

BSPE 00262-496-1

국제 TOGA사업 참여를 위한 예비연구

Pilot Study for the International TOGA Programme

1992. 8.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “국제 TOGA사업 참여를 위한 예비연구”사업의 최종 보고서로 제출합니다.

1991년 8월 31일

주관연구기관명 : 한국해양연구소

연구원 : 석문식, 이홍재

방인권, 황쌍철

이하응, 남수용

연구조원 : 장영석, 김태희

요 약 문

I. 제 목

국제 TOGA사업 참여를 위한 예비연구

II. 연구의 필요성과 목적

근래에 와서 우리나라 뿐아니라 지구 여러 지역에서 이상 기후가 빈번하게 발생되고 있으며 국제적으로 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 이상 기후와 관련한 대표적인 연구로서 국제 TOGA 연구사업은 대기와 해양의 상호작용과 그 역할을 파악하여야 하는 필요성에서 출발하고 있다. 1980년대 중반부터 시작한 국제 TOGA 연구사업의 연구동향을 파악하고, 이 연구에 중추적 역할을 담당하고 있는 미국, 일본, 불란서 등과의 국제 공동연구를 위한 기반조성과 우리나라의 참여 분야 및 범위에 대하여 검토한다. 아울러 국제 TOGA 연구사업의 범주속에서 우리나라의 대기분야 연구사업을 추진하고 있는 기상연구소와 협조하여 해양과 대기의 상호작용에 관한 심도있는 연구를 계획한다.

III. 연구개발의 내용

1. 국제 TOGA 연구사업에 관한 회의에 참석, 국제동향 파악 및 분석.
2. 국제 TOGA 연구사업의 참여를 위한 타당성 검토.

3. ATLAS부이 운용에 관한 기술습득.

IV. 연구개발의 결과

1. 국제 TOGA사업의 해양분야 연락처의 역할.
2. 국제 TOGA사업의 일환으로 수행중인 하와이대학의 조사선에 승선 조사.
3. ATLAS부이 계류 경험 및 기술 습득.

V. 결론 및 건의

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 뿐만아니라 여러 분야에서 활용하게 된다. 그리하여 지구상의 모든 국가들은 국제 TOGA 연구사업의 결과로서 더욱 향상된 기후변화 경보 시스템을 통한 이득을 보게 될 것이다. 당연히 우리나라도 혜택을 받는 국가이며 우리나라의 국가적 위상에 걸맞는 기여를 계획하여야 할 것이다. 이러한 맥락에서, 국제 TOGA 연구사업의 대기분야에 기여하는 기상연구소의 연구사업이 5년 계획으로 1991년부터 시작되었다. 그리고 한국해양연구소는 1992년부터 여러 연구사업이 공동으로 활용하는 대양항해계획을 수립하였고 그 일환으로 열대 서태평양에서 실제 관측일수 7일에 해당하는 정선관측을 계획하여 국제 TOGA 연구사업의 해양분야에 기여하게 되었다.

SUMMARY

I. Title

Pilot Study for the International TOGA programme.

II. Significance and Objectives of the Study

In recent years, abnormal weathers occur frequently in various regions of the world including Korea and worldwide concerns on them are increasing. A most famous project related to the abnormal weather condition is the international TOGA programme. TOGA started in mid-eighties from the need of scientific understanding of the interaction between the ocean and atmosphere. Objectives of this study are to identify the international trend in TOGA research, to establish a basis for the international cooperation with the leading nations in the international TOGA programme such as U.S.A., Japan, France, and to propose a plan for possible roles and research areas of Korea in the international TOGA programme. Furthermore, cooperation with Meteorological Research Institute of Korea on the dynamics of the ocean-atmosphere interaction is being sought within the framework of the international TOGA programme.

III. Scope of the Study

1. Participate in the international TOGA programme related meetings and identify the international research trend,

2. Study feasibility of the Korea's participation in the international TOGA programme,
3. Acquire the operation know-hows of the ATLAS Buoy.

IV. Result of the Study

1. Focal point in Korea for the oceanography part of the international TOGA programme,
2. Participating in the cruises of U.S.A. and/or Japan,
3. Experience with ATLAS Buoy mooring and acquire the operation know-hows.

V. Conclusions and Suggestions

The international TOGA programme will increase our understanding of the physical causes of climate changes and, accelerate the implementation of better services in climate application areas in the near-term. The programme will also provide a proper scientific foundation for continuing progress in the future. The application areas include, but are not limited to, agricultural planning, drought management, water reserve management and energy use. Thus, countries will benefit from TOGA through improved warning of climate change. As one of the benefit countries Korea has to make some contributions to the international programme. A project of 5 years to contribute to the TOGA atmosphere component is initiated in 1991 by the Meteorological Research Institute of Korea. And the Korea Ocean Research and Development Institute has realised in 1992 a plan of open ocean cruise, which includes a hydrographic section in the westren tropical Pacific.

목 차

요약문	(3)
영문 요약문	(5)
표 목차	(11)
그림 목차	(13)
제1장 서 론	1
제1절 연구의 필요성	1
제2절 연구의 목표 및 내용	2
제2장 국제 TOGA 연구사업의 태동	3
제1절 1982-83 엘니뇨 이벤트의 서막	3
제2절 1982-83 엘니뇨 이벤트에 기인한 자연재해	5
제3절 전지구적 문제 인식	10
제4절 국제 TOGA 연구사업의 태동	13
1. 이상기후와 과학	13
2. TOGA 연구사업의 역할	14
제3장 국제 TOGA 연구사업의 현황	17
제1절 국제 TOGA 연구사업의 전반기 업적	17
제2절 국제 TOGA 연구사업의 후반기 활동	21
1. 후반기 연구방향	21
2. TOGA-COARE 연구사업의 구성	22

3. TOGA-TAO 연구사업의 구성	26
제3절 국제 TOGA 연구사업의 종료 이후	28
제4절 우리나라와 국제 TOGA 연구사업	28
제4장 국제 TOGA 연구사업 참여	33
제1절 COARE EQ-1 항해 참여	33
제2절 ATLAS 부이	35
제3절 수온, 염분 관측	42
제5장 결론 및 건의	45
참고문헌	49

CONTENTS

Summary	(3)
List of Tables	(11)
List of Figures	(13)
Chapter I. Introduction	1
Section 1. Significance of the Study	1
Section 2. Objective and Scope of the Study	2
Chapter II. Motivation of International TOGA Programme	3
Section 1. Beginning of 1983-82 El Niño Event	3
Section 2. Nature's Challenge during 1983-82 El Niño Event	5
Section 3. Recognition to Global Problem	10
Section 4. Birth of International TOGA Programme	13
1. Science and Abnormal Weather and Climate Change	13
2. Role of International TOGA programme	14
Chapter III. Present Status of International TOGA Programme	17
Section 1. Progress during the first phase	17
Section 2. Plans during the second phase	21
1. Objectives for the second phase	21
2. Components and Elements of TOGA-COARE	22
3. Components and Elements of TOGA-TAO	26

Section 3. Some Consideration for the Post TOGA	28
Section 4. Korea and International TOGA Programme	28
Chapter IV. Participating in International TOGA Programme	33
Section 1. COARE EQ-1 Cruise Participation	33
Section 2. ATLAS system	35
Section 3. Hydrographic Sections	42
Chapter V. Conclusion and Suggestions	45
References	49

표 목 차

표 1. 1982-83 년 발생한 엘니뇨에 의한 에쿠아도르, 페루 및 볼리비아의 피해액	8
표 2. 집중관측 계획기간 동안의 관측항목	24
표 3. TOGA COARE 집중관측 계획기간 동안에 관측하여야 할 대기 및 해양 요소	24

LIST OF TABLES

Table 1. Evaluation of physical damages caused during the 1982-83 El Niño Phenomenon in Educador, Peru and Bolivia.	8
Table 2. Process of IOP component.	24
Table 3. Field to be Observed during TOGA COARE.	24

그림 목 차

그림 1.	1982-83 엘니뇨 초기에 페루의 파이타에서의 표층수온	4
그림 2.	TOGA 태평양에서 BT의 관측후 수집까지 경과시간	19
그림 3.	TOGA COARE 계획표	23
그림 4.	1992년 2월 현재의 TAO 계류관측망	27
그림 5.	1993년 2월 까지의 TAO 계류관측망 계획	27
그림 6.	대양조사항해 계획도	32
그림 7.	1992년 4월 14일 - 5월 15일 중 관측정점	34
그림 8.	ATLAS 부이의 구성과 계류형태	39
그림 9.	ATLAS 부이에 의한 관측개요	40
그림 10.	동경 137도 0.6분, 북위 2도 1.8분의 우리나라 ATLAS 부이에 의해 관측된 바람 과 수직수온분포	41
그림 11.	동경 137도, 북위 5도 정점과 동경 137도, 북위2도 정점의 수직 수온.염분 분포도	43

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Sea Surface Temperature at Paita, Peru in the beginnig of 1982-83 El Niño Event.	4
Fig. 2. Time delay in archiving of TOGA Pacific BT data.	19
Fig. 3. TOGA COARE Timeline	23
Fig. 4. Moored TAO array in February 1992.	27
Fig. 5. Expansion plan for TAO array to Feburary 1993.	27
Fig. 6. Planned cruise line for the open ocean studies.	32
Fig. 7. Oceanographic Stations occupied during from 17 April to 15 May, 1992.	34
Fig. 8. Drawing of ATLAS buoy structure and mooring line.	39
Fig. 9. ATLAS system Overview.	40
Fig. 10. Time variation of wind and vertical temperature distribution . observed by ATLAS at 137° 0.6 E, 2° 1.8 N.	41
Fig. 11. Vertical profiles of temperature and salinity at a) 137° E, 5° N and b) 137° E, 2° N.	43

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 필요성

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 국가적으로 매우 중요한 일이다. 우리나라에 이상 기후를 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. 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. 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. 이 Warm-Pool과 관련하여 엘니뇨현상은 해양에서 가장 큰 장주기 현상으로 오래 전부터 인지되어 왔으며 지역적으로는 엘니뇨현상과 동반하여 발생하는 이상 기후가 널리 알려져 있다.

그러므로, 전지구적 기후변동을 파악하기 위하여서는 열대 해양의 역할을 함께 이해하여야 하겠다는 인식이 대두되어 1980년대 중반부터 국제공동으로 TOGA (Tropical Oceans and Global Atmosphere) 연구사업이 시작되었다. 우리나라는 중위도 지역에 위치하여 있다고 이 열대해역의 문제를 우리의 문제로 인식하지 못하는 것은, 국력의 신장에 맞추어 지구촌 구석구석에 우리의 상품을 수출하고 있으며 또 더 확대하여야 하는 우리의 현실감을 바르게 받아들이지 못함과 같다. 특히, 국제 TOGA의 연구사업은 대기와 해양의 상호작용과 역할을 이해하여야 하겠다는 점에서 출발하고 있다. 그런데 이미, 기상연구소와 서울대학교를 중심으로 TOGA의 대기분야만의 연구사업은 시작되었다. 우리나라 실정상 열대해양의 연구에 투자할 능력도 갖추지 못하였던 몇 년전과 비교하여 한국해양연구소는 1350톤급 조사선의 건조를 눈앞에 두고 있으며 미니 슈퍼컴퓨터를 새롭게 도입하여 여건이 조성되고 있으므로, 국제공동 연구에 적극 참여하여 급상승하는 우리의 경제력에 걸맞는 국가적 위상을 드높여야 할 것이다. 그리하여 국제 TOGA 연구사업의 해양분야의 연구동향을 파악하고 향후 우리나라의 참여를 위한 타당성을 검토하여야 할 필요성이 대두되고 있다.

제 2 절 연구의 목표 및 내용

1980년대 중반부터 출발한 국제 TOGA 연구사업의 연구동향을 파악하고, 이 연구에 중추적 역할을 담당하고 있는 미국, 일본, 불란서 등과의 국제 공동연구를 위한 기반조성과 우리나라의 참여 분야 및 범위에 대하여 검토한다. 아울러 국제 TOGA 연구사업의 범주속에서 우리나라의 대기분야 연구사업을 추진하고 있는 기상연구소와 협조하여 해양과 대기의 상호작용 연구를 심도있게 진행한다.

제 2 장 국제 TOGA 연구사업의 태동

TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere; 열대해양과 전지구대기) 연구사업은 1985년에 시작한 10년 계획의 국제연구사업으로 세계기후연구프로그램(WCRP)을 위한 세계기상기구(WMO)와 국제과학연맹이사회(ICSU)의 연합과학위원회(Joint Scientific Committee)가 주관하고 ICSU의 해양연구학술위원회(SCOR)와 UNESCO의 국가간해양학위원회(IOC) 그리고 ICSU와 UNESCO의 연합위원회인 해양과 기후변화에 관한 위원회(CCCO)가 협력하고 있다. 이와같이 TOGA는 범세계적으로 추진되고 있는 국제적으로 비중 높은 연구사업이다. 그런데, 이미 7년전에 시작한 이 연구사업을 재조명하는 이유는 그간에 우리나라 해양연구의 가능성이 급속도로 성장하였으며 국제적으로도 우리나라의 기여를 당연하게 받아들이고 있다. 그리하여 오늘에 와서 TOGA의 형성 배경을 되짚어보고 우리의 역할과 입장을 정리하고자 한다.

