

# 동아시아 지역의 해양오염 관리 기술 연구( I )

International Program for the Prevention and  
Management of Marine Pollution  
in the East Asian Seas

1995. 9

연 구 기 관  
한국해양연구소

과 학 기 술 처

# 제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 “동아시아 지역의 해양오염 관리 기술 연구” 사업의  
1차년도 보고서로 제출합니다.

1995년 9월

한국해양연구소

연구책임자 : 박 경 수/오 재 룡

연구 원 : 이 동 영 강 성 현

김 창 식 이 수 형

박 광 순 양 동 범

전 기 천 김 은 수

김 상 익 조 성 록

심 재 설 김 경 태

함 석 현 김 종 근

김 선 정 황 현 민

심 원 준 홍 상 회

이 승 용

# 요 약 문

## I. 제 목

동아시아 지역의 해양오염 관리 기술 연구(I)

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

한국은 동아시아 국가의 해양 오염 방지를 위한 UNDP/IMO의 국제공동 사업의 11개 참여국 중의 하나로, 문제 해결을 위한 부분 기술의 주도, 기술의 지원 및 교육 훈련에 기여를 하면서 할당된 국제 기구의 사업에 참여하게 되었다. 한국은 그 동안 국책 과제 등으로 통해 발전시킨 연안 모니터링 기술과 연안 모델링 기술을 적용시키기로 하였는데, 본 연구의 주요 목표는 우선 사업의 초기단계에서 연안개발 관련 기술개발 적용 및 교육장소로 선정된 필리핀의 Batangas항에 연안모니터링 장치를 IMO와 공동으로 시범설치하는 것이다.

최근의 조사에 따르면 남해안 일대 굴 양식장의 채묘 부진은 선박 도료에 방오제로서 첨가되는 TBT에 의한 것으로 추정되고 있으며, 먹이나 기타 환경 요인이 부가적으로 영향을 미치고 있는 것으로 생각되고 있다. 1970년대 말부터 프랑스, 영국 등지에서 발생한 굴 양식장의 채묘 실패와 굴 패각의 기형은 선박도료에 첨가되는 부착방해제인 TBT에 의한 것임이 연구 결과 밝혀졌으며, 고등류의 암컷이 수컷으로 변하는 성전환(임포섹스)

현상의 원인물질로 규명되었다. 본 연구에서는 진해만에서 국제 홍합감시 프로그램(International Mussel Watch Program)의 분석항목인 TBT의 오염현황과 추세를 파악하여 국내 규제의 시급성을 알리고자 한다.

UNEP에서 추진하고 있는 잔류성 유기오염물질 규제와 관련하여 육상 활동으로 부터의 해양환경보호 관련 실천 계획의 추진동향을 파악하여 이에 대비코자 한다. 이와 관련하여 잔류성 유기오염물질의 특성, 용도, 국내 사용 현황등을 파악하고 규제 대비책에 대해 알아보았다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

- 실시간 파고 조위관측 시스템의 개발
- 자료 전송 장치의 개선
- 태안화력발전소 pier에 시험 설치
- 필리핀 Batangas항에 설치
- 실시간 파고·조위관측 자료의 수신 정리 프로그램 개선 및 보완
- 진해만의 TBT 오염 현황 파악
- UNEP의 잔류성 유기오염물질 규제 동향
- 잔류성 유기오염물질의 국내 사용 현황 파악
- 잔류성 유기오염물질 규제 관련 국내 대비

#### IV. 연구결과 및 활용에 관한 건의

본 연구의 IMO사업에서는 필리핀 바탕가스항에 설치하기 위한 실시간 연안모니터링 장치를 개발하였다. 본 장치는 초음파센서를 이용한 파고조위 관측 시스템으로써, 고신뢰도의 Datalogger를 사용하고, 자료저장 용량은 2MB이며, 9600bps속도의 MNP 모뎀을 사용하는 등 첨단 시스템이지만, 소비전력이 적어서 소형 태양전지로 작동되며 전체시스템이 연안 구조물에 쉽게 설치될 수 있는 소형인 것이 특징이다. 특히, 수입된 초음파센서를 제외하고는 모두 국내 기술로 국산화하여 설치 후의 운영과 서비스가 편리하게 되었다. 본 과제에서는 관측시스템을 먼저 우리나라의 태안화력발전소 앞 Pier에 설치하고 시험 가동하여, 현장에서의 문제점들을 해결한 다음 필리핀 바탕가스항의 Pier에 IMO관계자와 공동으로 설치하였다. 여기서 개발된 시스템은 전화가 연결될 수 있는 곳이면 어디든지 독립적으로 설치되고 무인으로 자동 운영될 수 있어서, 동아시아지역의 연안관측소들을 한국 기술의 주도로 확장해 나갈 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 국제공동 연구개발은 동아시아 지역의 연안환경 실시간 모니터링 분야 뿐만 아니라 국내의 연안환경 모니터링 기술 개발에도 유용한 것이다. 우리나라에서의 많은 연안개발 사업, 유류오염사고 등에 의한 피해를 최소화하면서 연안개발과 연안활동을 추진하기 위한 연안 모니터링과 체계적인 연안역 관리 기술의 개발이 중요한 것으로 보인다.

본 연구 결과에 따르면 진해만의 TBT 오염현황은 다른 오염물질들에 비해 농도는 높지 않으나 굴이나 홍합 등 이매패류의 패각기형, 고등류의 입포섹스를 일으킬 수 있는 수준에 와 있다. 그러므로 국내에서도 선진국과 같이 TBT 사용을 규제해야 하고 이를 위해 사전에 전국적으로 TBT

오염 현황을 파악해야만 한다.

UNEP에서 잔류성 유기오염물질을 규제하게 되면 국내 산업에 미치는 영향이 지대할 것으로 예상된다. 정부에서는 이러한 영향과 관련하여 유관기관에 다음과 같은 내용의 연구를 시급히 수행하도록 하여야 한다.

- 최우선 규제대상 잔류성 유기오염물질의 발생원 조사
- 잔류성 유기오염물질 규제에 관한 외국동향 조사
- 청정기술 및 대체물질의 개발 동향 조사
- 전지구적 규제에 따른 파급효과 분석
- 잔류성 유기오염물질에 의한 해양오염현황 및 추세 분석
- 잔류성 유기오염물질의 모니터링 기술 현황 조사
- 국내의 사용 규제 대책 수립
- 그린라운드에 대비한 국가적 대응 전략 수립

# ABSTRACTS

## **I. Title**

International Program for the Prevention and Management of Marine Pollution in the East Asian Seas

## **II. Significance and Objectives of the Study**

Korea has endorsed regional programme of UNDP (Regional Programme on the Prevention and Management of Marine Pollution in the East Asian Seas) which is being executed by the International Maritime Organization(IMO). Because the establishment of coastal monitoring system is the first step to track change in marine environmental quality, Korea (KORDI) has agreed providing a set of real time ultrasonic wave monitoring device including the sensor, the data logger, the power supply and the modem for data transmission. KORDI also takes charge of training local technicians for the maintenance of the instrument, data retrieval and processing.

In this year, the objective of the project is defined to install and operate the real-time wave monitoring system at the island jetty of

Pilipinas Shell Petroleum Corporation which is located in Batangas Bay of Philippines.

This study was an attempt to present the current status and temporal trends of TBT contamination in Chinhae Bay, Korea. Recently, it was reported that oyster spatfall was very low or failed in Korean coasts, especially in Chinhae Bay, from 1991 to 1994. Deformed shells of oysters and mussels found frequently and imposex of intertidal neogastropods was also found frequently. This study also aims to stress the importance of regulating TBT in Korea is urgent.

This study attempted to grasp the Global Action Plan of UNEP and to prepare for the regulation of POPs. For this purpose, characteristics and usage of POPs were studied.

### **III. Scope of the Study**

- Development of the real-time wave and tide monitoring system
- Improvement of data telemetry device
- Installation of the monitoring system at Taean Power Plant
- Installation of the monitoring system in Batangas Bay of Philippines
- Improvement of retrieval of the real-time wave and tide data
- Status and trend of TBT pollution in the Chinhae Bay, Korea
- Global Action Plan of UNEP



- Usage of POPs in Korea

## **IV. Results and Suggestions**

The coastal monitoring system is developed to enable the reliable measurement of wave & tide and the easy data transfer, based on ultrasonic distance measurement through air and telemetry system using modem via public telephone network.

Hardware of the real-time wave & tide monitoring device consists mainly of ultrasonic sensor, data logger, modem, solar power supply and personal computer for data collection. The data logger controls the power supply for the sensor during observation, inputs the output signal from the sensor, converts it into digital value, and stores the value in the memory. The data logger also can connect this system to a PC through the telephone line when users call the telephone to receive the data. Memory capacity of the data logger is 2MB which can store 1024 sets of wave records. It corresponds 1024 hours or 43 days of continuous operation without data retrieval if the wave is measured at every hour.

Wave data from the wave and tide monitoring system can be helpful to construct maritime structures and to develop and utilize ocean and coastal areas. The system can also provide valuable support for the planning and management of the marine environment.

Because the whole monitoring system developed in this study has no underwater parts and is small, it seems to be easy to install on the piers of many coastal areas around Asian seas if the project would be supported for more years.

It was found that TBT pollution of Chinhae Bay, Korea is severe enough to deform the shells of oysters and to induce imposex to marine snails. So government needs to study the pollution status of TBT in the coastal areas and to regulate the usage of TBT urgently.

The impact on industries will be severe if POPs will be regulated by UNEP in the near future. To prepare for the regulation, government should study following subjects,

- sources of POPs
- regulation of POPs in the foreign countries
- clean technology and substitute of POPs
- impact of POPs regulation
- status and trend of marine pollution by POPs
- status of monitoring technology of POPs
- regulation of POPs in Korea
- national plan for Green Round

# 목 차

표 목차 .....	15
그림 목차 .....	17
제 1 장 서론.....	19
제 2 장 실시간 사고·조위관측 시스템 .....	25
제 1 절 자료 전송 장치의 개선 .....	27
제 2 절 실시간 사고·조위 모니터링시스템 개발 .....	29
제 3 절 태안화력발전소 pier에 시험 설치 .....	36
제 4 절 필리핀 Batangas항에 설치 .....	40
제 5 절 초음파 센서의 조정 .....	45
제 3 장 실시간 사고·조위관측 자료의 수신 .....	55
제 1 절 자동연속수신 방법 .....	58
제 2 절 하나씩 수신하는 방법 .....	60
제 3 절 System의 set-up 방법 .....	63
제 4 절 수집자료의 분석,정리, 출력 .....	64
제 4 장 진해만의 TBT 오염 .....	67
제 1 절 서 언 .....	69
제 2 절 시료 채취 및 분석 .....	87
1. 시료 채취 및 보관 .....	87
2. 분석방법 .....	89
제 3 절 결과 및 고찰 .....	94
1. 퇴적물중의 TBT .....	97
2. 생물시료 .....	104

제 4 절	결론	115
제 5 장	UNEP 해양환경보호 관련 범지구적 실천계획	119
제 1 절	서언	121
제 2 절	육상활동으로부터의 해양환경보호 관련 실천계획의 추진동향	121
제 3 절	잔류성 유기오염물질의 특성 및 용도	122
	1. 유기 염소계 농약류	126
	2. 유기 염소계 화합물	141
	3. 유기 브롬계 화합물	146
	4. 다환 방향족 탄화수소	147
제 4 절	잔류성 유기오염물질의 규제 대비책	150
제 6 장	결론 및 제언	155
	참고문헌	161

# Contents

List of Tables .....	15
List of Figures .....	17
Chapter 1. Intorduction .....	19
Chapter 2. Real-time wave and tide monitoring system .....	25
Section 1. Improvement of data telemetry device .....	27
Section 2. Development of the real-time wave and tide monitoring system .....	29
Section 3. Installation of the monitoring system at Taean Power Plant .....	36
Section 4. Installation of the monitoring system at Batangas Bay in Philippines .....	40
Section 5. Programming the ultrasonic sensor DCU-1103 .....	45
Chapter 3. Retrieval of the real-time wave and tide data .....	55
Section 1. Automatic retrieval of the real-time wave and tide data .....	58
Section 2. Manual retrieval of the real-time wave and tide data ...	60
Section 3. Setup of the system .....	63
Section 4. Analysis, edition and print of the data .....	64
Chapter 4. Contamination of TBT in Chinhae Bay, Korea .....	67
Section 1. Introduction .....	69
Section 2. Sampling and sample analyses .....	87

1. Sampling and sample storage .....	87
2. Analytical methods .....	89
Section 3. Results and discussion .....	94
1. TBT in sediment and sediment cores .....	97
2. TBT in bivalves .....	104
Section 4. Conclusion .....	115
Chapter 5. UNEP Global Action Plan for marine environment	
protection .....	119
Section 1. Introduction .....	121
Section 2. Trend of UNEP Global Action Plan .....	121
Section 3. Characteristics and usage of persistent organic	
pollutants .....	122
1. Organochlorine pesticides .....	126
2. Organochlorine compounds .....	141
3. Organobromin compounds .....	146
4. Polycyclic aromatic hydrocarbons .....	147
Section 4. Preparation for the regulation of persistent organic	
pollutants .....	150
Chapter 6. Conclusion and recommendations .....	155
References .....	161

## List of Tables

Table 1. Some uses of triorganotin compounds .....	71
Table 2. Some uses of diorganotin compounds .....	73
Table 3. Some uses of monoorganotin compounds .....	75
Table 4. Effects of TBT acetate on <i>Crassostrea gigas</i> larvae at various water concentrations .....	78
Table 5. Summary of the effects of exposure to TBT on the reproductive system of the gastropod <i>Nucella lapillus</i> .....	80
Table 6. Toxicity of TBT to fish .....	81
Table 7. Concentration of TBT in marine biota .....	83
Table 8. Regulation of TBT in the world .....	84
Table 9. GC instrument description and conditions for analysis of sediments and tissues using FPD detector. ....	92
Table 10. Analysis of TBT contents from NIES standard. ....	95
Table 11. Butyltin concentrations and TBT percentages in sediment cores from Chinhae Bay, Korea. ....	99
Table 12. TBT concentrations in tissues of mussels( <i>Mytilus</i> <i>edulis gallaprovincialis</i> )collected from Chinhae Bay, Korea(1987-94). ....	106
Table 13. TBT concentrations in tissues of oysters( <i>Crassostrea</i>	

<i>gigas</i> ) and mussels( <i>Mytilus edulis galaprovincialis</i> ) collected from Chinhae Bay, Korea(June, 1994) .....	107
Table 14. Some reported concentrations of TBT in mussel tissues from field samples. ....	112
Table 15. Approximate degree of TBT contaminations as reflected by TBT tissue concentrations in field populations of mussels .....	113
Table 16. Concentration of TBT and DBT in different parts of mussels( <i>mytilus edulis</i> ) .....	114
Table 17. Banned organochlorine pesticides in Korea .....	128
Table 18. Common and trade names of Toxaphenes .....	129
Table 19. Chlorinated Pesticides Usage in Korea .....	133
Table 20. Estimated usage of PCBs in transformers and large capacitors in a number of OECD countries in 1930-1980(in tonnes) .....	144
Table 21. Usage of PCBs .....	145
Table 22. PCDDs and PCDFs concentrations in the urban soils of UK (unit: ng/g soil) .....	146
Table 23. Molecular weight and carcinogenicity of selected PAHs ...	149
Table 24. Transformation products and contaminants of organochlorines .....	151



## LIST OF FIGURES

Fig. 1. Block diagram showing IMO Project .....	23
Fig. 2. Monitoring system using modem XE9624GS .....	28
Fig. 3. Real-time wave & tide monitoring system using aerial ultrasonic transducer .....	30
Fig. 4. Beam pattern of ultrasonic sensor DCU-1103 through air .....	31
Fig. 5. Diagram showing an example use of the data logger .....	33
Fig. 6. Electrical connection of modem XE9624 to data logger .....	34
Fig. 7. Schematic diagram of the monitoring system installed on the pier of Taean Power Plant .....	37
Fig. 8. Measurement range of the ultrasonic sensor DCU-1103 in field .....	38
Fig. 9. Location map of coastal monitoring station in Philippines .....	40
Fig. 10. Photograph showing the island jetty of Pilipinas Shell Petroleum Corporation in Batangas Bay, Philippines .....	41
Fig. 11. Communication line of the island jetty .....	43
Fig. 12. View of engineers assembling the monitoring system on the jetty .....	46
Fig. 13. Ultrasonic sensor attached on the side-rail pipe of the jetty .....	46
Fig. 14. Instruments installed on the island jetty of the Pilipinas Shell Petroleum Corporation .....	47

Fig. 15. Photograph showing inside of the datalogger .....	47
Fig. 16. View of the solar panel installed on the island jetty .....	48
Fig. 17. Test for the operation of the monitoring system .....	48
Fig. 18. Example plot of wave data .....	49
Fig. 19. Location of sampling sites in Chinhae Bay, Korea .....	88
Fig. 20. Flow chart of the analytical procedures .....	90
Fig. 21. Map showing the distribution of TBT concentrations in mussels( <i>Mytilus edulis galaprovihcialis</i> ) in Chinhae Bay, Korea .....	109
Fig. 22. Map showing the distribution of TBT concentrations in oysters( <i>Crassostrea gigas</i> ) in Chinhae Bay, Korea .....	110

제 1 장  
서 론



## 제 1 장 서 론

해양오염이 경제발전에 미치는 관심이 보편화되면서 최근 많은 연안국가들은 자국의 연안자원 관리와 해양환경 보호에 투자를 집중시키려하고 있다. 동아시아 지역에서의 해양오염의 주된 요인은 비처리 오수의 유입, 산업폐기물, 산림채벌과 여러 형태의 토지이용에 의한 퇴적작용, 유류, 독성폐기물과 농약 등이 있다. 대부분의 이러한 문제들은 육상에서의 인간활동의 결과이고, 인구과잉, 빈곤 그리고 무분별한 경제발전 등의 문제들과 상호관련되어 있다. 자연자원의 지역편중된 계획과 불충분한 보호 및 관리는 조악하게 계획된 도시의 증가, 중요한 서식처의 무분별한 파괴, 산업의 무절제한 발달과 연안수괴의 오염을 유발시켰다. 해상활동에 의한 해양오염은 해상운송과 외해에서의 탄화수소 개발 및 생산에 크게 연관되어 있다. 동아시아 지역에서 특히 오염에 취약한 지역은 말라카 해협, Lombok - Makassar 해협, 남지나해, Tong kin 만과 황해 등이 있다. 해상운송과 외해에서의 석유탐사활동에 따르는 기름유출과 선박 및 시추탑으로부터의 고의적인 오염배출이 증가하고 있다.

동아시아 해역에서 해양오염 문제를 해결하는 데 있어서의 주된 장애요인에는, 기존의 법규를 이행하고 강화하기 위한 정치적인 결정의 부족과 계획 및 관리측면에서의 전문요원의 부족, 각 정부와 이익단체들 사이의 협조체제의 부재, 그리고 오염의 방지 및 제어를 위한 적절한 기술 및 훈련에 투자하기 위한 자금 혹은 경제적 당위성의 부족 등이었다.



이에 국제 개발 계획(UNDP)에서는 아시아 지역에서 각국이 당면한 문제들을 공동적으로 해결하는 방안으로 세계환경기금(GEF)에서 800만 달러의 기금을 확보하여 1994년부터 5년간 아시아의 11개국이 참여하여 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)가 집행하는 국제 공동 사업을 추진하게 되었다. 이 사업의 목표는 동아시아 국가의 해양 오염 방지를 위하여 시범 현장 연구 해역을 선정하고, 문제해결을 위한 다양한 첨단 기술을 확보하여 시범 테스트와 개선, 적용성 향상을 도모하여 이를 각 참여국에 기술 이전하는데 있다. 시범 연구 site로는 유류오염 문제에 대해서는 세계적으로 가장 민감한 말라카 해협, 대규모 연안 개발에서의 환경 피해 문제에 대해서는 필리핀의 Batangas항, 또 이미 오염된 항의 환경 개선 기술 개발을 위해서 중국의 Xiamen항 등이 선정되었다. 이러한 시범지역에서 기술개발을 집중수행하고 이를 활용할 수 있도록 IMO는 교육 훈련을 통해 11개국에 기술이전을 추진하는 계획을 세워놓고 있다.

한국은 이 공동 사업의 11개 참여국 중의 하나지만, 국제 기구의 규정상 확정된 800만 달러의 사업비에 전적으로 의존하는 수혜국의 위치가 아니므로, 이 문제 해결을 위한 부분 기술의 주도, 기술의 지원 및 교육 훈련에 기여를 하면서 할당된 국제 기구의 사업에 참여하게 되었다. 한국은 그 동안 국책 과제 등으로 통해 발전시킨 연안 모니터링 기술과 연안 모델링 기술을 적용시키기로 하였는데, 본 과제에서는 우선 사업의 초기단계에서 연안개발 관련 기술개발 적용 및 교육장소로 선정된 필리핀의 Batangas항에 연안모니터링 장치를 IMO와 공동으로 시범설치하게 되었다. Fig. 1은 IMO사업에서 한국의 역할을 사업성공시 국내에 적용될 수 있는 부분을 간략하게 도시

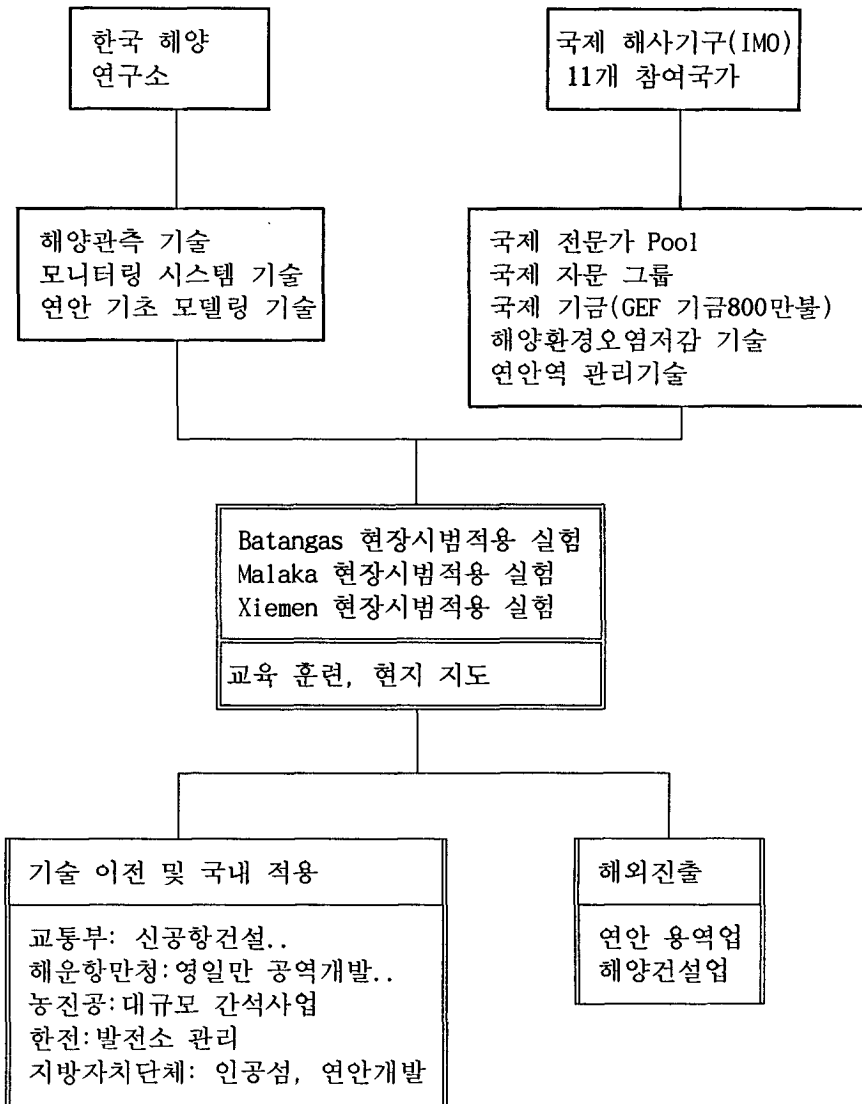


Fig. 1 Block diagram showing IMO Project

한 것이다.

참고로, IMO사업의 11개 참가국은 Brunei Darussalm, Cambodia, 북한, Indonesia, Malaysia, People's Republic of China, Philippines, Republic of Korea, Singapore, Thailand 과 Vietnam이며, 사업예산 미화 800만불은 UNDP/GEF(RAS/92/G34) 기금으로 지원되며, 이 사업은 1994년 1월에 시작되었고 향후 5년간 수행된다.



## 제 2 장

# 실시간 파고 조위 관측 시스템



## 제 2 장 실시간 파고·조위관측 장치

### 제 1 절 자료 전송 장치의 개선

본 기술 개발에서는 그동안 급속도로 발달한 최신 모뎀을 실시간 관측망에 적용하는 기술을 개발하고 응용하였다. 그리고, 전원은 소형 태양전지만으로 가동되어야하므로, 모뎀의 적용시에도 전력소비를 최소화하는데 중점을 두었다.

여기서는 Microprocessor에 연결 가능하고 소비전력의 제어가 쉬운 모뎀 Module 중에서, 자료압축 및 노이즈 억제 등 최신 기능이 있는 미국 XECOM사의 XE9624GS를 선택하였다. 본 모뎀은 자료통신속도는 2400bps(최대 9600bps)로 고속이며 자료의 노이즈를 자동 처리하므로 전화 회선 사용시간은 기존 1200bps 모뎀의 2배 이하이다. Fig. 2는 본 모뎀을 이용한 Monitoring system을 나타낸 것이다. 이 시스템에서는 Data logger 측의 모뎀이 사용자의 모뎀 특성이나 속도에 상관없이 접속 가능하다.

본 시스템에서, 모뎀과 Data logger 사이의 통신은 9600bps로 고정되어 있으므로 사용자 모뎀이 9600bps보다 느린 경우에는 Data logger가 자료를 그만큼 느린 속도로 모뎀에 보내주어야한다. 이 때의 속도조절은 모뎀 자료 버퍼(Buffer)에 남아있는 메모리 유무를 나타내는 CTS(Clear To Send) 신호에 의한다. CTS신호가 있으면 Data logger는 CTS신호가 끝날 때까지 문자를 보내지 않고 대기한다.

