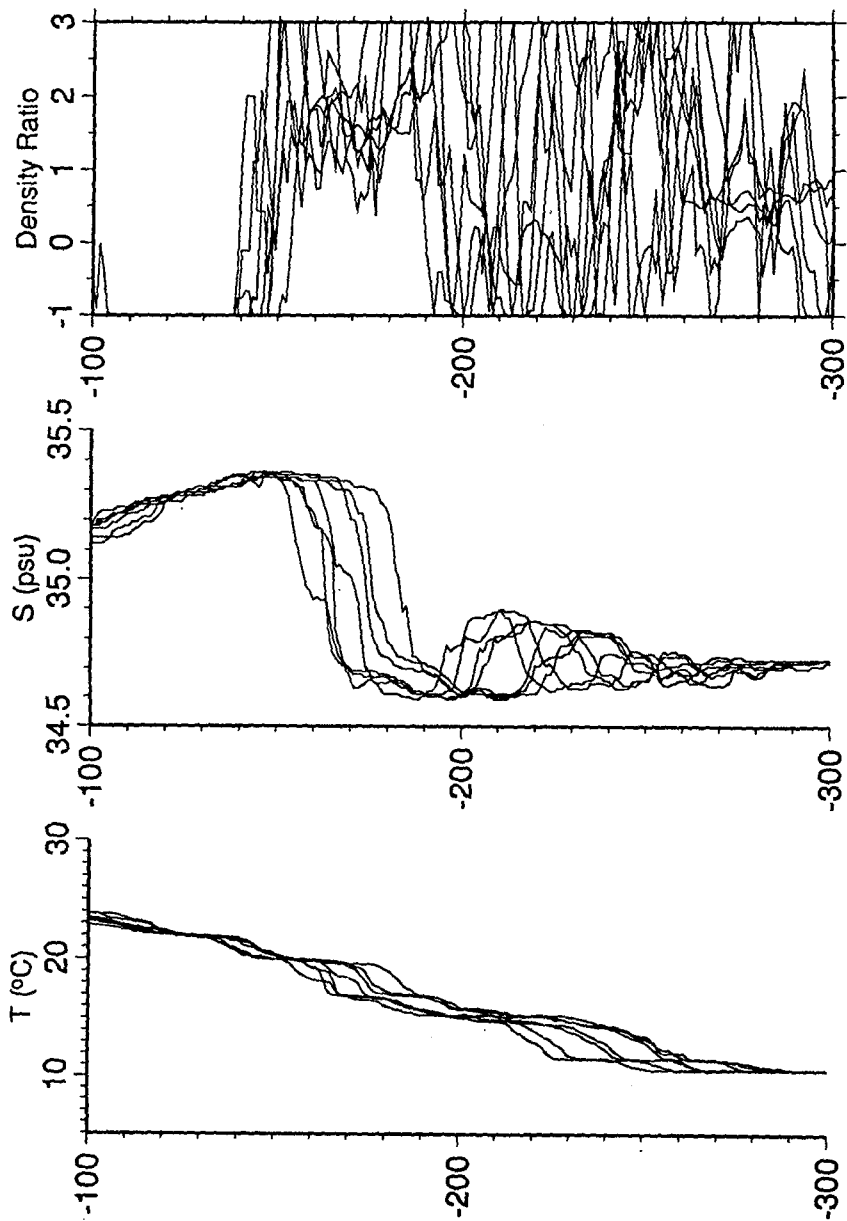


Figure 27. a) Temperature, b) salinity and c) estimated density ratio,  $R_p = \alpha \frac{\partial T}{\partial z} / \beta \frac{\partial S}{\partial z}$ , from nine selected data. It is show that values of  $R_p$  are between 1.0 and 2.0 in the depth range of 160 - 190 m where salinity decreases with depth.

# 제 3 장 화학해양학적 특성 관측결과

## 제 1 절 재료 및 방법

### 1. 용존산소량 (Dissolved oxygen)

용존산소량은 평량병에 시료를 담아 곧바로 Winkler 법에 의해 용존 산소를 고정시킨 다음 선상에서 적정한 후 계산하였다.

### 2. 식물플랑크톤 무기영양소

용존성 질산이온, 인산이온 및 규산은 Grasshoff 등 (1983)에 의거 Technicon AA2 자동분석기를 사용하여 현장에서 측정하였으며 분석방법은 다음과 같다.

(1) 질산이온 ( $\text{NO}_3^-$ ) : 시료를 Cd-column에 통과시켜서 아질산염으로 환원시킨 후 sulfanilamide 용액과 N-(1-naphthyl) - ethylenediamine dihydrochloride를 가하여 발색시켰다.

(2) 인산이온 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) : 시료에 ammonium molybdate, potassium antimonyl-tartrate와 황산의 혼합시약을 가하고 ascorbic acid로 환원시켜 발색하였다.

(3) 규산 ( $\text{Si(OH)}_4$ ) : 시료에 ammonium molybdate를 가하여 silicomolybdate complex를 만든 후 oxalic acid와 ascorbic acid를 가하여 발색시켰다.

## 제 2 절 일반 해황

본 조사해역은 수심 30-50m 부근부터 수온 및 염분약층이 형성되어 있고 표층은 고온 저염의 적도 표층수로 대표된다. 북위 6-10도 해역은 30-200m에 뚜렷한 수온약층이 존재하여 100m 수심변화에 대해 수온 약 9℃ 정도의 변화로 급격한 수직구배현상이 보이며 10℃ 이하의 냉수가 수심 200m 부근에서 출현한다. 그러나 북위 5도 이남에서는 적도로 갈수록 수온의 변화가 점차 완만해지면서 (6℃/100m; 100m 수심변화에 대해 수온 6℃의 변화), 수심 100-400m 사이에 고염을 띠는 수괴가 나타나고 400m 이하 수심에서 10℃ 이하의 냉수가 존재하고 있다. 북위 10도에서 적도 사이의 500m 보다 깊은 수심역에서는 수온 및 염분은 수평적으로 비교적 균일하다(그림 28, 29). 수온의 수직분포는 수심증가에 따라 감소하는 반면에, 염분은 적도부근 해역에서는 수심증가에 따라 증가하다가 200m 이하 수심에서는 감소하고 2000m 수심에서 다시 증가하는 복잡한 양상을 보이고 있다.

적도에서 북위 10도로 가면서 나타나는 34.6 psu 이하의 저염혀 (low salinity tongue)는 남극중층수(Antarctic Intermediate Water)의 영향일 것이다. 표층혼합층에서는 북위 10도 - 5도 부근해역에서 200 $\mu$ M 이상의 용존산소가 보이며 적도쪽으로 갈수록 감소한다. 수온약층 하부에서는 500m까지의 수심에서는 이와는 반대로 북위 6도를 중심으로 북쪽은 용존산소 극소층 (<90 $\mu$ M)이 존재하고 적도로 갈수록 이들 용존산소 극소층의 크기는 점차 감소한다. 500m 이하의 수심에서는 수온 및 염분의 분포 양상과 비슷



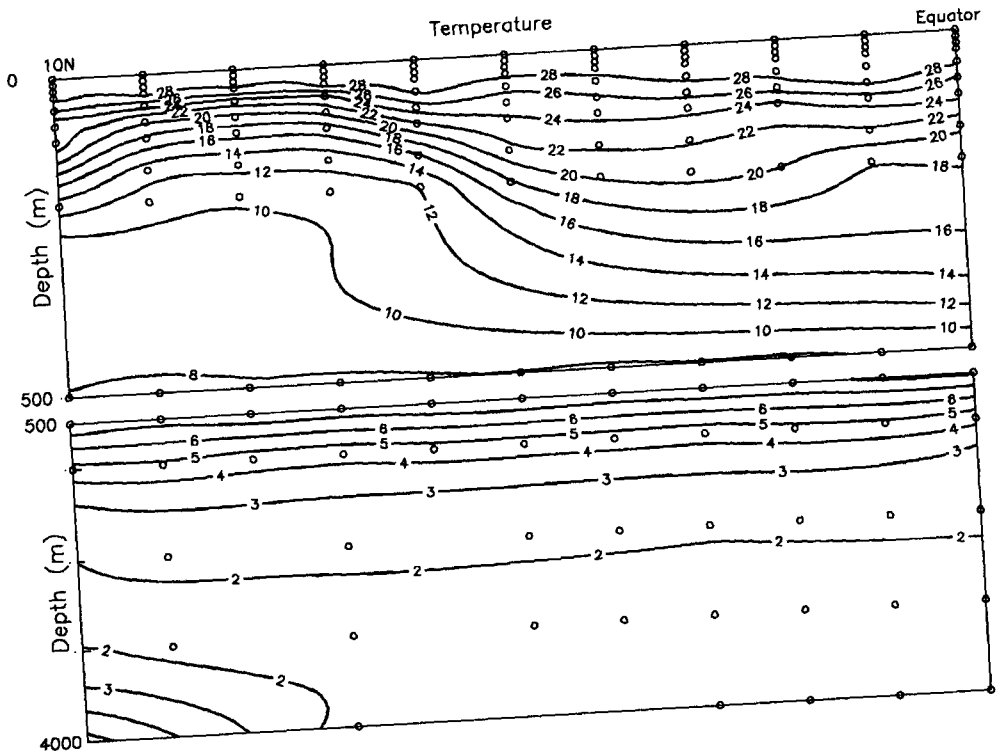


Figure 28 Vertical distribution of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) along  $137^{\circ}\text{E}$  between  $10^{\circ}\text{N}$  and Equator in April, 1994.

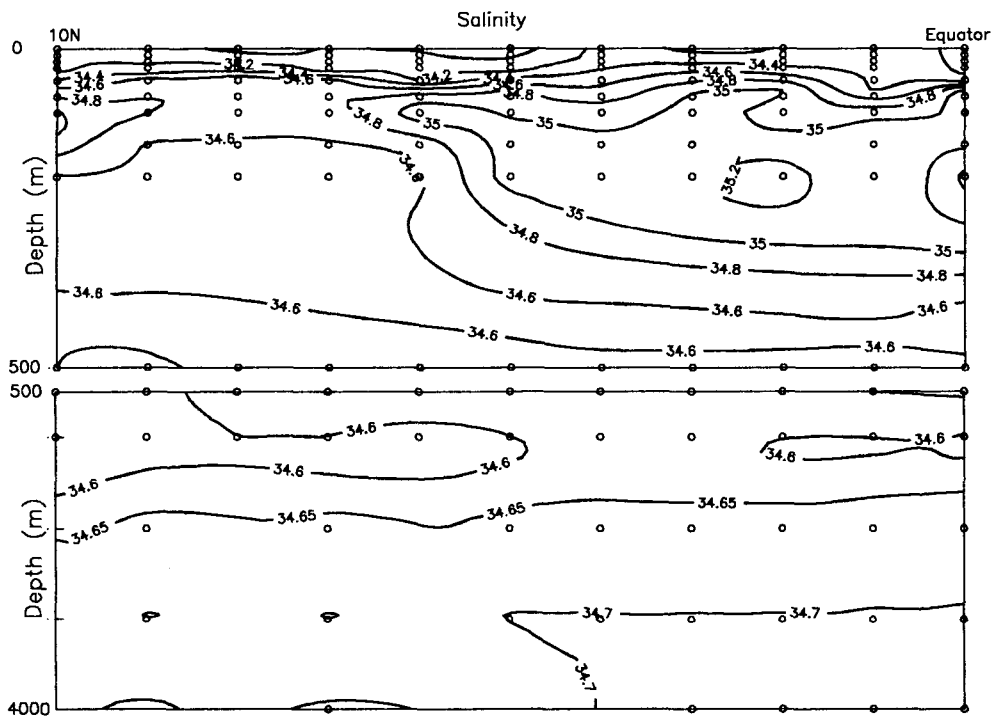


Figure 29. Vertical distribution of salinity (psu) along 137° E between 10° N and Equator in April, 1994.

하여 비교적 균일한 분포양상을 보인다 (그림 30). 걸보기 용존산소량 (AOU) 역시 북위 6도를 중심으로 수온약층 하부에서 북쪽은 높고 (>170  $\mu\text{M}$ ) 적도로 갈수록 감소한다 (그림 31).

수온-염분 상관표는 고온저염의 적도표층수, 북위 6-10도의 100-500m 사이의 수심에서 보이는 저온저염의 해수, 북위 5도 - 적도의 수심 100-300m에서의 고온고염의 해수, 그리고 1000m 보다 깊은 수심의 저온고염의 태평양 심층수 (Pacific Deep Water 1.5°C, 34.7%)등 크게 4개의 그룹으로 나눌수 있다 (그림 32).

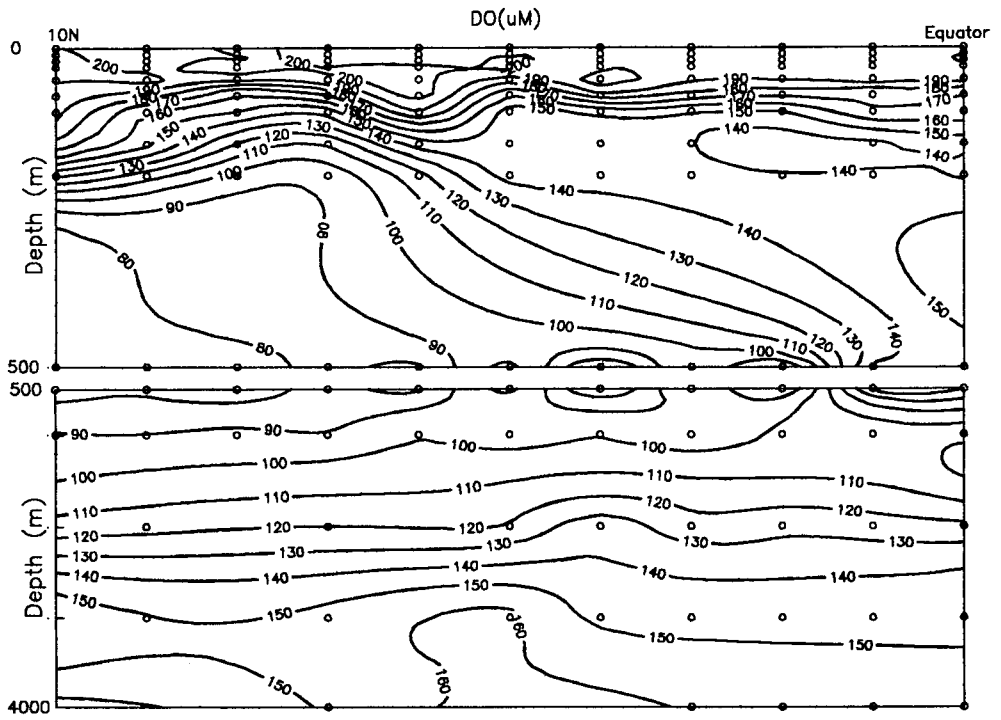


Figure 30. Vertical distribution of dissolved oxygen ( $\mu\text{M}$ ) along  $137^\circ\text{ E}$  between  $10^\circ\text{ N}$  and Equator in April, 1994.

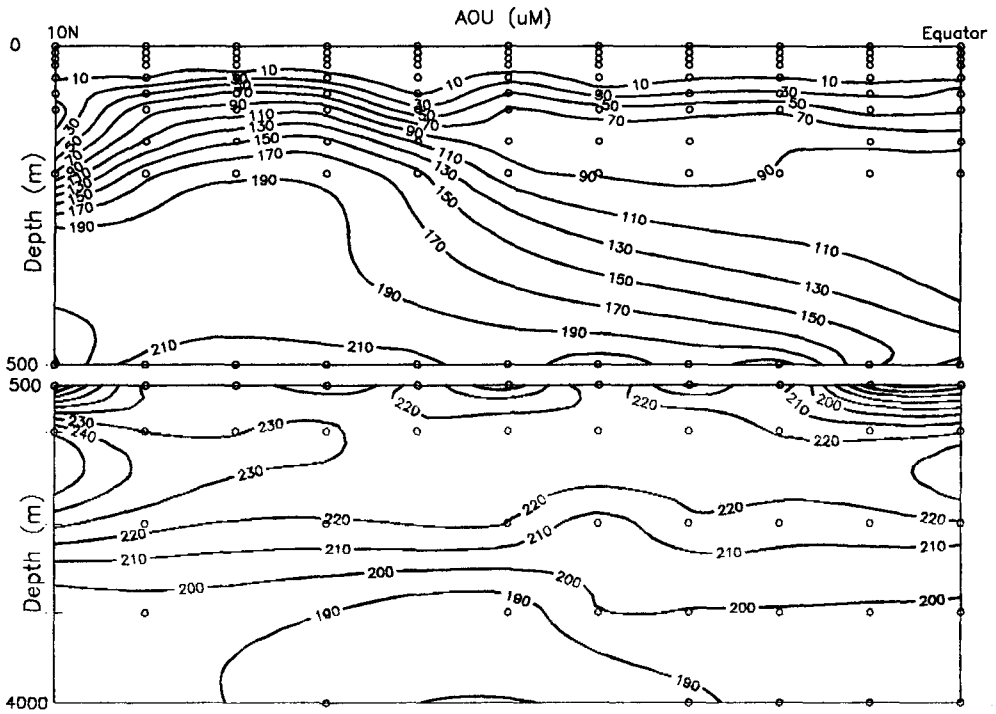


Figure 31 Vertical distribution of apparent oxygen utilization (AOU,  $\mu\text{M}$ ) along 137° E between 10° N and Equator in April, 1994.

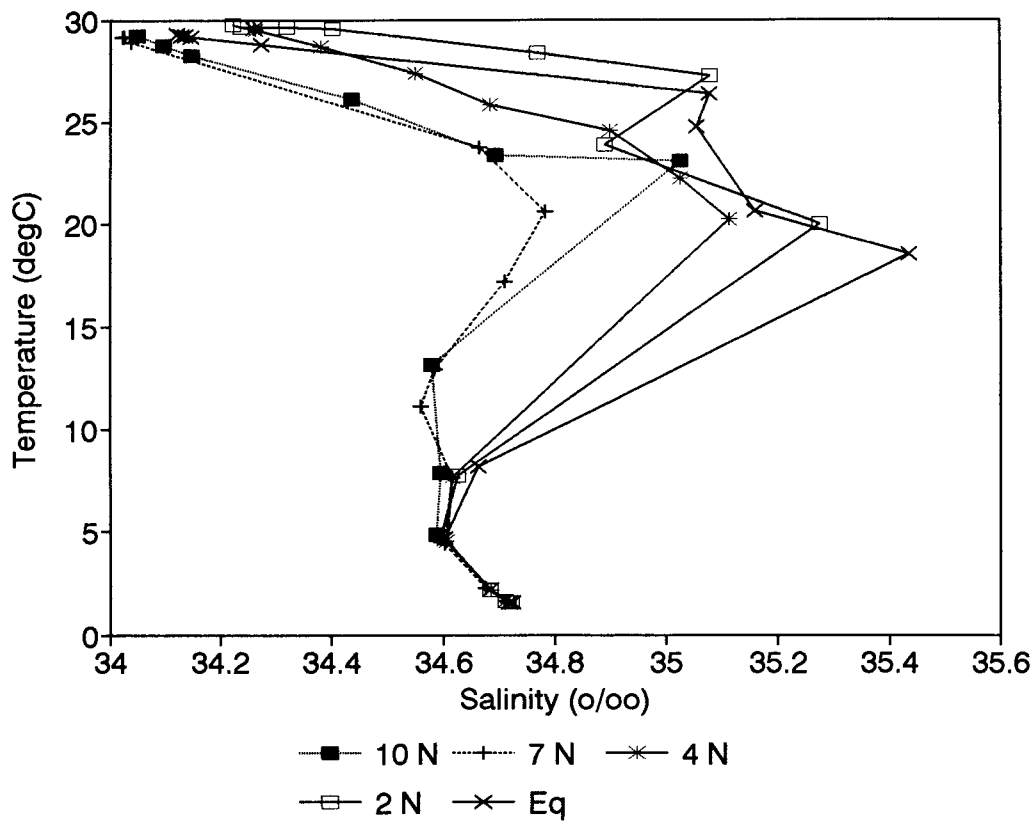


Figure 32. T-S diagram of 5 stations observed along 137° E in April, 1994.

### 제 3 절 무기영양소

고온저염의 표층혼합층에서는  $0.5 \mu\text{M}$  이하를 보이고 있으나 수온약층 하부에서 높다. 북위 6도를 중심으로 500m 이상의 상층수는 북쪽에서 적도쪽으로 갈수록 질산이온 농도가 점차 낮아져 북쪽은 수온약층에서 약  $20 \mu\text{M}/100\text{m}$  의 급격한 수직 농도구배를 보이지만, 적도 부근은 고온고염의 해수관입으로 인하여 약  $5\mu\text{M}/100\text{m}$ 의 비교적 작은 수직 농도경사구배를 보인다 (그림 33). 질산이온 함량은 용존산소 최소층인 500-1000m 에서 최대이며 그 이하 수심에서는 비교적 균일하다. 인산이온 및 규산 함량 분포는 질산이온과 유사하다 (그림 34, 35).

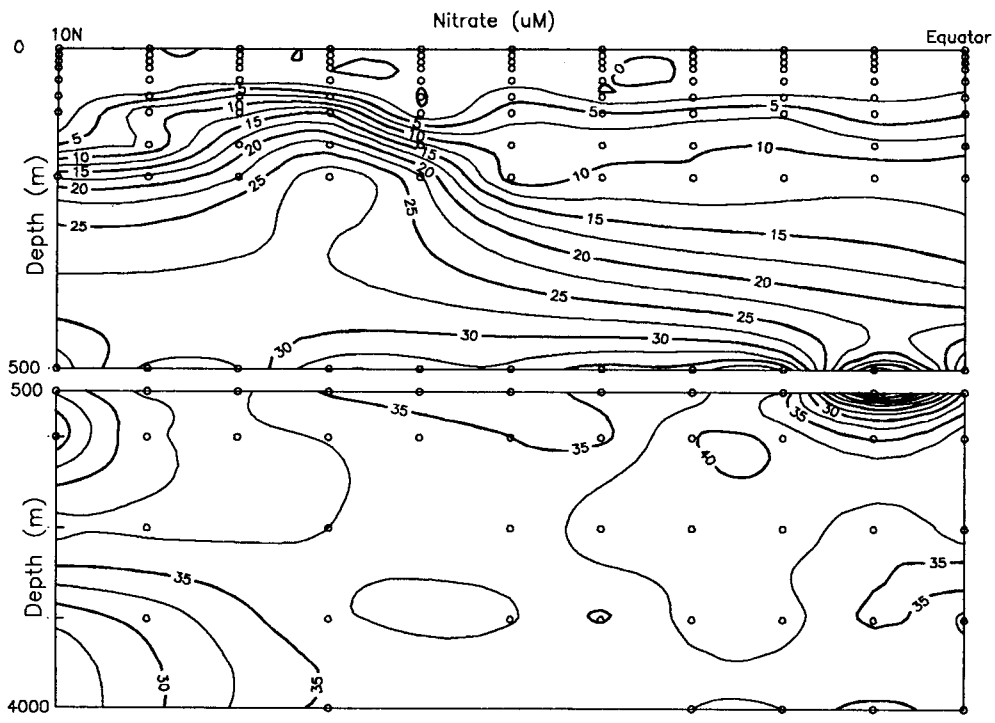


Figure 33. Vertical distribution of nitrate concentration ( $\mu\text{M}$ ) along  $137^\circ \text{E}$  between  $10^\circ \text{N}$  and Equator in April, 1994.



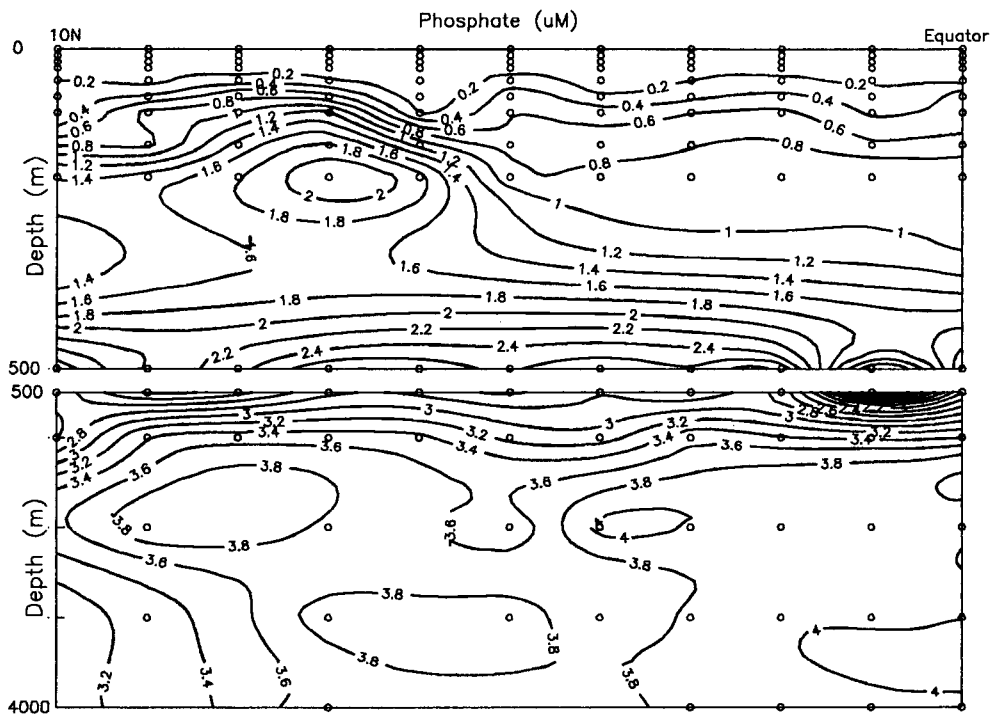


Figure 34. Vertical distribution of phosphate concentration ( $\mu\text{M}$ ) along  $137^\circ\text{ E}$  between  $10^\circ\text{ N}$  and Equator in April, 1994.

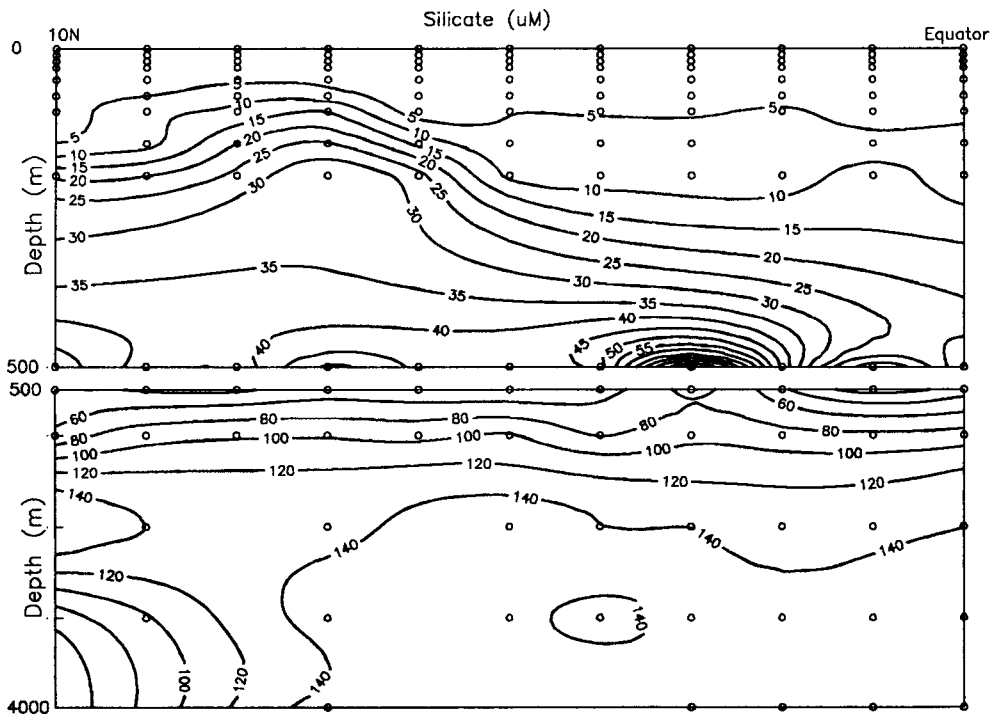


Figure 35. Vertical distribution of Silicate concentration ( $\mu\text{M}$ ) along 137° E between 10° N and Equator in April, 1994.

## 제 4 절 1992년 12월과 1994년 4월 자료 비교

본 조사해역의 해황은 매우 큰 경년변동을 보이므로 (Wyrski, 1989) TEQ 9212 과 TEQ 9404 조사항해 간의 해황의 시간별 변이를 조사하였다. 1992년 12월과 1994년 4월의 용존산소에 대한 평균값은 거의 차이가 없다. 용존산소 함량의 수직분포 형태는 표층에서 가장 높고 수심 증가에 따라 급격히 감소하여 수심 500 - 1000m 에서 극소값을 보이고 수심증가에 따라 다시 증가하는 양상을 보인다 (그림 36). 그러나 무기영양소의 평균값들은 비교적 큰 차이를 보이고 있다 (그림 37-39). 1994년 4월 질산이온 자료는 본 조사해역 부근에서 측정된 GEOSECS 자료 (0 - 10 °N, 170° W) 와 비슷한 수준의 농도를 보인다. 그러나 1992년 12월의 평균농도 자료는 1994년 6월의 평균농도보다 수심 1000m 이하에서 약 10  $\mu$ M 정도 낮은 농도를 보이고 있다. 인산이온 및 규산의 평균농도 또한 약 1.3  $\mu$ M, 30  $\mu$ M 정도의 농도 차이로 1992년 12월의 자료가 낮은 농도를 보인다. 이러한 농도변이가 분석 오차인지 실제 변이인지 추후 면밀하게 검토될 것이다.

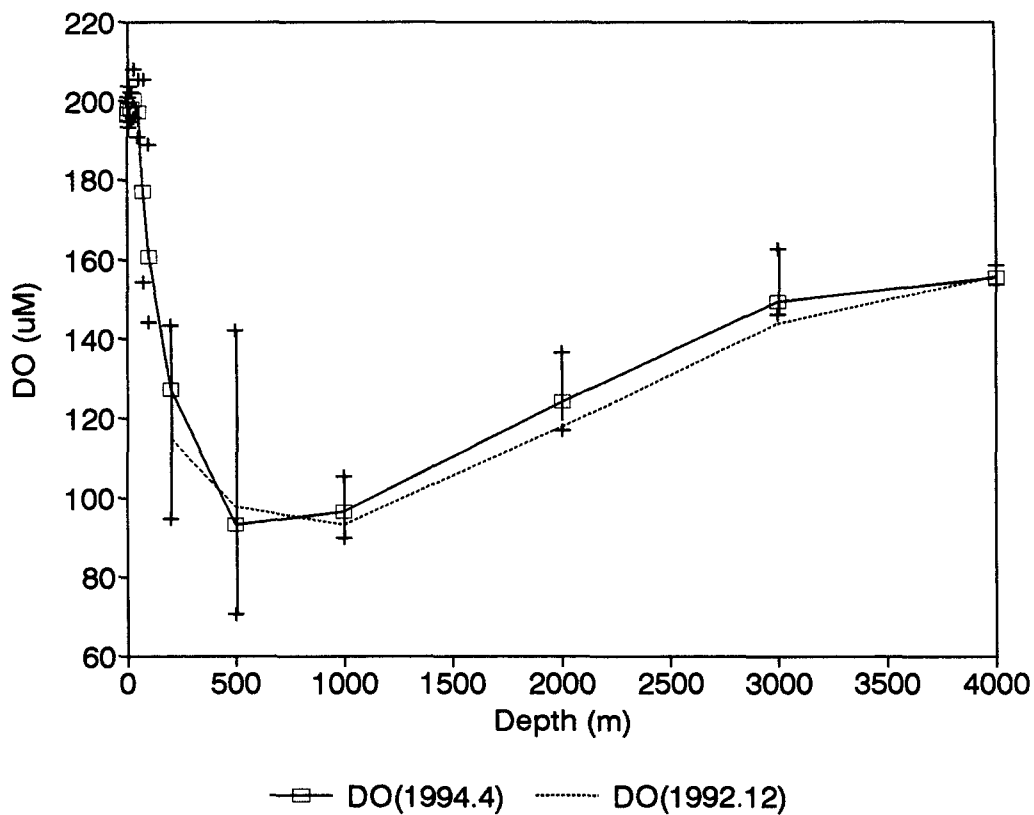


Figure 36. Vertical profile of mean dissolved oxygen content ( $\mu M$ ). Plus represents maximum and minimum value in April, 1994. Square represents mean value in April, 1994. dashed line represents mean value in December, 1992.

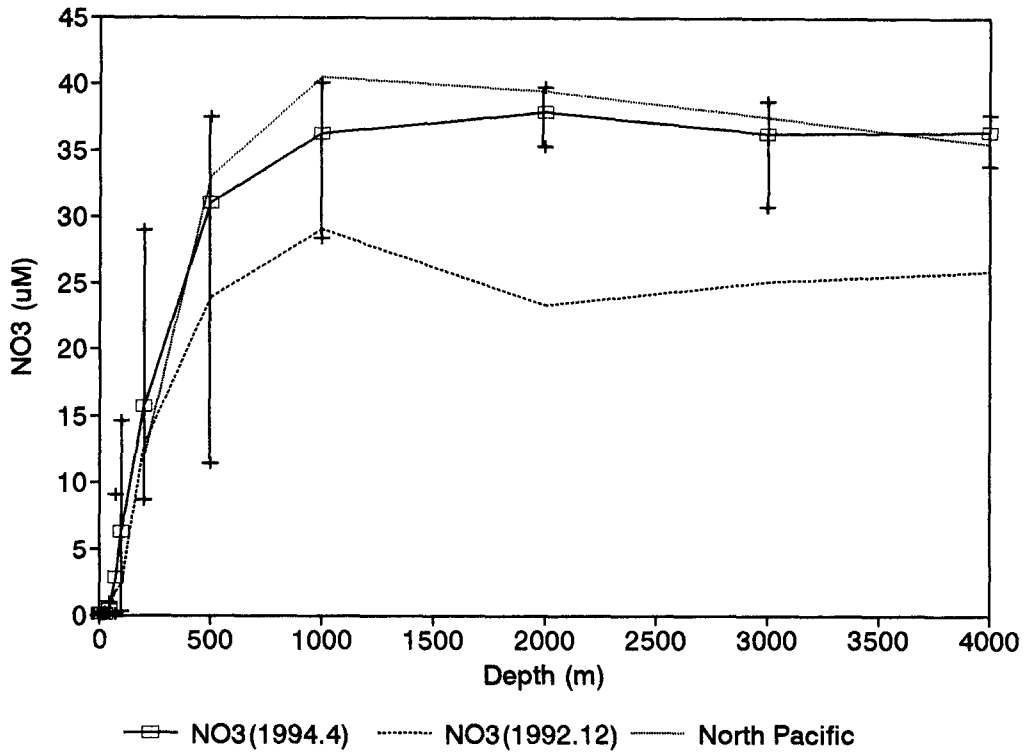


Figure 37. Vertical profile of mean nitrate concentration ( $\mu\text{M}$ ). The data of North Pacific are mean value of nitrate concentration between  $10^\circ\text{N}$  and Equator along  $170^\circ\text{W}$  (from Sharp, 1983). Plus represents maximum and minimum value in April, 1994. Square represents mean value in April, 1994. dashed line represents mean value in December, 1992.

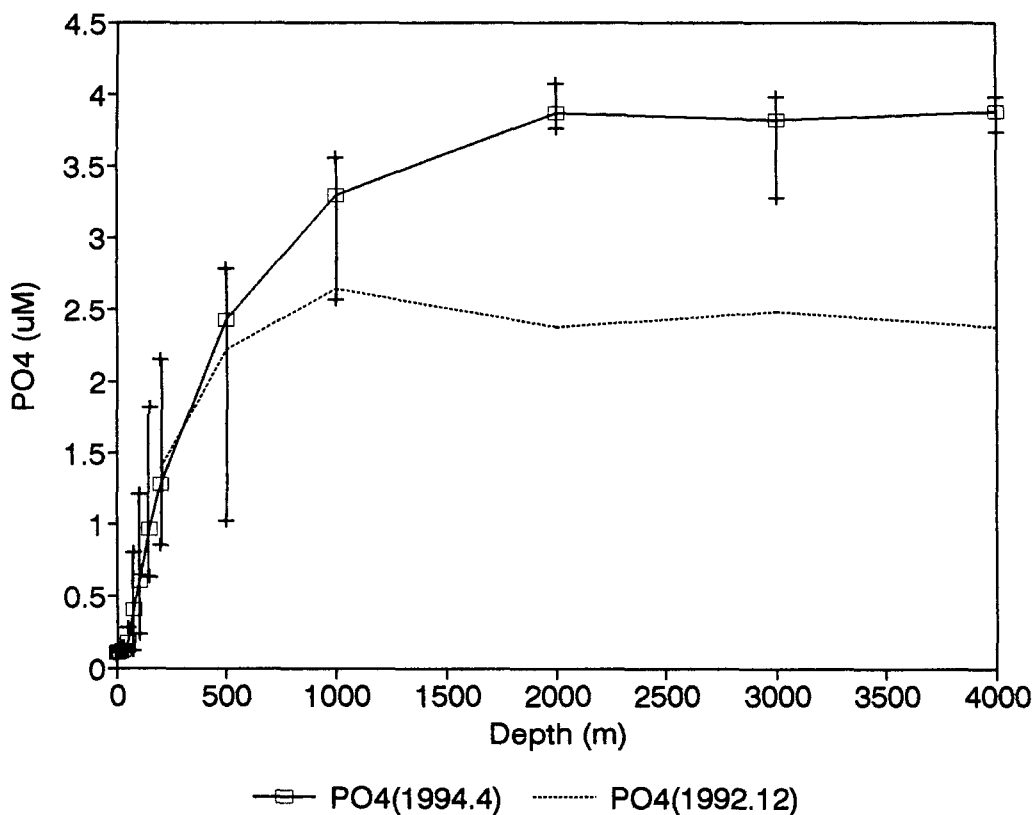


Figure 38. Vertical profile of mean phosphate concentration ( $\mu\text{M}$ ). Plus represents maximum and minimum value in April, 1994. Square represents mean value in April, 1994. dashed line represents mean value in December, 1992.

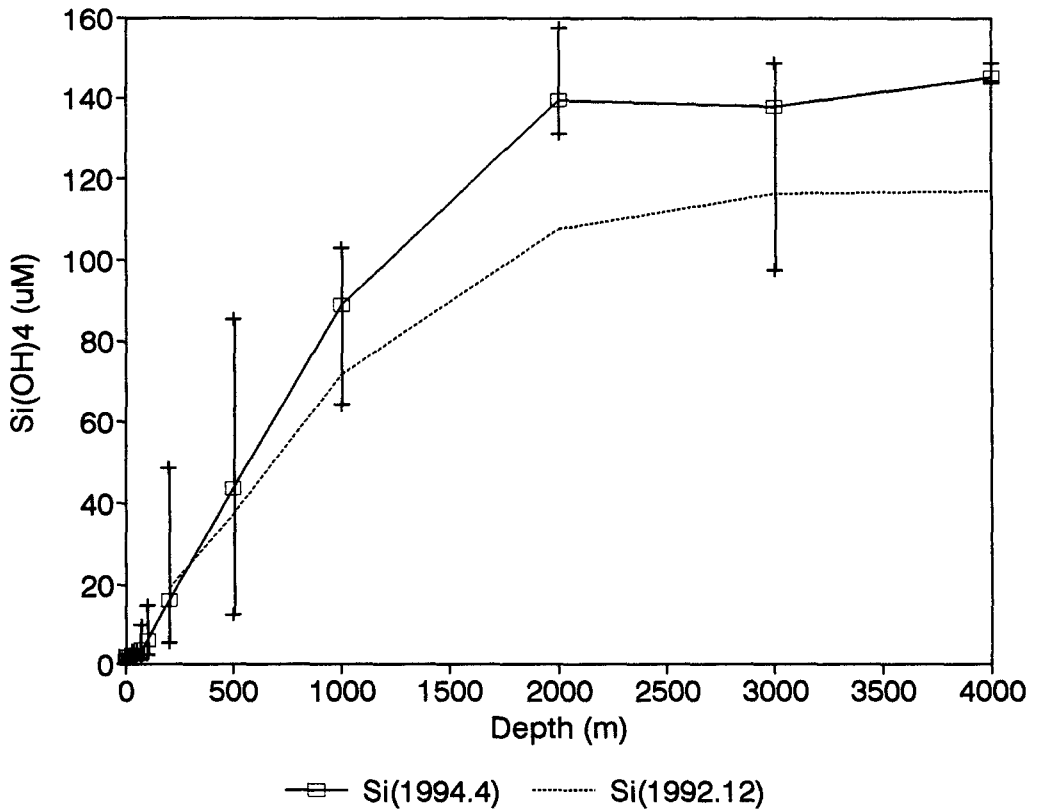


Figure 39. Vertical profile of mean silicate concentration ( $\mu\text{M}$ ). Plus represents maximum and minimum value in April, 1994. Square represents mean value in April, 1994. dashed line represents mean value in December, 1992.

## 제 5 절 무기영양소 상호간의 관계

적도에서 북위 10도까지의 조사해역 전체 전수심역에서 질산이온 대 인산이온 함량 비율은 약 10.6 이고, 500m 상층부에서는 13.6 으로 비교적 Redfield 비율에 근접한 값을 보이거나, 500m 보다 깊은 수심에서는 5.8로서 Redfield 비율보다는 상당히 낮다 (그림 40).

$$\text{Total ; NO}_3^- = 10.6 \text{ PO}_4^{3-} - 0.33 \quad (r=0.98)$$

$$\text{depth } <500\text{m ; NO}_3^- = 13.6 \text{ PO}_4^{3-} - 1.72$$

$$\text{depth } >500\text{m ; NO}_3^- = 5.8 \text{ PO}_4^{3-} + 15.88 \quad (r=0.79)$$

질산이온 - 인산이온 도표에서 수심 500m 를 경계로하여 두개의 직선을 보임으로써 수심 500m를 경계로 하여 질산이온과 인산이온의 소모와 공급과정이 서로 다른 것으로 사료된다. 본 조사에서는 암모니아 이온의 함량이 측정되지 못하여 총 N에서의 암모니아 기여가 제외된 값으로 질산이온이 탈질산화반응을 겪는 저용존산소 심층수 (>200m)에서는 N/P 값은 다소 증가할것으로 사료된다. 규산 대 질산이온 ( $\text{Si(OH)}_4/\text{NO}_3^-$ ) 관계 또한 N/P 양상과 유사하다 (그림 41). 500m 상층부에서의 비율이 약 0.95 인 반면에 500m 이하의 수심에서는 5.23으로 상층부에 비하여 상당히 큰 값을 보인다. 이는 500m 이하의 심층수가 상층부에 비해 규산에 대한 농도변화가 훨씬 크다는 것을 의미하는데 이것은 규산이 생물체의 경질골격을 이루고 있어 해수에 용해되는데 연질조직을 구성하는 N이 분해재생되는 것보다 오랜 시간이 걸려 심층수에서  $\text{Si(OH)}_4/\text{NO}_3^-$  비율이 표층수보다 높다.

$$\text{depth } <500\text{m ; Si(OH)}_4 = 0.95 \text{ NO}_3^- + 1.28 \quad (r=0.96)$$

$$\text{depth } >500\text{m ; Si(OH)}_4 = 5.23 \text{ NO}_3^- - 81.94 \quad (r=0.60)$$



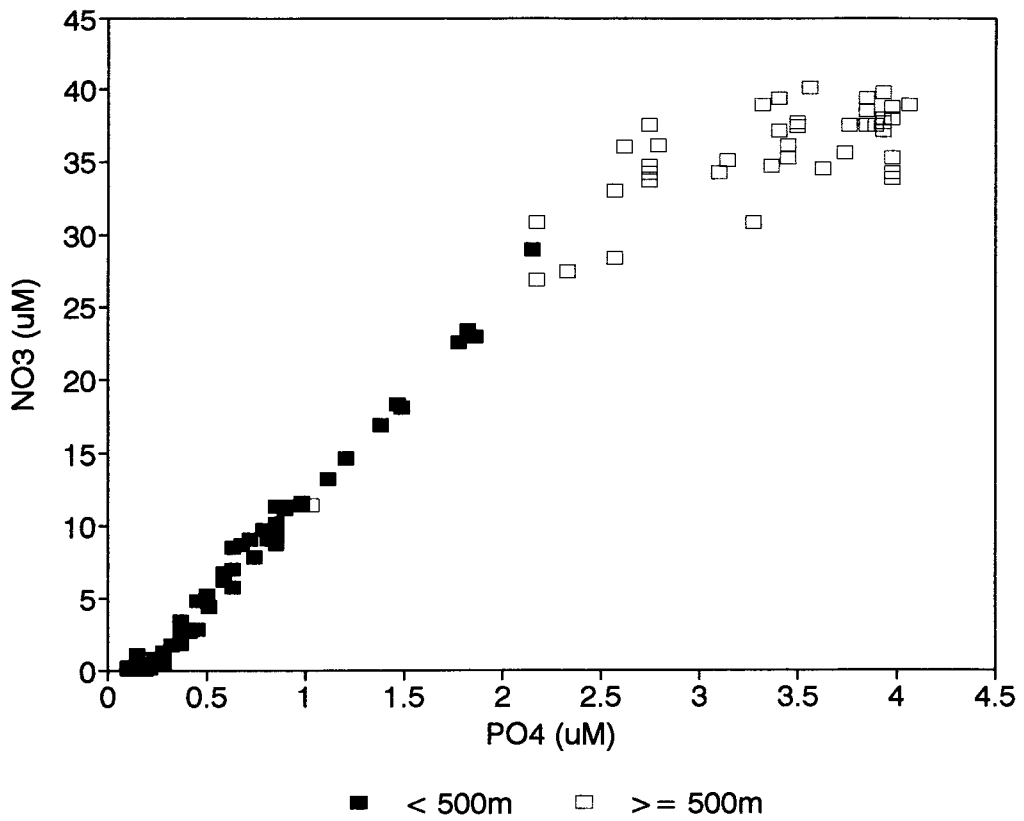


Figure 40. Scatter diagram of nitrate versus phosphate. Closed symbols represent the data shallower than 500m. Open symbols represents the data deeper than 500m.

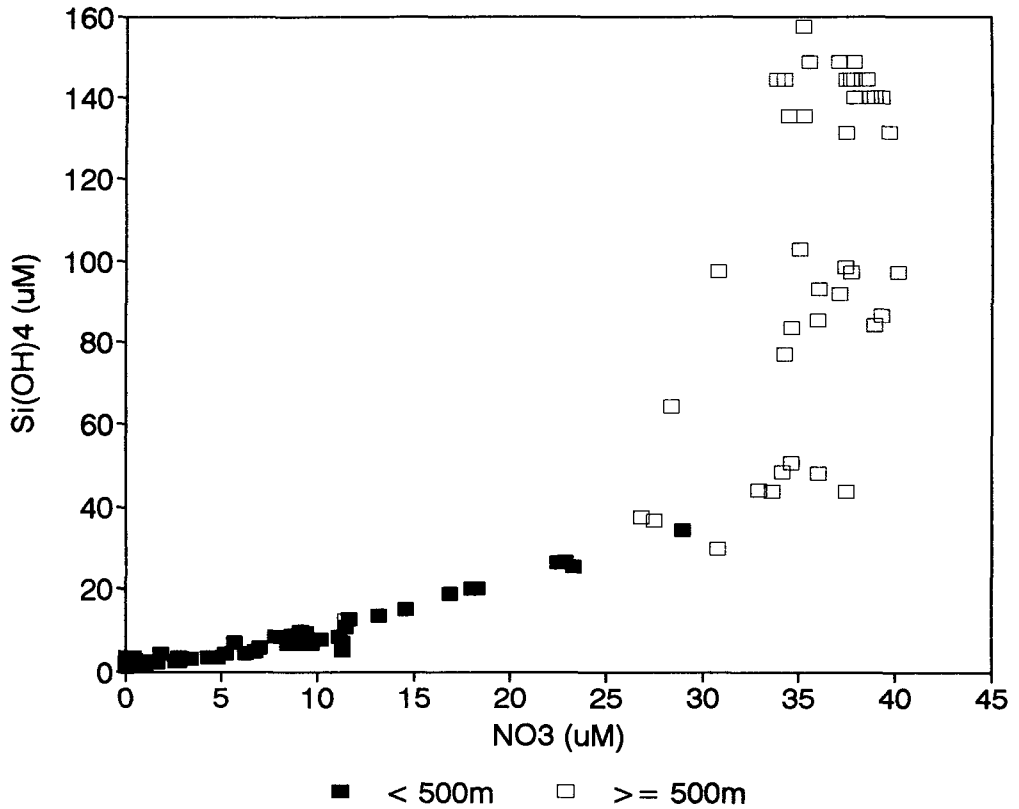


Figure 41. Scatter diagram of silicate versus nitrate. Closed symbols represent the data shallower than 500m. Open symbols represents the data deeper than 500m.

수온, 염분의 분포를 근거로 하여 북위 6도를 기준으로 하여 저온저염을 보이는 북쪽 해역 (북위 7 - 10도)의 100 - 400m 해수 (A), 고온고염의 적도부근 해역 (적도 - 북위 4도)의 100 - 400m 해수 (B) 및 위도 및 수심에 따른 수온.염분의 변화를 거의 보이지 않는 전 해역의 1000m 이하 수심의 해수 (C)로 3개의 그룹으로 나누어지며 각 그룹별 규산과 인산이온 함량간의 관계를 살펴보면 다음과 같다 (그림 42).

$$(A) \text{Si(OH)}_4 = 16.7 \text{PO}_4^{3-} - 4.18 \quad (r = 0.99)$$

$$(B) \text{Si(OH)}_4 = 10.7 \text{PO}_4^{3-} - 4.18 \quad (r = 0.82)$$

$$(C) \text{Si(OH)}_4 = 66.7 \text{PO}_4^{3-} - 121.9 \quad (r = 0.85)$$

$\Delta\text{Si}/\Delta\text{PO}_4$  비율은  $B < A < C$  의 순서로서 1000m 이하의 수심이 가장 오래된 해수임을 알 수 있고 적도 부근해역의 100 - 400m 의 해수가 가장 젊다는 것을 알 수 있다.