제 1 절 1982-83 엘니뇨 이벤트의 서막

1982년 9월 하순경, 페루 Paita라는 마을 해안에서는 24시간만에 해양표층수온이 4도나 올라가는 일이 일어났다 (그림 1;ITPO, 1990). 이 평화로운 마을의 관리들은 즉각적으로 '엘니뇨' 경보체제에 들어갔는데, 이것은 어류, 조류 및 해양포유동물의 감소가 함께 일어나는 해양온난화 현상이 닥쳐올 것을 예고한다. 이 파괴적인 현상 앞에 대처할 수 있는 일은 거의 없으며 마을을 다시 일으키기 위하여 인간으로서서는 인내하는 길 밖에 없다. 그래서 엘니뇨 이벤트는 남미에 영향을 미치는 최악의 재난 중의 하나이다. 이러한 사실은 사람이 거의 살고 있지 않는 적

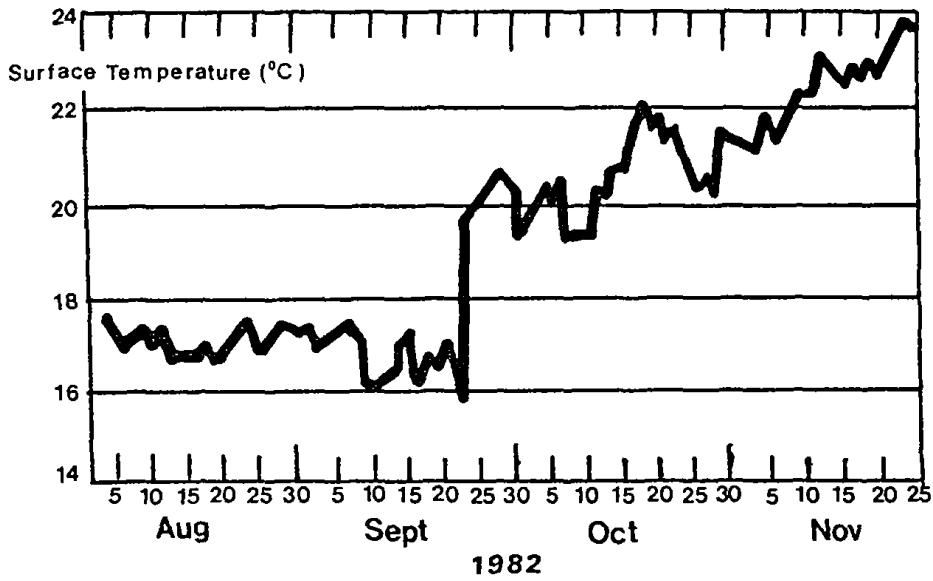


Fig. 1. Sea Surface Temperature at Paita, Peru in the beginnig of 1982-83 El Niño Event.

도 서태평양에서바람을 모니터링하고 있던 몇 몇의 과학자에 의하여 감지되었다. 즉, 정상적으로는 편동무역풍이 불어야 하는데 6월의 마지막 주부터 7월 내내 방향이 뒤바뀐 편서풍으로 되었다. 이와같이 상당한 기간동안 바람의 방향이 뒤바뀌는 것은 정상적인 대기순환에 상당한 변화가 있음을, 그리고 아마도 Southern Oscillation에 변위가 있음을 보여준다. Southern Oscillation이란 해수면의 기압이 시-소 또는 주기를 나타냄을 말하는데, 주기의 한 쪽끝의 기간에는 남태평양에서는 고기압이면서 인도양에서는 저기압이며 또 주기의 다른 끝의 기간에서는 반대의 조건을 갖는다. 이 과학자들은 만약에 Southern Oscillation 지수가 유의수준 이상의 상당한 변위를 갖는다면 엘니뇨는 일어날 것이라고 알고 있었다. 그들은 이 비정상적인 편서풍이 다음 해 6월 첫 주에 와서 갑작스레 끝나 거의 1년간 지속되리라는 것은 감지하지 못하였다. 그들이 측정한 Southern Oscillation의 움직임

임 기록은 금세기에 들어와서 가장 큰 엘니뇨를 일으킨 것이다. 이 엘니뇨 이벤트로 인하여 전세계적으로 많은 곳에서 이상기후 변화가 일어났으며 거의 지구 전 인구의 반 이상에 영향을 미쳤다.

제 2 절 1982-83 엘니뇨 이벤트에 기인한 자연재해

인간은 자신이 살고있는 곳의 기후체계에 따라 일상생활과 경제활동을 영위한다. 매일 매일의 일기 이벤트를 통털어 기후라고 하는데 이상기후현상이 갑자기 나타날 때 인간은 이에 대처할 준비를 충분히 하지 못한다. 역사 연대표에 잘 기록될 1982-83년의 기상 이벤트는 좋은 예이다. Southern Oscillation의 변화 기록은 전지구에 걸쳐 어려움을 안겨 주었다. 인도양의 해면 기압은 1981년 후반부터 체계적으로 증가하기 시작하였다. 한발의 조건은 인도 남부로부터 인도네시아, 호주와 필리핀 등지로 확대되기 시작하였다. 1982년 중반, 호주 다윈섬에서는 5 개월 이동평균한 해면 기압이 최고치에 도달하였다. 호주는 200년전에 정착한 이래 최악의 한발을 경험하였다. 거대한 먼지폭풍, 비극적인 삼림화재, 20억불에 해당하는 농업 및 생물생산은 쉽게 잊혀지지 않을 것이다.

적도 서태평양에서 운량 및 강우 최대지역이 Southern Oscillation의 전이과정 중에 정상적인 것보다 동쪽으로 이동하였다. 이렇게 변형된 대기 안정조건, 그리고 태평양 증압 및 동태평양에서 더워진 해면수온으로 인하여 태풍의 진로는 틀어졌었다. 프랑스의 폴리네시아섬은 지난 75년 동안에는 태평양 태풍의 영향 밖이었는데 1982-83년의 이벤트 기간인 5개월 중에는 여섯 차례나 태풍이 지나갔다. 하와이는 두 차례 지나갔는데 한 번은 남서쪽에서 접근해 온 것으로 이러한 예는 지

난 1957년 엘니뇨의 해에 발생한 이후 처음이다.

1982~83 엘니뇨가 남미 여러나라 주민과 마을과 경제에 미친 참상은 전례가 없는 일이었다. 이전의 엘니뇨는 동태평양에서 수온약층의 쇠퇴가 식물플랑크톤의 생산력을 저해하고, 전 해양생태계를 변화시키는 것으로 보여주었다. 각 해역에서 생물종들의 반응은 생체량, 활성의 강도, 엘니뇨 그 자신의 크기에 따라 다르게 나타난다. 1972-73년의 엘니뇨가 발생하였을 때에는 멸치떼가 많아진 것과 동시이었다. 연결된 이 두가지는 재생산 과정에 영향을 주었고 거의 수산산업의 붕괴를 초래하였는데, 1,500척의 어선과 약 100,000명의 어민이 활동을 중단했다.

1982-83년의 엘니뇨는 멸치에 대체되는 종인 정어리, 고등어, Caballa 등이 증가하는 과정에 있을 때 발생하였다. 정어리 어업의 쇠퇴는 1982년 9월 에쿠아도르 연안에서 최초로 시작하여 남쪽으로 퍼져갔다. 정어리는 1983년 1월에 에쿠아도르에서 사라졌으며 페루의 북쪽 연안에서는 나중에 사라졌다. 페루연안을 따라 더 남쪽에서는 정어리가 1983년 1월에 감소하기 시작하여 6월에 가장 적게 나타났다. 더 남쪽에서는 정어리 어획이 1983년 1월부터 증가하였으나 정어리 각 개체의 무게는 정상무게의 단지 25%에 불과했다. 고등어와 Caballa어업도 에쿠아도르와 페루를 따라 거의 쇠퇴되었다. 멸치도 사라졌다. 에쿠아도르와 페루에 미친 이러한 어업의 손실은 심각하였지만 이 1982-83년 기후변동으로 인하여 이 나라들에 야기된 다른 경제적 손실에 비하면 아주 적은 편이었다. 엘니뇨는 정상적으로 차가운 연안수에 서늘한 대기로 형성되는 안정적 효과를 소멸시키고 동태평양 전체의 대순환 형태를 변화시킴으로서 이 지역의 강우형태를 드라마틱하게 변화시켰다.

1982년 10월에 콜롬비아와 에쿠아도르 연안을 따라 비가 내리기 시작하여 남쪽

으로 퍼져갔다. 에쿠아도르와 페루에서의 강우는 강해졌으며, 대략 1983년 7월까지 지속되었다. 콜롬비아에서의 강우량은 정상적인 양의 약 2배였다. 에쿠아도르 연안역의 경우 (1983년 6월 Guayaquil) 강우량은 정상적인 평균치의 30배 이상에 달했다. 페루 북부의 경우 (1983년 5월 Paita) 강우량은 정상치의 약 340배에 달하기도 하였다.

이런 엄청난 강우량은 풍광을 변화시켰고 어떤 강의 경우는 정상적인 흐름의 1000배 이상을 수송했다. 광범위한 범람은 곡식, 가축, 도로, 다리, 학교, 집, 그리고 인간생활에 있어서 희생을 희생을 초래하였다. 많은 사람들이 죽음은 피할 수 있었지만, 이토록 광범위한 파괴의 고통은 벗어나지 못했다. 에쿠아도르에서는 40,000 여 가구가 전파되거나 반파되는 손실을 입었다. 페루에서는 그 수가 50,000 여 가구에 다다랐다.

반면에, 폭우지역의 더 남쪽인 페루 남부와 볼리비아에서는 심한 가뭄에 시달렸다. 에쿠아도르, 페루, 볼리비아에서 1982-83년의 기후변화로 인한 손해액은 표 1에 요약되어 있다(ITPO, 1990). 이러한 숫자는 라틴 아메리카의 경제위원회가 집계한 것이다. 전체 손실액은 에쿠아도르에서 6억 4천만 달러, 볼리비아에서 8억 달러, 페루에서는 26억 달러였다. 범람으로 인하여 페루 연안의 고고학적 유산의 손실은 계산되지 않았다.

정상적으로는 일정하게 유지되는 무역풍이 약해질 때 해수면이 서쪽에서는 내려가고 동쪽에서는 올라간다 (정상적으로 일정하게 유지되는 무역풍으로는 동태평양 해역보다 서태평양 해역에서 1m 만큼 더 높게 유지됨). 해수면 상승 현상이 적도 태평양의 동쪽으로 진행되어서 대륙붕지역과 만남에 따라, 해수면 상승은 양반구의 극 방향으로 퍼져나갔다. 해수면 상승, 수온 상승, 그리고 생물종의 변화는 멀

리 달라스카까지 북미의 서부연안을 따라 잘 확인되었고, 냉수종인 연어가 켈리 포니아 북부 연안에서 사라졌으며, 아열대 기원의 해양생물이 캐나다의 밴쿠버섬 인근 북쪽에까지 나타났다.

Table 1. Evaluation of physical damages caused during the 1982-83 El Niño Phenomenon in Ecuador, Peru and Bolivia

(In millions of US Dollars)

	Ecuador	Peru	Bolivia
Agribusiness	233.8	649.0	716.0
Fishing	117.2	105.9	—
Industry	54.6	479.3	—
Electric energy	—	16.1	—
Mining	—	310.4	—
Transportation and communications	209.3	303.1	98.0
Housing	6.3	70.0	17.8
Health, water and sewage systems	10.7	57.1	4.7
Education	6.6	5.9	—
Archeological remains	—	without appraisalment	—
Others	2.1	—	—
Total	640.6	1,996.8	836.5

고위도 지역에서는 해수면 상승, 편서풍 강화, 극심한 폭풍의 발달 등이 함께 연결되어, 미국 서부연안을 따라서 전례없는 바람, 파도, 침수 등이 발생하였고 이로 인하여 연안의 재산에 막대한 손상을 가져왔다. 이와같은 폭풍진로는 록키산맥에 기록적인 폭설을 초래하였고 이에 따라 봄철의 대홍수가 야기되었다.

캘리포니아 남부에 기록적인 가뭄을 발생시켰던 1976-77의 엘니뇨가 야기하였던 것과 정반대의 현상을 1982-83 엘니뇨 이벤트가 기록하였다는 사실은, Southern Oscillation의 사이클을 다르게 발달시키는 것이 무엇인지를 이해하도록 자연이 인간에게 제기하는 도전적 시험이라 하겠다.

열대대류와 잠열방출이 고위도 지역에서의 대기순환을 일으키는 주된 구동력이다. 그 효과는 멀리 적도 서태평양에서의 변화를 검토함으로써 잘 설명되어진다. 이 해역에서는 지구상에서 가장 따뜻한 해면수온이 나타나고, 서쪽으로부터의 바람이 동쪽으로부터의 바람과 만나 아주 구름이 많은 대류역권을 형성한다. 이것은 인공위성 구름사진에서 분명하게 확인할 수 있다. 주기적으로 일어나는 표면 편서풍이 더 동쪽으로 이동할 때 최대구름층 지역이 동쪽으로 이동하며, 대기과동 현상으로 운동량과 에너지를 양반구의 극쪽으로 운반하게 된다. 열대의 추진력 발생 지역이 Southern Oscillation 전이와 더불어 동쪽으로 이동함에 따라 고위도에서의 일기형태는 다르게 지배받게 된다. 따라서 양반구의 고위도에서 기상조건은 열대 지방에서의 이벤트에 연계되어서 바뀌게 된다.

1982-83년 이벤트동안에 고위도에 나타났던 현상의 많은 예를 들 수 있다. 여름동안에 중국의 북동쪽 지역에서 저온현상은 곡식생산에 심각하게 영향을 끼쳤는데, 이러한 것은 엘니뇨동안에 흔히 있는 것이다. 북반구의 여러 지역과 하와이 섬도 1982-83년 동안에 가뭄이 있었다. 남반구에서도 북반구에서와 마찬가지로

강한 편서풍이 형성되었다. 뉴질랜드에서는 초유의 여름을 겪었다. 서풍과 남서풍이 정상적인 것보다 훨씬 더 강하였다. 이것은 뉴질랜드 전체에서 기온이 정상보다 1-2도 떨어지는 여름을 초래했다 (1982년 10월부터 1983년 2월 중순까지). 가뭄은 뉴질랜드의 북쪽 섬지역에서 더 만연했다. 멕시코 또한 이 1982-83년의 이벤트의 결과로 보여지는 가뭄을 경험했다.

