

# 심해저 광물자원 개발기술 및 환경보전 연구

— 제 1 권 —

심해저 광물자원 탐사기술 개발 및 환경보전 연구

A Study on the Technology Development  
for the Deep Seabed Mining  
and the Protection of the Deepsea Environment

— Volume 1 —

Exploration Technology and Deepsea Environment

1998. 1.

주관연구기관 : 한국해양연구소

협동연구기관 : 한국기계연구원

한국자원연구소

과 학 기 술 처

# 제 출 문

과학기술처장관 귀하

본 보고서를 “심해저 광물자원 개발기술 및 환경보전연구” 사업의 세부 과제인 “심해저 광물자원 탐사기술 개발 및 환경보전 연구” 부문의 2, 3차년도 보고서로 제출합니다.

1998. 1.

주관연구기관명 : 한국해양연구소

총괄연구책임자 : 강 정 극

분야연구책임자 : 문 재 운

연구원 : 고영탁, 김기현, 김경흥,

김현섭, 박송현, 박정기,

박정희, 박찬영, 이경용,

이근창, 정회수, 지상범,

최윤지, 현정호

연구조원 : 김연주, 조광식

위탁과제연구책임자 : 박 춘 호

# 요 약 문

## I. 제 목

심해저 광물자원 탐사기술개발 및 환경보전연구

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

육상광물자원의 빈국인 우리나라는 지속적인 경제성장을 위해 필요한 금속자원의 안정적인 확보가 요구되어왔다. 그러나 육상부존 광물자원의 지속적인 채광매장량 감소 및 이들 자원의 지역적인 편재성으로 인해 우리나라는 전략금속자원의 장기·안정적 확보에 대한 대비책을 수립하게 되었다. 이의 일환으로 심해저에 부존하는 광물자원개발을 추진하게 되었으며, 마침내 1994년 8월 프랑스, 일본등 기술선진국에 이어 세계 7번째로 유엔으로부터 선행투자가 자격과 함께 태평양의 클라리온-클리퍼튼 해역(C-C 해역)에 위치한 우리나라의 개발광구를 확보하게 되었다.

심해저 광물자원 개발에 필요한 기술분야는 탐사, 채광 및 제련분야로 나눌 수 있다. 이중 본 연구에서는 최적 채광지역 선정에 위한 탐사분야의 기술과 향후 채광시 야기되는 해양환경과피해를 최소화 할 수 있는 환경보전에 관한 기술개발을 목표로 하고 있다.

우리나라의 경우 C-C 해역에 망간단괴 개발을 위한 광구 설정을 위해 1989년부터 1994년 까지 탐사를 실시해 왔다. 그러나 현재까지 사용한 탐사기술은 개괄탐사에 필요한 광역탐사기술로서 향후 개발을 위한 최종 채광지 선정에 위해서는 보다 정밀한 탐사기법 개발이 요구된다. 향후 정밀탐사에 사용될 탐사기법은 기존의 1차원적인 탐사기법을 탈피하여 2차원

내지 3차원적으로 지형 및 해저면 상태를 파악하며, 망간단괴의 부존상태를 동시·광역적으로 파악할 수 있는 것으로 개발시 최종채광지역 선정, 매장량 파악, 채광기 운영도작성 등 심해저 광물자원의 상업생산을 위해 필수적인 자료를 제공할 수 있다. 이와함께 망간단괴를 비롯하여 망간각, 열수유화광상 등 여러 심해저부존 광물자원들의 분포특성에 대한 연구를 지속적으로 수행함으로써 향후 개발시 기초자료로서 활용할 수 있다.

최근 해양환경에 대한 세계적인 관심은 심해저 광물자원개발분야에도 예외가 없으며, 미국, 독일, 일본 등 기존 선행투자국가에서는 이미 이에대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 현재 심해저 광물자원 개발과 관련하여 유엔해양법협약의 의무이행사항으로 명시되어 있는 심해저 환경연구는 심해저 개발로 인해 야기되는 부유퇴적물의 확산과 이에따른 심해 저서생태계의 영향을 파악하기 위한 것으로 연구결과는 향후 심해저 개발에 따른 환경영향을 최소화하기 위한 기술개발에 필수적인 기반자료로 사용되어 질 것이다.

### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 최종목표는 심해저 광물자원 개발에 필요한 탐사기법 개발 및 심해저 광업으로 예상되는 환경영향을 파악하므로 이를 통해 환경보전방안을 수립하는데 있다. 이를 위하여 1994년부터 2003년까지 3단계에 걸쳐 향후 10년간에 걸쳐 연구를 수행할 예정이다.

1차년도는 다중빔 음향측심기를 이용한 음향탐사기법 기반연구, 서태평양 일대의 심해저 망간각 자원을 대상으로 분포성인에 대한 연구를 수행하였다. 환경분야의 경우 해수의 생화학 및 저서생물의 연구와 퇴적물의 혼합현상 및 공극수 연구를 하였다. 또한 심해저 자원개발 및 관련기술개발에



대한 정책적 연구가 수행되었다.

2차년도와 3차년도에서는 탐사기술 개선분야로 온누리호에 장착된 아날로그 천부지층탐사기(SBP)로부터 디지털 자료를 동시에 획득할 수 있는 음향시스템을 개발하기 위한 SBP 디지털 자료 취득시스템개발 연구를 수행하였다. 탐사자료처리 및 활용기법개발분야로는 심해저 탐사자료의 효율적인 관리와 유망 개발지역의 선정 및 경제성 평가분석에 필요한 자료제공을 위한 데이터베이스 및 통합관리시스템(GIS)을 구축하는 연구를 수행하였다. 세부적으로는 심해저 탐사자료의 데이터베이스 구축연구, 데이터베이스 통합관리 시스템을 구축 연구를 수행하였으며, 심해저 DB 및 GIS를 시험 운영하여 그 개선점을 찾아 보완하였다. 환경분야에서는 심해시료처리 및 분석기법을 개발하기 위하여 심해지역에서의 미생물생체량을 측정하는 아데노신 삼인산(ATP) 측정기법을 연구하였고, 이를 이용하여 우리나라 광구내의 심해연구지역에서의 ATP 분석을 통한 저층 미생물 생체량을 파악하였다. 또한 심해저퇴적물의 전단응력 측정기법을 개발하는 연구를 수행하였다. 이러한 연구를 통하여 1단계('94-'96)의 수행목표인 심해저 광물자원 탐사기술의 기초기술개발을 완료하였고 2단계 실용기술의 연구 및 개발의 기본자료를 확립하였다.

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

##### 제 1 과제 PC를 이용한 SBP자료의 계수화와 실시간 자료처리 시스템 개발연구

온누리호에 탑재된 천부지층 탐사기인 SBP (Sub Bottom Profiler)와 같이 단일 채널 (single channel) 고분해능 탄성과 탐사 기기는 대부분 아

날로그 방식으로 출력신호를 기록하고 있다. 정밀 계측기술의 비약적인 발전에 따라 경제적인 계수화 장비의 이용이 가능하게 되었다. 계수화된 자료 (디지털 자료)는 컴퓨터를 이용하여 전산자료처리 과정을 거침으로써 탐사시 발생하는 각종 잡음 (noise)을 제거하고 기록자료의 분해능을 향상시킬 수 있으며 이를 통해 정확한 지층해석을 도모할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 아날로그 SBP 시스템의 출력부와 병렬 연결할 수 있는 계수화 장비를 개발하여 아날로그 자료출력에는 영향을 미치지 않는 범위 내에서 디지털 자료를 취득할 수 있는 일괄적인 탐사 시스템을 개발하고자 하였다.

일괄적인 탐사시스템의 개발을 위해서는 먼저 기존 탐사장비의 하드웨어적인 구성과 메커니즘에 대한 연구를 통해 이에 부합하는 계수화 장비를 선택·개발해야 하며 시스템 구성에 맞는 각종 측정변수를 설정해야 한다. 다음으로 구성된 각종 장비와 기기 간의 적절한 연결과 시스템 전반을 제어할 수 있는 소프트웨어를 개발하고 취득자료의 각종 신호처리기법에 관한 연구가 실시되어야 한다.

이를 위해서 SBP 시스템의 자료취득과정과 아날로그 출력과정에 대한 특성의 관련 문헌과 현장에서의 조사를 수행하며, 여러 보조장비들을 이용하여 계수화된 시스템에 의해 취득된 자료의 안정성 검토를 실시하였다. 한편, 취득자료의 신호처리는 일괄적이고 종합적인 해석을 가능하게 하고 추후 다른 탐사 기기의 결과물과도 호환이 가능한 방법을 채택하였다.

실시간 자료처리 (real time data processing)를 위해 필요한 신호처리에 관한 여러 가지 방법을 연구하여 자료추정과 동시에 선상에서 분해능이 향상된 처리결과를 볼 수 있으며, 이 자료는 탐사후 PC나 대형컴퓨터를 이용하여 지역적 특성, 탐사 기기별 자료, 향후 탐사 계획설정과 같은 복잡한 작업에 있어서 데이터 베이스로 손쉽게 구축될 수 있어 향후 GIS

(Geographic Information System)를 이용한 종합적인 자료의 해석과 운용을 이룰 수 있을 것이다.

## 제 2 과제 탐사자료처리 및 활용기법 개발

본 연구에서는 수년간에 걸쳐 심해저 광물자원탐사를 수행하여 얻어진 많은 양의 자료들을 효율적으로 활용하기 위하여, 탐사자료들의 자료구조를 분석하고 심해저탐사자료에 알맞은 데이터베이스시스템을 구축하기 위한 연구를 수행하였다.

연구를 통하여 해양탐사자료 관리에 적합한 관계형 DBMS를 선택하고 이를 운영하기 위한 PC용 RDBMS(Relation DBMS)인 MS Access 엔진과 PC 상에서 운영되는 GIS 툴인 MapInfo를 선정하였다.

시험운영의 결과, network상의 일부 문제점과 자료의 보안설정의 문제점을 도출하였고 이를 해결하였다. 또한, 초기 자료 생성시(획득시) 자료별 표준 입력포맷 설정의 필요성을 제시하게 되었고, 이를 차년도 탐사자료 획득에 반영하였다.

심해저데이터베이스 시스템은 유엔 선행투자자의 의무사항인 정밀탐사와 광구포기작업의 정확성을 높이고, 유망광구의 선정과 경제성 판단의 기초자료로 활용되리라 사료된다.

## 제 3 과제 북동적도 태평양 KODOS 환경연구 : 퇴적물내의 ATP를 이용한 미생물 생체량 분석

심해저 망간단괴 채광에 따른 저층생태환경의 변화를 평가하기 위한 기초환경연구의 일환으로 북동적도 태평양 심해저 퇴적물내의 총 ATP

(T-ATP) 및 용존 ATP (D-ATP)의 농도 및 수직분포양상을 연구하였다. T-ATP는 퇴적물 6 cm 깊이 내에서 4.4 ~ 40.6 그리고 D-ATP는 0.6 ~ 16.1 ng/g dry sediment의 범위로 변했다. 수직분포 특성으로서 T-ATP의 약 84% 그리고 D-ATP의 약 81%가 표층 퇴적물 2 cm 이내에 분포하는 것으로 나타났다. 다중주상 시료채집기를 사용해 획득한 퇴적물에서 T-ATP 최대층이 0 ~ 0.5 cm 깊이 내에 존재하는 것으로 나타나, 표층이 교란되는 상자형 퇴적물 채집기보다는 다중주상 시료채집기가 심해져 퇴적물내 ATP의 미세수직구조의 연구를 위해서 더욱 효과적인 것으로 판명되었다. 결론적으로 ATP 농도가 퇴적물 깊이 6 cm이내에서 뚜렷한 수직분포양상을 보이는 것으로 미루어, ATP 분포양상이 향후 심해져 광업에 따른 미생물 생체량 변화를 평가하기 위한 유용한 환경기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 제 4 과제 심해져 퇴적물의 전단강도 측정 연구

심해져 퇴적환경 연구 및 향후 망간단괴 채광기의 설계 및 운영에 필요한 정밀기초자료를 획득하기 위하여 상자형 및 다중주상시료 채취기로 채취한 심해져 퇴적물 시료로부터 선상과 실험실에서 두 가지 다른 측정기를 이용하여 동일한 2 cm 간격으로 실험하였다.

선상 실험에 이용된 장비는 2.0×2.0 cm 크기의 베인 날을 장착한 수동베인 측정기로 측정시 분당 180~360도의 회전속도로 측정하였다. 실험실에서는 회전식 점도계를 변형하여 구성된 전동식 전단강도 측정기를 이용하여 1.0×0.88 cm 크기의 베인 날을 장착하고 분당 30도의 회전속도로 교란되지 않은 시료의 최대 전단강도는 물론 기존의 수동베인에서는 측정하기 어려운 퇴적물 조직이 파괴된 후의

잔류전단강도도 측정하였다.

측정결과, 연구지역의 퇴적물의 전단강도는 깊이의 증가에 따라 아래로 내려가면서 급격히 증가하였다. 특히 경사면에서 채취된 시료의 경우 더 높은 측정치를 보였으며, 반면에 평탄면에서 채취한 시료는 비교적 적게 증가하는 특성을 보인다.

퇴적물의 함수율은 오랜 기간 늘리는 압력으로 고화된 결과로 상부에서 하부로 가면서 감소하는 경향을 보인다. 따라서 전단강도와 함수율은 뚜렷하게 역상관 관계를 갖는다.

본 보고서에서는 퇴적물의 다른 물리적 특성과 퇴적구조와의 관계, 퇴적물 유형과 물리적 특성과의 관계 그리고 각각의 물리적 특성에 관하여도 기술하였다.



# SUMMARY

## I . Title

A Study on the Development of Deep Seabed Exploration and Environmental Protection Technology

## II . Objectives and Significance

Because of the poor reserve of the land-based mineral resources, Korea has been sought the stable supplementary source of the strategic mineral resources which are essential for the continuous growth of Korean economy. However, continual decrease of the mineable resources on land and their local maldistribution lead Korea to prepare a long-term plan for developing deep seabed mineral resources as one of the alternative plan for stable supplement of the strategic mineral resources. At last, Korea became the 7th pioneer investor country and secured registered mining site in the Clarion-Clipperton area of the central Pacific in August of 1994.

Deep seabed mining technology can be largely divided into three fields; exploration, mining, and processing technology. Among them, this study aims developing exploration technologies for searching best mining site and environmental protection technologies for minimize the

negative environmental effect which is expected to be caused by deep seabed mining.

Korea has carried out exploration in the C-C area for deepsea manganese nodule exploration since 1989 using technologies fitted for regional survey. Therefore, at present, it is required to develop new technologies which will be applied to the detailed survey for selecting the best mining area. Such new technologies enable us to make detailed analysis for seabed morphology and continuous measuring of manganese nodule abundance in two- or three-dimensional chart using acoustic method. Together with these technologies, studies on the genesis and distributional characteristics of various deep seabed minerals including manganese nodule, Co-rich manganese crust, and hydrothermal deposit provide us fundamental data for the future deep seabed mineral exploration.

The deep seabed mining field can not be an exception in the world-wide concern to the preservation of marine environment. Technology advanced pioneer investor countries such as United States, Germany, France, Japan have already carried out environmental impact experiment and accumulated many useful data and technologies for the environmental assessment of their own mining sites. The deepsea environmental assessment relating to the deep seabed mining is now one of the duties required by the provisions of the United Nations' convention of the Law of the Sea. Results and collected data from the deepsea environmental research will be used as a basis for designing and developing deep seabed mining technologies which will minimize



the negative effect to the marine ecosystem.

### **III. Contents and Scopes**

The final objectives of this study are developing necessary technologies for detailed survey of the manganese nodule exploration and evaluating environmental impact which is expected to be caused by deep seabed mining. This research will be carried out for 10 years from 1994 to 2003.

In the first year, research on the background measurement of acoustic signature acquired from multi-beam echosounder Seabeam 2000 was performed as a research subject of the first stage development of exploration technology. Besides this subject, research on the genesis and distributional characteristics of Co-rich manganese crust in the western Pacific area was also carried out. On the other hand, due to our lack of experience in the field of deepsea environmental research, we attempted to collect basic information from various parts. Such information will be fundamental basis for establishing future research scope. This year's environmental research subject was divided into two fields; 1) deepsea biochemical environment including research on the benthic organism and biochemical characteristics of sea water, and 2) deepsea sediment including research on the pore water sediment mixing. In addition, policy research for deep seabed mineral and technology development was carried out in this study. The results of such policy research will be contributed to establishing our future

research plan for developing technologies in exploration, mining, and processing of deep seabed minerals.

In the second and third year, research on an experimental device and related softwares for PC-based automatic digitizing and data processing system were studied. Besides this study, research on the analysis of data structure and database to develop an appropriate data operating system called Deep-sea Database System were conducted. On environmental research, micro organism biomass analysis using ATP in the sediments was carried out. Research on measurement of shear strength the deep-sea sediment was also performed..

## **IV. Results and Recommendations**

### **1. A study on the development of PC based automatic digitizing and data processing system for the conventional analog type subbottom profiler (SBP)**

A single-channel subbottom profiler installed in R/V Onnuri records subbottom signals with analog function. However, the analog-type profiler has many restrictions in data processing and interpretation. Most of recently manufactured seismic equipments adapt digital data acquisition system to enhance the data interpretation.

An experimental device and related softwares for PC-based automatic digitizing and data processing system were studied and developed for the onboard subbottom profiler. The device consists of an

analog to digital converter card, and a pre-amplifier as main components. Digitally processed data shows improved resolution compared with the analog profiler records.

The digitized signal data also provide quantitative information on the seafloor such as high resolution bathymetry and thickness of subbottom layers. The developed device enables subbottom data to be processed in real time.

## **2. Development of Deep-sea Database System (DDS) and its application.**

In order to utilize the data obtained during the deep-sea resources exploration program, the analysis of data structure and database were conducted to develop an appropriate data operating system called Deep-sea Database System or DDS.

The Relation Data Base Management System, RDBS, was chosen as a data managing system and the MS Access<sup>TM</sup> as a DB engine, and the MapInfo<sup>TM</sup> software as GIS tools.

Problems in networking and security were detected and solved during the operation test. Accordingly, development of standardized operative procedure was proposed in obtaining raw data. This proposal will also be reflected in the subsequent phase of the deep-sea program.

The Deep-sea Database System can now be applied to the selection of potential mining sites and the estimation of economical efficiency. This system may also improve the efficiency of detail survey

and help in the relinquishment process as a fulfillment of the obligation as a pioneer investor.

### **3. Environmental Study of KODOS Area in Northeast equatorial Pacific : Micro Organism Biomass Analysis Using ATP in the Sediments**

Environmental baseline information is necessary requirement in order to evaluate the environmental impact on the deep seabed ecosystem caused by the future manganese nodule mining. Total ATP (T-ATP) and dissolved ATP (D-ATP) were measured to estimate total microbial biomass and to elucidate its vertical distribution patterns in the deep seabed of KODOS (Korea Deep Ocean Study) area, northeast equatorial Pacific Ocean. Within the top 6 cm depth of sediment, the concentrations of T-ATP and D-ATP ranged from 4.4 to 40.6, and from 0.6 to 16.1 ng/g dry sediment, respectively. About 84% of T-ATP and 81% of D-ATP were observed within 2 cm depth of sediment. Fine-scale vertical distribution of ATP were examined within 1 cm depth in the sediment samples collected with multiple corer, while no virtual vertical changes were appeared in samples collected with box corer. The results indicated that sediment samples in the box corer were disturbed during sampling, and suggested that the multiple corer was more appropriate sampling gear for measuring fine-scale vertical distribution patterns of ATP within top 1 cm depth of sediment. Overall results suggested that ATP, showing a clear vertical distribution

pattern within 6 cm depth of sediment, can be appropriately used as an environmental baseline parameter to evaluate the variations of benthic microbial biomass caused by deep seabed mining operation.

#### **4. Measurement of the Deep-sea Sediment Shear Strength**

Vane shear strength of the deep-sea sediment samples collected with box-corer and multiple-corer was measured using two different apparatus on board and in laboratory at 2 cm intervals in order to obtain basic data. These information are necessary to construct and to operate mining collector as well as to study the deep-sea sedimentary environments.

On board, undrained shear strength was measured with a hand-held, 2.0×2.0 cm four-blade vane operated at a shear rate of 180~360 degrees per minute. In laboratory, test was conducted with motorized vane shear system using a 1.0×0.88 cm vane operated at 30 degrees per minute. The rotational viscometer was modified to motorize vane shear system with electrical transducer for more accurate measurement of undisturbed maximum shear strength and disturbed residual shear strength of cohesive sediment.

The vane shear strength increased rapidly with depth within the sample columns. Especially, samples collected at inclined sea bottom had a hiatus at 5 cm depth. Under this depth, the vane shear strength increased more rapidly. On the other hand, the shear strength in samples collected from plane bottom increased only slightly with depth.

In addition, water content of the sediment samples decreased with depth. This is a result of consolidation of sediment through overburdening process which gives a negative relationship with the vane shear strength.

The relationship between other physical properties and sediment column, between the sediment type and physical properties, including each of the physical properties are discussed.



	2. 심해저자료의 분류 .....	72
	3. 데이터타입에 따른 DB구조해석 .....	75
	4. 시험운영을 위한 DB 데이터 입력 .....	77
	제 3 절 심해저 DB의 통합관리 시스템 .....	78
25	1. 심해저 DB와 client/server 환경 .....	78
25	2. 심해저 DB 및 GIS 구축 및 운영 .....	79
	3. GIS를 이용한 공간DB구성 .....	82
	4. MapInfo GIS의 활용 .....	83
18	제 4 절 심해저 DB 및 GIS의 시험 운영 .....	85
88	제 5 절 토의 및 결론 .....	86
48	참고문헌 .....	89
48	사용자 설명서 .....	90
28	부록 MGD 77 포맷 .....	134
28	.....	134
	제 3 과제 북동적도 태평양 KODOS 환경연구 .....	147
88	제 1 절 서론 .....	149
98	제 2 절 재료 및 방법 .....	151
44	1. 시료채취 .....	151
24	2. 입도 및 함수율 .....	152
04	3. 유기탄소 함량 .....	152
	4. ATP 분석 .....	152
	제 3 절 결과 및 토의 .....	153
70	1. 입도 및 함수율 .....	153
90	2. 유기탄소 함량 .....	154
07	3. T-ATP .....	154
07	.....	154



4. D-ATP .....	155
5. 시료채취 방법에 따른 분포양상 .....	156
참고문헌 .....	158

**제 4 과제 심해저 퇴적물의 전단강도 측정 연구** .....169

제 1 절 서론 .....	171
----------------	-----

제 2 절 시료 채취 .....	172
-------------------	-----

제 3 절 계산 방법 .....	175
-------------------	-----

제 4 절 측정 기기 및 측정 과정 .....	176
---------------------------	-----

제 5 절 베인의 회전속도 .....	178
----------------------	-----

제 6 절 연구 지역 및 지질 개요 .....	181
---------------------------	-----

제 7 절 퇴적물의 일반적 특성 .....	183
-------------------------	-----

제 8절 정점별 측정 결과 .....	184
----------------------	-----

1. 정점 1 .....	184
---------------	-----

2. 정점 3 .....	185
---------------	-----

3. 정점 5 .....	187
---------------	-----

4. 정점 15 .....	188
----------------	-----

5. 정점 23 .....	190
----------------	-----

6. 정점 25 .....	191
----------------	-----

제 9 절 종합결과 및 토의 .....	192
-----------------------	-----

1. 퇴적물의 전단강도와 함수율 변화의 관계 .....	192
--------------------------------	-----

2. 수동 베인과 전동베인을 이용한 퇴적물의 전단강도 측정 결과 비교 .....	193
---	-----

3. 선상과 실험실 측정 결과 비교 .....	193
---------------------------	-----

4. 전동베인을 이용한 전단강도 측정의 장점 .....	194
--------------------------------	-----

5. 전단강도와 퇴적물내 생교란 작용과의 관계 .....	195
6. 전단강도와 해저지형과의 관계 .....	195
7. 퇴적물의 탄산질 함량과 전단강도와의 관계 .....	196
8. 퇴적물의 전단 강도 변화를 일으키는 다른 주요 요인들 .....	197
제 10 절 결 론 .....	198
참고문헌 .....	201
부 록 .....	207

<b>부 록 유엔해양법협약의 심해저 (the Area)광물자원 개발규정에 관한 연구 .....</b>	<b>275</b>
--	------------

# CONTENTS

LIST OF TABLE .....	25
LIST OF FIGURE .....	27

## **Chapter 1. A Study on the Development of PC Based Automatic Digitizing and Data Processing System for the Conventional Analog Type Subbottom Profiler (SBP) .....**

31

Section 1. Introduction ..... 33

Section 2. Configuration of the System and the Digitalizing ..... 34

1. Configuration of the SBP System ..... 34

2. Output Node of the System and Digitalizing Devices ..... 35

Section 3. Signal Processing of the Digitalized Data ..... 37

1. Outlook of the Trial Cruise Area ..... 38

2. Comparison of Analog and Digital Output Data ..... 38

3. Signal Processing of Digitalized Data ..... 39

4. Interpretation of the Processed Data ..... 44

Section 4. Conclusion ..... 45

Reference ..... 46

## **Chapter 2. A Study on Application and Processing Technique of Deep-sea Exploration Data .....**

67

Section 1 Introduction ..... 69

Section 2 Deep-sea Database ..... 70

1. Database Operation System .....	70
2. Data Type Analysis .....	72
3. Data Structure Analysis .....	75
4. Data Input for Test .....	77
Section 3 Deep-sea Database Management System .....	78
1. Client/Server .....	78
2. DB and GIS .....	79
3. DB Analysis for GIS .....	82
4. MapInfo GIS .....	83
Section 4 Operation Test of Deep-sea DB and GIS .....	85
Section 5 Discussions and Conclusions .....	86
References .....	89
User's Guide .....	90
Appendix MGD 77 format .....	134

<b>Chapter 3. Environmental Study of KODOS Area in Northeast equatorial Pacific .....</b>	<b>147</b>
Section 1. Introduction .....	149
Section 2. Materials and Methods .....	151
1. Sampling .....	151
2. Grain Size and Water Contents .....	152
3. Organic Carbon Contents .....	152
4. ATP Analysis .....	152
Section 3. Results and Discussions .....	153
1. Grain Size and Water Contents .....	153
2. Organic Carbon Contents .....	154

3. T-ATP .....	154
4. D-ATP .....	155
5. Distribution Patterns with sampling methods .....	156
References .....	158
<b>Chapter 4 Measurements of the Shear Strength of Deep-sea Sediments .....</b>	<b>169</b>
Section 1. Introduction .....	171
Section 2. Collection of Samples .....	172
Section 3. Calculation Methods .....	175
Section 4. Test Systems and Procedures .....	176
Section 5. Rotational Rate of Shear Vane .....	178
Section 6. Study Area and Geological Outline .....	181
Section 7. General Properties of Deep-sea Sediments .....	183
Section 8. Results .....	184
1. Site-1 .....	184
2. Site-3 .....	185
3. Site-5 .....	187
4. Site-15 .....	188
5. Site-23 .....	190
6. Site-25 .....	191
Section 9. Discussion .....	192
1. Relationship between Shear Strength and Water Content .....	192
2. Comparison of Hand-held Vane and Motorized Vane System .....	193
3. Comparison of on Board Test and in Laboratory Test ....	193

4. Advantage of Motorized Shear Vane System .....	194
5. Relationship between Bioturbation and Shear Strength ....	195
6. Relationship between Topography and Shear Strength .	195
7. Relationship between Water Content and Shear Strength .....	196
8. Other Properties Related to Shear Strength .....	197
Section 10. Conclusions .....	198
References .....	201
Appendix .....	207
<b>Appendix .....</b>	<b>275</b>

## 표 목 차

### (List of Tables)

Table 3-1. Concentrations (ng/g dry sediment) of total ATP (T-ATP) and dissolved ATP (D-ATP), and the percentage of D-ATP to T-ATP .....	161
Table 4-1. Already reported vane shear apparatus, rotation speed(shear rate) and user .....	247
Table 4-2. Water depth, corer, length of sediment, vane shear apparatus, measuring times, and test place in each sampling sites .....	248
Table 4-3. Maximum and residual shear strength of sediment, measured by motorized vane system and hand-held vane on board and in laboratory .....	249





# 그림 목 차

## (List of Figures)

Fig. 1-1. The schematic diagram of subbottom profiler on R/V Onnuri .....	47
Fig. 1-2. Photography showing the connection between SBP's output node, oscilloscope, and analog printer .....	48
Fig. 1-3. Electrical signal plot of reflected energy from sea floor using oscilloscope .....	49
Fig. 1-4. Arbitrary waveform function generator used to test the trial version of digital acquisition system in the laboratory .....	50
Fig. 1-5. IBM PC compatible A/D & D/A converter card .....	51
Fig. 1-6. Pre-amplifier used in this study .....	52
Fig. 1-7. Array of transducers installed on the hull of R/V Onnuri .....	53
Fig. 1-8. Location of the application site and survey line .....	54
Fig. 1-9. Scanned image of the SBP's analog output profile .....	55
Fig. 1-10. Partial digital output section along the survey line in Fig. 8 .....	56
Fig. 1-11. (a) Arbitrary chosen one sample trace in Fig. 10, (b) primary reflected wave in sample trace (a), and (c) amplitude spectrum of primary reflected wave in (b) .....	57
Fig. 1-12. Angular frequency plot of the bandpass filter .....	58
Fig. 1-13. Angular frequency plot of the Hanning window .....	59
Fig. 1-14. Bandpass filtered result of sample trace in Fig. 11(a) .....	60

Fig. 1-15. Bandpass filtered profile of Fig. 10 .....	61
Fig. 1-16. Envelope section of Fig. 15 using Hilbert transform .....	62
Fig. 1-17. Principle of smoothing technique with a rectangular or boxcar window (moving average) .....	63
Fig. 1-18. Principle of smoothing technique with a triangle window ....	64
Fig. 1-19. Triangle window smoothing result of Fig. 16 .....	65
Fig. 1-20. Trace picking result with conventional and interpolated method on Fig. 19 .....	66
Fig. 2-1. Menu box in manganese nodule DB .....	116
Fig. 2-2. The relationship diagram between geological and geochemical DB .....	117
Fig. 2-3. Menu box in manganese crust DB .....	118
Fig. 2-4. Menu box in environmental research DB .....	119
Fig. 2-5. Data structure in station logbook DB .....	120
Fig. 2-6. Data structure in FFG logbook DB .....	121
Fig. 2-7. The example of database(table) in Deep-sea Database .....	122
Fig. 2-8. The network system in Deep-sea Database and GIS .....	123
Fig. 2-9. Log-on menu box in Access software .....	124
Fig. 2-10. Log-on menu box in MapInfo software .....	124
Fig. 2-11. The example of bathymetric color chart in Access DB .....	125
Fig. 2-12. The initial menu of Deep-sea Database system .....	126
Fig. 2-13. The main menu box of Database in Access DB .....	127
Fig. 2-14. The image map(raster type) of bathymetry .....	128
Fig. 2-15. The image (raster type) map and contour(vector type) map of bathymetry with layer control box .....	129

Fig. 2-16. The overlay map of slopness in N3 area ..... 130

Fig. 2-17. The image map and contour map of abundance with  
information box ..... 131

Fig. 2-18. The image map and contour map of abundance with layer  
control box ..... 132

Fig. 2-19. The image map of gravity anomaly in Ni area ..... 133

Fig. 3-1. A map showing Korea Deep Ocean Study (KODOS) area ..... 162

Fig. 3-2. Sediment classification based on sand-silt-clay ratios in the  
study area ..... 163

Fig. 3-3. Vertical profiles of water content in the sediment collected with  
box corer (BC) and multiple corer (MC) ..... 164

Fig. 3-4. Vertical profiles of particulate organic carbon (POC) in the  
sediment samples collected with box corer (BC) and multiple  
corer (MC) ..... 165

Fig. 3-5. Vertical profiles of total ATP in the sediment samples collected  
with box corer (BC) and multiple corer (MC) ..... 166

Fig. 3-6. Vertical profiles of dissolved ATP in the sediment samples  
collected with box corer (BC) and multiple corer (MC) ..... 167

Fig. 4-1. An Box corer(spade corer) in its sampling configuration ..... 257

Fig. 4-2. Multiple corer in its sampling configuration ..... 258

Fig. 4-3. Major parts and operation sequence of box corer  
(spade corer) ..... 259

Fig. 4-4. Major parts and operation sequence of multiple corer ..... 260

Fig. 4-5. The shape of vane blade ..... 261

Fig. 4-6. The measurement of shear strength using a hand-held vane on board .....262

Fig. 4-7. The measurement of shear strength using a motorized vane shear system in laboratory .....263

Fig. 4-8. Position of vane shear testes in each core section .....264

Fig. 4-9. Maximum and residual shear strength following change of torque and time .....265

Fig. 4-10. General sediment facies and geography of the north equatorial Pacific Ocean(van Andel and Heath, 1973; Horn et al., 1973) .....266

Fig. 4-11. Location of sampling sites on bathymetric and topographic map of survey area .....267

Fig. 4-12. The photograph of sediment samples showing the various depths of a color boundary (arrow) .....268

Fig. 4-13. Relationship between water content and shear strength in deep-sea sediment .....271

Fig. 4-14. Water content of sediment plotted against depth below the seafloor .....272

Fig. 4-15. Shear strength plotted against time .....273

Fig. 4-16. Undisturbed shear strength of deepsea sediment, sampled on slope and plane area, measured by motorized vane system, plotted against depth below the seafloor .....274

## 제 1 과제

### SBP 디지털 자료 취득 시스템 개발 연구



## 제 1 절 서 론

큰 규모의 지질구조 조사를 위해 실시되는 육상에서의 탄성파탐사와는 달리 해양환경에서의 고해상 탄성파탐사의 자료취득 시스템은 대부분 아날로그 출력방식을 채택하고 있어 자료의 보관과 이용 면에서 많은 문제점이 있다. 국내의 경우 탐사전용선인 온누리호에 탑재된 주 주파수가 3.5 kHz 인 고주파 송신원을 사용하는 천부지층 탐사기 SBP의 경우도, 연 근해의 퇴적층서 및 심해저 광물자원 부존 지역의 지층탐사시 그 결과가 용지에 아날로그 방식으로 출력되기 때문에 추후의 자료처리에 의한 분해능의 향상, 다른 탐사기에 의한 자료와의 비교, 자료 보관 측면에서 극히 제한적으로 운용되고 있는 실정이다.

최근에는 1,000 Hz 내외의 고주파수를 사용하는 디지털 탄성파탐사 자료취득 시스템의 연구 및 개발이 국내외적으로 활발히 수행되고 있다 (Bays 등 1986; 김한준, 1988; 이호영, 1992). 오늘날 과학기술의 발전에 따라 아날로그 출력자료의 단점을 극복할 수 있는 신 장비의 개발이 가속되고 있음에도 불구하고 이러한 연구가 계속 수행되고 있는 이유는 기존 장비의 사용에 영향을 미치지 않으면서도 경제적으로 훨씬 유리한 부가적인 계수화 장비의 개발만으로도 디지털 자료를 취득할 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 경제적으로 기존 장비를 이용하여 디지털 자료를 취득할 수 있는 기술의 개발과 이 자료를 여러 신호처리 기법을 이용하여 정량적으로 개선할 수 있는 방향을 모색하고자 한다.

기존 시스템의 계수화는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시키는 A/D 변환기와 기타 보조 기기의 하드웨어적인 구성과 이용방법, 그리고 전반적인 시스템을 관리할 수 있는 소프트웨어의 개발로 이루어지며, 본 연구에서는 수심 2,000 m 정도의 비교적 심해인 동해지역에서 현장 적용

하였으며 이를 바탕으로 SBP의 운용시 실시간에 디지털 자료를 취득할 수 있는 토대를 마련하였다.

취득된 디지털 자료는 전산 기기를 이용하여 신호이외의 잡음을 제거하는 대역필터링 기법, 반사신호의 크기와 시간과약을 위한 envelope 함수 이용, 또한 이를 효율적이고 자동적으로 수행할 수 있게 하는 평활화 기법의 적용 등의 전형적인 자료처리 과정을 통해 자료해석시 기존의 아날로그 방식에 의한 자료에 비해 정량적인 접근에서 큰 개선을 이루었다.

본 연구에 의해 완성된 시스템은 SBP에 의해 취득된 자료의 고급화와 보유 기기의 운용능력 향상을 가져왔으며, 취득자료의 다각적인 해석과 폭넓은 이용을 기대할 수 있을 것이다.

## 제 2 절 SBP 시스템의 특성 및 계수화 작업

아날로그 취득 시스템의 계수화작업은 인공적인 오차가 발생하기 마련인 디지털라이저 (digitizer)를 이용하여 단순히 아날로그 출력물을 수치화 하는 것이 아니라, 탐사장비의 자료취득 과정후 출력과정을 거치기 전에 계수화 장비를 이용하여 원래 자료를 손상 없이 자기 테이프와 같은 매체에 기록하는 것이다. 이를 위해서는 기존 탐사장비의 특성파악 연구와 기존 장비를 이용한 탐사결과에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 시스템 구성을 위한 측정변수 설정연구를 하며, 일관된 계수화 시스템을 구성해야 한다.

### 1. SBP 시스템의 구성

탐사전용선인 온누리호에 장착된 SBP 시스템의 기본적인 구성은 다음



과 같으며 시스템 구성도는 Fig. 1-1에 나타나 있다.

SBP 시스템에서 PDD (Precision Depth Digitizer)는 수심의 대략적인 범위설정 및 해저지형의 기록에 따라 변하는 측정 시간범위 (gate)의 설정 초기 (first), 최대 (peak) 등의 감지하게 되는 파형 특정 부분을 선택하게 된다. 이때 Fig. 1-1의 (a), (b)에서 PDD out은 장비 구성상의 문제이고 이를 선택하면 기록지에 측정 시간범위가 그려지지 않을 뿐이다.

CESP (Correlation Echo & Sounder Processor)는 PDD에 추가하여 자료를 취득하는 장비이다. 송신원에서 방사되는 신호의 출력을 선택할 때, Fig. 1-1 (b)와 같이 CESP을 이용하면 펄스의 길이 (pulse length)가 길어 지므로 심해저 탐사시 적합하고 천해에서는 사용하지 않는다. CESP는 신호의 출력뿐만 아니라 수신기에 감지된 신호 (raw signal)의 배경 잡음 (background noise)의 제거 기능도 한다.

PTR-105B (Precision Transmitter & Receiver)는 Fig. 1-1 (a)과 같이 CESP을 사용하지 않을 때, 펄스의 길이를 선택하며 출력의 에너지 정도를 조절하는 기능을 한다.

신호의 직접적인 방사와 수신은 TR-109 (High Power Transducer)를 이용하는데 12개의 xducer (transduce)가 온누리호의 선체 하부 중앙에 장착되어 있다.

## 2. SBP 시스템의 출력부와 계수화 장비

Fig. 1-1의 SBP 시스템에 의해 취득된 자료는 일반적으로 열전사방식의 아날로그 프린터인 LCR-1807M에 의해 특수용지에 출력되며, 출력된 결과는 추가적인 처리가 거의 불가능하다. 따라서 취득자료의 아날로그 출력전 계수화에 필요한 장비를 SBP 본체에 연결함으로써 디지털 자료를 얻

을 수 있다. 이에 필요한 기본적인 계수화 장비로는 A/D 변환기, 전치증폭기 (Pre-Amplifier), PC (자료저장 및 운용프로그램 구동)로 구성되어 있으며, 아날로그 자료와 디지털 자료의 비교분석을 위해 파형발생기 (Function Generator)와 오실로스코프 (Oscilloscope)가 필요하다.

먼저 아날로그 신호의 계수화가 가능한지 알아보기 위해 저해상도의 Fig. 1-2와 같이 아날로그 신호의 출력부 (그림에서 우측의 기기)의 인출선을 A/D 변환기가 내장된 오실로스코프 (그림에서 좌측 하단)와 출력 프린터 (그림에서 중앙 하단)에 같이 각각 연결한다. 이 때 오실로스코프에 나타나는 신호는 Fig. 1-3과 같은 하나의 특정 음원에 의한 반사신호로 일반적인 탐사시 필요한 전체 프로파일 자료가 요구될 시는 오실로스코프의 저장 능력상 문제가 발생하므로 여기서는 단지 신호의 손상 여부를 판단하는 기능을 한다.

A/D 변환기의 성능 및 계수화 능력시험을 위해, 아날로그 파형발생기를 이용하여 Fig. 1-4와 같이 임의의 간단한 파형을 발생시켜 이를 음원으로 가정하여 Fig. 1-5의 A/D 변환기를 통과시켜 디지털 신호를 오실로스코프로 받아보는데, A/D 변환기의 연속신호 처리능력 및 본 연구에서 채택한 12 bit의 분해능 성능과약에 이용된다.

아날로그 신호의 출력부와 A/D 변환기 간의 직접적인 연결대신 중간에 PC를 이용하며 C언어로 제작된 구동 프로그램으로 측정시간 간격, 측정시간대의 범위, 자료저장 간격 등과 같은 측정변수를 설정한다. 측정변수의 설정은 탐사시 아날로그 자료를 취득하면서 디지털자료를 손상 없이 얻을 수 있게 하는 중요한 요소이며 A/D 변환기, PC의 자료취득 및 처리, 저장 속도와 같은 하드웨어 (hardware)적인 요소와도 밀접한 관계가 있는데, 이와 같은 제문제를 고려하여 본 연구에서는 486급의 PC가 이용되었으며 386급의 PC로도 충분하다고 사료된다.

계수화된 방대한 양의 자료 저장은 PC에 장착된 1 Giga bytes의 하드디스크 (harddisk)를 이용하였다. 자료의 크기는 음원의 발파시간 간격, 측정시간 간격, 측정시간대 등에 의해 좌우되는데 일반적인 탐사에서 연속적인 SBP 자료의 취득시 하나의 하드디스크만으로는 모든 자료를 취득할 수 없으므로 하드디스크보다 경제적인 자기테이프와 같은 기록매체를 여러 개 이용하는 것이 바람직하다. 이에 대한 문제는 본 시험연구의 성격과 큰 관련이 없으며 기록매체의 보유만으로도 쉽게 해결할 수 있다.

통상 아날로그 신호를 계수화할 때 출력되는 전기신호가 A/D 변환기가 감지할 수 있는 최소범위보다 작으므로 A/D 변환기를 거치기 전에 전치증폭기를 이용하여 신호를 강화한다. 그러나 온누리호에 탑재된 SBP 시스템의 출력신호를 본 시험연구에서 이용된 A/D 변환기가 충분히 감지할 수 있었으므로 전치증폭기를 사용할 필요가 없었다. 그러나 본 연구 대상지는 수심 2000 m 정도의 지역이었으나 수심 4000~5000 m 의 심해저 탐사와 같은 경우 미약한 특정 반사신호의 출력 강화나 전치증폭기의 자체적인 필터링 효과를 얻고자 할 때에는 Fig. 1-6과 같은 전치증폭기의 사용이 요구된다.

### 제 3 절 SBP 계수화자료의 신호처리

SBP와 같이 단일 송·수신기로 프로파일링하여 해저지형을 판독하는 탐사장비는 불필요한 측면 반사신호의 효과적인 제거와 수직 반사신호의 분해능을 향상시키기 위해 탐사시 좁은 폭을 갖는 음원을 한 방향으로 집중 방사해야 한다. 온누리호에 탑재된 SBP의 경우 Fig. 1-7과 같이 각기 다른 주파수 특성을 가진 12개의 음원을 배열하여 조합된 음원의 대부분이

수직하부로 진행할 수 있도록 하였다. 그러나 이 배열법의 영향으로 주파수영역에서 특정주파수가 약화되는 현상이 발생되며, 주 주파수가 3.5 kHz이며 대역폭이 2 kHz인 고주파수 성분의 음원 특성으로 인해, 시간영역에서의 반사신호가 저주파수 대역을 포함하는 일반적인 탄성파탐사의 경우처럼 광대역 주파수 특성이 아니어서 이를 기본으로 하는 탄성파 자료처리와 해석 과정에서 많은 문제를 야기하므로, 특별한 자료처리 과정이 추가되어야 한다.

### 1. 탐사지역 개관

본 시험 연구지는 1995년 10월에 한국해양연구소에서 실시한 동해 대수심탐사시 울릉도와 독도사이 수심 약 2,000m의 지역이며 Fig. 1-8에 시험 탐사지의 위치가 나타나있다.

### 2. 아날로그 자료와 디지털 자료의 비교

통상적인 SBP 시스템에 의한 아날로그 출력자료가 Fig. 1-9에 나타나 있으며, 이 프로파일 자료는 운누리호를 이용하여 동해 대수심탐사 지역내 북위 37° 24' 위치에서 동경 131° 00' ~131° 50' 의 구간에서 취득하였으며, 한국 시간으로 1995년 10월 9일 오후 3시 40분에서 7시 사이에 동쪽방향으로 7~8 노트 (knot)의 속도로 진행하였다. 여기서 가로축은 매 4초마다 음파를 발생시켰을 때 3,000 개의 트레이스 (trace)이며, 세로축은 0.1 msec 의 측정 시간간격 (sampling time)으로 2.5~3.3 sec 내의 범위이다. 현장에서의 신호 기록시 해석의 편의를 위하여 그림 내에 수평선과 수직선을 이용하였는데, 여기서 수평선의 간격은 0.2 sec 이며 수직선의 간격은

조사선의 진행방향으로 약 10 분 정도의 시간에 해당한다.

시험연구의 특성상 방대한 양의 자료를 전부 취급하기보다는 자료처리 효과를 효율적으로 연구하기 위해 Fig. 1-10과 같이 전체 프로파일중 가로축으로 2900~3000번의 트레이스 101개와 세로축으로 3.14~3.22 sec의 801개에 해당하는 특정 부분만 다루었으며, 앞장에서 설명한 계수화 장비를 이용하여 취득된 이 구간의 디지털 자료의 일부이다.

두 그림에서 일견 아날로그 자료가 디지털 자료보다 반사신호의 연속성 측면에서 더 나은 것처럼 보이지만, 자료 도시방법상의 문제이며 자료처리과정을 효과적으로 살펴보기 위한 도시법인 Fig. 1-10의 위글 트레이스법 (Wiggle Trace)을 Fig. 1-9와 같이 가변밀도법 (Variable Area)으로 나타내면 (민경덕 등, 1987) 두 자료는 수치적으로 일치하게 된다.

### 3. 계수화 자료의 신호처리

Fig. 1-10의 디지털 자료중 왼쪽에서 38번째의 한 트레이스와 이 중에서 해저면의 일차반사파로 추정되는 신호만을 각각 Fig. 1-11 (a), 11 (b)에 도시하였다. Fig. 1-11 (c)는 Fig. 1-11 (b)의 주파수 영역 표시로 진폭스펙트럼인데, 온누리호에 탑재된 SBP 시스템의 음원은 이론적으로 중심주파수가 3.5 kHz이며 대역폭이 2 kHz이지만 음원의 특정 배열 (Fig. 1-7 참조)로 인해 실제적으로는 중심 주파수가 약간 이동함을 알 수 있다. 음원에서 2 kHz 대역폭의 신호를 고려할 때 감지된 반사신호의 주파수영역 대역폭이 2.5~3.5 kHz인 대역통과 필터링을 실시하였다.

## 가. 대역 통과 필터링 (bandpass filtering)

천부지층탐사기를 이용하여 해저 지층의 경계면을 탐지할 때, 탐사의 목적 (주로 음파의 투과심도와 분해능에 따라 다름)에 따라 송신원에서 발생하는 음파는 특정주파수 대역을 갖게 된다. SBP의 경우 탐지 대상체의 수심이 수십에서 수천 미터이며 투과심도는 수 백 m 정도인데 이러한 조건을 만족시키기 위해 주 주파수가 3.5 kHz 이고 이를 중심으로 2 kHz 의 주파수 대역을 갖는다. 그러나 송신원과 달리 수신기는 광대역 주파수대역의 신호를 감지하기 때문에 해저지형으로부터의 반사 신호 외에도 여러 가지 잡음을 감지할 수 있다. 예를 들어 현장탐사시 조사선에 의한 각종 기계적인 소음, 탐사 기기 자체의 전기·기계적 성질, 해황에 의한 바다로부터의 예기치 못한 잡음 등 해저 반사면에 의한 수신호와는 상관없는 일관성, 무작위 잡음이 상존 하게 된다.

따라서 잡음을 제거하고 신호 성분만을 추출하기 위한 수학적 방법을 도입하여 불필요한 성분을 제거해야한다. 이러한 방법으로 주파수 영역에서 원하는 신호만을 선별적으로 통과시키는 대역 통과 필터링이 있다. 주파수 영역에서 대역 필터 ( $F_b(\omega)$ )는 식 (1)으로 정의되며 Fig. 1-12와 같이 특정 주파수대역의 통과 혹은 제거시키는 부분을 송신원의 발생 주파수 대역의 특성에 맞게 설정하여 이용한다 (Sheriff 등, 1983).

$$F_b(\omega) = \begin{cases} 1 & |\omega_L| < |\omega| < |\omega_H| \\ 0 & |\omega_L| < |\omega| \text{ or } |\omega| > |\omega_H| \end{cases} \quad (1)$$

여기서,  $\omega$  = angular frequency

$\omega_L$  = low-cut frequency

$\omega_H$  = high-cut frequency

그러나, 이 필터는 통과시키는 주파수와 제거시키는 주파수의 경계에서 불연속이 되며 이 급격한 변화는 필터링 후의 시간 영역에서 Gibbs 현상 (Gibbs phenomenon)을 일으켜 안정적인 결과를 나타내지 않는다. 따라서 불연속 점의 적절한 처리가 필요한데, window 함수를 이용하면 이 문제를 해결할 수 있다.

이러한 window 함수의 일종인 식 (2)의 Hanning window (Sheriff 등, 1983)로 대역 통과 필터의 경계부분을 처리하면, 수정된 대역 통과 필터는 Fig. 1-13과 같은 형태를 띠며, 이를 실제 자료의 한 트레이스인 Fig. 1-11 (a)에 적용시키면 Fig. 1-14와 같이 안정적인 결과를 얻을 수 있다. 이 방법으로 전체 트레이스 Fig 10을 필터링한 결과는 Fig. 1-15와 같다.

$$W(\omega) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(\pi\omega/T_w) \quad (2)$$

#### 나. envelope 함수

SBP로 측정된 해저지형에 의한 반사신호는 정현파 (sinusoid)의 형태를 띠므로 반사신호의 강도 (amplitude)나 시간결정 (time picking)을 용이하게 하기 위해서는 신호의 극성 (polarity)과 상관없는 진폭형태인 envelope 함수의 도입이 필요하다. envelope 함수는 주파수영역에서 함수의 위상변화를 시키는 힐버트 변환 (Hilbert transform) 기법을 이용하여 극성을 가진 시간영역의 함수를 양 (+)의 값만 갖는 진폭에너지 형태로 변환시켜 준다.

sine 함수를 cosine 함수로 변환시키는 필터를 90° 위상 이동 필터 (phase shift filter) 혹은 이상 필터 (quadrature filter)라 하는데, 이 필터는 시계열 함수의 envelope를 구성하는데 유용하다.  $X(Z)$ ,  $Q(Z)$ 를 각각

실제 자료 시계열의  $z$ 변환과 위상 이동 필터라 하고,  $Y(Z) = Q(Z)X(Z)$ 는  $X(Z)$ 를  $90^\circ$  위상 변환시키는 힐버트 변환에 의한 결과로  $Q(Z)$ 와  $X(Z)$ 를 시간 영역에서 컨벌루션(convolution)한 형태이다. 이들을 이용하여 envelope 시계열을 구하는 것은 식 (3)과 같다 (Claerbout, 1976).

$$e_i = (x_i^2 + y_i^2)^{1/2} \quad (3)$$

대역통과 필터링을 거친 자료인 Fig. 1-14를 식 (3)을 이용하여 envelope 시계열로 바꾼 결과가 Fig. 1-16에 나타나 있다.

#### 다. envelope 함수의 평활화 (smoothing with a triangle)

평활화의 개념은 일반적인 의미의 필터링으로서 자료의 급격한 변화를 억제하고 전반적으로 부드러운 양상을 갖도록 하는 것이다. 평활화 필터(smoothing filter)의 일종으로 직각형 평활화법(smoothing with a rectangular or boxcar)는 직사각형 형태의 필터를 이동 평균(moving average)법에 의해 적용한 것으로 Fig. 1-17에서와 같이 통과 필터를 한 단위씩 일 방향으로 이동시키면서 평균한 값을 중앙의 값으로 대체하는 방법이다 (Claerbout, 1992). 이 방법을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

각각  $X(Z)$ 를 입력,  $Y(Z)$ 를 출력,  $B(Z)$ 를 필터의  $z$  변환된 형태라 하면, 이들의 관계는 식 (4)와 같다.

$$Y(Z) = X(Z)B(Z) \quad (4)$$



이때 필터의 길이를 5 라 하면 필터의  $z$  변환은 식 (5)와 같다.

$$B(Z) = 1 + Z + Z^2 + Z^3 + Z^4 + Z^5 = \frac{1 - z^5}{1 - z} \quad (5)$$

식 (5)를 식 (4)에 대입하여 정리하면 입력과 출력의 관계는 식 (6)과 같다.

$$(1 - z)Y(Z) = X(Z)(1 - z^5) \quad (6)$$

이 결과를 시계열로 나타내면,

$$y_t = y_{t-1} + x_t + x_{t-5} \quad (7)$$

이 되는데 필터의 길이  $nb$ 를 임의의 수라 하면 직사각형 평활화법은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_t = y_{t-1} + x_t + x_{t-nb} \quad (8)$$

위의 방법은 단순히 이동 평균법에 의해 평활화 기법을 이용한 것이나, 보다 통계적으로 안정적인 방법으로 위의 필터를 두 번 적용하는 삼각형 평활화법 (smoothing with a triangle)이 있다. 이 방법은 시간 영역에서 직사각형 형태의 필터를 컨벌루션한 것으로, 그 결과는 Fig. 1-18과 같이 평균값을 대체할 중앙을 중심으로 가중치를 주게 되는데 중앙의 첨점을 제외하고는 가우스 함수 (Gaussian function)의 형태와 유사하다

(Claerbout, 1992).

이 필터를 Fig. 1-16의 envelope 시계열에 적용하면 Fig. 1-19와 같이 통계적으로 안정적이면서 함수의 형태가 전반적으로 부드러워져서, 음파 신호의 진폭 (최대치)의 값이나 최대 진폭에서의 측정시간을 시간 결정 (time picking) 프로그램을 이용하여 오차 없이 추출해 낼 수 있다.

#### 4. 신호처리 자료의 해석

계수화 장비에 의해 취득된 자료인 Fig. 1-10을 대역 통과 필터링, envelope 함수, 평활화 기법의 신호처리 과정을 통해 Fig. 1-19와 같이 해저 지층에서의 반사신호를 정량적으로 나타내었다. 이 결과를 시간 결정 프로그램을 이용하여 각 구간별로 envelope의 최대 값을 선택하면 각 퇴적층으로부터의 반사신호 시간을 알 수 있으며 이에 대한 결과가 Fig. 1-20에 나타나 있다.

Fig. 1-20에서 각각의 반사 신호는 트레이스 축을 따라 약간의 편차를 가지고 부드럽지 못한 양태를 띠고 있다. 이는 탐사시 파도에 의한 조사선의 3차원적인 움직임에 의해 발생하는 측정상의 오차로 볼 수 있는데, 실제로는 해저면과 퇴적층들의 수직적인 위치가 그림보다 부드럽게 변화하는 양상을 보일 것이다. 그러나 이들간의 오차는 정확하게 보정하기가 현실적으로 어렵다. 이에 대한 해결 방법으로 각각의 트레이스별로 수행한 평활화 기법을 각 반사층별로 트레이스 축을 따라 수행한다면 조사선에 의한 측정상의 오차를 완화시키는 효과가 있을 것이다.

한편 SBP에 의한 천부지층 탐사는 단일 채널에 의한 것이므로 퇴적층의 속도구조를 정확하게 알 수 없다. 따라서 다중 채널 탐사법이나 기타 퇴적층의 속도구조를 추정할 수 있는 탐사법에 의한 결과와 비교한다면,

SBP에 의한 퇴적층간의 주시차를 이용하여 퇴적층의 두께를 정확히 알 수 있다.

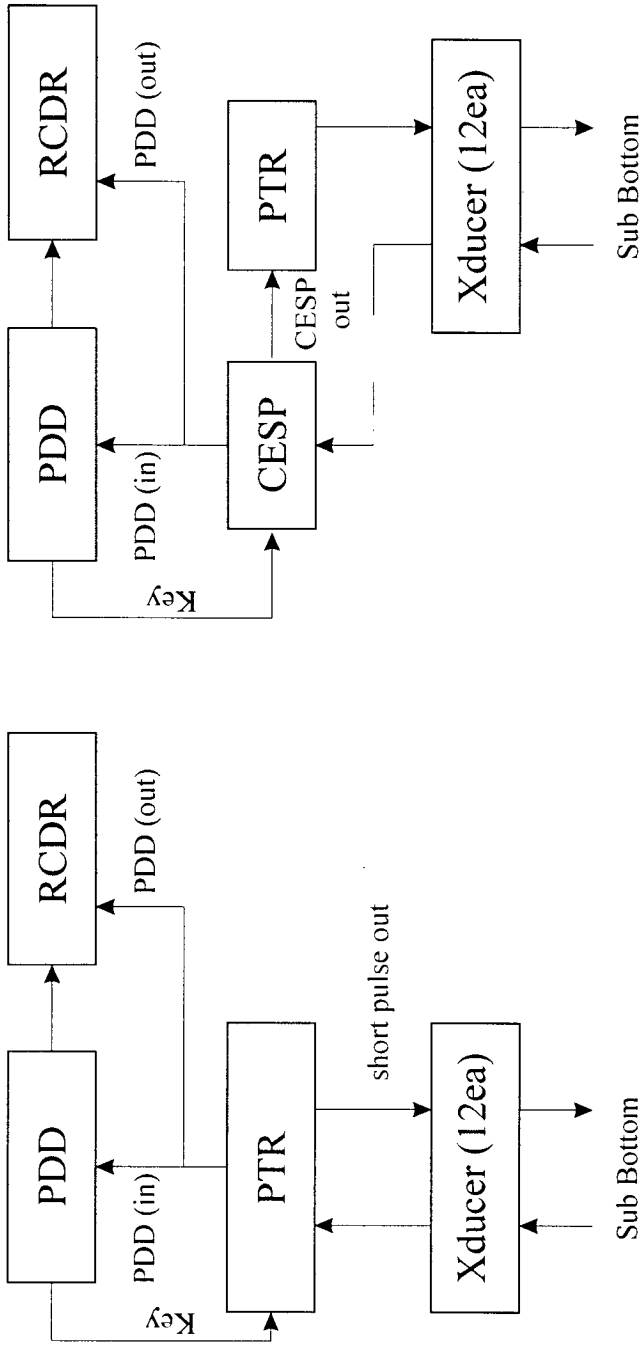
## 제 4 절 결과 및 기대효과

계수화 장비를 이용한 SBP 시스템의 개선은 정성적으로만 이용될 수 있는 아날로그 자료를 기존 장비의 교체에 따른 경제적인 부담 없이 디지털 자료를 현장탐사시 실시간에 취득함으로써 탐사자료의 이용을 극대화시킬 수 있는 기술을 자체적으로 개발하게 되었다. 디지털화된 자료는 컴퓨터를 이용하여 여러 자료처리 기법을 도입하여 해저지형과 퇴적층의 위치와 두께 등에 대한 정량적인 자료로 변환시킬 수 있었으며, 이를 바탕으로 심해저 광물자원 탐사시 광물의 분포 상황과 개발 계획 수립 등에 보조적으로 이용될 수 있는 자료가 확보되었다.

본 연구에서의 결과는 자체 개발기술의 습득과 축적으로 보유장비의 운용시 효율의 극대화와 해외 고가장비의 수입대체 효과를 가져 올 수 있으며 추후 장비의 구입 시에도 운용능력의 향상을 꾀할 수 있다. 심해저 광물자원 탐사의 경우 SBP 외에도 자원의 분포와 해저지형 파악을 위한 각종 지구물리 탐사장비가 있으므로 디지털 SBP의 자료는 타 탐사자료와의 상호 비교와 보완적으로 이용될 수 있다. 이를 범용의 데이터 베이스(data base)화하여 GIS를 이용한다면 종합적인 자료의 이용과 관련 학문분야의 이용자에게도 편의를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 과학기술처, 1993, 해양지구물리 탐사기술 개발연구 (III): 253-286
- 과학기술처, 1992, 천해저 고해상 탄성과 자료취득 기술개발연구 (I): 11-59
- 김한준, 조철현, 최동립, 안충현, 1988, 3.5 kHz 음향 단면탐사자료의 처리에 관한 연구. 해양연구, 10(2): 29-33
- 민경덕, 서정희, 권병두, 1987, 응용지구물리학 : 우성문화사
- 이호영, 1991, 마이크로 컴퓨터를 이용한 천해저 고해상 반사법 탄성과 탐사자료의 취득 및 처리에 관한 연구, 서울대학교 공학박사 학위논문
- Bays, A. R., 1984, The impact of microelectronic technology on seismic data acquisition. The Leading Edge, 3: 54-57.
- Bays, A. R., and Blasco, S., 1986, A new high resolution digital marine acquisition system. The Leading Edge, 5: 51-54.
- Claerbout, J. F., 1992, Earth sounding analysis : Blackwell Scientific Publications, Boston.
- Claerbout, J. F., 1976, Fundamentals of geophysical data processing : Mcgraw-Hill Book Co., New York.
- Scanlon, K. M., 1992, Fe-Mn Nodule Field Indicated by GLORIA, North of the Puerto Rico Trench. Geo-Marine Letters, 12: 208-213
- Sheriff, R. E. and Geldart, L. P., 1983 : Exploration seismology v. 2 : Cambridge Univ. Press.



(a)

(b)

Fig. 1-1. The schematic diagram of subbottom profiler on R/V Onnuri  
 (a) without CESP, (b) with CESP (longer pulse generator)

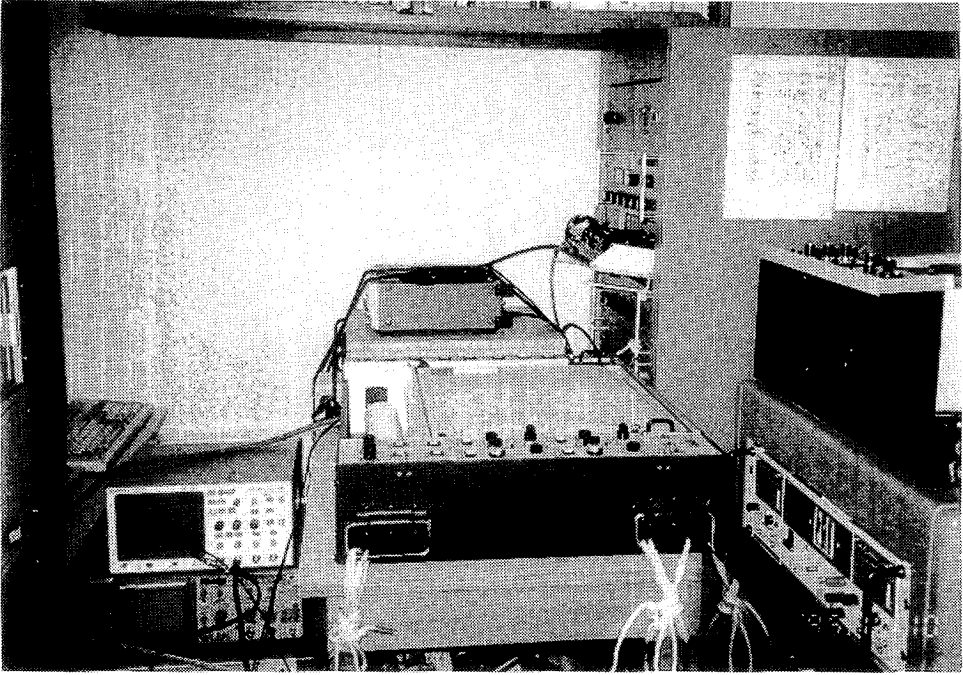


Fig. 1-2. Photography showing the connection between SBP's output node, oscilloscope, and analog printer

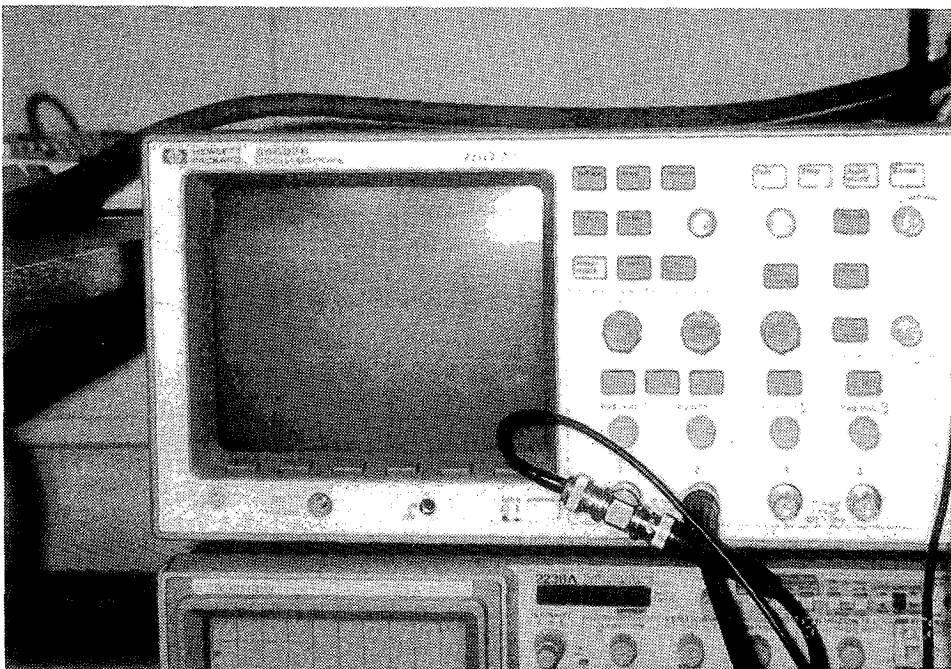


Fig. 1-3. Electrical signal plot of reflected energy from sea floor using oscilloscope



Fig. 1-4. Arbitrary waveform function generator used to test the trial version of digital acquisition system in the laboratory



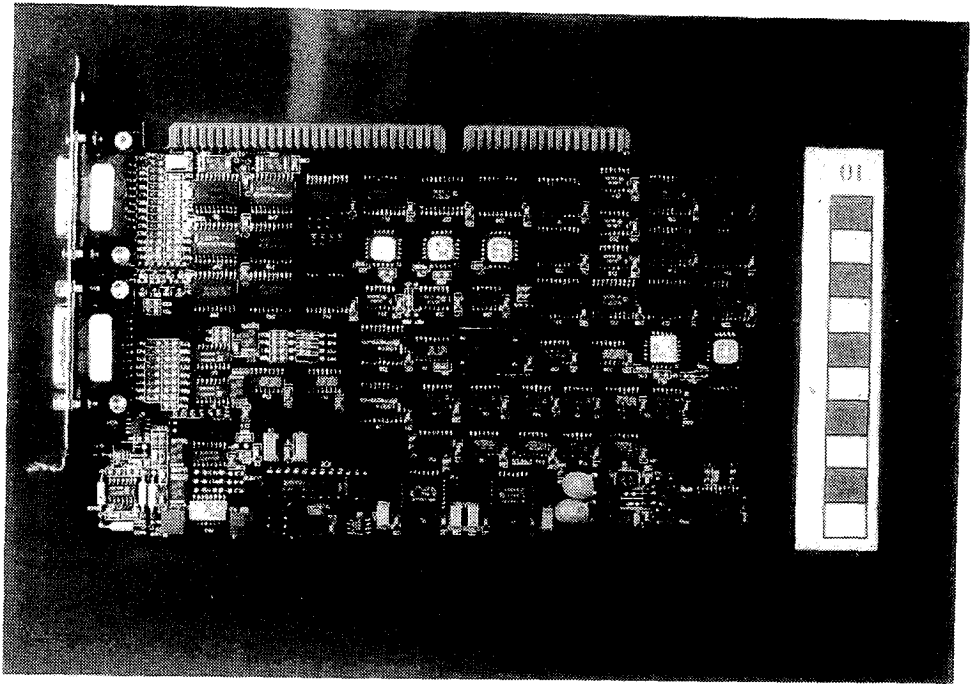


Fig. 1-5. IBM PC compatible A/D & D/A converter card

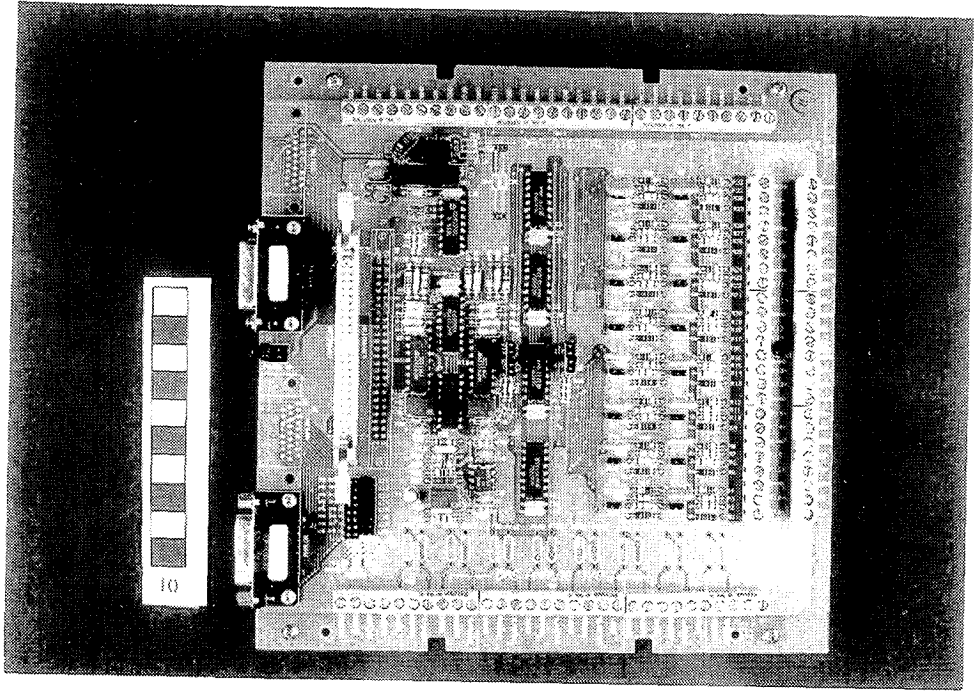


Fig. 1-6. Pre-amplifier used in this study

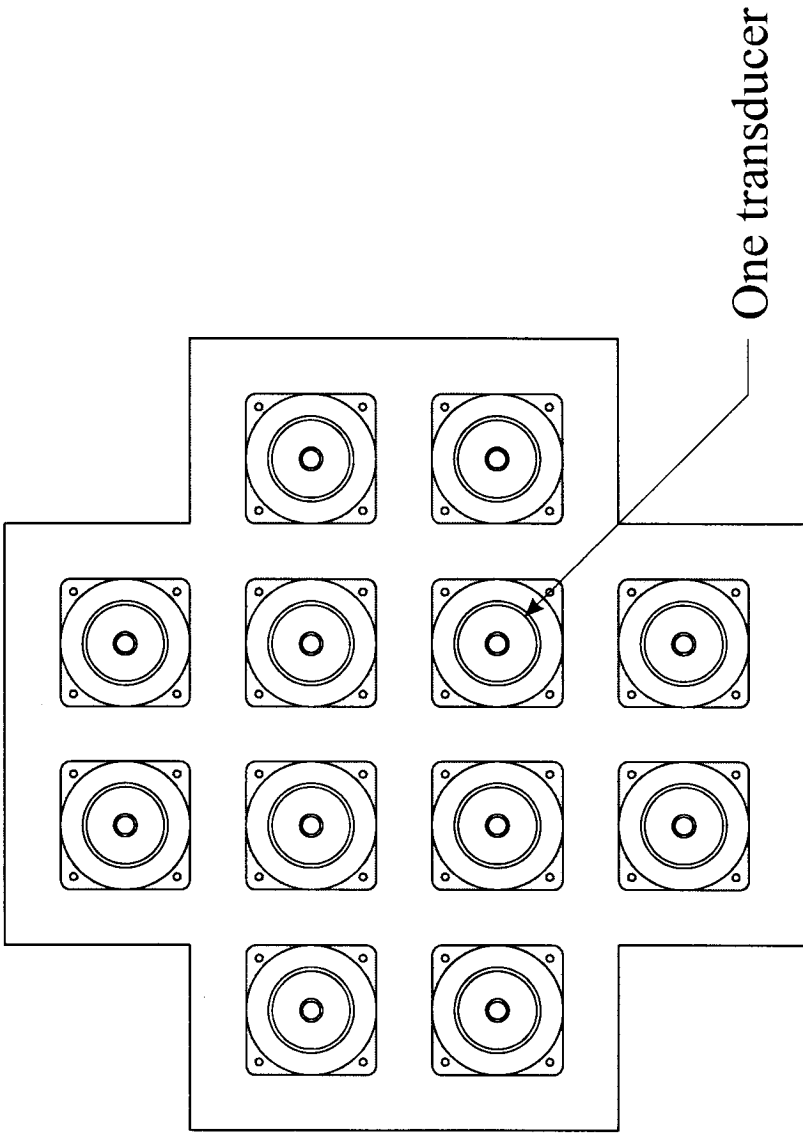


Fig. 1-7. Array of transducers installed on the hull of R/V Ommuri

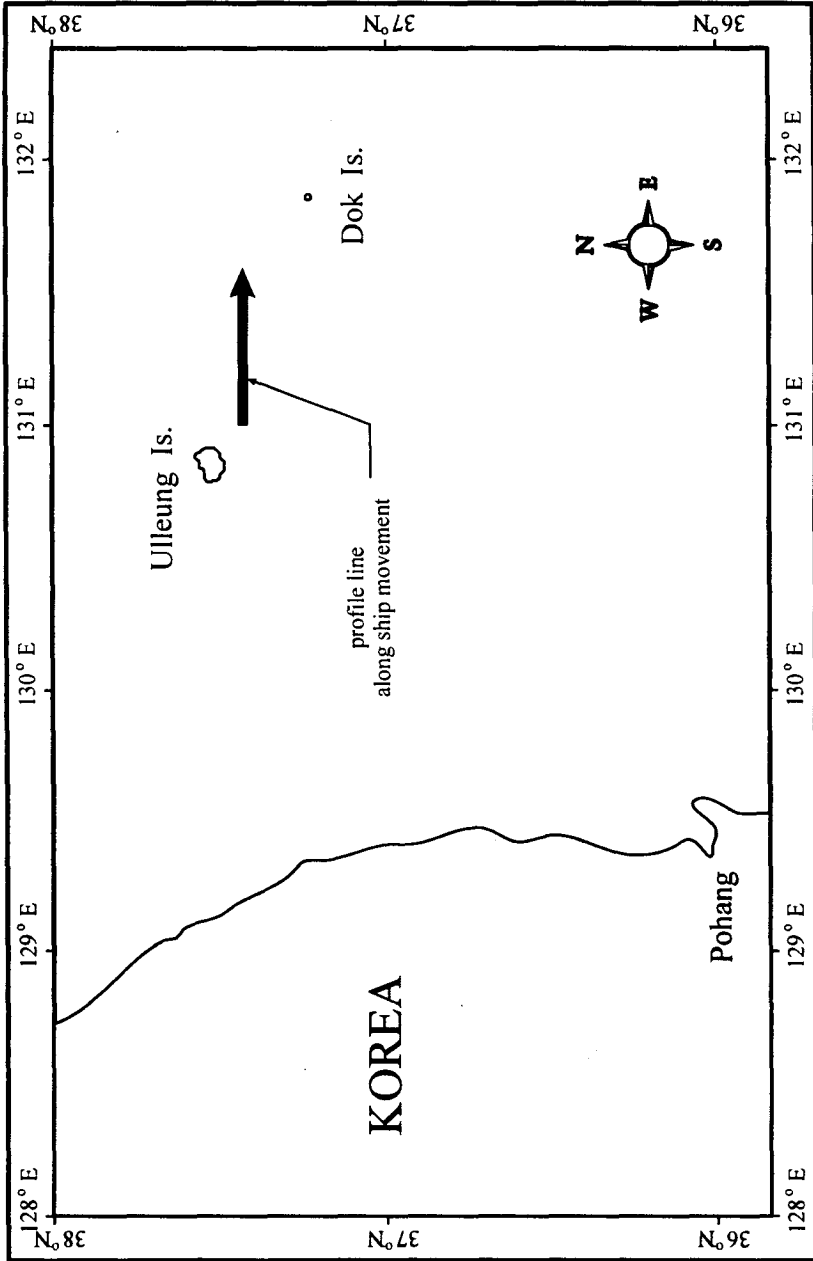


Fig. 1-8. Location of the application site and survey line

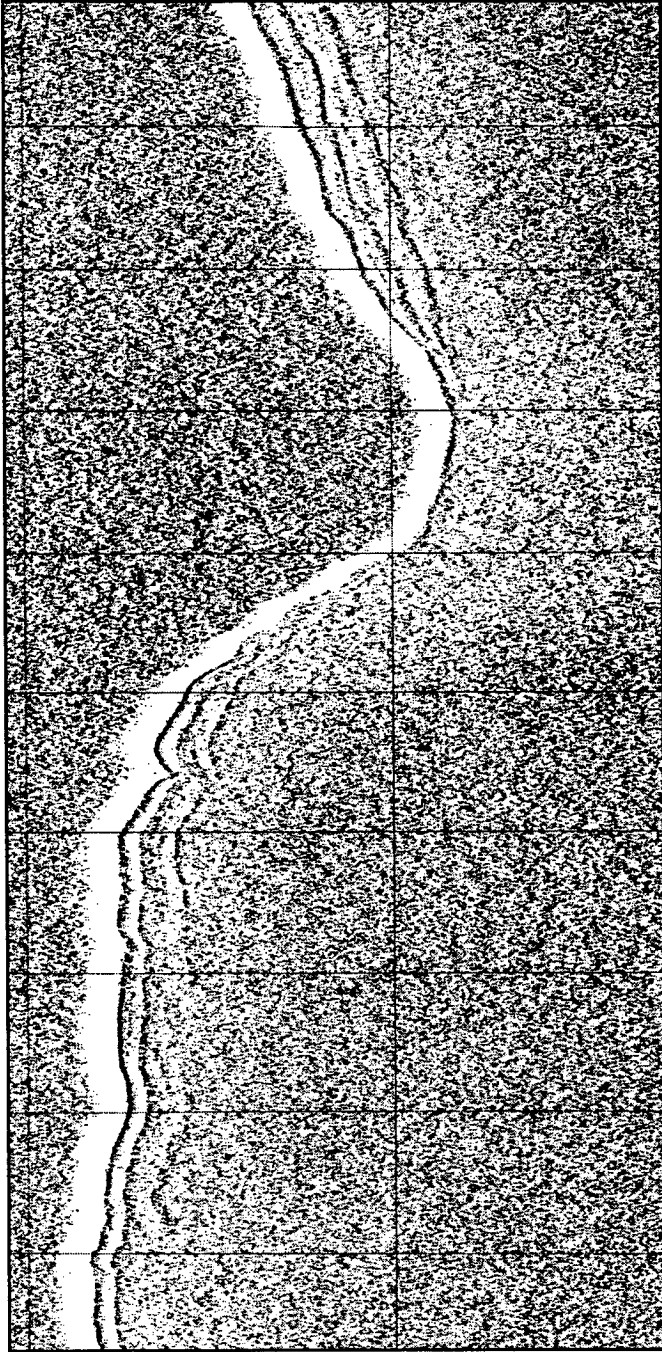


Fig. 1-9. Scanned image of the SBP's analog output profile

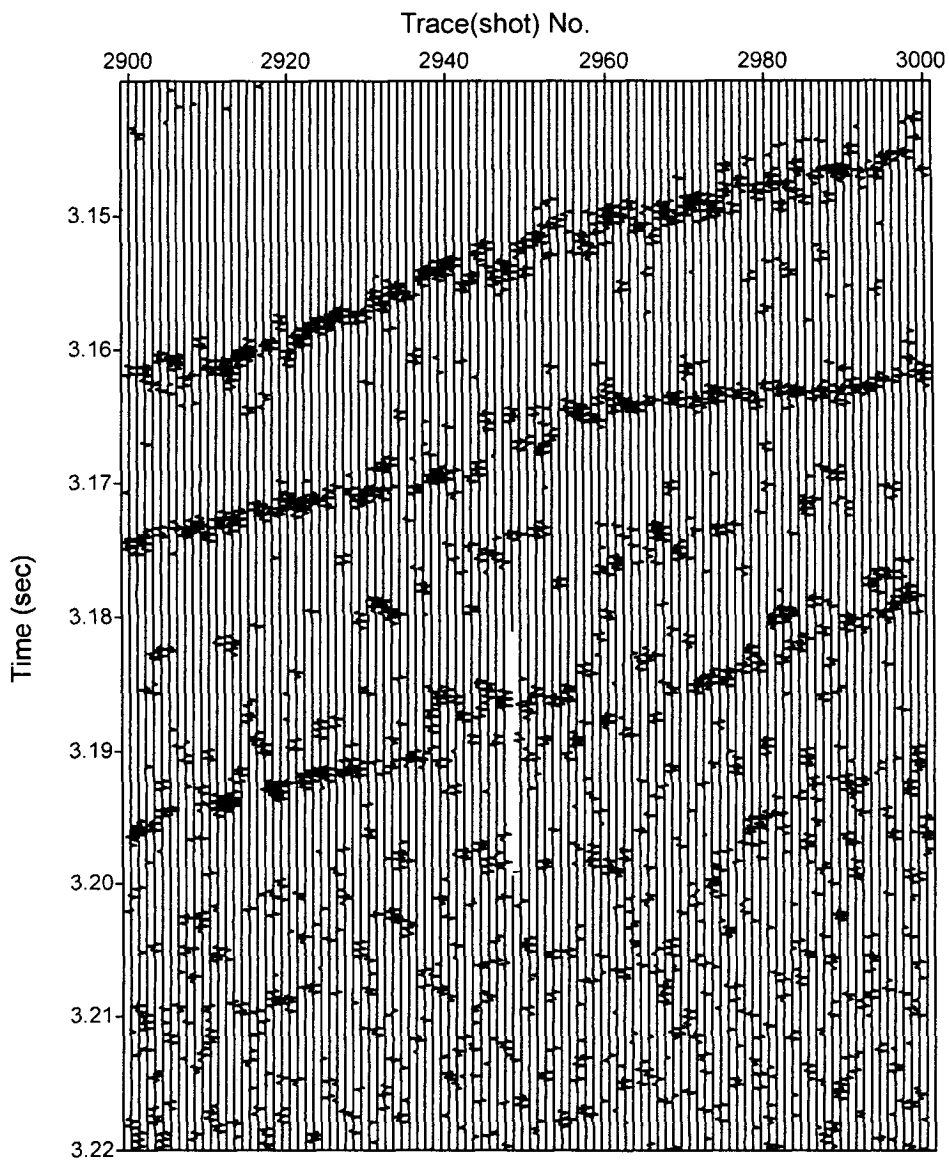


Fig. 1-10. Partial digital output section along the survey line in Fig. 8

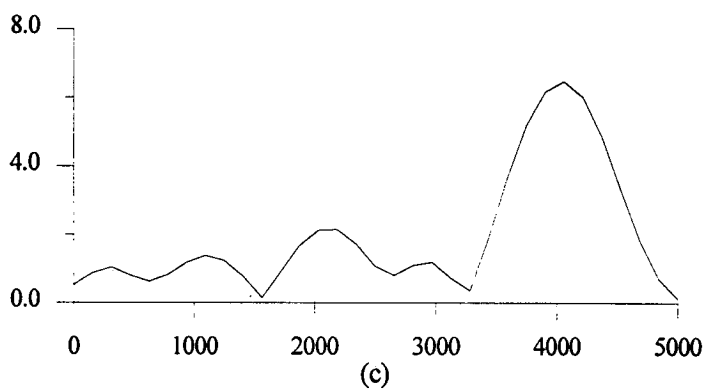
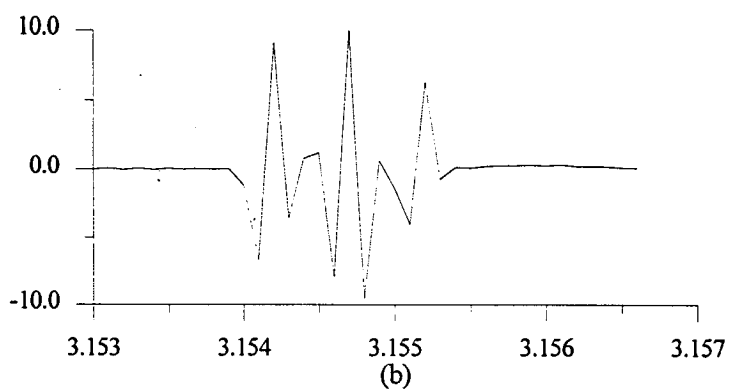
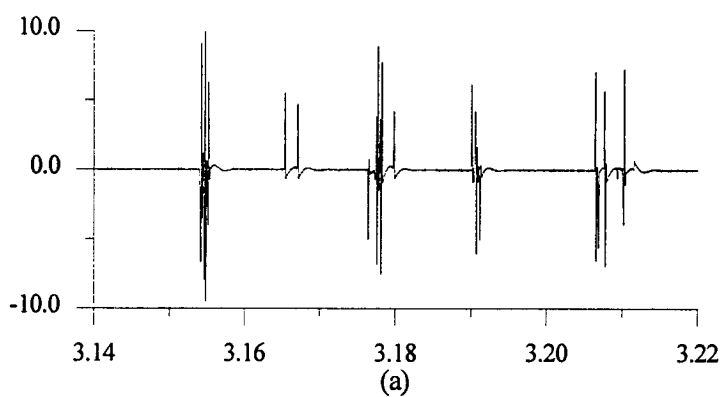


Fig. 1-11. (a) Arbitrary chosen one sample trace in Fig. 10,  
 (b) primary reflected wave in sample trace (a), and  
 (c) amplitude spectrum of primary reflected wave in (b)