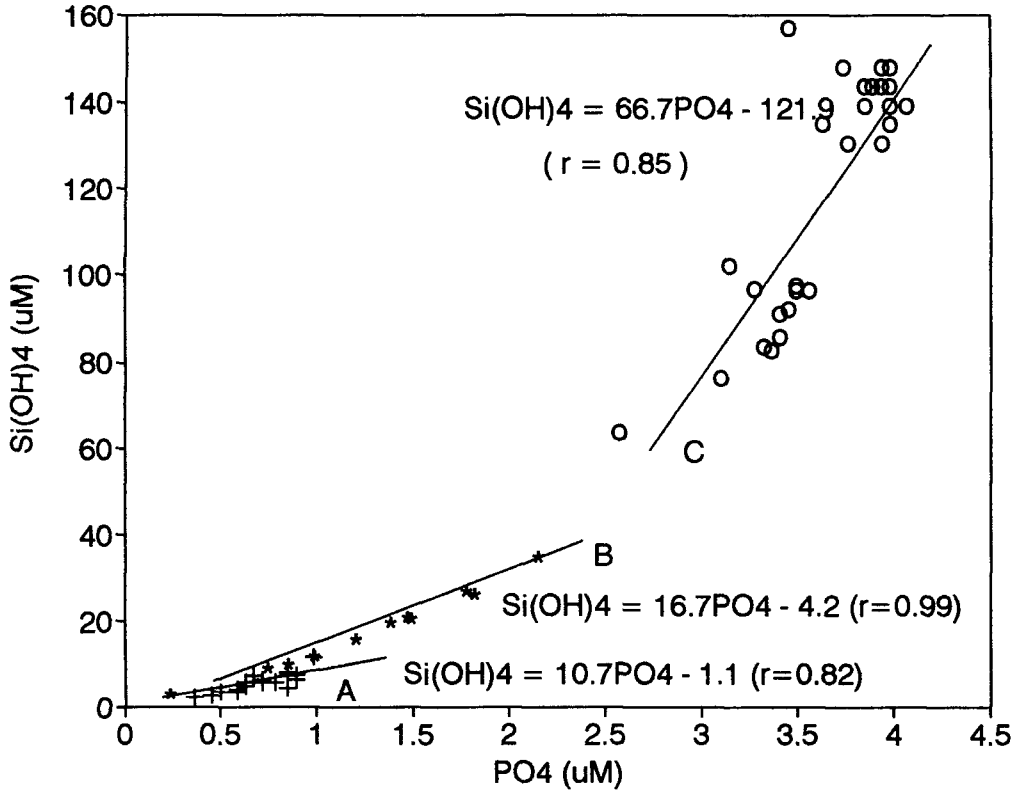


Figure 42. Scatter diagram of silicate versus phosphate. The symbols of +, \*, and o represent group A, B, and C, respectively.

## 제 6 절 밀도와 화학물질 성분의 상관관계

화학물질은 등밀도면을 따라 쉽게 확산되므로 밀도와 각 성분간의 상관관계가 조사되었다 (그림 43). 용존산소와의 관계에서 용존산소 극소대가  $\sigma_t$  27 부근에서 존재하고 밀도가 낮은 표층에서 용존산소 함량이 가장 높다. 심층수는 산소가 풍부한 남극중층수 (Antarctic Intermediate Water)의 영향을 받는 것으로 사료된다. 이는 1992년 12월의 관측결과와도 일치한다 (한국해양연구소, 1993). 질산이온, 인산이온 및 규산과의 관계 역시 밀도가 낮은 표층에서는 이들 영양소들의 농도가 상당히 낮고 밀도가 증가함에 따라 이들 무기영양소들도 함께 증가하여 용존산소 극소대가 존재하는  $\sigma_t$  27 부근에서 최대 농도값을 보인다. 규산의 농도는  $\sigma_t$  25.5 까지는 밀도증가에 따라 비교적 완만하게 증가하지만  $\sigma_t$  25.5 부터는 지수함수적으로 급격히 증가한다.

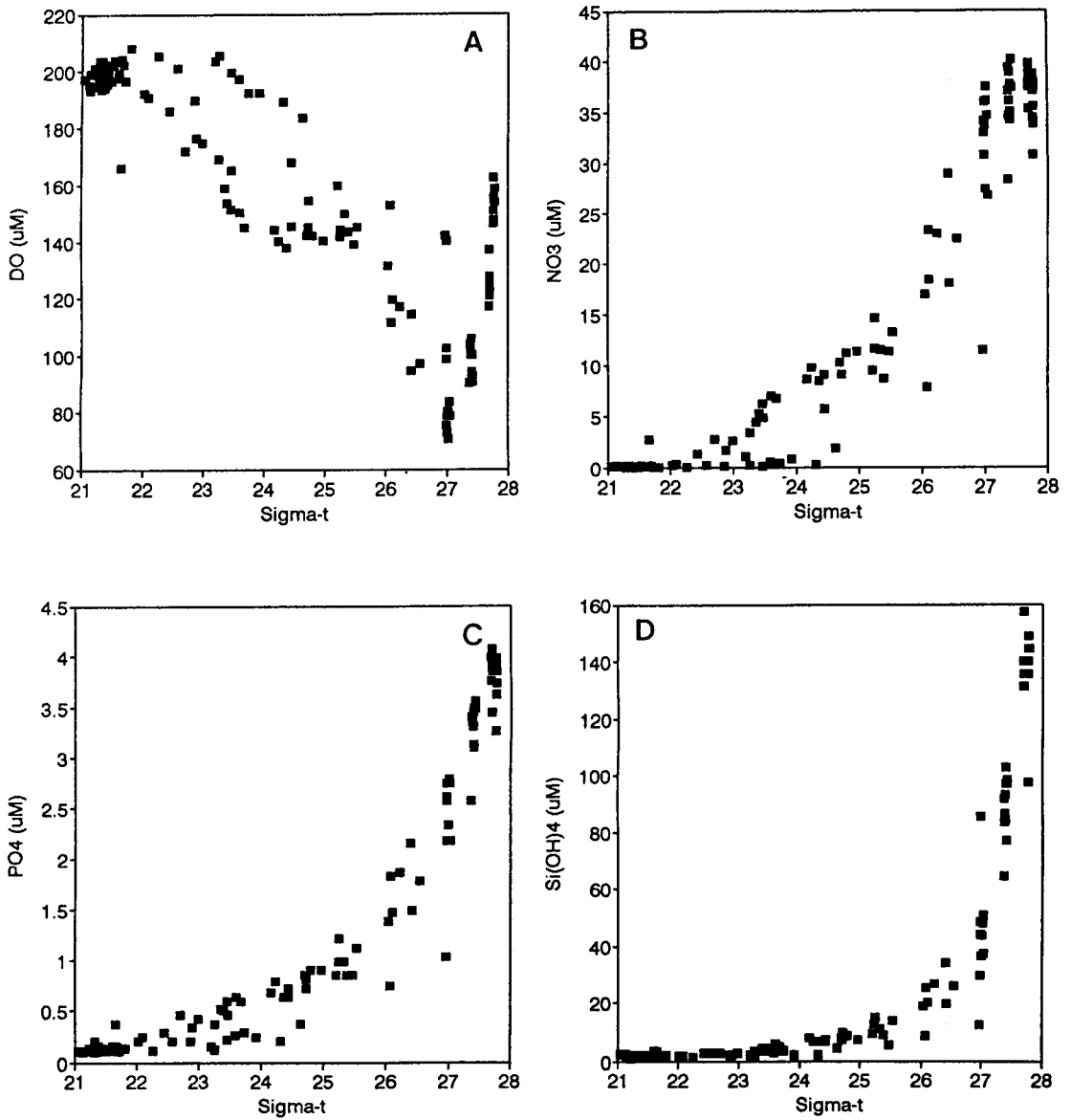


Figure 43. Scatter diagram of a) dissolved oxygen, b) nitrate, c) phosphate, d) silicate versus sigma-t for all data.

## 제 7 절 AOU 와 무기영양소와의 관계

겉보기 산소량 (AOU)와 염분과의 관계도표는 염분이 낮은 표층에서는 AOU가 0에 근접해 있고 염분이 34.6 ‰ 부근에서 AOU가 최대를 보여주고 있다 (그림 44). 이러한 AOU와 염분과의 관계는 수온-염분관계와 매우 유사한 형태를 보이고 있다. 그러나 1000m 이하의 수심에서는 AOU-염분의 관계가 수온-염분의 관계보다도 좀더 세밀한 관계를 보이고 있어 이들 관계로 부터 또 다른 정보를 얻을 수 있으리라 생각된다. 겉보기 산소량과 무기영양소들의 관계는 앞에서 설명한 무기영양소 상호간의 관계에서와 같이 500m를 경계로하여 두개의 라인이 형성됨을 보여준다. 1992년 12월의 경우와 마찬가지로 500m 보다 깊은 심층수에서의 AOU와 무기영양소들과의 관계는 상관관계가 낮다. AOU와 무기영양소의 상관관계는 다음과 같다

$$\text{Total ; NO}_3^- = 0.13 \text{ AOU} - 0.80 \quad (r=0.96) \quad (\text{그림 45a})$$

$$\text{depth} < 500\text{m ; PO}_4^{3-} = 0.0099 \text{ AOU} + 0.071 \quad (\text{그림 45b})$$

$$\text{Preformed PO}_4^{3-} = 0.0078 \text{ AOU} - 0.02396 \quad (r=0.82) \quad (\text{그림 45c})$$

$$\text{Si(OH)}_4 = 0.14 \text{ AOU} - 0.0002 \quad (r=0.90) \quad (\text{그림 45d})$$

즉  $\Delta\text{NO}_3/\Delta\text{AOU}$  는 0.13,  $\Delta\text{PO}_4/\Delta\text{AOU}$ 는 0.01,  $\Delta\text{Si}/\Delta\text{AOU}$ 는 0.14로서 Redfield 비율인  $\Delta\text{NO}_3/\Delta\text{AOU} = 0.1163$ ,  $\Delta\text{PO}_4/\Delta\text{AOU} = 0.007$  보다 높다. 이 값은 1989년 Wen 등에 의해 측정된  $\Delta\text{NO}_3/\Delta\text{AOU} = 0.15$ ,  $\Delta\text{PO}_4/\Delta\text{AOU} = 0.01$  와 유사한 값을 보인다.

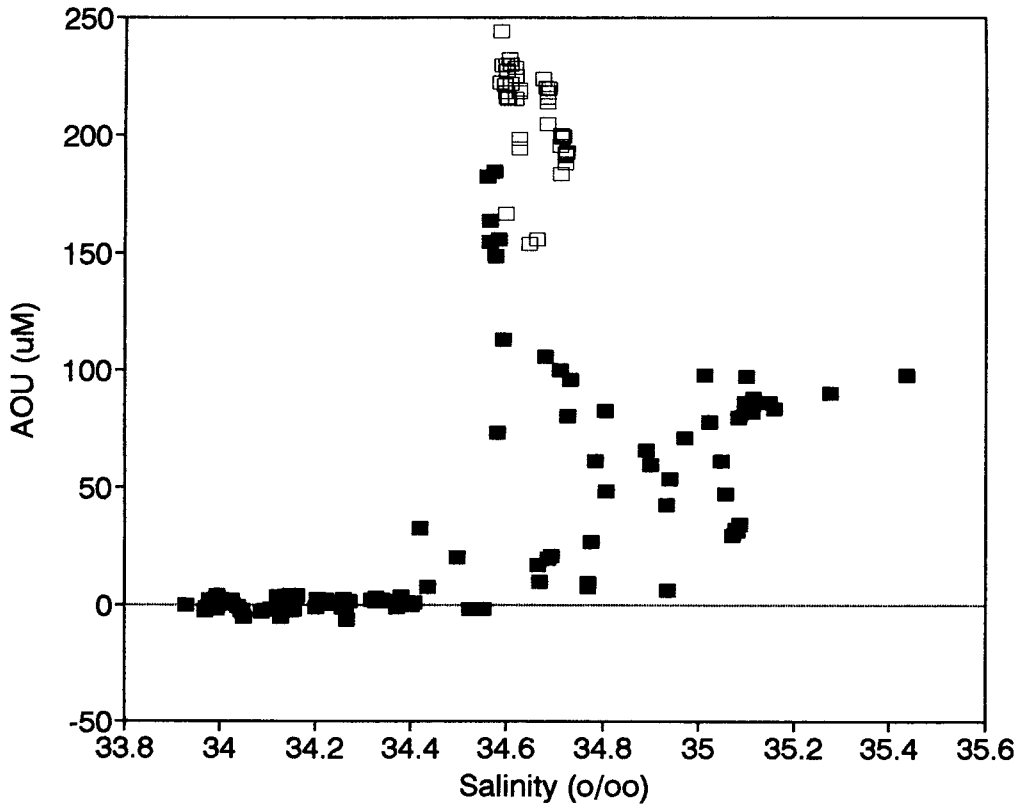


Figure 44. Scatter diagram of AOU versus salinity. Closed symbols represent the data shallower than 500m. Open symbols represents the data deeper than 500m.



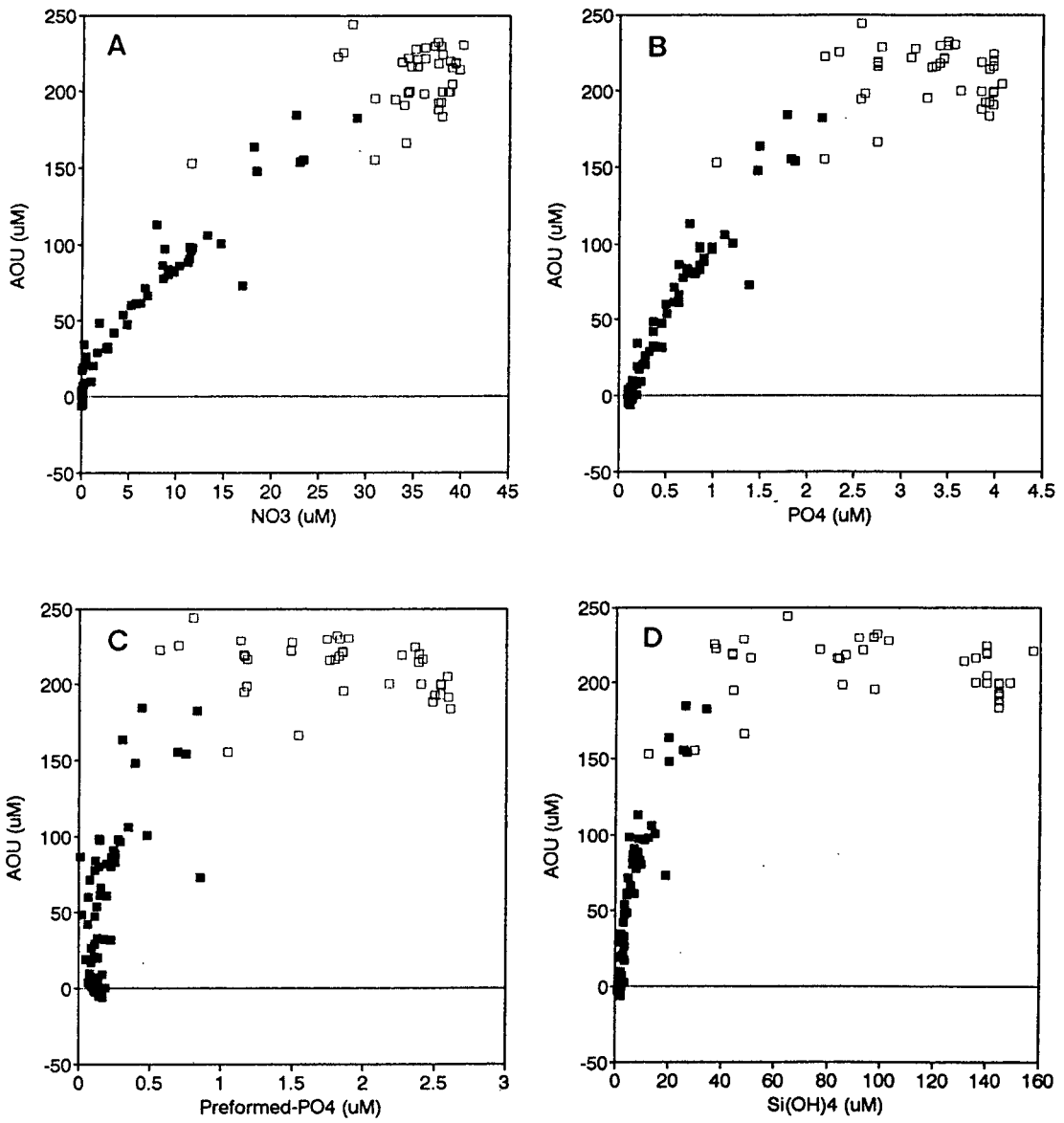


Figure 45. Scatter diagram of a) nitrate, b) phosphate, c) preformed phosphate, d) silicate versus AOU. Closed symbols represent the data shallower than 500m. Open symbols represents the data deeper than 500m.

## 제 4 장 일차 생산력

### 제 1 절 개요

대양은 용승이 일어나는 해역을 제외하면 일차생산력은 매우 낮은 편이지만 대양이 지구 표면적의 약 70%까지 차지하므로 전 지구적 규모의 일차생산에서 차지하는 비중은 10~40%에 이르는 것으로 추정된다. 이러한 추정치가 가지는 불확실성은 탄소순환에 있어 해양 일차생산, 즉 식물플랑크톤의 생산이 가지는 역할에 대한 불확실성으로 이어진다 (Sheldon, 1984).

불확실성의 원인으로서는 첫째, 조사선에 의한 조사가 가지는 시·공간적 제약, 둘째, 전통적 조사 방법인  $^{14}\text{C}$  법이 가지는 여러가지 실험오차를 들 수 있다. 해양의 일차생산은 거의 식물플랑크톤에 의해 이루어지는데 식물플랑크톤의 시·공간적 변이성은 선박조사로 획득할 수 있는 해상력으로는 불충분하다. 이러한 문제는 해색원격탐사를 통해서만 해결이 가능하다 (Platt and Sathyendranath, 1988). 해색원격 탐사로는 표층 (소광수심= 표층PAR의 90%가 소광되는 수심)의 식물플랑크톤 색소량 만의 측정이 가능하므로 인공위성 정보에서 일차생산력을 추정하기 위해서는 색소량에서 일차생산력을 추정하기 위한 모델이 필요하며 이러한 모델은 PAR,  $\alpha$ ,  $\beta$ 와 같은 광합성 과정의 매개변수를 필요로 한다. 또한 24시간에 걸친 광합성량을 추정하려면 주어진 지점의 하루의 태양광의 변동유형, 구름양 등의 보조적인 정보도 필요하게 된다.

대개의 대양역에는 항구적, 또는 계절적인 저층 엽록소 최대층 (DCM: Deep Chlorophyll Maximum)이 나타나는데 (Shulenberg, 1978 ; Shulenberg and Reid, 1981), 이들은 대개 인공위성의 센서의 감지 깊이 보다 아래에 위치하므로 어느 정도의 오차를 유발 시킬 수 있다. 여기서는 열대 서태평양 해역의 일차 생산력을 측정하고 24시간의 배양을 통하여 암 호흡율을 계산하여 순일차생산력을 추정하였다.

## 제 2 절 식물플랑크톤의 현존량과 일차생산력의 측정 방법

해양 조사선 온누리호에 장착된 해수펌프를 이용하여 표층해수를 선상으로 끌어올린 다음 SBE25 CTD (Seabird electronics Co.)를 이용하여 동경 128도 51분, 북위 34도 31분에서 부터 동경 137도, 북위 10도 까지 (그림 46) 연속적으로 수온, 염분도, 형광을 측정하였으며 각 조사 정점에서 300m 까지의 형광을 측정하였다. 5ℓ Niskin 샘플러를 Rosette에 장착하여 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 200m 의 해수를 채수하여 이중 1ℓ 의 해수를 GF/F (Whatman Co.) 필터로 거른 다음 바로 90% 아세톤 용액에 담구어 24시간동안 용출시킨 후 그 용액의 형광을 엽록소 표준용액 (Sigma Co.) 으로 보정된 Turner model 10 fluorometer 로 측정하여 Strickland and Parsons (1972) 의 방법을 따라 엽록소농도로 바꾸었다. 이렇게 계산된 엽록소 값을 이용하여 SBE25 CTD에 실린 Seatech fluorometer로 측정된 현장농도와와의 관계식의 매개변수를 구하였다. 또한 채수된 해수 중 1ℓ 를 1ℓ

폴리에틸렌 병에 옮겨 Lugol's solution으로 고정하여 식물플랑크톤 시료를 만들었으며 나중에 S-R counting chamber로 식물세포 수를 계수하였다.

일차 생산력 측정은  $^{14}\text{C}$ 방법에 의하여 정점 A, B, C, 5, 6, 8, 14 (그림 47)에서 선상의 투명 아크릴 수조에 표층해수를 순환시켜 수조의 온도를 표층수온과 맞춘 상태에서 실시하였다. 선상에서 로켓 채수기를 이용하여 시료를 채취한 후 Parsons *et al.* (1984)의 방법에 따라 채수된 시료를 250ml polycarbonate bottle (Nalgen)에 넣고  $10\mu\text{ Ci/ml } ^{14}\text{C}$  sodium-bicarbonate (Amersham InC.)를 각 용기당 2ml씩 첨가한 후 선상에서 배양하였다.

배양은 정점 6과 14에서 약 3시간 그리고 정점 A, B, C, 5, 8에선 12시간 과 24시간 동안 실시하였다. 정점 6은 표층수와 100m, 정점 14는 표층수와 75m의 해수 그리고 나머지 정점들은 표층수로 배양하였다. Perforated nikel screen 으로 빛을 차단 시켜 각기 다른 광도조건 (입사광의 100%, 50%, 30%, 14.5%, 9%, 3.5%, 1%)을 만들었고 암병은 배양용기에 흑색 페인트 칠을 한 다음 그 위에 다시 흑색 테이프를 감아 빛의 투과를 완전히 차단 시켰다. P-I 관계를 조사하기 위한 배양은 정점 6과 14에서 실시하였고 나머지 정점들에선 최대 자연일광 하의 배양을 하였다. 배양하는 동안 표층에 도달하는 총 광량은 선상에서 quantumm meter (Li-COR LI-1000)를 auto logging 상태로 작동하여 측정하였으며 수층에서의 빛 소광계수는 SBE25 CTD에 장착된 PAR sensor를 이용하여 각 수심에서 측정된 광량으로 계산하였다.

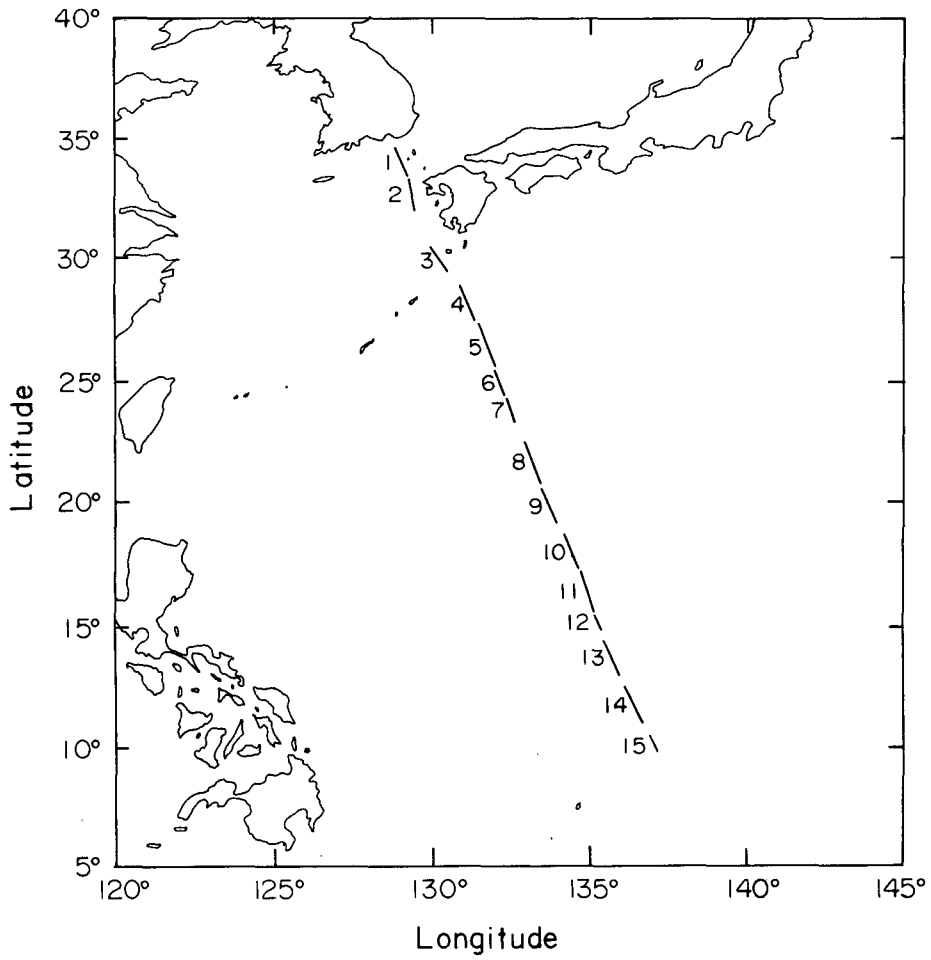


Figure 46. Continual observation area of temperature, salinity and chlorophyll

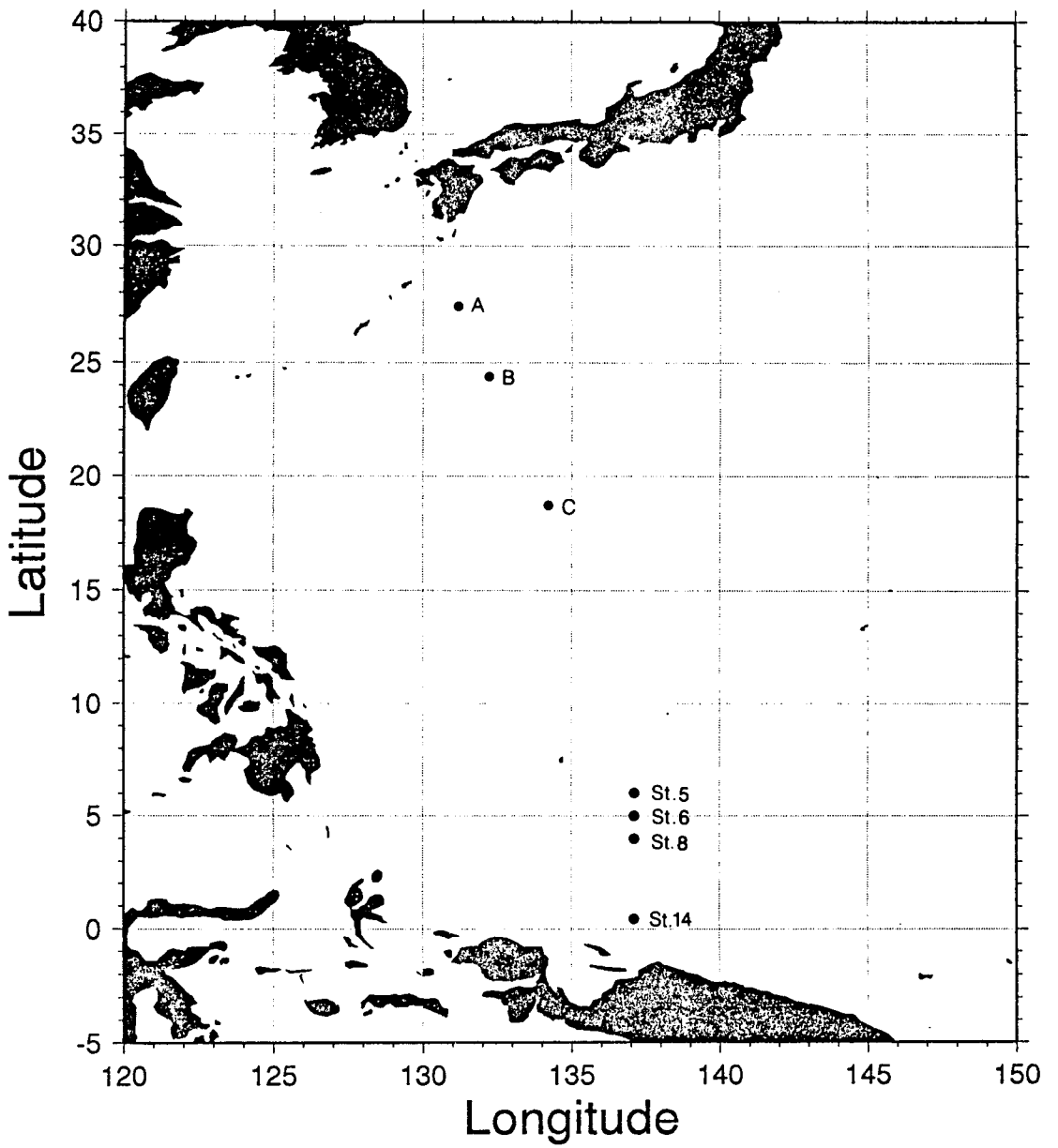


Figure 47 Observation stations of primary productivity

배양시킨 시료들은 Whatman GF/F로 여과시킨 다음 냉동 보관하였다. 냉동된 시료들을 실험실로 운반하여 염산용액으로 산증발 (acid fuming) 시킨 후 Scintillation Cocktail (Luma-gel)에 넣고 시료와 충분히 반응하도록 한 다음 Liquid Scintillation Counter (RackBeta II, Wallac)로 식물플랑크톤에 고정된  $^{14}\text{C}$ 의 방사능을 측정하였다.

### 제 3 절 열대서태평양의 일차생산력

SBE25 CTD에 장착된 형광계기로 측정한 형광값과 같은 위치에서 채수한 해수를 90% 아세톤으로 추출하여 형광측정방법으로 분석한 엽록소 농도는 그림 48과 같이 높은 상관관계 ( $r^2=0.90$ ,  $n=41$ )를 보였다. CTD로 측정한 형광값들은 다음과 같은 회귀공식에 의해 엽록소 농도로 전환시켰다.

$$\text{Chlorophyll } (\mu\text{g/l}) = 0.3424 \text{ Fls} - 0.0179$$

여기서 Fls는 CTD로 측정한 형광값이다.

표층수의 연속관측 자료 (그림 49)에서 엽록소 농도는 대마난류권의 영향을 받는 대한해협인 Seg-1에서  $0.6\mu\text{g/l}$ 에서  $1.6\mu\text{g/l}$ 의 범위로 이 농도는 1993년 12월에 같은 위치에서 조사된 값 ( $0.37\sim 0.54\mu\text{g/l}$ ; 한국해양연구소, 1994) 보다 약 2~3배 정도 더 높은 값을 보였는데 이는 spring bloom의 영향 때문인 것으로 생각된다. 엽록소 농도는 Seg-2까지  $0.6\mu\text{g/l}$  이상의 비교적 높은 농도를 보이다가 일본 큐슈 남쪽의 대륙사면에 위치한

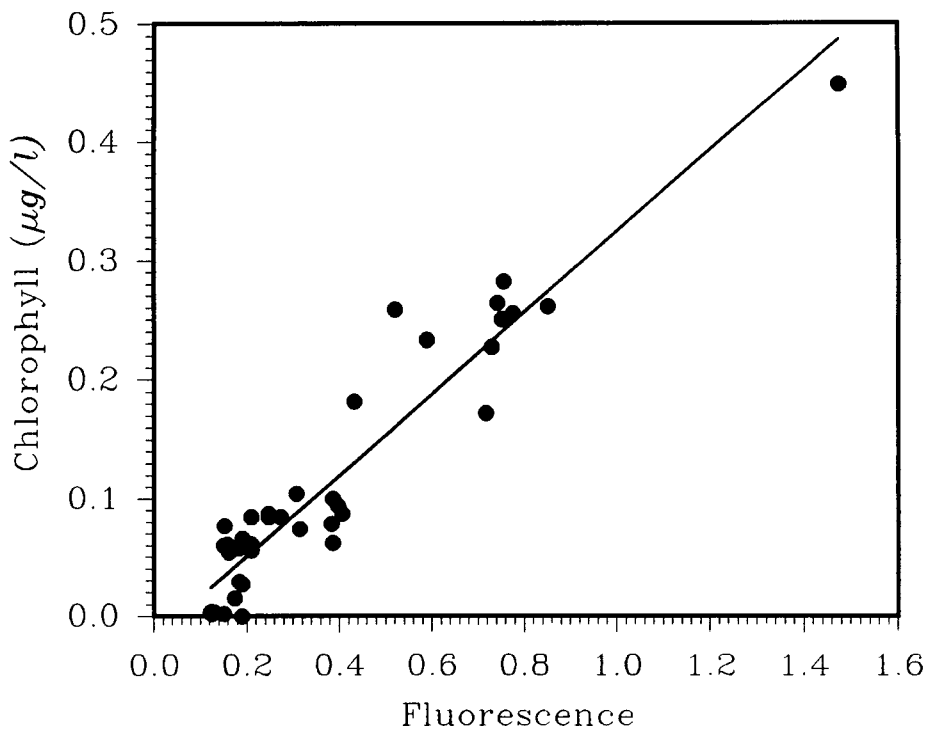
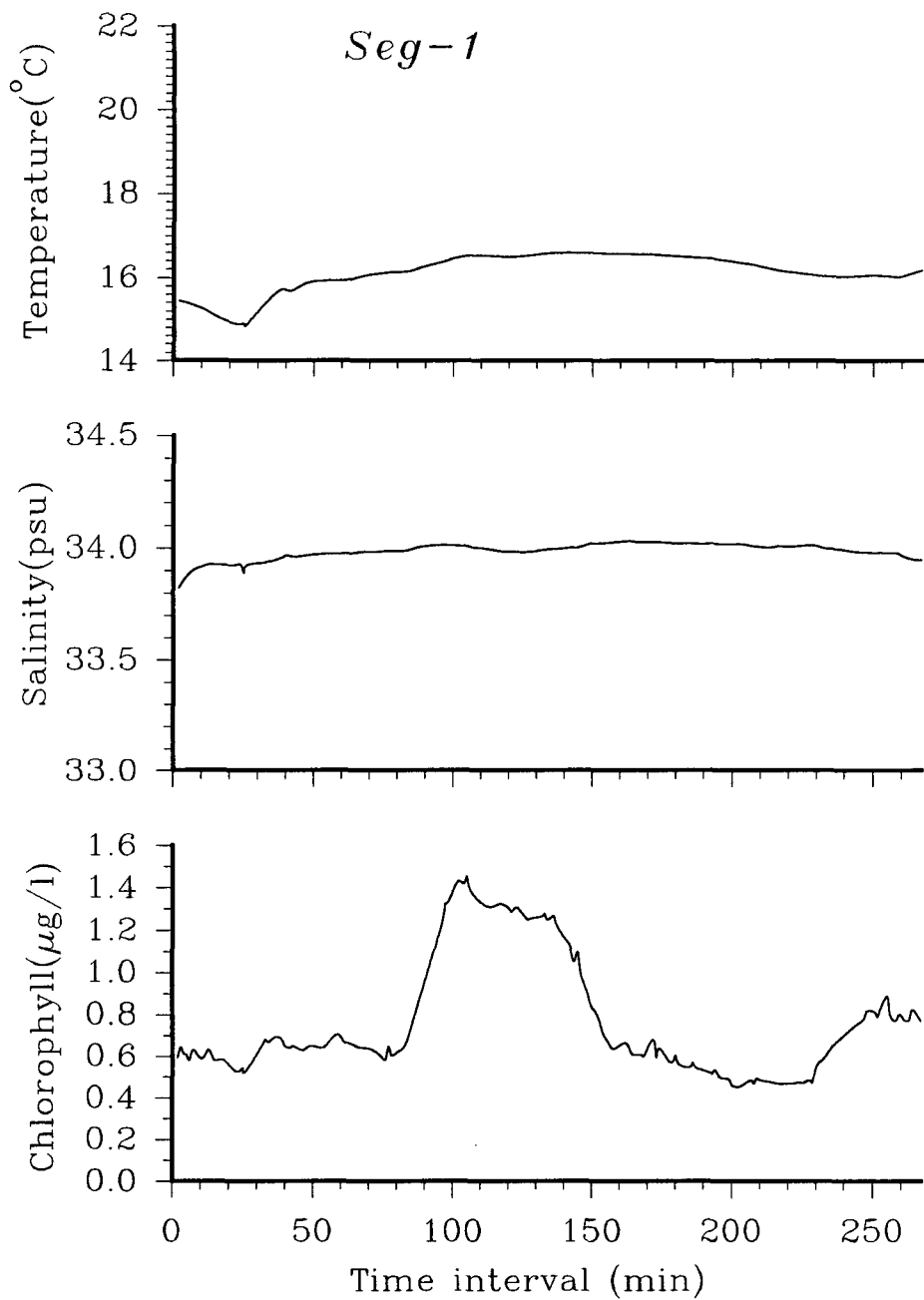


Figure 48 Relationship between chlorophyll concentration ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) and fluorescence

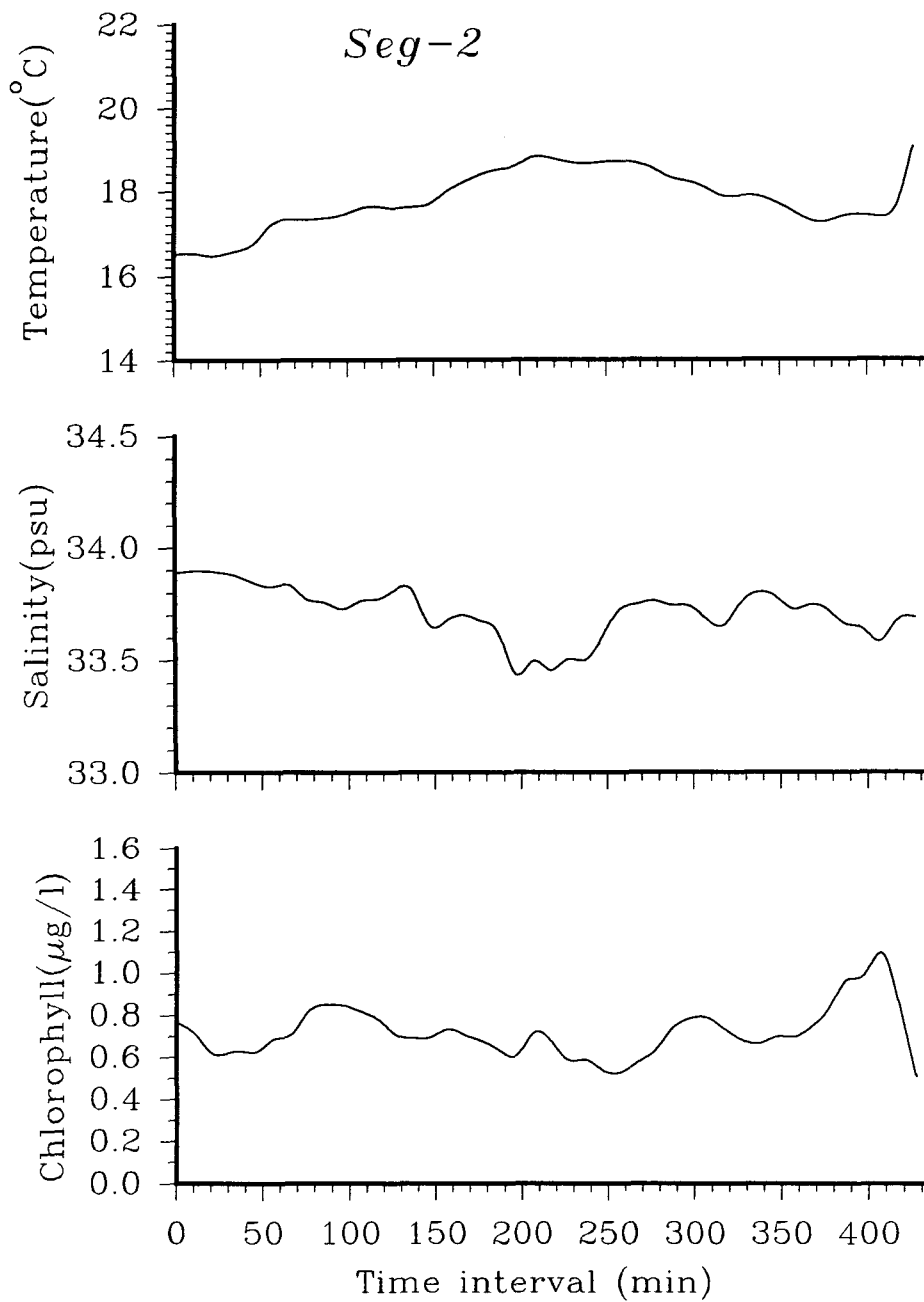




34° 31' N  
128° 51' E

33° 38' N  
129° 10' E

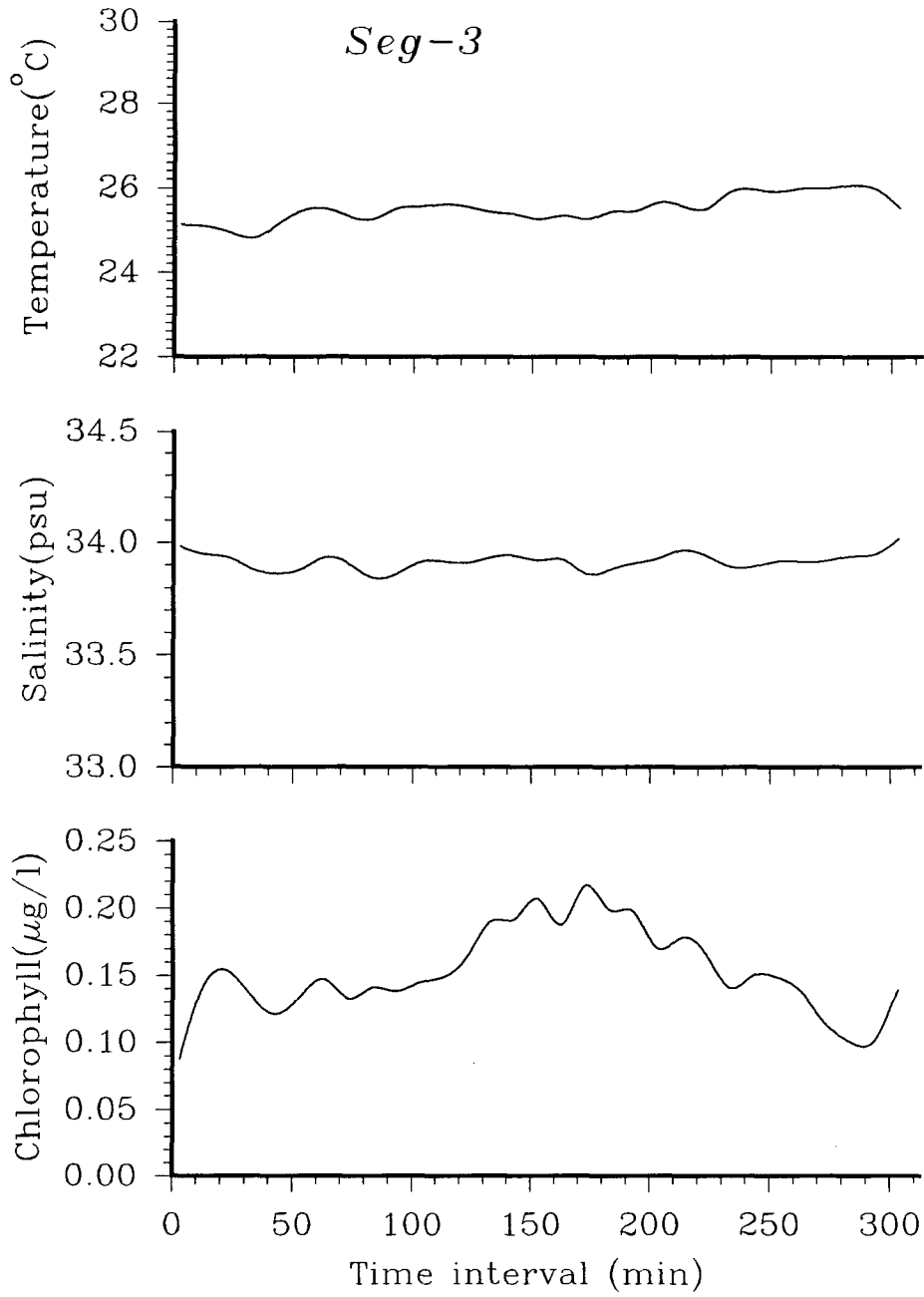
Figure 49. Horizontal variation of temperature, salinity and chlorophyll at sea surface. These data are measured to interval of 10 minutes.