제 3 절 전지구적 문제 인식

지금까지는 주로 태평양과 그 주변 나라들에 영향을 미치는 일련의 사건을 기술하였다. 인도네시아의 부근인 서인도양에서 동태평양 사이의 기단이 재배치됨에 따라 열대태평양을 가로지르는 압력경도가 변화되고, 이것은 다시 정상적으로는 일정하여야하는 태평양 무역풍의 세기를 변화시키며 그리고 때로는 방향까지도 변화시켰다. 태평양을 횡단하는 바람의 변화로 인하여 수온약층의 깊이, 평균 해수면, 해류 등이 또한 변화되었다. 이러한 해황변동은 대양의 해면수온에 상당한 변화를 초래하였다. 대기의 수렴지대가 정상적임을 벗어나 재배치됨과 아울러 기상과 기후를 변형시키는 역할을 하는 잠열 방출지역이 바뀌게 되었다.

대기와 해양사이의 장주기 변동성은 전지구적으로 발생한다는 것이 현재 과학지식이다. 실제로, Southern Oscillation을 감지하는 기압의 상관관계는 대서양에서도 마찬가지로 상당히 유의한 값을 갖는다.

1982-83년의 강한 엘니노 이벤트 동안에 브라질의 광범위한 지역에서 큰 변화가 일어났다. 북동지역에서는 심각한 가뭄을 경험했으며 적도 남부지역은 아주 극

심한 홍수를 겪었다.

적도 대서양 상의 대기조건의 변화는 태평양에서 일어나는 변화에 따라 몇 개월의 시간 차이를 두고 일어난다고 많은 연구에서 지적하고 있다. 1982-83년 이벤트 동안에 대서양의 중위도 편서풍도 상당히 강해졌다. 그리니치 자오선을 따라 북위 50도와 70도사이에서의 편서풍 압력경도는 양의 큰 값을 나타내었는데, 1983년 1월에는 그 값이 최대 +32mb에 달하였다. 이 무렵에 Azores Anticyclone은 북동쪽으로 이동했으며, 그 중심이 비정상적으로 에스파냐에 위치하여 있었다. 평범한 아이슬랜드 저기압도 정상보다 더 강화되었으며, 이것도 강한 기압경도를 형성하는데 한 역할을 하였다. 이 기압 형태는 유럽대륙에 따뜻한 겨울을 초래하였으며, 이러한 조건은 오랫동안 지속되어 정상보다 상당히 더 덥고 건조한 여름을 가져왔다.

대기순환에 있어서의 유사한 변화가 비슷한 시기의 남대서양에서 발견되었다. Helena Anticyclone의 중심이 남아프리카 연안에 아주 가까이 접근하는 동쪽으로까지 이동하였다. 이 비정상적인 기압으로 인하여 아프리카대륙 서해안을 따라서 용승현상이 약화되었다. 해양생물들이 그들의 정상적인 먹이지역보다 훨씬 더 먼 곳에서 발견되었고, 어획고도 상당히 바뀌었다.

대서양의 비정상적인 기압으로 인한 훨씬 더 비극적인 영향은 아프리카의 전 생명들에게 닥친 심각한 가뭄이었다. 북서아프리카에서 열대수렴역이 북쪽으로 발달함에 따라 정상적인 강우가 일어나지 않았다. 이것은 이미 영양실조와 기아가 만연된 지역에 가뭄이라는 고통의 문제를 더하는 것이었다.

다른 반대편 지역인 북동아프리카에서는 인도양에 비정상적인 고기압의 시작을

알리는 비상적인 고기압이 다시 나타났다. 적어도 1982-83년의 이벤트 동안에, 비상적인 고기압이 인도대륙에서 만들어지기 시작하여 천천히 남쪽으로 이동하는 것으로 보이는데 동아프리카 와 호주 지역에 동시에 영향을 주었다. 극심한 가뭄은 이디오피아에서 시작되어 동아프리카 대륙을 따라 남쪽으로 퍼져갔다. 탄자니아, 우간다, 짐바웨 등의 나라들이 심하게 타격을 입은 나라들이다. 가뭄이 극도에 도달한 시기에 탄자니아 한 나라에서만 매일 150명의 어린이들이 기아로 죽어갔다. 가뭄은 아프리카 남부지방으로 번져갔다. 대부분의 농부들이 가축의 90%를 잃었다. 이지역의 몇 나라에서는 처음으로 식량을 수입하였다.

하계몬순과 동반하여 생겨 인도에 치명적으로 큰 영향을 미치는 강우도 지금 서술하고 있는 기후변화와 연관된다. 1982년 하계몬순은 인도에서 정상적인 때보다 강우가 15% 감소되는 정도로 아주 빈약했다. 1983년 몬순은 거의 정상적이었으나 이 무렵까지 비정상적인 고기압은 인도양 지역에서 벗어나 있었다.

이러한 기후변화는 대기와 해양의 전지구적인 상호작용의 결과이다. 이렇게 비주기적으로 반복되는 원인을 발생예측이라는 관점에서 이해한다는 것은 막대한 경제적인 가치가 있다. 단지, 이벤트가 벌써 시작되었는데 그 강도는 어떠한 강우 형태가 어떻게 변위될 것인가 정도만이라도 알 수 있다는 사실은, 예상되는 변화에 적절히 대처하여 피해를 최소화할 수 있도록 한다.

특히 중요한 문제는 몬순의 변동성과 가뭄의 발생을 이해하는데 관심을 가지는 것이다. 이러한 것은 이미 언급한 바와 같이 기압배치와 관련되어있다. 우리는 몬순과 가뭄의 원인이 되는 여러가지 요인들을 정확히 밝혀내어야 하며, 여러 시간대로 변동성을 유발하는 구동력을 구별해 내어야만 하고, 궁극적으로는 이러한 현상파악으로부터 대책과 예측을 개선하는데 적용하도록 하여야 한다.

해결하여야 할 또 다른 문제는, 왜 각각의 Southern Oscillation 이벤트에 의한 영향이 지역에 따라 다르게 나타나느냐 것이다. 이것은 이벤트의 내부적인 변화이거나 여기에서 기술하고 있는 것 이외의 기후변화를 일으키는 다른 요인에 의해서 (특히 고위도 지역에서는) 가능할 수 있다. 그 차이점을 이해하는 것과, 이런 경우에 예측의 유의성을 개선하는 것은 큰 발전이다.

또 다른 중요한 관심사는 왜, 그리고 어떻게 그렇게 갑작스럽게 엘니뇨 이벤트가 끝나느냐는 것이다. 특히, 씻겨내려가 버린 다리를 다시 씻겨내려갈 위험성을 갖고도 대체해야 할 지, 혹은 경제적 손실과 개인적 불편을 감수하고 그 대체물의 건설을 연기해야 할 지를 결정해야만 하는 나라의 경우, 이 마지막 수수께끼의 해답을 얻는 것은 매우 중요하고 실제적인 가치를 가진다.

오늘날, 과학자들은 위에서 언급한 문제들에 대하여 단지 부분적인 해답만을 갖고 있다. 대부분의 과학자들은 위에서 언급한 바와 같이 기후변화의 반복이 결국에는 설명되어질 수 있고, 예측될 수 있다고 믿고 있다. 그러나 이것은 전지구적인 범위에서만 가능한 도전이다. 그 어느 한 나라도 필요한 모든 관측과 연구를 제공할 수 있지 못하다.

제 4 절 국제 TOGA 연구사업의 태동

1. 이상기후와 과학

열대대기의 대규모 변동성의 조사가 지난 80여 년에 걸쳐 이루어져 오고 있다.

그 동안에, 여러 과학자들은 이러한 대기의 장주기성 진동과 열대해양에서 일어나는 변화의 상관관계를 검토하였다. 그리하여, 열대해양과 대기 사이의 상호작용은 양반구의 고위도 지역에서의 기상과 기후변화에 연관되어 있음을 인식하였다. 하지만 단지 아주 최근에 와서, 현재 이용가능한 모든 자료와 현장 관측, 그리고 이론적 연구를 통하여 얻은 최신의 결과에서 기후변화 문제와 관련하여 과학자들이 우선적으로 해결하여야 할 일이 무엇인가를 결정할 수 있었다.

근래 수 년 동안에 연구자 개개인의 연구조사에서 많은 성과가 있었다. 그러나 이러한 기후 이벤트를 이해하고 예측함에 있어서 중요한 발전을 이루기 위하여서는 상호 연관성을 가지는 대기-해양 변수에 관한 전지구적 규모의 정보를 획득하는데 공동적인 노력이 필요하다는 것은 명백한 사실이다. 이와 관련한 정보를 제공하는 국제적인 연구활동이 형성되었고, 이것이 Tropical Ocean and Global Atmosphere (TOGA) Programme으로 명명되었다.

2. TOGA 연구사업의 역할

TOGA는 세계기후연구사업 (WCRP; World Climate Research Programme)의 한 부분으로 이 WCRP는 정부간 혹은 비정부간의 과학적 조직에 의하여 지원받도록 계획 되었다. TOGA는 열대해양과 전지구대기의 경년 변동성을 연구한다 (WCRP, 1990).

TOGA는 국제적인 연구사업으로서 모든 국가가 참여할 수 있고 또한 기여할 수 있으며, 계획된 활동으로부터 혜택을 받을 수 있다. TOGA 연구사업은 다음 3가지의 중요한 항목이 있다.

- 10년간의 관측이 이루어질 것인데, 여기에는 과학적인 목적과 관련하여 대기, 해양-대기 경계면, 그리고 해양을 모니터링하는 변수로 구성된다.
- 열대해양과 전지구대기에 있어서 대규모 기후변동의 실시간 파악 (예를 들어, 엘니뇨, 아시아와 아프리카에서의 몬순변화, 아프리카와 남미에서의 가뭄, 그리고 다른 특별한 이벤트들).
- 복잡한 여러단계의 모델링 연구가 수행될 것이다, 모델의 범위는 잠재적인 기후변동에 찾는 것과 관련한 실시간적인 목적에 사용할 간단한 모델에서부터 대기와 해양의 역학이 연계되어 있는 아주 복잡한 연구모델까지이다.

이상과 같은 개념을 갖는 TOGA의 실제적인 시작은 1985년 1월이며, 이것은 10년 계획으로서 필요 연구자원을 구축하고 개인이나 단체, 또는 정부는 연구계획을 구상하게 된다.

TOGA 연구계획에서 관측영역은 북위 20도에서 남위 20도까지의 열대해양과 전지구대기이다. TOGA의 특이한 관점 중의 하나는 전지구대기와 열대해양, 그리고 이 둘 사이의 flux에 대한 완전한 정보 사항을 조합하는 것이다. TOGA 기간 중에 매일 매일 아주 상세하게 이 정보 사항을 아주 세밀하게 결정할 필요는 없을 것이다. 관심있는 시간적 크기, 즉 수 개월부터 수 년의 관점에서 보면, 많은 정보 사항이 시간에 대하여 평균될 수 있다. 그렇지만 대기와 해양의 관심있는 정보 사항 중에서 필수불가결한 관측 결함을 채우기 위한 노력이 필요할 것이다.

바람장과 대기의 질량장(온도와 습도구조)은 전지구적으로 결정되어야만 한다. 전지구 대기의 부분에서 중요한 성분인 회전성과 발산성 바람성분을 설명하기 위하여 필요한 바람관측이 결정적인 영역인 열대지역에서 부족하다.

열대해양의 수심 500미터 까지의 상층 온도장이 결정 되어야만 한다. 이것은 세계의 열대해양에서 XBT 관측점이 상당히 증가되어야 한다는 필요성을 강조하고 있다. 국제적으로 협력하는 노력으로만이 이 중요한 정보 사항도 얻어질 수 있다. 표면염분, 해표면의 역학심도, 해류 등과 같은 자료로부터 해양을 이해하고 모델링하는데 중요한 진단적 정보를 제공할 수 있다. 해양의 영양염류, 해양생물와 같은 자료는 수산업에 응용하거나 진단적 자료로서 중요하다.

제 3 장 국제 TOGA 연구사업의 현황

1982-83년 엘니뇨 이벤트에 의하여 세계는 100년 이래의 최악의 이상기후를 경험하였고 경제적 손실도 100억 달러에 달함에 따라 세계기상기구(WMO)의 주도로 시작하게된 TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere; 열대해양과 전지구대기) 연구사업은 국제 협력을 통하여 성공적으로 좋은 성과를 얻은 예로 꼽히고 있다. 특히, 대기과학과 해양과학의 분야간 협력을 전제로 하는 연구이므로 공동 목표를 향한 연구 기획과 수행이 단순하지 않다. 국제 TOGA 연구사업을 관리하는 조직이 형성되었으며, 공식, 비공식, 또는, 정부간, 비정부간의 국제 회합에서 적극적인 기여가 있었으므로 성공적이라는 평가를 받을 수 있었을 것이다. 근래에 와서, 국지적으로 더욱 빈번하게 발생하는 이상기후와 지구온난화 문제가 국제사회에서 쟁점화되어 각계각층의 관심도가 증가함에 따라 TOGA 연구사업의 입지는 더욱 강화되었다. TOGA가 포괄하고 있는 그 범위가 넓으므로, 본 장에서는 TOGA 연구사업에서 해양과학의 역할을 중점적으로 취급하고자 한다.

제 1 절 국제 TOGA 연구사업의 전반기 업적

TOGA 연구사업은 ENSO (EL Niño / Southern Oscillation) 현상과 관련하여 단기의 기후변동성을 연구함에 그 목적이 있다. ENSO는 2-10년마다 적도태평양에서 무역풍의 약화와 함께 표층수가 비주기적으로 더워지는 현상으로 특징지을 수 있다. TOGA의 구체적 목적은 1) 수 개월에서 수 년의 시간범위에 대한 예측 가능 범위를 결정하고 이 예측성에 내포되어 있는 메카니즘과 과정을 이해하기 위하여 시간에 따른 시스템으로서 열대해양과 전지구대기를 서술, 2) 수 개월에서

수 년의 시간에 대한 변화를 예측하려는 목적에 따라 해양-대기의 연계된 시스템을 모델링하는 타당성 검토, 3) 해양-대기 연계모델에서 가능성이 보여질 수 있다면 현업예측을 위한 관측과 자료전송 시스템의 설계를 위한 과학적 근거를 제시, 등으로 하고 있다. 이상의 목적을 달성하기 위하여 관측자료에 근거하는 과학자들의 연구 분석은 필수적이다. 광범위한 열대해양의 수온자료의 수집 및 관리와 과학자 개개인의 연구를 촉진시키는 노력으로 많은 국제학술회의가 개최되었다.

