

제 1 차 년도
연차 보고서

BSPN 00190-609-5

深海底 鑛物資源 探查技術開發
및
環境保全研究

A Study on the Development of Deep Seabed
Mineral Resources Exploration Techniques and
Protection of Deep-Sea Environment

1993. 8

研究機關
韓國海洋研究所

科學技術處

提 出 文

科學技術處長官 貴下

이 報告書를 “深海底 鑛物資源 探查技術開發 및 環境保全研究”
의 第 1 次年度 報告書로 提出합니다.

1993 年 8月

研究機關名：韓 國 海 洋 研 究 所

總括責任者：鄭 甲 植

細部課題 責任者

地 質 鑛 床 分 野 鄭 甲 植

多重音波探查技術分野 李 庸 國

具 本 瑄

環 境 保 全 分 野 吳 在 龍

金 錫 鉉

法 制 度 分 野 權 文 相

要 約 文

I. 題 目

深海底 鑛物資源 探查技法 開發 및 環境保全研究

II. 研究目的

이 연구는 深海底에 부존하는 有用鑛物資源중 망간단괴 開發을 위하여 1) 망간단괴광상의 발달과 그 分布를 포함한 여러 特性을 把握하여, 2) 그 부존 양상을 기존의 탐사기법과는 달리 地球物理的 방법을 동원한 새로운 탐사기법을 개발하는 데 있다. 또한 3) 開發시 야기되는 環境 파괴를 최소화하기 위한 方案樹立을 위한 개발이전의 海洋環境의 特性을 파악하며, 4) 深海底開發國으로서의 위치를 획득할 시 예상되는 유엔협약상의 權利와 義務를 분석하는 데 있다.

III. 重要性

1. 세계 몇 개국에 편중되어 제한된 양으로 부존하는 육상의 니켈, 구리, 코발트, 망간 등 稀少金屬은 尖端技術의 발달로 인해 그 需要가 증가일로에 있으며, 수년 또는 수 십년이내에 枯渴될 것으로 예상된다. 세계 선진제국 및 개발도상국의 나라들은 이러한 문제점을 극복하기 위하여, 20세기 말 또는 21 세기초에 심해저 망간단괴 개발을 목표로 탐사와 鑛口登錄을 서두르고 있다.

2. 우리나라의 경우, 태평양 C-C 해역에 단독망간단괴개발광구를 유엔 海

洋法 協約발효이전에 선행투자가자격으로 등록하기 위해 1989년도부터 탐사를 실시하고 있다. 현재 사용되는 탐사기법은 탐사해역내 定點 및 定線을 선정한 概括探查수준에 있어서, 개발을 위해서는 더 광역적이며 정밀한 탐사기법개발이 요구된다.

3. 새로운 탐사기법은 기존의 1 차원적인 탐사기법을 탈피하여, 2차원 내지 3차원적인 지형, 지세 그리고 망간단괴의 賦存狀況을 동시 광역적으로 파악하여 개발시 探鑛器운용, 可採지역, 그리고 埋藏量 파악에 기본적인 자료를 제공할 뿐 아니라, 탐사시간과 경비를 최대한 節감할 수 있다.

4. 망간단괴개발광구를 획득한 선행투자국들의 경우에는 현재 심해저개발시 야기되는 환경연구를 활발히 진행하고 있다 (예, 미-일-러 3 개국의 Benthic Impact Experiment). 이 연구는 심해저 개발로 인한 심해 저서 생태계의 영향 및 부유 저니의 확산과 그 영향을 파악하기 위한 현장 시험을 실시중에 있다. 이 연구의 결과는 향후 심해저 개발에 따른 환경영향을 최소화하는데 기여할 것이다.

5. 우리나라는 심해저로부터 생산될 수 있는 금속의 대부분을 해외수입에 의존하고 있으며, 그 금속이 국가전략적 가치를 지니고 있으므로 동 금속의 공급을 안정적으로 하기 위하여 심해저개발에의 참여를 적극적으로 추진하여 오고 있다. 이 경우 우리나라가 반대급부적으로 이행하여야할 기술이전의무는 그 강제적 특성으로 인하여 심해저사업에 참여하는 민간기업 및 이를 보증하는 정부에 커다란 부담요소로 작용할 수 있는 바 그 내용을 면밀히 분석하고 그에 대한 대비책을 수립하는 것이 매우 긴요한 사안이다. 또한 심해저 자원을 독자적으로 개발하기 위해서는 이에 필요한 채광, 제련 등의 기술을 보유하여야 하는 바, 후발주자인 우리나라로서는 선진국이 수행하고 있는 개발사업의 동향을 분석하여 가장 효율적이고 비용효과적인 기술을 도출하여

그 개발을 추진하는 것이 최적의 방안이다.

IV. 研究開發의 內容

1. 地質鑛床分野

○ 망간단괴의 분포와 여러 특성을 파악하기 위해서 1989과 1990년도 태평양 C-C 해역의 제반 탐사자료(망간단괴, 지구물리 자료, 퇴적물)를 재검토분석하여, 망간단괴의 분포와 저층해류 및 퇴적층서와 관계, 망간단괴의 성분과 퇴적물 및 지형과의 관계, 망간단괴의 분류와 성분과의 관계를 규명하였다.

○ 망간단괴의 부존율을 파악하는 海底面映像分析技法를 확립하기 위해 기존의 자료를 이용하여 단괴들의 해저면퇴적물중 노출정도와 比較檢討하여 실험식을 유도하였다.

○ 망간단괴의 정확한 埋藏量算出을 위해 기존의 Krigging 방법과 ID 방법을 비교 검토하여 적합한 방법을 확정하였다.

2. 多重 빔 探查技術分野

○ SeaBeam 2000의 후방산란 자료의 형태 분석 및 이론을 정립하였으며,

○ 해저면 지형지세를 2차원 및 3차원적 표현을 위해 1992년 C-C 해역에서 획득한 SeaBeam 2000의 기록 및 음파신호를 분석하였다.

○ 이를 위해 지구물리자료(특히 SeaBeam 2000)의 계수화축적에 따른 컴퓨터 시스템의 체계와 소프트웨어를 개발하여,

○ 망간단괴의 부존상황을 송수신 음파신호의 변환량에 의해 파악할 수 있는 기틀을 마련하였다.

3. 環境保全分野

○ 태평양 C-C 해역에서 망간단괴개발시 환경보전을 위한 해양화학 및 생

물의 영양염변화, 植物플랑크톤 色素量, 일차생산량, 해수중의 重金屬元素 함량의 현재 상황을 분석하였으며,

○ 심해퇴적물의 화학적 특성과 집적되는 퇴적물이 생물 및 저층해류에 의해 기존퇴적층에 混合되는 현상을 希土類元素 및 放射能追跡子를 이용하여 규명하였다.

○ 또한 大洋에서의 망간단괴개발시 발생될 수 있는 汚染의 影響을 最小化하기 위한 대책을 분석 정리하였다.

4. 法 制度分野

○ 해양기술이전제도 및 심해저광업자의 기술이전의무에 대해서는 해양법협약의 관련규정을 중점적으로 해석하였는데 동 규정의 프로그램적 성격 및 기술이전의무를 둘러싼 선진국 개도국간의 갈등 구조를 상술하였다. 또한 선행투자가에게 부여되는 기술이전의무에 대해서도 결의II 및 등록선행투자가 의무이행에 관한 양해의 분석을 통하여 검토를 시도하였다.

○ 심해저 광업기술분야에 있어서는, 통상 심해저 광업기술로 분류하고 있는 탐사, 채광, 이송, 제련기술중 상업생산의 핵심기술인 채광과 제련기술을 연구의 대상으로 하였다. 이밖 수송 및 광업잔류물 처리에 대한 분석을 시도하였으며, 주요국이 보유하고 있는 심해저 광업기술의 특허현황에 대해서도 검토하였다.

V. 研究 結果

1. 地質鑛床分野

○ 망간단괴는 기존의 학설과는 달리 반복적으로 구르거나 전복하지 않고 제 자리에서 저층해류 세기의 변동에 따른 재퇴적작용으로 형성 성장한다. 이 결과 단괴는 성분, 내부구조 그리고 표면조직이 서로 다른 세가지 유형으

로 분류된다.

○ 망간단괴는 연구지역의 남부에 다량으로 분포하는 데, 주로 sediment wave들로 이루어진 해저능 지역에 Patch나 Pavement를 이루어 밀집되어 있다. 망간단괴들이 주로 올리고세-마이오세의 방산층 연니층에서 산출하는 것으로 보아 태평양 해양지각판이 적도고생산대를 통과한 이후 그 북부 주변에서부터 단괴들이 성장 형성한 것으로 보인다. 해저산 지역에서는 간헐적인 퇴적물 사태에 의해서 단괴들이 밀집되지만, 해저능지역에서는 재퇴적작용에 의해 퇴적층중에 매몰된 단괴나 기 성장한 단괴들이 해저면에 노출 또는 파쇄되어 성장 밀집된다.

○ 해저면 사진을 이용하여 망간단괴의 부존률 계산을 위해 단괴의 매몰정도를 고려하여 단괴의 총면적을 체적으로 변환하여 다음 식을 얻었다.

$$A = 0.0628 \cdot C_g^{1.5} - 0.0506 \quad (r, 0.97)$$

○ 鑛量評價 방법에 대한 이론과 실제 적용에 있어서 그 유효성을 비교 검토한 결과, 오차의 semivariogram의 구형모델에 의한 Kriging 방법이 가장 효율이 높았다.

2. 다중 빔 探查技術 分野

○ 은누리호의 SeaBeam 2000에 의한 現場의 獲得資料는 1차의 再構成 후 2차 및 3차원의 圖面으로 處理하였다. 121개의 SeaBeam 2000 Beam 자료를 재 구성하여 도출된 결과도면은 원시자료에 포함된 船速 및 精密位置에 의한 Beam의 위치를 補正하였다. 1차 처리자료의 성격은 후처리 (Post-Processing) 環境의 극대화를 위한 격자망의 자료로 재 구성할 수 있고, 기존에 일반적으로 이용되는 소프트웨어는 물론 새로운 소프트웨어개발 環境에 適合하다. 水深別 색상에 의한 研究海域의 3次元 표현은 지형의 精密分析이나 전체 海底地形의 把握에 매우 중요한 資料이다.

○ 은누리호 SeaBeam 2000에 의해서 획득되는 자료중 일부인 音波의 音壓값 (Acoustic Amplitude)에 의한 대상연구 해역의 2차원 도면은 水深의

表現과는 다른 의미로 精密한 망간단괴 개발 지역 決定에 중요한 자료이며, 동일한 지역내에서도 相對的 音壓의 비가 높은 地域은 재 조사, 정밀조사 및 집중조사의 대상지역으로 決定할 수 있다.

3. 環境保全 分野

○ 深海底 團塊 開發 以前의 海洋環境을 파악하기 위하여 KODOS-92 탐사의 4차례 조사와 KODOS-93의 한차례 조사를 실시한 25개 정점의 海洋環境資料를 수록하였다. 조사된 項目은 水溫, 鹽分, 容存酸素, 營養鹽類(질산염, 아질산염, 인산염, 규산염), 클로로필-a, 微量金屬(Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb), 新生産量 등이었다.

○ 北東 太平洋 堆積物 試料에서 분석한 稀土類 元素의 分布를 이용하여 北東 太平洋의 堆積環境을 이해하고자 하였으며, 放射能 追跡子를 사용하여, 深海底 探查海域의 堆積率과 混合率을 측정하였다.

○ 深海底 團塊 採鑛에 따라 발생할 수 있는 여러가지 環境問題를 검토하고 그 影響을 예측함으로써 對應 方案을 제시하고자 하였다. 採掘作業에 의한 海底에서의 직접적인 영향과 深海底 底棲 生態系에 미치는 영향, 採掘作業時 발생하는 저니의 再沈澱과 副産物의 放出에 따른 영향, 採掘船舶으로부터의 汚染 등으로 분류하여 그 영향을 구체적으로 예측하고자 하였다.

4. 법 제도 분야

○ 유엔해양법협약상 심해저 광업기술 이전제도는 기본적으로 일반참여자와 동일한 시기에 유엔을 대신한 심해저기업이 개발활동을 개시할 수 있도록 여건을 조성하기 위하여, 기술을 보유하고 있는 심해저광업 일반참여자로 하여금 당해 기술을 심해저기업의 요구에 따라 상업적으로 이전하여야 하는 의무를 부과한 것이다. 이러한 제도에 대해서 미국 등 선진자본국들의 경우 민간기업의 사유재산을 강제이전하여야 한다는 점에 난색을 표명하고 그 개

정을 요구하여 오고 있다. 현재까지 진행된 논의결과 및 심해저광업의 상업 생산 시점과 연계하여 검토하여 보면, 현재도상의 기술이전제도는 상당히 제한적이고 합리적으로 운영될 것으로 보인다. 특히 초기단계에는 심해저기업이 일반주체와 공동개발형식으로 심해저개발을 시도할 것으로 예상됨으로 기술이전제도의 운영에 따라 각 협약당사국에 그리 크지 않은 영향을 줄 것으로 판단된다.

○ 1960년대부터 연구개발 되어온 심해저 광업기술에는 탐사기술, 채광기술, 그리고 이송 및 제련기술 등이 있으며, 현재까지의 기술을 파악해 볼 때 채광기술로는 Caterpillar 자주식 집광기에 의한 수압식 인양방식이 가장 적합하며, 단괴이송에 있어서는 평행식 형태의 니장이송방식 또는 압축공기방식이 효율적인 것으로 알려져 있다. 단괴제련에 있어서는 건식법보다 습식법이 유리하며, 미국과 일본이 유망하다고 선정한 암모니아 침출법과 고온 황산 침출법이 유력하다.

VI. 活用に 대한 建議

○ 망간團塊는 表層海水의 生物生産性이 어느 정도 높고, 적어도 마이오세 이후에 底層海流의 作用이 활발한 지역을 선정하여 開發을 위한 探查를 실시해야 한다.

○ 태평양 C-C 지역의 경우 방산층 연니층이 분포하는 지역에서 Ni, Cu, Zn의 함량이 높은 단괴들이 산출하므로 유망지역은 적도 이북 5-11 °N 사이에 선정하는 것이 타당하다.

○ 망간團塊는 Patch나 Pavement로 밀집하여 분포하고, 下部 堆積物과는 그 물성의 차이가 커서 音波를 이용한 探查技法으로 그 分布地를 파악할 수 있다.

○ 향후 망간團塊와 金屬元素의 광량을 계산할 때에는 Kringing 방법이 가

장 유효하다. 또한 그 기본자료인 부존률은 심해용 촬영 시스템의 사진자료를 이용할 경우에는 체적으로 환산된 회귀식을 이용하여 계산하는 것이 실第값에 근접한다.

○ SeaBeam 2000을 이용하여 획득한 자료는 후처리기법에 따라 정밀도를 조절하면서 海底面 地形을 표현할 수 있어서 망간단괴개발 예정지역의 탐사에는 필히 동원되어야 할 것이다.

○ 또한, SeaBeam 2000의 타 音波探查裝備와의 적절한 조합과 통합운영은 심해저 광물자원 (망간단괴) 탐사시 그 부존지역을 단시간내에 광역적(항해축선의 12 km 너비)으로 밝힐 수 있다.

○ 深海底 開發에 따른 環境變化를 예측하기 위해서는 현장에서의 대규모 試驗攪亂實驗이 필요하다. 현재 美國, 日本, 러시아가 수행하고 있는 BIE Project에서도 이러한 시험교란행위후 深海底 環境의 變化를 추적하는 방향으로 연구가 수행되고 있다. 우리나라의 경우에도 鑛口 登錄이 완료되면, 環境基準地域을 설정하여 이곳에 대한 계속적인 環境基礎調査를 실시하여야 할 것이며 試驗攪亂 實驗을 통한 研究가 필수적이라 할 수 있다.

○ 기술이전제도를 비롯한 유엔해양법상의 심해저제도는 현재 그 구체적 실천방향의 설정을 위하여 해양법준비위원회 및 유엔사무총장 주도의 비공식 협상회의에서 토의가 진행되고 있다. 위의 토의는 단순한 세부규정의 설정 뿐만 아니라 심해저제도의 불만을 토로하고 있는 선진제국의 의견을 일부 수용하는 방향으로 진행되고 있다. 그리고 위의 회의들은 1994년 초반까지를 회의종결시점으로 설정하고 진행되고 있으므로 향후 6개월이 매우 중요한 시기로 판단된다. 따라서, 우리나라도 이 분야의 전문가를 적극적으로 동회의에 참석시켜 진행방향을 검토하도록 하고 필요한 경우 우리의 입장표명을 통하여 우리의 이익을 보호하는 것이 바람직하다.

○ 한편, 본격적인 심해저광업의 수행에 있어서 채광기술과 제련기술은 본 사업의 수익성을 결정하는 가장 중요한 요소로서 간주되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 21세기 초반에 상업생산을 목표로하고 있는 우리나라로서도

채광 및 제련기술의 개발이 시급히 수행되어야 한다. 그러나 동기술의 개발에는 막대한 자본과 장시간의 노력이 요구되는 바, 현시점에서는 민간기업의 독자적인 개발보다는 정부와 민간기업이 공동으로 이를 추진하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 독자적인 신기술 개발보다는 외국 심해저 관련기업의 축적된 경험을 이용하는 공동개발방안이 시간과 자본의 효율적 투자를 유도할 수 있는 대안으로 생각된다.

SUMMARY

I. Title

A study on the Development of Deep Seabed Mineral Resources
Exploration Techniques and Protection of Deep-Sea Environment

II. Objectives

This study aims to develop the exploration system for deep-sea bed manganese nodules by revealing the formation processes and distributional patterns of Mn-nodule ore deposits. The analyses of primary chemical and biological characters from the surface water layer to the seafloor sediments are going on to present the alternatives to minimize the deterioration of environment during the future deep-sea bed mining activities. The privilege and obligation of pioneer investors that are documented in U.N Convention on the Law of Sea are analysed in detail to make the plan of national long-term strategy on deep seabed mining. The state-of-art in Mn-nodule development systems is also analysed to recommend the optimal future measurements of our nation for deep sea-bed mining.

III. Significance

1. Many other developed and developing countries have been or are motivated to develop the deep-sea Mn-nodules to overcome the lack of land rare metal resources which are anticipated to be exhausted in near future. In the case of our country, the demand of materials for new technology such as nickel, copper, and cobalt is also increasing at considerably a rapid rate.

2. It is necessary to examine the survey systems and techniques that have been applied to the Mn-nodule explorations in the C-C area, northeast equatorial Pacific since 1989, based on new concept of the Mn-nodule formation and distribution on the deep-sea floor. The previous systems consist mainly of one-dimensional surveys along the track lines and on sites, resulting in inadequate informations on the distributional patterns of Mn-nodules that are characterized by their concentration in patchy pavements.

3. To confirm the claimed area to be prospective and to mine the Mn-nodules efficiently and economically, 2- and 3-dimensional maps of seafloor topography and Mn-nodule distribution are indispensable in estimating the reserve and determining probable mining sites of Mn-nodules. To-be-developed exploration system and techniques could render it possible to survey the regional area within the shorter duration than the conventional systems, providing the detailed informations on the seafloor conditions including the nodule distribution.

4. To fulfill the requirement of the U.N., environmental studies should be carried out to prevent the open seas from serious deterioration that is probably caused by the mining and other activities in the stage of Mn-nodule exploitation. First pioneer investors (U.S.A, Russia, and Japan) have already been studying the deep-sea environment through the water column to the seafloor by creating the mining conditions in the C-C zones.

5. To provide countermeasures on Deep Seabed Mining Technology Transfer System in the UN Convention on the Law of the Sea, which will be imposed at the time of Korea participating in deep seabed mining as a general miner or a Pioneer Investor, and to search more economic and efficient mining technologies for future deep seabed mining system.

IV. Contents and Scope

First of all, the relations of Mn-nodules to sedimentary stratigraphy, seafloor morphology, sediment types and ages are examined to reveal the controlling processes for the concentration of Mn-nodules in patchy pavements. The examination was performed by using the data collected during the 1983, 1989, and 1990 cruises in the C-C zones. The estimation methods of Mn-nodule abundance on seafloor photographs are compared in detail to correct the discrepancy between the estimated and real values in samplers. Also a comparison between ID and Kringing methods in the estimation of Mn-nodule reserve is performed in the view of geostatistical

principles. These results provide the basic concepts for the Mn-nodule exploration system and technology which are to be developed during this 3-year study program.

Appropriate combination and modulation of various geophysical exploration instruments are tried to map the seafloor morphology in 2 and 3 dimensions. In addition, this type of study may render it be able to delineate the Mn-nodule concentrated areas. The research vessel "Onnuri" is installed with various kinds of acoustic instruments such as multi-narrow beam echosounder (SeaBeam 2000) which swathes the seafloor about 300% of centered beam water depth along the track lines. To reach the objectives, the patterns and amplitude of acoustic signals back-scattered from the seafloor are analysed based on the reflection theory of wave propagation through the water to the seafloor.

Conservation of the ocean environment during mining activity is one of the most important requirements. Distributions of nutrients, chlorophyll *a*, primary production, trace metals in seawater were studied in the Pacific C-C zone for this purpose. These background data will support to protect the environment of the real mining zone. Chemical characteristics of deep-sea sediment and mixing of settling particles with bottom sediment by organisms and bottom currents were also studied by using rare earth elements and radioactive tracers. Countermeasures to minimize the environmental impacts which can be happen during the mining activity were also studied and classified.

Concerning scheme on transfer of marine technology and operator's obligations to transfer technology, relevant provisions of new convention was examined state programme-oriented feature of the provisions as well as the dispute between developed States and developing States regarding

obligation to transfer technology.

This study also analysed the duty of Pioneer Investor to transfer their technology to the Enterprise in accordance with Resolution II and the implementations of the Registered Pioneer Investors(RPIs) under the Understanding on the Fulfilment of Obligations by the RPIs and their certifying states which had been adopted between Prep Com and RPIs.

The deep sea-bed mining technology can be divided into several parts of exploration technology, mining technology, transloading technology, processing technology and so on. At the present study, we focused on mining, transloading, and processing technology but exploration technology. We also analyzed transport and mining residue discharge system as well as status of deep sea-bed mining technology patent.

V. Results

1. Geological Environment of Mn-Nodule Formation

In the southern part of the KODOS area, abundant manganese nodules occur in Oligocene to Miocene radiolarian-bearing clay. The nodules are generally distributed in patchy pavements (more than 5 kg/m²) on the hilly seafloor associated with sediment waves. The nodules can be classified into three types with distinct surface texture and composition, which are determined by the burial rates of nodules within the topmost Quaternary sediment layer. Redistributive processes of bottom currents are most responsible for the (re)generation and concentration of nodules

in patchy pavements, which have been promoted by excavation of buried nodules and *in situ* fragmentation of old nodules. These processes are related to the sedimentary processes of radiolarian ooze facies. In the seamount areas, sediment slumping has also contributed to the concentration of nodules. Ubiquitous hiatus in the topmost sediment column indicates that the nodule (re)generation has been more active since the middle Miocene.

The growth of nodules by resedimentation processes results in the large discrepancy in composition not only between the types but also the tops and bottoms by controlling burial states of nodules within the topmost sediment layer. Latitudinal variations of nodule characters result from the change in surface water productivity and the timing of nodule nucleation as the Pacific plate migrates northwestward.

On seafloor photographs, the abundance of Mn-nodules is estimated from the following regression equation which converts the areal coverage to the volume of nodules : $A = 0.0628 C_g^{1.5} - 0.0506$ (r, 0.97)

The comparison among various methods for the estimation of Mn-nodule reserve reveal that Kriging method is most efficient due to the smallest error range.

2. Multi-Beams Exploration System Development

The first processed bathymetric data, obtained by using ONNURI SeaBeam 2000 system, were presented in two- and three dimensional contour maps. During the processes, the data were corrected based on the survey speed and position of each acoustic beam through grid data filing which were made by developed softwares for SeaBeam 2000 operation.

For a detailed analysis of seafloor conditions, mapping the seafloor morphology is executed in various color degrees.

The distributional patterns of bathymetry and acoustic amplitude are distinctive depending on seabed conditions. The contoured map of acoustic amplitudes suggests the post-processes of SeaBeam 2000 data that are important to delineate precisely a promising Mn-nodule fields.

3. Environmental Conservation

Samples that had been obtained during 4 cruises of KODOS-92 and one cruise of KODOS-93 area were analyzed to prepare for the environmental background data before the commencement of the Mn-nodule mining activity. For this purpose, water temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients(nitrate, nitrite, phosphate, silicate), chlorophyll a, new production and trace metals(Co, Cu, Fe, Mn, Ni and Pb) were analyzed.

To understand the sedimentation condition of the northeast Pacific, distribution of rare earth elements were also studied in the sediment cores. Sedimentation and mixing rates were measured by using radioisotope tracers in the sediments.

Environmental problems related to deep-sea mining activity were examined to give some countermeasures for their impacts on water and biologic environments. During deep seabed mining, impacts would be arosen on the abyssal benthic communities by sediment resuspension and redeposition, discharge plume and pollution during mining processes and ore transportation.

4. Current Status of Deep Seabed Mining Technology and Its Transferring Legal System

The UN system on technology transfer in deep seabed mining imposed the miners to transfer their technology to the Enterprise in order that the Enterprise can commence commercial mining at the same time when general miners start to work. Developed countries, such as U.S.A., U.K. and so on, are standing on the opposite side on the provisions that are obligatory for the pioneer group. However, the Enterprise will start their mining with the private companies which have already possessed mining technology as joint venture. There will be no significant change in operating this system of technology transfer in the future deep sea-bed mining.

From the analyses of mining technologies, it is found that the lift system with caterpillar crawler (self-propelled collector) is the most appropriate in mining system. Alongside mode with slurry transfer or pneumatic transfer is the most efficient in transloading of nodules. In processing of polymetallic nodules, ammoniacal leaching and high temperature and high pressure H_2SO_4 leaching methods are evaluated to be economic and effective nodule processing system.

VI. Recommendation

In order to find a promising area of Mn-nodules, the explorations are to be carried out where the surface water layer is more or less productive for the primary organisms and bottom currents are active at

least since the Miocene.

It appears to be better that the Mn-nodule development area is claimed on the seafloor between 5-11 °N in the C-C zones, due to the prevalence of Mn-nodules containing abundant Ni, Cu, and Zn in the radiolarin ooze unit of the Clipperton sedimentary formation.

Mn-nodule patchy pavements seem to be delineated easily by using analysing the characters of back-scattered acoustic signals from the seafloor, because physical properties between Mn-nodule fields and the adjacent seafloor are largely different.

In calculation of reserve of metal species and Mn-nodules, Kringing method and the regression equation converting areal coverage to volum are recommended.

It is also recommended that SeaBeam 2000 is very useful to perceive the detailed and large scaled (about 12 km width along survey tracks) conditions of seafloor such as topography, fault systems, and sedimentary facies. Post-processes of SeaBeam 2000 data could provide the informations on the distribution of Mn-nodule patchy pavements.

It is necessary to simulate the environmental effects of sediment resuspension by deep seabed mining operations and to assess the environmental impact of sediment redeposition on the deep-sea benthos. Benthic Impact Experiment(BIE) is carried out for this purpose by USA and Russia and scientists from Germany, France and Japan are also participating. It is highly recommended that KORDI needs to participate this program to get invaluable data and experience from advanced countries with small effort and fund.

The UN deep seabed mining system including transfer of technology is expected to be revised through the activities of the Prep Comm and the

Informal Consultating Meeting in the near future. Especially, transfer of technology, as one of hard core issues, is being reviewed in the Informal Meeting, and the review will be terminated in the next year. Therefore, it is recommended that we should participate all meetings and express our position.

Deep seabed mining and processing technology are main parts in mining system. Therefore, we should start to develop such kind of technologies to prepare future commercial deep sea-bed mining in 2000s. However, since the development of mining technologies requires lots of time and fund, it should be undertaken in forms of joint system of government and private companies.

目 次

表目次 -----	33
그림目次 -----	35

Part I. 地質鑛床 分野

第 1 章 망간團塊의 成人과 分布特性 -----	45
第 1 節 序論 -----	46
第 2 節 既存資料 및 分析方法 -----	50
第 3 節 地質環境 -----	51
1. 地形 -----	51
2. 彈性波 層序 -----	52
3. Bedforms -----	53
4. 堆積物 -----	54
第 4 節 망간團塊 -----	56
1. 類型과 産狀 -----	56
2. 内部構造 및 成分特性 -----	57
3. 分布特性 -----	60
第 5 節 망간團塊 形成과 分布에 대한 考察 -----	62
1. 망간단괴 類型分類와 再堆積作用 -----	62
2. 망간단괴 分布와 底接動物의 活動 -----	64
3. 망간단괴 分布와 底層海流 -----	66
4. 망간단괴의 廣域分布와 堆積層序 -----	69
第 6 節 結論 -----	71
第 7 節 망간단괴 探查에 대한 提言 -----	73

第 2 章 寫眞映像分析에 의한 망간團塊 賦存率 算出 -----	75
第 1 節 序論 -----	77
第 2 節 深海底面 撮影技法 -----	78
第 3 節 망간단괴 占有率 測定 -----	79
第 4 節 망간단괴 賦存率 計算 -----	81
1. 平均張軸을 이용하는 방법 -----	81
2. 面積-體積 換算法 -----	82
3. 埋沒率 補正 -----	83
第 5 節 KODOS-92 지역에서의 적용 -----	83
1. 回歸計數 추정 -----	84
2. 占有率-賦存率 환산 -----	84
3. 문제점 -----	85
第 6 節 結論 -----	85
第 3 章 鑛量評價 方法 및 比較 -----	87
第 1 節 序論 -----	89
第 2 節 Kriging 방법과 기타 방법과의 비교 -----	90
參 考 文 獻 -----	94

Part II 多重 빔 探查技術 分野

第 1 章 온누리호 SeaBeam 2000 -----	145
第 1 節 序論 -----	147
第 2 節 SeaBeam 2000의 하드웨어 構成 및 機能 -----	148

第 3 節 SeaBeam 2000의 소프트웨어 구성 -----	150
1. SeaBeam 2000의 音波信號 制御 -----	151
2. SeaBeam 2000의 컴퓨터 運營-----	152
第 2 章 獲得音波 資料의 後處理 -----	155
第 1 節 現場 獲得資料의 後處理 命令 -----	157
第 2 節 실험실내의 後處理 -----	158
第 3 節 1차 처리의 SeaBeam 2000 資料形態-----	158
第 3 章 結果 -----	159
第 1 節 後處理에 의한 2 次 및 3次元 表現-----	161
第 2 節 SeaBeam 2000에 의한 망간단괴의 遠隔 探查技法의 背景-----	161
第 3 節 SeaBeam 2000의 정 중앙 빔(직하방)의 音響反射度-----	163
參 考 文 獻 -----	166

Part III 環境保全分野

第 1 章 深海底 鑛業 探查海域의 海洋環境-----	199
第 1 節 序論 -----	201
第 2 節 試料採取 및 分析方法-----	203
第 3 節 深海底 探查 海域의 海洋環境-----	208
1. 深海底 鑛業開發 豫定 海域의 一般特性-----	208
2. 深海底 鑛業開發 豫定 海域의 生態的 特性-----	210
3. 深海底 探查海域의 海洋環境-----	213
第 4 節 結論-----	213

第 2 章 稀土類 元素와 放射能 追跡子를 이용한

深海堆積環境研究-----	265
第 1 節 序論-----	267
第 2 節 材料 및 方法-----	269
第 3 節 結果 및 討議-----	275
1. 堆積物의 稀土類元素의 垂直分布-----	275
2. α計數法과 γ計數法에 의한 Pb-210의 活動度 結果 比較-----	278
3. 放射性 同位元素의 垂直分布特性-----	279
4. 放射性 同位元素를 이용한 堆積物의 混合率-----	281

第 3 章 深海底 鑛業에 따른

環境影響 低減對策-----	291
第 1 節 序論-----	293
第 2 節 深海底 鑛業에 의한 環境影響 豫測-----	295
1. 團塊 採掘作業의 直接的인 影響 豫測-----	295
2. 深海 底棲生態系 攪亂의 影響 豫測-----	299
3. 底泥 再沈澱의 影響 豫測-----	301
4. 表層 및 中層水系에 방출되는 採掘 副産物의 影響 豫測-----	304
5. 採鑛船舶에 의한 汚染의 豫測-----	307
6. 團塊處理를 위한 臨海 處理工場의 影響 豫測-----	308
第 3 節 深海底 鑛業의 環境影響의 低減對策-----	309

參 考 文 獻 -----	311
---------------	-----

Part IV 深海底 技術開發 動向 및 關聯 法制度

第 1 章 유엔海洋法協約上 技術移轉制度-----	321
第 1 節 序論-----	323
第 2 節 유엔海洋法協約 規定-----	325
第 2 章 深海底 鑛業者의 技術移轉義務-----	339
第 1 節 一般鑛業者의 義務-----	341
第 2 節 先行投資家의 義務-----	355
第 3 章 深海底 鑛業技術 開發 動向-----	359
第 1 節 序論-----	361
第 2 節 採鑛技術-----	363
第 3 節 移送技術 및 輸送 普及 시스템-----	382
第 4 節 採鑛殘留物 處理技術-----	386
第 5 節 製鍊技術-----	389
第 6 節 深海底 鑛業技術 特許動向-----	397
參 考 文 獻 -----	400

Contents

List of Tables -----	33
List of Figures -----	35

Part I. Geological Processes of Mn-Nodule Formation

Chapter 1 Formation and Distribution of Mn-Nodules -----	45
Section 1. Introduction -----	46
Section 2. Materials and Analytical Methods -----	50
Section 3. Geologic Setting -----	51
1. Morphology -----	51
2. Seismic Stratigraphy -----	52
3. Bedforms -----	53
4. Sediments -----	54
Section 4. Manganese Nodules -----	56
1. Types and Occurrence -----	56
2. Internal Structures and Composition -----	57
3. Distributional Characters -----	60
Section 5. Discussion -----	62
1. Classification of Mn-Nodule Types and Resedimentation Processes -----	62
2. Mn-Nodule Distribution and Benthic Animal Activities -----	64
3. Mn-Nodule Distribution and Bottom Currents -----	66
4. Regional Distribution of Mn-Nodules and	

Sedimentary Stratigraphy -----	69
Section 6. Conclusions -----	71
Section 7. Recommendation For Mn-Nodule Exploration -----	73
Chapter 2. Image Analysis of Mn-Nodule Abundance -----	75
Section 1. Introduction -----	77
Section 2. Methods of Deep-Seafloor Photography -----	78
Section 3. Estimation of Mn-Nodule Coverage -----	79
Section 4. Estimation of Mn-Nodule Abundance -----	81
1. Average Long Axis of Mn-Nodules -----	81
2. Conversion of Coverage to Volume -----	82
3. Correction of Burial Rates -----	83
Section 5. Estimation of Mn-Nodule Abundance in KODOS-92 Area -----	83
1. Regression Coefficient -----	84
2. Conversion of Coverage to Abundance -----	84
3. Discussion -----	85
Section 6. Conclusions -----	85
Chapter 3. Estimation of Mn-Nodule Reserve -----	87
Section 1. Introduction -----	89
Section 2. Comparison of Kriging Method with Others -----	90
Section 3. Conclusions -----	
References-----	94