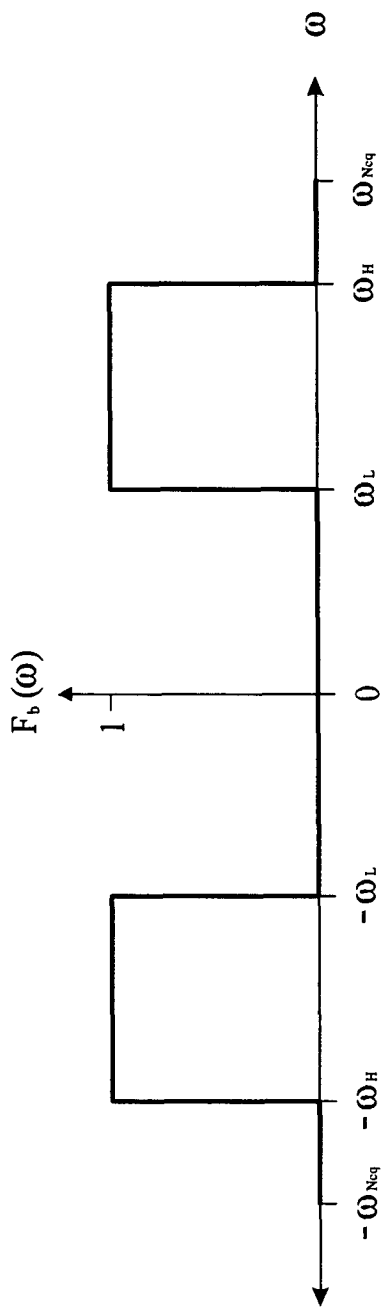


Fig. 1-12. Angular frequency plot of the bandpass filter



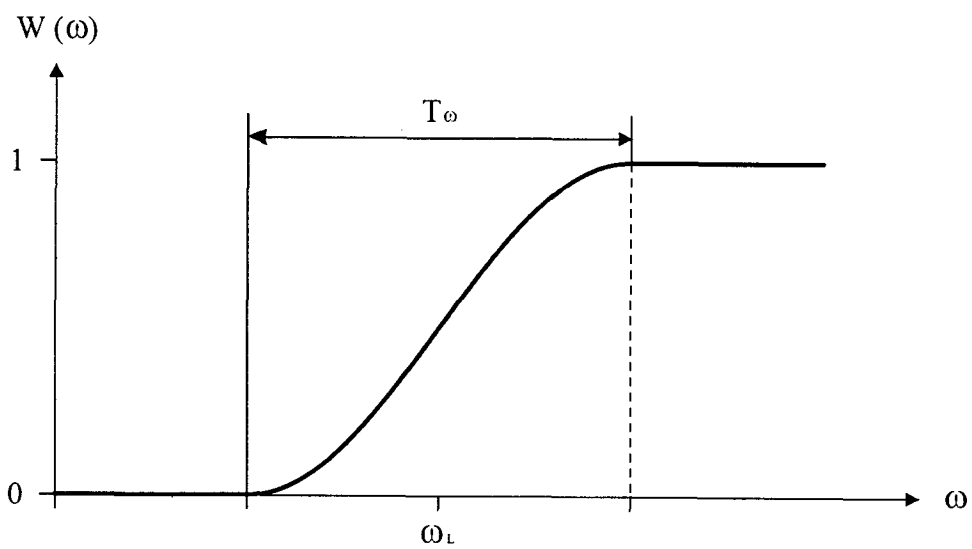


Fig. 1-13. Angular frequency plot of the Hanning window

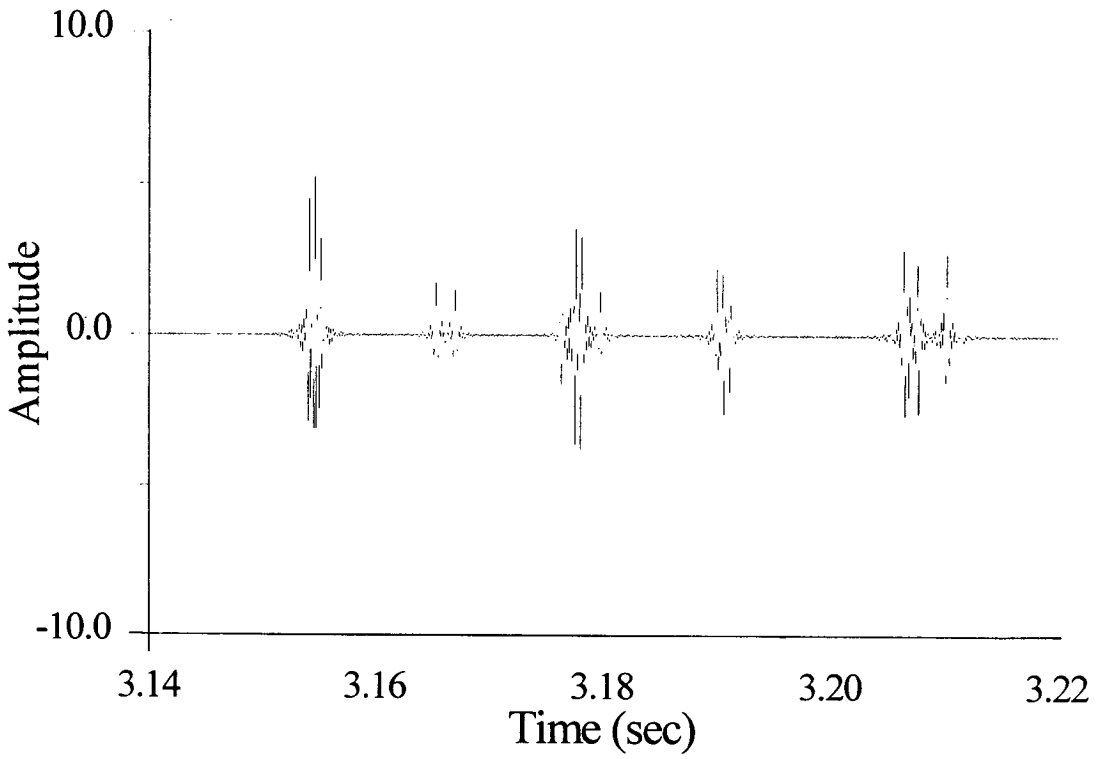


Fig. 1-14. Bandpass filtered result of sample trace in Fig. 11(a)

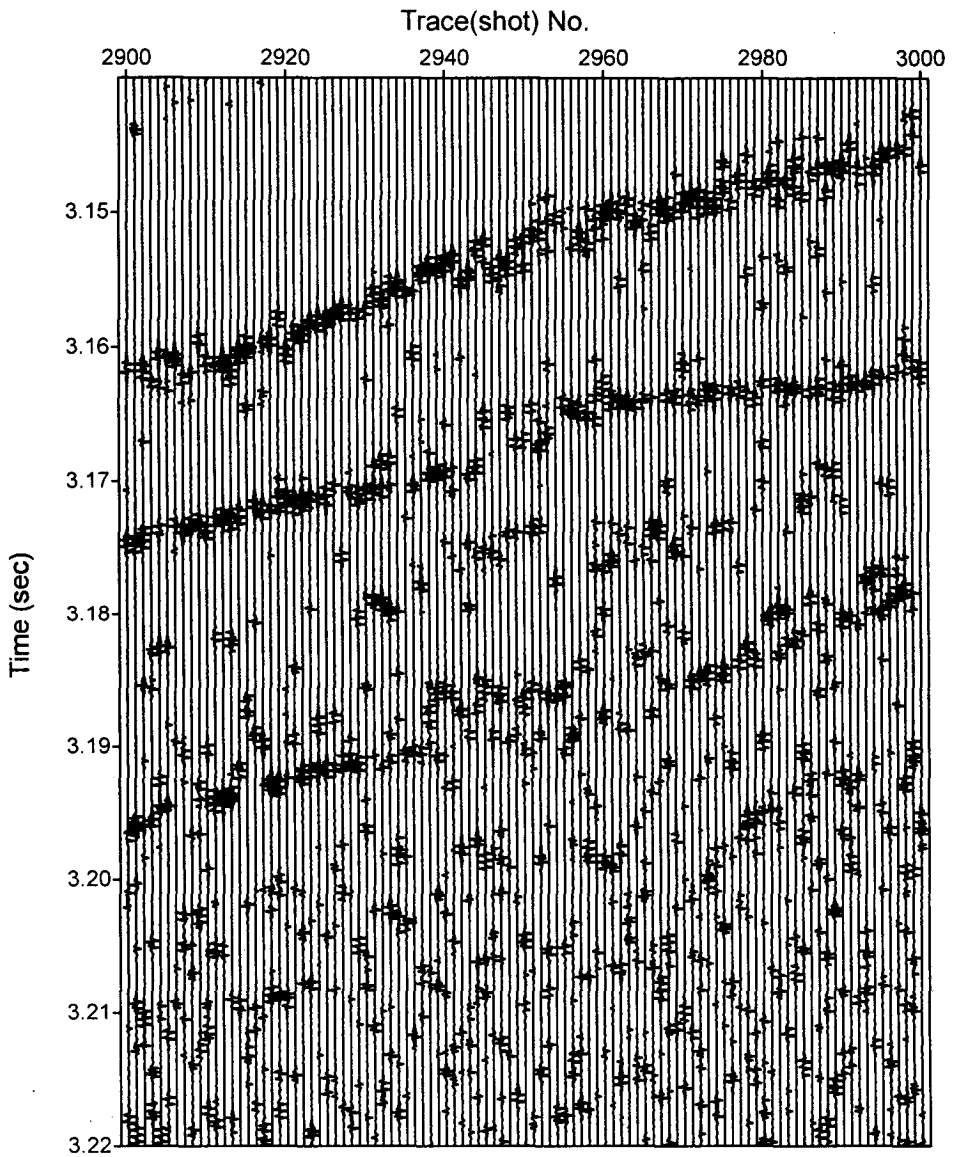


Fig. 1-15. Bandpass filtered profile of Fig. 10

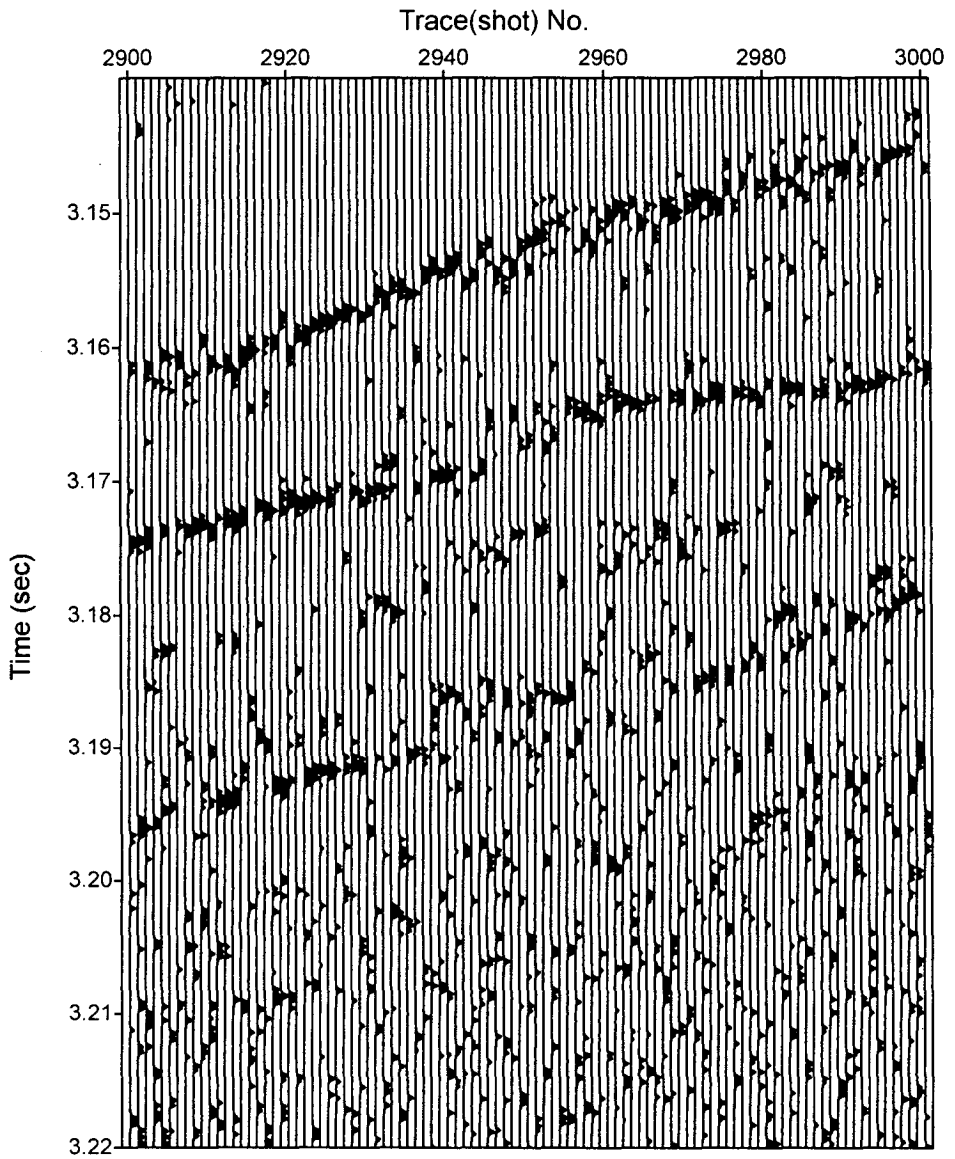


Fig. 1-16. Envelope section of Fig. 15 using Hilbert transform

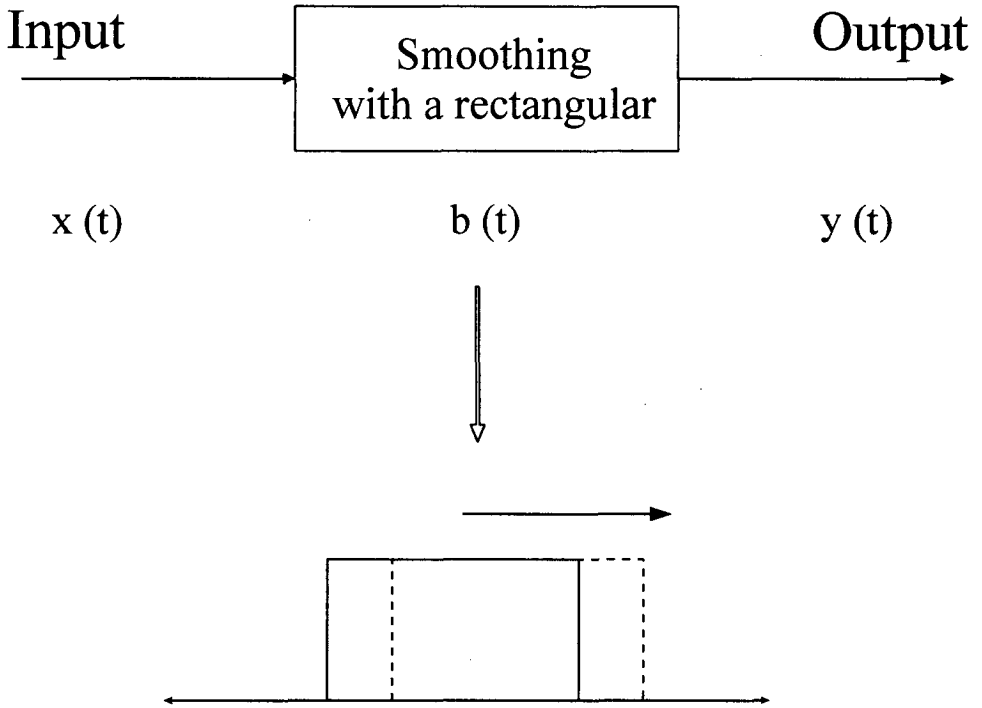


Fig. 1-17. Principle of smoothing technique with a rectangular or boxcar window (moving average)

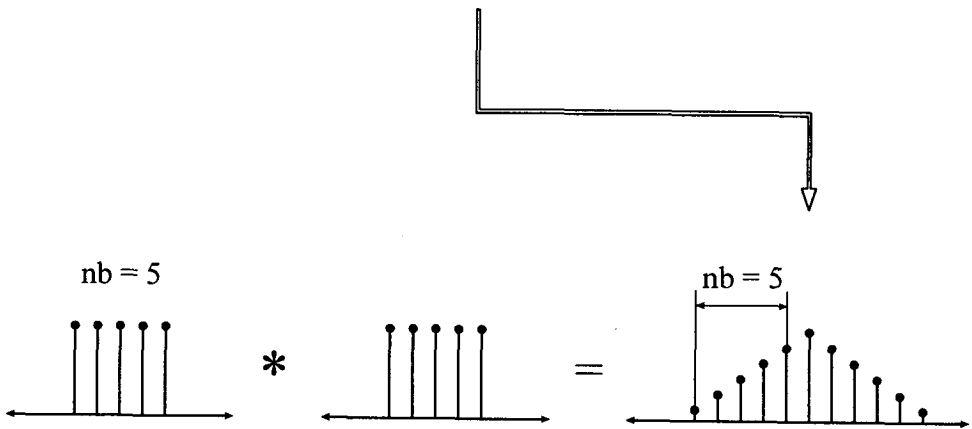
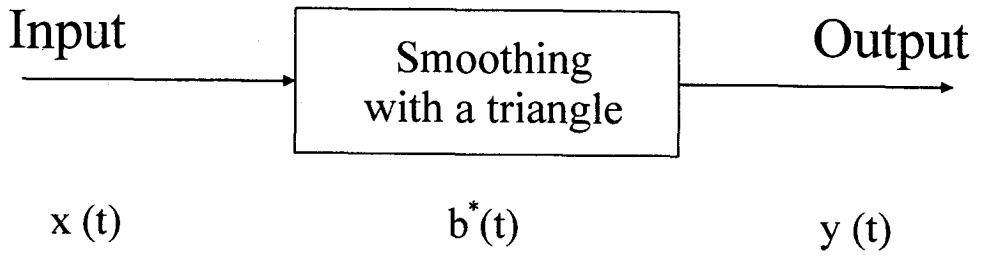


Fig. 1-18. Principle of smoothing technique with a triangle window

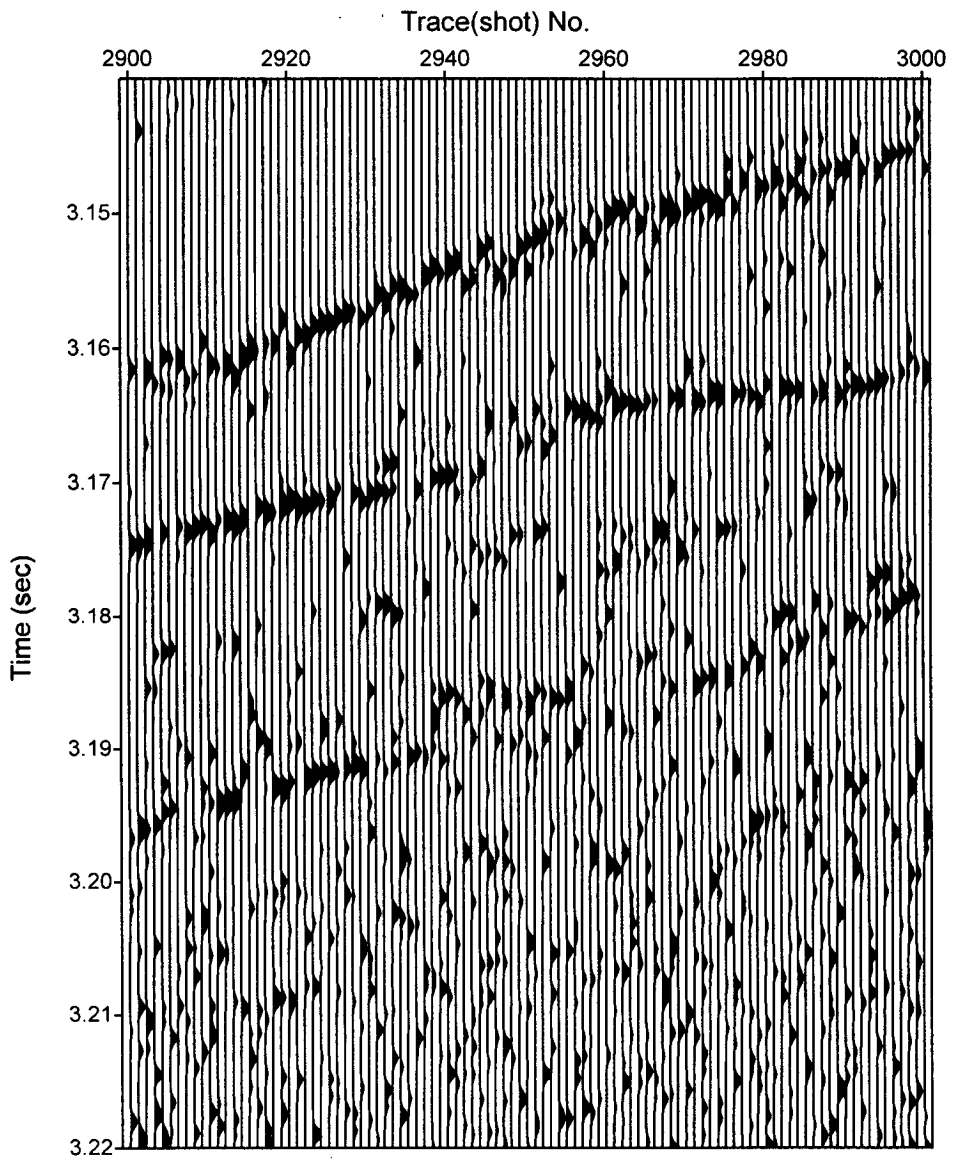


Fig. 1-19. Triangle window smoothing result of Fig. 16

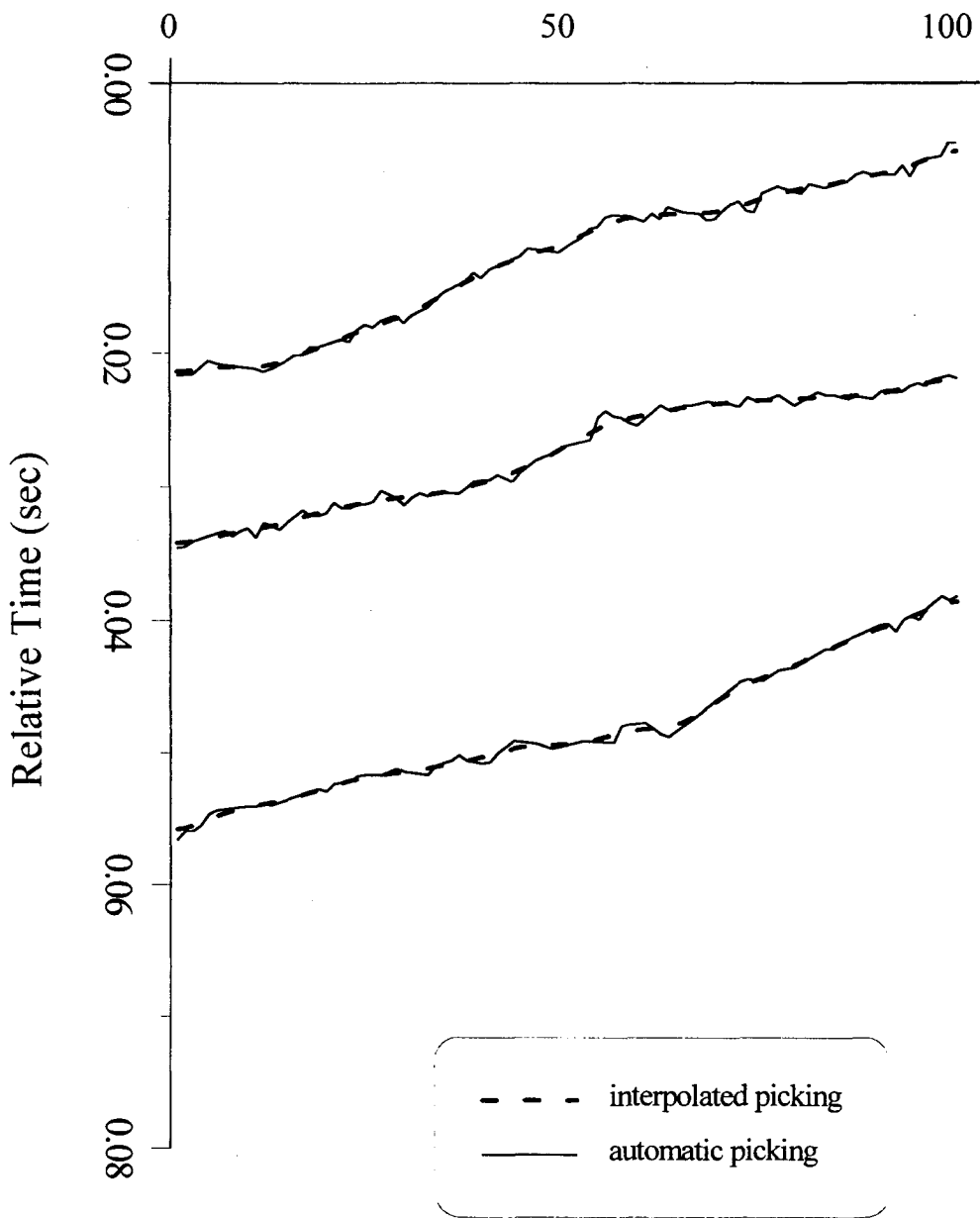


Fig. 1-20. Trace picking result with conventional and interpolated method on Fig. 19



## 제 2 과제

### 탐사자료처리 및 활용기법 개발



## 제 1 절 서 론

우리나라가 '92년 심해저 망간단괴 광구지역에 대한 탐사를 시작한 이래 많은 양의 심해저 광물자원에 대한 탐사자료가 축적되어 왔다. 이러한 탐사자료들은 많은 연구자금과 인력을 사용하여 얻어진 자료로서 보다 효율적인 자료활용이 요구되고 있다. 또한, 많은 양의 축적된 탐사자료들을 체계적으로 분류하고, 자료들을 데이터베이스화함으로써 탐사자료 및 그 해석자료를 효율적으로 관리 및 이용하고, 이를 지리정보시스템 (GIS)화하여, 원하는 자료를 손쉽게 취득하고 종합하는 일 등은 탐사기술 개발분야의 하나라 할 수 있을 것이다.

데이터베이스란 어느 특정조직의 응용업무에 공동으로 사용하기 위해 운영상 필요한 데이터를, 중복을 최소화하여 컴퓨터 기억장치내에 모아놓은 집합체라고 정의할 수 있다 (오혜석, 1996). 또한 지리정보시스템 (GIS)이란 지도 및 위치정보를 근간으로 해 자료의 공간적 도시 및 공간해석을 용이하게 해주는 컴퓨터 저작 도구의 총칭으로 볼 수 있을 것이다 (Ripple, 1989).

본 연구에서는 심해저 탐사자료들의 자료구조를 분석하여 알맞은 데이터베이스 시스템과 지리정보시스템을 도입하고, 탐사자료 및 그 해석자료들을 분류 및 현시 함으로서, 심해저 탐사자료들을 최근 데이터베이스시스템의 추세인 멀티미디어 데이터베이스화 하고자 하였다. 또한, 이를 통하여 유엔 선행투자자의 의무사항인 정밀탐사와 광구포기작업의 정확성을 높이고, 유망광구의 선정과 경제성 판단의 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 제 2 절 심해저자료의 데이터베이스화

국내·외적으로 연구·개발하여 운영 중인 데이터베이스 시스템을 분석하여 해양탐사 자료에 적합한 데이터베이스 시스템의 모델을 찾고자 하였다.

국내에서는 한국자원연구소의 해저지질 및 지구물리자료 DB를 분석하였고, 국외로는 SOPAC의 해양GIS모델을 분석하여 심해저 광물자원 탐사 자료의 데이터베이스 (이하 심해저데이터베이스)설계에 응용하였다.

### 1. 심해저 데이터베이스의 운영시스템

데이터베이스 관리 시스템 (Data Base Management System; DBMS)이란 데이터베이스의 구성에서부터 이용까지의 모든 것을 취급하는 소프트웨어들을 말한다 (오해석, 1996). 현재 상용되고 있는 여러 가지 DBMS중 심해저 탐사자료를 관리하고 효율적으로 활용할 수 있는 시스템을 찾기 위한 사전조사를 수행하였다. 또한 해양탐사 자료와 같이 지도와 화상자료를 관리·운영해야 하는데 이는 데이터베이스모델중 관계형 모델이 현재까지 운영되는 모델중 가장 적합하며, 관리 및 향후 보완 및 개선의 효율성을 지니고 있어 관계형 모델을 심해저 데이터베이스 시스템의 기본모델로 선정하였다.

관계형 데이터베이스모델은 1969년 E.F. Codd에 의해 고안되었으며, 집합이론과 술어논리로 불리는 수학적 모델을 기초로 개발되었다. 관계형 데이터베이스 모델은 기존의 타 데이터베이스모델에 비해 데이터의 기입, 갱신 및 삭제가 효율적이며, 데이터 검색, 요약 및 보고가 효율적이다 (오해석, 1996). 이러한 관계형 모델은 데이터베이스가 잘 형식된 모델에 따르

기 때문에 서술된 대로 동작하는 특징을 가지고 있다. 또한, 정보의 많은 부분이 애플리케이션보다는 데이터베이스에 저장되기 때문에 데이터베이스는 그 자체에 도큐먼트 측면을 가지고 있으며, 데이터베이스 스키마를 쉽게 변경할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 사용자가 용이하게 접근하여 사용할 수 있도록 PC상에서 운영되며, 운영 및 관리가 용이한 소규모의 네트워킹을 구성하는 관계형 데이터베이스 모델을 이용하였다. 심해저 데이터베이스 시스템의 DBMS로는 개발 및 그 응용틀이 PC 상에서 운영되며, 관계형 데이터베이스를 지원하는 MS사의 ACCESS를 이용하였다. ACCESS DB엔진은 타 데이터베이스 소프트웨어에 비해 엔트리레벨 최종사용자와 고급레벨 최종사용자가 똑같은 틀을 편하게 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 기본운영체제인 Windows 95와 NT상에서 가장 잘 구현되는 특징을 가지고 있다. 이 ACCESS DB 엔진은 멀티스레드, 32비트 데이터베이스 엔진 (Jet 3.0 엔진)과 함께 진정한 32비트 데이터베이스관리시스템으로 알려져 있다 (Litwin, et al., 1996). 이 상용소프트웨어는 Dynaset지원, 통합된 데이터사전, 참조무결성, SQL에 대한 지원 등의 관계형 모델을 지원한다. 강력한 절차적 언어인 VBA (Visual Basic for Application)를 포함하지만 비절차적 환경을 제공하고, VBA코드를 사용하여 데이터를 조작할 수 있는 우수한 객체모델 (Data Access Object, DAO)을 가지고 있다. 32비트 OLE 커스텀 컨트롤, Windows 32 API, VBA 애드인에 대한 지원을 포함하여, 크게 확장할 수 있다. 또한, 파일서버와 클라이언트 서버환경을 공유하는 멀티유저 데이터베이스를 지원함으로써 심해저 탐사자료를 효율적으로 DB화 할 수 있다. 기타의 특징을 살펴보면, 데이터베이스엔진인 Jet 엔진은 1990년대의 기술에 바탕을 둔 성숙하고, 잘 구성된 관계형 데이터베이스엔진이다. 이는 최근의 윈도우상의 프로그래밍 도구인 Visual Basic

과 Visual C++과 같은 Microsoft제품에 공유되고 있다. 또한, Jet 엔진은 FoxPro에서 빌려온 Rushmore 최적화기술을 포함한다 (Litwin, et al., 1996).

## 2. 심해저자료의 분류

심해저 탐사자료는 각각의 탐사항목에 따라 얻어지는 자료의 종류가 상이하므로 먼저 망간단괴 탐사자료를 우선으로 하여 망간각, 열수광상 및 환경연구를 대상으로 자료들을 분류하였다. 이는 주로 실향역 탐사의 항차별 탐사목적에 따라 획득되는 자료가 구분되며, 기존의 자료들도 탐사항차에 따라 분류되어 보존되어 있어 상기와 같은 분류를 사용하였다.

망간단괴 자료는 Fig. 2-1에서와 같이 망간단괴 부존량 자료, 지화학자료, 광물조성 자료, 지구물리자료, 심해저 퇴적물의 공학적 특성 및 미고생물자료로 분류하여 수록 및 검색하게 하였다. 망간단괴 부존량 자료는 금속부존량, 망간단괴 부존 밀도, 자원 매장량으로 분류하여 버튼식으로 세부 메뉴를 구성하였다. 수록된 부존량자료는 Mn, Co, Cu, Ni의 4대 금속에 대한 금속 부존량을 수록하였으며, 망간단괴의 부존 밀도자료는 망간단괴의 단위면적당 무게로 환산된 자료이며 FFG시료채취기에서 채취된 실 부존 밀도와 사진으로부터 추정된 부존밀도 및 보정 부존밀도로 분류한다. 망간단괴의 매장량은 각 광구별, 단위 블록별로 추정된 자료 수록하여 메뉴방식으로 검색케하였다.

지화학자료는 망간단괴의 화학분석자료, 퇴적물의 화학분석자료, 망간단괴의 전자현미경분석자료 및 해수의 지화학 분석자료로 분류하여 구성하였다. 세부적으로 망간단괴의 화학분석자료는 화학분석한 기기와 주성분원소 및 수분함량을 포함하며 퇴적물자료는 분석기와 주성분원소 및 회토

류원소 분석자료를 포함한다. 전자현미경분석자료는 특별히 망간단괴의 EPMA상에서 분석된 화학원소들을 수록하였다. 해수자료는 화학분석에 사용된 분석기기와 해수중 함유된 음이온 및 양이온 원소들을 수록하였다.

광물조성자료는 망간단괴의 광물조성과 해저퇴적물의 광물조성자료로 분류하였으며, 망간단괴의 광물조성자료는 점토광물을 포함한 구성 광물의 조성비를 수록하였다.

지구물리자료는 광구지역의 수심자료, 천부지층자료, 중력, 자력탐사자료로 분류하고, 탄성파자료는 자료의 양이 방대하여 현재 검색 및 자료입력에서 제외하였다. 그러나 차후 탄성파자료를 index하여 최종 결과도면만 제공할 예정이다.

지구물리자료중 수심자료는 정밀수심측정기 (PDR)로부터 얻어지는 단빔자료와 SeaBeam2000으로부터 얻어지는 광역수심자료인 다중빔자료로 분리하여 수록하였다. 광역수심자료인 다중빔 자료는 따로 SeaBeam2000장비의 고유 포맷을 사용하였고 정밀수심자료인 단빔자료는 국제적으로 해양 지구물리자료의 교환 표준포맷인 MGD77 (Marine Geophysical Data)포맷으로 수록하였다 (부록 참조). 이 MGD77 포맷은 수심자료와 중력 자력 자료를 포함한다.

천부지층자료는 현장 기기인 SBP (Sub Bottom Profiler)의 포맷인 SEG-Y포맷으로 설정하였고, 수치화 된 천부지층자료와 결과물인 화상자료로 분류하여 수록하였다.

중력 및 자력자료는 MGD77포맷으로 수록하였으며, 중력자료는 관측중력치, Eotvos 보정유무 및 Free Air 보정값 수록하였다. 자력자료는 전자력치, 일변화 보정유무, IGRF변수 및 잔류 자력치 등을 수록하였다.

해저 퇴적물의 공학적 특성 및 미고생물자료는 해저퇴적물의 입도분석자료 및 토질공학적 특성, 생층서자료, 고환경자료, 해수자료로 분류하여

수록하였다. 퇴적물의 입도 분석자료에는 해저면 퇴적물의 층서별 입도분석자료를 수록하였다. 퇴적물의 토질공학특성 자료에는 퇴적물의 전단응력자료, 액상 및 소성한계 자료를 수록하였다. 퇴적물의 생층서자료에는 퇴적층의 색경계자료 및 생물교란 흔적유무 등의 자료를 수록하였으며 고환경자료는 퇴적물의 고지자기 자료와 고생물자료 수록하였다. 해수자료는 수층별의 물리적특성자료 수록하였으며, 수층내 원소들의 함량자료는 상기한 바와 같이 지화학자료 그룹에 포함하였다.

또한, 지구물리, 지질 및 지화학자료는 분류하여 저장매체중 가격이 저렴한 CD-ROM 저장하였다. 화상자료들은 주로 DSC (Deep Sea Camera)의 사진자료와 FFG 부착 심해저카메라의 사진자료로 구성되며, 사진자료들은 현상된 필름을 이용하여 필름스캐너로 수치화하여 수록하였다. 화상자료의 저장은 CD-ROM을 사용하였으며, 비디오자료는 index를 주어 관련정보와 함께 DB화하였다. 기존 계측기기의 기록지 자료들인 아날로그자료는 칼라스캐너로 수치화상으로 전환하여 수록하였다. 기존의 Map 자료들도 기록지자료와 동일하게 칼라스캐너로 입력하여 수치화상으로 저장하였다. 기존의 타 저장형태로 보관되어진 수심자료, 자력, 중력, 탄성파자료 등 지구물리자료들을 기존의 저장형태에서 MGD77 (Marine Geophysical Data exchange) 형식으로 전환하여 저장하였다.

지질자료 및 지화학자료들도 또한 망간단괴, 퇴적물, 해수 등 시료의 종류 및 분석방법에 따라 분류하여 각각의 자료별로 관계성 부여하였다 (Fig. 2-2). 지질 및 지구화학자료들은 채취된 정점의 위치자료를 이용하여 위치속성을 부여하여 차후 심해저자료의 공간 DB화에 활용할 수 있게 하였다.

망간각자료는 망간단괴자료와 같이 부존량자료, 지화학자료, 광물조성자료, 지구물리자료로 분류하여 구성하였으며, 기반암에 대한 자료가 추가



되어 구성하였다 (Fig. 2-3). 열수광상자료의 세부자료구조는 차후 열수광상탐사가 진행되는 시점에서 세부적으로 구성 될 예정이다. 망간각탐사와 열수광상 탐사는 본연구가 진행되는 시점에서 아직 시행되지 않았기 때문에 이들 자료에 대한 자료분류 및 구조는 차후 망간각탐사와 열수광상탐사가 시작되는 시점에서 진행될 예정이다.

환경연구자료는 수층생태계자료, 저층 (benthic)생태계자료와 기상자료로 분류하였다 (Fig. 2-4). 수층생태계자료는 수층의 물리자료, 지화학자료, 생물자료로 분류하였으며, 물리자료로는 수층별 온도, 수층별 염분도, 해류의 속도 및 방향 자료 등으로 분류하였다. 수층의 지화학자료는 영양염, 용존산소량, SPM자료 등으로 분류하였다. 수층내 생물자료로는 식물성 플랑크톤, 박테리아, 동물성 플랑크톤, 원생동물자료 등으로 분류하였다. 저층생태계 자료도 물리자료, 지화학자료, 생물자료로 분류하였고, 물리자료로는 저층해류의 방향과 속도, 해수의 온도, 퇴적속도자료 등으로 분류하였다. 지화학자료는 해저면 퇴적물 기공내의 해수 (pore water)의 영양염 및 금속함량자료, 해저 퇴적물의 금속함량자료 등으로 분류되며, 생물자료로는 박테리아, 중형동물 (microfauna), 대형동물 (megafauna) 자료를 포함하였다. 이 환경연구자료는 현재 심해저 환경연구가 초기단계에서 진행되고 있어 차후 기타의 항목이 추가 될 예정이다.

기상자료로는 비, 이슬, 입자 등의 강하물자료와 조도자료, 풍향 및 풍속자료로 분류하였다.

### 3. 데이터타입에 따른 DB구조 해석

심해저 자료를 자료구조 해석을 위하여 과제별 뿐만 아니라 데이터타입에 따라 지구물리자료, 지질자료, 지구화학자료, 부존량자료, 심해환경자

료, 장비별 초기 획득자료로 분류하였다.

지구물리자료는 주로 MGD77 포맷을 이용하였고, 향차별, 탐사측선별로 탐사자료, 향차자료 및 측선 정보 등을 수록하였다. 향해자료는 별도로 입력하여 위치와 시간을 기본필드로 삼았고, 자료의 관계성에 따라 쿼리를 이용하여 타 지구물리자료 (수심, 중력, 자력 등)와 병합하였다.

지질자료들은 망간단괴, 퇴적물, 망간각 등의 매질별로 광물학자료 및 입도 자료 등을 수록하였다. 지질자료는 초기 자료 획득이 정점단위로 시료가 채취되어 분석되므로 정점자료의 정점번호와 위치를 기본필드로 삼아 광물분석자료와 입도자료와 병합되게 관계성을 부여함으로써 관계형 데이터모델에 적합하도록 설계하였다 (Fig. 2-2).

지구화학자료들도 망간단괴, 퇴적물, 해수들의 금속원소, 희토류원소 등 원소분석자료를 수록하였고, 지질자료와 동일하게 정점자료와 관계성을 이용한 병합처리 가능토록 설계하여 분리·수록하였다.

망간단괴 부존량자료는 단괴의 부존밀도, 유용금속 부존량 등의 자료들을 광구지역별로 수록하였고, 광구별 망간단괴부존량, 4대 금속 (Mn, Co, Cu, Ni)의 부존량 등을 수록하였다.

심해환경자료는 수층자료, 저서생물, 일반기상자료로 분류하여 정점자료와 관계성을 부여하였다. 상기한 바와 같이 심해환경연구자료들은 심해환경연구가 진행됨에 따라 차후 자료항목의 추가가 될 수 있도록 설계하여 자료들을 수록하였다. 이러한 자료구조의 변경은 관계형 데이터베이스모델에서는 관계성의 부여로 각각의 자료DB가 최적화 되므로 용이하게 이루어 질 수 있다.

장비별 초기 획득자료는 실효역탐사시 초기에 획득되는 데이터의 야장 포맷을 데이터의 종류별로 분류하여 입력 될 수 있도록 설계하였다. 이렇게 함으로서 초기 자료의 생성에서 추후 분석된 해석자료까지 일련의 자료

생성 루틴을 따라 생성된 자료들의 관계성 성립이 용이하게 되도록 설계하였다. 장비별 야장들은 FFG, Box-corer, piston corer, Multiple corer, CTD, DSC 등이며, 이들 초기 자료획득의 야장폼을 입력하여 실행역의 탐사자료의 초기생성에서부터 DB화 되도록 설계하였다 (Fig. 2-5, Fig. 2-6).

#### 4. 시험운영을 위한 DB 데이터 입력

심해저DB의 시험운영을 위하여 '94년도 탐사자료와 '95년도 탐사자료를 중심으로 데이터입력을 하였다. 이 자료를 중심으로 약 3 주에 걸친 시험운영과 DB구조 수정 및 보완을 수행하였다 (Fig. 2-7).

## 제 3 절 심해저 DB의 통합관리 시스템

### 1. 심해저 DB의 client/server 환경

심해저 DB의 운영환경은 설계 초기부터 PC서버 환경으로 구상되었다. 현 심해저 자료의 상당부분은 내부적으로 비공개를 원칙으로 하고있어 설계시 소규모의 네트워킹과 심해저 관련 부서의 한정된 사람들이 사용하게 설계하였다.

심해저 DB의 client/server 환경은 PC 서버 환경의 네트워킹으로 구성되었으며, network의 구성은 파일 server로서 PC server를 구입하여 구성하였고, 기존의 SUN sparc 시스템을 자료의 back-up과 지구물리자료 처리용으로 구성하였다. 또한 pentium 200MHz PC를 GIS 및 DB 관리자용 PC로 구입하여 구성하였다 (Fig. 2-8). 심해저 DB 의 network 구성도이다. 서버와 클라이언트 시스템은 양질의 화상과 고속의 자료전송을 위해 다음의 사양으로 구성하였다.

#### ㉠ Pentium PC (파일 서버)

- CPU : pentium 166 MHz,
- HDD : 6Gbyte (내장형) + 4Gbyte (외장형), SCSI type,
- Video card : 4M wram
- CD-ROM : 8x, SCSI type
- CD-ROM writer : 4x SCSI type
- OS : MS window NT 4.0

#### ㉡ client PC - 최소사양 (사용자에 따라 약간의 변동 있음)

- CPU : pentium 120MHz 이상
- ram : 32Mbyte 이상

- video card : 2M ram 이상
- Ram : 32M 이상
- LAN card - PCI type

㊸ DB 및 GIS 관리자 PC

- CPU : pentium 200MHz
- ram : 32Mbyte
- video card : 4M wram
- HDD : 4Gbyte
- CD-ROM : 20x EIDE type

PC sever와 client간의 LAN연결은 가급적 T1급으로 연결되어야 하나 새로운 cable 설치 및 HUB의 구입이 고가이므로 현재 사용중인 연구소내 LAN을 이용하여 구축하였다.

## 2. 심해저 DB 및 GIS 구축 및 운영

심해저 데이터베이스시스템은 현재의 시스템의 하드웨어 용량을 감안하여 20 users를 기본사용자로 설정하였다. PC server는 운영체제인 window NT상에서 data file관리, 보안유지 및 사용자관리를 하며, 사용자 그룹 전원을 작업그룹으로 설정하여 운영토록 설계하였다. server의 운영체제로 window NT의 선정은 Novell Netware와 달리 부수적인 비용이 들지 않으며, 타 작업그룹과의 차후 연결성을 고려하여 선정하였다.

심해저 데이터베이스 사용자들은 사용자 PC (client PC) 상에서 DB 엔진으로 MS사의 ACCESS와 GIS 저작도구로서 MapInfo를 설치하여야 심해저 DB에 접근하여 자료를 검색하고 획득할 수 있다.

PC sever의 운영체제로 MS사의 windows NT 4.0이 사용되었으며, client 컴퓨터의 운영체제로는 MS사의 windows 95나 NT 4.0이후의 버전으로 설정하였다.

각각 사용자 그룹 및 파일들의 관리를 위하여 이중 보안체제를 설정하였다. 심해저DB 자료의 관리, 사용자관리, network 연결 등은 PC sever의 OS인 NT에서 관리하도록 설계되어 운영되며, DB 및 GIS 자료의 접근은 사용자 PC상의 MS ACCESS와 MapInfo 소프트웨어상에서 부여된 사용자 ID 점검을 통해 관리토록 하였다 (Fig. 2-9, Fig. 2-10).

사용자그룹을 관리자 그룹, 사용자 1그룹, 사용자 2그룹의 3단계로 구분하여 각 사용자그룹별로 계급 설정을 통한 자료 접근단계 설정하였다. 사용자그룹중 관리자 그룹은 심해저 자료의 입력, 수정 및 검색기능을 수행할 수 있도록 하였으며, 그룹내 사용자별로 자료의 소유권을 주어 자료의 변질 가능성을 차단하였다. 사용자 1그룹은 사용자중 각 자료의 생성자에게만 자료생성 분야에서만 입력 및 수정이 가능토록 하였고 한시적으로 생성자료의 수정을 허락하였다. 또한 전 자료의 검색 가능토록 하였다. 사용자 2그룹은 자료에 대한 검색권한만 부여하였다.

또한, MapInfo 소프트웨어 사용자는 MapInfo 소프트웨어를 사용할 때 사용자 컴퓨터에 키락 (key lock)을 설치하여야만 하므로 여기서도 사용자 관리를 할 수 있다.

심해저DB와 GIS설계와 운영시 사용되는 상용 소프트웨어는 MS사의 ACCESS와 MapInfo 사의 MapInfo외에 여러 가지가 있으며, 그 사용처는 다음과 같다.

MS ACCESS DB는 심해저 DB의 table 생성 및 관리, 기본 자료의 변환, macro와 VBA (Visual basic for Application)을 이용한 자료검색 메뉴 생성, 자료의 검색, 그림자료의 출력 등을 제공하며, 사용되어진 소프트웨

어의 버전은 ACCESS 95 (Access 7.0)이다.

MapInfo사의 MapInfo소프트웨어는 ACCESS에서 생성된 DB 자료를 MapInfo용 DB로의 변환, 위치속성을 가진 자료의 표기, 계층의 생성 및 제어, 디지털라이저를 이용한 기존 map의 입력 및 관리 등을 수행한다. 이 소프트웨어는 windows 95와 NT상에서 운영된다.

Golden software사의 SURFER는 수심, 부존밀도, 금속함량 등 공간분포를 나타내는 등치선도 (contour Map)의 생성, image map의 생성 등을 지원한다. image map은 그림파일의 확장자가 bmp나 jpg로 변환되어져 ACCESS와 Visual basic으로 프로그램된 유틸리티 프로그램 및 MapInfo 소프트웨어에 지도자료로 제공된다. vector map은 AUTO CAD의 자료호환 포맷인 DXF파일로 변환되어 MapInfo상에서 지도자료로 제공된다.

Corel사의 Coreldraw 소프트웨어는 기존 그림자료들의 변환, 기존 Map자료의 스캐닝 작업을 통한 vector map 변환, 주석 (annotation) 등을 제공한다. DXF파일과 bmp, jpg와 같은 그림파일을 ACCESS 및 MapInfo에 제공하는 작업을 수행하는데 사용되었다.

Adobe사의 Adobe Photoshop 소프트웨어는 사진자료의 스캐닝 입력, 화질개선을 위한 필터링작업 등을 수행한다.

Media Cybernetics사의 Imagepro for windows 소프트웨어는 사진 및 필름자료의 수치화상 입력, video 자료의 화면 캡처링 및 저장, 화상자료의 indexing 및 DB작업에 활용하고 있다.

Microsoft사의 EXCEL은 기존 자료를 ACCESS DB폼으로 변환하며, 도표작성 등에 사용되며, 윈도우상에서 OLE를 이용한 자료의 공유 등에 사용되었다.

또한 사용중인 소프트웨어간의 공유 및 DB운영에 필요한 유틸리티를 프로그래밍 하는데 사용되는 프로그래밍언어로는 ACCESS 95용 macro가

사용되며, 이 매크로언어는 심해저 DB 시스템의 메뉴설계, 보안유지, 각 메뉴단계 이동, 예러검색에 필요한 유틸리티를 제작하는데 사용되었다.

또한, VBA (Visual Basic for Windows)가 사용되며, 이 언어는 ACCESS DB 프로그램 상에서 MapInfo, Surfer 및 유틸리티 프로그램으로 자료의 이동 및 Shell을 이용한 다중 프로그램 운영 등에 사용되었다.

Microsoft사의 Visual Basic 언어는 ACCESS DB 프로그램 상에서의 호출되는 수심도, 경사 분석도, 공간해석도 등을 보여주고 각각의 지도에서 제공하는 자료의 출력을 지원하는 유틸리티 프로그램의 제작에 사용되었다 (Fig. 2-11).

Microsoft사의 Visual C++ 언어는 윈도우상에서 지원되는 API 함수의 응용과 유틸리티 프로그램의 입·출력 부분 설계에 사용되었다.

MapInfo사의 MapBasic 언어는 MapInfo 소프트웨어상에서 단계별 메뉴설계, 보안유지, 주제도 작성, 계층제어, 지도창과 정보창의 결합 등에 사용되었다.

### 3. GIS를 이용한 공간DB 구성

심해저 탐사자료중 위치속성이 부여된 자료들에 대해 GIS소프트웨어 (MapInfo)를 이용한 공간 DB의 현시화를 수행하였으며, 심해저 데이터베이스시스템중 DBMS인 ACCESS DB 와 GIS tool 인 MapInfo 간의 데이터베이스파일의 공유를 통해 심해저 공간 DB를 구성하였다. 세부적으로 ACCESS 상의 자료 DB를 macro를 통해 MapInfo상의 호환 DB로 전환하고, shell을 이용하여 MapInfo의 호출 및 자료를 공유하도록 하였다. MapInfo상에서는 MapBasic을 이용하여 ACCESS 프로그램의 실행 및 자료의 공유를 가능하도록 하였다.



심해저 DB와 GIS의 통합운영을 위한 초기 화면구성을 하였고, Visual basic을 이용하여 심해저 데이터베이스 시스템의 가동, MS ACCESS 와 MapInfo의 실행 선택 메뉴를 설계하여 구현하였다. 자료 검색을 주로 하는 경우는 ACCESS DB를 선택하고, 지역정보의 활용, 지구물리자료의 출력 등의 공간자료 활용시는 MapInfo를 선택하도록 하였다 (Fig. 2-12).

심해저 DB의 초기화면 상에서의 유틸리티를 수행하고 (Fig. 2-13), 사진 및 영상의 입력 등 일련의 과정을 수행하도록 하였다. 프로그램 작성후 시험운영을 수행하였고, 시험운영중 1차적으로 발견된 프로그램상의 버그는 수정보안하였다.

또한 각각의 자료 DB간의 관계성을 이용하여 좌표속성부여 Query를 디자인하여 수행하였다. 지질 및 지화학자료중 분포해석에 필요한 자료는 정점 자료와의 관계성 부여로 공간적 현시화를 수행하였다.

#### 4. MapInfo GIS의 활용

상용 소프트웨어인 MapInfo를 활용하여 우선적으로 지구물리자료, 지질 및 지화학자료를 선정하여 GIS를 위한 속성 계층 (layer) 설계를 수행하였다. 현재 자료가 부족한 환경연구자료 및 퇴적물특성자료의 layer (계층)설계 및 구성은 기본설계만을 수행하였으며, 자료의 축적이 이루어지는 대로 추가 할 예정이다.

심해저 GIS를 위한 계층은 reference layer로서 우리나라 광구도, 수심 layer, 부존을 layer, 탐사정점 및 탐사라인 layer, 금속함량 layer, 탐사 track layer, 중력 및 자력 layer 등을 선정하였고, 기본 layer 설계에 의한 overlay 구조를 설정하였다.

기본 계층 (layer)으로 항상 광구지역도를 사용하였으며, 주제도는 사

용자의 요구에 따라 프로그램 상에서 제작토록 설계하였다.

기본계층으로 제공되는 광구도는 우리나라 등록광구의 지역명, 지역별 면적, 지역별 평균부존밀도 등의 정보를 제공한다.

수심 및 지형 계층은 수심별 계층, 전체 지역의 수심 계층을 제공하며, 경사도 (slope)분석결과 계층을 raster형식의 image (color) 계층과 vector형식의 등수심도를 제공하도록 하였다 (Fig. 2-14, Fig. 2-15, Fig. 2-16).

망간단괴 부존밀도 계층은 지역별 망간단괴의 평균부존밀도를 보여주며, raster 형식의 그림파일과 vector 형식의 등치선도를 제공한다. raster형식의 image map은 0, 3, 5, 7, 10, 15, 20 (단위 :  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 등 7개 단계로 망간단괴 부존밀도를 분류하여 나타내 준다. vector형식의 등치선도에서는 부존밀도별의 등치선을 object화에 하여 등치선에 대한 정보를 제공해 주며, 주제도를 작성할 수 있도록 하였다 (Fig. 2-17, Fig. 2-18).

탐사 정점 및 정선 계층도는 vector형식으로 저장되어 있고, 탐사년도, 향차, 사용 기기 등의 정보를 제공하게 하였다.

망간단괴의 금속함량 계층은 raster 형식과 vector 형식으로 구성되며, raster형식의 image map은 유용금속인 Mn, Cu, Co, Ni의 함량별로 컬러화하여 제공한다. vector형식의 계층도는 정점 계층과 결합 / 혹은 단독으로 정점에서의 평균금속함량값을 보여주며, 유용금속별로 함량정보를 제공한다. 또한 주제도를 작성할 수 있도록 하였다.

탐사 항적 (track) 계층은 vector형식의 계층도로 제공되며, 항해 (navigation)자료에 따라 항적별로 symbol 및 선으로 표시하였다. 탐사항적 계층도에서는 탐사년도별, 향차별 계층도를 제공하며, 항적 (track)당 탐사년도, 탐사 향차, 사용된 기기들에 대한 정보를 제공한다.

중력 및 자력 계층도에서는 raster 형식으로 최종 결과치인 이상치도 (anomaly map)를 제공한다 (Fig. 2-19).

## 제 4 절 심해저 DB 및 GIS의 시험 운영

심해저 DB 및 GIS 시스템은 사용자그룹이 20 명, 수록될 탐사자료 및 분석자료가 50회 의 탐사자료 분량으로 시스템을 설계하였다. 현재 1년당 3 - 5회의 탐사를 수행하고 있다. 따라서, 약 10년이상의 정보를 수록할 수 있도록 하였다.

그러나, PC system의 발달과 기록매체의 개발속도가 약 2년을 주기로 빠르게 진보하므로 이를 고려할 때 PC server 및 기록매체의 성능향상을 도모하면 2년 후는 현재보다 약 2배이상의 시스템 용량을 가질 것으로 추정된다.

심해저 DB 및 GIS 시스템을 시험운영하기 위하여, 94년 탐사자료와 95년 탐사자료를 입력하였으며 이를 통해 시스템을 약 3주에 걸쳐 시험운영하였다.

시험운영한 결과, network상의 일부 문제점과 자료의 보안설정의 문제점을 도출하였고 이를 해결하였다. 또한, 초기 자료 생성시 (획득시) 자료별 표준 입력포맷 설정의 필요성을 제시하게 되었고 이를 차년도 탐사자료 획득에 반영하였다.

또한, 소내 LAN의 이용함으로서 야기되는 자료의 전송속도의 지연, client 컴퓨터의 화상출력속도의 지연 등 화상자료의 검색 및 출력시 문제점이 도출되었다. 이러한 문제점은 화상자료의 해상도를 최적화하고, 일부 자료를 사용자 컴퓨터쪽으로 일괄 전송함으로서 일부 해결 할 수 있었다. 그러나, 상당수의 문제점은 현 시스템의 하드웨어 용량과 network상의 문제로서 고용량, 고전송율의 전용네트워크를 통해 해결 될 수 있으리라 사료된다.

## 제 5 절 토의 및 결론

본 연구에서는 수년간에 걸쳐 심해저 광물자원탐사를 수행하여 얻어진 많은 양의 자료들을 효율적으로 활용하기 위하여, 탐사자료들의 자료구조를 분석하고 심해저 탐사자료에 알맞은 데이터베이스시스템을 구축하기 위한 연구를 수행하였다. 데이터베이스시스템을 구축하는 동안 탐사자료의 저장 및 관리의 표준화를 수행하기 위하여 국내외의 사례연구를 수행하였다. 이러한 연구를 통하여 해양탐사자료 관리에 적합한 관계형 DBMS를 선택하고 이를 운영하기 위한 PC용 RDBMS (Relation DBMS)인 MS Access 엔진을 선정하였다.

또한, 지도자료와 화상자료의 효율적인 관리와 자료의 효율성을 높이기 위하여 GIS 시스템을 도입하였다. 심해저 GIS의 운영은 PC 상에서 운영되는 MapInfo를 이용하였는 바, 이는 시스템구축의 가격조건과 사용의 편리성을 고려한 선정이었다.

탐사자료를 분석하고 데이터베이스와 GIS를 구축하는 일련의 과정을 통하여, 자료의 획득시 자료들의 필드의 상호 관계성 및 국내외 다른 DB와의 호환성이 데이터베이스의 구축에 필수적이라는 결론에 도달하였다. 또한 화상자료의 효율적 저장 및 활용이 네트워크상에서 이루어질 때 자료의 규모와 네트워크의 전송속도도 데이터베이스시스템의 성공여부를 결정하는 주요한 요소중 하나라는 중요한 결론도 얻어내었다. GIS를 위한 자료의 계층설계시 계층제어와 관련하여 적절한 계층의 수와 계층의 크기도 시스템의 검색속도와 운영에 중요한 요소가 됨을 알았다.

본 연구에서 수행된 심해저 데이터베이스시스템의 구축은 심해저 광물자원탐사를 수행하여 얻어진 많은 양의 심해저탐사자료를 DB 및 GIS화하여 자료의 효율적 관리와 응용을 수행하는 데 많은 기여를 하리라 사료되

며, 이 시스템은 차후 개선될 시스템의 원형이 되리라 기대한다.

일련의 구축과정, 일부 탐사자료의 입력과 시험운영을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 심해저 탐사자료는 비공개성을 가지고 있는 자료로서 탐사관련분야의 종사자의 수로 볼 때, 심해저 데이터베이스시스템은 사용자 그룹 20명, 약 50회의 탐사자료 용량으로 시스템을 설계하였다.

2. 데이터베이스모델로는 타 DB와의 호환성 및 효율성을 제고하여 관계형 데이터베이스모델을 선정하였고, 규모와 경제성을 고려하여 PC에서의 운영과 연구소내의 기존 네트워크의 활용, 기존 보유의 상용 소프트웨어를 이용하는 것이 효과적이라고 사료 됨.

3. 시험운영의 결과, network상의 일부 문제점과 자료의 보안설정의 문제점을 도출하였고 이를 해결하였다. 또한, 초기 자료 생성시 (획득시) 자료별 표준 입력포맷 설정의 필요성을 제시하게 되었고 이를 차년도 탐사자료 획득에 반영하였다.

4. 소내 LAN의 이용함으로서 야기되는 자료의 전송속도의 지연, client 컴퓨터의 화상출력속도의 지연 등 화상자료의 검색 및 출력시 문제점이 도출되었다. 이러한 문제점은 화상자료의 해상도를 최적화하고, 일부 자료를 사용자 컴퓨터쪽으로 일괄 전송함으로서 일부 해결 할 수 있었다. 그러나, 상당수의 문제점은 현 시스템의 하드웨어 용량과 network상의 문제로서 고용량, 고전송율의 전용네트워크를 통해 해결 될 수 있으리라 사료된다.

5. 심해저데이터베이스 시스템은 유엔 선행투자가의 의무사항인 정밀탐사와 광구포기작업의 정확성을 높이고, 유망광구의 선정과 경제성 판단의 기초자료로 활용되리라 사료된다.

6. 향후 심해저 광물자원 개발시 야기되는 해양환경문제에 대처할 수 있는 기본자료 제공 및 유관기관과 정보를 공유함으로서 시간적, 경제적 손

실을 최소화하여 국가 경쟁력 제고에 이바지할 수 있으리라 사료된다.

7. 또한, 향후 일련의 운영 경험을 바탕으로 시스템의 개선 및 보완을 수행 할 예정이며, 일부 비공개적 자료를 제외하고는 인트라넷과 인터넷을 활용하는 데이터베이스시스템으로의 확장은 과학기술자료의 공유 및 효율성을 높혀 국가 과학기술의 발전에 중요하리라 사료되며, 이러한 연구는 차후 연구되어야 할 중요한 과제중의 하나이다.

## 참 고 문 헌

오해석, 1996, 데이터베이스 총론. 정익사. p.494.

Litwin, P., Getz, K., Gilbert, M and Reddick, G., 1996, Microsoft Access 95 Developer's Handbook. Sybex. p.1487.

Ripple, W.J., 1989, Fundamentals of geographic information systems : A compendium. ASPRS and ACSM. p. 248.

# 사용자 설명서

## 1. 개요 및 설치 방법

심해저 데이터베이스시스템은 심해저광물자원 탐사사업을 수행하면서 획득된 망간단괴탐사자료를 중심으로 차후 수행될 망간각 및 열수광상 탐사자료를 체계적으로 분류·수록하여 사용자가 보다 수월하게 다양한 자료를 검색하여 각자의 목적에 맞는 자료를 종합적으로 획득하기 위하여 고안된 프로그램이다. 심해저 데이터베이스시스템은 크게 두 개의 프로그램으로 나누어지며, 하나는 주로 자료를 전문 (text)위주의 자료를 검색할 수 있는 Microsoft사의 Access를 이용한 데이터베이스 검색시스템이며, 다른 하나는 MapInfo 사의 MapInfo 소프트웨어를 이용한 지도 및 도표를 검색할 수 있는 지리정보시스템으로 구성된다. 이 두 개의 프로그램은 서로 상호간의 소프트웨어적 연결을 통하여 자료를 공유하며, 각각의 프로그램안에서 다른 프로그램을 불러 참조할 수 있는 기능을 제공한다.

본 프로그램은 windows 95와 NT 상에서 운영되며, Surfer와 Excel과 같은 다른 몇 개의 상용프로그램을 사용자 컴퓨터내에 가지고 있어야 완전하게 운영될 수 있다.

심해저 데이터베이스 시스템을 운영하기 위한 사용자의 컴퓨터는 다음 표와 같이 최소한의 하드웨어적 사양과 권장 사양이상으로 구성되어 있어야 한다. 아래의 사양은 주로 컴퓨터의 기본 OS로 사용되는 MS 사의 windows95가 효율적으로 운영되며, 심해저 데이터베이스에서 제공하는 그림파일들을 효율적으로 화면에 표시하기 위해 기본적으로 제공되어야 한다.

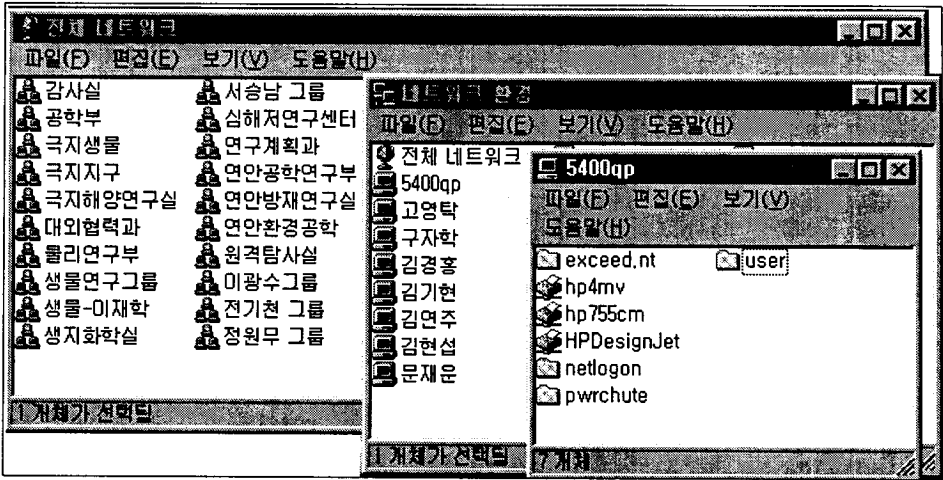


	최 소 사 양	권 장 사 양
시 스템	펜티엄급이상의 컴퓨터 (cpu : 100MHz 이상) 16M RAM 1M video 카드 100M이상의 HDD 여유공간 LAN 카드	펜티엄급이상의 컴퓨터 (cpu : 150MHz 이상) 32M RAM 2M video 카드 200M이상의 HDD 여유공간 LAN 카드
운 영 체 제	Windows 95 MS Access MapInfo	Windows 95 MS Access MapInfo

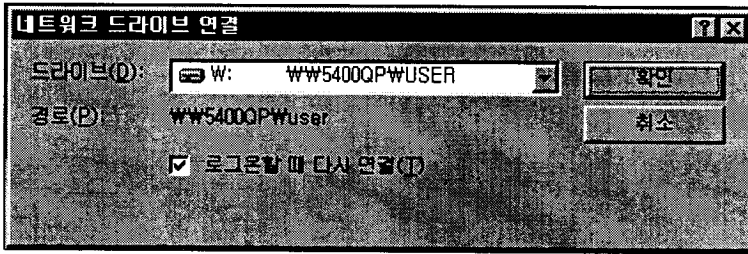
심해저 데이터베이스 시스템을 이용하려면, 먼저 심해저연구센터의 파일서버에 접근할 권한을 부여받아야 한다. 이 권한은 심해저 연구센터의 파일서버에 사용자등록을 하면 부여 받을 수 있다. 사용자등록은 데이터베이스관리자에게 신청을 하면 된다.

사용자 등록이 되어 아래그림과 같이 연구센터내 서버에 접근을 하면, 파일 서버의 user 디렉토리를 마우스로 집어 사용자 컴퓨터상의 내컴퓨터로 이동시킨다.



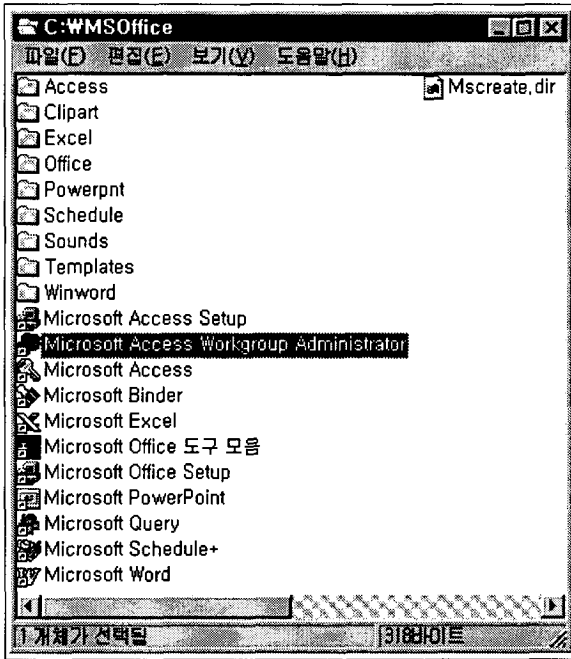


이동후 아래 그림과 같은 메뉴상자가 나타나면 드라이브를 w:로 지정하고 확인버튼을 누르면 내컴퓨터 폴더에 w: 드라이브가 생성됨을 볼 수 있다.

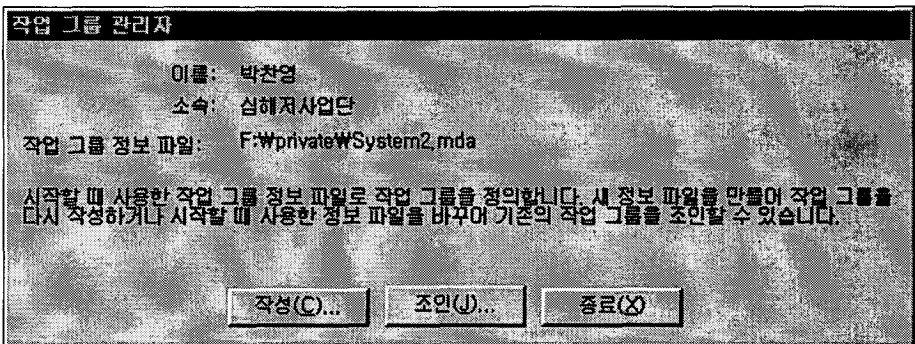


다음은 사용자 컴퓨터에 MS사의 Access 와 MapInfo 사의 MapInfo 소프트웨어를 설치한다. 이 두 개의 소프트웨어의 설치에 각각의 소프트웨어 설치설명서를 참조하여 설치한다.

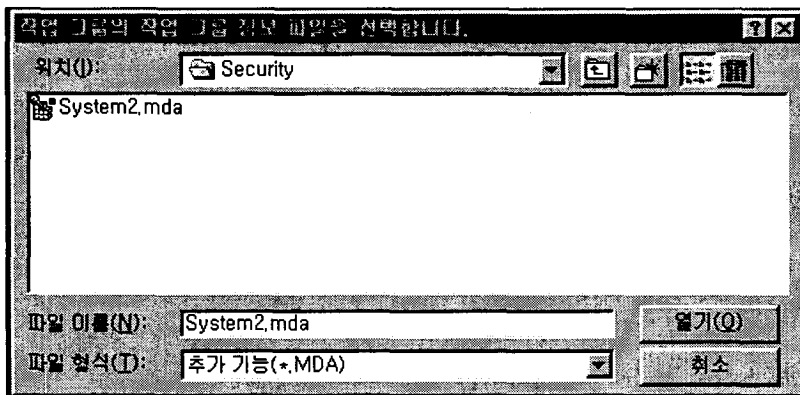
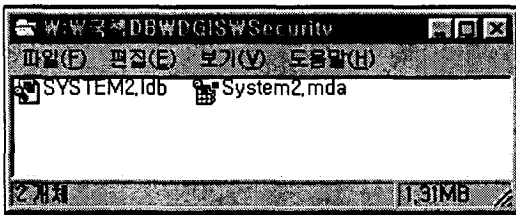
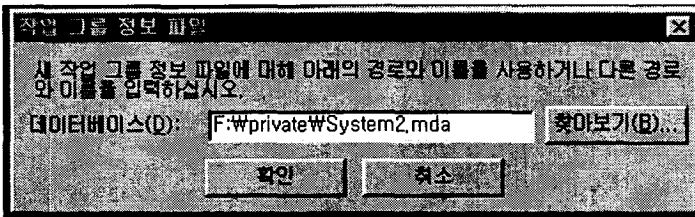
심해저 데이터시스템중 심해저 DB를 검색하려면 먼저 사용자이름이 등록되어 있는 데이터베이스 파일을 Access workgroup에 등록하여야 한다.



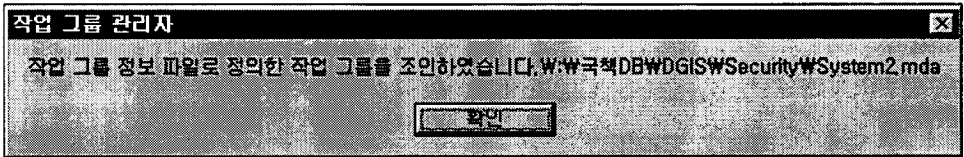
등록은 컴퓨터내 MS Office 디렉토리에서 workgroup administrator 아이콘을 더블 클릭함으로써 이루어진다. 아이콘을 더블클릭하면 아래 작업그룹관리자 메뉴상자가 나타나고, 조인 버튼을 선택하면 작업그룹정보파일 메뉴상자가 나타난다.



작업그룹정보파일 메뉴상자에서 우측의 찾아보기버튼을 눌러 w:\국책\DB\DGIS\Security 디렉토리내의 system.mda 파일을 선택한다.



열기 버튼을 선택하면 아래와 같이 작업그룹관리자 메뉴상자에서 작업 그룹이 조인되었다는 메시지가 출력된다.

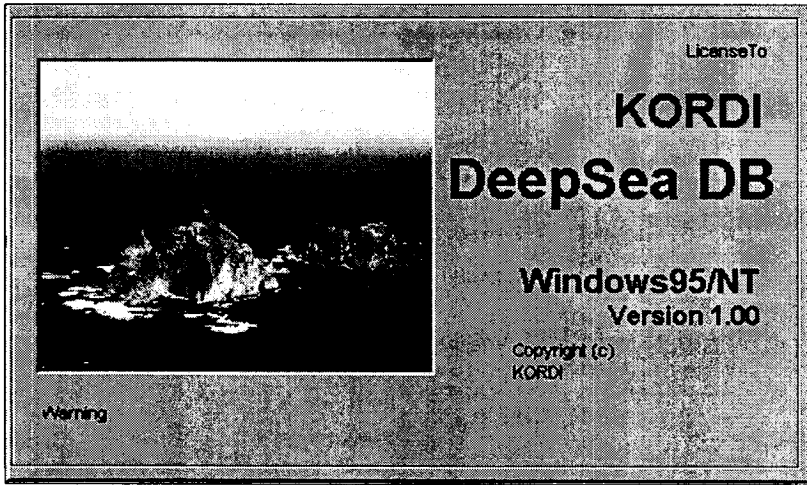


확인 버튼을 누르고 전 메뉴의 종료 버튼을 선택하면 심해저데이터베이스 시스템을 사용하기 위한 모든 절차가 완료된다.

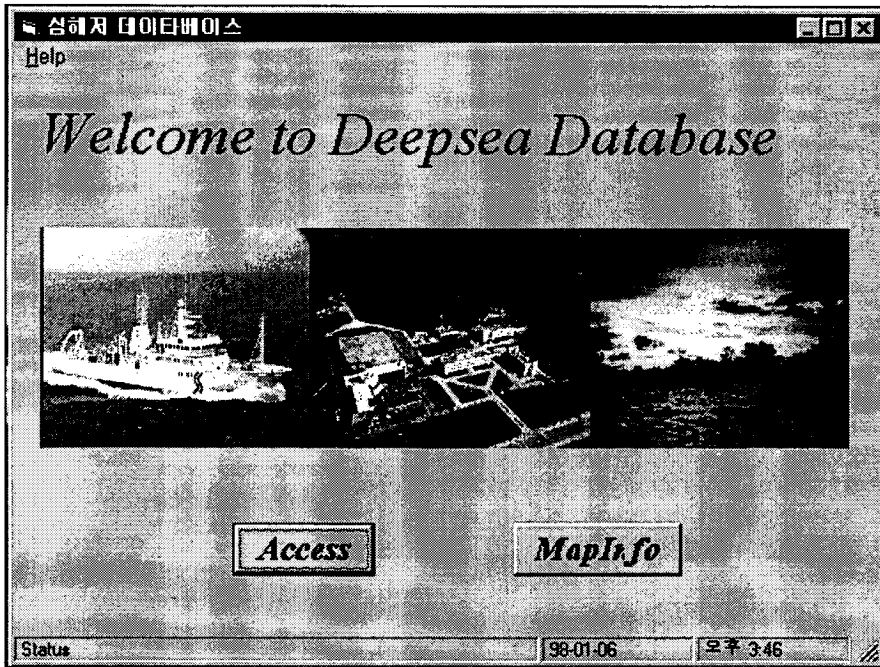
이제 w:\국책\DGIS\VB 디렉토리내의 initial.exe file을 바탕화면에 마우스로 집어내어 단축아이콘을 만들어 주고, 이를 더블클릭하면 심해저데이터베이스 시스템에 접속된다.

## 2. 데이터베이스 검색 시스템

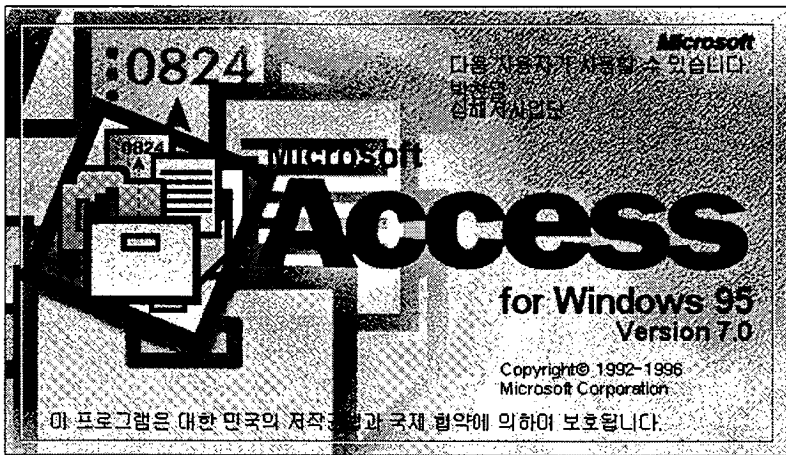
전장에 만든 심해저 데이터베이스 시스템의 단축아이콘을 더블클릭하여 시스템에 접속하면 아래와 같은 초기화면이 나타난다.



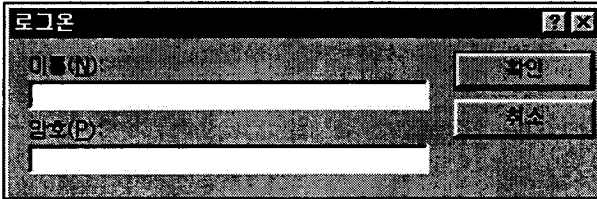
네트워크의 전송 상태에 따라 2-3초가 지나면 아래와 같이 심해저 DB 검색과 심해저 GIS 검색을 선택할 수 있는 메뉴상자가 나타난다. 여기서 ACCESS 버튼을 선택하면 데이터베이스 검색을 수행하며, MapInfo버튼을 선택하면 GIS검색이 시작된다.



Access 버튼을 선택하여 프로그램을 구동하면 다음과 같은 Access 초기화면이 나타났다가 사라지고 사용자 ID 확인 상자가 나타난다.



부여받은 사용자코드와 비밀번호를 기입한 후 확인버튼을 선택하면 심해저 DB의 주메뉴상자가 나타난다.

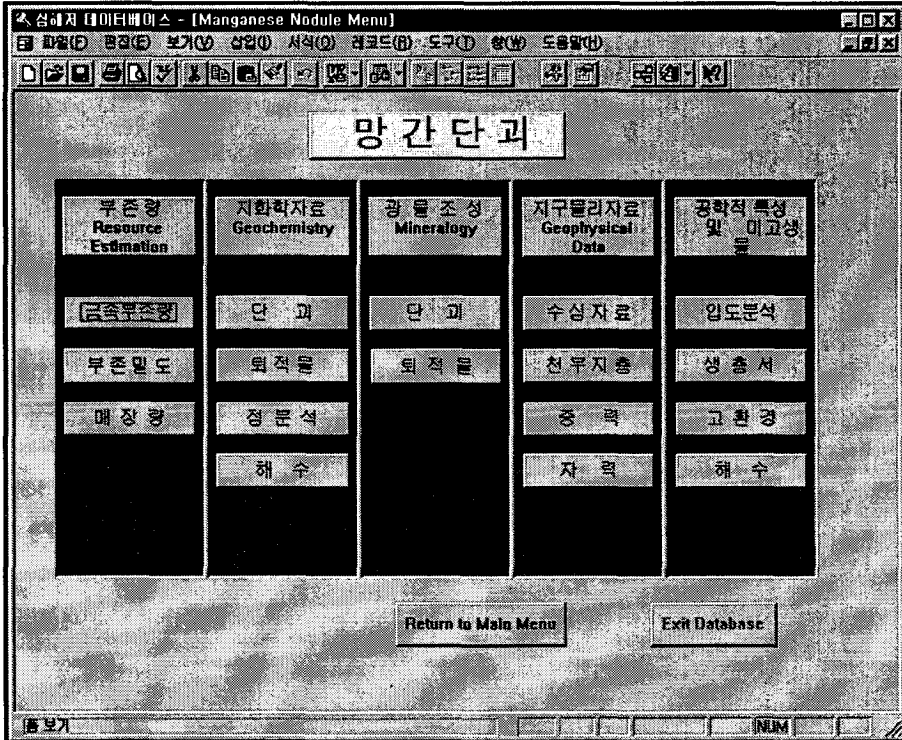


주 메뉴상의 돌출버튼은 각각의 서브메뉴로 들어가는 통로이다. 또한 모든 서브메뉴는 다시 주메뉴로 돌아 올 수 있다.



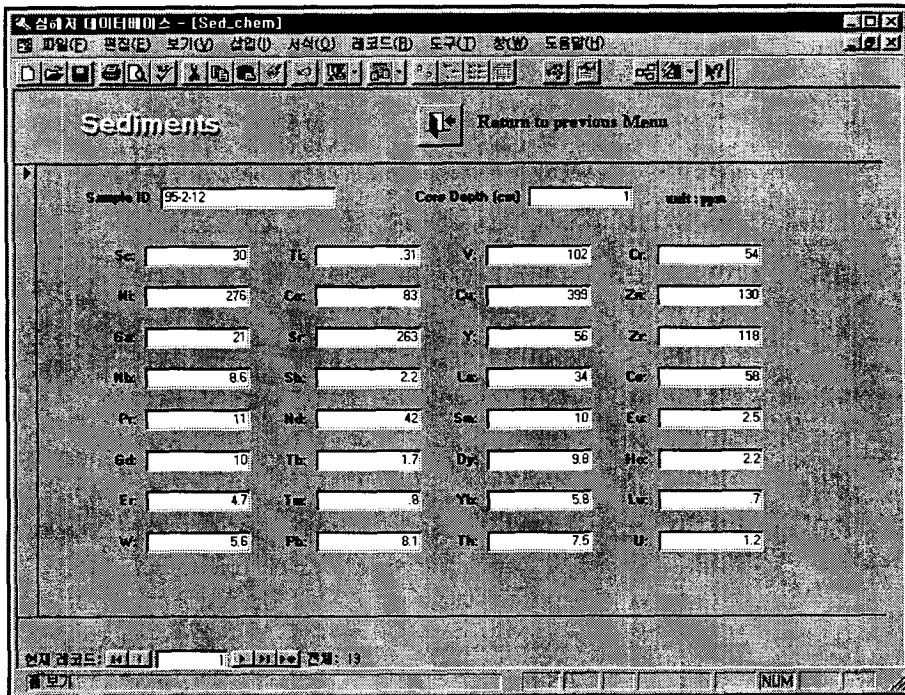


위 그림과 같은 주 메뉴상자에서 사용자가 검색하기를 원하는 항목을 선택하면 그 항목에 대한 서브 메뉴상자가 나타난다. 여기서는 심해광물자원항목중 망간단괴 버튼을 선택하여 망간단괴자료를 검색하여 보자.




망간단괴자료의 메뉴상자는 부존량, 지화학자료, 광물조성, 지구물리자료 및 공학적 특성 및 미고생물의 항목을 갖는다. 각각의 항목에 대하여 세부항목 선택버튼이 항목상자만에 있다. 돌출된 버튼은 주 메뉴와 같이 다음의 서브메뉴나 자료에 접근할 수 있는 도구를 제공한다. 메뉴상자 하부에 있는 두 개의 선택상자는 상자위에 문자열과 같이 주메뉴로 돌아가는 버튼과 데이터베이스를 종료하고 나가는 종료버튼이다. 이 망간단괴의 메

뉴상자에서는 크게 자료를 문자열로 보여주는 DB검색과 그림파일을 보여주고 수정할 수 있게 해주는 항목으로 나눈다. 지화학항목과 광물조성항목은 주로 문자열로 검색을 하고 지구물리자료와 공학적 특성 자료들은 도표 자료를 주로 검색할 수 있다. 여기서는 지화학자료항목중 퇴적물 항목, 광물조성 항목중에서는 단괴항목, 지구물리 항목중에서는 수심자료항목을 검색하는 방법을 예로서 설명한다.




위의 그림은 퇴적물내의 미량원소함량을 보여준다.

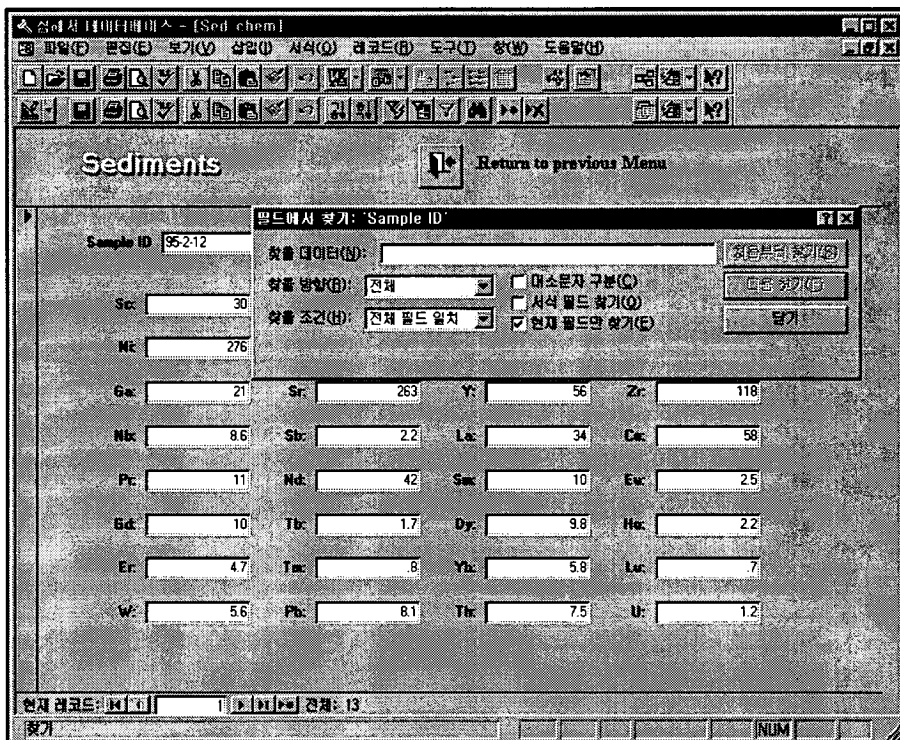
 : 종료 버튼

상단의 종료버튼을 선택하면 전 메뉴로 돌아가며, 하단의 화살표들은 자료들을 하나씩 검색할 때 사용한다.