1985년 가을, 미국 해양자료센터(NODC)와 스크립스해양연구소(SIO)가 공동으로 운영하는 JEDA센타를 설립하고 이를 통하여 TOGA 연구해역의 범위에서 태평양 아표층 수온자료를 관리하기 시작하였다(JEDA, 1989). NODC는 자료를 수집, 재정리하고 자료의 질을 검정하며 SIO는 이 자료를 받아 다시 자료의 질을 검정하고 격자망의 자료를 생산하는 역할을 담당하기로 하였다. 초기단계에서 TOGA 연구해역의 태평양 수온자료의 범주에는 한 덩어리로 이용가능한 BT자료만으로 한정하였고 STD나 CTD의 자료 뿐만아니라 수직수온연속자료 등은 뒤에 추가하기로 하였다. 지리적으로는 북위 30도에서 남위 30도에 이르고 미대륙으로부터 동경 120도에 이르는 해역을 포함하였다. 자료에서 시간적 개념은 전대양과 모든 시간을 다 포함하는 것이지만 우선적으로 1985년 1월 이후로 잡았다. 그리고 예측하기 위하여 실제적으로 자료가 활용되기 위하여서는 관측자료가 얼마나 빨리 수집되고 사용가능하게 되는가에 달려있다. 실제로 그림 2.는 1985년부터 1988년까지의 관측자료가 JEDA센타에 수집되어 사용가능하게 되기까지 경과시간과 이에 따른 자료량의 증가를 보여주고 있다. 그리하여 1988년 8월말에는 미국의 NODC에 확보된 상층 수온자료의 총 정점은 48,844점에 이르렀다. 이 자료에 포함하고 있는 것은 다음과 같다.

- IGOSS의 통신망을 통하여 미국 NMC(국립기상센터)에 수집된 XBT자료, 이 자료는 5,711점에 달하며 전체의 12%가 된다.

- FNOC이 자신의 통신망을 통하여 수집한 XBT 자료, FNOC은 NMC가 접근하지 못하는 자료도 포함하는데 그 수는 12,894점이며 전체의 26%이다.
- NOAA의 해양조사선이 관측하여 이 목적에 적용되어질 수 있는 자료,
- 미 해군, NOAA, SIO, 불란서, 호주 등의 나라에서 참여하는 자발적 관측자료(Volunteer Observation)가 어느 정도의 시간이 경과되고 난 후 수집된 자료,
- 미국과 중국의 공동조사에서 얻은 자료,
- 각국의 해양조사 사업의 일환으로 획득된 자료가 어느 정도의 시간이 경과되고 난 후 확보된 자료 등이다.

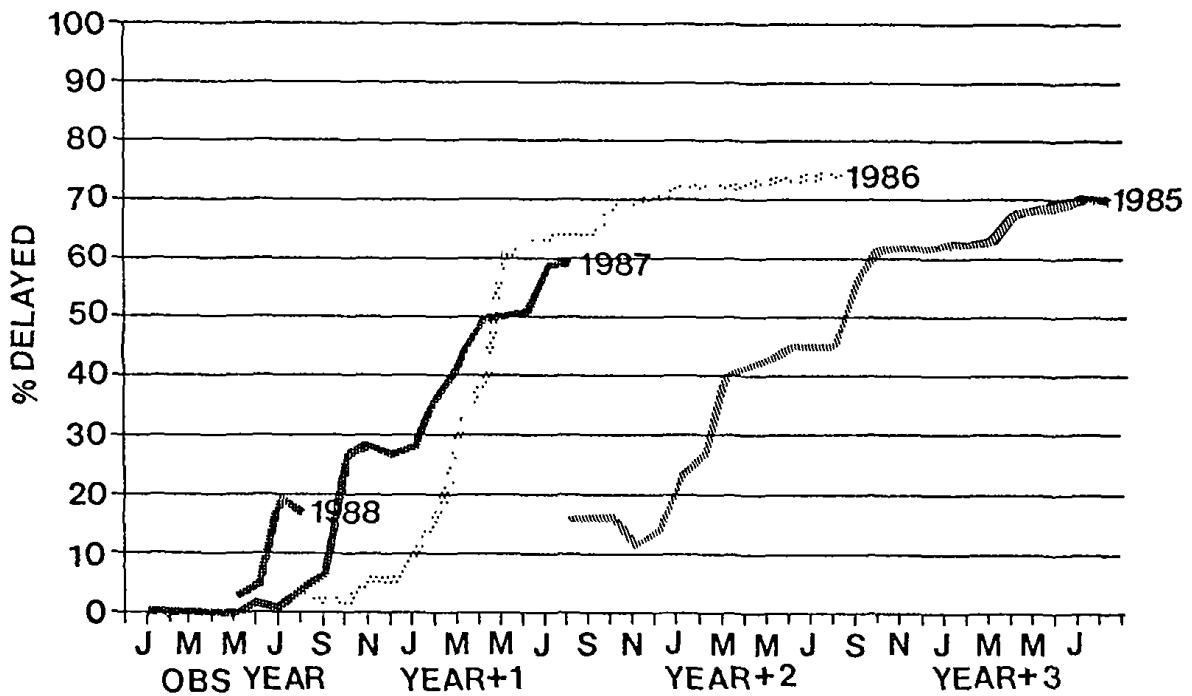


Fig. 2. Time delay in archiving of TOGA Pacific BT data.

시간이 경과되고 난 후에 수집되는 자료 중에는 5년이 넘는 경우도 있으며, 이 시간을 1-2년으로 단축하기 위하여 NODC에서 많은 노력을 경주하였다. 그림 2에서는 해가 거듭됨에 따라 관측후 수집까지의 경과시간이 상당히 단축되고 있음을 볼 수 있다. 1985년에는 한 해의 한 덩어리로서의 자료가 획득되기 위하여 3년이 걸렸으나 1987년에는 1년반으로 단축되었다. 이렇게 수집된 자료를 바탕으로 NODC와 SIO의 공동 시스템에서 TOGA의 태평양 수온자료는 준-실시간 또는 경과된 모드로서 자료를 처리하여 활용하게 하였다. 이와같이 광범위한 자료를 수집하여 활용하게하는 시스템으로 모델 케이스를 만들었다.

본 절의 서두에서 언급하고 있는 첫번째 TOGA의 목적은 1985-89까지 TOGA의 첫 5년 동안에 여러 각도에서의 많은 국제적 노력으로 얻어졌다. 또한 두번째 목적을 향하여서도 상당한 진보가 있었지만 세번째 목적을 실현시키기 위하여 필요한 다음 몇 가지 사항이 지적되었다.

- 열대해양의 Warm Pool해역에 특별한 문제가 있다. (예를 들면, SST가 28°C 이상)
- Warm Pool에서 열수지 추정치는 설명되어질 수 없는 양으로, 즉, 달마다 상층 해양을 2°C 높일 수 있는 양인 평방미터당 60-80 와트의 열량이 해양표면으로 발산한다. 그래서 Warm Pool에서의 열수지를 설명하기가 매우 어렵다.
- 해양모델은 대체로 3°C 정도 과대추정하는데, 아마도 해양-대기의 열교환에서 상당히 민감한 때문으로 보인다.
- 대기모델은 SST가 더운 해역에서는 아주 작은 SST의 변화에도 굉장히 민감함을 보인다.

TOGA의 학술운영위원회는 대기자료와 해양자료의 두 그룹 자료의 요망사항을 정의하고 있다. 해양자료의 요망사항은 열대해양의 열저장과 순환을 결정하는데

필요한 것과 대기응력에 반응하는 특성을 알 수 있어야 한다는 점이다. 수평, 수직적 크기, 시간 분해능, 전지구적 자료의 측정 정확도 등에 대하여서는 표에 정의되어 있다.

제 2 절 국제 TOGA 연구사업의 후반기 활동

1. 후반기 연구방향

1985년부터 1989년까지 TOGA의 첫 5년 동안의 성과를 바탕으로 후반기 연구 방향이 정립되었는데, 먼저, 전지구 기후의 장기적인 변동성과 관련하여 ENSO 현상이 갖는 중요성에 비추어 열대 태평양에서의 실시간 관측시스템의 개선에 노력을 기울이게 되었다. 이러한 개선에 지대한 공헌을 하고있는 사업은 TOGA-TAO(TOGA Tropical Atmosphere - Ocean)인데, 대기-해양 경계층에서 바람과 수직수온 연속관측을 실시하는 준-운영 차원의 사업이다(Hayes et.al., 1991). 열대태평양을 지속적으로 모니터링하기 위하여 관측망을 형성하고 있으며 실시간으로 자료를 획득하는 ARGOS시스템을 사용하고 있다. 이러한 모니터링을 통하여서 이상기후 경보체제를 확보할 수 있을 뿐아니라 모델링 연구에 양질의 입력자료로서 또는 검증자료로서 활용할 수 있으므로 그 효용성은 매우 크다.

다음으로, TOGA 후반기의 중요한 노력은 TOGA-COARE (TOGA Coupled Ocean - Atmosphere Response Experiment)이다(TOGA-COARE, 1991). 국제 TOGA 연구사업의 전반 5년간에 걸친 상당한 진전에도 불구하고 해양과 대기를 연계하여 수 개월에서 수 년에 이르는 변동성을 예측하여야 하는 기본적인 학술목

표를 성취하기 위하여서 핵심이 되는 장애요소가 아직 상당히 남아있다. 남아있는 문제점 중에서 무엇보다 중요한 것은 서태평양에서 Warm-Pool의 변이가 어떻게 유지되는가를 이해하는 일이다. 해양과 대기에서 ENSO (EL Niño / Southern Oscillation) 현상과 관련하여 Warm-Pool이 '행동의 중심'으로 확산된다 할지라도 서태평양 Warm-Pool에서 대기-해양간의 플럭스, 해면수온, 그리고 해양의 상층구조 등을 재현하는 일이 향후 목표로 꼽아진다. 전지구 기후변화, ENSO 그리고 계절간의 변동성을 이해하기 위하여 해양-대기를 연계하는 더 향상된 설정이 필요하고, 이것은 Warm-Pool 해역에서 특히 중요하다. 여기서, 현상의 이해부족과 오차로 인하여 생길 수 있는 영향이 극대화되므로 이 해역에서 일어나는 상호작용과 역학과정은 전지구 해양-대기 시스템을 이해하는데 필수적이다.

그밖에 SVP/WOCE-TOGA (Surface Velocity Program /WOCE-TOGA) 연구 사업으로 표층 표류체 방류조사가 전체 대양을 대상으로 수행되고 있는데 특히, 열대해양에 많은 노력을 경주하고 있다.

2. TOGA-COARE 연구사업의 구성

TOGA 후반기의 중요한 노력으로서 기존자료나 관측망으로는 설명할 수 없는 것으로 제기된 문제점들을 해석하기 위하여 서태평양의 Warm-Pool에서 정밀하고 집중적인 자료의 획득에 중점두고 있는 사업이다. 특히 해당되는 것은 Warm-Pool에서 대기-해양 상호작용의 민감도와 대류를 통한 중규모 크기로 일어나는 표층 플럭스의 되물림 작용 등이다. 상호작용의 물리적 실재를 파악하기 위하여 다음과 같은 사항이 잘 이해되고 서술될 수 있는 학술적 목표를 갖고 TOGA의 집중적 활동으로서 TOGA-COARE (TOGA Coupled Ocean - Atmosphere Response Experiment) 계획을 구성하게 된다.

- 서태평양의 Warm-Pool 시스템에서 해양과 대기의 연계성을 설명할 수 있는 주된 과정,
- Warm-Pool 해역에서 대류를 조정하는 주된 대기의 과정,
- 서태평양의 Warm-Pool 해역에서 해양 내부의 수직구조와 관련한 부력과 바람응력 Forcing을 연결하는 해양의 반응,
- 서태평양의 Warm-Pool 시스템에서 다른 해역으로, 또는 그 반대의 경우, 해양과 대기의 영향을 확장시키는 여러 scale의 상호작용.

이상과 관련하여 여러 항목들이 TOGA-COARE 사업을 수행하는데 필요한데, 그것은 1) 대기와 해양을 연결하는 항목, 2) 대기와 관련한 항목, 3) 해양과 관련한 항목으로 대별할 수 있다. TOGA-COARE의 각 항목은 몇 가지 요소를 포함하고 있다. 이 요소는 예비연구, 모니터링 강화시기, 집중관측 기간(IOP; Intensive Observation Phase), 그리고 각개의 항목 또는 항목을 연계한 모델링연구, 그리고 자료처리 기간을 포함한다. TOGA-COARE의 시간계획표는 그림 3과 같다. 표2에는 연구항목별로 관련있는 분야, 즉, 대기, 해양, 대기-해양 복합적인 분야를 구분하고 있으며, 표3에는 관측요소를 구체적으로 제시하고 있다.

Element	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Modeling							
Pilot Studies							
Enhanced Monitoring		/					
Intensive Obs. Phase							
Analysis							

Fig. 3. TOGA COARE Timeline

Table 2. Process of IOP component.

PROCESS	IOP COMPONENT		
	ATM	INT	OCE
Moisture Fluxes (precipitation and evaporation)	■	■	■
Momentum Fluxes	■	■	■
Radiative and Sensible Heat Fluxes	■	■	■
Salt Fluxes	■	■	■
Horizontal Advection	■	■	■
Vertical Advection †	■	■	■
Equatorial Wave Generation and Propagation	■	■	■

Table 3. Field to be Observed during TOGA COARE.