Part II. Multi-Beams Exploration System Development

Chapter 1. Onnuri SeaBeam 2000 -----	145
Section 1. Introduction -----	147
Section 2. Structure and Function of SeaBeam 2000	
Hardwares -----	148
Section 3. SeaBeam 2000 Softwares -----	150
1. Control of Acoustic Signals in SeaBeam 2000 -----	151
2. Computer Operation Controlling SeaBeam 2000 -----	152
Chapter 2. Post-processing of Acoustic Data Aquisited by SeaBeam 2000-----	155
Section 1. Post-process Control in Raw Data -----	157
Section 2. Procedures in Data Post-processing -----	158
Section 3. Pattern of 1st-processed SeaBeam 2000 Data-----	158
Chapter 3. Results -----	159
Section 1. 2- and 3-dimensional Presentation -----	161
Section 2. Principles in Remote-sensing Exploration of Mn-nodules by SeaBeam 2000 -----	161
Section 3. Acoustic Reflectivity of Central Beam Propagated from SeaBeam 2000-----	163
References-----	166

Part III. Environmental Conservation

Chapter 1. Environmental Status of KODOS Cruise Area-----	199
Section 1. Introduction-----	201
Section 2. Sampling and Aanalytical Methods-----	203
Section 3. Environmental status of KODOS Cruise Area-----	508
1. General Water Parameters-----	208
2. Ecological Characteristics-----	210
3. Ocean Environment-----	213
Section 4. Result-----	213
 Chapter 2. Study of Sediment Environment by using Rare Earth Elements and Radioisotope Tracers-----	 265
Section 1. Introduction-----	267
Section 2. Meterials and Analytical Methods-----	269
Section 3. Result and Discussion-----	275
1. Vertical Distribution of Rare Earth Elements in the Sediment Cores -----	 275
2. Comparison of Pb-210 Activity by α and γ Counting Methods -----	 278
3. Characteristics of Vertical Distribution of Radioisotopes-----	279
4. Mixing Ratio of Sediments by using Radioisotopes-----	281
 Chapter 3. Countermeasures to Reduce Environmental Impacts due to Deep-sea Mining-----	 291
Section 1. Introduction-----	293

Section 2. Prediction of Environmental Impacts	
by Deep-sea Mining-----	295
1. Direct Impact due to Mining Operation-----	295
2. Impact due to Deep-sea Benthos Disturbance -----	299
3. Impact due to Sediment Redeposition-----	301
4. Impact due to Discharging Mining By-products in Near Surface and Intermediate Waters -----	304
5. Impact due to Mining Vessels -----	307
6. Impact by Surface Plumes due to Processing Waste Disposal-----	308
Section 3. Countermeasures to Reduce Environmental Impacts due to Deep-sea Mining -----	309
References-----	311

Part IV. Current Status of Deep Sea-bed Mining
Technology & Its Transferring Legal System

Chapter 1. Transfer of Technology in the UN Convention on the Law of the Sea Area-----	321
Section 1. Introduction-----	323
Section 2. The Provisions on the UN Convention -----	325
Chapter 2. Duty of Deep Sea-bed Miners on Transfer of Technology -----	339

Section 1. Duty of General Deep Seabed Miners -----	341
Section 2. Duty of Pioneer Investors-----	355
 Chapter 3. Current Status of Deep Seabed Mining	
Technology -----	359
Section 1. Introduction-----	361
Section 2. Mining Technology-----	363
Section 3. Transloding Technology-----	382
Section 4. Residue Discharge-----	386
Section 5. Processing Technology-----	389
Section 6. Status of Deep Seabed Mining Technology Patent-----	397
 References-----	400

List of Tables

Table I-1. Summary of characters of Mn-oxide minerals, nodules, crusts and buried nodules-----	104
Table I-2. Physical parameters that can be analysed by KIT-500 program -----	105
Table I-3. Result of image analysis on selected photographs of box core surface in the KODOS-92 area-----	107
Table I-4. Result of image analysis on selected photographs of free-fall grabs in the KODOS-92 area-----	108
Table I-5. Variance fuction in spherical model-----	108
Table I-6. Comparison of estimation techniques for various spherical semivariogram-----	109
Table I-7. Mn-nodule abundance in selected sites of the KODOS 89 and 90 areas-----	110
Table I-8. Basic statistic of error estimated by IDS and Kriging methods-----	110
Table II-1. Transmitter Rack Components and Functions-----	167
Table II-2. Receiver Rack Components and Functions-----	168
Table II-3. Data Processor Rack Components and Functions-----	169
Table II-4. SeaBeam 2000 Peripherals Functional Description-----	170
Table III-1. Analytical Condition for trace metals determination-----	207
Table III-2. Vertical distribution of dissolved oxygen in the KODOS-93-1 region-----	225
Table III-3. Vertical distribution of chlorophyll a in the KODOS-92-2 region -----	227

Table III-4. Distribution of chlorophyll a by phytoplankton size in the surface water(KODOS92-2) -----	228
Table III-5. Distribution of biogenic silica in surface waters of the KODOS92 region-----	229
Table III-6. Uptake of nitrate and ammonia by phytoplankton in the KODOS-93-1 region-----	230
Table III-7. The amount of Po-209 tracer and counting time-----	271
Table III-8. Comparison of the α counting method with γ counting method for the Pb-210 determination-----	278
Table III-9. Sediment particle mixing rate based on excess Pb-210 measurement-----	281
Table III-10. Sediment mixing data based on excess Pb-210 measurement-----	282
Table IV-1. Transfer modes for nodules from the mining ship to the ore carrier -----	383
Table IV-2. Comparison of Nodule Processing Technique -----	396
Table IV-3. Status of Deep Seabed Mining Technology Patent-----	399

List of Figures

Fig. I-1. Manganese nodule field and the underlying sedimentary sequence in the C-C zones-----	111
Fig. I-2. Seismic survey lines, sampling sites of Mn-nodules and sediment in the KODOS area-----	112
Fig. I-3. Seafloor morphology and distribution of sedimentary sequence above acoustic (air-gun) basement -----	113
Fig. I-4. Correlation of acoustic (3.5 kHz) stratigraphic units with lithology in DSDP cores-----	114
Fig. I-5. Various bedforms in the KODOS area-----	115
Fig. I-6. General characters of box core sediment-----	117
Fig. I-7. Age distribution of Tertiary radiolarian fossils-----	118
Fig. I-8. Occurrence of nodule types in box cores-----	119
Fig. I-9. X-radiograph showing buried nodules (st. 8918)-----	120
Fig. I-10. Occurrence of nodule types (in frequency %) and its relation to seafloor morphology-----	121
Fig. I-11. Internal structures and distribution of metal species in selected nodules-----	122
Fig. I-12. Ternary relationships of Mn, Fe, and $10 \cdot (\text{Ni} + \text{Cu} + \text{Co})$ showing distinct genetic divisions of nodule types -----	126
Fig. I-13. Regional distribution of nodule abundance and types -----	127
Fig. I-14. Variation of nodule abundance in abyssal plain, hill, and seamount areas -----	128
Fig. I-15. Relation of nodule types and abundance to the depth of bioturbation in box cores -----	129

Fig. I-16. Relation of nodule type and abundance to the thickness of acoustically transparent layer on 3.5 kHz seismic profile -----	130
Fig. I-17. Distributional pattern of nodules on bottom photographs and 3.5 kHz subbottom profile -----	131
Fig. I-18. Bottom photographs showing various distributional patterns of nodules -----	133
Fig. I-19. Bottom photographs showing activities of benthic animals --	134
Fig. I-20. Seabottom photographs -----	135
Fig. I-21. Flow diagram in the estimation of Mn-nodule abundance -----	136
Fig. I-22. Procedures in the estimation of Mn-nodule coverage -----	137
Fig. I-23. Relationship of coverage to abundance of Mn-nodules based on mean long axis of nodules-----	138
Fig. I-24. Relationship of coverage to abundance of Mn-nodules based on the volumes converted by the area of nodules -----	139
Fig. I-25. Geometry of divided block in ore reserve estimation -----	140
Fig. I-26. Diagram presenting the claculation of variance in the unit block by using Kriging method-----	141
Fig. II-1. Block diagram of ONNURI SeaBeam 2000 system -----	171
Fig. II-2. Rack layout of ONNURI SeaBeam 2000 system -----	172
Fig. II-3. Pattern of acoustic beams propagated from SeaBeam 2000 --	173
Fig. II-4. Sonar operating menu tree of ONNURI SeaBeam 2000 -----	174
Fig. II-5. Master status menu items of ONNURI SeaBeam 2000 -----	175
Fig. II-6. Data processing menu tree of ONNURI SeaBeam 2000-----	178

Fig. II-7. Schematic hardware connection in ONNURI SeaBeam 2000 data processing computer-----	179
Fig. II-8. Schematic flow chart in ONNURI SeaBeam 2000 data processing computer-----	180
Fig. II-9. "C" source code for rearrangement of SeaBeam backup data in SUN Unix System-----	181
Fig. II-10. SeaBeam 2000 data format in SUN computer system-----	183
Fig. II-11. Raw 2-dimensional contour map of SeaBeam 2000 data----	184
Fig. II-12. Corrected 2-dimensional contour map of SeaBeam 2000 processed data-----	185
Fig. II-13. "FORTRAN" source code for correcting the position in SeaBeam 2000 Beam data-----	186
Fig. II-14. Colored three dimensional map viewed on the east side of selected area (elevation angle = 55°)-----	191
Fig. II-15. Colored three dimensional map viewed on the west side of selected area (elevation angle = 55°)-----	192
Fig. II-16. Colored three dimensional map viewed on the south side of selected area (elevation angle = 55°)-----	193
Fig. II-17. Colored three dimensional map viewed on the north side of selected area (elevation angle = 55°)-----	194
Fig. II-18. Two dimensional contour map of SeaBeam 2000 amplitude data-----	195
Fig. III-1. Vertical profile of temperature in the KODOS-92 region -----	234
Fig. III-2. Vertical profile of temperature above 200m in the KODOS-92 region-----	234
Fig. III-3. Vertical profile of nitrate in the KODOS-92 region-----	235

Fig. III-4. Vertical profile of nitrate above 200m in the KODOS-92 region-----	235
Fig. III-5. Vertical profile of nitrite above 200m in the KODOS-92 region-----	236
Fig. III-6. Correlation between nitrate and nitrite in the KODOS-92 region-----	236
Fig. III-7. Vertical profile of phosphate in the KODOS-92 region-----	237
Fig. III-8. Vertical profile of phosphate above 200m in the KODOS-92 region-----	237
Fig. III-9. Vertical profile of silicate in the KODOS-92 region-----	238
Fig. III-10. Vertical profile of silicate above 200m in the KODOS-92 region-----	238
Fig. III-11. Correlation between nitrate and phosphate in the KODOS-92 region-----	239
Fig. III-12. Correlation between nitrate and phosphate above 200m in the KODOS-92 region-----	239
Fig. III-13. Correlation between nitrate and silicate in the KODOS-92 region-----	240
Fig. III-14. Correlation between nitrate and silicate above 200m in the KODOS-92 region-----	240
Fig. III-15. Correlation between phosphate and silicate in the KODOS-92 region-----	241
Fig. III-16. Correlation between phosphate and silicate above 200m in the KODOS-92 region-----	241
Fig. III-17. Vertical variation of nitrate versus phosphate(N:P) ratio in the KODOS-92 region-----	242
Fig. III-18. Variation of nitrate versus phosphate(N:P) ratio	

above 200m in the KODOS-92 region-----	242
Fig. III-19. Vertical variation of nitrate versus silicate(N:Si) ratio in the KODOS-92 region-----	243
Fig. III-20. Variation of nitrate versus silicate(N:Si) ratio above 200m in the KODOS-92 region-----	243
Fig. III-21. Vertical variation of silicate versus phosphate(Si:P) ratio in the KODOS-92 region-----	244
Fig. III-22. Variation of silicate versus phosphate above 200m in the KODOS-92 region-----	244
Fig. III-23. Correlation between temperature and nitrate in the KODOS-92 region-----	245
Fig. III-24. Correlation between temperature and nitrate above 200m in the KODOS-92 region-----	245
Fig. III-25. Correlation between temperature and nitrite in the KODOS-92 region-----	246
Fig. III-26. Correlation between temperature gradient and nitrite in the KODOS-92 region-----	246
Fig. III-27. Correlation between temperature and phosphate in the KODOS-92 region-----	247
Fig. III-28. Correlation between temperature and phosphate above 200m in the KODOS-92 region-----	247
Fig. III-29. Correlation between temperature and silicate in the KODOS-92 region-----	248
Fig. III-30. Correlation between temperature and silicate above 200m in the KODOS-92 region-----	248
Fig. III-31. Vertical profile of cobalt(Co) in the KODOS-92 region-----	249

Fig. III-32. Vertical profile of copper(Cu) in the KODOS-92 region-----	249
Fig. III-33. Vertical profile of iron(Fe) in the KODOS-92 region-----	250
Fig. III-34. Vertical profile of manganese(Mn) in the KODOS-92 region-----	250
Fig. III-35. Vertical profile of lead(Pb) in the KODOS-92 region-----	251
Fig. III-36. Vertical profile of nickel(Ni) in the KODOS-92 region-----	251
Fig. III-37. Vertical profile of temperature in the KODOS-93 region-----	252
Fig. III-38. Vertical profile of dissolved oxygen in the KODOS-93 region-----	253
Fig. III-39. Vertical profile of nitrate in the KODOS-93 region-----	254
Fig. III-40. Vertical profile of nitrite in the KODOS-93 region-----	255
Fig. III-41. Vertical profile of phosphate in the KODOS-93 region-----	256
Fig. III-42. Vertical profile of silicate in the KODOS-93 region-----	257
Fig. III-43. Vertical profile of nutrients above 300m in the KODOS-93 region-----	258
Fig. III-44. Correlation between nitrate and silicate in the KODOS-93 region-----	259
Fig. III-45. Correlation between nitrate and silicate above 300m in the KODOS-93 region-----	359
Fig. III-46. Correlation between phosphate and nitrate in the KODOS-93 region-----	260
Fig. III-47. Correlation between phosphate and nitrate above 300m in the KODOS-93 region-----	260
Fig. III-48. Correlation between phosphate and silicate in the	

KODOS-93 region-----	261
Fig. III-49. Correlation between phosphate and silicate above 300m in the KODOS-93 region-----	261
Fig. III-50. Variation of nitrate versus phosphate(N:P) ratio in the KODOS-93 region-----	262
Fig. III-51. Variation of nitrate versus phosphate(N:P) ratio above 300m in the KODOS-93 region-----	262
Fig. III-52. Variation of nitrate versus silicate(N:Si) ratio in the KODOS-93 region-----	263
Fig. III-53. Variation of nitrate versus silicate(N:Si) ratio above 300m in the KODOS-93 region-----	263
Fig. III-54. Variation of silicate versus phosphate(Si:P) ratio in the KODOS-93 region-----	264
Fig. III-55. Variation of silicate versus phosphate(Si:P) ratio above 300m in the KODOS-93 region-----	264
Fig. III-56. Vertical distribution of Rare Earth Elements (KODOS-90) -----	286
Fig. III-57. Comparison of the Pb-210 activity measurement between α counting method and γ counting method-----	287
Fig. III-58. Hypothesized Pb-210 activity in the sediment column-----	288
Fig. III-59. The vertical distribution of the total Pb-210 and Ra-226--	289
Fig. III-60. The vertical distribution of the excess Pb-210 -----	290
Fig. IV-1. Commercial mining scheme : mining, transport, and metallurgy-----	362
Fig. IV-2. Basic deep seabed mining system-----	364
Fig. IV-3. Towed collector (OMI)-----	373

Fig. IV-4. Self-propelled collector-----	375
Fig. IV-5. Mechanical pick-up system-----	377
Fig. IV-6. Hydraulic pick-up system-----	377
Fig. IV-7. Hybrid pick-up system-----	377
Fig. IV-8. CLB mining system-----	380
Fig. IV-9. Free operating shuttle mining system-----	381
Fig. IV-10. Offshore loading, towing and alongside modes-----	385
Fig. IV-11. Concept of discharge-----	388
Fig. IV-12. Concept of Mn-nodules processing-----	390

Part I

地質鑛床 分野

분야 연구책임자 : 鄭 甲植

연구원 : 姜 正極, 安 重濫, 金 基鉉,
文 在雲, 李 慶鎔, 鄭 會秀,
池 相範, 朴 贊永, 朴 正基,
張 太憲,

연구 보조 : 金 彩洙, 崔 承姬, 安 成眞

第 1 章

망간團塊의 成因과 分布特性

第 1 節 序 論

망간단괴는 세계 대양중 太平洋 赤道北東地域 즉, C-C (클라리온-클리퍼톤)해역 약 250만 km²에 약 250-350억톤 정도로 가장 많은 양이 부존하고 있다 (Fig. I-1)(Horn et al., 1973; McKelvey et al., 1979; Exon, 1983). 이곳에는 그 성분과 음波特성이 확연히 다른 세 개의 層. Line Islands, Marquesas, 그리고 Clipperton 층이 전혀 다른 堆積率과 堆積相을 보이며 분포한다 (Tracey et al., 1971; Cook, 1975; van Andel et al., 1976; Mayer et al., 1986). 특히 이 지역에는 과거 지질시대동안 중앙태평양으로부터 동쪽으로 유입하는 南極低層海流의 영향으로 여러가지 bedform, 堆積缺層 그리고 독특한 堆積相이 형성된다 (Johnson, 1972; Lonsdale and Smith, 1980; Keller and Barron, 1983). 이 저층류의 영향과 함께 赤道帶를 따라 높은 값을 보이는 표층해수중의 一次生物生産에 의해 적도로부터 북쪽으로 가면서 炭酸質 軟泥, 珪質 軟泥, 赤粘土의 帶狀의 堆積相이 발달 분포한다 (Listzin, 1972; Horn et al., 1973). C-C해역에서 망간단괴는 이러한 퇴적상의 분포와 저층해류와 크게 관련되어 분포한다. 특히 퇴적층의 최상부 퇴적물의 여러 특성은 망간단괴들의 產出樣相과 成長에 밀접한 관련을 보인다 (Menard, 1976; Skornyakova, Dymond et al., 1984).

C-C 해역에서 망간단괴들은 대부분이 堆積率이 극히 낮은 炭酸鹽補償深度 밑의 해저에 분포하는 데, 遠洋性 粘土나 珪質 堆積物에 賦存되어 있으며, 퇴적율이 높은 炭酸質 軟泥에서는 거의 발견되지 않는다 (Horn et al., 1973; Cronan, 1977; Greenslate et al., 1979). 망간단괴들은 침식된 해저면에 Patch, Pavement 또는 띠를 이루어 분포하는 데, 이러한 분포양상은 저층해류의 작용이 강한 해저산이나 해저능 등의 불규칙한 해저면에서 더 잘 발견되며 그 하부의 퇴적층서와 밀접한 관계를 보인다 (Menard, 1976; Glasby, 1978; von Stackelberg and Beiersdorf, 1991). 이러한 특성은 저층해류의 侵蝕作用에 의해 퇴적층내에 埋沒된 既存의 망간단괴들과 그 외 粗粒質 物質

들이 해저면에 노출되어 망간단괴의 核化와 成長이 촉진되기 때문인 것으로 보인다 (Glasby et al., 1982; von Stackelberg et al., 1987). 이러한 이유로 태평양에서 망간단괴들은 南極으로부터 연장되는 해저면 즉, 南極低層海流가 통과하는 지역에서 많은 양이 賦存한다 (Kennett and Watkins, 1975; Lonsdale, 1981; Glasby et al., 1986). 해저면에서 망간단괴들의 분포양태는 底棲動物의 攝食活動에 의해 변형되기도 한다 (Paul et al., 1978; Piper and Fowler, 1980; Glasby et al., 1982).

일반적으로 망간단괴는 그 表面構造에 따라 3 가지 類型으로 분류된다 (Bonatti et al., 1972; Raab, 1972; Halbach et al., 1981). S-형 망간단괴는 표면이 매끈하고 光澤이 있고, R-형은 微細粒子들로 인해 표면이 불규칙하고 거칠다. 또한 망간단괴들은 그 하부는 거칠지만 상부는 매끈하고 경우에 따라서는 표면전체가 부분적으로 거칠 수가 있다. 이러한 망간단괴들은 T-형으로 분류되어 S-형과 R-형 망간단괴들 사이의 漸移的인 특성을 보인다. R-형 망간단괴들은 대개 核이 하나이고, 토도로카이트, 망간, 니켈, 구리, 그리고 아연등의 含量이 높다. 이들 망간단괴들은 퇴적물의 速成作用에 의해 성장하기 때문에 최상부의 準液狀 堆積層에 부분적으로 혹은 완전히 매몰되어 산출하지만, 간혹 국부적인 침식작용에 의해 퇴적층위에 노출된 경우도 있다 (Bonatti et al., 1972; Halbach and Ozkara, 1979; Dymond et al., 1984). S-형 망간단괴는 遠洋性 赤粘土에서 주로 발견되며 非堆積이나 浸蝕作用이 우세한 海底山지역에서 다량으로 산출한다. 이들 망간단괴들은 水成起源으로 대부분이 여러 개의 核으로 이루어져 있고, 버나다이트, 鐵-水酸化鎳物, 철, 코발트의 含量이 높다 (Bonatti et al., 1972; Calvert and Price, 1977; Usui et al., 1987). T-형 망간단괴들은 그 성분이 위 두 가지 유형의 중간이다 (Rabb, 1972; Halbach et al., 1981). 표면조직은 근래의 망간단괴의 성장 그리고 성분은 망간단괴 성장의 전 기간(대개 천만-천 오백만년)의 成長機作을 나타내는 데, 위와 같이 각 유형과 성분과의 밀접한 관계가 있는 것으로 보아 망간단괴가 성장하는 동안의 地質環境과 堆積作用이 일정하였음을 뜻한다 (Price and Calvert, 1970; Calvert and Price, 1977; Halbach and

Puteanus, 1988).

일반적으로 망간단괴들은 核物質을 중심으로 同心圓狀의 內部構造를 보여 주는 데, 이들 구조는 불규칙한 불연속면들에 의해 나뉜다 (Segl et al., 1989; Mangini et al., 1990). 이 구조내에는 수 많은 철-망간산화광물이 서로 층을 이루어 분포하는 데 그중에서 토도로카이트와 버나다이트가 가장 일반적인 광물로 알려져 있다. 同心圓狀의 內部構造는 반복되는 퇴적물의 침식과 퇴적 (Halbach and Ozkara, 1979; Halbach et al., 1981; Dymond et al., 1984) 또는 망간단괴들이 주기적으로 굴러서 형성된다 (Krishnaswami and Cochran, 1978; Sorem and Fewkes, 1979; Huh and Ku, 1984) 등의 견이 많다. 각각의 광물층들은 수 십년에서 수 십만년이내에 형성되는 것으로 보이며 (Heye, 1978; Lalou et al., 1979; Segl et al., 1989), 이들 중 토도로카이트는 퇴적물 空隙水중에 溶存하는 몇 가지 금속원소를 이용하여 버나다이트보다 수 십 배 빠른 속도로 성장하여 주로 塊狀의 두꺼운 층을 이룬다 (Sorem et al., 1979b; Dymond et al., 1984; Reyss et al., 1982; 1985). 반면에, 버나다이트는 해수로부터 철-망간산화 콜로이드 粒子들이 느린 속도로 沈澱하여 얇고 조밀한 柱狀構造를 형성한다 (Sorem and Fewkes, 1979; Usui, 1979; Halbach et al., 1981). 이 두가지 광물의 相對含量에 의해 망간단괴들의 각 유형은 물론 상부와 하부사이의 성분이 크게 차이난다 (Raab, 1972; Bonatti et al., 1972; Dymond et al., 1984; Reyss et al., 1985).

1983, 1989, 1990년 세 차례에 탐사를 실시한 한국심해연구(KODOS)지역에서 기존의 여러 자료를 재검토 분석한 결과에 의하면, 망간단괴들은 하부堆積層序와의 밀접한 관계와 망간단괴 성장기간동안의 低層海流와 表層海水의 生物生産性的의 영향을 나타낸다. 底接動物의 활동에 의한 再堆積作用도 해저지형과 퇴적물의 특성과 함께 망간단괴가 독특한 각 유형으로 성장하는 데 기여하는 것으로 보인다. 기존 자료를 면밀히 재검토함으로써 향후의 망간단괴 探查와 開發有望地域 선정에 理論的 基礎와 探查技法 開發의 方向設定하는 데 도움을 줄 것이다.

第 2 節 既存資料 및 分析方法

이 연구에서는 太平洋 赤道北東 C-C지역 서부에서 1982, 1989, 1990 세 차례의 탐사를 통해 획득한 자료를 재검토하거나 추가로 분석하여 이용하였다. 1982년 탐사는 화와이 대학의 조사선 Kena Keoki호, 1989년과 1990년에는 영국의 조사선 Farnella호를 사용하였는데, 이 때 각 探查側線을 따라 에어-건 및 3.5 kHz 彈性波 그리고 水深記錄을 획득하였다 (Fig. I-2). 망간단괴는 총 80 개 탐사정점에서 상자형 시료채취기나 自由落下試料採取器를 이용하여 1회에서 3회 채취하였고, 퇴적물은 총 57 정점에서 채취되었다. 해저면은 9 개 정점에서 각 정점당 4시간씩 심해용 카메라시스템을 해저면으로부터 5-6 m 높이를 유지하면서 1-2 노트의 속도로曳引하여 하여 靜止 및 비디오 映像을 촬영하였다. 이 때 각 탐사정점과 측선의 위치는 주로 人工衛星 航法시스템 (GPS)을 이용하여 결정하였다.

망간단괴가 상자형 시료채취기에 의해 퇴적물과 같이 채취된 경우에는 채취기를 선상에 인양된 즉시, 망간단괴들이 퇴적물에 놓인 상태를 파악하고 사진촬영을 하였고, 自由落下採取器에 의해 채취된 망간단괴들과 함께 채취된 갯수, 무게, 각각의 모양, 크기, 表面組織을 기재하였다. 이러한 특성들은 수심, 에어-건, 3.5 kHz 彈性波 資料를 분석하여 海底地形, 최상부 音波透明層의 특성(형태, 두께, 그리고 反射度)과 비교분석하였다. 또한 퇴적물 역시 은색상의 변화, 生攪亂정도, 성분, 기타 물리적 특성을 파악 기재하여 망간단괴의 특성들과 비교하였다.

상자형시료채취기에 의해 채취된 퇴적물은 절개하여 사진과 X-선 촬영을 하여 내부구조와 매몰된 망간단괴의 유무를 확인하였고, 그 외 微化石의 양, 粒度, 鑛物成分을 분석하였다. 퇴적물의 年代는 放散蟲과 硅藻土 化石을 기준으로 구분하였다. 망간단괴의 내부구조를 파악하기 위해 우선 樹脂를 이용하여 굳힌 후 절개하여 사진촬영후, 後散亂 電子顯微鏡寫眞(Back-Scattered Electron Microphotograph)촬영과 함께 Microprobe를 이용하여 微細層理에서 금속원소함량을 분석하였다 (JEOL, JXA-8600). 망간단괴와 퇴적물은 말

려서 粉末로 만든 후, 불화수소, 질산, 그리고 염산의 혼합용액으로 완전히 溶解시켜 原子吸光分析器(Perkin Elmer, IL-251)를 이용하여 화학분석을 하였다. 망간단괴와 퇴적물의 鑛物成分은 X-선 回折分析器(Phillips, PW-710)를 이용하여 분석한 후 半定量하였다. 또한, 망간단괴의 성분과 비교하기 위하여 서태평양 마셜群島에서 채취한 21 개의 망간殼시료를 추가하여 분석하였다.

第 3 節 地 質 環 境

1. 地 形

한국심해연구지역은 Line Islands群島 근처 C-C 해역의 서부에 위치한다 (Fig. 1-3). 수심은 5, 100 m 이상으로 전반적으로 깊고 海底面은 북서쪽으로 완만하게 경사진다. 지형은 북동쪽으로 갈수록 완만하나 남서부로 갈수록 海底山들과 丘陵에 의해 더 복잡하여 진다. 해저산들은 대부분이 경사가 급하고 단면으로 볼 때 너비는 5-30 km, 높이는 400-1,500 m 정도이며, C-C 해역의 일반적인 수심분포(Heezen and Tharp, 1978)와 일치하여 동서방향으로 정렬된 것으로 보인다. 이들 해저산의 頂上部와 斜面部에는 岩盤이 노출되어 있으나, 여러 형태의 불규칙한 斷層로 복잡한 지형을 이루는 경우에는 두꺼운 퇴적층으로 덮혀 있다. 특히 연구해역의 동부에서의 海底基盤岩은 수많은 단층들에 의해 갈라져 복잡하며, 얇은 퇴적층으로 덮힌 盆地형태를 이룬다. DSDP(Deep-Sea Drilling Project, 深海底 掘探研究事業) 掘探試錐沈과 地磁氣異常帶의 분포에 의하면, 기반암의 연대는 5천만-8천 5백만년(에오세 중기-후 백악기)에 달한다 (van Andel et al., 1975). 해저면은 북서쪽으로 갈수록 점차 그 연대가 오래되는 데, 지형상 확연한 특징을 보이지 않지만 또 하나의 大龜裂帶에 의해 그 연대가 크게 填位되어 있다. 퇴적층은 북동쪽으로 갈수록 점차 얇아지고 기반암의 단층에 의해 그 분포가 불규칙하다.

2. 彈性波 層序

한국심해연구지역에서의 堆積層은 음파의 確연한 内部反射層(반사층 A'와 B'), 反射特性, 그리고 層理들간의 層序的 關係에 의해, 에어-건과 3.5 kHz 탄성파기록을 이용하여 3 개의 음파층으로 구분할 수 있다 (Fig. I-4). 최상부 퇴적층은 내부에 소수의 불연속적인 반사층을 보이지만 음파가 반사되지 않는 透明層에 해당한다 (Unit I). 그 하부의 퇴적층은 2 개의 unit로 나눌 수 있는데, Unit IIA는 상부에 音波層理가 잘 나타나고 하부로 갈수록 透明해진다. 반면에 그 하부의 Unit IIB는 에어-건 탄성파 기록상에서는 층 전체가 음파층리가 발달하여 나타나는 데, 투과심도 얇은 3.5 kHz 탄성파기록에는 나타나지 않는다 (Fig. I-4). 이 들 음파층서단위들은 기존의 DSDP 掘穿 試錐 자료에서 확인된 퇴적층서 단위들과 對比할 수 있다 (Tracey et al., 1971; Cook, 1975; van Andel et al., 1976; Mayer et al., 1986). 최상부 Unit I은 연구해역의 남부에서는 Clipperton 층(마이오세초-제 4기)중 두께가 20 m이하인 방산층연니층에, 북부에서는 Line Islands 층(에오세중기-후기 올리고세, DSDP site 163)의 98 m 두께를 갖는 沸石質 粘土와 粘土質 放散 蟲 軟泥에 대비된다. 남부에서 방산층연니의 하부에는 음파층서단위 Unit 2 즉, 음파층리가 잘 발달된 Clipperton 층의 Cyclic Unit와 음파가 반사되지 않는 음파투명층인 Marquesas 층이 나타난다. Cyclic Unit는 방산층연니와 탄산질 미화석 연니가 수 많은 얇은 층리를 이루어 교호되는 퇴적층(올리고세 초-마이오세 초)이며, Marquesas 층은 주로 탄산질 연니(에오세-올리고세)로 구성되어 있다. 음파층서단위 Unit IIB는 해저 기반암위에 방산층연니와 탄산질 微化石軟泥(올리고세초-마이오세 초) 또는 이들이 고화된 퇴적암 (Line Islands 층)으로 이루어져 있다 (van Andel et al., 1975). 연구해역의 북부에서 Unit IIA는 하부 Line Islands 층(팔레오세-에오세)의 처어트층이 협재된 放散蟲軟泥層과 철성분이 높은 沸石質 粘土에 해당한다 (Fig. I-4A and B). 서경 150 °W 서쪽지역, 즉, 해저기반암의 연대가 에오세이전인 해저에는 음파층서단위 Unit IIB는 명명되지 않은 층내의 석화된 처어트 층리가 발달한 微化石質 白堊과 돌로마이트 로 구성되어 있다 (Ewing et al., 1968; van

Andel et al., 1973). 북동지역에서는 Marquesas 층은 음파층서단위 Unit IIa로 구분되고 간혹 음파투명층인 Unit I으로 덮여 있지만, 퇴적층의 최상부를 이루고 그 음파 특성은 적도대에서 발견되는 그 층의 특성과 같다 (Tracey et al., 1971; Mayer et al., 1986).

전체적인 퇴적층의 두께는 Line Islands 군도 근처 연구지역의 남서부에서는 400 m 이상으로 두꺼우며, 북동쪽으로 갈 수록 점차 얇아져 약 60 m가 된다 (Fig. I-3). 이러한 퇴적층의 분포는 적도대 퇴적층(Ewing et al., 1968) 과 Line Islands 군도의 퇴적층이 연구해역까지 연장된 것으로 보인다 (Normark and Spiess, 1976). 특히 최상부 음파투명층(Unit I)은 그 두께가 불규칙하여, 연구해역의 서부에서는 100 m정도이지만, 동쪽 해역에서는 나타나지 않는다. Unit I은 저층해류에 의해 여러 형태의 해저퇴적층을 이룬다. 하부퇴적층의 음파반사특성에 의해 放散蟲 軟泥層과 Line Islands 상부층간의 경계는 DSDP시추심(Cook, 1975)과 3.5 kHz 탄성과 기록에 의한 것처럼 (Embley and Johnson, 1983), 북위 10°30'N 근처에서 나타난다.

3. Bedforms

한국심해연구지역에는 對稱 또는 非對稱의 형태를 갖는 Sediment Wave가 우세하게 발달되어 있다 (Fig. I-5A). 3.5 kHz 탄성과기록에서 이들 Sediment Wave들은 불확실한 내부 반사층이 나타나지만 대체로 음파특성이 투명하다. 내부반사층들은 해저면 형태에 일치하는 양상을 보이고 경우에 따라서는 양쪽에서 확연하게 침식 절단되어 나타나기도 한다. 연구해역의 남부에서는 이 Sediment Wave들은 음파적으로 층리가 발달된 하부 퇴적층이 부분적으로 노출되어 해저능을 이루는 불규칙한 지역에서 투명한 Wedge를 형성하여 나타난다 (Fig. I-5B). 이들의 형태나 하부지형과의 관계는 중앙 태평양 Marshall-Gilbert 해저능지역에서 저층해류에 의해 斜面을 따라 이동하는 Sediment Wave들과 비슷하다 (Lonsdale and Smith, 1980). 연구지역의 Sediment Wave들은 그 규모가 커서, 波長은 최대 10 km (대부분이 5 km 이하), 높이가 75 m (대부분이 40 m 이하)에 달한다. 연구해역 북부,

Clarion 균열대 근처에서는 좁은 간격으로 조밀한 雙曲線(Hyperbolae) 反射가 해저면에 근접하여 발생하여 (Fig. I-5C), 고랑이나 작은 규모의 Sediment Wave의 분포 특성을 보인다 (Embley et al., 1980; Damuth et al., 1983), Moat들도 다양한 크기 (최대 40 km X 200 m)로 발견되는 데 대체적으로 비대칭이다. 이들은 주로 해저산의 한 편에 발달되어 있는 데, 경우에 따라서는 상당한 깊이까지 침식하여 퇴적층내 反射層 A' (에오세중기-마이오세 중기 처어트층)까지 침식한다. 작은 규모가 작은 海底突出地形들 역시 Moat들로 둘러싸여 있으며 그 한쪽에는 Sediment Drift나 Drape이 발달되어 있다 (Fig. I-5E). 이 지역의 Sediment Drift나 Drape은 남태평양 Samoa Passage에서 발견되는 것들 처럼 (Lonsdale, 1981), 반사도가 높고 층리가 잘 발달된 하부퇴적층위에 몇 개의 내부반사층을 보이는 음파투명층으로 발달하여 있다. 해저면으로부터 높이 솟아 있는 해저산 주변의 해저면은 해저면이 심하게 침식되거나 이로 인하여 형성된 작은 규모의 지형들에 의해 음파반사가 강하고 하부퇴적층까지 연장되는 반사형태를 보인다 (Embley et al., 1980).