33° 31' N  
129° 12' E

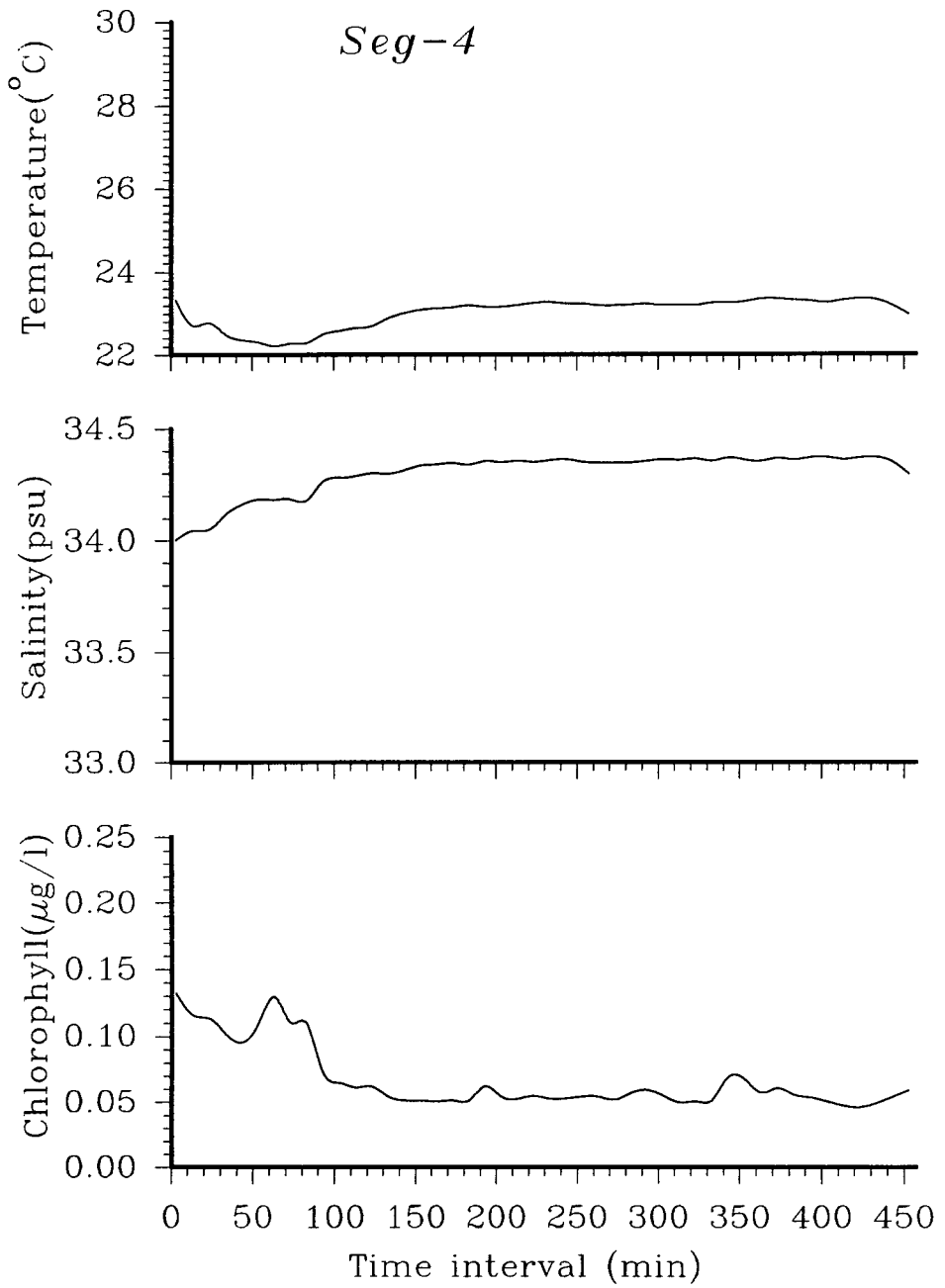
31° 59' N  
129° 31' E

fig49continued



30° 27' N
29° 20' N  
129° 58' E
130° 23' E

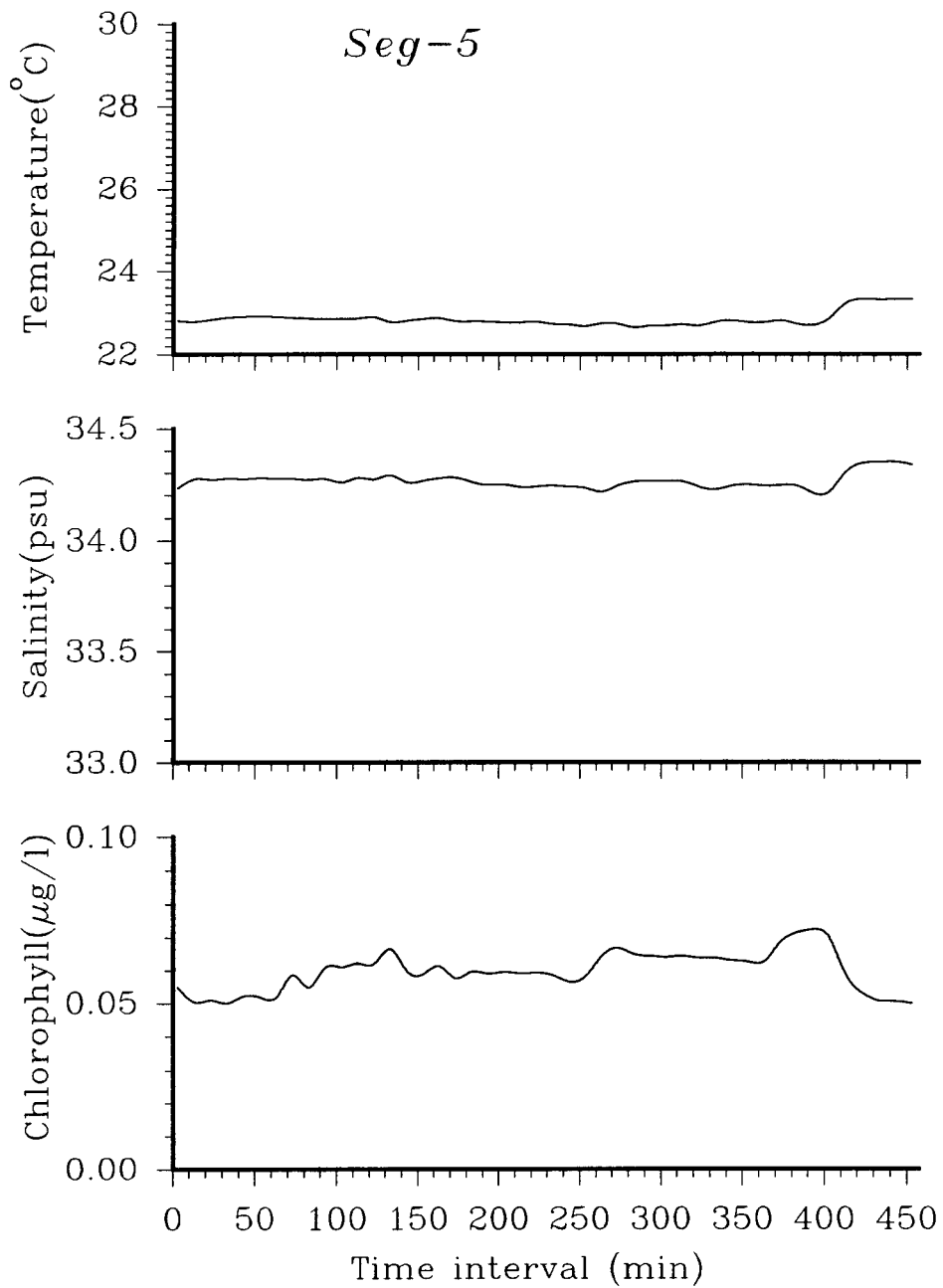
fig49continued



28° 59' N  
130° 51' E

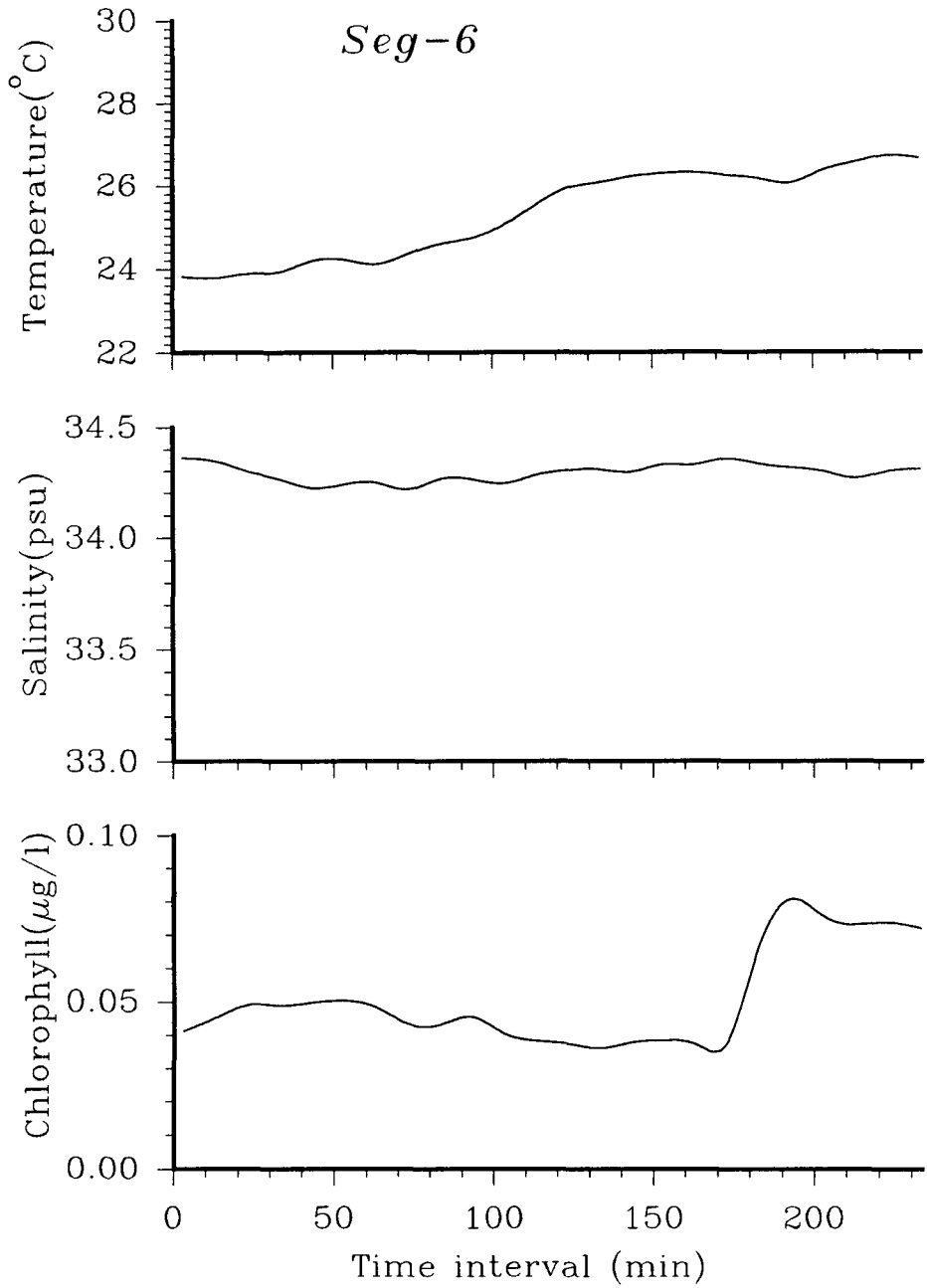
27° 24' N  
131° 21' E

fig49continued



$27^{\circ} 13' \text{ N}$   $25^{\circ} 38' \text{ N}$   
 $131^{\circ} 24' \text{ E}$   $131^{\circ} 54' \text{ E}$

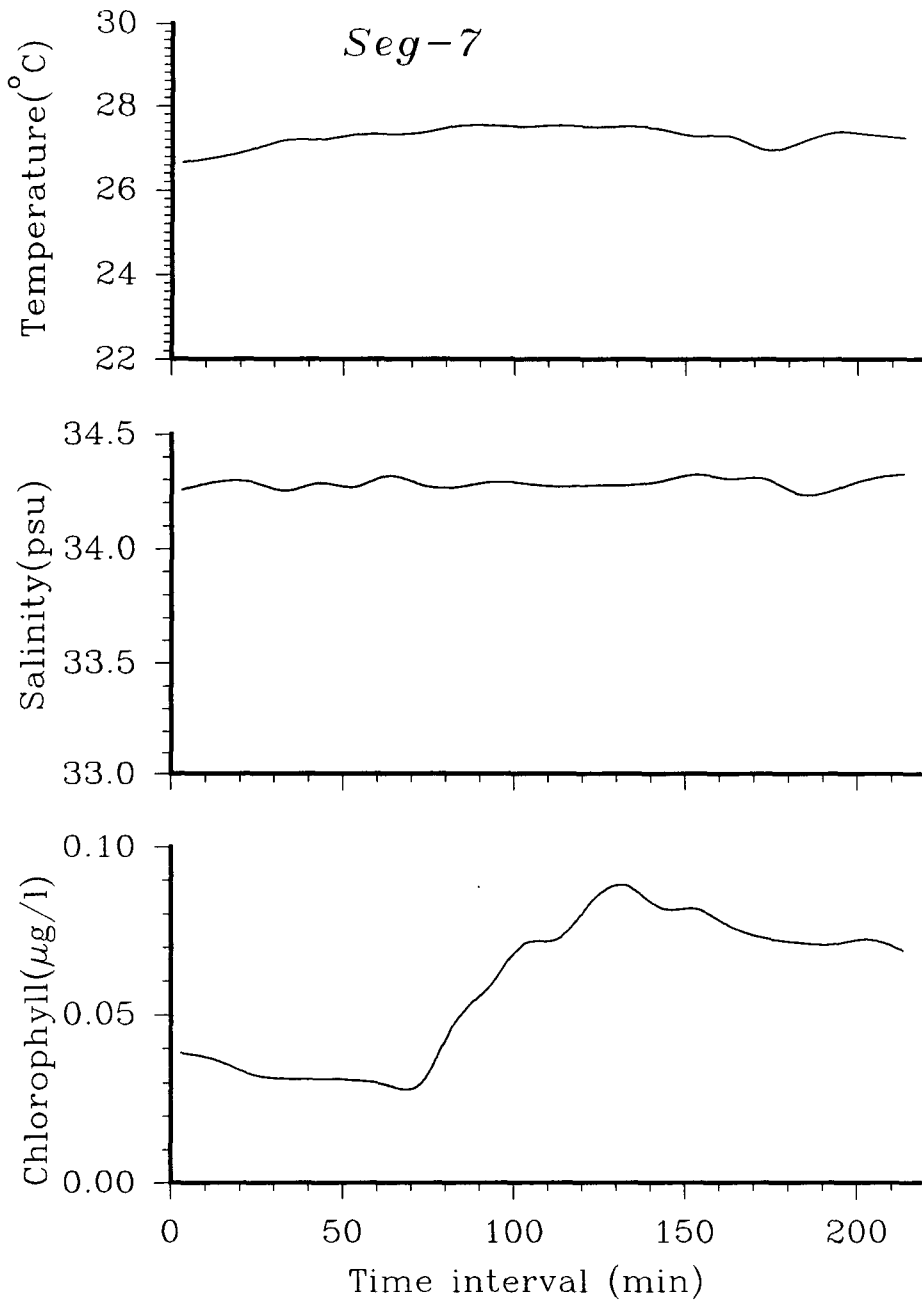
fig49continued



25° 27' N  
131° 58' E

24° 19' N  
132° 12' E

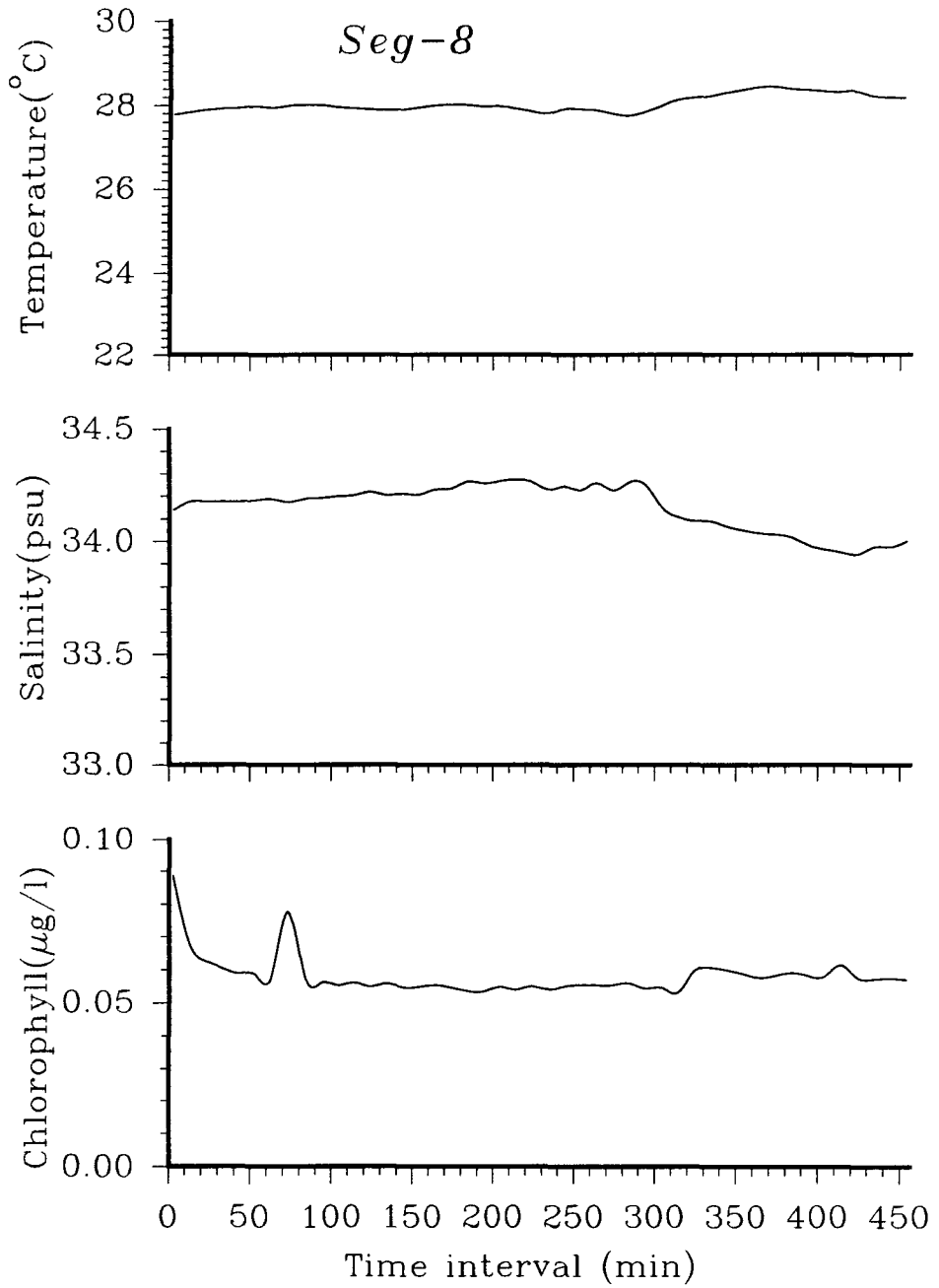
fig49continued



24° 18' N  
132° 12' E

23° 25' N  
132° 28' E

fig49continued

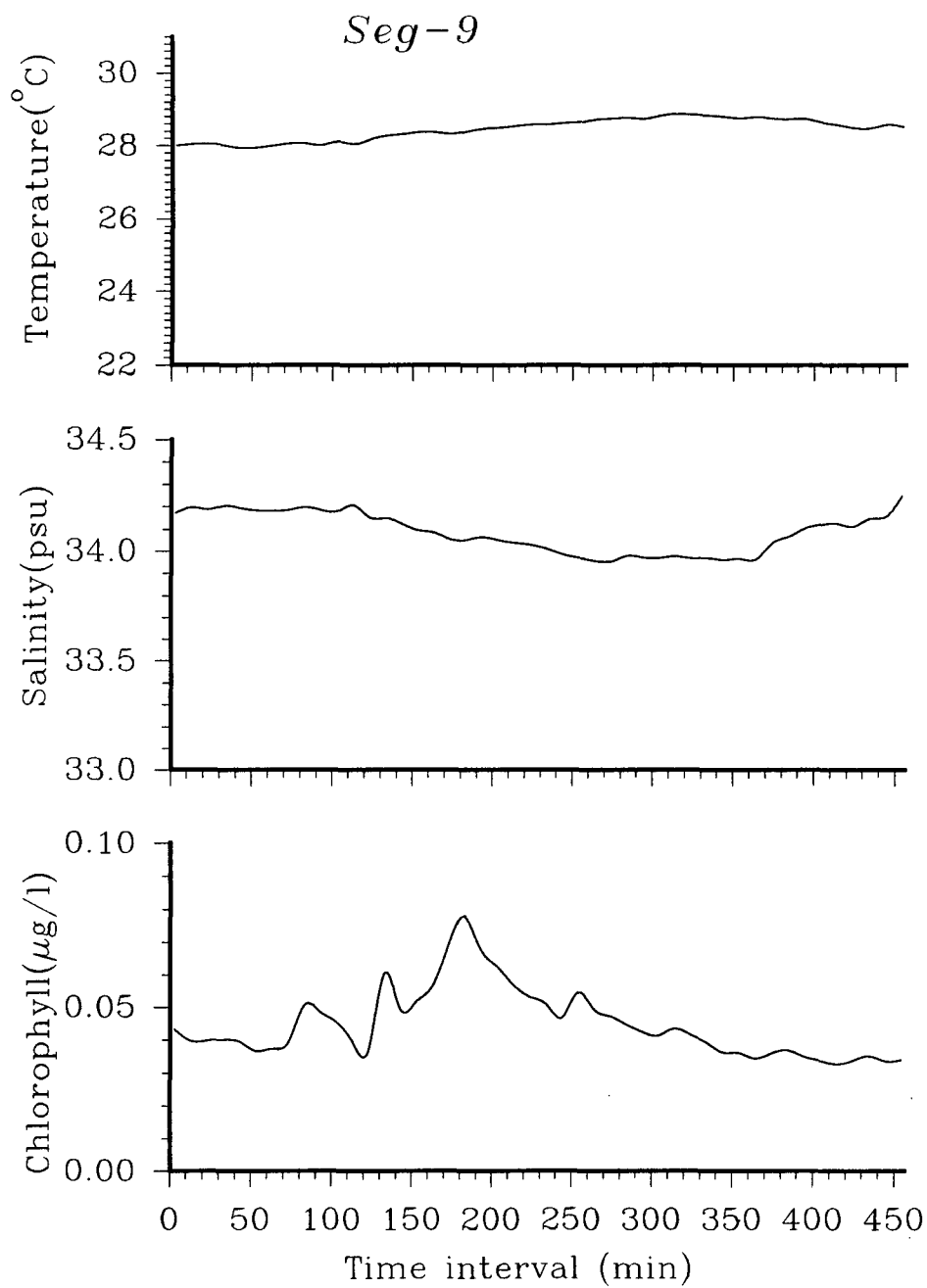


22° 29' N  
132° 52' E

20° 51' N  
133° 23' E

fig49continued

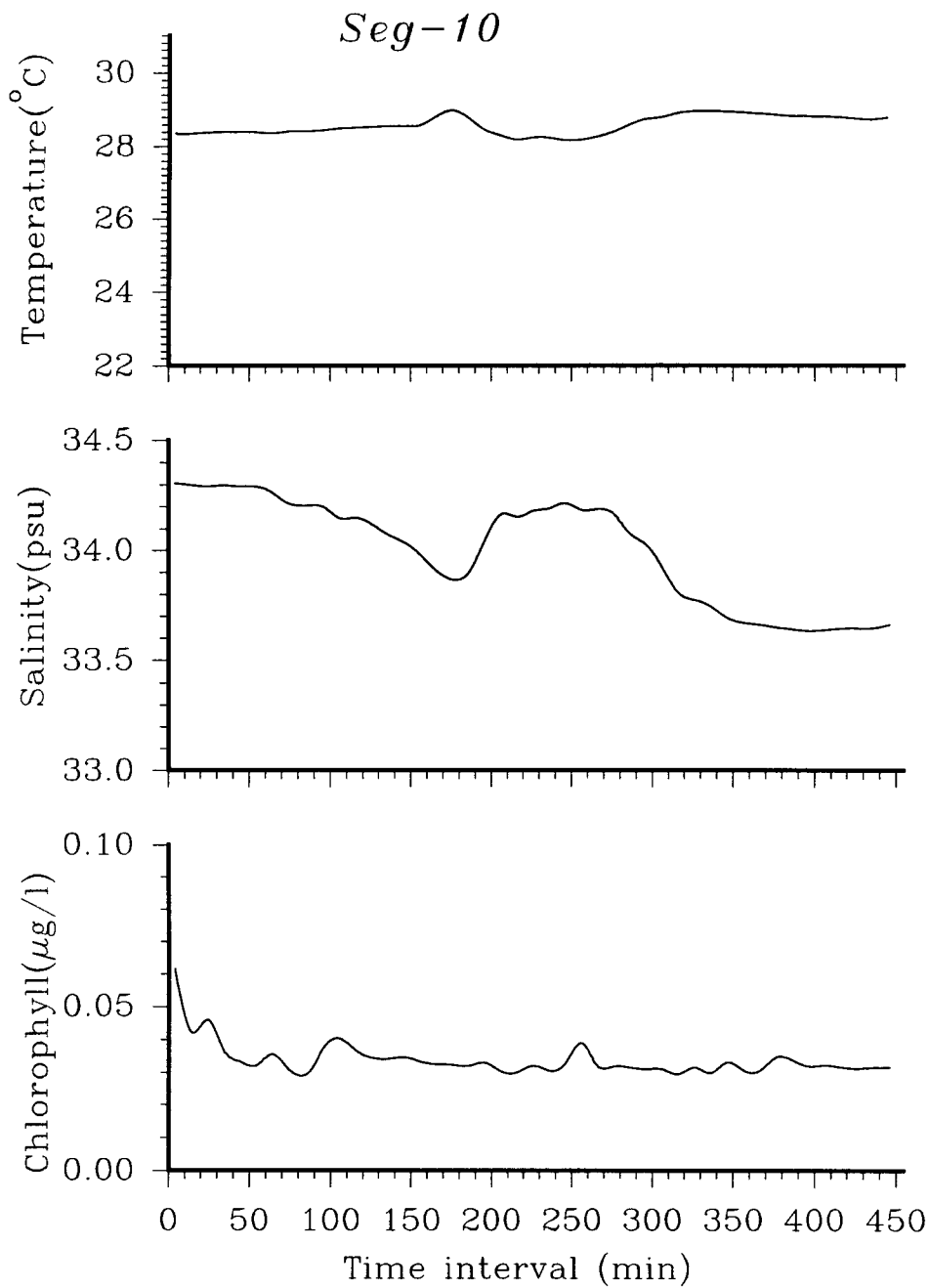




20° 38' N  
133° 27' E

19° 02' N  
133° 58' E

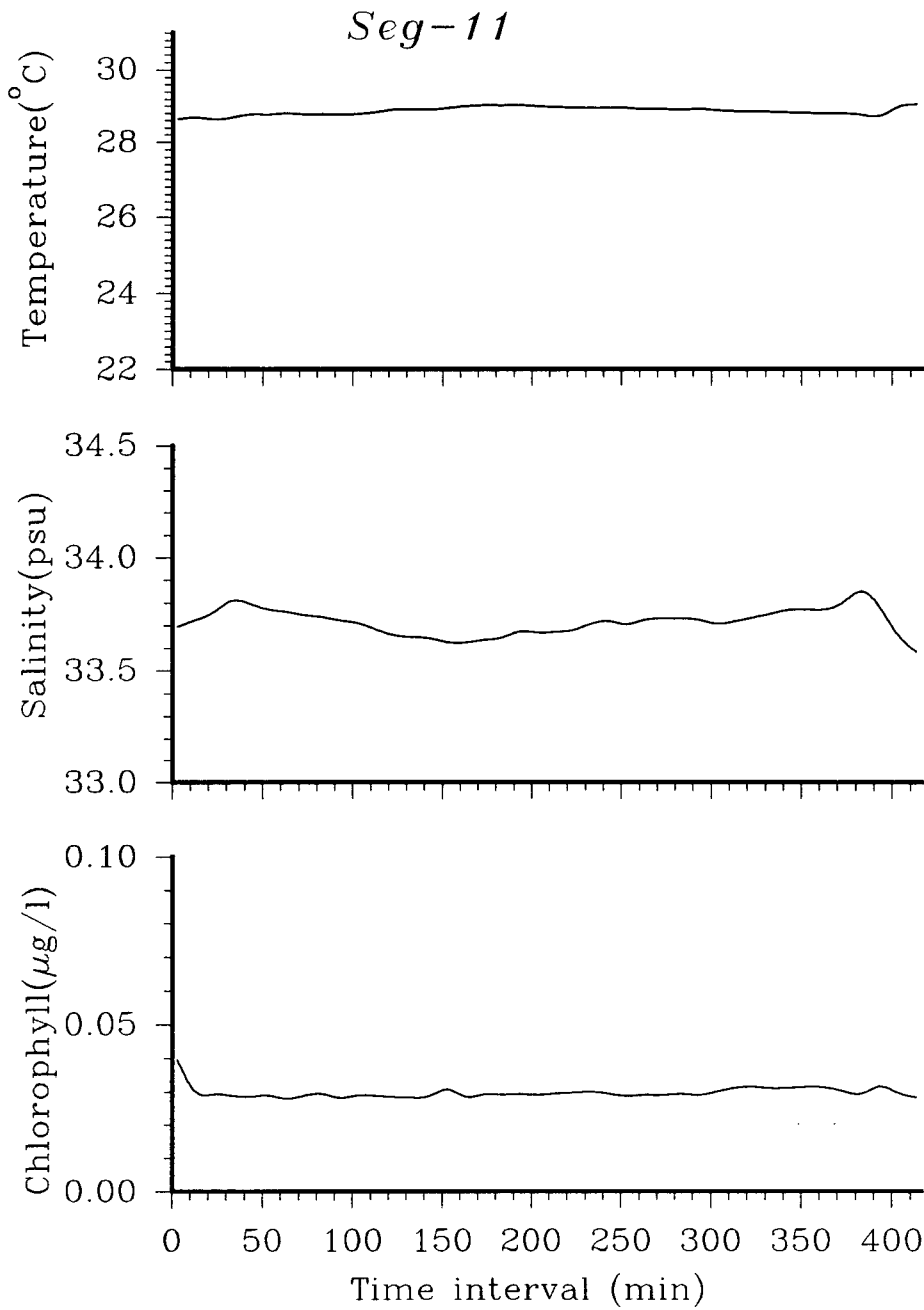
fig49continued



18° 50' N  
134° 03' E

17° 14' N  
134° 37' E

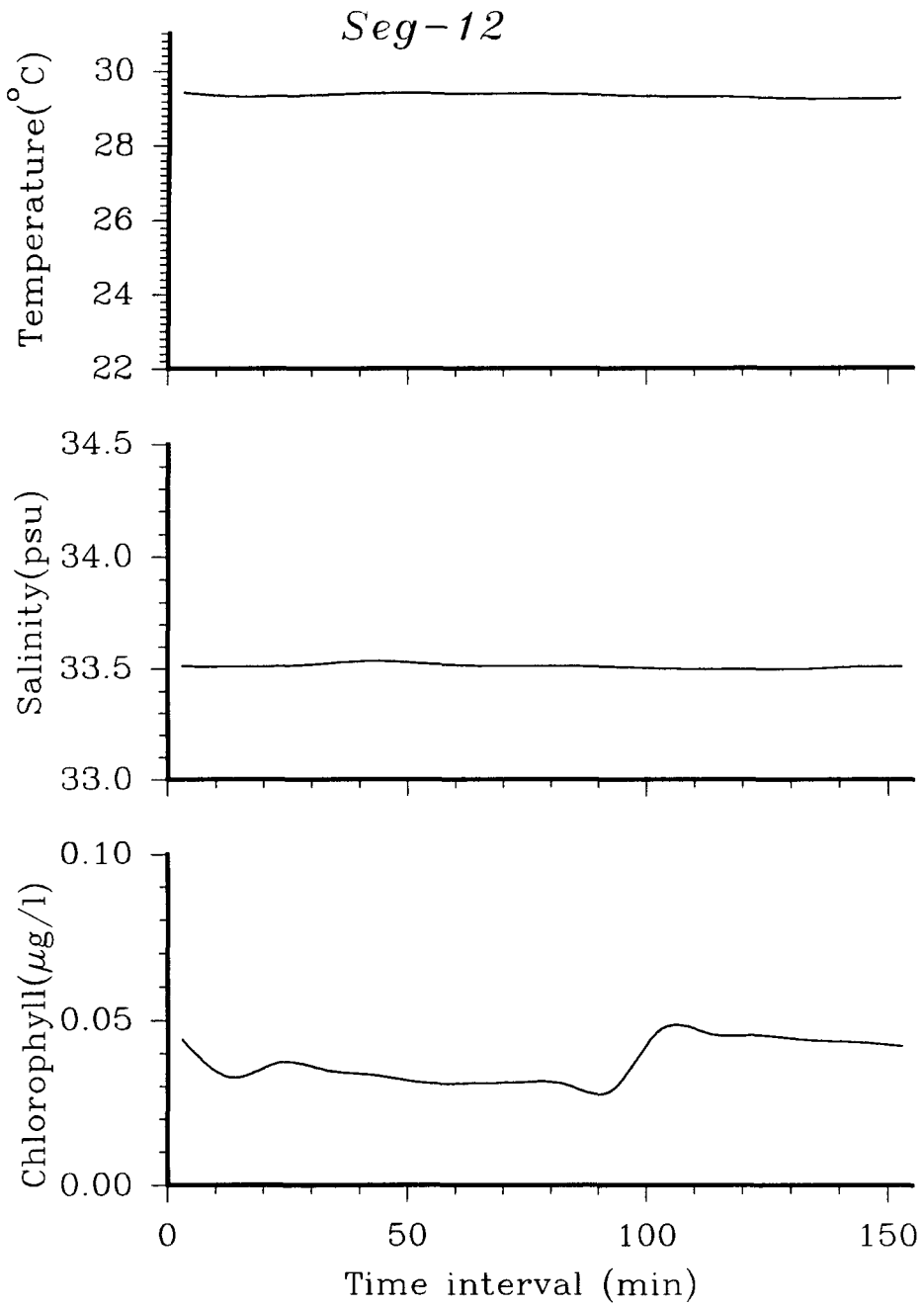
fig49continued



17° 11' N  
134° 38' E

15° 45' N  
135° 04' E

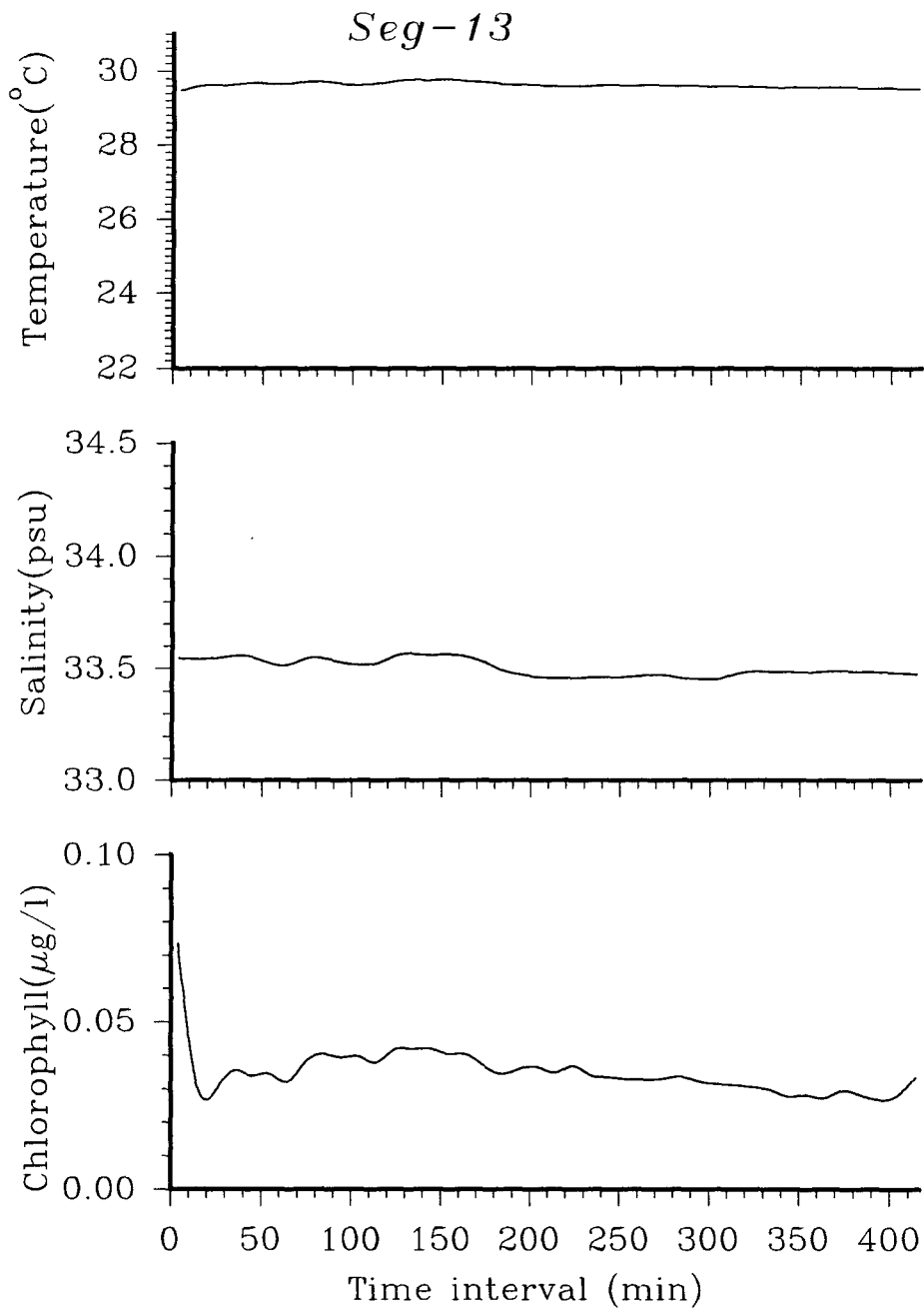
fig49continued



15° 35' N  
135° 09' E

15° 04' N  
135° 19' E

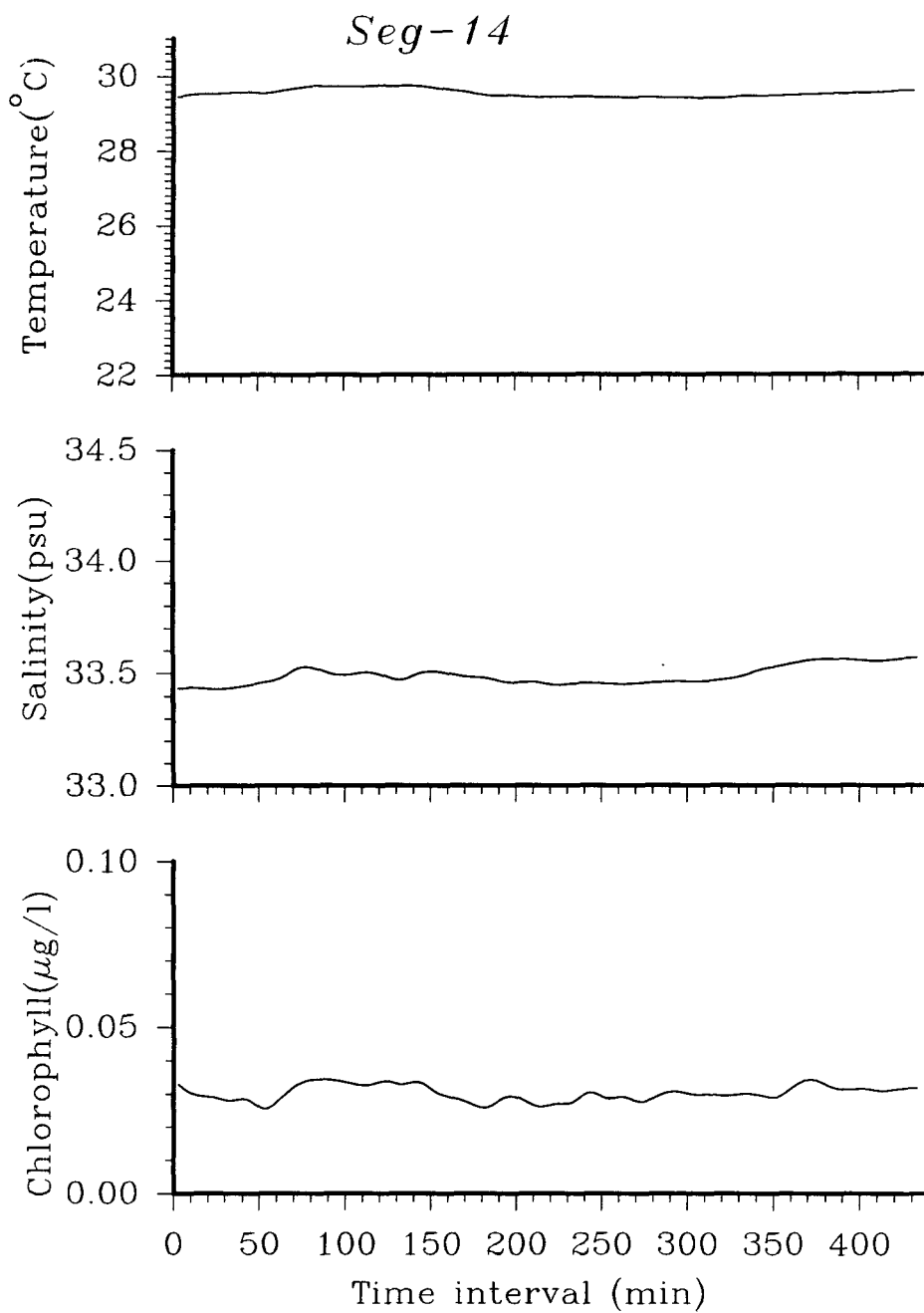
fig49continued



14° 31' N  
135° 28' E

13° 08' N  
135° 57' E

fig49continued



12° 35' N  
136° 07' E

11° 10' N  
136° 34' E

fig49continued

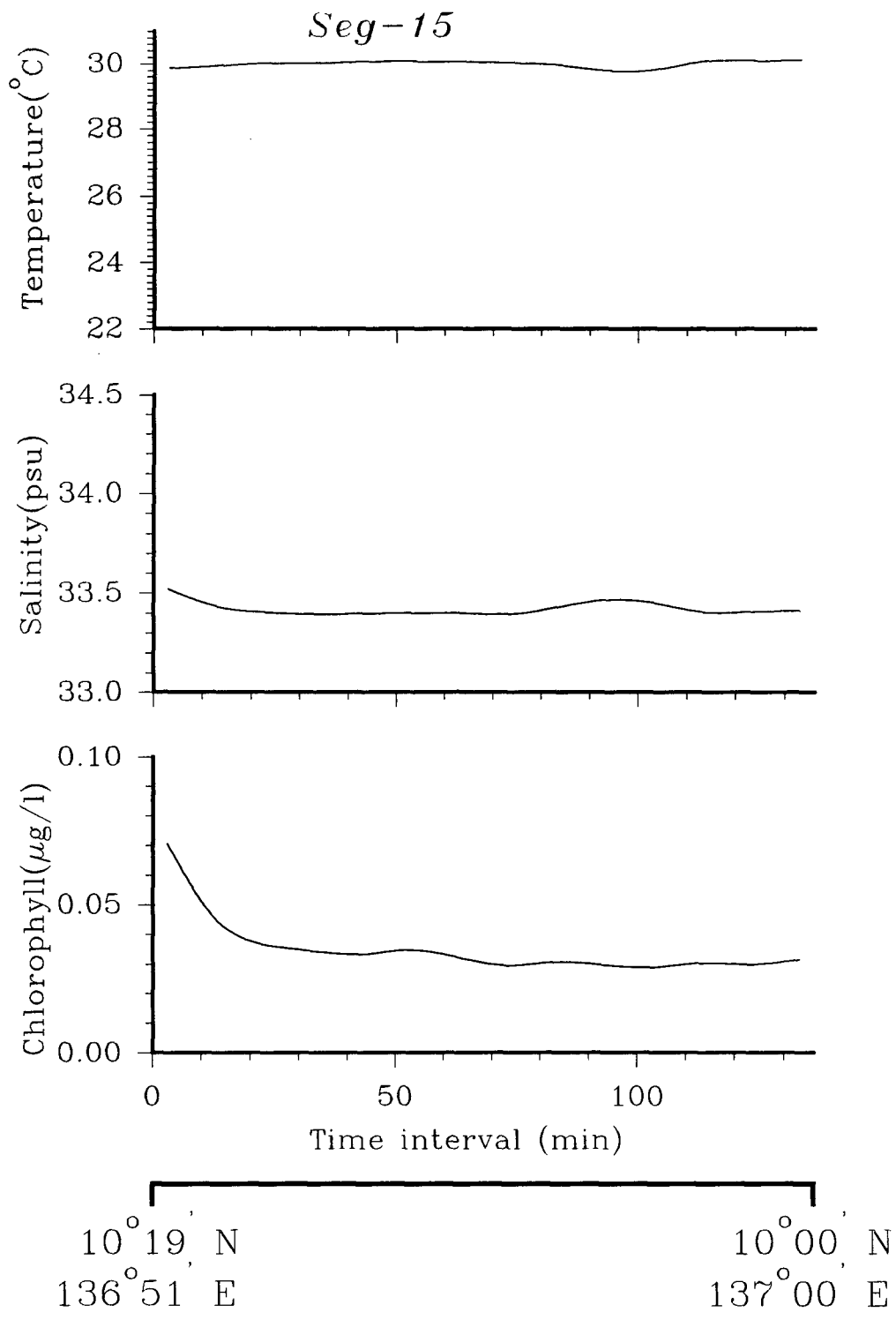


fig49continued

Seg-3 ( $1.0\sim 0.23\ \mu\text{g}/\ell$ )을 경계로 Seg-4에서 Seg-15 까지 대양으로 갈수록 엽록소 농도는 감소하여 대략  $0.1\ \mu\text{g}/\ell$  이하의 낮은 값을 보였다. 수온은 외해로 갈수록 계속 증가하여 북위 22도 이하 (Seg-8)에서  $28^\circ\text{C}$  이상을 유지하다가 북위 15도 30분 이하 (Seg-12)에서부터  $29\sim 30^\circ\text{C}$  를 유지하였다. 염분도는 대마난류권의 영향을 받는 Seg-1에서  $33.8\sim 34.0\%$  을 유지하다가 Seg-2 에서  $33.5\%$  까지 감소하는데 이는 양자강수의 영향을 받아 감소한 것으로 생각된다. 구로시오 난류권의 영향을 받는 Seg-4 부터 염분도는 증가하기 시작하여 대략 북위 17도 (Seg-10의 시작 부분)까지  $34.2\sim 34.4\%$  사이를 유지하다가 그 이후 부터  $34.0\%$  이하로 감소 하였으며 북위 15도 30분 (Seg-12) 이하 부터 연속관측의 마지막 까지 (Seg-15; 동경 137도, 북위 10도) 약  $33.5\%$ 의 수준을 유지하였다.

정점별 엽록소 농도의 수심에 따른 변화를 그림 50에 제시하였다. 300m 상층부의 평균 엽록소 농도는  $0.062$  (정점 3) $\sim 0.112\ \mu\text{g}/\ell$  (정점 1)의 범위로 1992년 12월의 조사 (300m 상층부의 평균농도  $0.054\sim 0.096\ \mu\text{g}/\ell$  : 한국해양연구소, 1993) 때 보다 약간 높은 값을 보였다. 엽록소의 수직분포의 경우 대부분의 조사정점에 걸쳐 수온약층아래에 저층엽록소 최대층 (DCM)이 나타났다 (그림 50). DCM의 수심 (엽록소 농도가 최대인 수심)은 정점 5를 제외한 나머지 정점들에서 대략 60~80m 사이에 나타났으며 표층 엽록소 농도의 10배 이상까지 이르렀다. 동경 137도, 북위 10도에서 적도에 이르는 남북방향의 관측정선을 따라 작성된 엽록소 농도의 수직단면(그림 51)을 보면 1992년 12월의 수직단면과 비슷한 양상을 보이고 있지만 60~80m 사이에 위치한 DCM 층이 북위 6도 (정점 5)를 중심으로 하여 양분되는 경향을 보이고 있다. DCM층의 엽록소 농도는 북위 10도 (정점



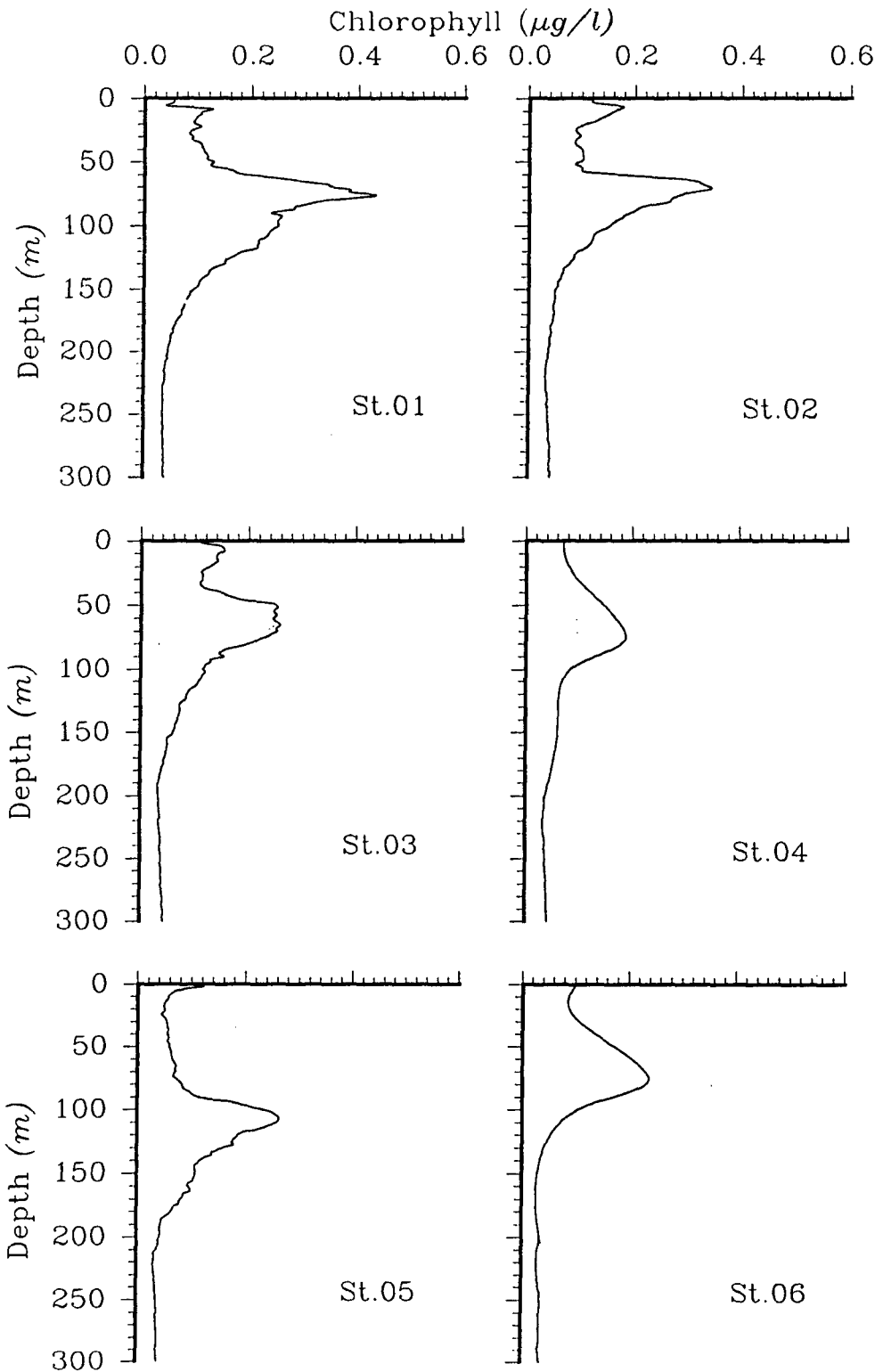


Figure 50. Vertical profile of chlorophyll at each stations.