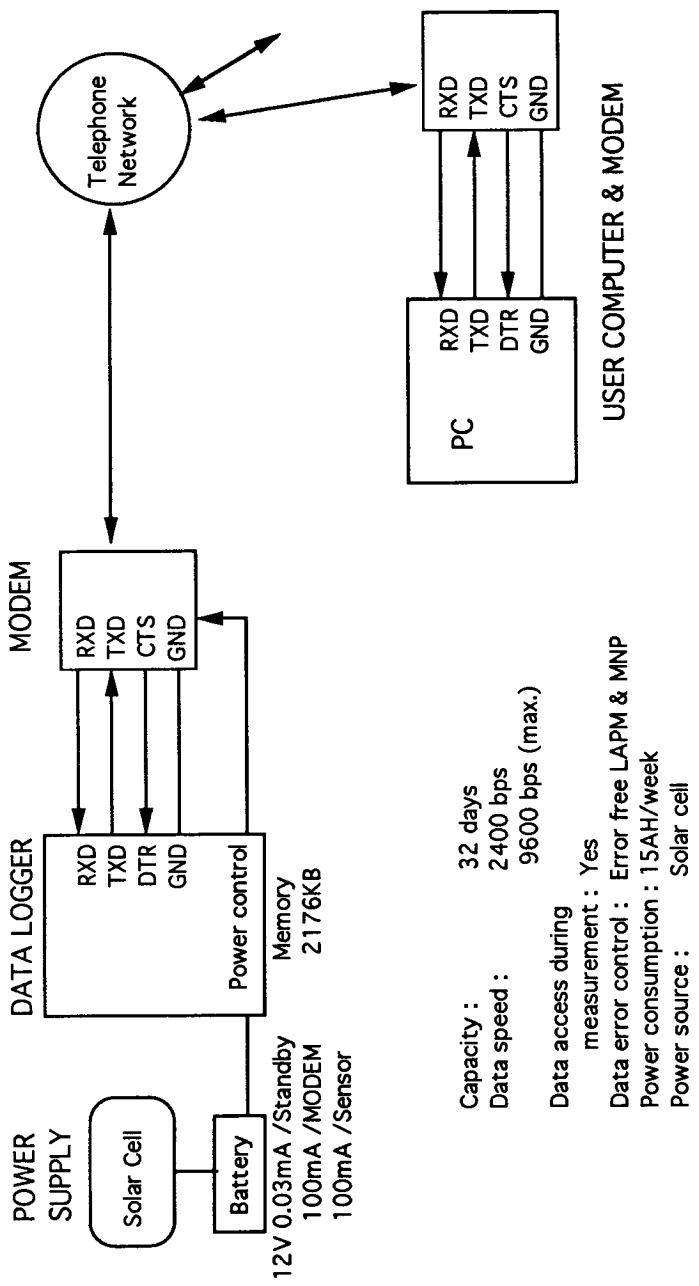


Fig. 2 Monitoring system using modem XE9624GS

## 제 2 절 실시간 파고·조위 모니터링 시스템 개발

파고와 조위를 동시에 모니터링하려면 수압식 또는 초음파식 정밀 수위 측정센서가 필요하다. 수압식은 수중압력을 수면 변위로 변환하며, 초음파식은 초음파의 반사시간을 측정하는 것인데, 초음파 센서에는 수중발사식과 공중발사식이 있다. 수압식과 수중발사 초음파식 시스템은 수중에 센서를 설치하여야하고 수중케이블로 전원공급과 자료통신을 하여야하므로 불편한 점이 많다. 여기서는 수중에 설치되는 부분이 전혀없어서 운영과 관리에 편리한 공중발사 초음파 센서를 이용한 파고조위 모니터링 시스템을 중심으로 연구 개발하였다.

Fig. 3은 개발된 파고조위 모니터링 시스템의 모식도이다. 본 시스템의 하드웨어는 Sensor, Data logger, Modem, Power supply, 자료수신 컴퓨터로 구성되어 있으며, 소프트웨어는 관측소의 Data logger용과 사용자를 위한 수신컴퓨터용으로 구분된다. 소프트웨어는 하드웨어 신호들을 유기적으로 연결시키며 또한 본 시스템을 전화망에 연결시키는 역할을 한다.

Sensor는 미국 Lundahl Instrument사의 초음파센서 모델 DCU-1103 (Fig. 4)을 사용하였다. DCU-1103은 직경 9cm 길이 33cm의 PVC 원통속에 세라믹초음파 진동자와 센싱 회로를 조립한 것으로써 대기중에서 15m까지의 거리를 측정할 수 있다. 공급 전원의 전압범위는 12-30V, 전력소모는 180mA, 측정거리 출력은 4-20mA 전류, 분해능은 2.54mm로 나타나있다. 초음파 빔의 폭은 9 degree인데 Fig. 4를 보면 가장 빔폭이 넓은 곳은 15m의 중간지점으로 빔폭이 약 2.4m이다.

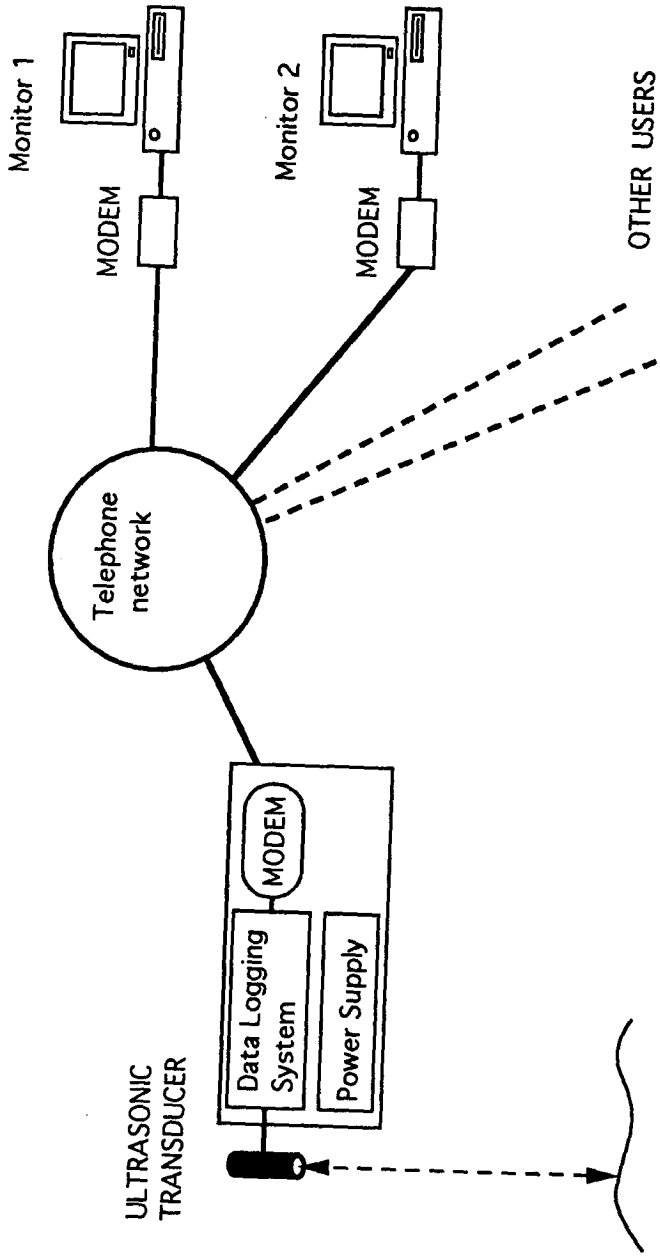


Fig. 3 Real-time wave & tide monitoring system using aerial ultrasonic transducer

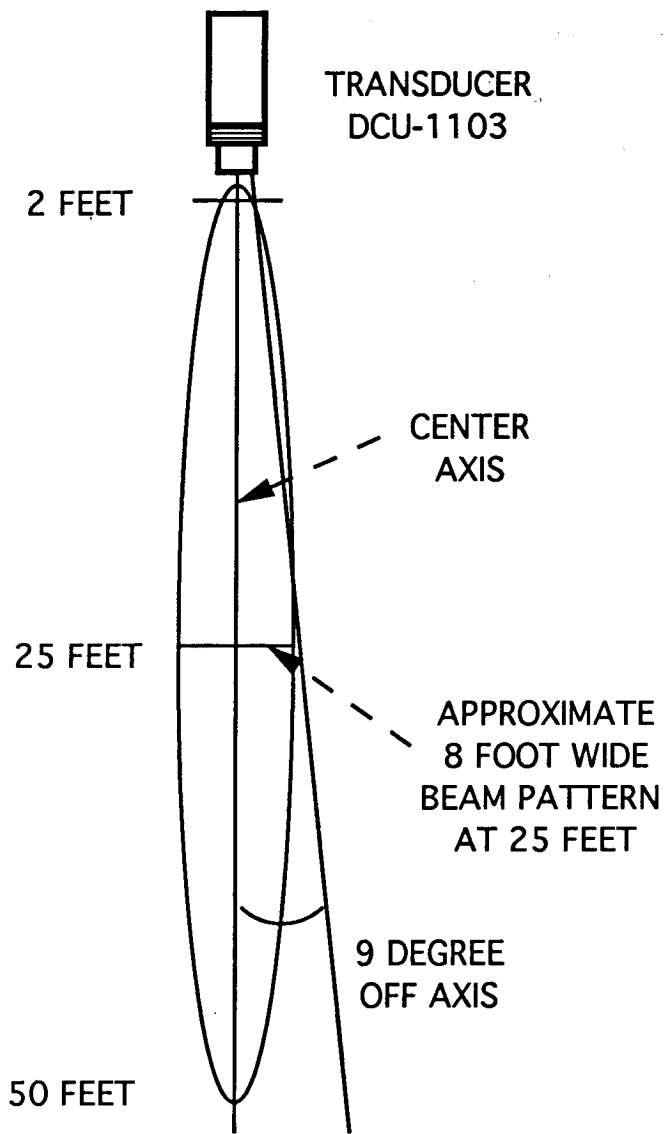


Fig. 4 Beam pattern of ultrasonic sensor DCU-1103

Data logger (Fig. 5)는 관측시 Sensor전원을 공급하고 Sensor 출력신호를 측정하여 디지털값으로 변환한 다음 메모리에 저장하고 전화가 걸려오면 모뎀을 작동시켜 수신컴퓨터에 본 시스템을 연결하는 역할을 한다. 이 Data logger는 94년 출연(연)의 중소기업 기술이전사업에서 제품화된 것으로서 메모리용량 2MB의 저소비전력형이다. 1회 측정된 값은 16 bits (2 bytes)로 처리되므로 매시간마다 1024개의 측정점이 있을 경우 (2048 bytes / record), 총 1024 시간(약 43일) 동안의 수위 자료를 저장할 수 있다.

Modem은 앞부분에서 기술된 것으로 XE9624GS 모듈을 사용하였다. 전화가 걸려오면 첫번째 벨을 Data logger가 감지하여 모뎀에 전원을 공급하도록 하였다. 이후 모뎀은 다음 3번째의 전화벨에 자료통신을 연결(Connect)시킨다. 일단 연결이 되면 수신컴퓨터와 Data logger 사이의 직접 통신이 이루어진다. 모뎀전원은 작업 끝 명령에 의하거나 컴퓨터로부터 15초 이상 아무 명령도 입력되지 않으면 자동적으로 차단되도록하여 전력소모를 줄였다. 모뎀을 위한 회로 구성은 Fig. 6과 같다. XE9624GS 모뎀은 5V 단일 전원으로 작동하므로 12V 전원을 MAX664 정전압 Regulator로 5V로 낮추어서 공급한다. 그런데 MAX664 단독으로는 최대 전류가 40mA 정도이므로 Transistor 2N2907로 전류를 증폭시켰다. 이 때 사용가능한 전류는 120mA까지인데, XE9624GS가 80mA 정도 소비하므로 적당한 값이다. 이 모뎀을 제어하는 신호선은 3종류인데, MAX664의 SHDN (Shut Down), 모뎀의 CTS (Clear To Send), PC817의 BELL이 그것으로써 이 세 신호선은 Microprocessor에서 제어하게 되어 있다. SHDN은 MAX664의 전원 스위치 역할을 하며 CTS는 모뎀의 Ready 또는 Busy 상태를 나타내는 것이



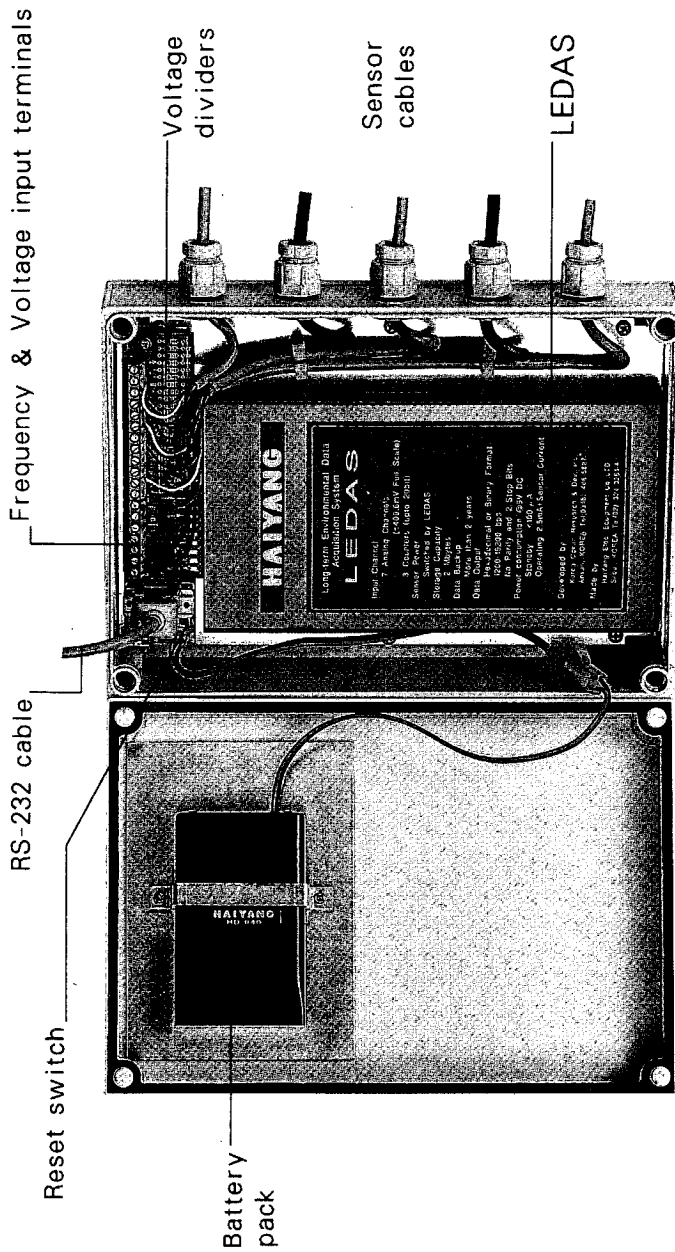


Fig. 5 Diagram showing an example use of the data logger

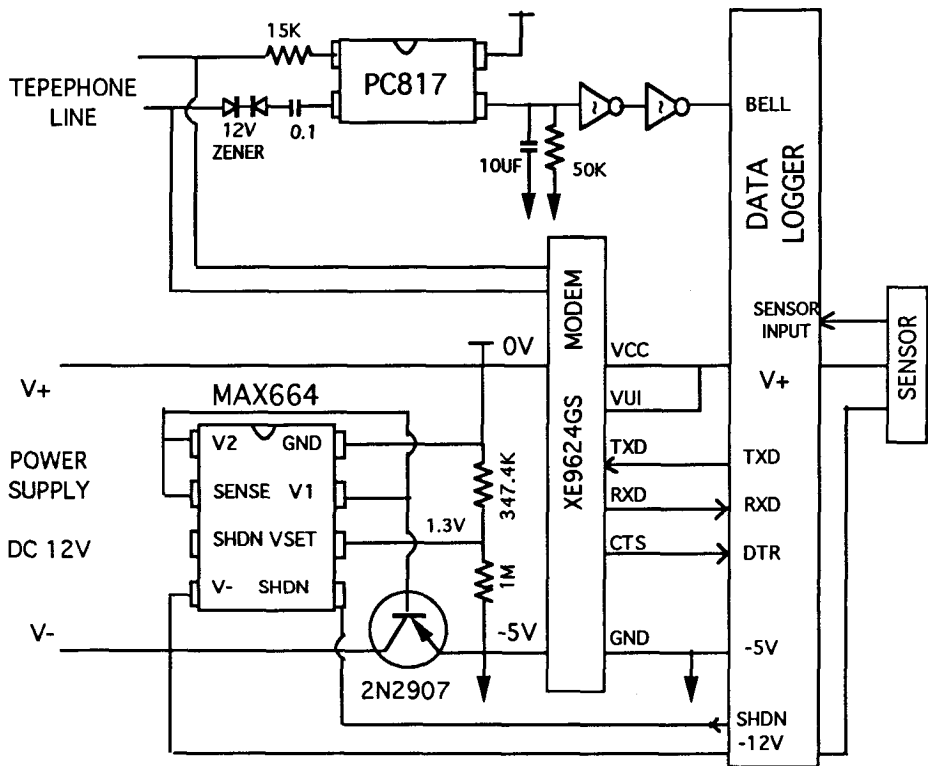


Fig. 6 Electrical connection of modem XE9624 to data logger

SHDN input of MAX664 controls the power supply of XE9624.

PC817 : opto coupler for ring detection, 2N2907 : current booster

다. CTS 신호가 Busy 상태로 되는 경우는 사용자의 모뎀 속도가 느려서 Data logger측 모뎀이 앞질러 가려고할 때이다. 이 기능으로 말미암아 본 시스템은 사용자측 모뎀의 통신속도에 관계없이 접속이 가능하게 되었다. PC817 Opto coupler에서 검출하는 BELL신호는 최초의 전화벨 신호를 Microprocessor에 전달하여 Microprocessor가 모뎀에 전원을 공급하도록 하는 것이다. 모뎀에 전원을 공급한 다음 모뎀을 초기화 할 때의 AT 명령어는 ATSO=1로서 이는 계속해서 전화벨이 한번 더 울리면 사용자의 컴퓨터와 Data logger의 통신이 자동적으로 접속되게 하기 위한 것이다.

Power supply는 12V의 전원을 안정되게 공급하는 것이다. 공급원으로는 태양전지 또는 일반 교류전원이며, 이러한 전원에 정전압 장치를 붙여서 12V의 납축전지를 충전시킨다. 전지용량은 공급원에 문제가 발생하여도 약 1개월간 견딜수 있도록 계산하여 정한다. 본 관측 시스템의 소비전류는 관측시 190mA, 모뎀작동시 80mA, 대기시 0.1mA이므로, 매시간마다 17분 관측의 경우 하루의 소모량은  $190 \times 17 / 60 \times 24 = 1292 \text{mAH}$ 로 계산된다. 따라서 모뎀전력도 감안하여 15일간 사용 가능하려면 약 20AH용량의 축전지가 필요하다. 여기서 축전지를 위한 평균 충전 전류는 약 80mA가 적당하므로 ( $80 \text{mA} \times 24 \text{Hour} = 1920 \text{mAH}$ ), 태양전지를 연결하기 위한 용량을 여기에 맞게 설계하였다.

자료수신 컴퓨터용의 모뎀은 시판되는 것이면 어느것이든 사용가능하나, 관측소의 모뎀과 특성이 같은 (최대자료전송속도 9600bps, MNP자료 압축 기능) 것이 가장 효율적이다. 수신 소프트웨어는 Data logger의 명령어와 자료형식에 맞도록 제작하여 사용한다. 자료는 Record단위로 분리되며, 본

시스템은 최근 1024개의 Record가 저장되어 있다. 각 Record에는 일련번호가 붙여지고 관측시각이 선두에 기록된다. 1개의 Record는 1초간격으로 1024회 측정된 수위자료로 구성되는데 예를 들면 다음과 같다.

0001 95040112 12AB 12A9 1290 1230 1239 12AA ..... 1231

0001 : 일련번호 (0000-03FF, 16진수)

95040112 : 관측시각 95년 4월 1일 12시(부터 17분간)

12AB ... 1231 : 1024개의 관측값 (16진법으로 표시함)

### 제 3 절 태안화력발전소의 Pier에 시험 설치

초음파센서를 이용한 파고조위 관측시스템은 1995년 8월초 태안화력발전소의 돌핀 pier에 Fig. 7과 같이 설치되어 시험 가동되었다. 본 장치의 가동 결과 태안화력발전소 앞 바다는 조차가 커서 초음파센서를 적용하기에는 매우 어려운 장소임을 알게되었다. 이곳 pier의 platform은 평균수면으로부터 12m, 조차는 최대 6m를 넘으므로(6.5m), 만일 최대 6m의 파랑이 있을 경우 센서가 감지해야하는 범위는 Fig. 8에서 보는 것처럼 12m 이상으로 매우 넓어진다. 시판되는 정밀 초음파센서의 최대측정거리는 10m에서부터 20m까지 몇 종류가 있으나, 측정거리가 10m를 넘으면 반사파가 급속히 감소하므로 반사면의 특성이 문제가 된다. 여기서 사용한 센서는 최대측정범위가 15m였으나 이것은 반사면이 거울같이 평면일 때이다. 파랑의 경우에는 반사면이 시간에 따라 수평면에 대하여 경사를 이루어 반사파가 중심축

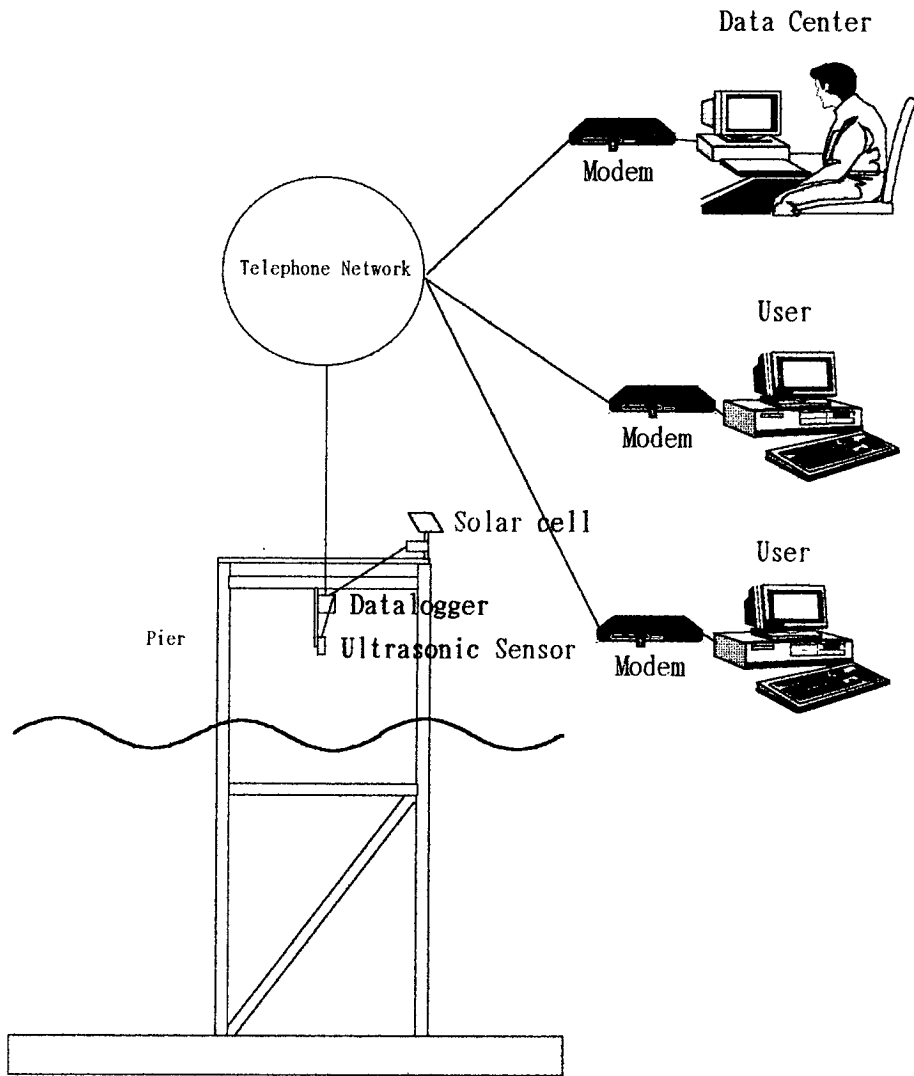


Fig. 7 Schematic diagram of the monitoring system installed on the pier of Taean Power Plant, Korea

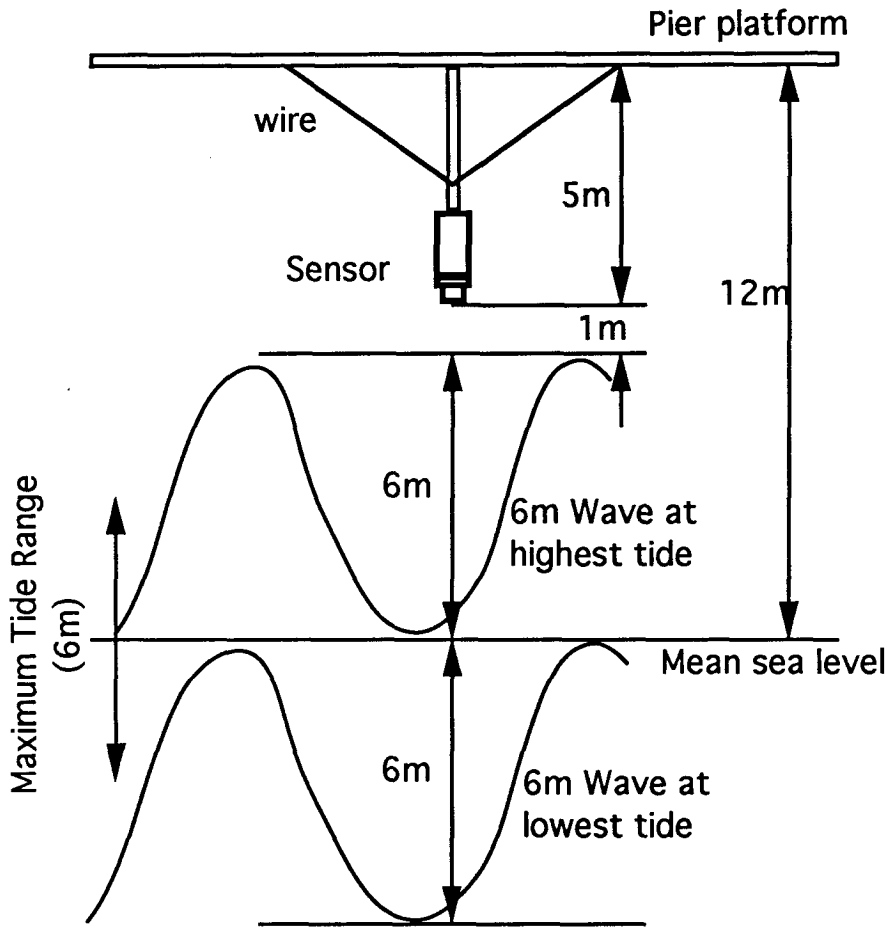


Fig. 8 Measurement range of the ultrasonic sensor DCU-1103 in field

을 벗어나게 되므로, 파랑을 측정하여야하는 범위가 10m 이상되는 지역은 해면이 최저로 내려갔을 때의 결측에 대한 고려를 하여야할 것이다.

이 지역에서는 초음파센서 이외에 케이스의 방수 문제, 태양전지의 각도 및 전원으로 문제, 전화선의 노이즈 문제 등 여러가지 문제가 있었으나 해결 가능한 것 들이다.

## 제 4 절 필리핀 Batangas항에 파고·조위 모니터링 장치 설치

### 1. 설치 장소

Batangas만은 필리핀 루손섬의 남서부에 있으며(Fig. 9), 만의 주위에는 연안관측 장치의 설치가 가능한 pier들이 여러 개 있는데, 접근이 용이한 pier에는 정유회사인 Shell사와 Caltex사의 선박 접안시설이 있어서, IMO는 Shell사와 Caltex사에 각각 사용 허가를 요청하게 되었다. 결국 Shell사의 pier중 해상에 있는 분리된 pier (island jetty)가 외부인에 의한 훼손의 위험이 없어서 계기의 장기적인 설치 운영에 적합하다고 결정되었다. Fig. 10은 jetty의 사진으로 platform의 해면으로부터의 높이는 약 5m이다.