한국심해연구지역의 북쪽에서는 Sediment Wave들이 Turbidites와 함께 나타난다 (Fig. I-5F). Turbidites는 음파적으로 층리가 잘 발달하여 있어서, 돌출지형의 정부에 얹혀서 음파가 투명하고 Lense 모양을 보이는 Sediment Waves와 쉽게 구별된다. Clarion 균열대와 하와이 군도사이의 해저면이 음파반사도 높고 음파층리가 잘 발달한 것으로 보아 Turbidites 층은 하와이群島로부터 유래한 것으로 보인다. 이 Turbidites는 주로 하와이군도에서 유래한 플라이오세후기의 화산재로 구성되어 있다 (Rehm and Halbach, 1982). 태평양의 해저산지역에서는 南極底層海流와 底濁流의 동시적인 영향에 의해 Sediment Wave와 Turbidites가 같이 발견되는 경우가 종종 있다 (Lonsdale and Smith, 1980; Orwig, 1981).

4. 堆積物 特性

한국심해연구지역의 퇴적물은 放散蟲을 10-15% 정도 포함하는 沸石質 粘

토이며, 간혹 矽質 (방산층, 15-30%) 점토도 산출한다. 수심이 5,000 m 정도 되는 지역에서는 규질 및 탄산질 軟泥가 최상부 점토질 퇴적층에 얇게 덮여서 산출한다 (Fig. I-6; 조사 정점, 8904와 9032). 퇴적물중에는 微細 망간단괴, 火山岩質 破片, 그리고 石英粒子들이 소량 (5% 이하) 발견되기도 한다. 이 퇴적층은 색상, 생교란정도, 퇴적물 성분, 그리고 그 외 물리적 특성에 따라 2-3 개의 Unit로 나눌 수 있다. 최상부의 Unit 1은 黃色 또는 赤色계통의 褐色(10YR3/4-5YR3/3, Munsell, 1988)을 띠고, 직경 1 mm이하의 크기를 갖는 수 많은 口穴들에 의해 균질하게 攪搬되어 있으며, 두께는 대체로 10 cm 이하이다. 이 퇴적층의 또하나의 특성은 含水率이 아주 높아 應力이 거의 없다. 이러한 특성은 Halbach and Ozkara (1979), Berger et al. (1979)가 각각 명명한 “準液狀 堆積層”, “混合 堆積層”에 해당한다. Unit 1과 최하부 Unit 3간의 경계는 간혹 큰 구혈들이 절개되어 확인하지만, 生攪亂에 의해 대체로 불분명하여, Unit 2, 즉, 漸移層 (Transitional Layer, Berger et al., 1979)에 해당한다. Unit 2는 일반적으로 흑갈색 (10YR3/3-5YR3/2)을 띠고 최상부 퇴적물로 채워지고 옅은 황색으로 둘러싸인 단순하고 큰 (직경 4 cm 정도) 口穴들에 의해 교란되어 있다. 최하부 Unit 3는 Unit 2 보다 짙은 흑갈색(5YR3/1-10YR4/2)으로 생교란이 드물어 “古紀堆積層 (Historic Layer, Berger et al., 1979)”에 해당한다. Unit 3의 큰 특징은 함수율이 높지만 매우 단단히 固結되어 있다는 점이다. 이층내에서 간혹 발견되는 구혈들은 미세 망간단괴들이 둘러싸고 있고, 간혹 작은 최상부 퇴적물이나 生物 排泄物로 채워진 작은 구혈들에 의해 재교란되어 있다.

퇴적물중에는 에오세초 (간혹 팔레오세)에서 제 4기의 방산층화석들이 혼합되어 발견된다. 이들 화석들의 產出狀態로 보아, 최상부 Unit 1은 제 4기, 하부층들은 제 3기 (에오세초-플라이오세)에 해당한다. 이들 Unit들 사이 경계에서는 상당히 많은 양의 骨格化石片들이 발견되어 堆積缺層을 지시하는 경우도 있다. 간혹 후 제 4기 방산층화석들만이 에오세-마이오세의 탄산질 및 규질 연니를 덮고 있는 최상부 퇴적층에서 발견되는 경우도 있다 (Fig. I-6; 조사정점 9012 및 9032). Unit 1에서 제 4기 방산층화석의 양은 남동쪽

으로 갈수록 방산층 화석 총량의 10%에서 80%을 보인다. 제 3기 퇴적물중에는 에오세-마이오세초 화석들이 가장 우세하고 특히 북서쪽에서는 팔레오세 화석들이 간혹 소량으로 발견된다. 반면에, 올리고세후기, 마이오세 중기, 그리고 플라이-플라이토세중의 방산층들은 아주 소량이거나 발견되지 않아 해저면 퇴적층내에서도 긴 기간 또는 누중된 퇴적결층이 발달하였음을 잘 나타낸다 (van Andel et al., 1976; Keller and Barron, 1983; Hay, 1988). 소량의 올리고세 화석들은 아마도 非堆積 기간을 지시하는 퇴적결층에 해당하는 것 같다 (Wolfart, 1988). 제 3기 퇴적물은 태평양 적도북동지역에서 보고된 퇴적층의 분포 (Horn et al., 1973; Cook, 1975; Rawson and Ryan, 1978)와 일치하여, 북서쪽으로 갈 수록 점차 그 연대가 증가한다 (Fig. I-7). 방산층 화석에 의해 제 3기 퇴적층의 퇴적율은 C-C 지역에서 보고된 바와 같이 0.2 mm/1,000년 이하 (Listzin, 1972; Krishnaswami, 1976)로 계산된다. 제 4기 퇴적물은 과거 7000년동안 집적된 것이라 가정하면, 그 퇴적율은 약 15 mm/1000년으로 태평양 적도 고생산대 북부주변에서 최상부 혼합층에서 구한 값 (8-25 mm/1000년, Berger and Killingley, 1982; Lyle et al., 1988)과 잘 일치한다.

第 4 節 망간團塊

1. 類型과 產狀

망간단괴는 하부 퇴적물의 특성, 해저지형, 그리고 최상부의 음파투명층의 두께와의 관계를 밝히기 위해 여러가지 특성을 분석하였다. 연구지역에서도 역시 망간단괴들은 세가지 유형, 즉, R, S, T-형으로 分類된다 (Fig. I-8). 상자형 시료채취기에서 보면, S 및 T-형 망간단괴들은 퇴적층 상부에 露出되어 산출되는 반면, R-형 망간단괴들은 최상부 퇴적층에 부분적으로 혹은 완전히 埋沒되어 산출한다. 망간단괴들은 상하부의 구분이 뚜렷한 데, 하부는

하부 퇴적물에 접한 부분으로, 자유낙하시료채취기에 의해 채취된 경우에도 퇴적물이 附着되어 있다. 퇴적물 코아를 X-선 촬영한 결과에 의하면, 직경 2 cm 미만의 작은 R-형 망간단괴들이 최상부퇴적층에 종종 매몰되어 있다. S 및 T-형의 망간단괴들이 다량으로 분포하는 해저산지역에서는 간혹 직경 4 cm 이상의 망간단괴들이 제 3기 퇴적층에도 埋沒되어 산출한다 (Fig. I-9).

망간단괴들은 水深 4,600-5,500 m의 범위내에서 발견되는 데, R-형 망간단괴들은 海底平原地域에서 주로 (산출하는 망간단괴의 73%) 산출하고, S, T-형 망간단괴들은 海底山이나 海底陵 지역에서 빈번히 (29-44%) 발견된다 (Fig. I-10). T-형 망간단괴들은 항시 R-형 (12-17%) 또는 S-형의 망간단괴와 함께 (3-24%) 나타난다. 세 가지 유형의 망간단괴들이 동시에 산출하는 경우는 海底平原의 조사정점 9028을 제외하고 발견되지 않는다. 간혹, 해저산 지역에서는 S 및 R-형 망간단괴들이 망간殼과 함께 산출하는 경우도 있다 (조사정점, 8310, 8909, 9036). 망간단괴의 크기는 수 mm에서 20 cm까지 다양한 데, 해저평원지역에서는 직경 4 cm이하의 작은 크기의 단괴들이 62%, 해저능과 해저산지역에서는 80%에 달한다 (Fig. I-11). 해저산지역의 망간단괴들은 여러 개의 核으로 이루어져 있어서 해저능 지역의 망간단괴들보다 그 크기가 크다. 해저평원에서 R-형 망간단괴들은 그 크기가 남쪽으로 갈 수록 커지고 그 부존량도 높아진다. 특히 연구지역의 남동지역의 망간단괴들은 그 크기가 작고 점토 덩어리나 상어 이빨을 핵으로 한 얇은 철망간 층을 이루는 R-형으로 산출하고 있어서 망간단괴成長의 初期段階를 나타내고 있다. 이러한 망간단괴의 크기특성은 망간단괴가 해저평원에서는 2 개의 中央값을 갖는 크기분포를 갖도록한다.

2. 内部構造 및 成分特性

망간단괴내에서 발견되는 核들은 대부분이 과거 오래된 S-형 망간단괴들의 조각이고 그외에 해저산 지역에서는 암석파편, 해저평원과 해저능지역에서는 점토 덩어리와 生物體 殘核등으로 이루어져 있다 (Fig. I-11). 일반적으로, 망간단괴들의 外形과 内部構造의 形態는 核들의 모양과 수에 의해 결정된

다. 철망간층의 두께는 대체로 2 cm 이하이고, 浸蝕面이나 퇴적입자층에 의해 다시 2-3개의 층으로 나뉜다. 내부침식면은 망간단괴의 상부에서 더 빈번히 발견되어 단괴들의 비대칭형을 이루게 하는 것으로 보인다. 이러한 내부구조에 직각 또는 방사형으로 발달된 龜裂도 자주 발견된다.

철-망간층 내부에는 망간산화광물들의 微細層理가 同心圓狀으로 분포하는데, 각각의 미세층리들은 간혹 연속성을 보이기도 하지만, 불연속적이고 불규칙하여 그 분포가 복잡하다 (Fig. I-11-1). 토도로카이트는 주로 R-형 망간단괴내에서 塊狀, 樹指狀, 그리고 양배추모양의 구조를 이루는 데 (Fig. I-11-1B and C), 이 들 구조는 간혹 불규칙적이고 불연속적인 퇴적물 입자층 내에 함께 狹在하여 괴상분포대를 이루기도 한다 (Fig. I-11-1A). 토도로카이트의 두께는 대개 50-100 μm 정도로 두껍고 간혹 10 μm 이하의 두께를 갖는 버어나다이트 층이 협재되어 있다. 토도로카이트는 망간단괴내 공극이 있는 경우에는 葡萄狀 구조를 이루기도 한다 (Fig. I-11-1B). 반면에 S-형 망간단괴내에서는 이들 토도로카이트 층은 얇고 연속성이 좋다 (Fig. I-11-2C). 토도로카이트는 Mn/Fe 비가 크고, Ni, Cu, Zn의 함량이 높다 (Fig. I-11-1D and -2D). S-형 망간단괴들은 주로 버어나다이트 열리가 규칙적으로 반복되어 형성된 柱狀構造로 이루어져 있다 (Fig. I-11-2). 버어나다이트 층은 얇고 주로 확연한 浸蝕面과 裂介내에 분포하고 있어서 底層海流의 영향 하에서의 初期成長段階에 형성되는 것을 지시한다 (Burns and Burns, 1975; Sorem and Fewkes, 1979; Usui, 1979). 전형적인 주상구조와 콜로이드상 구조는 S 및 T-형 망간단괴의 核에서 발견된다 (Fig. I-11-2A and B). 버어나다이트는 Mn/Fe 비가 낮고, 대신에 Fe과 Co의 함량이 높다 (Fig. I-11-2D). 망간단괴 내부구조는 간혹 얇은 葉理層 (T), 塊狀構造 (M), 柱狀構造 (C)들이 침식면에 의해 경계지어져 발달하는 수가 있다 (Fig. I-11-2C). 버어나다이트의 성장은 매끈하고 空隙이 적은 S-형 망간단괴들의 표면을, 반면에 토도로카이트의 성장은 R 및 T-형 망간단괴들의 거친 표면을 이루는 것으로 보인다 (Sorem et al., 1979b; Halbach et al., 1981).

망간단괴는 소량의 石英과 長石을 포함하여 주로 토도로카이트와 버어나다

이트로 구성되어 있다 (Table I-1). 버어네사이트는 상대적으로 Mn/Fe가 큰 (>5) 연구해역의 북부 해저평원 (정점, 9038과 9039)의 망간단괴를 제외한 다른 망간단괴에서는 극히 드물게 발견된다. 필립사이트도 역시 망간단괴의 하부와 核에서 0.0에서 54.3%까지 큰 함량변화를 보이며 간혹 발견된다. R-형 망간단괴들은 토도로카이트/버어나다이트 그리고 Mn/Fe 비가 크고 Ni, Cu, Zn의 함량이 높다. 반면에 S-형 망간단괴들은 Fe 과 Co를 다량으로 함유하는 버어나다이트의 고함량이 특징이다. T-형의 망간단괴의 성분은 이 두 유형의 중간특성을 보인다. 쇄설성 광물의 양은 토도로카이트와 마찬가지로 S, T, R-형으로 갈 수록 증가한다. 망각殼의 경우 구성광물은 버어나다이트가 대부분 (>95%)이고 Fe(평균, 15.2%)과 Co (평균, 0.53%)가 아주 높은 함량을 보인다. Mn, Fe, 10(Cu+Ni+Co)의 삼각관계에서 보면 (Fig. I-12), R-형 망간단괴들은 速成起源, S-형 망간단괴들은 水性起源에 의해 성장형성한 것을 나타낸다 (Bonatti et al., 1972; Calvert and Price, 1977; Halbach et al., 1981). T-형 망간단괴들은 해수와 그 하부 퇴적물의 혼합된 영향을 나타낸다 (Raab, 1972; Reyss et al., 1985). 매몰된 망간단괴들은 그 화학성분이 S-형 망간단괴와 비슷하다 (Table I-1). 특히 망간각은 Mn/Fe비 (0.9-2.1)가 無酸素帶(Oxygen Minimum Depth) 해수중의 비와 비슷하다 (Klinkhammer and Bender, 1980; Qunby-Hunt and Turekian, 1983). 망간단괴 중, 토도로카이트/버어나다이트 그리고 Mn/Fe 비는 Ni, Cu, Zn의 함량과 함께 남쪽 즉 적도쪽으로 갈수록 증가한다. 망간단괴의 상하부에서는 그 성분 차이가 크게 나는 데, 토도로카이트, Mn, Ni, Cu, Zn 등은 망간단괴의 하부에, 버어나다이트, Fe, Co 등은 망간단괴의 상부에 많은 양이 함유되어 있다. 이러한 차이는 T-형 망간단괴에서 더 확연하다. Mn/Fe비와 밀접한 관계를 보이는 망간단괴의 성장속도는 실험식을 이용하여 계산할 수 있다 (Huh and Kum, 1984). 평균성장속도는 R-형 망간단괴의 경우 9.1 mm/my., T-형의 경우 4.7 mm/my., S-형의 경우는 3.0 mm/my.로 각각 계산된다. 이 값들은 태평양 망간단괴들에서 보고되는 일반적 값 (1-10 mm/my.)에 속한다 (Bender et al., 1966; Lalou et al., 1979; Moore et al., 1981; Mangini et

al., 1990). 이미 Moore et al. (1984)등이 실제로 측정한 결과와 마찬가지로 망간단괴의 상부 (7.3 mm/my.)와 하부 (22.3 mm/my.)사이에는 그 성장속도가 크게 차이난다. 망간각은 1 mm/my. 이하의 성장속도로 성장한 것으로 보인다.

3. 分布 特性

망간단괴 특히, S 및 T-형 망간단괴들은 해저능 및 해저산지역에서 심하게 攪亂된 퇴적물에서 더 많은 양으로 산출하고 (Fig. I-13), 대부분이 올리고세-마오세의 제 3 기 퇴적물을 덮고 있는 방산층 화석을 포함하는 점토에 부존하여 있다 (Fig. I-7). 망간단괴들은 탄산질 및 규질 연니에서는 1.5 kg/m^2 이하의 낮은 賦存率로 드물게 산출한다 (Fig. I-5). 망간단괴의 부존율은 수 백 m에서 수 km의 거리내에서도 변화가 커서, Patch 나 Pavement의 분포특성을 보여준다 (Craig, 1979b; Andrews and Friedrich, 1979). 망간단괴는 해저산이 散在하고 큰 규모의 Sediment Wave들이 해저능을 이루어 분포하는 연구해역의 남부지역 많은 양이 산출한다 (Fig. I-14). 이 곳에서 망간단괴의 부존율은 해저능지역의 조사정점 62%에서 $5.0\text{--}28.9 \text{ kg/m}^2$ 이, 해저산 지역에서는 조사정점 27%에서 $10\text{--}15 \text{ kg/m}^2$, 53%에서 2 kg/m^2 이하의 망간단괴가 산출한다 (Fig. I-15). 특히 해저평원의 북부 및 남동부 지역에서 망간단괴들은 크기가 작고, 절반이상의 조사정점에서 2 kg/m^2 이하의 적은 양으로 산출한다.

망간단괴들은 최상부 音波(3.5 kHz)透明層이 90 m 이하의 두께를 갖는 지역에서 대부분이 산출하는 데, 두께가 얇을 수록 부존율이 증가하는 경향을 보여 준다 (Fig. I-16). 이 때 S 및 T-형 망간단괴들은 주로 浸蝕面이나 최상부 퇴적층이 아주 얇은 곳 또는 Sediment Wave를 이루는 두꺼운 퇴적층에서, R-형 망간단괴들은 20-40 m의 두께에서 가장 많은 양으로 산출한다. 海底面 寫眞과 동시에 획득한 3.5 kHz 탄성과 기록을 분석하여 본 결과, 망간단괴들은 다양한 규모(거리상으로 15 km 이상)로 Patch나 Pavement를 이루어 분포한다 (Fig. I-17). 해저면 사진 자료에서 망간단괴의 부존율은 다음

과 같은 실험식으로 환산하였다. 즉, 부존율 (kg/m^2) = $8.4(D, C)/100$ (상관 계수, 0.98) (D와 C 는 각각 망간단괴의 장축(cm)과 피복율 (%)). 최상부 퇴적층이 두껍고 음파層理가 잘 발달한 경우에는 망간단괴의 부존이 빈약하지만 (Fig. I-17A and B), 음파투명퇴적층이 침식되어 얇거나 불규칙한 지역에서는 Patch나 Pavement를 이루어 분포한다 (Fig. I-17C, D, and E). 특히 침식된 海底陵 頂上部에서는 Patch나 Pavement들 사이에 음파의 反射가 강한 망간殼이 산출한다 (Fig. I-17E).

해저면 사진에서 보면, 크기가 큰 망간단괴들은 밀집한 작은 망간단괴들 상부나 그 사이에 분포하고 (Fig. I-18A), 망간단괴의 일부는 자갈들의 Bedform과 유사한 (Lonsdale, 1980) 網狀, 放射 또는 線形分布를 한다 (Fig. I-18B). 큰 망간단괴의 어느 한 쪽에서는 침식자국이나 퇴적물 둔덕이 발견되기도 하는 데, 침식자국내에는 작은 크기의 망간단괴들이 부분적으로 노출되어 분포한다 (Figs. I-18C and D). 특히, 최상부 음파투명층이 불규칙한 두께로 분포하는 해저산 基底의 망간단괴 Patch이외의 지역(조사정점, 9025)에서는 편평하거나 길쭉한 망간단괴들은 작은 규모의 泥質軟痕의 頂上部를 형성하기도 한다 (Figs. I-18E and F). 망간단괴가 분포하지 않는 지역에서는 철-망간 산화물로 피복된 큰 底棲動物 管의 片들과 퇴적물로 充填되지 않은 口穴들이 발견된다 (Fig. I-18A and B). 이러한 해저면의 특징들은 저서동물과 저층해류의 작용에 의한 것으로 보인다 (Heezen and Hollister, 1964; Hollister and McCave, 1984). 간혹 해저면에서 퇴적층을 실제로 뚫고 들어가는 저서동물이 발견되기도 하며 (Figs. I-19A and B), 불규칙한 소규모의 해저지형을 이루는 저서동물들의 크고 작은 흔적들(흔적, 고랑, 둔덕 등)이 빈번히 발견된다 (Fig. I-19C). 해저면이 심하게 攪亂된 경우에는 망간단괴들은 퇴적물에 의해 부분적 혹은 거의 완전히 덮혀 있다. 저서동물의 구혈활동은 퇴적물을 망간단괴의 바로 하부에 집적하기도 하여 망간단괴가 위로 이동하게 하는 수도 있는 것으로 보인다 (Fig. I-19D). 해저면에서의 이러한 현상들은 상자형 퇴적물 시료에서 심한 생교란으로 확인된다 (Fig. I-6).

第 5 節 망간團塊 形成과 分布에 대한 考察

1. 망간團塊의 類型分類와 再堆積作用

표면조직에 의해 분류된 망간단괴의 각 유형이 내부구조 그리고 성분과 밀접한 관계를 보이는 것으로 보아 망간단괴의 형성작용은 그 성장기간동안 큰 변화가 없었음을 알 수 있다 (Fig. 2-12 and 13). 즉, 망간단괴들이 최상부 퇴적층에 埋沒된 상태로 알 수 있듯이, S, T, R-형으로 갈 수록 그 하부 퇴적물의 영향을 크게 받고 있다 (Table 1). C-C 해역의 망간단괴들과 비교하여 (McKelvey et al., 1979; Skornyakova, 1979; Friedrich et al., 1988), Fe과 Co의 함량이 높은 대신, Ni, Cu, Zn의 함량이 낮은 것으로 보아 연구해역의 망간단괴들의 형성은 해저지형의 영향도 크게 받는다. 일반적으로 水成기원의 S-형 망간단괴의 형성은 海底陵이나 海底山 지역에서 堆積率이 높기 때문이고, 반면에 速成起源의 R-형 망간단괴는 海底平原에서 퇴적율이 낮기 때문인 것으로 해석한다 (Calvert et al., 1978; Glasby et al., 1982; Piper and Blueford, 1982; Calvert et al., 1987). 그러나, 이러한 類推는 中央太平洋에서도 확인된 바와 같이(Mizuno et al., 1980; Usui et al., 1987; Usui and Moritani, 1992), S-형 망간단괴들이 주로 저층해류가 활발하여 최상부 퇴적층이 침식되어 있거나, 얇거나 불규칙하게 두꺼운 지역에서 다량으로 발견되는 사실과는 상치된다 (Fig. 2-17). 물론 R-형 망간단괴들이 일시적으로 혹은 지역적으로 강한 저층해류의 영향으로 최상부 제 4기 퇴적물이 침식되었거나 얇은 곳에서도 발견된다 (Halbach and Ozkara, 1979; Halbach et al., 1981; von Stackelberg and Beiersdorf, 1991). 연구해역에서는 R-형 망간단괴들이 20-40 m 두께의 퇴적층에서 가장 많은 양이 발견되는 것으로 보아 속성작용에 의한 망간단괴의 성장은 중간정도의 퇴적물에서 가장 활발한 것 같다.

망간단괴의 상하부에서 성분과 그외 여러 특성들이 크게 차이나는 것으로

보아 (Table I-1) 망간단괴는 구르지 않고 한 자리에 定着되어 반복되는 퇴적물의 再堆積作用에 의해 성장하는 것 같다. 망간단괴가 퇴적물에 묻혀 있을 경우, 그 하부는 상부보다 수 십배(평균 3 배)까지 빠른 속도로 성장하여 (Moore et al., 1981; Reyss et al., 1982; 1985), 하부에 Mn, Ni, Cu, Zn, 그리고 토도로카이트의 함량을 증가시킨다. 그리고 저층해류에 의해 망간단괴의 상부에 沈着된 속성기원 물질을 浸削하여 수성기원의 물질을 상대적으로 증가시키기도 한다 (Raab, 1972; Bonatti et al., 1972). 망간단괴의 최외각 층에서 라돈 同位元素의 분포연구(Moore et al., 1981)에 의하면, 분석된 망간단괴는 최소한 과거 500,000년 동안 구르지 않았기 때문에 하부는 상부보다 3 배 정도의 빠른 성장속도로 형성되었다. 반면에, 망간단괴의 표면에서 崩壞速度가 빠른 放射性 同位元素를 측정된 결과는 성장하는 기간동안 수 만 번이상 顛覆하였음을 나타낸다 (Krishnaswami and Cochran, 1978; Huh and Ku, 1984; Lyle et al., 1984). 이러한 경우에는 수성 및 속성기원의 물질들이 거의 균일하게 혼합되기 때문에 망간단괴의 상하부의 성분이나 그외의 특성들이 비슷하거나 꼭 같게 될 것이다 (Reyss, 1985; Frierich et al., 1988). 망간단괴가 구르지 않고 성장한다는 사실은 해저능이나 해저산 지역에서 아주 느린 속도(1-3 mm/my)로 서로 결합하여 성장한 다량의 多核 S-형 망간단괴(부착성 저서 미생물들의 접합에 의한 것으로 해석하기도 하지만 (von Stackelberg, 1984))들이 증거가 될 수 있다.

망간단괴들의 同心圓狀 構造는 일반적으로 저층해류나 저서동물에 의해 망간단괴들이 반복적으로 顛覆하여 성장하기 때문으로 해석한다 (Bender et al., 1966; Cronan, 1977; Sorem et al., 1979; von Stackelberg, 1984). 그러나, 이러한 구조는 망간단괴가 주기적으로 퇴적물내에 매몰되고 해수에 노출되도록하는 재퇴적작용에 의해 토도로카이트와 버어나다이트가 반복 성장한 결과로도 유추할 수 있다 (Fig. 2-7). 水成起源의 버어나다이트의 경우, 속성작용이 진행될 수 없는 赤粘土와 같이 酸化도가 높은 퇴적물내에서는 망간단괴의 하부에도 침착할 수 있다 (Sorem, 1973; Sawlan and Murray, 1983; Dymond et al., 1984). 근래에는 속성작용이 활발한 半深海性 퇴적물내에서

조차도 속성작용에 의한 망간단괴의 성장은 금속원소를 풍부히 포함하고 있는 하부의 오래된 퇴적물과 저서동물이나 저층해류에 의해 주기적인 접촉에 의해 촉진된다는 주장이 제기되고 있다 (Bender, 1983; Reyss et al., 1985). 망간단괴와 퇴적물에 분포하는 放射性 同位元素들의 분포는 재퇴적작용의 주기와 일치한다는 보고도 있다 (Berger and Killingley, 1982; Moore, 1984; Mangini and Kuhnel, 1987). 망간단괴내 광물층의 형성기간은 저층해류의 변동주기(25-150,000 년)와 일치한다 (Margolis and Glasby, 1973; Krishnaswami et al., 1982). 연구해역에서 활발한 재퇴적작용은 제 3기 및 제 4기 퇴적층간의 큰 연대 즉, 누중된 퇴적결층에 의해서 증명된다 (Fig. 2-6).

2. 망간團塊의 分布와 底棲動物의 活動

심하게 생교란된 퇴적물의 상부에 더 많은 망간단괴들이 산출되는 것으로 보아 생교란작용 역시 망간단괴가 해저면에 분포하는 데 큰 역할을 하는 것으로 보인다. 또한 저서동물들의 활동은 저층해류에 의한 재퇴적작용이 활발한 해저능이나 해저산 지역에서 더 활발하다. 이 경우에는 다른 심해지역에서 보고된 바와 같이 (Berger et al., 1979; Berger and Killingley, 1982), 有機物이 풍부히 포함된 제 4기 퇴적층이 두꺼울 수록 생교란 흔적들이 퇴적물의 깊은 곳까지 나타난다 (Fig. 6). 심해카메라를 이용하여 장기간에 걸쳐 관찰한 결과에 의하면, 저서동물의 먹이가 되는 有機物質들은 수 시간 이내에 分解되기때문에 생교란작용은 아주 빠른 속도로 진행된다 (Paul et al., 1978). 또한 최상부 제 4기 퇴적층은 準液狀의 상태여서 약한 저층해류에 의해서도 쉽게 再動分布될 수 있다. 이에 대한 증거로는 망간단괴를 포함하고 있는 태평양의 원양성 점토에 유속이 12 cm/s이하인 약한 해류를 실험적으로 발생케 하였을 때 형성되는 것들과 비슷한 작은 규모의 Bedform들을 들 수 있다 (Fig. I-18). 또한, 최상부 제 4기 퇴적물내에 다양한 양으로 제 3기 퇴적물이 혼합되어 있는 것으로 보아 저층해류와 저서동물에 의한 퇴적물의 재동작용이 활발함을 알 수 있다. 그러나, 활발한 生攪亂作用은 퇴적속도가 빠르거나

퇴적물이 사태로 또는 해류에 쓸려서 유기물질이 깊이 埋沒되기때문이라고 해석하는 수도 있다 (Moore and Heath, 1966; Piper and Blueford, 1982; von Stackelberg and Beiersdorf, 1991). 이러한 경우에는 퇴적물은 제 4기 동안 재퇴적된 퇴적물이 저서동물에 의해 관입될 수 있는 최대깊이까지를 퇴적되는 것으로 보아 실제 퇴적물보다 훨씬 높은 값으로 계산된 것으로 보인다.

망간단괴가 저서동물이나 저층해류에 의해 이동한다는 것은 장기간(약 7개월)의 해저면사진관측에 의해서도 확인되지 않는다 (Paul et al., 1978; Thorndike, 1983; Gardner et al., 1984). 그러나 현재까지 망간단괴를 퇴적층에서 밀어내기, 굴리기, 전복시키기 또는 퇴적물 자체를 갈기 또는 쌓기 등 망간단괴를 움직일 수 있는 저서동물의 여러 활동이 제시되었다 (Menard, 1976; Heath, 1979; Glasby et al., 1982; von Stackelberg, 1984). 연구해역에서는 큰 저서동물들은 그 동물들이 이동하는 진로에 있는 망간단괴들을 밀어내어 망간단괴가 고랑에 놓이게 하거나 부분적으로 퇴적물로 덮히도록 할 수 있다 (Fig. I-19C). 제 4기 퇴적물로 채워진 수 많은 凹穴들을 보면 (Fig. I-6), 저서동물의 攝息활동중 枕積되는 퇴적물을 오래된 하부 퇴적층에 充填시킴으로써 망간단괴들은 구르지 않고도 은 새로이 형성되는 퇴적층 표면으로 상향이동할 수 있음을 지시한다 (Fig. I-19B and D). 비록 최상부 퇴적층이 準液狀의 상태이지만, 퇴적물의 接着力과 空隙壓의 상호작용으로 망간단괴를 그 표면에 유지할 수 있다 (Sorem et al., 1979; Piper and Fowler, 1980). 網狀이나 線形의 망간단괴 Bedform들도 역시 저서동물들이 매몰된 망간단괴들을 선택적으로 해저면으로 이동시킨 것으로 보인다 (Menard, 1976; von Stackelberg, 1984). 이러한 망간단괴들의 Bedform들은 유속이 아주 빠른 (>80 cm/s) 密度流기 지형장애물을 통과할 때 이루어지는 수가 있다 (Lonsdale, 1980). 그러나 이렇게 강한 저층해류나 이에 상응하는 海底面暴風(Benthic Storm)은 태평양 적도지역에서 발생하는 것 같지는 않다 (Hollister and McCave, 1984). 최상부 퇴적층내에 퇴적결층이 수없이 많은 것은, 망간단괴가 해저면 위로 이동하는 것은 저층해류가 아주 약한 시기동안

퇴적물이 수 cm정도 쌓이는 중 또는 후에 발생하는 것을 지시한다 (Fig. I-6).

3. 망간團塊의 分布와 低層海流

연구해역에서 망간단괴들은 얇은 제 4기 퇴적물로 덮혀 있는 제 3기 즉, 에오세-플라이오세 퇴적물에서 산출하고 (Fig. I-6, 7, and 14) 제 3기 퇴적층의 낮은 퇴적율(2 m/my)은 망간단괴가 殘存堆積物 (Lag or Residual Deposit)임을 나타낸다. 남부지역에서 올리고세/마이오세 퇴적물중에 많은 양의 망간단괴가 부존하는 것은 망간단괴의 (재)형성과 분포에 지대한 영향을 끼치는 퇴적결층에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 태평양 적도 북동해역에서의 DSDP 자료에 의하면, 세계 대양에서는 매몰된 망간단괴들이 마이오세이후의 퇴적물에서 많은 양(>70 %)이 발견되는 것(Cronan and Tooms, 1967; Margolis, 1973; Glasby, 1978)과는 달리 대부분 (>80%)이 올리고세이후의 퇴적물내에서 발견된다 (Menard, 1976). 이러한 사실은 태평양 적도북동 해역에서는 망간단괴의 (再)形成이 올리고세부터 시작되어 나중 즉, 마이오세중기이후에 활발하여 진 남극저층해류에 의해 더욱 활발하여졌음을 뜻한다. 이때부터 활발한 망간단괴의 (再)形成은 망간단괴내의 缺層들에 의해서도 증명된다 (Menard, 1976; Segl et al., 1989; Mangini et al., 1990). 연구해역에서 망간단괴의 형성과 부존에 저층해류의 중요한 역할은 망간단괴의 부존량과 최상부 퇴적층의 두께간에 逆相關關係로 나타난다 (Fig. I-16).

망간단괴들은 최상부 퇴적층이 불규칙한 해저면을 이루는 큰 규모의 Bedform에 연관하여 대개 Patch나 Pavement를 이루어 분포한다 (Fig. I-17C, D, and E). 이러한 분포특성은 간혹 密度流의 강한 흐름 (Lonsdale, 1980)이나 海底面 暴風(Skornyakova and Murdmaa, 1991)에 의한 것으로 해석하기도 한다. 그러나 연구지역에 분포하는 망간단괴의 Patch나 Pavement는 Line Islands군도에서 연장된 해저산등 지형의 영향으로 강화된 남극저층해류(Normark and Spiess, 1976)에 의해 형성된 것으로 보인다. 해저지형 및 저층해류의 영향에 의해 퇴적층의 두께는 큰 규모의 Bedform을

이루어 서쪽으로 갈 수록 증가한다 (Figs. I-3 and 5). 태평양에서 발견되는 큰 규모의 Bedform들은 용기된 해저지형으로부터 얼마간의 퇴적물이 공급되고 남극저층해류가 일정하게 강한 지역에서 발견된다 (Lonsdale and Smith, 1980; Orwig, 1981; Damuth et al., 1983). C-C 해역에서의 Bedform들은 북쪽을 향해 기울고 높이 솟아 (약 600 m) 絶壁을 이루는 Clipperton 균열대의 영향에 의해 서쪽으로부터 유입되는 남극저층해류가 동쪽으로 흐르게 되어 이루어 지는 것 같다 (Johnson, 1972a). 근래에는 퇴적물의 쓸림(Drifting)과 같은 再分布作用은 망간단괴의 분포에 중요한 역할을 하는 것으로 평가되기도 한다 (von Stackelberg and Beiersdorf, 1991). 연구지역에서 최상부 퇴적층에서 산출하는 방산층 화석에 의하면 (Figs. I-6 and 7), 이러한 퇴적물의 재분포작용은 마이오세중기에서 플라이토세까지 활발하였다 (Moore, 1970; Craig, 1979; Wolfart, 1988). 활발하여 진 저층해류의 영향으로 남극에서부터 연장되는 태평양에는 남극저층해류의 통로 밑의 침식된 해저면에 망간단괴들이 널리 분포한다 (Goodwell et al., 1971; Kennett and Watkins, 1975; Glasby, 1977). 큰 규모의 망간단괴분포이외에 조립질 퇴적물로 이루어진 Sandwave나 Dune에 연관하여 발달한 것(Mero, 1965; Pratt and McFarlin, 1966; Lonsdale, 1981)과 마찬가지로 소규모의 Patch나 띠모양의 분포 형태가 泥質 軟痕과 함께 발달한 경우도 저층해류의 영향을 나타낸다 (Figs. 2-18E and F).