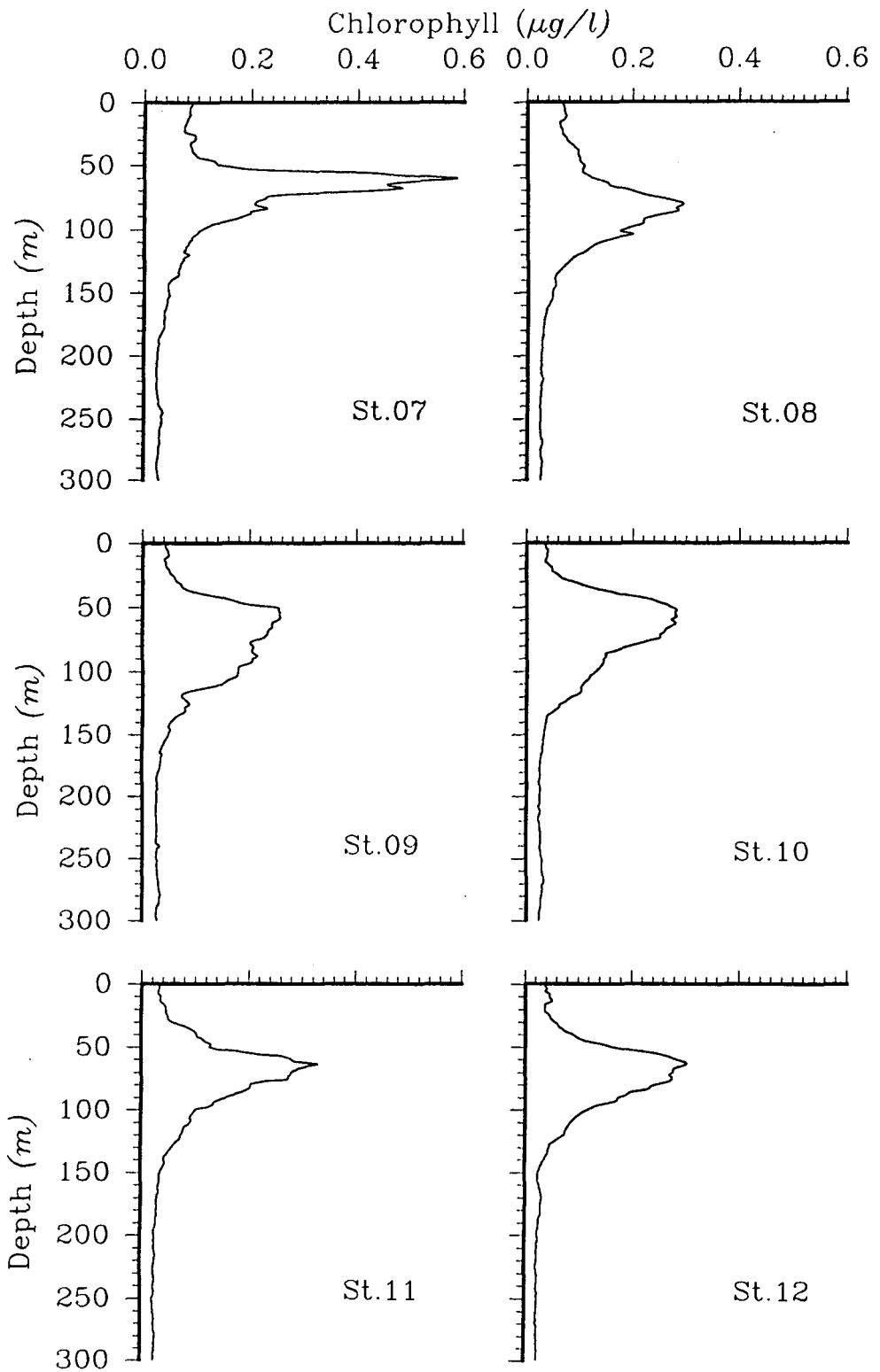


fig50continued

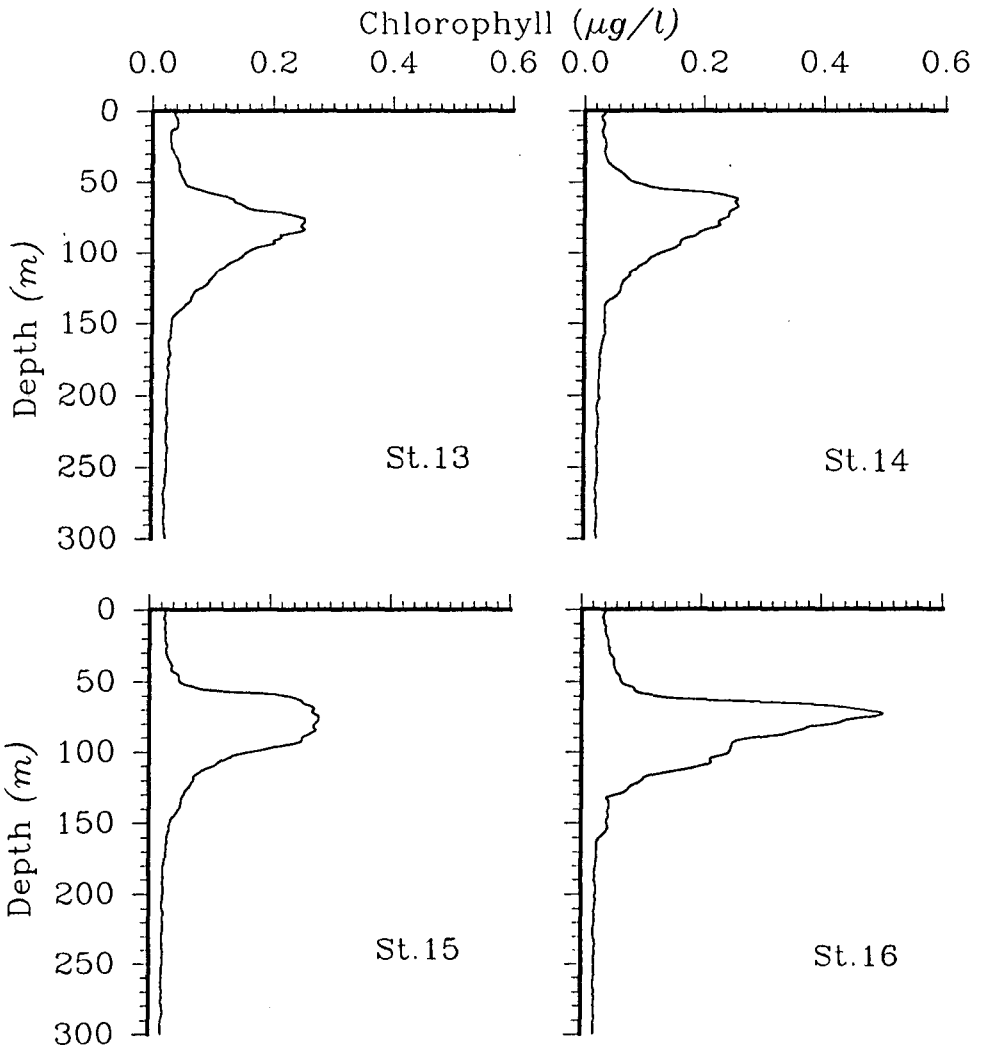
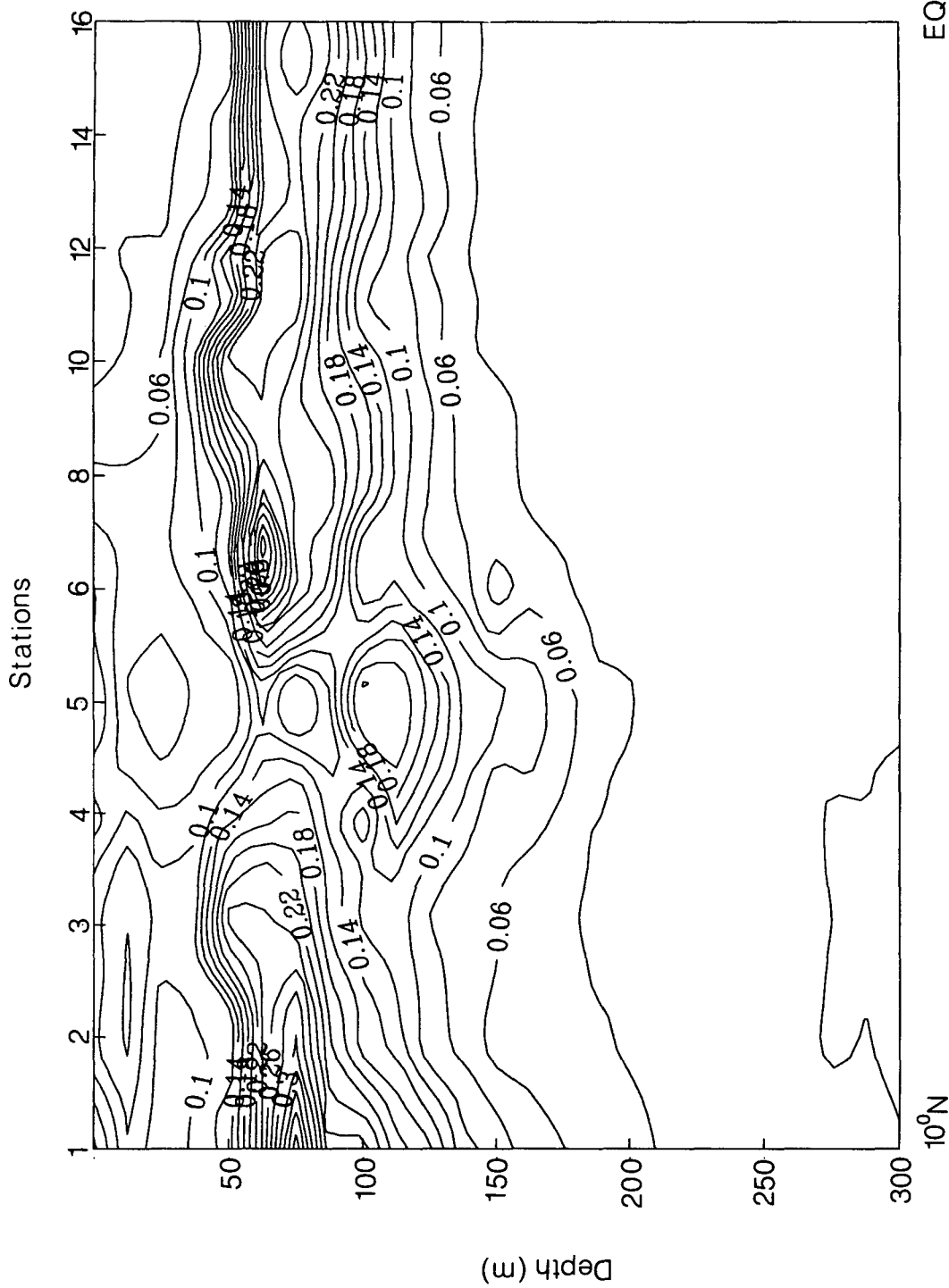


fig50continued



EQ

Figure 51. Vertical distribution of chlorophyll for 300m depth.

1)에서 7도 (정점 4)로 갈수록 감소하였으며 북위 4도 30분 (정점 7)에서 최대 농도를 보이고 북위 4도 (정점 8)에서 적도 (정점 16)까지는 비슷한 농도를 유지하였다. 1992년 12월의 경우 최대의 DCM은 정점 2와 정점 9, 10에서 나타났으므로 4월에는 DCM의 핵이 북상한 것으로 보인다.

북위 2도 동경 137도에서 상층 300m까지의 수심층에 대하여 1994년 4월30일 오전 9시 부터 5월 1일 오전 5시 까지 4시간 간격으로 엽록소 농도의 변화를 관측하였다. 시간에 따른 DCM층의 엽록소 농도는  $0.3\sim 0.4\mu\text{g}/\ell$ 의 범위로 별다른 변화를 보이지 않았지만 DCM층은 태양광이 가장 강했던 13시에 약 75m 부근에 위치해 있다가 시간경과와 함께 상승하기 시작하여 새벽 1시에는 60m에 위치하여 하루에 대략 15m의 변화를 보였다 (그림 52).

정점 6과 14에서의 배양결과를 토대로 한 광도에 따른 광합성량의 변화는 그림 53과 같다. 생산력 지수 (productivity index)는  $1.0\sim >11.0$  이었고 정점 6이 표층, 저층 다 정점 14 보다 높았다. 정점 6의 경우 배양기간 동안의 총 광량이  $I_k$ 에 도달하지 못하여 표층 시료에 배양에서는 포화점을 볼 수 없었으나 100m 시료 배양에서는 포화광도가 대략  $90\sim 130\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  이었다. 정점 14의 경우 표층 시료 배양의 포화 광도는  $1,100\sim 1,300\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 높은 광도에 적용되어 있었다. 75m 시료 배양에서는 포화광도가  $370\sim 460\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 나타났다. 정점 6의 100m 시료가 정점 14의 70m 시료 보다 포화광도가 훨씬 낮았으나 생산력 지수는 더 높은 것과 전체적으로 정점 6의 생산력 지수가 더 높은 이유를 밝히기 위해 각 정점의 식물플랑크톤 종 구성과 관계하여 분석이 되어야 할 것이다.

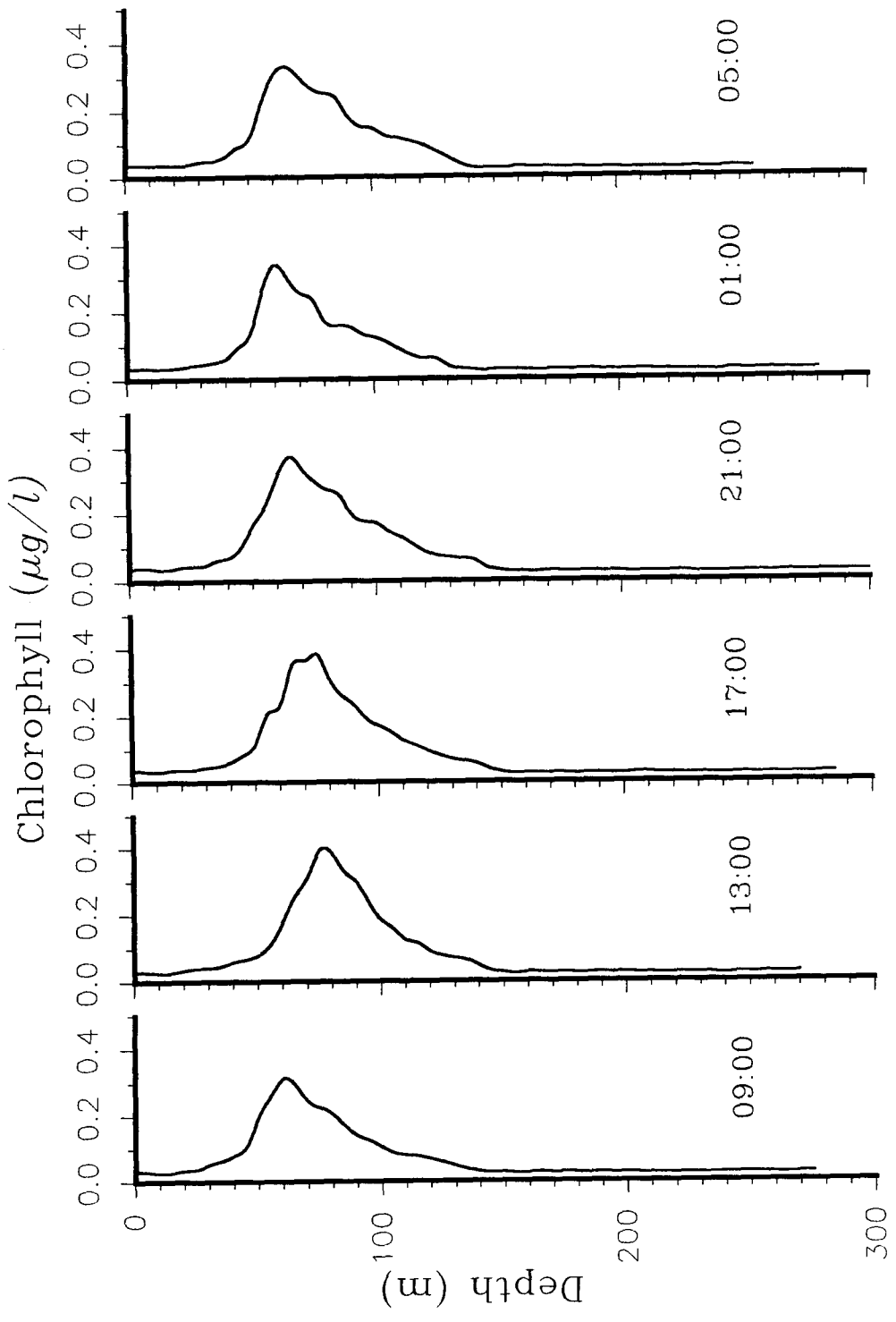


Figure 52. Time variation of chlorophyll.

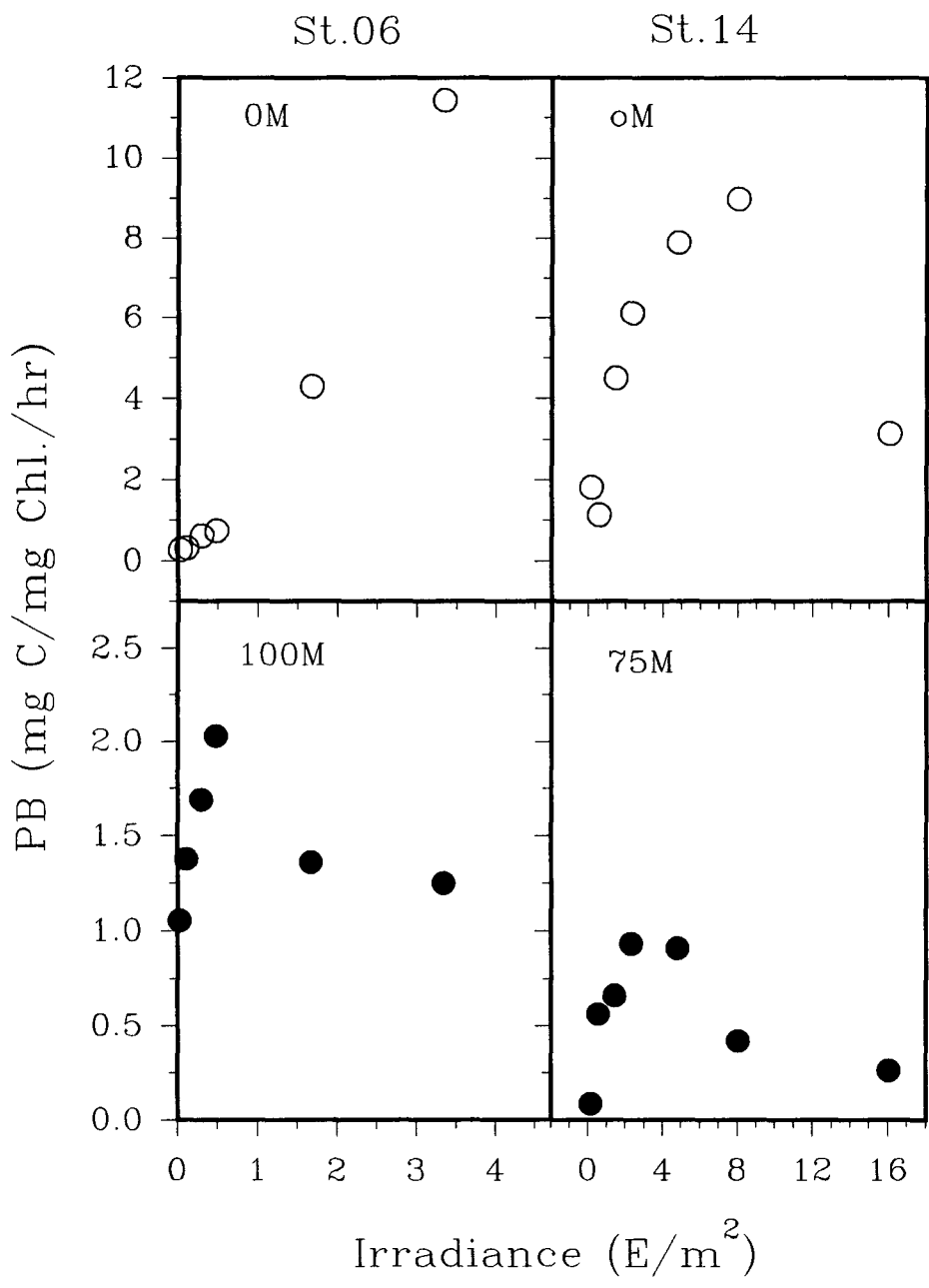


Figure 53. Carbon assimilation rate (mg C/mg chl./hr) and light intensity (E/m<sup>2</sup>)

Table 2. primary productivity with 12hr. and 24hr. incubation at each stations.

Station	mg C/m <sup>3</sup> /12hr.	mg C/m <sup>3</sup> /24hr.
A	2.33	0.63
B	1.88	1.34
C	1.88	1.81
5	5.42	4.35
8	0.94	0.65

12시간, 24시간 배양의 결과는 유감스럽게 일관된 양상을 보여 주지 않았다 (표 2). Eppely and Sharp (1975)는 적도 태평양 해역에서 47%의 암호흡을 보고 하고 있으나 본 조사에서는 3~72%의 큰 편차를 보였다. 극단적인 값을 제외하면 19.7%, 28.7%, 30.8%로 비교적 낮은 값을 보였으나 배양실험의 문제에 의한 인위적 오차일 가능성도 배제 할 수 없다. PAR의 일주기 변화는 그림 54와 같이 이 지역의 일기 변화는 심하여 9일간에 걸쳐 측정된 일 PAR의 범위는 큰 폭을 보였다. (표 3)



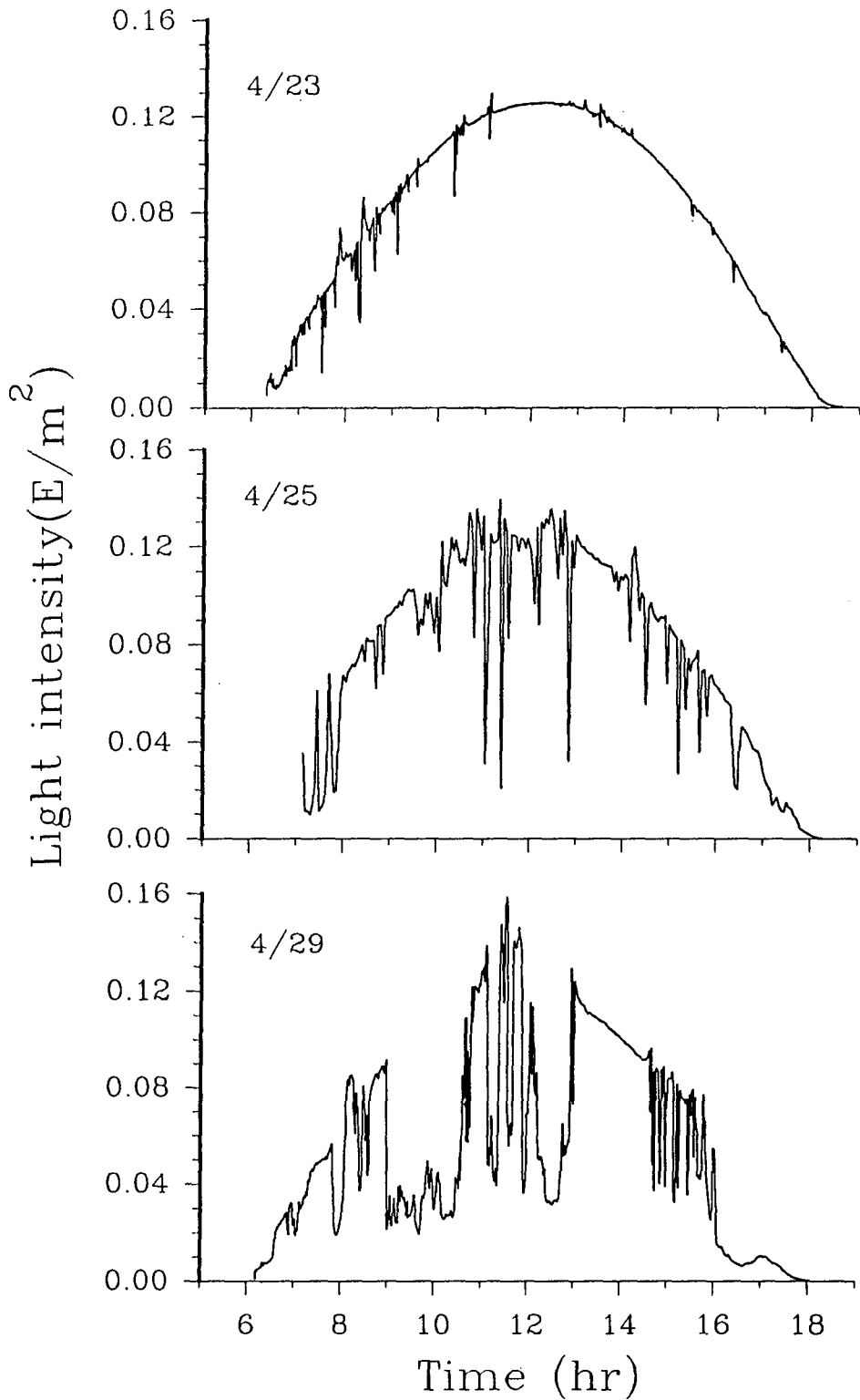


Figure 54. Diurnal variation of PAR (E/m<sup>2</sup>) during cruise periods.

Table3. Light intensity of sea surface

Date	Light Intensity (E/m <sup>2</sup> )
4/21	20.99
4/22	53.48
4/23	58.10
4/24	50.87
4/25	56.76
4/27	28.54
4/28	36.78
4/30	30.75
Mean	41.63

## 제 4 절 고찰

중앙 대순환 (central gyre)은 대양역 표면적의 41%를 차지하나 일차 생산력에 대한 자료는 적으며 이에 따르면 대개  $100\sim 200\text{ mgC m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 의 범위를 가진다 (Marra and Heinemann, 1987). DCM은 전통적 정의에 의한 진광대 (표층 광량의 1%인 수심) 보다 훨씬 밑에 있더라도 양의 순생산력을 가지는 것으로 보고 되었다 (Anderson, 1969; Kieffer *et al.*, 1976).

이들 조사에서 DCM의 순일차생산력은 물기둥 전체의 15~30%까지 되는 것으로 추정되었다. 때로는 이에 의해 물기둥 내의 일차생산력의 제 2의 최대층을 형성하기도 한다.

생산력 지수 (productivity index)는 1.0에서 11.0 이하의 넓은 범위를

보였다. 북태평양의 중앙 대순환에서 조사된 68년~85년간의 자료의 평균치는 약 5 였다.

이 조사의 연구 결과를 다른 조사 결과와 직접 비교하기에는 여러 가지 오차요인이 있었다. 이러한 오차요인은 아래와 같으며 차기 조사시 충분히 검토, 반영되어야 할 것이다. 탄소동화 배양을 위한 시료를 채취할 때 청정법 (Fitzwater *et el*, 1982)을 쓰지 않았는데 이에 의한 오차는 불확실하다. 따라서 이 조사의 결과는 최저치일 수 있다.

정점 6의 배양실험은 4월 27일 오후 2시 30분에서 5시 30분까지 약 3시간 지속 되었으며 정점 14의 배양실험은 4월 29일 오전 11시 30분~오후 2시 30분까지 배양하였다. 정점 6의 배양실험이 실시되는 동안 광도는 다른 날에 비해 매우 낮았으며 (표 3) 배양시간 또한 광도가 감소하는 오후 늦게 이루어져서 표층 시료의 배양에서 광 포화점을 볼 수 없었다. 전체적으로 낮은 광도에서 배양된 정점 6의 생산력 지수가 정점 14보다 더 높게 나타났다. Malone (1971)에 의하면 열대역에서는 오전과 오후의 탄소동화율이 다른 것으로 나타났다. 플랑크톤의 순동화율은 오후가 더 높았으며, nannoplankton의 동화율은 영양염이 제한된 곳에서는 오전에 제한되지 않았을 때는 오후에 더 높았다.

또 다른 오차는 암호흡의 추정이 매우 큰 편차 (3~72%)를 보였다는 것이다. 에너지 흐름의 관점에서 동화율 추정의 궁극적 목표는 순일차생산력이라고 볼 수 있다. 이 때 암호흡의 추정이 필요하며 24시간 배양을 해야한다. Eppley and Sharp (1975)에 따르면 태평양 중앙대순환에서는 암

호흡이 최대 약 50%에 이르렀다. 이 연구에서 암호흡의 극단적인 값을 제외하면 약 20~31%로 비교적 낮은 값을 보였으나 배양실험이라는 인위적인 오차의 가능성을 배제 할 수 없다.

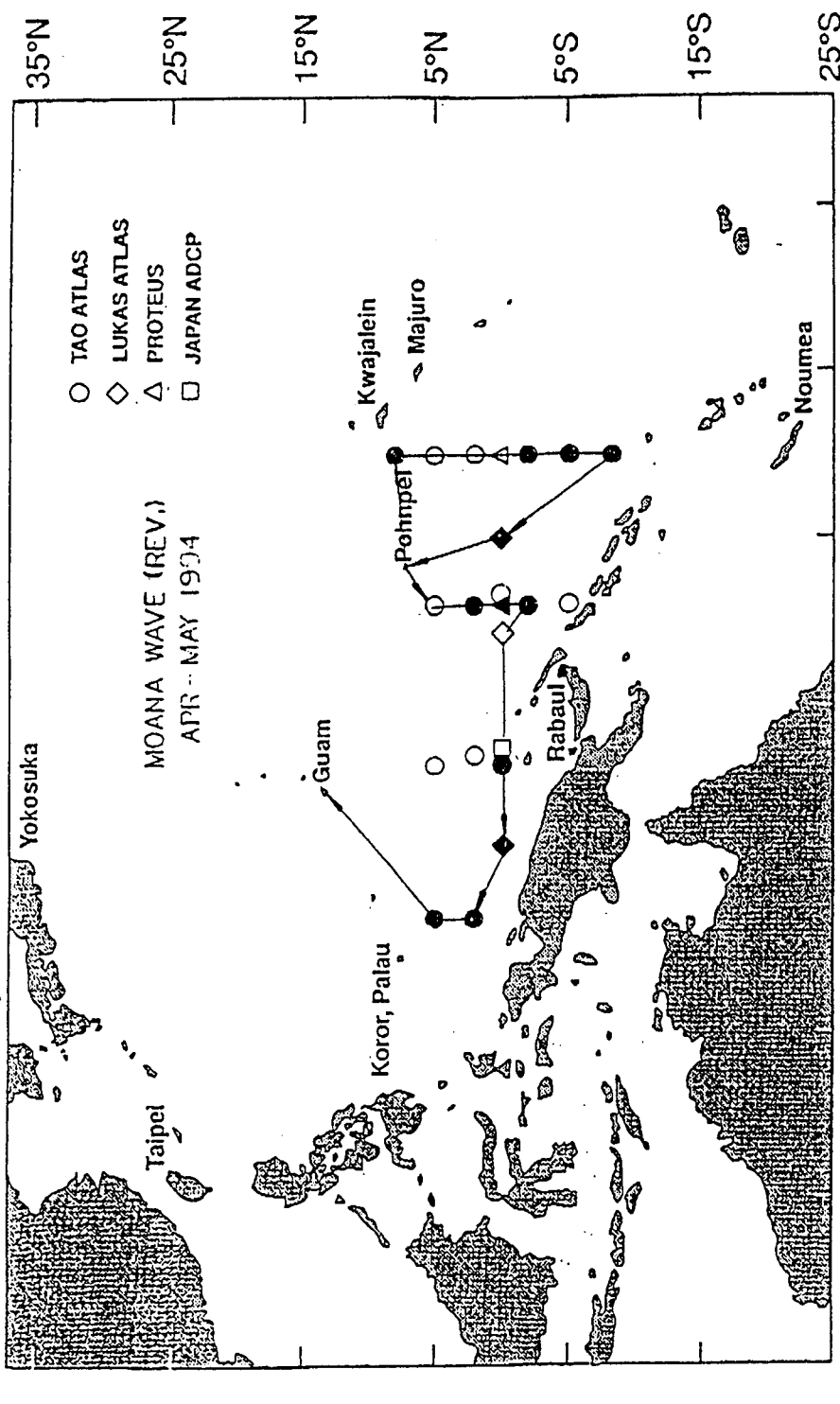
# 제 5 장 COARE-EQ3 현장 조사

## 제 1 절 개 요

열대 서태평양의 해수특성을 조사하는 TOGA-COARE의 EQ-3 항해가 1992년 4월 11일부터 5월 12일까지 동경 137도 - 동경 165도, 북위 8도 - 남위 8도에 이르는 적도를 중심으로 한 해역에서 실시되었다. 이 항해는 하와이대학 소속의 연구조사선 MOANA WAVE호(1,800톤급)으로 이루어졌다. 연구진은 하와이대학 4명, PMEL 4명, 러시아 2명, 그리고 우리나라에서 2명으로 총 12명이 참가하였는데 우리나라에서는 서울대학교와 기상연구소에서 각각 1명씩 참가하였다.

관측내용으로는 39개 정점에서 CTD관측이 실시하였다. 정점간 항해 중에는 조사선에 장착된 ADCP와 기상타워를 이용하여 해류자료와 기상자료를 획득하였다. 아울러, ATLAS부이를 운영하는 TOGA-TAO의 일환으로 12개의 정점에서 ATLAS부이의 회수, 설치 또는 수리가 COARE EQ-3 항해에서 이루어졌다 (그림 55).

# TAO Array 137°E/147°E and 156°E/165°E



110°E 120°E 130°E 140°E 150°E 160°E 170°E 180°W  
 25°S 15°S 5°S 5°N 15°N 25°N 35°N

Figure 55. TAO array recovered and deployed during COARE-EQ3

## 제 2 절 ATLAS부이

기후변화와 밀접한 관련을 맺고 있는 열대 태평양의 열구조와 표층바람을 현장에서 보다 정확하게 그리고 경제적으로 관측하기 위하여 ATLAS(Autonomous Temperature Line Acquisition System)부이가 미국 PMEL의 Hayes박사에 의해 고안되어 2개 지점에서 (북위 2도, 서경 108도와 남위 2도, 서경 110도) 1984년에 처음 설치되었다 (McPhaden, 1993). ATLAS부이의 구조는 그림 56과 같으며 관측된 수온, 바람, 습도, 강수량 등의 모든 자료는 ARGOS위성을 통하여 실시간으로 전송된다.

미국을 주축으로 일본, 프랑스, 대만, 한국 등이 참여하는 국제 연구 프로그램인 TOGA-TAO는 1994년 하반기까지 총 67개의 ATLAS 부이를 그림 57과 같이 설치하여 열대 태평양을 정기적이고 지속적으로 관측하도록 계획하고 있다. 이것은 열대태평양 전 해역에서 경도 10도, 위도 3도간격의 관측시스템을 구성하게 된다. 부이는 1년에 한 번씩 정기적으로 회수되어 기기 보수와 보정을 한 뒤 다시 설치된다. 1994년 5월 현재 63개의 부이가 설치되었다. 이 중에서 1994년 현재 우리나라는 동경 137도 경도선을 따라 북위 2도와 북위 5도에 부이를 운영하고 있으며, 1994년 하반기에는 북위 8도에 추가로 설치할 예정이다. TOGA-TAO는 열대태평양을 지속적으로 감시하여야 하는 당위성을 평가받아 1994년으로 마감하는 TOGA사업 이후에도 지속될 것이다 (National Research Council, 1994).

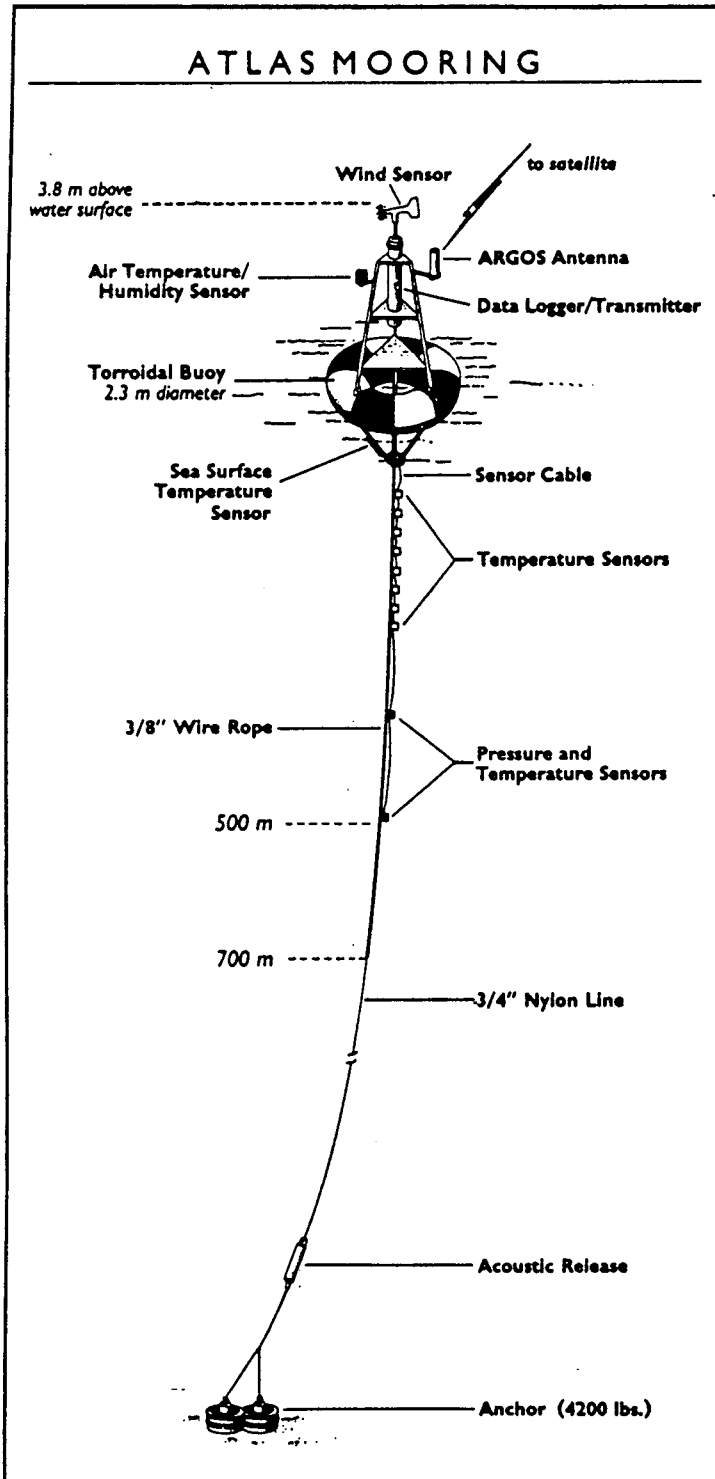


Figure 56. Schematic diagram of ATLAS buoy after Hayes et al.(1991)



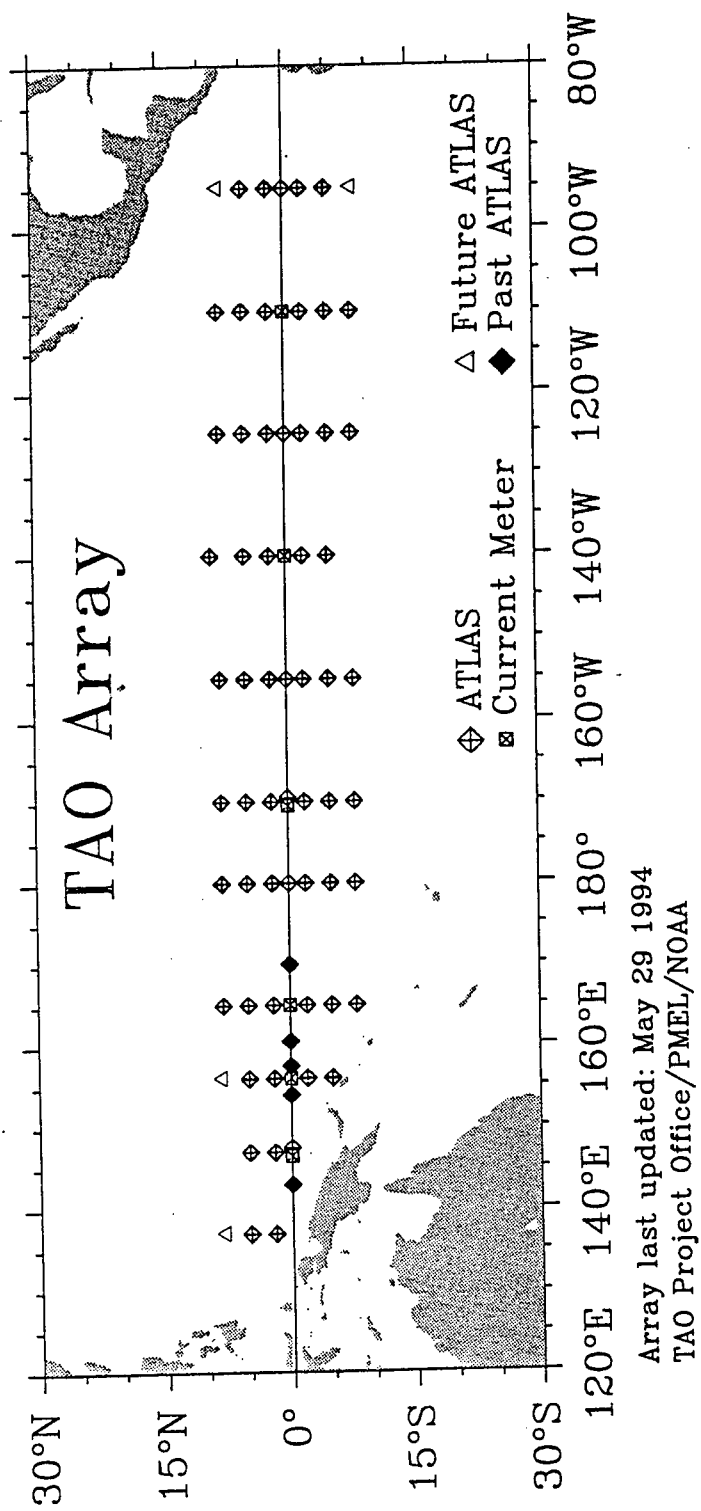


Figure 57. Configuration of TOGA-TAO array

### 제 3 절 CTD 관측결과

모든 정점에서 관측된 자료의 수온-염분 상관도(그림 58)는 이 해역에 존재하는 몇 개의 수괴를 잘 보여주고 있다. 약 29℃의 표층수의 염분은 정점에 따라 약 33.5‰에서 35.0‰까지 큰 변화를 보인다. 35.5‰이상의 고염수는 남반구에서 기원하는 남태평양열대수(SPTW: South Pacific Tropical Water)로 생각된다. 염분최소의 특성을 보이는 중층수는 수온과 염분이 각각 약 5℃, 34.5‰이다. 그 아래의 심층수는 수온 약 1.4℃, 염분 약 34.7‰의 특성을 갖는다.

관측된 여러 개의 단면 중 남위 8도에서 북위 8도까지 관측이 이루어져 남북으로 가장 긴 관측선이 형성된 동경 165도 관측단면을 택하여 수온, 염분 그리고 ADCP 관측결과를 살펴보았다. 전 수심층에 걸쳐 남반구의 수온이 북반구보다 더 높다(그림 59). 염분(그림 60)은 수온에 비해 더 복잡한 분포를 한다. 표층은 남위 2도부터 북위 3도까지 적도부근을 제외하고는 34.5‰이하의 저염수가 존재한다. 남반구의 염분이 북반구의 염분보다 전체적으로 높으며 가장 고염수는 남위 6도의 수심 150m부근에서 발견되는 약 36.0‰의 해수이다.

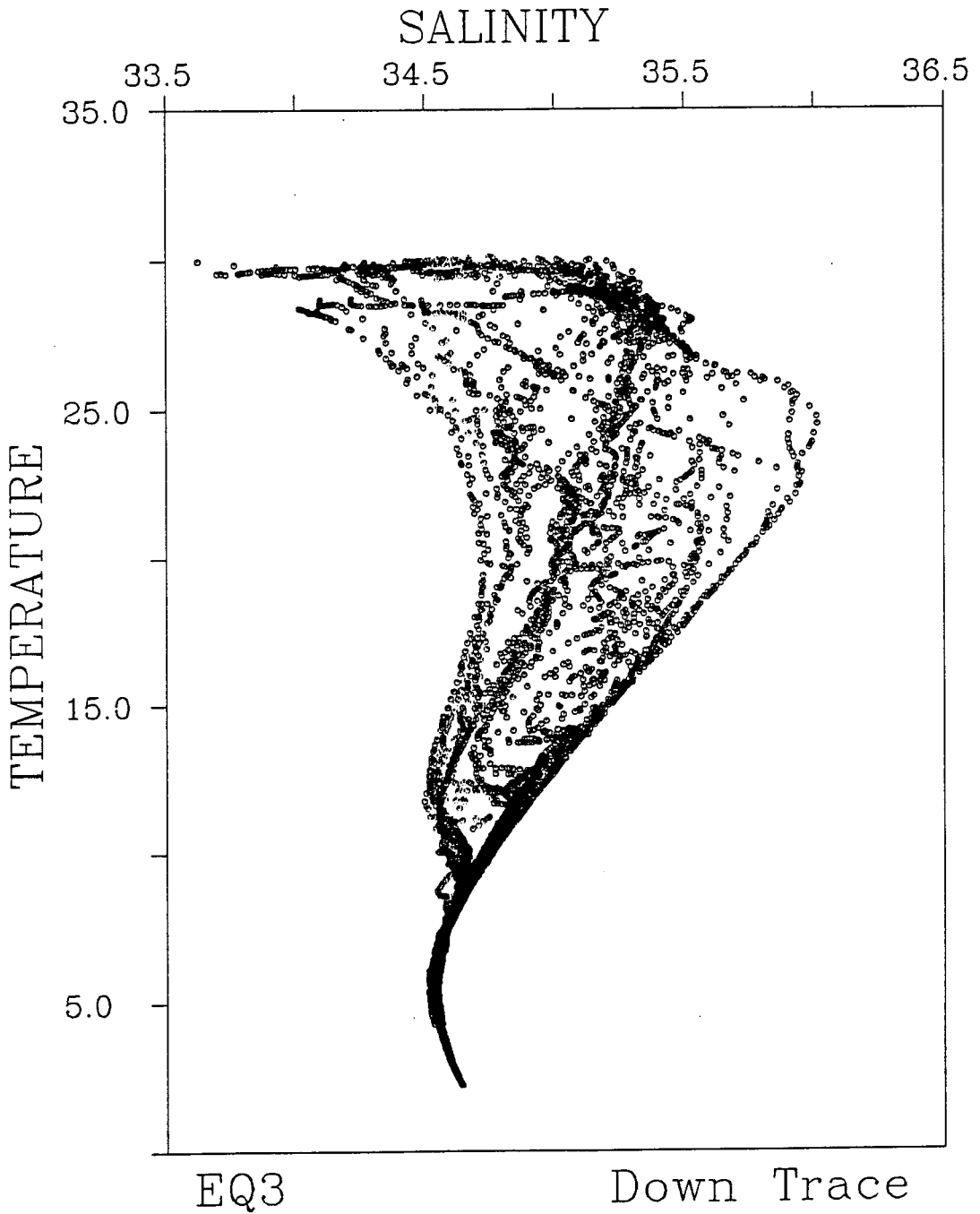


Figure 58. T-S diagram for all CTD data taken during COARE-EQ3

EQ-3 Temperature (C) 165E

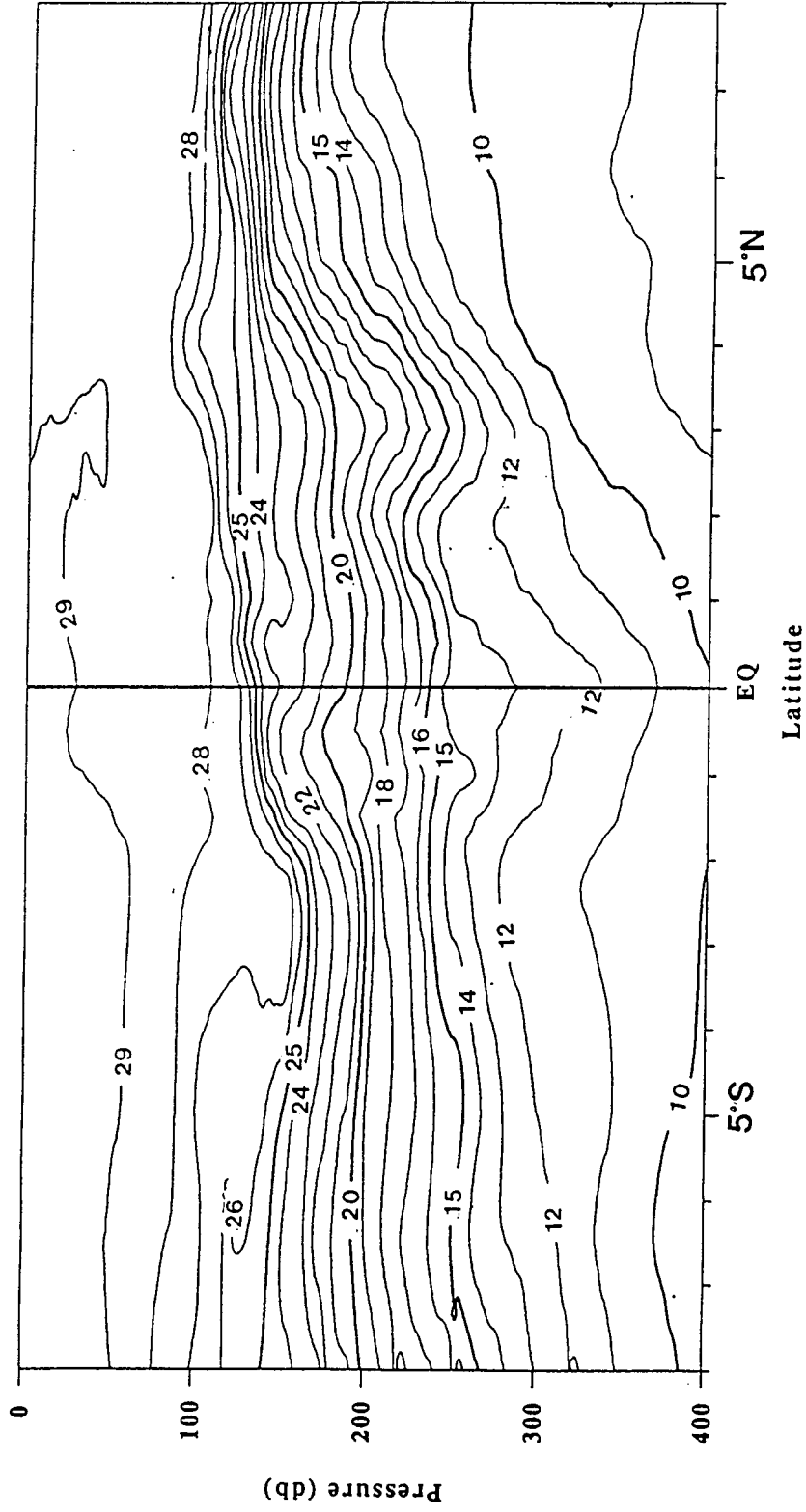


Figure 59. Vertical distribution of temperature along 165° E

EQ-3 Salinity (psu) 165E

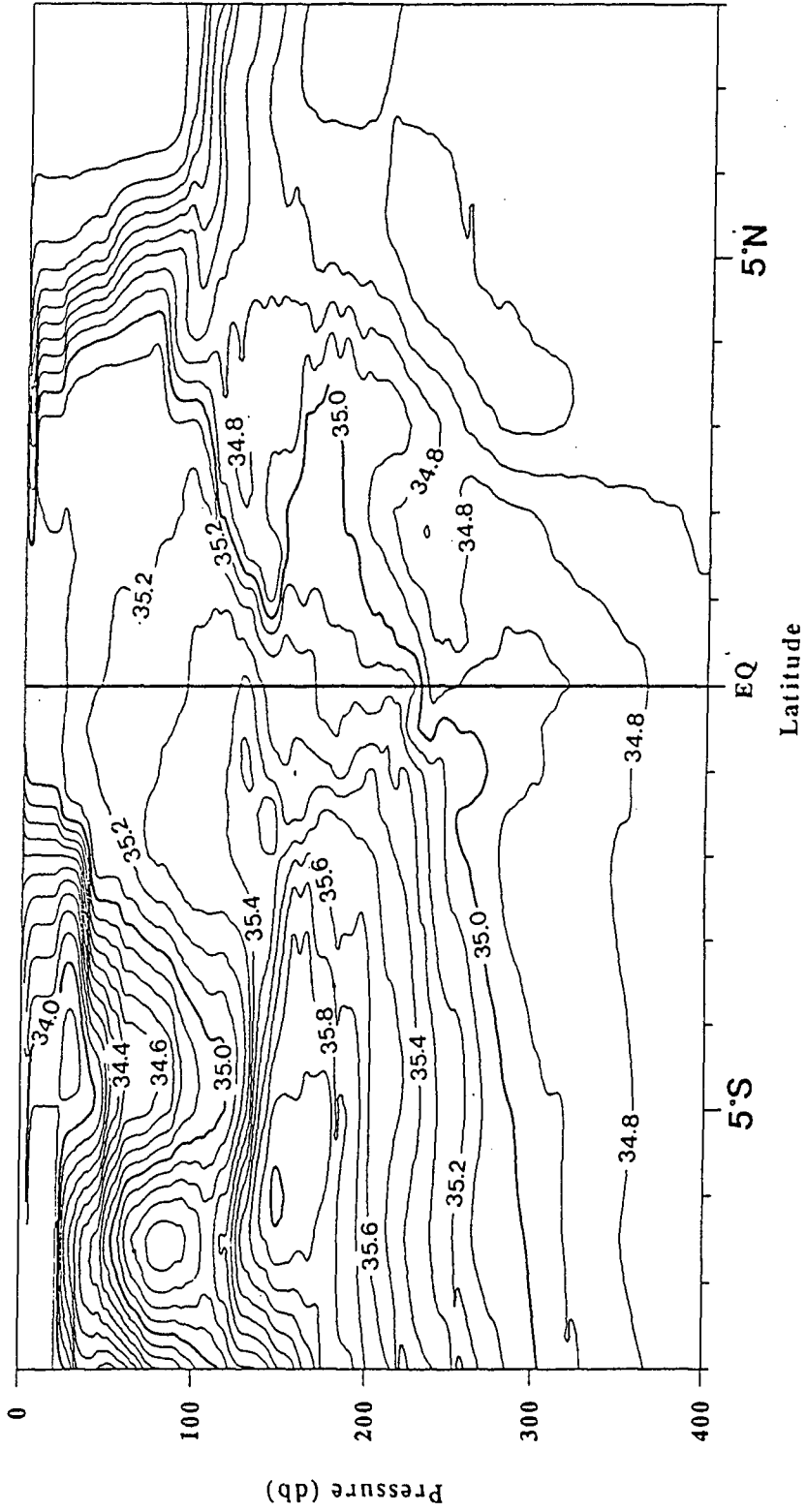


Figure 60. Vertical distribution of salinity along 165° E

## 제 4 절 ADCP 관측결과

그림 61은 수심 75m부터 125m까지의 ADCP관측결과를 수직적으로 평균한 값이다. 적도부근과 북위 5도 부근의 10-40 cm/sec의 동향류는 각각 크로웰해류(Cromwell Current/ Equatorial Undercurrent)와 적도반류(Equatorial Countercurrent)로 생각되며, 남위 2도 이남의 10-20 cm/sec의 서향류는 남적도해류(South Equatorial Current)로 생각된다. 북적도해류(North Equatorial Current)는 북위 7도 이북의 해역에 서향류로 존재하리라고 생각된다.