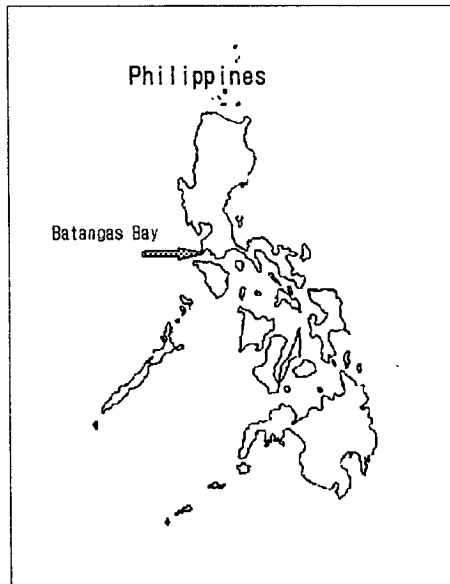


Fig. 9 Location map of coastal monitoring station



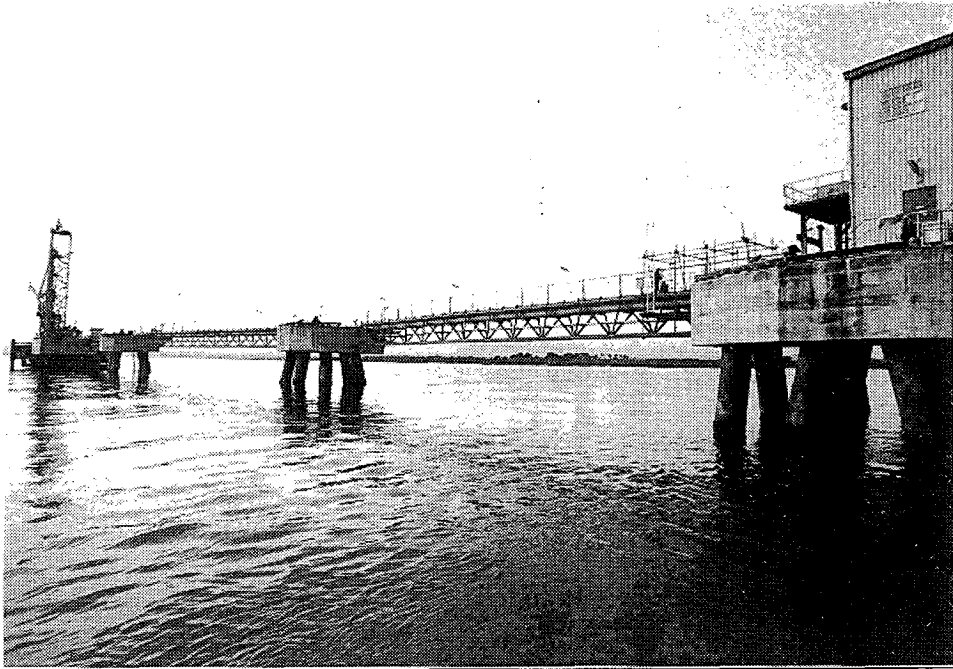
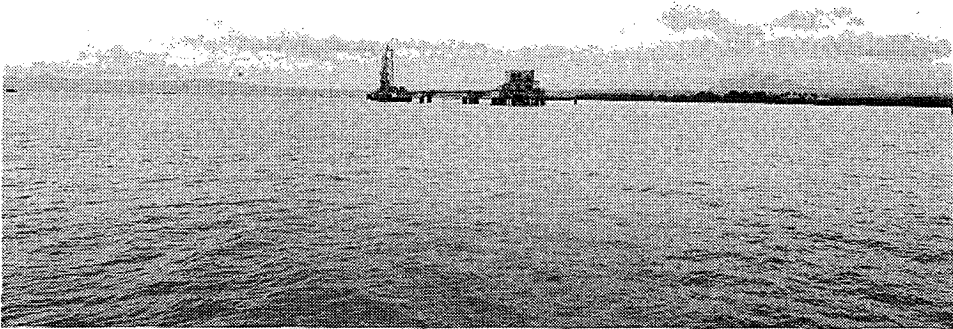


Fig. 10 Photograph showing the island jetty of Pilipinas Shell Petroleum Corporation in Batangas Bay, Philippines

이 지점의 조석간만의 차는 약 2m로서, 초음파센서를 이용한 파고조위 모니터링을 하기에 이상적인 조건을 갖추고 있다.

이 jetty의 통신선은 광케이블로써 육상으로 연결되고 컴퓨터통신을 위한 다수의 RS-232방식 Digital 채널과 6개의 전화선으로 구성되어 있다 (Fig. 11). RS-232선은 터미널과 계기부착 장소까지의 길이가 너무 길 뿐 아니라, 육상에서 별도의 컴퓨터와 전화모뎀이 필요하므로 전화선을 사용할 수 밖에 없는데, Shell은 아직 전화선의 번호가 할당되어 있지 않았고 이의 할당에는 많은 시일이 소요된다고 하였다. 따라서 파고조위 모니터링 장치가 설치되더라도 당분간은 컴퓨터를 들고가서 직접 자료를 회수 하여야 한다. 계기내부의 메모리 용량은 약 40일간이므로 한 달에 한 번 정도 회수하는 것이 바람직하다.

## 2. 설치 준비

초음파센서와 관측장비 및 관측에 필수적인 모든 재료는 한국에서 준비하여 필리핀으로 운반되었다. 관측장치의 설치와 시험을 위하여 IMO에서는 Batangas 사업 책임자 Dr. Danilo Israel의 2명이, 한국에서는 기술자 4명이 현장작업에 참여하였다. IMO는 마닐라 공항에서 설치현장인 Batangas까지 장비를 운반하고 Shell사의 기술자들이 공동으로 설치 작업을 할 수 있도록 모든 조치를 취하였다.

관측장치는 4개 부분으로 구성되어 있는데, 센서, Data logger, 태양전지, 배터리가 그것으로써 이들은 cable로 서로 연결된다. 이들을 jetty에 부착하기 위해서는 적절한 부착장치가 필요하였다. 이 부착장치는 현장에서 고안하고 제작하기로 되어있었으므로, 현장에서 부착방법에 관한 아이디어와 구

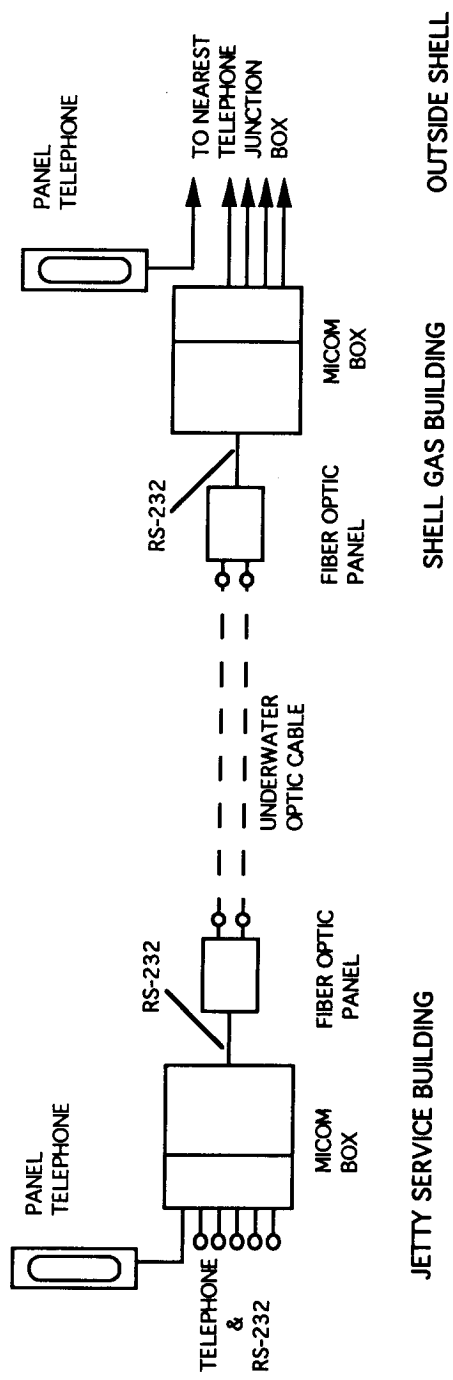


Fig. 11 Schematic diagram of the communication lines of the island jetty

체적인 도면을 만들고 Shell의 기술자들이 하룻동안에 재료를 구하여 제작하였다. Shell에서는 jetty 좌우에 버팀대를 설치하였고, 안전헬멧과 작업복을 제공하는 등 설치작업시의 안전에 만전을 기하였다.

Jetty에의 설치 준비는 전체 모니터링 시스템을 육상에서 한 번 cable로 연결하여 잘 작동됨을 확인한 다음 운반하기 쉽도록 분해해 뚫으로써 완료되었다.

다음은 한국에서 준비한 모니터링 장치의 규격을 간단하게 표시한 것이다.

#### Real time ultrasonic wave monitoring device

##### Specifications:

##### Sensor (ultrasonic level sensor)

Model: DCU-1103, Lundahl Instruments, Inc., USA

Power supply: 180mA max @12V DC

Operating Range: 0.6m - 15m

Dimension: 9cm diameter x 33cm

##### Data logger

Model: LEDAS, Haiyang Elec. Co., Korea

Power supply: 15mA max @12V DC

Data memory: 2MB Static RAM

Output: RS-232 9600bps and Modem

Dimension: 28cm x 20cm x 15 cm

##### Solar cell

Model: GL434 12W/12V system

Maximum operating voltage: 16.2V

Maximum operating current: 0.75A

Size: 33cm x 36cm x 3.5cm, 1.8kg

##### Auxiliaries

12V 15AH lead battery with recharging circuit

Some volts and washers

Connectors and connecting cables

Software for personal computer

### 3. 현장 설치 및 테스트

Fig. 12는 jetty 위에서 모니터링 시스템을 조립하고 있는 모습으로 부착 장소의 jetty 좌우에는 작업안전을 위한 버팀대가 보인다. Fig. 13은 초음파 센서가 부착된 모습이며, Fig. 14와 Fig. 15의 왼쪽 케이스는 Data logger, 오른쪽 케이스는 12V 15AH 용량의 납축전지 상자, Fig. 16은 태양 전지가 부착된 모습이다. 각 부분들을 고정시킨 후 케이블로 연결하여 설치를 끝냈는데, 계기의 작동상태를 확인하기 위하여 1회의 파랑관측이 되는 동안 기다렸다. Fig. 17은 휴대한 Notebook 컴퓨터로 설치한 시스템의 작동상태를 확인하고 관측된 파고자료를 보여주고 있는 모습이다. 파고조위 모니터링 장치의 설치 및 작동확인 이외에 전화를 통한 원거리 실시간 모니터링 시험은 전화선이 없어서 수행하지 못하였다. 전화선의 설치에는 1-2개월의 시일이 걸리므로 전화선이 가설된 다음에 다시 방문하여 정확한 해면위치의 보정과 함께 전화모뎀 시험을 하는 것은 다음 년도 과제에서 계속된다.

설치 당시 Batangas만은 파도가 약했는데 실제 계기로 관측된 파랑 자료에서도 이것을 볼 수 있었다 (Fig. 18).

### 제 5 절 초음파 센서의 조정

본 과제에서 사용한 초음파 센서 DCU-1103은 공기 중에서 음파를 발사하여 되돌아오는 시간을 측정하는 센서이다. 그런데, 공기 중의 음파는 거리에 따라 급격하게 약해지므로, 측정 대상의 종류와 거리에 따라 발사 출



Fig. 12 View of engineers assembling the monitoring system on the jetty

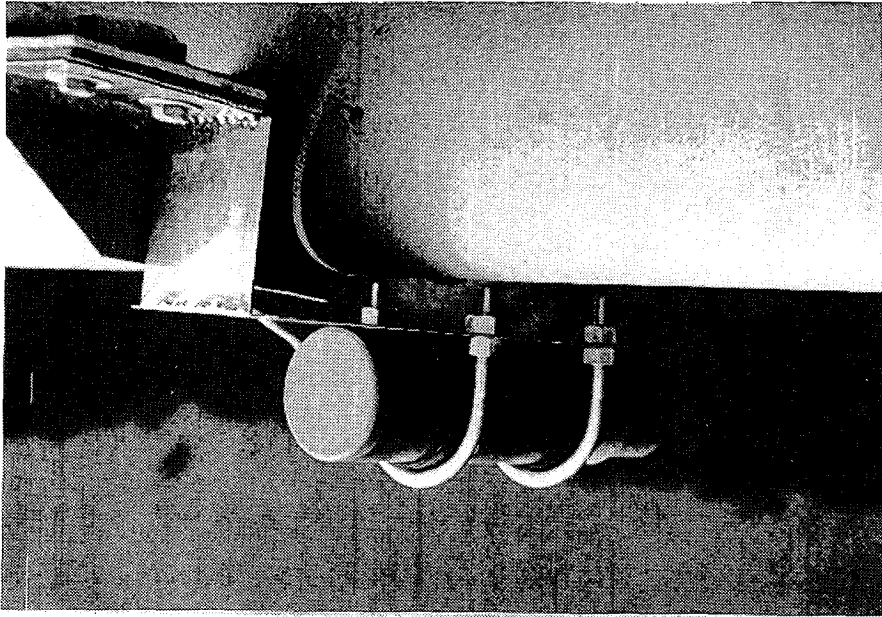


Fig. 13 Ultrasonic sensor attached on the side-rail pipe of the jetty

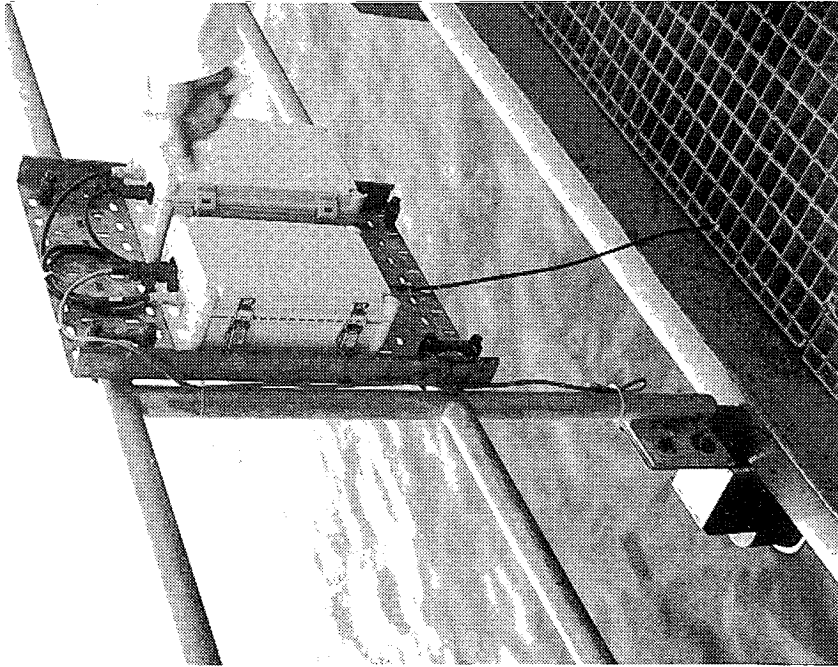


Fig. 14 Instruments installed on the island jetty  
of the Pilipinas Shell Petroleum Corporation  
Left case: data logger. Right case: battery

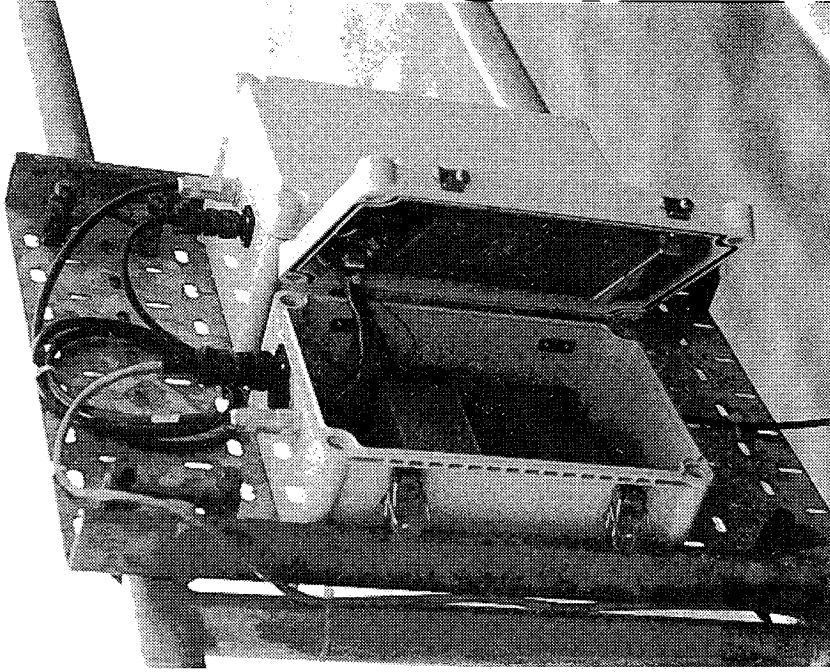


Fig. 15 Inside view of datalogger case

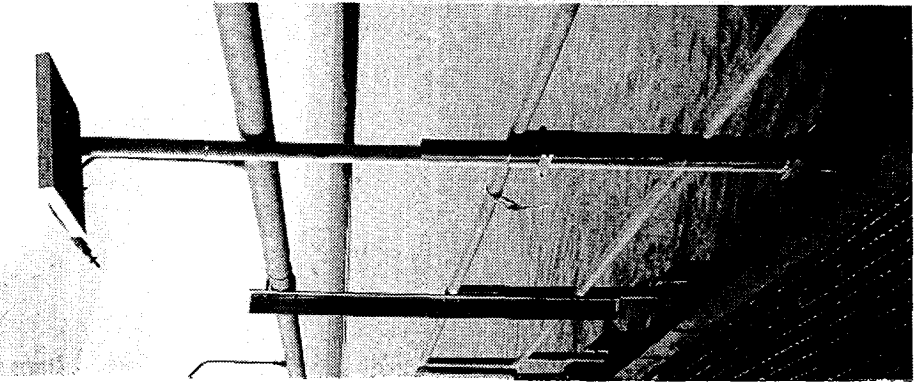


Fig. 16 Solar panel (12V 12W)

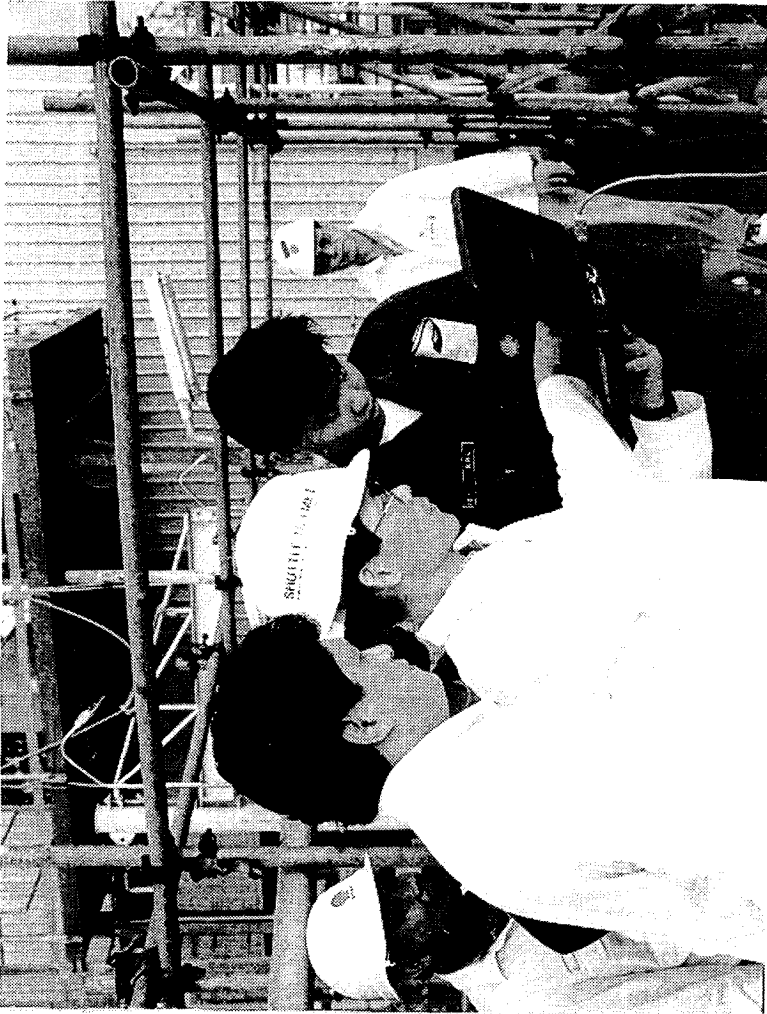


Fig. 17 View of testing the system using notebook PC



Station: Shell at 95/09/27 17:00

$H_s = 0.22$  m,       $T_p = 2.37$  sec,       $T_z = 2.74$  sec  
 $H_{max} = 0.65$  m,       $T_{max} = 2.74$  sec  
 $H_{1/10} = 0.31$  m,       $T_{1/10} = 2.94$  sec  
 $H_{1/3} = 0.20$  m,       $T_{1/3} = 3.28$  sec  
 $H_m = 0.12$  m,       $T_m = 3.14$  sec

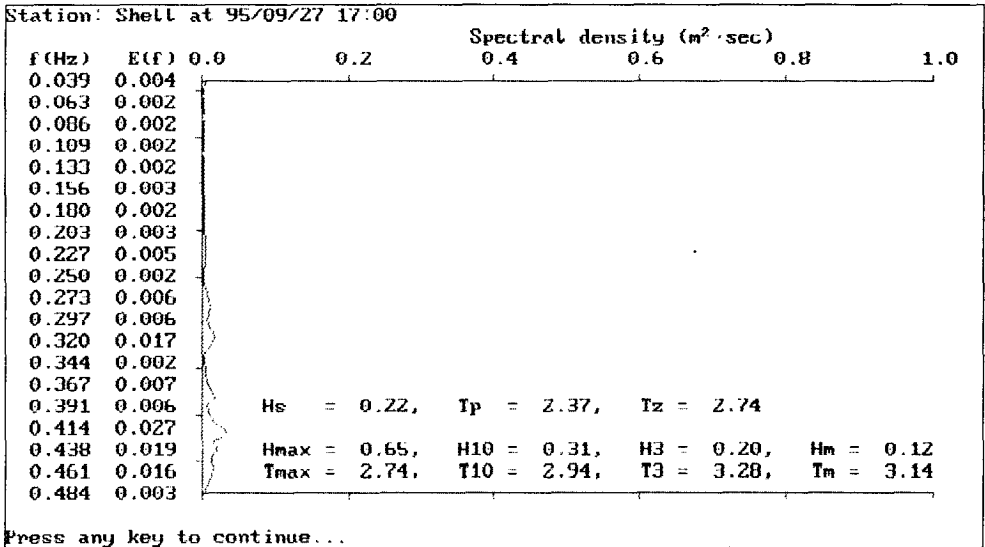
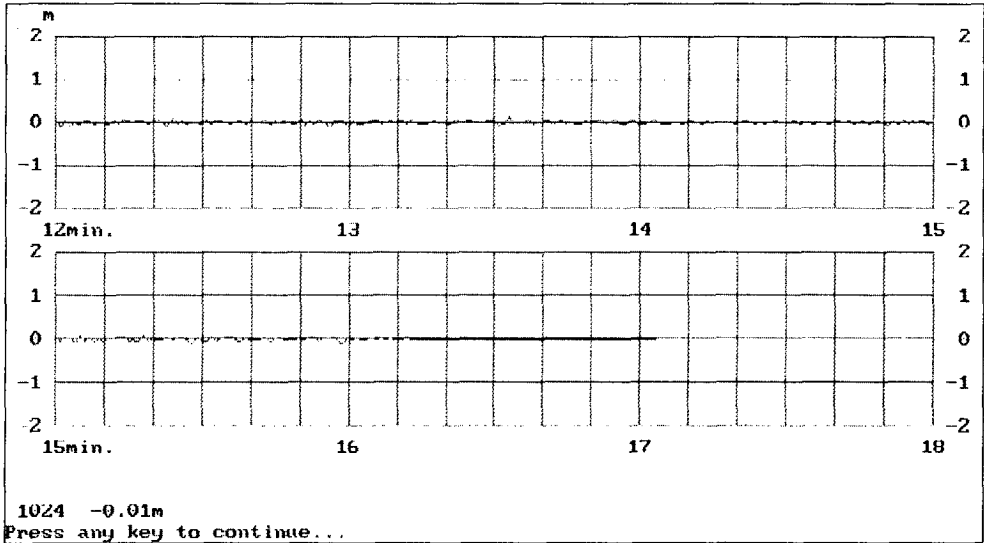


Fig. 18 Example plot of wave data.

력과 입력 감도를 적당하게 설정하여야 한다. 출력이 너무 세다면 원하지 않는 작은 방해물에 의해서도 영향을 받으며, 약하다면 짧은 물체까지의 거리밖에 측정이 안되는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 초음파센서들은 여러가지 항목들을 조정하도록 되어 있는데, 본 DCU-1103은 조정을 위한 항목이 모두 27개이다. 이 항목들의 초기값(공장에서 정한 값)과 본 과제에서 변경한 값은 다음과 같다.

- |          |             |             |             |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| 1. Units | Range = 1-3 | 1 - inches  | Default : 2 |
|          |             | 2 - feet    | Used : 2    |
|          |             | 3 - meters. |             |

Units는 센서의 후면의 LED표시 장치에 나타나는 숫자의 단위를 말한다.

- |                |                |               |
|----------------|----------------|---------------|
| 2. Sensitivity | Range = 0-100% | Default : 80% |
|                |                | Used : 85%    |

Sensitivity는 수신 감도인데, 감도를 매우 높게하면 센서에 가까운 곳에 떨어지는 빔방울에서 반사되는 음파도 감지되므로 특수한 상황이 아니면 높게 설정하지 않는 것이 바람직하다.

- |             |                 |                   |
|-------------|-----------------|-------------------|
| 3. Blanking | Range = 2-50 ft | Default : 2.00 ft |
|             |                 | Used : 4.00 ft    |

너무 가까이 있는 방해물이나 센서자체의 진동 등으로부터 입력되는 음파를 무시하기 위한 것으로, Blanking에 설정된 거리 이내의 입력파는 측정하지 않는다.





후자를 사용하여 pulse의 길이를 측정하였다. 따라서, 16, 17항은 상관없는 항이나 전류출력을 이용할 경우의 한 예를 보여주었다. 여기서 8 ft가 4mA, 40 ft가 20mA이므로, 거리(ft)는 전류(mA)의 2배로 간단하게 표시된다.

18, 19 항은 각각 4mA, 20mA 출력에서의 미세조정을 위한 것이다.

- |                     |                    |                |
|---------------------|--------------------|----------------|
| 20. Distance Offset | Range = 0-99.99 ft | Default : 0 ft |
|                     |                    | Used : 2.0 ft  |
| 21. Offset Polarity | Range = NEG, POS   | Default : NEG  |
|                     |                    | Used : NEG     |

20, 21 항은 센서 후면 표시값과 실제값의 차이를 나타내기 위한 것이다. 20항에서 사용한 2.0 ft는 만일 표시값이 15.20 ft라면 실제값은 17.20 ft임을 말하는 것이다. 이것은 실제 관측과는 무관하며 단지 표시장치를 위한 것이다.

22, 23항은  $Y = AX + B$ 와 같은 calibration을 위한 것이나, 여기서의 출력 pulse 길이와 실제 측정한 거리로써 calibration하였으므로 이에 대한 설명은 생략한다.

- |                 |                            |               |
|-----------------|----------------------------|---------------|
| 24. Temperature | Range = OFF, ON, Temp in F | Default : OFF |
| Compensation    |                            | Used : ON     |

온도에 따른 음속을 보정하기 위한 것으로 여기서의 온도보정이 되게 설정하였다.

- |           |                 |              |
|-----------|-----------------|--------------|
| 25. Reset | Range = NO, YES | Default : NO |
|           |                 | Used : NO    |

Reset값을 YES로 하면 모든 항목들이 Default값으로 초기화된다. 이를 실행하면 다시 각 항목들을 변경해 주어야 한다.

26. Software Version      제작사에서 부여한 번호

27. Password              Default값 변경을 위한 것으로 제작사에서만 사용

## 제 3 장

# 실시간 파고 조위관측 자료의 수집





### 제 3 장 실시간 파랑관측자료의 수신

실시간 파고·조위 관측시스템에서 관측된 파랑자료는 초음파 센서로부터 datalogger로 전달되고 datalogger내에 저장된다. 파랑은 평상시에는 매 시간마다 1초 간격으로 약 17분간 관측된다. datalogger내에는 1024회까지의 파랑자료가 저장될 수 있는데 이는 약 42일간의 자료에 해당된다.