망간단괴가 한 지역에 密集되는 것은 매몰된 망간단괴와 그외 조립질을 이용하여 망간단괴가 반복 (再)形成된 결과로 보인다 (Fig. I-11). 많은 양의 망간단괴가 올리고세-마이오세 퇴적물에 賦存하는 것은 반복되는 침식작용에 의해 해저면이 깎여 위와 같은 작용에 의해 망간단괴가 (재)형성되었기 때문이라고 생각할 수 있다. 이러한 망간단괴의 (재)형성 과정은 한 조사정점에서 여러 시대의 연대를 갖는 망간단괴들이 산출된다는 사실로 증명할 수 있다 (Menard, 1976). 망간단괴의 부존율은 퇴적층내에 분포하는 매몰된 단괴의 부존량(물론 이 부존량도 그 변화가 크다)에 따라 달라진다. 예를 들어, Line Islands 상부층과 Clipperton 층의 Cyclic Unit는 다른 지역에서는 높

은 부존율을 보이지만 (Menard, 1976), 연구지역에서는 망간단괴의 부존율이 낮다 (Fig. I-16A and B). 망간단괴내에 망간단괴의 破片인 核이 많고 (Fig. I-11), 밀집된 작은 망간단괴 위나 그 사이에 큰 단괴들이 분포하는 것으로 보아 (Fig. I-18A), 고기의 큰 망간단괴가 한자리에서 깨어지는 것 역시 해저면에서 망간단괴가 (재)형성되는 데 중요한 과정인 것으로 보인다. 이러한 사실들은 저층해류나 퇴적물의 沙汰에 의해 근처의 해저산이나 암반지역으로부터 망간단괴의 핵을 이루는 조립질 물질이 공급된다는 기존의 생각(Horn et al., 1973; Glasby et al., 1982; Heath, 1982; Rehm and Halbach, 1988)과는 크게 다르다. 퇴적결층 즉, 침식면에서 망간단괴가 (재)형성된다는 것은 망간단괴내의 침식면이나 핵물질을 둘러 싸고 있는 수성기원의 버어나다이트 광물층과 퇴적물 입자층에 의해 증명된다 (Fig. I-11C) (Burns and Burns, 1975; Sorem and Fewkes, 1979a). Be-10 방사성동위원소 측정에 의하면, 망간단괴의 (재)형성은 마이오세 중기이후부터 활발하여 졌다(Segl et al., 1989; Mangini et al., 1990). 침식된 해저능 정상부에서(Fig. I-17E)와 퇴적층으로 피복되어 있지 않는 해저산과 같은 용기지형에서같이(Pratt and McFarlin, 1966; Lonsdale, 1980; von Stackelberg et al., 1988) 오랫동안 非堆積作用이 지속되면 해저면에서는 망간團塊대신 망간殼이 형성된다. 이러한 사실들은 再堆積作用이 망간단괴가 Pacht나 Pavement를 이루어 分布하고 成長하는 데 가장 중요한 작용인 것을 뒷받침한다.

해저산지역에서는 해저능이나 해저평원에서와는 달리, 망간단괴의 부존율이 높거나 낮다 (Fig. I-10). 이 지역에서 발견되는 망간단괴들의 核은 점토 덩어리, 망간각, 기존의 망간단괴, 玄武岩片 등 여러가지 종류의 물질로 이루어져 있고 근접해 있는 핵들이나 망간단괴들이 接合成長하여 여러 개의 핵을 갖는다. 또한 일부 망간단괴들은 최하부 제 3기 퇴적층내에 매몰되어 발견되기도 한다 (Fig. I-9). 이러한 사실들은 이 지역에서의 국부적인 망간단괴의 밀집이 퇴적물 사태에 의한 것임을 나타낸다 (Moore and Heath, 1966; Halbach and Ozkara, 1979; Rehm and Puteanu, 1988). 매몰된 단괴들의 화학성분은 해저면에서 산출하는 S-형 단괴들과 비슷하여 이 망간단괴들이

매몰되기 전에 저층해류의 영향을 크게 받아 형성하였음을 지시한다. 해저산 지역에 Moat들이 산재하는 것을 보면 (Figs. I-5D and E), 이 지역의 망간 단괴들 역시 저층해류가 하부 퇴적물을 선택적으로 除去 運搬하여 밀집되는 것을 알 수 있다. 과거에는 해저산 주변의 망간단괴 Patch 들은 망간단괴들이 저층해류에 의해 해저산 사면을 따라 운반 집적된 결과로 해석을 하였다 (Cronan, 1977; Glasby, 1977; Rehm and Puteanus, 1988).

4. 망간團塊의 廣域 分布와 堆積層序

앞 부분에서 기술했듯이 망간단괴의 여러 특성들은 퇴적층서, 그리고 최상부 퇴적물의 퇴적상, 연대, 퇴적을, 성분에 따라 광역적인 변화를 보인다. 하부퇴적물은 태평양 해양지각판이 얽은 수심에 발달한 CCD (炭酸鹽 補償深度)로 인해 퇴적물의 용해와 침식이 더 활발한 북서쪽으로 이동한 결과로 북서쪽으로 가면서 점차 그 연대가 오래(플라이오세-에오세)된다 (Fig. I-7) (van Andel et al., 1976; Rawson and Ryan, 1978). 연구해역에서는 북위 10°30'N 이남에 분포하는 Clipperton 층의 최상부 방산층 연니 퇴적층 (올리고세-마이오세)에서 가장 많은 양의 망간단괴들이 산출한다 (Figs. I-4 and 16). 태평양 해양지각판의 이동경로를 역추적하여 보면 C-C 해역의 연구지역을 포함하는 서부지역에서의 방산층 연니층은 올리고세이후에 적도를 따라 표층해수의 고생산대가 형성되어 집적되기 시작하였다 (Burkry et al., 1973; van Andel et al., 1976). 또한 적도고생산대 북부주변 즉, Clipperton 龜裂帶의 북부에서 C-C 해역의 해저면이 600 m정도나 침강하여 깊은 CCD 밑에서도 방산층 연니의 퇴적이 촉진되었을 것이다. 이 방산층 연니의 분포를 따라 소위 태평양 적도북동 망간단괴 密集分布帶(Fig. I-1)가 발달하는 데 (Greenslate et al., 1979; McKelvey et al., 1979; Exon, 1983), 이 분포대는 마잉세 초에 1°S-9°N에 위치한 곳에서부터 망간단괴가 형성되기 시작하여 북서방향으로 이동하여 현재의 위치(8°-15°N)에 도달한 것으로 해석하고 있다 (Menard, 1976; von Stackelberg and Beiersdorf, 1991).

R-형 (속성기원) 망간단괴들은 방산층 연니층의 느린 퇴적속도 (<10

m/my, Tracey et al., 1971; van Andel et al., 1973; Piper et al., 1979b)에 의해 최상부 퇴적층의 두께가 20-40 m인 지역에서 다량으로 산출한다 (Fig. I-16). 이들 단괴내에서의 토도로카이트/버어나다이트 그리고 Mn/Fe비는 남쪽으로 갈 수록 증가하여, 적도고생산대 주변으로 갈 수록 속성작용에 의한 망간단괴의 형성이 활발하여 짐을 보여준다. 방산층 연니 퇴적층에서 산출하는 망간단괴내에는 생물기원 물질들이 해수중에서나 해저면에서 활발히 용해되어 망간단괴를 이루는 금속원소를 다량으로 방출하기때문에 Ni, Cu등을 많은 양으로 함유하고 있다 (Greenslate et al., 1973; 1979). 현재, 적도고생산대의 북부 주변의 해저면에는 표층해수중에서 생산된 양의 아주 적은 양(<2%)만이 침적된다 (Romankevich, 1984; Emerson et al., 1985). 이러한 상태는 올리고세이후 CCD가 소폭의 변동을 하였지만 거의 일정한 수심에 위치하였기 때문에 현재까지도 계속 유지되었다 (Berger, 1970; Berger and Winterer, 1974). 연구해역에서 탄산질 연니가 지역적으로 분포하는 것은 연구해역의 바로 남쪽에 위치한 DOMES(미국의 심해저 개발 및 환경연구)지역에서(Piper, 1988)와 같이 CCD가 약 5000 m의 깊은 수심에 위치하여 표층해수로부터 많은 양의 생물기원 퇴적물이 유입되고 있는 것을 나타낸다. 이 경우에는 활발한 저층해류에 의해 생물생산성의 영향을 감소케 하고 퇴적층에 묻힌 망간단괴들을 해저면에 노출시켜 망간단괴의 성장을 촉진한다.

연구해역의 북부지역 즉, Line Islands 층의 두꺼운 상부층(에오세 중기-올리고세 말)이 분포하는 곳에서는 해저면에 수 많은 퇴적결층이 누중되어 있지만 망간단괴들의 부존이 빈약하고 그 크기도 작다 (Fig. I-14). 이곳에서의 퇴적물에 포함되어 있는 제 4기 방산층 화석들의 양이 적은 것으로 보아 이러한 특성은 망간단괴가 성장하는 동안 적도고생산대로부터 멀리 떨어져 있어서 표층해수의 생물생산의 영향을 적게 받았기 때문으로 보인다. 북동 태평양에 분포하는에오세 및 올리고세중의 퇴적중심축이 각각 20°, 5°N에 위치하는 것으로 보아 적도 생물고생산대의 망간단괴 형성에 대한 영향은 올리고세 이전에는 극히 미약하였다고 볼 수 있다 (Burkry et al., 1973; Keller and Barron, 1983; van Andel, 1983; Hay, 1988). C-C 해역의 북서부에 망간

단괴가 소량으로 분포하는 것은 에오세 이전에 수심이 얇은 고기 동태평양 해령에서 높은 퇴적율로 하부 Line Islands 층이 퇴적되었거나 플라이오세중에 하와이 기원의 화산재층이 형성되었기 때문으로 해석한다 (von Stackelberg et al., 1987; von Stackelberg and Beiersdorf, 1991). 연구해역의 북부에서는 하와이 화산재로 이루어진 Turbidites가 광범위하게 분포하지만, 연구지역내 최상부 퇴적층에서는 발견되지 않는다. 반면에 연구해역의 남동부에서 망간단괴들의 부존율이 낮은 것은 하부퇴적물의 연대가 플라이오세로 짧고, 망간단괴들이 상어이빨, 점토덩어리등을 얇게 피복한 산출상태로 보아 망간단괴가 성장의 초기단계에 있기 때문이다. 또한 이 곳에서는 주로 탄산질 연니로 구성된 Clipperton층의 Cyclic 및 Varicolored Units, 그리고 Marquesas 층이 두껍게 분포한다 (Figs, I-3, 4, and 16B). 태평양 적도해역에서는 퇴적율이 높아 망간단괴의 형성이 부적당하여 극히 적은 양으로 부존한다 (Frazer and Fisk, 1981; Friedrich et al., 1983; Andrews et al., 1984). 퇴적층의 위와 같은 특성의 차이는 위도에 따라 크기, 성분, 부존율, 분포 등 망간단괴의 여러 특성의 변화를 일으킨다.

第 6 節 結 論

韓國深海研究地域에서 망간단괴는 그 表面組織特性에 따라 3 가지 類型으로 분류할 수 있다. 거친 표면을 갖는 R 형 망간단괴들은 대부분이 핵이 하나이고 연구해역의 남부에 다량으로 산출한다. 이 망간단괴들은 최상부 제 4 기 퇴적층에 부분적으로 혹은 완전히 매몰되어 산출한다. 이와는 달리, S 형 망간단괴들은 매끈한 표면조직을 보이고 핵이 여러 개이며 여러 가지 불규칙한 모양을 갖는다. 이들 S 형 망간단괴들은 海底山이나 海底稜에서 심하게 생교란된 퇴적물 표면에 노출되어 산출한다. 이 두 유형의 중간적 특성을 보이는 T-형은 R-형 또는 S-형중 어느 한 유형과 함께 산출한다. R-형 망간

단괴들은 망간 (평균, 22.5%), 구리 (0.97%), 니켈 (1.17%), 아연 (0.19%)의 함량이 높은 반면에 S-형 망간단괴중에는 Fe (평균, 11.4%)과 Co (0.31%)의 함량이 높다. 성장속도와 Mn/Fe비간 밀접한 관계(Huh and Ku, 1984)를 이용하여 R-형 망간단괴들은 S-형 망간단괴보다 3 배 이상 빠른 속도로 성장한 것으로 계산된다. T-형의 성분 및 그외의 특성들은 이 두 유형의 중간이다. 대부분 망간단괴들의 성분과 그외 특성들은 상하부에서 뚜렷한 차이를 보인다. 위와 같은 특성들은 저층해류와 저서동물들에 의한 再堆積作用에 의해 조절되는 망간단괴 성장에 대한 하부퇴적물의 상대적인 영향을 반영한다. 그 상대적 영향은 망간단괴의 매몰정도에 따라, S, T, R-형의 순으로 증가한다.

연구지역에서 망간단괴들은 북서쪽으로 점차 그 연대가 증가하는 플라이오세-에오세의 방산층 함유 점토질 퇴적물에서 산출하는 데, 큰 규모의 Bedform들이 발달한 곳에서는 부존율의 변화가 심한 Patch나 Pavement를 이루어 분포한다. 망간단괴들은 Sediment Wave를 이루는 해저능 지역 대부분 지역에서 5 kg/m^2 이상으로 부존율이 높다. 해저산지역에서는 망간단괴들이 많거나 적은 데, 간혹 망간각과 함께 산출하기도 한다. 이 지역에는 제 3기 퇴적층에서도 망간단괴들이 매몰되어 있기도 한다. 망간단괴들은 퇴적물이 심하게 생교란된 해저면에 더 많은 양으로 분포하며, 3.5 kHz 탄성과 기록에서 분석한 결과에 의하면, 그 양은 최상부의 음파 투명층의 두께와 반비례한다. S 및 T-형 망간단괴들은 주로 퇴적층이 침식거나 얇은 지역 또는 Sediment Wave의 정상부를 이루는 두꺼운 지역에서 다량으로 발견되지만, R-형 망간단괴들은 20-40 m의 퇴적층에서 주로 발견된다. 퇴적층서와의 관계를 보면, 망간단괴는 연구지역 남부에 분포하는 Clipperton 층의 상부 방산층 연니 Unit에서 다량으로 산출하는 대신, 북부지역에 분포하는 Line Islands 상부층에서는 드물다. 퇴적층의 연대가 짧고 퇴적율이 높은 플라이오세 퇴적층이 분포하는 남동부에서는 망간단괴들은 성장 초기단계에 있다.

이상의 결과로 보아 연구지역에서의 망간단괴의 형성과 분포에는 저층해류의 영향이 지대한 것으로 보인다. Line Islands군도로부터 연장된 해저지형에

의해 강하게 된 저층해류의 작용은 망간단괴들이 Patch나 Pavement를 이루어 분포하게 하였을 것이고, 해저면에서 망간단괴 자신이 파쇄됨으로써도 망간단괴들의 형성을 촉진하여 밀집된 분포를 이루게 할 수 있다. 이러한 작용에 의한 망간단괴의 형성과 분포는 그 부존량이 최상부퇴적층의 두께와 반비례하는 관계를 나타낸다. 해저산 지역에서는 퇴적물 사태에 의해서도 망간단괴들이 국부적으로 밀집시킬 수 있다. 재퇴적작용은 망간산화물이 망간단괴에 반복하여 침착하도록 하여 망간단괴의 성장을 촉진하여 밀집한 망간단괴 Patch나 Pavement를 이루도록 기여한다. 저층해류의 작용이 미약한 시기에는 저서동물들의 활동이 활발하여 저 망간단괴들이 집적되는 퇴적물에 묻히지 않고 해저면에 분포하도록 한다.

퇴적층서와 그 하부 퇴적물의 여로 특성과의 밀접한 관계로 보아, 연구지역에서 망간단괴의 형성과 분포는 저층해류와 표층해수의 생물생산성의 상호영향에 의해 조절됨을 알 수 있다. 이들 영향은 태평양 지각이 북서 방향으로 이동함에 따라 점차 변하였고, 그동안 망간단괴의 형성은 방산층연니의 퇴적과 밀접한 관계가 있다. 퇴적물중의 방산층 화석을 분석하여 보면 망간단괴의 형성은 태평양 지각이 적도 고생산대의 북부 주변부 밑을 통과하는 올리고세 때부터 활발히 시작되었음을 지시한다. 망간단괴는 퇴적물의 재퇴적작용에 의해 성장하기때문에 상하부에서 성분과 그외 특성에서 큰 차이 날 뿐만 아니라 동심원상의 내부구조를 보인다. 망간단괴는 저층해류와 저서동물의 활동이 활발한 해저능이나 해저산 지역에서도 구르거나 전복되지 않는 것으로 보인다. 위와 같은 형성작용으로, 망간단괴의 여러 특성들(크기, 부존율, 성분, 분포)은 표층해수의 생물생산성의 영향과 망간단괴 형성시작 시기에 의해 위도에 따른 변화를 보인다.

第 7 節 망간團塊 探查에 대한 提言

망간단괴가 세계 대양중 가장 많은 양으로 부존하는 태평양 C-C 해역의

서부 한국심해연구지역을 선정하여 그 탐사자료를 면밀히 재검토한 결과, 향후 망간단괴탐사시 계획 및 탐사기법 개발에 대해 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

1) 探査計劃

- 망간단괴의 성장기간(보통 1000-1500 만년)을 고려하여 해저면에 분포하는 퇴적물의 연대가 적어도 마이오세이전이며 표층해수층의 생물생산성이 높은 대양분지.
- 망간단괴 성장기간 동안 저층해류가 활발하게 작용하였던 지역.
- 개발대상이 되는 금속원소에 따라서, 즉, 니켈과 구리가 개발의 주 대상일 때에는 해저평원, 코발트가 대상일 때에는 해저능이나 해저산 주변, 그리고 위 세가지 금속원소가 대상일 때에는 망간단괴가 많은 양으로 분포하는 해저능 지역.
- 위와 같은 조건을 충족할 수 있는 지역으로는 태평양 C-C 지역이오 인도양, 호주 남서부 타스만 분지, 남극대륙 주변등을 추천할 수 있다.

2) 探査技法

- 망간단괴는 주로 해저면에 분포하는 2 차원 평면분포 광상을 이루는 Patch나 Pavement를 파악하기 위해서는 심해저 카메라시스템을 운용하여 연속적인 화상을 취득하여 함.
- 현재 운용중인 지구물리탐사기법을 기초로 하여 주로 3.5 kHz 탄성파 탐사, 해저면 근접 예인 측면주사(Side Scan) 탐사, SeaBeam을 이용한 광역범위(조사측선을 따라 약 12 km 너비)의 지형탐사를 실시하여 함.
- 퇴적물과 망간단괴의 음향학적인 특성을 파악하여 지구물리 탐사장비로부터 획득한 음향특성과 비교하여 정점탐사를 제외한 측선탐사만으로 망간단괴의 분포상황과 부존량을 산정할 수 있는 시스템을 개발하여야 함. 이를 위해서는 사전에 망간단괴 부존량산정을 위한 화상분석기법과 광역적인 매장량 등의 산정기법이 확정되어 함.

第 2 章

寫眞 映像分析에 의한 망간團塊 賦存率 算出

第 1 節 序 論

深海底面に 露出되거나 퇴적물에 被服되어 부존하는 망간단괴의 분포상황, 賦存量, 그리고 含有金屬의 埋藏量을 평가하기 위해서는 自由落下式 시료채취기(Free-Fall Grab)를 사용하여 직접 채취한 試料의 資料를 이용한다(Hennigar et al., 1986). 즉, 이 장비가 해저면에서 채취한 망간團塊 시료의 무게를 채취기의 채취 單位面積當 重量으로 환산하여 “賦存率”을 구하고 이 값을 기초로 하여 地球統計學的 方法을 통하여 망간단괴의 分布圖 작성 및 資源潛在量을 평가 분석한다. 그러나, 이 경우 그 시료채취기 면적과 망간단괴의 해저면 부존상태 및 크기와의 채취량간의 상관관계, 시료 채취기에 작용하는 低層海流의 流速, 그리고 채취지점의 地形 등에 따라 부존률 추정에 誤差가 있을 수 있다(Hennigar et al., 1986).

망간단괴는 육상 鑛物鑛床과는 달리 심해저면에 2次元으로 분포하기 때문에 해저면에서 획득한 畫像을 처리하여 단괴의 부존률을 계산하는 방법이 사용된다. 이 방법은 심해용 사진撮影 시스템(Deep-Tow Camera System)을 해저면에 근접하게 曳引하여 획득한 해저면狀況사진을 畫像處理 시스템(Image Analyzing System)을 이용하여 망간단괴의 占有率(Coverage, 단위 면적당 망간단괴가 피복하고 있는 면적의 비율)을 산출하고, 이 값으로부터 부존률을 계산한다. 이과정중에서는 回歸分析에 의한 망간단괴의 부존률과 점유율사이 相關관계식 도출이 필수적이다. 지금까지 보고된 回歸相關計數는 5에서 9까지 다양하여 망간단괴의 부존률 계산에 큰 영향을 미친다. 망간단괴의 부존상태는 탐사지역의 환경과 그 유형에 따라 달라지기 때문에 사진에서 구한 점유율로부터 정확한 부존률을 계산하기 위해서는, 상자형 퇴적물 채취기(Box Corer)로부터 퇴적층에 놓인 망간단괴의 부존상태를 분석하여 망간단괴의 점유율과 埋沒率간의 상관관계를 고려해야 한다.

해저면 화상자료를 이용하는 방법은 실제 분석에 필요한 시료를 획득할 수 없다는 단점이 있으나 자유낙하식 시료채취기 사용시 유발되는 부존률 계산의 오차를 최소화할 수 있고, 보다 넓은 면적을 연속 連續調査한다는 점, 그리고

시료채취지점의 환경변화를 극소화 할 수 있다는 점 등의 장점이 있다.

第 2 節 深海低面 撮影 技法

망간단괴 부존률 계산의 基礎資料가 되는 해저면 사진은 심해용 撮影 시스템(Deep-Tow Camera System)에 의해 얻어진다. 이 장비는 아연으로 도금된 철재 파이프 프레임에 정지 및 비디오 카메라를 부착하여 해저면의 상태를 자체에 내장된 전원으로 5시간동안 撮影 記錄할 수 있다. 이 시스템은 대형 크레인 또는 A-frame에 연결된 직경 17.20 mm의 Tow Cable로 해저면과의 거리 5-10 m를 유지하면서 2-3 knot의 느린 속도로 예인되며 원격조정에 의해 원하는 시간간격으로 촬영, 녹화하여 Fig. I-20A와 같은 사진영상을 획득할 수 있다. 그 구성은 다음과 같다.

○ 操縱장치(Control Consol)

비디오 녹화기가 접속되어 있으며, 조사선 내에 장착하여 모니터로 해저면을 관찰하면서 시스템을 조종하는 역할을 한다.

○ 윈치(Winch) 및 케이블(Tow Cable)

예인되는 시스템의 속도와 방향은 윈치자체의 조종장치로 조정할 수도 있고, 선내에서 모니터상에서 Joystic으로 遠隔操縱할 수도 있다. 同軸케이블은 해저의 카메라 시스템에 전원을 공급하여 해저면에서 얻어지는 화상을 선내의 모니터로 전달하는 역할을 한다.

○ 프레임

해저면으로 내려가는 모든 해저장비(Subsea component)를 장착하는 프레임은 아연 도금되어 있어 부식이 방지된다. 프레임은 장착된 모든 장비들이 유체의 흐름에 대해 안전하도록 수리역학적으로 고안되어 있다.

○ 영상 및 전원 변환기(Mux Subsystem)

MUX 시스템은 심해용 촬영시스템의 전기계통의 가장 중요한 부분으로

촬영 시스템에 전원을 공급하며 영상신호를 조절한다. 뿐만 아니라 비디오 영상과 카메라 시스템의 고도 및 운동행태(pitch, roll, heading) 자료를 조사선내의 모니터로 전환 공급하는 역할을 한다.

○비디오 시스템

비디오 카메라는 光源이 없는 심해조건하에서도 촬영이 가능하도록 특별히 고안된 高感度 카메라로 적정 초점거리는 5-10 m이나 10 m이상일 때에도 촬영이 가능하다. 렌즈는 자동조리계(Auto-Iris Lens)로 심해의 고압과 암흑의 조건하에서 후래쉬의 광량에 따라 자동 조절되며 원격조정에 의한 조작 효과를 최소화한다.

○촬영 (정지 및 비디오) 시스템

해저면 사진은 프로그램 예약 방식에 의해 일정 간격으로 촬영하거나 모니터 상에서 해저면을 관찰하면서 원하는 위치에서 임의로 촬영할 수도 있다. 그리고 촬영 시스템 내부에는 고도계가 부착되어 있어 프레임과 해저면 사이의 거리에 대한 정보를 제공하여 사진상의 실물 크기 환산을 가능하게 한다.

第 3 節 망간團塊 占有率 測定

심해용 촬영 시스템으로부터 얻은 사진자료(Fig. I-20)로부터 망간단괴의 점유율을 측정하거나 상자형 퇴적물 채취기로부터 얻은 퇴적물 내부 혹은 표면에 부존하는 단괴의 부존률을 구하기 위해서는 화상분석 시스템(Image Analyzing System)이 사용된다(Fig. I-21).

적도 북동 태평양 C-C 지역 심해저에 분포하는 퇴적물의 경우 일반적으로 진한 갈색을 띠는 반면(정희수 등, 1990) 망간단괴는 검은색을 띠어 흑백 영상 속에서 뚜렷한 明暗差異를 보인다. 이 명암차를 이용 일정 면적에서의 망간단괴들이 점유하는 면적비를 계산하여 점유율을 구한다(Fig. I-22) .

$$C(\%) = \frac{A_n}{A_s} \times 100 \text{ ----- (1)}$$

C는 점유율(%), A_n 은 망간단괴의 표면적, A_s 는 시료채취 면적이다.

또한, 상자형 퇴적물 채취기의 표면사진으로부터 퇴적물표면에 분포하는 망간단괴의 占有率을 구하고, 회수한 모든 망간단괴를 格子板위에 배열하여 촬영한 사진으로부터 占有率(이하 총점유율이라 함)을 測定하여 둘 사이의 관계로부터 埋沒率을 구한다(Sharma and Kodagali, 1990).

$$B = \left(1 - \frac{C_b}{C_g} \right) \times 100 \text{ ----- (2)}$$

B는 매몰률(%), C_b 는 표면사진에서 구한 점유율(%), C_g 는 격자판 위에 배열된 전체 망간단괴의 총점유율(%)이다.

점유율을 측정하기 위해서는 화상분석시스템을 사용하는 데 이것은 원격탐사의 원리를 적용한 것으로 주어진 화상을 Video 화면상에 옮겨 原畫像을 화면상의 각 畫素單位(Pixel)로 분리하고, 이를 이용하여 화상 내부에서의 거리, 면적 등 필요한 물리량을 측정한다.

가) 하드웨어

화상처리장치(KIT-500 Image Analyzing System)으로, 그 구성은 분석대상화상을 입력, 디지털 신호로 변환하는 CCD 카메라, 디지털 신호 화상을 흑백화상으로 변환하여 처리하는 KIT-500 화상처리장치, 변환된 화상을 보여주는 RGB 모니터, 그리고 전체 시스템과 소프트웨어를 관리, 운영하기 위한 IBM PS/2 개인용 컴퓨터 및 주변기기 등으로 되어 있다.

나) 소프트웨어

망간단괴의 점유율 계산을 위해 사용되는 소프트웨어는 PIAS-II 프로그램이다. 이 프로그램의 기능은 크게 획득된 칼라화상을 명암 차이에 따라 흑백화상으로 변환(binartzation), 흑백화상의 명암대비를 선명하게 하기 위한 전

처리, 그리고 처리된 흑백 화상으로부터 원하는 물리량을 획득하는 통계계산하는 세가지 기능이 있다 (Table I-2).

화상분석시스템에서 이루어지는 모든 계산은 영상 내부에서 하나의 화소가 가지는 이치화된 값(Binarized Value)을 근거로 이루어진다 (Fig. I-21). 즉, 대상 화상을 컴퓨터가 인식할 수 있는 값으로 변환하기 위해서는 원화상에서 특정 명암을 기준으로 하여 각 화소를 흑색 및 백색으로 구분하여야 한다. PIAS-II 프로그램에서는 특정 화소가 지니는 명암을 256가지 Gray Level로 분리하고 이들중 특정값을 기준으로 그 값보다 어두운 화소에는 흑색을 밝은 색의 화소에는 백색을 할당하여 이치화(Binarization)를 행한다.

이와 같이 이치화된 화상으로부터 측정된 값의 정확도는 망간단괴와 퇴적물의 명암대비에 상당한 영향을 받게 된다. 심해용 촬영시스템은 해저면으로부터 약 5-10 m 이격된 거리에서 촬영이 이루어질 뿐만 아니라 노출된 단괴라 할지라도 일부분이 퇴적물에 피복되어 나타나는 경우가 많기 때문에 (Sorem et al., 1979), 이런 요인들에 의해 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위한 전처리가 필요하다. 이 처리는 특정 크기 이하의 흑색부분을 제거하는 Noise Erasing, 단괴가 퇴적물에 의해 일부분 덮여 있는 경우 그 영향을 제거하는 Hole Filling등을 수행한다.

마지막으로 이치화 및 전처리가 끝난 화상에 대해서 원하는 측정을 행하게 되는데 PIAS-II 프로그램에서는 피사체의 크기, 면적, 무게중심, 면적비 등 51가지의 물리량을 한번에 측정할 수 있다(Table I-2).

第 4 節 망간團塊 賦存率 計算

1. 平均長軸을 이용하는 방법

채취 단위면적당 중량으로 표현되는 망간단괴의 부존률과 망간단괴의 점유 단면적으로 표현되는 점유율사이에는 $A = f(C^{3/2})$ (A는 부존률, C는 점유율)의 관계가 존재할 것으로 예측할 수 있다. Handa와 Tsurusaki(1981)는 자유

낙하식 시료채취기에 장착된 단발사진기가 시료채취 직전에 촬영한 해저면 사진에서 망간단괴 점유율과 평균장축을 측정, 부존률과의 상관관계(Fig. I-23)를 회귀분석하여 다음과 같은 부존률 산출식을 유도하였다.

$$A = 7.7 \frac{\bar{D} \times C}{100} \quad (r = 0.89) \quad \text{-----} \quad (3)$$

여기에서 \bar{D} 는 평균장축, C 는 점유율, A 는 부존률이다.

먼저 망간단괴를 粒度群으로 분류하고, 다음식을 이용 평균장축을 구한다 (Anonymous, 1979).

$$\bar{D} = \frac{\sum \left(\frac{d_{i1} + d_{i2}}{2} \right) \sigma_i}{\sum \sigma_i} \quad \text{-----} \quad (4)$$

여기에서, D 는 망간단괴의 평균장축(cm), d_{i1} 과 d_{i2} 는 입도군의 경계값(cm), σ_i 는 입도군의 백분률이다.

식 (3)의 回歸計數 7.7은 망간단괴의 類型의 산상(R 또는 S 형)과 埋沒率 등에 의해 결정되는 값으로 조사지역의 특성에 따라 고유한 값을 가지게 된다 (Handa and Tsurusaki, 1981). 실제로 KODOS-90-2지역에서의 회귀분석 결과는 상자형 시료채취기로부터 얻은 총점유율로 계산한 회귀계수는 5.4(r , 0.98), 표면사진의 점유율로부터 계산한 값은 7.1(r , 0.96)로서, 이 두 회귀식 으로부터 계산한 망간단괴 부존률의 誤差는 약 31%이었다(한국해양연구소, 1991).

2. 面積-體積 換算法

$A = f(C^{3/2})$ 의 관계를 기초로 면적비로 표현되는 점유율과 체적대 면적 비로 표현되는 부존률 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다고

$$A = aC^{1.5} + b \quad \text{여기에서, } a, b \text{는 회귀계수} \quad \text{-----} \quad (5)$$

가정하고, 점유율과 부존률사이의 관계(Fig. I-24)를 회귀분석하여 회귀계수 a와 b을 구하여 이 관계식으로부터 부존률을 계산한다.

3. 埋沒率 補正

일반적으로 S형의 망간단괴는 해저면에 노출되어 있는 반면, R형의 경우는 퇴적물에 피복되어 있거나 묻혀 있는 경우가 많다(Sorem et al., 1979; Usui, 1983; Tonoyuk et al., 1977). KODOS-90(B) 지역에서 산출되는 망간단괴의 매몰률은 S형의 경우 34%인데 반해 R형의 경우는 47%로 높게 나타났다(한국해양연구소, 1991).

따라서, 망간단괴 채취 지역을 주로 S형이 주로 산출하는 지역, R형이 주로 산출하는 지역, R-S형이 혼합되어 산출하는 지역으로 대별한 뒤 상자형 시료채취기의 시료사진으로부터 각 지역에서의 망간단괴의 매몰률 B를 측정한다.

또한, 식 (2)로부터

$$C_g = \frac{100 \times C_b}{100 - B} \quad \text{----- (6)}$$

를 얻을 수 있는데, 해저면 사진을 영상분석하여 측정한 점유율(C_b)을 위 식 (6)에대입하여 총점유율(C_g)을 구한 후, 회귀분석으로 유도된 산출식(5)으로부터 부존률을 구한다.

第 5 節 KODOS-92 地域에서의 適用

태평양 C-C 지역 남동부에 위치한 KODOS 92 일부 지역에서 획득한 상자형 시료채취기의 사진자료의 처리 결과는 Table 1-3과 4에 요약되어 있다.

1. 회귀계수 추정

가) Handa-Tsurusaki 방법

Table 1-6에 의하면 이 지역에서 산출되는 단괴는 R-형이 지배적이며 평균 매몰률은 53.36 %로 KODOS90(B) 지역에서 얻은 R-형 단괴에 비해(약 47 %) 약간 높은 값을 보인다(한국해양연구소, 1991). 또한, 평균장축, 점유율, 부존률을 이용하여 식 (3)에 따라 회귀분석한 결과, 상자형시료채취기 표면사진의 점유율(C_b)을 이용한 경우 회귀계수는 12.20($r, 0.76$), 총점유율(C_g)을 이용한 경우는 7.60($r, 0.97$)로 나타났다. 상관계수(r)를 비교해 볼 때 점유율과 부존률사이의 환산에는 총점유율(C_g)을 이용하는 것이 타당하다는 사실을 보여주고 있다(Fig. I-23B).