# MW9411/COARE-EQ3

April 12 to 19, 1994  
Layer: 75m to 125m

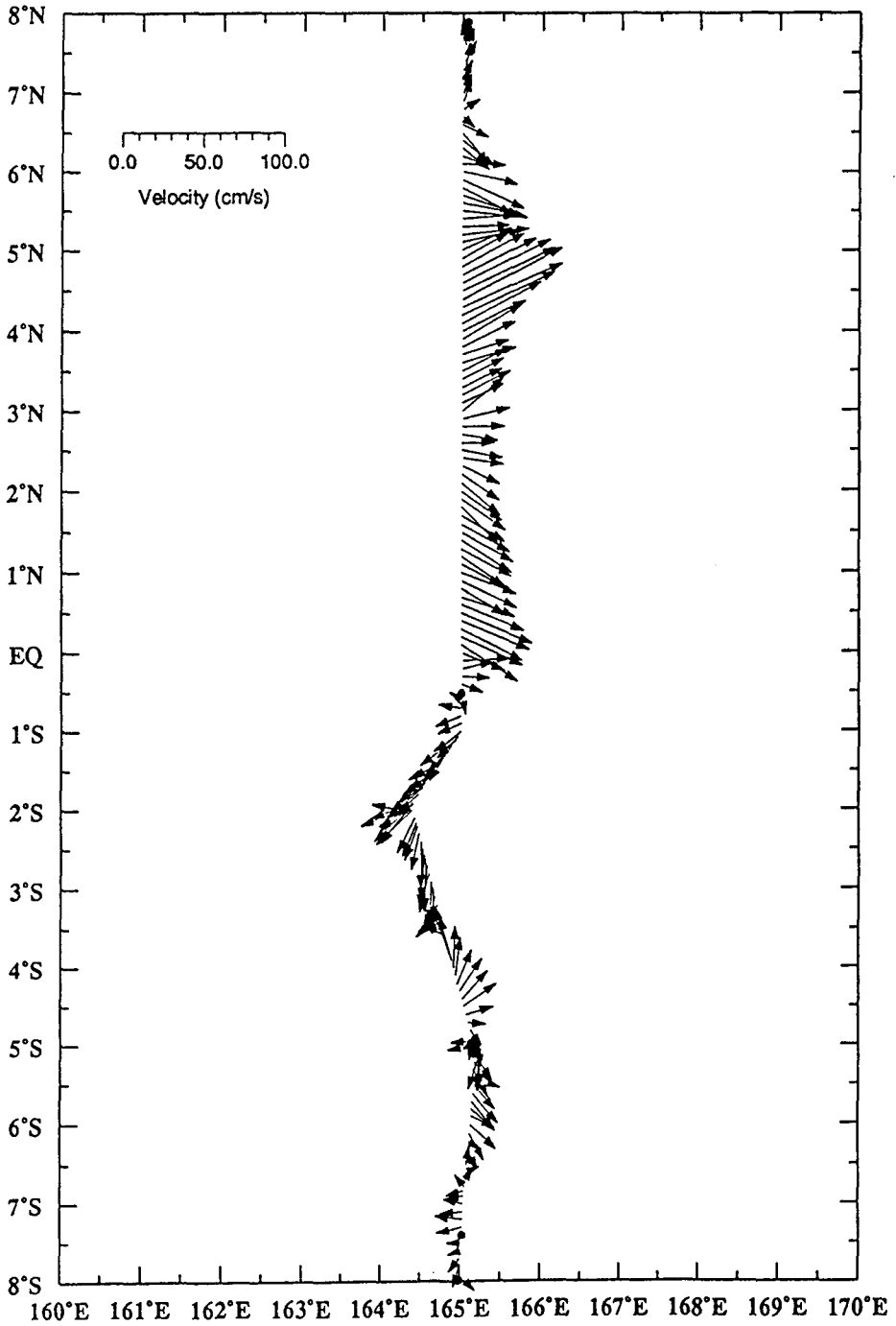


Figure 61. Averaged Current from 75m to 125m depth along 165°E

# 제 6 장 TAO 자료 수집 및 분석

## 제 1 절 자료정리

TOGA-TAO 자료는 NOAA/PMEL에서 운영하는 Anonymous FTP site로부터 INTERNET을 통해 얻을 수 있다. 본 연구에서는 위의 FTP site로부터 동경 180도 서쪽에 위치한 ATLAS부이에서 관측된 수심별 수온 자료를 받아 정리하였다.

설치기간이 가장 오래된 동경 165도의 경우 1985년부터 관측을 실시하였고 나머지 대부분의 경우는 최근 2-3년전부터 관측을 실시하였다. 현재 1994년 5월 31일까지의 자료가 확보된 상태이며 아스키 형태로 저장되어 있다. 각 부이의 관측 깊이에 따른 자료의 존재 여부는 부록2에 정리하였다. 표층부터 500m까지 설치된 13~17개의 수온센서에 의해 관측이 실시되고 있다.

## 제 2 절 역학적 심도

역학적 심도를 구하기 위해서는 먼저 수온, 염분, 수압으로부터 수심별 체적비 편차(specific volume anomaly)를 계산하여야 한다. 그러나 부이에서는 수온만 얻어지므로, 특정수심의 수온자료만으로 체적비 편차를 구하



기 위해 우선 수온과 체적비 편차의 관계를 알아야 한다. 여기서는 COARE EQ-3에서 수집된 CTD자료를 UNESCO 상관표를 이용하여 구한 체적비 편차와 수온과의 관계를 구했다. 그 결과 수온과 체적비 편차가 선형에 가까운 비례관계를 가짐을 알 수 있다(그림 62). 같은 수온에 대해 여러 개의 체적비 편차가 구해지는데 여기에서는 이들을 평균한 값을 이용하였다. 이러한 관계를 이용하여 부이의 수온자료로부터 체적비 편차를 구하였다. 이렇게 계산된 체적비 편차는 염분의 영향이 고려되지 않았으므로 염분에 의한 오차가 있을 수 있다. 앞으로의 연구에서는 시간과 공간적으로 더 많은 수온 염분 자료를 확보하여, 수온과 체적비 편차의 관계를 구함으로써 이러한 오차를 줄여 나갈 수 있을 것으로 기대된다.

그림 63은 부이에서 얻어진 자료를 바탕으로 체계적으로 도면화하는 PMEL의 소프트웨어로 작성된 것이다. 우리나라가 운영하는 동경 137도 상의 2개의 부이에서 얻어진 자료를 이용하여 1993년 5월부터 1994년 1월(북위 5도 부이)과 3월(북위 2도 부이)까지 시간에 따른 바람, 역학적 심도 그리고 300m까지의 수온변화를 나타내고 있다. 바람의 경우 센서의 분실과 고장으로 인해 자료의 길이가 매우 짧다. 수심 50m 미만의 상층은 전체적으로 북위 5도의 수온이 높고 그 이상의 수심에서는 북위 2도의 수온이 높다. 북위 5도의 경우 대부분의 기간동안 수심 약 100m 부근에 8°C/50m의 수직변화율을 갖는 수온약층이 존재하는데 반해 북위 2도에서는 수온약층이 뚜렷하지 않다. 1993년 5월과 6월의 경우는 수온약층이 약해지며 북위 2도와 비슷한 구조를 갖는다. 1994년 1월에 다시 이와 비슷한 구조를 보이기 시작하는데 그 이후는 자료가 없어 이러한 현상이 주기적인 것인지에 대해서는 더 많은 관측자료가 밝혀줄 것이다. 북위 2도의 경우 역학적 심도가 약 120cm에서 140cm까지의 변화를 보이고 북위 5도의 경우 북위 2도 보다

약 20cm 낮은 100cm에서 120cm의 변화를 보인다. 고온수가 많은 1993년 5월과 6월에는 120cm의 값을 나타내고 있어 해양내부의 수온구조를 잘 표현한다.

그림 64는 동경 165도를 따라 남위 5도에서 북위 8도까지 역학적 심도의 시간별 변화를 나타낸다. 남위 5도에서 가장 높고 북위 8도에서 가장 낮으며 전체적으로 남쪽이 북쪽에 비해 낮다. 남북의 차이가 큰 해와 작은 해로 나누어 볼 수 있는데 1990, 1991, 1994년은 남북간의 차이가 최대 50cm 이상으로 매우 크며 1987, 1992, 1993년은 그 차이가 최대 20cm 이하로 매우 작다. 남북간의 차이가 작은 시기는 그림 66에서 보게 될 엘리뇨 기간과 일치한다. 그림 65는 이들 자료를 이용하여 구한 스펙트럼이다. 적도에서 약 50일과 75일에 peak가 보이며 50일 주기의 peak는 크기의 차이는 있으나 대부분 관측지점에서 나타난다. 전체적으로 볼 때, 남쪽으로 갈수록 10일 이하 짧은 주기의 에너지가 크다. 이들에 대한 자세한 분석은 현재 계속 진행중이다.

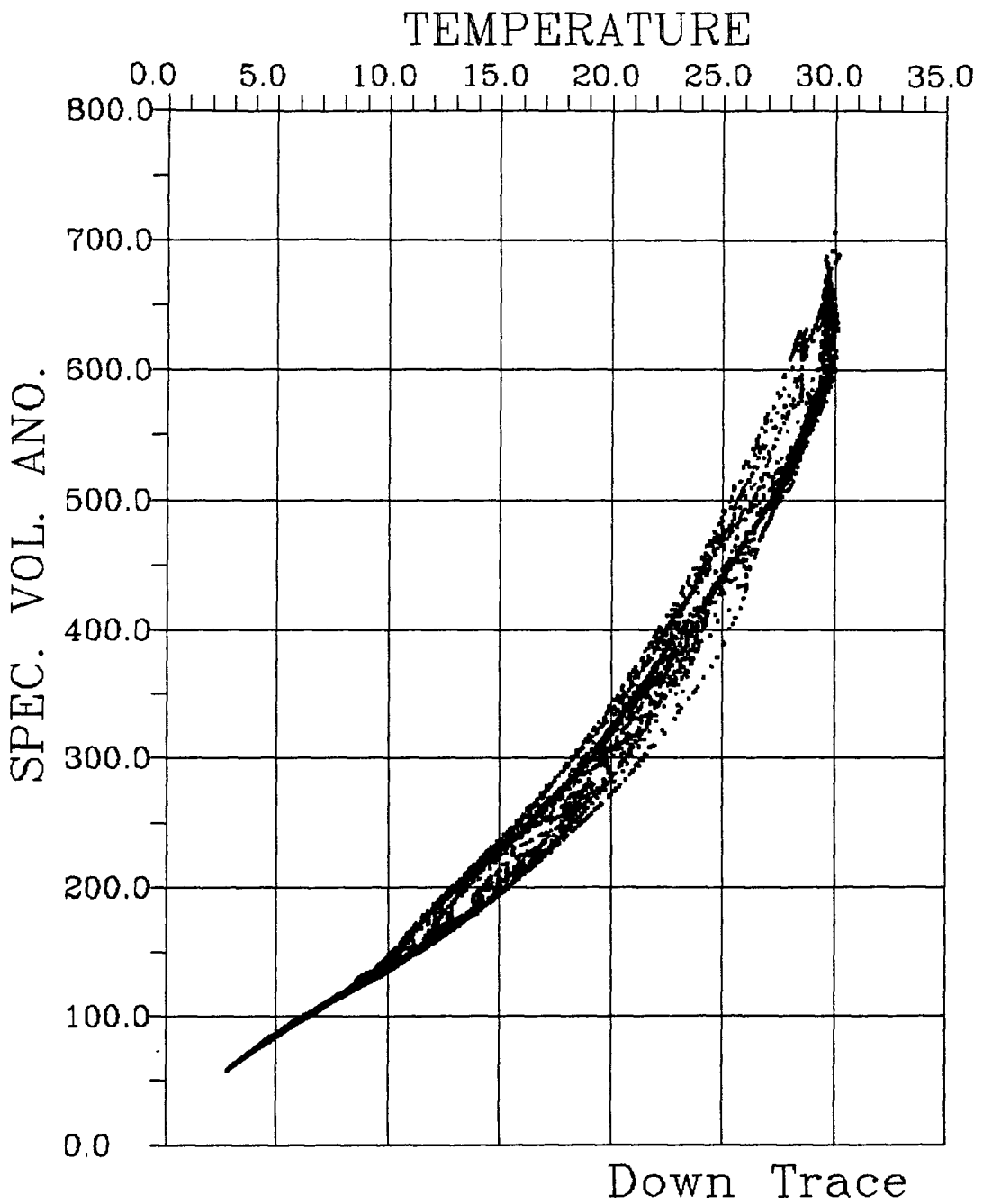
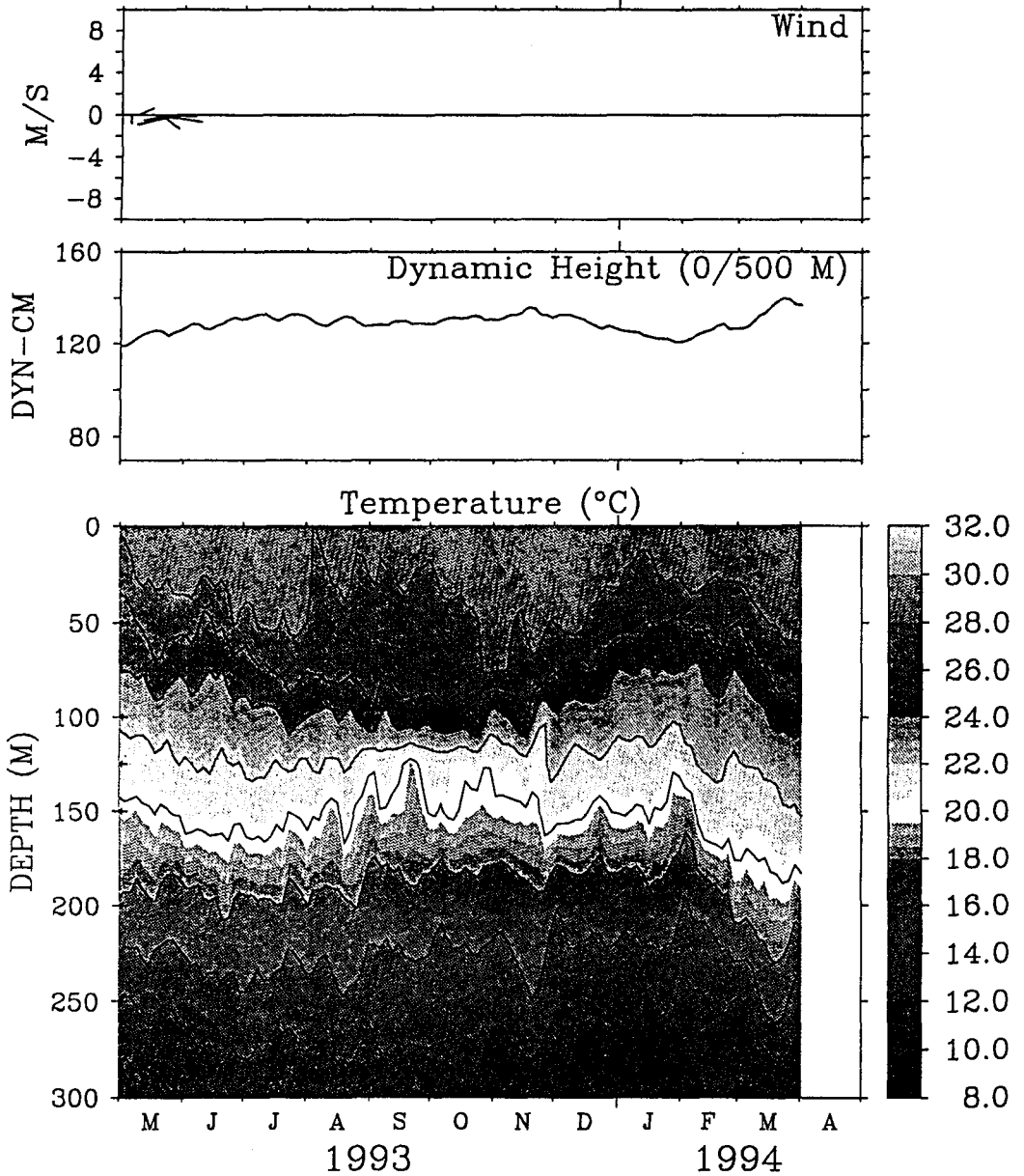


Figure 62. Relationship between temperature and specific volume anomaly

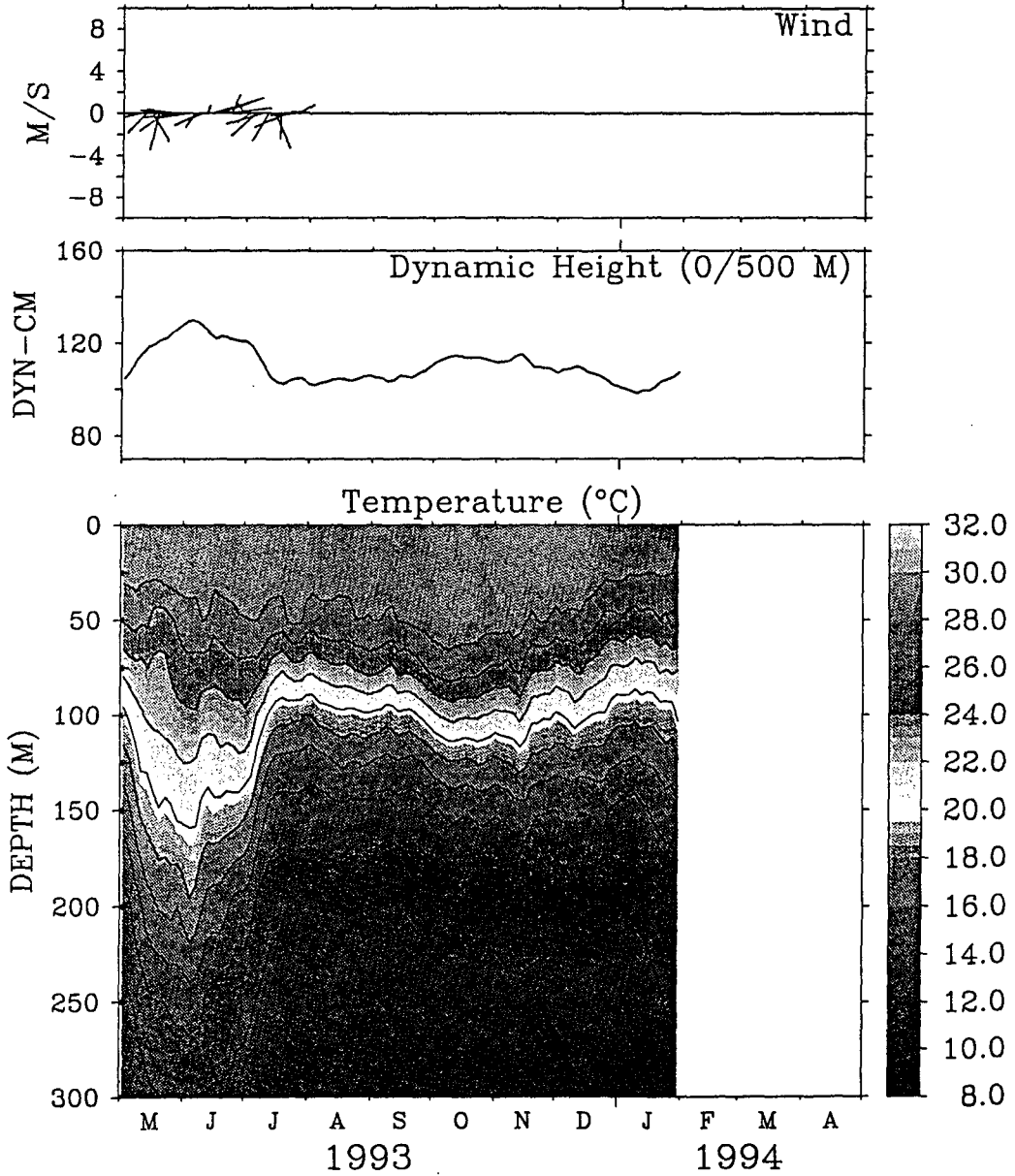
2N 137E  
Hanning Filtered (Five Day Width)  
(2° 0.0N 137° 0.0E)



TAO Project Office/NOAA/PMEL

Figure 63a. Time series of the wind, dynamic height and subsurface temperature obtained from Korean buoy at 137° E, 2° N. Contour interval for ocean temperature is 2°C

5N 137E  
Hanning Filtered (Five Day Width)  
(5° 0.0N 137° 0.0E)



TAO Project Office/NOAA/PMEL

Figure 63b. Time series of the wind, dynamic height and subsurface temperature obtained from Korean buoy at 137° E, 5° N. Contour interval for ocean temperature is 2°C

# Dynamic Height Time Series

## 165E lines (8°N-5°S)

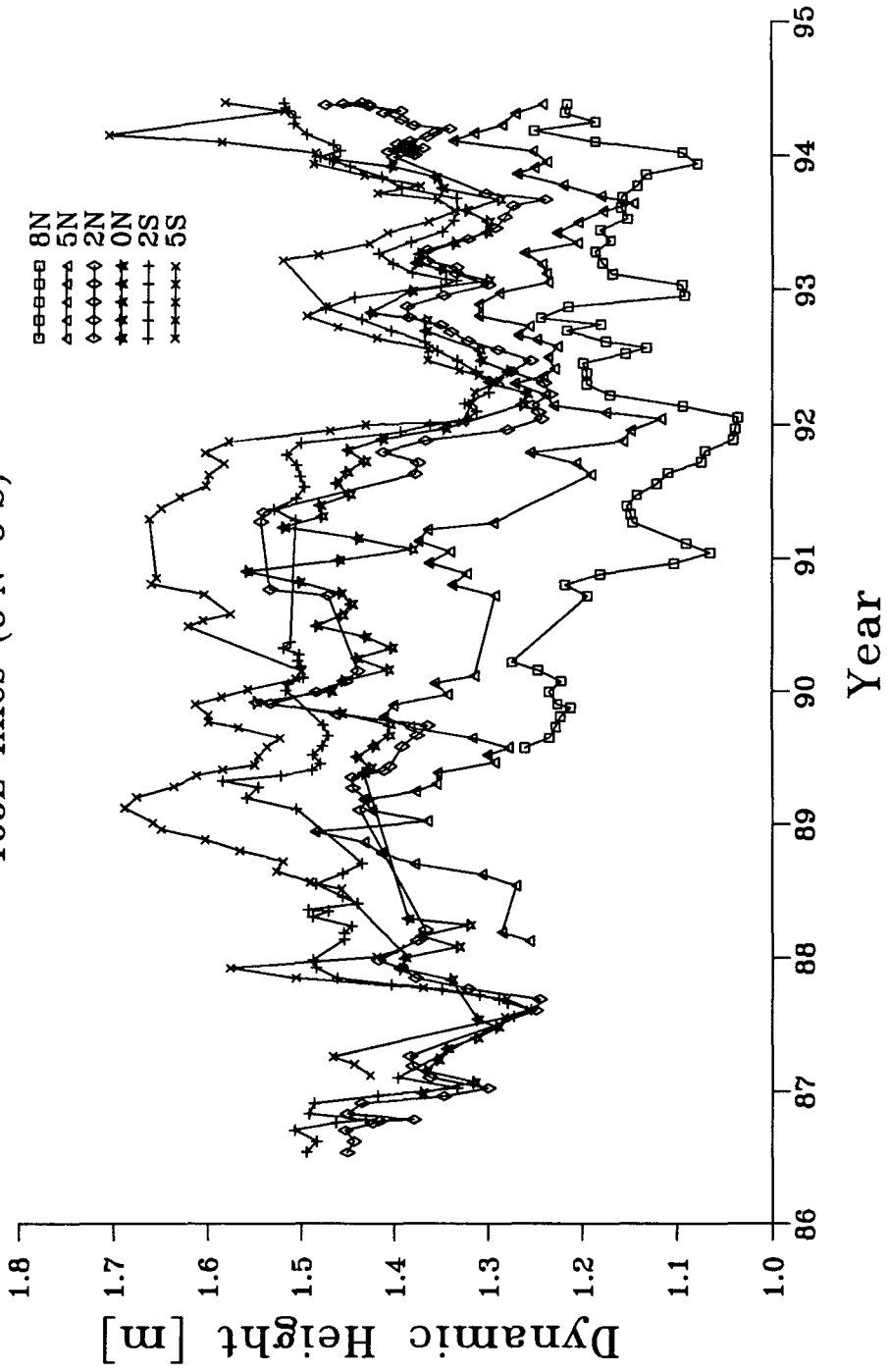


Figure 64. Time series of the dynamic height along 165° E

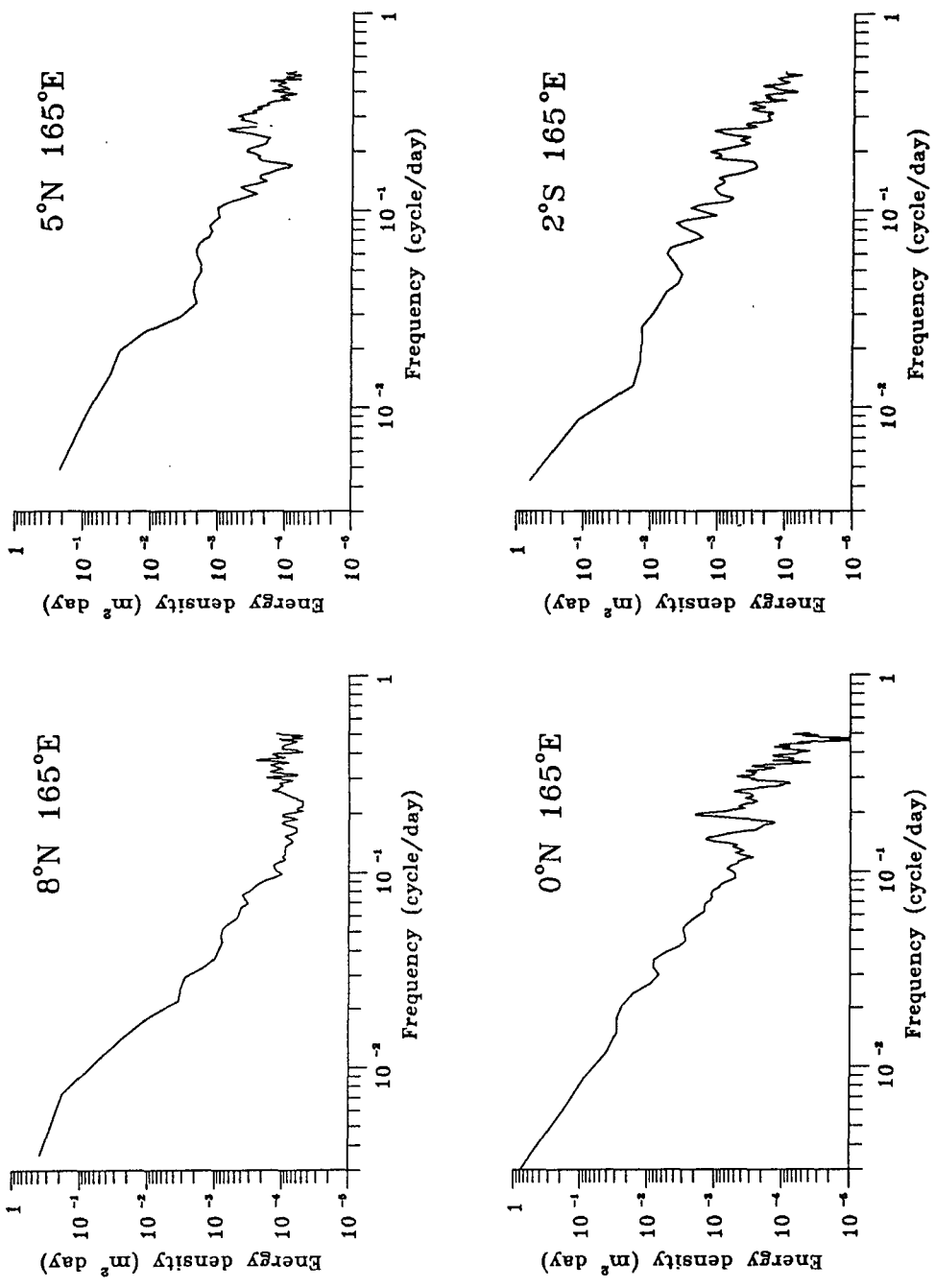


Figure 65. Power spectrum of dynamic height along 165° E

### 제 3 절 표층수온과 바람의 연변화

TAO자료 중 가장 중요한 관심의 대상 중 하나는 엘니뇨와 밀접한 관련이 있는 표층수온과 바람의 연변화이다. 그림 66은 1987년부터 최근까지 TAO로부터 얻어진 자료를 이용하여 남위 2도에서 북위 2도까지 동서 방향의 바람과 표층수온의 연평균에 대한 편차를 나타냈다. 1980년대 엘니뇨기간은 1982-1983년과 1986-1987년으로 알려져 왔으나 TAO자료가 1987년부터 넓은 범위에서 본격적으로 수집되었으므로 이전의 현상에 대해서는 알 수 없고 1987년의 경우 바람은 동경 170도 부근의 서태평양에서 4m/sec 이상의 동쪽방향으로의 편차를 보이고 있는데 이는 무역풍의 약화를 의미하며 같은 시기에 표층수온은 예년에 비하여 1°C이상 상승하였다.

90년대 들어서는 91년 중반부터 92년 중반까지 바람이 양의 편차를 보이는데 이는 동시에 표층수온이 예년에 비하여 2°C이상 상승하는 시기와 일치한다. 92년 중반이후는 바람과 표층수온이 예년의 값에 가까워지다 93년에 들어서는 다시 양의 값을 보이는데 이러한 양의 값을 보이는 91년부터 93년까지를 Mcphaden(1993)은 91-93 엘니뇨라고 하였다.

이와는 반대로 1988년의 경우는 바람과 표층수온 모두 최대 2이상의 음의 편차를 보이는 라니나(La Nina)기간이다. 94년의 경우, 91-93의 엘니뇨가 완전히 사라지고 바람과 표층수온은 오히려 음의 편차를 보인다. 서태평양의 경우 0.5°C이상의 양의 편차를 보인다. 이러한 현상은 91-93기간 동안에는 나타나지 않았던 현상으로 서태평양의 열의 축적을 시사한다.



# Monthly Mean Zonal Wind and SST at the Equator

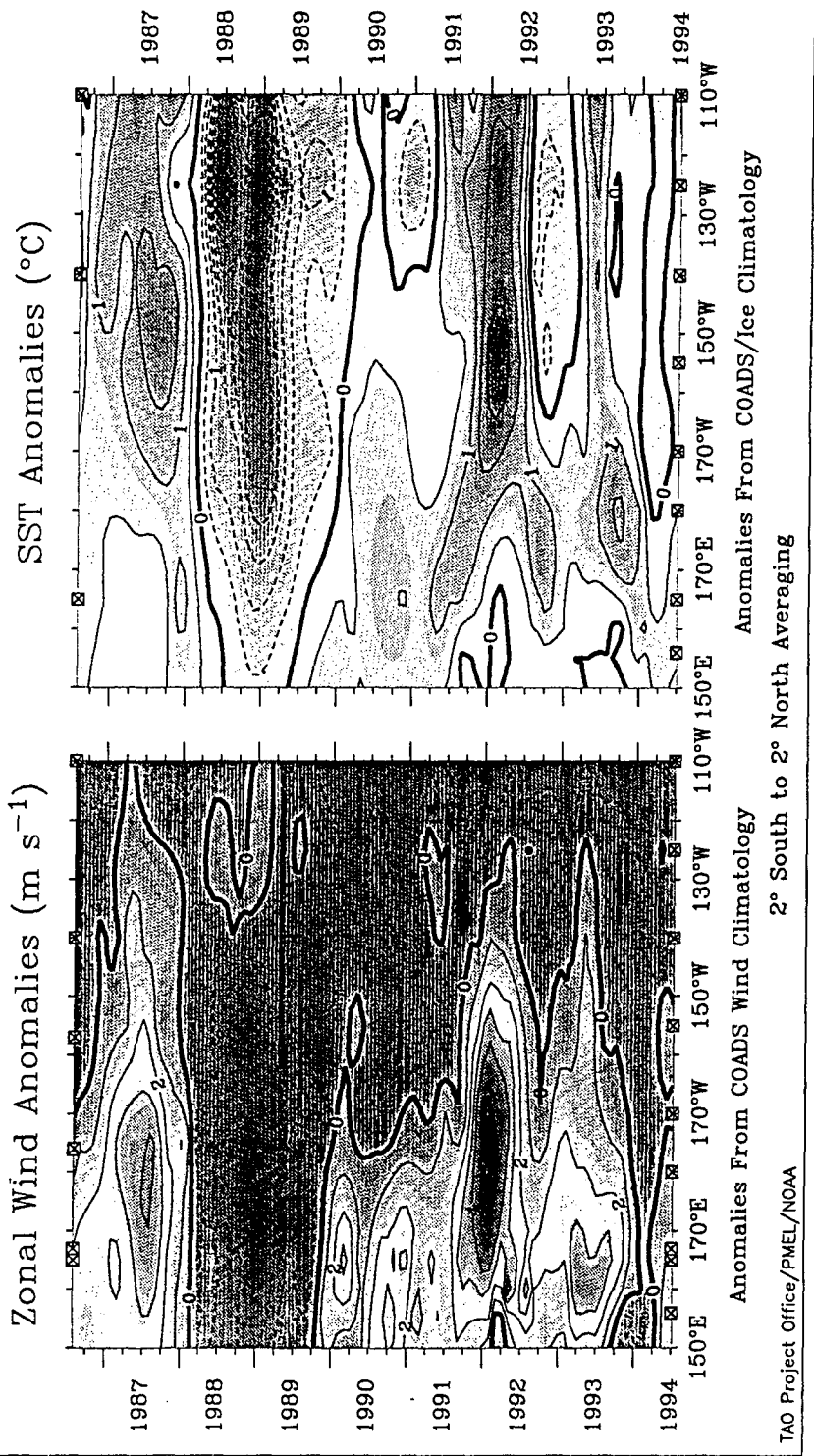


Figure 66. Monthly mean anomalies of a) zonal winds ( $\text{m/sec}$ ) and b) SST ( $^{\circ}\text{C}$ ) averaged between  $2^{\circ}\text{N}$  and  $2^{\circ}\text{S}$ . Contour interval is  $1 \text{ m/sec}$  in a) and  $0.5^{\circ}\text{C}$  in b)

# 제 7 장 국가대양관측계획의 구성

## 제 1 절 지구화(Globalization) 추세의 현실

미국과 소련으로 대치되었던 양극의 논리는 1990년대에 들어 미국이 경제적 우위를 무기로 소련을 무차별 공격하고 항복받아 급속히 붕괴되었다. EU, NAFTA, ASEAN 등으로 대표되는 지역분할도 한시적이지 결국은 지구 전체가 한 덩어리로 경쟁하는 질서가 예상된다. UR을 신호로 GR, TR 등으로 새롭게 정립되고 있는 국제 질서를 통하여 적자생존의 원칙은 재확인될 전망이다.

걸프전쟁을 보는 시각은 제각기 다를 수 있으나, war-game을 연상하게 하는 것으로 엄청나게 바뀐 그 속성을 우리는 체험하였다. 기술우위를 바탕으로 앞선 정보가 모든 것을 좌우한 것이다. 이것은 모든 분야에서 미래의 경쟁 형태가 어떻게 바뀔 것인가를 시사하고 있다 하겠다.

인류공영의 차원에서 지구환경변화에 세계가 공동으로 대처하려는 노력은 과학자들 사이에서 국경없이 논의되어 왔고 앞으로도 계속될 것이다. 그런데, 과연 순수하게 국경이 없을까? 설사 그렇다 하더라도, 기술과 정보가 지배하는 미래는 누구의 몫인가? 「가진 자」만의 것임에는 재론의 여지가 없을 것이다.

금년 11월에 발효될 유엔해양법은 신해양질서를 모색하는 계기가 될 것이다. 각 국가들은 자국의 관할해역을 배타적으로 관리할 것이고 인류 공

동의 자산인 공해는 소위 「해양선진국」들에 의하여 관리될 것이다. 해양정보의 대상이 되는 바닷물은 해역의 구분없이 자유롭게 움직이고 있다. 특히, 해양과학조사를 통하여 공해에서 해양정보를 경쟁적으로 확보하려는 시대가 도래하고 있다.

미국은 북위 10도에서 남위 10도에 걸쳐 대양을 가로지르는 열대해역을 지속적으로 관측하고 있다. 일본은 서태평양과 동인도양을 포함하는 거대한 해역을 지속적으로 감시하려는 계획을 최근에 발표하였는데, 10년에 걸친 비용이 놀랍게도 2천5백억원을 넘는다. 이 모든 것은 무엇을 의미하는가? 앞으로 예견되는 태평양시대와 APEC협력에 직면하여 서태평양은 교두보적 성격으로 중요한 의미를 갖는다. 이러한 서태평양을 고스란히 일본이나 미국에게 내어줄 수는 없지 않은가?

## 제 2 절 지구환경변화와 국제환경질서

GR로 대두되는 국제환경질서는 지구환경의 보전과 지속가능한 발전을 전제로 하고 있다. 그런데, GR의 본질은 인류가 고도산업사회로 추구하고 있는 과정에서 이산화탄소 등 온실효과기체를 과다하게 발생하여 지구온난화를 가속화시키고 있기 때문에 이것을 규제하려는 것이다.

IPCC보고서(1990)에 의하면 현재상태로 온실효과기체 방출이 계속될 경우, 10년에 0.3도의 기온상승, 21세기말에는 3도나 증가하게 되고 이에 따라 해수면은 2030년경에 현재보다 평균 20cm 정도, 21세기말에는 65cm이나 상승하게 된다고 경고하고 있다. 그러나 현재의 과학기술 능력으로는 평

평균온의 상승에 관해 대체적인 경향 예측만 가능할 뿐 지구기후변화의 원인에 관해서는 아직 정확히 규명하지 못하고 있다.

인간이 발생하는 온실효과기체는 그 발생 지역에 곧바로 지역적 기후변화를 야기시키는 것이 아니라, 지구시스템 속에서 지구가 받아들이는 열에너지의 수지를 계속 증가시키기 때문에 전지구적인 기후문제로 대두되는 것이다. 지구시스템에서 지구표면의 2/3 이상을 차지하고 있는 해양이 지구의 기후변화를 일으키는데 중요한 역할을 할 것이라는 점에는 의심의 여지가 없다. 해양이 지구의 기후형성 및 변화에 영향을 주는 과정을 이해하여야 하는 중요한 이유는 이러한 이해를 바탕으로 적절한 대책도 가능할 것이기 때문이다.

### 제 3 절 지구환경변화 연구의 국제 동향

복합적 자연현상을 전 지구규모로 연구하는 데는 많은 전문가와 막대한 연구비가 필요로 하므로 한 국가의 연구능력의 한계를 넘고 있다. 따라서 현재 UN, UNESCO, ICSU 산하의 여러 과학관련 조직체에 지구환경변화 내지 지구온난화에 관련된 많은 연구 프로그램이 조직되어 활발히 전개되고 있다. 그동안 정부간 혹은 비정부간에 국제적인 규모로 추진되어온 연구 프로그램 중에서 중요한 것을 살펴보면 다음과 같다.

세계기상기구(WMO)와 국제과학연맹이사회(ICSU)가 공동으로 주관하는 세계기후연구프로그램(WCRP)은 지구 기후 형성 및 변동 요인을 연구하여 예측하는 수치모델을 개발하고 있다. UNESCO 산하의 정부간해양

과학위원회(IOC)가 주관하는 세계 해양 대순환 실험 프로그램(WOCE)은 해양 대순환과 지구온난화의 관계를 연구하고 있다. 열대 태평양에서 3-7년 주기로 발생하는 해양-대기 상호작용이 가장 뚜렷한 엘니뇨현상은 역설적으로 매우 소중한 「지구규모의 실험」이라고도 할 수 있다. 대기와 해양의 상호작용을 이해하는 출발점으로 이 엘니뇨현상에 초점을 맞추고 열대해양과 지구대기시스템과의 상호작용을 연구하는 열대해양-지구대기(TOGA) 프로그램이 있다.

그리고, 지구 기후변동을 생물학적 접근방법에서 주로 연구하는 ICSU의 주요 프로그램중의 하나인 국제 지권-생물권 연구(IGBP)가 최근에 시작되고 있다. 또한 ICSU 산하의 해양과학위원회(SCOR)의 핵심 프로그램인 국제 해양물질수지연구(JGOFS)가 있는데 JGOFS는 크게 두 가지를 목표로 하고 있다. 첫째는 해양에서 탄소와 그와 관련된 생물기원 물질들이 시간에 따라 변하는 물질이동(flux) 과정을 연구하고 또한 물질이동이 대기, 대륙주변부 및 해저 각각의 경계면에서 얼마나 빨리 일어나는가를 추정하는 것이다. 둘째는 지구에서 인간활동의 영향으로 초래되는 기후 변화에 대해 해양의 생지화학적 과정을 예측하는 것이다(IGBP, 1990).

## 제 4 절 서태평양 연구의 당위성과 과학적 논거

근래에 와서 우리나라 뿐아니라 지구 여러 지역에서 이상 기후가 빈번하게 발생되고 있으며 국제적으로 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 이러한 이상 기후는 직접적으로 국민 생활에 큰 영향을 미치게 되는데 이에 대한 정보 제공은 국가적 차원에서 매우 중요한 일이다. 우리나라에 이상 기

후를 발생시키는 그 원인이 우리나라에 있는 것이 아니라, 전지구의 기후 시스템의 변동이 지구의 한 부분에 위치한 우리나라에 그렇게 나타나고 있는 것인 까닭에 전지구적으로 이해하도록 접근하여야 함은 당연하다.

해양이 지구의 기후형성 및 변화에 영향을 주는 과정은 크게 3가지로 구분된다. 첫째, 해양이 대기와 지구 온실효과기체를 교환하는 과정, 둘째, 해양과 대기가 열, 수증기, 운동량을 교환하는 과정, 셋째, 해양이 표층에서 흡수한 열을 수직순환과 대류혼합으로 심층수에 전달하는 과정이다.

해양과 대기간의 이산화탄소 교환은 되물림 상호작용 (feedback interaction)에 의하여 평형상태를 이루게 된다. 이 때의 순 이동량은 대기 중의 이산화탄소 분압과 해양 표층수의 평형분압과의 차이에 의해 주로 결정되며 이에 따라 지구온난화의 진행속도가 영향을 받게 된다. 지구 기후변화에 따른 대기와 해양간의 새로운 평형이 이루어지는 기간은 대체로 2 내지 3 년으로 알려져 있다. 이산화탄소 이외의 온실효과기체인 이산화질소도 주로 해양으로부터 대기로 방출된다. 또한 구름형성에 중요한 역할을 하는 유화물도 화석연료 사용시 발생하는 양을 제외하고는 절반 이상이 해양으로부터 배출된다 (SCOR, 1990). 그러나, 해양은 육지에서와는 달리 지속적으로 감시관측하기가 매우 어려워 자료가 축적되어 있지못하다. 해양자료의 부족은 전지구 온실효과기체의 수지를 파악하는 기본적인 일부터 불가능하게 하므로 지속적인 해양관측은 핵심적이고 시급한 일이다.

해양은 장기적, 혹은 단기적으로 지구 기후변화 속도를 조절하는 기능을 갖고 있다. 해양에 축적된 열에너지는 해양의 상층수와 심층수에 동시에 축적되어 있고 상층수보다는 심층수의 열 에너지 저장량이 크므로 지구

기후변화에 대한 해양의 역할은 단기적인 영향보다는 장기적인 영향이 더 크다. 해양의 상층수에 축적된 열에너지는 수십 년의 시간 규모로 지구 기후변화에 영향을 주며, 전체 해양의 약 80%의 부피를 차지하고 있는 심층수의 열에너지는 백 년 이상의 장기적 시간 규모로 볼 때 기후변화에 막대한 영향을 미친다. 바꾸어 말하면 장기간의 지구 기후변화는 열에너지를 공급 분배하는 해수의 대순환에 크게 영향을 받고 있는 것이다.

지구에 열에너지를 공급하는 태양의 복사량이 위도에 따라 다르게 주어지지만 대기가 흡수한 부분은 대기의 역할로 전지구에 재분배되고 해양이 흡수한 부분은 해양의 역할로 재분배되어 지구의 기후 시스템을 형성하고 있다. 물론, 대기와 해양이 이 기후 시스템속에서 상호작용을 하고 있는데 대기는 현상을 빠르게 변화시키며 해양은 느린 변화와 기후 형태를 이끌고 있다.

열대 서태평양의 평년 해면수온이 매우 높은 해역을 Warm-Pool이라고 부르는데 이 Warm-Pool은 해양이 대기에 막대한 에너지를 공급하는 창구의 역할을 하고 있다(그림 67). 즉, 이 Warm-Pool이 전지구의 기후 시스템을 움직이는 대기 대순환의 심장역할을 한다. Warm-Pool의 조그마한 변동성, 위치적으로나 해면수온에 있어서의 변동성이 지구 기후 시스템을 바꾸어 놓는다고 할 때 이상 기후를 이해하기 위하여 해양의 역할이 매우 중요하다.

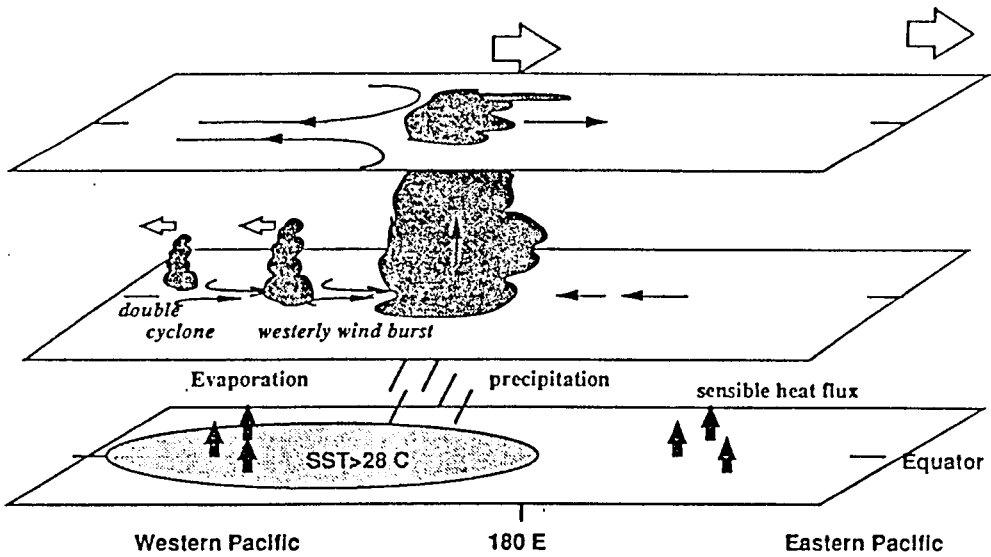
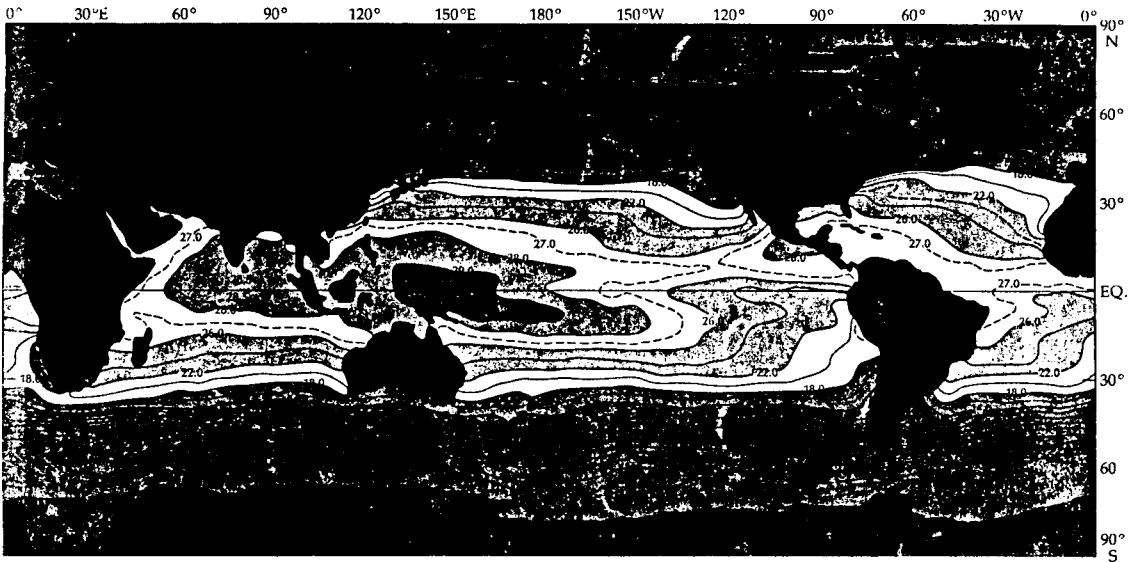


Figure 67. Horizontal distribution of the mean sea surface temperature of the world ocean.(upper). Schematic diagram of the energy transfer processes with the atmosphere at warm-pool area of the Western Pacific(lower).