또한 찾고자 하는 자료를 검색할 때는 다음 그림과 같이 상단의 아이콘 모음에서 망원경그림이 있는 아이콘을 선택한다.

 : 찾기 버튼

찾기를 원하는 필드에 마우스를 옮겨 커서를 위치시킨 후 찾기 버튼을 선택하면 아래와 같은 찾기 메뉴상자가 나타난다.

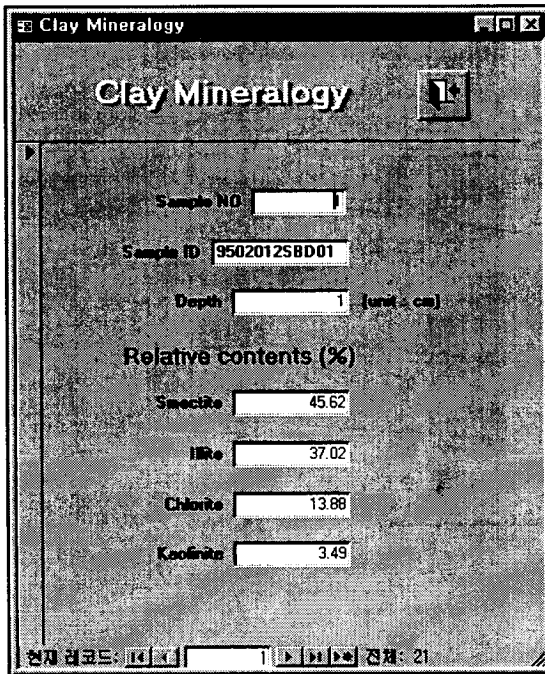


위 그림에서와 같이 sample ID를 알고 있을 때, 검색하는 방법은 찾을 데이터 (N)이라고 적혀진 상자 안에 시료번호를 적어 넣고 나면 닫기버튼 위의 두 버튼이 글자가 진하게 나타나, 찾는 방법을 선택 할 수 있다.

찾은 데이터는 Access 가 제공하는 프린터 메뉴에 의해 데이터를 출력 할 수 있고, Access 의 리포트 기능을 이용하여 사용자가 원하는 출력양식을 만들어 출력 할 수 있다.

다음은 다시 상위의 종료버튼을 선택하면 전 메뉴인 망간단괴 메뉴로 돌아간다.

망간단괴 메뉴에서 광물조성 항목의 단괴 세부항목 버튼을 선택하여 보자. 단괴의 광물조성중 점토광물 조성을 보여준다. 검색항목은 시료명, 상대적인 점토광물의 조성비를 보여준다.

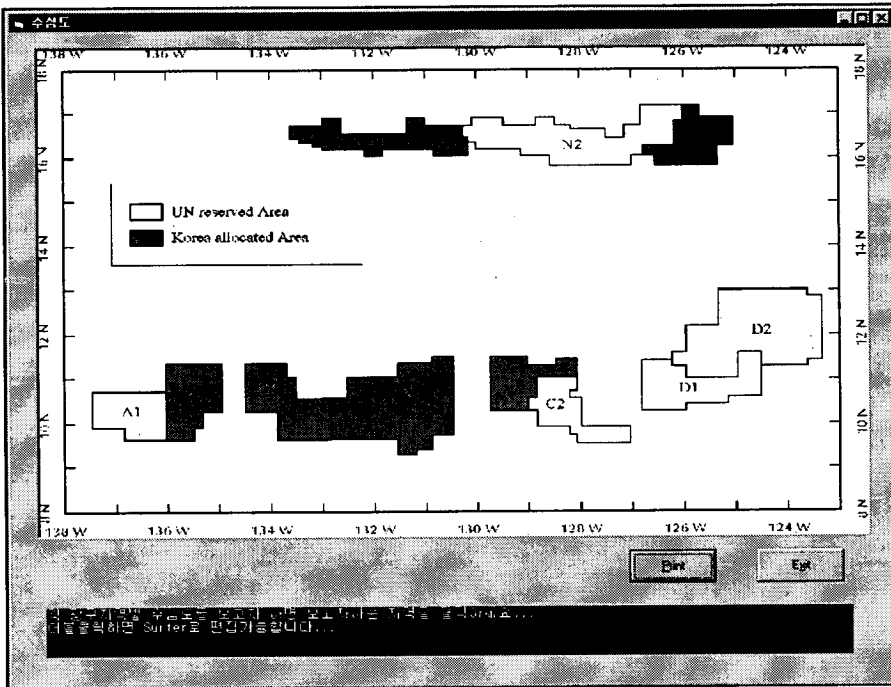


위 그림은 퇴적물의 미량원소 화학조성을 보여준 이전 그림에서와 같이 상단의 메뉴 아이콘들에서 찾기버튼을 선택하여 검색과 하부 화살표를 이용하여 검색할 수 있다. 또한, 프린트 메뉴와 리포트 작성 메뉴를 이용하여 원하는 형태로 출력 할 수 있다.

다시 상부의 종료 버튼을 선택하여 망간단괴 메뉴로 돌아가자. 이번에는 망간단괴 메뉴의 지구물리항목중 수심자료 세부항목 버튼을 선택하여 보자.

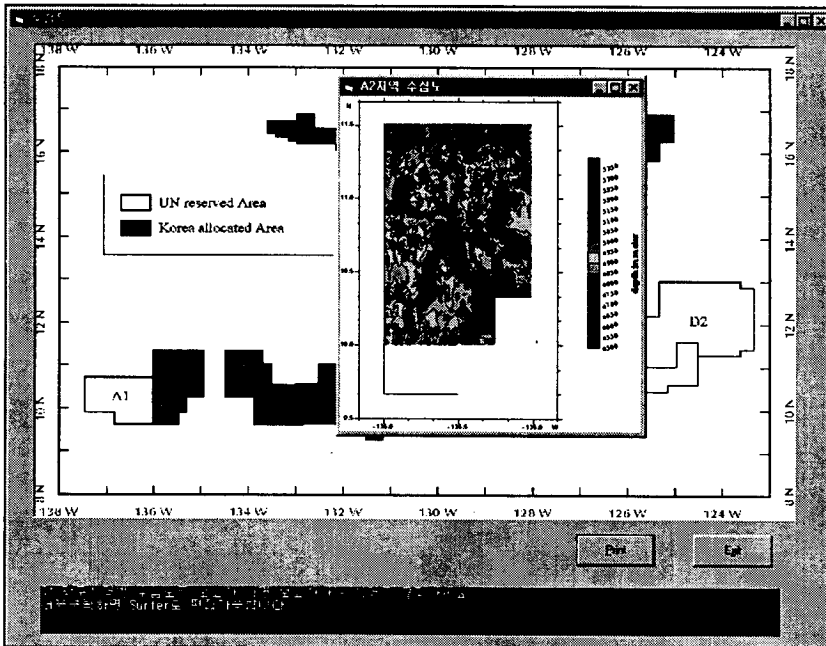
수심자료 세부항목을 선택하면 우리나라 망간단괴 자원의 유엔 등록광구의 그림이 나타난다. 이 그림에서 색칠한 부분이 우리나라의 등록광구이고 하얀부분이 유엔에 유보한 유보광구를 나타낸다.

그림의 하단에 보면 두 개의 명령버튼이 있다. 좌측은 출력버튼이고, 우측은 수심자료의 검색을 종료하는 버튼이다.

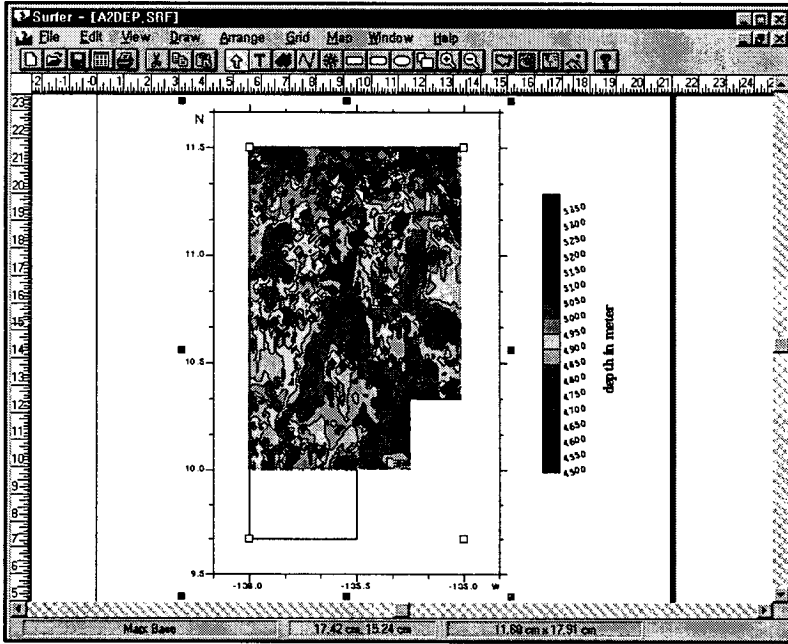


마우스를 지도위를 움직여 보자. 광구지역으로 마우스가 움직이면 위치한 지역에 따라 아래의 검은색 바탕의 상자에 정보가 출력된다. 가령 A2 지역으로 마우스가 움직이면 "대한민국광구 A2"라고 출력된다.

수심도를 보고자하면 검은색 바탕의 정보출력상자에 나타나는 것 같이 원하는 지역에 마우스를 놓고 한번만 클릭하면 수심도가 화면에 출력된다. 또한, 사용자의 컴퓨터에 Golden software 사의 Surfer 프로그램이 있다면, 그 지역을 더블클릭하여 화면에 출력된 수심도를 수정할 수 있다. 이 Surfer 를 사용하여 사용자가 원하는 형태로 변형과 문자를 삽입할 수 있다. 다음 그림은 사용자가 수심자료 화면에서 A2지역을 클릭하여 나타난 A2지역의 수심도이다. 수심도는 등고선에 따라 색을 입힌 컬러수심도이다.



다음 그림은 더블클릭하여 Surfer로 불러들인 수심도를 보여준다.

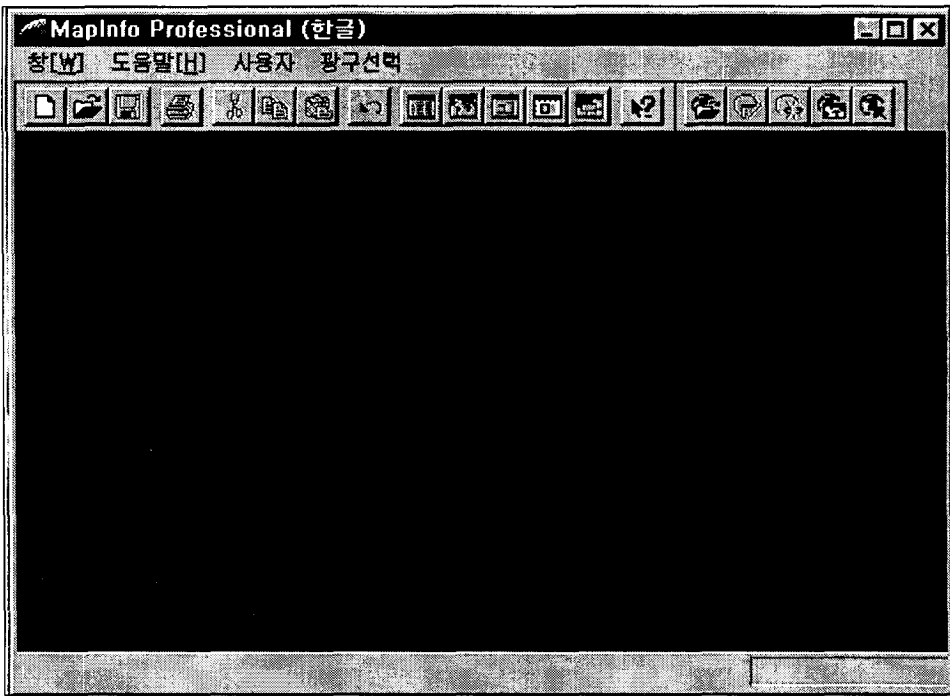


수심자료 메뉴화면에서 종료버튼을 선택하여 망간단과 메뉴로 돌아가자.

망간단과 메뉴중 부존량 항목은 광구지역별 부존량과 부존밀도를 심해져 GIS와 연계하여 보여준다. 심해져 GIS에 대하여는 다음 장의 심해져 지리정보시스템 사용법을 설명하므로, 다음 장에서 MapInfo을 이용하여 검색하는 방법을 설명하기로 한다.

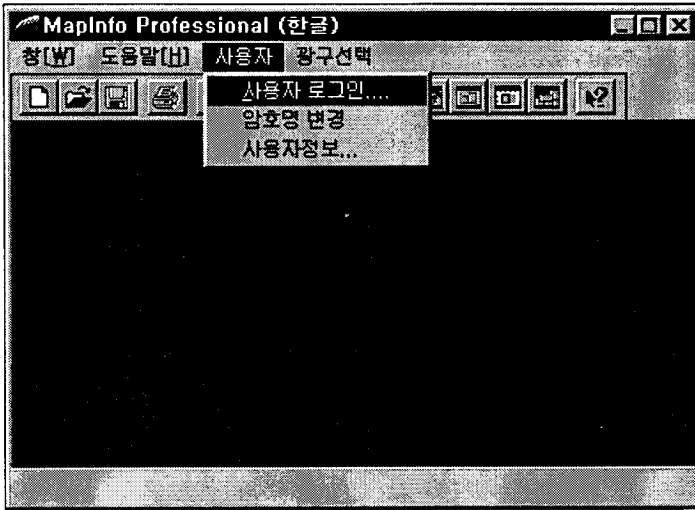
### 3. 심해저 지리정보시스템

심해저 지리정보시스템 (GIS)의 시작은 데이터베이스와 마찬가지로 초기 화면에서 MapInfo버튼을 누르면 아래 그림과 같은 MapInfo의 화면이 나타난다.

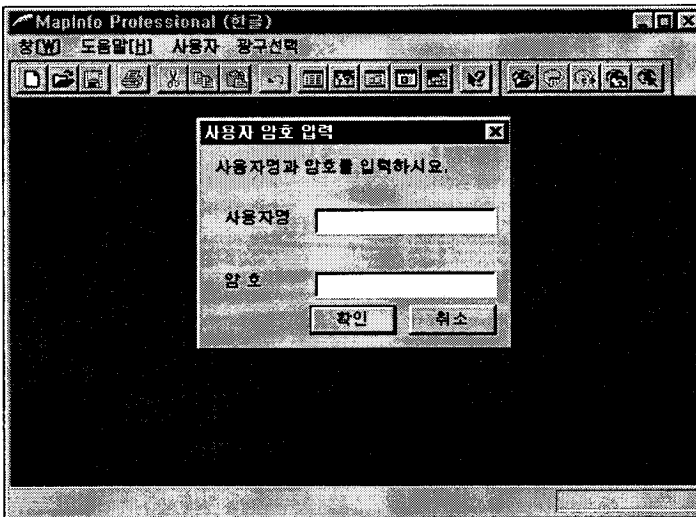


주 메뉴상의 사용자 메뉴를 선택하면 아래 그림과 같은 사용자 로그인, 암호명변경, 사용자정보의 3개의 부 메뉴가 나타난다.



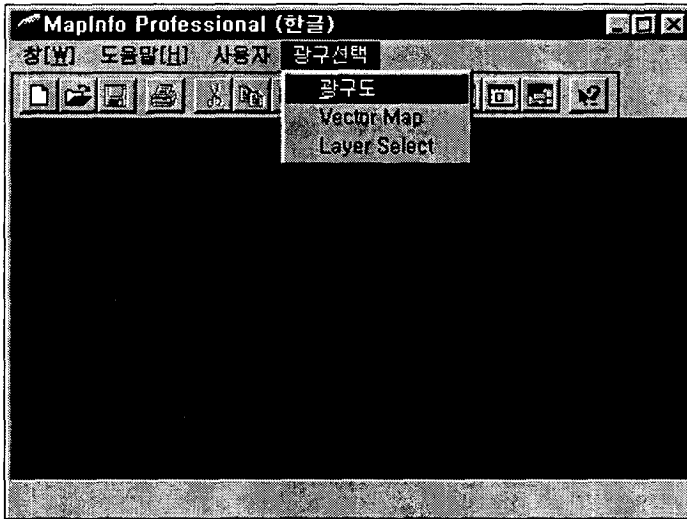


심해저 지리정보시스템에 자료를 검색하기 위해서는 데이터베이스 검색과 동일하게 사용자로그인 상자에 허가받은 사용자명과 암호를 기입한다.

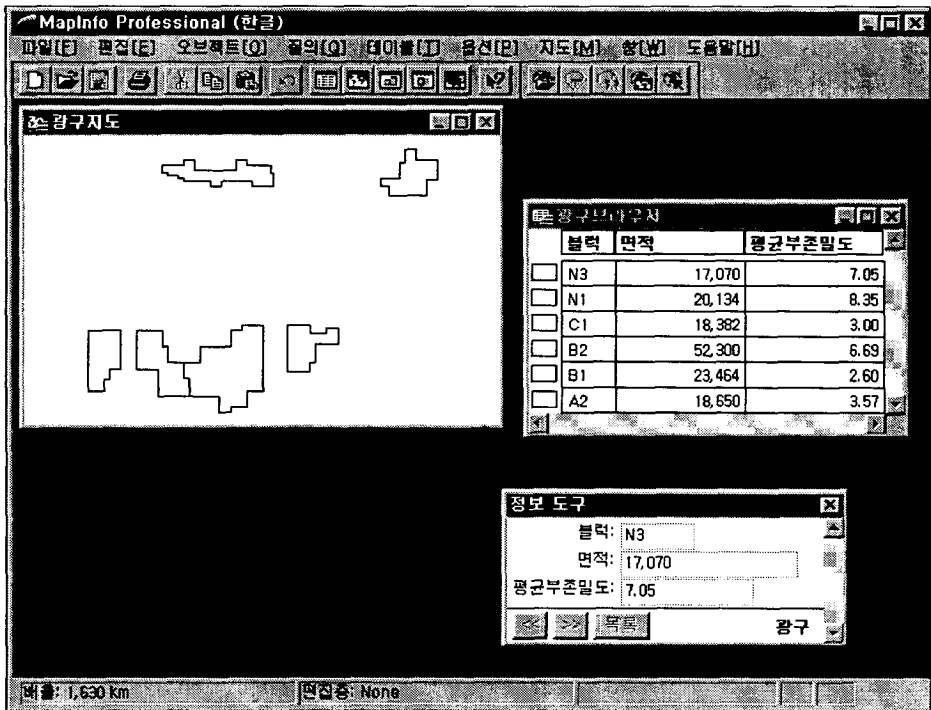


사용자명과 암호를 맞게 기입하면 심해저 GIS에 접속되며, 다음으로 광구선택 메뉴를 선택하면 아래 그림과 같이 광구도, vector map, Layer

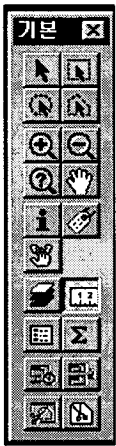
Select 메뉴가 나타난다



여기서 광구도를 선택하면 대한민국의 등록광구가 기본도로 제공된다.





즉, 위의 그림에서와 같이 광구지도라는 이름의 지도창이 열린다. 또한 창 메뉴에서 브라우저를 선택하면 광구지도 지도창의 정보를 담은 데이터베이스 브라우저창이 열린다. 하단의 정보도구창은 열려있는 지도창의 지정된 오브젝트의 정보를 제공한다. 위 그림에서는 지도창의 오른쪽 상단에 위치한 N3광구의 정보를 제공하고 있다.



MapInfo 상에서 제공되는 아이콘모음중 가장 많이 사용되는 옆 그림과 같은 기본 아이콘 모음에 대해 간략하게 설명하면, 좌측 상단의 화살표를 선택하면 다른 소프트웨어에서와 동일하게 마우스로 특정 오브젝트를 선택할 때 사용된다. 두 번째 아이콘 묶음중 첫 번째 플러스심볼이 들어있는 아이콘은 확대경으로 화면을 확대할 때 사용된다. 옆의 마이너스 심볼의 확대경은 축소할 때 사용되는 아이콘이다. 손 모양의 아이콘은 화면 전체를 상하좌우로 움직이는 드래그 아이콘이다.

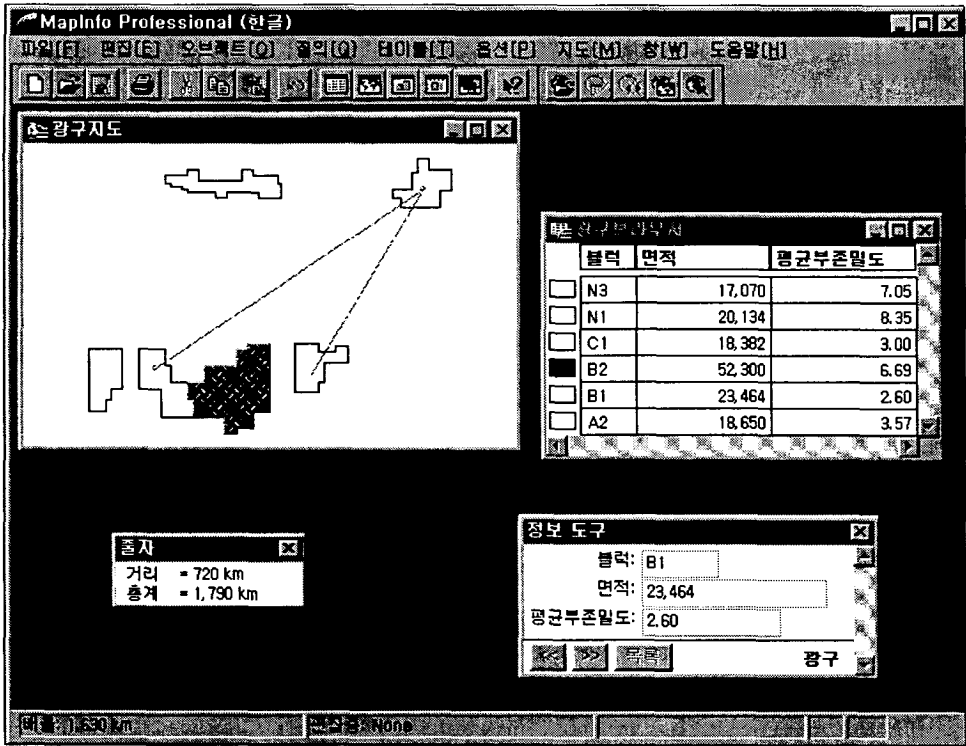
이 아이콘들에 마우스를 대고 잠시동안 정지하고 있으면, 아이콘의 정보가 풍선창에 나타난다.

 세 번째 아이콘 묶음중 첫 번째 굵은 i자 아이콘은 정보창에 선택된 오브젝트의 정보를 제공한다. 두 번째 꼬리표 그림의 아이콘은 자동라벨을 해 주는 아이콘이다.

 네 번째 아이콘 묶음중 첫 번째 아이콘은 계층을 제어하는 아이콘이다. 두 번째 줄자가 그려 있는 아이콘은 지도창에서 한 점과 한 점 사이의 거리를 알려주는 아이콘이다.

아래의 그림은 광구 브라우저창에서 한 개 혹은 여러 개의 레코드를 선택하면 광구 지도창에서 해당 오브젝트가 표시되는 것을 보여준다. 또한 줄자 아이콘을 선택하여 한 점과 한 점사이의 거리를 알려주는 창이 열려

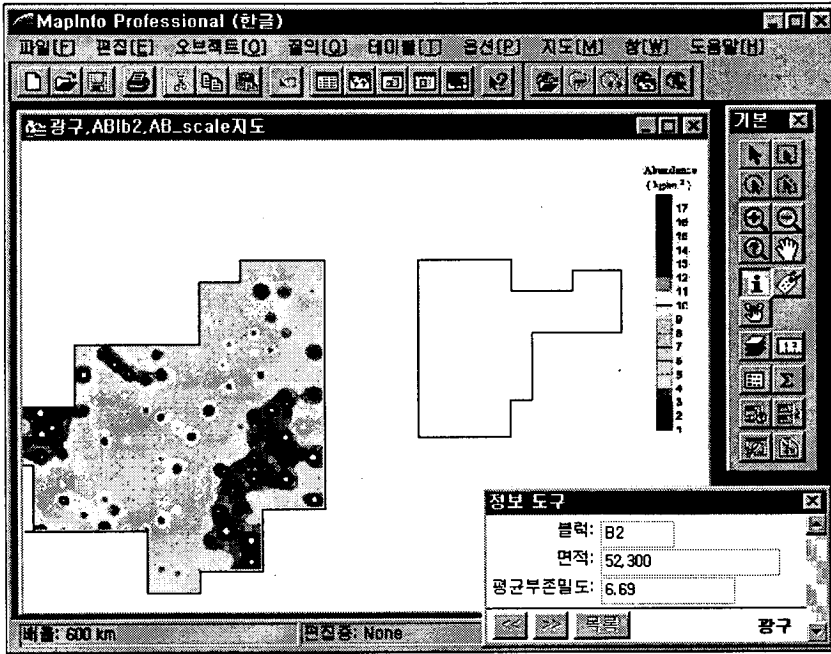
있는 것을 볼 수 있다. 이 창은 두 점사이의 거리 뿐만 아니라 선정한 점들의 거리합산도 보여 준다.



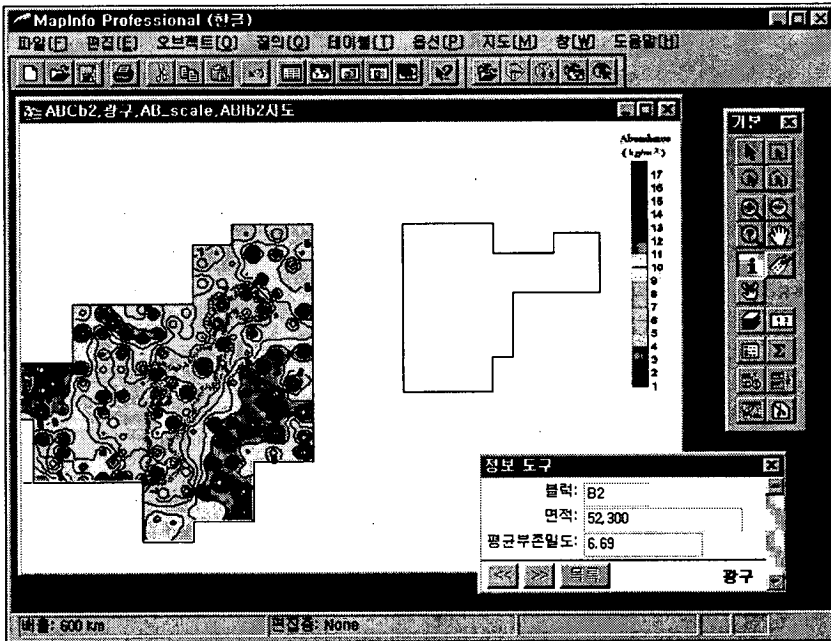
심해져 GIS에서 광구내 망간단과 부존밀도 검색의 예를 들어 GIS 검색법을 알아보자.

다음 그림은 광구별 망간단과 부존밀도의 분포를 보여주는 계층이 나타나고 있다. 이 그림은 전장에서 심해져 데이터베이스를 검색 할 때 Access 상에서 망간단과 메뉴에서 부존량 항목에서 부존밀도 세부항목을 선택했을 때 연결되는 MapInfo 상의 그림과 동일하다. 그림에서는 광구 지역중 B2지역의 부존밀도 분포를 raster 형식의 계층으로 보여주고 있다.

지도창에서는 B2지역의 부존밀도 분포를 정보창에서는 B2지역의 평균 부존밀도와 면적 등을 보여준다.

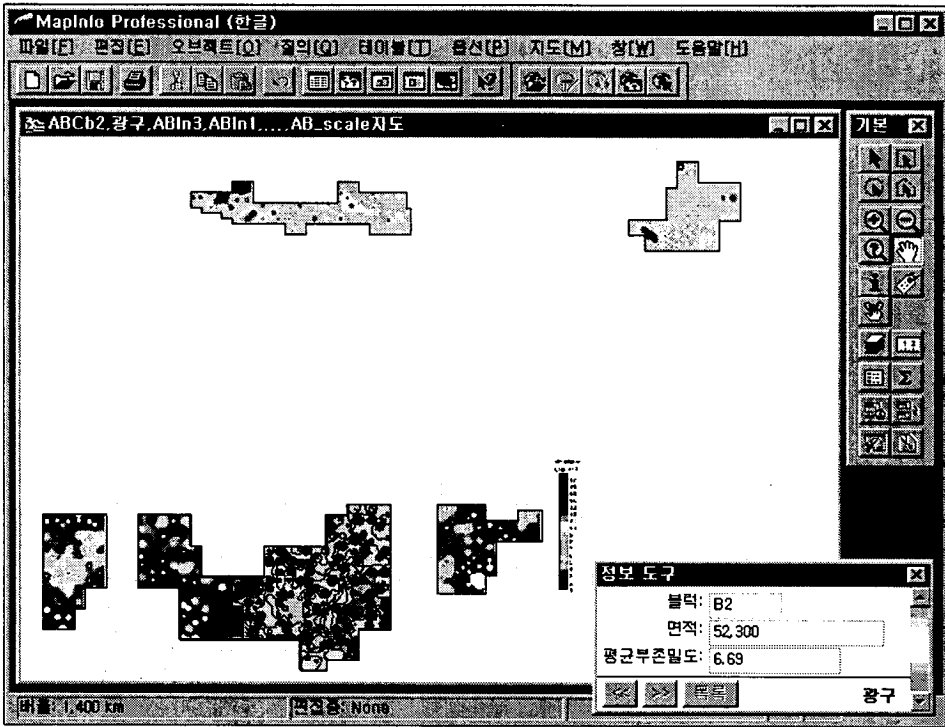


아래의 그림은 부준밀도에 대한 등치선도를 그린 vector 형식의 그림



파일을 겹쳐 한 지도창에 나타낸 것이다.

다음의 그림은 전 광구지역을 한 지도창에 볼 수 있도록 지도창의 배율을 조정하여 전 광구를 한 화면에 도시하였다. 이 그림은 계층제어 아이콘을 선택하여 계층제어 상자에서 전 광구 지역이 raster 형식의 부존밀도 분포도와 B2지역의 vector 형식의 등치선도가 겹치도록 한 그림이다.



다음 화면에서 보이는 계층제어 상자창의 눈 모양의 그림이 그려진 체크상자들은 지도창에서 해당계층의 도시여부를 알려준다. 체크상자가 선택되지 않은 계층은 지도창에서 감춰진 계층을 나타낸다. 펜모양의 체크상자는 수정 가능여부를 나타낸다. 마우스커서 모양은 해당계층내의 오브젝트가 선택 가능한 가를 알려준다. 꼬리표모양의 체크상자는 자동 라벨이 선정되었는지를 알려준다.

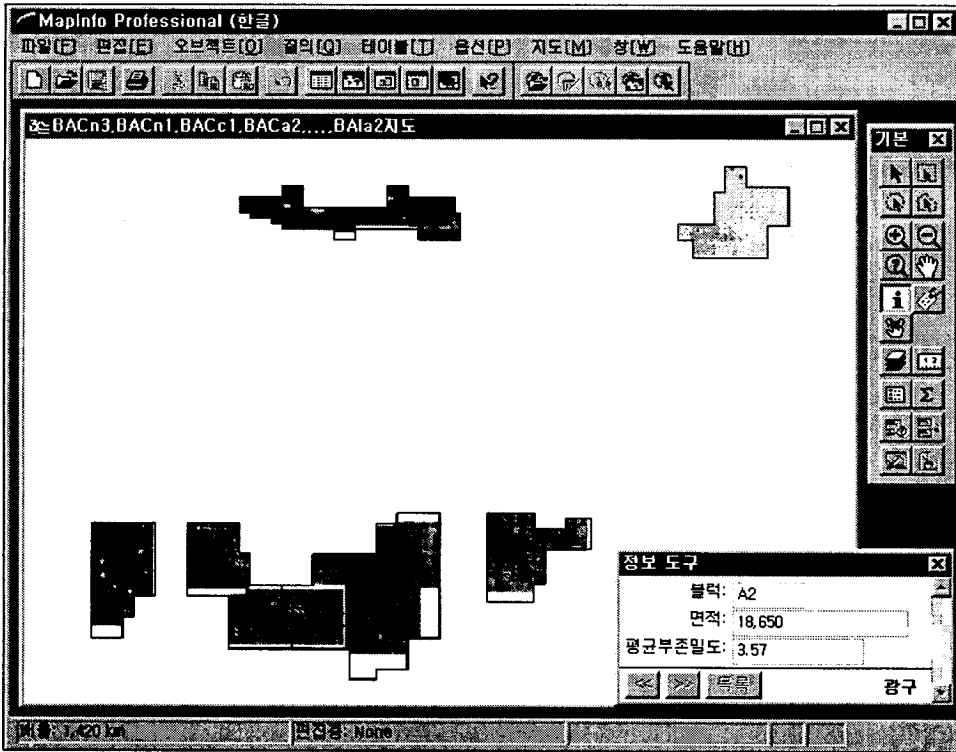


상기와 같은 방법으로 계층을 제어하여 지도창에서 원하는 항목과 지역의 정보 및 분포상황을 검색 할 수 있다.

현 단계에서는 사용자가 아이콘을 이용하여 정보창에서 원하는 계층을 제어하도록 하였으나 차기 버전에서는 자료의 중첩여부도 메뉴방식을 통하여 선택 할 수 있도록 수정할 예정이다.

이번에는 광구지역내 수심자료에 대하여도 GIS를 이용한 계층제어와 검색의 예를 살펴보자.

아래의 그림은 우리나라 광구지역의 수심도를 하나의 지도창에 중첩하여 나타낸 것이다. 상기에 걸쳐 설명한 바와 같이 계층제어창과 지도의 배율을 조정하여 원하는 지역의 정보를 알아낼 수 있다. 또한 부존밀도와 수심자료를 하나의 지도창에 도시하여 나타낼 수 있다.



또한 주 메뉴상의 창을 선택하여 새로운 지도창, 새로운 브라우저, 장평등을 선택하여 다른 정보와 리포트 작성을 할 수 있으며, 또한 이곳에서는 설명 하지 않은 주제도도 작성 할 수 있도록 하였다.

아래 그림은 우리나라 광구지역중 A2지역의 수심 등고선을 전체 광구지역을 나타내는 지도창에 중첩하여 나타낸 것과 새로운 지도창을 열어 A2지역만의 수심 등고선을 나타낸 화면을 동시에 한 화면에 보여주고 있다.

주제도 작성, 리포트작성, 지도창 및 브라우저 (정보 DB)창의 출력은 MapInfo 의 User's Guide를 참조하기 바란다.

현재 이 심해저 데이터베이스시스템은 계속 개선 보완되고 있으며, 차후의 사용자 설명서에는 좀더 자세한 사용법을 설명할 예정이다.





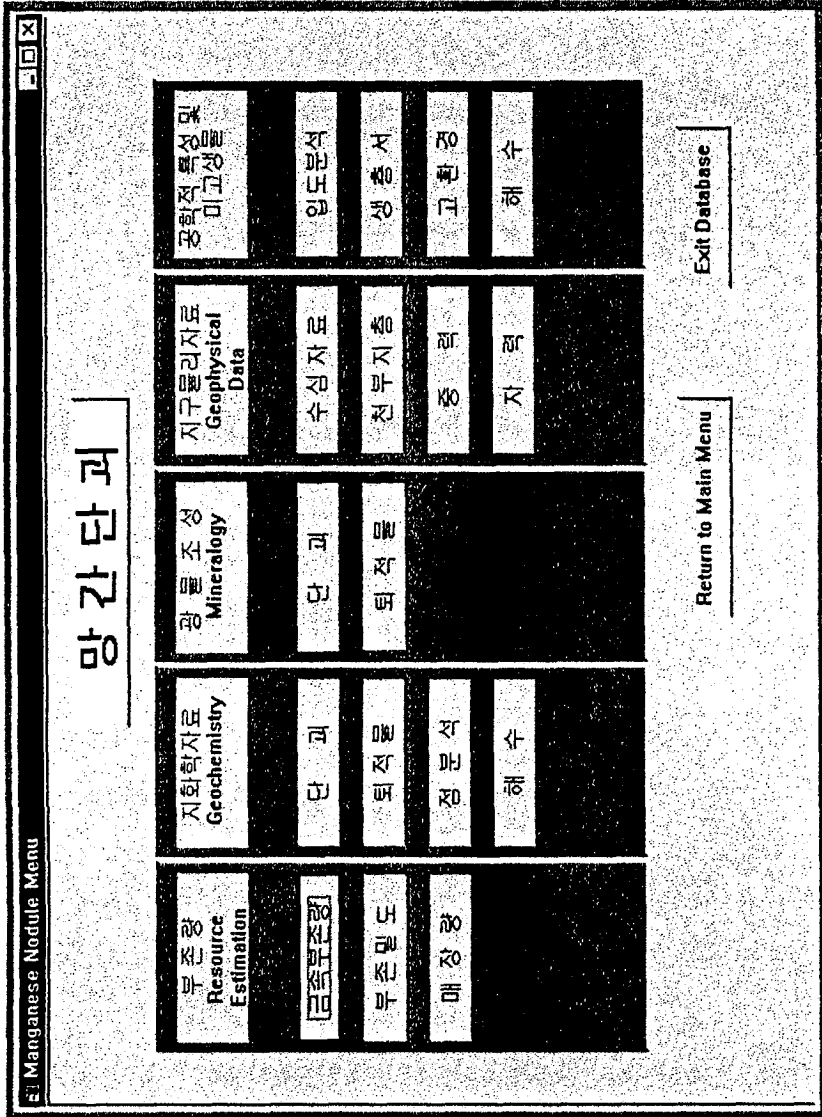


Fig. 2-1. Menu box in manganese nodule DB

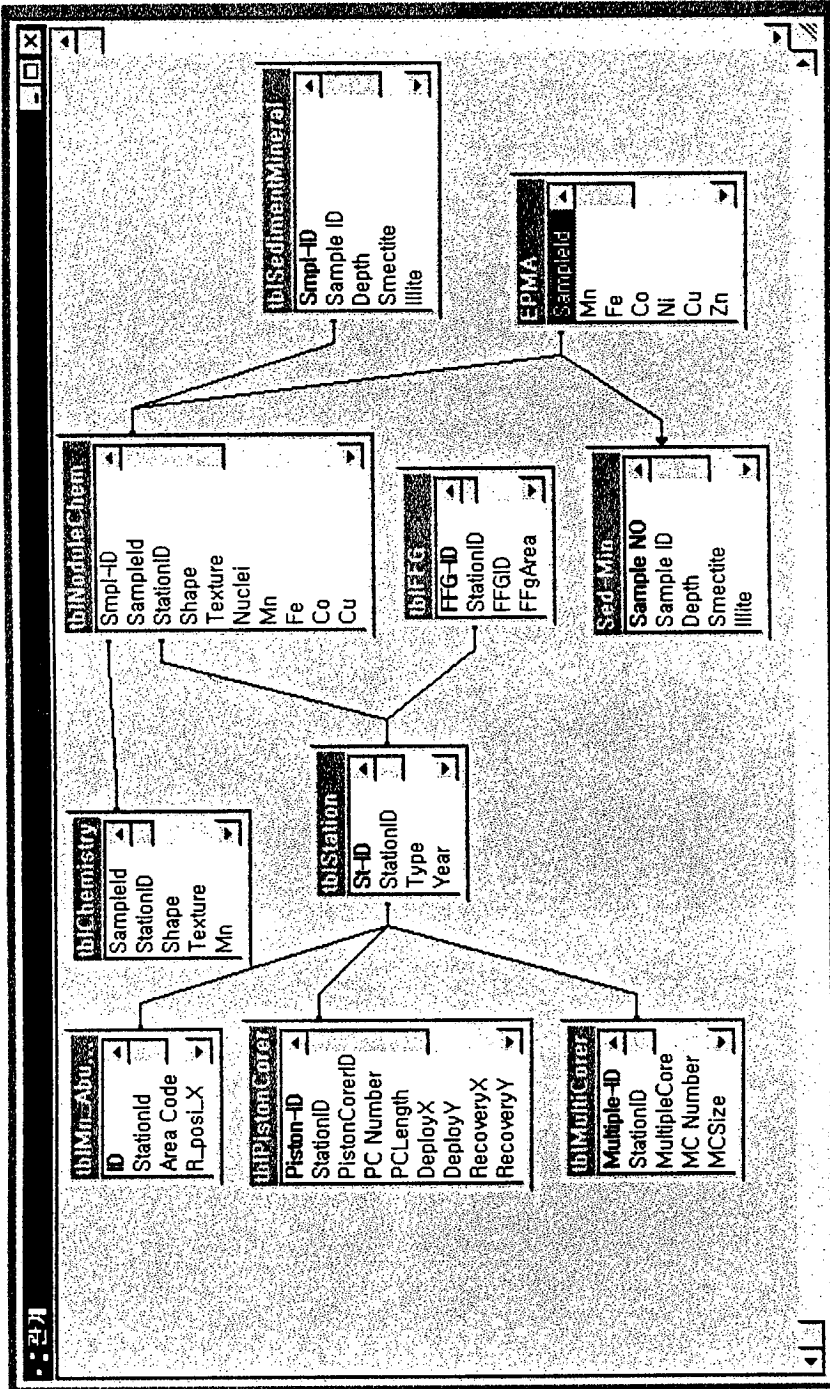


Fig. 2-2. The relationship diagram between geological and geochemical DB

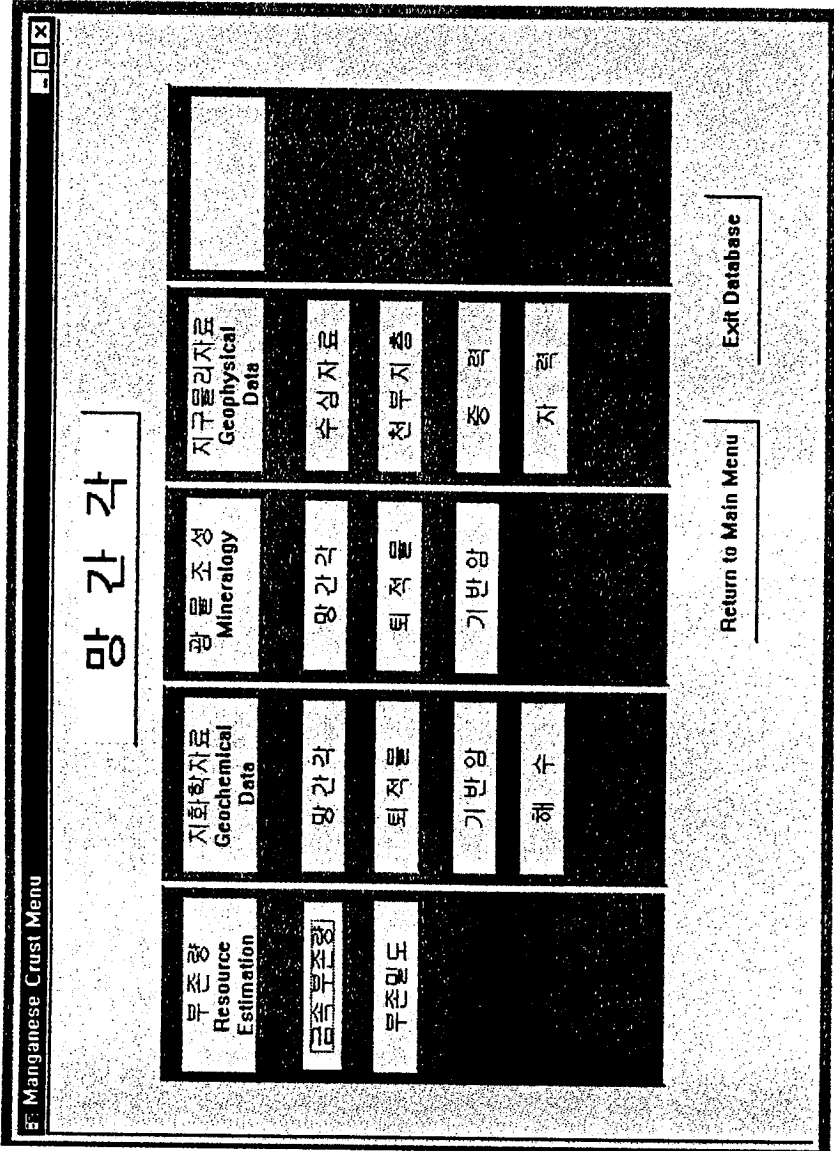


Fig. 2-3. Menu box in manganese crust DB

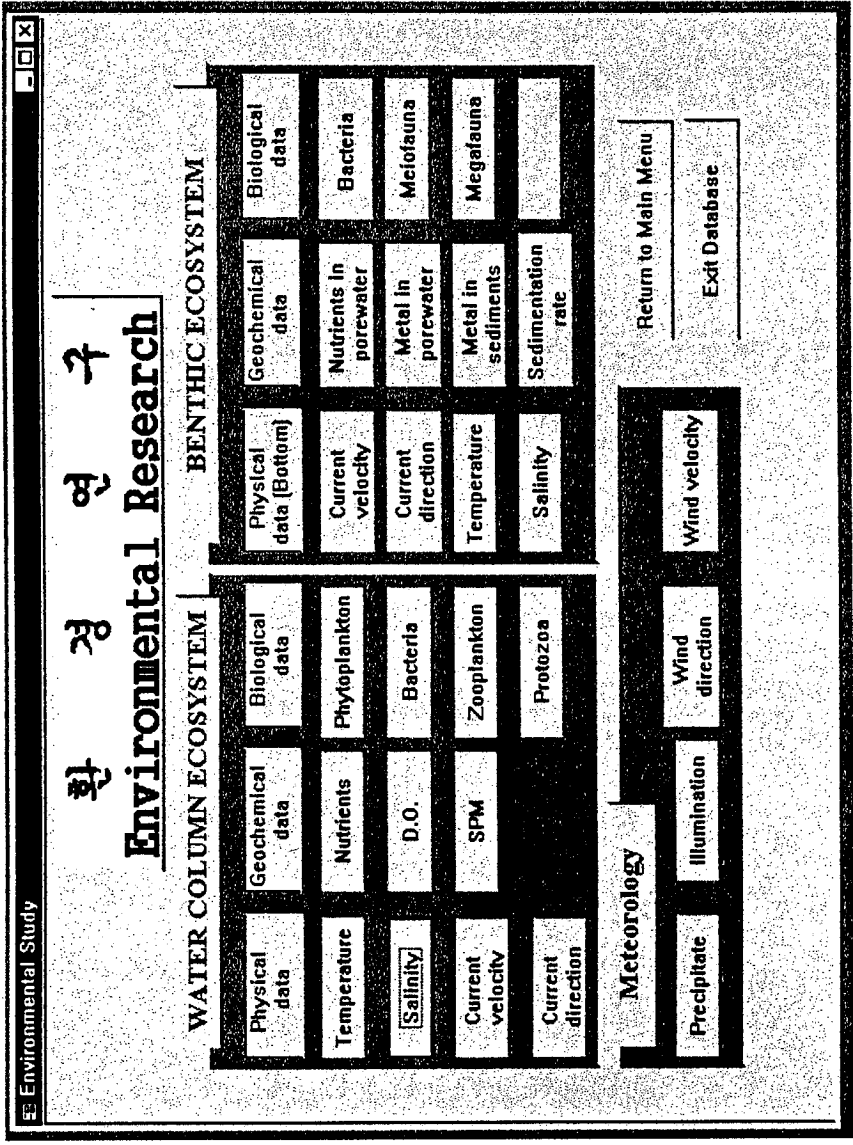


Fig. 2-4. Menu box in environmental research DB

tblStation : 테이블		데이터 형식	설명
St-ID	문자열	문자열	YYCCSSSs - YY: Year, CC - Cruise NO., SSS - station NO, s - additional station NO.
Type	숫자	숫자	10 - 망간단괴탐사, 20 - 환경탐사, 30 - 망간각탐사, 40 - 열수광상탐사
Year	숫자	숫자	13244666 - 132D 44,666M, (-) : West (+) : East
PositionX	문자열	문자열	1155666 - 11D 55,666M, (-) : South, (+) : North
PositionY	문자열	문자열	
Operation Item	문자열	문자열	
Area Code	문자열	문자열	

필드 속성

Fig. 2-5. Data structure in station logbook DB

FFG : 데이터		실경	
필드 이름	데이터 형식	설명	필드 속성
FFG-ID	문자열	월련 번호	
StationID	숫자	문자열	
FFGID	숫자	숫자	
FFgArea	숫자	숫자	
DeployX	숫자	숫자	
DeployY	숫자	숫자	
RecoveryX	숫자	숫자	
RecoveryY	숫자	숫자	
DeployTime	문자열	문자열	
RecoveryTime	문자열	문자열	
RecoveryCheck	예/아니오	예/아니오	
Camera	예/아니오	예/아니오	
Strobe	예/아니오	예/아니오	
NoduleRecovery	숫자	숫자	unit : g
NoduleAbundance	숫자	숫자	unit : kg/m2

Fig. 2-6. Data structure in FFG logbook DB

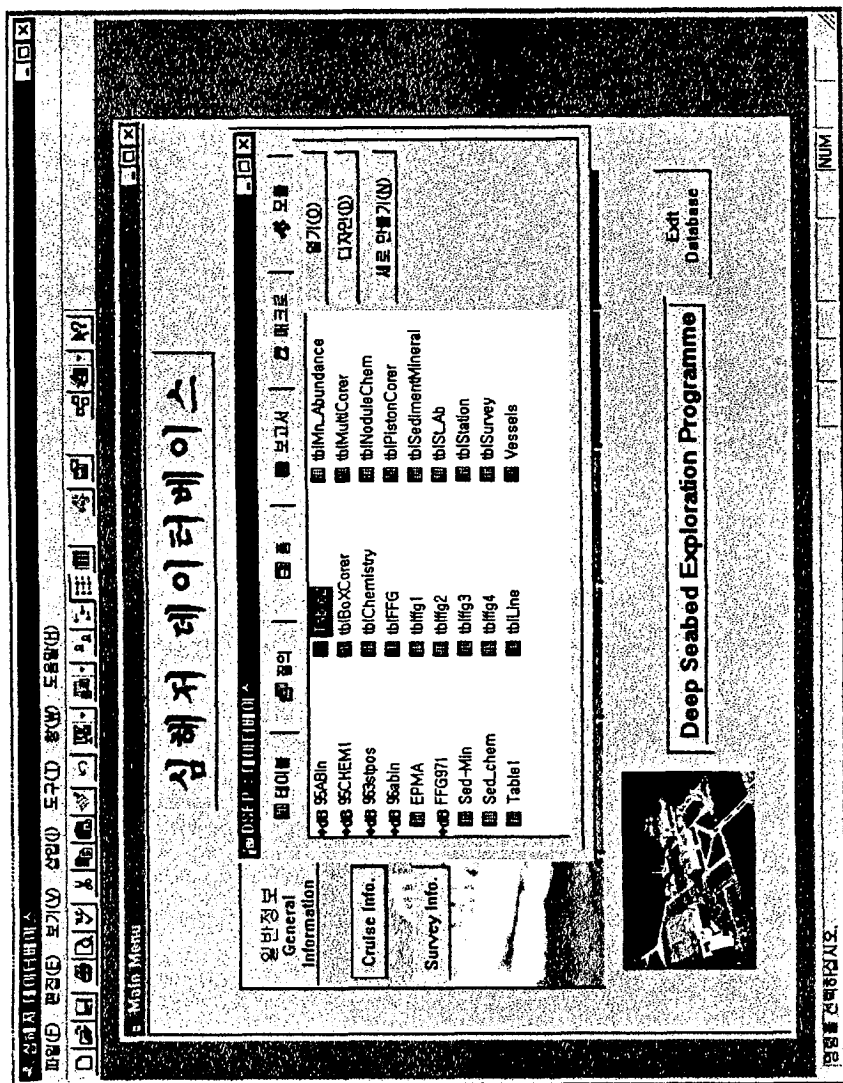


Fig. 2-7. The example of database(table) in Deep-sea Database



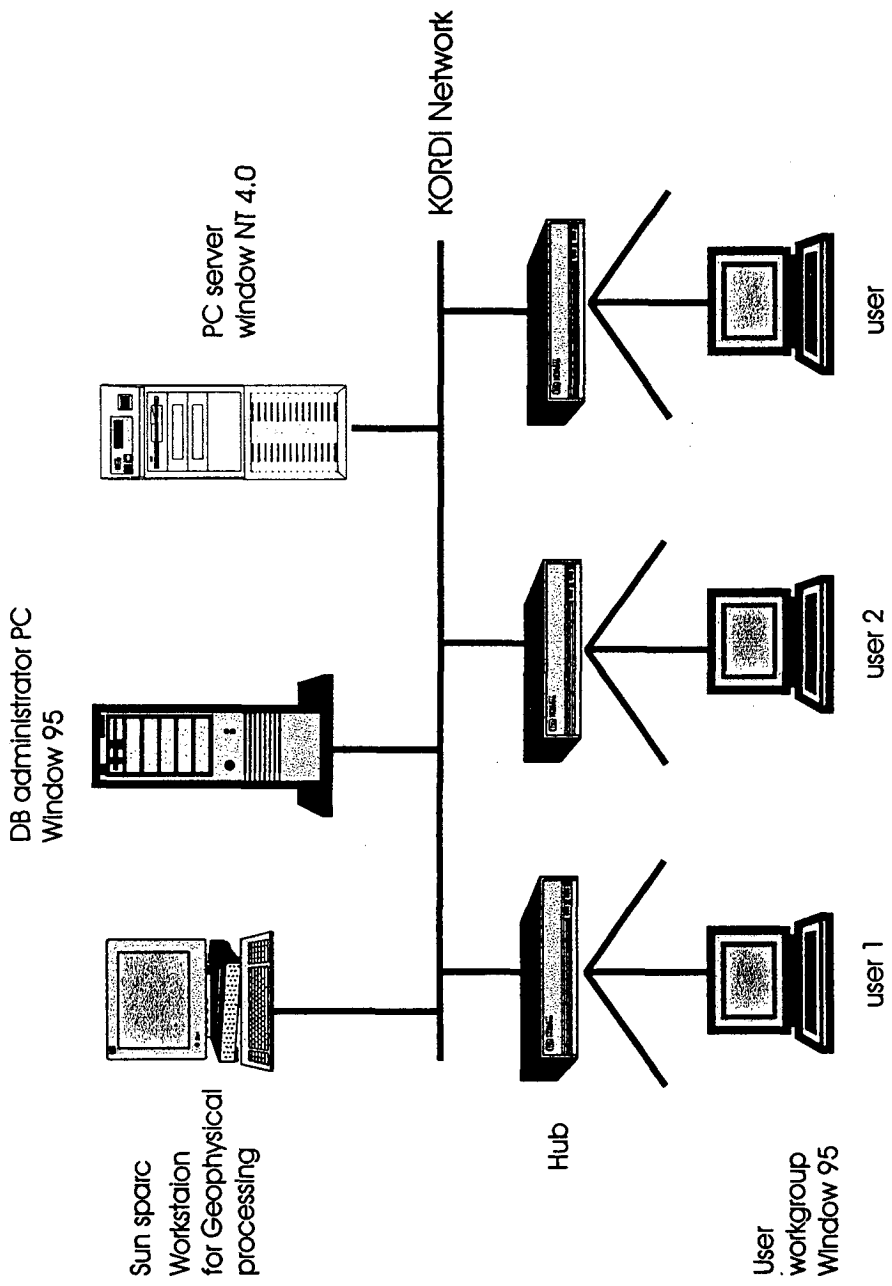


Fig. 2-8. The network system in Deep-sea Database and GIS

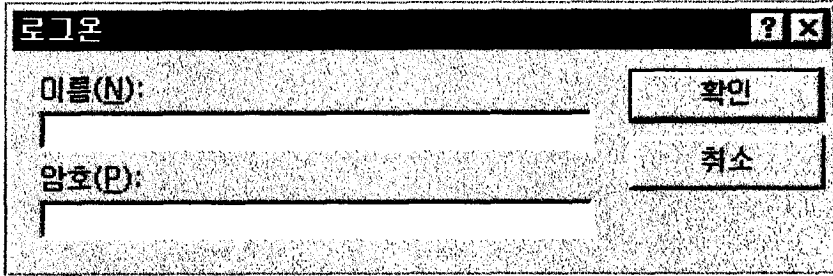


Fig. 2-9. Log-on menu box in Access software

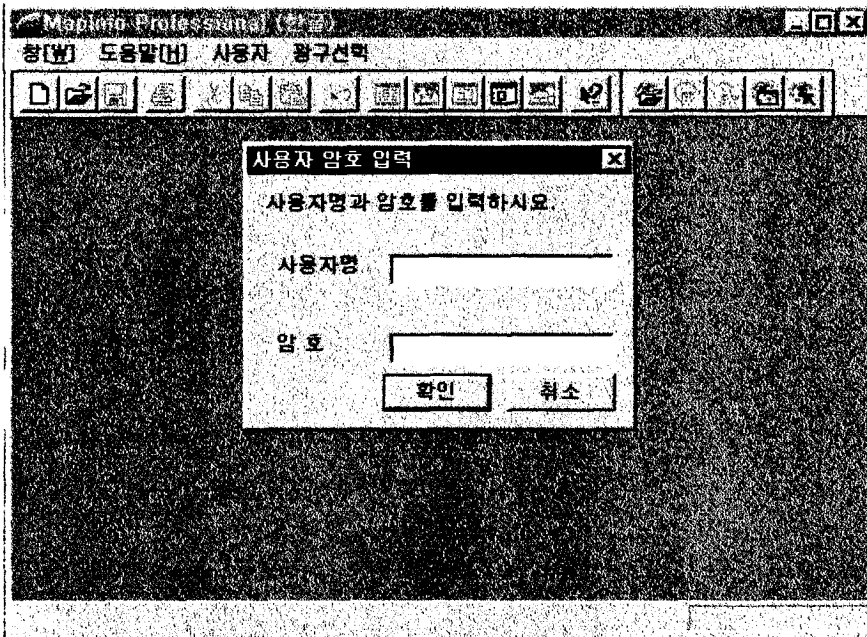


Fig. 2-10. Log-on menu box in MapInfo software

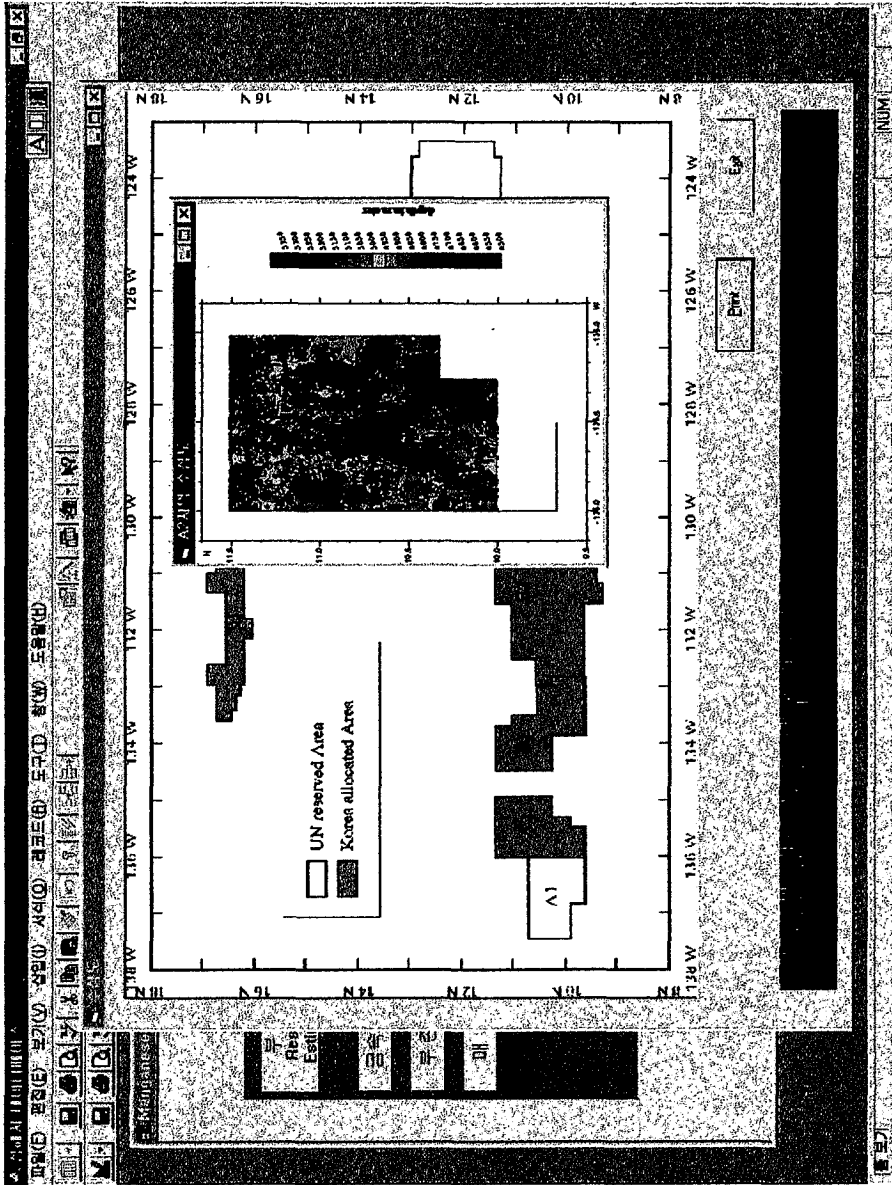


Fig. 2-11. The example of bathymetric color chart in Access DB



Fig. 2-12. The initial menu of Deep-sea Database system



Fig. 2-13. The main menu box of Database in Access DB

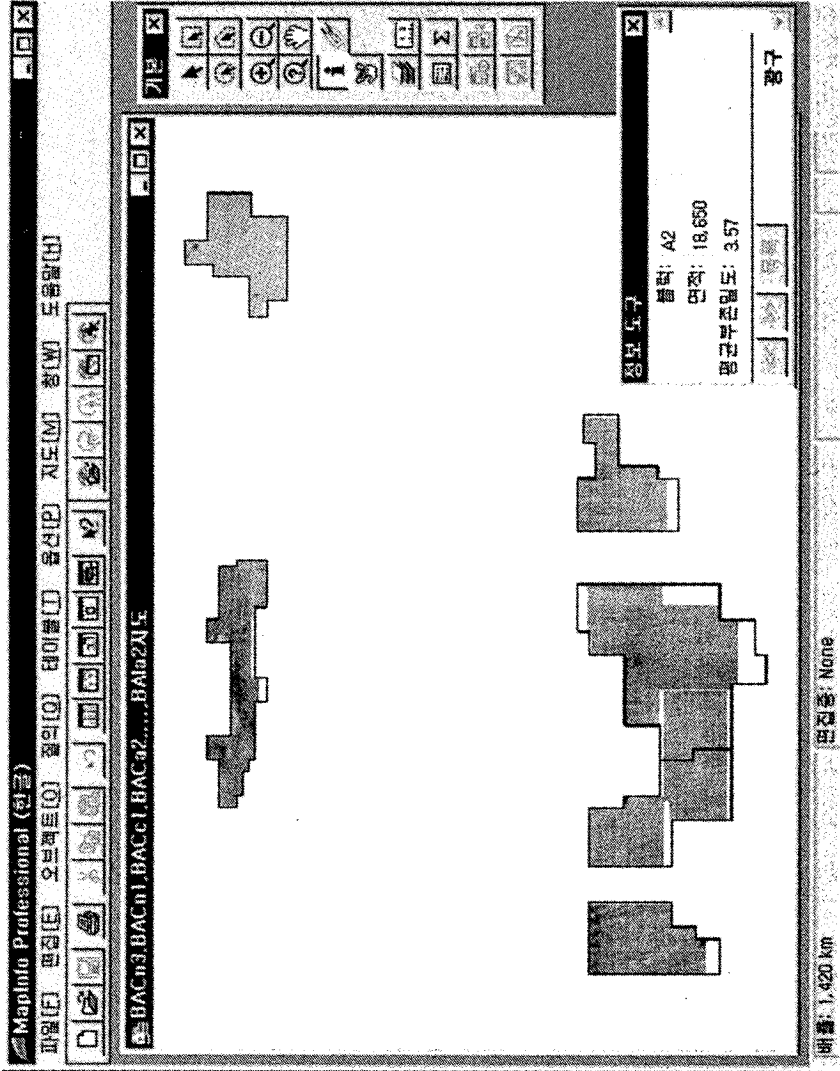


Fig. 2-14. The image map(raster type) of bathymetry

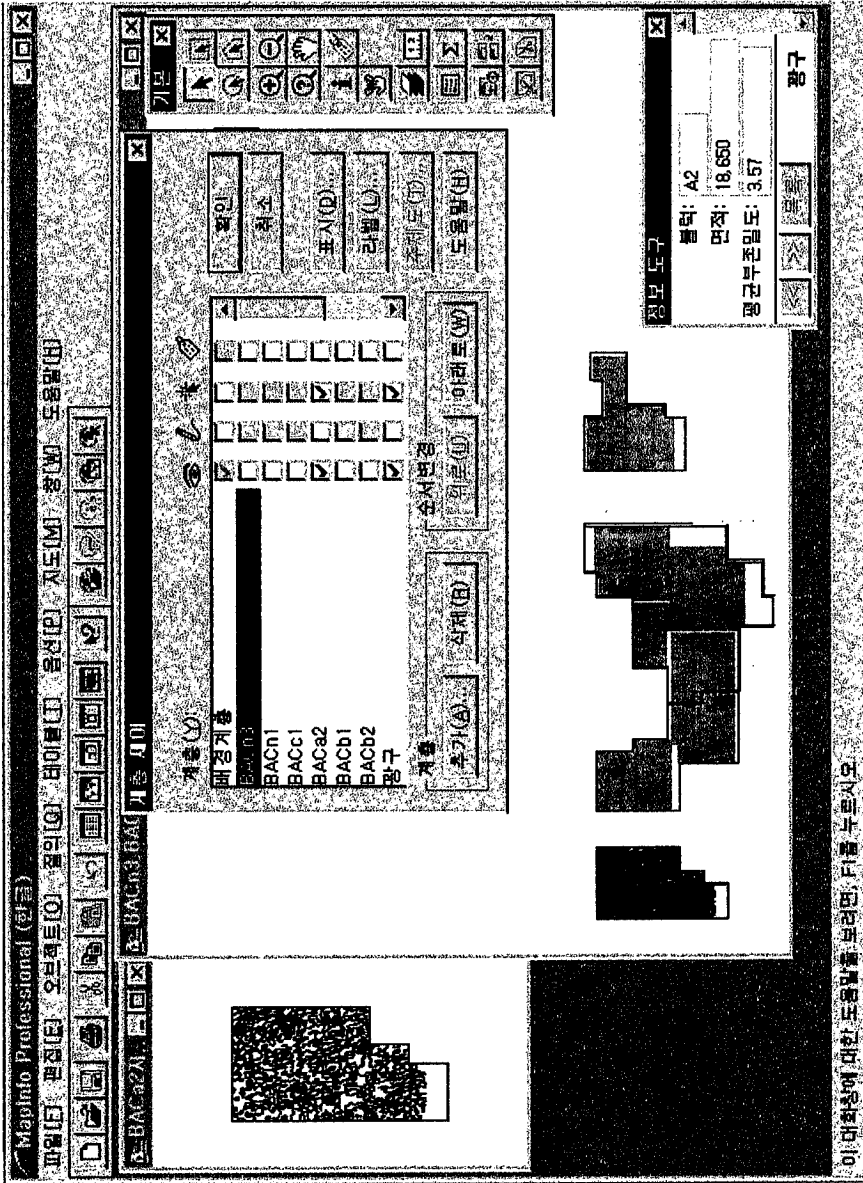


Fig. 2-15. The image (raster type) map and contour(vector type) map of bathymetry with layer control box

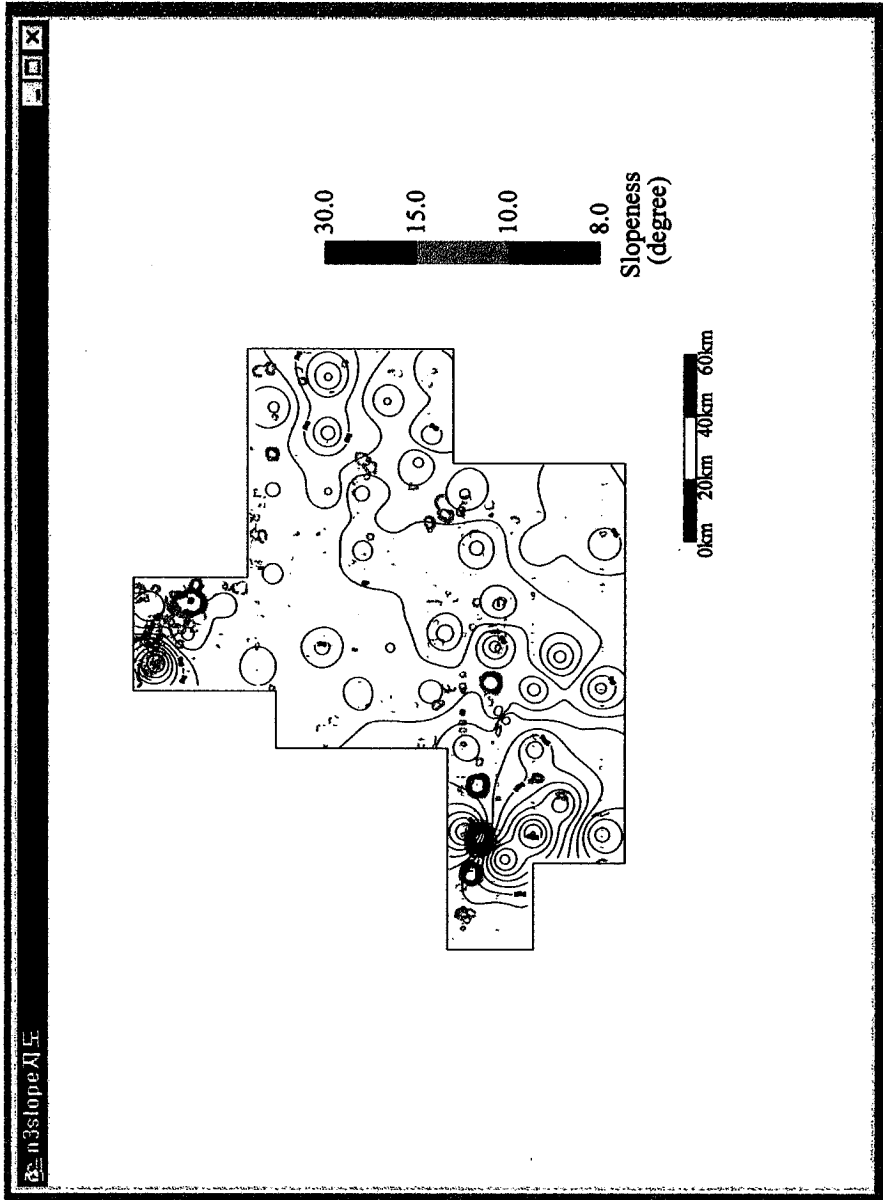


Fig. 2-16. The overlay map of slopness in N3 area



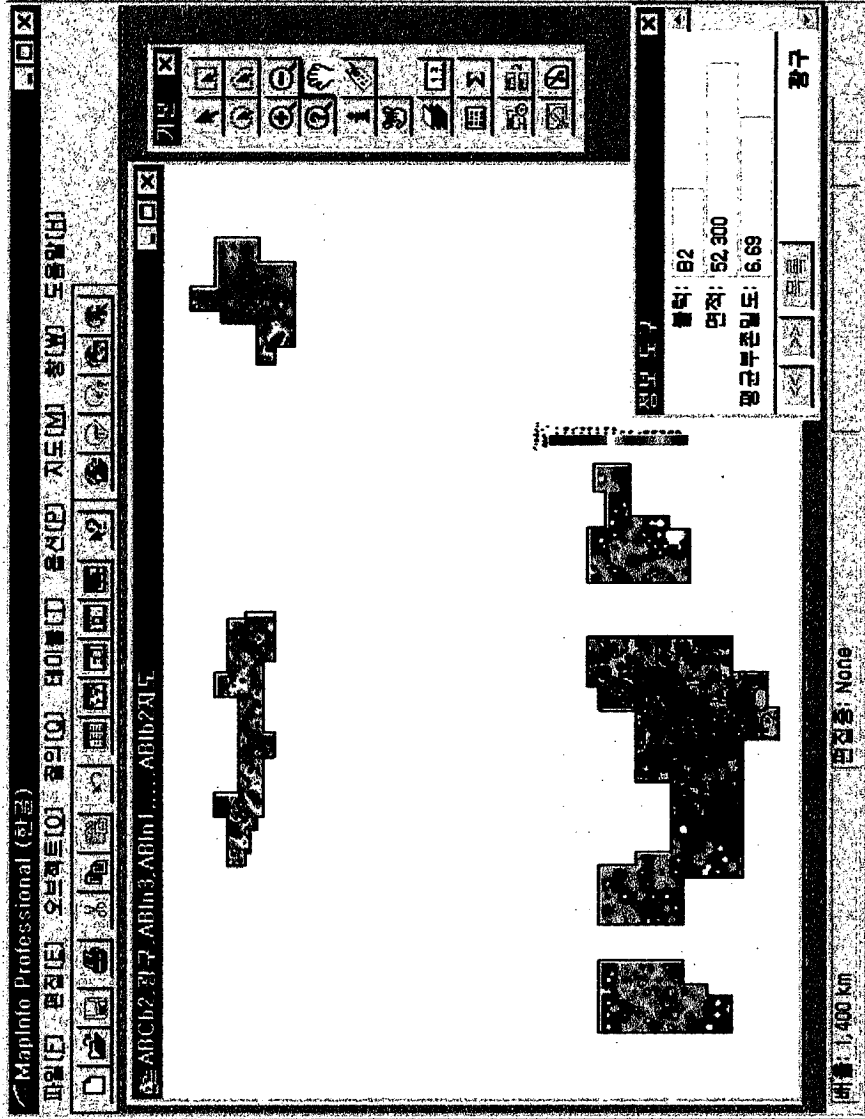


Fig. 2-17. The image map and contour map of abundance with information box

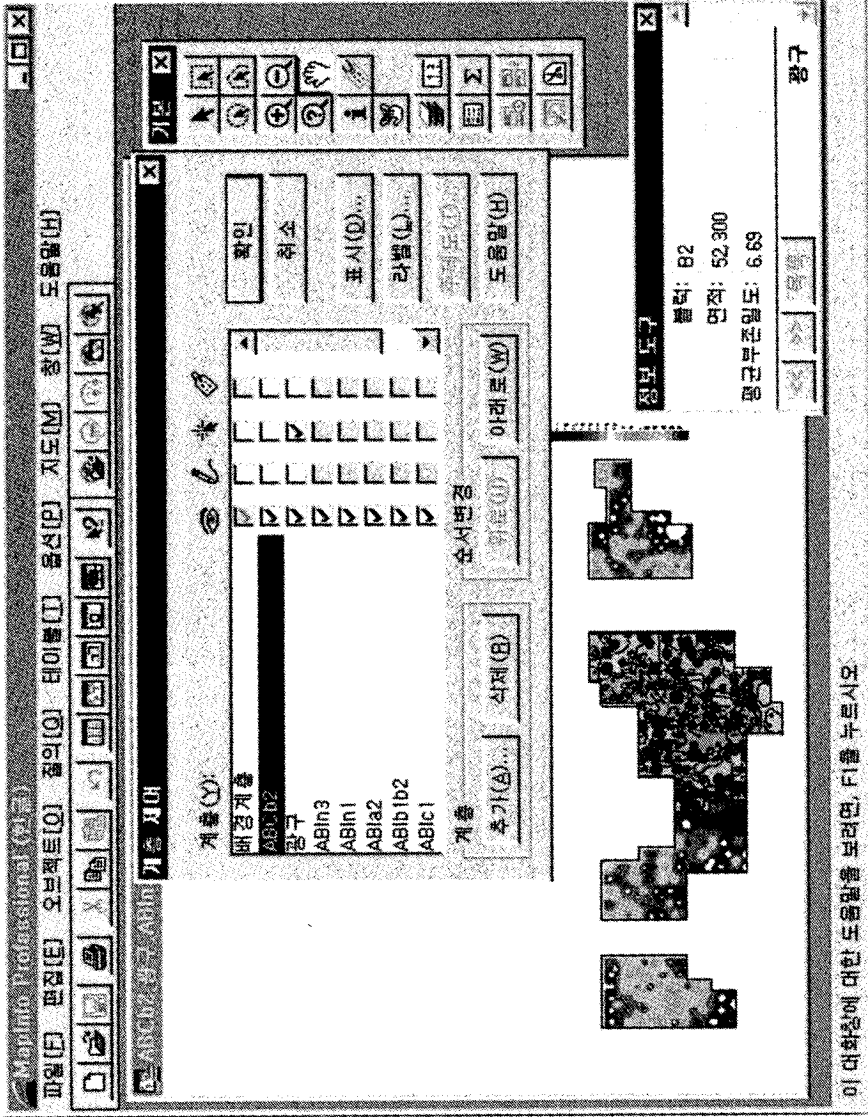


Fig. 2-18. The image map and contour map of abundance with layer control box

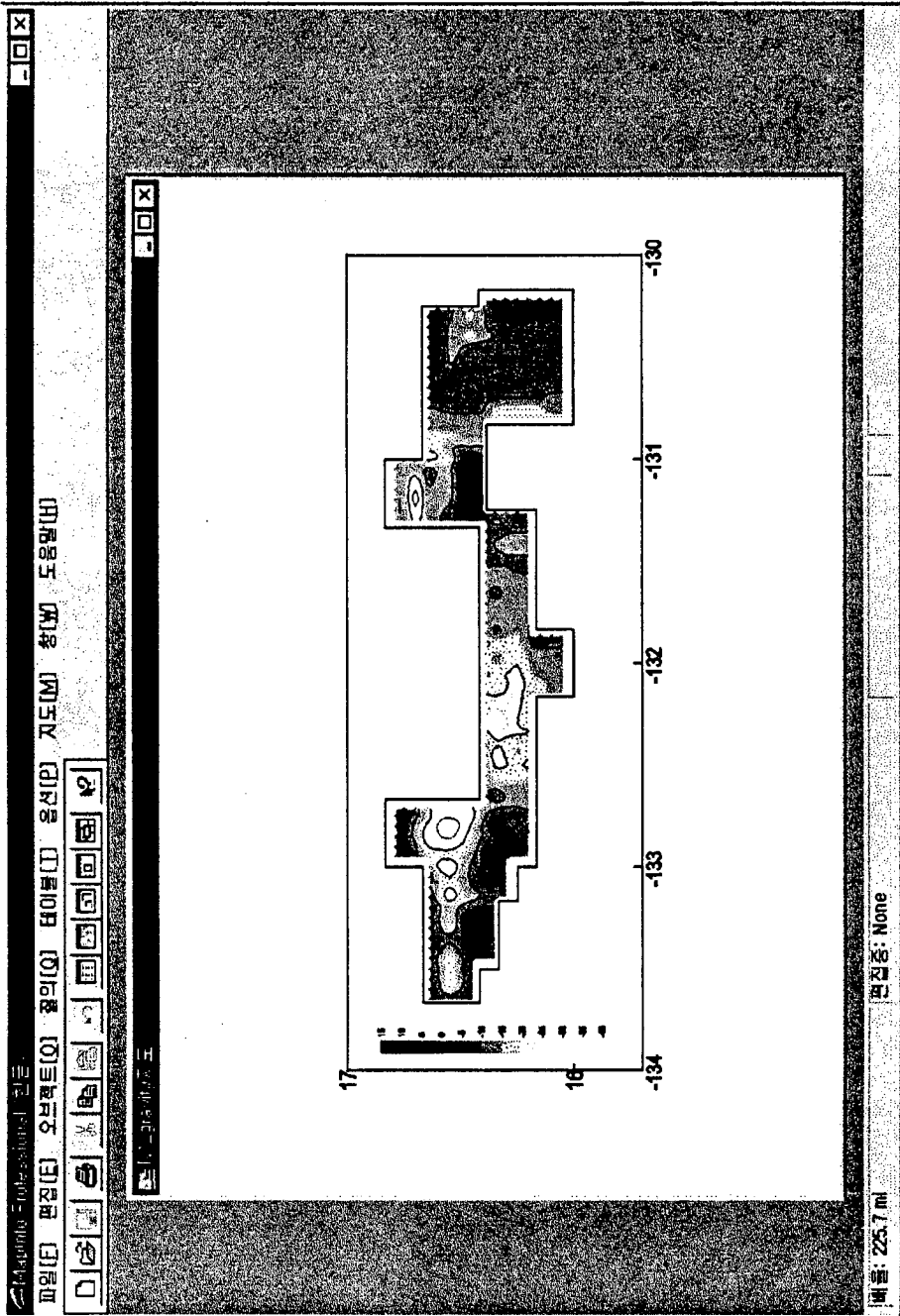


Fig. 2-19. The image map of gravity anomaly in Ni area

# Appendix

## THE MARINE GEOPHYSICAL DATA EXCHANGE FORMAT - "MGD77" (Bathymetry, Magnetics, and Gravity)

- I. INTRODUCTION
- II. GENERAL DESCRIPTION
- III. THE HEADER RECORD
- IV. THE DATA RECORD

### I. INTRODUCTION

In January of 1977, a group of 24 geophysical data managers from academia, government, industry and foreign countries participated in a workshop at the National Geophysical Data Center (NGDC) in Boulder, Colorado. The "Workshop for Marine Geophysical Data Formats" established the basic outline of a new format for the exchange of digital underway geophysics data. A six member task force was formed to work with NGDC in implementing the decisions of the workshop into the new format. By the end of 1977 the "MGD77" format was being disseminated by NGDC as its standard exchange format.

The "MGD77" format has experienced much success over the past 15 years. It has been sanctioned by the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) as an accepted standard for international data exchange, and it has been translated into French, Japanese, and Russian. Most contributors of data to NGDC now send tapes (or increasingly, floppy disks) in the "MGD77" format.

### II. GENERAL DESCRIPTION

The digital format presented, and referred to as "MGD77", is an exchange format for marine geophysical data (bathymetry, magnetics, and gravity). It is intended to be used for the transmission of data to and from a data center and may be useful for the exchange of data between marine institutions. Data is to be exchanged in files, one file per survey operation. Generally each survey operation is a port-to-port operation of a survey vessel, but in some cases several port-to-port operations of the same vessel are combined into a single survey operation, especially if this is the manner of organizing the data at the contributing institution. Data may be exchanged on various mass storage devices such as 8mm or 9 track tapes, floppy disks or optical media. The National Geophysical Data Center uses CD-ROM disks as its chief method of distribution of these data.

#### Data Exchange

1. For exchange of MGD77 data via mass storage files on magnetic or optical media participants shall establish type and format of the media to be exchanged.
2. Each survey operation shall be contained in one file with Header and Data Records, or in 2 files, one Header file and one Data Record file. If the media is too small to contain one survey the data may be continued on a second media.
3. Each survey operation shall have one MGD77 Header consisting of 24 80-character logical records.
4. The MGD77 data records are sequentially and chronologically organized until the end of the file. The data records are 120 logical characters.

5. A file is defined as all observations that conveniently constitute a survey operation (e.g., a port-to-port cruise or in some cases several cruises). A file ideally should not span two media.

6. For sequential files, the MGD77 Header shall consist of 24 sequential records of 80 logical characters each and, if the data records are in the same file, the Header shall be at the beginning of the file. The MGD77 Data Records shall be 120 logical characters each.

7. 9 Track tapes should be recorded as ASCII 1600 or 6250 BPI. The tape structure consists of physical records of 1920 characters each, a header followed by data records, separated by interrecord gaps (IRG) and organized into files. The files are separated by end-of-file (EOF) marks (sometimes called tape marks).

### III. THE HEADER RECORD

The purpose of the Header Record is to document both the content and structure of the geophysical data contained within subsequent data records. In general, documentation that is constant throughout the survey will be in the Header Record, while documentation that is variable will be in the Data Records.

For sequential files, the MGD77 Header consists of 24 80-character sequential records. For 9 track magnetic tapes the MGD77 Header is a physical record (block) consisting of 1,920 characters. In both cases the data records follow immediately with no intervening end-of-file marks.

The Header Record contains fields which are both fixed and freely formatted. All field lengths within the Header that have not been coded with information should be blank filled, and all plain language statements should be left justified. The Header consists of a "sequence" of twenty four 80-character images. The field lengths within the Header Records are designed to allow one to read the information (from magnetic tapes) as a series of 120 character logical records – the same logical record length as the data records.

To help the marine geophysical community prepare this documentation, a coding pad is available free of charge from the National Geophysical Data Center.

#### Format Conventions for the Header Record:

1. All decimal points are **implied**.
2. Leading zeros and blanks are equivalent.
3. Unknown or unused fields are to be **blank filled**.
4. All "corrections", such as time zone, diurnal magnetics, and Eotvos, are understood to be **added** (e.g., time-zone correction is the number of hours which must be added to the recorded time to determine GMT).

The following is a detailed description of the Header Record. Fields can be of type integer, real or character. Fields that represent whole numbers are integers. Fields that contain a decimal component are real, and fields that are alphanumeric are character.