나) 面積-體積 換算法

상자형 시료채취기로 채취된 퇴적물의 사진으로부터 구한 점유율 및 총점유율을 이용하여, 식 (5)에 따라 회귀분석한 결과, 회귀계수 a 와 b 는 점유율(C_b)을 이용한 경우 각각 1.2755, 0.1497 ($r, 0.70$), 총점유율(C_g)을 이용한 경우는 각각 0.0628, -0.0506 ($r, 0.97$) 이다.

2. 占有率-賦存率 換算

KODOS-92 지역에서 자유낙하식 시료채취기용 단발사진기로 촬영한 일부 사진영상자료로부터 총점유율을 구하여 Handa-Tsurusaki 방법 및 면적-체적 환산법에 의한 회귀식에 적용하여 계산한 부존률을 FFG로 직접 획득한 단괴의 부존률과 Table I-4에 비교하였다. 이 결과에 의하면 KODOS 92-1, #72 지역을 제외하면 Handa-Tsurusaki 방법에 비해 면적-체적 환산법으로 계산된 부존률이 단발사진기가 부착된 자유낙하식 시료채취기로부터 획득한 부존률에 더 근접하는 것을 볼 수 있다 (Fig. I-24). KODOS 92-1, #72 지역의 경우 Fig. I-20B에서 보여진 것과 같이 저층수의 흐름에 의해 시료채취기가 한 방향으로 상당히 편향되었으며, 그 결과, 사진에서 추정된 부존률보다 실제 부존률이 높은 지역에서 단괴를 채취하였음을 알 수 있다.

3. 問題點

단발사진기로 촬영한 해저면 사진을 분석하여 구한 점유율을 앞에서 기술한 방법에 의해 부존률로 환산하는 경우, 그 추정량에 상당한 오차가 발생함을 확인할 수 있다. 이 오차를 유발하는 가장 큰 요인은 단발사진기에 의해 촬영된 면적이 심해용 촬영시스템으로 촬영한 면적보다 좁고 (Fig. I-20), 또한 시료채취기의 채취면적이 화상분석의 대상이 되는 면적을 대표할 수 없다는 사실로 추정된다. 즉, Fig. I-20B에서처럼 단발사진기로 획득한 사진자료의 경우 동일 사진에서도 위치에 따라 부존률에 상당한 차이를 보일 수 있으며, 심해저층수의 유속에 따라 시료채취기의 실제 채취지역이 촬영 지역과 일치하지 않는 등의 문제점을 발견할 수 있다. 이것은 심해용 촬영시스템으로부터 획득한 광범위한 영역의 사진자료를 이용할 경우 보완될 수 있을 것으로 보인다.

또 다른 오차유발 요인으로 추정해 볼 수 있는 것은 매몰물 평가의 기준이 되는 상자형 퇴적물 채취기가 가지는 문제점을 들 수 있다. 즉, 상자형 퇴적물 채취기를 사용하여 퇴적물 및 망간단괴를 채취하는 경우 퇴적물 표층이 쉽게 교란되어 망간단괴의 매몰률 추정에 직접적인 영향을 미치게 된다. Table I-3의 결과에서처럼 일부지역 망간단괴 매몰률이 상대적으로 높게 평가된 것도 이 요인에 기인한 것으로 보인다.

第 6 節 結 論

심해저에 부존하는 망간團塊의 埋藏量을 평가하는 데 있어서 주류를 이루는 중요한 두가지 방법으로는 미국 및 프랑스를 중심으로 한 自由落下式 試料採取器를 이용하는 법과 구소련을 중심으로 한 심해저면 사진자료 이용법을 들 수 있다. 이 두가지 서로 다른 방법을 사용하여 추정된 매장량의 경우 상당한 차이를 보이고 있으며, 최근 일부 국가에서는 이러한 문제점을 극복하기

위한 방법으로 다중빔 정밀음향측심기(Sea Beam), Side Scan Sonar 등의 음향資料로부터 망간단괴 부존을 직접 확인하는 방법이 연구되고 있다. 해저면 사진자료를 이용하여 산출한 부존률과 자유낙하식 시료채취기를 이용하여 직접 획득한 부존률과의 관계를 평가해 보는 것은 상당한 의의가 있는 것으로 판단된다. 획득된 사진자료, 자유낙하식 시료 채취기, 상자형 퇴적물 채취기 등에서 발생하는 문제 및 방법론상의 문제 등에 의해 발생하는 상당한 오차를 극복해야 하지만, 탐사기술의 발전과 탐사장비의 개선을 통해 이 문제를 해결할 수 있게 되는 경우, 심해저면 사진과 화상처리 시스템을 이용한 방법은 망간단괴의 광량평가 방법에 있어서 중요한 역할을 수행할 수 있을 것이다.

第 3 章

鑛量評價方法 및 比較

第 1 節 序 論

鑛量의 계산과 그 鑛床의 經濟性 평가는 계속적인 탐사의 구성과 탐사후의 작업을 결정하는 중요한 작업의 일부로 서로 보완적인 관계를 가진다. 즉, 계산된 광량은 경제성 평가의 주요 기본자료를 제공하며, 경제성 평가는 개발기술 및 경제적인 측면에서 광상의 개발한계를 설정한다.

광상의 探查와 開發이 진행되는 동안에 鑛量計算은 다음과 같은 목적으로 수행된다. 1) 각 단계의 탐사가 끝난 후 계산된 매장량은 향후 정밀탐사의 有用性, 費用등 광상의 潛在力 평가에 기본자료를 제공한다. 2) 정밀탐사후 계산된 광량은 광산회사의 설립여부, 資本投資여부를 결정하는 기초자료를 제공한다. 3) 각 개발단계에서의 광상의 광량계산은 매장량 및 경제성의 재평가와 採鑛作業의 조정에 사용된다. 4) 일반적인 광량계산은 광상의 중장기 개발계획을 수립하는데 자료로 필요하다. 5) 개발이 종료되기 전 포기할 광량계산은 채광작업 종료의 妥當性과 남아있는 매장량의 상황을 제공한다 (Kuzvart와 Bohmer, 1986).

광량평가는 광상의 種類, 形態 및 規模에 따라 여러 산출방법이 적용되며 동일한 광상을 평가할 때에도 적용한 방법과 평가자에 따라서도 산출결과가 동일하지 않는 것이 보통이다. 평가는 계산하고자 하는 블록(block of ores)을 주위의 시료채취점으로 부터 加重值를 부여해 광량을 推定하는 것이 일반적인 데, 이 때에 추정값과 참값과의 사이의 誤差範圍가 최소인 방법이 최적 광량평가법이라 할 수 있다 (Annels, 1991: Kuzvart and Bohmer, 1986).

鑛量推定에 가장 일반적으로 적용되는 방법으로는 IDW (inverse distance weighting)법과 Kriging법이 있다. 이 방법들은 각 採鑛블록의 광량을 추정하기 위해 시료값에 가중치의 평균을 사용하는데, 그 가중치는 광상과 광상내의 블록, 시료들의 형태, 규모, 그리고 변화 등 여러가지 요인들에 따라 달라진다 (Brooker, 1980). IDW법의 경우에는 광상의 국부적인 변화 정도를 고려할수 없고 추정의 신뢰도를 측정할 수 없지만, 地球統計學的 추정방법인 Kriging법은 semivariogram 혹은 variogram으로 표현되는 광상의

空間 變化度를 이용하며 추정시 발생하는 오차를 측정할수 있다. 이 때에 오차는 오차분포의 分散(variance of error distribution)으로 나타내며, 각 블록과 자료들에 推定 分散(estimation variance)을 최소화하는 加重計數를 파악할 수 있다(Brooker, 1980, Clark, 1979b, Davis, 1986, David, 1977).

第 2 節 Kriging 方法과 其他 方法과의 比較

광량을 지구통계학적으로 추정하는 과정은 크게 두 부분으로 구성된다. 첫째는 추정할 鑛體의 物理的, 統計學的 構造를 조사하고 모델화하는 것이다. 광상의 連續性과 구조의 파악은 semivariogram을 作圖함으로서 이루어진다. 두번째 과정은 첫번째 과정의 semivariogram을 이용하여 광량을 추정하는 Kriging법을 적용하는 것이다(Clark, 1979a).

광체의 구조를 조사하고 모델화하는 작업중 가장 중요한 것은 地質圖 分析을 통한 자료의 地質學的解釋과 資料를 均一한 지질학적 구조를 갖는 소그룹으로 나누는 일이다. 자료를 소그룹으로 分割하지 않으면 추정의 질을 저하시키는 외톨이값(outlier)를 만들 수 있다. 일반적인 기초 통계량조사는 소그룹내 자료들의 통계적 균질성을 확인하는 작업으로 히스토그램이나 分散分布圖(scatter plot)작성하여 확인한다. 다음 작업은 자료내에 傾向(trend)나 異方性和 같은 복잡한 구조가 있는지를 확인하기 위해 소그룹 자료를 이용하여 variogram을 모델화한다. Semivariogram의 형태는 광상의 지질학적 특성에 기본하여 해석하고, 여러 모델중 실제 자료에 가장 近接한 모델을 cross validation기법을 이용하여 선택한다.

가장 간단한 예를 들어 IDW법과 Kriging법을 비교하여보자. 수평으로 일정한 두께를 갖는 광상을 일정한 格子로 配列되어 있는 試錐孔에서 시료를 採取하였고, Fig. 1-25와 같이 한번의 길이가 d인 정사각형의 block을 이용하여 이 광상을 평가하였다고 가정한다. 이 경우 5개의 시료를 얻었고, Z_1 은 block의 중앙에 $Z_2, Z_3, Z_4, +Z_5$ 는 이웃 block의 중앙에 있다. 이광상의

semivariogram은 等方性을 가지며 範圍 $a=2d$ 이고 nugget effect는 $C_0=0$, sill은 $C_0+C=1$ 인 球型모델로 간주할 수 있다.

시료 Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 는 對稱性을 가지며 semivariogram이 모든 방향에서 동일한 分散을 가지므로 이 시료들은 동일한 加重值를 가지게 된다. 따라서 이block의 추정치는 다음과 같이 나타 낼 수 있다(Brocker, 1980).

$$Z_v^* = \sum_{i=0}^n \lambda_i Z(S_i) \quad \text{식으로부터}$$

$$Z_v^* = \lambda_1 Z(S_1) + \lambda_2 Z(S_2)$$

$$Z(S_1) = Z_1$$

$$Z(S_2) = 0.25(Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$$

계수가 단지 λ_1, λ_2 두개뿐이므로 nonbias condition으로 부터 $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$ 이 되며 Kriging system은 다음과 같은 식으로 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\overline{\gamma}(S_1, S_1) \lambda_1 + \overline{\gamma}(S_1, S_2)(1 - \lambda_1) + \mu}{\overline{\gamma}(S_2, S_1) \lambda_1 + \overline{\gamma}(S_2, S_2)(1 - \lambda_1) + \mu} &= \frac{\overline{\gamma}(S_1, \nu)}{\overline{\gamma}(S_2, \nu)} \end{aligned}$$

이 두 식으로 부터 μ 를 소거하면

$$\lambda_1 = \frac{\overline{\gamma}(S_2, \nu) - \overline{\gamma}(S_1, \nu) + \overline{\gamma}(S_1, S_2) - \overline{\gamma}(S_2, S_2)}{2 \overline{\gamma}(S_1, S_2) - \overline{\gamma}(S_1, S_1) - \overline{\gamma}(S_2, S_2)} \quad \text{---- (1)}$$

구형모델의 공식

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C \left[\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right] \quad h < a \\ &= C \quad h > a \end{aligned}$$

으로 부터

$$\begin{aligned} \overline{\gamma}(S_1, S_1) &= 0 \\ \overline{\gamma}(S_1, S_2) &= \overline{\gamma}(S_2, S_1) = \gamma(d) = 0.688 \\ \overline{\gamma}(S_2, S_2) &= 0.25[2\gamma(d\sqrt{2}) + \gamma(2d)] = 0.692 \end{aligned}$$

(1)식에서 $\bar{\gamma}(S_1, v)$ 와 $\bar{\gamma}(S_2, v)$ 는 block과 시료의 분포 geometry에 따라 결정된다. Fig. I-26에서 벡터 h의 한쪽 끝이 사각형 ABCD의 한쪽 모서리의 점 A에 固定 되고 다른 끝이 사각형의 면적 mn을 나타낼 때 함수H(m,n)은 $\gamma(h)$ 의 평균값이다. 이 함수값은 球型모델에 대하여 Table I-5에 나타내었다(Brocker, 1980).

위의 예에서 $d=a/2$ 인 경우 $\bar{\gamma}(S_1, v)$ 는 $H(0.5d, 0.5d)$ 와 같으므로 범위 $a=1$ 인 경우 $H(0.25, 0.25)$ 는 $H=0.282$ 이다 (Table I-6). 또한,

$$\begin{aligned}\bar{\gamma}(S_2, v) &= 1.5H(1.5d, 0.5d) - 0.5H(0.5d, 0.5d) \\ &= 1.5H(0.75a, 0.25a) - 0.5H(0.25a, 0.25a) \\ &= 1.5 \times 0.558 - 0.5 \times 0.282 \\ &= 0.696\end{aligned}$$

최소추정분산은

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=0}^n \lambda_i \bar{\gamma}(S_i, v) + \mu - \bar{\gamma}(v, v)$$

을 이용하여 구한다.

윗식들을 이용하여 얻은 解는 $\lambda_1=0.600$, $\lambda_2=0.400$, $\sigma_k^2=0.079$ 이다. 多角型法에 의한 결과와 inverse distance법, inverse distance square법에 의한 결과는 Table 에 나와 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 가장 유효한 광량평가 방법은 추정값과 참값에 대한 오차의 분산이 최소인 경우이다. $C_0=0$, $a=d$ 일 때 최소추정분산은 Kriging의 경우 0.144, 다각형법의 경우 0.407, inverse distance법의 경우 0.164, inverse distance square법의 경우 0.164로, Kriging법의 推定誤差가 최소이다.

다음의 예는 KODOS 89, 90지역중 試料 採取定點의 分布와 地質學的 條件이 비교적 균일한 $151 \sim 153^\circ W$, $9 \sim 10^\circ N$ 지역에 대하여 IDW법중 IDS (inverse distance square)법과 Kriging법에 의해 추정하였다 (해양연구소, 1990; 1991). 이 지역에 대한 座標와 망간단괴의 賦存率은 Table I-7에

나타냈었다.

선정된 지역내의 10개 정점에 대하여 IDW법중 IDS방법은 10x10의 격자를 사용하여 각 격자 블록의 값을 추정하였고, Kriging법은 semivariogram 모델로 구형모델(nugget effect, $C_0=15(\text{kg/m}^2)^2$, Sill값은 $20(\text{kg/m}^2)^2$, 영향범위 $a=1.0^\circ$)를 적용하였으며 추정에는 simple Kriging법을 이용하였다. 각 방법에 대하여 추정분산을 구하기 위해 cross validation기법을 이용하였다. Cross validation법은 추정하고자 하는 점의 참값과 주변정점의 추정값을 비교하여 오차의 분산 및 표준평균오차(standard error of mean)를 구해 추정하는 방법의 타당성을 알 수 있는 기법이다(Isaaks과 Srivastava, 1989). Cross validation법을 이용하여 추정값과 참값의 차인 오차를 구했으며, 이 오차의 표준평균오차가 구하고자 하는 추정분산의 제곱근값이다(Table I-8). IDS법의 표준평균오차는 1.97이며, Kriging법의 경우 1.94이다.

第 3 節 結 論

위 결과는 Kriging방법이 IDS법보다 광량추정에 더 효과적임을 나타낸다. 鑛量을 Kriging법으로 추정하기 위해서는 semivariogram해석에서의 마찬가지로 그 지역의 地質構造的 해석이 선행되어야 한다.

Kriging방법을 적용하여 광량추정시의 주요단계를 要約하면 다음과 같다.

- 1) semivariogram의 형태파악을 위한 지질구조적 해석
- 2) block 평가를 위한 試料定點의 선택
- 3) Kriging 식의 $\bar{\gamma}$ 의 계산
- 4) 最適 加重計數를 구하기 위한 식의 풀이
- 5) 위의 단계로부터 블럭의 推定 및 관련추정 분산값들을 구함

REFERENCES

- 해양연구소. 1984. 심해저 광물자원 개발연구(II): 탐사분야. BSPG00022-83-5
- 한국해양연구소. 1989. 심해저 광물자원 개발전략 연구. BSPG00074-225-7
- 한국해양연구소. 1990. 심해저 광물자원 개발전략 연구(II). BSPG00094-296-5
- 한국해양연구소. 1991. 태평양 심해저 광물자원 개발 연구: 심해저 광물자원 개발 광구 탐사. BSPG00118-369-5
- 정희수, 정갑식, 이경용, 강정극, 정문영. 1990. KODOS-89 지역 망간단괴의 성인
과 분포. The Journal of the Oceanological Society of Korea Vol. 25, No.
4, 189 - 204
- 新井 勝男. 1985. 地球統計學の基本的概念とその應用. 鑛山地質. 35(4). 299-311
- Andrews, J.E. and Friedrich, G.H.W., 1979. Distribution patterns of
manganese deposits in the northeast equatorial Pacific. Mar. Mining,
2 (1/2): 1-43.
- Andrews, J., Friedrich, G., Pautot, W, Pluger, V., Renard, M., Melguen,
D., Cronan, D.S., Craig, M., Hoffert, P., Stoffers, S., Shearme, T.,
Thijssen, G., Glasby, G.P., LeNotre, N. and Saget, P., 1984. The
Hawaii-Tahiti transect : the oceanographic environment of
manganese nodule deposits in the central Pacific. Mar. Geol., 54:
109-130.
- Annels, A.E., 1991, Mineral deposit evaluation - A practical approach-
Chapman and Hall, London, p.96-224
- Anonymous. 1979. Manganese nodules : Dimensions and prospectives,
UNDPET publication. D. Reidel Pub. Co. 8-20
- Bender, M. L., 1983. The manganese nodule program: EOS., 64(5):
42-43.
- Bender, M.L., Ku, T.L. and Broecker, W.S., 1966. Manganese nodules:
their evolution. Science, 151: 325-328.
- Berger W.H. and Winterer, E.L., 1974. Plate stratigraphy and the
fluctuating carbonate line. In: K.J. Hsu, and H.C. Jenkynes (Editors),
Pelagic sediments : on land and under the sea. IAS, Blackwell
Scientific Publ., Oxford, pp. 11-48.
- Berger, W.H. and Killingley, J.S., 1982. Box cores from the equatorial
Pacific: C¹⁴ sedimentation rates and benthic mixing. Mar. Geol., 45:
93-125.
- Berger, W.H., Edkale, A.A. and Bryant, P.P., 1979. Selective
preservation of burrows in deep-sea carbonates. Mar. Geol., 32:
M205-M230.
- Bonatti, E., Kraemer, T. and Rydell, H.S., 1972. Classification and
genesis of submarine iron-manganese deposits. In: D.R. Horn
(Editor), Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor. Nat'l Sci.
Found., Washington, pp. 149-166.
- Broker, P.I., 1980, Kriging, ENGINEERING AND MINING JOURNAL,
September,
p.148-153.

- Burkry D., Dinkelman, M.G. and Kaneps, A.G., 1973. Biostratigraphy of the equatorial East Pacific Rise. *Init. Rep. Deep-Sea Drill. Proj.*, 16: 915-936.
- Burns, R.G. and Burns, V.M., 1975. Mechanisms for nucleation and growth of manganese nodules. *Nature*, 255(4404): 130-131.
- Calvert, S.E. and Price, N.B., 1977. Geochemical variation in ferromanganese nodules and associated sediments from the Pacific Ocean. *Mar. Chem.*, 5: 43-74.
- Calvert, S.E., Price, N.B., Heath, G.R. and Moore, T.C., Jr., 1978. Relationship between ferromanganese nodule compositions and sedimentation in a small survey area of the equatorial Pacific. *J. Mar. Res.*, 36(1):161-183.
- Calvert, S.E., Piper, D.Z. and Baedeker, P.A., 1987. Geochemistry of the rare earth elements in ferromanganese nodules from DOMES A, northern equatorial Pacific. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51: 2331-2338.
- Clark, I., 1979a, The Semivariogram, Part I and II, *Engineering and mining journal*, p90-94.
- Clark, I., 1979b, *Practical geostatistics*, Applied Science Publisher, London, 129p.
- Cook, H.E., 1975. North American stratigraphic principles as applied to deep-sea sediments. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 59(5): 817-837.
- Craig, J.D., 1979a. Geological investigation of the equatorial north Pacific seafloor: a discussion of sediment redistribution. In: J.L. Bischoff and D.Z. Piper (Editors), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum, New York, pp. 529-557.
- Craig, J.D., 1979b. The relationship between bathymetry and ferromanganese deposits in the north equatorial Pacific. *Mar. Geol.*, 29: 165-186.
- Cronan, D.S., 1973. Manganese nodules in sediments cored during Leg 16. *Init. Rep. Deep-Sea Drilling Proj.* 16: 605-608.
- Cronan, D.S., 1977. Deep-sea nodules : distribution and geochemistry. In: G.P.Glasby (Editor), *Marine manganese deposits*. Elsevier Oceanogr. Ser., 15, pp.:11-44.
- Cronan, D.S. and Tooms, J.S., 1969. The geochemistry of manganese nodules and associated pelagic deposits from the Pacific and Indian Oceans. *Deep-Sea Res.*, 16: 335-359.
- Damuth, J.E., Jacobi, R.D. and Hayes, D.E., 1983. Sedimentation processes in northwest Pacific Basin revealed by echo-character mapping studies. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94: 381-395.
- David, M., 1977, *Geostatistical ore reserve estimation*, Elsevier, Amsterdam, 364p.
- Davis, J., 1986, *Statistics and data analysis in geology*, John Wiley and Sons, New York, p.380-430

- Dymond, J., Lyle, M., Finney, B., Piper, D.Z., Murphy, K., Conard, R. and Piasias, N., 1984. Ferromanganese nodules from MANOP sites H, S, and R. -control of mineralogical and chemical composition by multiple accretionary processes. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 48: 931-950.
- Embley, R.W. and Johnson, D.A., 1983. Acoustic stratigraphy and biostratigraphy of Neogene carbonate horizons in the north equatorial Pacific. *J. Geophys. Res.*, 85: 5423-5437.
- Embley, R.W., Hoose, P.J., Lonsdale, P., Mayer, L. and Tuchokle, B.E., 1980. Furrowed mud waves on the western Bermuda Rise. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 91: 731-740.
- Emerson, S., Fisher, K., Reimers, C. and Heggie, D., 1985. Organic carbon dynamics and preservation in deep-sea sediments. *Deep-Sea Res.*, 32: 1-21.
- Ewing, J.I., Ewing, M., Aitken, T. and Ludwig, W.J., 1968. North Pacific sediment layers measured by seismic profiling. In: L. Knopoff (Editor), *The crust and upper mantle of the Pacific area.* Am. Geol. Union Monogr., 12, pp.147-173.
- Exon, N.F., 1983. Manganese nodule deposits in the Central Pacific Ocean and their variation with latitude. *Mar. Mining*, 4(1): 79-107.
- Frazer, J.Z. and Fisk, M.B., 1981. Geological factors related to characteristics of seafloor manganese nodule deposits. *Deep-Sea Res.*, 28A (12): 1533-1551.
- Friedrich, G., Glasby, G.P., Thijssen, T. and Pluger, W.L., 1983. Morphological and geochemical characteristics of manganese nodules collected from three areas on an equatorial Pacific transect by R.V.Sonne. *Mar. Mining*, 4(2/3): 167-253.
- Friedrich, G., Pluger, W.L. and Kunzendorf, H., 1988. Chemical composition and of manganese nodules. In: P. Halbach, P. Friedrich, and U. von Stackelberg (Editors), *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean. Geological environment, nodule formation, and mining aspects.* Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, pp. 37-51.
- Gardner, W.D., Sullivan, L.G. and Thorndike, E.M., 1984. Long-term photographic, current, and nephelometer observations of manganese nodule environments in the Pacific: *Earth Planet. Sci. Letts.*, 70: 95-109.
- Glasby, G.P., 1977. Why manganese nodules remain at the sediment-water interface. *New Zealand J. Science.* 20: 187-190.
- Glasby, G.P., 1978. Deep-sea manganese nodules in the stratigraphic record: evidence from DSDP cores. *Mar. Geol.*, 28: 51-64.
- Glasby, G.P., Stoffers, P., Sioulas, A., Thijssen, T. and Friedrich, G., 1982. Manganese nodule formation in the Pacific Ocean: a general theory. *Geo-Mar. Letts.*, 2: 47-53.
- Glasby, G.P., Exon, N.F. and Meylan, M.A., 1986. Manganese nodules in the S.W. Pacific. In: D.S. Cronan (Editor), *Sedimentation and mineral deposits in the southwestern Pacific Ocean.* Academic Press, London, pp. 237-262.

- Goodwell, H.G., Meylan, M.A. and Grant, B., 1971. Ferromanganese deposits of the South Pacific Ocean, Drake Passage, and Scotia Sea. In: J.L.Reid (Editor), Antarctic Oceanology I, Am. Geol. Union, Antarctic Res. Ser., No. 15, pp.27-92.
- Greenslate, J.L., Frazer, J.Z. and Arrehenius, G., 1973. Origin and deposition of selected transition elements in the seabed. In: M. Morgenstein (Editor), Papers on the origin and distribution of manganese nodules in the Pacific and prospects for exploration. Valdivia Manganese Exploration Group, Univ. of Hawaii and IDOE/NSF, Honolulu, pp 45-69.
- Greenslate, J.L., Fisk, M.B. and Felix, D., 1979. Systematics in manganese concretion composition in the northeastern equatorial Pacific. In: C. Lalou (Editor). La Genese des Nodules de Manganese. Proc. Colloq. Int. CNRS, No. 289, pp. 39-54.
- Halbach, P. and Ozkara, M., 1979. Morphological and geochemical classification of deep-sea ferromanganese nodules and its genetic interpretation. In: C. Lalou (Editor). La Genese des Nodules de Manganese. Proc. Colloq. Int. CNRS, No. 289: pp. 77-88.
- Halbach, P. and Puteanus, D., 1988. Geochemical trends of different genetic types of nodules and crusts. In: P. Halbach, P. Friedrich, and U. von Stackelberg (Editors), The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean. Geological environment, nodule formation, and mining aspects. Ferdinand, Enke, Verlag Stuttgart, pp. 61-71.
- Halbach, P., Scherhag, C., Hebisch, U. and Marchig, V., 1981. Geochemical and mineralogical control of different genetic types of deep-sea nodules from the Pacific Ocean. Mineral Deposita. 16: 59-84.
- Handa, k., and K. Tsurusaki. 1981. Manganese nodules : Relationship between coverage and abundance in Northern part of central Pacific. G. S. J. cruise report. 15. 184-217
- Hay, W.W., 1988. Paleoceanography: a review for the GSA centennial. Geol. Soc. Am Bull., 100: 1934-1956.
- Hawkins, L.K., 1969. Visual observations of manganese deposits on the Blake Plateau. J. Geophys. Res., 74(28): 7009-7017.
- Heath, G.R., 1979. Burial rates, growth rates, and size distributions of deep-sea manganese nodules. Science, 205: 903-904.
- Heath, G.R., 1982. Deep-sea ferromanganese nodules. In: W.G. Ernst and J.D. Morin (Editors), The environment of the deep sea. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.105-153.
- Heezen, B.C. and Hollister, C., 1964. Deep-sea current evidence from abyssal sediments. Mar. Geol., 1: 141-174.
- Heezen, B.C. and Tharp, P.M., 1978. Bathymetric map of the northeast equatorial Pacific Ocean, 1:5,000,000 Map 1-1095. Miscellaneous investigation ser. U.S.Geol. Surv.
- Hein J.R., Swab, W.C. and Davis, A.S., 1988. Cobalt- and platinum-rich ferromanganese crusts and associated substrate rocks from the Marshall Islands. Mar. Geol., 78: 255-283.

- Hennigar, H.F., R. E. Dick, and E. J. Foell. 1986. Derivation of abundance estimates for manganese nodule deposits; Grab sampler recoveries of ore reserves. OTC 5237. 147-150
- Heye, D., 1978. Changes in the growth rate of manganese nodules from the central Pacific in the area of a seamount as shown by the Io method. *Mar. Geol.*, 28: M59-M65.
- Heye, D. and Marchig, V., 1977. Relationship between growth rate of manganese nodules from the central Pacific and their chemical constitution. *Mar. Geol.*, 23: M19-M25.
- Hollister, C.D. and McCave, I.N., 1984. Sedimentation under deep-sea storms. *Nature*, 309: 220-225.
- Horn, D.R., Horn, B.N. and Delach, M.N., 1973. Copper and Nickel content of ocean ferromanganese deposits and their relation to properties of the substrate. In: M.Morgenstein (Editor), *The Origin and Distribution of Manganese Nodules in the Pacific and Prospects for Exploration*. Valdivia Manganese Exploration Group, Univ. of Hawaii and IDOE/NSF, Honolulu, pp.71-76.
- Howarth, R.J., 1983, *Statistics and data analysis in geochemical prospecting*, Elsevier scientific publishing company, Amstardam, p.124-205
- Huh, C.A. and Ku, T.L., 1984. Radiochemical observations on manganese nodules from three sedimentary environments in the north Pacific. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 951-963.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., 1989, *Applied Geostatistics*, Oxford university press, Oxford, p351-368.
- Johnson, D.A., 1972a. Eastward-flowing bottom currents along the Clipperton Fracture zone. *Deep-Sea Res.*, 19: 253-257.
- Johnson, D.A., 1972b. Ocean-floor erosion in the equatorial Pacific. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83: 3121-3144.
- Johnson, D.A., 1974. Deep Pacific circulation: intensification during the early Cenozoic. *Mar. Geol.*, 17: 71-78.
- Keller G. and Barron, J.A., 1983. Paleooceanographic implications of Miocene deep-sea hiatuses: *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94: 590-613.
- Kennett, J.P., 1977. Cenozoic evolution of Antarctic glaciation, the circum-Antarctic Ocean, and their impact on global paleocenography. *J. Geophys. Res.*, 82: 3843-3860.
- Kennett, J.P. and Watkins, N.D., 1975. Deep-sea erosion and manganese nodule development in the southeast Indian Ocean. *Science*, 188: 1011-1013.
- Klinkhammer, G.P. and Bender, M.L., 1980. The distribution of manganese in the Pacific Ocean. *Earth and Planet. Sci. Letts.*, 46(3): 361-384.
- Krishnaswami, S., 1976. Authigenic transition elements in Pacific pelagic clay. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40: 425-434.

- Krishnaswami, S. and Cochran, J.K., 1978. Uranium and thorium series nuclides in oriented ferromanganese nodules : growth rates, turnover times and nuclide behaviour. *Earth Planet. Sci. Letts.*, 40: 45-62.
- Krishnaswami, S., Mangini, A., Thomas, J.H., Sharma, P., Cochran, J.K., Turekian, K.K. and Parker, P.D., 1982. 10-Be and Th-isotopes in Mn-nodules and adjacent sediments: nodule growth histories and nodule behaviour. *Earth Planet. Sci. Letts.*, 59: 217-234.
- Kuzvart, M. and Bohmer, M., 1986, Prospecting and exploration of mineral deposits, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, p. 450-483
- Lalou, C., Bricht, E., Poupeau, G., Romary, P. and Jehanno, C., 1979. Growth rates and possible age of a north Pacific nodule. In: J.L. Bischoff and D.Z. Piper (Editors), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum, New York, pp 815-834.
- Listzin, A.P., 1972. Sedimentation in the world oceans. *SEPM Spec. Publ. No. 17*, 218p.
- Lonsdale, P., 1980. Manganese-nodule bedforms and thermohaline density flows in a deep-sea valley on Carnegie Ridge, Panama Basin. *J. Sed. Petrol.*, 50 (4): 1033-1048.
- Lonsdale, P., 1981. Drifts and ponds of reworks pelagic sediment in part of the southwest Pacific. *Mar. Geol.*, 43: 153-193.
- Lonsdale, P. and Southard, J.B., 1974. Experimental erosion of north Pacific red clay. *Mar. Geol.*, 17: M51-M60.
- Lonsdale, P. and Spiess, F.N., 1977. Abyssal bedforms explored with a deeply towed instrument package. *Mar. Geol.*, 23: 57-75.
- Lonsdale, P. and Smith, S.M., 1980. Lower insular rise hills shaped by a bottom boundary current in the mid-Pacific. *Mar. Geol.*, 34: M19-M25.
- Mangini, A. and Kuhnel, U., 1987. Depositional history in the Clarion-Clipperton Zones during the last 250,000 years- ^{230}Th and ^{231}Th methods. *Geol. Jahrb.*, D87: 105-121.
- Mangini, A., Segl, M., Glasby, G.P., Stoffers, P. and Pluger, W.L., 1990. Element accumulation rates and growth histories of manganese nodules from the southwestern Pacific basin. *Mar. Geol.*, 94: 97-107.
- Margolis, S.V., 1973. Manganese deposits encountered during deep-sea drilling project leg 29 in subantarctic waters. In: M. Morgenstein (Editor), *Papers on the Origin and Distribution of Manganese Nodules in the Pacific and Prospects for Exploration*. Valdivia Manganese Exploration Group, Univ. of Hawaii and IDOE/NSF, Honolulu, pp. 109-113.
- Mayer, L.A., Shipley, T.H. and Winterer, E.L., 1986. Equatorial Pacific seismic reflectors as indicators of global oceanographic events: *Science*, 333: 761-764.
- McKelvey, V.E., Wright, N.A, and Rowland, R.W., 1979. Manganese nodule resources in the northeastern equatorial Pacific. In: J.L.