Warm-Pool과 관련하여 엘니뇨현상은 해양에서 3-7년 주기로 발생하는 해양-대기 상호작용이 가장 뚜렷한 현상으로 오래 전부터 인지되어 왔으며 지역적으로는 엘니뇨현상과 동반하여 발생하는 이상 기후가 널리 알려져 있다. 이것은 역설적으로 말해서, Warm-Pool과 더불어 엘니뇨현상은 지구기후변화를 규명하기 위하여 '실시하는' 매우 소중한 「지구규모의 실험」이라고 할 수 있다. 기본적으로 실험을 잘 관찰하여야 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이어서 국제적으로 서태평양을 정기적으로 관찰하는 TOGA사업을 1980년대 중반부터 시작하여 성공적인 국제협력을 이끌어 내었다. 그런데 우리나라는 중위도 지역에 위치하여 있다고 이 열대해역의 문제를 우리의 문제로 인식하지 못하였는데, 이것은 국력의 신장에 맞추어 지구촌 구석 구석에 우리의 상품을 수출하고 있으며 또 더 확대하여야 하는 우리의 현실을 바르게 받아들이지 못한 결과이다.

지난 10년 동안에 TOGA를 수행하면서, 해양 및 대기의 변동성 조사를 목적으로 열대태평양 해역에 설치한 해양관측부이는 장기 실시간 관측(real-time long range monitoring)을 가능하게 하였다. 이 관측망의 유용성은 지구기후변화를 감시하는데 지대한 공헌을 함으로써 명백히 드러났다. 이 관측망은 TOGA가 종료되는 시점에 GOOS 및 CLIVAR 프로그램에 흡수될 예정이며, 새로운 프로그램에 의해 개량될 예정이다(ITPO, 1993a). 또한 새로운 프로그램을 기획하는 단계에서 우리나라의 기여를 촉구하는 분위기이다(ITPO, 1993b). 당연히 환태평양국가의 일원으로서 우리나라는 이 프로그램에 적극 참여하여야 할 것인데, 가시적인 국가적 기여를 국제사회에 널리 알리고 효율적인 추진을 위하여 「국가대양관측계획」의 수립이 필요하다.

## 제 5 절 해양선진국의 서태평양 관측 계획

### 1. 미국

미국은 열대태평양을 지속적으로 감시할 목적으로 「열대태평양 해양-대기 관측망사업」(TAO)에서 해양관측부이망을 실시간으로 운영하고 있다. 그림 68에 표시된 바와 같이, 북위 10도에서 남위 10도에 이르는 전체 태평양을 가로질러 해양관측부이가 설치되는데, 1992년 11월의 59개에서 1993년 10월에는 65개로 늘어났다(ITPO, 1993b). 해양관측부이의 연간 유지비는 5만달러이다.

이 TAO사업은 미국의 주도하에 이루어지고 있는데, 기본적으로 대양 항해가 가능한 조사선이 연간 270일 이상 동원되어야 하며 해양관측부이 1대당 연간유지비는 5만달러가 필요하다. 원칙적으로, 미국은 일부변경선 동쪽의 해역은 미국 스스로 집행하며, 일부변경선 서쪽의 해역은 다른 국가들이 분담하여 주기를 희망하고 있다. 1993년 회계년도의 경우, 동·중부 태평양 해역의 작업에는 총 211일의 NOAA 조사선을 동원하여 미국 스스로 집행하였다. 서태평양에서의 작업에는, Hawaii대학의 조사선 「Moana Wave」호가 30일, 프랑스 IFREMER의 조사선 「Le Noroit」호가 15일, 일본 JAMSTEC 조사선 「Kaiyo」가 15일 동원되었다(ITPO, 1993b). 이 해양관측부이 운영에 동원된 각국의 조사선은 각국가별로 독자적인 국가정선관측계획을 수행하면서 그 일부분으로 협력하고 있다.

1994년 회계년도에는, 미국의 NOAA는 일부변경선 동쪽의 해역의 작업 수행에 239일 간의 조사선 사용을 예정하고 있으며, 일본 JAMSTEC의 조사선 「Kaiyo」가 59일, Hawaii대학의 조사선 「Moana Wave」가 32일, 국

립대만대학 조사선 「Ocean Researcher L」가 30일 동원될 계획이다(ITPO, 1993b).

앞으로 TAO 해양관측부이의 계류작업을 전담할 조사선을 준비중인데, 미해군의 2000톤급 정찰선이 NOAA로 인도되어 현재 조사선으로 개조수리 과정에 있으며 1995년에 완공할 예정이다. 이 조사선은 「S. P. Hayes」라 명명될 예정이며 열대태평양 중동부 해역에 계류작업을 수행에 연간 230일 정도 활용하게 된다.

TAO 관측망에서 얻어진 자료는 ARGOS 시스템과 TIROS-N급 인공위성을 통해 육상의 수신소로 거의 실시간으로 전송되고 있다.

# TAO Array

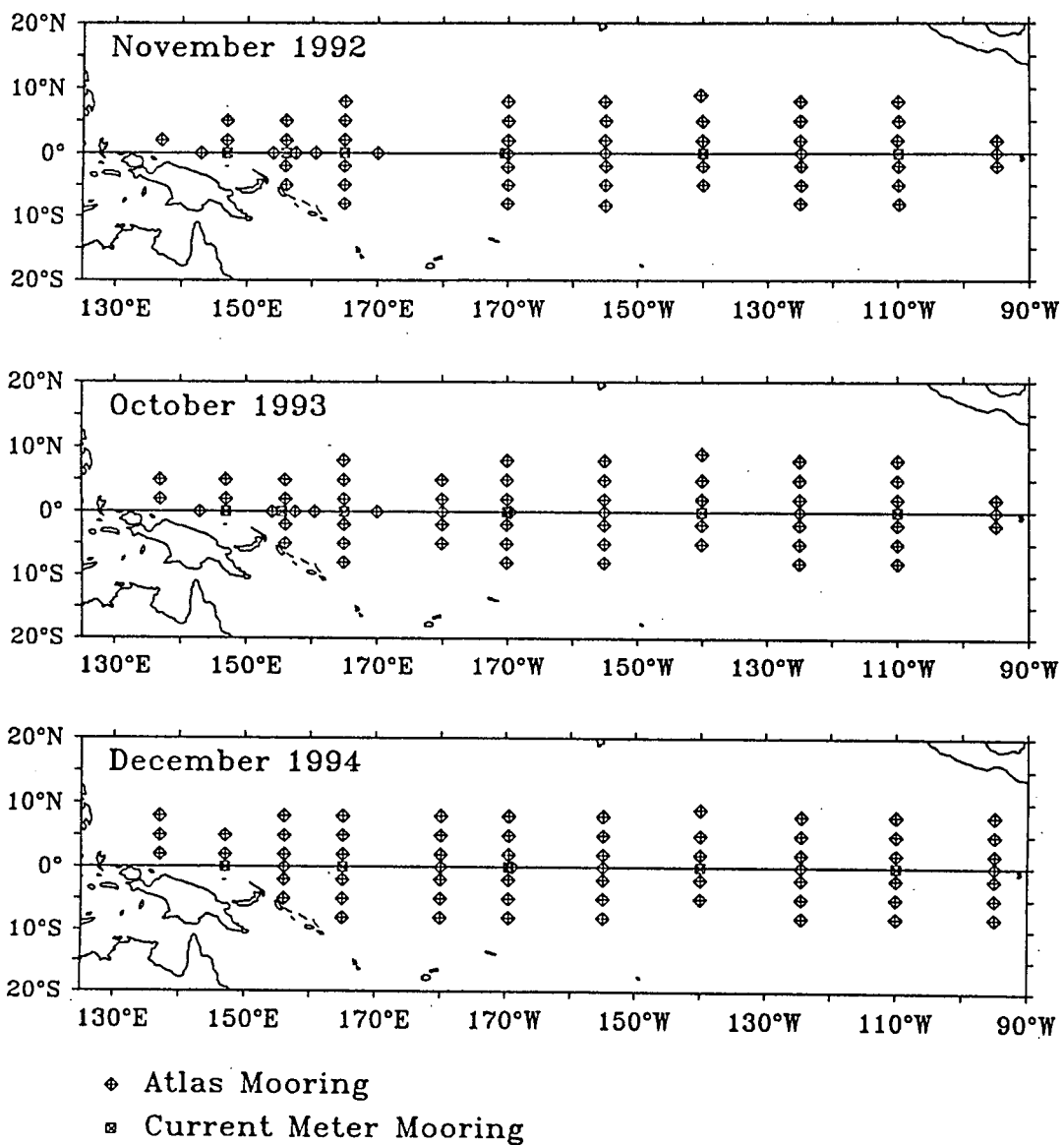


Figure 68. TAO array.

## 2. 일본

일본은 태평양, 인도양 및 그 부속해역에서의 해수순환과 열수송을 규명하는 것을 기본목표로 하여 일본 과학기술청이 주관하고 해양과학기술센터(JAMSTEC)를 실무책임기관으로 하는 새로운 「해양관측계획」을 제출하였다(그림 69). 상기목표를 성공적으로 수행하기 위하여는 해양-대기 경계면에서의 열, 담수 및 운동량 flux를 상세히 밝히는 것이 상당히 중요하다. 최근에 발표된 이 계획의 제1단계 비용이 2천5백억원을 넘는다(JAMSTEC, 1993).

일본의 「해양관측계획」에 사용할 해양관측부이는 고위도용, 저위도용이 개별적으로 구성되어 있는데, 기존하는 TOGA-TAO 관측망, 기타 인공 위성 및 현장 관측방법과 병·통합될 것이며, GOOS 프로그램의 일환으로 간주될 것이다. 이 계획을 수행하기 위하여는, 인도네시아, 필리핀, 파푸아 뉴기니아와의 긴밀한 국제적 협력이 요청된다. 관측은, 해양 표층에서의 기상(바람, 기온 등) 해수 온도, 염분, 해류 등에 걸쳐야 한다. 자료는 GTS를 통해 실시간적으로 전송한다. 이 계획은 800톤급 조사선 「Matsu」호를 1년 내내 전속시켜 수행될 것인데, 제1단계는 2000년까지 해양관측부이 35개를 목표로 하고 있다. 제1단계가 종료되는 시점에, 이 해양관측부이의 설계에 대한 재평가를 실시하며, 제2단계에서는 해양관측부이 수를 총 70개까지 늘린다.

또한 서태평양의 TOGA-TAO 해양관측망 유지를 위해 연간 50일의 조사선 동원 계획을 향후 10년간 계속하기로 공언하였다. 1993년에는 조사선 「Kaiyo」에 의해 두 차례의 조사가 계획되었는 바, 첫번째는 Yokosuka

에서부터 Paulu까지의 4월중 20일 간에 걸친 항해 조사이고, 두 번째는 Yokosuka로부터 Majuro까지의 11월~12월 중의 30일간에 걸친 조사이다.

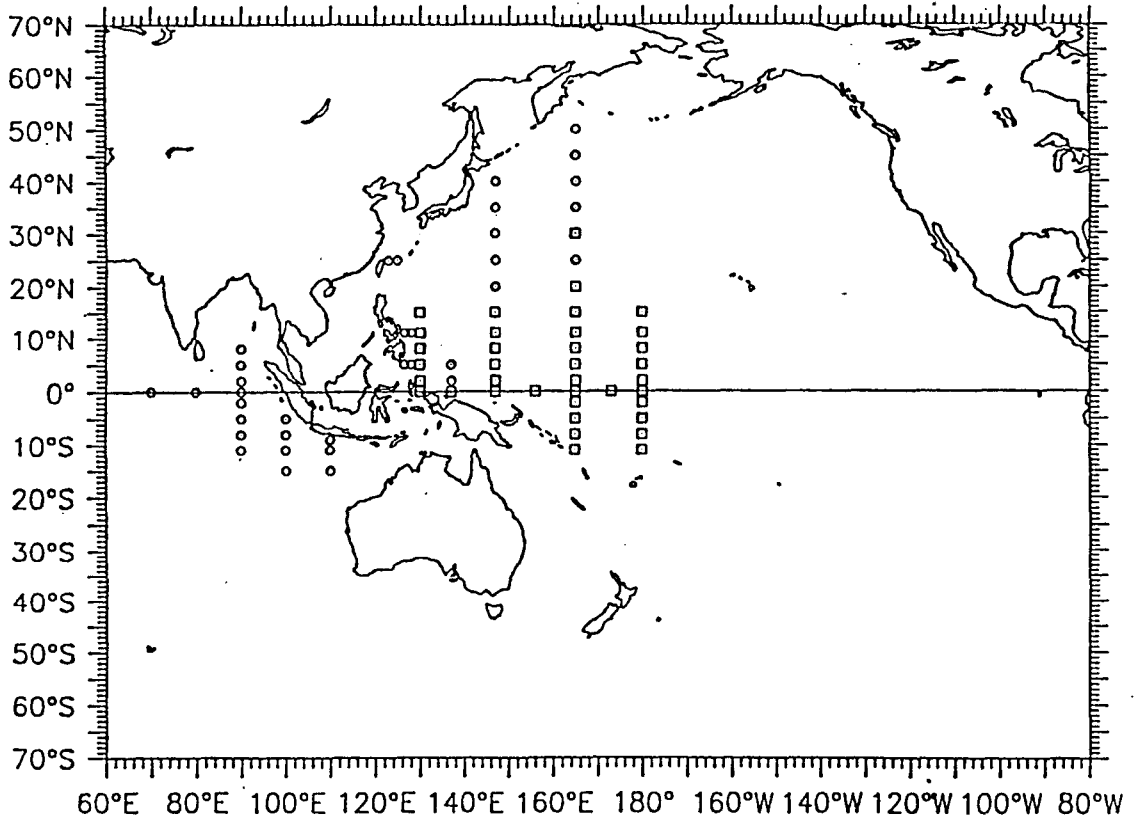


Figure 69. ENSO mooring array of the Japan.

### 3. 기타

GOOS(전지구해양관측시스템; Global Ocean Observing System)은 연구 프로그램이라기 보다는, 대양에서 관측된 자료를 사회적 공익을 위하여 수집·배포하는 작업 시스템으로서, 다음의 5가지 영역의 책무적 기능을 지닌다. 즉, (1) 기후, (2) 대양의 건강도, (3) 연안역 관리정보, (4) 해양 생물자원, (5) 해양기상 및 해양학적 서비스 등이 그것이다. GOOS와 밀접한 연관관계를 지니는 것으로 GCOS(Global Climate Observing System)라 불리는 자매단체가 있는 바, 이 단체는 인간의 활동이 기후에 미치는 악영향을 우려한 나머지 130개국의 환경관계 장관들이 참석한 제2차 세계기후협회의 제안에 따라 장기적이며 지속적인 국제적 공동관측망의 시급한 설립의 필요를 느껴 구성된 기구이다.

GOOS 프로그램의 담당자들은, 해양관측이 행해져야하는 지역을 선정하는 데 상당한 역점을 두고 있으며, 장기관측을 수행하는데 있어 선택 가능한 관측 시스템 중 최선의 방법을 선정하는 것과 병행하여 지역선정을 하게 된다.

미국은 TOGA 프로그램의 연장으로 GOALS라 불리는 사업을 추진키로 하였다. GOALS의 목표는 다음과 같다. (1) 대기-해양-육지 연계 시스템이 지니는 계절 및 연간 변동을 이해하고, 예측하기 위하여 관측, 기술, 나아가 수치모델화하기 위함이다. (2) 계절 및 연간 변동에 대한 예보기술에 필요한 관측 시스템을 개발하기 위함이다. (3) 전지구적 스케일로서의 대기-해양-육지 연계 시스템에 대한, 관측, 계산, 자료획득방법을 발전시키기 위함이다.

국제적으로 TOGA의 이후의 프로그램으로 CLIVAR라 명명된 국제 연구프로그램을 구성하고 다음과 같은 과학적 목표를 갖고 있다. 즉, (1) 해양-대기-육지가 연계된 coupled system의 계절적 변동상, 연간 변동상을 관측을 통하여 기술하고, (2) 상기 변동상을 수치모델 및 관측치의 분석에 의한 예보능력 개발에 그 목표를 둔다. (3) 계절적 변동상, 연간 변동상을 이해하고 예측하는 데에 필요한 관측, 계산, 자료획득 및 분석방법을, 관련 기상연구 및 관측 프로그램과의 협동으로, 개발 적용하는데 그 목적을 둔다.

## 제 6 절 우리나라 「국가대양관측계획」 추진전략

앞에서 논의한 바와 같이, GR은 지구환경을 무기로 하는 무역규제이다. 지구환경에서 해양이 2/3이상을 차지하고 있어 지구환경변화에서 해양의 역할이 크므로 지구환경변화와 관련한 과학적 근거는 해양연구에서 찾을 수 있다. 지구환경변화가 나타내는 파급효과에 대한 대처는 과학적 근거에 대한 이해없이 불가능하다. 대양연구는 해양연구의 꽃으로 그동안 우리나라는 여건이 조성되지 못하여 수행하지 못한 실정이다.

우리에게 대양은 태평양이다. 그리고 서태평양이다. 서태평양 인접국가로는 일본을 비롯하여 신흥 개발도상국들인데, 지리적으로 일본의 뒷자리에 위치하고 있다 하여 양보할 성질의 일이 아니다. 일본의 서태평양 관측 계획(그림 69)을 보면 야심적이며 공포적이기까지 하다. 우리도 국익을 위하여 태평양시대의 교두보로서 반드시 서태평양에 진출하여야 한다.



「국가대양관측계획」은 심해저개발사업 및 남극사업과 더불어 인류공동의 자산인 공해에 국가적 위상을 드높이는 사업이자 국제사회에서 기득권을 인정받게 된다.

## 1. 서태평양 종합해양조사를 위한 대양정선 구축

「국가대양관측계획」의 주된 목적은 여러 기관의 활용이 가능하고 여러 분야가 참여할 수 있는 종합해양조사를 위한 대양정선을 구축함으로써 지구환경변화 연구에 국가적 기여를 널리 홍보함에 있다. 그리하여 국내적으로도 대양연구를 시작하는 기반이 조성된다.

한국해양연구소의 종합해양조사선인 「온누리」호가 정기적으로 서태평양을 조사항해 하도록 한다. 그림 70은 한 예를 제시하고 있다. 이 조사항해에서는 기본적인 필수적인 항목만을 포함하여 장기적 해양자료를 확보하며, 그외에 필요한 연구사업을 개발·추진할 때 이 항해계획을 활용함으로써 조사선 운영에 따른 경비의 부담이 경감되어 연구사업을 쉽게 수행할 수 있다. 외국의 예에 비추어, 연구비에 조사선사용료를 포함하는 나라는 우리나라 밖에 없다. 대체로 어느 조사선을 어떤 연구에 몇 일간 할당하는 식으로 배정하고 있으므로 대양연구가 손쉽게 추진되고 있다.

이러한 「국가대양관측계획」은 지속적으로 유지되어야 한다. 지구환경변화의 시간스케일이 수 년~수 십년이므로 일정한 대양정선을 구축하여 지속적으로 자료를 축적할 때 그 가치는 더욱 빛나게 된다. 그리하여 「국가대양관측계획」은 특수사업으로 추진되어야 하는 당위성을 갖고 있다. 해양

선진국들은 수십년째 계속하여 일정한 대양정선을 유지하며 대양관측을 실시하고 있는데 국제사회에서 국가적 기득권이 인정되고 있다. 그 한 예로 심해저개발사업을 들 수 있다. 우리나라도 태평양에 광구권을 확보해 놓은 상태이지만 해양과학조사의 기반없는 기형적인 진출이라는 비판적 시각이 있다.

# Korean Ocean Observing Program

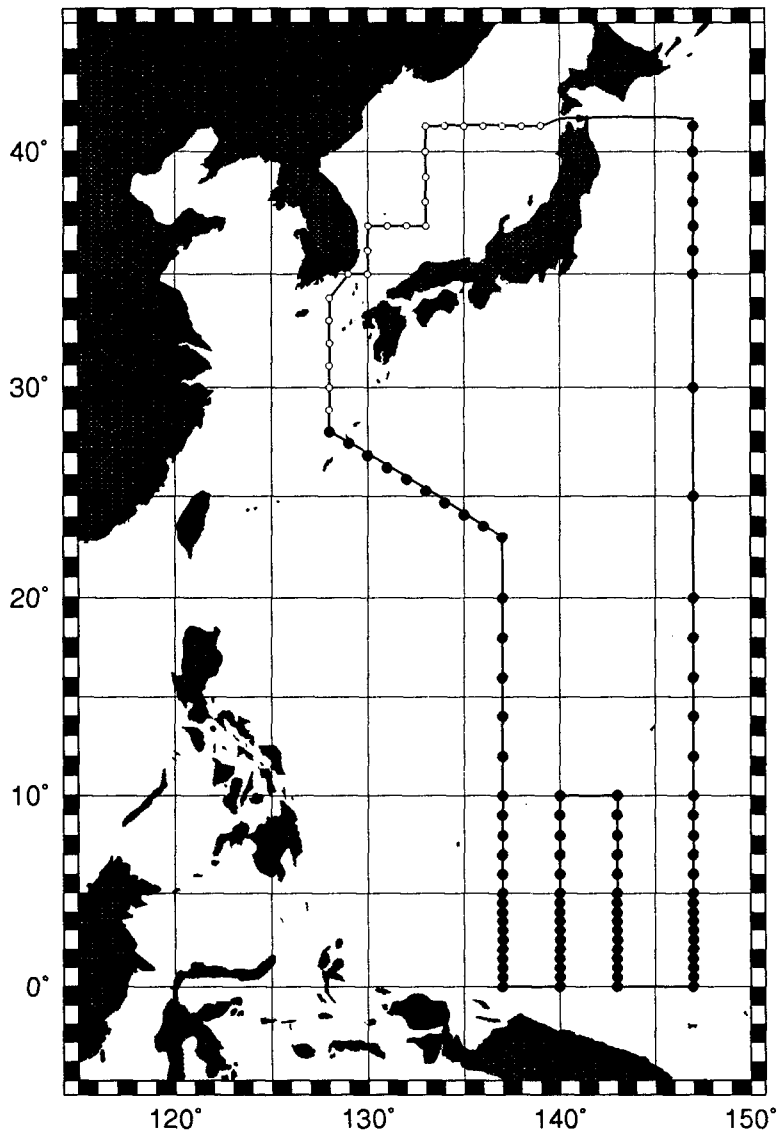


Figure 70. Korean program for observing the Pacific.

## 2. 추진체계: 국제연구 프로그램의 일환

국제연구 프로그램의 일환으로 참여함으로써 기술전수가 가능하고 짧은 기간 내에 국제적 수준에 도달할 수 있으며 국제적으로 우리나라의 세력확장에 대한 거부감을 줄일 수 있다. 국제연구 프로그램 중에서 TOGA, WOCE, JGOFS 등을 대표적으로 들 수 있으며, 현재 계획중인 GOOS와 CLIVAR/ GOALS가 관련 국제연구 프로그램으로 유망하다.

「국가대양관측계획」으로 대양정선을 구축하게 되면, 기상청, 수로국, 국립수산진흥원, 원양어업협회 등의 관련기관에서 활용하게 되고, 대학의 연구진이 참여하게 된다 (그림 71).

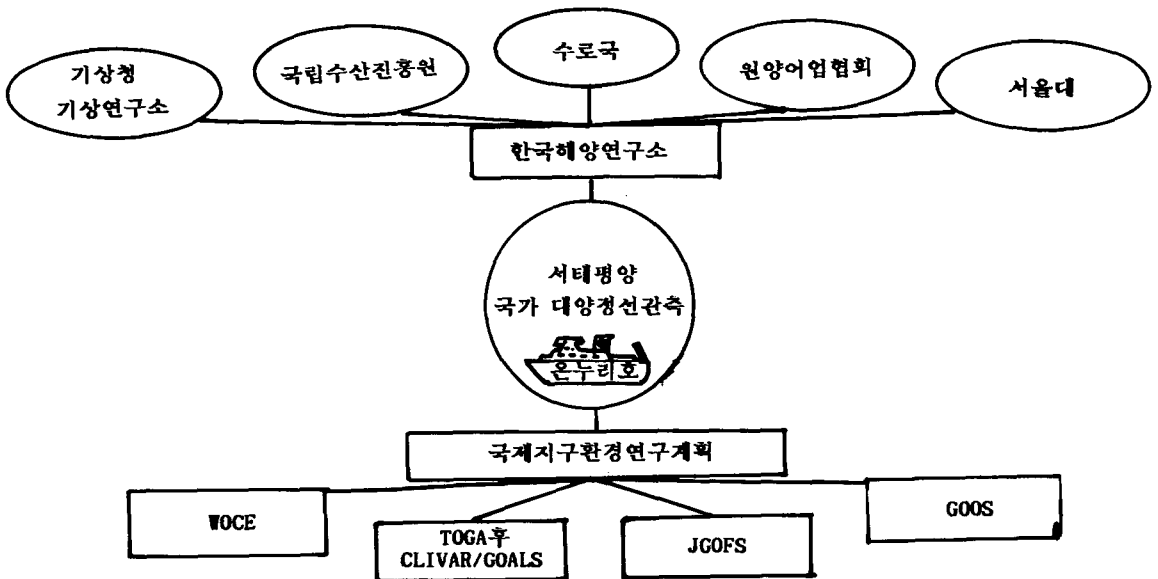


Figure 71. Cooperating system of Korean program for observing the Pacific.

우리나라가 정기적으로 서태평양을 조사하는 대양정선을 유지하면서 국제연구 프로그램과의 교류를 통하여 다른 나라의 관측성과도 공유하게 된다. 특히 열대태평양을 감시하는 해양관측부이망 유지와 관련하여 우리나라의 조사선을 투입하는 것은 기술이전을 전제로 하고 있으며 실시간으로 획득한 자료를 활용할 수 있다. 현재 이 사업에 투입되는 조사선의 현황은 미국이 NOAA의 239일과 Hawaii대학의 32일, 일본이 59일, 대만이 30일로 우리나라의 참여가 강력히 요망되고 있다(ITPO, 1993b).

## 제 8 장 결론 및 토의

전세계적으로 지구과학 연구의 추세가 전지구기후 또는 지구환경변화 등에 중점을 두고 있다. 특히 국제 TOGA 연구사업은 1985년에 시작된 이래 전세계적으로 많은 연구가 이 범주에서 이루어져 왔다. 국제 TOGA 연구사업이 갖는 중요성에 비추어 지금까지 우리나라의 직접적인 참여는 없었지만 본 연구사업을 통하여 가능하게 되었다. 이와 같이 국제적인 규모의 연구사업에 참여함으로써 우리나라의 연구 수준을 향상시킬 수 있다. 본 연구사업에서는 종합해양조사선인 은누리호를 이용하여 적도 종단관측 정선을 구성하여 실시함과 아울러 국제 TOGA 연구사업 중에 중점과제인 TOGA COARE와 TOGA TAO에도 연구인력의 참여를 유도하였다.

열대 서태평양의 동경 137도 경도선을 따라 북위 10도에서 적도까지 16개 정점에서 해양조사를 실시하여 국제 TOGA 연구사업에 해양관측자료를 우리나라의 실적으로 제공하는 기회가 되었다. 그러나 1992년 12월과 1994년 4월의 2회에 걸쳐 실시한 적도종단 정선관측이 더 이상 계속되지 못하고 중단된 점은, 이 사업을 계기로 우리나라 대양연구의 활성화를 기대하였던 점에 비추어 매우 아쉬운 일이다.

대양연구가 실질적으로 성과를 얻기 위하여서는 대양연구에 적합한 해양조사선을 보유하여야 하고 이와 관련한 연구자의 적극적인 참여와 기여를 전제로 한다. 적도종단 관측은 해양물리, 화학, 생물분야의 연구원으로 구성된 조사팀에 의하여 수행되어 국제 TOGA 연구사업의 한 역할을 담당할 뿐 아니라 대양의 자료를 필요로 하는 연구를 함께 수행할 수 있었다.

해양에서의 물질순환이 잘 알려져 있지 못한 관계로 대양에서의 물질순환 관련 자료의 획득은 그 자체로도 의미를 갖는다. 그리고, 대양에서의 일차생산력은 용승이 일어나는 일부 해역을 제외하면 매우 낮은 편이지만 원격탐사에 의한 일차생산력 추정이 갖는 오차정도를 평가하는 좋은 자료가 된다.

적도에 근접한 정점과 그렇지 않은 것 사이의 T-S type 구분이 뚜렷하다. 중층의 고염을 나타내는 수괴는 적도잠류에 해당하는 것으로 이번의 관측에서 확인할 수 있었다. 북위 3도에서 적도 사이에 보이는 수온 및 염분의 분포 양태는 적도 부근에 존재하는 대표적인 특성을 보여주는 것이다. 용존산소는 수괴의 특성을 분석하는데 유용하게 활용되고 있는데, 적도부근의 중층에 나타나는 고염인 수괴는 적도에서 멀리 떨어진 그 수심층의 수괴와 비교하여 상대적으로 높은 수온과 높은 용존산소를 보이고 있다.

1992년 12월의 관측결과와 1994년 4월의 관측결과와의 가장 큰 차이는 중층에서의 염분변화로써 1994년 4월의 관측에서의 염분변화가 보다 복잡한 양상을 띠고있다. 1992년 12월의 관측에서 적도역에 나타나는 고염의 핵은 적도에서 북위 3도 사이에 걸쳐 나타났지만 1994년 4월의 관측에서는 고염의 핵이 북쪽으로 보다 확장되어 북위 7도까지 나타난다. 이러한 고염의 핵 바로 아래에는 34.6 psu 이하의 상대적인 저염수가 전역에 걸쳐 수심 250 m에서 600m 사이에 나타나며, 그 아래로는 수심이 깊어질수록 염분이 점차 증가한다. 1992년 12월의 관측에서는 중층에 나타나는 저염수의 염분값이 34.5 psu 이하도 나타나지만 1994년 4월의 관측에서는 1992년 12월의 관측에 비해 약간 높게 나타난다. 이런 고염핵의 확장에 대한 해양학적 근거는 본 자료만으로는 해석할 수 없으므로 차후 모든 TOGA 자료를

TOGA 자료본부로부터 획득하여 이러한 적도 고염역의 확장에 대한 해양학적 고찰을 시도하고자 한다.

1992년 12월의 24시간 연속관측에서는 관측위치가 고염핵의 가장자리에 위치하여 적도나 북위 10도와 다른 뚜렷한 천이지역의 T-S 구조를 보였지만 1994년 4월의 관측에서는 북위 2도인 관측위치가 고염핵의 중간위치이기 때문에 1992년 12월과는 다른 구조를 갖는다.

1992년 12월에 우리나라 ATLAS부이의 계류정점인 동경 137도, 북위 2도에서 상층 500미터까지의 수심층에 대하여 24시간 연속관측한 결과를 보면 적도에 근접한 정점과 그렇지 않은 것 사이의 T-S type과 비교하여 형태적으로는 그 중간적 천이단계를 나타내며 이것은 혼합이 이루어지고 있는 해역에서 특징적으로 나타나는 것이다. 특히 그 역학적 특성을 파악하기 위하여 수온과 염분의 수직구조의 분석을 시도하였는데 다양한 미세구조의 형성 가능성을 시사하고 있다. 적도에서 북위 3도에 이르는 해역에서 표층에 서향류인 남적도해류와 그 아래에 동향류인 적도잠류가 존재하고 있다. 따라서 방향이 서로 다른 두 해류의 접촉으로 인한 수괴 간의 해수교환이 활발할 것으로 보이며 관측된 미세구조는 그 영향일 것으로 생각된다. 또한 적도해역에서 염분이 깊이에 따라 감소하는 적도잠류의 하부에서는 이중확산이 에너지의 수직이동에 큰 역할을 할 것임을 보여준다.

특히, 1차년도 of 정선관측은 TOGA/COARE IOP 기간에 포함되어 보완 자료로 그 가치가 더욱 인정되었다. 지난 1994년 8월에는 프랑스에서 TOGA/COARE IOP 자료 워킹샵이 개최된 바 있는데 우리나라에서는 해양분야로 해양연구소에서 2명, 기상분야로 서울대에서 1명이 참가하여 우리나라



가 관측한 결과를 논문으로 발표하였다. 그리고, 1995년 4월에는 TOGA-95 워크샵이 호주에서 개최될 예정이다.

본 조사해역의 해황은 매우 큰 경년변동을 보이므로 (Wyrski, 1989) 92년 12월과 94년 4월의 조사항해 간의 해황의 차이를 주목하였다. 1992년 12월과 1994년 4월의 용존산소에 대한 평균값은 거의 차이가 없다. 용존산소 함량의 수직분포 형태는 표층에서 가장 높고 수심 증가에 따라 급격히 감소하여 수심 500 - 1000m 에서 극소값을 보이고 수심증가에 따라 다시 증가하는 양상을 보인다. 그러나 무기영양소의 평균값들은 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 1994년 4월 질산이온 자료는 본 조사해역 부근에서 측정된 GEOSECS 자료 (0 - 10 °N, 170° W)와 비슷한 수준의 농도를 보인다. 그러나 1992년 12월의 평균농도 자료는 1994년 6월의 평균농도보다 수심 1000m 이하에서 약 10  $\mu\text{M}$  정도 낮은 농도를 보이고 있다. 인산이온 및 규산의 평균농도 또한 약 1.3  $\mu\text{M}$ , 30  $\mu\text{M}$  정도의 농도 차이로 1992년 12월의 자료가 낮은 농도를 보인다. 이러한 농도변이가 분석 오차인지 실제 변이인지 추후 면밀하게 검토될 것이다.

전지구 기후의 단기적인 변동성과 관련해서 ENSO(El Niño / Southern Oscillation) 현상이 갖는 중요성에 비추어 열대 태평양에서의 실시간 관측시스템의 개선에 노력을 기울이게 되었다. 이러한 개선에 지대한 공헌을 하고 있는 것은 열대태평양을 지속적으로 모니터링하는 관측망을 형성하고 ARGOS시스템을 사용하여 실시간으로 자료를 획득하는 TOGA-TAO(TOGA Tropical Atmosphere - Ocean)사업이다. 이와 같은 모니터링을 통하여서 이상기후 경보체제를 확보할 수 있을 뿐 아니라 모델링 연구에 양질의 입력자료로서 또는 검증자료로서 활용할 수 있으므로 그

효용성은 매우 크다. 그러므로 TOGA-TAO사업이 국제 TOGA 연구사업에서 차지하는 비중은 매우 높으며, 1995년에 현장조사를 완료하는 국제 TOGA 연구사업 이후에도 TOGA-TAO사업은 지속될 것으로 전망된다. 기상연구소에서는 TOGA-TAO사업에서 일환으로 1992년 4월부터 우리나라의 ATLAS부이를 동경 137도 북위 2도에 설치하고 미국의 태평양해양환경연구소(PMEL)를 통하여 자료를 획득하고 있으며 1993년 4월부터는 북위 5도에 추가로 설치하여 2대의 ATLAS부이가 가동 중이다. 기상연구소에서 2대의 ATLAS부이를 우리나라의 기여로 가동하고 있으나 기술적으로는 PMEL에 전적으로 의존하고 있다. ATLAS부이는 미국의 PMEL에서 제작, 설치, 운영하는 기술을 개발하였으며 이 종류의 해양관측부이 중에서 가장 효과적인 것이다. ATLAS부이를 열대 태평양 전체에 설치, 운영하는 사업이 워낙 방대하여 국제기구를 통하여 여러 나라의 참여를 독려하고 있다. ATLAS부이의 설치, 운영을 위하여서는 조사선을 열대 해역에 동원하는 것이 필수적이다. 본 연구사업에서 열대 서태평양의 적도 종단관측을 실시하는 시점에 맞추어 ATLAS부이를 우리가 직접 설치하게 되면 선진 기술을 이전받을 수 있는 기회가 될 것이다.

기후예보 모델의 초기자료로 해양의 수온 등은 매우 중요하며 이러한 관점에서 그 중요성에도 불구하고 자료가 거의 없었던 열대 태평양에 설치되어 실시간으로 얻어지는 ATLAS부이의 자료는 그 의의가 무척 크다. 더욱이 최근의 연구결과들은 한반도의 기후가 태평양 기후에 의해 큰 영향을 받고 있음이 밝혀지고 있으므로 (강 등, 1992, 강과 백, 1993), ATLAS 부이에서 얻어지는 실시간의 자료는 우리 나라의 기후예보의 향상을 위해서 매우 긴요하게 이용되리라라고 사료된다.

TOGA-TAO로부터 얻어지는 자료는 엘니뇨기간 동안 열대태평양에서 표층수온의 증가와 무역풍의 약화를 잘 보여주고 있다. 1991년-1993년의 엘니뇨가 완전히 끝난 1994년에는 무역풍의 강화와 함께 서태평양 표층수온이 예년에 비해 양의 편차를 보인다. 일차적으로 분석된 역학적 심도는 각 정점에서 해양의 내부 수온구조를 잘 반영하고 있으며, 시공간적으로 20cm 이상의 변화를 보여준다. 앞으로 이러한 변화에 대한 체계적인 연구가 수행된다면 열대태평양의 해황변동을 이해하는데 많은 도움이 되리라고 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 강인식, 백희정, 1993. 한반도 겨울철 기온의 장기예측. 한국기상학회지
- 강인식, 허창희, 민경덕, 1992. 한반도 여름철 강수량의 장기예측. 한국기상학회지, 28:283-292
- 기상연구소, 1992. 한국-태평양 기후 시스템 연구 (I.), 기상연구소 연구보고서, 254pp.
- 한국해양연구소, 1993. 열대 서태평양에서의 수온의 수직구조 분석연구., 한국해양연구소보고서 BSPE00300-576-1, 55pp.
- 한국해양연구소, 1992. 국제 TOGA사업 참여를 위한 예비연구., 한국해양연구소보고서 BSPE00262-496-1, 49pp.
- 일본해양학회, 1986. 연안환경조사 매뉴얼. 항성사후생각. 185-191.
- Anderson G. C., 1969. Subsurface chlorophyll maximum in the northeast Pacific Ocean. *Limnol. and Oceanogr.*, 14:386-391.
- Arinardi, O. H., M. A. Barrs, and S. S. Osterhuis, 1990. Grazing in tropical copepods, measured by gut fluorescence, in relation to seasonal upwelling in the Banda sea(Indonesia). *Neth. J. Sea Res.*, 25:545-560.
- Asakura, T., 1980. Climatic changes and long-ranged forecast, Asakura syoten, 179-191.
- Barber, R.T. and Chavez, F.P., 1983. Biological consequences of El Nino. *Science*, 241, 192-1976.
- Bautista, B., V. Rodriguez, and F. Jimenez, 1988. Short-term feeding rates of *Acartia grani* in natural conditions: diurnal variation. *J. Plankton Res.*, 10:907-920.
- Bautista, B., and R. P. Harris, 1992. Copepod gut contents, ingestion rates and grazing impact on phytoplankton in relation to size structure of zooplankton and phytoplankton during a spring bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 82:41-50.
- Busalacchi, A., and J. J. O'Brien, 1981. Interannual variability of the equatorial Pacific in the 1960s, *J. Geophys. Res.*, 86, 10, 901-10, 907.

- Cowles, T. J., and J. R. Strickler, 1983. Characterization of feeding activity patterns in the planktonic copepod *Centropages typicus* Kroyer under various food conditions. *Limnol. and Oceanogr.*, 28:106-115.
- Dagg, M. J., 1985. The effects of food limitation on diel migratory behavior in marine zooplankton. *Arch. Hydrobiol. Beih.*, 21:247-255.
- Dagg, M. J., and K. Wyman, 1983. Natural ingestion rates of the copepods *Neocalanus plumchrus* and *N. cristatus* calculated from gut contents. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 13:37-46.
- Dagg, M. J., and W. E. Walser Jr, 1987. Ingestion, gut passage, and egestion by the copepod *Neocalanus plumchrus* in the laboratory and in the subarctic Pacific Ocean. *Limnol. and Oceanogr.*, 32:178-188.
- Dam, H. G., and W. T. Peterson, 1988. The effect of temperature on the gut clearance rate constant of planktonic copepods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 123:1-14.
- Daro, M. H., 1988. Migratory and grazing behavior of copepods and vertical distribution of phytoplankton. *Bull. Mar. Sci.*, 43:710-729.
- Eppley R. W. and J. H. Sharp, 1975. Photosynthetic measurements in the central North Pacific : The dark loss of carbon-14 in 24-h incubations. *Limnol. and Oceanogr.*, 20:981-987.
- Fitzwater S. E., G. A. Knauer and J. H. Martin, 1982. Metal contamination and primary production: field and laboratory methods of control. *Limnol. and Oceanogr.*, 27:544-551.
- Gill, C. W., and S. A. Poulet, 1988. Impedance traces of copepod appendage movements illustrating sensory feeding behavior. *Hydrobiologia*, 167/168:303-310.
- Hayes, S.P., L.J. Mangum, J. Picaut, A. Sumi and K. Takeuchi, 1991. TOGA-TAO: A Moored Array for real-time measurements in the tropical Pacific Ocean. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 72:339-347.
- Head, E. J. H., L. R. Harris, and C. Abou Debs, 1985. Effect of daylength and food concentration on *in situ* diurnal feeding rhythms in Arctic copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 24:281-288.

- Herbland, A. and A. LeBouteiller, 1981. The size distribution of phytoplankton and particulate organic matter in the equatorial Atlantic Ocean. *J. Plankton Res.*, 3:659-673.
- Huntley, M. E., V. Marine, and F. Escritor, 1987. Zooplankton grazers as transformers of ocean optics. *J. Mar. Res.*, 45:911-945.
- IGBP, 1990. Coastal Ocean Fluxes and Resources. Ed. Holligan, P., IGBP Report No. 14, Stockholm, Sweden, 53pp.
- IPCC, 1990. Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Eds. Houghton, J.T., Jenkins, G.J., and Ephramms, J.J., Cambridge Univ. Press, 365pp.
- International TOGA Project Office, 1990. The Tropical Ocean & Global Atmosphere Programme., Brochure of International TOGA Project Office, 29pp.
- International TOGA Project Office, 1993a. TOGA Scientific Steering Group Report of the Twelfth Session. ITPO Publication No. 8, Geneva, Switzerland.
- International TOGA Project Office, 1993b. TOGA-TAO Implementation Panel Report of the Second Meeting. ITPO Publication No. 10, Bali, Indonesia, 53pp.
- JAMSTEC, 1993. Participation in the Pacific Ocean Observation and Research Initiative. Program of moored-bouy network for observing oceanic and atmospheric variability. Science & Technology Agency and Japan Marine Science and Technology Center.
- Jeffrey, S. W., 1974. Profiles of photosynthetic pigmentation in the ocean using thin-layer chromatography. *Mar. Biol.*, 26:101-110.
- Jonsson, P. R., and P. Tiselius, 1990. Feeding behavior, prey detection and capture efficiency of the copepod *Acartia tonsa* feeding on planktonic ciliates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 60:35-44.
- Kieffer D. A., R. J. Olson and O. Holm-Hansen, 1976. Another look at the nitrite and chlorophyll maxima in the central North Pacific. *Deep-Sea Res.*, 23:1199-1208.
- Kirk J. T. O., 1983. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. *Cambridge University Press*.

- Kjørboe, T., F. Møhlenberg, and H. Nicolajsen, 1982. Ingestion rate and gut clearance in the copepod *Centropages hamatus*(Lilleborg) in relation to food concentration and temperature. *Ophelia*, 21:181-194.
- Kjørboe, T., and P. T. Tiselius, 1987. Gut clearance and pigment destruction in a herbivorous copepod, *Acartia tonsa*, and the determination of *in situ* ingestion rates. *J. Plankton Res.*, 9:525-534.
- Kleppel, G. S., L. Willbanks, and R. E. Pieper, 1985. Diel variation in body carotenoid content and feeding activity in marine zooplankton assemblages. *J. Plankton Res.*, 7:569-580.
- Lemasson, L., and B. Piton, 1968. Anomalie dynamique de la surface de la mer le long de l'équateur dans l'Océan Pacifique, Cah. ORSTOM ser. Oceanogr., 6, 39-45.
- Lukas, R., and E. Lindstrom, 1991. The mixed layer of the Western Equatorial Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, 28, 3343-3357.
- Mackas, D. L., and R. Bohrer, 1976. Fluorescence analysis of zooplankton gut contents and an investigation of diel feeding patterns. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 25:77-85.
- Madden, R. and P. Julian, 1972. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period., *J. Geophys. Res.*, 96(Suppl.), 3331-3342.
- Malone T. C., 1971. Diurnal rhythms in netplankton and nannoplankton assimilation ratios. *Mar. Biol.*, 10:285-289.
- Marra, J. and Kristina R. Heinemann, 1987. Primary production in the North Pacific central gyre: some new measurements based on <sup>14</sup>C. *Deep-Sea Res.*, 34:1821-1829.
- Masuzawa, J. and K. Nagasaka, 1975. The 137°E oceanographic section, *J. Mar. Res.*, Supplement, 33, 109-116.
- McAllister, C. D., 1970. Zooplankton rations, phytoplankton mortality and the estimation of marine production. In: *Marine food chains*, edited by J. H. Steele, *Oliver and Boyd*, 419-457p.
- McPhaden, M.J., 1993. TOGA-TAO and the 1991-93 El Niño-Southern Oscillation event. *Oceanography*. 6:36-44.
- Morales, C. E., B. Bautista, and R. P. Harris, 1990. Estimates of

- ingestion in copepod assemblages: gut fluorescence in relation to body size. In: Trophic relationships in the marine environment, edited by M. Barnes and R. N. Gibson, *Aberdeen Univ. Press*, Aberdeen, 565-577p.
- Morales, C. E., R. P. Harris, R. H. Head, and P. R. G. Tranter, 1993. Copepod grazing in the oceanic northeast Atlantic during a 6 week drifting station: the contribution of size classes and vertical migrants. *J. Plankton Res.*, 15:185-211.
- Nagasaka, K, 1979. The oceanographic section along 137°E, The Kuroshio IV, Proceedings of the forth CSK symposium, Tokyo, 313-320.
- National Research Council, 1994. Ocean-Atmosphere observations supporting short-term climate predictions. National Academy Press. pp51.
- Boyd, C. M., S. L. Smith, and T. J. Coweles, 1980. Grazing patterns of copepods in the upwelling system off Peru. *Limnol. and Oceanogr.*, 25:583-596.
- Patterson, J., and T. R. Parsons, 1963. Distribution of chlorophyll a and degradation products in various marine materials. *Limnol. and Oceanogr.*, 8:355-356.
- Peterson, W. T., S. J. Painting, and L. Hutchings, 1990. Diel variations in gut pigment content, diel vertical migration and estimates of grazing impact for copepods in the southern Benguela upwelling region in October 1987. *J. Plankton Res.*, 12:259-281.
- Platt, T., and C. L. Gallegos and W. G. Harrison, 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38:687-701
- Platt, T., and S. Sathyendranath, 1988. Oceanic Primary production: estimation by remote sensing at local and regional scales. *Science, Wash.*, 241:1613-1620.
- Price, H. J., and G. -A. Paffenhöfer, 1986. Effects of concentration on the feeding of a marine copepod in algal monocultures and mixtures. *J. Plankton Res.*, 8:119-128.
- Rasmusson, E.M., and T.H. Carpenter, 1982. Variations in tropical sea



- surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/EL Niño, *Mon. Weather Rev.*, 110, 354-384.
- Roman, M. R., and P. A. Rubblee, 1980. Containment effects in copepod grazing experiments: A plea to end the black box approach. *Limnol. and Oceanogr.*, 25:928-990.
- SCOR, 1990. Ocean, Carbon and Climate Change. 12pp. Sheldon R. W., 1984. Phytoplankton growth rates in the tropical ocean. *Limnol. and Oceanogr.*, 29:1342-1346.
- Shulenberg E. and J. L. Reid, 1981. The Pacific shallow oxygen maximum, deep chlorophyll maximum, and primary productivity, reconsidered. *Deep-Sea Res.*, 28A:901-919.
- Shulenberg E., 1978. The deep chlorophyll maximum and mesoscale environmental heterogeneity in the western half of the North Pacific central gyre, *Deep-Sea Res.*, 25:1193-1208.
- Shuman, F. R., and C. J. Lorenzen, 1975. Quantitative degradation of chlorophyll by a marine herbivore. *Limnol. Oceanogr.*, 20:580-586.
- Simard, Y., G. Lacroix, and L. Legendre, 1985. *In situ* twilight grazing rhythm during diel vertical migrations of a scattering layer of *Calanus finmarchicus*. *Limnol. Oceanogr.*, 30:598-606.
- Steele, J. H., 1974. Structure of Marine Ecosystems. *Harvard University Press, Cambridge*, 128pp.
- Strickland, J. D. H., and T. R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 185-206p.
- TOGA-COARE, 1991. TOGA-COARE Experiment Design., TOGA-COARE Project Office, 94pp.
- Tackx, M. L. M., C. Bakker, and P. van Rijswijk, 1990. Zooplankton grazing pressure in the Oosterschelde(The Netherlands). *Neth. J. Sea Res.*, 25:405-415.
- Tchernia, P., 1980. Descriptive regional oceanography. Pergamon Press. 253p.
- Webster, P.J., and R. Lukas, 1992. TOGA-COARE: The Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment., *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 73, 1377-1416.

- Welschmeyer, N. A., and C. J. Lorenzen, 1985. Chlorophyll budgets: Zooplankton grazing and phytoplankton growth in a temperate fjord and the Central Pacific Gyres. *Limnol. Oceanogr.*, 30:1-21.
- Wen, L.-S., K.-K. Liu, S.-C. Pai and C.-T. Liu, 1989. Apparent oxygen utilization in the western Philippine Sea shelf waters near Taiwan. *Acta Oceanogr. Tawanica*, 23:19-32.
- World Climate Research Programme, 1985. Scientific Plan for the Tropical Ocean and Global Atmosphere Programme., WCRP Publication #3, WMO, Geneva, 146pp.
- World Climate Research Programme, 1986. International Implementation plan for TOGA. ITPO document #2 (second edition), WMO, Geneva, 96pp.
- World Climate Research Programme, 1990. Plan for the TOGA Coupled Ocean- Atmosphere Response Experiment., WCRP Publication Series No. 3 Addendum.
- Wyrski, K., 1985. Water displacements in the Pacific and genesis of ELNino cycles, *J. Geophys. Res.*, 90, 7129-7132.
- Yentsch C. S., 1974. Some aspects of the environmental physiology of marine phytoplankton: a second look. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 12, 41-75.