FIELD	COMPONENT		PLATFORM and INSTRUMENTATION
Temperature	ATM	OCE	XBT, CTD, XCTD, microstructure profilers, moorings, drifters, island observations, ships, aircraft, satellite
Humidity	ATM		rawin and dropsondes, radar/UHF profilers, moorings, island surface observations, ships, aircraft, satellite, lidars
Precipitation	ATM		radar, rain gauges (islands, ships), satellite (OLR, microwave), aircraft
Salinity		OCE	CTD, XCTD, moorings, microstructure profilers, aircraft, ships (thermosalinograph)
Wind	ATM		Moorings, ships, island met. obs, rawinsonde, Doppler radar, UHF profiler, Doppler lidars, aircraft flight level, dropsonde, satellites (ERS-1, DMSP/SSM/I)
Currents		OCE	Moorings (direct and geostrophic estimates), drifters, Doppler profilers
Radiation	ATM	OCE	island- and ship-based surface radiometers, aircraft, satellites
Surface Pressure	ATM		island and ship, drifters
Sea Level/ Steric Height		OCE	island tide gauge, thermister chain moorings, ship (XBT, CTD, XCTD), satellite (ERS-1, TOPEX, Spinsat)
Turbulence	ATM	OCE	Doppler radar and lidars (aircraft-, ship- and island-based), shipboard profiling, eddy-correlation measurements

모니터링 강화시기(EM)에 속해 있는 IOP는 서태평양 Warm-Pool에서 해양-대기 시스템의 운동량, 열량, 수증기 플럭스와 관련하여 아주 우수한 자료를 제공하게 된다. 이러한 관측은 동시성을 갖고 현장에서와 원격으로 4개월 동안 이루어진다. 이처럼 양질의 자료는 GPCP, TRMM, NSCAT, TOPEX/POSEIDON, Geosat와 같은 연구사업에서 위성자료 처리 알고리즘을 보정하기 위하여 필요하고, 서태평양의 강수량, 표층 바람, 해수면, 그리고 다른 해양-대기 요소들의 기본적인 실체를 제공하게 된다. 이 자료는 해양과 대기의 모델에서 해양-대기 상호작용과 경계층의 매개변수 결정을 개량하는데 사용하고 그리고 연계된 모델의 유효성을 시험하는데 사용하게 된다.

TOGA-COARE 연구 계획서(WCRP, 1990)는 3 가지 부분으로 나뉘는데 각 부분을 요약하면 다음과 같다.

Part A: TOGA 연구사업에서 COARE의 이론적 근거: 여러가지의 업적과 TOGA 사업 범위에 남아있는 연구사업에 중점을 둔다. 특히 열대 Warm-Pool 해역과 관련하여 TOGA의 기본적 목표로 취급되면서 미해결로 남아있는 것을 논증한다.

Part B: TOGA-COARE의 학술적 바탕: Warm-Pool 해역에서 해양학적으로나 대기과학적인 현상적 측면을 제시하고 이것이 COARE 항목을 정의한다.

Part C: TOGA-COARE 연구사업: 전체 연구사업이 정의되며 COARE항목의 각 요소를 토의한다. 여기에는 모델연구, 일련의 예비연구, 모니터링 강화와 집중 관측기간을 포함한다.

3. TOGA-TAO 연구사업의 구성

TOGA-TAO (TOGA Tropical Atmosphere - Ocean) 사업은 1992년 2월 현재 39개의 ATLAS 시스템을 열대 태평양에 운영하고 있는데 그 지리적 분포는 그림 4.에 주어진다. 열대 태평양 전체를 관측한다는 목표아래 구성된 관측망을 보면 위도 방향으로는 북위 8도, 5도, 2도, 적도, 남위 2도, 5도, 8도에 해당하며 경도 간격은 대체로 15도 정도로 하고 있는데, 서태평양 해역에서 육지에 해당하는 정점들을 제외하고 적도를 종단관측하는 11개 정선, 총 65개의 ATLAS부이를 계류할 예정이다(그림 5).

이와 같이 강화된 TOGA-TAO 연구사업은 국제적인 협력과 지원 속에서만 가능하다. 무엇보다 먼저, 후반기에 중점두고 진행할 것은 서태평양의 동경 155도, 147도, 165도 관측정선을 유지시키는 일로서 미국, 일본, 불란서의 적극적인 참여를 전제로 하고 있다. 그밖의 나라들의 추가적인 지원을 요청하고 있으며, 1994년에는 목표로 하고 있는 전체가 달성될 것으로 전망하고 있다(Hayes et.al., 1991). 현재 TOGA-TAO 계류계획에 대한 국제분담을 보면 우리나라가 동경 137도 경도선, 일본이 동경 147도, 불란서가 동경 165도와 동경 155도 일부, 대만이 서경 170도의 일부, 그리고 미국이 일부변경선 동쪽의 전체를 담당하고 있다(기상연구소, 1992). 이 계류계획은 2년간을 기본 단위로 하여 자료를 획득하고 이 자료를 운영적 측면에서와 모델링에 필요요소로서의 타당성을 평가하여 계속하던지 다른 정점으로 이동시키던지 결정하게 된다.

열대해양의 수온구조와 바람장의 관측을 개선하기 위하여 미국 NOAA의 PMEL연구소에서는 저렴하게 제작할 수 있는 ATLAS (Autonomous Temperature Line Acquisition System; Milburn and McLain 1986) 시스템을 1984년부터 개발

하기 시작하였다(Hayes et.al., 1991). 현재 사용되고 있는 ATLAS 계류 시스템은 PMEL에서 설계, 제작하여 사용하고 있는 것으로서 수심 6000미터에 1년까지 계류할 수 있다. ATLAS 시스템은 해면상 3.8미터의 바람을 측정하고, 기온과 해면 수온, 그리고 10개층의 수온을 측정함으로써 수직구조를 파악한다. 동태평양과 서태평양의 열적구조가 다르기 관측 수심도 다르게 설계하였는데, 동태평양에서는 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 180, 300, 500미터 층이며, 서태평양에서는 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 500미터 층으로 각 10개 층을 관측하도록 되어있다.

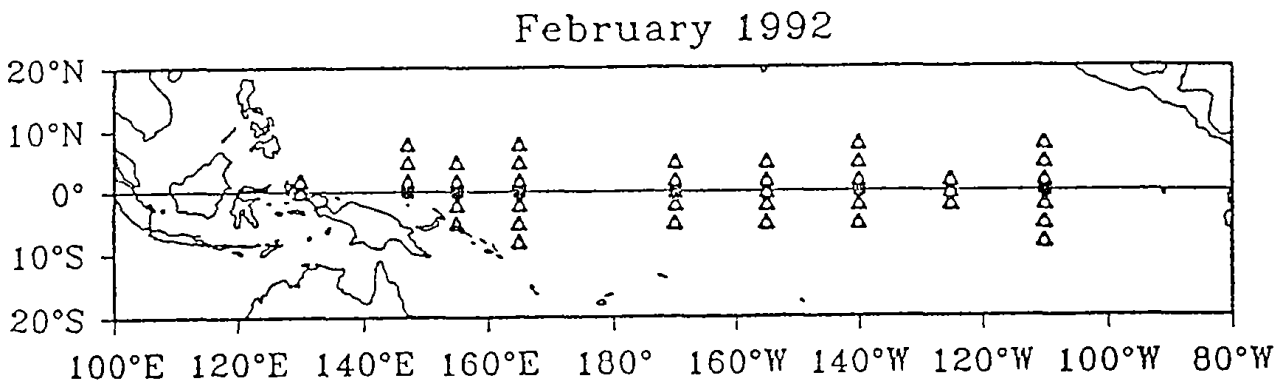


Fig. 4. Moored TAO array in February 1992.

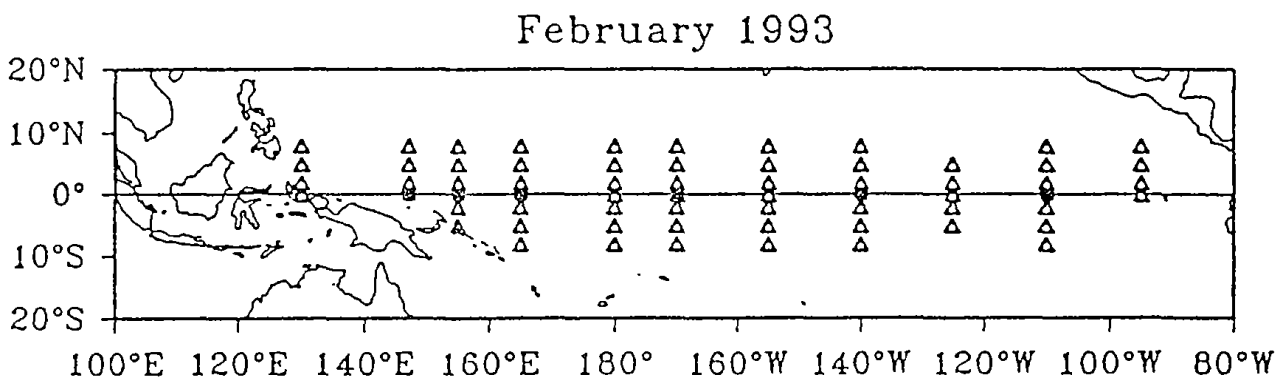


Fig. 5. Expansion plan for TAO array to February 1993.

제 3 절 국제 TOGA 연구사업의 종료 이후

열대해양을 체계적이고 연속적으로 관측하는 국제 TOGA 연구사업은 이미 성공적으로 평가되고 있다. TOGA-TAO 연구사업이 중점으로 추진하고 있는 ATLAS부이 관측이 실시간 자료를 제공함으로써 이상기후를 야기시키는 엘니노를 모니터링하는 역할을 수행하고 있다. 최근 1991-92년의 엘니노 이벤트는 그것의 시작이 과학자들의 자료분석을 통하여 알려졌는데, 이것은 ATLAS로 관측하고 ARGOS 시스템을 이용하여 실시간으로 과학자들에게 공급된 해양 상층부의 자료에 바탕한 것이다. 이러한 실시간 모니터링의 중요성과 필요성은 날로 더 더욱 새로와지고 있다. 모델링에 의한 현상 재현연구가 활발히 진행되고 있지만 초기조건의 문제는 자연현상의 재현에 피할 수 없는 난관이다. 이러한 관점에서 열대해양을 체계적이고 연속적으로 관측하는 일은 국제 TOGA 연구사업 이후에도 지속되어야 한다는 공감대가 형성되고 있다. IOC, WMO, UNEP 등의 국제기구는 전지구해양관측시스템 (GOOS: Global Ocean Observing System)의 발족을 계획하고 있는데, 국제 TOGA 연구사업 이후에는 이 GOOS의 범주에서 ATLAS부이에 의한 열대해양의 계속적 관측을 포함하고 있다. 뿐만 아니라 10년의 기간을 통하여 양질의 자료가 축적되면 예측모델을 개발하는 기본자료로서 무한한 가치를 지니게 되고 모델개발 연구가 넓게 확산될 것이다.

제 4 절 우리나라와 국제 TOGA 연구사업

각국은 여러 방법으로 국제 TOGA 연구사업에 기여할 수 있다. 새로운 혹은 개선된 관측 시스템을 제공하거나, 국제 TOGA 연구사업의 일환으로 진행중인 연구

단계에 참여하는 과학자들이나 연구조직에 자금을 지원할 수도 있다. 엘니뇨나 때 늦은 몬순, 한발, 기타 비정상적인 이벤트를 조기에 확인하기 위한 실시간 감시에도 참여할 수 있다. 또한, 국제 TOGA 연구사업을 충실히 진행하는데 도움이 되는 여러 가지 지원(자금, 장비, 소모품, 인원)을 할 수도 있을 것이다. 국제 TOGA 연구사업 사무소에서 제시하고 있는 참여가능한 그 구체적 내용을 다음과 같이 요약할 수 있다(ITPO, 1990).

관측을 통한 기여:

- 열대지역이나 특히 아프리카와 남미의 자료가 적은 지역에 고층기상관측소를 새롭게 설치하거나, 기존의 관측소를 보완함,
- 열대지역 및 남반구의 주요 도서에 자동화된 해상기상관측소를 설치함,
- 열대지역에서 보다 나은 해상 바람 정보를 얻기 위하여 해양관측의 자발적인 참여계획(VOS; Voluntary Observing Ship Program)에 더 많은 선박의 참여를 유도함,
- 기존 또는 새로운 VOS 선박들로부터의 바람자료를 실시간 자료전송 방법을 제공함,
- 더 많은 수의 강우측정소를 설치하고 많은 양질의 정보를 GTS에 집중시킴,
- 전지구적으로 강수량과 해면 요소의 관측을 위한 새로운 위성의 발사,
- 열대지역을 가로지르는 통행이 많은 기존의 수송로에 XBT 라인을 설정함,
- 주요 항로를 통과하는 자국 또는 다른 나라의 VOS 선박에 XBT를 제공함,
- 열대해역에서 현재 검조소가 미비한 해역에 조석계를 설치함,
- 열대해역에서 대기, 해양 및 생물의 중요한 요소를 관측할 조사선을 제공함,
- 표층 바람, 표층 수온 및 수심에 따른 수온을 관측하는 표류체를 열대해역에 투하함,

○ 해면기압, 기온 및 표층 수온 관측을 위한 표류체를 남반구 해양에 투하함.

지원을 통한 기여:

- TOGA 관측을 수행하는 조사선에게 전관수역에 들어갈 수 있도록 허용함,
- 다른 국가의 부이를 운영하기 위한 특수 선박을 제공하거나 VOS 선박을 알선함,
- 위성 운영기관은 열대해역에서의 구름추적 바람추정치를 얻기 위한 특별한 노력을 함,
- 위성 운영기관은 공인된 알고리즘으로부터의 강우추정치 계산을 위한 특별한 노력을 함.

연구사업을 통한 기여:

- TOGA 연구사업의 과학적 목적에 기여할 연구를 하려는 과학자 개개인을 지원함,
- 열대해양과 전지구대기의 변동성을 이해하고 예측에 기여할 수 있는 진단적이고 예측성이 있는 모델을 구성하는데 필요한 자원과 인력을 지원함,
- TOGA 자료관리 업무에 기여하는 각종 특수 자료센타를 지원함.