- Bischoff and D.Z. Piper (Editors), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum, New York, pp 747-762.
- Menard, H.W., 1976. Time, chance, and the origin of manganese nodules: *Am. Sci.*, 64: 519-529
- Mero, J.L., 1965. *The mineral resources of the sea*. Elsevier, Amsterdam, 312p.
- Mizuno, A., Miyazaki, T., Nishimura, A., Tamaki, K. and Tanahashi, M., 1980. Central Pacific manganese nodules, and their relation to sedimentary history. *Offshore Tech. Conf.*, No. 3830: pp. 331-340.
- Moore, T.C., Jr., 1970. Abyssal hills in the central equatorial Pacific: sedimentation and stratigraphy. *Deep-Sea Res.*, 17: 573-593.
- Moore, T.C., Jr. and Heath, G.R., 1966. Manganese nodules, topography and thickness of Quaternary sediments in the central Pacific. *Nature*, 212: 983-985.
- Moore, T.C. Jr., van Andel, T.H., Sancetta, C. and Pisias, N., 1978. Cenozoic hiatuses in pelagic sediments. *Micropaleontology*, 24(2) : 113-138.
- Moore, W.S., 1984. Thorium and radium isotopic relationships in manganese nodules and sediments at MANOP site S. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 987-992.
- Moore, W.S., Ku, T.L., Macdougall, J.D., Burns, V.M., Burns, R., Dymond, J., Lyle, M. and Piper, D.Z., 1981. Fluxes of metals to manganese nodule: radiochemical, chemical, structural, and mineralogical studies. *Earth Planet. Sci. Letts.*, 52: 151-171.
- Munsell, 1988. *Soil color chart*. MacBeth Div., Kolmorgen Corp., Mayland.
- Normark, W.R. and Spiess, F.N., 1976. Erosion on the Line Islands archeipelagic apron: effect of small scale topographic relief. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87:286-296.
- Orwig, T.L., 1981. Channeled turbidites in the eastern central Pacific basin. *Mar. Geol.*, 39: 33-57.
- Paul, A.Z., Thorndike, E.M., Sullivan, L.G., Heezen, B.C. and Gerard, R.D., 1978. Observation of the deep-sea floor from 202 days of time-lapse photography. *Nature*. 272: 812-814.
- Piper, D.Z., 1988. The metal oxide fraction of pelagic sediment in the equatorial north Pacific Ocean: a source of metals in ferromanganese nodules. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 2127-2145.
- Piper, D.Z. and Williamson, M.E, 1977, Composition of Pacific Ocean ferromanganese nodules. *Mar. Geol.*, 23: M285-M303.
- Piper, D.Z. and Fowler, B., 1980. New constraint on the maintenance of Mn nodules at the sediment surface. *Nature*, 286: 880-883.
- Piper, D.Z. and Blueford, J.R., 1982. Distribution, mineralogy, and texture of manganese nodules and their relation to sedimentation at

- DOMES site A in the equatorial north Pacific. *Deep-Sea Res.*, 29(8A): 927-952.
- Piper, D.Z., Gardner, J.V. and Cook, H.E., 1979a. Lithic and acoustic stratigraphy of the equatorial north Pacific: DOMES sites A, B, and C. In: J.L. Bischoff and D.Z. Piper (Editors), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum, New York, pp. 309-348.
- Piper, D.Z. Leong, K. and Cannon, W.F., 1979b. Manganese nodules and surface sediment compositions : DOMES sites A, B, and C. In: J.L. Bischoff and D.Z. Piper (Editors), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum, New York, pp. 437-473.
- Piper, D.Z., Rude, P.D. and Monteith, S., 1987. The chemistry and mineralogy of haloed burrows in pelagic sediment at DOMES Site A : the equatorial North Pacific. *Mar. Geol.*, 74: 41-55.
- Pratt, R.M. and McFarlin, P.F., 1966. Manganese pavements on the Blake Plateau. *Science*, 151: 1080-1082.
- Price, N.B. and Calvert, S.E., 1970. Compositional variation in Pacific Ocean ferromanganese nodules and its relationship to sediment accumulation rates. *Mar. Geol.*, 9: 145-171.
- Qunby-Hunt, M.S. and Turekian, K.K., 1983. Distribution of elements in seawater. *EOS*, 64: 130-131.
- Raab, W.J., 1972. Physical and chemical features of Pacific deep sea manganese nodules and their implication to genesis of nodules. In: D.R. Horn (Editor), *Ferromanganese Deposits on the Seafloor*. NSF, Washington. pp. 31-49.
- Rawson, M.D. and Ryan, W.B.F., 1978. Oceanic floor sediment and polymetallic nodules, world oceanic floor panorama (map). *Lamont-Doherty Geol. Obs., Palisades*.
- Rehm, E. and Halbach, P., 1982. Hawaiian-derived volcanic ash layers in equatorial northeastern Pacific sediments. *Mar. Geol.*, 50: 25-40.
- Rehm, E. and Puteanus, D., 1988. Nuclei. In: P. Halbach, P.G. Friedrich, U. von Stackelberg (Editors), *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean. Geological environment, nodule formation, and mining aspects*. Ferdinand Enke, Stuttgart, pp. 57-61.
- Reyess, J.L., Marchig, V. and Ku, T.L., 1982. Rapid growth of a deep-sea manganese nodule. *Nature*, 295: 401-403.
- Reyess, J.L., Lemaitre, N., Ku, T.L., Marchig, V., Southon, J.R., Nelson, D.E. and Vogel, J.S., 1985. Growth of a manganese nodule from Peru Basin: a radiochemical anatomy. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49: 2401-2408.
- Romankevich, E.A., 1984. *Geochemistry of organic matter in the ocean*. Springer-Verlag, Berlin, 334p
- Sawlan, J.J. and Murray, J.W., 1983. Trace metal remobilization in the interstitial waters of red clay and hemipelagic sediments. *Earth Planet. Sci. Letts.*, 64: 213-230.

- Segl, M., Mangini, A., Beer, J., Bonani, G., Suter, M. and Wolfli, W., 1989. Growth rate variations of manganese nodules and crusts induced by paleoceanographic events. *Paleocenoogr.*, 4(5): 511-530.
- Sharma, R., and V. N. Dodagali. 1990. A System for cataloguing and interpreting seabed photographs of nodules. *Marine Geology*. 92. 139-146
- Skornyakova, N.S., 1979. Zonal regularities in occurrence, morphology, and density of manganese nodules of the Pacific Ocean. In: J.L. Bischoff and D.Z. Piper (Editors), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum, New York, pp. 699-727.
- Skornyakova, N.S. and Murdmaa, I.O., 1992. Local variations in distribution and composition of ferromanganese nodules in the Clarion-Clipperton nodule province. *Mar. Geol.*, 103: 381-405.
- Sorem, R.K., 1973. Manganese nodules as indicators of long-term variations in seafloor environment. In: M. Morgenstein(Editor), *Papers on the Origin and Distribution of Manganese Nodules in the Pacific and Prospects for Exploration*. Valdivia Manganese Exploration Group, Univ. of Hawaii and IDOE/NSF, Honolulu, pp 151-164.
- Sorem, R. K. and Fewkes, R.H., 1979. *Manganese Nodules, Research Data and Methods of Investigation*. Plenum, New York, 723p.
- Sorem, R.K., Reinhart, W.R., Fewkes, R.H. and McFarland, W.D., 1979a. Occurrence and character of manganese nodules in DOMES sites, A, B, and C, east equatorial Pacific Ocean. In: J.L. Bischoff and D.Z. Piper, (Editors), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum, New York, pp. 475-527.
- Sorem, R.K., Fewkes, R.H., McFarland, W.D. and Reinhart, W.R., 1979b. Physical aspects of the growth environment of manganese nodules in the "Horn region", east equatorial Pacific Ocean. In: C. Lalou (Editor), *La Genese des Nodules de Manganeses*. *Colloq. Int. CNRS*, No. 289: pp. 61-76.
- Sorem, R. K. et al. 1979. Occurrence and character of manganese nodules in DOMES site A, B and C, East equatorial Pacific ocean. In: J. L. Bischoff and D. Z. Piper(Editors). *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese nodule province*. Plenum. New York. N. Y. 475-527
- Takematsu, N., Kusakabe, H., Sato, Y. and Okabe, S., 1988. Todorkite formation in seawater by microbial mediation. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 44:235-243.
- Tracey, J.I. et al., 1971. *Init. Rep. Deep-Sea Drill. Proj.* 8: 1037p
- Tonoyuki, Shiuji M., Masato N., Katsutoki M., Tsuyoshi O. and Misamitsu M., 1977. Description, classification and distribution of manganese nodules. *G.S.J. cruise report* 8. 136-158.
- Usui, A., 1979b. Minerals, metal contents and mechanism of formation of manganese nodule from the central Pacific Basin (GH76-1 and GH77-1 areas). In: J.L. Bischoff and D.Z. Piper (Editors), *Marine*

Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province. Plenum, New York, pp. 651-680.

- Usui, A. and Moritani, T., 1992. Manganese nodule deposits in the central Pacific Basin: distribution, geochemistry, mineralogy, and genesis. In: B.H. Keating and B.R. Bolton (Editors), *Geology and offshore mineral resources of the central Pacific basin*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Ser. 14: 205-223.
- Usui A., Nishimura, A., Tamahashi, M. and Terashima, S., 1987. Local variability of manganese nodule facies on small abyssal hills of the central Pacific Basin. *Mar. Geol.*, 74: 237-275.
- Usui, A. 1983. Regional variation of manganese nodule facies on the Wake-Tahiti transect morphological, chemical and mineralogical study, *Mar. Geol.*, 54 : 27-51 .
- van Andel, T.H. et al., 1973. *Init. Rep. Deep-Sea Drill. Proj.*, 16: 411-449.
- van Andel, T.H., Heath, G.R. and Moore T.C. Jr., 1975. Cenozoic history and paleoenvironment of the central equatorial Pacific Ocean. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 143: 1-134p.
- van Andel, T.H., Heath, G.R. and Moore T.C. Jr., 1976. Cenozoic history of the central equatorial Pacific: A synthesis based on Deep Sea Drilling Project data. In: G.H. Sutton, M.H. Manghnani, R. Moberly, E.U. McAfee (Editors), *The Geophysics of the Pacific Ocean Basin and Its Margin*. *Am. Geophys. Union Monogr.*, No. 16, pp. 281-296.
- von Stackelberg, U., 1984. Significance of benthic organisms for the growth and movement of manganese nodules, equatorial Pacific. *Geo-Mar. Lett.*, 4: 37-42.
- von Stackelberg, U., Beiersdorf, H. and Riech, V., 1987. Relationship between manganese nodule formation and sedimentary processes in the equatorial north Pacific Ocean. - A synthesis based on the results of cruise SO-25 (1982) with R/V Sonne. *Geol. Jahrb.*D87: 377-403.
- von Stackelberg, U. and Beiersdorf, H., 1991. The formation of manganese nodules between the Clarion and Clipperton fracture zones southeast of Hawaii. *Mar. Geol.*, 98: 411-423.
- Watkins, N.D. and Kennett, J.P., 1977. Erosion of deep-sea sediments in the southern ocean between longitude 70 ° E and 170 ° E and contrast in manganese nodule development. *Mar. Geol.*, 23: 103-111.
- Wolfart, R., 1988. Radiolarian biostratigraphy of the Cenozoic. In: P. Halbach, G. Friedrich and U. von Stackelberg (Editors), *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. Geological environment, nodule formation, and mining aspects. Ferdinand Enke, Stuttgart, pp. 115-126

Table I-1. Summary of occurrence, internal structures, composition, and growth rates of Mn-oxide minerals, nodule types, and Mn-crusts. Composition of nodule parts and buried nodules is also described.

	Mineral		R-type	Nodule		Mn-crust	Nodule Part		Buried nodule	
	Todorokite	Vernadite		T-type	S-type		Top	Core		Bottom
Occurrence			Abyssal plain	Hill, plain seamount	Hill & seamount	Seamount of Marshall Iss.		Old S-type, Mn-crust frag. dominant		
Internal structures			Dendritic, massive		Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Dendritic, massive	
I_{10}/I_{24}			0.5-5.4 (3.0)	0.4-4.8 (1.9)	0.3-2.0 (1.3)	57.0-99.0 ¹ (91.5)	0.7-4.9 (2.8)	0.0-4.4 (2.5)	0.9-5.5 (3.6)	
Quartz			0.2-6.6 (2.7)	1.0-4.5 (2.5)	0.0-3.7 (1.7)	0.0-2.0 (0.6)	1.2-3.4 (2.3)	0.0-9.9 (2.2)	0.9-4.0 (1.9)	
Feldspar			1.0-24.1 (6.2)	0.0-13.8 (4.9)	0.0-12.4 (3.8)	0.0-26.0 (2.1)	0.0-6.4 (2.7)	0.0-45.6 (9.1)	0.0-5.6 (2.6)	
Phillipsite							0.0-5.3 (0.3)	0.0-54.3 (4.1)	0.0-10.3 (1.5)	
No. of nodules			100	24	23	21	17	30	21	
Mn	20.1-59.0 (40.9)	7.7-39.7 (23.1)	8.7-29.4 (22.5)	14.4-25.7 (21.5)	14.5-25.0 (20.8)	10.0-26.0 (22.0)	20.1-41.5 (26.6)	10.0-48.6 (25.4)	19.1-45.8 (28.9)	16.0-13.0 (21.4)
Fe	0.1-11.2 (4.0)	2.0-31.7 (12.6)	2.6-12.2 (6.1)	4.9-16.1 (8.7)	7.8-18.7 (11.4)	10.4-18.2 (15.2)	4.3-12.9 (7.5)	3.6-16.8 (5.9)	2.3-10.5 (4.3)	11.0-13.0 (12.0)
Mn/Fe	2.3-318.6 (44.6)	0.6-11.5 (2.6)	1.5-9.7 (4.0)	1.2-5.2 (2.8)	1.1-2.6 (1.9)	0.9-2.1 (1.5)	1.7-7.5 (4.0)	1.4-13.1 (4.9)	2.0-20.1 (7.0)	1.5-2.1 (1.8)
Cu	0.29-2.73 (1.60)	0.09-1.13 (0.51)	0.33-1.67 (0.97)	0.27-1.34 (0.72)	0.11-0.63 (0.47)	0.01-0.37 (0.12)	0.26-1.41 (0.84)	0.18-1.72 (0.92)	0.49-1.53 (1.20)	0.47-0.68 (0.54)
Ni	0.73-3.17 (1.91)	0.09-1.63 (0.68)	0.58-1.57 (1.17)	0.50-1.37 (1.05)	0.08-1.28 (0.83)	0.00-0.86 (0.67)	0.52-1.32 (0.96)	0.14-1.29 (0.80)	0.71-1.39 (1.16)	1.00-1.10 (1.01)
Co	0.06-0.61 (0.23)	0.05-0.70 (0.31)	0.09-0.79 (0.21)	0.19-0.39 (0.25)	0.20-0.53 (0.31)	0.26-0.62 (0.53)	0.16-0.29 (0.22)	0.03-0.26 (0.15)	0.09-0.28 (0.16)	0.23-0.31 (0.28)
Zn	0.00-0.68 (0.18)	0.00-0.16 (0.07)	0.05-0.49 (0.19)	0.08-0.29 (0.15)	0.06-0.19 (0.11)	0.06-0.10 (0.08)	0.09-0.36 (0.20)	0.10-1.15 (0.31)	0.11-0.99 (0.34)	
Growth ² Rate	4.0-33,822.0 (36.0)	1.2-22.8 (2.8)	2.8-52.8 (9.1)	1.8-15.5 (4.7)	1.5-5.2 (3.0)	0.81-0.93 (0.85)	2.7-19.3 (7.3)		3.4-122.4 (22.3)	
No. of data	26	38	161	46	37	21	26	30	30	7

1 represents relative ratio of XRD peak intensities of todorokite and vernadite.

2 is growth rate based on Growth rate = $13.8(\text{Mn}/\text{Fe}^2) + 0.75$ (r, 0.95) (after Huh and Ku, 1984).

Averages are in parenthesis.

Table I-2. Analysing physical characters on photograph by using KIT-500 program.

	Characters	Contents		Characters	Contents
1	PERIMETER	주위길이 (hole 제외)	21	AXRATIO	타원 장축과 단축의 비율
2	HOLEPERIM	hole의 주위길이	22	OVOLUME	타원체의 체적
3	TOTALPERIM	주위길이 (hole 포함)	23	SHAPEFACT2	형상계수 2
4	AREA	면적(hole 제외)	24	MOMNTRATIO	모멘트 면적비
5	HOLEAREA	hole 면적	25	MAXHGTL	최고 농도
6	TOTALAREA	면적(hole 포함)	26	MENHGTL	최저 농도
7	NHOLES	hole 수량	27	FEREDIAH	페레경 수평방향
8	FRACTAREA	면적을	28	FEREDIAV	페레경 수직방향
9	PEROUND	원형도계수	29	FEREANG	페레경과 종적비의 각도
10	SHAPEFACT1	형상계수 (요철의 정도)	30	FEREAREA	점유율
11	PARATIO	둘레·면적 비	31	MAXDIA	최대경
12	HDIAMETER	등가원의 직경	32	MAXDANG	최대경과 X축과의 각도
13	HVOLUME	구체의 체적	33	SHAPEFACT3	형상계수 3(원정도)
14	RATE OF NCI	NCI(Nuclear Centour Index)비	34	MEANBR	최대각에 직각을 이루는 평균폭
15	SIGX	1차 모멘트(X)	35	AXMEANDIA	2축 평균직경
16	SIGY	1차 모멘트(Y)	36	MAXFDIA	최대출현 최대경
17	SIG00	0차 모멘트	37	LENGTHS	2점 주위 단변의 거리
18	XCENT	중심의 X좌표	38	LENGTHL	2점 주위 장변의 거리
19	YCENT	중심의 Y좌표	39	SLENGTH	둘레상 2점간 직선거리
20	SIGXX	2차 모멘트(X)	40	SLINELENG	2점간의 직선거리

Table I-2. Continued.

	Characters	Contentns		Charcters	Contents
41	SIGYY	2차 모멘트(Y)	47	ANGLE 3P	3점각
42	SIGXY	관성 모멘트	48	ANGLE 4P	4점각
43	SIGO	중심돌레의 모멘트	49	MINTHICK	최소 두께
44	MAJORDIA	타원 장축	50	DISTANCE	물체간 거리
45	MINORDIA	타원 단축	51	NCELIS(N)	각 휘도별 PIXEL 수
46	MAJORANG	타원장축과 X축의 각도			

Table 1-3. Result of photograh image analysis of Mn-nodules in box cores of the KODOS-92 area.

Station	평균장축 (cm)	점 유 율 (%)	점유율 ^{1.5}	총점유율 (%)	총점유율 ^{1.5}	부존량 (Kg/m ²)	망간단괴 유형	매물량
92-1,#64	3.00	0.78	0.69	2.18	3.22	0.33	R	64.22
92-1,#72	4.23	10.95	36.23	21.47	99.48	6.33	R	49.00
92-2,#4	1.67	6.31	16.85	12.99	46.82	2.66	R	51.42
92-2,#6	4.14	1.89	2.60	15.68	62.09	5.17	R	87.95
92-2,#10	3.12	6.40	16.29	21.81	101.86	5.67	R	70.66
92-2,#20	2.00	0.26	0.13	.	.	0.15	R	.
92-2,#23	.	8.31	23.96	17.24	71.58	.	R	51.80
92-2,#33	3.00	3.40	6.27	7.06	18.76	0.42	R	51.84
92-2,#48	0	0	0	0	0	0	.	0
평 균	2.65	4.26	11.32	12.31	43.19	2.59	R	53.36

Table 1-4. Result of image analysis of Mn-nodules on FFG still photographs which were selected in the KODOS-92 area.

Station	점유율	총점유율	부존률 계산값		부존률 실측값	
			Honda-Tsurusaki Method	면적-체적 환산법	단발사진기 부착 FFG	4 FFG 의 평균
92-1,#68	2.03	4.35	0.88	0.22	0.59	0.31
92-1,#69	17.34	37.18	7.49	2.28	2.19	2.54
92-1,#70	2.50	5.36	1.08	0.29	0.87	2.65
92-1,#71*	7.25	15.54	3.13	0.93	4.69	1.72
92-1,#72	27.59	59.05	11.89	3.66	5.11	3.89
92-1,#73	18.67	40.03	8.06	2.46	1.54	3.91

Table I-5. Variance fuction in spherical model

n	m			
	0.05	0.15	0.25	0.50
0.05	0.057	0.123	0.193	0.364
0.15	0.123	0.171	0.231	0.389
0.25	0.193	0.231	0.282	0.425
0.50	0.364	0.389	0.425	0.535
0.75	0.513	0.531	0.558	0.644
1.00	0.628	0.642	0.662	0.728
1.50	0.752	0.761	0.775	0.819

Table I-6. Comparison of estimation techniques for various spherical semivariogram

Nugget effect	Range	Kriging				Polygonal				Inverse distance				Inverse distance squared			
		λ_1	λ_2	σ_k^2	σ_E^2	λ_1	λ_2	σ_E^2	R	λ_1	λ_2	σ_E^2	R	λ_1	λ_2	σ_E^2	R
$C_s = 0$	$h = d$	0.541	0.459	0.144	1	0	0.407	1.68	0.414	0.586	0.164	1.07	0.667	0.333	0.164	1.07	
	$h = 2d$	0.600	0.400	0.079	1	0	0.188	1.55	0.414	0.586	0.102	1.14	0.667	0.333	0.082	1.02	
	$h = 10d$	0.573	0.427	0.015	1	0	0.037	1.57	0.414	0.586	0.018	1.10	0.667	0.333	0.016	1.03	
$C_s = 0.5$	$h = d$	0.370	0.630	0.208	1	0	0.704	1.84	0.414	0.586	0.211	1.01	0.667	0.333	0.318	1.24	
	$h = 2d$	0.341	0.659	0.175	1	0	0.594	1.84	0.414	0.586	0.180	1.01	0.667	0.333	0.277	1.26	
	$h = 10d$	0.233	0.767	0.115	1	0	0.518	2.12	0.414	0.586	0.138	1.09	0.667	0.333	0.244	1.46	
$C_s = 1$		0.2	0.8	0.2	1	0	1.0	2.24	0.414	0.586	0.257	1.13	0.667	0.333	0.472	1.54	

Table 1-7. Mn-nodule abundance in selected sites of the KODOS-89 and 90 areas.

Longitude	Latitude	Abundance (kg/m ²)
152.25° W	9.16° N	7.818
151.75° W	9.16° N	2.797
151.23° W	9.16° N	12.170
151.73° W	9.50° N	9.757
152.25° W	9.50° N	8.860
152.25° W	9.81° N	5.250
151.75° W	9.83° N	2.740
151.25° W	9.83° N	1.570
152.66° W	9.58° N	19.16
152.66° W	9.33° N	6.00

Table 1-8. Basic statistics of error obtained by IDS and Kriging methods.

Method	IDS	Kriging
Mean	0.40	-3.48
Standard error of mean	1.97	1.94
Standard deviation	6.22	6.14
Count	10	10

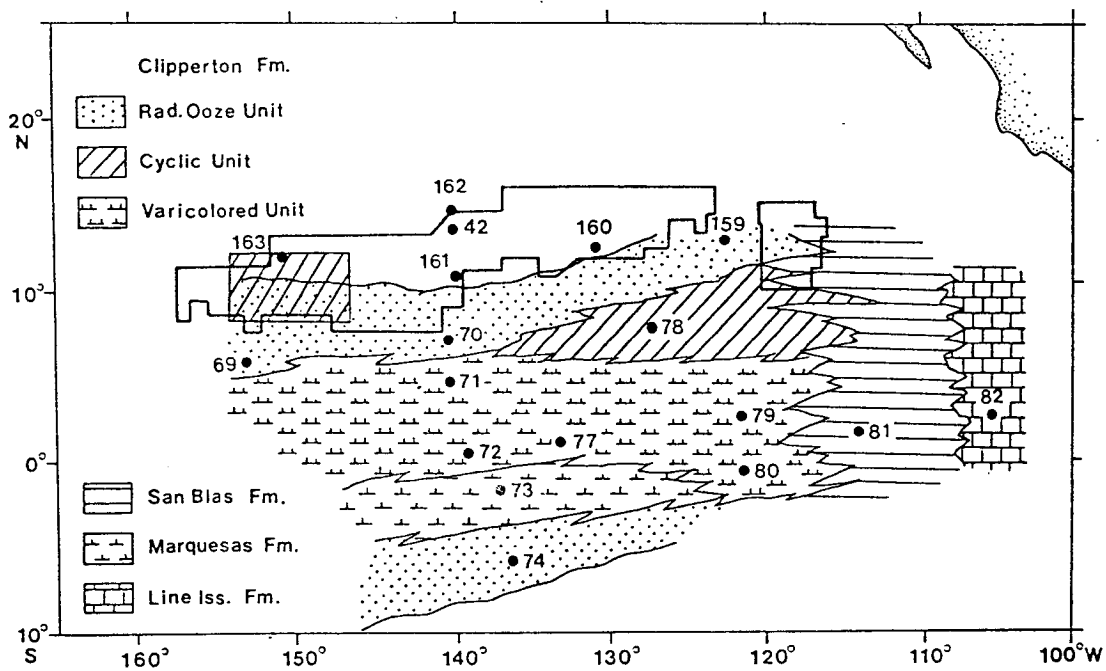


Fig. I-1. Manganese nodule field and the underlying sedimentary sequence in the C-C zones, northeast equatorial Pacific.

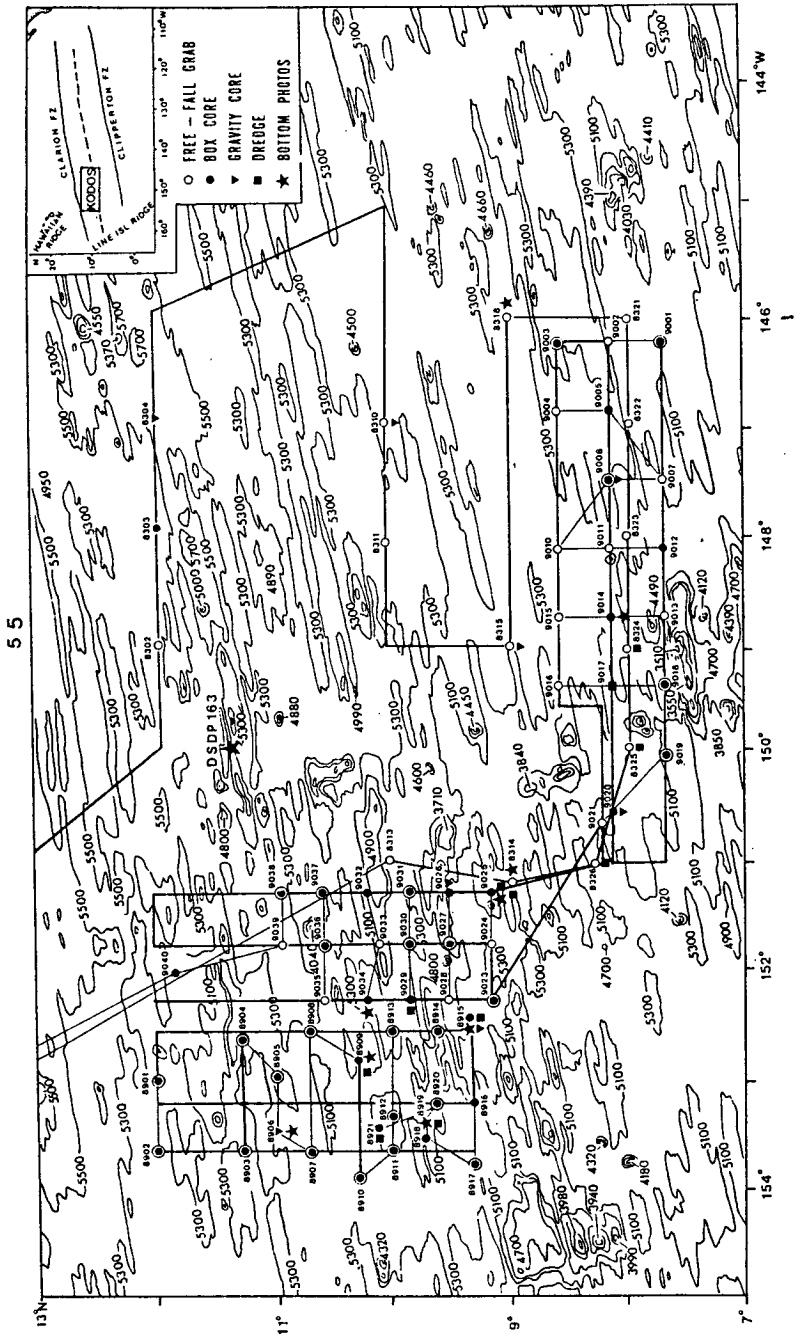


Fig. 1-2. Seismic survey lines, sampling sites of Mn-nodes and sediment in the KODOS area. Thick lines represent tracks of both air-gun, 3.5 kHz seismic, and bathymetric profiling; thin ones, tracks of 3.5 kHz and bathymetric profiling.

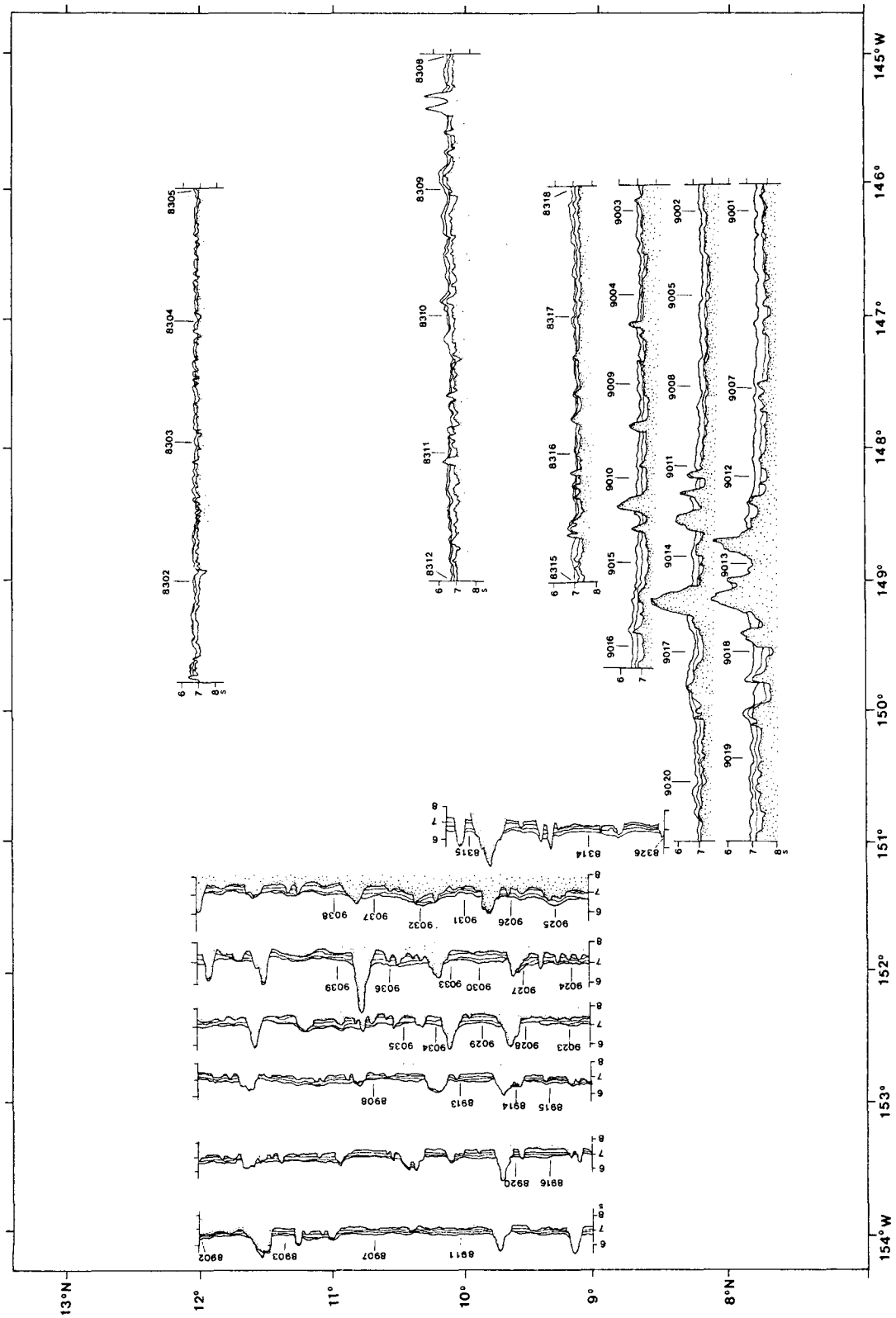
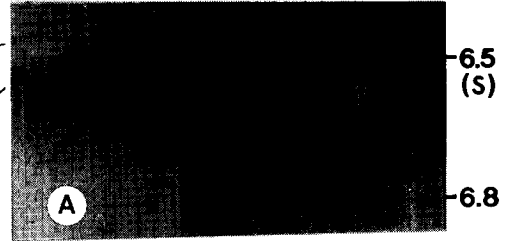
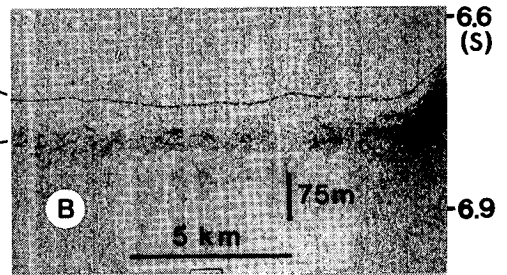


Fig. 1-3. Seafloor morphology and distribution of sedimentary sequence above acoustic (air-gun) basement in the KODOS area.

DSPD Site 163	Lithologic Facies	3.5 kHz Seismic Facies
Line Iss. Fm.	Eoc. to Quat. zeolitic Clay & clayey radiolarian Ooze	Unit I : Transparent often with indistinct internal reflectors
	Pre-m.Eoc. zeolitic Clay & clayey radiolarian Ooze intercalated chert beds	Unit IIA & B: Diffused due to prolonged sub-bottom hyperbolae



DSPD Site 163	Lithologic Facies	3.5 kHz Seismic Facies
Line Iss. Fm.	Eoc. to Quat. zeolitic Clay & clayey radiolarian Ooze	Unit I : Transparent often with indistinct internal reflectors
	Pre-m.Eoc. zeolitic Clay & clayey radiolarian Ooze intercalated chert beds	Unit IIA & B: Diffused due to prolonged sub-bottom hyperbolae



DSPD Sites 69 & 70		Lithologic Facies	3.5 kHz Seismic Facies
C l i p p F e m r t o n	Radio-laraian Ooze Unit	M. Mio. to Quat. radiolarian zeolitic Clay & Ooze, intercalated with calcareous Ooze	Unit I : Transparent often with indistinct internal reflectors
	Cyclic Unit	Oligo. to e.Mio. alternating radiolarian & nanofossil Oozes	Unit IIA : Well-stratified & lowerly transparent
Marquesas Fm.		Eoc. (?) to Oligo. radiolarian nanno fossil Ooze to Chalk	Unit IIA : Transparent

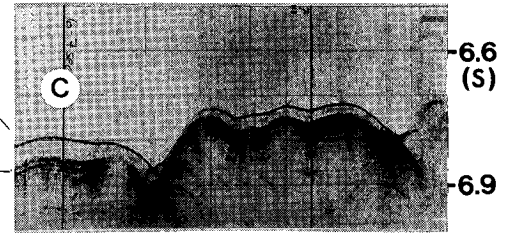
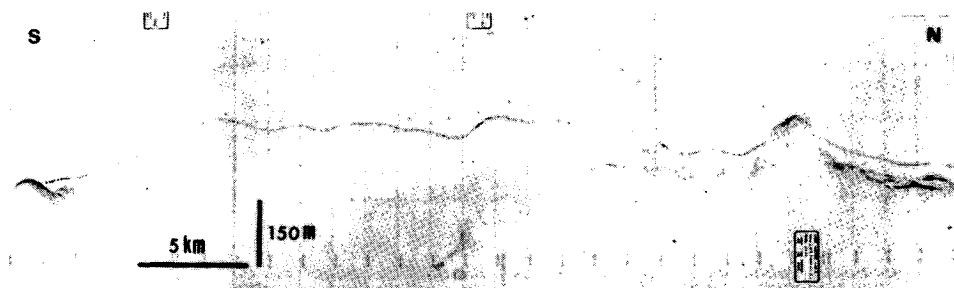
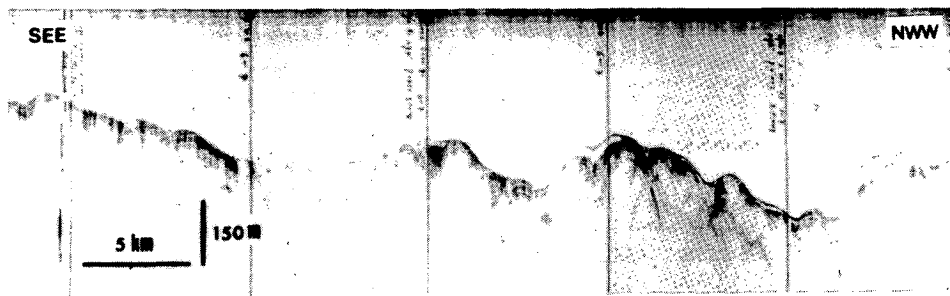


Fig. I-4. Correlation of acoustic (3.5 kHz) stratigraphic units with lithology in DSDP cores; A) in the northern part (seismic profile is located between sts. 8303 and 8304 in Fig. 1), B) the middle part (between sts. 8907 and 8911), and C) the southern part of the KODOS area (between sts. 9008 and 9011).