# 부 록



St.	Dep. (m)	Temp. (degC)	Sal. (psu)	Sigma-T	DO (uM)	DO (ml/l)	DO (%)	AOU (uM)	NO3 (uM)	Ox-NO3 (uM)	Pre-NO3 (uM)	PO4 (uM)	Ox-PO4 (uM)	Pre-PO4 (uM)	Si (uM)
1	0	29.20	34.05	21.28	200.5	4.48	101.0	-2.0	0.08	-	0.31	0.11	-	0.12	2.21
	10	29.18	34.05	21.29	203.6	4.54	102.5	-5.0	0.16	-	0.74	0.11	-	0.14	1.77
	20	28.72	34.10	21.48	202.1	4.51	101.0	-2.1	0.10	-	0.34	0.12	-	0.14	2.21
	30	28.28	34.15	21.67	204.1	4.56	101.3	-2.7	0.12	-	0.43	0.15	-	0.17	2.21
	50	26.11	34.44	22.57	200.9	4.48	96.4	7.5	0.21	0.87	-	0.20	0.05	0.14	2.65
	75	23.40	34.69	23.59	197.1	4.40	90.4	20.9	0.53	2.43	-	0.26	0.15	0.11	2.78
	100	23.11	35.02	23.92	192.4	-	-	-	0.80	-	-	0.24	-	-	2.21
	200	13.14	34.58	26.04	131.4	4.29	72.5	72.9	16.93	8.46	8.47	1.38	0.53	0.85	18.83
	500	7.84	34.60	26.98	75.4	2.93	44.1	166.4	34.15	19.30	14.86	2.75	1.21	1.54	48.57
	1000	4.84	34.59	27.37	89.9	1.68	23.6	244.2	28.38	28.32	0.06	2.57	1.77	0.80	64.32
2	0	29.33	34.14	21.31	197.4	4.41	99.7	0.6	0.02	0.07	-	0.11	0.00	0.10	1.33
	10	29.30	34.14	21.32	197.4	4.41	99.6	0.7	0.05	0.08	-	0.20	0.01	0.19	1.77
	20	29.15	34.15	21.38	194.7	4.35	98.0	3.9	0.08	0.45	-	0.15	0.03	0.12	1.77
	30	28.56	34.21	21.62	197.7	4.41	98.6	2.7	0.08	0.32	-	0.15	0.02	0.13	3.52
	50	24.66	34.67	23.20	203.5	4.54	95.4	9.8	1.02	1.14	-	0.15	0.07	0.08	1.99
	75	19.96	34.81	24.63	183.6	4.10	79.2	48.2	1.84	5.59	-	0.37	0.35	0.02	4.40
	100	17.65	34.80	25.21	159.7	3.56	66.0	82.4	9.42	9.56	-	0.86	0.60	0.26	9.21
	150	13.01	34.59	26.07	153.0	3.42	57.5	113.0	7.84	13.10	-	0.75	0.82	-	8.33
	200	11.05	34.56	26.43	114.0	2.54	41.1	163.4	18.04	18.94	-	1.49	1.18	0.31	19.92
	500	7.36	34.59	27.04	78.7	1.76	26.1	222.4	26.86	25.79	1.07	2.18	1.61	0.56	37.64
1000	4.81	34.59	27.37	90.2	2.01	28.2	229.6	37.09	26.63	10.47	3.41	1.66	1.74	91.88	
2000	2.25	34.68	27.69	117.0	2.61	34.3	223.7	37.90	25.93	11.97	3.98	1.62	2.36	139.99	
3000	1.65	34.71	27.77	150.6	3.36	43.5	195.2	30.81	22.63	8.18	3.28	1.41	1.86	97.56	

St.	Dep. (m)	Temp. (degC)	Sal. (psu)	Sigma-T	DO (uM)	DO (ml/l)	DO (%)	AOU (uM)	NO3 (uM)	Ox-NO3 (uM)	Pre-NO3 (uM)	PO4 (uM)	Ox-PO4 (uM)	Pre-PO4 (uM)	Si (uM)
3	0	29.26	33.97	21.21	200.9	4.48	101.2	-2.5	0.12	-	0.40	0.11	-	0.12	0.90
	10	29.26	33.99	21.22	199.8	4.46	100.7	-1.4	0.12	-	0.28	0.11	-	0.12	1.77
	20	28.95	34.12	21.42	199.5	4.45	100.1	-0.3	0.12	-	0.15	0.11	-	0.11	1.77
	30	28.11	34.27	21.81	208.0	4.64	103.1	-6.2	0.05	-	0.77	0.12	-	0.17	2.21
	50	23.10	34.78	23.74	192.4	4.29	87.8	26.7	0.45	3.10	-	0.28	0.19	0.09	3.52
	75	19.37	34.73	24.72	154.4	3.45	65.8	80.1	9.11	9.29	-	0.81	0.58	0.23	9.64
	100	16.90	34.73	25.33	149.7	3.34	60.9	96.1	11.48	11.14	0.34	0.99	0.70	0.29	10.96
	150	12.77	34.57	26.11	119.3	2.66	44.6	148.1	18.34	17.17	1.17	1.47	1.07	0.40	20.14
	200	10.40	34.57	26.55	96.9	2.16	34.4	184.4	22.50	21.38	1.12	1.78	1.34	0.44	26.27
	500	7.82	34.62	27.00	72.8	1.63	24.4	225.1	27.47	26.10	1.37	2.33	1.63	0.70	36.76
4	1000	4.51	34.60	27.41	92.5	2.06	28.7	229.6	37.70	26.62	11.08	3.50	1.66	1.83	97.12
	0	29.16	34.02	21.28	196.8	4.39	99.1	1.9	0.08	0.22	-	0.11	0.01	0.09	1.77
	10	29.15	34.02	21.28	197.4	4.41	99.3	1.3	0.08	0.15	-	0.11	0.01	0.10	1.77
	20	29.13	34.03	21.29	198.0	4.42	99.6	0.8	0.07	0.09	-	0.11	0.01	0.10	2.21
	30	28.88	34.04	21.38	200.1	4.47	100.3	-0.5	0.07	-	0.13	0.11	-	0.11	2.21
	50	23.76	34.67	23.46	199.5	4.45	92.1	17.2	0.10	1.99	-	0.22	0.12	0.09	3.52
	75	20.60	34.78	24.44	168.2	3.75	73.4	60.9	5.71	7.07	-	0.64	0.44	0.19	7.02
	100	17.19	34.71	25.25	144.4	3.22	59.1	100.0	14.64	11.60	3.04	1.21	0.72	0.48	14.89
	150	12.87	34.58	26.10	111.4	2.49	41.8	155.4	23.31	18.02	5.29	1.82	1.13	0.70	25.39
	200	11.11	34.56	26.41	94.6	2.11	34.1	182.4	28.99	21.15	7.83	2.15	1.32	0.83	34.14
500	7.59	34.62	27.03	83.7	1.87	27.9	215.8	34.66	25.02	9.64	2.75	1.56	1.18	50.76	
1000	4.40	34.60	27.43	90.7	2.02	28.1	232.3	37.40	26.94	10.46	3.50	1.68	1.81	98.44	
2000	2.29	34.68	27.69	-	-	-	-	37.50	-	-	3.76	-	-	131.24	
3000	1.64	34.71	27.77	-	-	-	-	37.09	-	-	3.94	-	-	148.74	
4000	1.54	34.72	27.78	-	-	-	-	35.57	-	-	3.74	-	-	148.74	

St.	Dep. (m)	Temp. (degC)	Sal. (psu)	Sigma-T	DO (uM)	DO (ml/l)	DO (%)	AOU (uM)	NO3 (uM)	Ox-NO3 (uM)	Pre-NO3 (uM)	PO4 (uM)	Ox-PO4 (uM)	Pre-PO4 (uM)	Si (uM)
5	0	29.52	33.98	21.13	195.3	4.36	98.8	2.3	0.18	0.27	-	0.11	0.02	0.09	2.43
	10	29.55	33.99	21.13	193.3	4.31	97.9	4.2	0.16	0.48	-	0.10	0.03	0.07	2.21
	20	29.22	34.11	21.32	200.1	4.47	100.9	-1.7	0.16	-	0.36	0.10	-	0.11	2.21
	30	28.72	34.15	21.53	201.8	4.50	100.9	-1.8	0.18	-	0.39	0.11	-	0.12	1.77
	50	28.35	34.20	21.68	202.1	4.51	100.5	-1.0	0.18	-	0.29	0.11	-	0.11	1.77
	75	25.12	34.94	23.26	205.4	4.58	97.2	6.0	0.18	0.69	-	0.12	0.04	0.08	1.33
	100	21.90	35.09	24.31	189.1	4.22	84.6	34.3	0.29	3.98	-	0.20	0.25	-	2.21
	150	15.86	34.68	25.53	145.0	3.24	57.8	105.9	13.21	12.28	0.93	1.12	0.77	0.35	13.58
	200	12.08	34.56	26.24	117.0	2.61	43.1	154.3	22.90	17.89	5.01	1.87	1.12	0.75	26.70
	500	7.81	34.63	27.01	78.7	1.76	26.4	219.2	33.65	25.42	8.23	2.75	1.59	1.16	43.76
6	1000	4.64	34.59	27.40	99.9	2.23	31.1	221.3	36.08	25.66	10.42	3.45	1.60	1.85	93.19
	0	29.64	33.93	21.05	197.1	4.40	99.9	0.2	0.08	0.02	0.07	0.11	0.00	0.11	2.43
	10	29.44	33.97	21.15	198.9	4.44	100.5	-1.0	0.10	-	0.22	0.11	-	0.11	2.21
	20	28.93	34.05	21.37	202.1	4.51	101.4	-2.7	0.08	-	0.40	0.13	-	0.15	2.21
	30	28.51	34.09	21.54	203.9	4.55	101.6	-3.2	0.08	-	0.45	0.12	-	0.14	2.21
	50	26.70	34.50	22.44	186.2	4.16	90.3	20.1	1.25	2.33	-	0.28	0.15	0.14	2.65
	75	24.81	34.94	23.35	159.1	3.55	74.9	53.4	4.37	6.19	-	0.52	0.39	0.13	3.52
	100	23.82	34.97	23.67	145.0	3.24	67.1	71.1	6.74	8.24	-	0.59	0.52	0.08	4.83
	150	21.45	35.08	24.43	145.3	3.24	64.5	79.9	9.11	9.26	-	0.72	0.58	0.14	6.58
	200	17.87	35.10	25.38	143.5	3.20	59.6	97.2	8.72	11.27	-	0.86	0.70	0.15	8.77
1000	500	7.95	34.62	26.99	102.5	2.29	34.5	194.5	32.94	22.55	10.39	2.57	1.41	1.16	44.20
	1000	4.58	34.60	27.41	94.0	2.10	29.2	227.6	35.07	26.39	8.68	3.14	1.65	1.49	102.81
	2000	2.21	34.68	27.70	120.5	2.69	35.3	220.4	35.27	25.56	9.71	3.45	1.60	1.85	157.49
	3000	1.62	34.71	27.77	162.6	3.63	47.0	183.5	37.90	21.27	16.63	3.94	1.33	2.61	144.36

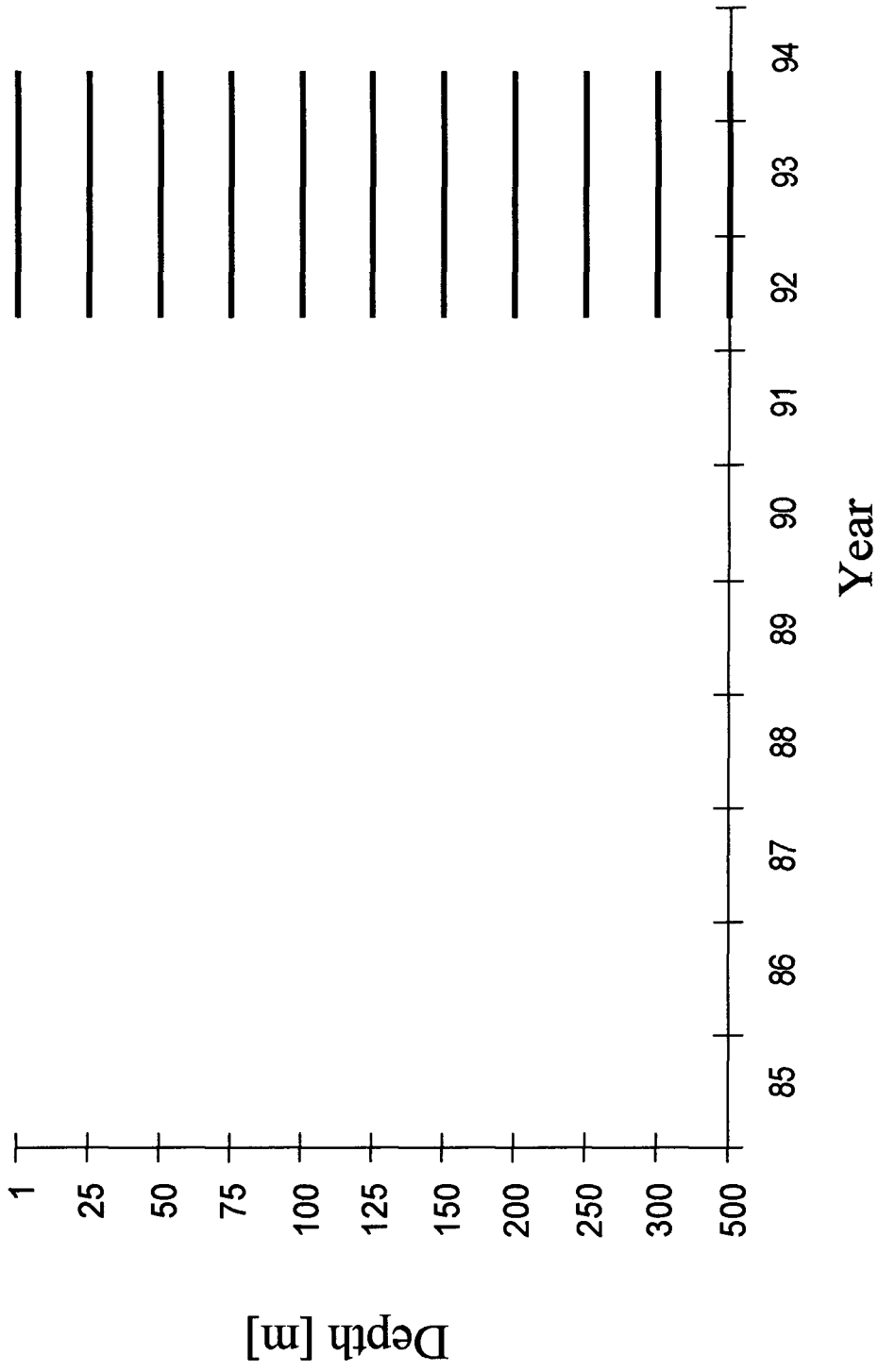
St. (m)	Dep. (m)	Temp. (degC)	Sal. (psu)	Sigma-T	DO (uM)	DO (ml/l)	DO (%)	AOU (uM)	NO3 (uM)	Ox-NO3 (uM)	Pre-NO3 (uM)	PO4 (uM)	Ox-PO4 (uM)	Pre-PO4 (uM)	Si (uM)
8	0	29.53	34.26	21.33	194.7	4.35	98.7	2.6	0.08	0.30	-	0.11	0.02	0.09	1.77
	10	29.53	34.26	21.33	198.3	4.43	100.5	-1.1	0.08	-	0.21	0.11	-	0.11	1.77
	20	29.50	34.26	21.35	197.4	4.41	100.0	-0.1	0.08	-	0.09	0.11	-	0.11	1.77
	30	28.65	34.38	21.72	196.5	4.39	98.3	3.4	0.07	0.40	-	0.11	0.02	0.09	2.21
	50	27.38	34.55	22.26	205.4	4.58	100.7	-1.5	0.08	-	0.25	0.11	-	0.12	1.33
	75	25.81	34.69	22.86	189.7	4.23	90.7	19.5	0.15	2.26	-	0.20	0.14	0.05	2.21
	100	24.56	34.90	23.40	153.8	3.43	72.1	59.6	5.24	6.91	-	0.50	0.43	0.07	4.40
	150	22.28	35.03	24.16	144.4	3.22	65.1	77.6	8.63	8.99	-	0.68	0.56	0.12	7.90
	200	20.22	35.11	24.79	142.0	3.17	61.7	88.3	11.16	10.23	0.93	0.90	0.64	0.26	8.33
	500	7.65	34.62	27.02	70.7	1.58	23.6	228.4	36.08	26.48	9.60	2.79	1.66	1.14	48.14
	1000	4.55	34.61	27.41	99.9	2.23	31.0	222.0	34.26	25.74	8.52	3.10	1.61	1.49	77.00
	2000	2.18	34.69	27.71	136.7	3.05	40.1	204.5	38.92	23.71	15.21	4.07	1.48	2.58	139.99
	3000	1.60	34.71	27.77	146.1	3.26	42.2	200.1	34.46	23.20	11.26	3.63	1.45	2.18	135.62
10	0	29.35	34.16	21.32	194.5	4.34	98.3	3.4	0.08	0.40	-	0.11	0.02	0.08	1.77
	10	29.36	34.16	21.32	193.6	4.32	97.8	4.3	0.06	0.50	-	0.11	0.03	0.08	1.77
	20	29.39	34.41	21.49	196.5	4.39	99.5	1.0	0.03	0.12	-	0.11	0.01	0.10	1.77
	30	29.28	34.52	21.62	199.2	4.45	100.7	-1.4	0.12	-	-	0.15	-	0.16	1.77
	50	28.60	34.77	22.03	192.1	4.29	96.2	7.6	0.16	0.88	-	0.20	0.05	0.14	1.77
	75	26.65	35.07	22.88	176.5	3.94	85.8	29.3	1.68	3.40	-	0.33	0.21	0.11	2.21
	100	24.73	35.05	23.46	151.4	3.38	71.2	61.2	6.26	7.10	-	0.59	0.44	0.15	4.40
	150	22.25	35.11	24.23	140.2	3.13	63.2	81.8	9.74	9.48	0.26	0.79	0.59	0.20	6.58
	200	20.68	35.15	24.69	142.4	3.18	62.4	85.9	10.21	9.96	0.25	0.86	0.62	0.23	7.90
	500	7.93	34.63	26.99	98.7	2.20	33.2	198.4	35.98	23.00	12.97	2.62	1.44	1.18	85.32
	1000	4.44	34.61	27.43	92.5	2.06	28.7	230.2	40.13	26.69	13.44	3.56	1.67	1.89	97.12
	2000	2.11	34.69	27.71	122.3	2.73	35.8	219.5	38.72	25.45	13.26	3.98	1.59	2.39	139.99
	3000	1.60	34.71	27.77	146.9	3.28	42.4	199.3	38.51	23.11	15.40	3.85	1.44	2.40	144.36
	4000	1.53	34.72	27.79	158.8	3.54	45.8	188.1	37.50	21.80	15.69	3.85	1.36	2.48	144.36



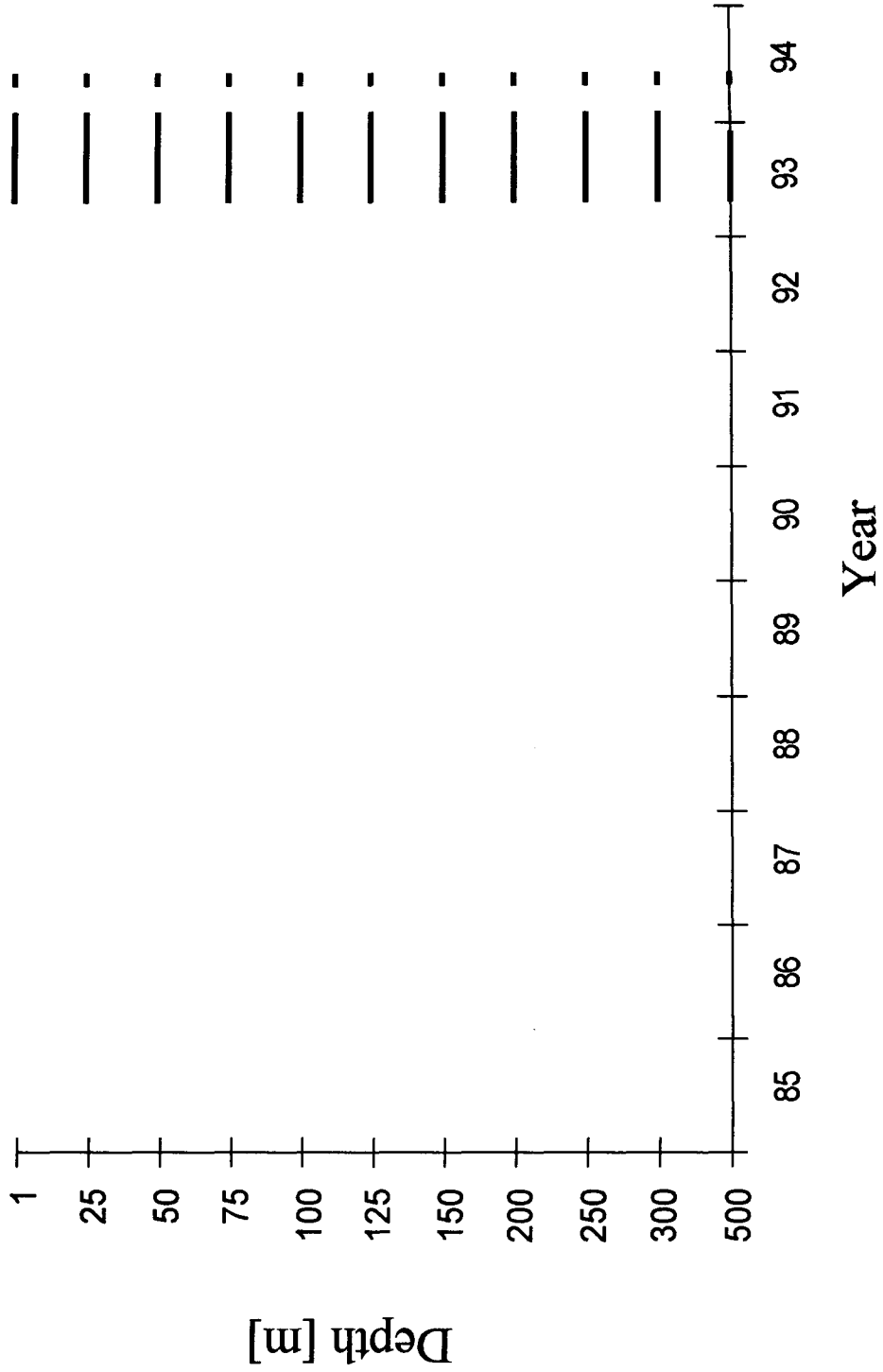
St.	Dep. (m)	Temp. (degC)	Sal. (psu)	Sigma-T	DO (uM)	DO (ml/l)	DO (%)	AOU (uM)	NO3 (uM)	Ox-NO3 (uM)	Pre-NO3 (uM)	PO4 (uM)	Ox-PO4 (uM)	Pre-PO4 (uM)	Si (uM)
12	0	29.73	34.22	21.24	194.7	4.35	99.0	2.0	0.10	0.23	-	0.13	0.01	0.11	1.99
	10	29.63	34.24	21.28	196.2	4.38	99.6	0.8	0.10	0.09	0.01	0.13	0.01	0.12	1.77
	20	29.63	34.32	21.34	195.0	4.35	99.0	1.9	0.08	0.22	-	0.15	0.01	0.14	1.77
	30	29.53	34.40	21.44	197.1	4.40	100.0	-0.0	0.10	-	0.10	0.13	-	0.13	1.77
	50	28.39	34.77	22.10	190.9	4.26	95.3	9.4	0.35	1.10	-	0.24	0.07	0.17	1.77
	75	27.25	35.08	22.70	172.1	3.84	84.5	31.7	2.79	3.67	-	0.46	0.23	0.23	2.65
	100	23.86	34.89	23.60	150.3	3.35	69.6	65.8	6.97	7.62	-	0.64	0.48	0.16	5.71
	200	20.02	35.28	24.97	140.5	3.14	60.8	90.4	11.32	10.48	0.84	0.90	0.66	0.24	7.02
	500	7.75	34.63	27.02	80.4	1.79	26.9	218.0	37.50	25.28	12.22	2.75	1.58	1.17	43.76
	1000	4.76	34.60	27.38	102.2	2.28	31.9	218.0	39.32	25.28	14.04	3.41	1.58	1.83	86.63
	2000	2.18	34.68	27.70	127.3	2.84	37.3	213.9	39.73	24.80	14.93	3.94	1.55	2.39	131.24
	3000	1.63	34.71	27.77	146.7	3.27	42.4	199.3	38.72	23.11	15.61	3.98	1.44	2.53	139.99
	4000	1.56	34.72	27.78	154.4	3.45	44.5	192.2	37.50	22.28	15.22	3.89	1.39	2.50	144.36
14	0	29.56	34.33	21.37	195.6	4.37	99.2	1.5	0.10	0.17	-	0.11	0.01	0.10	1.77
	10	29.52	34.33	21.39	194.2	4.33	98.5	3.0	0.10	0.35	-	0.11	0.02	0.09	1.77
	20	29.52	34.34	21.40	195.3	4.36	99.0	1.9	0.12	0.22	-	0.11	0.01	0.09	1.77
	30	29.50	34.35	21.41	195.6	4.37	99.2	1.6	0.12	0.19	-	0.13	0.01	0.12	1.77
	50	29.47	34.37	21.44	198.6	4.43	100.6	-1.3	0.10	-	0.25	0.11	-	0.12	1.77
	75	28.92	34.42	21.66	166.2	3.71	83.5	32.8	2.79	3.80	-	0.37	0.24	0.13	3.30
	100	25.11	34.93	23.26	169.1	3.77	80.0	42.3	3.42	4.90	-	0.37	0.31	0.06	3.08
	150	21.76	35.10	24.36	137.9	3.08	61.6	86.1	8.47	9.98	-	0.64	0.62	0.01	6.58
	200	18.15	35.01	25.24	141.7	3.16	59.2	97.8	11.63	11.34	0.29	0.99	0.71	0.28	12.49
	500	8.18	34.65	26.97	142.0	3.17	48.1	153.4	11.48	17.79	-	1.03	1.11	-	12.27
	1000	4.82	34.60	27.38	103.7	2.31	32.4	216.1	34.66	25.05	9.61	3.36	1.57	1.80	83.57
	2000	2.24	34.69	27.70	124.6	2.78	36.6	216.1	35.27	25.06	10.21	3.98	1.57	2.41	135.62
	3000	1.61	34.72	27.77	147.3	3.29	42.6	198.8	34.26	23.05	11.20	3.98	1.44	2.54	144.36
	4000	1.56	34.72	27.78	155.3	3.47	44.8	191.3	33.85	22.18	11.67	3.98	1.39	2.59	144.36

St. No.	Dep. (m)	Temp. (degC)	Sal. (psu)	Sigma-T	DO (uM)	DO (ml/l)	DO (%)	AOU (uM)	NO3 (uM)	Ox-NO3 (uM)	Pre-NO3 (uM)	PO4 (uM)	Ox-PO4 (uM)	Pre-PO4 (uM)	Si (uM)
16	0	29.26	34.12	21.32	194.7	4.35	98.2	3.6	0.05	0.41	-	0.11	0.03	0.08	1.77
	10	29.22	34.13	21.34	203.6	4.54	102.6	-5.2	0.10	-	0.70	0.11	-	0.14	1.77
	20	29.18	34.14	21.36	199.5	4.45	100.5	-1.0	0.10	-	0.22	0.11	-	0.11	1.77
	30	29.15	34.15	21.38	198.6	4.43	100.0	-0.0	0.10	-	0.10	0.11	-	0.11	1.77
	50	28.76	34.27	21.60	198.0	4.42	99.1	1.7	0.10	0.20	-	0.13	0.01	0.12	1.77
	75	26.35	35.08	22.99	174.7	3.90	84.5	32.2	2.63	3.73	-	0.42	0.23	0.18	2.65
	100	24.73	35.06	23.47	165.3	3.69	77.7	47.3	4.84	5.49	-	0.46	0.34	0.12	3.52
	150	20.64	35.16	24.71	145.0	3.24	63.5	83.5	9.11	9.68	-	0.72	0.60	0.12	7.02
	200	18.54	35.44	25.47	139.1	3.10	58.6	98.1	11.32	11.37	-	0.86	0.71	0.14	5.27
	500	8.17	34.66	26.98	140.2	3.13	47.5	155.2	30.81	18.00	12.81	2.18	1.12	1.05	29.77
	1000	4.66	34.60	27.40	105.5	2.35	32.9	215.5	38.92	24.98	13.93	3.32	1.56	1.76	84.22
	2000	2.21	34.69	27.70	122.6	2.74	36.0	218.4	39.32	25.32	14.01	3.85	1.58	2.26	199.99
	3000	1.59	34.72	27.78	147.0	3.28	42.4	199.3	37.90	23.11	14.80	3.98	1.44	2.53	148.74
	4000	1.55	34.72	27.79	153.8	3.43	44.4	192.9	37.70	22.36	15.34	3.94	1.40	2.54	144.36

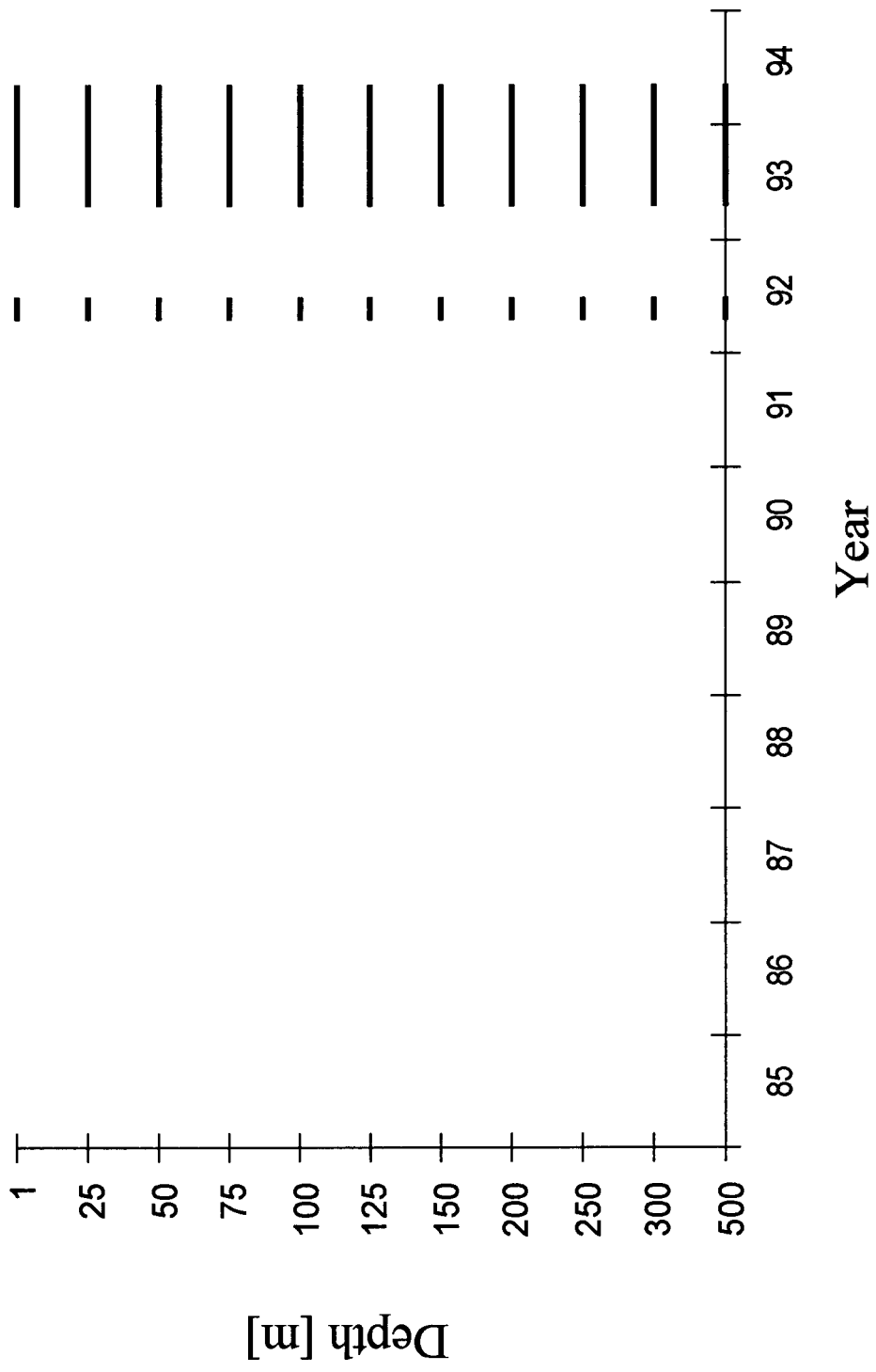
# Temperature (2°N, 137°E)



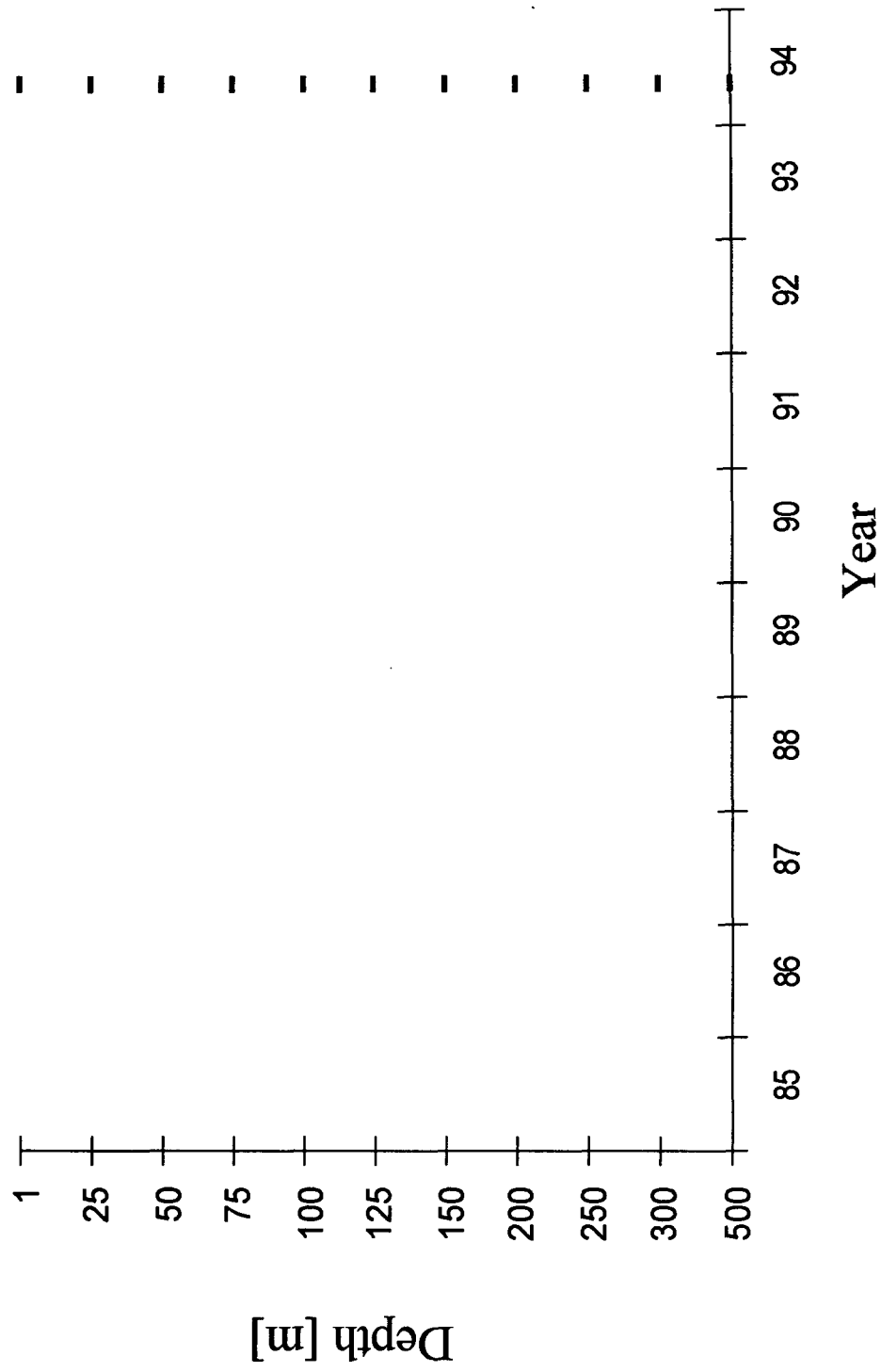
# Temperature (5°N, 137°E)



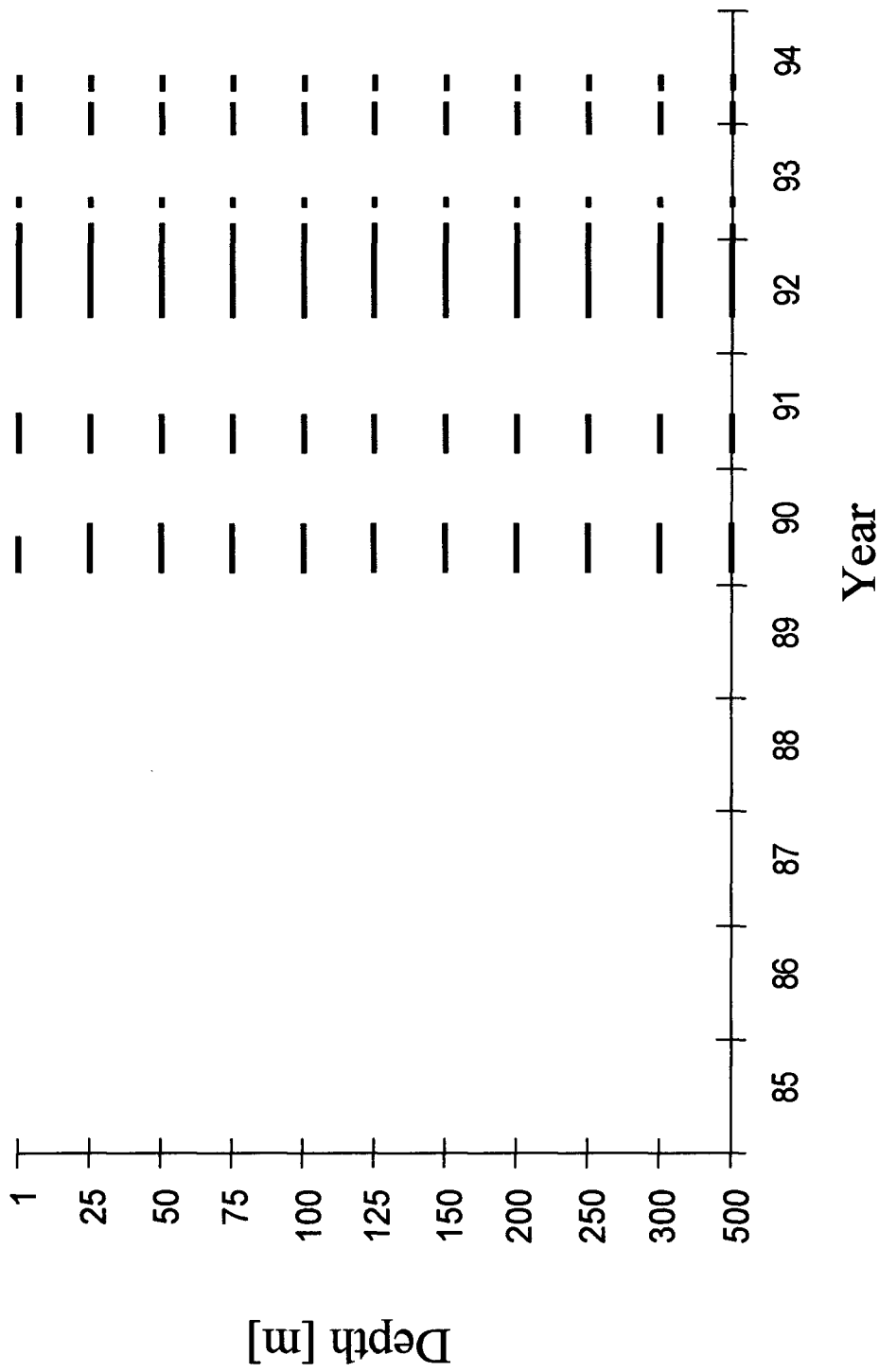
# Temperature (0°N, 143°E)



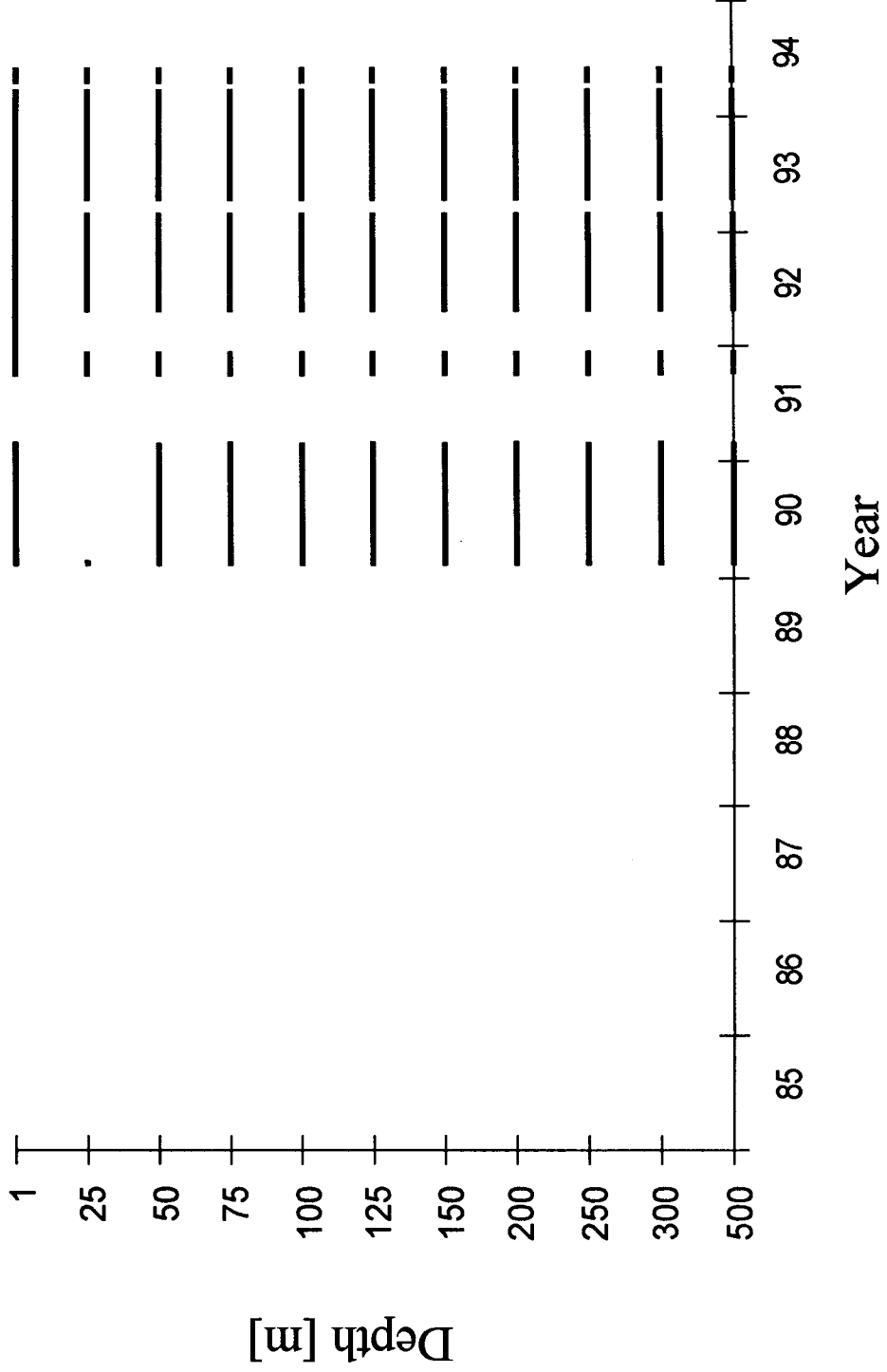
# Temperature (0°N, 147°E)



# Temperature (2°N, 147°E)

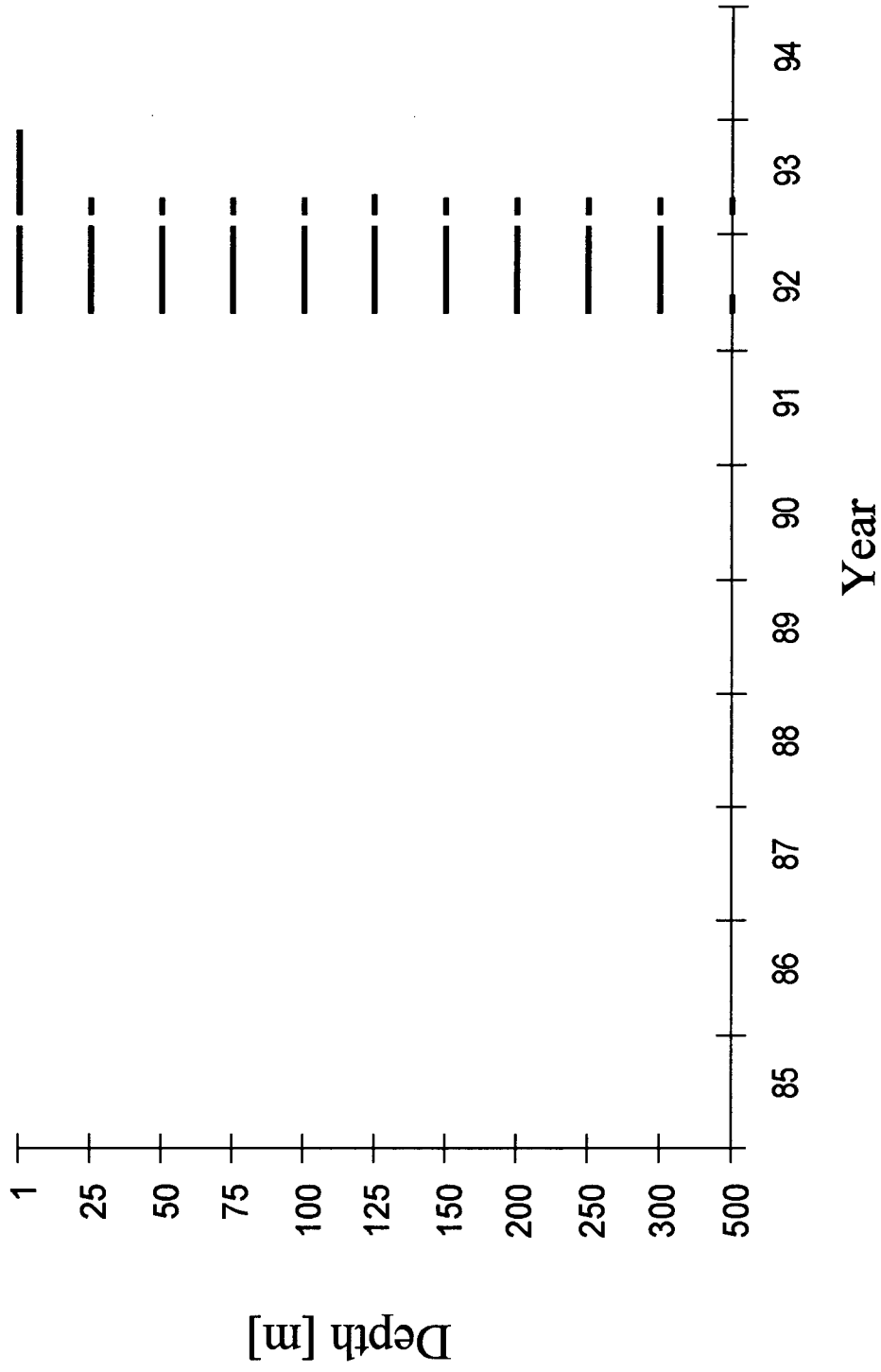


# Temperature (5°N, 147°E)

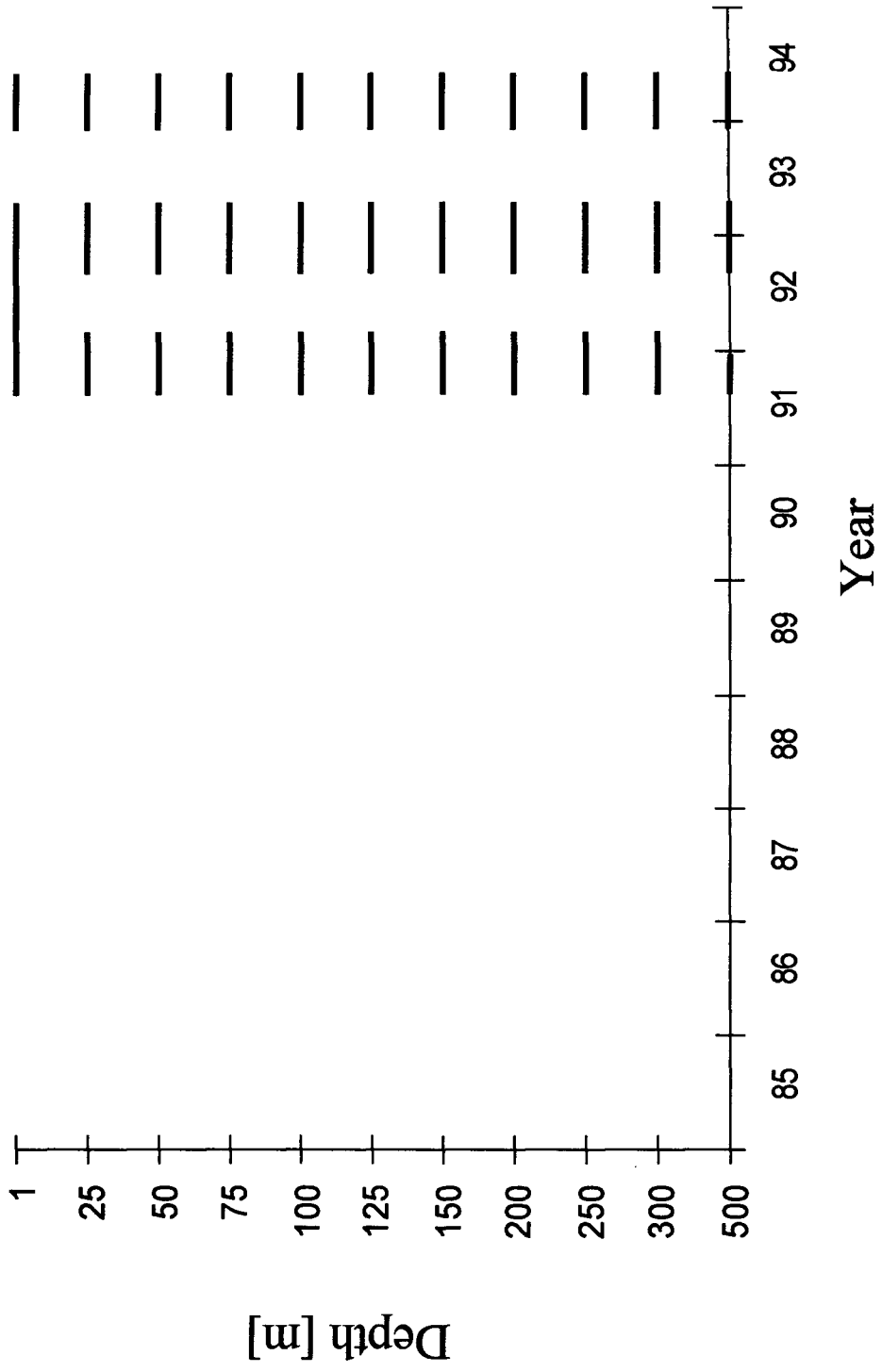




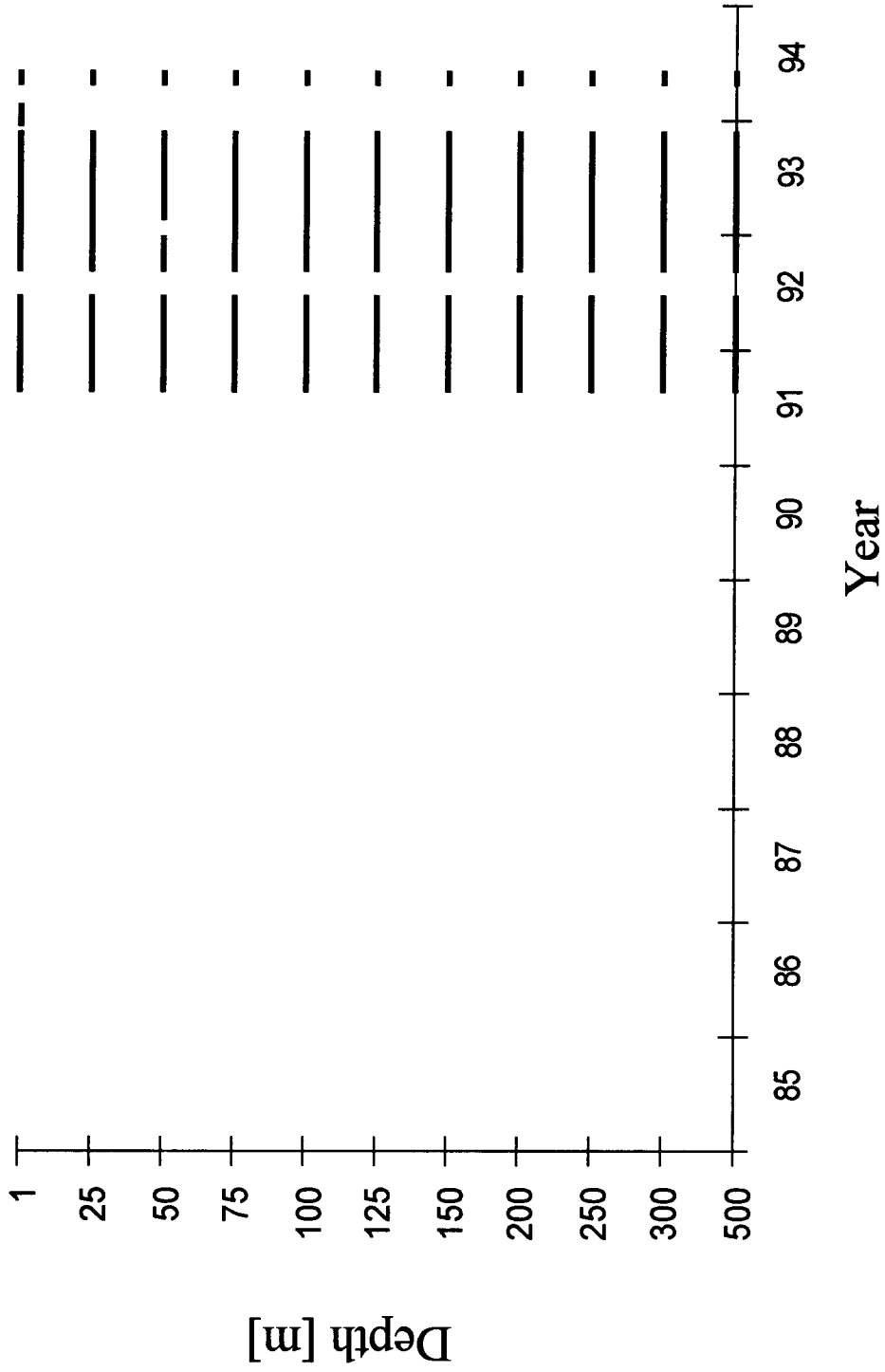
# Temperature (0°N, 154°E)