자원을 통한 기여:

- 연구사업의 집행과 행정을 돕기 위한 인원을 국제 TOGA 연구사업 사무소에 지원함,
- 강우존데나 XBT, 표류체 같은 기본적 연구소모품의 구입을 위한 재원을 지

원함.

이상과 같이 다양한 노력이 직접 혹은 간접적으로 국제 TOGA 연구사업에 기여하는 일이다. 여기서 우리나라가 할 수 있는 일을 찾아 국제 TOGA 연구사업의 테두리에서 수행하게 된다. 다만, 연구 대상해역으로서 열대 및 적도의 대양을 포함하여야 하는데, 우리나라는 지금까지는 대양연구를 위한 기반이 조성되어 있지 못한 관계로 연구자 개개인은 관심을 갖고 있으나 실현시키지 못하였다. 다행히 기상연구소에서 우리나라와 태평양의 기후시스템을 연관시켜 연구하는 사업을 1991년에 5년간으로 계획하여 1992년부터 시작하였다. 이 연구사업이 포함하고 있는 연구내용 중에는 국제 TOGA 연구사업의 대기분야에 기여함과 아울러 우리나라가 ATLAS부이의 운영에 기여한다는 것이다. 제4장에서 언급하고 있는 국제 TOGA 연구사업 참여는 우리나라 ATLAS부이의 계류에 우리나라의 연구기술진이 직접 참여함으로써 경험을 축적한다는 입장에서 이루어진 것이다. 기상연구소에서는 ATLAS부이에 의한 기여를 계속하게 될 것이다.

한국해양연구소는 1350톤급의 종합해양조사선을 보유하게 됨에 따라 대양연구에 일익을 담당하여야 한다는 당위성을 인식하고 있다. 그러나, 대상해역이 우리나라에서는 멀리 떨어져 있고 왕복 항해를 위한 선박사용시간이 길어서 비효율적이라는 점과 이로 인하여 발생하는 선박사용료의 규모가 확대되어 제한된 연구비 규모로 볼 때 비생산적이라는 비판도 있다. 실제로, 태평양 연안국가들은 대부분 국가 대양조사계획을 갖고 있으며, 이 계획아래 자국의 국제 TOGA 연구사업을 수용하고 있다. 그러므로 기존의 대양조사항해계획을 TOGA의 목적에 부합하도록 보완하여 참여하므로 선박사용료가 TOGA 연구사업의 연구비의 규모로 확대 해석되지 않는다. 다행히, 한국해양연구소는 1992년부터 여러 연구사업의 공동으로 활용하는 대양항해계획을 수립하였고 그 일환으로 열대 서태평양에서 실제 관측일

수 7일에 해당하는 정선관측을 계획하게 되었다(그림 6). 이러한 대양조사항해가 성공적으로 수행되어 앞으로 국가대양조사항해를 구체화함이 바람직하다.

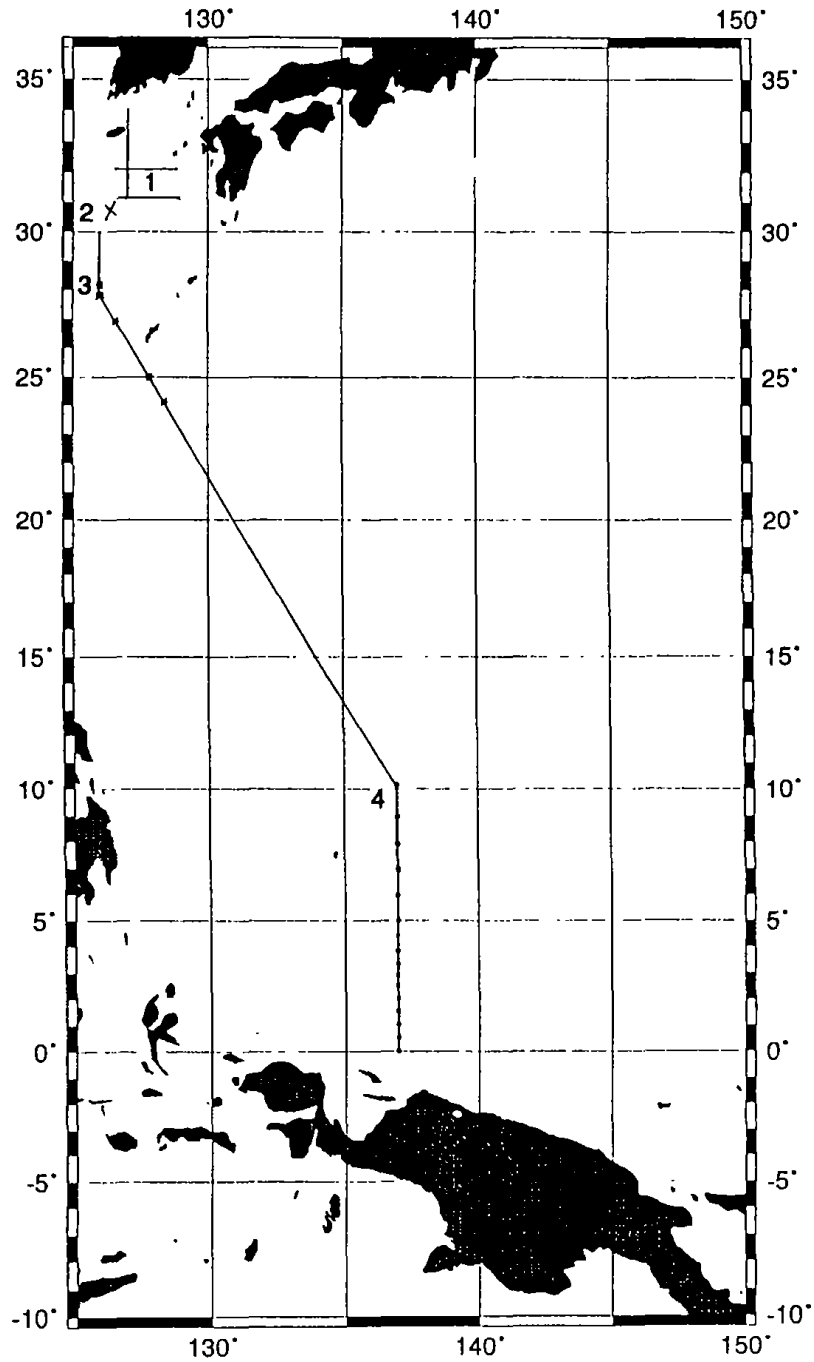


Fig. 6. Planned cruise line for the open ocean studies.

제 4 장 국제 TOGA 연구사업 참여

제 1 절 COARE EQ-1 항해 참여

국제 TOGA 연구사업의 일환으로 TOGA-TAO와 TOGA-COARE의 관측을 수행하기 위한 COARE EQ-1 항해가 1992년 4월로 계획되고 이 항해에 우리나라의 연구기술진이 승선하여 국제 TOGA 연구사업에 참여하고 경험을 얻는 기회가 있었다. COARE EQ-1 항해의 조사해역은 동경 137도에서 170도까지, 그리고 북위 5도에서 남위 3도에 이르는 적도를 중심으로 하는 열대 서태평양이다. 이 해역은 미국, 일본, 불란서 등 여러나라에서 국제 TOGA 연구사업의 초기인 1985년부터 집중적인 투자와 연구활동을 계속하여온 곳으로 근래에 빈번히 발생하는 이상기후 현상을 규명하는데 가장 중요한 연구대상 해역일 뿐아니라 우리나라와 가까운 대양연구의 대상해역이다.

COARE EQ-1 조사항해를 수행할 조사선은 1,800 ton급으로 하와이 대학 소속의 MOANA WAVE (Ocean Wave) 호인데, 해양물리조사를 비롯하여 해양지질, 지구물리 탐사, 관측장비 계류 및 회수작업에 적절하도록 설계, 건조된 종합해양 조사선이었다. 연구기술진으로는 하와이대학의 Lukas교수를 수석연구원으로 하여 4명의 하와이대학 연구진과 2명의 PMEL 연구진, 그리고 우리나라에서 서울대와 한국해양연구소에서 각 1명씩 참여하여 8명이 승선하였고, 조사기간은 1992년 4월 17일 괌을 출항하여 예정대로 관측을 실시하고 5월 15일 미크로네시아군도의 Majuro섬에 입항하기까지 29일 동안이었다.

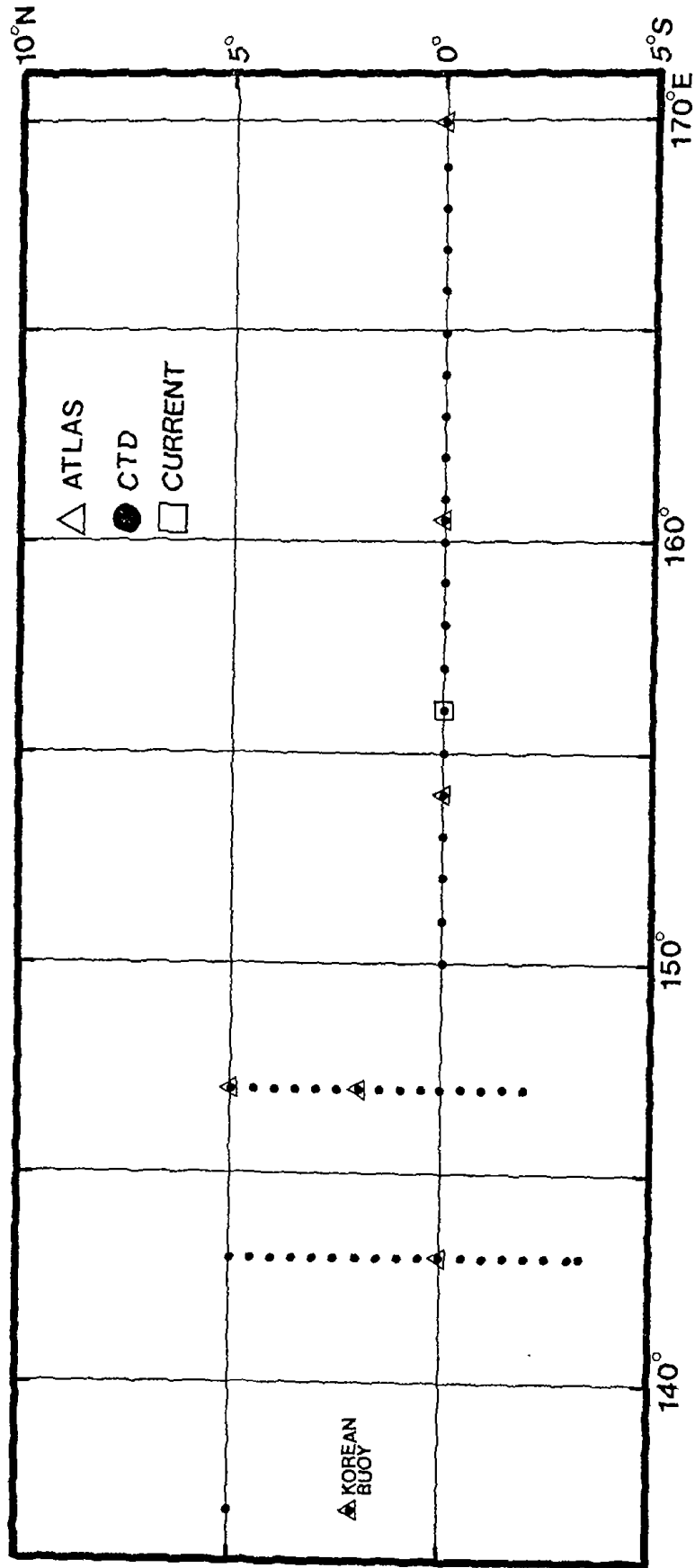


Fig. 7. Oceanographic Stations occupied during from 17 April to 15 May, 1992.

관측내용은 그림 7과 같이 해양 물리 특성조사를 위한 수온, 염분 관측이 총 57개 정점에서 수행되었고, 해수유동을 파악하기 위한 해류계(AMF VACM, RD-ADCP)의 계류를 1개 정점에서, 그리고 7개 정점에서 ATLAS부이를 계류하였다.

ATLAS부이는 해양고정점에 계류하여 기상요소 및 해면수온 그리고 수온의 수직구조분석에 필요한 자료를 수집하도록 설계된 것이다. 항해 중에 계속적으로 관측, 수집하는 ADCP를 이용한 수심 250 미터까지의 해수유동 자료와 조사선에 설치된 기상타워로부터 획득되는 일반 기상자료 수집에도 많은 노력을 기울였다. ATLAS부이 계류시 2개 정점에서 추가적으로 수심 100 미터까지 정점마다 6대의 Sea-Cat시스템을 부이의 계류선에 부착하여 수온의 시간별 변화에 관한 연속자료를 수집하는 계류작업도 성공적으로 이루어졌다.

제 2 절 ATLAS 부이

ATLAS부이는 TOGA-TAO 연구사업에서 열대태평양 관측에 집중 투입할 목적으로 미국 NOAA 산하인 태평양해양환경연구소에서 설계, 제작되었다. 1992년 2월 현재 태평양 전 열대해역에 34개 정점에 운영 중이며, 1993년까지 총 65개 정점으로 확대, 운영할 계획이다.

ATLAS 부이는 1)몸체 2)상부구조물 3)하부구조물 등으로 구성되어 있는데 각각의 기능을 보면,

1) 몸체 : 5 - 24 밀리미터 두께의 섬유유리를 재질로 하고 직경 80 센티미터의 튜브로 구성된 직경 240 센티미터인 Toroidal 형태이며 이것의 순수부력은 1,700 킬로그램이다. 관측항목은 대기분야와 해양분야로 나눌 수 있는데 대기분야는 풍향, 풍속, 대기온도, 습도 및 강수량을 관측하며, 해양분야는 해면수온(SST)과 수심 500 미터까지 10개 층에서 수온관측을, 2개 층에서는 수심보정용으로 수압을 아울러 측정한다. 관측해역에 따라 부이 계류선에 해류계를 동시계류하여 해류유동 자료를 수집하기도 한다.