자료를 받기 위한 hardware로는 AT급 이상의 PC, Modem, 전화선이 필요하고, 자료수신을 위한 software에는 Quick Basic으로 작성된 프로그램이 2가지 있다. 프로그램 중 하나는 해상상태의 현황이나 과거의 해상상태를 즉시 알고자 할 때 육상관측소의 datalogger내에 저장되어 있는 자료를 한번에 하나 수신하는 것이다. 자료가 전화모뎀을 통하여 수신되면 자동으로 시계열(time series)분석과 2차원 파랑스펙트럼 분석이 수행된다. 분석된 파랑제원은 PC의 모니터상에 나타나며 필요시에는 프린터로 출력될 수 있다. 또 하나의 프로그램은 자료센터에서의 자료수집 및 정밀분석과 통계처리를 위한 것으로써, 1주일 또는 1개월마다의 간격으로 datalogger내에 저장되어있는 자료들을 한꺼번에 연속수신하는 것이다.

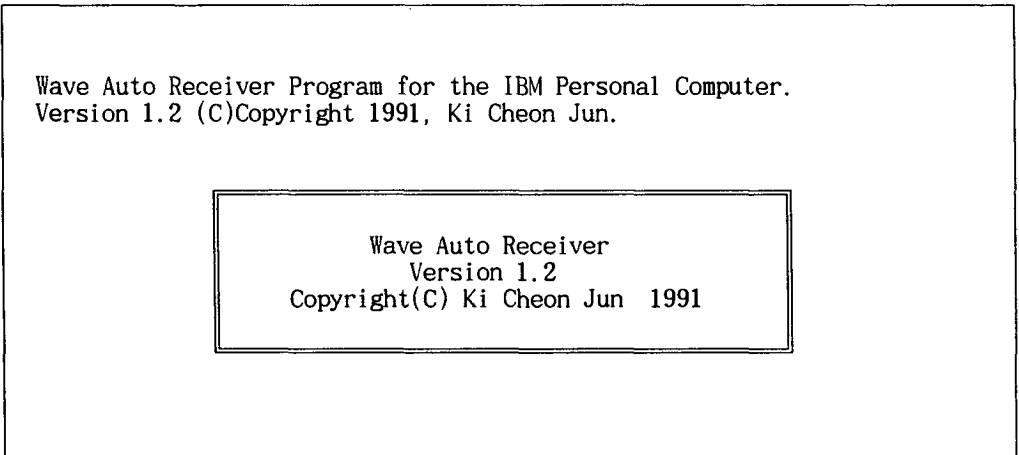
이러한 자료수신 software에는 WAR과 WDR이 있고, WAR은 앞에서 기술한 바와 같이 관측장치에 저장된 자료들을 한꺼번에 회수할 때, WDR은 특정시각의 파랑상태를 확인하기 위하여 한번에 1개의 파랑자료를 회수하고 화면에 결과를 표시할 때 쓰이는 것이다. 자료분석 및 정리 관련 Software에는 WAVE와 MKPRT가 있으며, 전자는 회수된 자료들을 일괄 처리분석하고 후자는 그 결과를 프린터로 출력해 주는 것이다.

다음은 본 시스템에서의 자료수신방법에 대해서 설명한다.

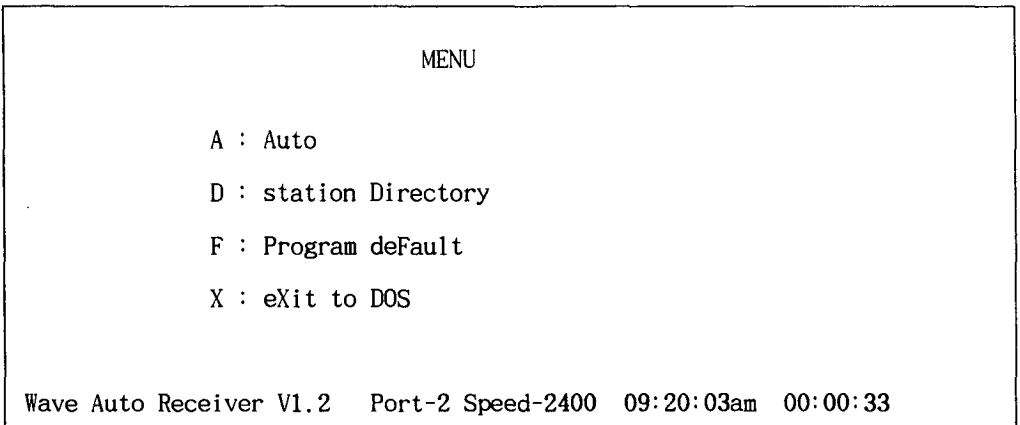
### 제 1 절 자동 연속 수신 방법

PC와 모뎀의 스위치를 켜고 파랑자료 자동수신 프로그램의 실행화일인 WAR.EXE를 실행시키면 다음과 같은 화면 ①이 나타나고, 아무 키를 누르거나 누르지 않고 수초 지나면 화면은 화면 ②로 바뀐다.

#### ▷ 화면①



#### ▷ 화면②



자동으로 Datalogger내의 자료를 모두 수신하기 위해 화면②에서 a 또는 A를 치면, 이후에는 화면③으로 바뀌면서 PC가 전화를 걸고 자료를 수신하기 시작한다. 자료를 수신하는 동안의 화면은 화면 ④와 같고, 자료가 수신됨에 따라 File number, File name, Byte received가 바뀐다.

▷ 화면③

```
Station : Shell
Phone number : 92-9267

Process : Dialing
Subprocess : send command to modem

Countdown : 29

Number of tries : 1
Last status : OK response

Wave Auto Receiver V1.2  Port-2 Speed-2400  09:20:03am  00:00:33
```

▷ 화면④

```
Station : Shell
Phone number : 92-9267

Date : 95/09/10
Time : 07:16:26

Process : Getting data
Subprocess : Receiving

File number : 61
File name : SH950910.06R

Byte received: 2072

Number of tries : 1
Last status : Success

Wave Auto Receiver V1.2  Port-2 Speed-2400  09:20:03am  00:00:33
```

자료가 모두 수신되면 수신 프로그램이 있는 디렉토리의 프롬프트(예 : C:\WAVE>)가 된다. 자료 수신후에 날짜 시간별로 원자료(raw data)의 목록을 확인하여 모두 잘 수신되었는지 확인이 필요하다. 수신된 자료는 R이 마지막에 붙어 있다(예 : SH950910.06R).

상기 방법은 자료를 수신만해서 컴퓨터의 Hard Disk상에 저장하여 추후 한꺼번에 분석하는 방법으로 수신된 자료를 분석해서 보거나 현재의 자료분석 결과를 원하는 경우 다음 절인 2에서 설명하는 바와 같이 한다.

## 제 2 절 하나씩 수신하는 방법

이 방법은 PC의 하드디스크에 수신, 저장되어 있는 자료의 분석결과를 알고 싶거나, 현재의 해상상태를 알기 위해 육상관측소의 Datalogger내의 자료를 하나씩 받아서 분석결과를 즉시 보기 위해 자료를 수신하는 방법이다.

PC와 모뎀의 스위치를 켜고 파랑자료 자동수신 프로그램의 실행화일인 WDR.EXE를 실행시키면, 화면에 다음과 같은 화면 ⑤가 나타난다.

### ▷ 화면⑤

```
Wave Data Receiver Program for the IBM Personal Computer.
Version 3.30 (C)Copyright 1991, Ki Cheon Jun.

Wave stations :

0 : Manual
1 : Shell

Enter station number :

Wave Data Receiver V3.30 F9-SetUp F10-Exit Port-2 Speed-2400 09:40am 00:0
```

화면 ⑤에서 통신상태를 점검할때는 0을 선택하지만, 자료수신을 위해서는 1번을 선택한다.태안화력관측소의 자료를 수신하는 경우 화면 ⑤에서 1을 친다. 그러면 화면이 다음과 같은 화면 ⑥으로 바뀐다.

▷ 화면 ⑥

```
Wave Data Receiver Program for the IBM Personal Computer.
Version 3.30 (C)Copyright 1991, Ki Cheon Jun.

Wave stations :

0 : Manual
1 : Shell

Enter station number : 1
Station : Shell (92-9267)
Enter file number : 0

Wave Data Receiver V3.30                               Port-2 Speed-2400 09:40am 00:00
```

다음 화면 ⑥에서 file number에 (0 ~ 1023)를 치고 Enter key를 친다. 파일번호는 가장 최근의 자료가 0, 그 다음 1, 그다음 2의 순으로 1023번까지가 있다. 예를들면 file number는 다음과 같다. 현재 시간이 1995년 9월 7일 10:50 인 경우 file number에서 0을 치면 1995년 9월 7일 10시 관측자료가 수신 분석하게 되고, 1을 치면 1995년 9월 7일 09시, 2를 치면 1995년 9월 7일 08시의 자료가 수신된다. 이와 같은 방법으로 9월 6일 10시 관측자료를 수신 분석하고 싶은 경우 file number는 24가 된다. 일단 자료가 수신되어 PC의 HD에 자료가 저장되어 있으면 다시 받을 필요가 없고, 이를 분석하면 된다. File number(번호 또는 년월일시인 8자리수자 (예:95091012))를 입력하고 Enter key를 치면 화면은 ⑦과 같이 바뀌고 “ Do you want spectral analysis (y/n) ? n” 라는 문장이 추가되어 나타난다. 여기서 스펙트럼 분석을 원할 경우 y를 입력하고, 그냥 신속하게 분석결과(파광제원)를 원할 경우 n이나 그냥 Enter Key를친다.

n인 경우 파랑의 시계열 결과인 Time serise가 화면⑧과 같이 나타나고 이어서 결과(파랑제원)이 ⑨와 같이 나타난다.

y인 경우 화면 ⑧에 이어 스펙트럼 분석결과인 화면 ⑩이 나타나고 이어 결과(파랑제원)인 화면 ⑨가 나타난다.

▷ 화면 ⑦

```
Wave Data Receiver Program for the IBM Personal Computer.  
Version 3.30 (C)Copyright 1991, Ki Cheon Jun.  
  
Wave stations :  
  
0 : Manual  
1 : Shell  
  
Enter station number : 1  
  
Station : Shell (92-9267)  
  
Enter file number : 0  
  
Do you want spectral analysis (y) ?  
  
Wave Data Receiver V3.30                               Port-2 Speed-2400 09:40am 00:00
```

▷ 화면 ⑨

```
Station: Shell-U at 95/09/02 09:00  
  
Tide = 3.40 m  
Hs   = 0.78 m,   Tp   = 6.74 sec,   Tz   = 4.44 sec  
H1   = 1.11 m,   T1   = 5.64 sec  
H1/10 = 0.91 m,  T1/10 = 5.79 sec  
H1/3  = 0.72 m,  T1/3  = 5.72 sec  
Hm    = 0.45 m,  Tm    = 4.63 sec
```

### 제 3 절 System의 set-up 방법

화면 ⑤에서 function key "F9"을 누르면 다음과 같이 화면④가 나타난다

▷ 화면 ④

```
SET NEW DEFAULTS

Comm. port          COM2:
Baud rate          2400
Parity             N
Data bits          8
Stop bits          2
Comm. init.        , CS, DS
Dial command       ATDT
Redial delay       40
Connect prompt     Connect
Print port         CON
Logged drive

Space - move to item
Enter - change this item
Esc   - leave item
```

화면④에서 모뎀이 연결된 port를 확인하여 Comm. port를 COM1 또는 COM2로 바꾼다(주의 : 이는 COM1 과 COM2만 가능). 나머지는 위와 같이 그대로 두면 되고, Esc를 치면

New value ok (y/n) ?

메시지가 나타나면 대답(y 또는 n 으로)하면, 다음의 메시지가 나타난다.

Save these value (y/n) ?

y나 n으로 대답하면, 화면은 ⑤로 다시 돌아 간다.

화면에 나타난 결과를 돛트 프린터나 레이저 프린터를 사용해서 출력하려면, 화면④에서 "Print port"가 CON인 경우는 결과를 화면에만 출력한다. 따라서 프린트를 하고자 하는 경우는 이것을 LPT1으로 고쳐 놓아야 하고, 프린트가 끝난후 결과


를 화면 출력하기 위해 다시 CON으로 고쳐 놓는다.

초기에 set-up후 시스템이 변경되지 않으면 수정할 필요가 없다.

#### 제 4 절 수집자료의 분석, 정리, 출력

PC의 하드디스크에 수신 저장된 파랑 및 조위자료를 월별로 분석, 정리, 편집하여 표로 작성하고, 작성된 표를 프린터를 사용하여 출력하는 방법에 대하여 설명하면 다음과 같다.

먼저 파랑자료가 수신 저장되어 있는 디렉토리로 이동하여 여기서 수신된 원자료의 분석 프로그램인 WAVE.EXE를 실행시킨다.

예) C:\WAVE> WAVE      

그러면 다음과 같이 분석을 원하는 년,월을 입력하라는 메시지가 나오고

INPUT YEAR, MONTH :

여기서 예를들면 1995년 9월의 파랑자료를 분석하여 결과를 표로 작성하고 싶은 경우에는

INPUT YEAR, MONTH : 95, 9      

와 같이 95년 9월을 입력하면 수신되어 저장되어 있는 9월의 파랑 원자료(raw data)를 분석하게 된다.

분석된 결과를 다시 출력하기 위해서는 표를 만들필요가 있고, 이경우 표를 작



성하려면 표작성 프로그램인 MKPRT.EXE를 실행시킨다.

```
C:\WAVE> MKPRT  [E]
```

그러면 분석결과가 SH9509.PRT란 파일 이름으로 생성되게 된다.

이표를 PC상에서 보거나 프린터를 이용하여 출력할 경우에는 한글 워드프로세서(예: 아래한글 등)을 이용하면된다. 출력 결과의 예는 표 A와 같다.

앞서에서 기술한 바와 같이 평균파법(Zero up crossing analysis)으로 얻어진 개개의 파고와 주기중에서 파고가 큰쪽부터 세어 총 파수의 1/3에 해당하는 파고 및 주기의 평균값을 1/3파의 파고( $H_{1/3}$ ) 및 주기( $T_{1/3}$ )라 하며, 이를 유의파(Significant wave)라고도 한다. 이와 같은 방법으로 1/10에 해당되는 파고 및 주기의 평균값을 1/10파의 파고( $H_{1/10}$ ) 및 주기( $T_{1/10}$ )라 하고, 한편 파군중에서 파고가 최대인 파랑 및 이에 대응하는 주기를 최대파고( $H_{max}$ ) 및 최대파 주기( $T_{max}$ )라 한다. 평균파의 파고( $H_{mean}$ ) 및 주기( $T_{mean}$ )는 모든 파의 파고와 주기를 평균하여 구한다. 다음의 분석결과 표 A에서 나오는 기호의 의미는 다음과 같다.

YY : 년  
MM : 월  
DD : 일  
HH : 시  
Hs : 스펙트럼 분석에 의한 유의파고  
Tp : 스펙트럼 분석에서 peak 주기  
Hmax : zero-crossing 법에 의한 최대파고(m)  
Tmax : H1의 주기(최대파 주기, 초)  
H10 : zero-crossing 법에 의한 1/10 파고(m)

- T10 : H10의 주기(최대파 주기, 초)  
H3 : zero-crossing법에 의한 1/3파고(유의파)  
T3 : H3의 주기(최대파 주기, 초)  
Hm : zero-crossing법에 의한 평균파고(m)  
Tm : Hm의 주기(최대파 주기, 초)  
Tide : 조석(조위)

## 제 4 장

# 진해만의 TBT 오염



## 제 4 장 진해만의 TBT 오염

### 제 1 절 서 언

남해안의 수하식 굴 양식 생산량은 1980년에 1만 8천톤정도였으나 꾸준히 증가하여 최근에는 4만톤 수준을 생산하고 있는데 '92년에는 611억, '93년에는 750억원의 수익을 올렸다. 대일 생굴 수출도 최근에는 매년 3천-4천톤을 유지하고 있으며 1993년의 경우에 생굴, 통조림(2만 여톤), 마른굴, 냉동굴, 자숙냉동굴 등을 포함한 굴 수출 총량은 29,785톤으로서 수출액은 365억원(약 4천5백만불)에 달했다. 그러나 진해만 등 주요 굴 양식장에서는 원인 모를 굴 채묘 감소로 인하여 '92년 이후 일선에서는 채묘량 확보에 큰 어려움을 겪고 있다. 전기 채묘는 경남의 남해, 하동, 사천, 고성과 전남의 광양과 고흥지역에서, 후기 채묘는 경남 고성, 통영, 거제, 가덕도 등지에서 하고 있으나 종패확보가 어려워 부족분을 일본에서 수입을 하고 있는 실정이다.

1977년부터 프랑스에서 발생한 굴채묘 감소 현상과 패각 기형은 프랑스 국립 해양연구소(IFREMER)의 연구결과 굴(*Crassostrea gigas*) 양식에 심각한 타격을 준 원인이 인근의 항구(yacht harbor)에서 유입된 선박 페인트에 첨가되는 부착 방해제인 TBT가 그 원인임이 밝혀진 바 있다((Alzieu, 1986). TBT는 50 ng/l 정도의 극히 낮은 농도에서도 굴 유생을 치사케 하는 것이 실험결과 알려지게 되었으며 굴의 패각 기형이나 성장 저해를 유발

한다는 것이 증명된 바 있다.

1960년대에 아프리카에서 주혈흡충병 (schistosomiasis)을 줄이기 위해 민물달팽이(freshwater snail) 제거에 tributyltin oxide (TBTO)가 사용되기 시작하면서 유기주석 화합물(organotins)의 사용과 응용이 빠르게 증가하면서 환경에 미치는 여러 가지 영향들에 대한 많은 연구가 있어왔다. 특히 1970년대말과 1980년대초의 프랑스와 영국에서의 굴 양식에 타격을 준 영향이 TBT라는 것이 밝혀지면서 지난 10여년간 유기주석화합물의 유해성에 대한 연구가 활발히 이루어졌는데 주로 부착생물방지제(antifouling agent)로 사용되는 tributyltin (TBT)에 대한 것이다(Alzieu, 1986; Laughlin, 1986; Waldock *et al.*, 1983).

유기주석 화합물은 Table 1, 2, 3에서 보는 바와 같이 PVC 안정제를 비롯한 각종 플라스틱 첨가제, 산업용 촉매제, 살충제(insecticides), 살균제(fungicides and bactericides), 목재보존제(wood preservatives)등으로 광범위하게 사용되고 있다(Ainsworth, 1992; Blunden and Champman, 1986; Harrison, 1990). 특히 유기주석 화합물중에서 TBT는 달팽이 제거에 효능이 있다는 것이 알려진 이래로 선박 및 해양구조물의 부착생물방지제로 사용되기 시작했다.

TBT의 전세계 생산량을 보면 1950년에는 500톤이던 것이 75년에는 25,000톤, 85년에는 35,000 톤으로 증가했다. 이 중 70% 정도가 PVC의 열안정제 및 자외선 안정제로 쓰였으며 다음으로는 목재보존제, 부착생물 방지제로 많이 쓰였다 (WHO, 1990).

Table 1. Some uses of triorganotin compounds

Compound	Use
$\text{Ph}_3\text{SnOAc}$	Fungicide, anti-fouling paint
$\text{Ph}_3\text{SnOH}$	Fungicide, anti-fouling paint
$\text{Ph}_3\text{SnCl}$	Anti-fouling paint
$\text{Ph}_3\text{SnF}$	Anti-fouling paint
$\text{Ph}_3\text{SnSCSNMe}_2$	Anti-fouling paint
$\text{Ph}_3\text{SnOCOC}_2\text{H}_5$	Anti-fouling paint
$\text{Ph}_3\text{SnOCOC}_5\text{H}_{11}$	Anti-fouling paint
$\text{Ph}_3\text{SnOCOC}_2\text{H}_5\text{Br}_2\text{C}_2\text{O}_2\text{SnPh}_3$	Anti-fouling paint
$\text{Bu}_3\text{SnOAc}$	Anti-fouling paint
$\text{Bu}_3\text{SnOCOPh}$	Disinfectant
$\text{Bu}_3\text{SnCl}$	Rodent repellent
$\text{Bu}_3\text{SnF}$	Anti-fouling paint
$(\text{Bu}_3\text{Sn})_2\text{O}(\text{TBT})$	Fungicide: bacteriostatic (wood or stone preservative)

(continued)

Compound	Use
	Anti-fouling paint
Bu <sub>3</sub> Sn adipate	Anti-fouling paint
Bu <sub>3</sub> Sn Benzoate	Germicide
Bu <sub>3</sub> Sn methacrylate (copolymer)	Anti-fouling paint
Bu <sub>3</sub> SnOCOCH <sub>2</sub> (CBr <sub>2</sub> COOSnBu <sub>3</sub> )	Anti-fouling paint
Bu <sub>3</sub> Sn (naphthenate)	Bacteriostatic (wood preservative)
(Bu <sub>3</sub> Sn) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Bacteriostatic (wood preservative)
( <i>o</i> -C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> ) <sub>3</sub> SnOH	Insecticide (orchards)
( <i>o</i> -C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> ) <sub>3</sub> -SnC <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	Insecticide
[(PhC(Me) <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> Sn] <sub>2</sub> O	Insecticide, acaricide
Et <sub>3</sub> Sn( <i>p</i> -OC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Br)	Nematocide
(CH <sub>2</sub> =CH) <sub>3</sub> SnCl	Herbicide
Me <sub>6</sub> Sn <sub>2</sub>	Insecticide



Table 2. Some uses of diorganotin compounds

Compound	Use
$[n\text{-Oct}_2\text{Sn}(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_4)]_n$ (maleate polymer)	PVC stabilization (including food contact)
$[n\text{-Oct}_2\text{Sn}(\text{SCH}_2\text{COO}i\text{-Oct})]_2$	PVC stabilization (including food contact)
$\text{Bu}_2\text{Sn}(\text{OAC})_2$	Polyurethane catalysts: cold curing of silicones
$\text{Bu}_2\text{Sn}(\text{OCO}i\text{-Oct})_2$	Polyurethane catalysts: cold curing of silicones
$\text{Bu}_2\text{Sn}(\text{OCOC}_{11}\text{H}_{23})_2$ (dilaurate)	PVC stabilization: de-worming of chickens, catalysis
$\text{Bu}_2\text{Sn}(\text{SCH}_2\text{COO}i\text{-Oct})_2$	PVC stabilization
$[n\text{-Bu}_2\text{Sn}(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_4)]_n$	PVC stabilization
$\text{Bu}_2\text{Sn}(\text{OCOCH}=\text{CHCOO}i\text{Oct})_2$	PVC stabilization
$\text{Bu}_2\text{Sn}(\text{SC}_{12}\text{H}_{25})_2$	PVC stabilization

(continue)

Compound	Use
$\text{Bu}_2\text{Sn}(\text{OCOC}_{12}\text{H}_2)_2$	Catalysis
$[\text{Bu}_2\text{SnO}]_n$	Catalysis
$\text{Bu}_2\text{SnC}_{12}$	Glass strengthening; precursor for $\text{SnO}_2$
$\text{Me}_2\text{SnC}_{12}$	Glass strengthening; precursor for $\text{SnO}_2$
$\text{Me}_2\text{Sn}(\text{SCH}_2\text{COO}i\text{-Oct})_2$	Heat stabilizer and food contact (PVC)
$(\text{BuOCOCCH}_2\text{CH}_2)_2\text{Sn}(\text{SCH}_2\text{COO}i\text{-Oct})_2$	PVC stabilization
$\text{Me}_6\text{Sn}_2$	Insecticide; antifeedant

선박의 부착생물 방지제로 사용되는 방오도료에 포함된 TBT는 서서히 녹아 나오면서 생물체가 부착되는 것을 방지한다. 선박의 밑부분에 생물체들이 부착되면 난류(turbulence)가 생성되어 저항을 증가시키므로 배의 속력이 느려지며 이에 따라 더욱 많은 연료가 소모되어 경제적인 손실이 막대하다. Starbird and Sisson(1973)에 따르면 선체에 부착방지 페인트를 칠하지 않고 6개월간 부착생물이 붙게 놔두고 선박을 운항하면 40%의 연료가 더 소모된다고 한다. 일례로 미국의 경우에 대형선박에 부착한 부착생물의 두

Table 3. Some uses of monoorganotin compounds

Compound	Use
$\text{MeSn}(\text{SCH}_2\text{COO}i\text{-Oct})_3$	PVC stabilization
$\text{MeSnC}_{13}$	Glass strengthening, $\text{SnO}_2$ precursor
$\text{Bu}(\text{SCH}_2\text{COO}i\text{-Oct})_3$	PVC stabilization
$\text{BuSnC}_{13}$	Glass strengthening
$(\text{BuSnSi}_{1.5})_4$	PVC stabilization
$\text{BuSn}(\text{OH})_2\text{Cl}$	Catalysts for transesterification
$[\text{BuSn}(\text{O})\text{OH}]_n$	Catalysis
$\text{OctSn}(\text{SCH}_2\text{COO}i\text{-Oct})_3$	PVC stabilization
$\text{BuOCOCH}_2\text{CH}_2\text{Sn}(\text{SCH}_2\text{COO}i\text{-Oct})_3$	PVC stabilization

계 0.1 mm당 일년에 약 백만불의 경비가 더 소요된다고 추산했다 (Lowenstein; 1986).

부착방지제의 필요성은 배가 최초로 발명된 이래로 대두된 문제이다.

18세기에는 목선에 구리판을 배 밑창에 대어 부착을 방지하기도 하였다. 대형 철선이 많이 쓰이기 시작한 이래로는 초음파, 자장(magnetic field) 등이 쓰이기도 하였으나 크게 효과적이지 못하였다. 최근 100여년간의 효과적인 부착 방지 효과는 유독성 부착방지 페인트를 사용하여 얻어졌다. 초기의 부착방지 페인트는 이산화동을 사용하였다. 하지만 이 도료는 녹아나오는 속도가 빠르고 일단 피막이 형성되면 구리성분이 더 이상 녹아나오지 못하기 때문에 효과가 급격히 감소해서 1-2년을 주기로 드라이 독(drydock)에서 다시 칠을 해야만 하는 문제점이 있었다. 오일파동을 계기로 1970년대 초부터 이산화동 대신 주석화합물이 첨가된 부착생물방지제의 개발과 사용이 급속히 확산되었다. 그러나 초기에 사용되었던 도료는 확산에 의해 녹아나오는 방식이어서 속도를 조절하지 못하는 단점이 있었다. 이러한 단점을 보완하기 위해 새로 개발된 도료는 TBT 단위체(monomer)와 아크릴 단위체(acryl monomer)의 혼성중합체(co-polymer)를 형성하여 용출 속도 조절이 가능해졌다(Anderson and Dalley, 1986). 이러한 TBT 화합물들은 따개비류(barnacles)와 강장동물(tube worms)과 같은 부착생물에 매우 효과적이며 효능도 5년이상 지속된다. 현재 전세계적으로 가장 널리 쓰이는 방오도료는 TBT를 함유한 형태인데 국내에서 건조되는 신조선의 경우 85% 이상이 이 도료를 사용하고 있으며(페인트저널, 1994) 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)의 주도하에 전세계적으로 사용을 줄이려는 노력에도 불구하고 아직도 69% 정도가 이 도료를 사용하고 있다(Ambrose, 1994).

1977년에서 1979년에 걸쳐 프랑스의 굴양식 산업은 매우 낮은 채묘와 성장저해, 껍질의 기형발생 등으로 인하여 일대 위기를 맞았다. 특히 대서양 연안에 위치한 아카송(Arcachon)만이 그 피해가 가장 심각했는데 피해액이 약 1200억원이나 되었다. 이 때문에 1979년 프랑스의 국립해양연구소(IFREMER)는 '굴 문제'를 해결하기 위해 본격적인 연구에 돌입하였고 3년 만에 그 원인이 TBT라는 것을 밝혀냈다.

프랑스에서의 굴 사건 이래로 패류 특히 상업성이 높은 패류에 대한 TBT의 영향에 관한 연구가 광범위하게 수행되었다. 이제까지의 연구결과에 따르면 TBT는 이매패류 유생의 치사와 착생의 실패에 영향을 줄 뿐만 아니라, 굴의 성장저하와(Salazar and Salazar, 1991) 껍질이 두꺼워지는(Alzieu *et al.*, 1986; Waldock and Thain, 1983) 등의 변형을 일으키는 것이 실험적으로 증명되었다. Table 4는 TBT가 굴의 유생에 미치는 영향을 농도별로 정리한 것이다(WHO, 1990).