Character Nos.	Length of Field	Type	Description
<b>Sequence No. 1</b>			
1	1	int	RECORD TYPE - Set to "1"

2-9	8	char	SURVEY IDENTIFIER Identifier supplied by the contributing organization, else given by NGDC in a manner which represents the data. Identical to that in data record.
10-14	5	char	FORMAT ACRONYM - Set to "MGD77"
15-22	8	char	DATA CENTER FILE NUMBER Survey identifier bestowed by the data center. First 2 chars indicate the source, first 4 indicate platform.
27-31	5	int	PARAMETERS SURVEYED CODE Status of geophysical parameters for this survey. COLUMN   PARAMETER SURVEYED 27        bathymetry 28        magnetics 29        gravity 30        high-resolution seismics 31        deep penetration seismics
			CODE - (for columns 27-31) 0 or blank - unspecified 1 - Parameter NOT surveyed 3 - Parameter surveyed, not in file 5 - Parameter surveyed, in file
32-37	6	int	FILE CREATION DATE (YYMMDD) Date data records were last altered.
38-78	41	char	SOURCE INSTITUTION Organization which collected the data. Include contributor if different from collector.
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "01"
<b>Sequence No. 2</b>			
1-18	18	char	COUNTRY
19-39	21	char	PLATFORM NAME
40	1	int	PLATFORM TYPE CODE 0 - Unspecified 1 - Surface ship 2 - Submersible ship 3 - Aircraft 4 - Buoy 5 - Mobile land 6 - Fixed land 7 - Deep tow 8 - Anchored seafloor instrument 9 - Other, specify
41-46	6	char	PLATFORM TYPE (e.g., "SHIP", "PLANE", "SUB", etc.)
47-78	32	char	CHIEF SCIENTIST(S)
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "02"
<b>Sequence No. 3</b>			
1-58	58	char	PROJECT (e.g., "SURVOPS 6-69", "INDOPAC, Leg3")

59-78	20	char	FUNDING (i.e. agency or institution)
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "03"
<b>Sequence No. 4</b>			
1-6	6	int	SURVEY DEPARTURE DATE (YYMMDD)
7-40	34	char	PORT OF DEPARTURE (i.e. city, country)
41-46	6	int	SURVEY ARRIVAL DATE (YYMMDD)
47-78	32	char	PORT OF ARRIVAL (i.e. city, country)
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "04"
<b>Sequence No. 5</b>			
1-40	40	char	NAVIGATION INSTRUMENTATION (e.g. "SAT/LORAN A/SEXTANT")
41-78	38	char	GEODETTIC DATUM/POSITION DETERMINATION METHOD (e.g. "WGS84/PRIM - SATELLITE, SEC-LORAN A")
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "05"
<b>Sequence No. 6</b>			
1-40	40	char	BATHYMETRY INSTRUMENTATION Include information such as frequency, beam width, and sweep speed of recorder.
41-78	38	char	ADDITIONAL FORMS OF BATHYMETRIC DATA (e.g., "MICROFILM", "ANALOG RECORDS")
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "06"
<b>Sequence No. 7</b>			
1-40	40	char	MAGNETICS INSTRUMENTATION (e.g., "PROTON PRECESSION MAG- GEOMETRICS G-801")
41-78	38	char	ADDITIONAL FORMS OF MAGNETICS DATA (e.g., "PUNCH TAPE", "ANALOG RECORDS")
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "07"
<b>Sequence No. 8</b>			
1-40	40	char	GRAVITY INSTRUMENTATION (e.g., "L and R S-26")
41-78	38	char	ADDITIONAL FORMS OF GRAVITY DATA (e.g., "MICROFILM", "ANALOG RECORDS")
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "08"
<b>Sequence No. 9</b>			
1-40	40	char	SEISMIC INSTRUMENTATION Include the size of the sound source, the recording frequency filters, and the number of channels (e.g., "1700 cu. in., AIRGUN, 8-62 Hz, 36 CHANNELS")
41-78	38	char	FORMATS OF SEISMIC DATA (e.g., "DIGITAL", "MICROFILM", "NEGATIVES",

79-80	2	int	etc.) SEQUENCE NUMBER - Set to "09"
<b>Sequence No. 10</b>			
1	1	char	FORMAT TYPE Set to "A", which means format contains integers, floating points, and alphanumerics
2-75	74	char	FORMAT DESCRIPTION This is one method of reading (not writing) the data in FORTRAN. Set to the following: "(I1,A8,F5.2,4I2,F5.3,F8.5,F9.5,I1,F6.4,F6.1,I2,I1,3F6.1,I1,F5.1,F6.0,F7.1," (NOTE: continued in sequence no. 11)
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "10"
<b>Sequence No. 11</b>			
1-17	17	char	FORMAT DESCRIPTION Continued, set to following: "F6.1,F5.1,A5,A6,I1)"
41-43	3	int	TOPMOST LATITUDE OF SURVEY ** (to next whole degree)
44-46	3	int	BOTTOMMOST LATITUDE
47-50	4	int	LEFTMOST LONGITUDE
51-54	4	int	RIGHTMOST LONGITUDE
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "11"
<b>Sequence No. 12</b>			
1-3	3	real	GENERAL DIGITIZING RATE OF BATHYMETRY In tenths of minutes. The rate which is present within the data records (e.g., if values were coded every 5 minutes, set to "050")
4-15	12	char	GENERAL SAMPLING RATE OF BATHYMETRY This rate is instrumentation dependent (e.g., "1/SECOND")
16-20	5	real	ASSUMED SOUND VELOCITY In tenths of meters per second. Historically, in the U.S., this speed has been 800 fathoms/sec, which equals 1463.0 meters/sec.; however, some recorders have a calibration of 1500 meters/sec (e.g., "14630")
21-22	2	int	BATHYMETRIC DATUM CODE - 00 - No correction applied 01 - Lowest normal low water 02 - Mean lower low water 03 - Lowest low water 04 - Mean lower low water spring 05 - Indian spring low water 06 - Mean low water spring 07 - Mean sea level



			08 - Mean low water 09 - Equatorial spring low water 10 - Tropic lower low water 11 - Lowest astronomical tide 88 - Other, specify in Add. Doc.
23-78	56	char	INTERPOLATION SCHEME This field allows for a description of the interpolation scheme used, should some of the data records contain interpolated values (e.g., "5-MINUTE INTERVALS AND PEAKS AND TROUGHS").
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "12"
<b>Sequence No. 13</b>			
1-3	3	real	GENERAL DIGITIZING RATE OF MAGNETICS In tenths of minutes. The rate which is present within the data records.
4-5	2	int	GENERAL SAMPLING RATE OF MAGNETICS In seconds. This rate is instrumentation dependent (e.g., if the pulse rate is every 3 sec, set to "03")
6-9	4	int	MAGNETIC SENSOR TOW DISTANCE In meters. The distance from the navigation reference to the leading sensor.
10-14	5	real	SENSOR DEPTH In tenths of meters. This is the estimated depth of the lead magnetic sensor.
15-17	3	int	HORIZONTAL SENSOR SEPARATION In meters. If two sensors are used.
18-19	2	int	REFERENCE FIELD CODE This is the reference field used to determine the residual magnetics: 00 - Unused 01 - AWC 70 02 - AWC 75 03 - IGRF-65 04 - IGRF-75 05 - GSFC-1266 06 - GSFC (POGO) 0674 07 - UK 75 08 - POGO 0368 09 - POGO 1068 10 - POGO 0869 11 - IGRF-80 12 - IGRF-85 13 - IGRF-90 14 - IGRF-95 88 - Other, specify

20-31	12	char	REFERENCE FIELD (e.g., "IGRF-85")
32-78	47	char	METHOD OF APPLYING RESIDUAL FIELD The procedure used in applying this reduction to the data (e.g., "LINEAR INTERP. in 60-mile SQUARE")
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "13"
<b>Sequence No. 14</b>			
1-3	3	real	GENERAL DIGITIZING RATE OF GRAVITY In tenths of minutes. The rate present within the data records
4-5	2	int	GENERAL SAMPLING RATE OF GRAVITY In seconds. This rate is instrumentation dependent. If recording is continuous, set to "00"
6	1	int	THEORETICAL GRAVITY FORMULA CODE 1 - Heiskanen 1924 2 - International 1930 3 - IAG System 1967 4 - IAG System 1980 8 - Other, specify
7-23	17	char	THEORETICAL GRAVITY FORMULA (e.g., "INTERNATIONAL '30", "IAG SYSTEM (1967)", etc.)
24	1	int	REFERENCE SYSTEM CODE Identifies the reference field: 1 - Local system, specify 2 - Potsdam system 3 - System IGSN 71 9 - Other, specify
25-40	16	char	REFERENCE SYSTEM (e.g., "POTSDAM SYSTEM", "SYSTEM IGSN 71", etc.)
41-78	38	char	CORRECTIONS APPLIED Drift, tare and bias corrections applied. (e.g., "+0.075 MGAL PER DAY")
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "14"
<b>Sequence No. 15</b>			
1-7	7	real	DEPARTURE BASE STATION GRAVITY In tenths of milligals. At sea level (Network value preferred.)
8-40	33	char	DEPARTURE BASE STATION DESCRIPTION Indicates name and number of station
41-47	7	real	ARRIVAL BASE STATION GRAVITY In tenths of milligals. At sea level (Network value preferred.)
48-78	31	char	ARRIVAL BASE STATION DESCRIPTION Indicates name and number of station
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "15"

<b>Sequence No. 16</b>			
1-2	2	int	NUMBER OF 10-DEGREE IDENTIFIERS ** This is the number of 4-digit 10-degree identifiers, excluding the "9999" flag, which will follow this field. (see APPENDIX A)
4-78	75	int	10-DEGREE IDENTIFIERS A series of 4-digit codes, separated by commas, which identify the 10-degree squares through which the survey collected data (see APPENDIX A). Code "9999" after last identifier.
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "16"
<b>Sequence No. 17</b>			
1-75	75	int	10-DEGREE IDENTIFIERS Continued
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER - Set to "17"
<b>Sequence Nos. 18-24</b>			
1-78	78	char	ADDITIONAL DOCUMENTATION information concerning this survey not contained in header fields.
79-80	2	int	SEQUENCE NUMBER ("18" thru "24")

\*\* Fields 41-54 in sequence Number 11 and Fields 1-78 in sequence numbers 16 and 17 may be blank filled by the contributing institution. The data center can determine these numbers by a computer search of the latitudes and longitudes within the MGD77 file.

#### IV. THE DATA RECORD

The data record presents underway marine geophysical data in a correlative manner. Geophysical data (bathymetry, magnetics, and gravity) and seismic identification (shot-point identification) are presented with a corresponding time and position. Documentation that is variable throughout the survey also is included within each data record. If primary navigation exists at a juncture where no geophysical data are present, this record should be included with the data parameter fields left unused (9s filled).

The logical record length is 120 characters a. For 9 track tapes the blocking factor is 16 logical records per physical record (i.e., 1,920 characters).

##### **Format Conventions for the Data Record:**

1. All decimal points are implied.
2. Leading zeros and blanks are equivalent.
3. Unknown or unused fields are to be **9's filled**.
4. All "corrections", such as time zone, diurnal magnetics, and Eotvos, are understood to be **added** (e.g., time-zone correction is the number of hours which must be added to the recorded time to determine GMT).

The following is a detailed description of the Data Record. Fields can be of type integer, real or

character. Fields that represent whole numbers are integers. Fields that contain a decimal component are real, and fields that are alphanumeric are character.

Character Nos.	Length of Field	Type	Description
1	1	int	DATA RECORD TYPE Set to "3" (data record.)
2-9	8	char	SURVEY IDENTIFIER Identifier supplied by the contributing organization, else given by NGDC in a manner which represents the data. Identical to that in header record.
10-14	5	real	TIME-ZONE CORRECTION In hundredths of hours. Corrects time (in characters 15-27) to GMT when added: equals zero when time is GMT. Timezone normally falls between -13 and +12 inclusively.
15-16	2	int	YEAR (e.g. 1972 is represented as 72)
17-18	2	int	MONTH (e.g. May is represented as 05)
19-20	2	int	DAY Day of month
21-22	2	int	HOUR Hour of day
23-27	5	real	MINUTES X 1000
28-35	8	real	LATITUDE X 100000 + = North; - = South Between -90 and 90 degrees
36-44	9	real	LONGITUDE X 100000 + = East; - = West Between -180 and 180 degrees
45	1	int	POSITION TYPE CODE Indicates how lat/lon was obtained: 1 = Observed fix 3 = Interpolated 9 = Unspecified
46-51	6	real	BATHYMETRY, 2- WAY TRAVELTIME In ten-thousandths of seconds. Corrected for transducer depth and other such corrections, especially in shallow water
52-57	6	real	BATHYMETRY, CORRECTED DEPTH In tenths of meters.
58-59	2	int	BATHYMETRIC CORRECTION CODE This code details the procedure used for determining the sound velocity correction to depth: 01-55 Matthews' Zones with zone 59 Matthews' Zones, no zone 60 S. Kuwahara Formula 61 Wilson Formula 62 Del Grosso Formula 63 Carter's Tables

			88	Other (see Add. Doc.)
			99	Unspecified
60	1	int		BATHYMETRIC TYPE CODE Indicates how the bathymetric value was obtained: 1 - Observed 3 - Interpolated (Header Seq. 12) 9 - Unspecified
61-66	6	real		MAGNETICS TOTAL FIELD, 1ST SENSOR In tenths of nanoteslas (gammas). For leading sensor. Use this field for single sensor.
67-72	6	real		MAGNETICS TOTAL FIELD, 2ND SENSOR In tenths of nanoteslas (gammas). For trailing sensor.
73-78	6	real		MAGNETICS RESIDUAL FIELD In tenths of nanoteslas (gammas). The reference field used is in Header Seq. 13.
79	1	int		SENSOR FOR RESIDUAL FIELD 1 - 1st or leading sensor 2 - 2nd or trailing sensor 9 - Unspecified
80-84	5	real		MAGNETICS DIURNAL CORRECTION - In tenths of nanoteslas (gammas). If 9-filled (i.e., set to "+9999"), total and residual fields are assumed to be uncorrected; if used, total and residuals are assumed to have been already corrected.
85-90	6	int		DEPTH/ALTITUDE OF MAGNETICS SENSOR In meters. + = Below sealevel - = Above sealevel
91-97	7	real		OBSERVED GRAVITY In tenths of milligals. Corrected for Eotvos, drift, and tares
98-103	6	real		EOTVOS CORRECTION In tenths of milligals. $E = 7.5 V \cos(\phi) * \sin(\alpha) + 0.0042 V^2$
104-108	5	real		FREE-AIR ANOMALY In tenths of milligals. Free-air Anomaly = G(observed) minus G(theoretical)
109-113	5	char		SEISMIC LINE NUMBER Used for cross referencing with seismic data.
114-119	6	char		SEISMIC SHOT-POINT NUMBER
120	1	int		QUALITY CODE FOR NAVIGATION - 5 - Suspected, by the contributor 6 - Suspected, by the data center 9 - No identifiable problem found (NOTE - Institution will most frequently 9-fill this field; however, should they wish to code a "5", the data center will not contradict. The data center's quality control program, which performs (among other checks) a vectorial analysis of the navigation,

01010058 C1203	MGD77 Header (page 1 of 2)	
<i>survey</i>	<i>NSIDC Num</i>	<i>NSIDC date</i>
1C1203	M6D7701010058	5533890706
<i>country</i>	<i>platform name</i>	<i>type</i>
USA	ROBERT D. CONRAD	SHIP T. AITKEN
<i>Project, cruise and leg</i>	<i>date</i>	<i>arrival port</i>
CRUISE 12, LEG 3		
<i>date</i>	<i>departure port</i>	<i>geoidic datum / positioning</i>
680223	MANZANILLO, MEXICO	680322 HONOLULU, HAWAII
<i>navigation instrumentation</i>	<i>SATELLITE</i>	<i>DEAD RECKONING</i>
<i>bathymetry instrumentation</i>	<i>(SEE ADD DOC / 18)</i>	<i>ANALOG RECORDS</i>
<i>magnetics instrumentation</i>	<i>L-DGO MFG PROTON-PRECESSION</i>	<i>ANALOG RECORDS</i>
<i>gravity instrumentation</i>	<i>ANSCHUTZ ELECTRICTABLE, ASKANIA GSS2-6</i>	<i>ANALOG RECORDS</i>
<i>seismic instrumentation</i>	<i>L-DGO 25CU-IN-AIRGUN,EEL,DRUM RECORDER</i>	<i>TWO, 2 CHANNEL SHEET RECORDS</i>

Fig. 1. The example of MGD77 header file

01010058 C1203 M6077 Header (page 2 of 2)	
<i>data format description</i>	
10	A(I1,A8,F5.2,4I2,F5.3,F8.5,F9.5,I1,F6.4,F6.1,I2,I1,3F6.1,I1,F5.1,F6.0,F7.1,
11	F6.1,F5.1,A8,4I1) <i>top,bot,left,right</i> → +24+02-158-104
<i>dr samp.rate svel bd interpolation scheme</i>	
12	06(0)NE SECOND 1463(0)NONE
<i>dr sr tow ss hss ref.field method of derlving res. field</i>	
13	03IGRF-05 LINEAR INTERPOLATION BETWEEN TWO NAV PIS
<i>dr sr-gravity formula reference sys. corrections applied</i>	
14	2INTERNAT'L 1930 2POTSDAM SYSTEM
<i>base g dep. base station description base g arr. base station description</i>	
15	
<i>18-degree area identifiers</i>	
16	11 7013 7014 7015 7110 7111 7112 7113 7115 7210 7211 7215 9999
17	
<i>additional documentation</i>	
18	06 -3.5 AND 12 KHZ, WIDE BEAM (60 DEG), 1 SECOND SWEEP
19	
20	
21	
22	
23	
24	

Fig. 1. Continued.





### 제 3 과제

북동적도 태평양 KODOS 환경연구:  
퇴적물내의 ATP를 이용한 미생물 생체량 분석



## 제 1 절 서 론

망간단괴 채광 및 제련에 있어 심각히 고려되어야 할 사항들 중의 하나로 환경문제를 들 수 있다. 채광 및 제련에 수반되어 일어날 수 있는 환경변화는 수층과 저층의 물리, 화학, 지질 및 생물적 환경요인에 광범위하게 영향을 미치게 된다 (Curtis, 1982; Thiel and Schriever, 1993). 특히 저층의 경우, 채광기에 의한 직접적인 영향 외에 채광기 작동에 따른 부유 퇴적물에 의한 저서생태 환경의 변화를 들 수 있다. 환경교란 이전의 생태 환경을 파악하는 것은 이러한 인위적인 활동에 따른 환경의 변화정도를 파악하기 위한 가장 기본적인 과정이며, 이는 연안역 개발에 따른 저서생태 환경 영향평가를 위한 연구와 유사한 과제라 할 수 있다. 외국에서는 이미 미국, 러시아, 일본 및 독일에서 인위적인 환경교란을 통해 채광에 따른 저층 생태환경의 변화를 파악하기 위한 시도가 이루어져 왔다 (Bluhm *et al.*, 1995; Kaneko *et al.*, 1997; Schriever *et al.*, 1997; Thiel *et al.*, 1991; Trueblood *et al.*, 1997). 현재까지 국내의 심해저 생물환경 연구로는 1995년 이래 연 1회 실시해 오고 있는 심해연구과제 (KODOS; Korea Deep Ocean Study)중, 저층에서 Choi (1996)와 Kim (1997)에 의한 대형 및 중형저서동물의 분포양상에 관한 연구가 보고 되었으나, 미생물 생체량 및 분포양상에 관한 연구는 현재까지 보고되지 않았다.

저층 생태계에서 미생물은 상위그룹 생물군 (중형저서생물)의 영양원으로서 전체 심해저 저서생태계내 탄소생체량의 약 85% 정도를 차지하는 것으로 알려져 왔다 (Tietjen, 1992). 따라서 미생물 생체량의 파악은 저서생태계의 에너지흐름 및 영양상태를 이해하기 위해 필히 연구되어야 할 중요한 분야의 하나이다. 현재까지 알려진 일반적인 미생물 생체량 측정 방법들로서: (1) 배양법 (culture methods), (2) 현미경 관찰법 (direct

microscopy), 그리고 (3) 생화학적 방법 (biochemical methods)등을 들 수 있다 (Karl, 1986). 일반적으로 배양법은 좁은 배양범위내 (배양조건)에 적응한 세포들만 증식을 하므로 자연계내의 생체량을 과소평가하게 된다. 현미경을 이용한 방법은 세포수 계수를 통한 생체량 측정방법으로 기본적으로 널리 이용되어 왔으나, 퇴적물이나 부유성 입자가 많은 수서환경에서는 세포들을 입자들로부터 분리를 해내야 하는 어려움이 내재되어 있다. 배양법 및 현미경 관찰법의 한계를 극복하기 위해 생화학적인 방법들이 고안되어왔다. 이상적인 생화학적 생체량 측정방법이 되기 위해서는: (1) 측정대상물질이 관심있는 생물군들에 존재해야하며, (2) 세포의 죽음과 함께 빠른 시간내에 분해되어 환경에서 없어져야 하며, (3) 환경변화에 상관없이 세포 내에서 비교적 일정한 비율을 유지해야 하며, (4) 추출 및 정밀한 분석이 용이해야한다 (Karl, 1986). ATP는 모든 생물체내에 존재하며, 추출 및 분석이 용이하며, 낮은 농도에서도 ( $10^{-12}$  M) 분석이 가능하여 연안역 뿐 아니라 열수 및 심해저와 같은 여러 해양환경에서 총 미생물 군집의 생체량 측정에 널리 사용되어 왔다 (see review of Karl, 1980, 1995).

본 연구는 여러 해양환경에서 효과적으로 미생물의 생체량 측정을 위한 수단으로 유효하게 사용되어온 ATP의 심해저 시료채취 기법의 확립을 통해 북동적도 태평양 내에 위치한 대한민국 광구내의 심해 환경연구 지역의 저층 미생물 생체량 (total microbial biomass)과 분포양상을 파악하고자 하였으며, 이를 위해 퇴적물 시료 채취를 위해 주로 사용되어온 상자형 퇴적물 시료 채집기 (BC; Box corer)와 다중 주상 시료 채집기 (MC; multiple corer)를 사용하여 채취한 퇴적물내의 ATP (adenosine 5'-triphosphate)를 비교, 분석하였다. 본 연구의 결과 심해저 퇴적물내의 ATP가 미세한 수직분포 양상을 나타냈으며, 이로 미루어 저층교란에 따른 저서생태계의 정확한 환경영향을 평가하기 위해서는 시료채취시 표층 1

cm 내의 퇴적물 시료가 잘 보존되는 Multiple corer의 사용이 필수적인 것으로 나타났다.

## 제 2 절 재료 및 방법

### 1. 시료채취

본 연구해역은 북동적도 태평양의 Clarion - Clipperton Fracture Zone 내에 자리잡은 한국의 심해저 망간단괴 채광구역내의 환경연구지역으로 북위  $9^{\circ} 50'$  ~  $10^{\circ} 30'$  그리고 서경  $131^{\circ} 30'$  ~  $132^{\circ} 10'$ 에 위치한다 (Fig. 3-1). 시료는 KODOS 97-2 기간중 정점 I-1 ( $131^{\circ} 53'W$ ;  $10^{\circ} 19'N$ ), 정점 I-21 ( $131^{\circ} 17'W$ ;  $10^{\circ} 30'N$ ) 그리고 정점 I-25 ( $131^{\circ} 17'W$ ;  $10^{\circ} 27'N$ )에서 상자형 저층 시료 채집기 (BC: Box corer) 및 다층 주상 시료 채집기 (MC: Multiple corer)를 이용하여 채취하였다. 퇴적물 내의 함수율, 유기탄소, T-ATP (total ATP; 용존 + 입자성 ATP), 그리고 D-ATP (dissolved ATP) 측정을 위해 직경 3.4 cm 크기의 플라스틱 관을 사용하여 각 정점 당 2개씩의 퇴적물 부시료 (sub core)를 채집하였다. 각각의 시료는 9 ~ 10개층 (0 ~ 0.25 cm층, 0.25 ~ 0.5 cm층 (또는 0 ~ 0.5 cm층), 0.5 ~ 0.75 cm층, 0.75 ~ 1.0 cm층, 1 ~ 1.5 cm층, 1.5 ~ 2 cm층, 2 ~ 3 cm층, 3 ~ 4 cm층, 4 ~ 5 cm층 그리고 5 ~ 6 cm층)으로 나누어 취한 후, 실험 목적에 따라 다음과 같이 전처리 및 분석을 행하였다.

## 2. 입도 및 함수율

퇴적물의 입도는 약 10 g의 퇴적물을 3 ~ 4일간 증류수로 반복 세척하여 염분을 제거하고, 0.5%의 과산화 수소수 ( $H_2O_2$ )로 유기물을 제거한 후 자동입도 분석기 (Master Sizer)를 이용하여 분석하였다.

퇴적물의 함수율 (W)은 퇴적물 내에 함유되어 있는 해수와 구성 입자간의 무게 비로 정의된다. 층별로 채집된 퇴적물시료 약 3 ~ 10 g (wet wt.)을 냉동건조기 (일신랩, PVTFD 10R)에서 24시간 동안 건조시켜 무게를 측정한 후 함수율을 계산하였다.

## 3. 유기탄소 함량 (POC; Particulate Organic Carbon)

MC와 BC를 이용해 층별로 채집된 퇴적물을 유리 비이커에 담아 냉동건조기로 이틀동안 건조시킨후 마노사발 (agate mortar)로 분말화하여 탄소함량을 측정하였다. 퇴적물시료는 40 °C 건조로에 하루이상 보관하였다가 주석용기 (tin cup)에 10 ~ 15 mg 정도를 담아서 원소분석기 (CE Instrument, EA1110)를 이용해 분석하였다. 탄소함량의 분석을 위한 표준물질은 BCSS-1 (Marine Sediments Reference Matrial, Canadian National Research Council, Berman, 1987) 표준 하구퇴적물을 이용하였다.

## 4. ATP 분석

총 ATP 시료의 전처리를 위해 층별로 채집된 퇴적물 시료를 0.5 M 인산 용액 10 mL에 넣고 4 °C에서 10 ~ 15 분간 ATP를 추출한 후, 2,500 rpm에서 15분간 원심분리기를 사용하여 추출된 ATP를 퇴적물로부터

터 분리시켰다. 분리된 ATP 용액 5 mL에 이온물질 (예,  $\text{Ca}^{2+}$ ) 및 중금속 이온에 의한 발광감소 효과를 방지하기 위해 phosphate buffer (60 mM; Sigma Chemical Co.)로 만든 0.048 M  $\text{Na}_2\text{-EDTA}$  용액 1 mL을 더한 후, 1 N NaOH 용액을 사용하여 pH를 7.4로 조정하였다. 마지막으로 phosphate buffer (60 mM)를 사용하여 총 시료량을 10 mL로 맞추는 후 실험실에서의 분석 때까지  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 냉동 보관하였다 (Karl, 1993). 용존 ATP는 층별로 채집된 퇴적물 시료를 2,500 rpm에서 15분간 원심분리시킨 후 상등액을 취하여 0.5 M의 인산용액에 넣고 위에 설명된 바와 같이 ATP를 추출하여 pH를 7.4로 조정한 후, 분석 때까지  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 보관하였다 (Karl, 1993). 실험실에서의 ATP 분석은 Luciferine-luciferase간의 발광작용시 분해되는 ATP양이 Luminometer (Turner designs model 20e)를 통해서 측정되는 빛의 세기와 비례하여 나타나는 점을 이용하여 측정하였다.

### 제 3 절 결과 및 토의

#### 1. 입도 및 함수율

퇴적물의 입도는 전 정점의 깊이 6 cm 이내에서 입자의 평균직경이  $19.17 \pm 5.77\ \mu\text{m}$  ( $10.7 \sim 25.23\ \mu\text{m}$ ) 크기의 니질 실트 (clayey silt)로서 전형적인 심해저 퇴적물의 입도특성을 나타냈다 (Fig. 3-2). 함수율은 깊이 6 cm 이내에서 77% 이상의 높은 비율을 나타냈으며, 특히 0.25 cm 이내의 깊이에서 85% 이상의 높은 함수율을 나타냈다 (Fig. 3-3). 미생물의 영양원 (용존 또는 입자성 유기탄소)들이 수층을 통해서 심해저면에 공급 되는 점을 감안할 때 수분을 많이 함유한 심해저 퇴적물의 표층이 그

아래의 층과는 생물학적으로 다른 서식환경을 지니고 있음을 짐작할 수 있다. 이점에 관해서는 ATP의 수직적 분포양상과 연관지어 뒤에서 토의를 하였다.

## 2. 유기탄소 함량

본 연구에서는 총탄소 함량을 유기탄소함량으로 간주하였다. 이는 본 연구지역의 수심이 평균 5,000 m 정도로 탄산염 보상수심 (CCD; Calcite Compensation Depth)보다 깊기 때문에 퇴적물 내에서 무기탄소함량 ( $\text{CaCO}_3$ )의 양이 극히 작을 것으로 사료되었기 때문이다. 실제로 본 연구해역의 표층하 10 cm 까지의 퇴적물 시료내 총탄소 함량과 유기탄소 함량 (퇴적물 시료를 1 N HCl로 산처리 하여  $\text{CaCO}_3$ 를 제거한 후 분석)을 동시에 분석, 비교한 결과 총탄소 함량에 대한 유기탄소 함량의 비가 평균  $0.99 \pm 0.04$ 로 두 값이 다르지 않은 것으로 나타났다 (해양수산부, 1997).

유기탄소량은 4.6 ~ 6.2 mgC/g dry sediment의 범위로 나타났으며 (Fig. 3-4), 역시 표층에서 깊어질수록 감소하는 양상을 나타내 유기영양원이 대부분 수층을 통해 표층에 축적된 후 분해되는 생물체로부터 공급됨을 알 수 있다. 표층퇴적물 0 ~ 1 cm 깊이 내에서 정점간 분포양상은 6.1 ~ 6.2 mgC/g dry sediment의 범위로 균일하게 나타나 심해저가 장기적으로는 안정된 생물서식 환경을 이루고 있음을 알 수 있다.

## 3. T-ATP (Total ATP)

세 정점에서 T-ATP는 깊이 6 cm이내에서 4.4 ~ 40.6 ng/g dry sediment의 범위로 나타났다. 퇴적물 6 cm 깊이 내에 존재하는 T-ATP



양의 60% 이상이 표층 1 cm 이내에 분포하였으며, 80% 이상이 표층 2 cm 깊이내에 존재하는 것으로 나타났다 (Fig. 3-5). 표층 0 ~ 1 cm 깊이내에 T-ATP가 15.7 ~ 38.5 ng/g dry sediment의 범위로 변한 것은 열수 부근 심해저 퇴적물내의 98 ng ATP/g dry sediment (Karl *et al.*, 1984)나, 수층의 일차생산력이 높은 북동대서양의 심해저 (4,897 m)의 표층 0 ~ 1 cm 깊이내의 84 ng ATP/g dry sediment (Ernst and Goerke, 1974: cited in Table 11 of Karl, 1980)보다는 낮은 값이다. 이는 KODOS 지역의 수층이 상대적으로 빈영양 환경으로 심해저 퇴적물로의 영양원 (유기탄소)의 공급이 적기 때문이다. 그러나 표층 1 ~ 2 cm 깊이내 T-ATP의 집중적인 분포는 수층으로부터 영양원이 공급되는 표층에 심해저 생물들의 서식환경이 조성되어 있음을 의미한다. 표층 퇴적물 (0 ~ 0.5 cm층)내 T-ATP의 정점간 분포는 22.3 ~ 38.9 ng/g dry sediment로 장기적으로 안정된 저서생물 서식 환경요인 (입도, 함수율 및 퇴적물내의 유기탄소함량)에 비해 다소 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 이는 심해저의 미생물 분포가 수층으로부터의 불규칙한 먹이공급 (episodic event)을 포함한 입자성 유기물의 유입을 (POC flux)에 의해 영향을 받아 (Deming and Yager, 1992) 지역적으로 분포양상이 심하게 변하고 있음을 의미한다.

#### 4. D-ATP (Dissolved ATP)

심해저 환경에서 D-ATP의 주요공급원은 수층생물체들의 침강에 의한 것으로 보이며, 박테리아가 D-ATP를 유기탄소 및 에너지원으로 사용함으로써, D-ATP의 제거에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 왔다 (Azam and Hodson, 1977; Hodson *et al.*, 1981). 따라서 D-ATP의 농도는 다른 용존 유기탄소의 지표로서 사용될 수 있으며, 저서생태계에서 미생물의 서

식환경을 파악하는데 유용하게 이용될 수 있다. 용존 ATP는 0.7 ~ 16.1 ng/g dry sediment의 범위로 나타났으며 (Fig. 3-6), 수직적으로는 0 ~ 0.5 cm 층에서 최대값을 나타냈다가 이후 급격히 감소하여, 2 cm 깊이 이하에서는 일정하게 낮은 값을 나타냈다. 수직 분포양상에서 볼 수 있듯이 D-ATP는 수층으로부터 퇴적물로 전달되며, 이로부터 여러 용존 유기물들 역시 수층으로부터 심해저 퇴적층으로 공급됨을 짐작할 수 있다.

깊이 6 cm 이내의 퇴적물에서 D-ATP는 총ATP의 12.0 ~ 49.3% (평균  $25.3 \pm 11.1\%$ )를 차지하는 것으로 나타났다 (Table 3-1). 현재 심해저 퇴적물내의 D-ATP와 T-ATP의 비율에 대한 보고는 발견할 수 없었으나, 이는 미국 미시간 호수 수층의 12% (Maki *et al.*, 1983) 및 미국 동남부 대륙붕 외곽 표층수의 평균 12% (Hodson *et al.*, 1981) 보다는 높은 값이며, 남극 Bransfield 해협 표층혼합층에서 D-ATP가 T-ATP의 약 30% 정도를 차지한다는 보고 (Nawrocki and Karl, 1989)와 유사한 값이다. 결론적으로 심해저 퇴적물 내에서 D-ATP의 보정이 이루어지지 않으면 D-ATP의 농도가 최대값을 나타내는 표층 퇴적물 (0 - 0.5 cm 깊이)의 생체량 (living biomass)을 과대평가하는 결과를 야기하게 된다. 따라서 퇴적물내 미생물의 정확한 생체량 (P-ATP)을 측정하기 위해서는 D-ATP의 양을 고려해야한다.

## 5. 시료채취 방법에 따른 분포양상

심해저 생물의 분포연구를 위한 시료채집에 주로 쓰이는 장비로 상자형 시료 채집기 (Box corer)와 다중주상 시료 채집기 (Multiple corer)를 들 수 있다. 심해저 생물이 일반적으로 불규칙한 분포를 나타내므로 충분한 퇴적물시료의 확보가 필수적이라 할 수 있다. Box corer는 많은 시료를

획득할 수 있다는 관점에서 대형 저서생물의 분포양상 연구에 효과적으로 널리 사용되어 왔다. 본 연구와 관련된 심해저 미생물 생체량 분석의 최종 목표는 향후 망간단괴 채광에 따른 저층 생태계의 교란 및 파괴여부를 평가하는 것이다. 따라서 교란되지 않은 표층퇴적물내 생물상의 미세한 수직 분포양상을 파악해야 교란기 (or 채광기)에 의한 표층 퇴적물 및 생태환경의 교란 (파괴)정도를 비교, 분석 할 수 있게 된다.

본 연구에서 나타난 ATP 수직분포의 가장 큰 특징의 하나는 MC로 채취한 시료에서 (정점 I-21, I-25) 수심에 따른 ATP의 감소가 깊이 0 ~ 0.5 cm 층에서만 30% 이상 (28.9 - 38.8%)의 감소를 보여 미생물의 분포가 표층 0.25 cm 깊이내에 집중적으로 존재하는 것으로 나타났다. 반면, BC로 채집된 퇴적물시료 (정점 I-1)의 ATP는 0 ~ 0.5 cm 사이의 깊이에서 균일하게 나타났으며, 0 ~ 1 cm 깊이 내에서도 약 4% 정도밖에 감소하지 않았다 (Fig. 3-5). 이는 BC를 사용한 시료의 채집시 최소한 1 cm 이내의 퇴적층이 심하게 교란이 되었음을 의미한다. 향후 채광에 따른 저층교란 및 저서생태계 변화정도를 정확하게 평가하기 위해서는 환경충격 이전의 교란되지 않은 표층 퇴적물 시료내 미생물 생체량의 미세한 수직분포 양상을 파악하고 있어야 한다. 결론적으로 심해저 퇴적층 내에서의 미생물의 분포는 표층 0.5 cm 깊이 내에서 급격한 분포변화를 나타내기 때문에 미생물 생체량의 정확한 수직분포 양상을 파악하기 위해서는 MC의 사용이 필수적이다.

## 참 고 문 헌

- Azam, F. and R.E. Hodson, 1977. Dissolved ATP in the sea and its utilization by marine bacteria. *Nature*, 267:696-698.
- Bluhm, H., G. Schriever and H. Thiel, 1995. Megabenthic recolonization in an experimentally disturbed abyssal manganese nodule area. *Marine Georesources and Geotechnology*, 13:393-416.
- Choi, J.W., 1996. Macrozoobenthic community in the deep sea soft-bottom of the KODOS 96-1 area, northeastern Pacific Ocean. *The Sea: J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 1:73-79.
- Curtis, C., 1982. The environmental aspects of deep ocean mining. *Oceanus*, 25: 31-36.
- Deming, J.W. and P.L. Yager, 1992. Natural bacterial assemblages in deep-sea sediments: towards a global view. In: *Deep-sea food chains and the global carbon cycle*, edited by Rowe, G.T., and V. Pariente, Kluwer Academic Publishers Co., 11-27 pp.
- Hodson, R.E., A.E. Maccubin, A.E. and L.R. Pomeroy, 1981. Dissolved adenosine triphosphate utilization by free-living and attached bacterioplankton. *Mar. Biol.*, 64:43-51.
- Kaneko, T., Y. Maejima and H. Teishima, 1997. The abundance and vertical distribution of abyssal benthic fauna in the Japan deep-sea impact experiment. *Proceedings of the 7th International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, USA. May 25-30.* 475-480 pp.
- Karl, D.M., 1980. Cellular nucleotide measurements and applications in

- microbial ecology. *Microbiological Reviews*, 44:739-796.
- Karl, D.M., 1986. Determination of in situ microbial biomass, viability, metabolism, and growth. In: *Bacteria in nature*, edited by Poindexter, J.S. and E.R. Leadbetter, Plenum Press Co., 85-176 pp.
- Karl, D.M., 1993. Total microbial biomass estimation derived from the measurement of particulate adenosine-5'-triphosphate. In: *Handbook of methods in aquatic microbial ecology*, edited by Kemp, P.F., B.F. Sherr, E.B. Sherr and J.J. Cole, Lewis Publishers, Boca Raton, FL., 359-368 pp.
- Karl, D.M., 1995. Ecology of free-living, hydrothermal vent microbial communities. In: *The microbiology of deep-sea hydrothermal vents*, edited by D.M. Karl, CRC Press, 36-110 pp.
- Kim, D.S., 1997. The faunal composition of meiobenthic community in the deep-sea sediment, northeastern Pacific Ocean. *The Sea: J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 2:42-47.
- Maki, J.S., M.E. Sierszen and C.C. Remsen, 1983. Measurements of dissolved adenosine triphosphate in Lake Michigan. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40: 542-547.
- Nawrocki, M.P. and D.M. Karl, 1989. Dissolved ATP turnover in the Bransfield Strait, Antarctica during a spring bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 57:35-44.
- Schriever, G., A. Ahnert, H. Bluhm, C. Borowski and H. Thiel., 1997. Results of the large scale deep-sea environmental impact study DISCOL during eight years of investigation. *Proceedings of the 7th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Honolulu,

- USA. May 25-30. 438-444 pp.
- Thiel, H. and G. Schriever, 1993. Environmental consequences of deep-sea mining. *International Challenges*, 13:54-70.
- Thiel, H., E.J. Foell and G. Schriever, 1991. Potential environmental effects of deep seabed mining. *Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz and Reaktorsicherheit. Berichte aus dem Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg No. 26*. 243 pp. (in English).
- Tietjen, J.H., 1992. Abundance and biomass of metazoan meiobenthos in the deep sea. In: *Deep-Sea Food Chains and Global Carbon Cycles*, edited by Rowe, G.T. and V. Pariente, Kluwer Academic Publishers Co., 45-62 pp.
- Trueblood, D.D. and E. Ozturgut, 1997. The benthic impact experiment: a study of the ecological impacts of deep seabed mining on abyssal benthic communities. *Proc. 7th International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, USA. May 25-30*. 481-487 pp.

Table 3-1. Concentrations (ng/g dry sediment) of total ATP (T-ATP) and dissolved ATP (D-ATP), and the percentage of D-ATP to T-ATP

	Depth, cm	T-ATP	D-ATP	(D-ATP/T-ATP) x 100
Stn. I-1	0.0 - 0.5	38.91 <sup>a</sup>	12.81	32.93
	0.5 - 1.0	34.41 <sup>b</sup>	5.24	15.24
	1.0 - 1.5	27.82	5.59	20.08
	1.5 - 2.0	15.33	6.32	41.24
	2.0 - 3.0	9.55	1.68	17.57
	3.0 - 4.0	9.24	1.16	12.51
	4.0 - 5.0	9.63	1.16	12.00
	5.0 - 6.0	5.95	1.61	27.06
Stn. I-21	0.0 - 0.5	22.29 <sup>a</sup>	4.47	20.06
	0.5 - 1.0	15.73 <sup>b</sup>	3.51	22.28
	1.0 - 1.5	12.43	2.07	16.64
	1.5 - 2.0	12.01	2.61	21.70
	2.0 - 3.0	8.05	1.09	13.50
	3.0 - 4.0	6.52	0.95	14.65
	4.0 - 5.0	5.40	0.99	18.26
	5.0 - 6.0	5.05	0.72	14.32
Stn. I-25	0.0 - 0.5	32.74 <sup>a</sup>	16.14	49.29
	0.5 - 1.0	22.02 <sup>b</sup>	10.00	45.41
	1.0 - 1.5	14.73	4.47	30.37
	1.5 - 2.0	9.67	4.02	41.61
	2.0 - 3.0	4.78	1.77	37.01
	3.0 - 4.0	6.37	1.58	24.81
	4.0 - 5.0	4.72	1.38	29.28
	5.0 - 6.0	4.43	1.32	29.92

<sup>a</sup> average concentration from 0 - 0.25 and 0.25 - 0.5 cm depth.

<sup>b</sup> average concentration from 0.5 - 0.75 and 0.75 - 1 cm depth.

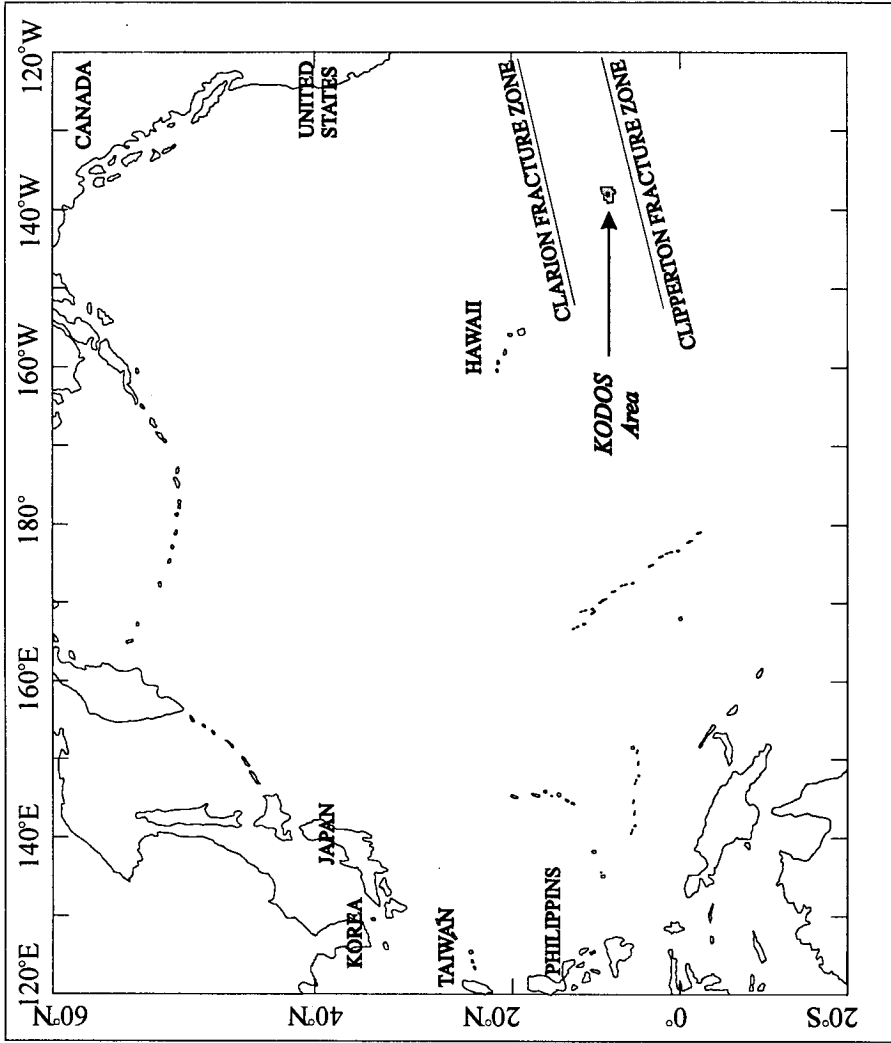


Fig. 3-1. A map showing Korea Deep Ocean Study (KODOS) area



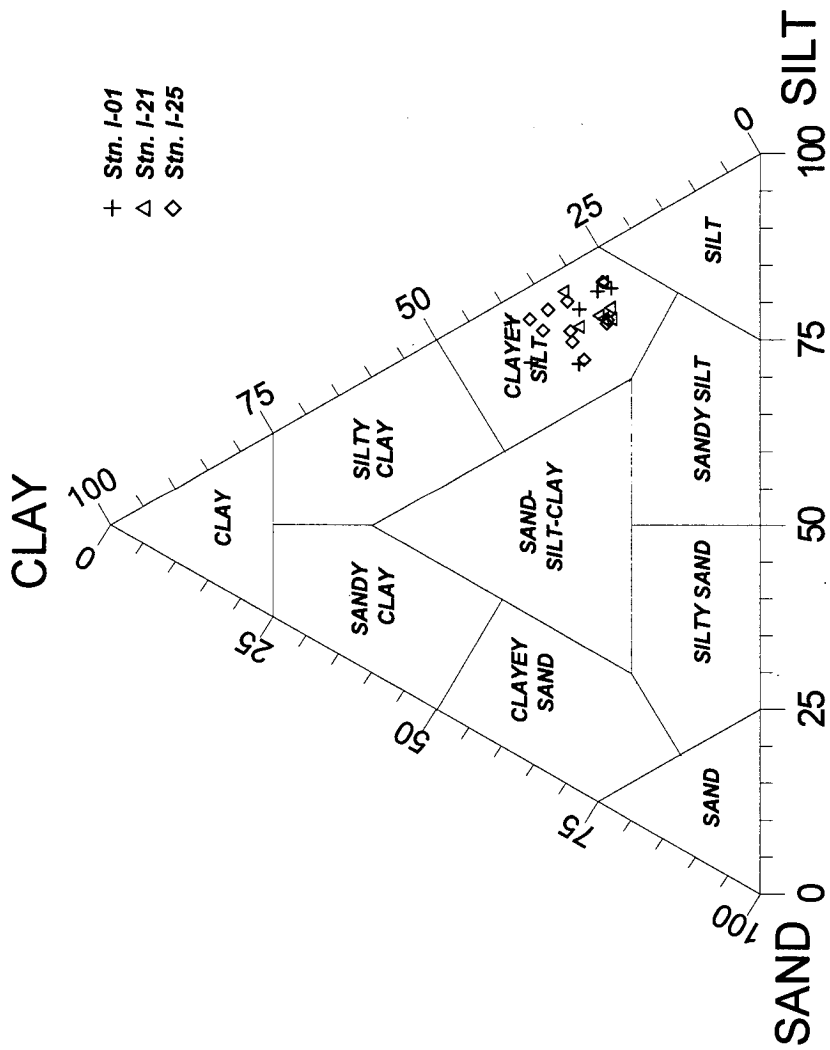


Fig. 3-2. Sediment classification based on sand-silt-clay ratios in the study area

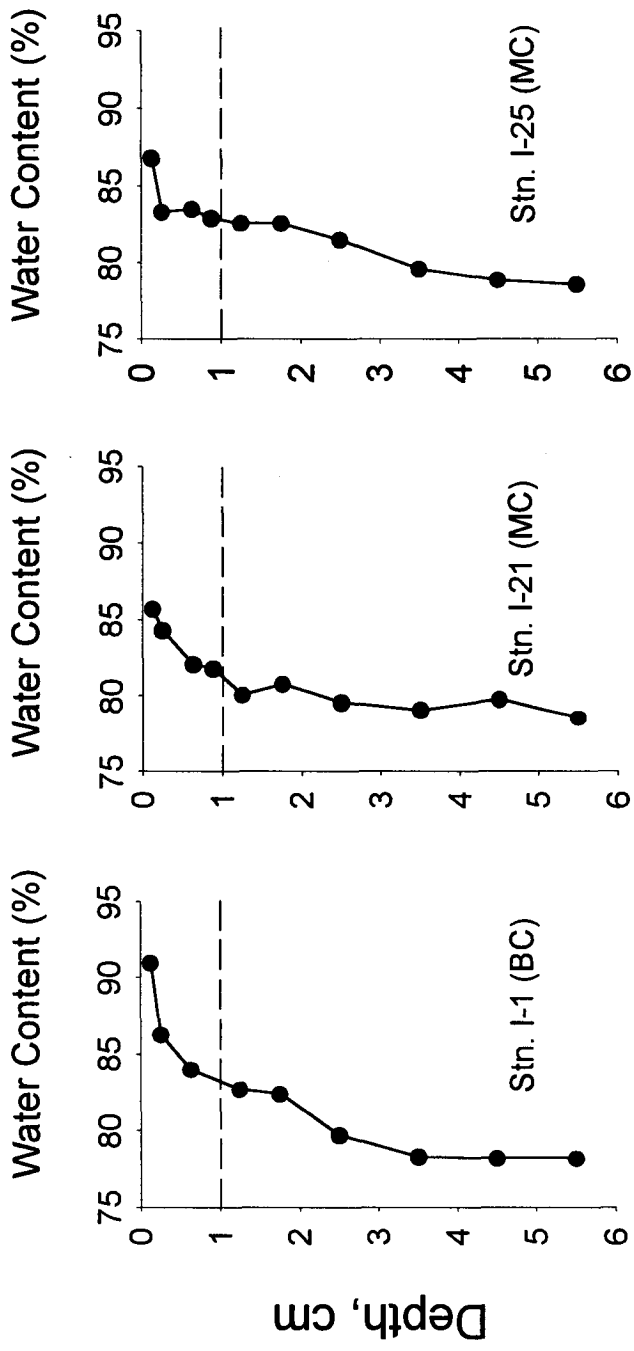


Fig. 3-3. Vertical profiles of water content in the sediment collected with box corer (BC) and multiple corer (MC)

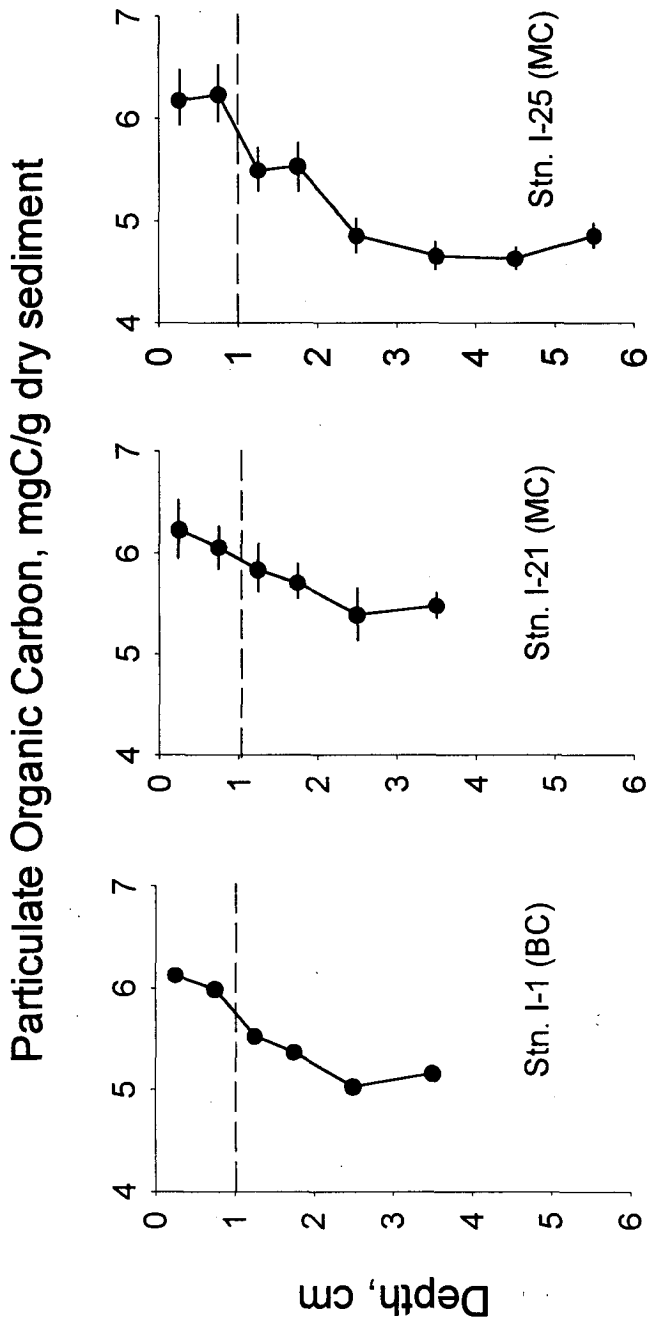


Fig. 3-4. Vertical profiles of particulate organic carbon (POC) in the sediment samples collected with box corer (BC) and multiple corer (MC)

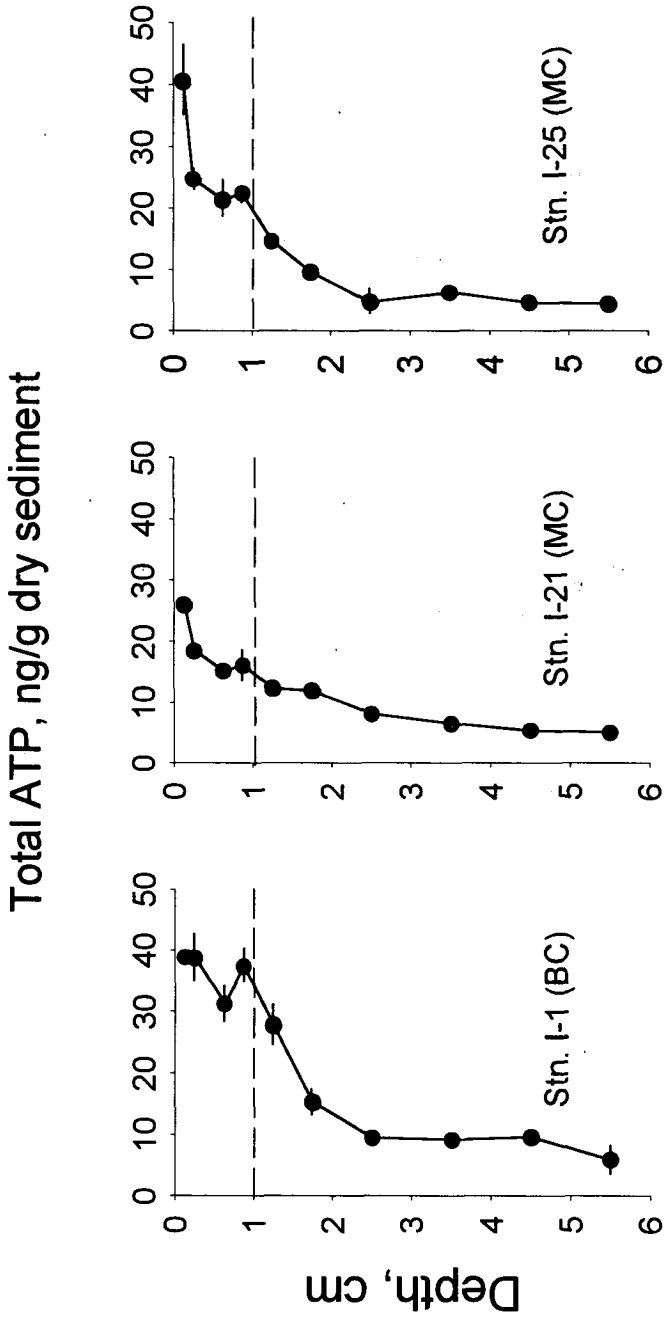


Fig. 3-5. Vertical profiles of total ATP in the sediment samples collected with box corer (BC) and multiple corer (MC)

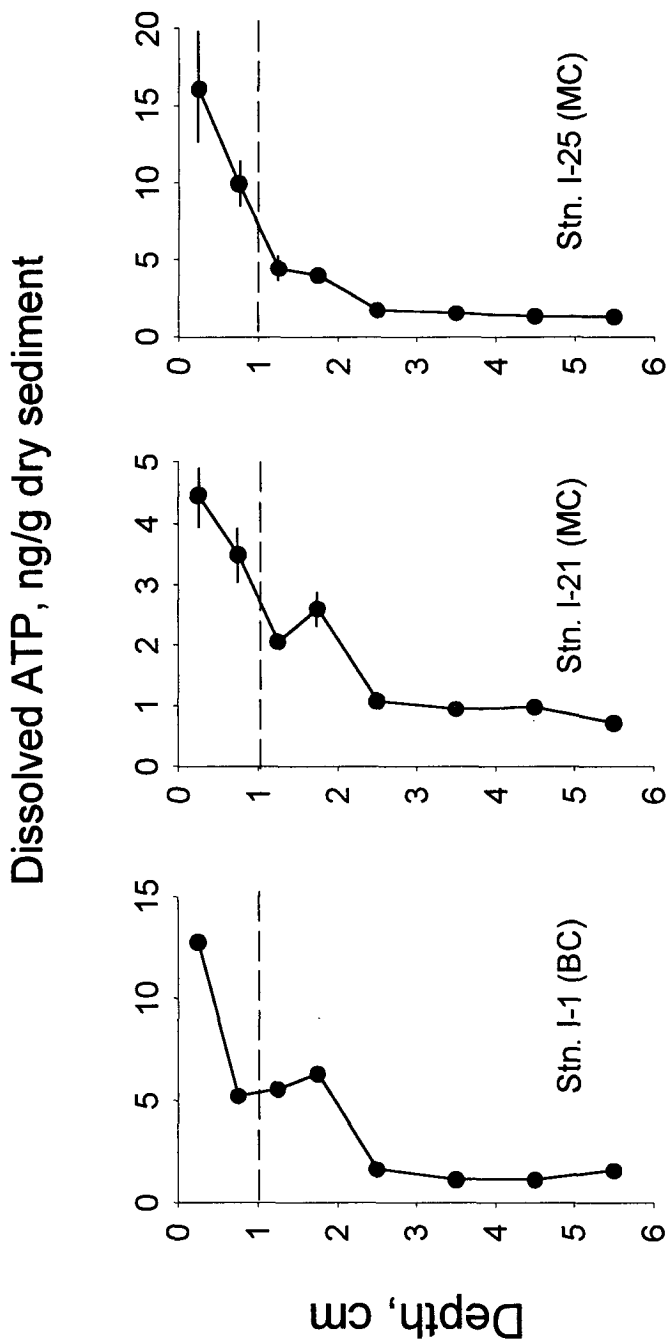


Fig. 3-6. Vertical profiles of dissolved ATP in the sediment samples collected with box corer (BC) and multiple corer (MC)



## 제 4 과제

### 심해저 퇴적물의 전단강도 측정 연구





## 제 1 절 서 론

퇴적물에 전단응력이 작용하면 이 응력의 크기에 따라서 퇴적물에 변형이 생기며, 동시에 활동에 저항하려는 힘이 퇴적물 내에 생긴다. 이 힘을 전단저항 (shear resistance) 이라고 한다. 전단응력이 커지면 이에 따라 전단저항도 커진다. 그러나 퇴적물의 전단저항의 크기에는 한도가 있으므로 이 한도를 초과하면 증가하지 않는다. 이때의 전단저항의 크기의 한도를 전단강도 (shear strength)라 한다. 따라서 퇴적물에 작용하는 전단응력이 전단강도에 도달되면, 그 부분에 변형 또는 소성적 활동이 생기며, 퇴적물의 구조는 파괴된다.

전단강도는 퇴적물의 물리적 특성 중 가장 중요한 성질이다. 모든 해저구조 즉 해저구릉, 해저산 등의 사면이 안정을 유지하는 것은 퇴적물이 전단강도를 가졌기 때문이며, 망간단괴가 연성 퇴적물 내로 묻히지 않고 표면 위에 부존 되어 있는 것도 퇴적물이 일정 값의 전단강도를 보유하고 있기 때문이다. 특히 망간단괴 (Mn-nodules)가 고밀도로 부존 되어 있는 심해저 퇴적물의 전단강도 특성 연구는 상업생산시 망간단괴를 대량으로 채취하게 될 채광장비의 설계 및 운영에 필수 요건이다 (Fuller, 1975; Hirst and Richard, 1975; Richard and Chaney, 1981; Tsurusaki and Hirota, 1977).

연성의 세립질 심해저 퇴적물은 전단강도 측정을 위한 삼축압축실험 (triaxial compression test)시 시료를 공시체로 형성하는 작업이 불가능하다. 또한 자연상태의 심해저 퇴적물과 같이 해수로 포화된 실트 (silt)와 점토 (clay)로 구성된 세립질 퇴적물 (fine grained sediment)은 투수율이 극히 나쁘기 때문에 직각 4날 베인 (90° four blade vane)을 이용한 베인 전단 시험기기 (vane shear test device, 베인 측정기)로

측정한 값은 비배수 조건 (undrained condition)으로 삼축압축 실험기로 측정된 값과 근사한 것으로 보고되고 있다 (Tsurusaki and Hirota, 1977). 따라서 연구지역과 같은 액성한계보다 높은 함수율을 갖는 연성의 세립질 퇴적물의 전단강도 측정은 베인을 사용하는 것이 적합하다 (Carig, 1979; Dill and Moore, 1965; Johnson, 1977; Monney, 1974).

지금까지 국내에서는 해양퇴적물의 전단강도 측정시 거의 대부분 가장 간편하게 사용 가능한 수동 베인 (hand-held vane)을 사용하고 있다. 그러나 수년간에 걸쳐 사용한 결과 수동 베인 측정기는 반복 측정시 마다 많은 차이가 발생하였으며, 최소 측정한계가 낮기 때문에 보다 고화된 퇴적물 시료의 전단강도 측정시 정밀도가 떨어 졌다. 또한 수동으로 베인을 회전시키므로 회전속도가 일정치 않음에 따라 자료의 신뢰성이 떨어지는 단점으로 중요한 자료를 잘 활용하지 못하고 대략적인 자료를 얻었다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하고 지금까지 수동베인으로 측정된 자료들을 검증하기 위하여 PC를 이용한 회전식 점도계 (rotational viscometer)를 개량하여 전동베인 (motorized shear vane)으로 이용하였다. 따라서 새로운 장비를 이용하여 비교적 적은 시료인 1개의 코어시료에서 수차례 반복실험으로 정밀한 측정치를 효과적으로 획득하여 기존 자료의 신뢰성을 검증하고 향후 채광기 운영의 기초자료를 제공하며, 뿐만 아니라 심해저 퇴적 환경 연구에 이용함에 그 목적이 있다.

## 제 2 절 시료 채취

해양퇴적물의 전단강도 측정은 퇴적물의 교란을 극소화를 위하여 현장에서 실행하는 것이 바람직하며, 가능하다면 조사선에서 해저면으로 측정

기를 하강시켜 해저면에서 측정하는 방법 (in-situ measurement)이 가장 정확하다. 그러나 평균 500 기압의 심해저 환경에서 작동하는 측정기의 제작이 어려우며, 한 지점에서 1회의 측정에 소요되는 장기간의 조사선 사용료 등 많은 시간과 막대한 비용을 소모하게 되는 모험적 작업이다 (Almagor, 1982; Fuller, 1975; Lee, 1980). 따라서 현 단계에서는 해저면으로부터 교란되지 않은 시료 (undisturbed samples)를 채취하여 회수한 후 즉시 선상에서 측정하는 것이 최선책이다 (Almagor, 1982; Fuller, 1975). 그러나 일반적으로 해저 퇴적물을 채취할 때 채취기가 퇴적물 내로 삽입될 때 발생하는 기계적인 눌림 (compaction)작용은 퇴적물의 공학적 특성을 변화시킨다 (Baltzeret et al., 1994). 해저면에서 직접 측정한 결과와 시료 채취기의 직경이 10 cm 이하로 작은 피스톤식 퇴적물 주상시료 채취기 (piston corer)와 중력식 퇴적물 주상시료 채취기 (gravity corer)로 채취하여 실험실에서 측정한 결과는 시료의 교란에 의하여 약 20%의 오차를 갖는 것으로 보고되어 있다 (Lee, 1980). 따라서 기계적인 교란 (mechanical disturbance)을 받지 않은 시료의 채취는 해양 퇴적물의 지질공학적 특성 연구를 위하여 가장 중요한 작업이다 (Hargerty, 1974).

지난 40년간 많은 학자들은 효율적인 퇴적물 시료채취를 위해 여러 종류의 채취기를 고안·보고하였다 (Bouma, 1964, 1969; Moore, 1969; Moore and Heath, 1978; Weaver and Schultheiss, 1990). 여러 채취기들 중 본 연구를 위한 시료채취에 이용된 채취기는 상자형 주상시료 채취기 (box corer, spade corer)와 다중 주상시료 채취기 (multiple corer)를 이용하였다 (Fig. 4-1, 2). 이들은 모두 원치 와이어에 연결하여 사용하는 채취기 (wirebound sampler)로서 주로 심해 (수심 2,000 m 이상) 퇴적물의 지질학적, 생물학적 목적의 시료채취를 위해 고안되었으며, 타 장비에 비하여 채취시 기계적인 퇴적물 교란작용이 극소화되어 양질의 퇴적물을

채취한다 (Barnett, 1984; Carig, 1979). 이들 채취기는 채취관 또는 상자 상부의 뚜껑은 채취시 닫혀 밀봉하게 되어 교란되지 않은 퇴적물·해수간의 접촉면을 안전하게 보유할 수 있는 특성을 가지고 있으므로 그 특성상 퇴적물 시료가 선상으로 회수될 때까지 퇴적물 시료를 교란되지 않게 보유하여 회수한다 (Fig. 4-3, 4). 또한 다른 채취기에 비해 월등히 많은 시료의 양을 채취하는 장점을 지니고 있다. 따라서 지금까지 개발되어 전세계에서 사용하는 해양 퇴적물시료 채취기들 중 가장 적은 교란을 보이며, 동일한 지점에서 많은 양의 시료가 필요한 퇴적물의 물성 연구를 위한 시료채취에는 가장 적합한 채취기이다 (Barnett, 1984; Johnson, 1977).

본 연구에서도 심해저 퇴적물의 전단강도 측정을 위해 상자형 주상시료 채취기 (규격: 가로 30 cm, 세로 20 cm, 높이 60 cm) 및 다중 주상시료 채취기 (규격: 직경 0.95 cm, 길이 60 cm, 8개 채취)를 이용하여 북동태평양 클라리온-클리퍼튼 균열대 (Clarion-Clipperton fracture zone) 남서부의 '97 심해저 광물자원 탐사지역에서 채취한 투명 PVC에 담긴 시료 중 육안관찰로 가장 교란되지 않은 6 정점 (St. 1, 3, 5, 15, 23, 25)의 퇴적물 시료에 대해 전단강도를 측정하였다.

퇴적물의 전단강도를 측정하기 위한 기존의 수동베인을 이용한 전단 강도시험은 시료를 채취한 채취기가 선상에 올라오는 즉시 측정을 시행하였다. 그러나 PC를 이용한 회전식 점도계 (rotational viscometer)를 개량한 전동베인 (motorized shear vane)에 의한 측정은 처음 시행하는 실험으로 선상에서 사용이 원활하지 않았으며, 해상여건이 기상악화로 불량하여 선상에서 실행하지 못하고 실험실에서 측정하였다. 보관상태가 양호한 경우 약 2개월 후, 길게는 7개월 후에 측정된 자료도 선상에서 측정된 자료와 거의 동일한 측정값을 나타내는 것으로 알려져 있다

(Hagerty, 1974). 따라서 채취한 분석용 코어 시료들은 관의 양끝을 막고 방수테이프로 감아 공극수가 새어 나오지 않고 건조되지 않도록 수차래 밀봉하였다. 밀봉된 시료는 조사선의 진동을 극소화하기 위하여 바닥 면에 완충장치를 하고 수직으로 세워 냉장실 (4 °C)에 보관 후 실험실로 운반하였다.

### 제 3 절 계산 방법

베인 전단 시험 기기 (vane shear test device)는 스웨덴의 Cadling과 Odenstad 가 1950년에 고안하여 발표하였으며 (Monney, 1974), 이 측정법은 1960년대 초부터 일반적으로 사용되고 있다 (Moore, 1962). 베인 시험 기기는 심해저 퇴적물과 같이 연약한 세립질 퇴적물에 대한 전단강도를 측정하기 위하여 이용된다. 교란되지 않은 연성 퇴적물을 채취하더라도 그 시료를 삼축 압축시험이나 일축압축 시험 때문에 공시체로 형성하는 작업이 불가능할 정도로 연약한 시료의 경우에 이용된다. 특히 심해저 퇴적물은 실트와 점토로 구성되어 투수율이 극히 나쁘기 때문에 베인을 이용한 측정값은 삼축압축 시험기로 측정한 값과 근사한 것으로 보고되고 있다 (Tsurusaki and Hirota, 1977).

베인 시험 기기는 Fig. 4-5에 그 원리를 표시하는 것처럼 하단에 4장의 정사각형 날개 (vane)를 십자모양으로 장치한 회전대 (torsion bar)를 측정하려는 시료 내에 밀어 넣고 로드의 정상부에 토크 (torque)를 주어서 회전하는 경우 저항을 측정하는 것이다.

전단시 가한 최대 토크는 절단된 원주형 퇴적물의 상하 단면과 원주의 주위 전단저항력의 모멘트와 같으므로 다음의 식이 성립된다.

$$M_{\max} = \frac{\pi}{2} HD^2 \tau_r + \frac{\pi}{6} D^3 \alpha \tau_H$$

----- 식 1

$\tau_r, \tau_H$  = 지름 D의 원주주위 및 상하 면의  
최대전단응력

$\alpha$  = 베인의 단면상의 전단응력 분포에 따른 값

$M_{\max}$  = 로드 에 가해진 최대 토크

$H$  = 베인의 높이 (cm)

$D$  = 베인의 지름 (cm)

최대 토크일 때의 응력 분포는 어디에서든지 동일하며, 원주의 표면에 대하여 일정하다는 가정 하에 ( $\tau_r = \tau_H = \tau$ , 따라서  $\alpha=1$ ) 식 1은 다음과 같다.

$$M_{\max} = \tau \left( \frac{\pi H}{2} D^2 + \frac{1}{3} \frac{\pi}{2} D^3 \right) = \pi \tau \left( \frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} \right)$$

----- 식 2

따라서 점토의 전단 강도는 다음 식으로 계산된다.

$$\tau = \frac{M_{\max}}{\left( \frac{\pi D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} \right)}$$

----- 식 3

## 제 4 절 측정 기기 및 측정 과정

측정값을 비교하기 위하여 선상에서 심해저 퇴적물의 전단강도 측정에 사용되었던 장비는 일본 Maruto 사에서 제작한 2FD형 수동베인 전단강도 측정기 (hand-held shear vane apparatus)이다 (Fig. 4-6). 이 장비는 일

정 규격의 베인 (vane)이 연결대 (stainless steel shaft, rod)에 부착되어 있으며, 정량화된 스프링 장치 (calibrated spring units)가 내장된 토크 나사 돌리개 (torque screw driver)로 구성되어 있다. 이 장비는 최대 토크가 2 kgf/cm<sup>2</sup> 이며, 사용되는 베인 날의 크기는 직경 2 cm, 높이 4 cm로 이 장비의 최대 측정한계는 6.69 kPa이므로 심해저 퇴적물의 전단응력 측정에는 측정용량이 부족하여 직경 2 cm, 높이 2 cm 의 날을 제작하여 측정에 사용하였으며, 이때의 최대 측정한계는 11.70 kPa, 최소 측정 한계는 0.29 kPa이다. 토크의 측정은 베인 날이 부착된 연결대를 토크 나사돌리개에 연결하고 측정하고자 하는 퇴적물 내로 수직으로 삽입한 후, 손으로 느린 회전속도 (rotation speed, shear rate)로 회전시키면 스프링에 의해 상부의 원형 눈금 판의 지시바늘이 움직이게 되며, 측정값은 눈금 판에 지시하는 바늘의 값을 읽음으로 측정된다. 그러나 경험이 풍부한 전문가라 할지라도 일반적인 측정 회전속도인 60~90 °/min로 베인을 회전하기는 어렵기 때문에 주로 180 °/min의 이상의 속도로 측정하게 된다.

본 연구에 새로 사용한 장비는 PC를 이용한 회전식 점도계 (rotational viscometer)를 개량하여 전동전단베인 (motorized shear vane)으로 사용하였다 (Fig. 4-7). 본 장비는 독일 Haake 사에서 제작된 기본 장치 (base unit) RV 30, 측정기 (measuring system) M5 로서 측정기에 연결된 베인을 장착한 지지대 (support stand)의 눈금을 읽으면서 이동 손잡이를 회전시켜 퇴적물 내의 원하는 정확한 깊이로 삽입하여 측정하였다. 베인의 규격은 직경 1.0 cm, 높이 0.88 cm로 제작하여 사용하였다. PC에서 작동 명령을 내리면 토크 변환기 (torque transducer, electronic torque cell)는 명령된 속도로 회전을 시작하여 토크를 측정하며, 연결대로부터 얻어지는 전기적 신호를 다시 PC로 전달하여 측정값을 계산하고 모니터 상에서 토크 값의 변화를 그래프로 그려내게 된다. 따라서 측정기간 변화

하는 토크 값의 변화를 그래프 상에서 관찰하면서 측정하고, 측정값들은 PC에 저장하게 된다. 본 장비의 최대 측정 토크는 4.9 Nm로 측정에 이용한 베인 날에 의한 계산에 따르면 변환기의 최대 측정한계는 25.71 kPa, 최소 측정 한계는 0.01 kPa이다.

본 연구를 위하여 실험실에서 한 코어 시료 내의 4지점 (Fig. 4-8, Hole 1, 2, 3, 4)에서 30 °/min (0.0167 rad/sec)의 회전속도로 측정하였으며, 측정깊이는 1 cm에서 수직으로 내려가면서 2 cm 간격으로 측정하였다. 각 측정 깊이 1회의 측정 시간은 12분으로 하여 1지점에서 약 3시간 소요되었다. 1회의 측정시간 동안 얻어 지는 토크의 값은 720개로 초당 1개의 자료를 획득하였다. 일반적으로 전단시험은 최대 전단강도 (maximum shear strength)를 구하는 것을 목적으로 한다. 그러나 일정 시간에서 최대 전단 강도에 도달 한 후 시간이 경과함에 따라 전단저항력은 서서히 감소되고 결국에는 일정한 값이 된다. 이 값을 잔류 전단강도 (residual shear strength)라 한다 (Fig. 4-9). 따라서 획득 자료로부터 최대 토크를 교란되지 않은 전단강도의 최대 값으로 하고 조직이 파괴된 후 토크 값의 변화가 없이 거의 일정한 8~12분 사이의 평균값을 잔류 전단강도로 측정하였다.

## 제 5 절 베인의 회전속도

지금까지 보고된 베인을 이용한 전단강도 측정시 베인의 크기 및 회전속도는 학자들마다 사용하는 크기와 속도가 다른 점은 주목할 만하다. 측정에 이용되는 베인의 크기에 따라 전단강도 산출식 (식 1, 2, 3)에 의해 전단강도는 계산되므로 10여 가지의 규격이 이용되고 있으며, 측정기의 토크 용량에 따라서 단단한 시료의 경우 더 작은 크기의 베인을 사용하므로 베인 크기에 대한 논쟁은 전무하다. 회전속도는 많이 연구되고 토의되었지



만 지금까지도 공인된 회전속도는 없다. 보고된 회전속도는 1 °/min에서 720 °/min 까지 매우 광범위하다 (Table 4-1). 많은 학자들은 매우 느린 회전속도인 6 °/min가 정밀한 타당한 것으로 보고되었다. 그러나 보다 많은 시료를 처리하기 위해서는 90 °/min로 측정하는 것이 바람직하다 (Hagerty, 1974). 이러한 이유로 본 연구에서 많은 문헌을 검토한 결과 세계적으로 가장 선호하는 회전속도는 두 가지로 비교적 빠른 회전 속도는 60~90 °/min이었으며, 또한 많이 쓰이는 느린 회전속도는 6 °/min로 조사되었다.

점토질 퇴적물과 같이 연성의 퇴적물은 일반적으로 베인의 회전속도가 빠르면 산출되는 전단강도는 증가하는 것으로 보고되어 있다 (Money 1967). 문헌조사에 따르면 20 °/min의 속도로 측정한 값에 비하여 79 °/min은 약 27% 높게 측정되었으며 (Bennett et al., 1980), Monney (1974)는 6 °/min와 90 °/min의 속도로 측정시 20~30% 가량의 차이를 보고했다. 또한 Lee (1971)는 6 °/min와 83 °/min의 속도 차에 대한 차이를 약 10% 정도로 보고하였다.

본 연구에서는 측정 가능한 교란되지 않은 심해저 퇴적물 시료의 부족으로 회전속도 차에 따른 전단강도 차이는 검증하지 못했다. 특히 연구 지역은 평균수심 5,000 미터로 장비의 투하 및 회수에 비교적 많은 시간이 소모되므로 본 연구만을 위하여 선상에서 따로 수차래 채취기를 운영하기는 어려우며, 이 지역은 망간단괴가 고밀도로 부존되어 있어 투명 PVC에 채취된 많은 시료의 상부는 시료채취관의 해저면 투과시 망간단괴에 의해 부분적으로 교란되어 있고 단괴 제거시 퇴적물의 높은 점착력으로 많은 표층 퇴적물이 떨어져 나오는 문제로 교란되지 않은 다량의 주상시료 획득이 어려웠다. 향후 보다 정밀한 연구를 위해서는 벤토나이트와 같은 동질의 재료를 이용하여 동일한 함수율 및 공학적 특성을 지니도록 인공 표준 시

료를 대량으로 제작하여 속도 차에 의한 측정값의 차이연구 및 삼축압축 실험기 측정 결과와의 비교 연구가 필요하다. 위의 이유로 실제 회전속도에 차이에 대한 실험은 부득이 생략하고 문헌 조사에 의존하여 많은 학자들이 가장 선호하는 6 °/min와 60~90 °/min의 중간 값인 30 °/min로 측정에 임하여 비교적 적은 시료에서 인근 지역 자료와 비교가 용이하도록 고려하였다.

앞서 살펴본 바와 같이 회전속도에 따른 전단강도 차이에도 불구하고 실제로 선상에서 많은 학자들이 간편하게 많이 쓰이는 수동베인의 경우 특수장치 없이 위의 속도로 측정하는 것은 불가능하며, 본인의 9년간의 많은 경험에 따르면 최대한 느린 속도는 시계의 초바늘의 회전을 보면서 360 °/min의 속도로 측정하는 방법이며, 실제로 180° /min이하의 회전속도로 측정할 경우에는 손에 가하는 힘의 강약에 따라 불규칙한 회전속도로 측정하게 된다. 따라서 전동모터를 이용하여 일정한 속도로 회전시키는 것이 가장 바람직하며, 베인을 수동으로 사용할 경우 크기가 다른 톱니바퀴를 이용하여 손잡이를 360° 회전시키면 실제로 베인은 90° 또는 30° 등 원하는 느린 속도로 회전되는 완속장치의 부착이 절실하다. 실제로 우리 나라에서 수동베인으로 측정한 전단강도 자료는 어느 측정자가 일정지역 내에서 동일한 힘으로 측정하므로 측정치의 높고 낮음을 상대적으로 비교하는 연구하는 것은 타당할지 모르나 측정값을 절대 값으로 판단하는 것은 매우 위험하다. 이러한 이유로 지금까지 여러 학자들이 우리 나라 연근해를 포함한 여러 해양저에서 무수히 많은 측정값들을 산출하였지만 지역별로 비교한 자료나 논문은 국내에서 찾기 힘들다. 향후에는 비교적 정확한 전단강도의 절대 값을 구하기 위해서는 60~90 °/min의 회전 속도로 측정하여 지역간의 비교 및 외국 자료들과 비교하는 것이 바람직하다. 단 조사해역의 심해저 퇴적물에 대해 수년간 수동베인으로 측정한 값은 인근 지역에서

국제적으로 많이 보고된 값과 유사한 측정 결과를 산출하였다.

## 제 6 절 연구 지역 및 지질 개요

연구지역은 북동태평양 클라리온-클리퍼톤 균열대 (Clarion-Clipperton fracture zone) 의 우리 나라 할당광구 중 남서부에 위치한 B2 지역의 일부로서 향후 망간단괴 채광에 따른 환경오염의 피해를 방지하기 위하여 설정한 환경충격연구지역 (Environmental Impact Zone, I-zone)이다 (Fig. 4-10). 이 지역의 최대수심은 5,062 m이며, 최저수심은 4,828 m로 평균수심은 4,940 m로 비교적 수심의 경사가 있는 지역이다. 북위 10.45~10.47도, 서경 131.30~131.33도 사이에 급격한 경사도를 가지며 움푹 패인 수심 5,000 m 이상의 저지대가 있으며, 북위 10.48~10.51도, 서경 131.29~131.30도 사이에는 수심 4,800 m 미만의 고지대가 존재한다 (Fig. 4-11). 시료채취 정점은 Fig. 4-11에 나타내었다.

기존의 연구보고 (Scalater et al., 1971; Herron, 1972; Berger et al., 1976 Francheteau et al., 1979)에 의하면 I-zone이 속한 클라리온 클리퍼톤 균열대의 북서부 대양저 지각은 백악기말 (약 8,000만년전)에 동태평양해령 (11°S, 110°W)에서 생성된 후, 해저확장에 의해 북 또는 북서 방향으로 이동되어 에오세 중기 (약 5,000만년전)에는 표층해수의 생물 생산성이 높은 적도대 (1.5°N, 126°W)에 위치하였으며, 해저면에는 유기질 퇴적물이 지배적인 퇴적층이 발달되었다. 적도 고생산대를 지난 이후에는 퇴적물이 급격히 감소하였고, 대양저 지각의 침강작용이 수반되었다. 따라서 마이오세 초기의 (약 2,200만년전)에는 수심 4,800 m로 탄산염 보상심도 (Carbonate Compensation Depth, 약 4,600 m)보다 깊어져 탄산질 퇴적물은 용해되어 극히 낮은 퇴적속도 (1~3 mm/천년)로 규질 퇴적물 및

적점토의 퇴적층이 발달되었다 (Theyer, 1977; Kennett, 1982). 이러한 대양저 지각의 지속적인 이동 (현재 6~9 cm/년)으로 해저면에는 위도에 따른 특징적인 퇴적층서가 대상으로 분포한다. I-zone이 속해 있는 북동태평양의 퇴적상은 적도에서 북쪽으로 가면서 탄산질 연니 (Calcareous ooze), 규질 연니 (Siliceous ooze), 규질 점토 (Siliceous clay), 적 점토 (Red clay)대로 변화한다 (Horn et al., 1973). 연구지역 남쪽에는 마이오세 시기의, 북쪽에는 올리고세의 규질연니 및 규질 점토가 분포되어 있으며 (Fig. 4-10), 이들은 대부분 적도 고생산대의 생물기원이다 (Ryan and Heezen, 1976).

클라리온-클리퍼톤 지역에 유입되는 저층해류는 남극저층수 (Antarctica Bottom Water)에서 기원된 것으로, 남극저층수가 북상하여 Samoan Passage를 통과한 후, 중앙태평양에서 동쪽으로 분지하여 Line Island Ridge를 이루는 해저산 골들을 따라 가속되어 유입되는 것으로 보고 있다 (Edmond et al., 1971; Mantyla, 1975; Volat et al., 1980). Deep Ocean Mining Environmental Study (DOMES)지역에서 관찰된 저층해류자료에 의하면, 유속은 4~5 cm/sec로 미약하고 방향도 일정치 않지만, 주변지역의 음파탐사기록 및 Deep Sea Drilling Project (DSDP)의 코아 자료에 의하면 (Keller and Barron, 1983) 과거 지질시대를 통하여 저층해류가 간헐적으로 활발히 작용하였음을 시사한다. 특히 마이오세-플라이토세 시기에는 저층해류의 영향으로 퇴적물의 혼합과 퇴적층의 침식이 수반되어 다양한 형태의 해저면 및 퇴적결층을 형성하였다 (Hayes et al., 1969; Johnson, 1972).

## 제 7 절 퇴적물의 일반적 특성

조사 지역의 퇴적물은 매우 높은 함수율, 낮은 투수율, 높은 전단응력을 갖는 소성이 높은 생물기원의 무기질 실트로 구성된 규질 원양성 점토 (siliceous pelagic clay)로, 소성이 높은 유·무기질 점토로 분류되지만 (Richards and Chnaey, 1981), 생물 (biogenic), 자생 (authigenic) 그리고 육성 (terrigenous)기원 퇴적물로 혼재되어 있다. 퇴적물 중에는 실트와 점토가 우세하고 (70~90%) 모래와 실트크기의 입자는 대부분 방산층이나 규조류 잔해 및 자생광물로 이루어져 있으며, 미고생물과 방산층 연구자료에 의하면, 퇴적율은 약 0.2 mm/천년으로 매우 낮다.

퇴적물들은 확연한 색의 변화, 생물교란 정도에 따라 2개 또는 3개의 단위로 나뉘어 진다. 최상부의 퇴적물 Unit I은 흑색을 띤 노란 색, 또는 붉은 색을 띤 갈색으로 균질하며, 그 하부의 Unit II는 옅은 갈색으로 생물 교란흔적이 비교적 심하다. Unit III은 최하부 단위로 흑회색 또는 진한 갈색을 띠며, 비교적 적은 생물교란 흔적을 보인다. 생물교란 흔적은 주로 직경 2~3 cm의 원형 또는 도우넛 형태의 흔적들로 산재되어 나타난다. 최상부 Unit I은 해수로 포화되어 있으며 고화되어 있지 않아 퇴적물의 전단강도는 극히 낮다 (0~2 kPa). Unit I의 이러한 물리적 성질은 심해에서 보고된 "혼합층 (Mixed layer)" (Berger et al., 1976) 또는 "준액상층 (Peneliquid layer)" (Halbach and Ozkara, 1979)과 일치한다. 그러나 Unit II와 III에서는 퇴적물 깊이에 따라 전단응력이 급격히 증가한다. 이러한 퇴적물의 물성과 생물교란 흔적은 고기퇴적층 (historic layer)에서 흔히 나타나는 특징이다. 생물교란 흔적의 절단 또는 퇴적층의 침식면 등이 나타나고 퇴적 Unit 사이에 확실한 경계가 있는

경우에는, 이들의 경계가 플라이스토세 말기에 강하게 작용한 AABW (Antarctic bottom water)의 영향으로 이루어진 침식면으로 보인다 (Craig, 1979; von Stackelberg et al., 1987).