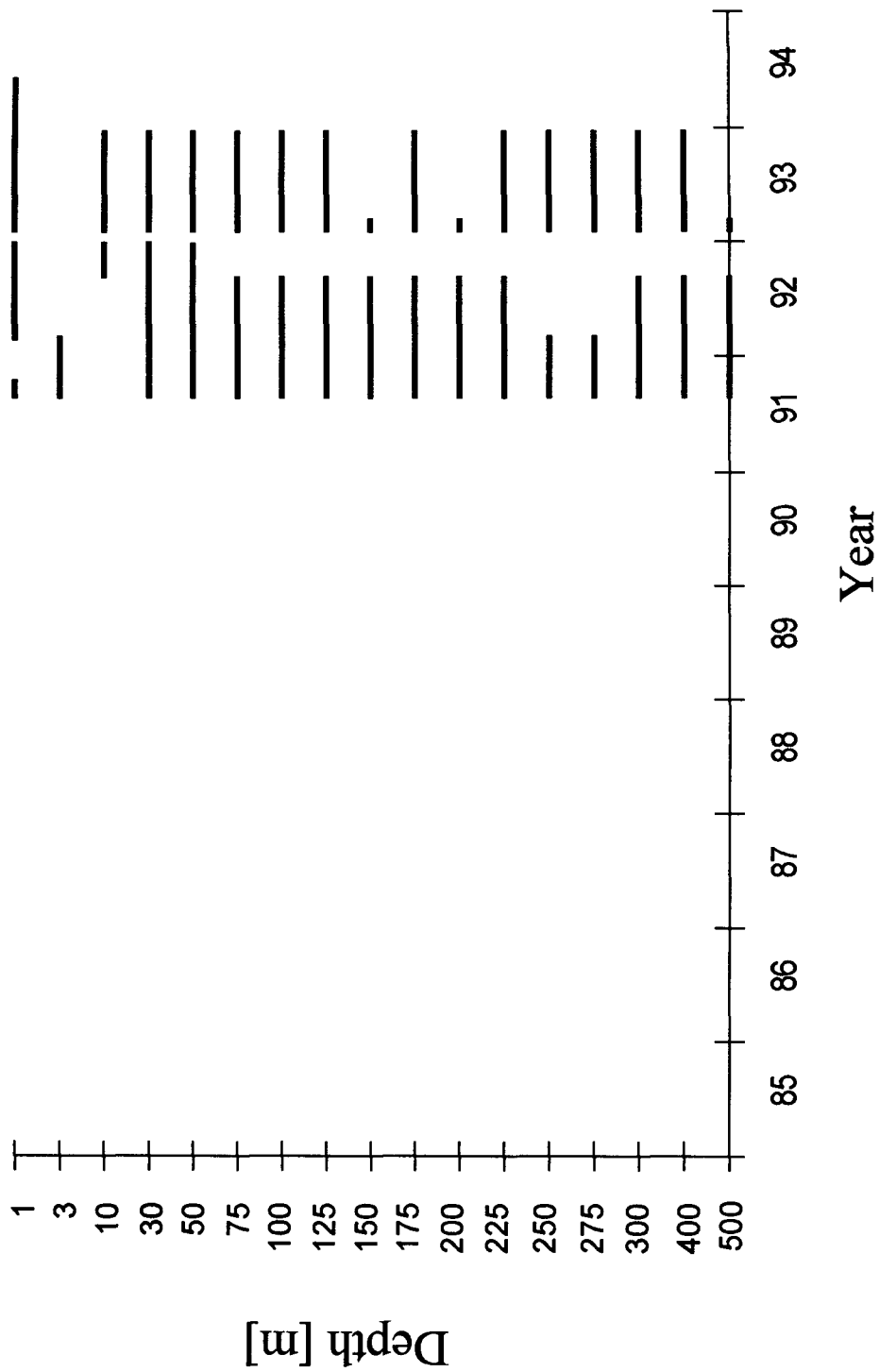
# Temperature (5°S, 156°E)



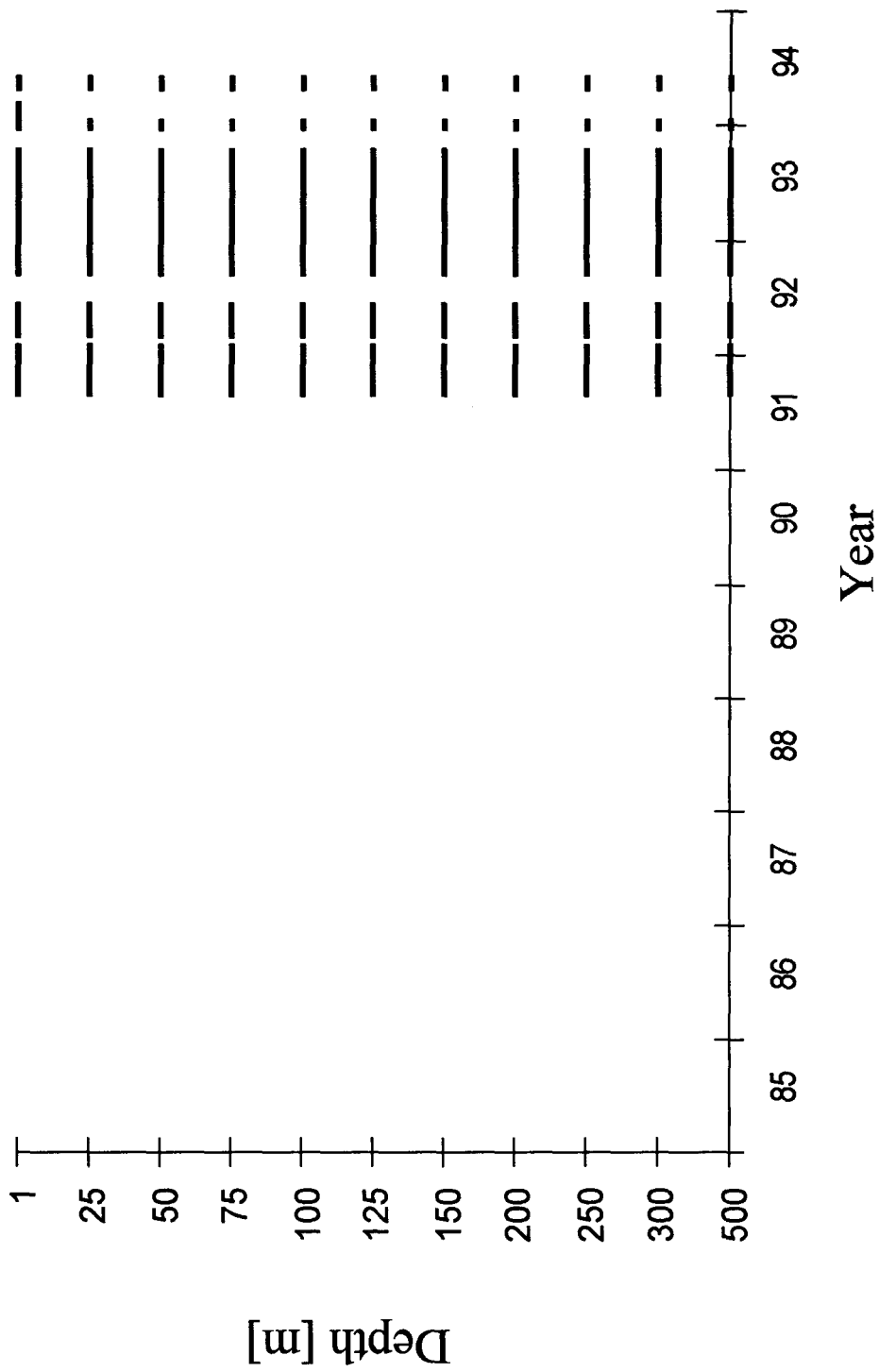
# Temperature (2°S, 156°E)



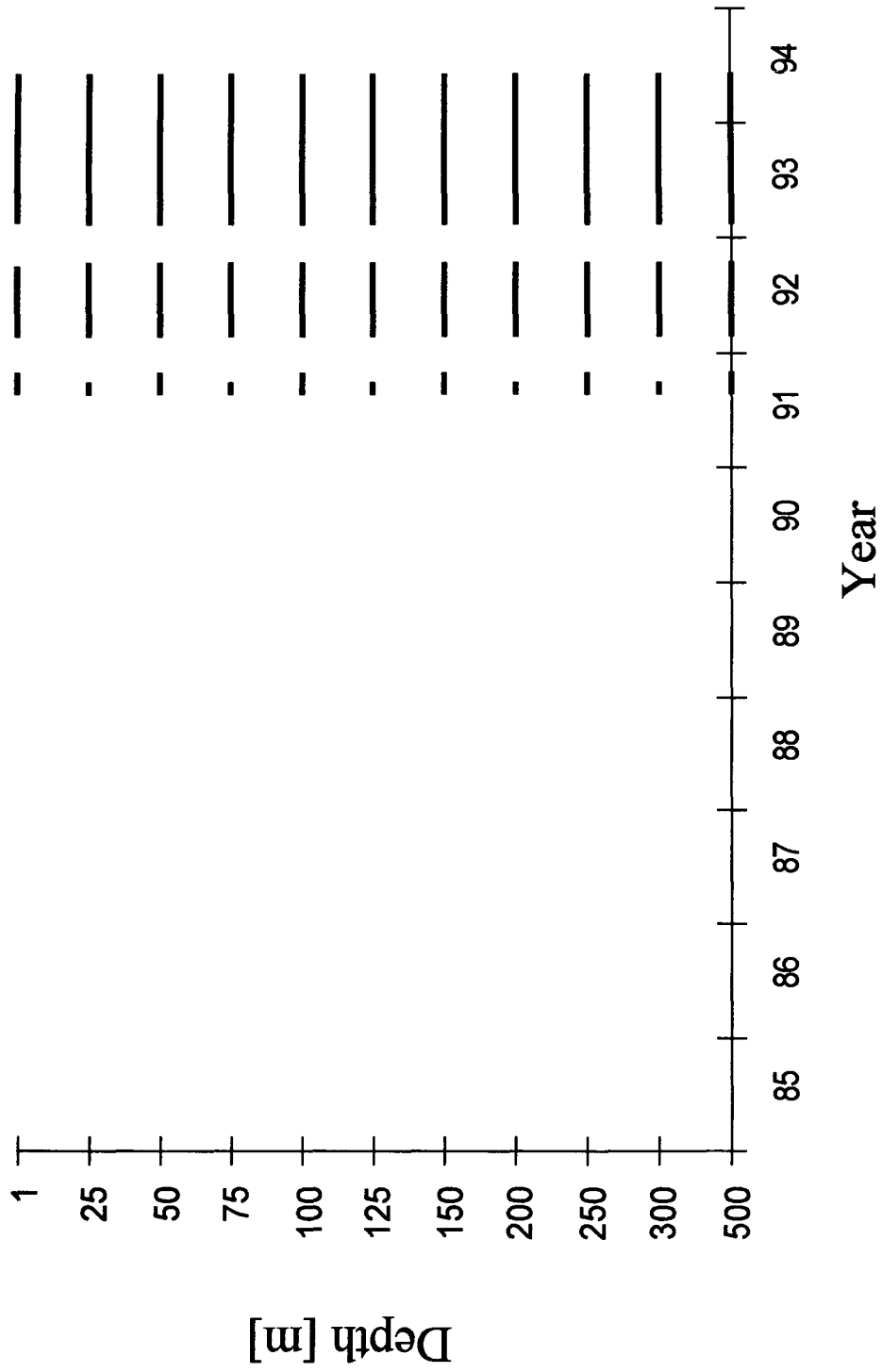
# Temperature (0°N, 156°E)



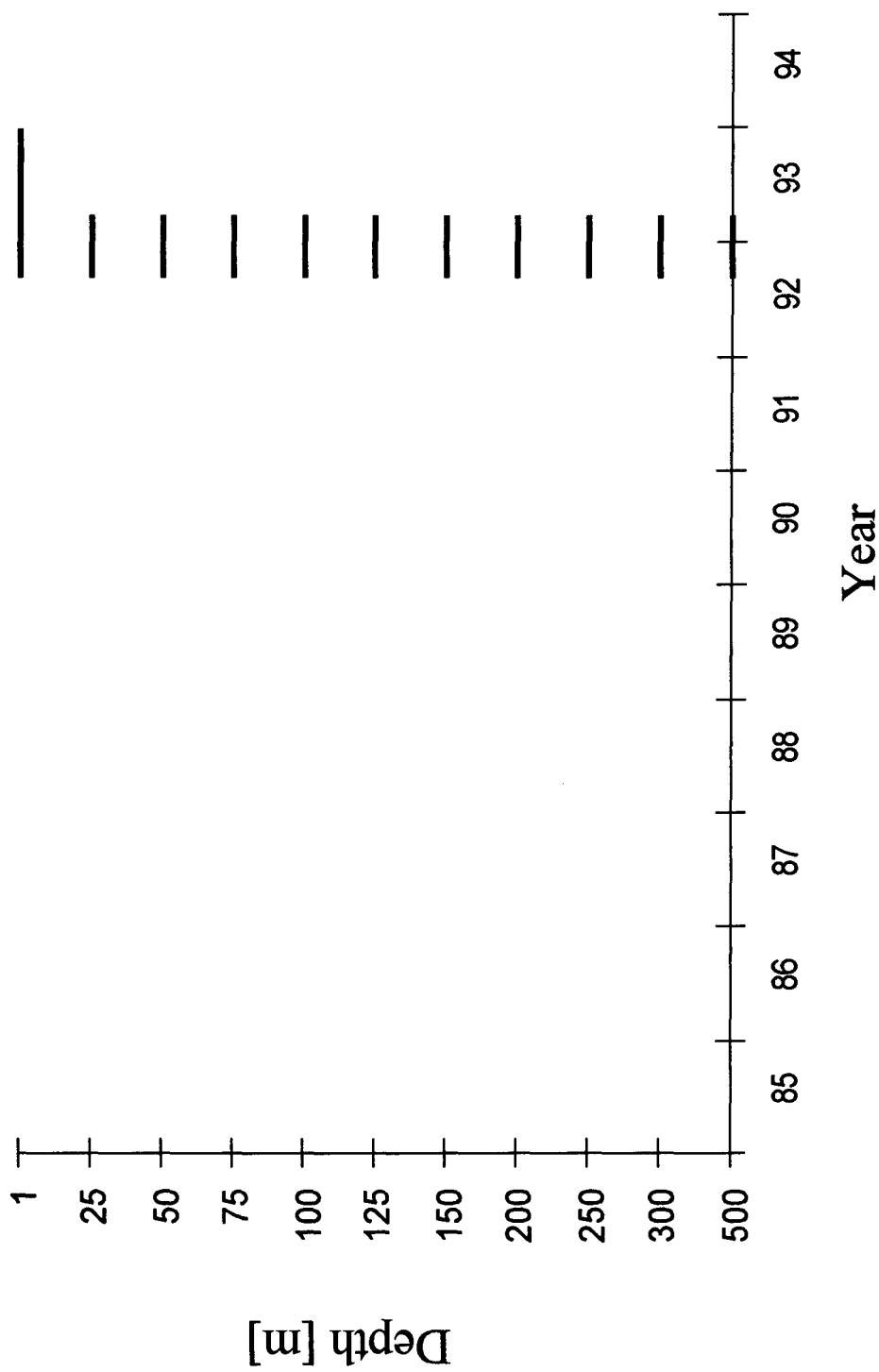
# Temperature (2°N, 156°E)



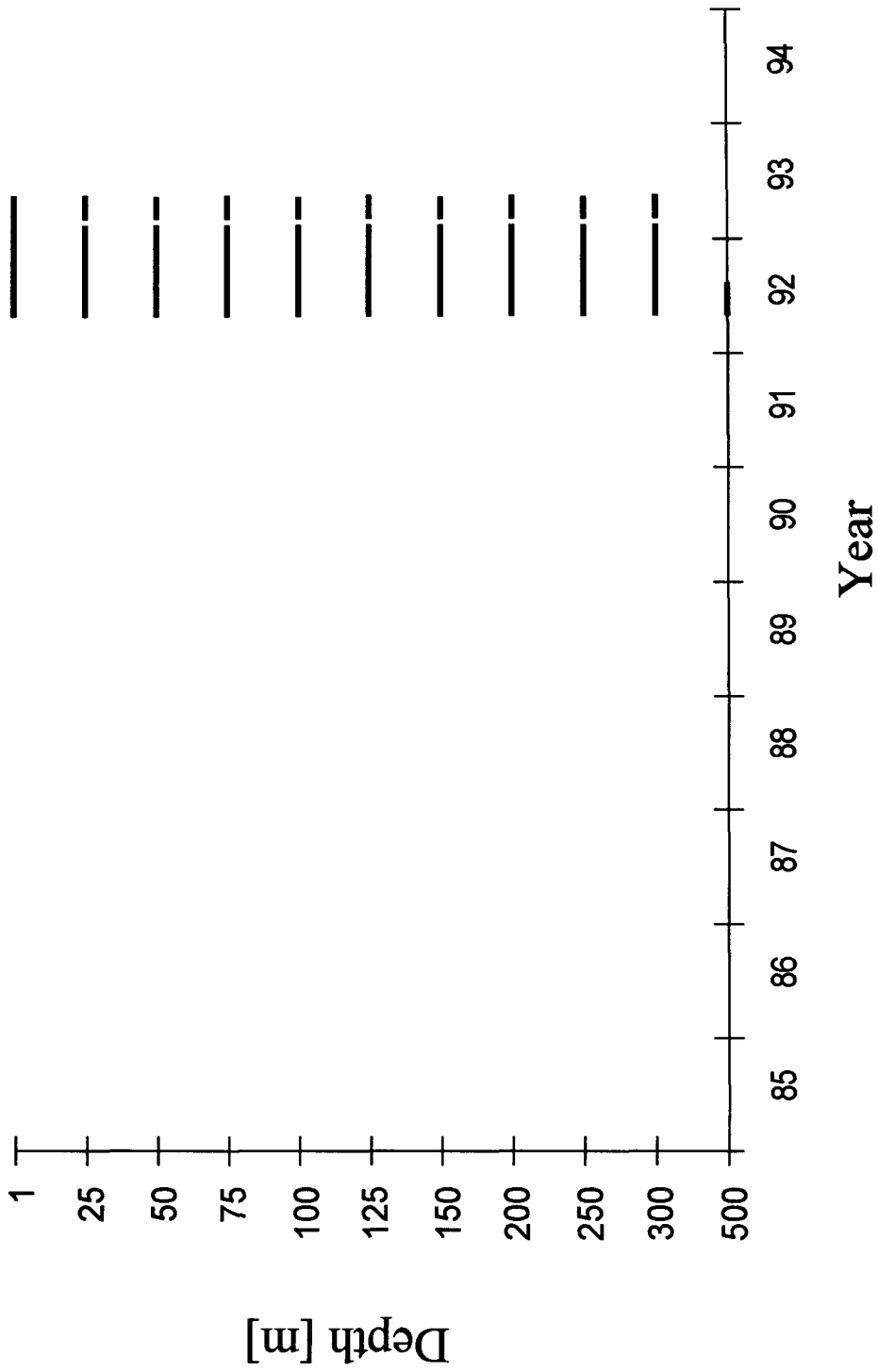
# Temperature (5°N, 156°E)



# Temperature (0°N, 158°E)

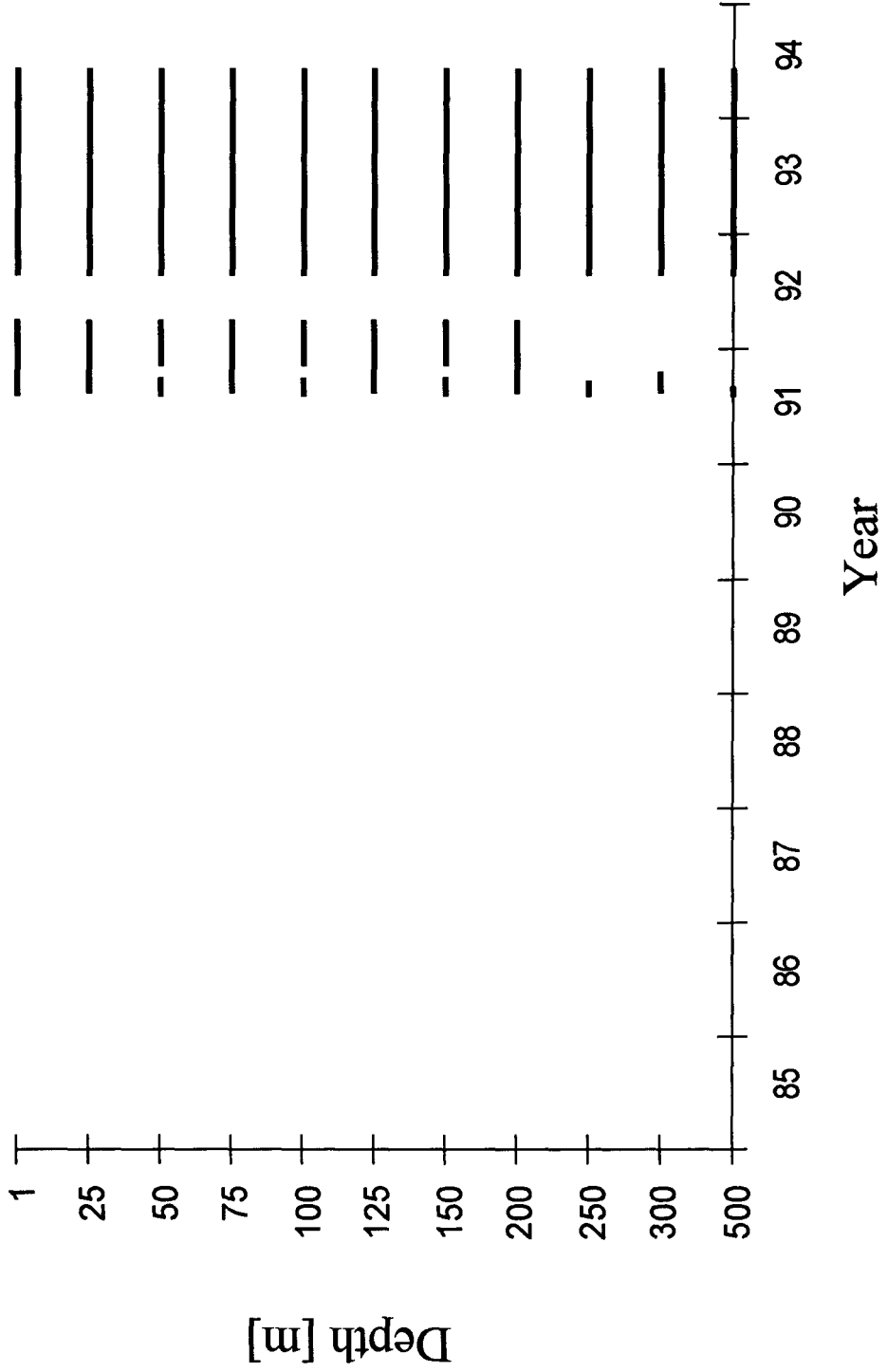


# Temperature (0°N, 161°E)

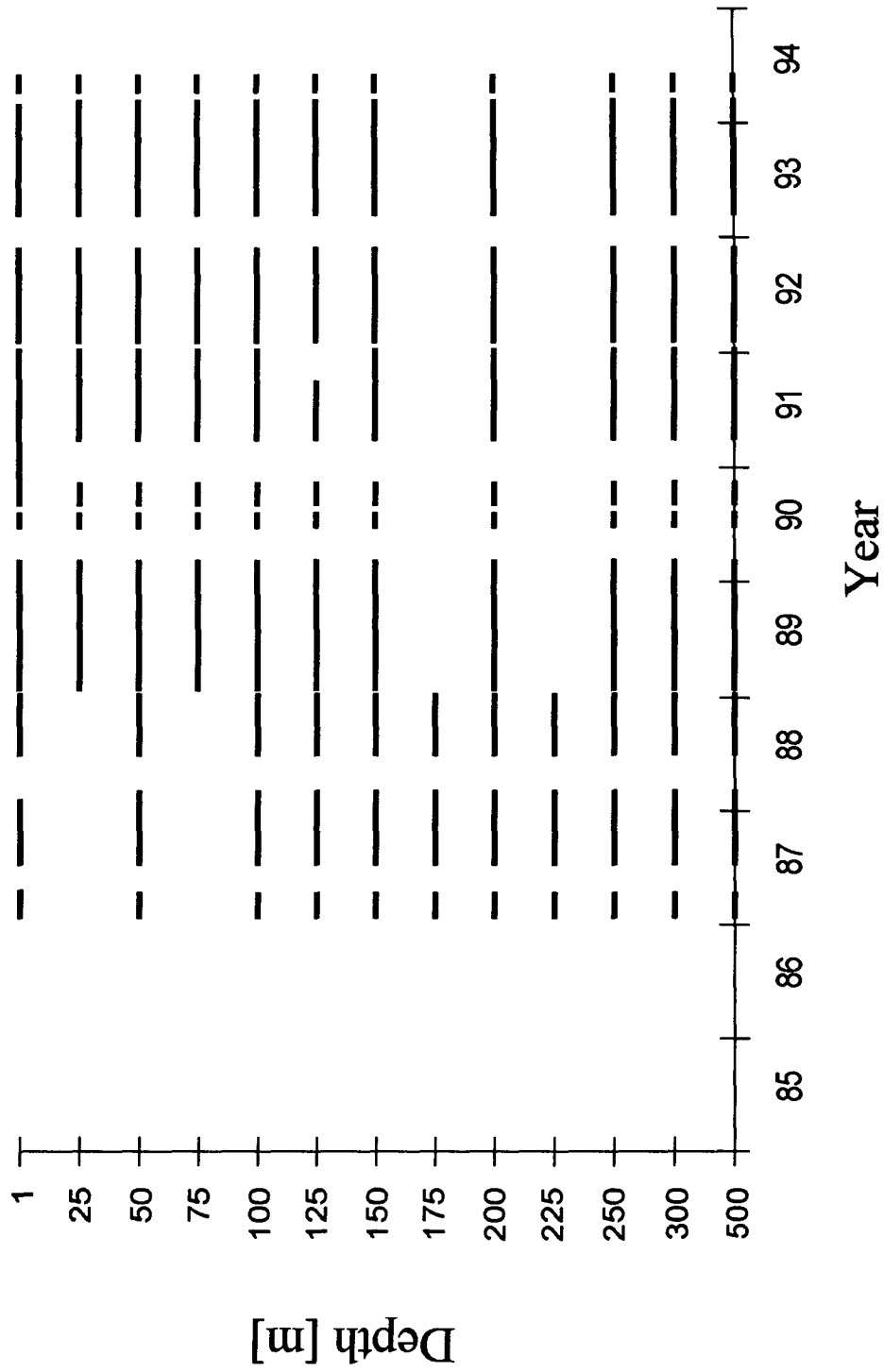




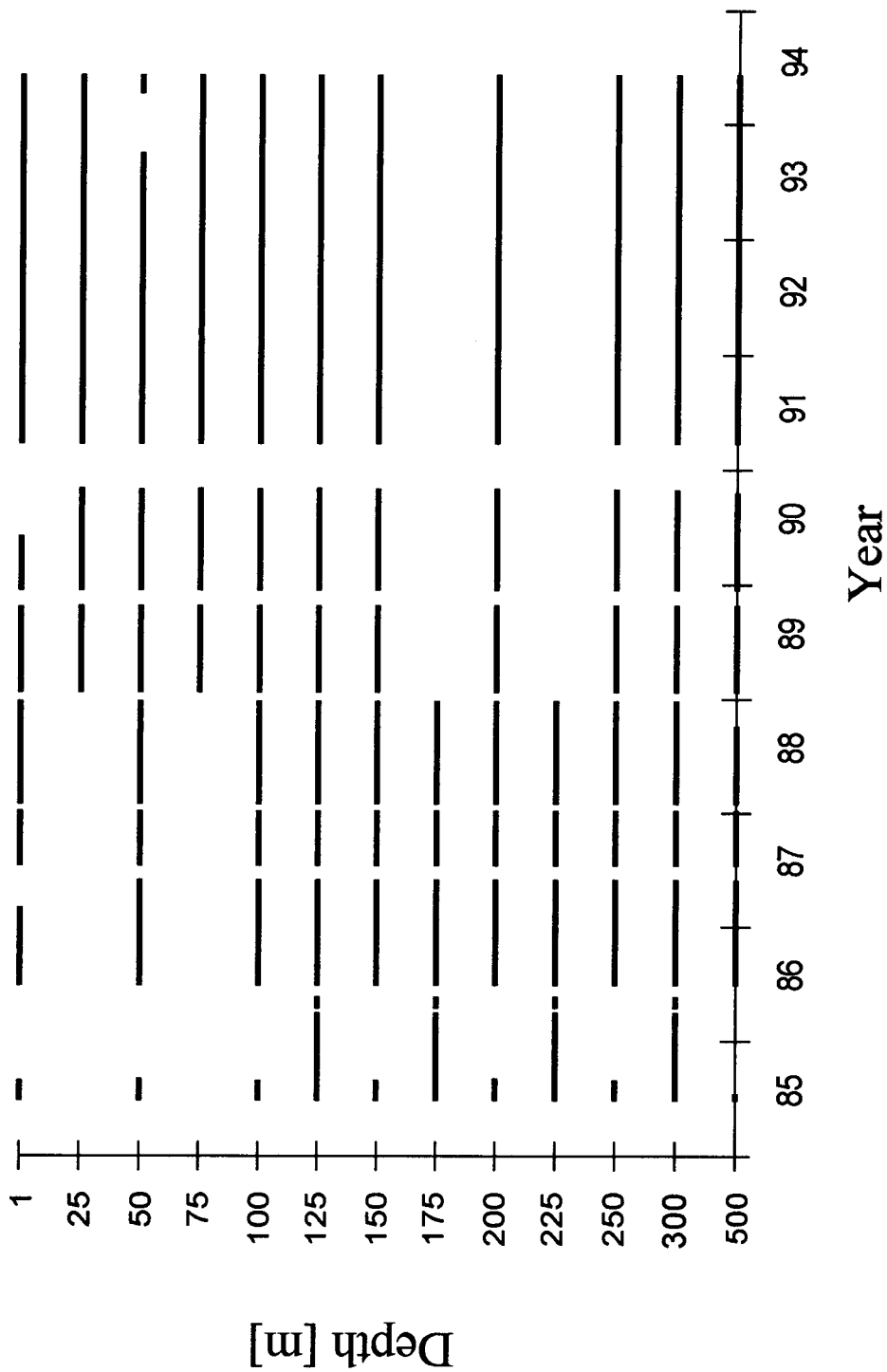
# Temperature (8°S, 165°E)



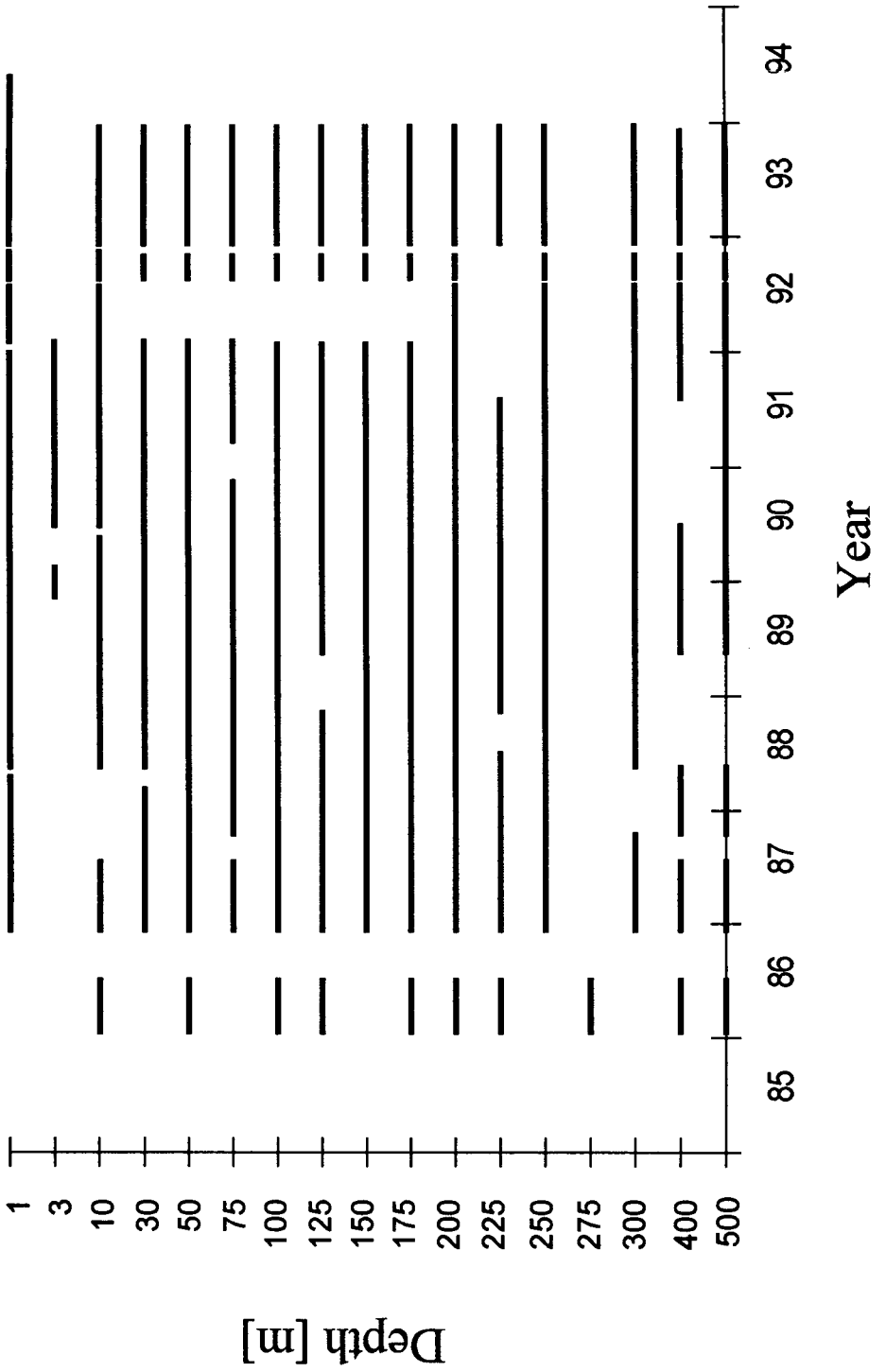
# Temperature (5°S, 165°E)



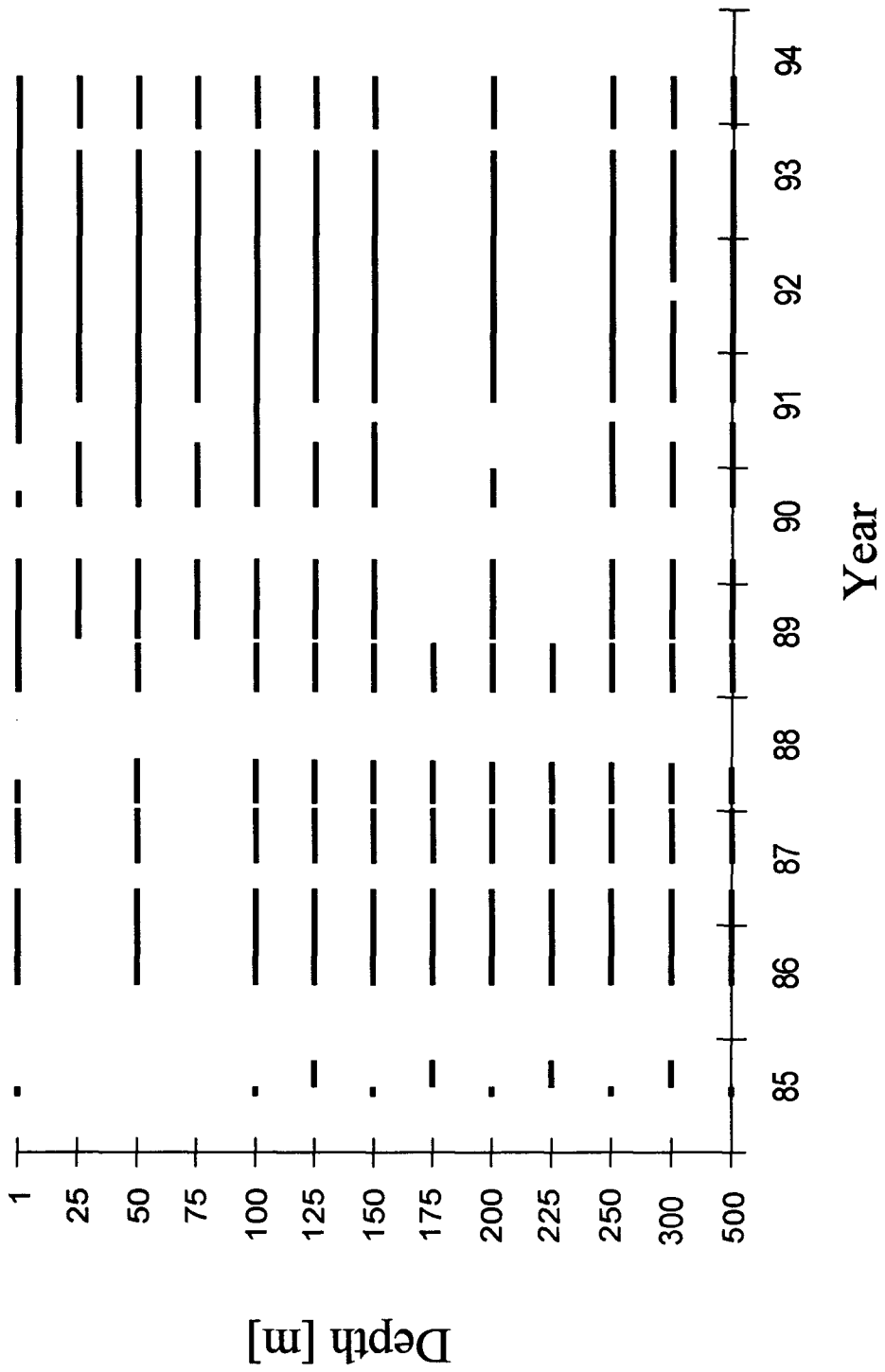
# Temperature (2°S, 165°E)



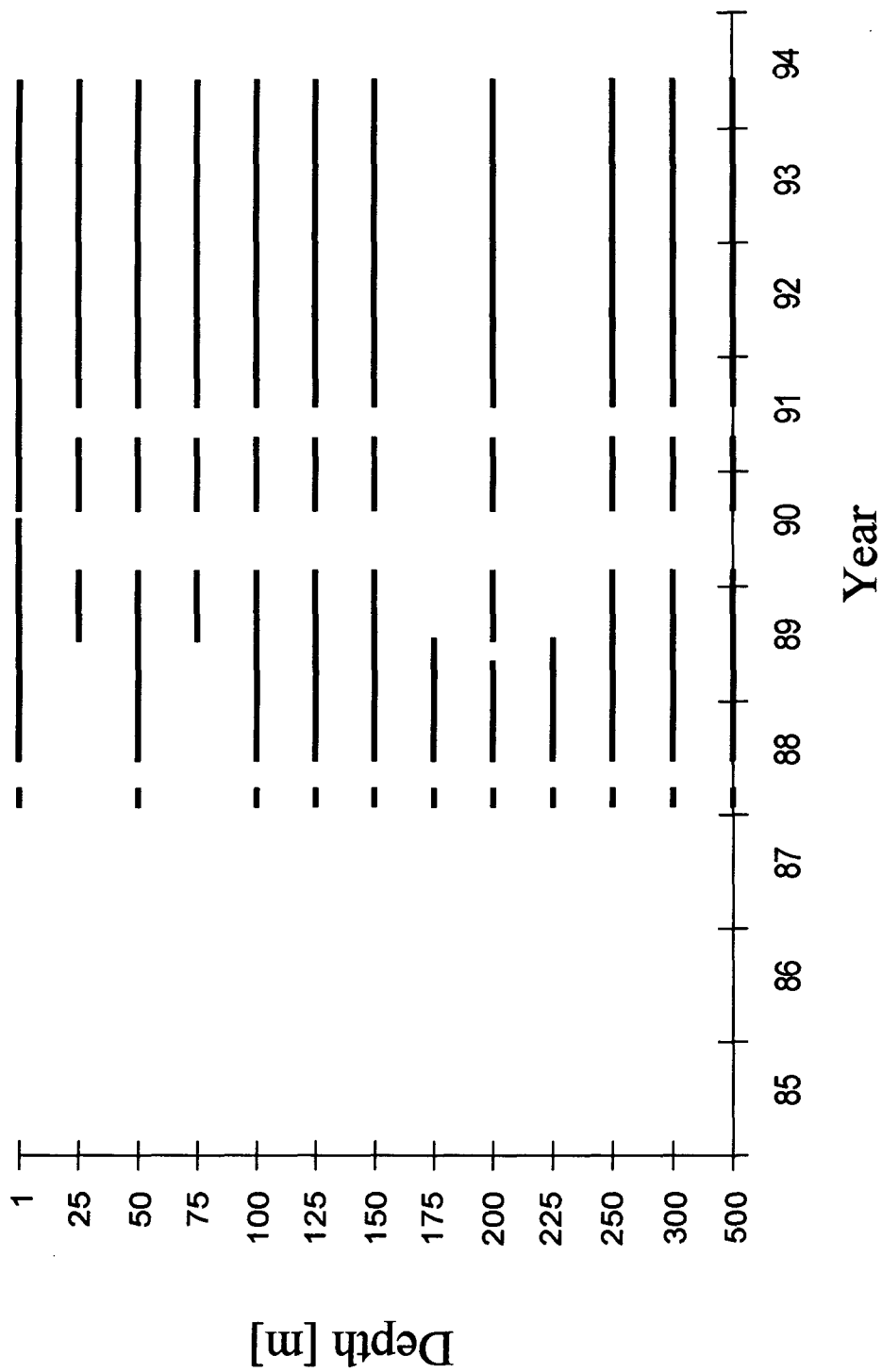
# Temperature (0°N, 165°E)



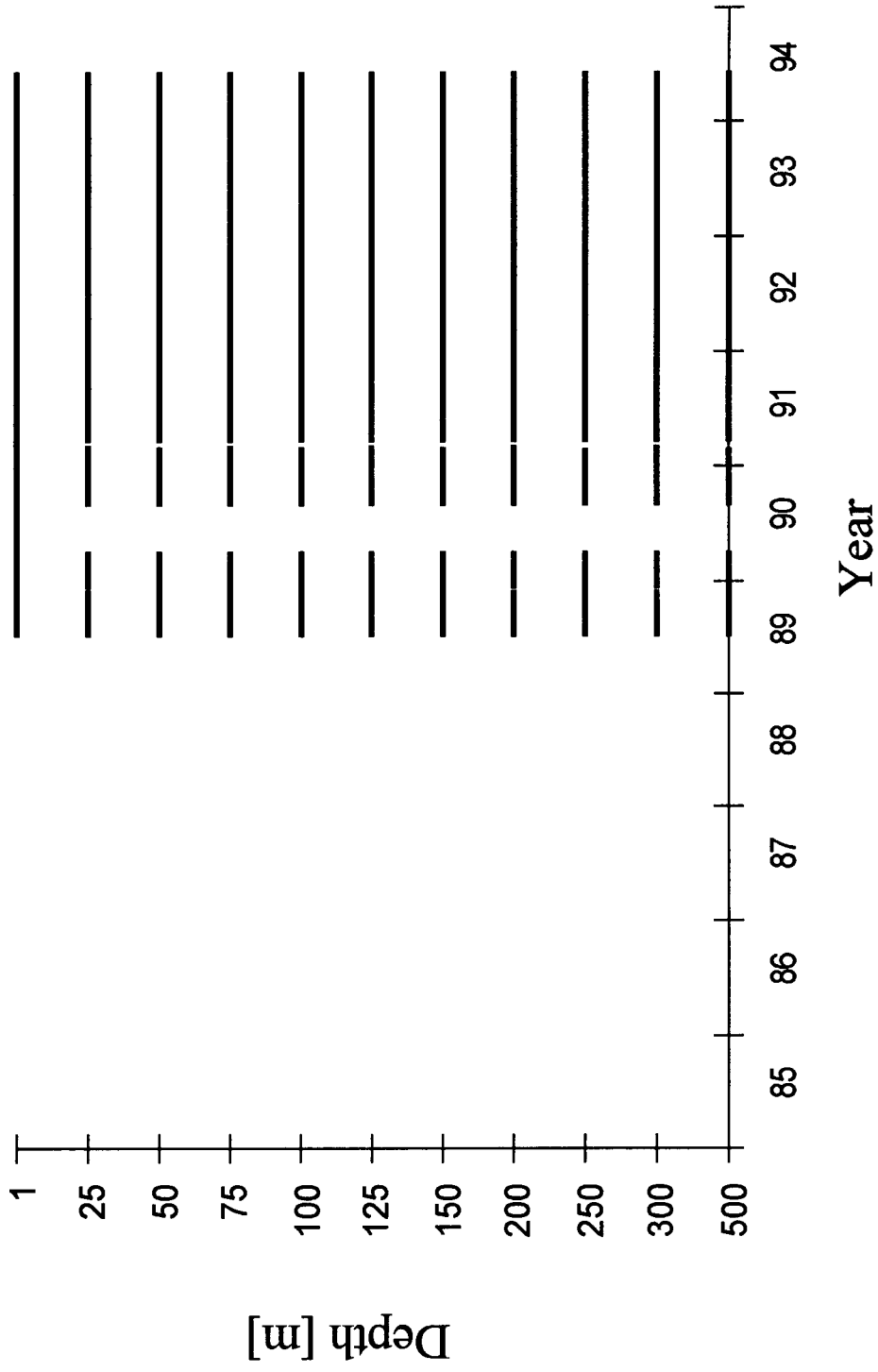
# Temperature (2°N, 165°E)



# Temperature ( $5^{\circ}\text{N}, 165^{\circ}\text{E}$ )



# Temperature (8°N, 165°E)



# Temperature (0°N, 170°E)