미국에서는 1972년에서 1976년에 걸쳐 미국 코네티컷주의 롱아일랜드 해협의 네곳에서 개펄에 서식하는 고둥(*Nassarius obsoletus*)을 연구한 결과, 요트 조선소에 가까이 위치한 두 곳에 서식하는 고둥의 95%-100%가 임포섹스 현상을 나타냈다. 이 연구에서 선박의 수가 적은 지역에서는 30%에서 50%의 고둥이 임포섹스 현상을 보였고 인간의 활동이 거의 없는 곳에 위치한 조사지역에서는 임포섹스 현상이 나타나지 않았다. 이로 인하여 선박에 칠해진 페인트 속에 함유된 TBT가 임포섹스의 주범이라는 것이

Table 4. Effects of TBT acetate on *Crassostrea gigas* larve at various water concentrations

해수중의 TBT 농도(ppb)	영    향
100	수정 억제
50	세포 분열 억제
25	부분적인 세포분열 억제(40%)
10	담륜자(trochophore)를 형성하지 않음
3 - 5	기형 담륜자 형성. 벨리저(veliger) 형성 안함
1	변형된 피면자유생 형성. 6일안에 모두 치사.
0.5	변형된 유생형성. 8일안에 모두 치사. 먹이섭취에 이상(접촉후 4-8일 이내) 현저한 성장저하
0.2	4일째 부터 먹이 섭취에 이상. 성장이 매우 느림. 현저한 치사가 일어나서 12일째에 모두 치사.
0.1	6일째부터 먹이섭취에 현저한 이상. 6일째까지 성장이 매우 느림. 12일후에도 몇마리가 살아 남음
0.05	먹이 섭취에 이상. 10일째부터 현저한 치사가 일어남. 성장이 느림
0.02	치사하는 것이 거의 없음. 성장이 좋음. TBT의 영향이 거의 없음.

알려지게 되었다. 또한 임포섹스는 1986년 영국의 남해안 특히 폴리마우스 해협에 서식하는 고둥(*Nucella lapillus*)에서도 심하게 나타났는데 그 이유는 이 해역에서 1969년에서 1985년에 걸쳐 TBT를 함유한 페인트의 사용량이 급증한 때문인 것으로 생각되었다. 임포섹스는 고둥체내의 TBT 농도와 밀접한 상관관계를 보였고, 고둥 수가 감소하는 지역에서는 고둥 체내의 TBT 농도도 상당히 높았다. 특히 TBT 농도가 높을 경우 암컷이 수컷보다 훨씬 빠르게 감소했고 체내의 TBT 농도 또한 높았다. 고둥류의 임포섹스는 TBT를 함유한 페인트를 쓰기 시작한 것과 때를 같이해서 일어나기 시작했고 영국에서는 TBT사용을 규제한 이후 임포섹스 현상이 급격히 감소했다. Table 5에 고둥(*Nucella lapillus*)의 번식에 영향을 주는 TBT의 농도를 보였다(Phillips and Rainbow, 1994).

1986년 TBT를 함유한 방오도료를 칠한 어망이 양식 연어에 미치는 영향을 연구한 결과 새 어망에 넣은 연어는 눈이 터지고 수정체가 없어져서 시력을 완전히 상실하는 것이 관찰되었다. 이제까지 연구된 바에 따르면 어류에 대한 TBT의 급성독성작용은 연구자에 따라 결과가 상당히 차이를 보이고 있는데 반치사농도 범위가 1.5에서 240  $\mu\text{g}/\text{l}$ 나 된다. Table 6은 몇 가지 어류에 대한 TBT의 반치사 농도를 나타낸 것이다.

아직까지 TBT가 해양식물에 미치는 영향에 대해서는 연구가 매우 미약한 상태이다. 대형 녹조류의 경우 포자의 발생단계에서 TBT에 가장 민감한 것으로 알려져 있는데 5일 동안의 반치사농도가 0.001 ppb정도이다. 피자식물의 경우에는 퇴적물중의 TBT 농도가 1ppm 일때 성장이 영향을 받

Table 5. Summary of the effects of exposure to TBT on the reproductive system of the gastropod *Nucella lapillus*

TBT in water (ng Sn/l)	RPS index(%)	VDS index	Effect on reproductive system
<0.5	<5	<4	Breeding normal; development of penis and vas deferens
1-2	40+	4-5(+)	Breeding capacity retained by some females; others sterilised by oviduct blockage; aborted capsules in capsule gland
3-5	90+	5(+)	Virtually all females sterilised; oogenesis apparently normal
10+	90+	5	Oogenesis suppressed; oocytes resorbed; spermatogenesis initiated
20	90+	5	Testis developed to variable extent; vesicula seminalis with ripe sperm in most-affected animals
100	90+	5	Sperm-ingesting gland undeveloped in some 'females'

Note: RPS: Relative Penis Size  
VDS: Vas Deferens Sequence



Table 6. Toxicity of TBT to fish

어 종	크기/연령	노출시간	반치사농도(ppb)
대서양 서대류	유생	48	8.5
	유생	96	2.1
	성어	48	88
	성어	96	36
괭이 상어류	성어	48	26
	성어	96	16
빙에돔	2.4g	48	5.2
		96	3.2
점망둑		24	12
		48	9
		96	4
왕연어	미성어	6	54
		12	20
		96	1.5

았으나 0.1ppm일 때는 아무런 영향이 없었다.

이와같이 TBT는 식물플랑크톤(Bushong *et al.*, 1988; U'ren, 1983)에서 부터 해양포유류(Iwata *et al.*, 1994)에 이르기까지 먹이사슬의 전단계에 영향을 미친다. Table 7에 굴을 비롯한 각종 해양생물들의 체내에서 검출된 TBT의 농도를 나타낸 것이다(WHO, 1990).

앞에서 설명한 바와 같이 바다에 서식하는 생물들이 TBT로 인하여 많은 피해를 입고 있다는 것이 밝혀지자 세계각국에서는 TBT의 사용을 규제하기 시작했다. 특히 프랑스는 아카송만의 굴피해 이래로 가장 먼저 TBT 사용을 규제하기 시작했고 영국, 캐나다, 미국 등의 나라들이 연이어 규제를 시작하였다. 일본의 경우에는 국가에서 규제를 시행하기 이전인 1987년부터 민간단체에서 주도적으로 어망에 대한 TBT의 사용을 전국적으로 자제하기 시작했고, 1990년부터 법적으로 TBT 사용을 규제하기 시작했다. 최근에는 국제해사기구(IMO)에서 전세계적인 TBT 사용규제를 위한 작업을 진행중에 있다고 알려지고 있다. Table 8은 현재까지의 세계각국의 규제현황을 요약한 것이다.

특히 영국에서는 1987년에 TBT의 Environmental Quality Target(EQT)을 20 ng/L로 정해 시행하였으나 이 농도에서도 굴(*Crassostrea gigas*)의 종패에 영향을 미치며(Lawler & Aldrich, 1987), 10 ng/L에서도 dog-whelks (*Nucella lapillus*)에서 임포섹스 현상이 발생한다는 연구결과가 발표된 후(Gibbs *et al.*, 1987) 기준치를 수정하여 1988년에 Water Research

Table 7. Concentration of TBT in marine biota(ug/kg dry weight )

생물	조사시기	조사지역	생체부위	농도((ppb)
굴 ( <i>Ostrea edulis</i> )	1982	영국 에섹스 연안	소화선 소화선을 제외한 부위	<230-2050 <400-1999
굴 ( <i>Crassostrea gigas</i> )	1982	영국 에섹스 연안	소화선 소화선을 제외한 부위	4050-8640 3500-7500
		미국 쿠스만	전체부위	50-189
굴 ( <i>Crassostrea virginica</i> )		미국 버지니아 미국 연안	전체부위 전체부위	590-1570 <120-3900
홍합 ( <i>Mytilus edulis</i> )	1985-1987	일본 미국 연안	전체부위	불검출-280 250-3850
홍합	1985-1987	미국 서부해안		107-6390
패류 (Shellfish)		캐나다 서부 네델란드		최고 1800 <25-220
고등류 (Dogwhelk)		영국 팔하구 영국 남서해안		23-786 36-633
청어	1984	캐나다 밴쿠버	전체부위	240
참어류		캐나다 서부	등근육	최고 11000
연어류		미국 미국	근육조직	불검출-200 280-900
잡어류	1982-1983	일본	근육조직	불검출-310

Table 8. Regulation of TBT in the world

국가	년도	규제 사항
프랑스	1982	선체 길이 25미터 이하의 선박에 3%이상의 TBT가 함유된 페인트 사용금지
영국	1986	총주석의 농도가 7.5%이상인 공중합체 페인트와 2.5%이상인 다른 종류 페인트의 도매 및 공급중지
	1987	총주석의 농도를 7.5%에서 5.5%로 낮춤
캐나다	1987	양식업에 사용되는 그물에 TBT 사용금지
아일랜드	1987	선박과 수중구조물에 TBT 사용금지
미국	1988	25미터 이하의 선박에 TBT 사용금지
노르웨이	1989	25미터 이하의 선박과 그물에 TBT 사용금지
일본	1990	25미터 이하의 선박에 TBT 사용금지

Centre에서 육수에서는 20 ng/L, 해수에서는 2 ng/L로 Environmental Quality Standard(EQS)를 정해 시행하고 있다. 이러한 규제로 인하여 연안 퇴적물 및 생물체에서의 TBT 농도가 현격히 감소하였으며, 굴양식도 거의 정상상태로 회복되었다 (Alzieu, 1986; Dowson *et al.*, 1993). 그러나 아직도 몇몇 지역에서는 현재의 규제가 과연 해양환경을 호전시키는데 충분한가에 대한 의문이 일고 있다(Dowson *et al.*, 1994).

일반적으로 TBT를 비롯해서 DDT, PCBs, 다환고리탄화수소(PAHs), 다이옥신과 같은 유기독성오염물질들은 물보다는 지방성분에 잘 녹는다. Laughlin *et al.*(1986)에 의하면 해수에서의 TBT의 옥탄올-물의 분배계수( $K_{ow}$ )는 염분에 따라 달라지는데 25%일때 가장 낮은 값인 5,500이며 염분이 증가하거나 감소할수록 증가해서 염분이 0인 증류수에서는 최대치인 7,000 정도이다. 이러한 친지방성(lipophilic)인 특성으로( $\log K_{ow} > 3$ ) 인하여 생물체내에 흡수되면 배출이 잘 되지않아 생물농축이 일어난다. 이때 생물농축의 정도를 나타내기 위하여 체내의 농도( $C_o$ )를 주변해수의 농도( $C_w$ )로 나눈값을 생물농축인자(BCF; bioconcentration factor,  $F_{ow}$ )라고 하며 구하는 식은 다음과 같다.

$$F_{ow} = C_o / C_w$$

Zuolian and Jensen(1989)은 진주담치(*Mytilus edulis*)의 TBT에 대한 생물농축인자를 약 5,000-60,000 정도로 발표하였다. 이와같이 생물농축인자가

크기 때문에 환경에 미량으로 존재한다해도 생물체에 커다란 영향을 미칠 수 있다. 또한 유기주석화합물이 쥐의 신경조직 및 면역체계에 영향을 끼친다는 연구결과가 발표되기도 하였으며(Vos *et al.*,1984) DNA합성과 ATP 생성에도 영향을 미친다. 따라서 TBT는 해양생물뿐만 아니라 먹이사슬을 통한 농축을 통해 인간에게도 영향을 줄 가능성이 있다(Snoeijs *et al.*, 1987).

앞에서 살펴본 바와 같이 TBT는 식물플랑크톤에서 해양 포유류에 이르기까지 먹이 사슬의 전단계에 영향을 미치고 있고 인간에게도 해를 끼칠 위험이 있다. 이미 외국에서는 TBT의 사용규제를 입법화하여 해양생태계가 상당히 호전되었다. 그러나 국내에는 TBT의 사용을 규제하지 않고 있을 뿐만아니라 전국 연안의 TBT 오염 현황이 거의 파악되지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 TBT 사용규제를 위한 기초자료가 되는 전국적인 모니터링을 위한 사전조사로 우리나라의 오염지역중 가장 오염이 심한 곳 중의 하나인 진해만을 대상으로 TBT 오염을 연구하였다. TBT 오염의 역사와 추세를 파악하기 위하여 주상 퇴적물(sediment core)중의 TBT의 수직적인 분포를 조사하였고 최근의 오염상태와 경향을 알아보기 위하여 진주담치(*Mytilus edulis galaprovihcialis*)와 굴(*Crassostrea gigas*) 체내의 TBT 농도를 측정하였다. 또한 TBT가 진주담치의 체내에 어떻게 분포하는지를 알아보기 위하여 각 부위별로 농도를 측정하였다.

## 제 2 절 시료 채취 및 분석

### 1. 시료 채취 및 보관

#### 1) 시료 채취

퇴적물 시료는 1993년 6월에 해양연구소 조사선을 이용하여 진해만의 5개 정점에서 Skin Scuba Diving으로 직경 10 cm 코어를 사용하여 채취하였다. 진주담치(*Mytilus edulis galloprovincialis*)와 굴(*Crassostrea gigas*)은 진해만과 충무 일원에서 시료를 채취하였다. 1994년 6월에는 8개 정점에서 진주담치와 굴을 채집하였으며, 1987년 11월, 1988년 11월, 1990년 6월, 1993년 6월에는 5개 정점에서 진주담치를 채집하였다(Fig. 19).

#### 2) 시료보관

##### 가) 주상퇴적물

시료를 실험실로 옮긴 후 2 cm 간격으로 잘라서 분석전까지 250ml 폴리 카보네이트 용기에 담아 영하 20 ℃에 냉동보관하였다.

##### 나) 생물시료

현장에서 채집한 후 깨끗한 해수에서 24시간동안 청장(depuration)시킨 다음 드라이아이스로 냉동시켜 실험실로 옮겨 일부는 패각을 제거한 후 균질기로 분쇄하여 냉동보관하였고 일부는 그대로 냉동보관하였다.

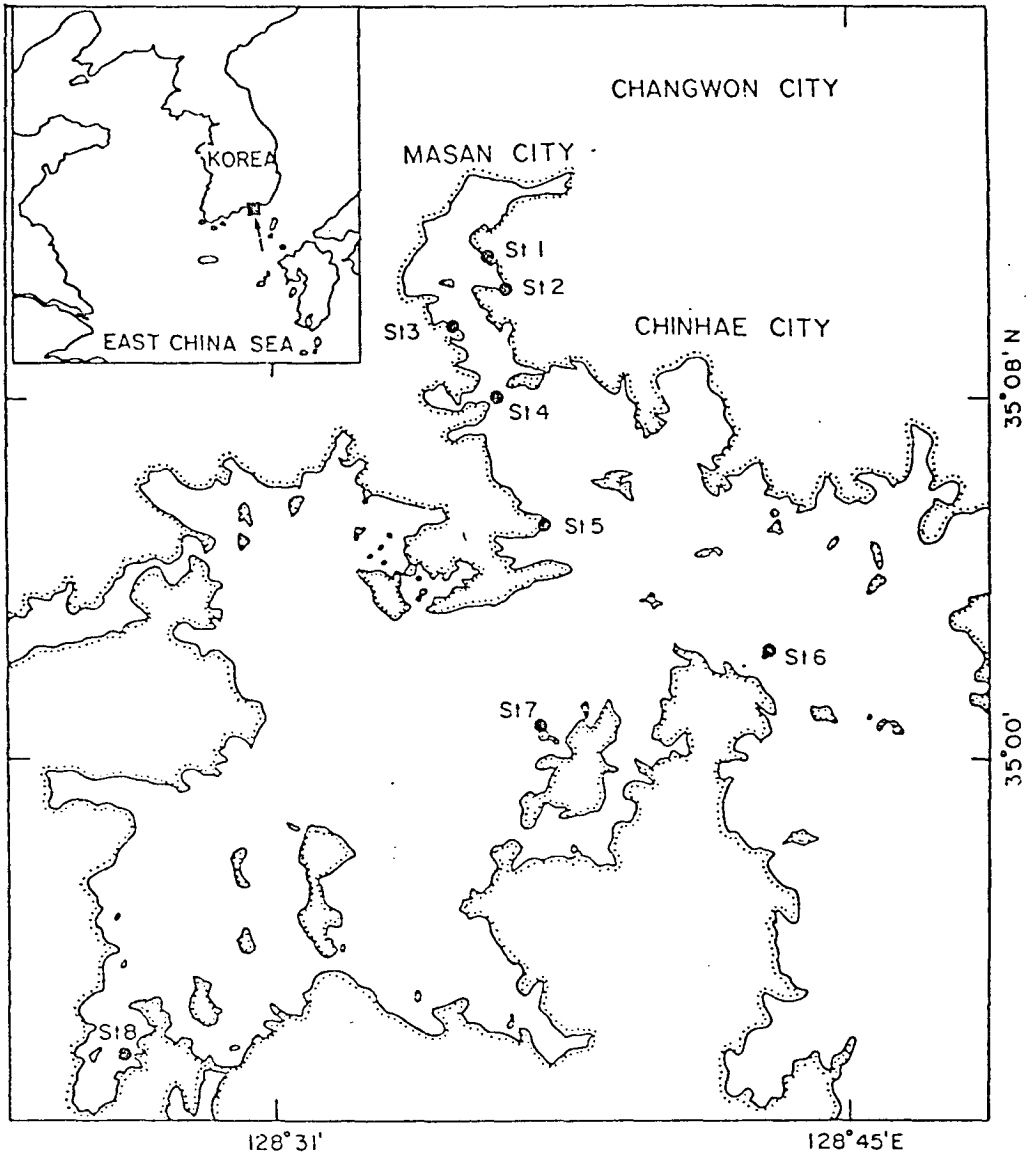


Fig. 19. Location of sampling sites in Chinhae Bay, Korea



## 2. 분석방법

### 1) 용매 및 표준물질

TBT 추출에 사용된 디클로로메탄(dichloromethan)은 영국 BDH사의 HPLC급 시약을 증류하여 사용하였으며 GC용 n-헥산은 Merck사의 HPLC급 시약을 증류해서 사용하였다. 내부표준물질로는 Aldrich사의 TPeTCI를 사용하였으며 외부표준 물질로는 TBTCI, DBTCI와 MBTCI를 사용하였다.

### 2) 용기

분석 및 시료보관에 사용된 초자기구는 초음파 세척 후 수돗물과 탈이온화수로 씻은 다음 400℃에서 4시간동안 태운 후 사용하였으며 폴리프로필렌 용기와 폴리카보네이트 용기는 초음파세척 후 수돗물과 탈이온화수로 씻은 후 10%질산에 24시간동안 담근 후 다시 수돗물과 탈이온화수로 씻어서 사용하였다.

### 3) 분석절차

#### 가) 유기주석화합물 분석

생물시료 및 퇴적물 중의 유기주석화합물 분석은 Stallard *et al.*(1989)의 방법을 개선하여 사용하였다. 분석 순서는 Fig. 20과 같으며 시료에 따른 분석절차는 다음과 같다.

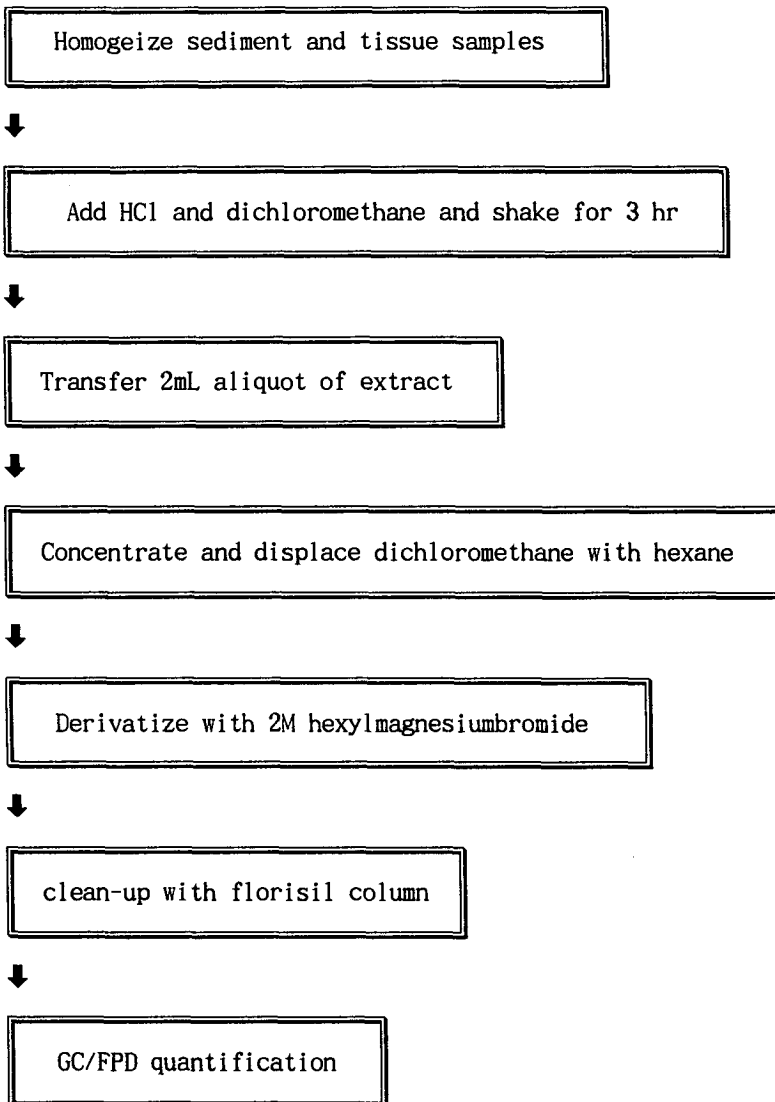


Fig. 20. Flow chart of the analytical procedures

(7) 생물시료

생물시료는 과량의 물을 버리고 균질기로 균질화시킨 후  $5 \pm 0.05$  g을 50 mL 폴리프로필렌 원심분리관에 넣는다. 여기에 염산(1:1) 10 mL를 넣고 vortex mixer로 혼합하고 30분정도 방치한 후 20 mL 디클로로메탄을 넣고 완전히 에멀전(emulsion) 상태가 될 때까지 vortex mixer로 혼합한다. 3시간 동안 교반시킨 후 4,000 rpm에서 10분간 원심분리한다. 추출액중 2 mL를 유리 시험관에 옮겨 유기주석화합물 측정에 사용하고 추출액 5 mL를 사용하여 지방함량(lipid)을 측정한다. 깨끗한 질소개스를 이용하여 거의 마를 정도로 부피를 줄인 후 헥산 2 mL를 넣은 후 TPeTCl(Tripentyltin chloride) 10 uL를 내부표준물질(internal standard)로 넣어준다. 2M 헥실마그네슘브로마이드(hexylmagnesiumbromide) 250 uL를 넣고 15초간 vortex mixer로 혼합한 후 15분동안 방치하여 hexylbutyltin으로 유도체화한다. 0.4 N 황산 4 mL를 넣고 1분간 vortex mixer로 혼합해서 여분의 헥실마그네슘브로마이드를 분해시킨 후 4,000 rpm 에서 10분간 원심분리시킨다. 상층의 유기용매만 플로리질(florisil) 컬럼을 통과시킨 후 질소개스를 이용하여 200 uL로 부피를 줄인 다음 기체 크로마토그래프-불꽃광도검출기(GC-FPD, Gas Chromatograph-Flame Photometric Detector)를 이용하여 정량하였다. GC-FPD의 분석조건은 Table 9와 같다.

Table 9. GC instrument description and conditions for analysis of sediments and tissue using an FPD detector.

---

Gas Chromatograph : Hewlett-Packard HP 5890 Serieese II with  
flame photometric detector (FPD)

**INSTRUMENT SETTINGS :**

Injection volume :	2 $\mu\text{L}$
Injection technique :	splitless
Splitter closing time :	0.6 min
Detector temp. :	250 $^{\circ}\text{C}$
Injector temp. :	225 $^{\circ}\text{C}$
Carrier gas :	He
Make-up gas :	$\text{N}_2$
Detector flow rate :	100 $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$ for air 170 $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$ for $\text{H}_2$
Column head pressure :	28 psi (193 KPa)
Column head pressure + make-up gas flow :	35 $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$

---

(Continued)

---

**TEMPERATURE PROGRAM :**

Initial temp. : 50 °C  
Initial time : 2 min  
Rate : 30 °C min<sup>-1</sup>  
Final temp. : 200 °C  
Final time : 8 min  
Rate : 20 °C min<sup>-1</sup>  
Bake-out temp. : 240 °C  
Bake-out time : 6 min

**COLUMN : Supelco SPB-1**

Material : fused silica capillary tubing  
Length : 30 m  
Internal diameter : 0.25 m  
Stationary phase : SPB-1  
Phase composition : poly(dimethylsiloxane) 100 %  
Film thickness : 0.25 um

---

#### (L) 퇴적물

퇴적물에서 과량의 물을 따라버리고 조개껍질이나 나무조각등을 제거한 후 유리막대로 충분히 균질화시키고 자연건조 시킨다. 수분이 제거된 후 막자사발에서 간 다음  $5 \pm 0.05$  g을 50 mL 폴리프로필렌 원심분리관에 넣는다. 이 이후의 과정은 생물시료 분석과 동일하다.

#### 나) 분석방법의 신뢰도

분석방법의 신뢰도를 측정하기 위하여 일본 국립환경연구소(National Institute for Environmental Studies, NIES)에서 공인된 표준물질 No. 11(fish tissue)을 분석하였다. 측정결과의 유의성을 위하여 5회에 걸쳐 반복 측정하였다. 이 물질은  $1.3 \pm 0.1 \mu\text{g/g}(\text{as chloride})$ 의 TBT를 함유하고 있는데 이번 측정은 Table 2와 같은 결과를 보였으며, 본 연구의 분석방법은 신뢰도가 높음을 나타내고 있다.

### 제 3 절 결과 및 고찰

유기주석화합물은 여러가지 경로를 통해 해양으로 유입된다. 그 중에서도 선박에서 녹아나오는 부착생물방지제(antifouling paint)가 가장 큰 유입원이며 해상구조물, 양식용 도구등에서도 용출되어 해양에 유입된다. 또한 육상에서 사용된 농약, PVC 안정제 등이 하천을 통해 오염을 가중시킨다

(Chau *et al.*, 1992; Fent *et al.*, 1991). 하지만 다른 오염물질과는 달리 휘발성이 낮아 강우 및 건상침하물(dry deposition)에서는 검출되지 않으므로 대기를 통한 유입은 매우 적다고 할 수 있다 (Muller, 1987).

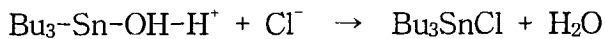
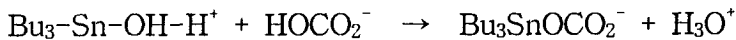
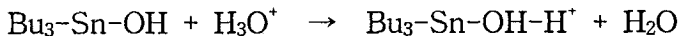
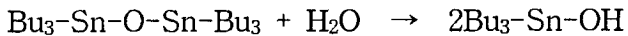
이와같은 경로를 통해 해수로 유입된 TBT는 입자에 흡착되어 퇴적되거나 조류(tidal flushing)와 해수의 유동에 의해 외해로 희석되어 나간다. 특

Table 10. Analysis of TBT concents of the NIES standard(No. 11)

Concentration ( $\mu\text{g TBT/g dry wt.}$ )	
NIES No.11 guarantee analysis	present study
	1.4
	1.2
1.3 $\pm$ 0.1	1.5
	1.3
	1.2
Mean	1.3 $\pm$ 0.1

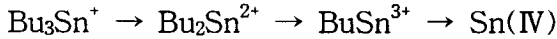
히 PCBs, PAH, DDT 및 dioxin과 같은 유기독성 오염물질과 마찬가지로 TBT도 수중 용해도가 매우 낮고 지방에 잘 녹는 성질 때문에 주로 유기성 입자에 흡착된 후 빠르게 퇴적된다. 따라서 입자의 성분, 양 및 크기가 TBT 분포의 중요한 인자로 작용한다.