## 제 8 절 정점별 측정 결과

전단강도 측정시료의 정점별 수심, 채취장비, 시료길이, 측정 기기, 횡 수 및 측정장소는 Table 4-2에 나타내었다. 선상 및 실험실에서 획득한 자료의 측정값은 Table 4-3에 나타내었으며, 실험실에서 절개한 정점별 퇴적물의 단면사진은 Fig. 4-12에 수록하였다. 실험실에서 측정한 각각의 시간 경과에 따른 토크변화는 Appendix 4-1에 나타내었으며, 정점별, 측정 깊이에 따른 최대 및 잔류 전단강도의 변화는 Appendix 4-2에 나타내었다.

### 1. 정점 1

이 지역의 평균수심은 4,953 m이며, 5 cm깊이에 뚜렷한 퇴적 결층 (hiatus)이 존재한다. 상부의 0~5 cm (Unit 1) 퇴적물은 갈색으로 매우 높은 함수율을 보이며 (준액상층), 균일한 연성의 퇴적물이 존재한다. 5~10 cm는 과고화 (over consolidate)되어 있으며, 심하게 생교란 받은 혼합층 (mixed layer)이 있으며, 하부에서도 뚜렷한 결층들이 나타난다. 특이한 점은 10~13 cm 부근에는 상부 (0~5 cm)의 Unit I 퇴적물이 1.5 cm 두께로 관입되어 있다. 13~25 cm의 퇴적물은 과고화되어 있으며, 심하게 생교란 작용을 받은 것으로 보인다.

박스 코어로 채취한 퇴적물로부터 수동 베인을 이용하여 선상 측정 결과, 표층에서 상부 7 cm 까지의 최상부 Unit I 은 해수로 포화되어

있으며 고화되어 있지 않아 퇴적물의 전단응력이 낮은 깊이까지는 2회의 측정이 잘 일치하면서 깊이에 따라 증가한다.

H1 (첫 번째 측정위치)에서는 그 하부에서 채취 깊이 까지 변화 없이 거의 일정한 값 (5.0 kPa)을 나타내지만 H2 (두 번째 측정위치)에서는 급격히 증가하여 측정한계이상으로 전단강도가 증가하여 15 cm에서 부터는 측정을 못하였다 이러한 차이는 계측 기기의 문제점 또는 좁은 공간 하에서도 급격히 변화 할 수 있는 시료의 고화도 차이로 판단된다.

전동 베인을 이용한 실험실 측정은 다중시료 채취기로 채취한 주상시료를 이용하였다. 표층에는 직경 5 cm, 두께 2 cm의 편원형 망간단괴가 있어 이를 제거하고 3 cm 깊이에서부터 측정하였다. 따라서 상부는 매우 교란되어 원래의 조직을 유지하지 못하고 있어 정확한 값을 측정치 못하였으며, 측정 깊이도 정확치 않아 1회 만 실시하였다. 측정 결과 전단 강도 값은 Unit 2의 5~17 cm 깊이 까지는 평균 12 kPa로 매우 고화되어 있으며, 그 하부에서는 점차적으로 감소하는 경향을 보인다. 단 Unit 1의 최상부층 퇴적물이 관입되어 있는 13 cm 깊이에서는 9 kPa로 낮은 전단강도를 잘 보인다. 잔류 전단강도 값은 최대 전단강도 값의 약 30%를 차지하여 최대 전단강도 값의 변화와 잘 일치하는 양상을 보인다.

수동베인과 전동베인의 측정 결과는 비교하기 어렵다. 동일한 정점이더라도 시료 채취 장비가 다르고, 채취시간이 다르다. 또한 수심이 약 5,000 m로 시료 채취기가 해저 면에 도달하는 시간은 1.5 시간이므로 그 동안의 해류 및 바람에 의한 조사선의 이동으로 실제 채취 지점은 동일하지 않다. 따라서 두 가지 측정결과를 비교하기 어려우며, 측정값은 다르나 하부로 내려가면서 급격히 증가하는 양상은 같다.

## 2. 정점 3

이 지역의 평균수심은 4,976 m이며, 5 cm깊이에 뚜렷한 퇴적 결층 (hiatus)이 존재한다. 상부의 0~5 cm 퇴적물은 갈색으로 매우 높은 함수율을 보이며, 균일한 연성의 퇴적물이 존재한다. 또한 5~45 cm는 과고화되어 있으며, 비교적 적은 생교란 작용을 받았으며, Unit 2와 Unit 3의 구분이 뚜렷하지 않으며 하부로 내려가면서 색상은 짙은 색상을 보인다.

다중시료 채취기로 채취한 주상시료를 이용하였다. 수동베인을 이용한 측정은 선상에서 직접 2회 측정하였으며, 실험실에서도 1회 측정하였다. 5 cm 까지 최상부 Unit 1은 해수로 포화되어 있으며 고화되어 있지 않아 퇴적물의 전단응력이 낮은 깊이까지는 2회의 측정이 잘 일치하면서 깊이에 따라 증가한다. H1 (선상 첫 번째 측정위치)에서는 그 하부에서 채취 깊이 까지 변화 없이 거의 일정한 값 (5.0 kPa)을 나타내지만 H2 (선상 두 번째 측정위치)에서는 급격히 증가하여 측정한계 이상으로 전단강도가 증가하여 15 cm에서 부터는 측정을 못하였다 이러한 차이는 또는 좁은 공간 하에서도 급격히 변화 할 수 있는 시료의 고화도 차이로 판단된다. 실험실에서 수동베인을 이용한 측정 결과는 선상 2회 측정 결과의 중간 값으로 잘 일치한다.

전동 베인을 이용한 실험실 측정은, 2지점에서 (H1, H2) 실시하였다. 측정 결과 전단 강도 값은 H1과 H2의 측정값은 잘 일치한다. Unit 2의 5~40 cm 깊이 까지는 9~22 kPa로 매우 고화되어 있으며, 하부로 가면서 점점 고화되어 있어 30cm 이하에서는 평균 20 kPa이상의 값을 보여 전체 측정시료 중 가장 높은 전단강도 값을 나타냈다. 잔류 전단강도 값은 최대 전단강도 값의 약 30%를 차지하여 최대 전단강도 값의 변화와 잘 일치하는 양상을 보인다. 수동베인과 전동베인의 측정 결과 13 cm 보다



상부에서는 전동베인을 이용한 측정치가 조금 높게 나타났으며, 이때까지의 변화 양상은 잘 일치한다. 13 cm 하부에서는 수동베인의 측정용량이상으로 측정치 못하여 비교치 못했다.

### 3. 정점 5

이 지역의 평균수심은 4,923 m이며, 이 지역의 평균수심은 4,976 m이며, 8 cm깊이에 뚜렷한 퇴적결층 (hiatus)이 존재한다. 상부의 0~8 cm 퇴적물은 갈색으로 높은 함수율을 보이며, 비교적 고화된 퇴적물이 존재한다. 또한 8~29 cm는 단단하게 과고화되어 있으며, 비교적 적은 생교란 작용을 받았다. 10~12 cm 에는 고화되어 있으나 Unit 1과 동일한 색상의 퇴적물이 내포되어 있으며, 13 cm 깊이에는 옅은 갈색으로 두께 2 cm의 탄산질 퇴적물이 존재한다. Unit 2와 3의 구분은 분명치 않다.

선상에서 다중시료 채취기로 채취한 퇴적물로부터 직접 3회 측정하였다. 표층에서 상부 7 cm 까지의 최상부 Unit I 은 고화되어 있지 않아 퇴적물의 전단응력이 비교적 낮으며, 하부로 내려가면서 증가하고 Unit 2의 8~18 cm 까지는 변화 없이 비교적 일정한 값 (5~6 kPa)으로 2회의 측정이 잘 일치한다. 18~22 cm의 깊이 Unit3에서는 H1 (첫 번째 측정위치)에서는 그 하부에서 채취 깊이 까지 변화 없이 거의 일정한 값 (5.0 kPa)을 나타내지만 H2 (두 번째 측정위치)에서는 급격히 증가하여 측정한계 이상으로 전단강도가 증가하여 21 cm에서는 11.4 kPa로 측정되었다. 따라서 전단강도의 측정은 3회 이상 측정하여 평균값을 구하는 것이 바람직하다.

상자형 시료 채취기로 채취한 시료로부터 재채취한 주상시료로부터 실험실에서 전동베인을 이용하여 동일한 시료로부터 4회 측정하였다. 표층

Unit 1의 깊이가 매우 얇아 표층에서도 높은 측정치를 보인다. 측정 결과 전단 강도 값은 6~18 cm 깊이 까지는 평균 14 kPa로 높은 값을 나타내었다. 고화되어 있으나 Unit 1과 동일한 색상의 퇴적물이 내포되어 있는 11 cm 에서는 전단 강도가 급격히 감소하는 경향을 잘 보이며, 18~26 cm 에서는 10 kPa로 조금 적은 값으로 나타나며, 4회의 측정 모두 뚜렷하게 동일한 경향을 보인다. 잔류 전단강도 값은 최대 전단강도 값의 약 40%를 차지하여 최대 전단강도 값의 변화와 잘 일치하는 양상을 보이며, 4회의 측정 모두 거의 동일한 측정값을 보인다.

수동베인과 전동베인의 측정 결과 비교는 시료 채취 장비 및 채취된 시료가 다르므로 정점 1에서와 마찬가지로 실제 채취 지점 차이로 두 가지 측정결과를 비교하기 어려우며, 측정값은 다르다. 특히 선상에서 측정한 다중시료 채취기에서 수동베인으로 측정한 값의 평균치는 상자형 시료 채취기로 채취한 시료로부터 전동베인으로 측정한 평균값의 보다 월등히 적은 값을 나타내었다. 이는 좁은 지역 차에서도 현격히 다른 전단응력 값을 갖는 퇴적물 특성의 차이로 판단된다.

#### 4. 정점 15

이 지역의 평균수심은 5,044 m이며, 상부의 0~10 cm (Unit 1) 퇴적물은 갈색으로 매우 높은 함수율을 보이며, 균일한 연성의 퇴적물이 존재한다. 10~28 cm (Unit 2)는 옅은 갈색으로 심하게 생물교란 작용을 흔적이 있으며, 이들 흔적은 직경 2~15 mm의 원형으로 Unit 1의 퇴적물과 동일한 퇴적물이 관입되어 있다. 28 cm에는 비교적 선명한 경계가 보이며, 그 하부 (28~40 cm)는 노란색을 띤 갈색으로 구분되어 있다. 생물에 의한 교란흔적은 Unit 2에 비하여 적다.

선상에서 다중시료 채취기로 채취한 퇴적물로부터 수동베인을 이용하여 직접 1회 측정하였다. 표층에서 상부 6 cm까지의 최상부 Unit I은 고화되어 있지 않아 퇴적물의 전단응력이 비교적 낮으며, 하부로 내려가면서 증가하고 Unit 2의 6~16 cm까지는 매우 일정한 값(5.0 kPa)으로 깊이에 따른 변화가 없다. 16~22 cm의 깊이인 Unit3에서는 8.0 kPa으로 깊이의 변화 없이 일정하지만 그 하부에서는 측정 용량 이상으로 측정하지 못하였다.

다중시료 채취기로 채취한 시료로부터 획득한 퇴적물 주상시료를 이용하여 실험실에서 동일한 시료로부터 전동베인을 이용하여 4회 측정하였다. 표층 Unit 1의 깊이가 비교적 깊어 0~10 cm까지는 3 kPa의 낮은 값을 보이며, 10~16 cm까지는 3~7 kPa까지 점차적으로 증가하는 추세를 보인다. 그 이하의 16~34 cm까지는 8~10 kPa로 일정한 양상을 보인다. 특히 4회의 측정 모두 확연히 동일한 경향을 보인다.

잔류 전단강도 값은 Unit1의 상부 10 cm까지는 최대 전단강도 값의 약 15% 정도를 차지하고 그 하부에서는 50%를 차지한다. 이러한 현상은 전반적으로 표층에서는 3~4 이상의 sensitivity값을 보이나 깊어질수록 감소하는 경향과 잘 일치한다. 즉 전형적인 고화상태 또는 과고화상태(overconsolidation)를 보이는 퇴적물에서 흔히 나타난다. 이러한 값들은 조사지역 주변 DOMES A지역과 중앙태평양의 퇴적물에서와 비슷한 값을 보인다 (Richards, 1977; Craig, 1979).

수동베인과 전동베인의 측정 결과는 측정된 시료는 동일한 정점이며, 채취기 또한 같으므로 실제로 두 시료의 차이는 1 m 미만이다. 따라서 선상에서 수동베인으로 측정한 값의 평균치는 실험실에서 전동베인으로 측정한 평균값과 유사하게 측정되었으나 상부 12 cm까지는 수동 베인의 측정값이 조금 높게 측정되었다. 이는 점토질 퇴적물과 같이 연질인

퇴적물은 회전속도가 빠르면 강도가 증가하는 것으로 알려진 일반적인 현상 (Monny, 1967) 으로 판단된다. 또한 상부보다 고화된 12 cm 이하의 깊이에서는 거의 동일한 값을 나타내었다. 본 연구에서 측정된 시료 중 가장 덜 고화된 것으로 측정되었다.

## 5. 정점 23

이 지역의 평균수심은 4,855 m이며, 상부의 0~10 cm (Unit 1) 퇴적물은 갈색으로 높은 함수율을 보이며, 균일한 연성의 퇴적물이 존재한다. 10~24 cm (Unit 2)는 옅은 갈색으로 심하게 생물교란 작용을 흔적이 있으며, 이들 흔적은 직경 1~15 mm의 무수히 많은 원형으로 Unit 1의 퇴적물과 동일한 퇴적물이 관입되어 있다. 그 하부 (24~31 cm)는 Unit 2와 동일한 색상이나 생물에 의한 교란흔적은 Unit 2에 비하여 월등히 적으며, 고화되어 있다.

선상에서 다중시료 채취기로 채취한 퇴적물로부터 수동베인을 이용하여 직접 1회 측정하였다. 표층에서 상부 10 cm 까지의 최상부 Unit I 은 고화되어 있지 않아 퇴적물의 전단응력이 비교적 낮으며, 하부로 내려가면서 증가하고 그 하부의 Unit 2, 3의 10~20 cm 까지는 일정한 값 (5.0 kPa)으로 깊이에 따른 변화가 없다. 21 cm 깊이에서 8 kPa로 급격히 증가하다 23, 25 cm에서 4 kPa로 낮아진다. 이는 채취된 시료의 하부가 기계적으로 교란되어 전단강도가 낮아진 것으로 판단된다.

실험실에서 동일한 시료로부터 전동베인을 이용하여 4회 측정하였다. 표층에서부터 하부 (27 cm)까지 비교적 큰 변화 없이 점진적으로 1~12 kPa까지 증가하는 양상을 보인다. 특히 4회의 측정 모두 확연히 동일한 경향을 보인다. 잔류 전단강도 값은 Unit1의 상부 10 cm까지는 전단강도

값의 약 30% 정도를 차지하고 그 하부에서는 40%를 차지한다.

수동베인과 전동베인의 측정 결과는 측정시료가 동일한 정점이며, 채취기 또한 같으므로 실제로 두 시료의 차이는 1 m 미만이다. 선상에서 수동베인으로 측정한 값의 평균치는 실험실에서 전동베인으로 측정한 평균값과 유사하게 측정되었으나 수동 베인의 측정값이 조금 낮게 측정되었다. 그러나 21 cm까지의 측정 결과는 거의 유사한 경향을 보인다.

## 6. 정점 25

이 지역의 평균수심은 4,848 m이며, 상부의 0~12 cm (Unit 1) 퇴적물은 갈색으로 높은 함수율을 보이며, 균일한 연성의 퇴적물이 존재한다. 12~36 cm (Unit 2)는 옅은 갈색으로 심하게 생물교란 작용을 흔적이 있으며, 이들 흔적은 직경 1~5 mm의 무수히 많은 원형으로 Unit 1의 퇴적물과 동일한 퇴적물이 관입되어 있다. 또한 최하부까지 고화되어 있지 않으며, Unit 3이 발견되지 않는다.

선상에서 다중시료 채취기로 채취한 퇴적물로부터 수동베인을 이용한 측정은 선상과 실험실에서 각각 1회 측정하였다. 표층에서 상부 11 cm까지의 최상부 Unit 1은 고화되어 있지 않아 퇴적물의 전단강도가 비교적 낮으며, 하부로 내려가면서 증가하고 Unit 2의 13~35 cm까지는 매우 일정한 값 (3~5 kPa)으로 깊이에 따른 변화가 없다.

실험실에서 동일한 시료로부터 전동베인을 이용하여 2회 측정하였다. 표층 Unit 1의 깊이가 비교적 깊어 0~11 cm까지는 3 kPa의 미만의 낮은 값을 보이며, 13~35 cm까지는 4~7 kPa까지 점차적으로 증가하는 추세를 보인다.

수동베인과 전동베인의 측정 결과는 측정된 시료는 동일한 정점이며,

채취기 또한 같으므로 실제로 두 시료의 차이는 1 m 미만이다. 따라서 선상에서 수동배인으로 측정한 값의 평균치는 실험실에서 전동배인으로 측정한 평균값이 조금 높게 측정되었다.

## 제 9 절 종합결과 및 토의

### 1. 퇴적물의 전단강도와 함수율 변화의 관계

조사지역 퇴적물 전단응력의 수직분포는 6 정점에서 수회 측정한 결과, 상부에서 하부로 내려가면서 급격히 증가하여 하부에서 높은 값을 보인다. 반면에 퇴적물의 함수율은 0~10 cm 깊이에서는 표층에서 하부로 가면서 360%에서 250%로 급격히 감소하며, 10 cm 이하에서는 평균 240%로 깊이에 따른 변화 없이 일정하다 (Fig. 4-13). 따라서 전단강도는 표층에서 하부로 가면서 감소하는 함수율과 반비례하는 양상을 보인다. 함수율과 전단강도, 함수율과 잔류 전단강도와의 역상관 관계는 Fig. 4-14에 도식화하였다. 깊이가 증가함에 따라 함수율이 감소하고 전단강도가 증가하는 현상은 이미 많은 학자들이 보고하였다 (Bennett et al., 1980; Fuller, 1975; Inderbitzene, 1970; Moore, 1961; Tsurusaki and Hirota, 1977; Tsurusaki and Yamaszaki, 1994). 퇴적속도가 빠르면 퇴적물 내에 보다 많은 함수율을 보유하는 특성에 따라 함수율이 높은 상부층은 하부층에 비하여 비교적 빠른 속도로 퇴적되었음을 시사한다. 그러나 퇴적물과 전단강도의 상관관계에 대한 해석은 충분치 않다.

## 2. 수동 베인과 전동베인을 이용한 퇴적물의 전단강도

### 측정 결과 비교

동일시료에서 수동베인을 이용하여 선상에서 직접 전단강도를 측정한 결과는 전동베인을 이용한 결과에 비하여 각 측정 시마다 현격한 차이를 갖는다. 표층 (0~7 cm)을 제외한 퇴적물 전체의 동일한 깊이에서 2~8 kPa 이상의 극심한 차이를 나타낸다. 반면에 실험실에서 측정한 값은 평균 1 kPa미만의 적은 오차 범위를 보인다. 이러한 현상은 선상에서는 조사선의 흔들림 (rolling and pitching)에 따른 측정시 흔들림에 의한 오차, 수동베인의 손잡이를 손으로 회전시키므로 측정자 간의 회전속도에 의한 차이가 주된 요인이 될 수 있으며, 실험실 측정에서는 비교적 오랜 기간 (약 2개월) 냉장고에 보관, 운반하는 기간의 흔들림에 의하여 적은 표준편차를 보일 수 있다 (Carig 1979). 본 실험에서는 전자에 의한 차이가 큰 것으로 판단된다. 따라서 신뢰성 있는 측정을 위해서는 동일한 시료에서 2회 이상 측정한 결과를 평균값으로 산출해야하며 (Noorany, 1985), 특히 수동베인으로 2회 측정한 측정치는 현격히 다른 양상을 보이므로 3회 이상 측정하는 것이 바람직하며, 수동베인의 측정의 신뢰도를 높이기 위해서는 동일 측정자에 의한 보다 많은 실험이 필요하며, 가능한 전동을 이용하여 정확한 회전속도로 측정하는 것이 바람직하다.

## 3. 선상과 실험실 측정 결과 비교

실험실에서 측정한 결과는 선상 측정 결과보다 동일한 경향을 보이나 전반적으로 조금 높게 측정되었다. 이는 여러 학자들에 의해 보고된 현상과 잘 일치한다 (Carig, 1979; Monney, 1974). 이러한 현상은 퇴적물

구성입자 내의 공극수의 압력 감소에 따라 퇴적물 입자들이 떨어지게 되고 한정된 공간 내에서 입자간의 응력을 증가시키므로 결과적으로 전단강도가 증가되는 것이 특징이다. 반대로 공극수의 압력이 증가한다면 떨어져 있던 입자들이 서로 결합하게 되므로 전단 강도는 감소하게 되는 현상으로 설명된다 (Monney, 1974). 따라서 평균 수심 5,000 m인 심해저 면에서는 500 기압의 압력이 가해져 있으므로 심해저면에서의 전단강도는 교란되지 않은 시료에 대한 실험실 측정값보다 적은 값을 나타낼 것이다.

#### 4. 전동베인을 이용한 전단강도 측정의 장점

전동베인을 이용한 퇴적물의 전단강도 측정은 정확한 교란되지 않은 최대 전단강도 (maximum shear strength) 측정값을 산출하는 장점 외에도 동시에 채광기의 운영에 매우 중요한 퇴적물 조직이 파괴된 후의 잔류 전단강도 (residual shear strength)를 측정한다. 또한 퇴적물 내에 존재하여 육안으로 관찰되지 않은 망간단괴 (buried nodules)와 같이 퇴적물 내에 암편 또는 물성이 다른 물질이 있는 경우 토크의 변화로 이물질의 존재 유무를 파악할 수 있다. 일반적인 토크의 변화와는 달리 시간의 지남에 따라 완만한 곡선을 나타내지 않고 매우 불규칙한 측정값을 보인다 (Fig. 4-15). 즉 퇴적물의 전단저항의 크기에는 한도가 있으므로 전단강도를 초과하면 증가하지 않고 퇴적물에 작용하는 전단응력이 전단강도에 도달되면, 그 부분에 변형 또는 소성적 활동이 생기며, 퇴적물의 구조는 파괴되므로 토크의 최대치를 보인 후에는 아무리 많은 시간이 지나도 다시 증가하지는 않고 지속적으로 감소하고 일정 시간이 경과한 후에는 거의 동일한 값 (잔류전단강도)을 보인다. 따라서 이 물질이 존재하여 베인의 날에 접촉하게 되는 경우 토크 값의 변화에 따라



존재유무의 파악이 가능하다.

## 5. 전단강도와 퇴적물내 생교란 작용과의 관계

수직적인 측정값의 변화요인은 생물에 의한 교란 작용이 퇴적물의 특성을 결정할 수 있다. 몇몇 퇴적물 내에 사는 저서생물은 입자들을 뭉치게 하는 효과 (cementing effect)하기도 하며 어떤 활동은 퇴적물의 전단강도를 감소시키기도 한다. 생물의 교란 작용이 심한 퇴적물은 비교적 큰 변화 없이 일정한 값을 보인다. 따라서 동일한 지역의 퇴적물이더라도 측정위치에 따라 많은 변화를 일으킬 수 있다 (Hagerty, 1974). 특히 표층 퇴적물에서의 지질공학적 특성은 생물활동의 영향을 많이 받는다 (Lambert et al., 1985). 정점 15, 23, 25와 같이 동일한 종류의 생교란 작용을 많이 받은 퇴적물에서는 깊이에 따른 변화 없이 일정한 양상을 보인다.

## 6. 전단강도와 해저지형과의 관계

퇴적물의 전단응력은 해저면 침식도의 평가에 대한 척도로서 심해 퇴적과정을 이해하는데 기초가 된다 (Carig, 1979). 이러한 침식현상은 일반적인 해류속도 보다 큰 간헐적인 것으로 지구기후변화 (global climatic change) 또는 해저 폭풍 (benthic storm)등에 의하여 생교란 되어 있는 최상부층을 빠르게 침식시킬 것이다. 경사도가 1/500 보다 높은 지역에서는 하향 경사로의 느린 속도의 탁도 높은 흐름 (low-velocity lutide flow)은 퇴적물의 이동을 촉진시킨다 (Carig, 1979). 정점 1, 3, 5에서는 모두 퇴적결층이 뚜렷이 나타나며, 퇴적결층의 하부에서는 급격히 전단강도가 증가한다. 따라서 이러한 현상은 상당히 깊은 심도까지

매몰되었던 퇴적층이 침식작용에 의해 해저면에 노출된 것으로 보인다. 심해저 퇴적물의 전단강도는 광역적인 지역에서는 거의 유사하게 측정되지만 실제로는 단지 몇 킬로미터 떨어져 있는 지역의 퇴적물도 과거의 퇴적과정 차이에 의해 현격히 다른 특징을 보이기도 한다. 일반적으로는 저층해류의 영향을 많이 받는 해저구릉 또는 해저산의 정상부와 경사도가 심한 사면 등의 지역은 높은 전단 강도를 보인다 (Bennet, et al., 1980). 시료 채취지점을 지형도 상에서 살펴보면 (Fig. 4-11), 비교적 경사진 면에 위치한 정점 1, 3, 5에서는 높은 전단 강도를 보인다. 조사 정점 15의 경우 주위의 수심보다 낮으며 움푹 패인 지역으로 퇴적물의 전단강도는 낮게 측정되었으며, 낮은 수심이지만 주위의 지형이 평탄한 정점 23, 25에서도 낮은 전단강도를 보인다 (Fig. 4-16). 따라서 퇴적물의 전단강도는 지형의 영향을 크게 받는 것으로 관찰되었다.

## 7. 퇴적물의 탄산질 함량과 전단강도와의 관계

퇴적물 내의 높은 탄산염 함량 (carbonate content)은 퇴적물의 응결 (cementation)을 촉진시킬 뿐만 아니라 미고화 (unlithified) 퇴적물의 전단 강도를 증가시킨다 (Kenter and Schlager, 1989; Johnson et al., 1977). 본 시료에 대한 탄산염 함량 측정 결과는 아직 산출되지는 않았지만 육안으로 뚜렷이 관찰되는 정점 13~15 cm 깊이에는 옅은 갈색으로 두께 3 cm의 탄산질 퇴적물이 존재한다. 이 지점에서의 측정 결과는 상부와 하부보다 약 5 kPa 높은 값을 보여 탄산질 함량과의 비례 관계를 뚜렷하게 보여 준다.

## 8. 퇴적물의 전단 강도 변화를 일으키는 다른 주요 요인들

세립질 퇴적물의 전단강도는 입자들 사이의 전기 기계적 힘 (electromechanical force, cohesive bond), 함수율 그리고 입자들 간의 화학적 응결 결합 (chemical precipitate cementation)에 의해 결정된다. 따라서 퇴적물을 구성하는 입도 분포와 구성비의 영향을 받는다 (Fuller, 1975). 즉 입도가 세립화 하면 공극비 (void ratio)는 감소하고 전단강도는 증가한다 (Inderbitzen, 1970). 또한 침식에 의해 빠르게 재퇴적 (resedimentation)된 입자들은 효과적인 분급이 어려우므로 낮은 분급도를 보인다. 그러므로 퇴적물 입자의 분급도 및 입도는 전단강도의 변화와 잘 일치할 수 있다. 따라서 퇴적물의 미세구조 및 입도에 관한 연구가 필요하다. 퇴적물의 전단강도는 kaolinite (카오리나이트)와 illite (일라이트)의 비율에 가장 민감하게 변화하며, montmorillonite (몬트모리로나이트, smectite)는 kaolinite와 illite보다 월등히 높은 함수율을 갖는 것으로 보고되어 있다. 따라서 퇴적물내의 점토광물의 함량은 전단강도와 밀접한 관계를 나타낸다. 그밖에 액성 한계 (liquid limit)와 소성한계 (plastic limit)의 함수율, 소성지수에 의한 활성도 (activity)와 같은 공학적 지표 특성 (engineering index property)과 퇴적물 조직이 교란된 후의 전단강도 (disturbed shear strength) 또는 완전히 교란 시킨 후의 전단강도 (remolded shear strength)에 의한 예민비 (sensitivity)는 교란된 퇴적물의 견뎌내는 수용능력 (bearing capacity)에 대한 연구는 채광기 운영에 중요한 자료이다.

따라서 향후 퇴적물의 전단강도에 관한 연구에는 전단강도의 측정 외에도 퇴적물의 입도분석, 탄산염 함량, 함수율, 전밀도 (bulk density), 공극율 (porosity), 공극비, 액성한계 및 소성한계, 미세구조연구, 점토광물, 해

## 제 10 절 결 론

1. 심해저면에서의 직접 측정이 어려운 현상에서 기계적으로 교란 받지 않은 퇴적물 시료의 채취는 퇴적물의 전단강도 특성연구를 위한 가장 중요한 작업이며, 이를 위해서는 상자형 시료 채취기와 다중 시료채취기가 적합하다.

2. 세립질로 함수율이 액성한계보다 높은 연성의 표층 심해저 퇴적물에 대한 전단강도 측정은 삼축압축실험시 공시체의 형성이 불가능하며, 베인 측정기의 측정값과 거의 동일한 값을 보이므로 베인측정기를 이용하는 것이 적합하다.

3. 베인의 회전속도에 관한 학자들의 주장은 다양하나  $6\sim 90$  %/min.의 회전속도가 일반적이며, 베인의 회전은 전동식으로 균일한 회전속도로 측정하는 것이 타당하며, 부득이 수동으로 측정할 경우 완속장치의 부착이 절실히 요구된다. 또한 많은 시료의 보다 빠른 측정을 위해서는 균일한 물성을 갖는 인위적인 표준 퇴적물 시료를 제작하여 베인의 규격 차이와 회전속도 차이를 비교·검토하여 가장 효율적인 회전속도를 구하는 것이 바람직하다.

4. 퇴적물의 전단강도는 상부에서 하부로 내려가면서 깊이에 비례하여 증가하며, 반면에 함수율은 점차 감소하는 경향을 보인다. 따라서 함수율과 전단강도사이에는 뚜렷한 역상관관계를 보인다.

5. 전동베인을 이용한 퇴적물의 전단강도 측정은 정확한 최대 전단강도 측정값을 산출하는 장점 외에 동시에 퇴적물 조직이 파괴된 후의 잔류전단강도를 측정할 수 있다. 또한 퇴적물 내에 존재하여 육안으로 관찰되지 않은 망간단괴와 같이 퇴적물 내에 암석 또는 물성이 다른 물질이 있는 경우 토크의 변화로 이물질의 존재 유무를 파악할 수 있다

6. 동일시료에서 수동베인을 이용하여 선상에서 직접 전단강도를 측정한 결과는 전동베인을 이용한 결과에 비하여 각 측정 시마다 현격한 차이를 갖는다. 이는 측정자의 측정과정에 따른 문제점 즉 회전 속도 차이에 기인하는 현상으로 베인의 회전은 균일한 회전속도로 측정하여야 한다.

7. 실험실에서 측정한 결과는 선상 측정 결과보다 동일한 경향을 보이거나 전반적으로 조금 높게 측정되었으므로 전단강도 측정은 시료가 선상에 도착함과 동시에 측정하는 것이 바람직하다.

8. 지형도와 전단강도의 비교 관찰 결과, 비교적 경사진 면에 위치한 정점 1, 3, 5 (전체 정점의 50%)에서는 모두 약 5 cm 깊이에 퇴적결층이 뚜렷이 나타나며, 그 하부에서는 전단강도가 급격히 증가하여 높은 값을 보인다. 반면에 조사 정점 15의 경우 주위의 수심보다 낮으며 움푹 패인 지역으로 퇴적물의 전단강도는 낮게 측정되었으며, 낮은 수심이지만 주위의 지형이 평탄한 정점 23, 25에서도 낮은 전단강도를 보인다. 따라서 경사진 지역의 퇴적물은 퇴적층의 절단면 또는 침식면이 나타나고, 이들의 경계는 플라이스토세 말기에 강하게 작용한 남극저층수의 영향 또는 간헐적인 지구기후변화 및 해저 폭풍 등에 의해 최상부 퇴적물은 침식되고 재퇴적 된 것으로 예측된다.

9. 생물에 의한 교란 작용이 퇴적물의 특성을 결정할 수 있다. 동일한 종류의 생물의 교란 작용이 심한 퇴적물은 깊이에 따라 비교적 큰 변화 없이 일정한 값을 보인다.

10. 향후 퇴적물의 전단강도에 관한 연구에는 전단강도의 측정 외에 퇴적물의 입도분석, 탄산염 함량, 점토광물, 함수율, 전밀도, 공극율, 공극비, 액성 및 소성한계, 미세구조, 해류의 영향 및 지형특성 구분에 따른 연구 등 보다 종합적인 연구가 요구된다.

11. 베인 측정기를 이용한 해수로 충전되어 있는 모든 세립질 해양저 퇴적물의 전단강도 측정은 선상과 실험실에서 적은 비용과 인력으로, 간편하게, 빠른 시간 내에 정확한 측정이 가능하므로 본 연구 방법에 따라 다량의 정밀한 전단강도 자료를 획득한다면 우리 나라 연근해 및 심해저 퇴적물에서 획득한 자료는 모든 해양구조물 설계제작 및 대형 선박의 앵커링 장소 설정 등 심해저 채광기 운영 목적 외에도 많이 이용 될 것이다.

## 참 고 문 헌

- Almagor, G., 1982. Marine geotechnical studies st continental margins: a review - Part I, Applied Ocean Research, 1982. 4(2): 92-98.
- ASTM, 1980. Annual book of ASTM standards, part 19, natural building stones: Soil and rocks. Am. Soc. Testing Materials. Philadelphia 632.
- Bachan S., McCann, D.M. and Smith D.T., 1972. Relations between the acoustic and geotechnical properties of marine sediments. Q. Jl Engng Geol., 5: 265-284.
- Baltzer, A., Cochonat P. and Piper D.J.W., 1994. In situ geotechnical characterization of sediments on the Nova Scotian Slope, eastern Canadian continental margin. Mar. Geol., 120: 291-308.
- Barnett, P.R.O., Watson, J., Connelly, D., 1984. A multiple corer for taking virtually undisturbed samples from shelf, bathyal and abyssal sediments. Oceanologica Acta, 7(4): 399-408.
- Baraza, J., Lee, H.J., Kayen, R.E. and Hampton, M.A., 1990. Geotechnical characteristics and slope stability on the Ebro margin, western Mediterranean. Mar. Geol., 95: 379-393
- Baraza, J., Ercilla, G., and Lee, H.J., 1992. Geotechnical properties and preliminary assessment of sediment stability on the continental slope of the Northwestern Alboran Sea. Geo-marine Letters, 12: 150-156
- Bennett, R.H. and Keller, G.H., 1970. Mass property variability in three closely spaced deep-sea sediment cores. Journal of Sedimentary

- Petrology, 40(3): 1038-1043.
- Bennett, R.H., Freeland, G.L., Lambert, D.N., Sawyer, W.B. and Keller, G.H., 1980. Geotechnical properties of surficial sediments in a mega-corridor: U.S. Atlantic continental slope, rise, and deep-sea basin. *Mar. Geol.*, 38: 123-140.
- Bouma, A.H. and Marshall, N.F. 1964. A method for obtaining and analyzing undisturbed oceanic sediment samples. *Marine Geology*, 2: 81-99.
- Bouma, A.H., 1969. *Methods for the study of sedimentary structures.* Wiley, N. Y., 301-378.
- Busch, W.H. and Keller, G.H., 1981. The physical properties of Peru-Chile continental margin sediments-The influence of coastal upwelling on sediment properties. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(3): 0705-0719
- Chassefiere, B. and Monaco, A., 1987. Geotechnical properties and sedimentological processes of the Rhone continental margin. *Mar. Geol.*, 74: 225-235.
- Craig, J.D. 1979. Geological investigation of the equatorial north Pacific seafloor : a discussion of sediment redistribution. In: Bischoff, J.L. and Piper, D.Z. (eds.). *Marine geology and oceanography of the Pacific manganese nodule province.* Plenum Press. New York. 529-557.
- Dill, R. E. and Moore, D. G., 1965. A Diver held vane-shear apparatus. *Mar. Geol.*, 3: 323-327.
- Fuller J.T., 1975. Behavior of Mechanical Elements in submerged



- clayes of lower shear strength, Off. Tech. Conf., No. OTC 2242, Dallas.
- Hagerty, R. 1974. Usefulness of spade cores for geotechnical studies and some results from the northeast Pacific. In: Inderbitzen, A.L. (ed.), Deep-Sea sediments: physical and mechanical properties. Plenum Press, New York: 169-186.
- Hein, F.J., 1985. Fine-grained slope and basin deposits, California continental borderland: Facies, depositional mechanisms and geotechnical properties. *Mar. Geol.*, 67: 237-262.
- Hirst, T.J., and Richird A.F., 1975. Analysis of deep-sea nodule mining - seafloor interaction, Off. Tech. Conf., No. OTC 2241, Dallas.
- Inderbitzen, A. L., 1970. Empirical relationships between massphysical properties for resent marine sediments off Southern California. *Mar. Geol.*, 9: 311-329.
- Johnson, T.C., Hamilton, E.L. and Berger, W.H., 1977. Physical properties of calcareous ooze: control by dissolution at depth. *Mar. Geol.*, 24: 259-277
- Keller, G.H., and Bennett, R.H., 1970. Variation in the mass physical properties of selected submarine sediments. *Mar. Geol.*, 9; 215-223.
- Keller, G.H., and Lambert, D.N., 1979. Variation of sediment geotechnical properties between the Greater Antill Outer Ridge and the Nares Abyssal Plain. *Marine Geotechnology*, 4: 125-143
- Kenter, J.A.M. and Schlager W., 1989. A comparison of Shear Strength in calcareous and siliciclastic marine sediments. *Mar. Geol.*, 88: 145-152.

- Lambert, D.N., Bennett R.H., Sawyer W.B. and Keller G.H., 1980. Geotechnical properties of continental upper rise sediments - Veatch Canyon to Cape Hatters. *Marine Geotechnology*, 4: 281-306.
- Lambert, D.N., Valent, P.J., Richardson, M.D. and Merrill, G.F., 1985. Spatial variability in selected geotechnical property measurements from three sedimentary provinces in the Venezuela Basin. *Mar. Geol.*, 68: 107-123.
- Lee, H.J., 1971. Measurements and estimates of engineering and other physical properties, Leg 19. Initial Reports of the Dee Sea Drilling Project, V.19: 701-719.
- Lee, H.J., 1974. The roll of laborotory testing in the determination of deep-sea sediment engineering properties, In: Inderbitzen, A.L. (ed.), *Deep-Sea sediments: physical and mechanical properties*. Plenum Press, New York: 111-127.
- Lee, H.J., 1980. Offshore soil sampling and geotechnical Parameter determination. *Journal of Petroleum Technology*. 891-898
- Lee, H.J., Chough, S.K., Jeong K.S. and Han, S.J., 1987. Geotechnical properties of sediment cores from Southeastern Yellow Sea: Effects of depositional process. *Marine Geotechnology*, 7: 37-52.
- Monney N.T., 1974. An analysis of the vane shear test at varying rates of shear. In: Inderbitzen, A.L. (ed.), *Deep-Sea sediments: physical and mechanical properties*. Plenum Press, New York: 151-167.
- Moore, D.G., 1962. Bearing strength and other physical properties of some shallow and deep-sea sediments from the Norht Pacific.

- Geological Society of America Bulletin, 73: 1163-1166.
- Moore, T. C., Jr., and G. R. Heath, 1978. Seafloor sampling techniques. *Chemical Oceanography*, 7: 75-126.
- Noorany, I., 1985. Laboratory determination of soil properties. In: *Handbook for Marine Geotechnical Engineering*. Eds. by Karl R. Jr., Naval Civil Engineering Laboratory Port Hueneme, 3/1-3/19.
- Reasoner, M. A. and Hein F.J., 1974. Sedimentology and Geotechnical Properties of Surficial Bottom Sediments, Baffin Islands Fjords. In: *Syvtski, J.P.M.: HU83-082. Sedimentology of Arctic Fjords Experiment*. 11/1-11/4.
- Richards, A.F. and R.C. Chaney, 1981. Present and future geotechnical research needs in deep ocean mining. *Mar. Mining*, 2: 315-337.
- Rocker, K., 1972. Vane shear strength measurements on Leg 27 sediment. *Initial Reports of the Dee Sea Drilling Project*, V.27: 425-432.
- Tsurusaki K., and Hirota T., 1977. Some physical properties of the bottom sediments. In : *Deep Sea Mineral Resources Investigation in the Central-Eastern Part of Central Pacific Basin*, Geological Survey of Japan Cruise Report No. 8, 125-130
- Tsurusaki K., Yamazaki, T. and Handa K., 1994. Geotechnical properties of deep-sea sediments and manganese nodules in the Penrhyn Basin, South Pacific. In : *Marine Geology, Geophysics and Manganese Nodule Deposits in the Penrhyn Basin, South Pacific*. (ed.) Usui A., Geological Survey of Japan Cruise Report No. 23, 225-240.

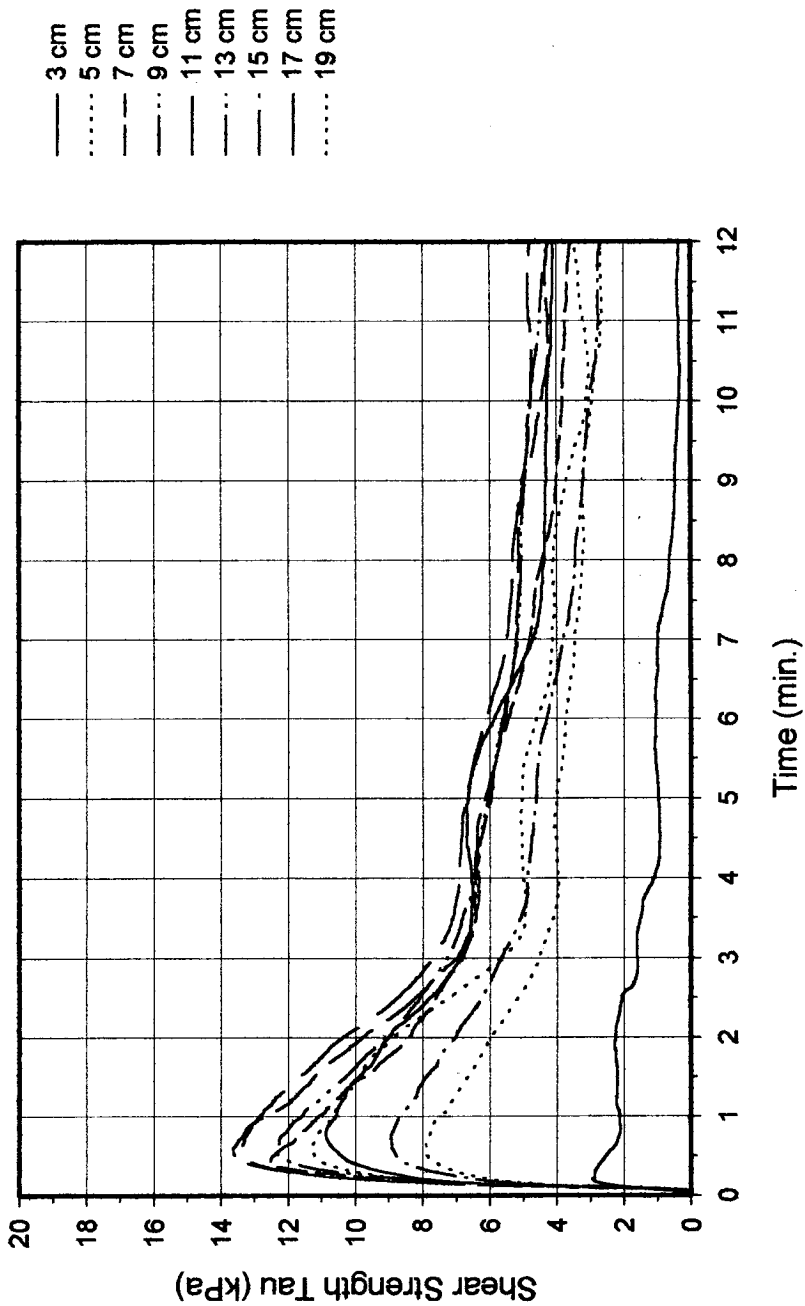
Weaver, P.P.E. and Schultheiss, P.J., 1990. Current methods for obtaining, logging and splitting marine sediment cores. *Marine Geophysical Research*, 12: 85-100

## **Appendix 4-1**

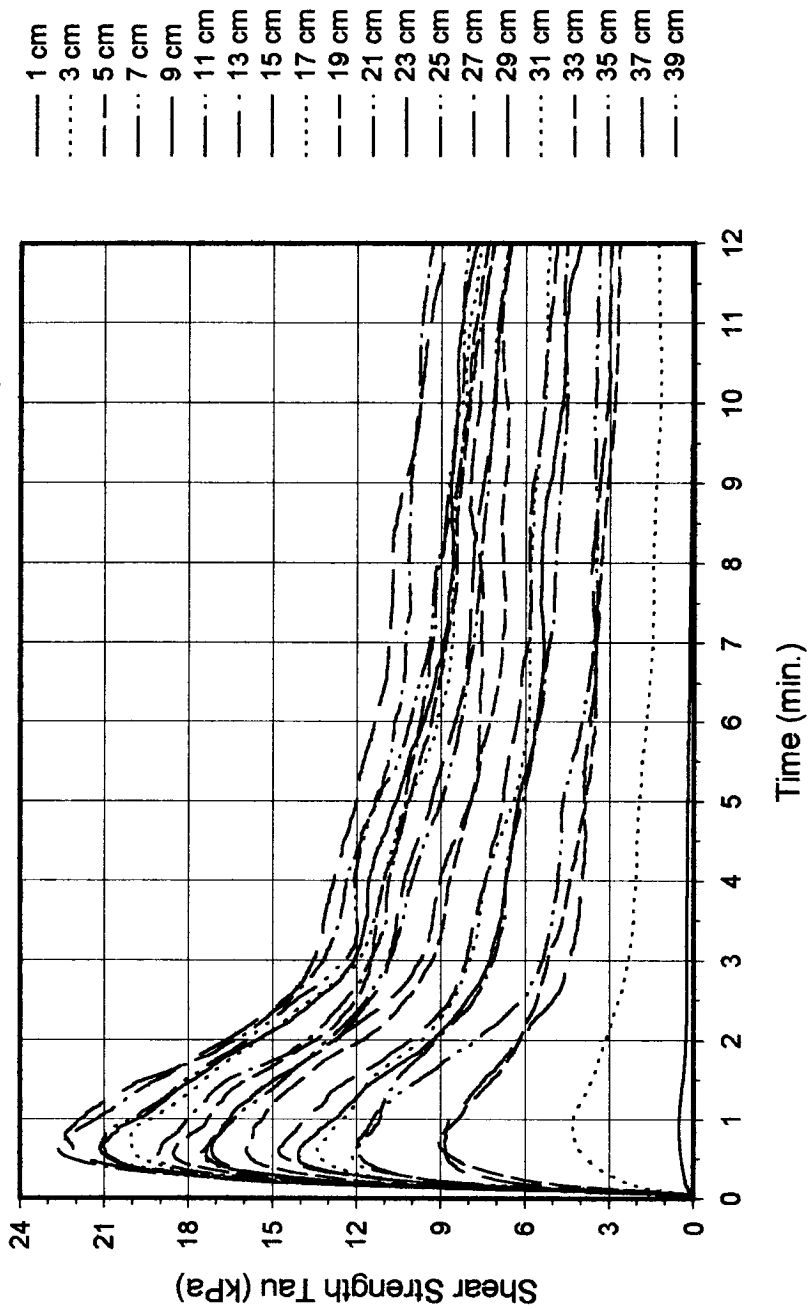
Shear strength plotted against time in each depth



KODOS 97-2, I-zone, St. 01  
 Multiple Core Sample (Hole 1)

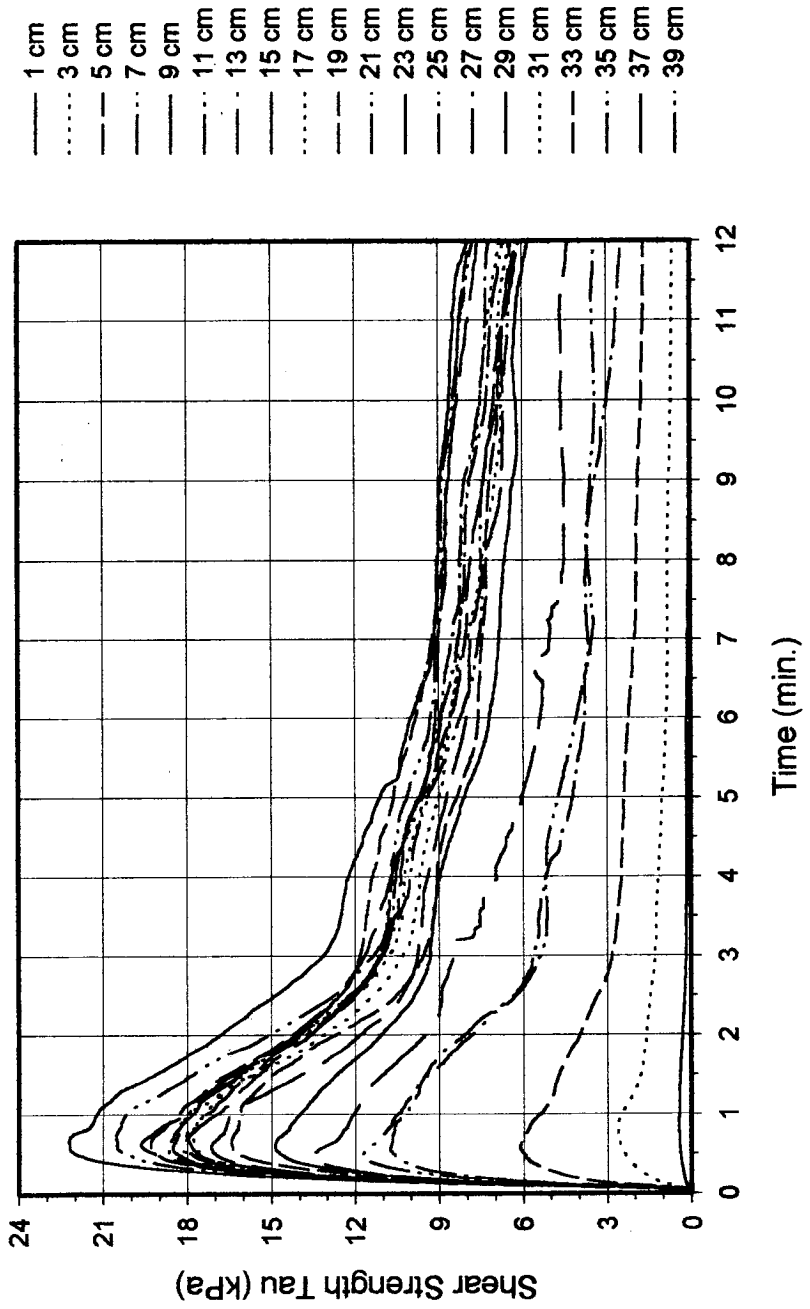


KODOS 97-2, I-zone, St. 03  
 Multiple Core Sample (Hole 1)

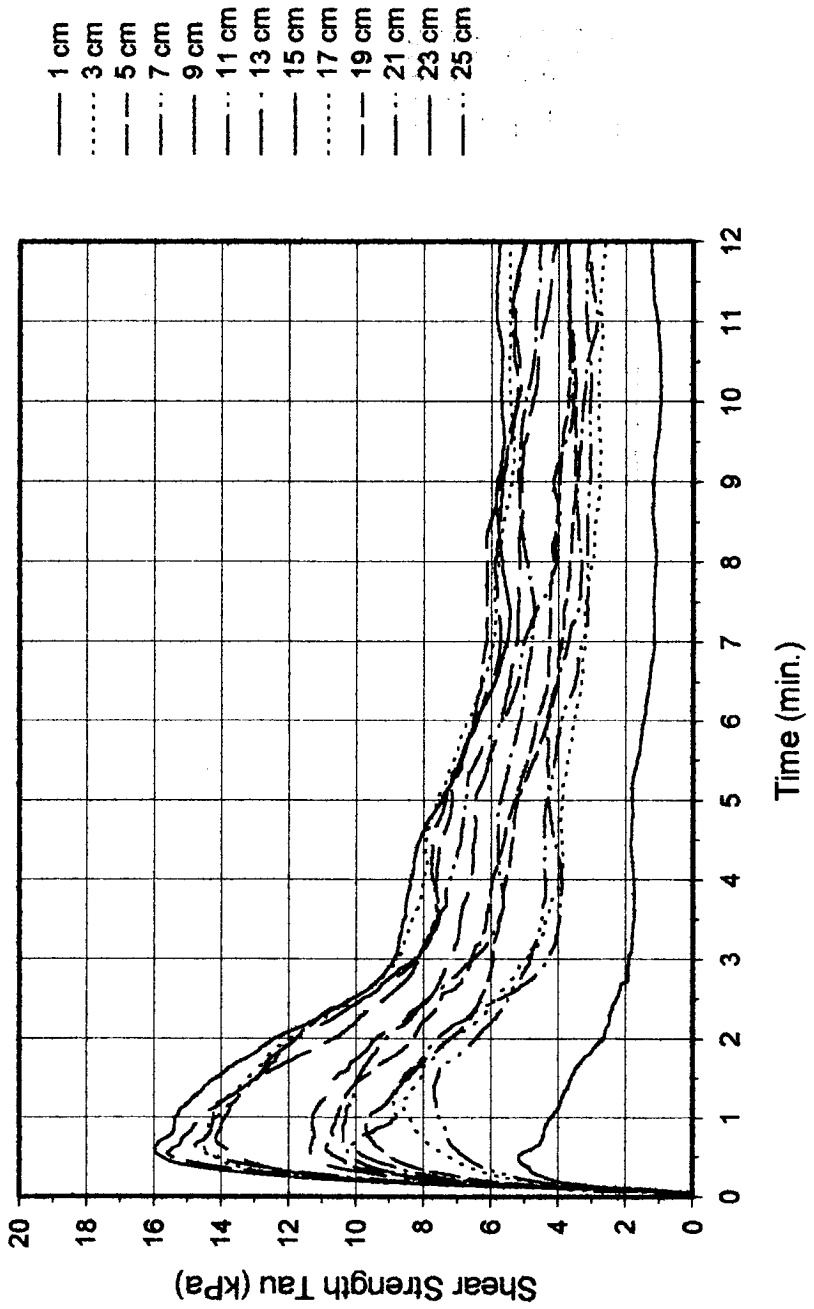




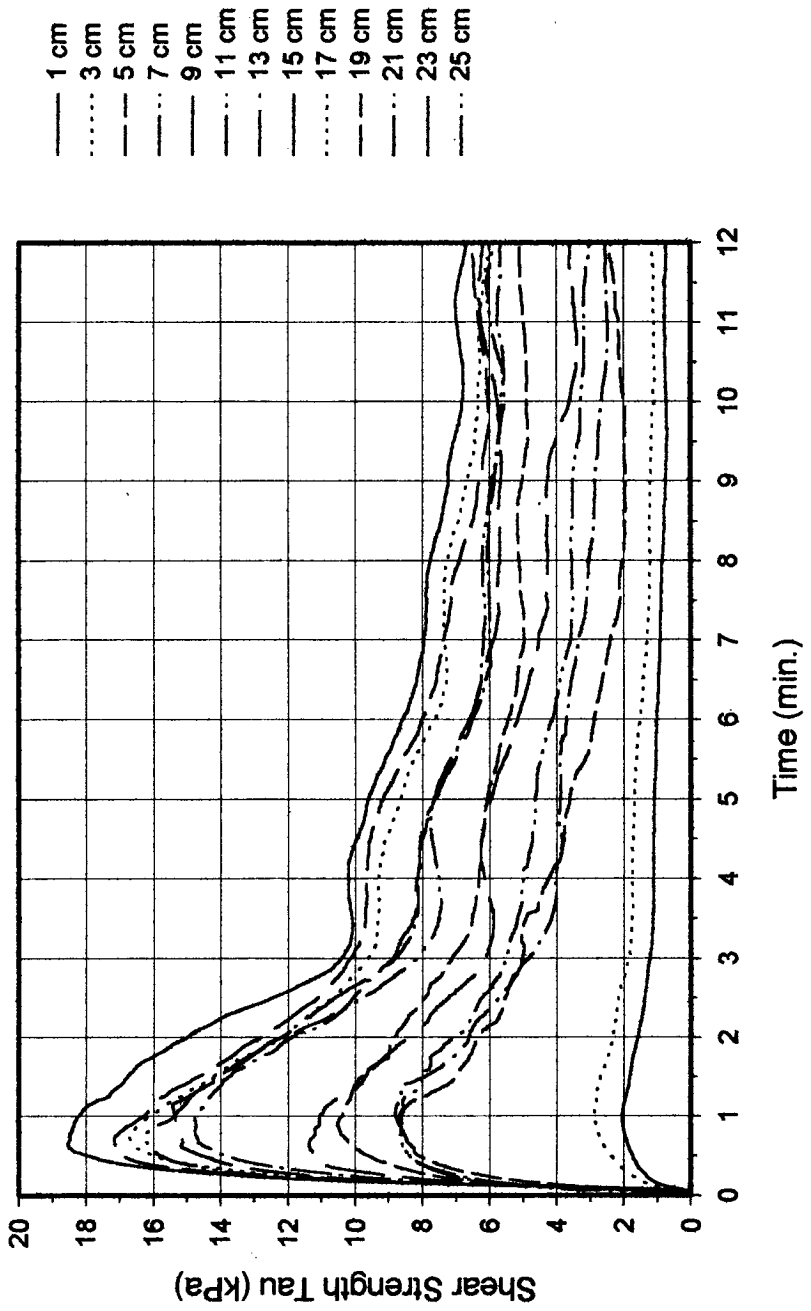
KODOS 97-2, I-zone, St. 03  
 Multiple Core Sample (Hole 2)



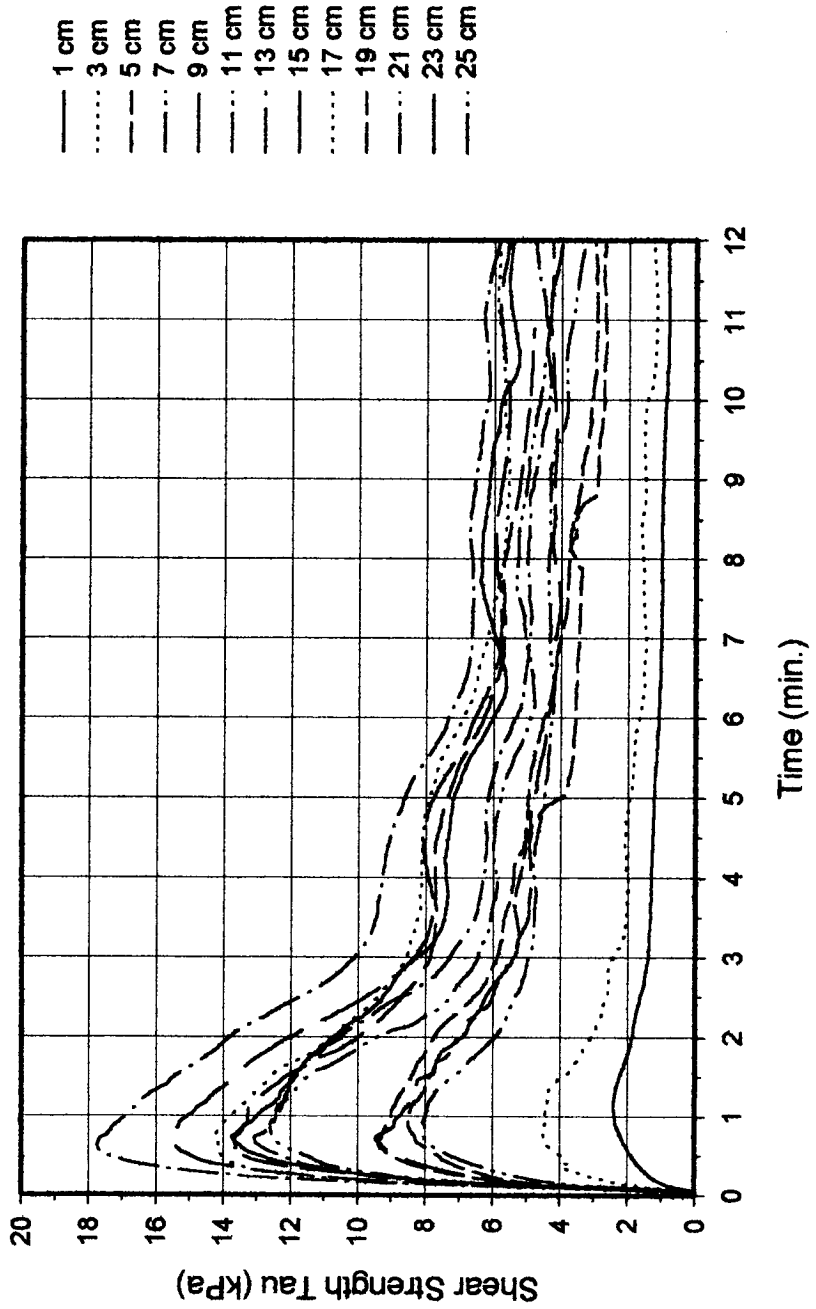
KODOS 97-2, I-zone, St. 05  
 Box Core Sample (Hole 1)



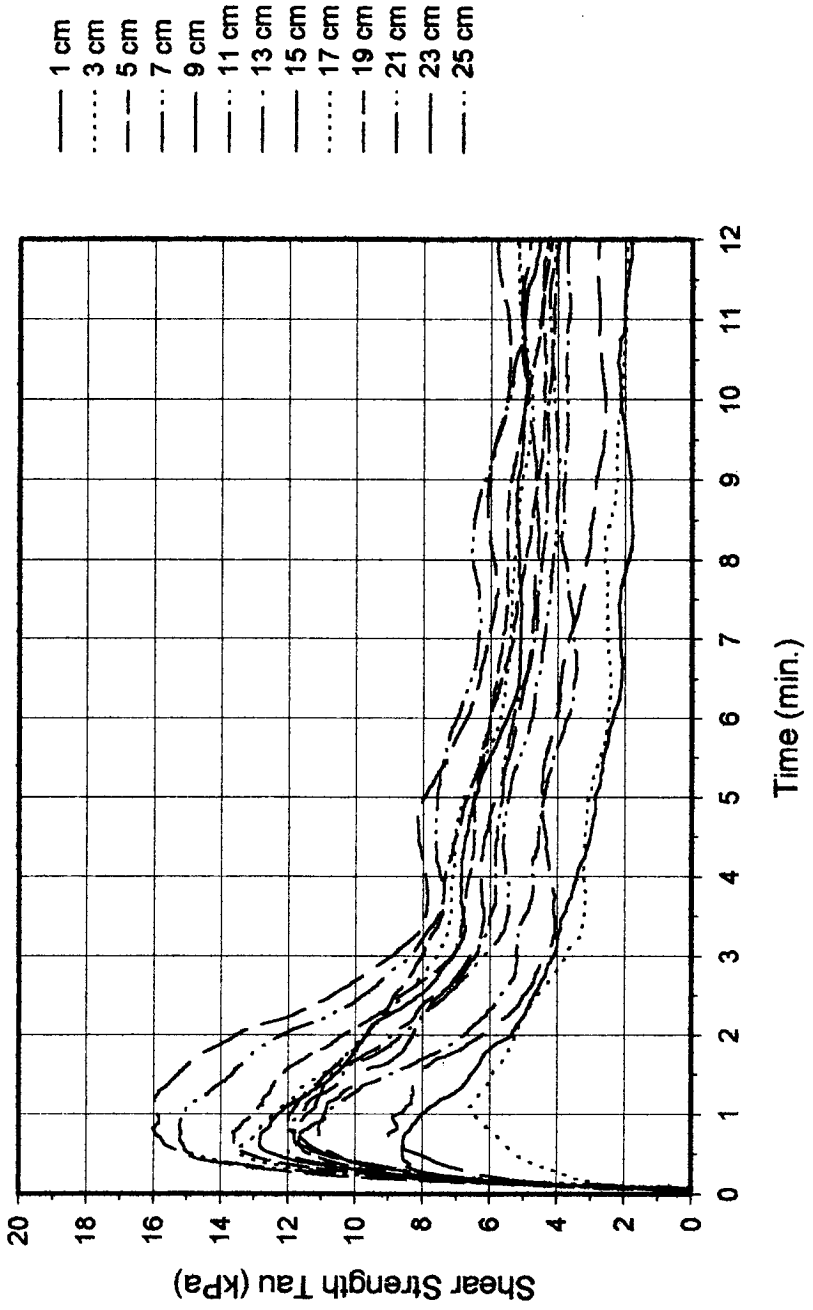
KODOS 97-2, I-zone, St. 05  
Box Core Sample (Hole 2)



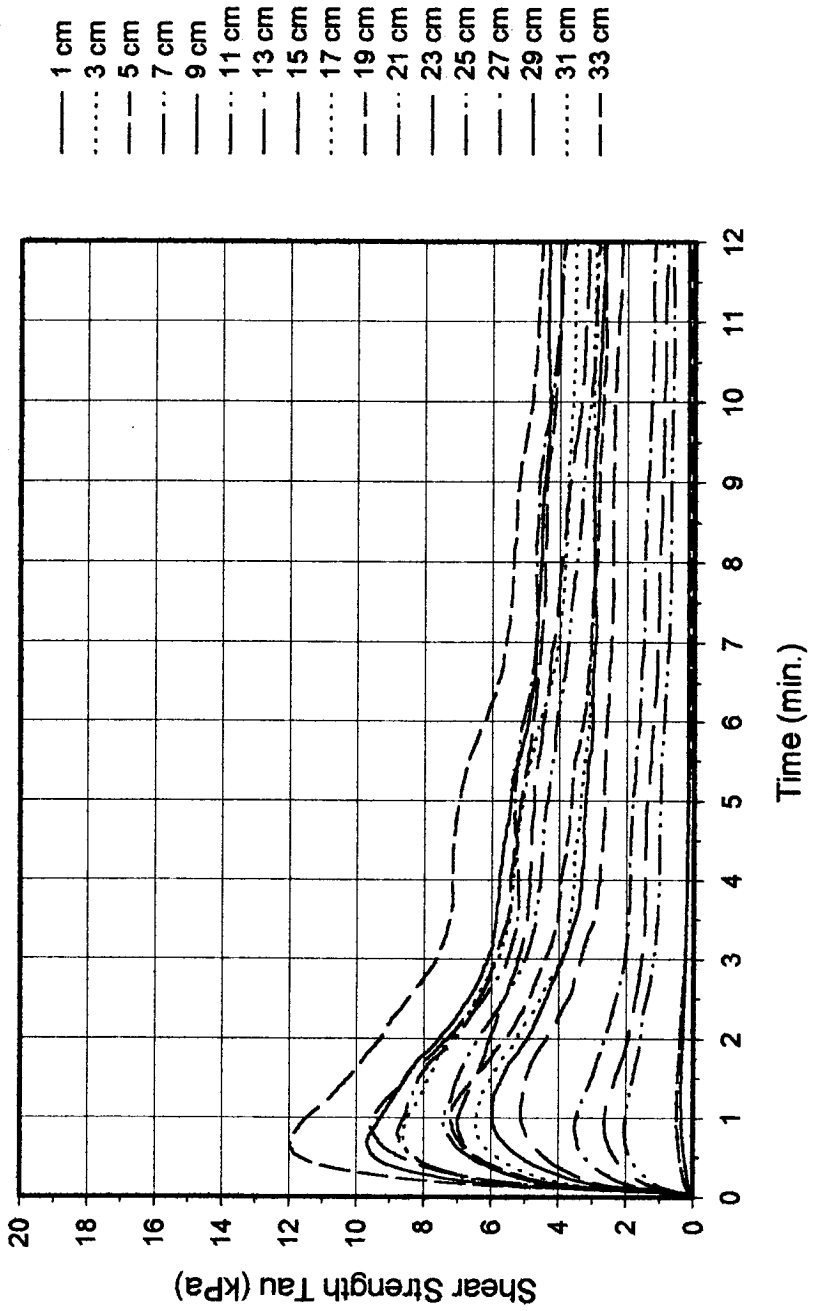
KODOS 97-2, l-zone, St. 05  
 Box Core Sample (Hole 3)



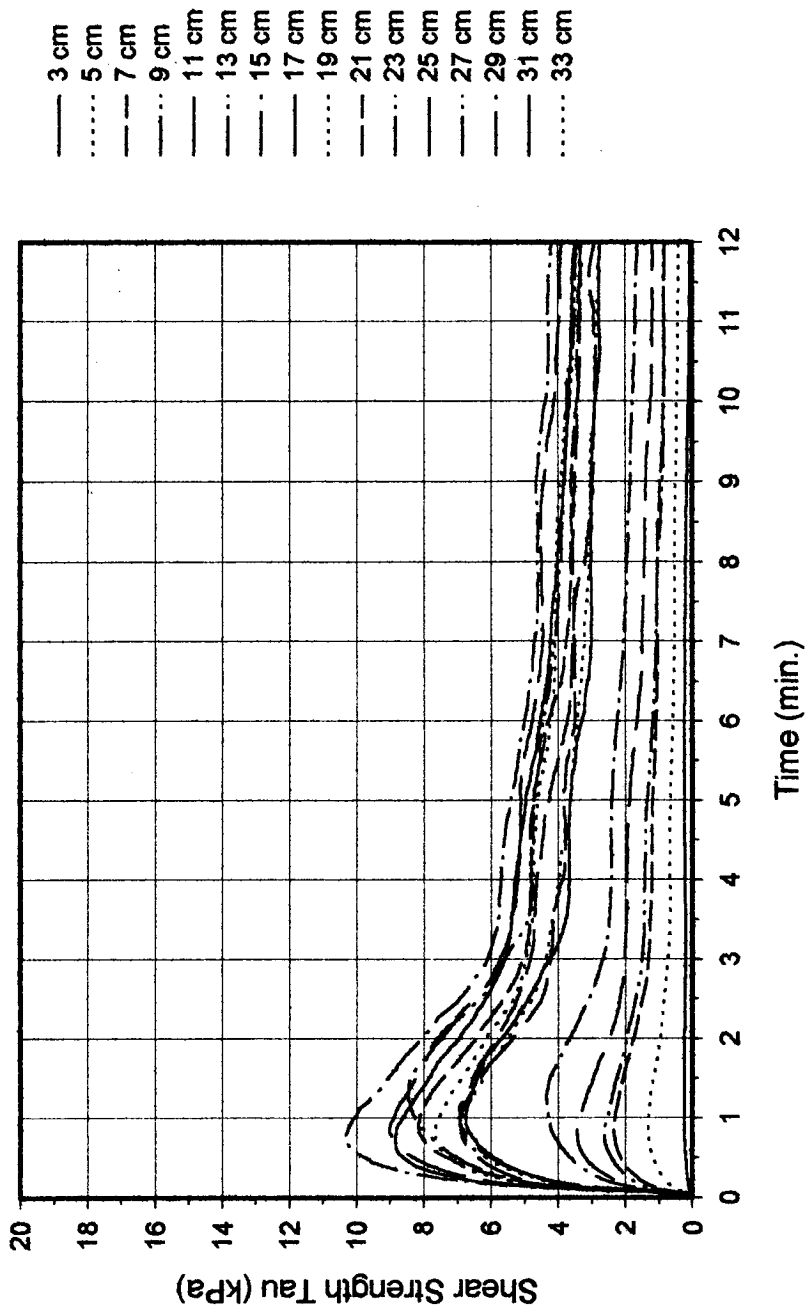
KODOS 97-2, I-zone, St. 05  
Box Core Sample (Hole 4)



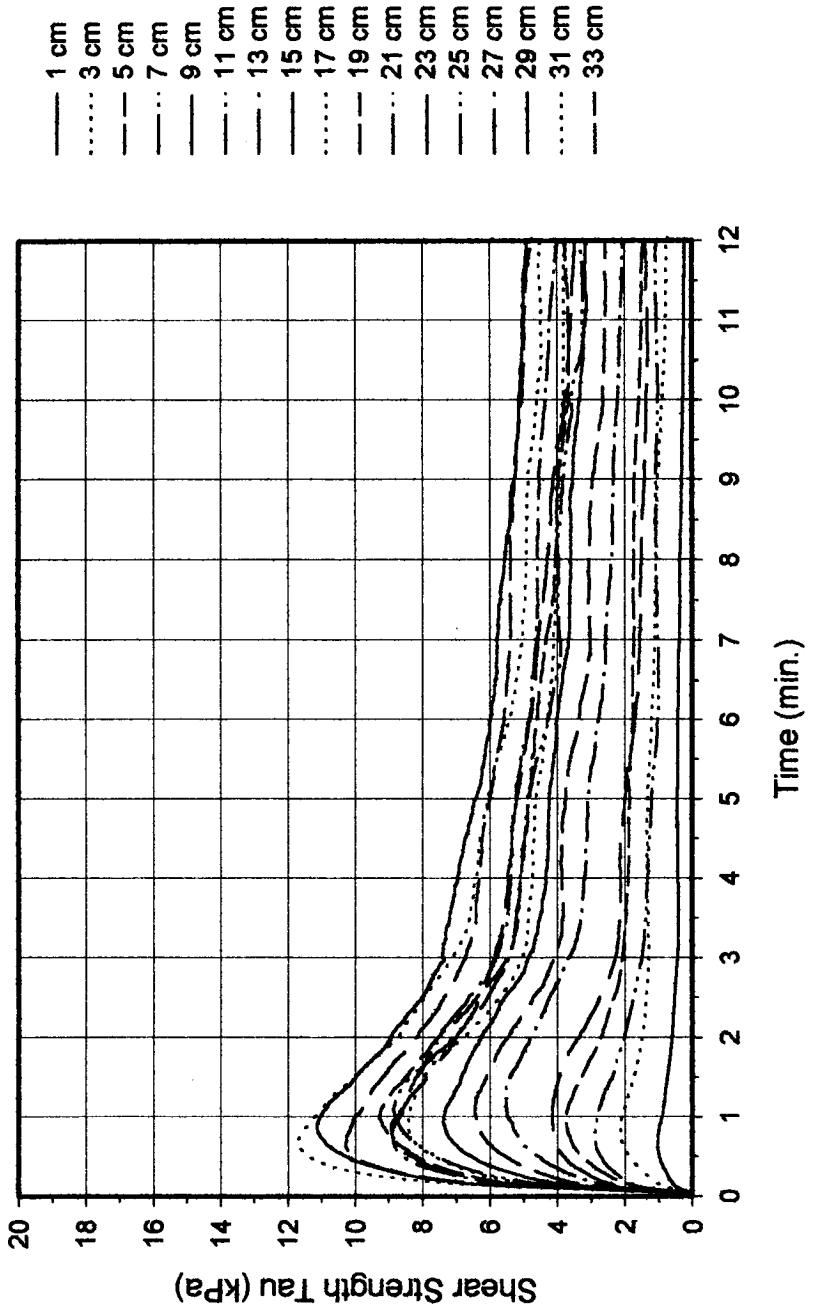
**KODOS 97-2, I-zone, St. 15  
Multiple Core Sample (Hole 1)**



KODOS 97-2, I-zone, St. 15  
 Multiple Core Sample (Hole 2)

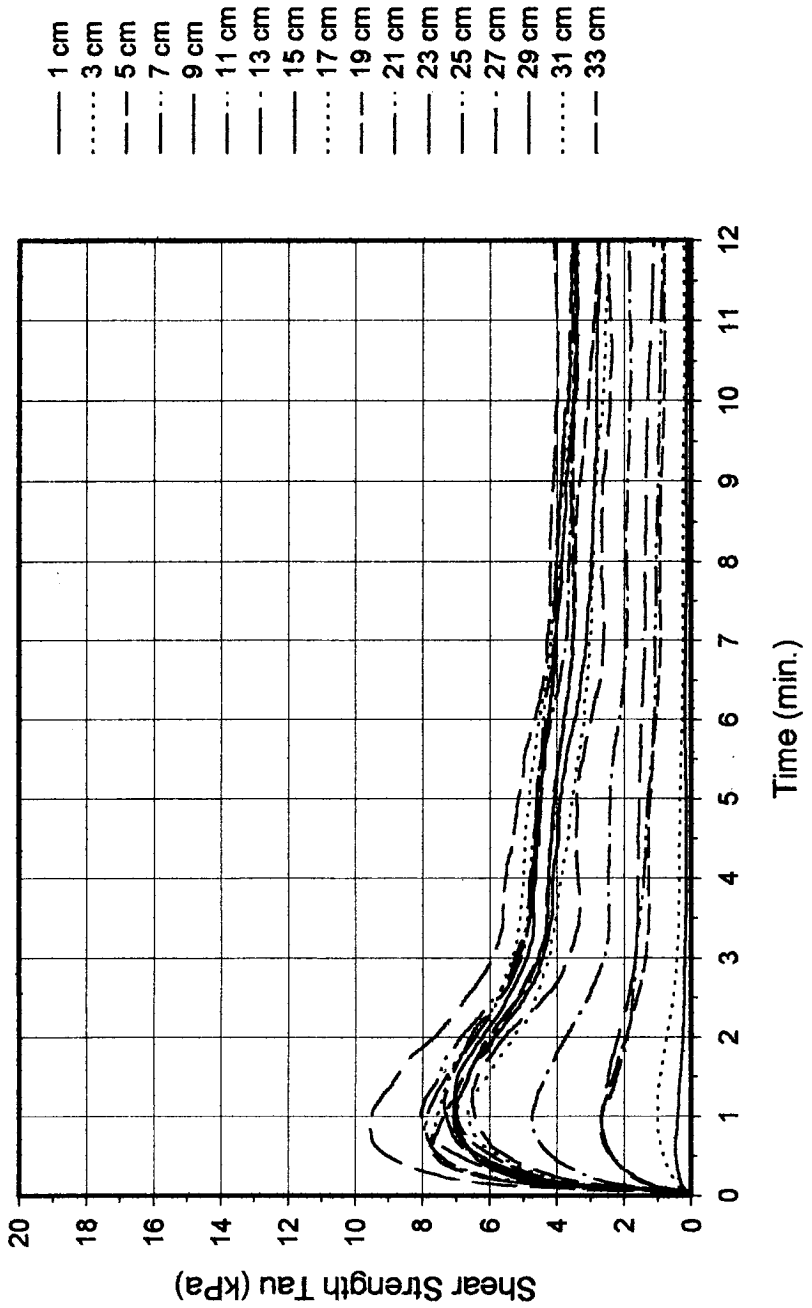


KODOS 97-2, I-zone, St. 15  
Multiple Core Sample (Hole 3)

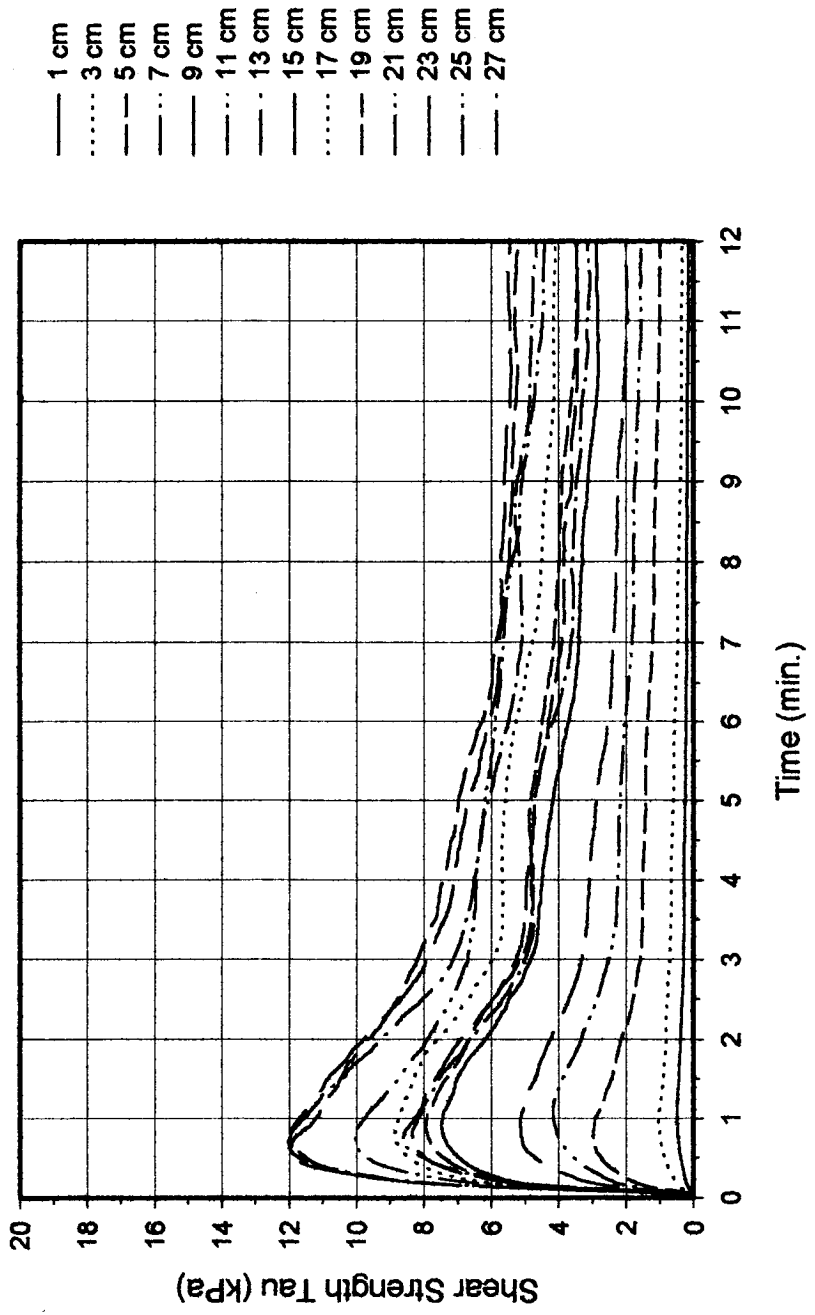




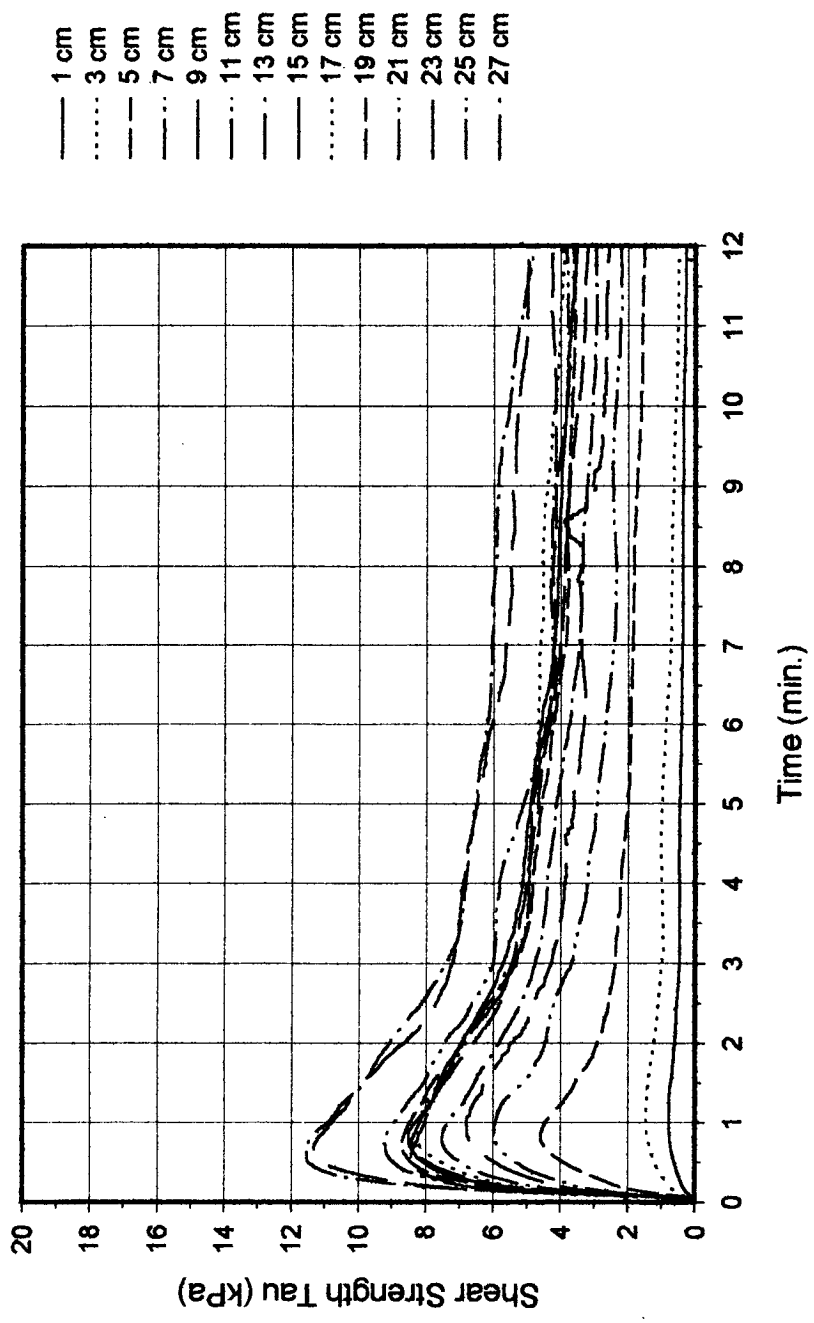
KODOS 97-2, I-zone, St. 15  
Multiple Core Sample (Hole 4)