2) 상부구조물 : 부이의 몸체 위에 부착하는 구조물로 재질은 가볍고 견고한 알루미늄으로 삼각대 모양이다. 이것은 높이가 210 센티미터이며 이곳에는 일반기상관측을 위한 각종 센서(풍향.풍속계, 대기온도계, 습도계, 우량계)가 설치되어 있고 측정된 자료를 전송하기 위한 전송장치 외에 레이더반사체와 섬광등이 부착된다.

3) 하부구조물 : 부이의 밑면을 구성하는 것으로 해수중에서의 부식을 방지하기 위하여 스테레스스틸로 제작되었으며 그 길이는 130 센티미터이다. 여기에는 부이의 안정을 위하여 구조물 끝단에 150 킬로그램의 납추를 고정시키며 해면수온을 측정하기 위하여 온도센서를 수심 1 미터에 설치하게 되어있다. 부이의 설치를 위한 계류선의 연결 및 관측된 해양자료를 상부구조물에 설치된 전송장치로 보내기 위한 각종 케이블이 연결되는 곳이다.

이들을 모두 결합하면 전체 높이는 약 450 센티미터, 총 무게는 300 킬로그램이 되며, 그림 8에서 부이 전체의 모양을 보여주고 있다. 부이시스템에서 관측되는 모든 자료는 전송장치를 거치고 ARGOS시스템을 이용하여 실시간 전송방식으로 NOAA, PMEL, 미국의 국립자료부이센터(NDBC)에서 수신하게 된다. 수집된

자료는 관련기관과 상호교환하여 여러 분야로 활용가능토록 되어 있으며, 그림 9은 ATLAS 자료관리 체계를 도시한 것이다.

이번 조사기간 중에는 우리나라 기상연구소가 비용을 부담하는 ATLAS부이를 계류하는 내용도 포함되었는데, PMEL 연구진의 협조로 무사히 완수하였다.

초기에 계획한 계류지점은 동경 133도, 북위 2도이었으나 현장에 도착하여 정밀 해저지형을 탐사한 결과 지형의 변화가 심하여 부이의 안전이 우려되고, 주위에 있는 섬들의 영향으로 정확한 기상자료 수집에 차질이 발생할 여지가 있음에 따라 이러한 점을 고려하여 계류지점을 동경 137도, 북위 2도로 변경하였다. 계류지점 부근 해역의 특성을 보면 적도로부터 뉴기니아 북부 연안을 따라 북서쪽으로 흐르는 강력한 뉴기니아 증저층류가 존재하는 곳이며, 우리나라를 비롯한 동북아시아권의 기후 및 해양환경에 큰 영향을 주는 쿠로시오의 시발점으로 해석할 수 있는 등 위치적으로 다양한 의미를 갖는 해역이다. 계류작업의 과정을 순차적으로 정리하면

- 부이 및 각 구조물의 상태를 점검함,
- 특히, 자료전송장치(Tube) 및 각 센서들은 부이에 조립하기 전에 48시간 이상 작동시켜 상태를 점검함,
- 계획한 정점 부근의 해역에서 12KHz 측심기를 이용하여 해저지형을 조사하여 분석함,
- 부이와 각 장비를 연결함,
- 수심 500 미터층까지의 수온관측을 위하여 설치하는 일련의 수온센서를 10 밀리미터 와이어로프에 약 5 미터 간격으로 클램프로 고정시키면서 선박의 바깥으로 풀어냄, 이 작업 과정에서, 물 속에서 케이블의 저항과 작업의 안전을 고려하여 부이를 갑판 위에 두고있는 상태임,

- 수온센서를 와이어로프에 고정시키는 일이 완료되면 부이를 물에 띄웁니다. 이때 손상이 우려되는 센서(풍향·풍속계, 대기온도계)들은 미 결합으로 투입함, 투입이 완료되면 소형 작업보트를 이용하여 부이에 접근하여 센서를 결합함,
- 와이어로프 끝단에 여러 동아리로 나뉘어진 20mm 나일론로프를 연결한 후 계속 물로 투입함, 나일론로프는 나무로 만든 드럼에 감아 준비를 하였는데 한 동아리에 약 6-700 미터이었습,
- 나일론로프의 투입이 끝나면 음파식 자동분리기를 연결하고 길이 20 미터의 체인으로 사하중 2.5 - 3톤을 연결함,
- 모든 준비가 완료되면 계류선의 엉킴을 방지하고 정확한 정점으로 이동하기 위하여 저속으로 항해함,
- 목표 지점에 도착하여 최종적으로 확인한 후에 선상의 사하중을 투하함.

약 12시간이 소요된 이상과 같은 절차를 거쳐 완료한 계류위치는 동경 137도 0.81분, 북위 2도 2.02분이었으며 그 수심은 4300 미터이다. 그림 10는 계류 직후 자료를 수신하여 선상에서 처리한 우리나라 ATLAS부이의 풍향, 풍속 및 수직수온자료를 도식화한 것이다.

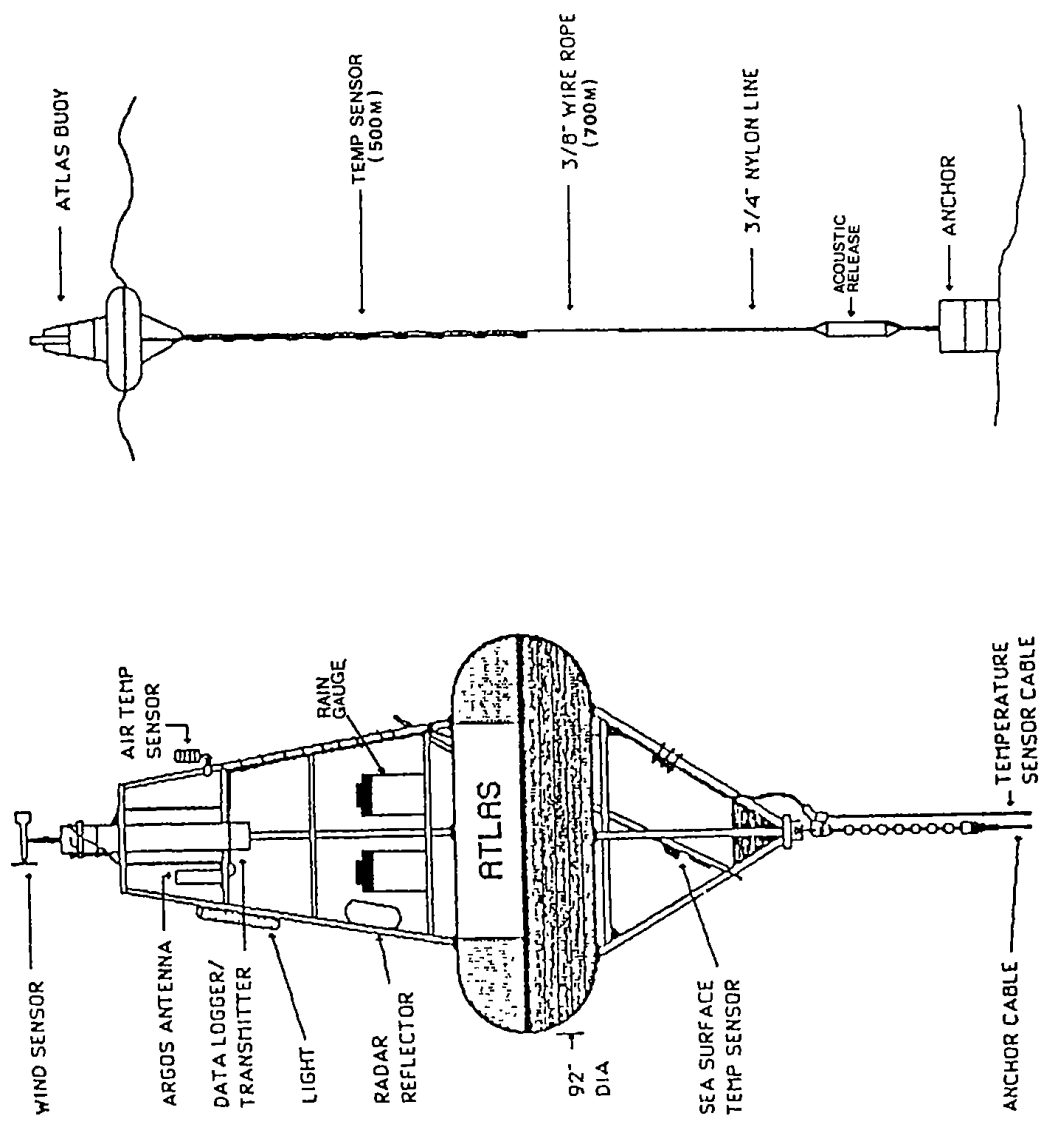


Fig. 8. Drawing of ATLAS buoy structure and mooring line.

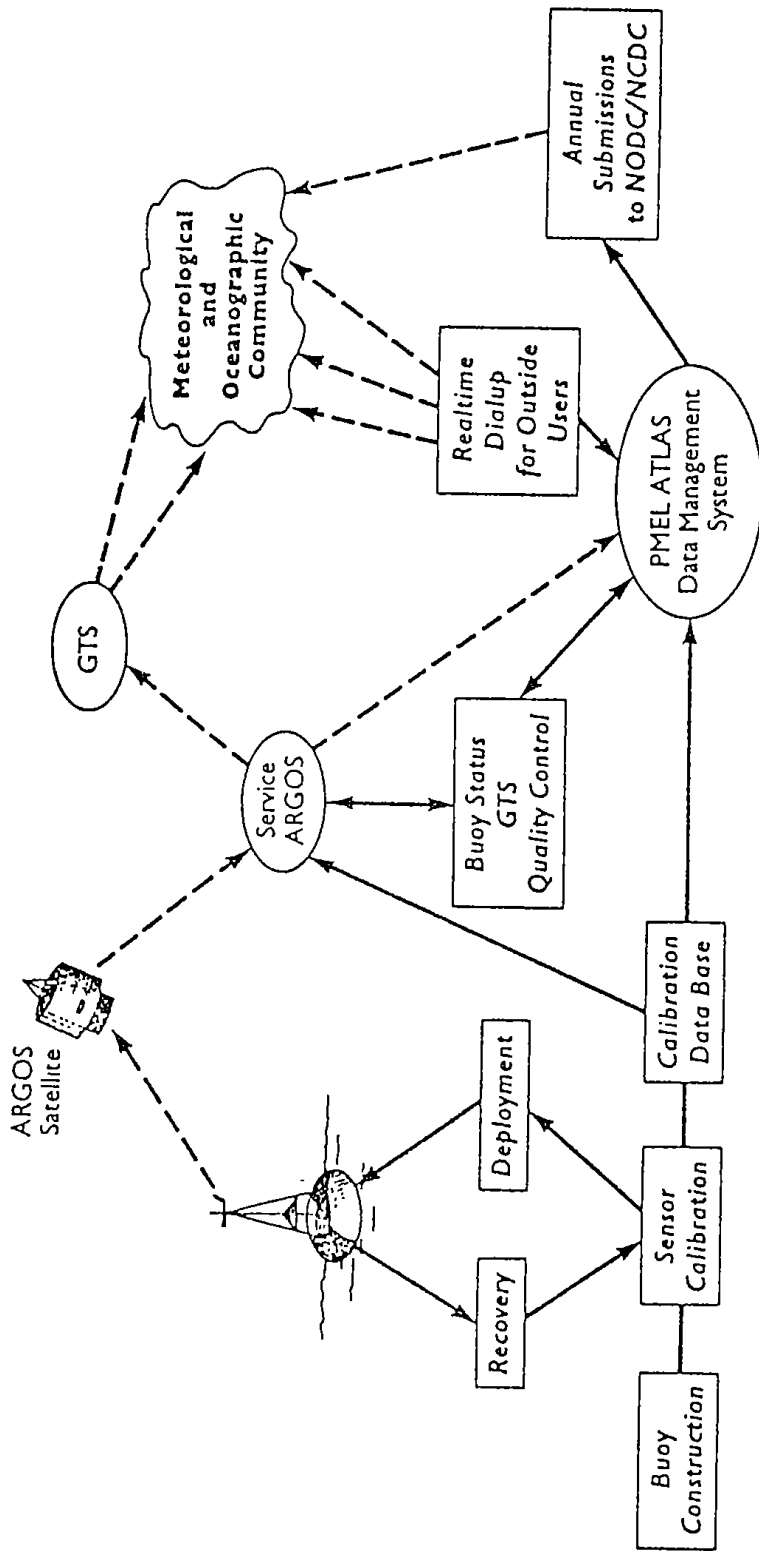


Fig. 9. ATLAS system Overview.