부착생물방지제가 해양으로 유입되는 주된 형태는 TBTO(Tributyltin oxide)이다. Laughlin *et al.* (1986)에 의하면 해양으로 유입된 TBTO는 수화된(hydrated) TBT가 양이온으로 해리된 후  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  등과 결합한다. 이때 주된 형태는 pH에 따라 다른데 pH가 7보다 낮을 때는  $\text{Bu}_3\text{SnOH}_2^+$ 과  $\text{Bu}_3\text{SnCl}$ 이, pH가 8일 때는  $\text{Bu}_3\text{SnCl}$ ,  $\text{Bu}_3\text{SnOH}$ ,  $\text{Bu}_3\text{SnCO}_3^-$ 이 pH가 10보다 높을 때는  $\text{Bu}_3\text{SnOH}$ 과  $\text{Bu}_3\text{SnCO}_3^-$ 이 대부분이다. 일례로 해수의 일반적인 pH 범위인 8에서의 반응은 다음과 같다.



해양에서 TBT화합물의 분해는 생분해(biodegradation), 광분해(photodegradation)등에 의해 다음과 같은 탈부틸화(debutylation) 과정을 거쳐 독성이 작은 무기주석으로 변한다 (Meyers-Schulte and Dooley, 1990; Seligman *et al.*, 1986).





일반적으로 유기주석화합물의 독성은 결합되어 있는 알킬(alkyl)기의 갯수와 구조(탄소수)에 따라 달라지는데 알킬기의 갯수가 많을수록, 그리고 알킬기의 탄소고리가 길수록 독성이 강하다.

Maguire *et al.* (1986)에 의하면 여러가지 조건에 따른 분해속도의 차이로 반감기가 달라지는데 주된기작은 생분해이며 그밖에도 광분해, 수화(hydrolysis), 중발동에 의해 분해된다. 퇴적물에서의 분해속도, 특히 혐기성 상태에서의 분해속도는 해수중에서보다 더욱 느린데 일반적으로 해수에서의 반감기는 일주일에서 20주 까지이며 퇴적물에서의 반감기는 수개월에서 수년까지로 알려져 있다(Fent and Hunn, 1991; Lee *et al.*, 1989; Maguire and Tkacz, 1985; Seligman *et al.*, 1989).

## 1. 퇴적물중의 TBT

퇴적물은 단기적인 측면에서 보면 TBT를 비롯한 PCBs, DDTs와 같은 유기오염물질 및 중금속 등의 저장고(sink)로 작용하기 때문에 연안의 각종 오염물질 제거에 중요한 역할을 담당한다. 반대로 장기적인 측면에서 보면 해수의 유동 및 생물활동 등 여러 가지 원인으로 인한 퇴적물의 재부유에 의해 오염물질이 다시 해수중으로 이동할 수 있으므로 이차적인 오염원이 될 수 있다. 한편 해양생태계를 비롯한 해양환경의 관점에서 보면, 퇴적물

중의 오염물질의 농도는 상당히 중요한 의미를 갖기 때문에 특정 해역의 오염도를 조사하기 위한 방법의 일환으로 그 지역의 퇴적물을 분석하는 것은 보편화된 방법이다. 따라서 본 연구에서는 진해만 일대의 TBT 오염역사를 알아보기 위하여 4개 정점에서 주상퇴적물을 채취하여 분석하였다.

주상퇴적물에서 TBT와 DBT의 농도를 측정한 결과를 살펴보면 표층에서 10 여 cm 까지는 농도 분포가 불규칙하다(Table 11). 홍 등 (1993)이 연구한 연대측정 결과에 의하면 진해만의 표층퇴적물에 교란이 일어났음을 알 수 있는데, 이는 생물교란(bioturbation) 및 저인망어업 또는 주변의 준설 및 매립 등의 영향에 의한 것으로 보인다. 그러나 전체적인 수직분포를 보면 깊이가 깊어질수록 뚜렷하게 감소하는 것을 볼 수 있다(Table 11).

퇴적층의 교란으로 TBT의 유입이 급격히 증가하기 시작한 시기를 알 수 없지만 홍 등(1993)의 퇴적속도 측정결과에 비추어보면 대략 1970년대부터 TBT 사용이 증가했음을 알 수 있다. 하지만 그 이하의 퇴적층에서도 검출되는데 이는 생물교란등에 의해 퇴적물이 혼합되었기 때문으로 사료된다. 실제로 홍 등(1987)이 촬영한 주상퇴적물의 X-ray-radiograph에서도 볼 수 있듯이 진해만 일대의 퇴적물에서 교란작용이 활발함을 알 수 있다. 반면 깊이가 깊어짐에 따른 전체적인 농도감소는 TBT의 사용이 계속해서 증가하였으며 해양으로 유입된 TBT가 입자성 물질에 흡착되어 퇴적된 후 탈부틸화과정을 거쳐 분해되었기 때문인 것으로 보인다.

Table 11. Butyltin concentrations and TBT percentages in sediment cores from Chinhae Bay, Korea.

[STATION 3]

Depth (cm)	TBT (ng/g dry wt.)	DBT (ng/g dry wt.)	TBT+DBT (ng/g dry wt.)	T/T+D (%)
0-2	123	131	254	49
2-4	167	123	289	58
4-6	143	131	273	52
6-8	92	139	231	40
8-10	110	125	235	47
12-14	56	70	127	44
14-16	62	122	185	34
16-18	33	82	115	29
18-20	11	36	47	23

(continued)

[STATION 5]

Depth (cm)	TBT (ng/g dry wt.)	DBT (ng/g dry wt.)	TBT+DBT (ng/g dry wt.)	T/T+D (%)
0-2	96	92	188	51
2-4	155	64	219	71
4-6	76	90	165	46
6-8	49	81	130	38
8-10	21	34	55	39
10-12	60	70	130	46
12-14	26	n. d. *	—	—
14-16	16	28	45	37
16-18	10	21	31	32
18-20	5	11	16	31

n.d. : not determined

(Continued)

[STATION 6]

Depth (cm)	TBT (ng/g dry wt.)	DBT (ng/g dry wt.)	TBT+DBT (ng/g dry wt.)	T/T+D (%)
0-2	22	n. d. *	—	—
2-4	17	70	88	2
4-6	22	71	93	23
6-8	8	31	39	20
8-10	13	31	44	29
10-12	8	2	11	75
12-14	8	5	14	61
14-16	1	1	3	46
16-18	2	2	5	44
18-20	1	4	5	21

\* n.d. : not determined

(continued)

[STATION 7]

Depth	TBT	DBT	TBT+DBT	T/T+D
(cm)	(ng/g dry wt.)			(%)
0-2	53	38	91	61
2-4	23	41	64	39
4-6	58	37	96	64
6-8	9	83	93	11
8-10	14	28	43	37
10-12	10	27	38	30
12-14	8	10	19	49
14-16	1	6	7	25
16-18	4	12	16	30

각 정점에서 TBT의 수직분포를 보면 마산만 안쪽인 St. 3에서 가장 높은 값을 보였다. 표층에서 10cm까지는 100 ng/g(건중량) 이상의 높은 값을 나타내었으며 13cm 부근에서 빠르게 감소하여 18-20cm에서는 11

ng/g(건중량)의 낮은 값을 나타내었다. 반면 진해만의 바깥쪽인 St. 6에서 가장 낮은 농도를 나타내었다. 표층에서 22 ng/g(건중량)의 값을 보였으며 7cm 부근에서 급격히 감소하여 거의 일정한 분포를 나타내었다. 15cm 이하에서는 검출한계에 가까운 1-2 ng/g(건중량)의 값을 보였다. St. 7은 St. 6과 비슷한 수직분포를 나타내었으며 St. 5에서는 다소 높은 값을 보이는데 이는 진주담치의 경우와 마찬가지로 인근의 조선소와 행암만 및 해군기지의 영향이 큰 것으로 사료된다.

TBT가 일단 퇴적되면 생물분해 등에 의한 탈부틸화과정을 통해 DBT, MBT 및 무기주석의 순으로 분해하게 되는데 본 연구결과에서도 이러한 특성이 잘 나타나고 있다. 각 정점에서 깊이에 따라 TBT가 차지하는 비율을 보면 깊이가 깊어질수록 감소하고 DBT가 증가하는 것을 알 수 있다(Table 11). 즉 TBT 비율이 표층에서는 44-58%의 값을 보였으며 저층에서는 20-31%의 낮은 값을 보였다. 이와 같이 깊이가 깊어질수록 TBT가 차지하는 비율이 줄어든다는 것은 퇴적물에서의 TBT 분해속도가 DBT보다 빠르다는 것을 나타내는 것이다.

표층퇴적물의 TBT농도와 유기탄소함량을 비교해보면 St. 3에서 각각 123 ng/g, 2.2 %로 가장 높은 값을 보였으며 St. 6에서는 22 ng/g, 1.4 %으로 가장 낮은 값을 보였다. 또한 St. 6의 TBT 농도가 St. 3에 비해 82 % 감소한 반면 유기탄소함량은 37 % 감소에 그쳤다. 이는 해수중 유기입자의 양이 퇴적물의 TBT 분포에 영향을 미침을 나타낸다. 즉 유기성입자의 양이 많은 마산만 내만으로 유입된 유기주석화합물들이 외해로 빠져나가

기 전에 빠르게 퇴적되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 추세는 생물시료의 농도분포에서도 잘 나타나고 있다.

## 2. 생물시료

TBT를 비롯한 유기독성 오염물질들은 지방성분에 잘 녹는 성질 때문에 생물농축(bioaccumulation)이 일어나며 먹이사슬을 통하여 상위단계로 이동한다. 이러한 유기독성 오염물질은 해양에 유입된 후 비표적생물(non-target organisms)에게까지 부작용을 일으켜 해양생태계의 파괴뿐만 아니라 수산 식용생물인 굴, 진주담치 및 어류등에도 영향을 미쳐 인간의 건강을 위협하기 때문에 최근 중요한 환경문제로 부각되고 있다. 이와함께 광범위한 지역에서의 TBT를 비롯한 유기염소계 독성물질 및 중금속에 의한 오염의 정도를 알기 위하여 굴과 진주담치와 같은 오염 감시생물을 이용한 종합 감시 프로그램(Mussel Watch Program)이 전세계에 걸쳐 진행되고 있다(NRC, 1980; UNESCO, 1992). 또한 TBT오염을 알기위해 신복족목(新腹足目; neogastropoda) 에서의 임포섹스를 생물지표(bioindicator)로 사용하는 방법도 제기되고 있다 (Alvarez and Ellis, 1990; Ellis and Pattisina, 1990). 따라서 본 연구에서는 진해만 일대의 진주담치와 굴을 지표종으로 선택하여 TBT의 체내농도를 측정하였다.

마산만 안쪽에서 거제도까지 1987년에서 94년에 걸친 진주담치의 체내농도를 측정한 결과를 보면 0.02-1.36  $\mu\text{gTBT/g}$  (평균:0.42)의 범위로 내만에



서 외해로 갈수록 농도가 감소하였다(Table 12). 이는 우리나라에서 가장 오염이 심각한 곳 중의 한 곳인 진해만이다 다른 오염물질들에 비해 TBT오염은 그리 높지 않음을 보여준다. 하지만 현재의 농도수준에서도 충분히 굴과 같은 이매패류의 패각변형을 일으킬 수 있는데 실제로 거의 전 정점에서 굴의 패각에서 변형이 발견되었다.

1990년의 St. 3과 94년의 St. 2에서 각각 1.36, 1.21  $\mu\text{gTBT/g}$  으로 가장 높았으며 90년의 St. 6에서 0.02  $\mu\text{gTBT/g}$  으로 가장 낮았다. 이는 내만은 유입량이 많을 뿐만 아니라 반폐쇄적인 지리적 구조때문에 희석이 잘되지 않기 때문이다. TBT의 주된 공급원은 부착생물방지제이며 하수종말처리장이 제대로 갖추어져있지 않은 마산, 창원등의 주변도시 및 공단에서 유입되는 하수와 폐수도 상당부분을 차지할 것이다(Fent *et al*, 1991; Fent & Muller, 1991). 또한 목재보존제로도 사용되므로 인근에 있는 하역부두에 쌓인 원목에서도 유입될 수 있다. 실제로 94년 6월에 St. 2(한중 앞 하역부두 인근)에서 채집한 진주담치 및 굴에서 농도가 상당히 높게 나타났다(Table 13). 반면 St. 6은 조사정점중 가장 외해쪽에 위치한 곳으로, 조류에 의한 희석이 원활할 뿐만 아니라 국지적인 오염원이 없으므로 매우 낮은 농도를 보였다.

또한 정점에 따른 추세와 연도별 추세를 살펴보면 St. 6은 마산만의 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다. 이는 퇴적물중 TBT의 분포에서도 나타나는데 마산만에 유입된 유기주석화합물들이 급속히 퇴적되고 있음을 의미한다. 하지만 St. 5는 해수의 순환이 비교적 활발함에도 불구하고 높은값

Table 12. TBT concentrations in tissues of mussels(*Mytilus edulis galloprovincialis*) collected in Chinhae Bay, Korea  
( $\mu\text{g TBT/g dry wt.}$ ) (1987-94)

ST	1987	1988	1990	1993	1994	Mean
3	0.46	0.75	1.34	0.58	0.41	0.71
4	0.25	0.46	0.45	0.21	0.43	0.36
5	0.20	0.42	0.68	0.52	0.33	0.43
6	0.19	0.20	0.02	0.08	0.12	0.12
7	—	—	0.41	0.34	0.17	0.31
Mean	0.28	0.48	0.58	0.35	0.29	0.39

Table 13. TBT concentrations in tissues of oysters(*Crassostrea gigas*) and mussels(*Mytilus edulis galloprovincialis*) collected in Chinhae Bay, Korea ( $\mu\text{g TBT/g dry wt.}$ )(June, 1994).

St.	Location	Oyster	Mussel
1	Guigokdong	0.85	0.52
2	Hanjung Port	1.80	1.21
3	Gapodong	0.70	0.41
4	Mogae	0.38	0.43
5	Nampodong	0.43	0.33
6	Mangwoedo	0.10	0.12
7	Whangdukdo	0.17	0.17
8	Wonmoon Bay	0.48	0.64
	Mean	0.61	0.48

을 나타내는데 이는 인근에 있는 조선소와 해군기지 및 행암만에서의 유입의 영향이 클 것으로 생각된다. 실제로 해류도를 보면 창조시 진해만 외해에서 들어온 물이 행암만을 돌아 St. 5를 지나는 것을 알 수 있으며(Kim, 1994), 이 등(1990)이 측정한 중금속의 농도에서도 St. 5에서 높은 값을 보였다

1994년 6월에 진해만 일원에서 채집한 굴의 체내 TBT농도는 0.10-1.81  $\mu\text{g/g}$  건중량 (평균 0.61) 이었으며 진주담치의 경우는 0.12-1.21  $\mu\text{g/g}$  건중량 (평균 0.48) 이었다. 각 정점에서의 체내농도를 Table 13에 나타내었다. 조사 정점중 St. 2 (한국중공업 앞)에서 1.80(굴), 1.21(진주담치)  $\mu\text{gTBT/g}$ 로 가장 높은 값을 보였는데 이는 St. 1과 비교하였을때 인근의 대형선박 정박 및 원목하치장과 같은 국지적인 유입원이 많기 때문이다 (Blunden and Champman, 1986). 또한 St. 8(원문만)에서 굴과 진주담치의 체내에 각각 0.48, 0.64  $\mu\text{gTBT/g}$ 의 높은 값이 검출되었는데 이러한 높은 농도는 최근 굴양식장에서의 채묘부진과 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다. 이곳의 주된 유입원은 소형선박 및 어구로부터의 용출일 것이며 지리적인 구조상 조류에 의한 희석이 적었을 것으로 보인다.

굴과 진주담치의 TBT농도를 채집장소와 함께 Fig 21와 22에 도시하였는데 마산만 내만에서 외만으로 갈수록 농도가 뚜렷하게 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 주된 유입원이 마산만 내만에 있음을 의미하며 퇴적물의 지역적인 분포에서도 알 수 있듯이 유기주석화합물이 해수로 유입된 후 마산만에서 빠르게 퇴적되어서 외만에서는 굴과 진주담치가 이용가능한

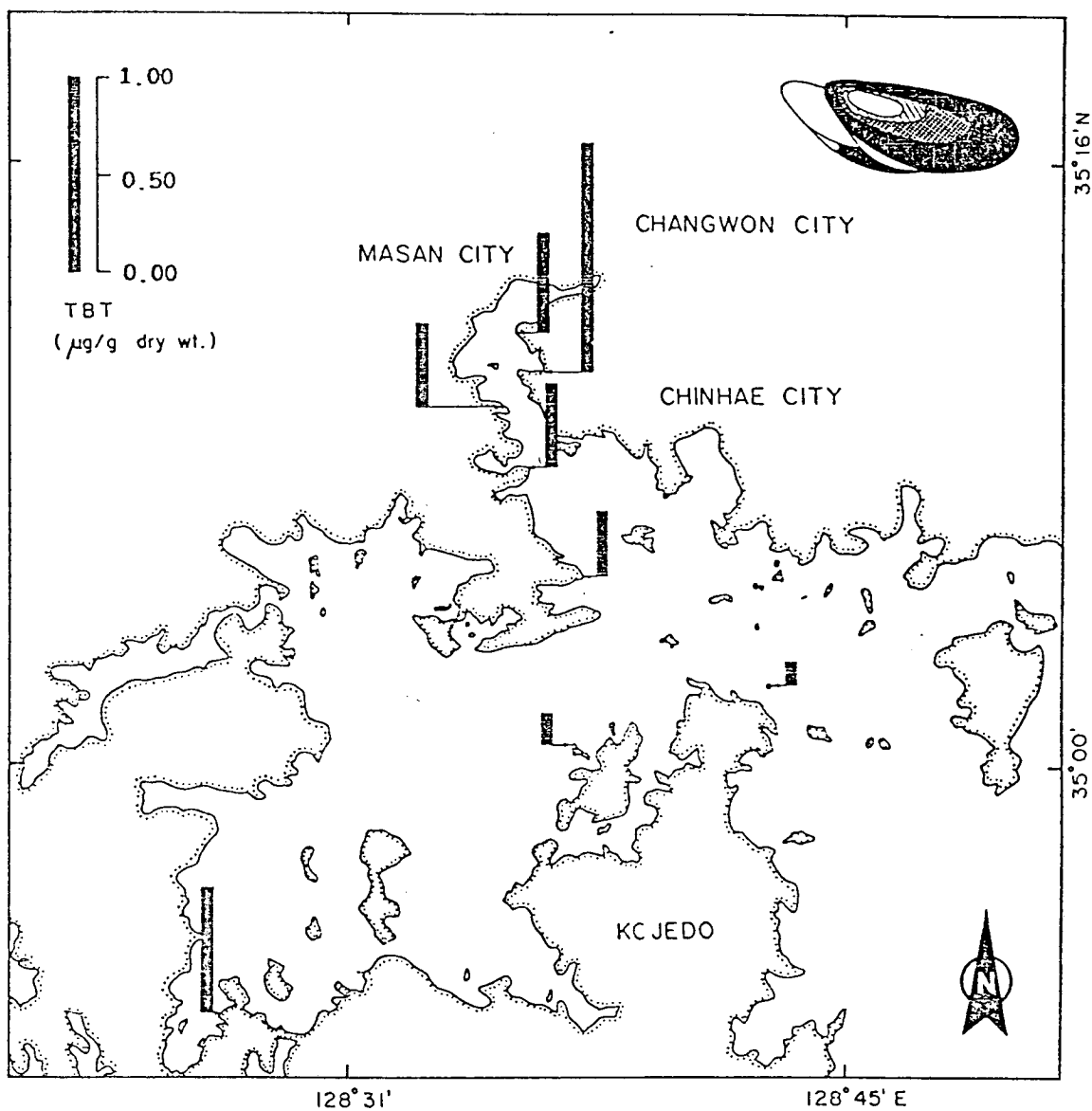


Fig. 21. Map showing the distribution of TBT concentrations in mussels (*Mytilus edulis galaprovihcialis*) in Chinhae Bay, Korea

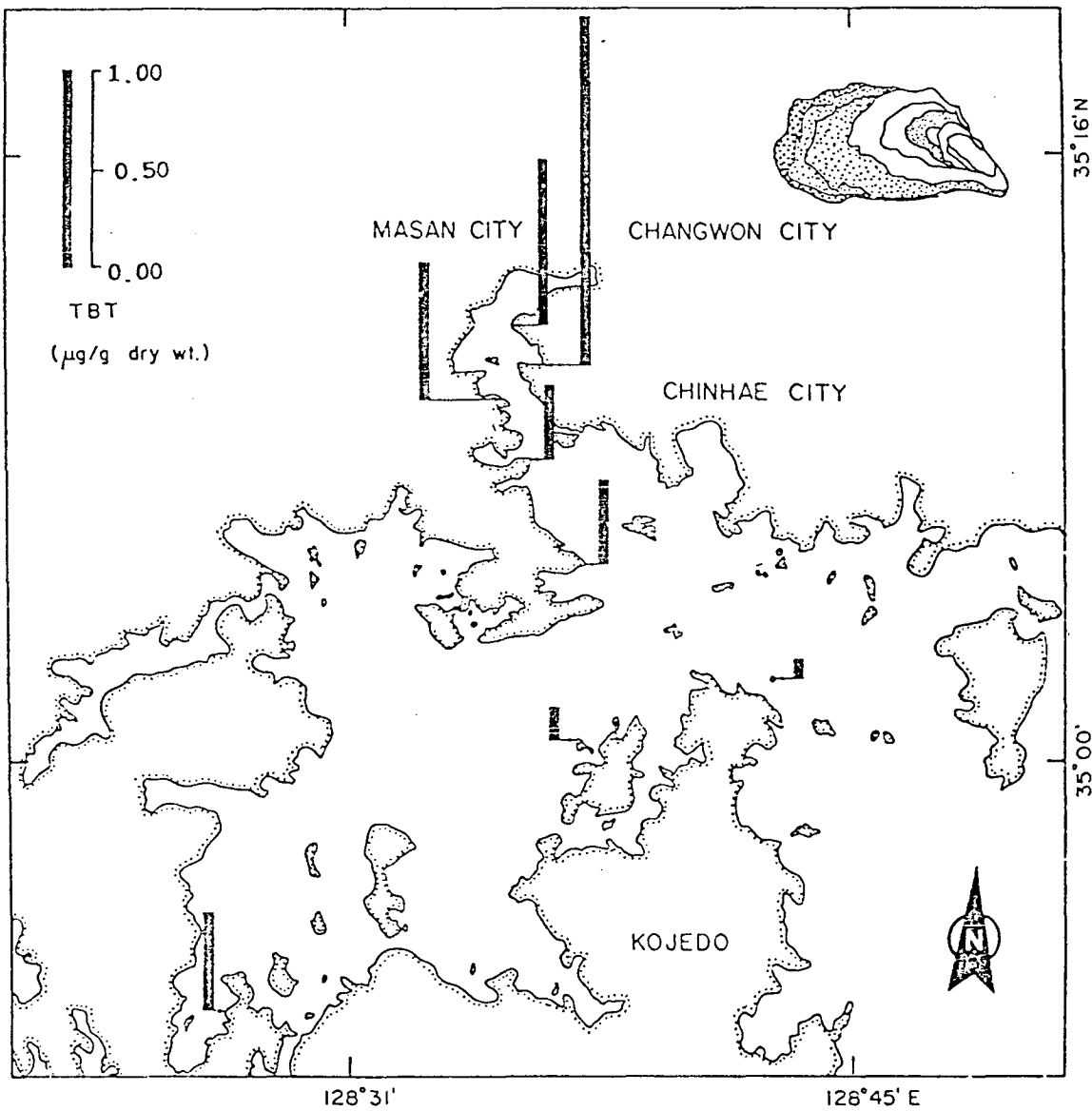


Fig. 22. Map showing the distribution of TBT concentrations in oysters (*Crassostrea gigas*) in Chinhae Bay, Korea

(bioavailable) 유기주석화합물이 낮은 농도로 존재하기 때문이다.

이번 연구결과와 이미 TBT의 사용을 규제하고 있는 다른 나라에서 발표된 연구결과를 Table 14에 요약, 비교 하였다. 이표에 의하면 진해만의 TBT 오염은 일본의 동경만과 비슷한 수준이다. 또한 이 모니터링 결과를 토대로 TBT 오염의 정도를 알기 위하여 Table 15에 농도에 따른 대략적인 유입 및 영향의 정도를 나타내었다. 마산만 안쪽(St. 1, 2, 3)과 원문만(St. 8)을 제외한 정점에서는 진주담치의 성체에 큰 영향을 주지 않는 농도를 나타내었다.

1993년 6월의 진주담치와 표층퇴적물의 TBT농도를 살펴보면 각 정점에 따라 농도변화의 추세가 같음을 볼 수 있다. St. 3의 진주담치와 표층퇴적물에서 각각 0.58, 0.12  $\mu\text{g/g}$  로 높았으며 St. 6 에서는 0.08, 0.02  $\mu\text{g/g}$  로 낮은 값을 보였다. 퇴적물의 농도가 높다는것은 그 지역 해수 중의 농도가 높음을 의미하며 수심이 낮은 연안에서는 폭풍 등에 의한 재부유로 인해 퇴적물에서 해수로의 공급도 많음을 의미한다. 즉 주변환경에 진주담치 및 굴 등이 이용가능한(bioavailable) TBT의 양이 많을수록 여과섭식 및 호흡 등으로 체내에 축적되는 양도 늘어남을 알 수 있다.

진주담치의 각 부위에 따른 TBT의 농도를 살펴보면 내장 (viscera)에서 0.23  $\mu\text{gTBT/g}$  으로 가장 높고 근육질(adduct muscle) 에서는 0.02  $\mu\text{gTBT/g}$  으로 가장 낮으며 아가미(gill)와 mantle에서 각각 0.08, 0.05  $\mu\text{gTBT/g}$  의 값을 보였다(Table 16). 이와같은 농도의 차이는 주로 지방함량의 차이 및 대사과정과 밀접한 관련이 있으며 먹이섭취와 호흡과정을 통

Table 14. Some reported concentrations of TBT in mussel tissues from field samples.

Location	$\mu\text{g/g}$ TBT	Reference
Korea		
Chinhae Bay (8 sites)	0.08-1.8	Present study
Japan		
Tokyo Bay (26 sites)	0.10-1.20	Higashiyama <i>et al.</i> , 1991
USA		
San Diego, CA (3 sites)	1.60-2.90	Stephenson <i>et al.</i> , 1987
USA Coasts (36 sites)	0.01-4.22	Wade <i>et al.</i> , 1988
USA Coasts (33 sites)	0.01-9.26	Wade <i>et al.</i> , 1990
UK		
Whitsand Bay	0.38	Page, 1989
Crouch Estuary	0.05-0.29	Waite <i>et al.</i> , 1991
France		
Villefranche Bay	4.05	Page and Widdows, 1991
Sweden		
West coast	0.8-10.2	Linden, 1987
East coast	< 0.2-3.9	Linden, 1987

Note. The data are given as  $\mu\text{g}$  TBT/g dry tissue weight. For those data reported on a wet tissue weight basis, the following conversion factor was used:  $5 \times (\text{wet wt. } \mu\text{g/g}) = \text{dry wt. } \mu\text{g/g}$ . For those data reported on a weight of tin basis, the following conversion was used:  $2.74 \times (\mu\text{g/g as Sn}) = \mu\text{g/g as TBT}$ . Where replicate analyses were reported, the results were summarized as the average value.