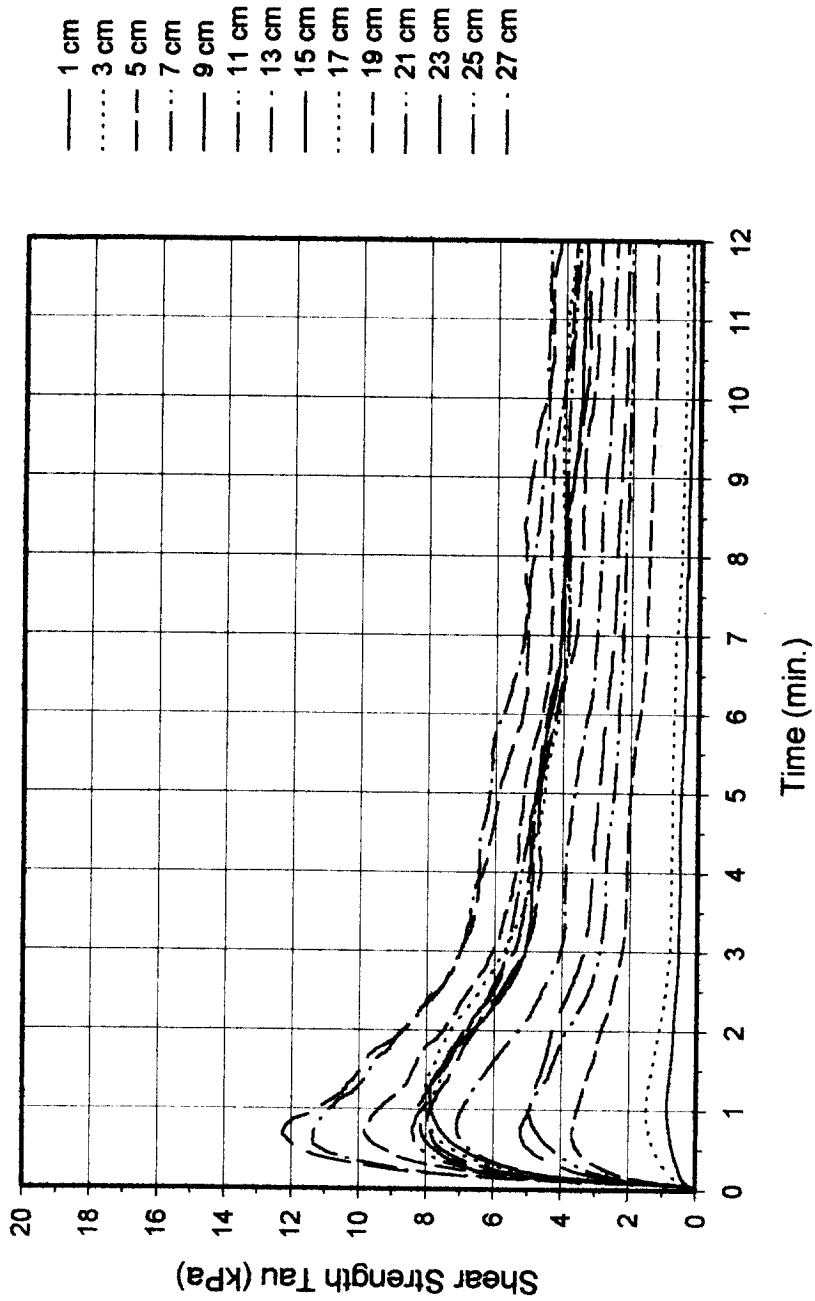
**KODOS 97-2, I-zone, St. 23  
Multiple Core Sample (Hole 1)**



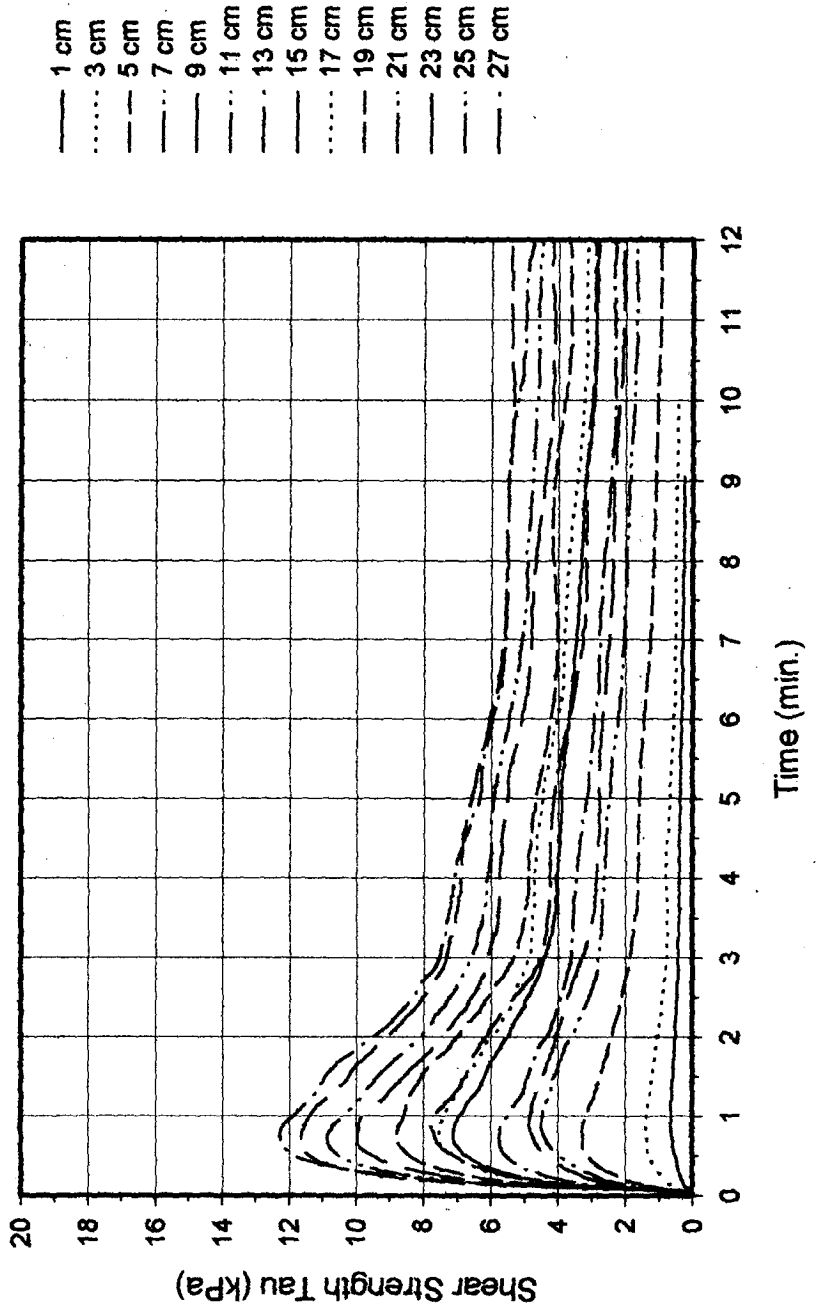
**KODOS 97-2, I-zone, St. 23  
Multiple Core Sample (Hole 2)**



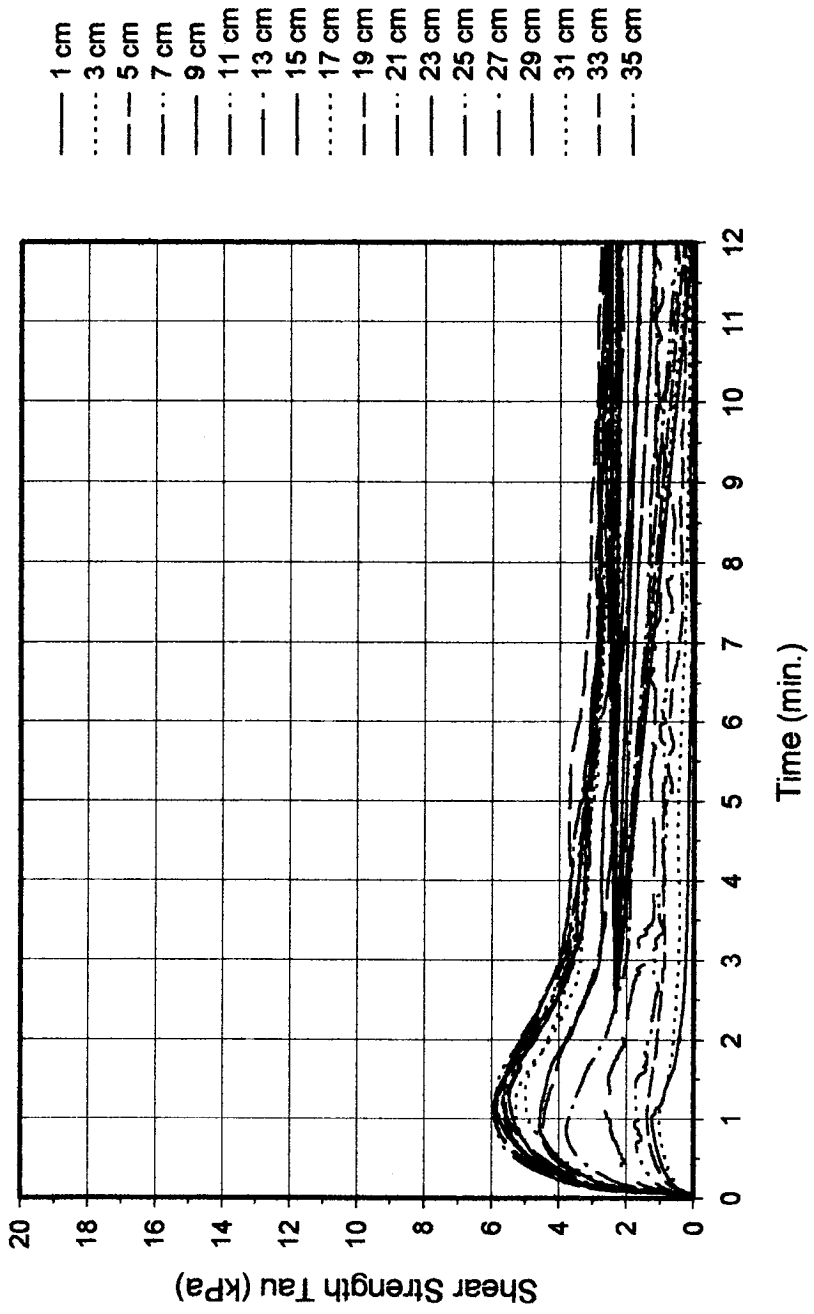
KODOS 97-2, I-zone, St. 23  
Multiple Core Sample (Hole 3)



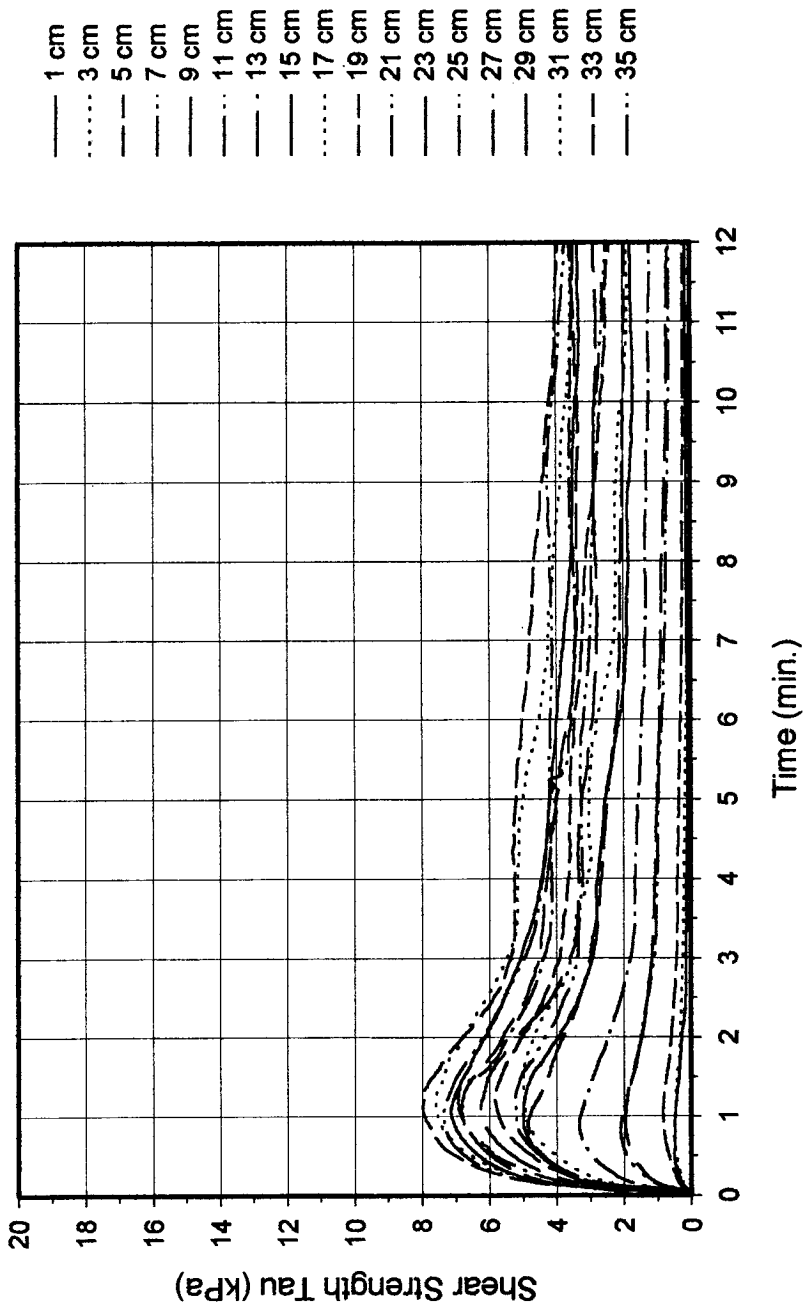
**KODOS 97-2, I-zone, St. 23  
Multiple Core Sample (Hole 4)**



KODOS 97-2, I-zone, St. 25  
Multiple Core Sample (Hole 2)



KODOS 97-2, I-zone, St. 25  
 Multiple Core Sample (Hole 1)





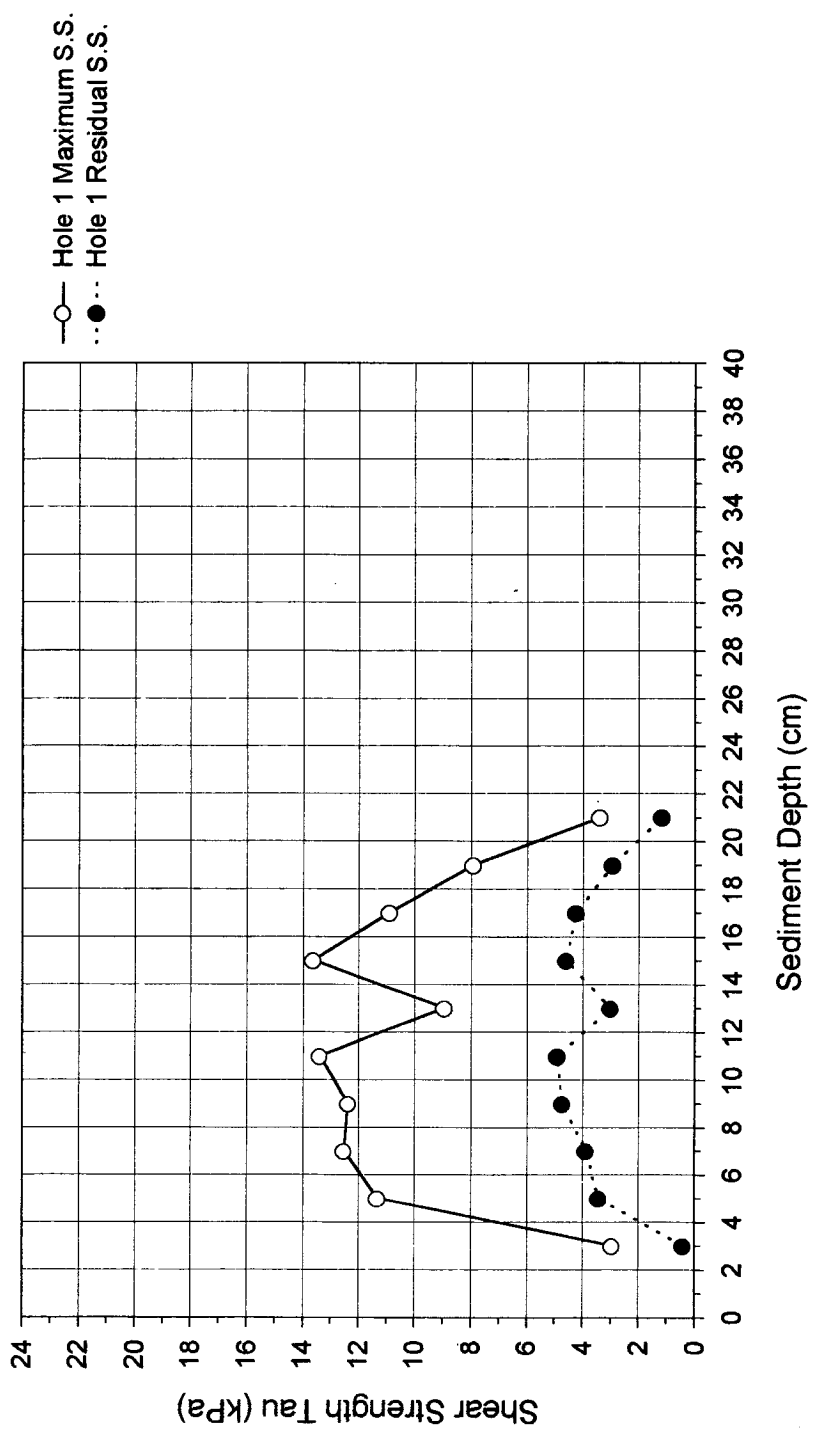


## **Appendix 4-2**

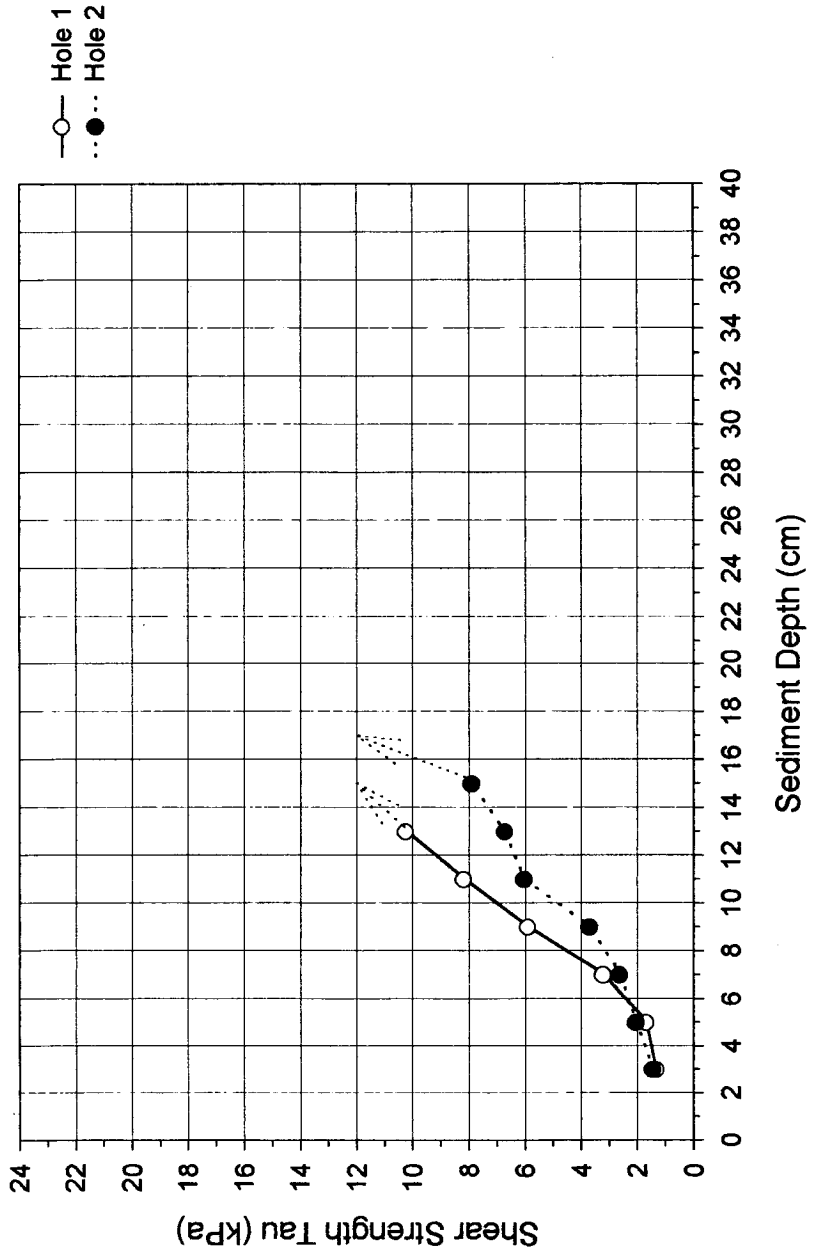
Maximum and residual shear strength profiles of selected sediment depth, measured by motorized vane system and hand-held vane on board and in laboratory.



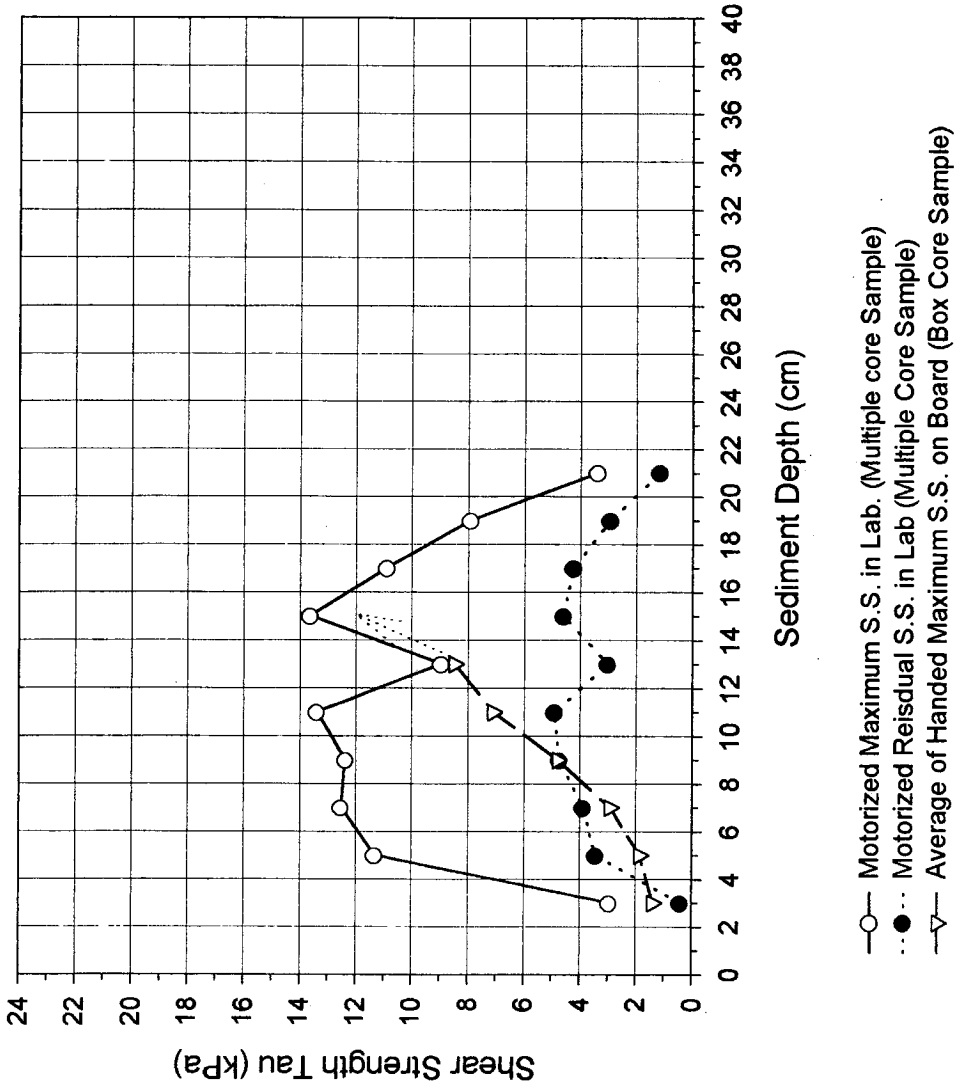
KODOS 97-2, I-zone, St. 01, Motorized Shear Vane  
 Multiple Core Sample (in Lab. Test)



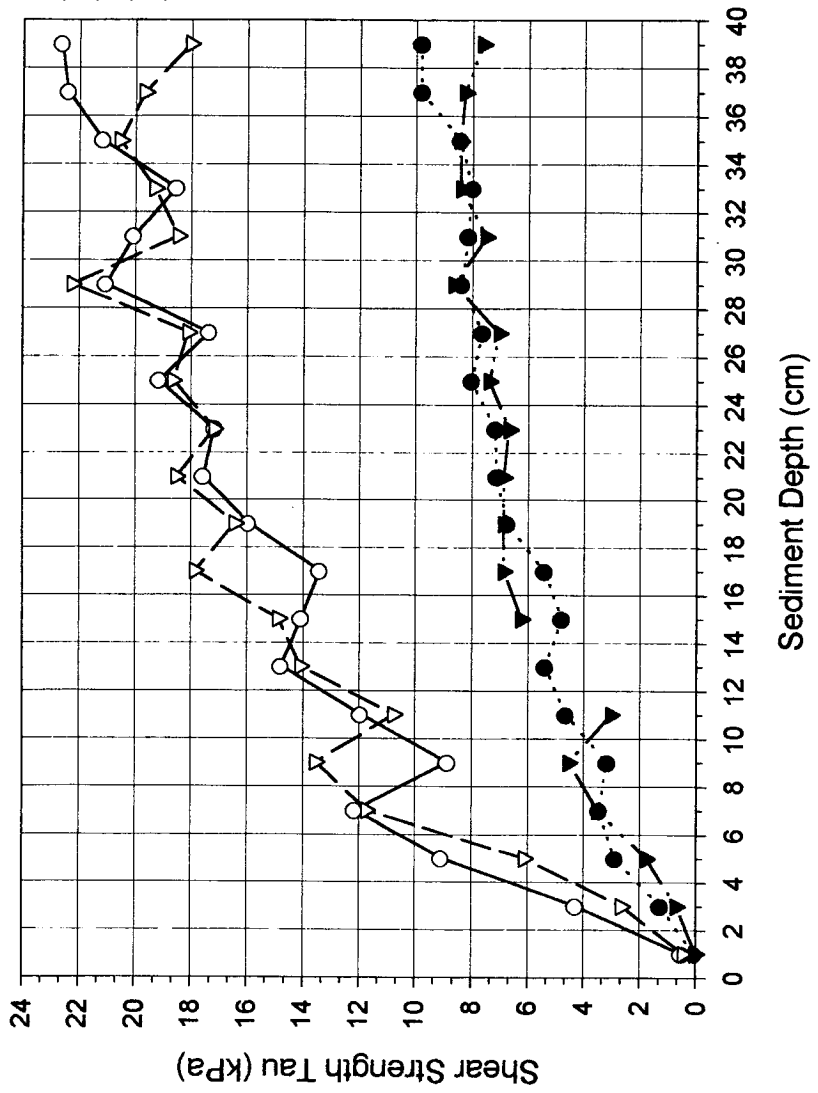
KODOS 97-2, I-zone, St. 01, Hand Shear Vane  
Box Core Sample (on Board Test)



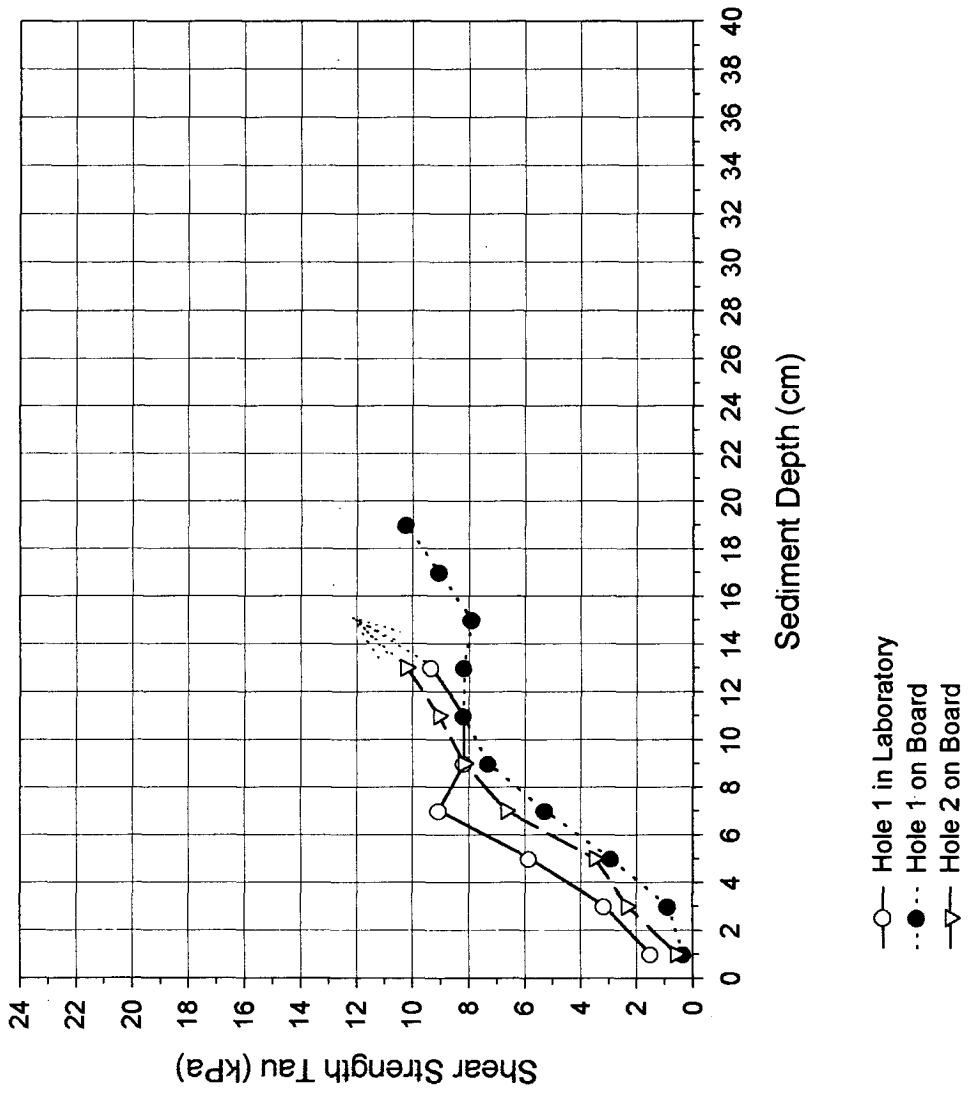
KODOS 97-2, I-zone, St. 01  
 Box & Multiple Core Sample



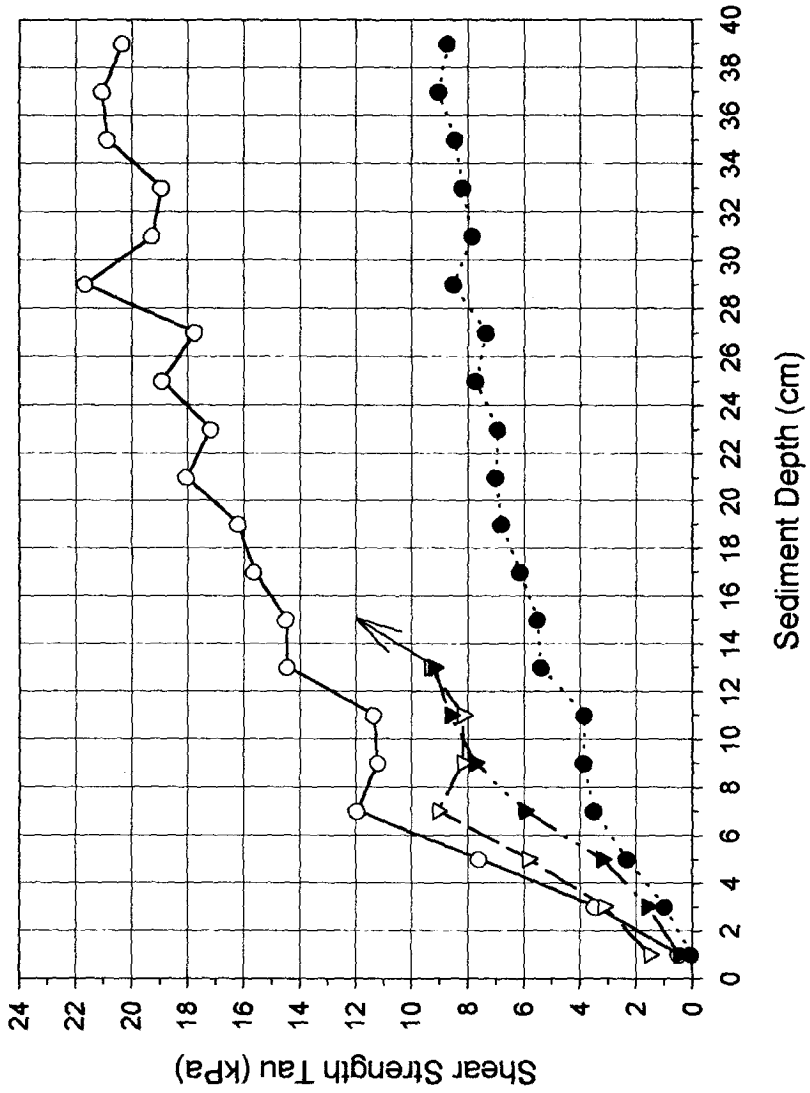
KODOS 97-2, I-zone, St. 03, Motorized Shear Vane  
 Box Core Sample (in Lab. Test)



KODOS 97-2, I-zone, St. 03, Hand Shear Vane  
Box Core Sample



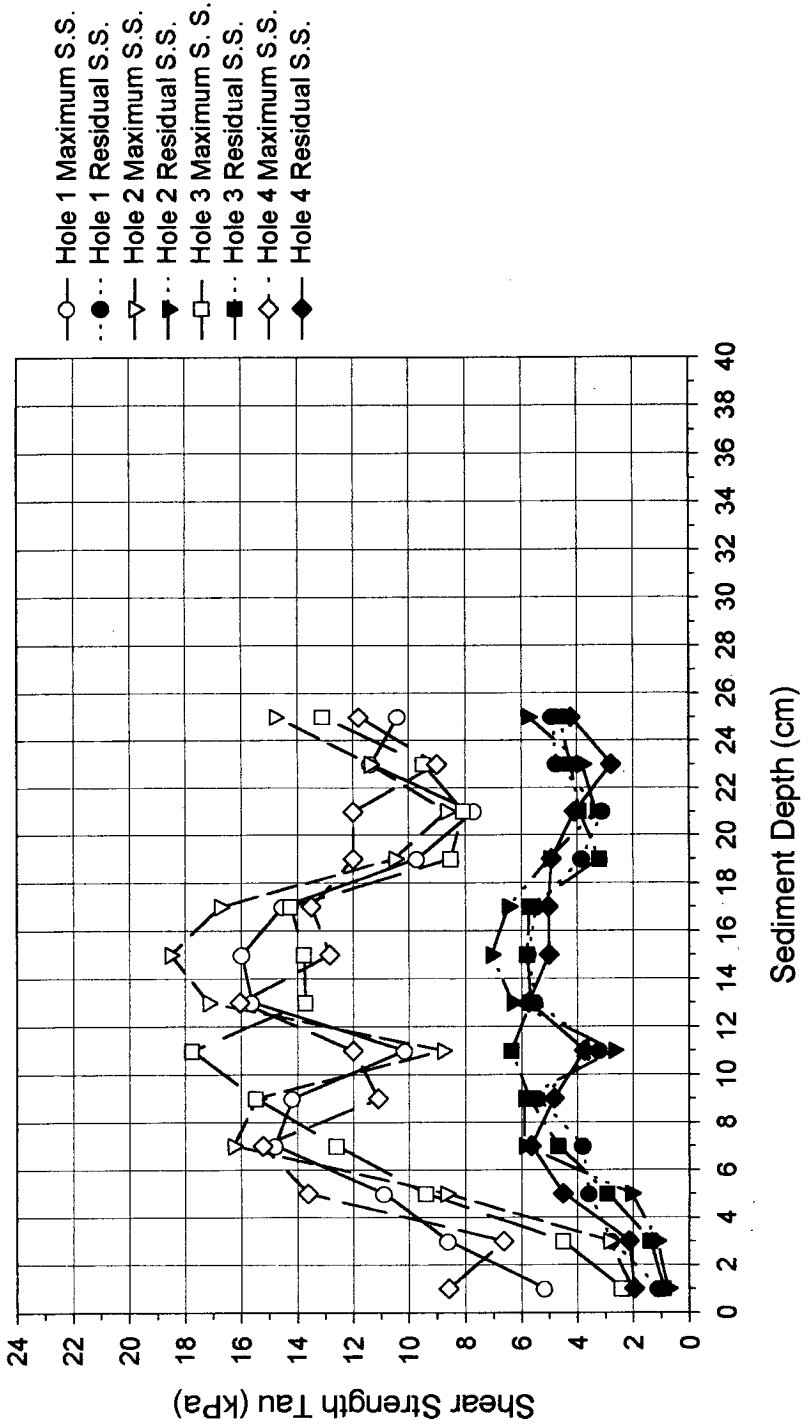
KODOS 97-2, l-zone, St. 03  
Box Core Sample



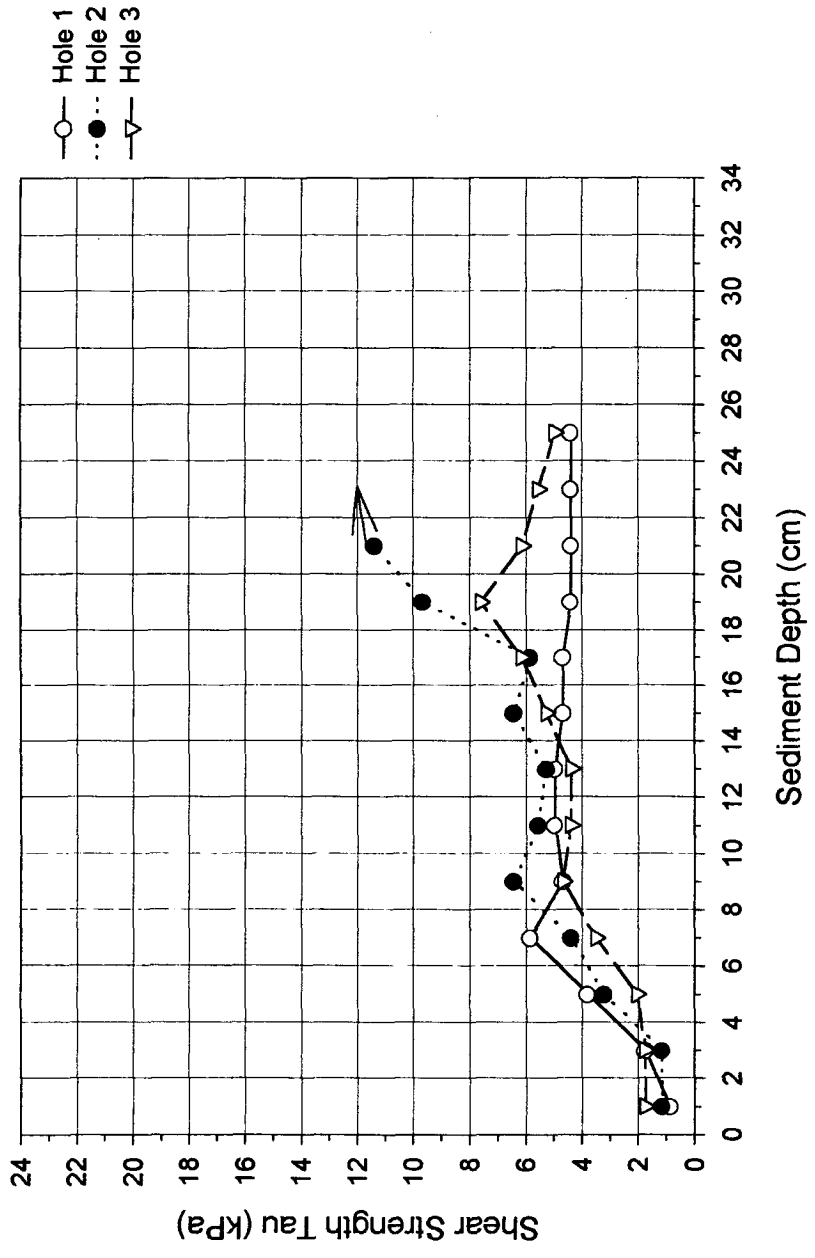
- Average of Motorized Maximum S.S. in Lab.
- ... Average of Motorized Residual S.S. in Lab.
- △— Handed Maximum S.S. in Lab.
- ▲... Handed Maximum S.S. on Board



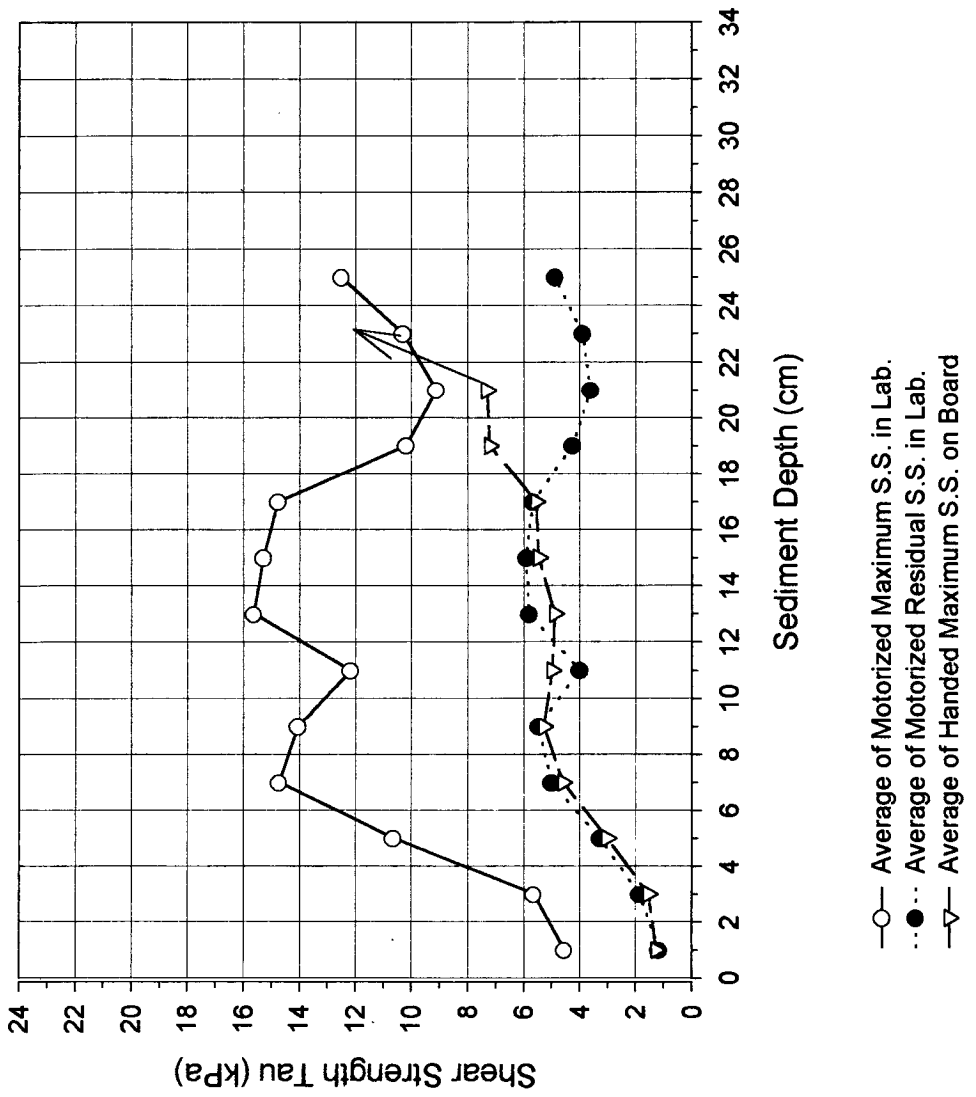
KODOS 97-2, I-zone, St. 5, Motorized Shear Vane  
 Box Core Sample (in Lab. Test)



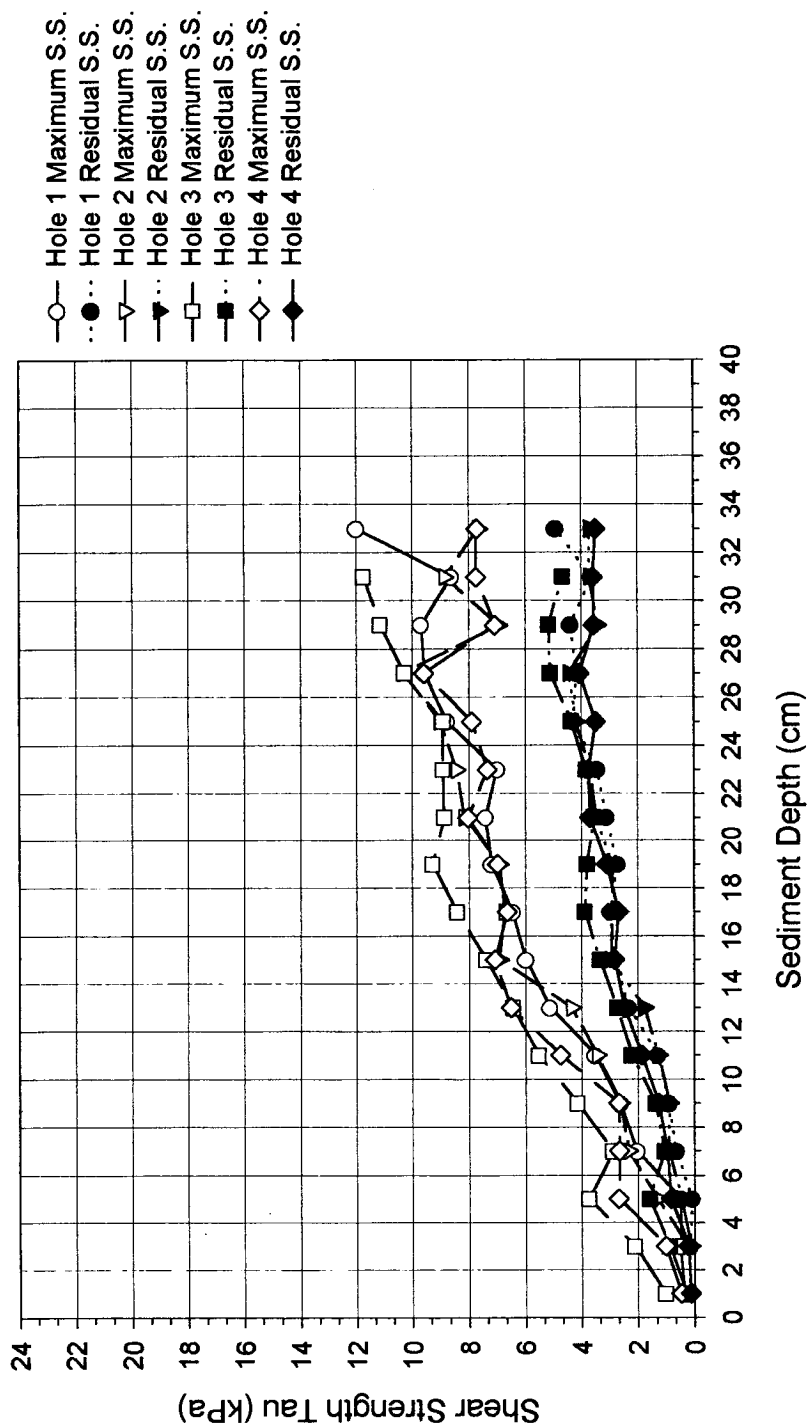
KODOS 97-2; I-zone, St. 5, Hand Shear Vane  
 Multiple Core Sample (on Board Test)



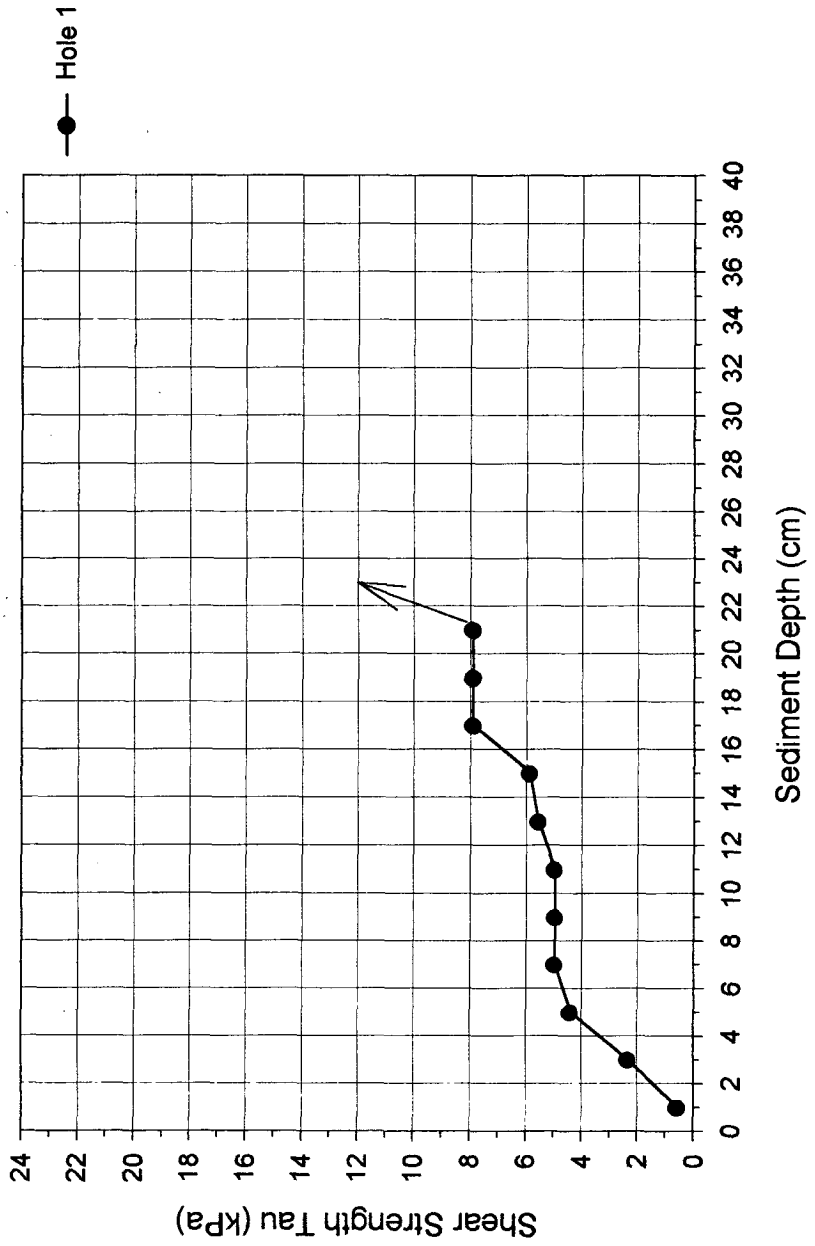
KODOS 97-2, I-zone, St. 05  
 Box & Multiple Core Sample



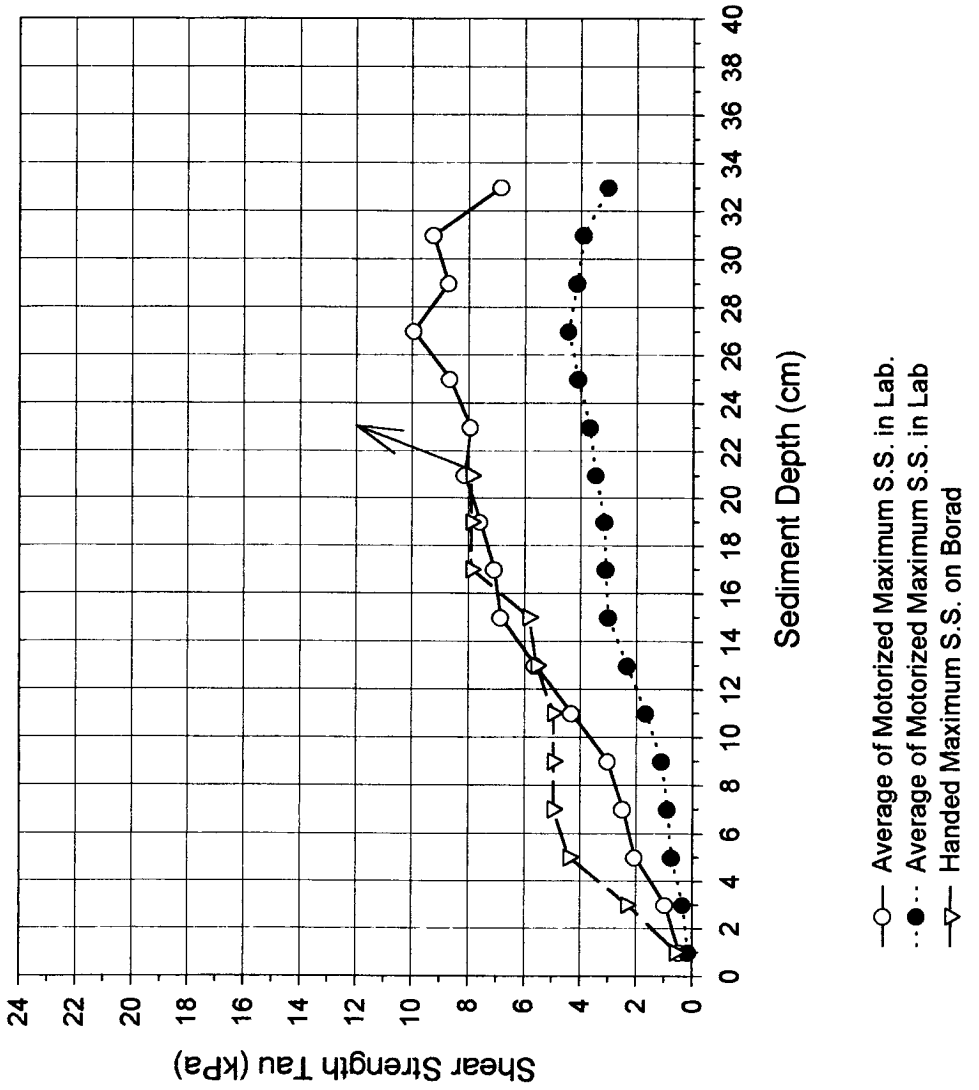
KODOS 97-2, I-zone, St. 15, Motorized Shear Vane  
Multiple Core Sample (in Lab. Test)



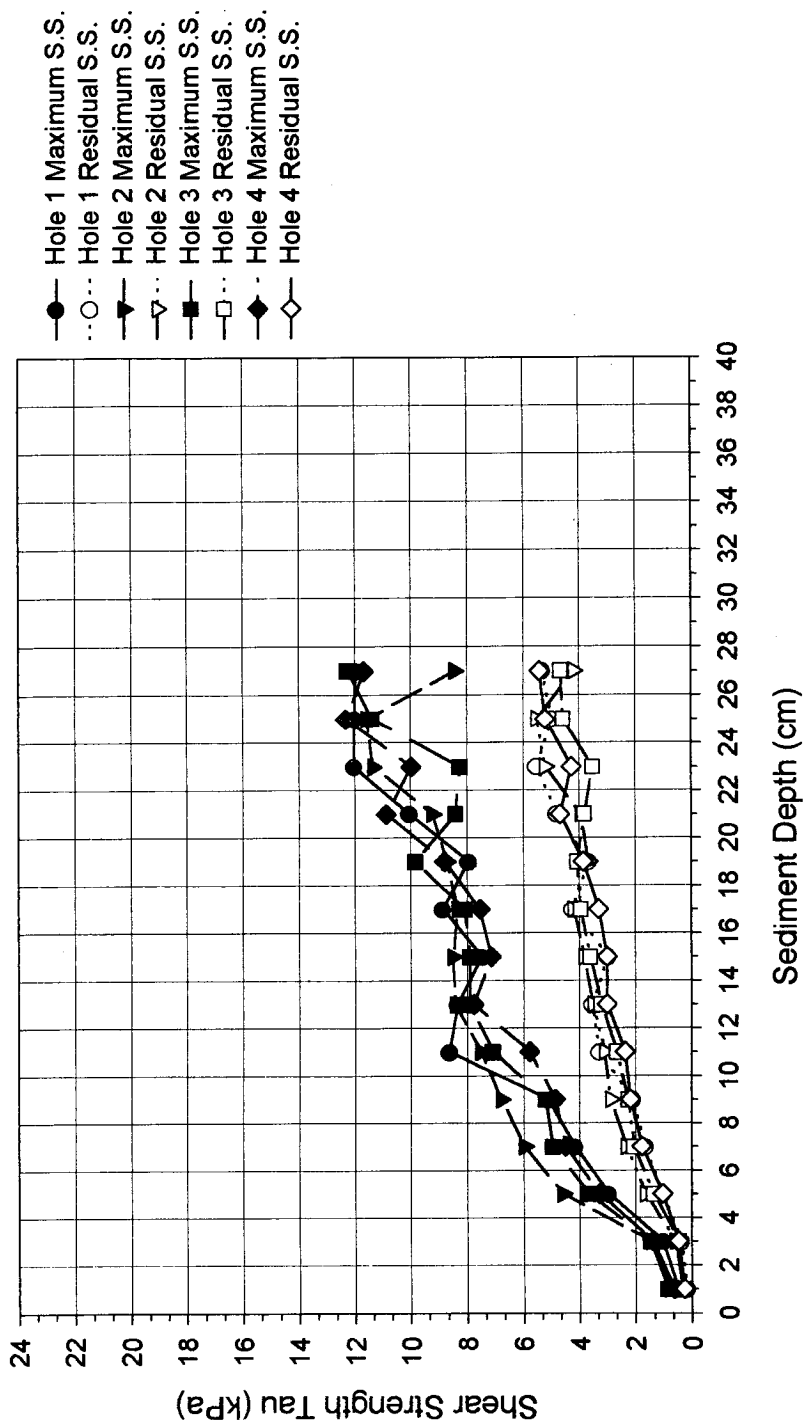
KODOS 97-2, I-zone, St. 15, Hand Shear Vane  
Multiple Core Sample (on Board Test)



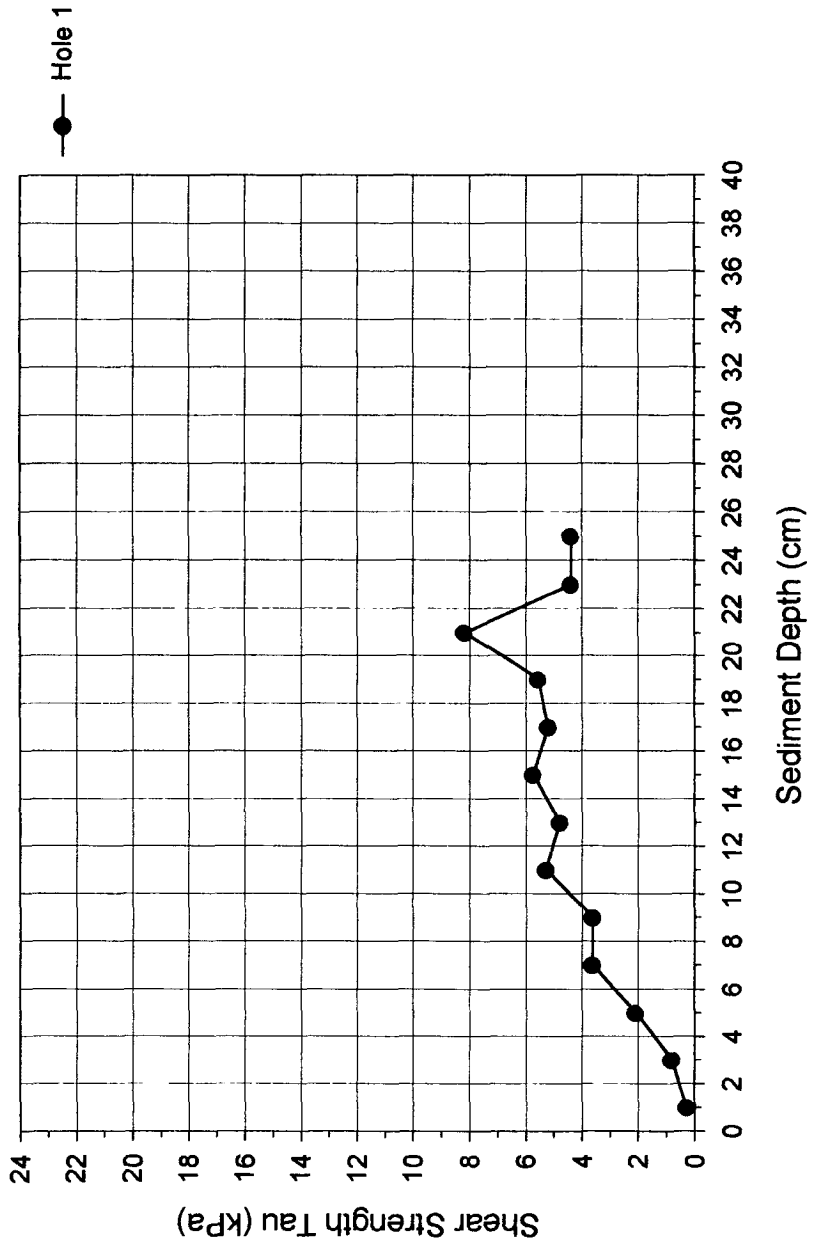
KODOS 97-2, I-zone, St. 15  
Multiple Core Sample



KODOS 97-2, I-zone, St. 23, Motorized Shear Vane  
Multiple Core Sample (in Lab. Test)

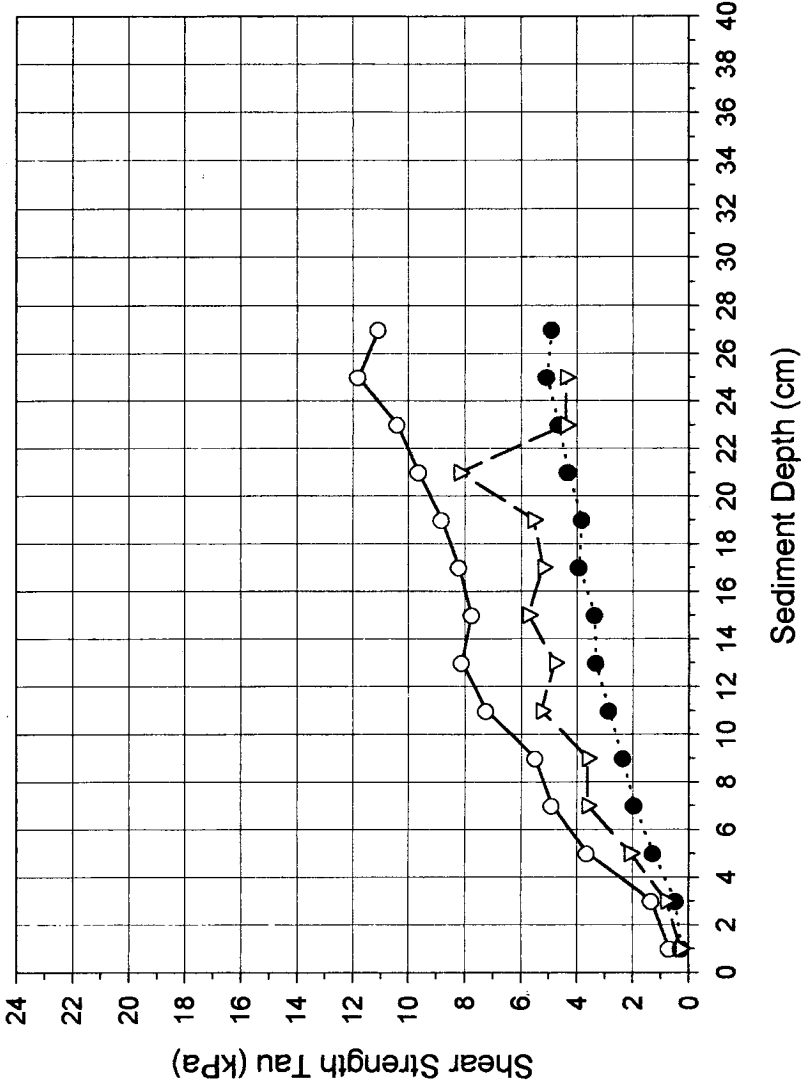


KODOS 97-2, I-zone, St. 23, Hand Shear Vane  
Multiple Core Sample (on Board Test)



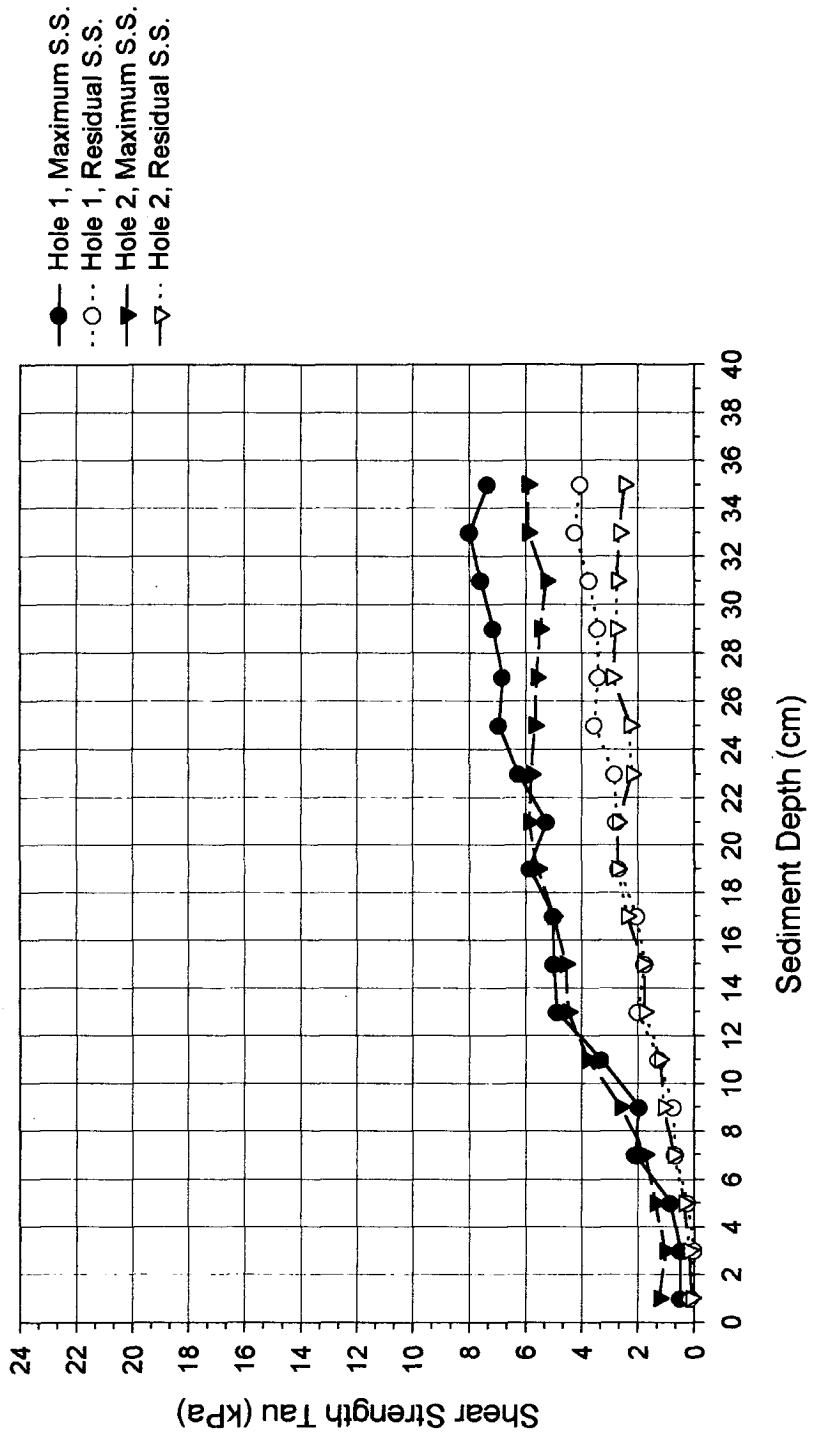


KODOS 97-2, I-zone, St. 23  
Multiple Core Sample

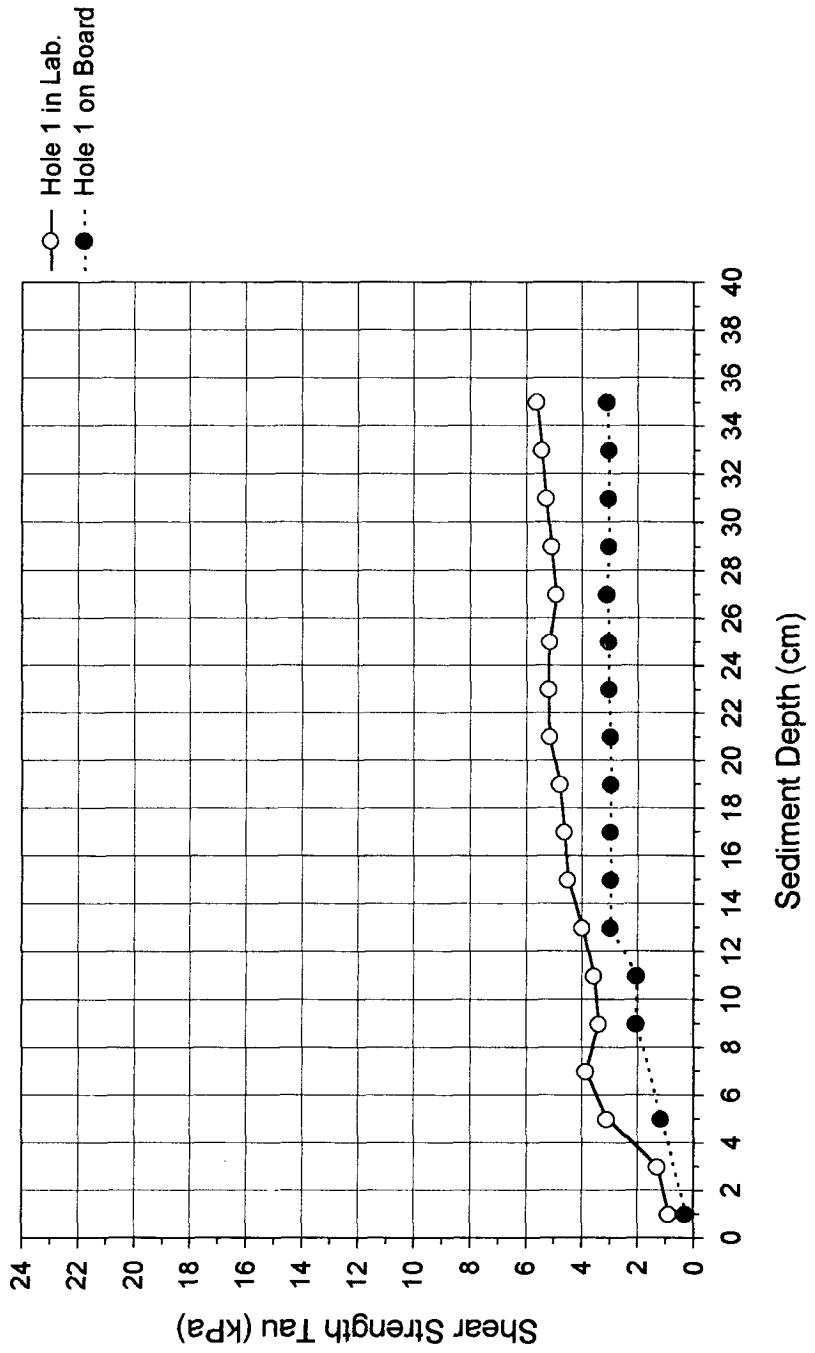


- Average of Motorized Maximum S.S. in Lab.
- Average of Motorized Residual S.S. in Lab.
- ▽ Handed Maximum S.S. on Board

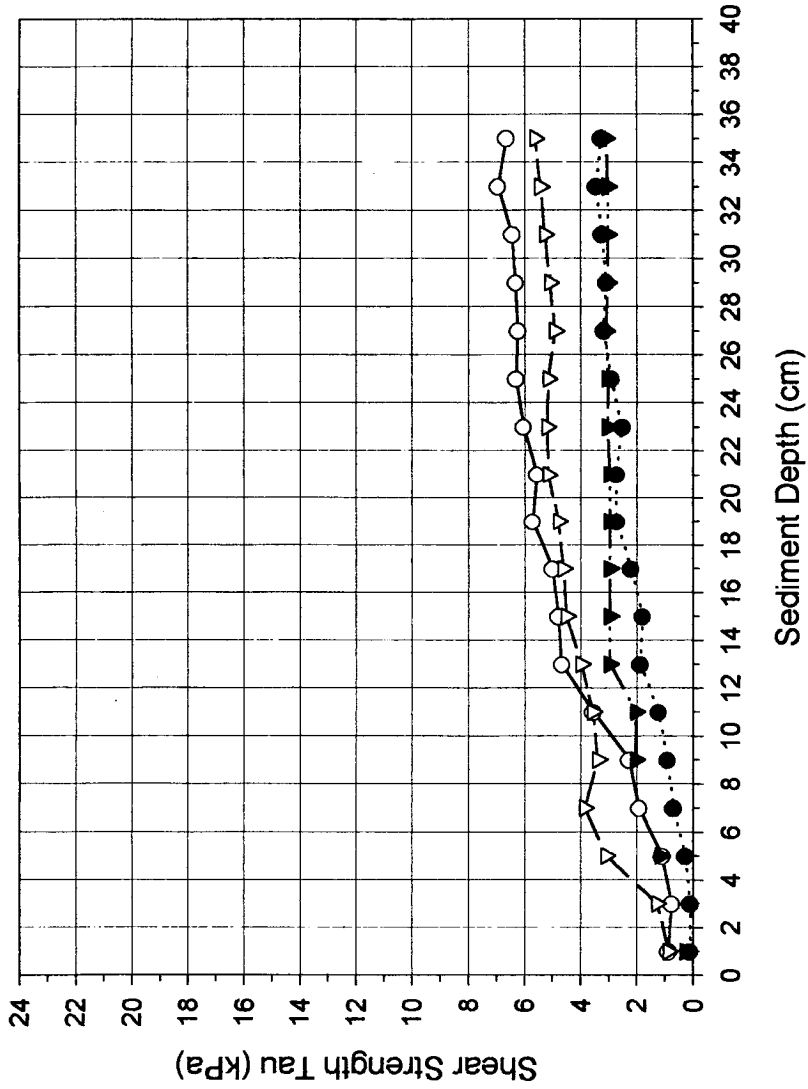
KODOS 97-2, I-zone, St. 25, Motorized Shear Vane  
 Multiple Core Sample (in Lab. Test)



KODOS 97-2, I-zone, St. 25, Hand Shear Vane  
Multiple Core Sample



KODOS 97-2, I-zone, St. 25  
Multiple Core Sample



- Average of Motorized Maximum S.S. in Lab.
- ... Average of Motorized Residual S.S. in Lab.
- △— Handed maximum S.S. in Lab.
- ▼... Handed Maximum S.S. on Board

Table 4-1. Already reported vane shear apparatus, rotation speed (shear rate) and user

	Apparatus	User and Reference	Vane Size (D×H, cm)	Rotation Rate (°/min)
1	Diver-held vane shear apparatus	Dill and Moore, 1965	1.91×1.91	-
2	Lockheed hand-held vane	Simson et al., 1977	2.50×2.50	approximately 180
3	Potable hand-held vane	① Tsurusaki & Hirota, 1977 ② Lee et al., 1987 ③ KORDI, 1997	①: 2.00×4.00 ②: 2.00×4.00 ③: 2.00×2.00	①: 720 ②: 60 ③: approximately 180
4	Miniature hand vane	Chassefiere & Monaco, 1987	unknown	approximately 6
5	Pilcon hand vane tester	Chassefiere & Monaco, 1987	unknown	approximately 6
6	Diversified Marine Corporation (D.M.C.) motorized vane system	Simson et al., 1977	1.25×1.25	48
7	Motorized miniature vane shear a. calibrated spring units b. electrical torque transducer	ASTM, 1980	1.27×1.27 1.27×2.54 2.54×2.54	60~90
8	Wykeham-Farrance motorized vane-shear apparatus	① Monney, 1974 ② Johnson et al., 1977 ③ Reasoner & Hein, 1984 ④ Hein, 1985 ⑤ Lambert et al., 1980 ⑥ Lambert et al., 1985 ⑦ Chassefiere & Monaco, 1987 ⑧ Busch and Keller, 1981	①, ④: 1.25×1.25 ②: 2.50×2.50 ③, ⑤: 1.27×1.27 ⑤, ⑥: 1.27×2.54 ⑦: unknown ⑧: 1.20×1.90	①, ⑦: 6 ②: 23 ③: 90 ④: 1~90 ⑤, ⑧: 60 ⑥: 70
9	U. S. Naval Civil Engineering Laboratory (NCEL) miniature vane shear device	① Lee, 1971 ② Rocker, 1972 ③ Inderbitzen, 1970 ④ Noorany, 1985	①, ④: 1.27×1.27 ②: 1.04×1.27 ③: unknown ④: 1.27×2.54 ④: 2.54×2.54	①: 83.0 ②: 8.3 ③, ④: 6.0 ④: 60~90
10	Motorized vane with electronic torque cell	Baraza et al., 1990	1.27×1.27	90
11	Haake motorized shear vane with calibrated spring units	Simson et al., 1977	1.00×1.00	360
12	Haake motorized shear vane with electrical torque transducer	KORDI, 1997	1.00×0.88	30
13	Unknown vane-shear apparatus	① Bachan et al., 1972 ② Baraza et al., 1992 ③ Bennett and Keller, 1970	①: 1.27×1.27 ②: 1.48×1.48 ③: 1.30×2.54	①: 12 ②: approximately 90 ③: unknown

Table 4-2. Water depth, corer, length of sediment, vane shear apparatus, measuring times, and test place in each sampling sites

Station Number	Water Depth (meter)	Corer	Core Length (cm)	Instruments	Times	Places
St. 01	4,953	Multiple Corer	22	Motorized Vane	1	in Laboratory
		Box Corer	39	Hand Vane	2	on Board
St. 03	4,976	Box Corer	41	Motorized Vane	2	in Laboratory
				Hand Vane	1	in Laboratory
				Hand Vane	2	on Board
St. 05	4,923	Box Corer	25	Motorized Vane	4	in Laboratory
	4,924	Multiple Corer	27	Hand Vane	1	on Board
St. 15	5,044	Multiple Corer	35	Motorized Vane	4	in Laboratory
				Hand Vane	1	on Board
St. 23	4,855	Multiple Corer	30	Motorized Vane	4	in Laboratory
				Hand Vane	1	on Board
St. 25	4,848	Multiple Corer	36	Motorized Vane	2	in Laboratory
				Hand Vane	1	in Laboratory
				Hand Vane	1	on Board

Table 4-3. Maximum and residual shear strength of sediment, measured by motorized vane system and hand-held vane on board and in laboratory

*Shear Strength of Surface Sediments (KODOS 97-2)*

*Station 01*

Depth (cm)	Multiple Core Sample Motorized Shear Vane (in Laboratory Test)		Box Core Sample Hand Shear Vane (on Board Test)			
	Hole 1		Hole 1	Hole 2	Average	
	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)
1	*	*	0.35	0.35	0.35	0.35
3	2.95	0.42	1.35	1.46	1.41	1.41
5	11.33	3.44	1.70	2.05	1.88	1.88
7	12.53	3.89	3.22	2.63	2.93	2.93
9	12.38	4.74	5.91	3.69	4.80	4.80
11	13.40	4.91	8.19	6.03	7.11	7.11
13	8.96	3.02	10.24	6.73	8.49	8.49
15	13.65	4.60	over r.	7.90	over r.	over r.
17	10.90	4.25				
19	7.93	2.94				
21	3.40	1.18				

Table 4-3. Continued.

Station 25

Depth (cm)	Muntiple Core Sample											
	Motorized Shear Vane (in Laboratory Test)						Hand Shear Vane (on Board Test)					
	Hole 1		Hole 2		Average		Hole 1		Hole 2		Average	
	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)
1	0.51	0.13	1.25	0.10	0.88	0.12	0.88	0.88	0.29			
3	0.51	0.02	1.03	0.19	0.77	0.10	1.29	*	*			
5	0.85	0.23	1.39	0.35	1.12	0.29	3.10	3.10	1.17			
7	2.11	0.67	1.76	0.73	1.93	0.70	3.86	3.86	*			
9	1.97	0.75	2.62	1.09	2.29	0.92	3.39	3.39	2.05			
11	3.33	1.27	3.78	1.22	3.55	1.25	3.57	3.57	2.05			
13	4.87	2.01	4.48	1.77	4.67	1.89	3.98	3.98	2.98			
15	5.01	1.78	4.58	1.83	4.79	1.80	4.51	4.51	2.98			
17	5.00	2.05	5.00	2.39	5.00	2.22	4.62	4.62	2.98			
19	5.85	2.70	5.58	2.75	5.72	2.73	4.80	4.80	2.98			
21	5.25	2.76	5.87	2.71	5.56	2.74	5.15	5.15	2.98			
23	6.27	2.84	5.80	2.23	6.04	2.54	5.21	5.21	3.04			
25	6.95	3.55	5.67	2.29	6.31	2.92	5.15	5.15	3.04			
27	6.84	3.43	5.62	2.93	6.23	3.18	4.92	4.92	3.10			
29	7.16	3.42	5.48	2.77	6.32	3.09	5.09	5.09	3.04			
31	7.60	3.74	5.28	2.76	6.44	3.25	5.27	5.27	3.04			
33	7.99	4.23	5.91	2.67	6.95	3.45	5.44	5.44	3.04			
35	7.36	4.05	5.93	2.49	6.65	3.27	5.62	5.62	3.10			



Table 4-3. Continued.

Station 23

Depth (cm)	Multiple Core Sample														
	Motorized Shear Vane (in Laboratory Test)						Hand Shear Vane (on Board Test)								
	Hole 1		Hole 2		Hole 3		Hole 4		Average		Hole 1		Hole 2		Average
Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)
1	0.49	0.18	0.79	0.34	0.87	0.28	0.27	0.65	0.27	0.70	0.27	0.29			
3	1.04	0.37	1.47	0.60	1.49	0.46	0.48	1.39	0.48	1.35	0.48	0.82			
5	2.98	1.07	4.60	1.65	3.68	1.36	1.05	3.28	1.05	3.63	1.28	2.11			
7	4.16	1.66	5.97	2.34	4.95	2.07	1.78	4.50	1.78	4.90	1.96	3.63			
9	5.14	2.11	6.80	2.89	5.20	2.26	2.20	4.86	2.20	5.50	2.36	3.63			
11	8.63	3.29	7.53	3.09	7.10	2.67	2.38	5.77	2.38	7.25	2.86	5.27			
13	8.35	3.53	8.43	3.51	7.93	3.21	3.02	7.77	3.02	8.12	3.32	4.80			
15	7.48	2.99	8.52	3.83	7.90	3.61	3.02	7.14	3.02	7.76	3.36	5.74			
17	8.87	4.24	8.34	4.21	8.10	3.96	3.31	7.55	3.31	8.21	3.93	5.21			
19	7.94	3.68	8.72	3.68	9.84	4.07	3.86	8.81	3.86	8.83	3.82	5.56			
21	10.05	4.79	9.24	3.95	8.41	3.81	4.68	10.89	4.68	9.65	4.31	8.19			
23	12.04	5.53	11.35	5.22	8.27	3.52	4.28	9.98	4.28	10.41	4.63	4.39			
25	12.01	4.96	11.58	5.51	11.38	4.57	5.22	12.31	5.22	11.82	5.06	4.39			
27	11.97	5.33	8.44	4.19	12.27	4.67	5.42	11.68	5.42	11.09	4.90	over r.			

Table 4-3. Continued.

Station 15

Depth (cm)	Multiple Core Sample														
	Motorized Shear Vane (in Laboratory Test)						Hand Shear Vane (on Board Test)								
	Hole 1		Hole 2		Hole 3		Hole 4		Average		Hole 1		Hole 2		Average
Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)
1	0.38	0.19	nodule	1.04	0.29	0.48	0.14	0.47	0.15	0.59					
3	0.51	0.17	0.13	2.13	0.90	1.02	0.22	0.98	0.36	2.34					
5	0.50	0.10	0.47	3.75	1.60	2.68	0.85	2.06	0.75	4.39					
7	2.05	0.66	0.91	2.89	1.06	2.66	0.95	2.49	0.90	4.97					
9	2.65	0.91	0.88	4.15	1.39	2.69	1.28	3.03	1.11	4.97					
11	3.52	1.31	1.29	5.53	2.23	4.75	1.86	4.31	1.67	4.97					
13	5.13	2.33	1.79	6.45	2.75	6.52	2.50	5.61	2.34	5.56					
15	5.98	2.85	2.98	7.40	3.37	7.08	2.83	6.84	3.01	5.85					
17	6.47	2.97	2.89	8.44	3.88	6.65	2.68	7.08	3.11	7.90					
19	7.19	2.74	2.93	9.29	3.80	6.98	3.10	7.60	3.14	7.90					
21	7.42	3.11	3.48	8.88	3.56	8.05	3.70	8.13	3.46	7.90					
23	7.01	3.45	3.70	8.94	3.84	7.35	3.74	7.94	3.68	over r.					
25	8.79	4.29	4.19	8.93	4.35	7.90	3.49	8.66	4.08						
27	9.58	4.16	4.43	10.30	5.11	9.59	4.06	9.95	4.44						
29	9.69	4.38	3.42	11.15	5.16	7.08	3.55	8.72	4.13						
31	8.63	3.64	3.71	11.75	4.66	7.74	3.60	9.25	3.91						
33	12.00	4.90	3.71			7.73	3.49	6.85	3.03						

Table 4-3. Continued.