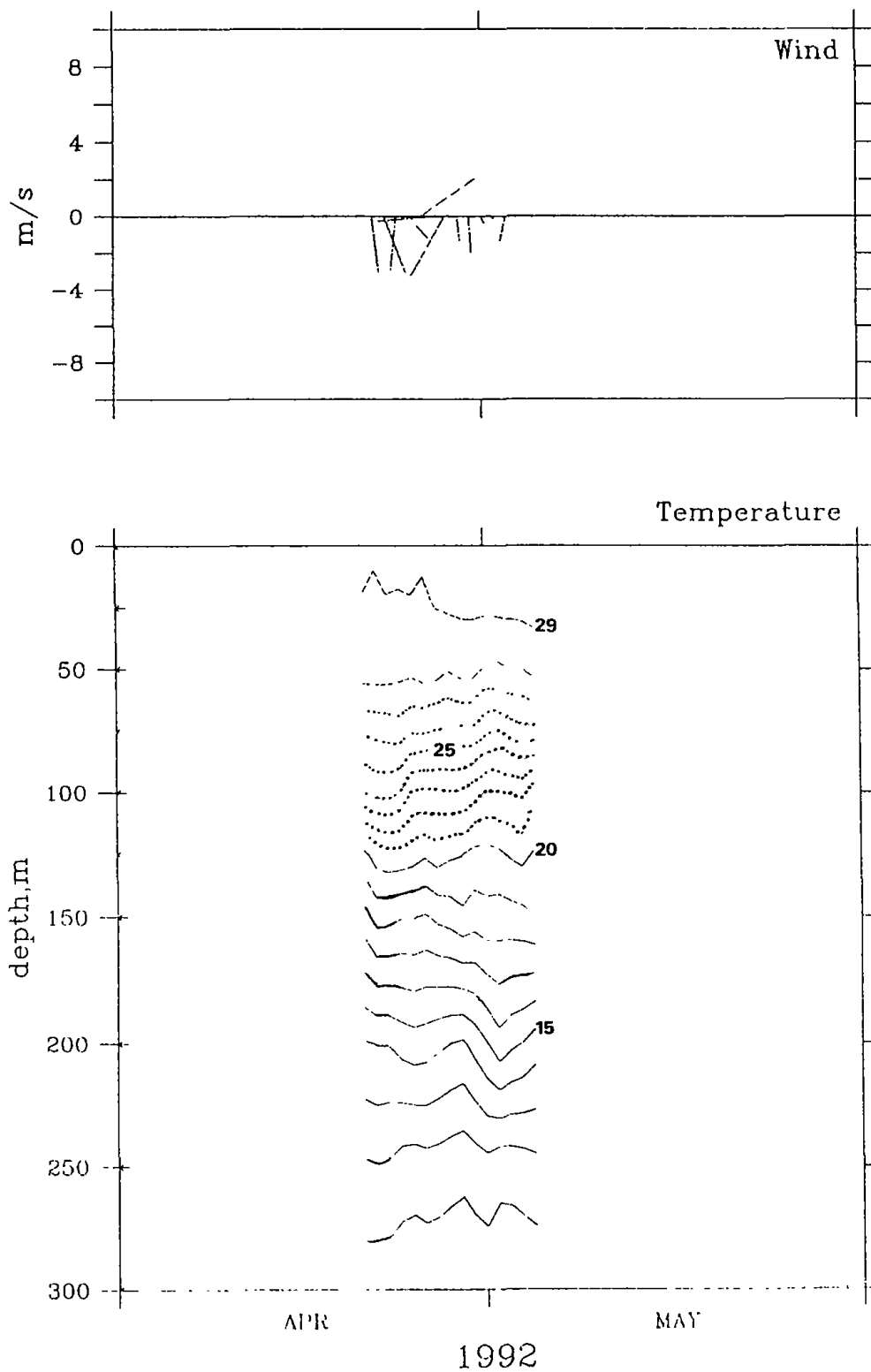
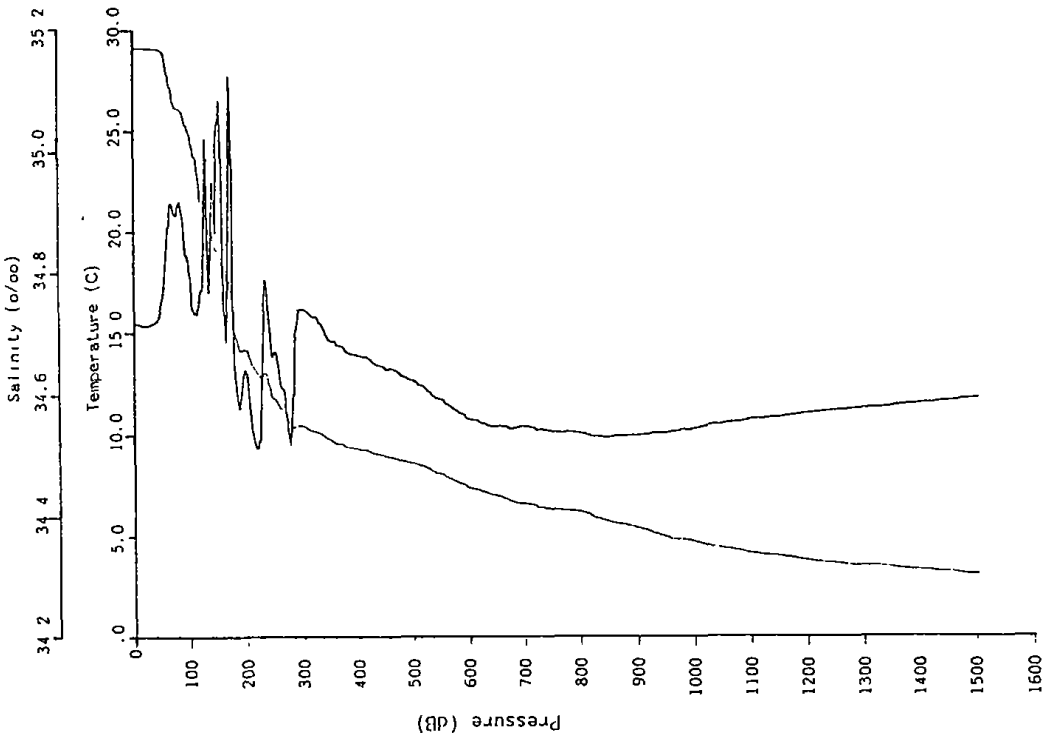


Fig. 10. Time variation of wind and vertical temperature distribution observed by ATLAS at $137^{\circ} 0.6 \text{ E}$, $2^{\circ} 1.8 \text{ N}$.

제 3 절 수온, 염분 관측

금번의 COARE EQ-1 항해에서 수온, 염분 관측은 미국 SEA-BIRD사의 모델명 SBE-25인 CTD (Conductivity, Temperature, Depth)를 사용하였다. 열대해양에서의 역학적 특성은 적도로 접근함에 따라 Coriolis 변수가 소멸하므로 해양의 상층부는 외부에서 가하여지는 힘(예를 들면 바람)에 매우 빠르게 반응한다. 이러한 역학적 특성을 고려하여 관측계획을 수립하게 되는데 상층부만 관측하는 정점은 정점간의 거리가 가깝도록 계획되고 심층까지 관측하는 정점은 중고위도에서와 같이 먼 간격으로 계획된다. 자료는 하강과 상승시 모두를 수집하였는데 상승시에는 혼합층을 위주로 해수채취도 함께 수행되었다. 그림 11은 우리나라의 ATLAS 부이를 계류지점 부근에서 정점관측을 실시하여 획득한 수온, 염분의 수직분포이다. 동경 137도 북위 5도의 정점(그림11의 a)에서는 수심 150 미터까지 일정한 수온을 보이는 반면에 수온약층에 해당하는 수심층에서 염분쇄기 모양이 나타난다. 한편, 적도에 더 접근한 동경 137도 북위 2도의 정점(그림11의 b)에서는 일정한 수온을 보이는 수심층이 50 미터까지 얕아지고 수온약층이 넓은 수심층에 퍼져있으며 수온약층에 해당하는 수심층에서 염분쇄기 모양이 넓고 강하게 나타난다.



(a)

Fig. 11. Vertical profiles of temperature and salinity at a) 137° E, 5° N and

b) 137° E, 2° N.

제 5 장 결론 및 건의

지구상의 모든 국가들은 국제 TOGA 연구사업의 결과로서 더욱 향상된 기후변화 경보 시스템을 통한 이득을 보게 될 것이다. 이런 국제적인 협력 프로그램을 통하여 기후변화의 메카니즘을 파악하게 되어, 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 뿐만아니라 여러 분야에서 활용하게 된다(ITPO, 1990).

또한, 새로운 대기관측 시스템은 각국의 기상 관측과 예보서비스의 개선에 도움이 된다. 해안 및 도서의 대기시스템과 새로운 실시간 대양관측 시스템은 각국의 해상기상 서비스와 전문화된 해양 서비스의 개선에 도움이 될 것이다. 광역의 해역에서 기상 및 해양 예측은 어업의 비중이 큰 국가에 특별히 도움이 될 것이다. 어느 해역의 어업이 다른 먼 해역에 나타난 이전의 해양에 의해 크게 영향을 받을 수도 있다는 사실은 이미 증명되어 있다.

TOGA에서 다루는 문제들의 전지구적 현상에 관한 해답을 얻기 위해서는 범세계적인 협력이 필요하다. 범세계적 협력은 각국의 개별적인 기여의 합보다도 더 큰 전체적인 결실을 얻을 수 있게 한다. 그렇지만 각국은 위에서 언급한 외의 다른 즉각적인 보상도 얻을 수 있다.

첫째, TOGA의 실시간 경보에 관한 성과는 여러 국가들에게 언제 그러한 기후변화가 곧 일어날 것인가 혹은 진행중인가를 알려 줄 것이다. 둘째, 과학자들은

이 연구사업에 의해 얻은 지식으로 이득을 보며, 이를 대학, 국립기관 및 연구소들을 통해 전파될 것이다. 셋째, 참여 연구기관 및 참여자가 얻은 새로운 기술은 각국의 국가 연구사업에 편성, 활용할 수 있을 것이다.

위에 열거한 모든 개선은 인간활동의 보다 효과적인 관리로 귀결된다. TOGA 연구사업은 틀림없이 지구과학 분야에서 수행한 사업 중 비용 대비로 보아 가장 효용이 높은 것 중의 하나가 될 것이다. 국제 TOGA 연구사업은 10년동안 계속되는 유일한 시도인데, 이는 우리의 일상생활에 미치는 자연의 힘에 대한 이해를 증가시키려는 부단한 노력이다.

국제 TOGA 연구사업은 그 목적을 달성하기 위하여 방대한 새로운 투자를 필요로 하지는 않는다. 이는 국제사회에서 이미 사용하던 기존의 기상과 해양의 관측시스템과 운영조직으로 이루어진다. 그렇지만 이 연구사업을 성공적으로 완수하기 위하여서는 많은 재원의 증액이 필요하게 된다. 그래서 과학자 개개인이나 각 국가의 지원을 요청하고 있다.

과학자 개개인은 관측을 실시하고, 유기적 연락을 유지하여 방향을 결정하며 연구사업을 수행한다. 과학자 개개인은 기존의 기상 및 해양 관측시스템에 보다 나은 질의 정보를 제공하도록 노력하여야 한다. 모든 관측은 그 관측이 현대적인 대도시 부근에서 이루어지거나 바다 한가운데에서 이루어지더라도 똑같이 양질의 결과를 유지하여야 한다. 기존의 시스템이 잘못되어 있으면 어떻게 하던지 해결책을 마련하여야 한다. 기존의 시스템이 잘 작동중이더라도 그것을 개선하려는 노력을 기우려야 한다.

각 국가는 이 연구사업의 기간중에 안정된 자원을 확보하여야 한다. 이 연구사

업에 참여하는 과학자 개개인은 자신의 관심에 따라 위상을 바꾸게 되더라도 각 국가는 이 연구사업이 전체적인 개념으로 관측이나 자료관리가 가능하도록 하여야 한다. 각 국가는 연구기관이 국제기후연구사업의 학술 목표에 기여할 수 있는 창조성을 육성하여야 한다. 각 국가는 전지구적인 문제 해결을 위한 대처라는 인식이 필요하다. 모든 국가가 이 대책에 부합하도록 힘을 합하여야 한다. 그리하여 다함께, 기후변화의 수수께끼를 밝혀내고 보다 좋은 삶을 구가할 수 있을 것이다.

이상과 같이 국제 TOGA 연구사업에 기여하는 일은 각 국가를 위한 이익을 대변하는 것이다. 당연히 우리나라도 혜택을 받는 국가이며 우리나라의 국가적 위상에 걸맞는 기여를 계획하여야 할 것이다. 이러한 맥락에서, 국제 TOGA 연구사업의 대기분야에 기여함과 아울러 우리나라가 ATLAS부이의 운영에 기여하는 내용을 포함하는 연구사업을 기상연구소에서 5년 계획으로 1991년부터 시작하였다. 그리고 한국해양연구소는 1350톤급의 종합해양조사선을 보유하게 됨에 따라 1992년부터 여러 연구사업이 공동으로 활용하는 대양항해계획을 수립하였고 그 일환으로 열대 서태평양에서 실제 관측일수 7일에 해당하는 정선관측을 계획하여 국제 TOGA 연구사업의 해양분야에 기여하게 되었다.

교통 및 통신수단의 발달로 전지구는 더욱 가깝게 연결되고 있으며, 실제로 경제활동의 영역은 전지구를 대상으로 하고 있다. 특히 광역으로 경제블록화하는 세계적 추세를 고려하더라도 우리나라가 태평양 연안국가로서 국가적 지위를 향상시키려면 태평양과 관련한 기반투자가 선행되어야 할 것이다. 선진국 진입을 국가적 목표로 삼고있는 우리나라의 국가적 위상에 부합하는 적절한 노력이 전제되지 않을 때 국제사회에서 우리나라의 위상은 그 위치를 유지하기 어려울 것이다. 이러한 입장에서 서태평양과 우리나라 인접 연해인 동해, 동지나해를 포함하는 대양조사계획을 수립하여 운영개념에서 유지하면서 여러가지 연구가 복합적으로 이루어지도록 유도하여야 한다.

참고문헌

기상연구소 (1992): 한국-태평양 기후 시스템 연구 (I)., 기상연구소 연구보고서, 254pp.

Hayes, S.P., L.J. Mangum, J. Picault, A. Sumi, and K. Takeuchi (1991): TOGA-TAO: A Moored Array for Real Time Measurements in the Tropical Pacific Ocean., Bulletin American Meteorological Society, Vol. 72, No. 3, 339-347.

International TOGA Project Office (1990): The Tropical Ocean & Global Atmosphere Programme., Brochure of International TOGA Project Office, 29pp.

JEDA Center (1989): Annual Report on Tropical Pacific Subsurface Thermal Data Management-1987., Ket to Oceanographic Records, NOAA Documentation No. 17, 14pp.

TOGA-COARE (1991): TOGA-COARE Experiment Design., TOGA-COARE Project Office, 94pp.

World Climate Research Programme (1990): Plan for the TOGA Coupled Ocean- Atmosphere Response Experiment., WCRP Publication Series No. 3 Addendum.