Table 15. Approximate degree of TBT contamination as reflected by  
 TBT tissue concentrations in field populations of mussels  
 (Page & Widdows, 1991)

Tissue TBT concentration ( $\mu\text{g/g}$ dry tissue wt.)	Degree of contamination
0.05-0.5	Virtually none to low levels of TBT input: no significant effects observable in adult mussels.
0.5-2	Moderate TBT inputs.
>2	Heavy TBT inputs : significant biological effects in adult mussels.

하여 체내 축적이 이루어지고 있는것을 알 수 있다. 이와 반대로 근육질은 지방함량이 낮고 에너지 흡수나 대사과정에 관여하지 않기 때문에 낮은 값을 보인다. 또한 이러한 경향은 TBT의 분해물질인 DBT의 농도에서도 나

Table 16. Concentrations of TBT and DBT in different part of mussels(*Mitilus edulis*).

	TBT	DBT	TBT+DBT	T/T+D*	D/T+D*
	(ug/g dry wt.)			(%)	
Viscera	0.23	0.13	0.36	64	34
Gill	0.08	0.06	0.14	57	43
Mantle	0.07	0.05	0.12	58	42
Muscle	0.02	0.03	0.05	40	60

\* T/T+D : TBT/(TBT+DBT)

D/T+D : DBT/(TBT+DBT)

타난다. Widdows *et al.*(1983)이 [1-<sup>14</sup>C] naphthalene으로 실험한 결과에 의

하면 각 부분의 유기물질 축적률은 지방함량과 좋은 상관관계를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 호흡과 먹이섭취과정을 통해 체내로 유입된 유기주석 화합물들이 각 기관을 순환하면서 지방성분에 축적되기 때문이다.

#### 제 4 절 결 론

진주담치, 굴 및 어류 등 해양생태계에 미치는 영향이 큰 오염물질인 TBT에 관한 연구가 국내에 거의 없는 실정에서 최근 몇년간 굴생산이 부진한 진해만의 TBT오염 현황과 추세를 알아보기 위하여 주상퇴적물, 진주담치 및 굴중의 TBT농도를 측정하였다. 주상퇴적물중의 TBT의 수직분포는 생물교란등의 영향으로 인하여 불규칙하였으나 전체적으로 깊이가 깊어질수록 감소하는 경향을 보였다. 또한 깊이에 따라 TBT가 차지하는 비율도 점차적으로 감소하는데 이는 TBT의 분해속도가 DBT의 분해속도보다 빠르기 때문이다. 진해만은 주변에 위치한 공단, 도시등의 지역사회적인 특징으로 인하여 TBT 뿐만 아니라 산업용도로도 다양하게 사용되는 DBT의 유입량도 많았다. 생물시료 등에서 측정된 결과를 보면 진해만의 TBT 오염수준이 다른 오염물질들의 오염수준에 비해 크게 높지는 않다. 그러나 현재의 농도 수준으로도 충분히 굴이나 홍합과 같은 이매패류의 패각변형을 일으킬 수 있으며 고등류에 임포섹스를 일으켜 해양생태계에 큰 영향을 끼

칠 수 있다. 실제로 마산만 안쪽의 모든 조사 정점에서 굴의 패각변형 및 고등류의 입포섹스 현상이 발견되었다. 그러나 주된 유입원이 마산만 안쪽에 있고 내만에서 빠르게 퇴적되어 외만에는 큰 영향을 미치지 않았다.

마산만 안쪽(정점 1, 2, 3)과 원문만(정점 8)을 제외하고는 생물시료중 TBT의 농도가 아직까지는 우려할만한 수준은 아니라고 본다. 그러나 St. 8은 양식장이 밀집해 있는 지역으로 TBT 뿐만 아니라 TPhT도 검출되었다. 따라서 유기주석 화합물이 양식 수산 생물에 미치는 영향에 대해 좀 더 체계적인 연구가 필요하다 하겠다. 특히 진해만과는 달리 2개의 대규모 조선소뿐만 아니라 중소규모의 조선소들이 많이 분포하는 거제도 충무 일대는 국내 양식의 중요 부분을 차지하는 곳으로 우선적으로 조사되어야 할 것이다.

이번 연구결과로 볼 때 빠른 시일안에 유기주석화합물에 대한 규제가 시행되지 않는다면 장래의 TBT유입 추세는 현재의 수준을 유지하거나 더욱 증가할 것으로 예측되며 일부 정점에서 TPhT의 농도가 상당히 높게 검출된 점으로 미루어 TPhT의 오염에 대해서도 연구가 병행되어야 할 것이다. 따라서 해양생태계보전을 위하여, 더 나아가서 국민건강을 위하여 선진국과 같은 규제가 절실한 상황이다. 그러기 위해서는 미국의 해양대기청(NOAA)에서 해양환경 개선 및 보전을 위해 추진하고 있는 National Status and Trend Program과 같은 전국적인 모니터링을 통하여 우리나라 전역에 걸친 오염의 정도와 이에 따른 영향을 정확히 파악하여야 할 것이다. 또한 주변국가들과의 공동연구 및 공동규제 등의 협력이 필요하다고 본다. 실제

로 유럽에서는 자국의 규제를 피하여서 규제가 실시되지 않고 있는 주변국가에서 TBT가 함유된 도료를 칠하는 경우들이 문제시되고 있으며 미규제 국가의 선박 통제에 어려움을 겪고 있다. 따라서 NOWPAP(North West Pacific Action Plan)과 같은 UNEP의 지역해 프로그램을 통해 지중해 연안 국가들이 수행한 MED POL(Gabrielides *et al.*, 1990)과 같은 공동연구를 하여 TBT오염 뿐만 아니라 지속성 유기오염물질(PCBs, 유기염소계 농약, 다이옥신, 퓨란 등)로 인한 오염으로 부터 해양환경을 보호해야할 것이다.



## 제 5 장

UNEP 해양환경보호 관련

범지구적 실천계획





## 제 5 장 UNEP 해양환경보호 관련 범지구적 실천계획

### 제 1 절 서 언

본 장에서는 종합감시 프로그램의 주요 분석 항목에 속하는 지속성 오염 물질(POPs, persistent organic pollutants)과 관련하여 95. 3. 6-10간 UNEP 주관으로 아이슬란드에서 열린 육상활동으로부터의 해양환경보호 관련 전세계적 실천계획 검토 및 수정을 위한 전문가 회의 결과를 분석하고 잔류성 유기오염물질의 규제에 대비해서 지속성 오염물질의 특성, 국내 사용량 대응방향 등에 대해 살펴보고자 한다.

### 제 2 절 육상활동으로부터의 해양환경보호 관련 실천계획의 추진동향

'92년 6월 리우회의에서 채택된 의제 21 제 17 장의 구체적인 이행계획 수립을 위하여 유엔환경계획(UNEP) 주도하에 육상오염원에 의한 해양오염 방지를 위한 범지구적 실천계획(Global Programme of Action)이 마련되었으며, 그 초안이 '95년 10월말 워싱턴의 정부간 회의에 상정될 예정이다. 동 실천계획은 해양오염의 약 80%를 차지하는 육상오염원을 규제하지 않고는 해양환경을 보전하기 어렵다는 취지에 입각하고 있으며, 구체적인 규제를 위하여 실천계획에 법적 구속력을 부여함으로써 실질적으로 해양오염방

지에 실효성이 있는 국제적인 합의를 도출코자 하는데 목적이 있다. 동 실천계획에는 여러 육상기인 해양 오염원을 하수, 잔류성 유기오염물질, 방사성 물질, 중금속 및 유류, 영양염류, 퇴적물, 물리적 변화 및 서식처 파괴 등으로 세부적으로 분류하고 각각 규제 수준과 시한을 정해놓고 있다. 특히 6월 회의에서는 생물농축과 대기 이동성이 큰 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants:POPs)의 규제 필요성에 대해 국제적인 합의가 이루어 졌으며, 10월에 열리는 워싱턴 회의에서는 우선적으로 잔류성 유기오염물질에 대하여 2005년까지 전세계적으로 이를 포함하는 제품과 제조공정의 전면 대체를 통한 규제가 확실히 되고 있다. 잔류성 유기오염물질에 대한 동 실천계획의 규제 시한이 2005년으로 최종 결정될 경우 소각로, 자동차, 공장배기가스는 물론 지속성 유기오염물질의 모든 발생원에 대한 규제가 실시되므로 이러한 오염물질을 발생시키는 제품 및 시설에 관한 무역규제와 사용규제가 뒤따르게 된다.

### 제 3 절 잔류성 유기오염물질의 특성 및 용도

현재 지구상에는 자연계에는 존재하지 않는 많은 종류의 유기화합물들이 환경에 유입되고 있다. 이중에서 환경내에서 광화학적, 생물학적 및 화학적 분해가 되지않고 환경내에 오랫동안 지속되면서 축적되는 화합물들을 잔류성 유기 오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)이라고 부른다.

UNEP가 주관하는 1995년 10월말의 워싱턴 정부간 회의에서 검토되고 있는 육상활동으로부터 해양환경보호 관련 범지구적 실천계획(Programme of Action)에 의해 우선적으로 규제가 예상되는 잔류성 유기 오염물질은 다음과 같다.

Aldrin

Chlordanes

Dibromoethane

DDT (Dichlorodiphenyl trichloroethane)

Dieldrin

Endrin

HBBs (Hexabromobiphenyls)

HCB (Hexachlorobenzene)

Lindane (Hexachlorocyclohexane, HCH)

PCBs (Polychlorinated biphenyls)

PCDD's/PCDF's (Polychlorinated dioxines and furans)

PCP (Pentachlorophenol)

Toxaphene

PAHs: Anthracene

Benzo(a)anthracene

Benzo(a)fluoranthene

Benzo(a)pyrene

Chrysene

Dibenzo(a,h)anthracene

Fluoranthene

Phenanthrene

Pyrene

인간활동에 의해 자연계로 배출되는 잔류성 유기 오염 물질들은 특성에 따라 다음과 같이 크게 네가지로 나눌 수 있다.

- 유기 염소계 농약류 (Organochlorine Pesticides)

알드린(Aldrin)

클로르단(Chlordanes)

DDT (Dichlorodiphenyl trichloroethane)

디엘드린(Dieldrin)

엔드린(Endrin)

엔도설판(Endosulfan)

HCB (Hexachlorobenzene)

린단(Lindane: Hexachlorocyclohexane)

PCP (Pentachlorophenol)

톡사펜(Toxaphene)

- 유기 염소계 화합물 (Organochlorine Compounds)

다이옥신류(Dioxins: PCDD's)

디벤조퓨란류(Dibenzofurans: PCDF's)

폴리클로리네이티드 비페닐류(PCBs: Polychlorinated Biphenyls)

- 유기 브롬계 화합물 (Organobromin Compounds)

헥사브로모비페닐류(HBBs: Hexabromobiphenyls)

디브로모에탄(Dibromoethane)

- 다환 방향족 탄화수소류 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)

Anthracene

Benzo(a)anthracene

Benzo(a)fluoranthene

Benzo(a)pyrene

Chrysene

Dibenzo(a,h)anthracene

Fluoranthene

Phenanthrene

Pyrene

이들 잔류성 유기 오염물질들은 1) 독성과 2) 잔류성이 크며, 3) 생물축적이 될 뿐만 아니라, 4) 대기나 해류에 의해 장거리까지 운반될 수 있으며, 5) 환경과 인간의 건강에 악영향을 끼칠 수 있는 화합물들이다. 또 이들 화합물들은 물에 잘 녹지 않고 지방에 잘 녹는 특성을 갖고 있어 먹이사슬을 타고 수천-수백만배 농축될 수 있을 뿐만 아니라 독성 및 발암작용을 갖고 있으므로 보건상 매우 중요하다. 대부분의 잔류성 유기 오염 물질들은 인위적으로 생성된 화합물로서 산업 생산공정, 제품의 사용, 쓰레기 폐기, 누출 및 유출, 연료 및 쓰레기의 연소에 의해 환경에 유입된다. 이 화합물들은 휘발성이 있어 대기를 통하여 넓은 지역으로 확산 이동되며 일단 환경에 유입되면 회수가 거의 불가능하다. 그리고 환경내에서 반감기가 매우 길어 오랜 기간에 걸쳐 계속 방출된 이 화합물들은 전지구적으로 전파되고 계속적으로 축적된다.

잔류성 유기 오염물질은 대기를 통한 강하와 하천을 비롯한 각종 육수를 통해 해양환경에 유입이 된다. 이들의 지역적 혹은 전지구적인 이동은 주로 대기 순환에 의해 일어나는 것으로 알려져 있으나 퇴적물이나 해양의 순환에 의해서도 운반될 수 있다. 또한 이들 오염 물질들은 증발, 강하, 재증발의 과정을 거쳐 이동되어 인간활동이 적은 남극이나 북극 등에서도 검출되고 있다.

#### 1. 유기 염소계 농약류 (Organochlorine Pesticides)

유기 염소계 살충제는 1939년 DDT의 살충능력이 밝혀진 이후 광범위하

게 사용되기 시작했다. 1942년에는 Lindane, 1945년에는 Chlordane, 1948년에는 Heptachlor, Aldrin, Dieldrin, Toxaphene 등이 개발되었고, Endrin과 Endosulfan은 1950년대에 도입되었다. Mirex는 1969년 이후 사용되기 시작했다. 1969년 미국에서 DDT가 사용금지된 이후 Methoxychlor가 널리 쓰이기 시작했다. 이들 살충제들은 환경내에서의 지속성이 크고 생물농축에 의한 피해가 우려되어 선진국에서는 70년대 이후 대부분 사용이 금지되었는데도 불구하고 저렴한 가격과 우수한 살충효과 때문에 현재에도 열대 및 개발도상국에서는 계속 사용되고 있다. 유기염소계 농약들은 남극과 북극을 비롯한 전세계의 해양에서 검출되고 있으며, 대기를 통해 이동하여 전세계의 해양으로 유입되고 있다.

우리나라에서도 일부 유기염소계 농약들은 위해성과 잔류성 때문에 국내에서 이미 오래전에 생산과 사용이 금지되었다(Table 17). 그러나 북한에서는 아직도 이러한 유기염소계 농약들이 계속사용되고 있는 것으로 알려져 있다. 우리나라의 경우 10-20여년전에 이미 일부 유기염소계 농약류가 사용이 금지되었음에도 불구하고 여전히 해수, 해양퇴적물, 해양생물체내에서는 이들 유기염소계 농약이 검출되고 있으며, 엔도설판 등 일부 농약은 아직도 계속 사용되고 있다.

## 1) 유기염소계 농약의 용도

### 가. 엔드린(Endrin)

엔드린은 1950년대부터 사용되기 시작했는데, 주로 목화, 쌀, 사탕수수,

Table 17. Banned organochlorine pesticides in Korea

금지년도	농약명(원제명)	사용금지 사유
1969	DDT	잔류성
1969	Endrin	잔류성
1969	Aldrin	잔류성
1970	Dieldrin	잔류성
1979	Heptachlor	잔류성
1979	BHC	잔류성

옥수수 등 많은 종류의 곡물의 해충을 방제하는데 쓰여졌다. 또한 들쥐 등의 설치류(rodenticide)를 방제하는데도 쓰여졌다. 엔드린은 분말, 그레놀(granule), 연고, 유화 농축액(emulsifiable concentrate)으로 판매된다.

나. 톡사펜(Toxaphene)

500톤 이상의 톡사펜이 아래와 같은 상품명이나 물질명으로 제조, 판매되었다. 그중 가장 널리 쓰인 물질명은 캄페클로르(camphechlor)인데 유럽에서 많이 사용되었다. 톡사펜은 많은 종류의 곡물과 동물의 해충 방제에



사용된다. 특사펜은 광범위한 용도로 인하여 많이 쓰인 살충제 중의 하나인데 미국의 경우만 해도 500,000톤 이상이 사용되었다. 미국의 경우에 1947년에 상품 등록이 되었고 1948년 부터 접촉 살충제로 판매되기 시작한 이후에 미국에서 가장 많이 사용된 살충제가 되었다. 특히 특사펜의 사용은 DDT가 금지된 이후에 급격히 증가하였다. 특사펜은 polychlorinated 화합물, polychloroboranes, polydihydrocamphenes 등 최소한 250 가지 이상 화합물의 혼합물이다.

Table 18. Common and trade names of Toxaphenes

Trade name	Allotox	Estonox	Chem-Phene	Geniphene
	Gy-Phene	Phenacide	Phenatox	Toxadust
	Toxadust 10	Toxaspra	Hercules 3956	
	Synthetic 3956	Fasco Terpene	Penphene	Phenacide
	Toxakil	Toxyphen	Melipax	Toxaphen
	Estonox	Attac		
Common name	Toxaphene	Campechlor	Chlorinated Camphene	
	Cotachlorocamphene		Polychlorocamphene	

#### 다. 알드린(aldrin)

알드린과 디엘드린은 1948년에 처음으로 실험실에서 합성이 되었고 1950년 부터 생산이 시작되었다. 알드린은 매우 효과가 뛰어나고 광범위하게 쓰이는 토양 살충제(soil insecticide)이다. 알드린은 해충이 섭취하거나 해충과의 접촉에 의해 해충을 죽인다. 또한 토양내에서 약간의 훈증작용(fumigant action)을 하는 특성이 있어 해충이 서식하는 표층 토양에 잘 퍼져서 해충제거에 효과가 크다. 알드린은 토양의 흰개미(termite), corn rootworms, 옥수수 딱정벌레(seed corn beetle), 옥수수 구더기(seed corn maggot, 방아벌레과의 애벌레(wireworm), 벼 바구미(rice water weevil), 메뚜기(grasshopper), 일본 딱정벌레(Japanese beetle) 등을 방제하는데 쓰인다. 또한 옥수수나 감자 등의 재배지를 처리하고 벼씨 종자에 뿌려 해충을 제거하는데 쓰인다. 알드린은 목조건축물을 흰개미로 부터 보호하는데도 쓰인다. 알드린은 유화 농축액(emulsifiable concentrate)이나 수화 분말(wettable powder) 등으로 판매된다.

#### 라. 디엘드린(dieldrin)

디엘드린은 주로 목재와 건축물을 해충과 흰개미로 부터 보호하는데 쓰인다. 산업용으로는 흰개미, 나무 좀(wood borer), 섬유해충(textile pest) 등의 방충제(moth-proofing)로 쓰인다. 디엘드린은 해충이 섭취(stomach poison)하거나 접촉에 의해 해충을 죽인다. 그러나 디엘드린은 더 이상 농업에는 쓰이지 않고 있다. 디엘드린은 병원균을 옮기는 해충의 애벌레를

죽이는 스프레이로 사용되어 왔으나 많은 나라들이 이러한 사용을 금지했다. 알드린은 유화 농축액(emulsifiable concentrate)이나 수화 분말(wettable powder) 등으로 판매된다.

마. 헵타클로르(heptachlor)

헵타클로르는 해충이 섭취(stomach poison)하거나 접촉에 의해 흰개미와 토양의 해충을 죽이는데 40년 이상 쓰여왔다. 이 농약은 미국에서 개발되었는데 미국에서는 지하의 불개미를 죽이는데만 사용되고 있고 여러 나라들이 점차로 사용을 금하고 있다.

바. 클로르단(chlordane)

보통 클로르단은 26 가지 이상의 화합물이 섞인 혼합물이다. 클로르단은 45년 이상 광범위하게 접촉에 의해 주로 제초제와 동물을 죽이는데 사용되어 왔다. 이것이 개발된 미국에서는 단지 지하의 흰개미를 방제하는데만 사용되고 있다. 다른 나라들도 점차로 사용을 금지하고 있다.

사. 미렉스(Mirex)

미렉스는 화염 억제제(flame-retardant)와 섭취 살충제(stomach insecticide)로 주로 쓰인다. 미렉스는 주로 미끼에 섞어서 주로 불개미와 일개미 등의 개미를 방제하는데 쓰인다. 미국은 해충방제에 많은 양의 미렉스를 사용했으나 1978년에 사용이 금지되었다. 미렉스는 디클로란

(dechlorane)이란 이름으로 플라스틱, 고무, 페인트의 화염 억제제로 쓰이고 있다. 미국의 경우에 이 용도의 미렉스 사용을 허용하고 있다.

#### 아. DDT

DDT는 1874년에 최초로 합성이 되었으나 1940년이 되서야 살충효과가 알려지게 되었다. 2차 세계대전중에 DDT는 티푸스를 전염시키는 이와 말라리아를 전염시키는 모기의 애벌레를 박멸하는데 사용되었다. 2차 세계대전 이후에 DDT의 사용량은 급격하게 증가하였는데, 다양한 종류의 해충을 박멸하는데 주로 사용되었다. 미국의 경우에 1972년 USEPA에 의해 제조와 사용이 금지되었다.

#### 2) 유기염소계 농약의 국내 사용 현황

앞에서 밝힌 바와 같이 대부분의 잔류성이 강한 유기염소계 농약들은 이미 국내에서 생산, 사용 및 수입이 금지되었다. 이제까지 국내에서 수입, 생산 및 사용된 유기염소계 농약의 양은 Table 19와 같다.

Table 19. Chlorinated Pesticides Usage in Korea(active ingredients, kg).

1. Aldrin

Year	Prod.	Consum.	Import
1957		1474	1474
1958			
1959			
1960			
1961			
1962	1000	1374	6100
1963	14069	27682	28514
1964	389932	356798	5885
1965	295672	151620	7226
1966	449340	471076	13222
1967	670600	506500	18062
1968	547500	691400	21282
1969	498000	710000	20374
1970	514230		9557
1971	442000	301644	12628
1972	117		
Total	3822460	3219568	144325

## 2. BHC

Year	Prod.	Consum.	Import
1953	2867	12506	
1954	5215	8897	12494
1955	16443	23325	8593
1956	27125	27599	
1957	29859	29188	
1958	25457	22121	
1959	39896	350333	312268
1960	20854	365486	341410
1961	21140	98127	68770
1962	35121	510252	474724
1963	30787	24074	206990
1964	35658	30563	
1965	13106	15532	148282
1966	55817	19718	24799
1967	1491859	25187	873500
1968	18973	269981	595500
1969	77779	881231	
1970	119748	1414135	
1971	39760	1772772	
1972	111449	1098014	
1973	109380		
1974	110859		
1975	184927		
1976	142405		
1977	111576		
1978	140591		
1979	67784		
Total	3086436	6999038	3067330

### 3. DDT

Year	Prod.	Consum.	Import
1949			42183
1950		112695	118500
1951	18182	23987	
1952	1395	1395	
1953	12450	419410	142846
1954	16695	25412	
1955	30687	61239	76625
1956	37842	113878	215217
1957	49790	66441	4600
1958	4203	4236	46674
1959	760	881	
1960	650	1115	
1961	500		12750
1962	5	25	12979
1963	3273	72717	84000
1964	7113	10252	57970
1965		38191	55595
1966	34138	29494	35500
1967	69015	58274	66000
1968	93518	95032	105000
1969	101022	80736	79650
1970	128167	74673	81000
1971	148723	169558	82610
Total	758126	1459640	1319699

#### 4. Dieldrin

Year	Prod.	Consum.	Import
1962		4238	
1963	19646	22963	2498
1964	5717	1175	
1965		6946	
1966			
1967	378000	378000	
1968	520020	503750	11073
1969	230202	172400	5080
1970	104300	312028	983
1971	11530	7217	
Total	1269415	1408717	19634



## 5. Endosulfan

Year	Prod.	Consum.	Import
1970	4029		4600
1971	22927		26312
1972	145229		215000
1973	267564		255000
1974	168473		230801
1975	169907		170000
1976	141161		177020
1977	172759		224600
1978	75047		86800
1979	165165		235000
1980	211036		260000
1981	170295		207875
1982	153491		189000
1983	213581	219540	122720
1984	110747	102806	
1985	125068	110212	10000
1986	235082	191219	
1987	127237	169264	
1988	124006	137684	
1989	137771	151151	
1990	197974	184800	
1991	234779	203583	
Total	3373327	1470259	2414728

## 6. Endrin

---

---

Year	Prod.	Consum.	Import
1965	6979	2811	
1966	5671	4311	
1967	27850	33054	
1968	30442	24270	11679
1969	29402	27882	1019
1970	20740	26146	4237
1971	11530	11530	2377
Total	132614	130004	19311

---

---

## 7. Lindane

Year	Prod.	Consum.	Import
1952			4377
1953		162	720
1954			3160
1955	1080	1053	11081
1956	5126	527	30385
1957	2580	958	42224
1958	5958	2804	33756
1959	4955	4716	6802
1960	1687	2106	3063
1961	2791	1082	100
1962	2796	2779	8655
1963	1816	1992	8440
1964	3062	1862	
1965	1719	1675	9100
1966	441	441	9142
1967	1243	1243	
1968			
1969	1057	1073	1000
1970	336	715	500
Total	36647	25187	172505

## 8. Heptachlor

---

---

Year	Prod.	Consum.	Import
1962		67808	97968
1963	11443	420326	39974
1964	26093	840032	19976
1965	23726	902014	25159
1966	53870	1294546	63411
1967	49653	1535528	58060
1968	59195	1504009	104326
1969	36308	1389972	81582
1970	42586	1730663	114488
1971	50120	1849510	112945
1972	25294		82554
1973	30038		55158
1974	31723		64321
1975	38493		60327
1976	37749		55158
1977	44439		64321
1978	40234		60327
1979	42397		63503
Total	643362	11534408	1223558

---

---

## 9. Toxaphene

Year	Prod.	Consum.	Import
1969	3457		4536
1970	5000		6985
1971	9465		11849
1972	23000		61081
1973	9615		13778
1974	6075		6736
1975	9781		
1976	24837		35517
1977	19447		18065
1978	27007		
Total	137684		158547

## 2. 유기 염소계 화합물 (Organochlorine Compounds)

폴리클로리네이티드 비페닐(PCBs)은 화학적으로 안정하고 비활성이며 유전성(dielectric)을 띠기 때문에 1929년 처음 합성된 이래 가소제(plasticizer), 콘덴서나 변압기의 유전체, 가스터빈이나 진공펌프의 윤활제

등으로 사용되었다(Table 19). PCBs는 환경지속성과 높은 독성 때문에 1979년 모든 생산과 사용이 금지되었지만 그 이전에 생산된 PCBs는 여전히 전세계적으로 사용이 되고 있다. 1983년 까지도 이를 생산했던 공장이 있었다고는 하나 전세계의 대부분의 공장들이 1970년대에 생산을 중단했는데, 가장 큰 생산업체인 Monsanto는 1977년에 생산을 중단했다. PCBs 혼합물은 모두 비페닐(biphenyl)을 염소 가스로 직접 염소화 반응을 시켜 제조한다. 원하는 물리적, 화학적 특성을 갖는 제품을 생산하기 위해서 반응 조건을 조절하여 평균 염소화 정도를 제어한다(21-68%). 1976년 까지의 생산량은 약 610,000 톤으로 추산되며 이중 570,000 톤이 미국의 Monsanto에 의해 생산되었다. 1980년 까지의 총생산량은 약 1,100,000 톤으로 추산된다. Monsanto에서 생산한 PCBs 혼합물은 Aroclor라는 상표명으로 판매가 되었다. 그런데 이 상표명은 PCBs 뿐만아니라 여러개의 염소가 붙은 방향족 탄화수소를 총칭한다.

PCBs는 209가지 화합물의 혼합물로서 생산회사에 따라 여러 종류가 시판되었다. 1980년 이전의 전세계 총생산량은 110만톤 정도(Table 19)로서 아직까지 70%가 변압기나 콘덴서 등에 광범위하게 사용되고 있어(Table 20) 향후 수십년 이상 환경내로 방출될 것으로 예측하고 있다(WHO, 1993). PCBs는 현재 생산되고 있지 않으므로 과거에 생산된 PCBs가 포함되어 있는 모든 제품들이 폐기되는 과정에서 대부분 방출된다.

우리나라 연안에서도 육상에서 유입된 PCBs가 상당히 높은 농도로 검출

되고 있으나 아직까지 광범위한 조사가 되지 못하여 정확한 오염현황은 밝혀져 있지 못한 상태이다. PCBs의 해양 유입원에 관한 조사가 전무하기 때문에 국내에는 환경내로 유입되는 수지에 관한 정보가 없는 상태이다.