Station 05

Depth (cm)	Box Core Sample Motorized Shear Vane (in Laboratory Test)												Multiple Core Sample Hand Shear Vane (on Board Test)					
	Hole 1			Hole 2			Hole 3			Hole 4			Average		Hole 1	Hole 2	Hole 3	Average
	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	S.S. (kPa)
1	5.16	1.11	2.05	0.76	1.16	2.41	0.91	1.96	8.60	1.96	4.56	1.19	0.88	1.17	1.76	1.76	1.27	
3	8.61	2.78	2.87	1.16	4.51	4.51	1.39	2.16	6.63	2.16	5.65	1.87	1.76	1.17	1.76	1.76	1.56	
5	10.90	3.57	8.68	2.09	9.41	9.41	2.92	4.51	13.63	4.51	10.66	3.27	3.80	3.22	2.05	2.05	3.02	
7	14.79	3.79	16.28	5.89	12.61	12.61	4.67	5.64	15.23	5.64	14.73	5.00	5.85	4.39	3.51	3.51	4.58	
9	14.19	5.40	15.45	5.91	15.47	15.47	5.73	4.83	11.11	4.83	14.05	5.47	4.68	6.44	4.68	4.68	5.27	
11	10.15	3.21	8.81	2.68	17.76	17.76	6.34	3.75	12.00	3.75	12.18	4.00	4.97	5.56	4.39	4.39	4.97	
13	15.63	5.50	17.18	6.32	13.72	13.72	5.66	5.74	16.04	5.74	15.64	5.80	4.97	5.27	4.39	4.39	4.88	
15	15.98	5.75	18.55	7.07	13.76	13.76	5.79	5.02	12.85	5.02	15.28	5.91	4.68	6.44	5.27	5.27	5.46	
17	14.53	5.47	16.76	6.47	14.24	14.24	5.71	5.02	13.51	5.02	14.76	5.67	4.68	5.85	6.15	6.15	5.56	
19	9.72	3.83	10.53	5.00	8.51	8.51	3.21	4.92	12.01	4.92	10.19	4.24	4.39	9.66	7.61	7.61	7.22	
21	7.70	3.10	8.66	3.31	8.07	8.07	3.93	4.10	12.00	4.10	9.11	3.61	4.39	11.41	6.15	6.15	7.32	
23	11.37	4.73	11.39	3.82	9.49	9.49	4.23	2.78	9.00	2.78	10.31	3.89	4.39	over. r	5.56	5.56	5.56	
25	10.40	4.90	14.79	5.76	13.09	13.09	4.63	4.22	11.80	4.22	12.52	4.88	4.39	4.39	4.97	4.97	4.97	

Table 4-3. Continued.

Station 03

Depth (cm)	Box Core Sample											
	Motorized Shear Vane (in Laboratory Test)						Hand Shear Vane (on Board Test)					
	Hole 1		Hole 2		Average		Hole 1		Hole 2		Average	
	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)
1	0.53	0.08	0.45	0.02	0.49	0.05	1.52	0.35	0.59	0.47		
3	4.29	1.28	2.65	0.71	3.47	0.99	3.16	0.88	2.34	1.61		
5	9.08	2.89	6.12	1.77	7.60	2.33	5.85	2.93	3.51	3.22		
7	12.17	3.46	11.74	3.51	11.96	3.49	9.07	5.27	6.67	5.97		
9	8.87	3.17	13.57	4.54	11.22	3.86	8.19	7.32	8.19	7.76		
11	11.96	4.65	10.77	3.04	11.37	3.84	8.19	8.19	9.07	8.63		
13	14.80	5.39	14.10	*	14.45	5.39	9.36	8.19	10.24	9.22		
15	14.08	4.79	14.89	6.25	14.49	5.52	over r.	7.90	over r.			
17	13.42	5.41	17.87	6.87	15.65	6.14		9.07				
19	15.96	6.74	16.45	6.87	16.21	6.80		10.24				
21	17.57	7.14	18.54	6.88	18.06	7.01		over r.				
23	17.18	7.18	17.18	6.68	17.18	6.93						
25	19.17	8.04	18.67	7.40	18.92	7.72						
27	17.38	7.65	18.13	7.05	17.76	7.35						
29	21.06	8.39	22.24	8.64	21.65	8.52						
31	20.08	8.16	18.48	7.52	19.28	7.84						
33	18.56	8.01	19.32	8.41	18.94	8.21						
35	21.18	8.45	20.56	8.47	20.87	8.46						
37	22.41	9.81	19.69	8.28	21.05	9.04						
39	22.64	9.82	18.06	7.64	20.35	8.73						

Table 4-3. Continued.

*Shear Strength of Surface Sediments (KODOS 97-2)*

*Station 01*

Depth (cm)	Multiple Core Sample Motorized Shear Vane (in Laboratory Test)		Box Core Sample Hand Shear Vane (on Board Test)			
	Hole 1		Hole 1	Hole 2	Average	
	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)
1	*	*	0.35	0.35	0.35	0.35
3	2.95	0.42	1.35	1.46	1.41	1.41
5	11.33	3.44	1.70	2.05	1.88	1.88
7	12.53	3.89	3.22	2.63	2.93	2.93
9	12.38	4.74	5.91	3.69	4.80	4.80
11	13.40	4.91	8.19	6.03	7.11	7.11
13	8.96	3.02	10.24	6.73	8.49	8.49
15	13.65	4.60	<i>over r.</i>	7.90		
17	10.90	4.25				
19	7.93	2.94				
21	3.40	1.18				

Table 4-3. Continued.

Station 25

Depth (cm)	Multiple Core Sample											
	Motorized Shear Vane (in Laboratory Test)						Hand Shear Vane (on Board Test)					
	Hole 1		Hole 2		Average		Hole 1		Hole 2		Average	
	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)	Maximum S.S. (kPa)	Residual S.S. (kPa)
1	0.51	0.13	1.25	0.10	0.88	0.12	0.88	0.88	0.88	0.29	0.29	0.29
3	0.51	0.02	1.03	0.19	0.77	0.10	0.77	0.10	0.10	*	*	*
5	0.85	0.23	1.39	0.35	1.12	0.29	1.12	0.29	0.29	1.17	1.17	1.17
7	2.11	0.67	1.76	0.73	1.93	0.70	1.93	0.70	0.70	*	*	*
9	1.97	0.75	2.62	1.09	2.29	0.92	2.29	0.92	0.92	2.05	2.05	2.05
11	3.33	1.27	3.78	1.22	3.55	1.25	3.55	1.25	1.25	2.05	2.05	2.05
13	4.87	2.01	4.48	1.77	4.67	1.89	4.67	1.89	1.89	2.98	2.98	2.98
15	5.01	1.78	4.58	1.83	4.79	1.80	4.79	1.80	1.80	2.98	2.98	2.98
17	5.00	2.05	5.00	2.39	5.00	2.22	5.00	2.22	2.22	2.98	2.98	2.98
19	5.85	2.70	5.58	2.75	5.72	2.73	5.72	2.73	2.73	2.98	2.98	2.98
21	5.25	2.76	5.87	2.71	5.56	2.74	5.56	2.74	2.74	2.98	2.98	2.98
23	6.27	2.84	5.80	2.23	6.04	2.54	6.04	2.54	2.54	3.04	3.04	3.04
25	6.95	3.55	5.67	2.29	6.31	2.92	6.31	2.92	2.92	3.04	3.04	3.04
27	6.84	3.43	5.62	2.93	6.23	3.18	6.23	3.18	3.18	3.10	3.10	3.10
29	7.16	3.42	5.48	2.77	6.32	3.09	6.32	3.09	3.09	3.04	3.04	3.04
31	7.60	3.74	5.28	2.76	6.44	3.25	6.44	3.25	3.25	3.04	3.04	3.04
33	7.99	4.23	5.91	2.67	6.95	3.45	6.95	3.45	3.45	3.04	3.04	3.04
35	7.36	4.05	5.93	2.49	6.65	3.27	6.65	3.27	3.27	3.10	3.10	3.10

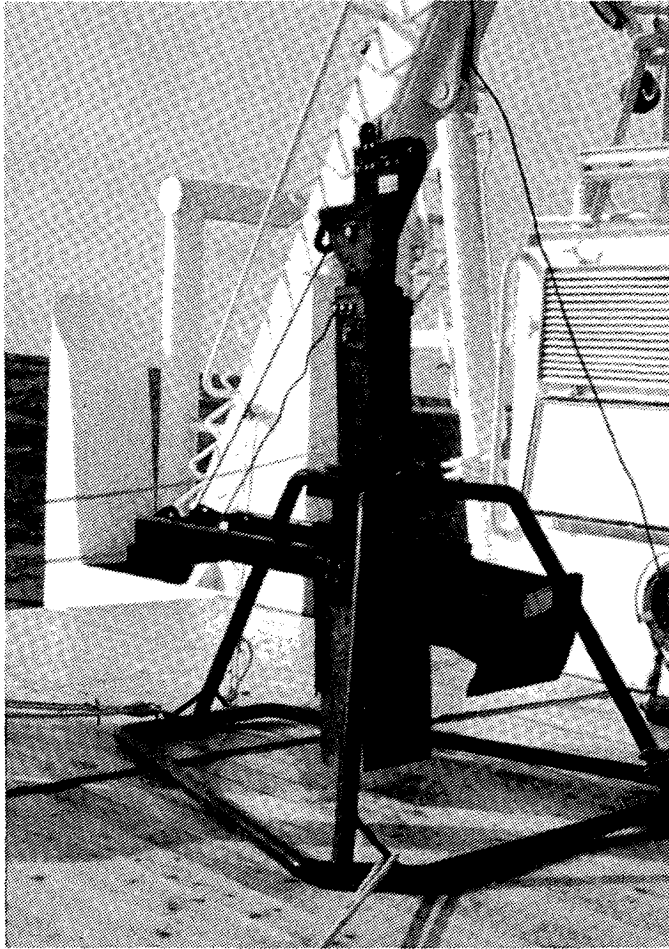


Fig. 4-1. An Box corer(spade corer) in its sampling configuration

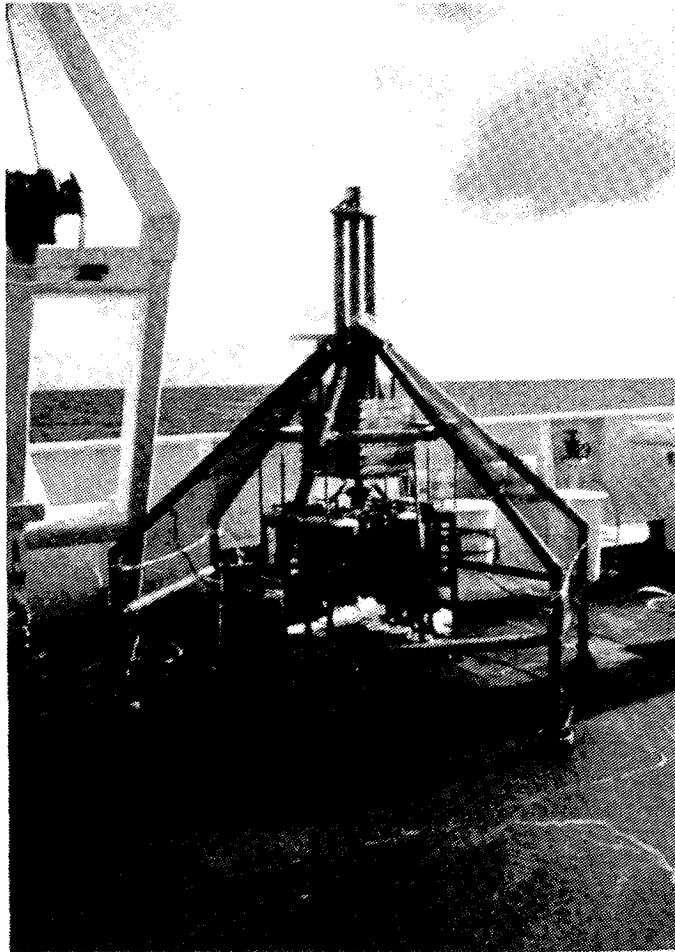


Fig. 4-2. Multiple corer in its sampling configuration



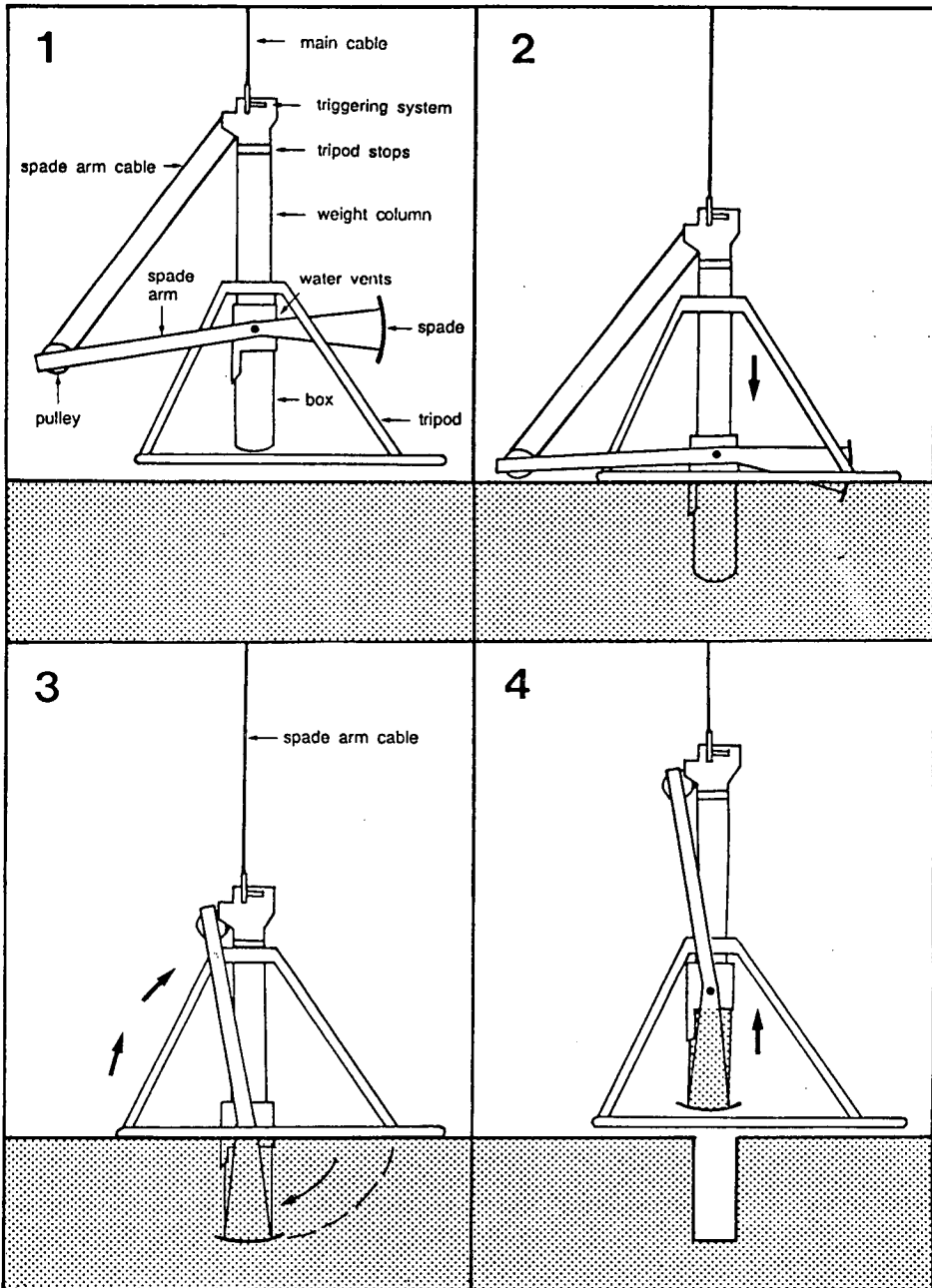


Fig. 4-3. Major parts and operation sequence of box corer(spade corer)  
 (1) Decent, (2) Box penetration into sediment, (3) Spade rotation(box closure), (4) Ascent following box withdrawal

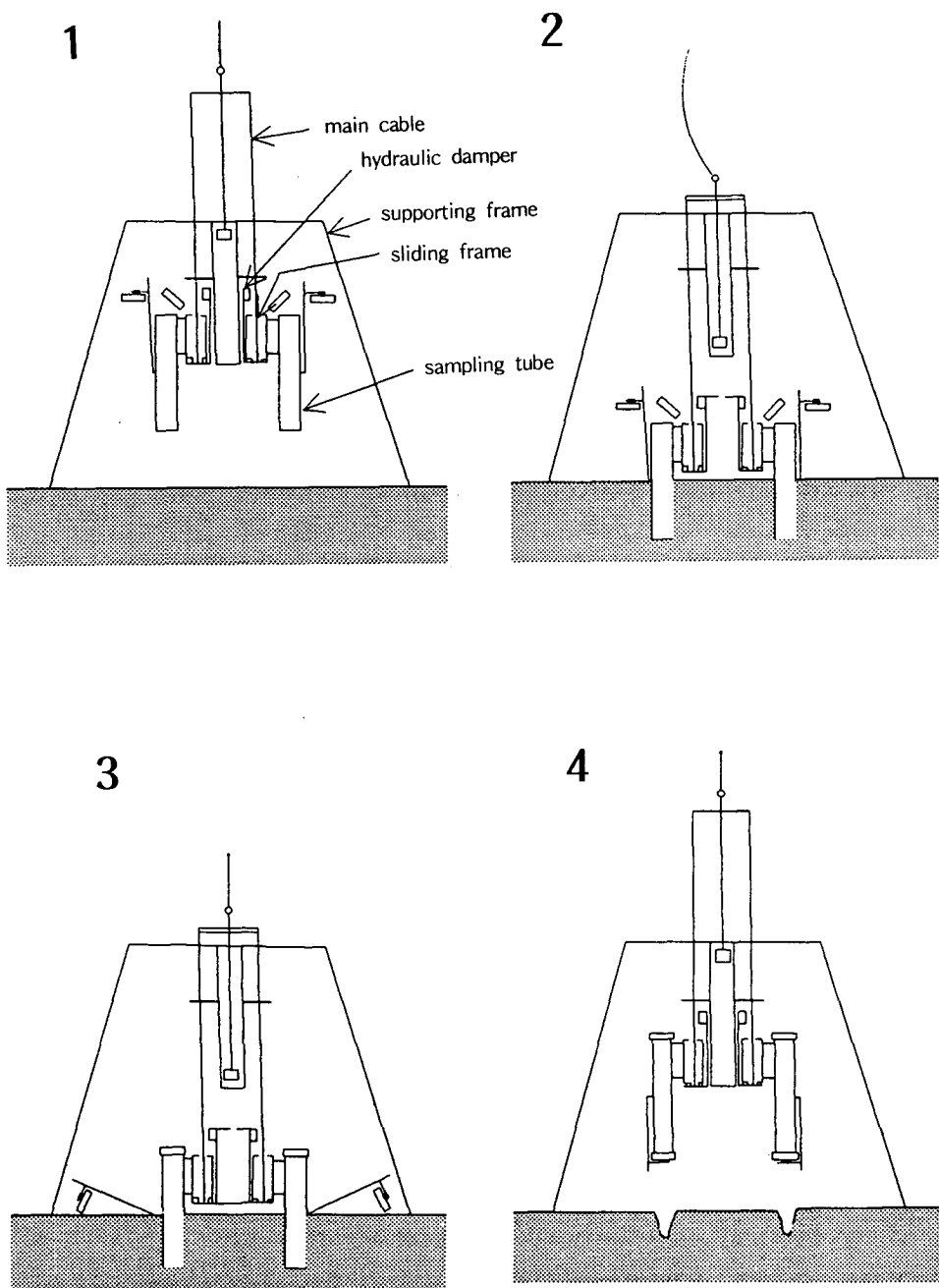


Fig. 4-4. Major parts and operation sequence of multiple corer  
 (1) On bottom, (2) Tubes penetration into sediment, (3) Top valves and core catchers rotation (tubes closure), (4) Ascent following tubes withdrawal

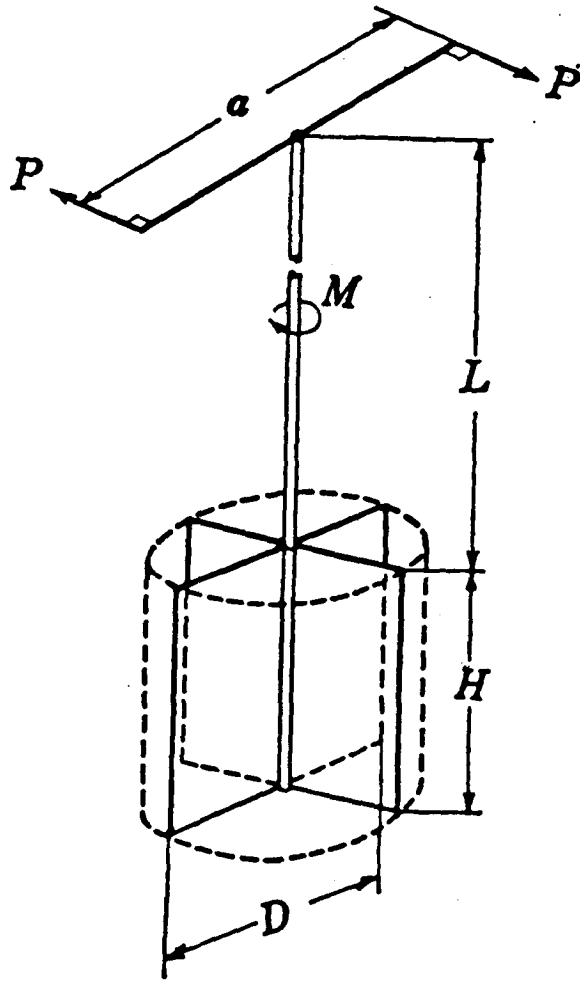
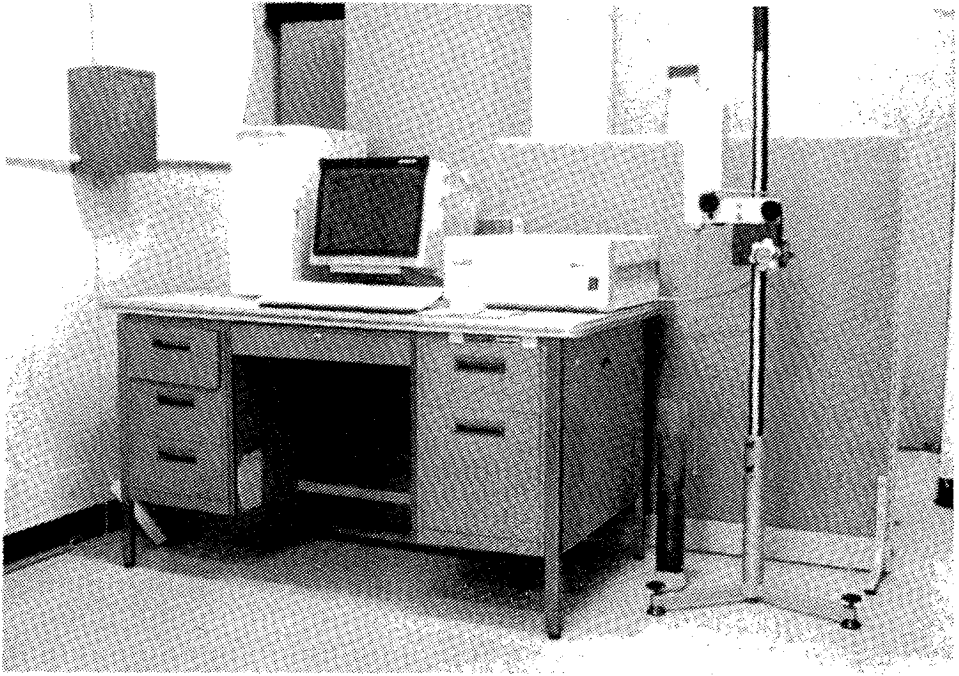


Fig. 4-5. The shape of vane blade



수동배인 측정기 (hand-held vane shear apparatus) : shear rate 180~360 %/min

Fig. 4-6. The measurement of shear strength using a hand-held vane on board



전동배인 측정기 (motorized shear vane system with electrical torque transducer)  
: shear rate 30 °/min

Fig. 4-7. The measurement of shear strength using a motorized vane shear system in laboratory

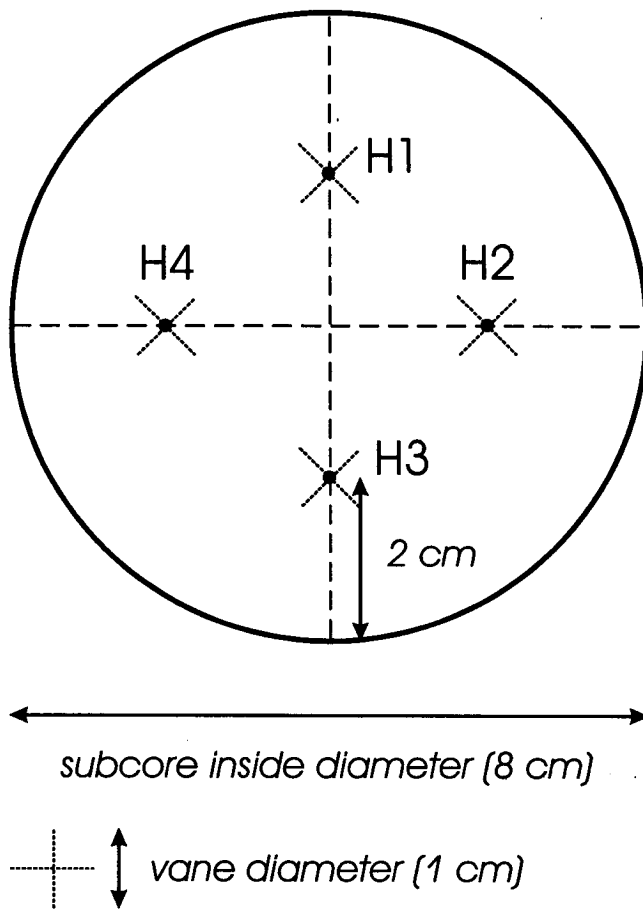


Fig. 4-8. Position of vane shear testes in each core section

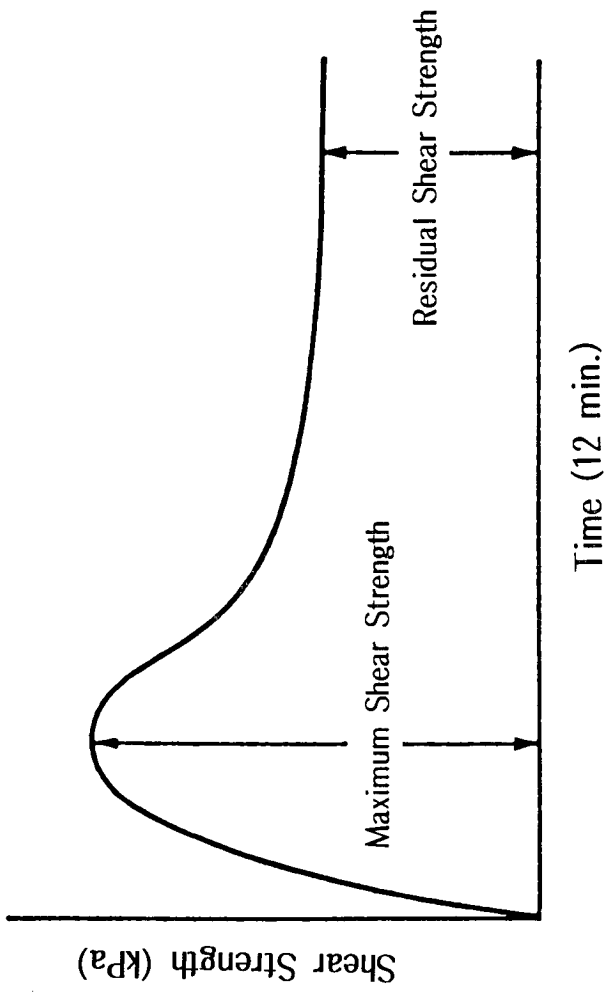


Fig. 4-9. Maximum and residual shear strength following change of torque and time

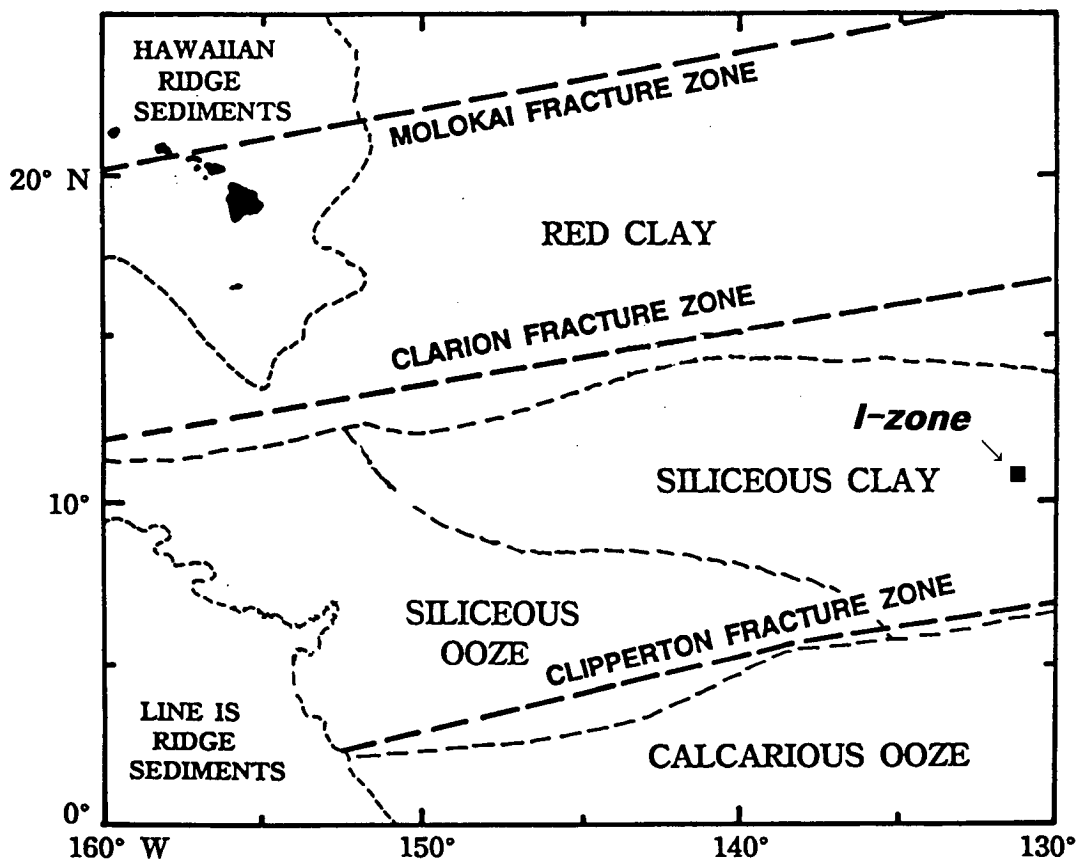


Fig. 4-10. General sediment facies and geography of the north equatorial Pacific Ocean (van Andel and Heath, 1973; Horn et al., 1973). Note; Survey area comprise the distribution of siliceous clay zone



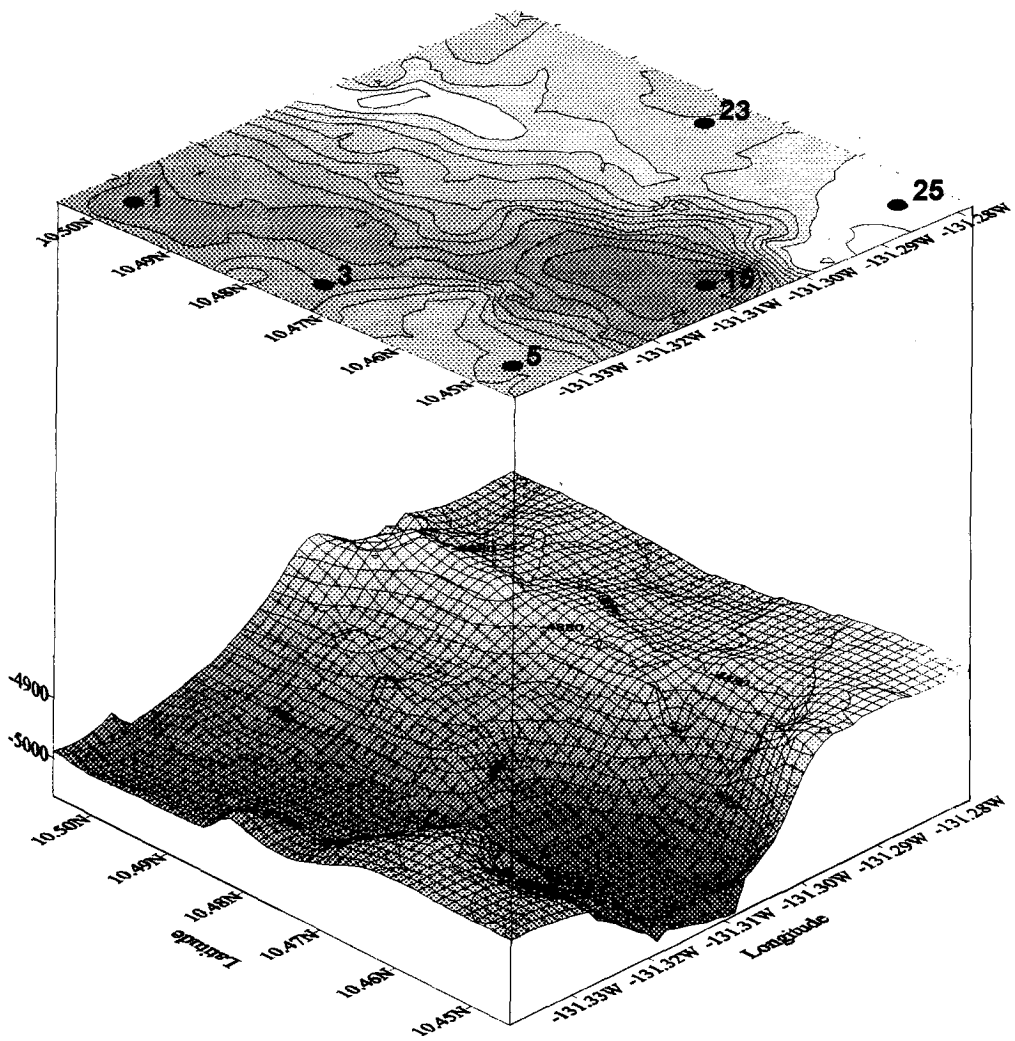
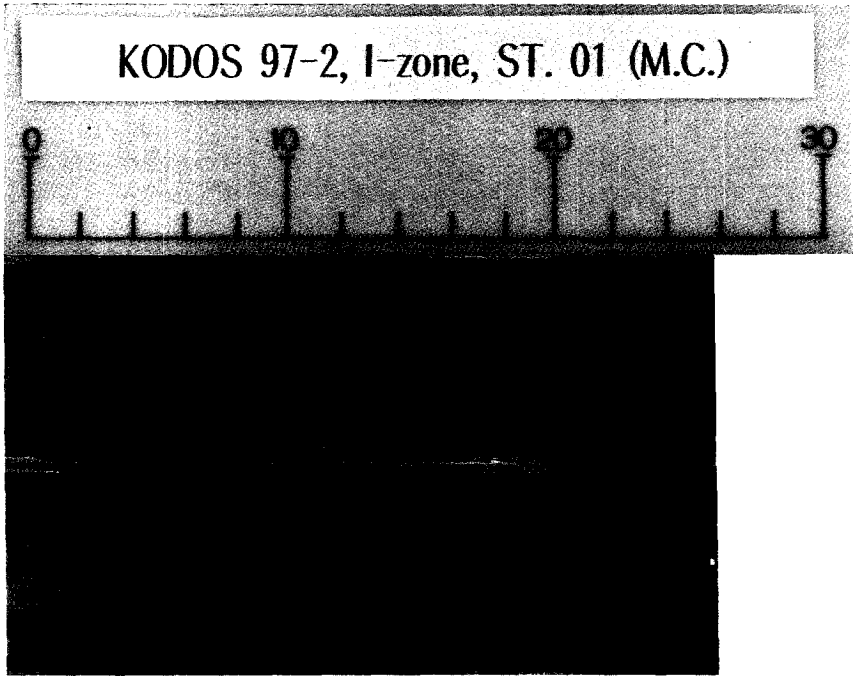
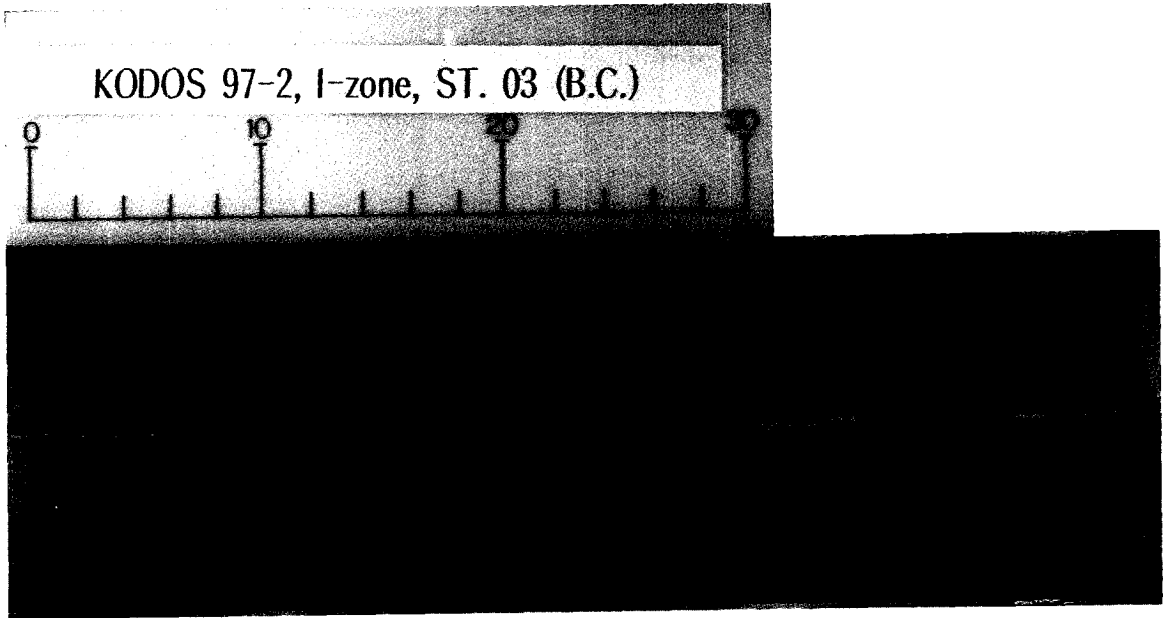


Fig. 4-11. Location of sampling sites on bathymetric and topographic map of survey area



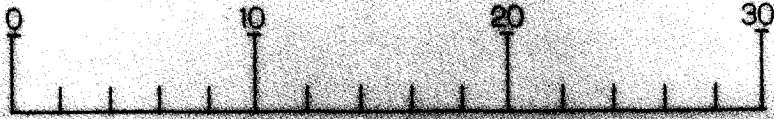
↑  
*Hiatus*



↑  
*Hiatus*

Fig. 4-12. The photograph of sediment samples showing the various depths of a color boundary (arrow)

KODOS 97-2, I-zone, ST. 23 (M.C.)



KODOS 97-2, I-zone, ST. 25 (M.C.)

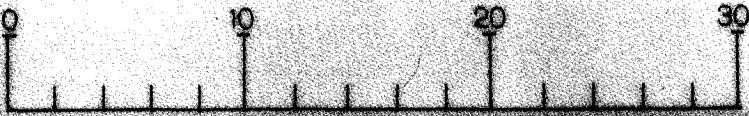
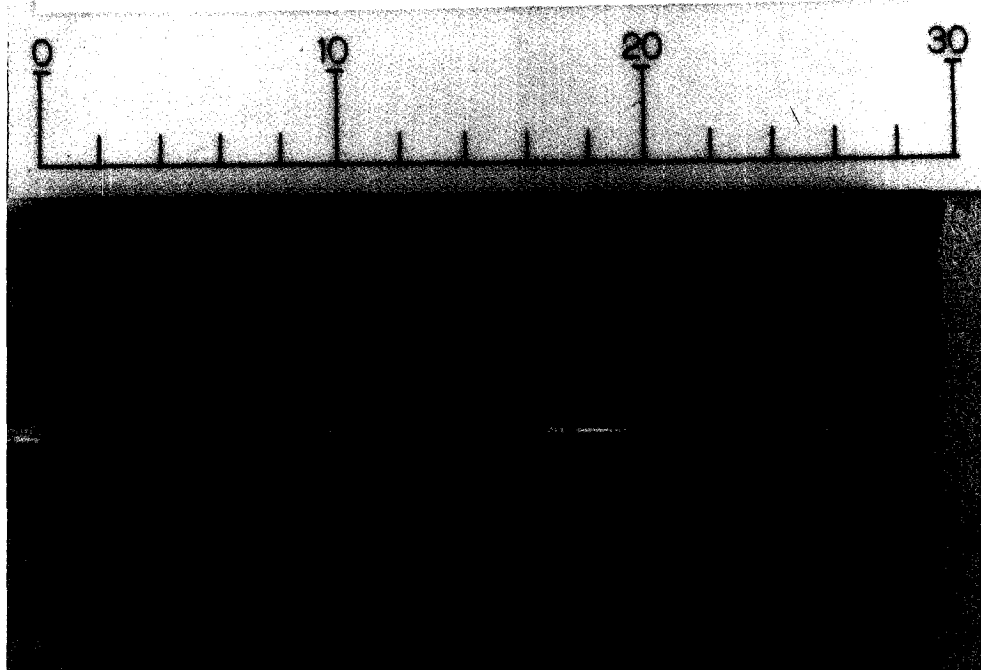


Fig. 4-12. Continued.

KODOS 97-2, I-zone, ST. 05 (B.C.)



↑  
*Hiatus*

KODOS 97-2, I-zone, ST. 15 (M.C.)

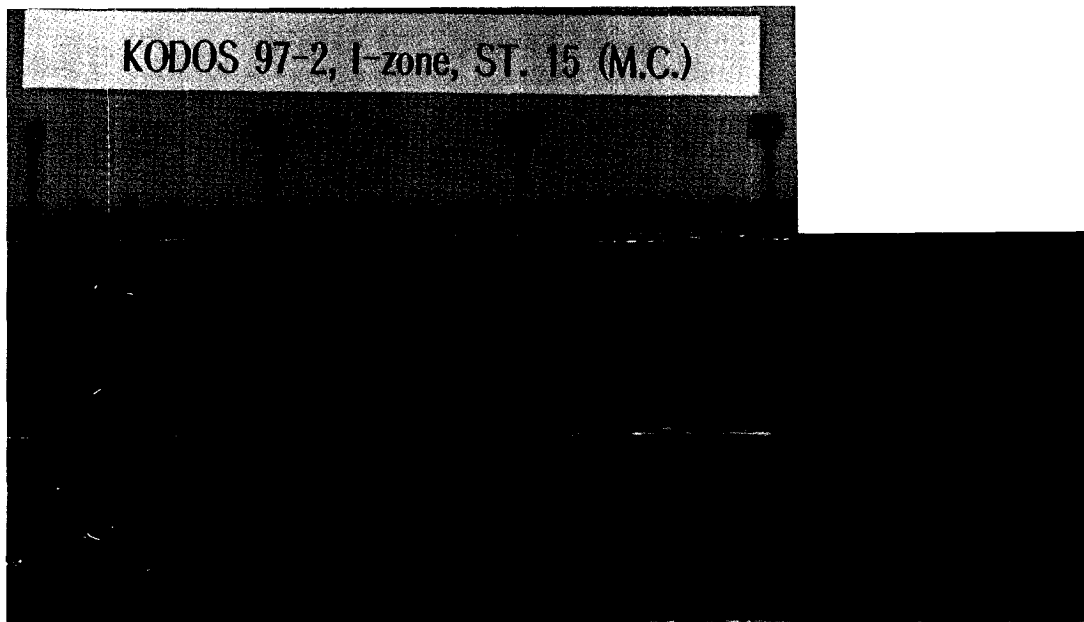


Fig. 4-12. Continued.

# KODOS 97-2 Sediment

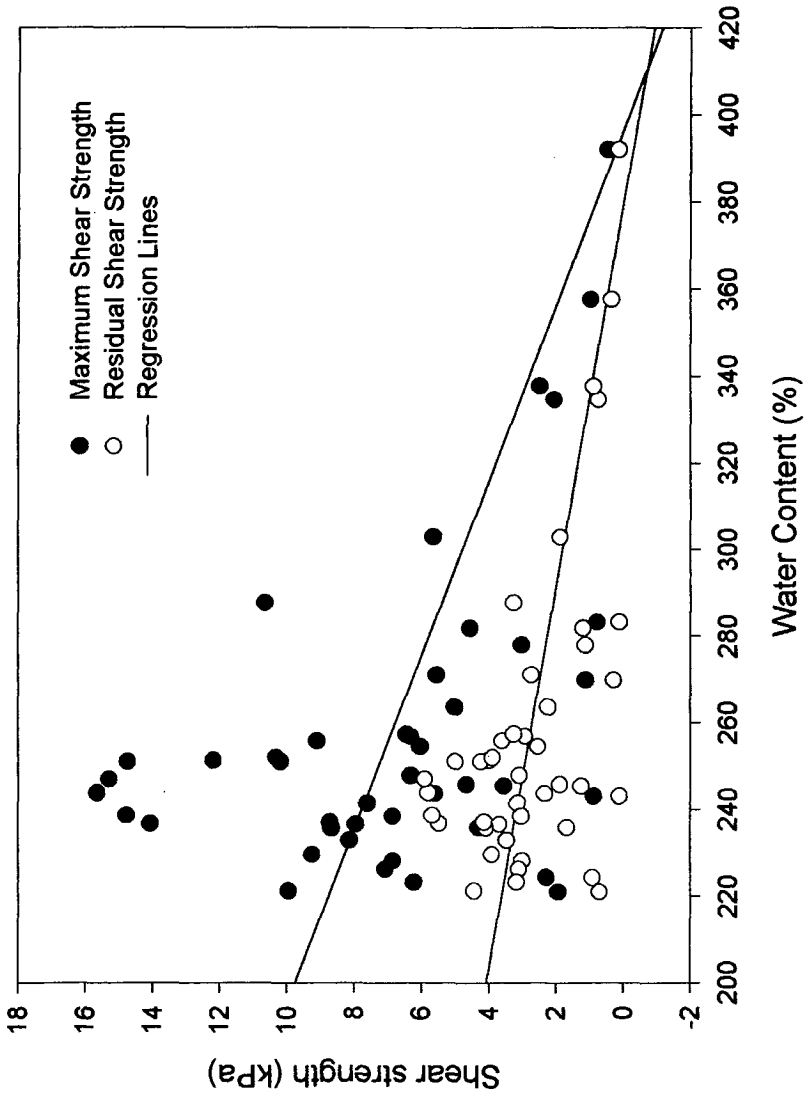


Fig. 4-13. Relationship between water content and shear strength in deep-sea sediment

## Water Content of Sediment

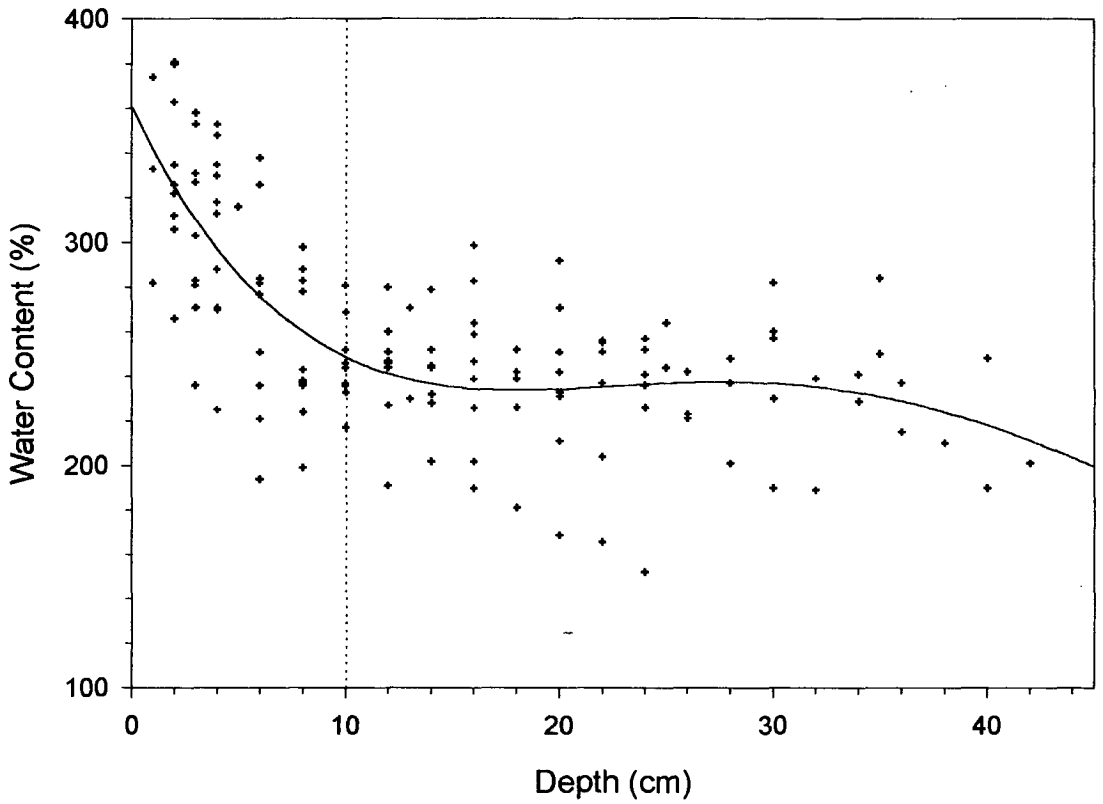


Fig. 4-14. Water content of sediment plotted against depth below the seafloor

# Maximum and Residual Shear Strength

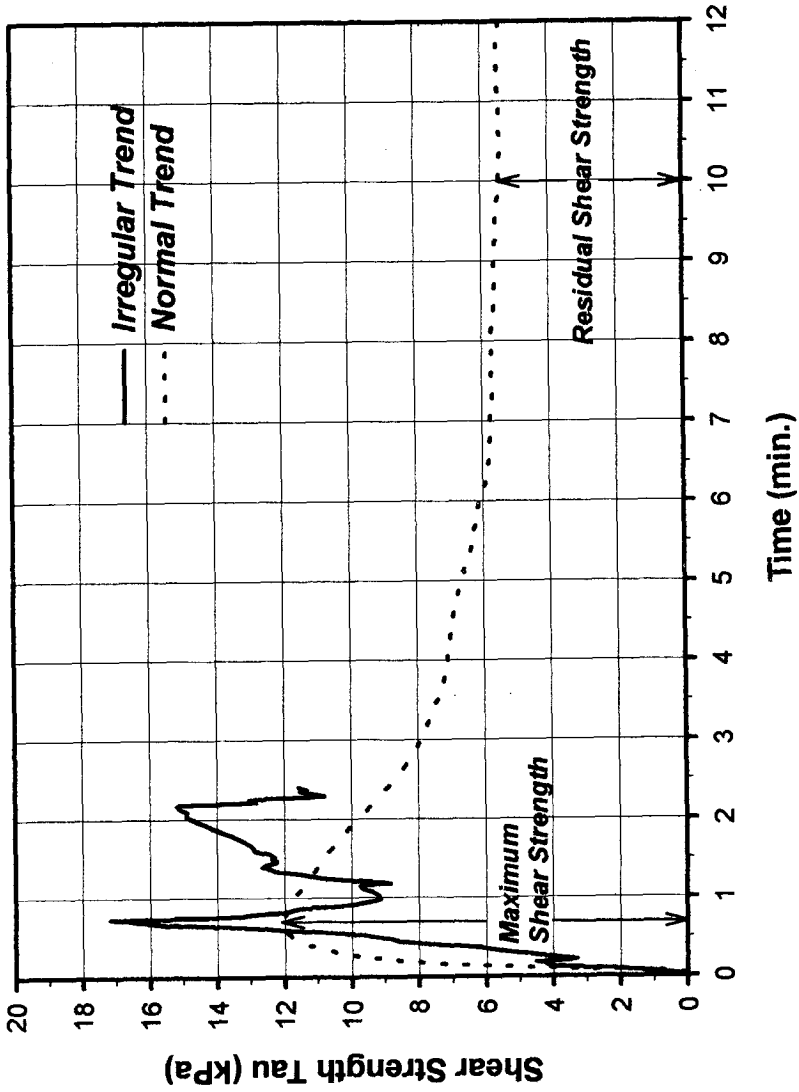


Fig. 4-15. Shear strength plotted against time

- ① Maximum and residual shear strength following change of time in normal trend
- ② Irregular trend when vane contact to buried Mn-nodule

# Comparison of Slope and Plane Area

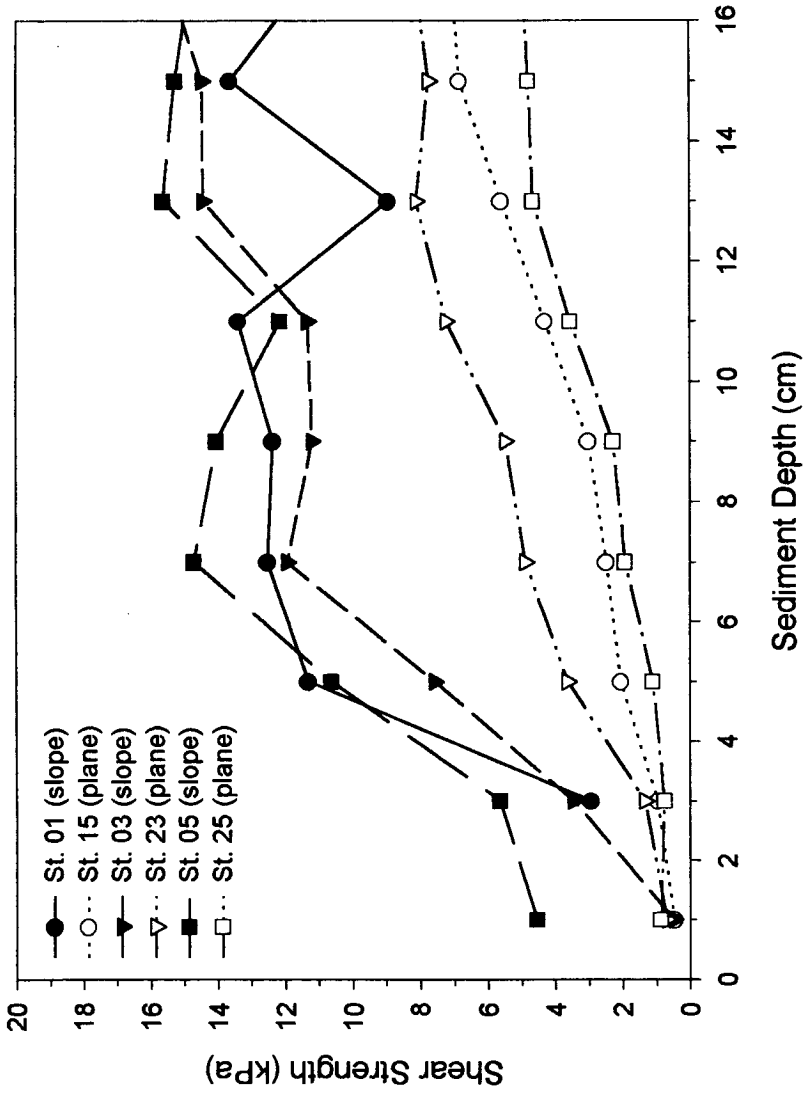


Fig. 4-16. Undisturbed shear strength of deepsea sediment, sampled on slope and plane area, measured by motorized vane system, plotted against depth below the seafloor



## 부 록

### 유엔해양법협약의 심해저 (the Area) 광물자원 개발규정에 관한 연구

(2차년도 위탁과제로 수행되었음)



## 인류공동유산

달과 천체, 지구정지위성 궤도, 주파수 스펙트럼 및 세계 문화 유산은 모두 인류의 공동유산이라고 한다. 그러나 이것은 심해저에 적용하면서 보편적으로 받아들여졌다. 이 개념은 1967년 유엔 주제 말타 대표였던 파르도 (A. Pardo)가 제창한 이래 1970년 12월 17일 총회에서 채택한 원칙 선언에 정식으로 포함되었다. 인류 (mankind)라는 단어는 무력충돌법뿐만 아니라 “인도적인 목적의 간섭” (intervention for the sake of humanity) 또는 “인도에 반하는 범죄” (crimes against humanity)에 관한 법을 포함하는, 넓은 의미로 이른바 인도법의 범주에서나 언급된 적이 있을 뿐이었다.

유산의 개념은 인류가 국제법의 객체로 간주될 수 있는가, 그리고 유산을 법적으로 소유할 수 있는가 하는 점에서 시급한 문제로 언급해 왔다. 사람들은 인류가 어떠한 형태로 권리의 주체로서 이러한 개념에 부합할 수 있는가 하는 문제 제기를 하였고 이들은 세계 모든 사람들이 모이는 조직으로서 유엔이 인류의 이름으로 무엇인가를 할 수 있는 것이 아닌가 하는 생각을 하게 되었다. 일부에서는 유엔이 전적으로 정부간 조직이므로 사람이나 개인을 대리할 수 없다고 보았다. 그러나 다른 일부에서는 전세계적인 연방조직 설립이 불가능한 마당에 정부가 국가를 대리할 뿐만 아니라 개인도 대리할 수 있다는 반응을 보였다.

필자는 그러한 논쟁은 의미가 없다고 생각한다. 왜냐하면 그것은 인류는 무엇인가 하는 본질적인 문제를 놓치고 있기 때문이다. 해답은 간단한 것 같다. 인류는 모든 인간을 포함하며, 모든 사람은 풍부한 자원을 공동으로 소유할 수 있을 것이기 때문이다. 따라서 공동유산의 개념은 본질적으로 조화로운 개념이다. 일부는 이러한 성격을 비판한다. 그들은 그러한 개념은 국가간의 이견을 감추는 데 지나지 않는다고 보는 것이다. 혹자

(Bedjaoui)는 강대국의 “이 개념의 포착”에 주목하고 있다. “공동유산”에 관한 베일 뒤에는 제3차 해양법회의에서 시작하여 심해저기구의 조직에 이르기까지 계속된 대립이 있었다. 세계인권선언에서 발견되는 신과 인간의 개념이 이를 이해하려는 노력의 대상이었듯이, 이 상위 개념이 정해진 뒤에는 이 개념을 이해하려는 노력이 계속되었다. 국제 심해저에 있어서 이러한 문제는 보다 분명해진다. 왜냐하면 인류공동유산을 초국가적인 힘을 가진 심해저기구의 관리하에 두려고 처음부터 노력했기 때문이다. 곧 문제가 제기되었다. 누가 심해저기구를 통제하는가? 산업국은 자본과 기술을 가지고, 그리고 개발도상국은 수에 있어서 그리고 민주적인 합법성에 입각하여 각기 자신들이 통제해야 한다고 주장하였다.

공동유산 제도는 국제규범을 제정하는 국가들이 만들었다는 점을 기억해야 한다. 각 정부는 자연적으로 즉각적인 이익이 있는 경우에만 결정을 한다. 인류의 전세계적 관심을 이해하는 데 어려움이 있는 것은 사실이지만 회의에 참석했던 국가들은 법철학에 근거한 개념을 개발할 수 있었다. 이 개념이 남용될 위험성은 물론 언제나 존재한다. 그러나 이 개념의 이론적인 구조는 참고 모델로서 계속 남을 것이다. 우리가 분석하고자 하는 것은 이 구조에 관한 것이다.

이 구조는 대체로 제3세계 국가들의 노력으로 얻어진 것이다. 이 개념에 담긴 철학은 실제로 조화로운 것일 뿐만 아니라 미래지향적이고 전략적인 것이다. 인류의 개념은 2가지 의미를 가지고 있다. 첫째는 공간적인 것으로 그들이 어디에 살든 일정 기간 살고 있는 모든 사람을 포함한다. 둘째는 시간적인 것으로 오늘에 살고 있는 사람들뿐만 아니라 나중에 태어날 사람들을 포함한다. 인류는 현재 살고 있는 사람들만을 생각한 것이 아니다.

해양법협약 제11편, 특히 제2절과 제3절 규정에서 이러한 2가지 측면

을 모두 볼 수 있다.

## 제 1 절 공간적 인류

공간적 인류는 국기, 깃발, 각종 기준을 뛰어넘는 것이다. 그 한계는 지구뿐이다. 공간적 인류는 모든 사람을 포함하며 그 목적은 혜택을 못받는 사람들을 현재 상태로 놔두지 않는 데 있다. 공동유산의 개념은 보편주의와 평등주의의 기능을 한다. 이것은 부란 모든 사람이 나누는 것이라는 사상에서 나온 것이다. 이것은 모든 사람이 공동유산의 관리에 참여할 수 있도록 각 그룹의 모든 사람을 포함할 수 있는 개념이다.

### 1. 보편주의

이것은 2가지 이상에 근거하고 있다. 하나는 집단소유의 개념으로 모든 사람을 그룹으로 묶는 것이고 다른 하나는 이들 간에 차별을 두지 않는 것이다.

1) 공유: “공유”란 남극 방식을 거부하는 것이다. 일정 지역을 공동으로 소유하도록 하는 데에는 실제로 2가지 방식이 있다. 첫째는 과점의 형태로 남반구 대륙 국가들이 주장하는 것으로, 기술적으로나 재정적으로 능력이 있는 일부 국가에 귀속시키는 방식이다. 둘째는 민주적인 형태로, 이러한 요건들을 배제한 채 모든 국가가 공유자가 되는 것이다. 신국제경제질서의 관점에서 볼 때 개발도상국은 2가지 목적을 가지고 있다. 하나는 자국의 영토 내에 있는 것을 국유화하는 것이다. 다른 하나는 예를 들어, 아직 각국에 분배되지 않은 부 (1979년 달에 관한 조약)를 국제화하는 것

이다. 이로부터 1982년 12월 10일 협약에서 규정한 바와 같은 2가지 규칙을 이끌어낼 수 있다: (i) 공동유산의 불귀속, (ii) 기술이나 재정적인 능력에 근거한 기준의 배제.

제140조는 다음과 같이 규정하고 있다: “심해저지역 내 활동은 ... 개발도상국...의 이익과 필요성을 특별히 고려하여, 인류 전체의 이익을 위하여 수행되어야 한다.”

이 협약 규정은 제2위원회에서 대립한 모든 국가에 적용된다. 당시 각국은 연안국 그룹이나 무해안국 및 지리적으로 불리한 국가 그룹에 속할 수 있도록 하였다. 그러나 국제 심해저지역의 경우에는 특정한 상황으로 인하여 대립할 여지가 생기지 않았다.

이것이 국가간의 이견을 부정하는 것은 아니다. 해양법협약은 각각의 상황을 인식하고 있다.

2) 무차별: 이것은 현행 국제법의 가장 중요한 원칙이다. 이것은 평등과 차별간의 충돌과 관계된다. 무차별은 사람들 간의 유사성과 차별성 모두를 포함할 수 있다. 법은 평등의 원칙에 따라 차별이 가져오는 구체적인 상황을 고려하여 그 차별을 보상할 수 있는 제도를 적용한다. 모든 국가가 동일하다면 평등은 의미가 없을 것이다. 해양법협약은 모든 부류의 국가를 고려하여, 색깔없는 하나의 인류로 섞을 수 없다는 점을 분명히 하고 있다. 제152조는 “심해저기구는 그 권한과 기능을 행사하기 위하여 차별을 피해야 한다... 그러나 무해안국가와 지리적으로 불리한 국가에 대한 특수 상황을 포함하여, 특히 이 편에서 규정한 바에 따라, 개발도상국을 위한 특별한 고려가 허용된다”고 하고 있다.

제148조는 심해저에서 먼 곳에 있는 국가에 관하여 언급하고 있다. 제142조는 심해저 자원이 연안국에까지 연장되는 경우에 관하여 규정하고 있다. 여기서 연안국의 “합법적인 이익”을 고려할 것을 요구하고 있다. 마치

막으로 제151조는 심해저에서 추출할 수 있는 광물을 생산하는 이해 당사국에 관한 규정을 두고 있다.

## 2. 참 여

참여는 일반적이어야 한다. 공동유산은 공동관리를 위한 협조를 전제로 한다. 인류는 통합에 기초한 개념이다. 인류는 다음과 같은 3단계의 조직적 체제 내에 통합되어야 한다. 첫째는 제도적인 단계이다. 일정한 권한이 부여되면 민주주의는 참여를 요구한다. 이것은 이사회(제161조)에 반영되어 있다. 이사회는 몇 가지 분류에 따라 나뉜다. 소비자와 수입자, 투자자와 수출자가 그들이다. 결정을 하기 위하여 어느 한 그룹이 거부권을 행사할 수 없도록 복잡한 의사결정 제도를 마련하고 있다. 둘째는 심해저개발, 국가 및 국영기업에 열려있는 활동 단계이다. 셋째는 영리 단계이다.

## 제 2 절 시간적 인류

이것은 장래에 대한 약속으로서 역사의 개념과 관련이 있다. 레난(Renan)의 과거지향적 민족의 관점과는 달리, 인류는 오늘을 대표하기 보다는 미래를 대표한다. 역사가 멈추지 않는다면 인류는 영원한 가치를 가질 것이다.

이것은 다음과 같은 2가지 사상을 낳는다. 첫째는 현재 세대는 단지 공동유산의 관리자일 뿐이라는 것이다. 둘째 현재 세대는 장래 세대를 위해서 그 관리에 책임을 져야 한다는 것이다.

## 1. 국제공동체는 단지 관리자일 뿐이다.

이것은 유엔과 심해저기구가 인류를 대변할 수 있는가 하는 문제와 관련이 있다. 유엔이 오늘날의 국제공동체를 대변한다면 인류는 장래의 인류도 포함하므로 그 해답은 부정적일 수밖에 없다. 심해저기구는 단지 관리기구에 지나지 않는다. 이 기구는 앞으로 다가올, 그리고 심해저지역의 자원이 만들어 낼 수 있는 세상에 대한 안목을 가지고 공동유산을 관리해야 한다. 해양법협약은 지구상의 부를 일차적으로 인류에게 부여하였다. 따라서 심해저기구는 보존과 계획이라는 2가지 임무를 띄고 있다.

1) 심해저지역의 보존은 제150조 (b)에서 요구하고 있다. 심해저기구는 “건전한 보존 원칙과 불필요한 낭비의 방지 원칙에 따라... 지역 내의 자원에 대한 질서 있고 안전하고 합리적인 관리”를 책임을 지고 있다.

이와 비슷하게, 제145조는 해양자원의 보호와 생태 균형에 관심을 기울이고 있다. 먼저 개발하는 자는 심해저지역을 원상태로 유지하여야 한다.

이제 심해저지역에서 수행될 활동의 계획에 관하여 살펴보기로 한다.

2) 계획은 인류공동유산의 개념이 무엇인지 말해준다. 이것은 무엇보다도 평화의 유지와 관계가 있다. 1970년 조약은 해양법협약 제138조에 의하여 보충된다.

인류공동유산의 목표는 분명 인간의 지식을 축적하고 인간을 개발하는데 있다. 첫째 과학조사는 인류의 이익을 위하여 수행되어야 한다. 심해저기구는 조사프로그램을 증진하고 조정하여야 한다.

둘째 세계 모든 사람들의 개발이라는 말은 장래에 대한 약속으로서, 인류라는 개념의 예언적인 본질을 표현한 것이다. 이것은 오늘날의 저개발국이 공동유산의 자원을 효과적으로 이용할 수 있도록 참여할 수 있을 때



가 온다는 믿음에 기초하고 있다. 저개발국은 무엇보다도 심해저기구를 통해서, 그리고 기술이전을 통해서 그 단계에 도달할 수 있을 것이다. 77그룹은 이러한 요건에 중점을 두어 이를 산업국과 계약자에게 의무로 부과하는데 성공을 거두었다. 제150조를 보면 심해저지역에서의 활동에 관한 일반정책을 분명히 알 수 있다. 이 지역 내에서의 활동은 “세계경제의 건전한 발전과 국제교역의 균형 성장을 촉진하고 모든 국가, 특히 개발도상국의 전반적인 발전을 위한 국제협력을 증진시키는 방법으로 수행되어야 한다...”

이 조항은 또한 “공급과 수요 사이의 장기적인 균형 유지”도 요구하고 있다.

마지막으로, 중요한 것은 개발도상국이 심해저지역에서 채취한 광물 가격이 하락함에 따라 경제나 수입원에 부정적인 영향을 미치는 경우 이로부터 보호받아야 한다는 것이다.

이에 관해서 아주 자세한 규정이 있다. 이 규정은 장기적인 기술에 입각하여, 육지 생산자의 보호에 관한 것이다.

이것은 “남극 방식”으로 돌아가서는 안된다는 염려에서 출발하고 있다. 남극 방식은 인류의 이익에 해가 된다고 할 수 있다. 우리는 여기서 인류 공동유산 개념의 전략적 중요성을 인식할 수 있다. 이 개념은 가난한 국가들에 강력한 규범적 무기를 제공하고 있다. 이 개념은 심해저지역의 관리에 실질적으로 참여하여 그로부터 수익을 받음으로써 이들 국가의 발전을 도모하는 경우라면 의미가 깊다고 하지 않을 수 없다.

## 2. 관리는 책임이 있어야 한다.

해양법협약은 여러 가지 측면에서 책임성에 관하여 규정하고 있다.

1) 협약상의 의무를 이행하지 않을 경우 야기되는 손해에 대하여 국가나 국제기구가 책임을 지도록 하는 것이다 (제139조).

2) 주기적인 재검토를 하는 것이다. 해양법협약은 첫째 5년마다 심해저기구 총회가 심해저 제도가 실제로 적용되는 방법에 대하여 재검토를 하도록 규정하고 있다. 따라서 심해저기구는 협상 무대로서만이 아니라 관리의 책임이 주어지는 곳이기도 하다.

둘째 인류는 최초 상업활동을 시작한 후 15년마다 개최되는 재검토회의에서 관리에 대하여 검토할 수 있는 권리를 가진다. 이 회의에서는 공동유산의 관리 목적이 존중되었는지, 그리고 각종 행위가 해양법협약에서 정한 원칙에 따라 행해졌는지 심사할 것이다. 따라서 행위에 대한 검토뿐만 아니라 결과에 대한 검토도 있을 것이다. 제155조는 이 점에서 매우 중요하다. 이 규정은 공동유산의 탐사와 이용에 관한 규칙을 모두 나열하고 있다.

마지막으로 재검토회의를 방해할 수 있는 자들을 설득할 수 있는 절차도 마련하고 있다. 재검토회의가 시작된 후 5년 이내에 합의가 이루어지지 않을 경우에는 당사국의 4분의 3 다수결로 기존 제도를 수정할 수 있도록 하고 있다. 이러한 개정 부분은 이들 4분의 3 국가가 비준서 또는 가입서를 기탁하면 효력을 발생한다. 따라서 재검토회의는 다수결에 의하여 입법적인 권한을 실제로 가지게 된다. 이것은 개발도상국에게 최종적인 결정권을 부여하는 것이다. 이것은 장래 개최될 다른 종류의 재검토회의에서도 마찬가지이다.

인류의 개념은 실제로 개방적인 것이다. 이것은 인간을 정의함에 따라 그 의미가 달라진다. 현재의 이념으로 볼 때 이것은 국제공동체 내에서 작용하는 개념이다. 이것은 현행 국제공동체 내의 이해 충돌과 대립 때문에 정확한 개념 정의가 이루어지지 않았다. 이념의 보편성 요건은 1982년 4월

30일과 12월 10일 상실했다.

그러나 해양법협약은 각 정부에 대하여 유인을 제공하는 장치를 두고 있다. 준비위원회와 선행투자자의 선행투자에 관한 규정인 제1결의와 제2결의는 해양법협약의 발효 전과 심해저개발청이 활동하기 전에 잠정적인 조치를 취할 수 있도록 하고 있고 또한 최초 50개 서명국이 다른 국가에 대하여 유인책을 쓸 수 있도록 하고 있다. 이러한 유인책이 국제공동체에 대하여 효과가 있을까. 이에 대한 해답은 현재와 장래의 가운데에 있는 인류를 인정할 것인가에 달려 있다고 할 수 있다.

## 국제 심해저지역

1. 해양의 깊이는 접근이 불가능하여 수 세기 동안 해양법의 범주 밖에 놓여 있었다. 海床과 하층토는 적절한 기술이 개발되지 않아 이용될 수 없었다. 따라서 이에 관한 규칙도 필요하지 않았다. 연안국이 영해에 대한 주권을 인정하면서 해양법은 연안국 자원개발에 대해서도 적용될 수 있었다.

2. 진주나 해면, 자갈이나 모래는 경제적으로 큰 의미가 없었다. 과학기술이 발전하여 대륙붕 하층토에 묻혀 있는 광물자원 채취 가능성이 열리면서 이 지역과 이 지역 자원의 법적 지위의 문제가 제기되었다. 얕은 수역에서 표본 탐사나마 하게 된 것은 19세기 후반이었으며, 미국의 거대 석유회사가 공해상에서 직접 탐사에 관심을 기울인 시점은 제1차 세계대전이 끝난 뒤였다. 종전에는 모든 광물 채취 활동이 육지에서 행해졌다. 제2차 세계대전 중 대륙붕의 경제적 잠재성을 인정하기 시작하였다. 이것은 일부 영국과 베네수엘라 간에 체결된 1942년 파리아 조약과 1944년 아르헨티나의 일방적인 선언에 기인한다. 국제법에서 연안국에 인접한 海床과 하층토 자원의 법적 개념을 도입한 것은 1945년 9월 28일 트루만 선언이었다. 이러한 움직임은 1958년 4월 28일 대륙붕에 관한 제네바 협약의 채택을 이끌었다. 이 협약의 흠결과 한계를 여기서 거론할 필요는 없으나 당시 국가 관할권의 한계를 넘는 지역으로서 실정법에서 인정하는 것은 공해뿐이었다는 사실을 지적해야겠다. 심해의 해상과 하층토에 관해서는 국제법상 아무런 규칙이 존재하지 않았다.

3. 그러나 해양에 관한 개념이 1960년대 들어 기본적인 변화를 맞았다. 그 때까지 해양법은 국제공동체의 실제적인 필요성에 의하여 생성되었고

따라서 사후적인 것이었다. 이제 처음으로 장래의 활동을 법적으로 규율할 필요성이 제기되면서 이에 대한 법적인 고려를 하게 되었다. 당시까지의 관행과 필요성에 입각하여 생성된 법은 장래의 발전을 규율하기 위한 법에 의하여 대체된 것이다. 심해저의 자원을 이용하기 위하여 계획하는 시대가 도래한 것이다. 대륙붕의 침전층에서 탄화수소 (hydrocarbon)가 발견되면서 수 십 미터에 지나지 않았던 채굴 활동이 1,000미터 가까이 발전하였다 (오늘날에는 1,500미터까지 채굴할 수 있다). 그러나 기술적으로나 재정적인 이유로 가까운 장래에 대륙붕의 지형학적 한계에까지 해저 석유가 개발될 여지는 없는 것으로 보인다.

4. 또한 대륙붕의 극히 일부만이 탐사의 대상이 되고 있고 비용을 감안한 개발 가능한 깊이는 앞으로 수십 년간 이 지역에 국한할 것이다. 연안국의 대륙붕 광물자원에 대한 주권 행사에 대하여 이의를 제기할 이유는 없다. 그러나 대륙사면을 넘는 해저에 있는 광물자원에 대해서는 그렇지 않다. 이곳에 대해서 인접성의 기준을 적용할 여지는 없다. 海床과 해저의 광물은 19세기 말에 이미 알려졌으나 이것은 단지 학문적인 호기심에서 나온 것이다. 20세기 중반 과학기술이 가속적으로 발전을 거듭하면서 이들 광물이 자원으로 여겨지기 시작했다.

5. 1965년 메로 (John Mero)는 “해상의 망간단괴는 그 잠재적인 낮은 채굴 비용 때문에 아마도 지구상에 발견된 광물자원중 가장 경제적인 것 중 하나일 것이다...”라고 지적하였다. 이들 자원에 대한 연구가 급증하였다. 일부에서는 그 개발의 잠재적인 이익을 설명하려는 연구를 하였고, 다른 일부에서는 그 부정적인 효과를 측정하려고 하였다. 예를 들어 미국의 브룩스 (D. R. Brooks)는 이들 자원의 개발로 인하여 일부 광물의 가격이 10% 내지 50% 떨어진다고 주장하였다.

6. 파르도 (Arvid Pardo) 대사가 海床과 해저 및 그 자원의 문제를 국

제적인 문제로 등장시키기까지 수많은 세미나와 연구활동이 계속되었다. 실제로 해저 자원에 대한 지식은 극히 제한적이었으며 대륙붕협약도 이에 관하여 법적인 정의를 하지 않았다. 주요 학설에 의하면, 원칙적으로 실정 법상 국가 관할권 밖에 있는 지역이 존재한다고 주장하였다. 공교롭게도 그곳에서 망간단괴가 발견되었다. 그러나 국가 관할권에 귀속시킬 수 있는 한계에 관해서 불확실한 면이 많았다. 파르도 대사도 당시 이에 대한 합의가 존재하지 않음을 간접적으로 시사하였다.

7. 말타 대표가 1967년 8월 17일 구두 발언을 통해서 유엔 총회 제22차 회기 의제에 새로운 주제를 넣을 것을 제안하였다. 말타 대표는 “현행 국가 관할권 한계 밖에 있는 바다 밑의 해저와 海床을 평화적인 목적으로만 남겨둘 것...”을 제안하였다.

8. 총회 일반위원회는 이 문제를 제1위원회에 회부하면서 표현을 수정하였다. 즉 “현행 국가 관할권의 한계 밖에 있는 해저와 해상 및 하층도를 평화적인 목적으로만 남겨두는 문제...”를 검토할 것을 요구하였다.

9. 이 문제를 검토한 후 총회는 임시위원회 (Ad Hoc Committee)를 설치하기로 결정하였다. 이 위원회는 “국가 관할권 한계 밖의 해저와 해상의 평화적 이용을 검토할” 것을 임무로 하였다.

10. 국제공동체가 연안국의 관할권 밖의 해저 지역의 존재를 수락하였음은 분명하였으나, 그 한계와 그 범위는 아직 결정되지 않았다.

11. 자원에 관해서도 마찬가지로 불확실성이 존재하였다. 파르도 대사는 1967년 11월 1일의 역사적인 발언을 통해 海床을 덮고 있는 것으로 보이는 망간단괴에 대하여 주로 언급하였다. 그는 망간단괴의 개발은 인류에게 상당한 수입을 가져다줄 것으로 보았다. 과학기술과 경제적인 정보의 부재는 매우 낙관적인 예측을 낳았다. 임시위원회와 나중의 준비위원회 (Preparatory Committee)에서 5년을, 그리고 제3차 해양법 회의에서 9년을

소비하여 1970년에 이미 국제 지역으로 선언한 바 있는 해저 지역에 대한 합의에 도달할 수 있었다. 이로 인하여 그곳의 광물자원을 개발하는 것이 경제적으로 실질적인 문제가 되었다.

12. 해양법협약이 이들 2가지 중요한 문제와 관련한 모든 장애물을 성공적으로 제거하고 국제공동체가 일반적으로 적용할 수 있는 일련의 규칙을 마련하였는지 아직 말할 수는 없다. 채택한 문건은 오히려 잠재적인 분쟁 가능성을 안고 있다. 왜냐하면 협약 제11편은 본질적으로 장래에 관하여 규정하고 있으며 다음 세기까지 충분히 개발되지 않을 인간의 활동에 대하여 규율하고자 하고 있기 때문이다.

## 제 1 절 국제 심해저지역

### 1. 심해저지역의 정의

13. 유엔 해양법협약 제1조에서는 심해저지역을 정의하여, “국가 관할권 밖의 해저와 해상 및 하층토”라고 하고 있다. 이것은 역으로 심해저지역을 정의이다. 이것은 새로운 해양법의 성격을 단적으로 말해준다.

14. 각국은 국제 심해저지역의 존재를 수락하면서도 해양 공간과 그곳의 자원을 계속 잠식했다. 주요 관심은 국가 주권을 만족할 만한 정도로 한계를 긋는 일이었다. 국가에 귀속되지 않은 해저가 국제 심해저지역이 될 것이라고 생각하였다. 국제공동체가 1970년 총회 결의 2749호 채택을 통해서 국제 심해저지역의 존재를 수락한 것도 이러한 배경에서 나온 것이다. 다만 국가 관할권의 한계와 심해저지역의 지리적 범위는 회의 기간 동안 지리하고 어려운 협상의 대상이 되었다.

15. 따라서 국제 심해저지역은 대부분 배타적 경제수역이든 아니면 대

륙붕이든 국가 관할권을 벗어난 해저, 해상 및 하층토로 구성된다. 이 2가지 경우의 국가 관할권의 범위에 따라 심해저 지역의 외측 한계가 결정된다.

16. 대륙붕이 존재하지 않을 경우 연안국의 해저에 대한 관할권은 경제수역의 경계와 일치한다. 경제수역이 공해 수역에 인접하는 경우 심해저 지역의 경계와 맞닿는다. 연안국이 대륙붕을 가질 경우 해양법협약 제76조에 따라 그 대륙붕이 심해저 지역의 외측 한계가 정해진다.

17. 제76조를 적용할 경우 생길 수 있는 문제에 더하여, 북극과 남극에 관한 특별 규칙이 존재하지 않는 점도 흥미롭다. 실제로 이들 지역의 경계에 관한 문제는 이 회의에서 전혀 논의되지 않았고 해양법협약에서도 언급하지 않고 있다. 각국의 경계를 정하는 것이 우선이었다. 이것은 해양법협약의 공표 제도가 적절히 말해준다. 협약 제134조 3항은 “제1조 제1항에서 언급한 한계를 표시하는 해도 또는 지리적 좌표 목록의 기탁 또는 공시에 관한 요건은 제6장에서 규정한다”고 하고 있다. 같은 조 제4항에서는 대륙붕의 한계에 관한 규정이 우선한다는 점을 분명히 하고 있다.

18. 국제 심해저지역은 해저와 해상 및 하층토만을 포함한다. “심해저 위원회” 초기 회의에서 상부수역을 포함시키고자 하였으나 국제공동체는 상부수역을 국제화하는 데 동의하지 않았다. 전통적인 공해 자유의 원칙을 유지하고자 하였던 것이다. 제135조는 이러한 제한을 확인하고 있다. 이것은 입안하기 가장 쉬운 조항의 하나였다. 심해저지역의 법적 지위는 협약 제137조에서 밝히고 있다. 이것은 “국가 관할권 한계 밖의 해저와 해상 및 하층토에 관한 원칙 선언”에서 구체화한 개념에서 직접 도출할 수 있다. 이 선언의 채택으로 어느 국가든지 심해저지역과 그곳의 자원에 대하여 주권이나 주권적 권리를 주장하거나 행사할 수 있다는 사실을 확인하였다. 심해저지역의 국제적 성격을 인정하고 이 지역을 인류공동유산으로 하는



데 아무런 반대가 없었다. 일부 유보가 있었으나 이것은 국제 체제하에 놓인 자원의 개발에 관한 원칙의 적용 문제에 국한하였다.

## 2. 심해저지역의 개요

19. 국제 심해저지역은 국가 관할권 한계 밖의 해저와 海床 전부를 포함한다. 여기서 바다 (seas)와 대양 (oceans)을 구별할 필요가 있다. “국제 심해저지역”은 방대한 해상 (ocean floor)을 포괄하지만 그 특성상 바다의 극히 일부에 지나지 않는다. 거의 모든 “해저” (sea-bed)는 국가 관할권 안에 있다. 지중해의 경우와 같이 모든 연안국이 경제수역을 주장한다면 모든 지역이 경제수역이 된다. 다른 바다의 경우, 예를 들어 카리브해나 북해 또는 홍해의 경우에도 국제 심해저지역은 존재하지 않는다. 심해저지역은 따라서 기본적으로 해상에 한정되어 있다.

20. 광물자원은 세계 주요 대양의 해상 위에서 발견된다고 생각할 수 있다. 북극해와 남극해, 대서양, 인도양, 태평양 등이 그러하다. 그러나 이들 대양의 각각의 특성을 볼 때 국제 심해저지역의 경제적 이해관계는 상당히 다르다.

21. 북극은 대양 중에서 가장 작은 것으로, 3,200만km<sup>2</sup>에 지나지 않으며 대부분 얼음으로 덮여 있다. 북극해는 북해와는 달리, 3개 해양산맥이 가로지르고 있으며 각기 해양분지와 해구로 갈라져 있다. 남극해는 대륙을 둘러싸고 있으며 그 지역은 약 7,500만km<sup>2</sup> 가량 된다. 이들 대양은 잠재적으로 자원이 있는 것으로 보인다. 그러나 광범위하게 탐사가 진행된 대양은 인도양과 대서양, 그리고 태평양이다. 국제 심해저지역이 처음 경제적인 의미를 가질 만한 곳은 이들 대양의 海床일 것이다. 각 대양은 대양 분지에서 융기한 거대한 해양산맥이 있다.

22. 인도양은 약 7,700만 $\text{km}^2$ 가 된다. 해양산맥은 Y자를 뒤집은 모양을 하고 있으며 그 중 갈라진 한 부분은 호주를 향하고 다른 한 부분은 남아프리카를 향하고 있다. 대서양은 약 9,400만 $\text{km}^2$  지역을 포괄한다. 해양산맥은 이 대양의 3분의 1 가량 되는 중심부에 있다. 태평양은 가장 큰 대양으로서 약 1억 6,600만 $\text{km}^2$ 나 된다. 해양산맥은 남서쪽, 즉 뉴질랜드 연안에서 북동쪽, 즉 캘리포니아 만 연안으로 이어지고 있다.

23. 태평양은 게다가 선분 형태의 긴 평행선을 그리면서 각아지른 단구로 연속되는 특징을 가지고 있다. 이것은 수 백 $\text{km}$ 나 된다. 대양 아래에는 단층과 지각 균열이 있다. 주로 태평양에서 주로 발견되는 해양분지에는 아주 깊은 해구가 있다. 이들 해구는 아주 깊고 좁다란 것으로 7,000미터에서 11,000미터 깊이에 이른다. 이들 해구의 기원은 산맥 (페루-칠레 해구)이나 열도 (알루산 해구)와 연결되어 있다.