A



B



Fig. I-5. Various bedforms in the KODOS area: Sediment waves (A), upslope-migrating sediment waves (B), closely-spaced waves or furrows (C), large moat near the base of seamount (D), sediment drift (E), sediment waves and turbidites (F), turbidites flattening the seafloor between the Hawaiian Ridge and the Clarion FZ. (G).

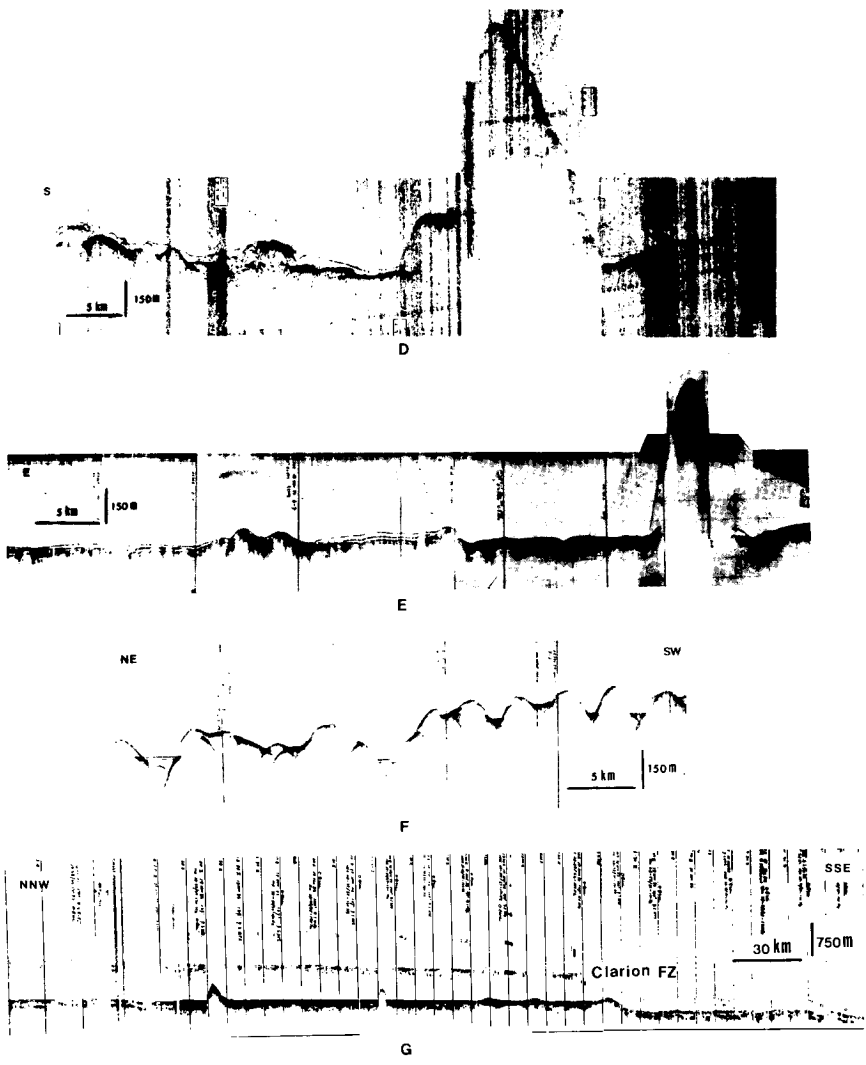


Fig. I-5. (continued)

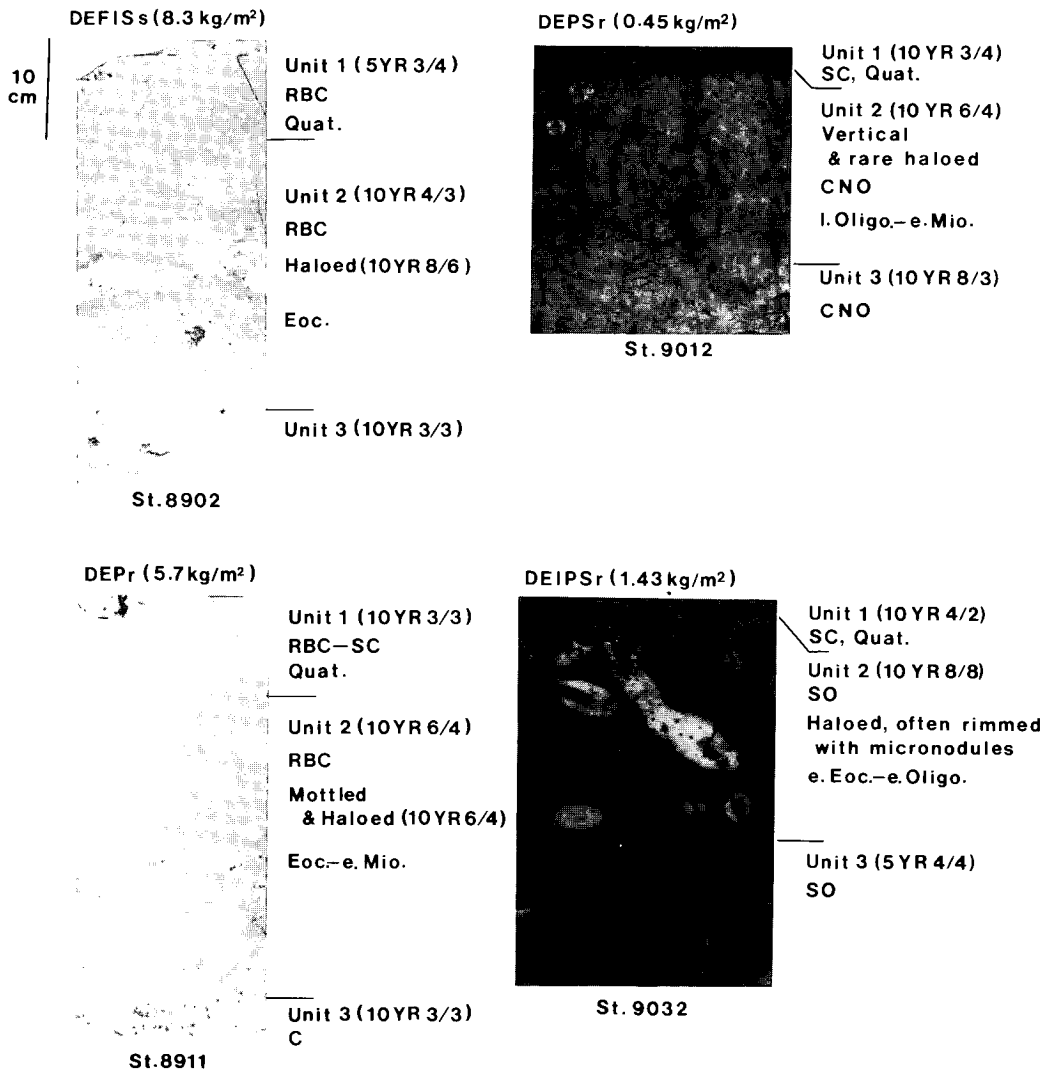


Fig. I-6. General characters of box core sediment. The sediment is divided into 2 to 3 units, based on color, lithology, bioturbation, and ages. Unit 1 is assigned to late Quaternary, and the lower units, Tertiary (Eocene to Pliocene) by radiolarian fossils. Topmost bold letters are shape of associated nodules: D, discoidal; E, ellipsoidal; F, flaty; I, irregular; S, spheroidal; P, polynucleated. Subscript: r, rough; s, smooth; t, transitional in surface texture. RBC is radiolarian-bearing clay; SC, siliceous clay; CNO, calcareous nannofossil ooze; SO, siliceous ooze.

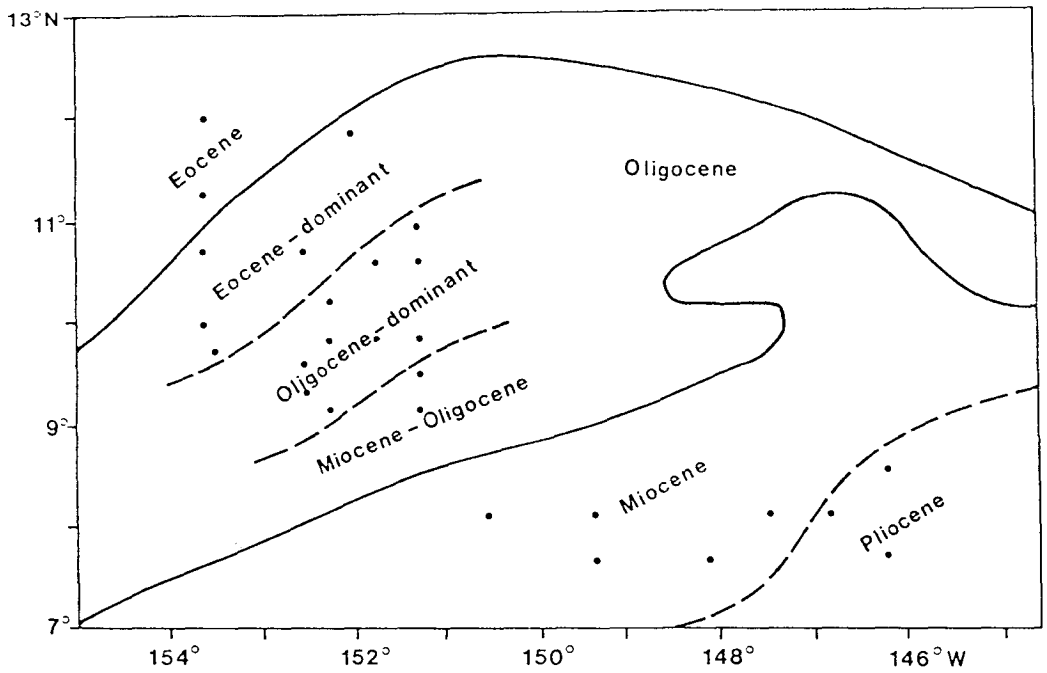
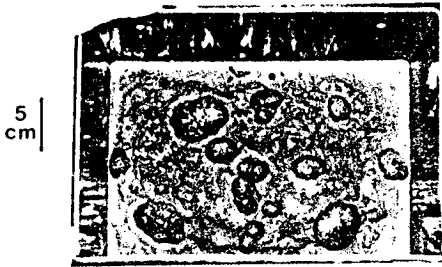


Fig. I-7. Age distribution of Tertiary radiolarian fossils in unit 1, combined with the datings of 26 box cores (dashed lines) and general age distribution (thick lines) in the northeast equatorial Pacific (Ryan and Heezen, 1976).

DEPSr (6.1 kg/m²)



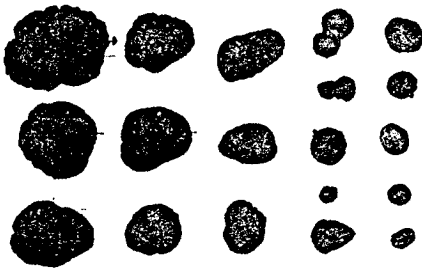
A

Ps,t (20.0 kg/m²)



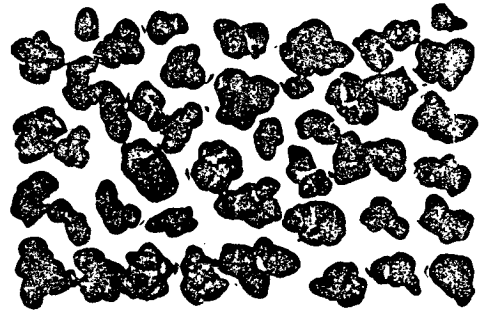
C

5
cm



B

St. 8912



D

St. 8918

Fig. I-8. Occurrence of nodule types in box cores. R-type nodules are mostly mononucleated and occur partially or embedded within the topmost sediment layer (A and B). S- and T-types are polynucleated and exposed on sediment top (C and D).



Fig. I-9. X-radiograph showing buried nodules (st. 8918). A polynucleated nodule in the upper part shows smooth surface top within the unit 1 and rough bottom within the unit 2. In the lowermost unit 3, the nodule is rimmed with loose outermost layer of Mn-oxide grains. On the seafloor, polynucleated S- and T-type nodules are abundant (20.0 kg/m²).

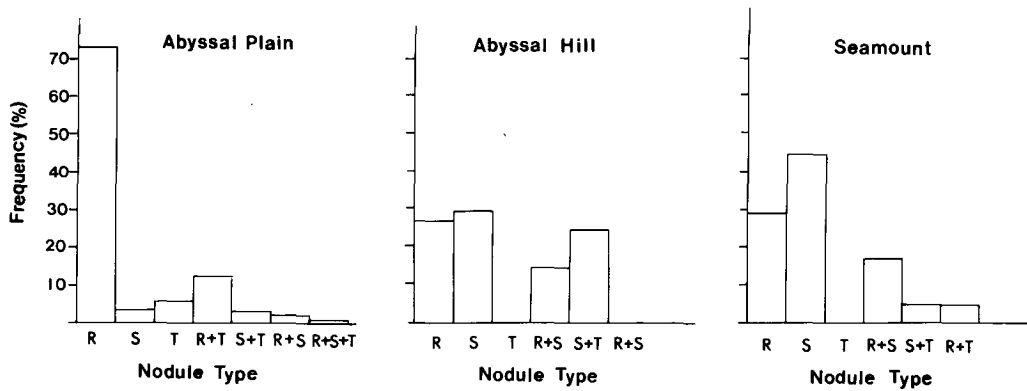


Fig. I-10. Occurrence of nodule types (in frequency %) and its relation to seafloor morphology. R-type nodules are dominant in abyssal plain, whereas S-types are abundant in hill and seamount areas. T-types occur with either R- or S-type nodules.

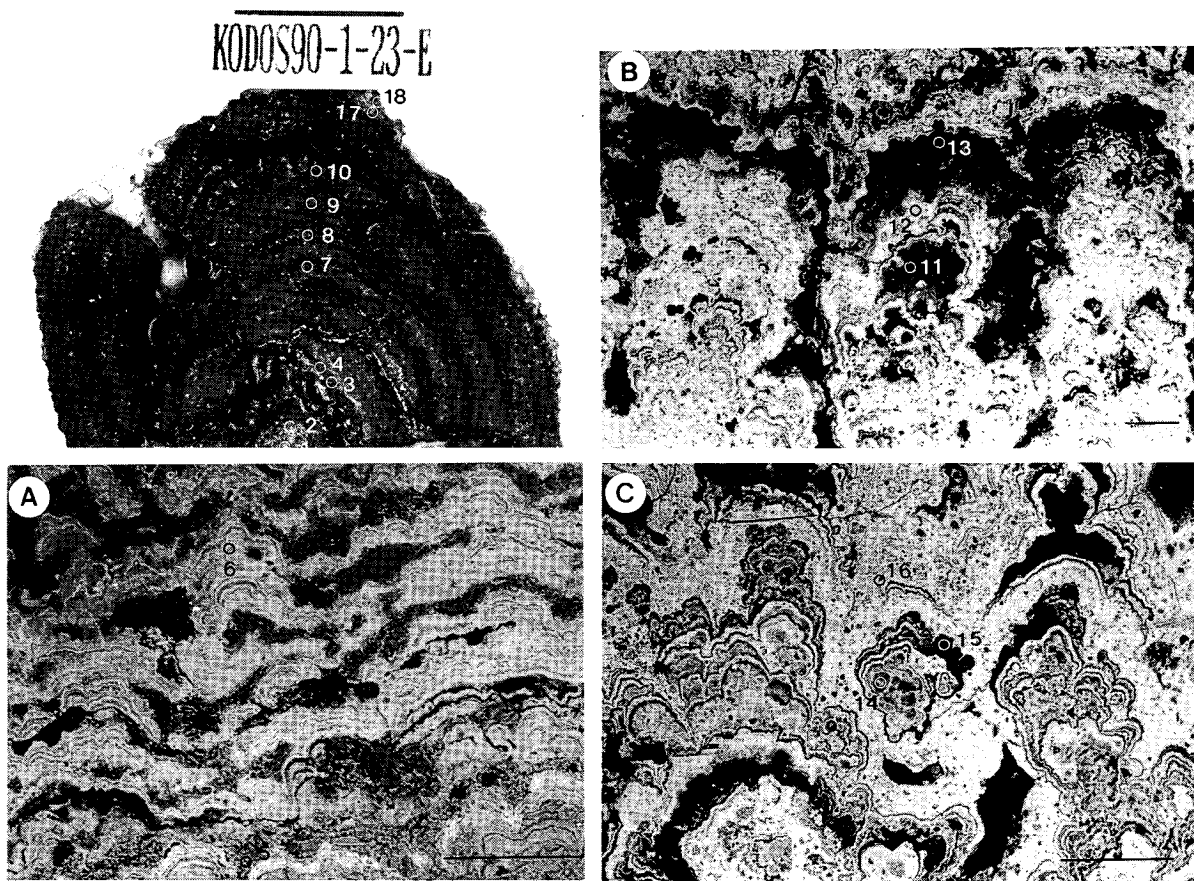


Fig. I-11. Internal structures and distribution of metal species in selected nodules. Structures were photographed (bar: 1 cm) and examined in detail using electron-back-scattered microphotograph (bar: 100 μ m). Todorokite is grayish to white, whereas vernadite is dark gray to dark in color. Concentration of metals is represented by histogram at points with open circles and numbers.

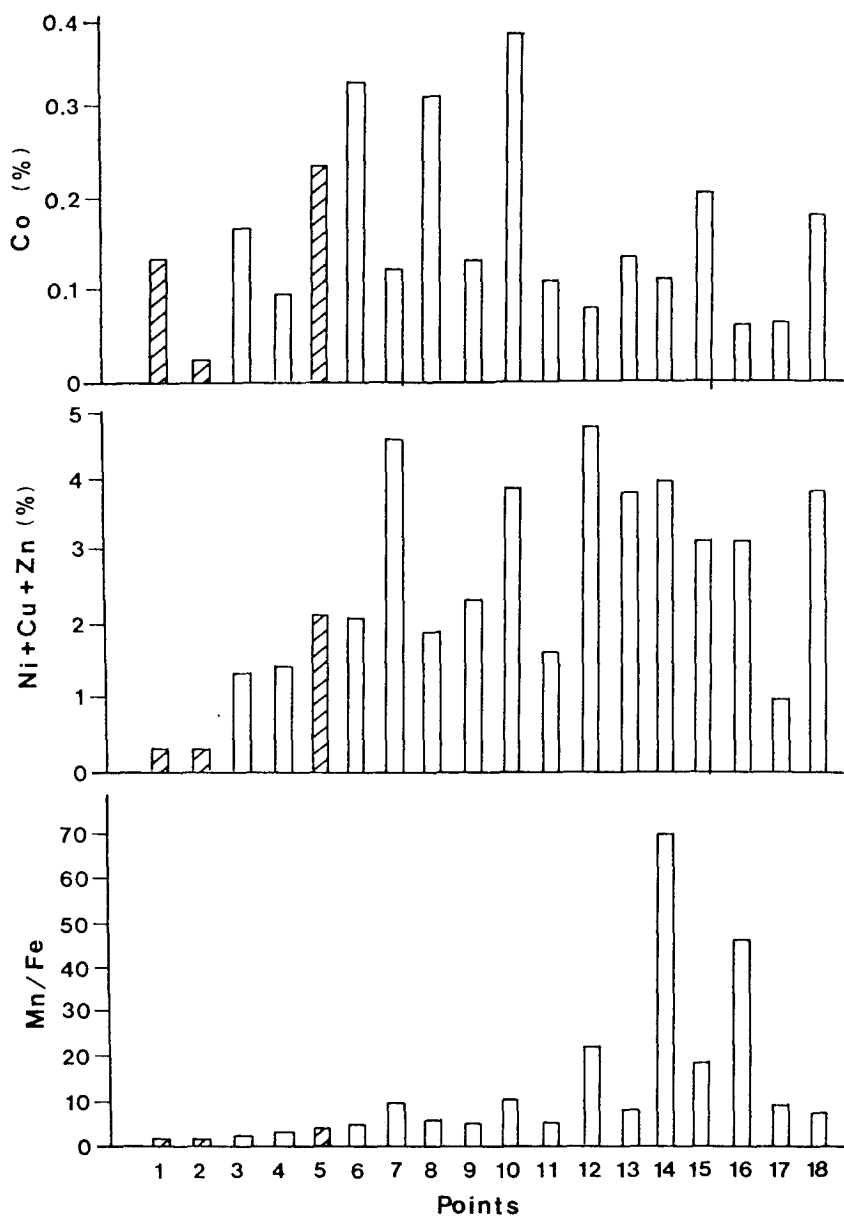


Fig.I-11 (Continued)

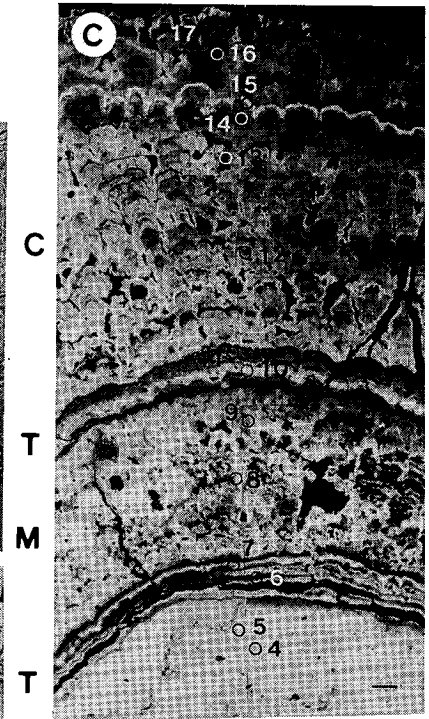
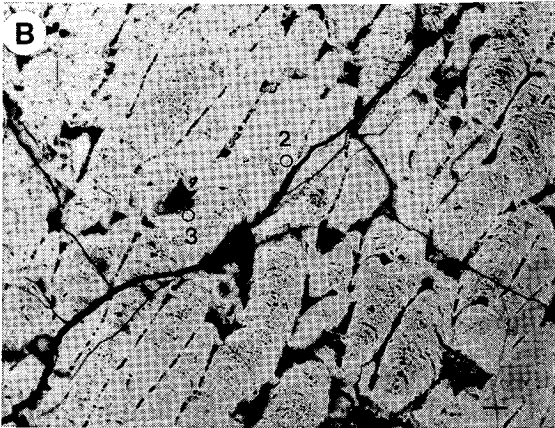
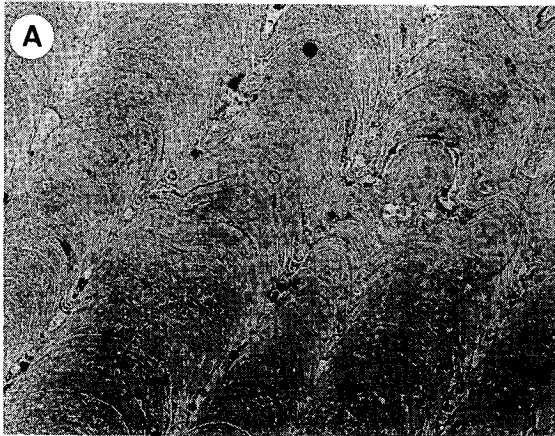


Fig.I-11 (Continued)

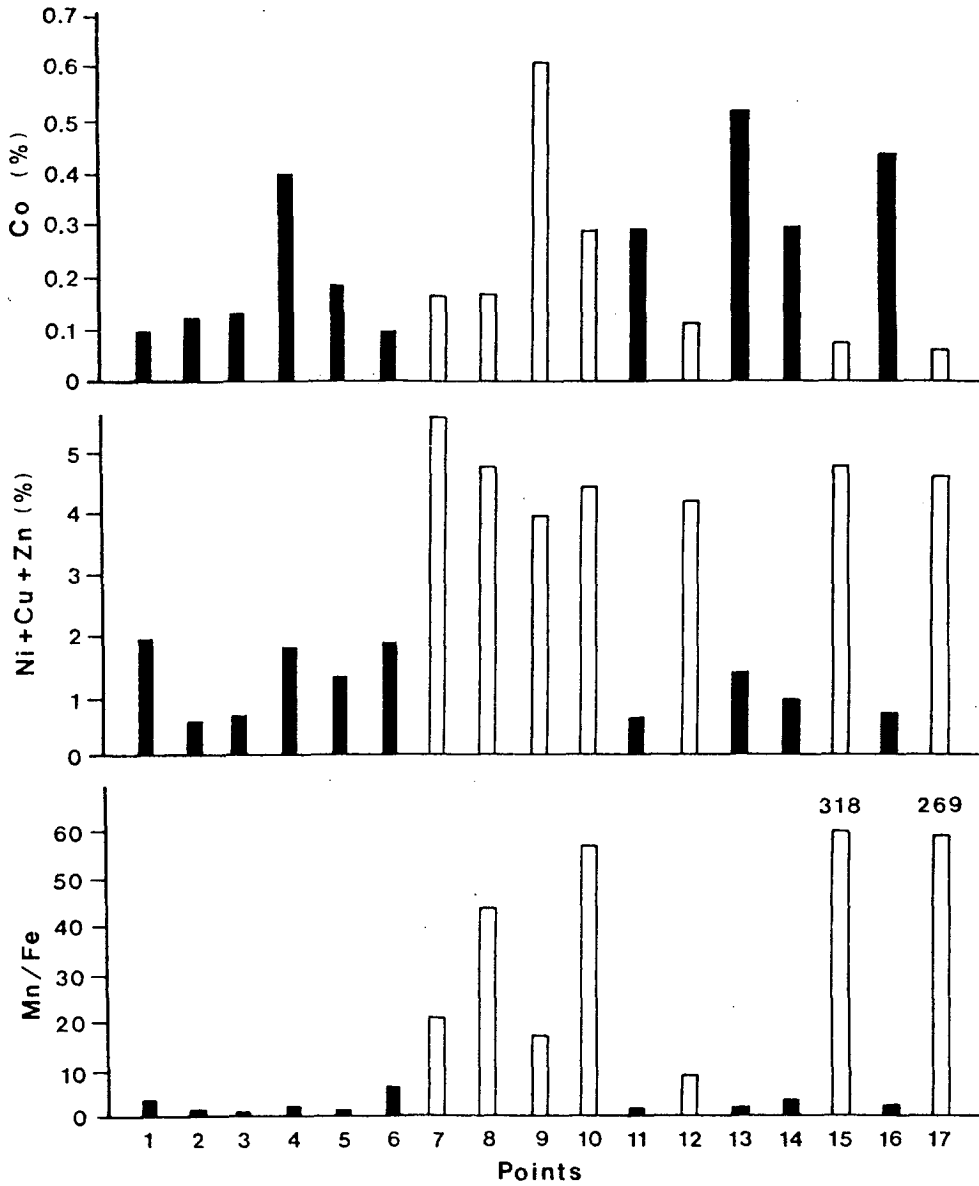


Fig.I-11 (Continued)

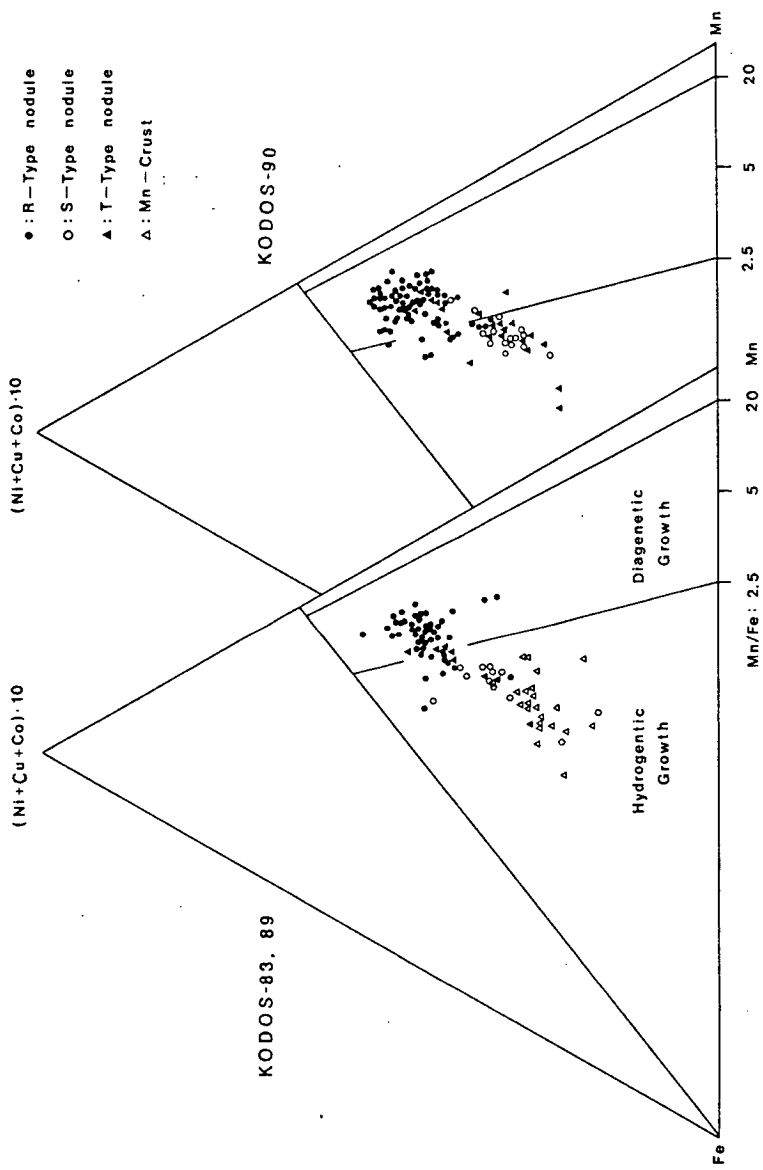


Fig. I-12. Ternary relationships of Mn, Fe, and $10 \cdot (\text{Ni} + \text{Cu} + \text{Co})$ showing distinct genetic divisions of nodule types (Bonatti et al., 1972). Mn-crusts from the Marshall Islands are also plotted for comparison.

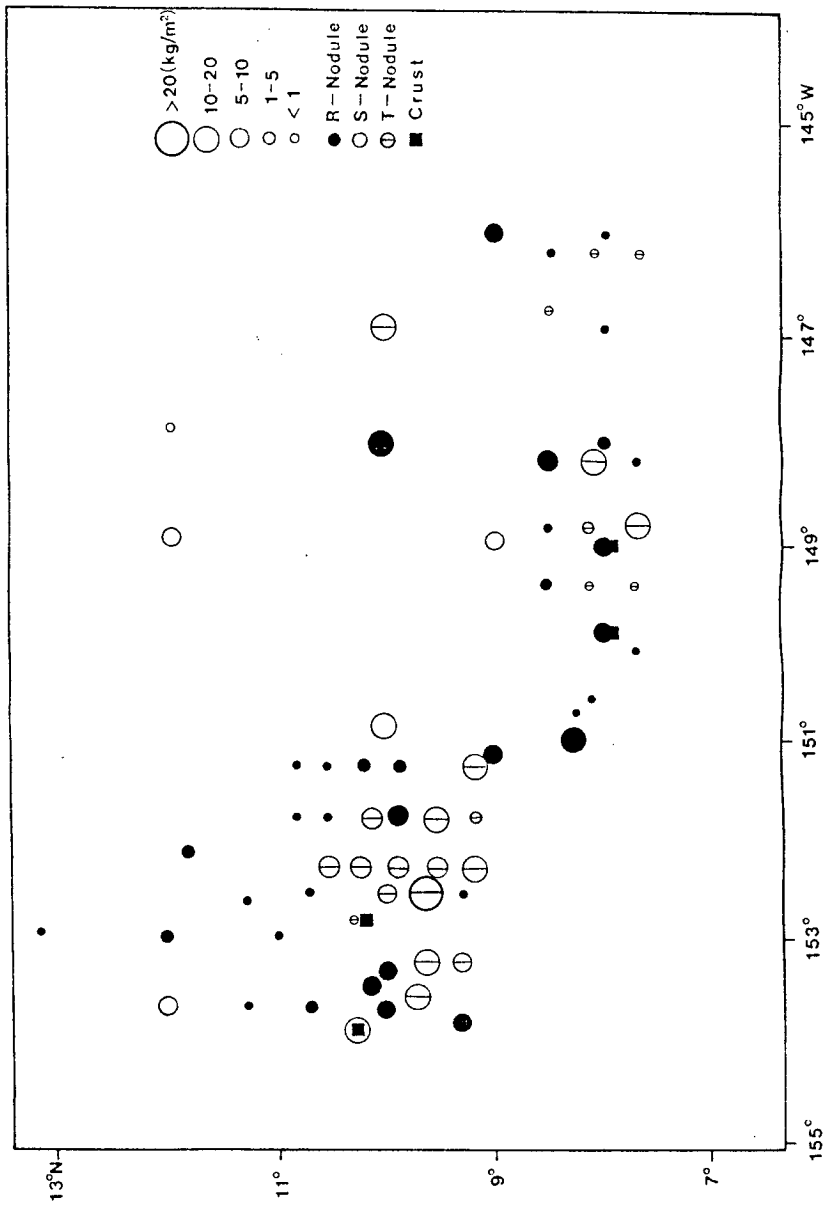


Fig. I-13. Regional distribution of nodule abundance and types.

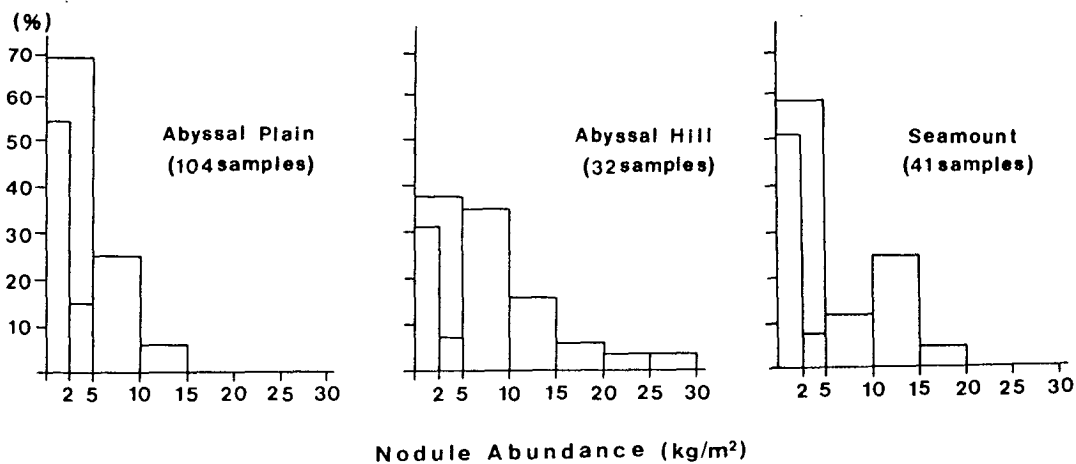


Fig. I-14. Variation of nodule abundance in abyssal plain, hill, and seamount areas (in frequency % of sampling sites).