다이옥신과 퓨란은 다른 지속성 유기오염물질과는 달리 어떤 특정한 목적을 위해 제조되는 화합물이 아니다. 연구 목적을 위하여 소량의 화합물을 실험실 수준에서 합성하기는 하지만 상업적인 목적에서 생산된 바는 아직 없다. 이 화합물들의 주요한 오염원은 이태리 Seveso(다이옥신 TCDD 2-3kg 유출)에서 일어났던 것과 같은 산업사고(industrial accidents), 산업폐기물의 부적절한 폐기(미국 미조리주, 나이가라 폭포), 미국 플로리다주의 Eglin 공군기지의 경우와 같은 화학물질의 과다한 사용이다(1962-1970년 사이에 73톤의 2,4,5-T 살포로 인하여 2.8kg 이상의 TCDD 유입). 또한 다이옥신과 퓨란은 주로 chlorinated phenols와 유도체, chlorinated diphenyl ethers, PCBs 등 여러 화학제품을 생산할 때 불순물로 생성되거나 도시쓰레기, 하수 슬러지, 병원 쓰레기, 유해폐기물 등의 소각, 금속 산업과 금속 처리 산업, 폐전선의 재생, 자동차 배기가스, PCBs를 사용하는 전기제품의 화재와 사고, 펄프와 제지 산업, 석탄.토탄.목재의 소각, 무기염소의 선구 물질(precursor), 광화학 공정에서 생성된다.

우리나라에서는 아직 다이옥신의 분석이 이루어지지 못하고 있기 때문에 오염도가 파악되지 않고 있는 실정이다. 최근 목동 소각장건설을 둘러싸고 주민과 당국사이의 마찰이 있었던 것도 다이옥신 때문이나 분석기술을 확보

Table 20. Estimated usage of PCBs in transformers and large capacitors  
in a number of OECD countries in 1930-1980(in tonnes)

국가	변압기	축전기	총량	총 PCBs 생산량
프랑스	50,700	8,800	59,500	101,600
서독	44,400	17,700	62,100	130,800
이태리	10,400	1,500	11,900	23,500
일본	37,200		37,200	59,300
스페인	20,100	3,400	23,500	25,100
영국	5,800	8,100	13,900	66,800
미국	125,800	130,400	256,200	647,000
총량	294,400	169,900	464,300	1,054,800



Table 21. Usage of PCBs

Usage	
PCBs	dielectric fluids in capacitors and transformers
	heat transfer fluids
	hydraulic fluids
	lubricating and cutting oils
	additives in pesticides, paints, copying paper
	plastics(plasticizers)
	flame retardants
	wax extenders
	furnishings
	interior decoration
	building constructions: surface treatment for textiles
	adhesive for waterproof wall coatings
	paints
	sealant putties

하지 못한 우리나라에서는 아직 실측된 농도가 보도되지 못하고 있다. 참고로 영국 도시의 토양에서 검출되는 이들 화합물들의 농도는 Table 21과 같

다(ECETOC, 1992).

Table 22. PCDDs and PCDFs concentrations in the urban soils of UK.  
(unit: ng/g soil)

PCDD	Concentration	PCDF	Concentration
TCDD	0.07	TCDF	0.23
PeCDD	0.07	PeCDF	0.19
HxCDD	0.15	HxCDF	0.16
HpCDD	0.82	HpCDF	0.15
OCDD	10.0	OCDF	0.20

### 3. 유기 브롬계 화합물 (Organobromin Compounds)

HBBs는 브롬(Br)이 6개가 붙은 PBBs(Polybrominated biphenyls)를 총칭한다. 상업적 목적으로 생산되는 PBBs는 주로 브롬이 6개, 8개, 9개, 10개 붙은 화합물들인데 이 화합물들 중에 여러 다른 PBBs도 불순물로 섞여 있다. 이 화합물들은 첨가형의 소화제(flame retardants)로 쓰이는데 건성 고체나 액성 중합체와 혼합하면 필터 형이 되고 불이 붙을 경우에 브롬화 수소를 방출하면서 소화시킨다. HBBs는 주로 FireMaster BP-6와 FF-1에 대해서 많이 알려져 있는데 그 이유는 미국 미시간주에서 부주의로 인하여

가축사료에 첨가될 마그네슘 옥사이드 대신에 이 화합물을 첨가하여 이 화합물에 오염된 수천 마리의 소, 돼지, 양, 그리고 수백만 마리의 닭이 폐사한 사건이 발생했었기 때문이다. FireMaster의 주성분은 2,2',4,4',5,5'-Hexabromobiphenyls(60-80%)와 2,2',3,4,4',5,5'-Heptabromobiphenyl(12-25%)이다. FireMaster가 미국에서 처음 제조 판매된 것은 1970년 부터인데 미시간주의 사건 이후인 1974년에 생산 및 사용이 금지되었다. HBBs도 유기염소계 농약과 마찬가지로 안정하고 지속성이 있고, 친유성이어서 물에 거의 녹지 않는 특성을 가지고 있다. 또한 분해가 잘 안되고 생물농축이 되므로 일단 환경에 유입이 되면 먹이사슬을 통해 농축될 위험이 매우 크다. Dibromoethane은 과거에 훈증제(fumigants)로 사용되었는데 독성학적 연구결과에 의하면 인체에 유해한 화합물로 판명되었다.

#### 4. 다환 방향족 탄화수소 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)

1985년 자료에 의하면 해양으로 유입되는 유류의 연간 총량은 약 3,200 만톤으로서 육상기인 오염원으로 부터 해양으로 유입되는 유류는 약 1,400 만톤 정도이다. 탄화수소의 성분중 환경에서의 지속성 및 발암성 등으로 가장 많은 관심의 대상이 되어온 다환방향족탄화수소(PAHs)는 석유나 석탄 등의 화석연료에 포함되어 있으며, 탄소와 수소를 가진 유기물질의 열분해(thermal decomposition)에 의해 생성될 수 있다. PAHs는 열분해 혹은 불완전 연소(pyrolysis or incomplete combustion)나 탄소화 공정(carbonization processes)에서 상당량 생성된다.

PAHs는 산불과 같은 자연적인 원인에 의해서도 생성되나 주로 화석연료의 연소나 소각과 같은 인위적인 원인이 주를 이룬다. 연안해역에서는 하수나 산업폐기물, 하천등에 의한 유입량이 주된 오염원이며, 대기를 통한 유입량도 상당한 것으로 알려져 있다. PAHs는 수중 용해도가 낮고 입자상에 흡착되어 생물농축되며, 자연상태 혹은 생물체내에서 서서히 분해되므로 지속성이 크다. 생물체내에 흡수된 PAHs는 복합기능효소계를 통하여 산화되면서 활성화되어 발암성을 나타내기도 한다.

Table 23. Molecular weight and carcinogenicity of selected PAHs

IUPAC Name	Molecular Wt.	Carcinogenicity
Anthracene	276	<+
Benzo(a)anthracene	228	<+
Benzo(a)fluoranthene	252	++
Benzo(a)pyrene	252	++++
Chrysene	228	<+
Dibenz(a,h)anthracene	278	+++
Fluoranthene	202	-
Phenanthrene	178	-
Pyrene	202	-

++++ = very active, +++ = active, ++ = moderately active,  
 + = weakly active, < means less than, - = inactive or unknown.

5. Transformation products(변형산물)와 Contaminants(오염물질, 불순물)

환경에 유입된 화합물들은 광반응, 미생물작용, 생체내 반응 등에 의하여 때로는 원래의 화합물보다 독성이 더 큰 화합물로 변형되기도 하고 유기염

소계 농약이나 PCBs등을 제조하는 과정에서 원하지 않는 반응이 일어나거나(side reaction) 불순물로 dioxin이나 dibenzofuran처럼 원래의 화합물보다 독성이 더 높은 화합물이 생성되기도 한다(Table 23).

#### 제 4 절 잔류성 유기오염물질의 규제 대비책

UNEP는 다음과 같은 잔류성 유기오염물질 규제 목표를 세워놓고 있다.

- 1) 해양환경에 위험한 수준까지 축적될 위험이 있는 잔류성 유기오염물질의 방출 및 배출을 감소시키고 궁극적으로 제거한다.
- 2) 적절한 통제하에 사용될 수 없으며 인간과 해양환경에 위협을 초래할 수 있는 이러한 잔류성 유기오염물질에 대한 규제 시기는 빠르면 빠를수록 좋으나 늦어도 2005년까지는 대체한다.
- 3) 생산공정, 연소, 소각 과정에서 생성될 수 있는 부산물(예: dioxins, furans, PAHs)을 제거 혹은 감소시킬 수 있는 청정 생산 공정(최선의 생산 공정)을 사용한다.
- 4) 병충해를 제거할 수 있는 대체 방법(유기농법 및 통합 농약관리)을 장려한다.

Table 24. Transformation products and contaminants of organochlorines

Name	Transformation products	Contaminants
heptachlor	heptachlor epoxide hydrogen chloride carbon monoxide	
DDT	DDD, DDE, dicofol	
mirex	chlordecone	
endrin	12-ketoendrin	
dieldrin	photodieldrin	
chlordane	oxychlordane nonachlor heptachlor	hydrogen chloride phosgene gas hexachlorocyclopentadiene carbon monoxide
PCBs		pentachlorodibenzofuran, chlorinated naphthalenes tetrachlorodibenzofuran

이러한 규제목표에 대해 한국이 해양생태계와 인간에게 유해한 영향을 미치는 잔류성 유기오염물질에 대하여 국내의 경제적인 이유 등을 들어 규제시한을 유보시킬 것을 주장하기는 어렵다. 잔류성 유기오염물질이 환경 및 인체에 미치는 각종 영향에 관해서는 이미 과학적으로 충분히 밝혀져 있으므로 근본적으로 규제의 타당성을 부정하기는 어렵다. 그러나 국내의 경우에 마산만을 제외하고는 국내에서는 잔류성 유기오염물질에 대한 오염현황과 추세가 밝혀진 바 없으므로 과학적인 근거에 의해 잔류성 유기오염물질에 의한 해양오염이 타국에 비하여 경미하다는 주장을 할 수도 없는 실정이다. 마산만의 경우에도 선진외국의 오염된 해역과 유사한 수준의 농도가 검출되고 있으므로 해양환경보전의 측면만을 고려한다면 우리나라도 규제시한을 2005년으로 정하는데 찬성해야 할 입장이다. 그러나 잔류성 유기독성물질에 대한 규제시한이 2005년으로 최종 결정될 경우 산업 전반에 미치는 파급효과는 CFC 사용금지와는 비교할 수 없을 정도로 막대할 것으로 예상되며, 10년내에 공정의 대체 및 오염원의 제거를 위해 투자되어야 할 비용은 엄청날 것으로 예측된다. 예를 들어 다환방향족탄화수소(PAHs)의 경우 모든 자동차 배기가스에 포함되어 있으며 대부분의 공장에서 대기중으로 방출하고 있으므로 실질적인 규제가 시작될 경우 무역과 연계하여 거의 전업종에서 청정기술로의 전환이 불가피할 것으로 보인다. 유기염소계 농약류의 경우에는 DDT를 비롯하여 대부분이 이미 사용금지 되었으므로 추가적인 사용금지 조치로서 규제에 따를 수 있으나 PCBs의 경우에는 기존의 오염원을 제거하려면 PCBs를 포함하고 있는 변압기를 새로 대체하고 그속에



들어 있는 PCBs를 수거하여 처리하여야 하는 등 엄청난 예산이 소요될 것이다. 또다른 예로서 다이옥신의 경우에도 모든 쓰레기 소각장은 고온 소각으로 대체되어야 하며, 다이옥신을 다량 배출하는 제지공장을 비롯한 업체에서는 공정을 대체하거나 배출을 줄이는 고가의 공해방지시설을 확보하지 않으면 수출에 지장을 받게 될 것이다. CFC와는 달리 잔류성 유기오염물질은 규제 대상 물질이 방대하고 사용되거나 방출되는 장소가 매우 다양하기 때문에 산업 전반에 미치는 파급효과는 훨씬 지대할 것으로 추정할 수 있다. 그러나 이러한 파급효과를 피상적으로 추정하는 것은 불가능하므로 단기간내에 정책연구과제를 수행하여 각 오염물질별로 우리나라의 산업에 미치는 영향을 보다 심층적으로 추정해 보아야만 파급효과의 수준을 정확히 예상할 수 있을 것이다. 워싱턴 회의에서 규제시한의 유보를 주장하거나 향후 파급효과를 최소화하기 위해서는 잔류성 유기오염물질의 규제가 우리나라 산업에 미칠 영향에 대한 사전조사가 시급하며 이를 통해 한국의 입장이 정리되어야 할 것이다. UNEP의 주관하에 잔류성 유기오염물질의 규제가 최우선적으로 실행에 옮겨질 것이 거의 확실시되고 있으므로 규제시한이 연장되더라도 잔류성 유기오염물질 규제에 대한 대책 마련이 시급하다. 현재 국내에서는 잔류성 유기독성물질에 대한 국민적인 인식이 매우 낮은 실정이며 이들 오염물질을 측정할 수 있는 연구기관도 극히 제한되어 있다. 산업에 미칠 영향분석과는 별도로 잔류성 유기오염물질의 규제 이후에 대비한 장기적인 대책또한 시급히 수립되어야 할 것이다. 잔류성 유기오염물질 규제 이후 필수적으로 요구되는 청정기술은 선진국에서 전부 보유하고 있으

므로 개도국들은 기술이전과 재정지원 문제를 규제시한 유보와 연계하여 제시할 것으로 전망된다. 하지만 청정기술 분야에서 상당히 낙후되어 있으면서도 개도국에 포함되기 어려운 우리나라의 경우에는 추가적인 재정지원 및 기술이전 문제에 있어서 배려를 받기 어려울 것으로 예상된다.

제 6 장  
결론 및 제언



## 제 6 장 결론 및 제언

IMO사업에서는 필리핀 바탕가스항에 설치하기 위한 실시간 연안모니터링 장치를 개발하였다. 본 장치는 초음파센서를 이용한 파고조위 관측 시스템으로써, 고신뢰도의 Datalogger를 사용하고, 자료저장 용량은 2MB이며, 9600bps속도의 MNP 모뎀을 사용하는 등 첨단 시스템이지만, 소비전력이 적어서 소형 태양전지로 작동되며 전체시스템이 연안 구조물에 쉽게 설치될 수 있는 소형인 것이 특징이다. 특히, 수입된 초음파센서를 제외하고는 모두 국내 기술로 국산화하여 설치 후의 운영과 서비스가 편리하게 되었다. 본 과제에서는 관측시스템을 먼저 우리나라의 태안화력발전소 앞 Pier에 설치하고 시험 가동하여, 현장에서의 문제점들을 해결한 다음 필리핀 바탕가스항의 Pier에 IMO관계자와 공동으로 설치하였다. 여기서 개발된 시스템은 전화가 연결될 수 있는 곳이면 어디든지 독립적으로 설치되고 무인으로 자동 운영될 수 있어서, 동아시아지역의 연안관측소들을 한국 기술의 주도로 확장해 나갈 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 국제공동 연구개발은 동아시아 지역의 연안환경 실시간 모니터링 분야 뿐만 아니라 국내의 연안환경 모니터링 기술 개발에도 유용한 것이다. 현재 우리나라는 많은 연안개발 사업과 해상교통의 증가로 인하여 연안환경이 위협받고 있으나 국내의 환경 모니터링 수준은 아직 미비하여 대부분 수입장비에 의존하고 있기 때문이다. 항만 개발, 연안역 개발, 인공섬 건설

등 많은 연안개발이 계획 추진되고 있고, 해상교통의 증가로 해마다 200여 건 이상의 유류 오염 사고가 발생하고, 이미 서해안과 남해안의 많은 항만과 폐쇄성 내만은 연안해역이 크게 오염되는 등 연안환경이 파괴되고 있으므로, 이러한 피해를 줄이면서 연안개발과 연안활동을 추진하기 위한 연안 모니터링과 체계적인 연안역 관리 기술의 개발이 중요한 것으로 보인다.

굴 양식장의 채묘 부진은 선박 도료에 방오제로서 첨가되는 TBT에 의한 것으로 추정되고 있으며, 어장 노후화나 수질 악화로 인한 먹이나 기타 환경 요인의 변화가 부가적으로 영향을 미치고 있는 것으로 추측되고 있다. 그러나 굴 채묘 저하가 정확하게 어떠한 원인에 의한 것인지를 규명할 수 있는 확실한 증거는 없는 실정이다. 미국, 프랑스, 영국, 일본, EC 등 전세계에서 TBT의 사용을 규제하고 있으나 우리나라에서는 TBT를 아직까지 규제하지 않고 있어 패류 등 비표적생물의 피해가 발생하고 있으며, 패각 기형이나 성전환, 성장저해 등의 영향이 남해안 일대에서 광범위하게 관찰되고 있다. 굴 채묘 저하의 원인을 정확히 규명하고 시급히 대책을 마련하지 않을 경우 남해안 일대의 굴양식 생산에 큰 지장을 초래할 수 있으며 외국에서와 같이 굴양식 어가에 막대한 피해를 유발하게 될 것이다.

UNEP가 주관하는 잔류성 유기오염물질의 전지구적 규제에 대비한 대책 수립이 매우 시급한 실정이다. 이를 위해서는 다음과 같은 내용의 연구가 수행되어야 한다.

- 최우선 규제대상 잔류성 유기오염물질의 발생원 조사

- 잔류성 유기오염물질 규제에 관한 외국동향 조사
- 청정기술 및 대체물질의 개발 동향 조사
- 전지구적 규제에 따른 파급효과 분석
- 잔류성 유기오염물질에 의한 해양오염현황 및 추세 분석
- 잔류성 유기오염물질의 모니터링 기술 현황 조사
- 국내의 사용 규제 대책 수립
- 그린라운드에 대비한 국가적 대응 전략 수립





# 참 고 문 헌



## 참 고 문 헌

- 이 수형 등, 1990. 연안환경 보전기술 개발연구. 해양연구소 보고서 BSPG 00112-315-4.
- 홍 기훈 등, 1987. 한국연안퇴적유기물의 초기숙성과정에 관한 연구. 한국해양연구소 보고서, BSPE 00111-153-4.
- 홍 기훈 등, 1993. 연안 해양환경에서의 탄소·질소·인·규소의 플럭스 변화에 관한 연구. 해양연구소 보고서, BSPE 00307-575-4.
- Ainsworth, S. J., 1992. Plastic additives. **Chem. Eng. News**, 31: 169-179.
- Alvarez, M. M. and D. V. Ellis, 1990. Widespread Neogastropod imposex in the northeast Pacific: Implications for TBT contamination surveys. **Mar. Poll. Bull.**, 21: 244-247.
- Alzieu, C. 1986. TBT detrimental effects on oyster culture in France : Evolution since antifouling paints regulation. In **Proceedings of the Organotin Symposium. Oceans '86 Conference**, Marine Technology Society, Washington, DC, USA, 1130-1134.
- Ambrose, P. 1994. Anti-fouling news. **Mar. Poll. Bull.**, 27: 134.
- Anderson, C. D. and R. Dalley. 1986. Use of organotins in antifouling

- paints. In **Proceedings of the Organotin Symposium. Oceans '86 Conference**, Marine Technology Society, Washington, DC, USA, 1108-1113.
- Blunden, S. J. and A. Champman. 1986. Organotin compounds in the environment. In Craig P. J. ed. **Organometallic compounds in the environment**. Harlow, Essex, Longman Group Ltd. pp 111-159.
- Bryan, G. W., P. E. Gibbs, G. R. Burt and L. G. Hummerstone. 1986. The decline of the gastropod *Nucella lapillus* around south-west England: Evidence for the effect of tributyltin from antifouling paints. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, 66: 611-640.
- Bushong, S. J., L. W. Hall Jr., W. E. Johnson and R. L. Herman. 1988. Acute toxicity of tributyltin to selected Chesapeake Bay fish and invertebrates. **Wat. Res.**, 22: 1027-1032.
- Chau, Y. K., Z. Shuzen and R. J. Maguire. 1992. Determination of butyltin species in sewage and sludge by gas chromatography-atomic absorption spectrometry. **Analyst**, 117: 1161-1164.
- Dowson, P. H., J. M. Budd and J. N. Lester. 1993. A study of the partitioning and sorptive behaviour of butyltins in the aquatic environment. **Appl. Organomet. Chem.**, 7: 623-633.
- Dowson, P. H., J. M. Bubb and J. N. Lester. 1994. The effectiveness of

the 1987 retail ban on TBT based antifouling paints in reducing butyltin concentrations in east Anglia, UK. **Chemosphere**, 28: 905-910.

ECETOC. 1992. Technical Report No. 49: Exposure of man to dioxins: A perspective on industrial waste incineration. 91pp.

Ellis, D. V., L. A. Pattisina. 1990. Widespread neogastropod imposex : A biological indicator of global TBT contamination ?. **Mar. Poll. Bull.**, 21: 248-253.

Fent, K. and J. Hunn. 1991. Phenyltins in water, sediment, and biota of freshwater marinas. **Environ. Sci. & Tech.**, 25: 956-963.

Fent, K., J. Hunn, D. Renggli and H. Siegrist. 1991. Fate of tributyltin in sewage sludge treatment. **Mar. Environ. Res.**, 32: 223-231.

Fent, K. and M. D. Muller. 1991. Occurrence of organotins in municipal wastewater and sewage sludge and behavior in a treatment plant. **Environ. Sci. & Tech.**, 25: 489-493.

Gabrielides G. P., C. Alzieu, J. W. Readman, E. Bacci, O. Aboul Dahab, and I. Salihoglu. 1990. MED POL survey of organotins in the Mediterranean. **Mar. Poll. Bull.**, 21: 233-237

Gibbs, P. E., G. W. Bryan, P. L. Pascoe and G. R. Burt. 1987. The use of the dogwhelk (*Nucella lapillus*) as an indicator of tributyltin

- contamination. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, 67: 507-523.
- Harrison, R. M.. 1990. Pollution: Causes, Effects, and Control. 2nd ed. Royal Society of Chemistry 393pp.
- Horiguchi, T., H. Shiraishi, M. Shimizu and M. Morita. 1994. Imposex and organotin compounds in *Thais clavigera* and *T. bronni* in Japan. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, 74: 651-669.
- Huggett, R. J., M. A. Unger, P. E. Seligman and O. A. Valkirs. 1992. The marine biocide tributyltin : Assessing and managing the environmental risk. **Environ. Sci. & Tech.**, 26: 232-237.
- Iwata, H., S. Tanabe, N. Miyazaki and R. Tatsukawa. 1994. Detection of butyltin compound residues in the bladder of marine mammals. **Mar. Poll. Bull.**, (in press)
- Kim, C. K. 1994. Three-dimensional numeric model experiments of tidal and wind-driven currents in Chinhae Bay, **J. Korean Soc. Ocean.**, 29: 95-106.
- Laughlin, R. B. Jr., W. French and H. E. Guard. 1986. Accumulation of bis(tributyltin) oxide by the marine mussel *Mytilus edulis*. **Environ. Sci. & Tech.**, 20: 884-890.
- Lawler, I. F. and J. C. Aldrich. 1987. Sublethal effects of bis(tri-*n*-butyltin) oxide on *Crassostrea gigas* spat. **Mar. Poll.**

- Bull.**, 18: 274-278.
- Lawenstein, F. 1986. **Technol. Rev.**, 89: 12-14.
- Lee, R. F., A. O. Valkirs and P. E. Seligman. 1989. Importance of microalge in the biodegradation of tributyltin in estuarine waters. **Environ. Sci. & Tech.**, 23: 1515-1518.
- Maguire, R. J. and R. J. Tkacz. 1985. Degradation of the tri-n-butyltin species in water and sediment from Toronto harbor. **J. Agric. Food Chem.**, 33: 947-953.
- Maguire, R. J., R. J. Tkacz, Y. K. Chau, G. A. Bengert and P. T. S. Wong. 1986. Occurrence of organotin compounds in water and sediment in Canada. **Chemosphere**, 15: 253-274.
- Meyers-Schulte, K. J. and C. A. Dooley. 1990.  $^{124}\text{Sn}$  as a tracer of tributyltin degradation in seawater. **Mar. Chem.**, 29: 339-354.
- Muller, M. D. 1987. Comprehensive trace-level determination of organotin compounds in environmental samples using high-resolution gas chromatography with flame photometric detection. **Anal. Chem.**, 59: 617-623.
- NRC. 1980. The International Mussel Watch, Report of a Workshop. National Research Council, National Academies Press, National Academy of Science, Washington, D.C.

- Oh, J. R., S. H. Kahng, H. M. Hwang, S. H. Lee and J. G. Je, Tributyltin contamination in blue mussels from Chinhae Bay. **J. Korean Soc. Ocean.**, (in press)
- Oh, J. R., S. H. Kahng, H. M. Hwang, S. H. Lee and J. H. Shim, Tributyltin in oysters and mussels of Chinhae Bay. **Bull. Korea Fish. Soc.**, (in press)
- Phillips, D. J. H. and P. S. Rainbow. 1994. In *Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants*. Chapman & Hall. 371pp.
- Salazar, M. H. and S. M. Salazar. 1991. Assessing site-specific effects of TBT contamination with mussel growth rates. **Mar. Environ. Res.**, 32: 131-150.
- Seligman, P. F., A. O. Valkirs and R. F. Lee. 1986. Degradation of tributyltin in San Diego Bay, California, waters. **Environ. Sci. & Tech.**, 20: 1229-1235
- Seligman, P. F., J. G. Grovhoug, A. O. Valkirs, P. M. Stang, R. Fransham, M. O. Stallard, B. Davision and R. F. Lee. 1989. Distribution and fate of tributyltin in the United States marine environment. **Appl. Organomet. Chem.**, 3: 31-47
- Snoeij, N. J, A. H. Penninks, and W. Seinen. 1987. Biological activity of organotin compounds—an overview. **Envir. Res.**, 44: 335-353.



- Stallard, M. O., S. Y. Cola and C. A. Dooley. 1989. Optimization of butyltin measurements for seawater, tissue, and marine sediment samples. **Appl. Organomet. Chem.**, 3: 105-114.
- Stang, P. M. and P. E. Seligman. 1986. Distribution and fate of butyltin compounds in the sediment of San Diego Bay. In **Proceedings of the Organotin Symposium. Oceans '86 Conference**, Marine Technology Society, Washington, DC, USA, 1256-1261.
- Starbird, E. A. and R. F. Sisson. 1973. Friendless squatters of the sea. **Nat. Geog. Nov.**, 623-633.
- Stephenson, M. D. and D. R. Smith. 1988. Determination of tributyltin in tissues and sediments by graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Anal. Chem.**, 60: 696-698.
- Tas, J. W. and A. Opperhuizen. 1991. Analysis of triphenyltin in fish. **Mar. Environ. Res.**, 32: 271-278.
- UNESCO. 1992. The international mussel watch; A global assessment of environmental levels of chemical contaminants. Paris.
- U'ren, S. C. 1983. Acute toxicity of bis(tributyltin) oxide to a marine copepod. **Mar. Poll. Bull.**, 14: 303-306.
- Waldock, M. J. and J. E. Thain. 1983. Shell thickening in *Crassos-*

- trea gigas*: Organotin antifouling or sediment induced. **Mar. Poll. Bull.**, 14: 411-415.
- WHO. 1993. Environmental Health Criteria 140: Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls(Second Edition). Geneva. World Health Organization. 682pp.
- WHO. 1990. Environmental Health Criteria 116: Tributyltin compounds. Geneva. World Health Organization. 37-38
- Widdows, J., S. L. Moore, K. R. Clarke and P. Donkin. 1983. Uptake, tissue distribution and elimination of [1-<sup>14</sup>C] naphthalene in the mussel *Mytilus edulis*. **Mar. Biol.**, 76: 109-114.
- Zuolian, C. and A. Jensen. 1989. Accumulation of organic and inorganic tin in blue mussel, *Mytilus edulis*, under natural conditions. **Mar. Poll. Bull.**, 20: 281-286.