24. 海床은 대륙의 표면과 같이 기복이 크다. 해양산맥과 해구 사이에 위치한 모든 종류의 지형을 하고 있다. 이러한 다양한 지형의 경우를 제외하면 海床이 대부분이다. 해상은 대륙붕 밖에 위치한 대양분지 모두를 포함한다. 이에는 해양산맥을 제외한 심해저평원과 구릉 등이 있다. 해상은 부드러운 경사로 되어 있으며 경제적인 가치가 있는 다광물단괴는 이곳에서 발견된다.

25. 이상과 같이 해상의 지형을 간단히 살펴보면, 대양은 지구 표면의 70%를 덮고 있으며 국제 심해저지역 중 경제적으로 “쓸만한 부분”은 기술 발전의 관점에서 볼 때 아주 좁다고 할 수 있다.

26. 이러한 지형적 측면에 더하여, 해상의 극히 일부분만을 탐사하여 그곳의 자원을 확인하는 정도라면 자원 정책 수립에 일정한 장애가 있음을 분명 알 수 있다.

## 제 2 절 자원

27. 해양법협약 제133조는 자원을 망라적으로 정의하고 있다. 즉 “다광물단괴를 포함하여, 해저 또는 해저 아래의 심해저지역 내에 있는 모든 고체, 액체 및 기체 광물자원”이라 하고 있다. 심해저지역과 그 자원에 관한 해양법협약 제11편은 따라서 장래 개발될 모든 종류의 자원에 적용될 것이다. 사실 국제 제도와 그 자원정책에 관한 경제적 측면은 오로지 다광물단괴에 관한 것이다.

28. 마찬가지로, 탐사와 개발에 관한 제3부속서와 심해저개발청 규정인 제4부속서는 단괴의 개발을 염두에 두고 입안한 것이다. 해양법회의 과정에서 협상은 단괴에 한정되었다. 단괴만이 멀지 않은 장래에 경제적으로 개발될 것으로 보았기 때문이었다. 자원정책과 관련하여 협상 대상은 동종의 광물을 생산하는 육지 생산자에게 악영향을 미치지 않으면서 해저에서 추출한 광물의 생산에 관한 것이었다. 제151조 3항에 의하면, “심해저기구는 제161조 제7항에 따른 규칙을 채택함으로써 적절한 조건하에 그리고 적절한 방법을 적용하여 다광물단괴로부터 생산된 광물 이외에 심해저지역에서 생산하는 광물의 생산수준을 제한할 권리를 가진다.

29. 熱水泉이 발견되면서 중기적으로 다른 자원도 개발될 수 있다는 사실이 알려진 후에 열린 해양법회의 최종 회기에서는 별도의 규정을 해양법협약에 넣기로 하였다.

30. 제162조 2항은 심해저기구 이사회의 권한과 기능에 관하여 규정하고 있다. 이에 의하면 “다광물단괴의 탐사와 이용을 위한 규칙, 규정 및 절차”의 채택 후 다광물단괴 이외의 광물의 탐사와 이용에 관한 규칙, 규정 및 절차는 회원국이 심해저기구에 요청한 날로부터 3년 이내에 채택하도록 하고 있다. 그러나 국제 심해저 제도는 기본적으로 단괴에 관한 것이다.

## 1. 다광물단괴

31. 중세에 스웨덴의 호수에서, 그리고 19세기에 캐나다에서 단괴를 수확한 일이 있었다. 과학자들의 관심은 1872년에서 1876년 사이 해양탐사선 Challenger의 탐형에서 비롯된다. 단괴를 경제적으로 가치있는 것으로 보기 시작한 것은 1950년대였다.

32. 국제 지구의 해 (1957/1958)에 타이히 동쪽으로 약 370km 떨어진 수심 900미터 가량 되는 투아모투 (Tuamotu) 해저고원 지대에서 단괴를 수확하였다. 이 단괴를 분석한 결과 2%의 코발트가 함유되어 있음을 알게 되었고 이로 인하여 캘리포니아대학교 해양자원연구소는 단괴의 경제적 잠재성을 연구하였다. 이 연구 결과는 긍정적인 것이었다. 메로 (John Mero)는 해저 광물자원의 개발을 시작하였다. 이후 연구가 상당한 정도로 진행되어 보다 많은 정보를 수집할 수 있었고 이들 광물의 경제적인 측면이 확인되었다.

33. 망간단괴라고도 불리는 다광물단괴는 조그만 암갈색의 공의 형태를 가지고 있으며 그 크기는 밀리미터에서 수십 미터에 이르기까지 다양하다. 일부는 사과와 같이 생겼고 일부는 감자같이 생겼다. 대부분 지름이 몇 cm에 지나지 않는다. 표면은 형태만큼이나 다양하다. 부드러운 것이 있는가 하면, 포도송이 모양으로 된 것도 있고 타다남은 재 같은 모양을 하고 있는 것도 있다. 1미터 가량이나 되는 단괴가 판의 형태로 우연히 발견되기도 하였다.

34. 단괴 외에도 이산화망간이 알의 형태로 또는 조그만 단괴의 형태로 海床에서 발견되기도 한다. 두께가 10cm나 되는 망간 껍질도 있다. 단괴는 대체로 부서지기 쉬우며 아주 부드럽고 구멍이 송송 뚫려 있다.

## 가. 단괴의 기원과 구성

35. 침전물은 일반적으로, 용액의 일부가 내려 앉거나 입자가 축적되는 과정을 거쳐 느리게 생성되는 것으로 이해된다. 단괴 형성 과정은 아직 충분히 알려지지 않고 있으며 여러 이론이 제기된 바 있다.

36. 살아 있는 미생물이 촉매제로 작용하면 금속 물질을 유인함으로써 단괴를 형성한다는 이론이 있는가 하면, 단괴는 무생물적으로 형성된다는 이론도 있다. 이 두 가지 이론은 단괴 형성의 기초 이론으로서, 핵 주변에 금속이 축적된다는 가정을 하고 있다.

37. 다른 이론에 의하면, 단괴 형성 과정은 녹은 바위가 하층토 내에서 나와 침전물의 온도를 상승시켜 화학적 촉매 작용을 함으로써 해저를 덮고 있는 구리, 니켈 및 합금철의 생성을 촉진시킨다고 한다.

38. 형성 방법이 어떠하든간에, 단괴의 광석 함유율은 본질적으로 다를 수밖에 없다. 단괴를 화학적으로 분석하면 그 안에 철, 마그네슘, 티타늄, 몰리브덴을 포함하여 30여종이 발견된다. 일부는 흔적만을 볼 수 있으며 다른 일부는 상당한 양을 함유하고 있으며 경제적인 가치도 있다. 후자의 경우 니켈과 코발트, 구리와 망간이 가장 중요하다.

39. 일반적으로 두 가지 종류의 단괴를 구분할 수 있다. 하나는 철은 풍부하지만 망간, 니켈 및 구리가 적은 것이다. 일부는 코발트의 비율이 높은 것이 있다. 후자는 대륙변계와 해양용기 지역에서 발견된다. 다른 하나는 망간과 니켈, 구리가 풍부한 것으로서 주로 海床에서 발견된다.

## 나. 단괴의 분포

40. 이제까지 발행된 자료는 대부분 해양학 연구에 의한 단괴의 분포

를 밝히고 있다. 우리의 지식은 그다지 많지 않다는 점을 지적해야겠다. 지구상에 60,000여 표본 조사국이 있으나 2,680개소에서 단괴를 화학적으로 분석한 예는 6,506회에 지나지 않는다.

41. 이와 같이 발행된 자료 외에, 민간 기업이나 국영기업이 상업적인 목적으로 海床을 탐사해 왔다. 이들 자료는 대부분 비밀에 붙여져 있다. 그러나 이들 자료는 초기의 조사를 확인해줄 것이다.

42. 3개 대양에는 크게 보아 다음과 같은 지역에서 단괴의 탐사가 집중되었다.

43. 대서양: 북대서양에서 단괴가 집중적으로 분포된 곳은 미국 연안에서 가까운 (400km) 블레이크 (Blake) 해저고원의, 비교적 열은 곳과 플로리다 동쪽 1,100해리에 위치한 적색토 벨트에 위치한 것으로 보인다. 중부 대서양 해양산맥을 따라 꺾질층도 발견되었다. 북대서양의 금속 함유량은 그다지 높은 것 같지 않다. 남대서양에서 단괴가 집중적으로 위치한 곳은 리오 그란데 해상용기 지역에 위치한 곳으로, 브라질 해안에서 약 1,000km 떨어져 있다. 약간 흩어진 곳으로는 포클랜드 섬 부근이 있다. 남아프리카 서남 해안 해역에서도 단괴가 밀집된 곳이 확인되었다. 이곳 단괴의 금속 함유량도 마찬가지로 상당히 낮은 것으로 보인다.

44. 인도양: 인도양에서 탐사는 단괴가 풍부한 일부 지역에서 행해졌다. 특히 아프리카 대륙 남쪽의 아굴하스 (Agulhas) 뱅크에는 약 3,000미터 깊이에서 단괴가 발견된다. 마찬가지로 마다가스카르와 크로제트 (Crozet) 분지에서도 발견된다. 인도양 단괴의 금속 함유량은 대서양의 것보다는 일반적으로 높다. 업계 소식통에 의하면 인도양에는 잠재적으로 채굴할 만한 곳이 존재한다고 한다.

45. 태평양: 광상이 가장 유망한 곳은 태평양 지역을 알려졌다. 기업들이 특정 지역에서 상업적인 생산을 하려는 의사를 가진 곳도 이곳 태평양

이다. 단괴가 태평양 전역에 걸쳐 분포되어 있는 것으로 보이지만 특히 2  
곳의 넓은 지역이 관심의 초점이 되었다. 북태평양은 클리퍼튼  
(Clipperton)과 클라리온 (Clarion) 단층대 사이의 광범위한 지역이 니켈과  
구리의 함유도가 가장 높다. 이들 광상은 대개 4,000미터 내지 5,000미터  
깊이에 위치해 있다. 아주 유망한 지역은 북위 6도에서 20도, 서경 110도에  
서 180도 사이에 있다. 태평양의 해상 표면은 2가지가 있다. 하나는 적색토  
(red clay)이고 다른 하나는 규토질 분비물 (siliceous ooze)이다.

46. 후자의 경우 단괴에 가장 코발트 함유도가 높고 상대적으로 니켈  
과 코발트는 낮다. 마니히키 (Manihiki)와 투아모투 해저고원, 그리고 라인  
(Line) 섬과 쿡 섬, 소사이어티 (Society) 섬 연안에서 상당량의 광상이 확  
인되었다. 일부 지역, 특히 투아모투 섬 근처 200마일 내의, 상대적으로 열  
은 수역에 단괴가 위치해 있다. 단괴의 금속 함유도는 해저고원에서 발견  
되는지 아니면 심해저평원에서 발견되는지에 따라 다르다.

47. 남아프리카 서안과 호주와 뉴질랜드, 뉴기니아, 일본, 필리핀, 인도  
네시아 연안에서도 단괴가 수확된다. 그러나 이들 지역에서 수집한 자료는  
단편적이어서 추정의 근거로는 충분하지 못하다.

48. 단괴의 분포와 구성은 아주 가변적이어서 국제 심해저지역의 극히  
일부만이 중기적으로 경제적인 중요성이 있을 것이다. 일부 표본에 기초한  
평균 수치는 그 가치가 한정적이지만 하나의 예시로서 제시할 만하다. 주  
요 탐사 지역에서 채굴될 것으로 예상되는 4개 광물의 평균 함유도는 다음  
표와 같다.

표 1 건조 단괴내의 평균 함유도 (%)

지역	니켈	구리	망간	코발트
북태평양의 ooze 지역	1.28	1.16	24.6	0.23
북태평양의 적색토 지역	0.76	0.49	18.2	0.25
북태평양의 고원 지역	0.41	0.13	14.6	0.78
남태평양의 평원	0.51	0.23	15.1	0.34
북대서양	0.38	0.15	14.2	0.34
남대서양	0.48	0.15	18.0	0.31
인도양	0.50	0.19	14.7	0.28



49. 가장 유망한 지역은 북태평양의 규토질 분비물 지역에 주로 위치하고 있음은 분명하다. 기타 지역으로서 클라리온과 클리퍼턴 행양단구 사이의 적색토 지역도 유망하다. 단괴 채굴을 시작할 것으로 보이는 지역은 650만km<sup>2</sup> 가량 된다. 이 지역에서 “제1세대의 채굴 지역”이 있다.

50. 해양법협약은 단지 망간단괴의 개발에 관해서만 상세하게 규정하고 있다. 이것은 적절한 것으로서, 해저에 대한 과학적 지식과 탐사와 개발 기술의 발전 수준을 감안할 때 이들 자원이 가까운 장래에 가장 먼저 개발될 것이기 때문이다. 그러나 다른 자원의 개발을 전적으로 배제해서는 안 된다. 제133조의 망라적 정의는 제162조에 의하여 심해저기구가 채택할 규칙의 범주 안에서 파악할 수 있다.

51. 심해저기구의 후원하에 행해질 국제적 개발의 원칙이 자동적으로 대체할 것이지만, 실제로는 제11편과 제3부속서 및 제4부속서의 실제 규정에서 단괴의 개발을 위하여 특별히 규정한 것을 볼 때 그렇지 않다고 보는 것이 옳을 것이다.

## 2. 지열에 의한 단괴의 형성

52. 홍해의 지열 시스템은 발견되는 유성생식으로 인하여 광물이 집중적으로 분포한다는 사실을 처음으로 알려주었다. 홍해는 심해저지역 내에 있는 것은 아니지만 여러 차례 개발의 대상이 되었다. 1981년에는 광물이 풍부한 熱水 광상이 중심부의 海床에서 발견되었다. 이러한 광상은 망간단괴 외에 다광물 황화물이 장래 국제 국제 심해저지역의 경제적 장래를 말해주는 것 같다.

53. 열수 광상의 하나의 형태인 다광물 황화물은 몇 미터에서 수십 미터 높이의 굴뚝 같은 구조로 해상에서 솟아 있다. 열수 배출구가 화산 활

동이 활발한 지역 근방의 협곡을 따라 위치해 있다. 전세계 대양, 특히 태평양에는 길이 약 13,000km의 지역에서 다광물 황화물 광상이 발견된다. 이들 광상을 분석하면 구리와 아연, 철 등의 금속이 집중적으로 함유되어 있는 것을 알 수 있다.

54. 미국 해상대기청의 말라호프 (Alexander Malahoff)가 1981년 8월 발표한 자료로 인하여 제162조 2항에 다음과 같은 문장이 추가되었다: “이러한 발견물이 현재 경제적으로 중요성을 입증할 수 없다 하더라도, 언젠가 장래 세대의 이익이 될 수 있는 잠재적인 새로운 자원으로 확인될 수 있는 경우...”

### 3. 탄화수소

55. 탄화수소 鑛床은 침전물의 축적과 직접 관련이 있기 때문에 주로 대륙변계에서 발견된다. 모든 증거를 통해서 볼 때에 심해저평원은 대륙변계나 그보다 적은 규모의 대양 분지에 비하여 탄화수소 부존 여건이 좋지 않다. 석유가 심해저지역에서 나올 가능성은 거의 없는 것 같다. 그러나 일부에서는 “인간의 한정된 지식으로는 석유 광상의 존재에 대한 분명한 해답을 이끌어낼 수 없다. 심해저평원과 해구의 일부에서만이라도 잠재적 가능성을 부정할 수는 없다”고 하였다.

56. 이 점과 관련하여 지적할 수 있는 것은 해저 석유 탐사 비용이 수심이 깊어 질수록 급격히 증가한다는 점이다. 국가 관할권하의 해양 지역만이 탐사의 대상이 되고 있으나 海床 탄화수소의 개발은 국제 심해저지역 중 육지에 가까운 곳에서 먼저 시작될 것이다.

#### 4. 기타 자원

57. 이미 지적인 바와 같이 우리의 지식은 한정적이다. 다가올 세기에 어떠한 것이 발견될는지 그리고 기술적으로 어떻게 발전할는지 예측할 수 없다. 과학 탐사를 하는 과정에서 심해저상에는 많은 물질이 존재한다는 점을 확인하였다. 그러나 가까운 장래에 그 경제적 중요성은 없는 것으로 보인다.

58. 그러나 어느 누구도 다른 자원이 어느날 인류의 공동유산의 일부가 되어 해양법협약에서 정한 국제 제도에 관한 규정의 적용을 받을 것인지 여부를 부정할 수는 없다. 燐鑛과 주석 광상 등과 같은 다양한 광상이 심해저지역에 존재할 수도 있다. 석탄과 주석 및 황과 같은 일부 해저 광상에 대한 탐사가 몇 년째 계속되고 있다.

59. 이러한 광상이 아직 심해저지역에서는 발견되지 않고 있으나 육지상의 암석 구조를 유추해볼 때 일부 광물이 존재할 수도 있다. 다양한 과학 탐사를 통해서 필립사이트와 같은 광물이 태평양과 인도양상의 화산 물질 속에서 발견되고 있다. 중부 대서양 해양산맥과 동부 태평양의 해양산맥 근방에서는 중성석도 발견된다. 해저에서 채취한 암석 표본에서 19여종의 물질이 발견되었다. 현재로서는 아무런 경제적인 가치가 없고 앞으로도 그럴 수 있다. 그러나 장래에 상업적인 이용의 대상이 될 때에는 심해저기구가 필요한 규칙을 제정하는 역할을 맡을 것이다.

### 제 3 절 기술 및 경제적 요인

60. 해저 광물자원 개발과 관련하여 잊어서는 안될 기본적인 요소가 하나 있다. 즉 자원의 존재와 자원을 개발할 수 있는 기술적, 경제적 요소

사이의 관계가 그것이다. 보편적으로 받아들여지는 분류법에 따르면, 평균 이상의 자원이 집중적으로 존재하는 것을 “鑛床”(deposit)이라고 한다. 이러한 광상이 비용과 기술을 감안한 상태에서 개발될 때 “자원”(resources)이라고 할 수 있다. 마지막으로 이러한 자원이 현재의 상황에 비추어, 역시 기술과 경제적 요인을 감안하여 경제적으로 이용할 수 있을 때 “부존자원”(reserves)이라 한다.

61. 국제심해저지역의 다광물단괴는 아직 부존 자원이라 할 수는 없고 기껏해야 “잠재적인 부존자원”이라 할 수 있을 것이다. 단괴가 자원인지 아니면 부존자원인지 결정하는 것이 곧 기술적, 경제적 요소이므로 이들 요소의 중요성은 분명하다.

62. 광물자원 개발에 관한 조약 문안 작성 과정에서, 상업적 이용을 위한 기술에 관한 규정은 아직 존재하지 않으며 생산업자도 10년 안에는 등장하지 않을 것이다. 광물자원 개발은 일종의 도박이다. 이러한 규정의 입안은 많은 어려움이 있을 것이다. 새로운 규범이 “신국제경제질서” 이념하에서 해양법에 도입된다면 더욱 그럴 것이다. 해양법협약은 이용에 관한 모든 기술 문제가 해결되지 않은 상태에서, 그리고 심해저지역의 자원에서 추출할 광물의 시장 상황을 파악하지 못한 상태에서 채택되었다.

## 1. 심해저지역 광물의 채굴 기술

63. 채광 활동은 일반적으로 鑛床의 탐사와 평가의 단계를 거쳐 광상의 개발, 광석의 수송 및 가공, 그리고 마케팅의 과정을 밟는다.

### 가. 탐사와 평가

64. 해양에서 이용하는 기술과 장비는 육지에서 사용하는 것과는 다르다. 그러나 광물 개발에 이르기까지 각 단계는 거의 같다. 따라서 탐사 단계에서 광범위한 지역을 지형, 지질, 물리 등 각종 조사를 통하여 측량하고, 해저 지도를 작성하고 표본을 채취, 분석한다. 수집한 자료는 해양 환경에서 작동하도록 특별히 고안된 과학 장비를 필요로 한다. 해양 선박은 위치를 파악할 수 있는 장비, 컴퓨터 및 음향, 자기, 사진, 텔레비전 장치를 갖추어야 한다. 표본 조사 장비는 단괴를 수입할 수 있도록 개발된 것이어야 한다.

65. 해양 환경은 특별한 문제를 안고 있다. 왜냐하면 연구 대상 지역은 수천 미터 깊이로서 수중의 빛이 매우 약하고 지형이 가변적이며 고압 때문에 인간이 접근할 수 없는 곳이기 때문이다. 그러나 이러한 탐사 단계에서도 깊이 있는 연구를 위하여 일정 지역을 선택할 수는 있다. 광범위한 지역을 탐사한 연후에 일부 지역을 자세하게 연구하는 단계가 평가 단계이다.

66. 탐사 단계는 일정량의 광물을 함유하고 있는 단괴로 덮여 있는 지역을 찾아내는 과정이라면, 평가 단계는 특정 지역이 鑛床 지역이 될 수 있는 여부를 기술적으로나 경제적으로 평가하는 과정이다. 평가단계는 단괴의 가치 (밀도, 등급, 양 등) 및 개발의 조건 (지형, 토양과 침전물의 기술적 특성, 기상 조건이나 해양 조건 등)을 현실적으로 파악하는 것이다.

67. 탐사 단계에서 평가 단계로 넘어가는 과정에서 잠재적인 광상을 상세히 분석하게 되므로 비용이 급격히 증가한다. 이 점에서 해양법협약은 등록 신청인은 상업적으로 가치 있는 지역을 이등분하여 신청서를 제출하도록 하고 있다. 나머지 절반은 심해저기구의 몫으로 유보해둔다. 이러한 신청인의 의무는 자신이 탐사나 평가 활동에서 얻은 결과에 따라 정해진다.

68. 협약 제3부속서 제7조는 신청인이 “製圖, 표본추출, 단괴의 양 및 광석 함유도”에 관한 자료를 심해저기구에 제출하도록 하고 있다. 다광물 단괴와 관련한 선행투자자의 선행 투자에 관한 해양법회의 결의 제3항 (a)는 선행투자자 등록 신청서에는 전체 지역을 획정하고 이를 동등한 상업적 가치가 있는 두 지역으로 나누어 이를 좌표로 나타내도록 하고 있다. 신청서에는 또한 製圖, 시험, 다광물단괴의 밀도 및 금속 함유도에 관한 정보도 포함되도록 하고 있다. 해양법협약은 평가 단계에 관하여는 명시적으로 언급하지 않고 있다. 또한 탐사 단계에서도 탐사자가 협약을 따를 것을 서면으로 약속할 것을 요구하는 정도이다 (제3부속서 제2조). 그러나 탐사와 개발은 심해저기구가 승인한 작업계획을 획득하느냐 여부에 달렸다 (제3부속서 제3조)

69. 이것은 평가 단계에서 획득한 것으로서 상업적인 가치가 있는 광상을 선택할 수 있도록 하는 자료를 모두 심해저기구에 제공하기를 꺼리는 산업국과 경제적으로 가치 있는 지역을 심해저기구에 유보해두기를 원하는 77그룹 간의 타협이었다.

70. 실제로 예비 신청인이 탐사 작업을 끝까지 수행하여 탐사 단계까지 계속할 것으로 기대할 수 있다. 그 때가 되면 예비 신청인은 충분한 자료에 근거하여 심해저기구에 신청서를 제출할 것이기 때문이다.

#### 나. 채굴

71. 단괴 채굴은 기술적인 단계로서 상업적으로 이를 수행하기는 매우 어렵다. 악천후의 해양 환경에서도 계속해서 작업할 수 있는 시스템을 갖추어야 하며 수 천 미터 깊이의 해저에서 단괴를 수집하여 이를 하루 5,000 내지 15,000톤 정도 지상으로 끌어올릴 수 있어야 한다.

72. 상업 채굴 활동은 20년 내지 25년 계속할 수 있어야 하기 때문에 이러한 시스템은 상황에 따라 바뀐다. 상업 채굴이 이루어지기까지 수 년이 걸리는 경우도 생각할 수 있다.

73. 해양법협약이 채택되었을 당시 4가지 채굴 시스템이 연구 대상이었다. 공기압력 시스템, 유압 시스템, 기계 펌프 시스템, 그리고 자동 왕복 견인 시스템이 그것이었다.

74. 공기압력 시스템은 배가 끄는 준설기에 의한 것으로 준설 파이프를 연결하여 공기를 압축하여 끌어올리는 것이다. 공기압력 방식은 따라서 공기와 물, 그리고 단괴를 처리해야 하는 시스템이다. 해저 표면에서 끌어올린 단괴를 분리하여 이를 배에 실는 과정이 다르다.

75. 유압 시스템은 마찬가지로 원리로 작동하나 물과 단괴만을 떠올린다. 이 기술은 석탄 채굴에서 일반적으로 사용되는 방법으로 해양 환경에 이를 적용하기 위해서는 상당한 변경이 필요하다.

76. 기계 펌프 시스템은 본질적으로 긴 케이블이 있어야 한다. 이 케이블에 두레박을 일정한 간격으로 연결하는 것이다. 선박에 있는 견인이 해저의 케이블을 끄는 것이다. 이 시스템은 하나의 선박을 이용하던 것에서 나중에 2개의 선박을 이용하는 방식으로 바뀌었다.

77. 이 모든 시스템은 지난 10년간 소규모로 시험적으로 운영되었다. 최근 원자력위원회 (Atomic Energy Commission)와 Chantiers France-Dunkerque가 제안한 바에 따라 무인 자동 왕복 시스템이 고안되었다.

78. 이 시스템은 15척의 대형 선체 (길이 24미터, 폭 12미터, 높이 8미터)가 해저를 운행하면서 수면에 올라올 때까지 각기 250 톤의 단괴를 수확하여 이를 배에 부리는 것이다. 하루에 3번 왕복할 수 있다고 한다. 이 시스템의 장점은 채굴 활동이 한 두 개의 선체가 고장나더라도 계속될 수

있다는 데 있다. 가장 어려운 문제는 유도 시스템이다. 이러한 시스템을 장치하는 비용도 고려에 넣어야 한다.

79. 단괴 수확 장치와 인양 장비의 설계와 건조에 관련한 문제 외에도, 채굴선을 건조하는 문제도 있다. 채굴선은 항해와 위치 측정, 수확과 인양 장비의 취급, 단괴의 하역 등에 필요한 모든 장비를 갖추어야 한다. 아직 바다에서 단괴를 제련하는 계획이 수립된 바는 없다.

#### 다. 수송과 제련

채굴 지역에서 단괴를 제련소로 수송하는 방법은 아직 개발되지 않았다. 분쇄하고 말린 후에 단괴를 수송하면 비용이 훨씬 덜 들 것이다. 단괴는 약 30%의 수분을 함유하고 있다. 초기에 단괴는 젖은 채로 수송될 것이다. 클라리온-클리퍼튼 지역에서 이런 식으로 작업을 할 경우 가장 가까운 육지는 하와이 섬이다. 이곳은 채굴 지역이 어딘가에 따라 달라지겠으나 대략 1,000마일이나 떨어진 곳이다. 미국 서부나 멕시코 서부 연안에 제련소를 건설하고자 할 경우 그 거리는 2,000마일에서 2,500마일이나 된다. 남미 서부 해안은 4,000마일 떨어져 있다. 태평양 서부 국가에 제련소를 건설할 경우 그 거리는 일본의 경우 4,500마일, 인도네시아의 경우 7,000마일이 된다.

81. 간단히 말해서, 채굴 지역에서 제련소까지 단괴를 수송하는 과정도 빼놓 수 없다. 선박의 적하량, 수송 거리, 작업 계획 등을 감안할 때 이러한 목적에 적합한 벌크선의 사용을 고려해야 한다.

82. 마케팅 전에 단괴의 개발 과정 중 마지막은 예를 들어 망간, 니켈, 코발트, 구리 등 상업적으로 가치있는 금속을 뽑아내는 제련 과정이다. 이에는 녹이고 분해하는 과정이 있다. 오랫동안 이 과정이 가장 어려운 것



으로 알려져 왔다. 그러나 오늘날 많은 시행착오 끝에 모든 기술적인 문제나 과학적인 문제가 해결된 것으로 보인다. 단괴의 광물 함유도 때문에 단괴에서 금속을 단순히 물리적으로 분리하는 것은 불가능하다는 점이 밝혀졌다. 1,200-1,500도 사이의 온도에서 녹이면 산화물이 감소하여, 철을 포함한 합금을 만들어낸다. 그러나 이 합금을 더 이상 줄이는 것은 어렵다. 따라서 화학적인 공정을 거쳐 금속을 분리하게 된다.

83. 화학적인 방법은 산도와 온도가 다른 조건하에서 금속이 분해되는 것을 이용하는 것이다. 황산은 용제로서 우선 고려할 수 있다. 왜냐하면 황산은 가장 싸고 잘 알려진 용제이기 때문이다. 그러나 개별 기업이 이용할 정제 방법은 제조할 금속의 수에 따라 다르다. 예를 들어 Deepsea Venture사는 고온의 염화수소액을 이용하여 단괴를 분해하는 방법을 개발하였다. 추가적인 공정을 거쳐 4가지 금속을 획득할 수 있다. Kennecott Corporation은 암모니아 분해법에 관해서 다수의 특허를 등록하였다. 이 방법은 망간과 철을 분리하여 구리, 니켈, 코발트, 몰리브덴 등을 회수하는 것이다.

84. 어떠한 공정을 선택하든지, 정련과 관련한 기술적인 문제를 어떻게 해결하든지 다른 요소, 즉 경제, 재정, 환경, 정치적인 요소도 제련소의 위치를 결정하는 데 중요하다.

85. 단괴의 채굴, 수송 및 제련은 해양법협약에서 특별히 언급하지 않고 있다. 그러나 협약에는 국제 심해저개발청과 개발도상국에 기술을 이전해야 한다는 원칙이 담겨 있다. 이 원칙은 입안 단계에서부터 가장 논란을 야기하였으며 아직도 업계에서 매우 비판하는 주제중 하나이다. 제3부속서 제5조는 기술이전의 절차를 서술하고 있으며, 여기서 “기술”이란 가장 넓은 의미의 기술이다: “기술이란 운영 가능한 시스템의 조립, 유지, 운영하는 데 필요한 교범, 설계, 운영지침, 훈련 및 기술적 자문과 원조를 포함한

전문 장비와 기술적 지식을 말한다.”

이러한 기술은 제련 과정을 포함한, 단괴의 개발 전과정을 포괄한다. 해양법협약은 기술이전의 문제 외에는 필요한 기술에 관하여 구체적으로 언급하지 않고 있다.

## 2. 경제, 재정적 측면

86. 해저 자원을 개발하는 데 고려해야 할 경제적, 재정적 측면에서 가장 문제가 되는 것은 쓸만한 자료가 없다는 것이다. 모든 전제는 가정적이고 기술이나 경제적 환경이 예측할 수 없이 바뀌면 수정되어야 할 처지에 있다. 그러나 제11편 규정 대부분은 입안 당시의 경제적, 재정적 상황을 가정하여 만든 것이다. 해양법협약이 효력을 발생하고 해저 자원이 산업적으로 개발될 때 이러한 가정은 현상을 적절히 반영하지 않은 모습이 될 것이다.

87. 해양법협약은 국제 심해저기구 총회가 심해저지역에 관한 국제 제도가 실제로 적용되는 방법에 관하여 재검토를 할 수 있도록 함으로써 이러한 상황을 줄이고자 하였다. 다시 말해서, “이 협약 발효 후 5년마다, 총회는 이 협약에서 정한 지역에 대한 국제 제도가 실제 운영되는 방법에 대한 일반적이고 조직적인 재검토를 하여야 한다. 이 재검토에 비추어 총회는 이 장 및 관련 부속서의 규정 및 절차에 따라 이 제도의 운영을 개선하는 조치를 채택하거나 다른 기관이 채택하도록 권고할 수 있다.” (제154조)

88. 총회는 정기적인 재검토 외에도 “승인된 작업계획에 따라 상업적 생산을 개시한 해 1월 1일부터 15년 후” (제155조)에 재검토회의를 소집하도록 하고 있다. 제154조의 정기적인 재검토의 목적은 협약 규정에 따라 제도의 운용을 개선하기 위한 것이라면, 제155조의 재검토회의는 해저 자

원의 이용을 위한 25년의 잠정 기간이 지난 뒤 국제 제도에 급격한 변화가 요구될 경우 이를 수용하기 위한 것이다. 따라서 양자는 분명 다른 성격을 가진다. 그러나 이들 2개 조항은 단괴 채굴과 관련한 경제적, 재정적 측면에 대하여 신뢰할 수 있는 자료가 없다는 점, 그리고 이 제도의 효과적인 수행이 불확실하다는 점을 말해준다.

### 가. 채굴 지역

89. 해양법협약은 심해저지역의 자원을 “병행개발제도” (parallel system)에 따라 개발할 것을 규정하고 있다. 이에 의하면 심해저개발청과 아울러 당사국이나 국영기업 또는 기타 법인인 다른 개발업자가 심해저 활동을 수행하는 것이다 (제153조). 심해저개발청은 협약이 효력을 발생할 때까지 존재하지 않으므로 단괴의 채굴에 관심이 있는 기업만이 앞으로 개발의 주체일 뿐이다.

90. 병존 시스템이 효과적으로 작동하기 위해서는 심해저개발청이 일정한 혜택을 향유해야 한다. 다시 말해서 심해저개발청은 기업이 개발한 기술의 혜택을 받을 뿐만 아니라 이미 탐사가 완료된 지역을 개발할 수 있도록 배려하여야 한다. 심해저지역을 개발하고자 하는 기업은 심해저기구에 승인 신청을 할 때에 상업적으로 동등한 가치가 있는 지역을 심해저개발청에 제공하여야 한다 (제3부속서 제8조). 이것은 기업이 2개의 지역이 모두 개발 대상이 될 수 있도록 탐사 해저가 충분히 넓어야 함을 의미한다.

91. 아직 해결되지 않은 하나의 문제는 얼마나 많은 지역을 가까운 장래에 개발할 것인가이다. 채굴 대상 지역은  $m^2$ 당 2.2-2.4% 가량의 니켈과 구리를 함유한 평균 10kg의 단괴가 있어야 한다. 이 경우 건조 상태의 단

피 약 300만톤은 20년에서 25년간 채굴할 수 있는 양이다. 현재 생각할 수 있는 채굴 장비와 제련 장비를 염두에 둘 때 이러한 특성을 가진 지역은 “제1세대 채굴 지역”이라 할 수 있다. 이 제1세대 채굴 지역은 경제적으로 가장 가치 있는 곳이라고 할 수 있으며 주로 북태평양 클라리온-클리퍼튼 지역에 소재한다. 대부분의 국가와 기업의 탐사 활동이 집중된 곳도 이곳이다.

92. 클라리온-클리퍼튼 지역 중 주목을 받는 지역, 즉 밀도가 열으면서 광석 함유도가 높은 부존 지역을 발굴해냈다. 문제는 이 지역의 크기와 “제1세대 채굴 지역”의 수자에 있다. 이 문제에 대한 해답이 제시될 경우 심해저지역의 잠재적인 자원 평가한 연후에, 장기적인 “해저 자원정책”을 계획할 수 있을 것이다. 이 분야에 관한 전문가들이 여러 차례 시도하였음에도 불구하고 이 문제에 대한 결정적인 해답을 찾는 것은 불가능하다고 할 수 있다. 현재로서는 경제적인 가치를 추정하고 그 범위를 제시하는 것이 최선이라고 할 수 있다. 아처 (Alan Archer), 파쇼 (David Pasho) 및 호슬러 (A. F. Hosler)의 연구 결과에 따르면, 북태평양에서 주목을 받는 지역은 약 400-450만km<sup>2</sup> 가량 된다고 한다. 이 지역 중 일부만이 “제1세대 채굴 지역”의 특징을 모두 갖추고 있다. “단괴 밀도” (단괴로 덮인 지역의 비율)와 “함유도” (표면적당 단괴의 집중도) 및 등급 (단괴에 함유되어 있는 금속의 양)을 추정할 경우 주목받는 지역의 규모가 잠재적인 채굴 지역으로 선정될 수 있을 것이다.

93. 여기서 북태평양 지역에서 개발 가능한 “제1세대 채굴 지역”의 수를 대강 파악하기 위해서는 단괴를 수확하는 시스템의 효율에 관하여 추정해볼 필요가 있다. 이 지역은 탐사가 가장 집중되었음에도 불구하고 “제1세대 채굴 지역”은 최소 10개에서 최대 200개까지로 매우 다르게 나타난다. 추가적인 연구를 통해서 보다 정확한 추정이 나오겠으나 제11편의 규

정과 “다광물단괴에 관한 선행투자활동”에 관한 제2결의를 입안할 당시 지배적이었던 불확실성에 대하여 다시 한 번 강조할 필요가 있다. 해양법협약의 발효 전의 “선행투자자”의 권리와 의무를 정한 결의는 선행투자자가 활동을 하는 지역의 크기를 정했어야 했음에도 불구하고, 신뢰할 만한 자료가 없는 상태에서 가능한 한 넓은 규모의 지역을 할당하고 이 지역의 일부를 정기적으로 포기하도록 할 수밖에 없었다.

94. 따라서 제2결의 제1항 (e)는 “선행투자자의 지역은 150,000km<sup>2</sup>를 넘지 못하도록” 하고 선행투자자는 제3차년도 말 이 지역의 20%를 포기하고 제5차년도에는 10%, 그리고 제8차년도가 지나면 20%를 포기하도록 하였다. 이기간이 지나면 각 지역의 크기는 75,000km<sup>2</sup>가 되도록 하였다. 제3부속서 제17조에 의하여 채택될 규칙과 규정 및 절차에 따라, 해양법협약이 효력을 발생하면 심해저기구는 채굴 지역의 크기를 포함하여 “심해저지역의 탐사와 개발에 관한 행정적인 모든 절차”를 정하도록 하였다.

#### 나. 재정적인 평가

95. 심해저지역의 자원을 개발하는 비용과 추출한 광석을 판매하여 얻을 수 있는 예상 수입을 추정하는 것은 모험적인 것이어서 해양법협약이 채택되기 전 수년 동안 그 수치가 각기 달랐다. 그러나 이 문제는 채굴 사업의 경제적 타당성 측면에서, 국제 심해저기구와 심해저개발청의 재정 측면에서, 그리고 병존 시스템의 효과적인 이행을 위해서나 결정적인 문제이다. 비용과 수입을 평가하는 것은 평가 요소에 따라 다를 수밖에 없다. 불확실성의 요인은 20%에서 40% 가량 된다.

96. 따라서 현재 제시할 수 있는 것은 개발의 규모에 관한 것이다. 산업 생산에 관한 문제는 그것이 제련이든 마케팅이든 해결할 수 없는 과제

이다. 예를 들어 비용은 수확 장치, 인양 시스템, 수송할 선박의 종류, 제련 방법에 따라 다르게 마련이다. 수입은 채굴한 단괴의 양--일년에 100만톤 또는 300만톤--, 추출하는 광석의 수--니켈, 구리, 코발트, 망간 등 4종 또는 그중 3종--, 비용 및 생산을 개시할 경우 시장 가격에 따라 다르다. 게다가 규모의 경제가 이룩되고 기술 발전이 계속되면 비용을 절약할 수 있겠지만, 예측하지 못한 난관이 개발 과정에 대두될 경우도 무시할 수 없는 요인이다. 이러한 불안정 요소에도 불구하고, 여러 가정에 입각하여 채굴 사업의 규모를 짐작해볼 수는 있다.

97. 예를 들어 연간 300만톤의 건조 상태의 단괴에서 니켈, 구리, 코발트, 망간 등 4종을 생산하는 경우를 생각해보자. 단괴가 니켈 1.3%, 구리 1.1%, 코발트 0.20%, 그리고 망간 27%를 함유하고, 니켈, 구리 및 망간을 90% 추출하고 코발트를 70% 추출한다고 할 때 이를 통해서 연간 니켈 35,000톤, 구리 30,000톤, 코발트 4,200톤, 그리고 망간 730,000톤을 생산할 수 있다. 이중 망간의 30%는 고밀도 탄소의 망간철의 형태로 판매한다고 하자.

98. 1980년의 시장가격을 보면, 니켈은 톤당 7.5달러, 구리는 톤당 2.18달러, 코발트는 톤당 55.10달러이고, 망간은 톤당 0.157달러이다. 앞에서 언급한 생산량에서 연간 얻을 수 있는 수입은 5억 4,000만 달러이다.

99. 연간 5억 4,000만 달러의 수입에 상응하는 비용은 얼마나 될까.

100. 단괴 산업은 아직 연구 단계이기 때문에 조사와 개발 비용만 1억 달러에서 2억 달러 소요된다. 생산 비용은 2억 달러에서 4억 달러 정도일 것이고, 제련공장은 4억 달러 내지 6억 달러에 달할 것이다. 이 비용에 더하여, 관리와 판매 비용을 포함하여 연간 운영비로 1억 달러에서 3억 달러를 계상할 수 있다. 구체적으로 검토하지 않더라도 해저 단괴 채굴 작업에 1980년 가격으로 8억 달러 내지 15억 달러의 자본이 필요할 것이다.

101. 연간 3개 광물을 300만톤 생산하는 경우를 상정한 채굴 작업을 경제적으로 분석한 플립스 (John Flipse)의 추정치에 의하면 1980년 미국 달러로 투자비는 15억 달러이고 연간 4억 1,500만 달러의 수입이 기대된다고 한다. 이것은 세금을 공제하고 약 7%의 수익율을 나타내는 것으로, 그는 투자 위험에 비하여 충분하지 못하다고 보았다.

102. 이 비용은 민간 투자자나 국영기업과 심해저개발청이 모두 부담하는 것이다.

103. 이러한 자금 규모를 감안하여, 해양법협약은 국제 심해저제도를 수행하기 위하여 창설한 각종 조직의 재정에 관하여 언급하고 있다. 제3부속서 제13조는 계약자가 내는 납부금에 대하여 규정하고 있다. 계약의 효력 발생일 이후의 행정비용과 연간 고정비용 외에 계약자는 심해저기구에 재정적 부담을 하여야 한다. 계약자는 2가지 중 하나를 선택할 수 있다. 생산요금 또는 생산요금과 순수익의 일정 비율을 결합한 것 중 하나를 내면 된다.

104. 첫번째는 국영기업, 특히 사회주의 국가의 국영기업의 회계제도를 고려한 것이다. 채굴 회사가 심해저기구에 납부하는 이러한 “세금”은 해양법협약 제171조에 열거한 재원의 하나가 된다. 심해저개발청의 경우 심해저기구가 부담하는 기금을 쓸 수도 있으나 대부분 당사국과 금융기관에 의존하게 될 것이다.

105. 제4부속서 제11조는 심해저개발청의 재정에 관하여 언급하고 있다. 이에 의하면 당사국은 적어도 최초 채굴 지역에 대한 재정 부담을 하도록 하고 있다. 이러한 의무를 지우는 목적은 심해저개발청이 다른 계약자와 동시에 해저 개발을 할 수 있도록 하기 위한 것이다. 이 의무는 또한 심해저개발청에 대한 기술이전의 의무와 관련을 갖고 있다. 계약자의 심해저개발청에 대한 원조는 그 설립 전에도 하여야 하며 이것은 준비위원회의

틀 안에서 (제1결의 제8항), 그리고 선행투자자에 관한 규정에 의거하여 (제2결의 제12항) 행해진다. 이러한 모든 조치는 계약자와 심해저개발청이 단파를 경제적으로 개발할 수 있도록 병존 시스템의 효과적인 수행을 위한 것이다.

106. 그러나 단파에서 추출한 광석의 시장이 새로운 자원의 공급 과잉에 대비할 수 있도록 별단의 조치가 필요하다.

#### 다. 광석의 시장

107. 해저 광물이 시장에 미치는 영향은 해양법회의 준비작업이 개시되면서 바로 논의되었다.

108. 이들 광물이 시장에 나오면 전통적인 육지 생산자, 특히 제3세계 수출업자에게 피해를 야기할 것이다. 해양법협약은 따라서 이러한 위험을 줄이고자 하였다. 이러한 위험은 광물에 따라 다르다고 할 수 있다. 경제적으로 가장 가치있는 광석은 니켈과 구리, 코발트와 망간이다. 모리브덴과 같은 광석도 제외해서는 안된다. 이들 광석의 소비는 변화가 많고 무역량도 상당한 정도로 변하고 있다.

109. 니켈은 스테레스 스틸과 기타 합금, 그리고 니켈 도금의 제조를 위하여 주로 사용된다. 니켈은 강도를 높이고 부식의 저항력을 높인다. 또한 장력도 늘린다. 현재 생산량은 약 850,000톤이며 2000년이면 세계 수요가 120만톤 내지 190만톤으로 증가할 것으로 예상된다. 10여개 국가가 현재 니켈을 생산하고 있으며 주요 국가로는 캐나다, 뉴칼레도니아 및 호주 가 있다. 그러나 개발도상국의 상당수도 니켈을 생산하거나 생산할 예정이다. 이에는 인도네시아, 필리핀, 보츠나와와 과테말라가 있다.

110. 구리는 열와 전기 전도율이 높다. 부식에도 강하여 전기장비, 케이



블, 건축 자재로 유용한 광물이다. 구리는 이용 범위가 아주 다양한 금속이다. 현재 약 850만톤이 생산된다. 2000년에는 세계 수요가 1,470만 내지 2,460만톤에 달할 것이다. 50여개 국가가 다량의 구리를 생산하고 있다. 산업국 중에서는 미국과 소련 및 캐나다가 가장 생산과 소비를 많이 하였고 개발도상국 중에는 칠레, 페루, 자이레, 잠비아가 있으며 이들 국가는 생산량의 대부분을 수출한다.

111. 코발트는 비싼 금속으로서, 상대적으로 적은 양이 생산된다. 코발트는 고온에 강하고 자기적, 화학적 특성을 가지고 있다. 대부분 구리와 니켈의 부산물로 생산된다. 코발트의 생산량은 현재 연간 약 33,000톤이며 2000년이면 세계 수요가 57,800톤에서 95,700톤 사이일 것으로 예상된다. 그러나 코발트는 부산물로 나오기 때문에 잠비아, 쿠바, 모로코, 캐나다 등이 이를 생산하고 있고 생산할 수도 있다.

112. 생산되는 망간의 90% 이상은 제철 산업, 특히 망간철의 형태로 이용된다. 현재 세계 수요는 2,900만톤이며 2000년에는 7,350만톤에서 1억 1,180만톤이 될 것이다. 주요 생산국은 동유럽의 사회주의 국가들과 남아메리카이다. 일부 개발도상국도 망간을 수출한다. 이에 브라질, 가봉, 인도 등이 있으며, 이보다 적은 규모로 자이레, 가나 및 모로코도 수출한다.

113. 각 광석의 현재 생산량과 추정치는 미국 상무부가 제시한 것으로서, 이에 의하면 이들 광물을 해저에서 생산할 경우 분명 문제가 생길 수 있음을 알 수 있다. 단괴에 함유된 광석의 비율은 현재 세계 소비 구조와는 매우 다르다. 한 곳의 채굴 작업만으로 300만톤의 단괴를 수확할 경우 코발트 4,200톤을 생산할 수 있으나 1980년의 세계 소비량은 33,000톤에 지나지 않는다. 해저 단괴에서 코발트를 생산할 경우 코발트 시장을 어지럽힐 가능성이 높으며, 특히 자이레와 같은 육지 생산국 경제에 미치는 피해는 매우 클 것이다.

114. 니켈, 망간 및 구리 시장도 적지 않은 영향을 받을 것이다. 일부 육지 생산국과 수출국은 자신의 광물과 새로운 곳에서 나온 광물 간의 경쟁을 맞이 할 것이다. 모든 광물 시장은 장기적으로 균형에 도달하겠지만 해저 자원 생산이 무역과 투자의 흐름을 바꾸어놓는 등 기존 생산자에게 피해를 입힐 것이다. 해양에 대한 신경제질서를 맞아, 해양법협약은 이러한 위험 가능성을 수용하여 위험 요소를 심해저지역의 “자원정책”의 결정 요인의 하나로 하였다.

#### 제 4 절 자원정책

115. 해양법협약 제11편 전부는 장래의 문제를 다루고 있다. 제도와 관련된 규정은 장래에 발생할 문제에 대한 장치에 한정하고 있으나, 경제, 재정에 관한 규정은 추측이 가능한 부문을 모두 감안한 경제 질서를 창출하고자 하는 것이다. 이들 규정에 내재하고 있는 기본적인 모순이 있음을 지적할 필요가 있다. 이들 규정은 모두 조약 규칙이다. 다시 말해서 본질적으로 변경할 수 없는 것이다. 반면 그 범위는 순전히 추정에 의하여 예상할 수 있는 문제들이어서 기본적인 변경이 불가피한 것으로 보인다. 일반적으로 알고 있기로는, 해저 단괴의 상업적 생산은 금세기 말까지는 시작하지 않는다는 것이다. 그러나 해양법협약은 심해저지역 자원의 개발에 적용될 신경제질서를 반영하는 분명한 자원정책을 규정하고 있다. 이러한 정책의 필요성은 인류공동유산의 개념 때문에, 그리고 모든 인류를 위한 국제 제도의 설립 때문에 피할 수 없게 되었다. 총회 결의 제2749호의 “원칙 선언”은 해양법협약에 담을 제도에 관한 규정의 기초가 되었다.

## 1. 개념의 연혁

116. 해양법회의에서는 해저 자원의 개발을 위한 국제 제도를 창설하는 과정에서 극복해야 할 모순을 잘 알고 있었다. 과거 규범상의 선례나 관행이 존재하지 않았던, 입법상으로 완전히 새로운 것이었다. 모든 인류를 위한 자원 개발 의무라는 제도를 설립해야 했던 이유는 오직 소수의 고도 산업국만이 이러한 개발을 수행할 수 있었다는 사실 때문이고 이를 절충하는 과정에서 이러한 의무 제도가 나온 것이었다.

117. 산업국가의 경제적인 이해관계와 국제 심해저지역에서 생산할 광물의 소비자이면서 수입자인 대다수 국가의 이해관계, 그리고 새로운 경쟁 광물로 인하여 부정적인 영향을 받을 수 있는 동종 광물 생산국 및 수출국 간의 이해관계간의 타협이 나와야 했다. 개별 그룹간의 다양한 경제적인 이해관계가 종전의 남북간의 구분과는 아무런 관계가 없다는 점도 또다른 정치적인 어려움이었다. 협상자들은 극복해야 할 난관의 복잡성을 풀어야 할 재능을 보여야 했다.

118. 1967년 파르도 대사가 국가 관할권 밖의 해저와 海床을 국제화해야 한다고 국제공동체에 제기하였을 때 그는 극단적인 몇 가지 이타주의적인 목적을 염두에 두고 있었다. 즉 이 지역은 평화적인 목적으로만 이용되어야 하며, 그 자원은 국제공동체 전체의 이익을 위해서 개발되어야 하며, 그리고 무엇보다도 제3세계 국가의 경제적 발전에 공헌할 수 있도록 그 혜택을 분배하여야 한다는 것이었다. 이러한 목적을 위하여 그는 심해저기구의 책임하에 자원을 개발하고 그로부터 나오는 수익을 분배한다는 의미의 국제 제도 창설을 권고하였다. 이에 내재한 개념은 가장 가난한 국가들의 발전을 위하여, 이들 국가의 중요한 수입원을 만들어내는 방향으로 개발의 방식을 정하는 것이었다.

119. 말타의 제안에 대한 토론 끝에 창설된 임시위원회 (Ad Hoc Committee)의 작업은 이러한 사상의 영향을 받았다. 분배 목적의 수입을 획득하기 위하여 자원을 개발한다는 사상은 임시위원회를 계승한 상설위원회 (Standing Committee)의 초기 작업 배경을 제공하였다.

120. 충분히 연구해야 할 문제들이 늘어나면서 자원 개발의 경제적 측면과 관련된 다른 문제들도 토론의 대상으로 등장하였다.

121. 처음 제기된 문제 중의 하나는 해저와 해상의 자원 개발로 인하여 동종 광물을 육지에서 생산하는 개발도상국이 경제적으로 영향을 받을 가능성에 관한 것이었다. 이러한 가능성을 줄이기 위하여 개발의 방식을 보상적인 제도와 결합시키면서 상품협정 (commodity agreements)의 체결 가능성도 염두에 두자는 제안이 나왔다.

122. 그러나 이러한 조치는 이제까지 광물을 수출했던 개발도상국을 지원하는 데 그 자체로 충분하지 못한 것으로 보였다. 따라서 해저와 해상의 광물 생산에 대한 일반적인 규칙을 채택하자는 견해가 나왔다.

123. 상설위원회의 초기 토론 과정에서, 특히 이 위원회가 실제로 제3차 유엔 해양법회의의 준비위원회로 바뀌는 시점에, 제25차 유엔 총회의 결정에 따라 상설위원회는 이해관계를 모두 보장하는 국제적인 제도의 일부로서 심해저 자원의 개발을 조직화하자는 생각을 하기 시작하였다. 이것은 아직 막연하기는 하나 해저 자원정책의 채택 필요성이 현실적임을 나타내는 것이었다.

124. 그러나 해양법회의가 본격적으로 시작되면서 비로소 생산 규칙을 제정하여 그러한 정책을 수립할 필요성이 본격 제기되었다. 이 규칙이 제정된다면 이것은 특히 적절한 경제적인 장치를 갖추고 생산량을 제한하는 것이었다. 모든 이해관계를 만족시키는 생산 시스템을 수립하는 데 내재한 어려움 때문에 결국 상당한 정도의 무관심이 만연하였다. 이것은 경제적인

요소가 아닌 정치적인 요인에 의한 자원정책이 수립되도록 하였다. 따라서 실질적인 내용을 담은 자원정책의 개념 성립을 불가능하게 만들었다.

125. 처음에는 해저 작업의 경제성에 대한 자료가 없어서 문제를 제대로 인식하지 못하였다. 따라서 국제공동체도 자원 개발을 수익의 측면에서만 보았다. 이 당시 일정한 국제적인 규칙을 수락하고 개발에서 나온 생산물을 제3세계 국가들과 나눈다는 전제하에서, 필요한 재원과 기술을 가진 국가들이 해저 자원을 개발할 수 있도록 하는 시스템을 만들려고 하였다.

126. 문제의 본질을 이해하면서 “공동유산”의 개념을 보다 실질적인 의미로 탈바꿈하려는 노력이 계속되었다. 이것은 신속하게 자원을 개발하고, 시장의 안정을 유지하고, 그리고 무엇보다도 심해저지역에서 채굴할 광물과 같은 광물을 현재 수출하고 있거나 수출할 여지가 있는 국가에 피해를 주어서는 안된다는 것이었다.

127. 그 다음 단계에서는 단순히 경제적인 측면은 정치적인 측면보다 중요성이 덜해졌다. 즉 정치적으로 일정 그룹의 국가에 부정적인 영향을 미치지 않아야 하고, 그리고 재원과 기술을 가지고 있는 국가로 하여금 국제공동체 전체의 의지와 그에 따라 정해지는 규칙에 의거하여 해저 자원개발을 행하여야 한다는 점이 더욱 중요해졌다. 이 단계는 제3세계 국가들의 이념의 승리였다. 이들은 주요 산업국의 재량적인 접근법을 제한하는 국제경제 관계를 정립하기 위하여 실제적인 문제로서 경제적인 이해관계를 희생한 것이다.

128. 그러나 선행투자자의 보호를 위한 결의를 채택함으로써 실제로는 기술을 가지고 있는 기업들에게 국제 제도 내에서 개발에 대한 우선권을 확보해주면서 해저 개발을 시작할 수 있도록 하였다. 이것은 경제적인 현실주의가 일정한 목표 달성에 필요불가결한 것임을 보여준 것이다.

## 2. 자원정책의 기초

129. 해양법협약에 구체화된 자원정책은 인류공동유산의 실제적인 내용을 붙여넣는 장치와는 분리해서 생각할 수 없다. 일련의 상관관계는 제도의 성공 여부에 결정적으로 중요한 역할을 한다. 해양법협약이 설립한 국제 제도는 3가지 규정으로 나누어 볼 수 있다. 제도상의 구조, 개발 제도 및 세계 자원정책이 그것이다.

130. 해양법협약이 창설한 제도와 심해저지역의 자원개발 제도는 이 장 제2절과 제3절에서 논의한 바 있다. 여기서 한 가지 강조할 점은 자원 “정책” 자체의 정당성은 제11편 전체와 해당 부속서에서 찾아볼 수 있다는 것이다. “심해저지역의 활동에 관한 정책”을 다룬 제150조는 해양법회의의 내내 협상의 대상이 된 일련의 타협의 산물이다. 이 조항의 최초 안은 카라카스 회기 이후 상당한 논란이 계속되어 해양법회의의 마지막 회기에 최종적으로 확정되었다. 이 조항은 그 중요성 때문에 자세한 분석이 필요하다. 학문적으로 볼 때 다음과 같이 몇 가지 주제로 나누어 볼 수 있다. 이 조항의 구성에 관하여 객관적으로 분류한다는 것은 자의적일 수밖에 없다.

### 가. 심해저지역의 자원개발에 관한 일반 철학

131. 제150조 처음은 심해저지역의 자원개발이 성취하여야 할 일반적인 목표에 대하여 언급하고 있다. 주요 목적은 “세계 경제의 건전한 발전과 국제 교역의 균형 있는 성장을 촉진하”는 데 있다. 새 해양법의 이타적인 목적에 비추어 추가적인 목적은 “모든 국가, 특히 개발도상국의 전반적인 발전을 위한 국제협력을 증진시키”기 위한 것이다. 제150조 전반부에서 언급하고 있는 이러한 일반적인 목표는 각 호에 구체화된다. 10개에 달하

는 각 호는 해저 자원을 신경제질서의 측면에서 보고자 하는 개발도상국 그룹의 희망과 주로 소비자로서 해당 광물을 개발하고자 하는 산업국의 바람 간에 세밀한 균형을 반영하는 것이다.

132. 전체적으로 볼 때 위 목적은 상반되는 것이 아니다. 그러나 목표를 달성하기 위하여 채택할 조치는 서로 배치될 수 있다. 최종적으로 제 150조에서 구체화한 표현은 타협의 최종 산물이었다. (a)와 (b)는 일반적인 것으로서, 심해저지역의 활동의 목표가 자원의 개발뿐만 아니라 질서정연하고 합리적인 관리 및 “보존의 원칙에 따른 불필요한 낭비의 회피”에 있다.

133. 뒤퓌 (R. J. Dupuy)가 지적한 바와 같이, 합리적인 관리는 인류의 개념의 본질에서 나온다: “각 세대는 엄격히 말해서 국제 심해저지역의 소유자가 아니다. 시간적인 구속을 받지 않는 인류만이 심해저지역의 이용에 대한 권한을 각 세대에 부여할 수 있으며 그 이용은 공동의 부를 유지할 수 있도록 합리적이어야 한다.”

#### 나. 개발도상국의 참여

134. 인류공동유산의 개념과 신경제질서라는 암묵적인 구조하의 국제 제도는 심해저지역의 자원 개발에 개발도상국이 참여하는 것은 암시한다. (c)는 특히 이에 관한 규정이다. (g) 전단은 이러한 참여의 무차별성을 강조하는 원칙이다.

135. 자원 개발에 동등하게 참여하는 문제는 법적인 문제이다. 개발도상국 대다수는 경제적으로나 기술적으로 불리한 위치에 있다. 평등의 개념은 개발도상국에게 일정한 특혜를 주는 것이다.

136. 따라서 제148조는 이 목적을 위해 규정하고 있다. 이에 의하면,

개발도상국의 실질적인 참여가 “장려되어야 한다.” 이러한 목적은 개발 제도 자체 내에서 몇 가지 조치를 필요로 하고 있다. 개발도상국과 국제 심해저개발청은 경제적, 기술적 약점을 상쇄할 수 있는 혜택을 부여받고 있다. 재정적인 측면 외에도, 제150조 (d)는 심해저기구가 수입에 참여할 수 있도록 하고 있다. 해양법협약에서 규정한 바에 따른, 심해저개발청과 개발도상국에 대한 기술이전에 관한 특별 규정도 존재한다.

137. 기술이전의 문제는 원칙적으로 제144조에서 언급하고 있다. 이 조항에서는 제150조 (c)의 규정을 지적하고 있다. 제144조는 개발 제도에 관한 가장 큰 장애 가운데 하나였다. 77그룹은 기술이전이 병존 시스템이 제 기능을 하기 위하여 실제적으로 반드시 필요할 뿐만 아니라 국가간의 경제관계를 새로이 설정하는 데 선례로서도 중요하다는 점을 분명히 하였다. 그러나 이것은 산업국, 특히 미국의 거센 비판을 받았다. 기술이전의 이행에 관한 조치는 제3부속서 제5조에 규정하고 있다. 이 또한 회의 마지막까지 협상의 대상이었다.

#### 다. 시장의 균형

138. 제150조 (e)와 (f)는 언뜻 보기에 별 문제가 없는 것으로 보인다. 이 조항은 이념적인 대립 때문에 협상으로 타협을 보지 못한 부분이다. (e)는 광물을 소비하는 산업국가의 입장을 잘 말해준다. 이에 의하면 심해저 지역에서 나오는 광물의 이용 가능성 증대에 대처하도록 규정하고 있다. 한편 (f)는 전통적인 생산국, 특히 이들 광물을 수출하는 개발도상국의 입장을 대변하고 있다. 여기서는 “심해저지역 및 다른 출처에서 생산된 광물의 생산자에게 수지가 맞고 소비자에게 공정한, 정당하고 안정적인 가격의 확보 및 공급과 수요간의 장기적인 균형의 증진”에 관하여 규정하고 있다.



139. 개발도상국의 참여와 무차별적인 제도라는 목적 외에 “심해저지역의 활동의 독점을 막는” 목적이 추가된다. 또한 호주 대표의 제안에 따라 마지막 회기에 추가된 것으로, 불공정 경제 관행에 관한 내용도 있다.

140. 세계의 균형을 추구하는 것은 단괴에 포함된 광물의 비율과 실제로 소비되는 비율 간의 차이 때문에 쉬운 문제가 아니라는 점을 지적해야겠다. 각 광물의 생산과 소비의 탄력성, 대체 가능성, 그리고 시장 구조에 관해서도 고려해야 한다. 해당 광물의 경우 새로운 출처가 생기면 그에 따른 조정 가능성도 배제할 수 없다. 그러나 조정의 규모는 광물에 따라 다르다.

141. 게다가 단기적인 불균형이 생길 수는 있으나 장기적인 시장은 균형에 도달하는 것이 당연하다. 이상에서 언급한 목적은 따라서 다른 규정과 독립해서 생각할 수는 없다. 이들 규정은 특히 해저 자원개발로 인하여 부정적인 영향을 받는 육지 생산자와 수출자의 보호 문제와 직결된 문제이다.

#### 라. 육지 생산자의 보호

142. 해저 자원에서 추출한 광물을 수출하는 육지 생산자의 불안은 국가 관할권 한계 밖의 해저와 海床의 평화적 이용에 관한 위원회 초기 논의 과정에서 이미 드러났다. 이 문제는 시간이 흐를수록 더 심각해졌으며 해양법협약 제11편 규정의 협상 과정에 큰 영향을 미쳤다.

143. 새로운 공급원이 자국의 경제 성장에 기여할 것이라는 산업국의 입장과는 달리, 구리와 망간, 특히 니켈과 코발트를 생산하는 국가들은 다광물단괴에 대한 규제 없는 개발이 자국의 생산량을 감축시키고 심지어 자국의 경제를 파괴할 수 있는 것으로 우려하였다. 이들 국가에게는 많은 경

우 이들 광물의 수출이 수입원으로서 주요 역할을 하기 때문이다. 후자의 입장은 77그룹의 공동 입장으로 되어버린 듯하였다. 캐나다도 세계 최대 니켈 생산국으로서 이해가 있기 때문에 이들의 입장에 동조하였다.

144. 그러나 77그룹 내부에서 상대적으로 적은 수의 국가들만이 부정적인 영향을 받는 반면 대다수의 국가는 해당 광물의 육지 생산국도 수출국도 아니었기 때문에 이들 광물 가격의 하락은 그들에게도 유리한 것이 당연하였다. 그럼에도 불구하고 이 문제는 남북간의 대결 양상으로 전개되었다. 육지 생산국으로서 개발도상국의 보호가 자원정책의 중심요소임은 분명했다. 이것은 광물 생산에 필요한 조직의 성립을 가져다 주었다.

145. 제150조 (g)는 이러한 문제를 다루고 있는데, 이를 간단히 언급하기는 어렵다. 해양법협약 내에서 이 조항이 가지는 의미와 그 실제적인 실행과 관련하여 문제가 얽혀 있기 때문이다.

146. 생산 정책에 관하여 규정하고 있는 해양법협약 조항은 분명 우발적인 사태와 그에 따른 경제적 상황에 크게 영향을 받는다. 이들 규정은 규범적인 조약과 가상적인 주제 간의 충돌을 전형적으로 보여주고 있다.

147. 자원정책의 일반 원칙을 규정하고 있는 제150조의 핵심은 해저 자원의 생산을 제한하는 것이다. 이것은 국제 제도의 하나의 요소로서 다른 요소와 분리해서 생각할 수 없다. 예를 들어 생산 시스템이나 새로운 제도적 장치가 그것이다. 각 주제가 협상 과정에서 “작은 패키지”였으나 이들 패키지는 상호 밀접하게 연관되어 전체로서 제11편에 구체화된 “패키지”를 이룬다는 점을 잊어서는 안된다. 제11편은 해양법협약 전체 구조에서 하나의 “패키지”이지만 해양법협약 그 자체는 서로 분리할 수 없는 전체로서 하나로 보아야 한다.

### 3. 생산 제한--자원정책의 핵심 요소

148. 국제 제도의 내용 안에 시장을 교란하거나 해저에서 채굴하는 광물의 육지 생산자와 수출자에게 부정적인 영향을 미치지 못하도록 하는 장치를 두지 않았다면 협상의 결과 합의가 이루어지지 못했을 것이라는 점은 분명하다.

149. 1970년 원칙 선언은 “심해저지역과 그 자원의 합리적인 관리”에 관하여 규정하고 있다. 합리적인 관리의 방식이 일부 국가의 이해에 악영향을 미치지 않도록 여러 방법이 고려되었다. 결국 몇 가지 방법이 해양법 협약 내에 도입되었다. 산품협정, 보상 조치, 그리고 생산 규제 등이 그것이다. 게다가 이 제도가 한시적인 성격을 갖도록 하였다. 제151조에 규정된 생산 규제는 실제로 25년의 잠정기간 동안 적용될 것이다.

#### 가. 산품협정

150. 유엔 사무국과 함께 유엔 무역개발회의 (UNCTAD)는 해저 광물 자원과 동종의 광물을 생산하는 개발도상국에 미치는 부정적인 효과를 연구하였다.

151. 이들 2기구 사무국은 정기적으로 상세한 보고서를 발행하여 이러한 개발에 따른 영향을 최소화하기 위한 방법들을 제시하였다. UNCTAD는 해당 광물에 관한 새로운 산품협정 체결을 제안하였다. 제151조 제1항(a)는 “심해저기구는 생산자와 소비자를 포함한 모든 이해당사자가 참여하는 기존 조직 또는 적절한 새로운 약정이나 협정을 통하여 활동함으로써 생산자에게 수지가 맞고 소비자에게 공정한 가격으로 심해저지역에서 나오는 광물에서 생산된 제품에 대한 시장의 성장, 효율 및 안정성을 증진하기

위하여 필요한 조치를 취하여야 한다”고 규정하고 있다.

152. 그러나 이들 사무국이 작성한 보고서는 또한 모든 산품협정의 난관과 약점, 한계 등을 지적하는 것도 잊지 않았다. 이러한 협정이 현실화하는 데 필요한 시간의 문제도 제기되었다. 이러한 방식은 장기적인 목표가 될 수 없고 따라서 자원의 “합리적인 관리”를 촉진할 수 없을 것이다. 왜냐하면 어느 누구도 이러한 방식의 성공 전망에 대하여 확신할 수 없기 때문이다. 이로 인하여 다른 조치에 관해서도 규정할 필요가 있다. 잠정기간은 “25년, 제155조에 규정된 재검토회의의 종료 또는 제1항에 규정된 새로운 약정이나 협정이 발효하는 일자 중 가장 이른 일자까지 지속한다” (제151조 3항). 이 규정은 가까운 장래에 실효적인 산품협정 체결에 대한 전망에 대하여 협상자들이 거의 신뢰하지 않았음을 보여준다.

#### 나. 역효과에 대한 보상

153. 협상을 시작할 때 해저 개발이 수출국의 경제에 부정적인 영향이 생길 경우 이에 대한 보상은 단순하면서도 적절한 것으로 인식하였다. 결국 일부 개발도상국, 특히 코발트를 수출하는 국가만이 이로 인한 영향을 받는다면 시장의 견고함에 비추어 그 손실을 평가하고 그에 대한 보상을 하는 문제가 그다지 어렵지 않은 것으로 생각했다.

154. 그러나 구체적으로 연구할 결과 그러한 접근법조차 쉽지 않았음을 알게 되었다. 이것은 하나의 광물 코발트만의 문제가 아니었다. 왜냐하면 해저에서 채굴할 다른 광물에 대한 영향도 고려해야 했기 때문이다. 게다가 그 영향을 평가하는 것이 특히 어려운 작업이라는 예상이었다. 수출이 줄어든다면 그 근거는 무엇인가. 일실 손해를 어떻게 고려할 것인가.

155. 또한 수출의 감소가 광물을 수입하는 국가의 경기 후퇴 때문에

생길 수도 있는데, 이 경우 얼마나 해저 채굴에 그 원인을 물을 것인가. 육지 자원을 개발하는 대신에 해저 광물로 자본이 유입된다면 이러한 자본의 이동을 고려해야 하는가. 마지막으로 국제 심해저기구가 영향을 받는 국가를 실질적으로 보상할 정도로 충분한 자본을 가지고 있는가. 또한 그러한 목적으로 기금을 사용할 때 다른 재정적인 의무는 어떻게 할 것인가.

156. 협상자들이 이러한 문제들에 부딪혔을 때 이들은 그에 대한 절차를 정하지 않고 보상의 원칙만을 도입하였다. 제151조 10항은 보상 제도를 채택하고 있다. 즉 “가격 하락 및 수출량 감소가 심해저지역 내 활동에 의하여 야기되는 정도에 따라, 영향받는 광물의 가격 하락 또는 수출량 감소로 인하여 수출 소득 또는 경제에 심각한 역효과를 입은 개발도상국을 원조하”도록 하고 있다.

157. 심해저기구 총회는 이러한 제도를 수립할 책임을 지지만 그 설립 전에는 국제 심해저기구 준비위원회가 연구조사를 하여 심해저기구에 권고를 하도록 하였다. 협상자들은 이 경우 다른 경우와 마찬가지로, 해결할 수 없는 문제를 바로 해결하지 않고 일반 원칙만을 세우기로 결정하였다.

158. 제11편의 대부분 규정들은 비슷한 성격을 가지고 있다. 원칙이 수립되면 해양법회의 제1결의에 따라 설립된 준비위원회의 작업과 그 권고에 따라 국제 심해저기구가 그 이행에 관한 사항을 결정하도록 하였다. 준비위원회는 실제로 심해저지역의 자원개발을 조직하고 결국 제11편과 해양법 협약 자체를 성과 있게 하는 데 결정적인 역할을 할 것이다.

## 다. 생산 제한

159. 해저 자원의 개발로 인한 영향을 최소화하는 실질적인 방법은 이 자원이 육지 생산물을 단지 보완하는 데 그치도록 생산량을 엄격히 통제하

는 것이다. 이 경우 해당 자원의 수요 증가를 물론 감안하여야 할 것이다. 해양법회의에서는 처음부터 생산량의 규제가 자원정책의 핵심 요소라는 사실을 알았다. 상세한 경제적 정보가 없는 상태에서 이 원칙은 1975년 봄 제네바에서 나온 단일 협상안 (Single Negotiating Text)에 포함되었다.

160. 이 당시는 국제 심해저기구가 해저 개발에 대한 모든 제도에 대하여 결정하고 이사회를 통해서 우선적으로 합작투자에 의하여 개발할 19개의 채굴 지역을 선정하도록 기대하였다.

161. 위 단일 협상안은 개발을 원하는 기업이 스스로 개발하기 원하는 지역과 동등한 상업적인 가치가 있는 지역을 심해저개발청에 제공하는 병행개발제도를 수립하고자 한 미국의 제안을 고려한 것이다. 따라서 해당 기업은 동등한 상업적 가치가 있는 지역을 2곳 선정하여 이를 심해저기구에 제공하여야 한다.

162. 국제 제도의 성립에 관하여, 해양법회의 제3차 회기 말엽 제출된 단일 협상안은 주로 77그룹의 입장을 반영하였다. 이 협상안에 따라 비공식적인 토의가 제3차 회기와 제4차 회기 중간에 진행되었다. 토의 과정에서 산업국은 이 협상안에 의거한 논의의 계속을 원하지 않는다는 점이 확인되었다. 이들 국가는 따라서 새로운 안을 입안하는 데 영향을 미치려고 하였다. 해양법회의 제4차 회기 말에 발행된 수정 단일 협상안 (Revised Single Negotiating Text)은 처음으로 일관성을 어느 정도 갖춘 생산 제도와 생산 제한의 원칙을 구체화한 안이었다.

163. 수정 단일 협상안 제9조 4항 (ii)는 심해저기구가 1980년 1월 1일 시작하여 20년의 잠정기간 동안 또는 상업적 생산 개시 시점에 니켈 시장의 예상 누적 성장분을 초과하지 않는 한도 내에서 해저 광물자원의 생산을 제한하고자 하였다. 당시까지의 조사연구에 의하면, 망간단괴의 생산으로 인한 수익성은 기준 광물로 선정한 니켈에 의존한다고 생각하였다. 니

켈의 성장율은 해양법협약 효력발생 전 20년 동안의 연간 평균 증가율 또는 연간 6%의 성장율 정도로 예상하였다. 이러한 증가율의 기준 연도는 지난 3년간 세계 수요가 가장 높았던 해로 하였다.

164. 당시 전문가들은 모두 니켈 수요의 증가는 6%를 넘지 않을 것으로 보았기 때문에 협약 효력발생일 이후 또는 1980년 이후 니켈 수요의 전체 증가분을 해저 채굴 부분에 할당할 수 있을 것으로 보았다. 이러한 제안의 효과는 실질적으로 생산량 제한의 원칙을 배재하는 것이었다.

165. 객관적으로 볼 때 수정안은 대부분 산업국, 특히 미국의 입장을 반영하였다. 단일 협상안이 당시 지배적인 국제 정세 속에서 77그룹의 견해에 동조하는 것으로 보인 반면, 수정안은 분명 미국의 주장에 가까운 것으로 보였다. 협상의 흐름이 한 쪽에서 다른 쪽으로 극단적으로 바뀌면서 급기야 해양법회의 제5차 회기는 양 진영간의 대립으로 발전하였다.

166. 협약이 효력발생하는 때에 다수의 채굴 지역을 확보하고자 하는 산업국, 특히 미국의 희망과 육지 광물의 생산을 계속하고 이를 확대하기 위하여 해저 생산량을 제한하고자 하는 다른 국가들의 희망 사이의 타협점을 찾는 일이 중요해졌다. 이러한 2개의 입장을 타협하기 위하여 기간을 2기로 나누었다. 제1기는 다수의 채굴 지역을 경제적인 관점에서 타당성이 있는 경우에는 개발을 허용하는 시기이고, 제2기는 생산량의 제한에 관한 기준을 마련하는 시기이다. 또한 잠정기간이 지난 후 재검토를 하기로 하였다.

167. 해양법회의의 틀 내에서 전문가들의 작업을 기초로 여러 초안이 준비되었다. 1977년 7월 간행된 비공식 통합 협상안 (Informal Composite Negotiating Text) 제150조는 여러 측면에서 해양법협약에 반영할 수 있는 규정을 예정한 것이었다. 이 세번째 초안에 의하면, 생산량의 제한은 1980년 1월 1일을 기산점으로 한 잠정기간에 적용되는 것이었다. 이 기간 중

처음 7년간 자원의 생산량은 니켈 수요의 누적 증가분을 초과할 수 없도록 하였다. 나중에 분쟁을 회피하기 위하여 계산 방법과 기본 수치에 대하여 자세하게 언급하였다.

168. 따라서 잠정기간 최초 7년 동안 세계 니켈의 예상 수요 증가율은 1980년 전 20년 동안 세계 수요의 연간 증가율에 해당하도록 하였다. 이 비율을 계산함에 있어 지난 20년 동안의 수자에 정확성을 기하기 위하여 신뢰할 만한 자료를 이용하기로 하였다. 그 이후 비율은 지난 10년간의 수자를 적용하면서 매 5년 변경하기로 하였다.

169. 체결될 계약의 수를 정하기 위하여 누적 증가율은 제1기나 제2기나 마찬가지로 기준량에 적용하는 것이다. 즉 지난 5년간 니켈 수요의 예상 증가율을 적용하는 것이다. 이 수치는 매 5년 변경할 것이다.

170. 생산 제한 제도의 기본 방침이 정해지면서 그 영향을 각각의 경제 성장 시나리오에 따라 추정할 필요성이 제기되었다. 그러나 핵심은 주요 산업 소비국과 개발도상국이 상반되는 입장을 보인다는 점이었다. 각 그룹은 제150조를 자신들에게 유리하도록 하였다. 각 회기마다 이 조항은 처음 의도한대로, 즉 자원 개발을 허용하면서 그 보존을 보장하기 위한 목적을 달성할 수 있도록 수정되었다.

171. 해양법회의 회기가 거듭되면서 생산 제한 규정과 관련하여 진정한 승자가 없는 상태에서 논쟁은 전문가들 간에 계속되었다. 비공식 통합 협상안이 채택되고 이어 협약안이 작성되면서 이와 같이 복잡한 상황은 개선되기 보다는 오히려 증대되었다. 해양법회의는 마침내 제151조의 핵심이 되는 제도를 채택하였다.



## 라. 생산 한도의 계산

172. 해저 생산량 제한에 관해서는 제151조에서 규정하고 있는 바, 이 규정은 잠정기간 동안만 적용된다는 점을 지적해야겠다. 상업적 활동이 시작되는 시점--이 시점은 점차 늦춰져서 이제 다음 세기 초에나 가능할 것으로 기대한다--을 예상하기란 불가능하다. 따라서 잠정기간은 “상업적 생산을 개시할 것으로 예상되는 해 1월 1일의 5년 전”에 시작한다.

173. 이 잠정기간 동안 특정한 해의 니켈의 상업적 생산의 최고치는 정해진 양을 넘지 않아야 한다. 이 양은 2가지 값의 합계이다. 하나는 최초 상업 생산 전년도에 니켈 수요의 경향선치 (trend line value)와 잠정기간 개시 전년도에의 경향선치 사이의 차이 (이것은 실제로 최초 생산 전 5년 간의 니켈 소비 증가분이다)이다. 다른 하나는 생산 허가 적용 연도의 니켈 소비의 경향선치와 최초 상업 생산 개시 전년도에의 경향선치 사이의 차이의 60% (이것은 채굴 시작 이후 니켈 소비 증가분의 60%이다)이다.

174. 제151조는 더 나아가 경향선의 계산 방법에 관하여 규정하고 있다. 이 조항은 소비 성향의 예측을 가능한 한 현실적으로 하려면 추정치는 유효한 시점에서 나와야 한다는 점을 확인하고 있다. 기본적인 생산 한도는 최소 생산 한도와 안전장치 규정 (safeguard clause)에 의하여 보완된다. 경향선의 평균 증가율이 3% 미만인 경우 이론적인 경향선 3%를 생산 한도를 정하는 데 사용한다.

175. 이 규정은 소비 국가의 주장에 따라 최저 기준으로 주장되었다. 이 규정은 실제로, 비록 수요가 정체되는 때라 하더라도 단피 채굴의 최소 수준을 정하는 최소 생산 한도에 관한 규정이라 할 수 있다. 또한 안전장치 규정은 특정 연도의 생산 한도가 원래의 경향선치와 잠정기간 개시 전 연도의 원래 경향선치 사이의 차이를 초과할 수 없다고 규정하고 있다. 이

규정은 이론적인 경향선이 3% 증가율이라 하더라도 허가 받은 해저 생산량은 전체 수요 증가분을 넘어서는 안된다는 점을 육지 생산자에게 확인시켜주고 있다. 다시 말해서 이론적으로 육지 생산에 영향을 미쳐서는 안된다는 것이다. 이와 같이 복잡한 계산 방식에 의거한 상업 생산 한도는 3가지 요소, 즉 생산 한도, 최소 한도, 그리고 안전장치 규정에 의하여 정해진다. 이 모든 요소가 결국 타협을 이끌어냈다.

176. 해양법협약은 또한 해당 생산 한도에서 38,000톤의 니켈을 심해저 개발청에 유보하도록 규정하고 있다는 점도 지적해야겠다. 이것은 개발 기업이 자신의 할당량보다 많게 혹은 적게 생산하는 경우에 대비한 규정이다.

177. 생산 한도를 계산하는 원칙과 방법은 일부 대표단에서 또는 유엔 사무국에서 수학적인 모델을 이용하여 작성한 일정한 추정치에 근거하여 타협이 이루어진 것이다. 이것은 예를 들어 최초 상업 생산일과 당시의 니켈의 시장 상황 등 가변적인 요소를 가정하여 나온 것이므로 실제 생산 한도가 적용될 시점의 경제적인 상황을 고려하지 않은 것이다.

178. 제151조는 장래에 발생할, 그리고 가정적인 상황을 조약으로 정하는 데 따라 생길 수밖에 없는 모순의 대표적인 예이다. “일정한 조건하의 생산 제한 방식의 효과”에 관한 유엔 사무국의 연구에서는 선택하는 가정에 따라 그 결과가 얼마나 달라지는지 극명하게 보여주고 있다.

## 마. 타협의 기초

179. 모든 추정치, 특히 유엔 사무국이 작성한 추정치에 의하면, 특정 연도의 생산 한도를 니켈 수요의 5년간 전체 증가율와 그 이후의 증가분 60%로 하고, 생산을 1990년 이후 개시하고 세계 경제 성장이 평균 이하로

저조하다고 가정할 때 (어떤 경우에도 니켈 수요는 3% 증가하는 것으로 예상한다) 8개 내지 12개 해저 생산 활동에서 제151조에서 규정한 한도를 초과하지 않는 상태에서 니켈을 35,000톤에서 40,000톤 가량 상업적으로 생산할 수 있을 것으로 보았다.

180. 해저 활동에 이미 참여하고 있는 4개국을 제외하고는 오직 4개국제 콘소시엄만이 다광물단괴의 개발에 관심이 있다는 사실은 익히 알려져 있다. 병행개발제도는 물론 각 채굴 지역에 상당하는 별개의 채굴 지역이 심해저개발청의 몫으로 남겨져 있다는 뜻이다. 그러나 이미 정해진 생산 개시 일정에도 불구하고 생산 개시 작업이 머뭇거리는 상태에서 채택된 방법은 적어도 잠정기간 동안에는 모든 이해당사자들을 만족시켜주는 것으로 보인다.

181. 실제로 “선행투자자” 문제와 관련한 최종 협상 과정에서 심해저개발청이 선행투자자에게 할당된 지역의 채굴과 병행하여 단지 2개 지역에서만 작업을 하는 안이 나온 적이 있다. 이것은 병행개발제도를 왜곡하는 것으로, 모든 잠재적인 생산자들이 생산 한도를 초과하지 않는 방법으로 고안된 것이었다.

182. 여기서 생산 한도의 방식과 “다광물단괴에 관한 선행투자활동”에 관한 제2부속서 사이의 관계를 생각해야 한다.

183. 이 결의는 선행투자자를 확인하면서 이들에게 특별한 지위를 부여하고 있다. 생산 한도와 병행개발제도의 중요성을 염두에 두고, 모든 선행투자자가 채굴 지역을 개발한다는 가정을 한다면 심해저지역의 자원은 실제로 잠정기간 동안 모두 할당이 될 것이다. 생산 한도는 분명 자원정책의 핵심을 이루지만 개발제도의 관점에서 생각해야 하며, 또한 선행투자자에게 부여한 특별한 지위도 고려에 넣어야 한다.

## 제 5 절 결 론

184. 1967년 11월 1일 파르도 대사가 공동유산 자원개발에서 나오는 수 십억 달러에 대한 화려한 전망을 한 이후 시작한 여정은 아주 길었다. 경제적으로나 기술적으로 존재했던 현실에 대한 이해 부족으로 말미암아, 종전과는 다른 국가간의 관계를 정립하고 할 수 있다고 낙관적으로 생각했던 국제공동체는 결국 각국의 이기주의적인 본성을 확인하고 국제 경제의 현실을 인정하는 일단의 타협적인 조치들을 도입하지 않을 수 없었다.

185. 제3차 해양법회의는 심해저 자원 분야에서 다광물단괴에 대한 우리의 지식을 넓히는 자극제가 되었다. 또한 이 단괴의 분배, 개발에 따른 가치와 경제적인 의미에 대해서도 알게 해주었다.

186. 그러나 이러한 지식은 해양법협약에 상세한 규정을 들 정도로 충분한 것은 아니었다. 따라서 일정 기간 동안 효과적인 제도를 채택할 수밖에 없었다. 이것은 지식은 한정되어 있고, 장래에는 이러한 지식이 틀릴 수도 있다는 가정에서 나온 것이었다.

187. 아직도 평가할 수 없는 문제들이 존재한다. 무엇보다도 협약상의 제도가 세계 경제 제도의 가변성과 일부 국가의 정치적인 자세에 비추어 계속 기능을 할 수 있겠는가 하는 점이다. 다광물단괴는 일부 국가의 배타적 경제수역 내에 있으며 이들 자원의 개발은 연안국의 배타적인 관할권에 종속하는 바, 이는 국제 심해저지역에 관한 제도를 현저하게 약화시킬 것이라는 점을 지적하지 않을 수 없다.

188. 또한 다광물단괴 내에서 일부 광물을 확인한 바 있으나, 해저에 다른 광물의 침전물이 다광물단괴보다 더욱 경제적으로 가치있는 것일 수도 있다. 특히 열수 지역의 잠재성에 대해서 최근 논의가 시작되었다. 심해저지역에 이러한 자원도 제162조 2항 (o) (ii)에 따라 국제 제도 내에서 검

토의 대상이 될 수 있다. 그러나 이러한 자원이 연안국의 배타적 관할권 내에 존재할 경우 그 개발은 국제 제도 밖에서 이루어질 것이다.

189. 마지막으로, 다광물단괴의 개발이 중기적으로 경제적으로나 전략적으로 필요한가 하는 점이다. 심해저지역에 대한 우리의 지식과 자원 개발의 경제성은 시간이 갈수록 커질 것이다. 이 점에서 기존의 개발 제도와 국제적인 장치를 수정하고 시간의 변동에 적응하는 등 가능한 모든 방법을 신축적으로 모색할 필요가 있다.