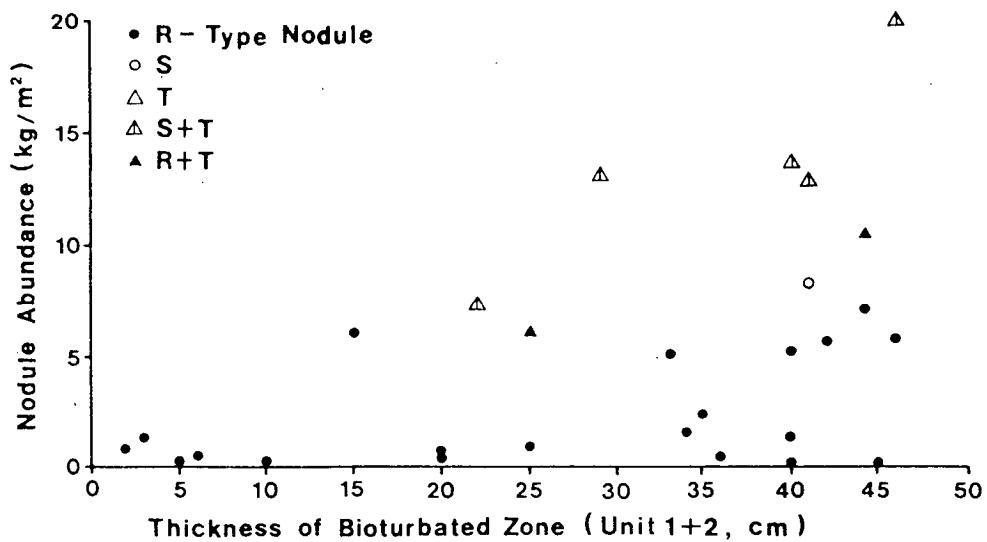


Fig. I-15. Relation of nodule types and abundance to the depth of bioturbation (sediment units 1 and 2) in box cores.

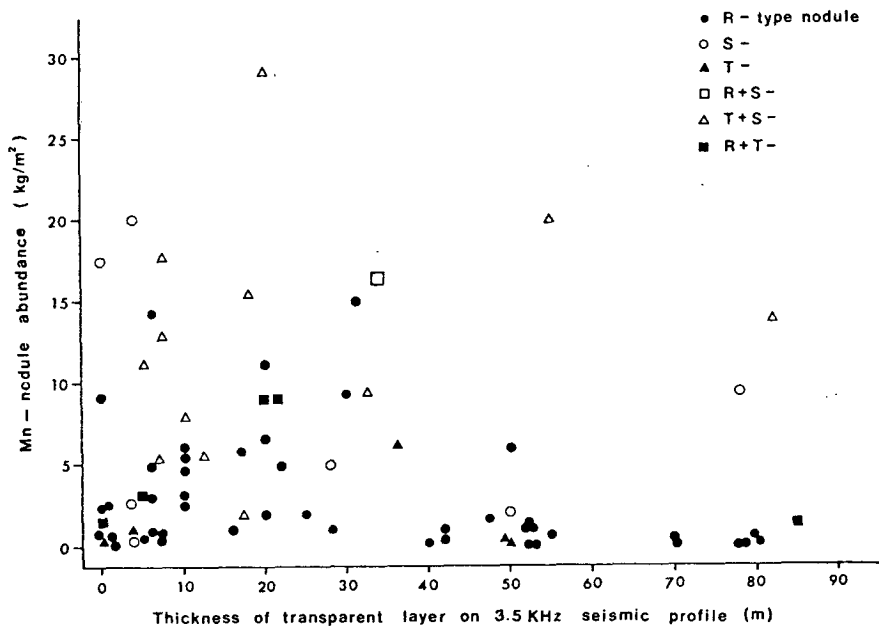


Fig. I-16. Relation of nodule type and abundance to the thickness of acoustically transparent layer on 3.5 kHz seismic profile.

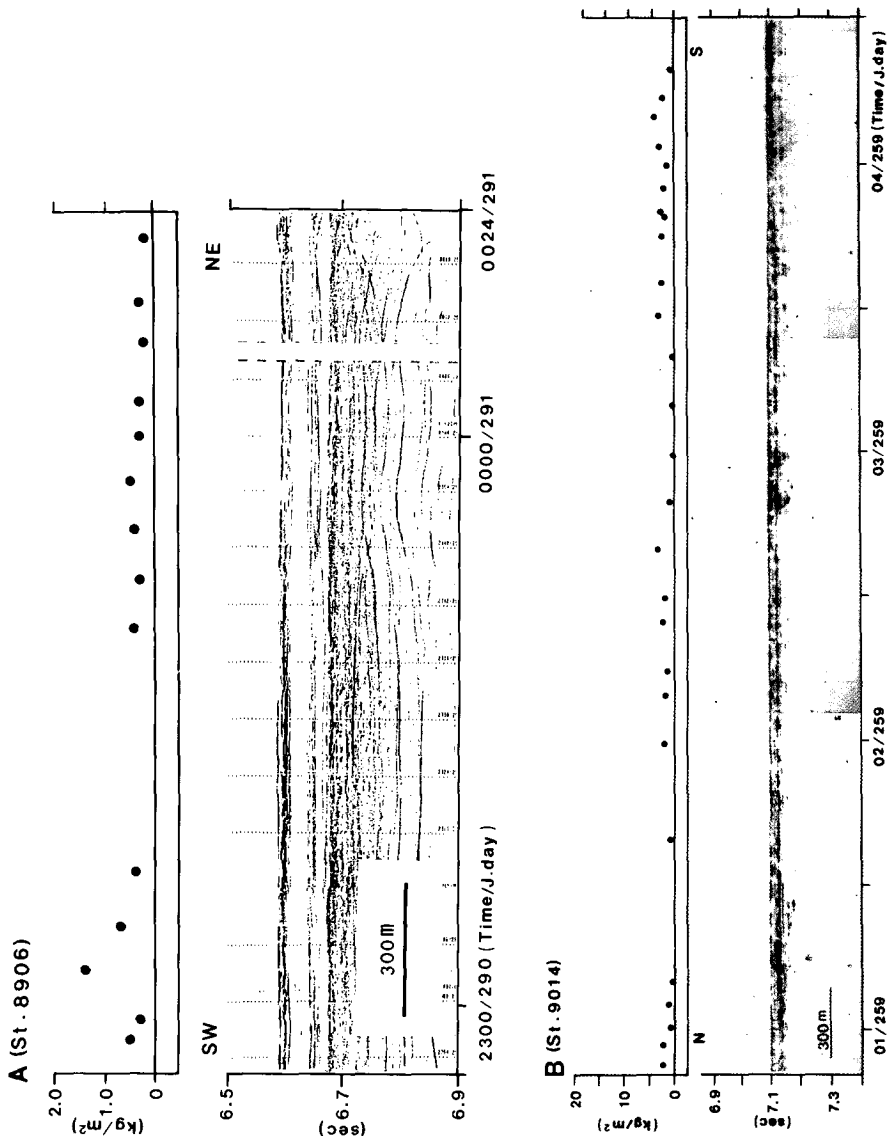


Fig. I-17. Distributional pattern of nodules on bottom photographs and 3.5 kHz subbottom profile.

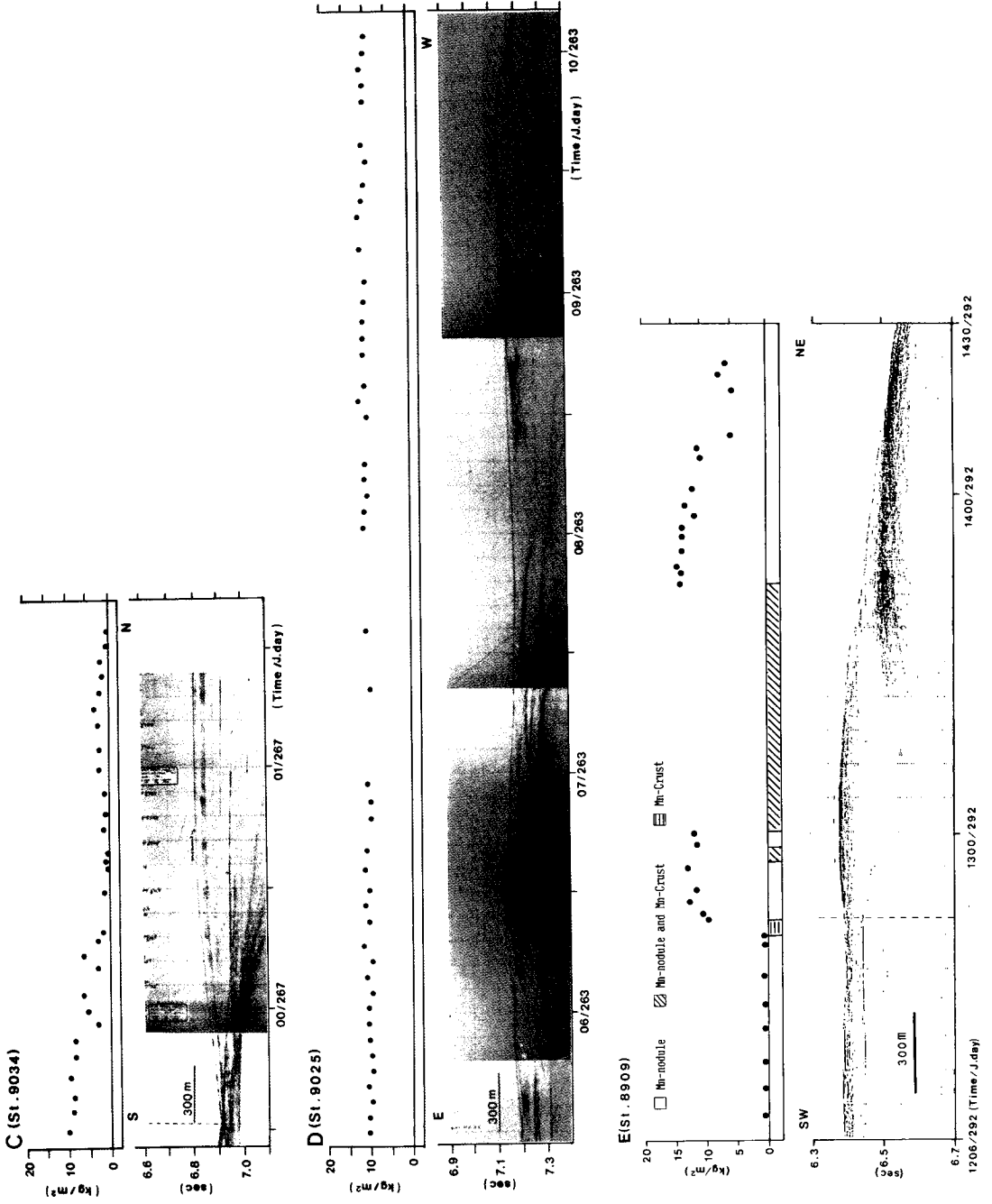


Fig. I-17. (continued)

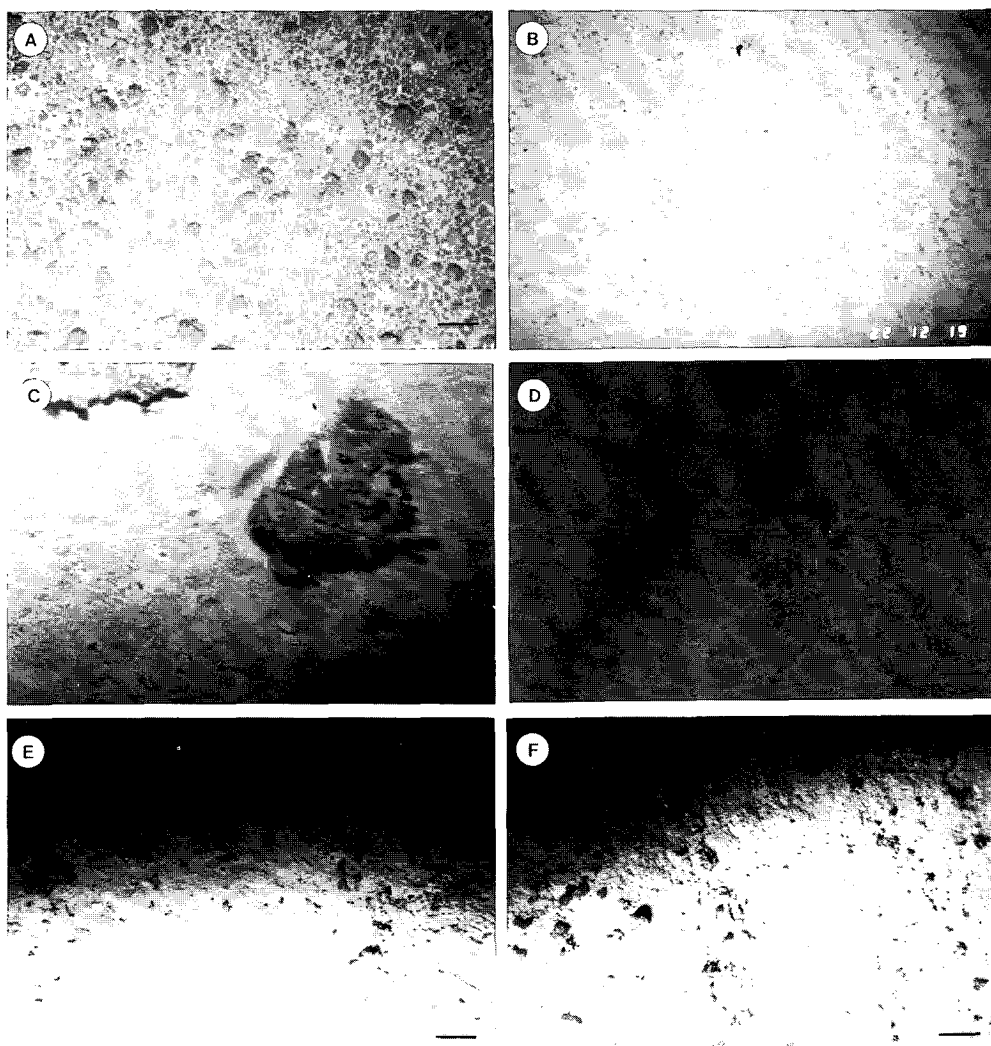


Fig. I-18. Bottom photographs showing various distributional patterns of nodules; large nodules overlying or among densely-packed smaller ones (A), reticular or cellular distribution (B), nodules associated with scours and sediment tail (C and D), nodule lineations and mud ripples (E and F). Bars are about 10 cm long.

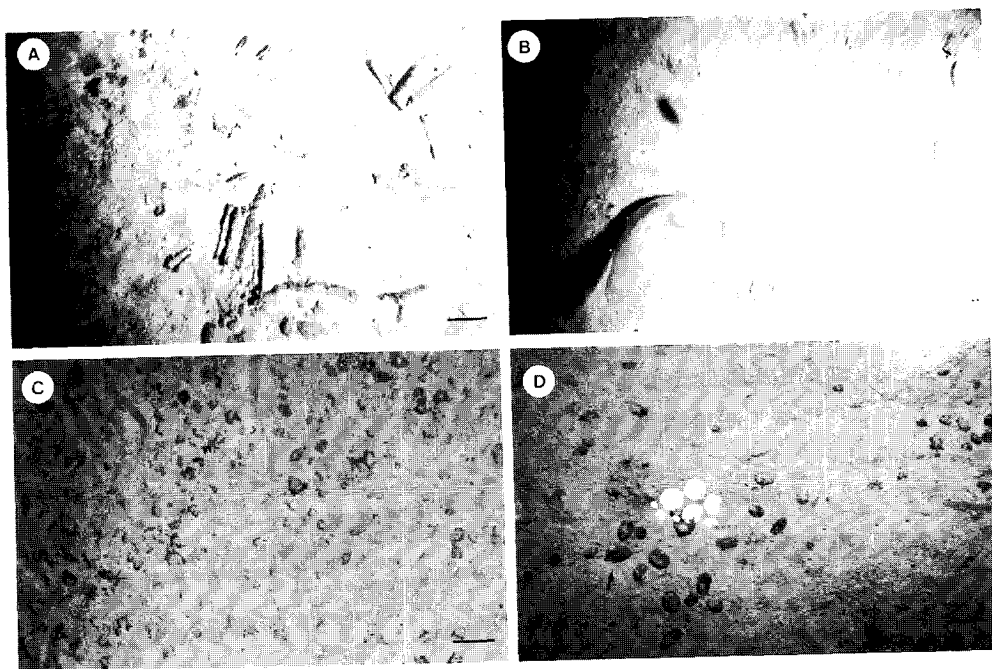


Fig. I-19. Bottom photographs showing activities of benthic animals; excavated worm tubes, burrowing animal (B), ploughed traces (C), and sediment mound beneath a nodule (arrowed, D). Bars are about 10 cm long.

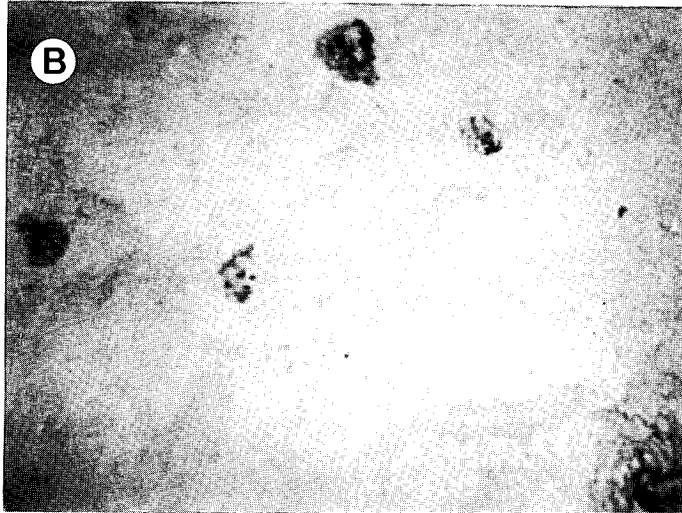
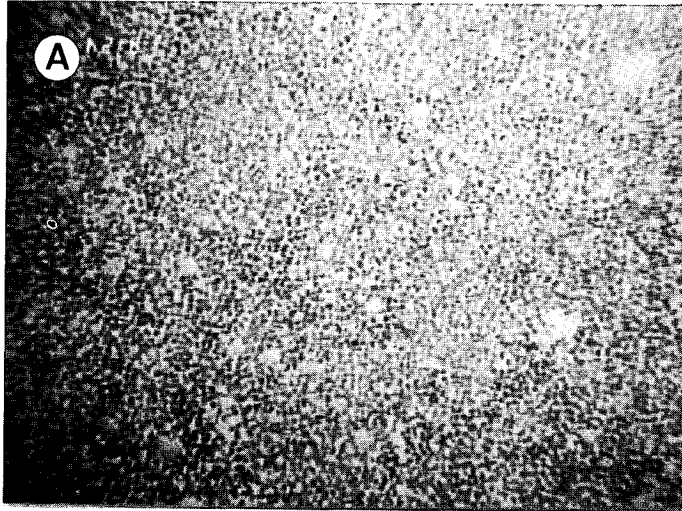


Fig. I-20. Seabottom photographs obtained by using deep-sea camera (A) and still camera attached to free-fall grab sampler (B).

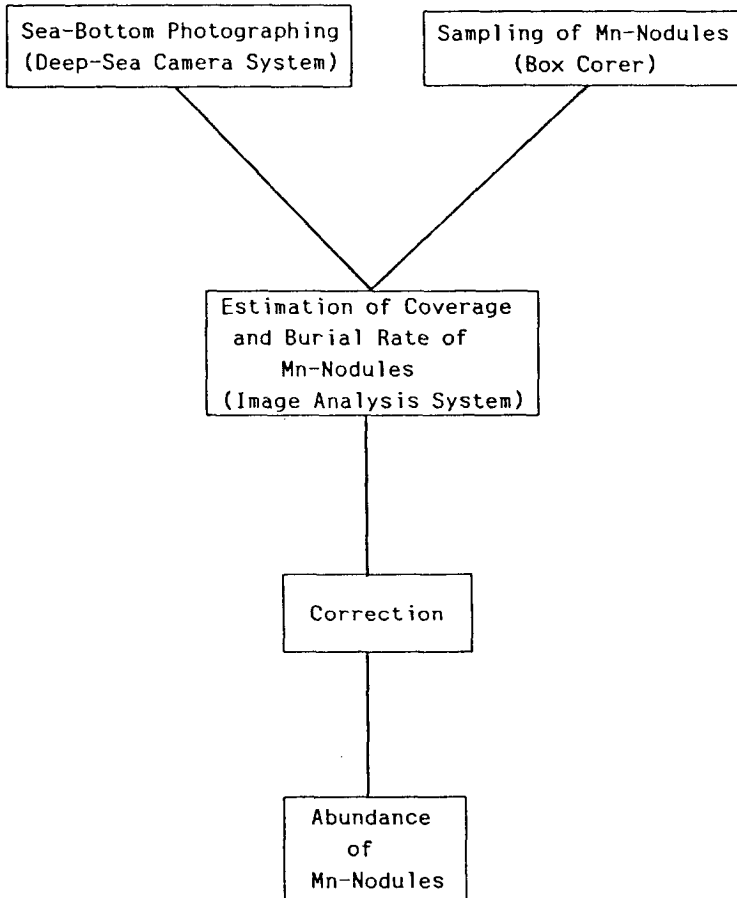


Fig. I-21. Flow diagram in the estimation of Mn-nodule abundance by image analysis of seabottom photographs.

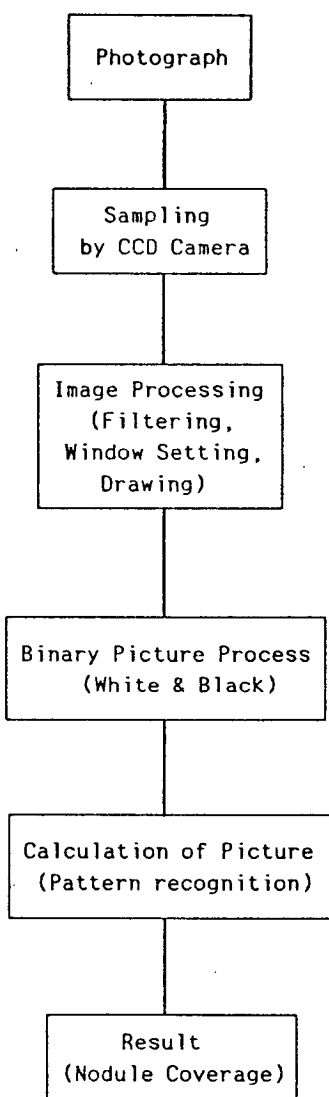


Fig. I-22. Procedures in the estimation of Mn-nodule coverage by image analysis of seabottom photographs.

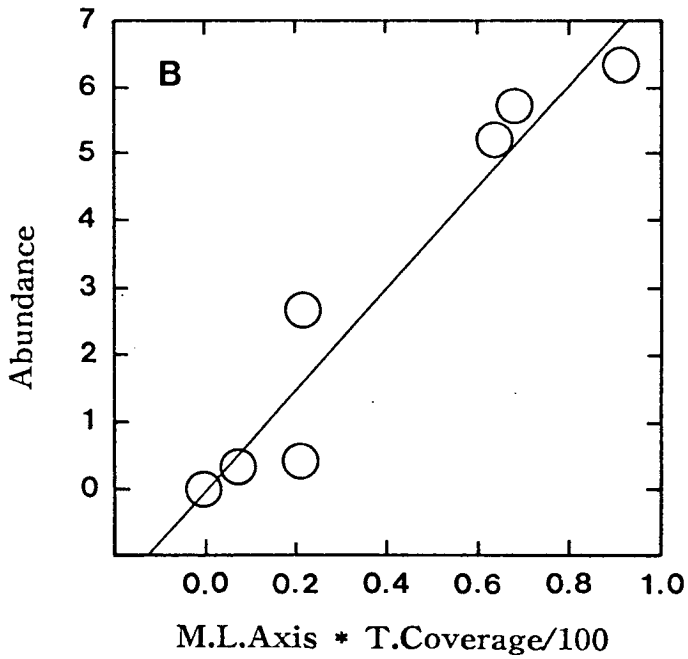
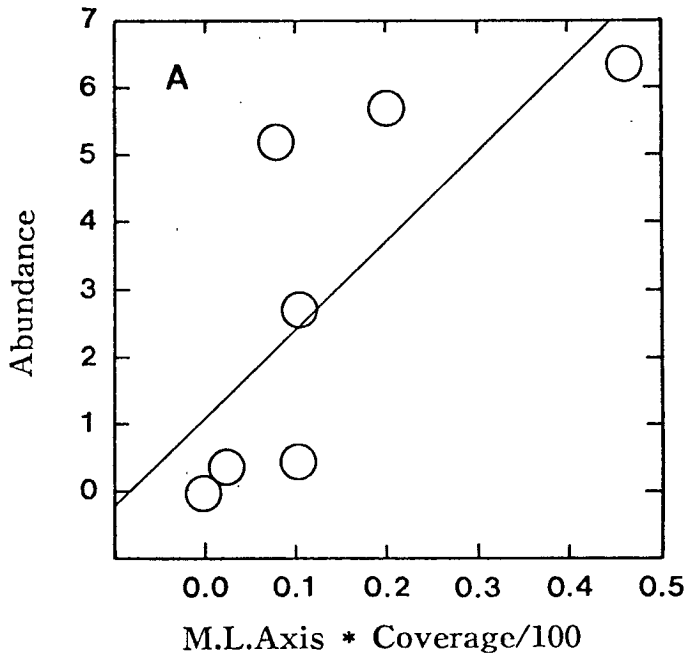


Fig. I-23. Relationship of coverage (A) and total coverage to abundance of Mn-nodules (B), based on mean long axis of nodules after Handa-Tsurusaki method.

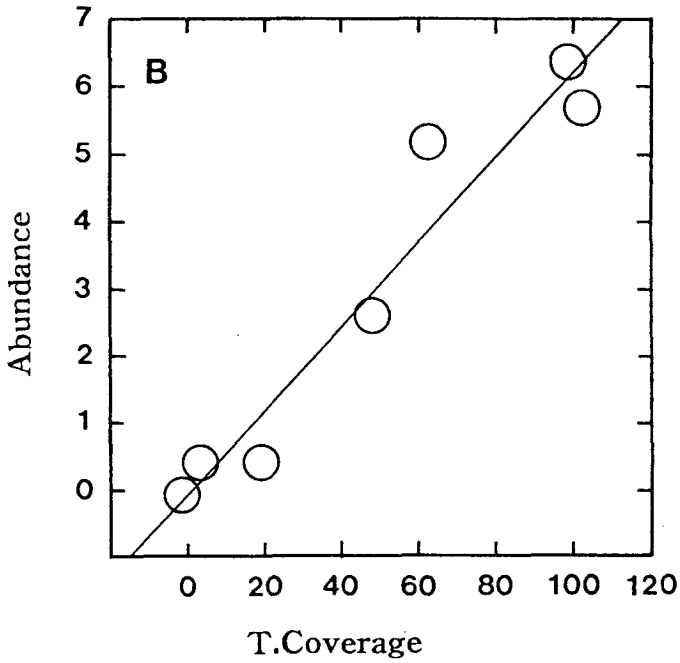
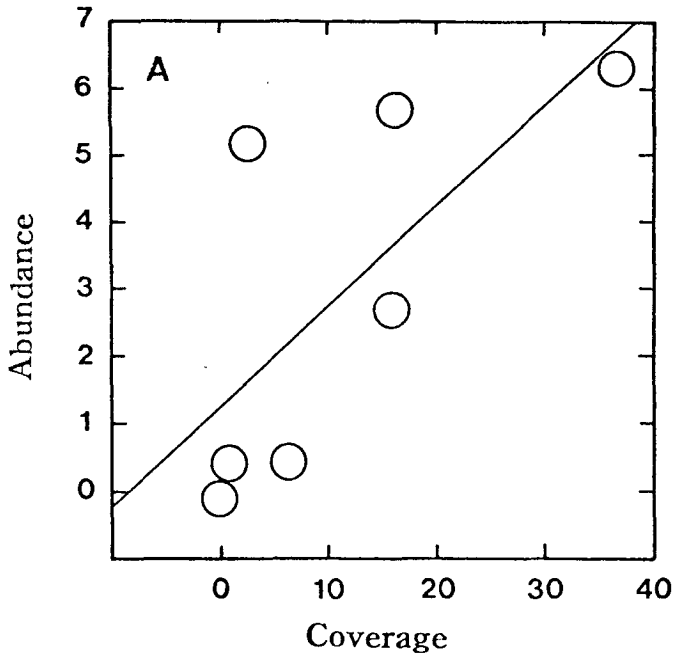


Fig. I-24. Relationship of coverage (A) and total coverage to abundance of Mn-nodules (B), based on the volumes converted by the area of nodules.

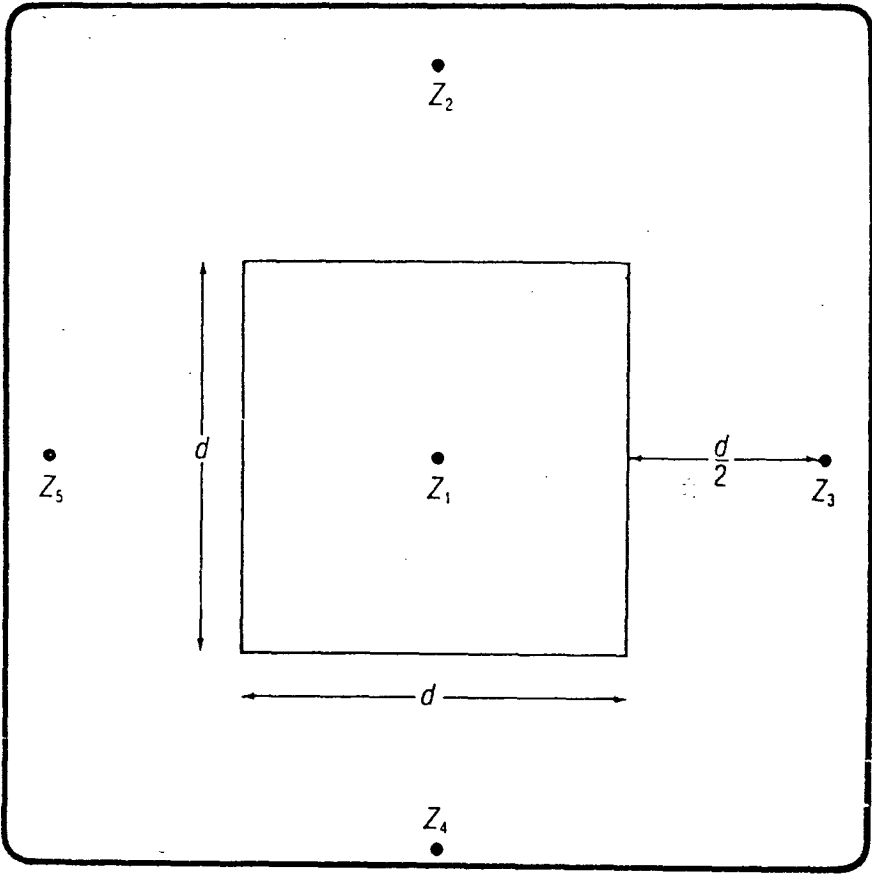


Fig. I-25. Geometry of divided block in ore reserve estimation.

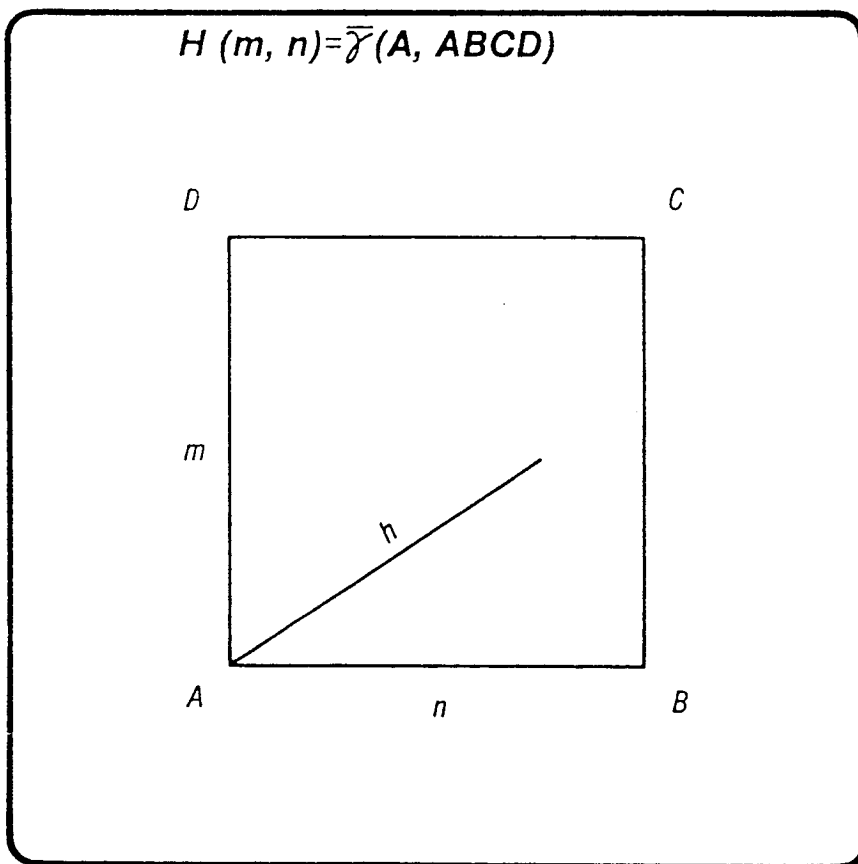


Fig. I-26. Diagram presenting the calculation of variance in the unit block by using Kriging method.

Part II

多重 빔 探查技術 分野

분야 연구책임자 : 李 庸國

연구 원 : 具 本寬, 金 聖烈, 朴 建泰,

石 奉出, 章 在慶, 鄭 白勳,

연구 보조: 金 誠愛

第 1 章

온누리호 SeaBeam 2000 (Multi-Narrow Beam Echo Sounder)

第 1 節 序 論

심해저 鑛物資源의 開發에 있어서 海底面 情報(狀況 및 水深)의 精確性의 向上은 字源의 開發이나 環境變化에 대한 豫測을 위해서 그 重要性이 매우 크다. 특히 1990년대 들어 海底面에 대한 音響遠隔探査 측면에서 해저면 정보의 精確性은 더욱 그 重要性이 高潮되고 있는 現實이다. 音響을 이용한 원격탐사 기법 研究는 最近들어 先進 海洋國의 重要한 研究課題(Farr,1980; Tyce, 1986)이며 그 개발에 박차를 가하고 있다. 해저면 정보(상황 및 수심)에 대한 調查裝備 開發은 1960년대에 軍士目的下에서 最初로 시작되었다. 1970년대 후반에 들어 商業化(字源開發) 및 科學調查裝備로 이용되었는데, 이 시기의 주된 利用目的은 海底面의 形態, 構成物質의 比較등 해저상황(De Moustier, 1986)에 그 초점이 주로 맞추어져 Deep Tow Side Scan으로 발전하였으며, 多衆音波 探査에 대한 연구는 그 異論을 背景으로 하여 求刑의 SeaBeam으로 이어졌다. 1990년도에는 求刑 SeaBeam의 Beam을 좀더 細分화하고, 각 走査資料에 대한 소프트웨어적인 처리를 한층 보강하여 해저면상황(Side Scan Image)과 수심정보를 동시에 알수 있도록 SeaBeam 2000 시스템으로 개발되었다. 이러한 다중 빔에 의한 음향장비의 발달은 컴퓨터의 급속한 發展과 並行되어 현장의 運營, 造作은 물론 後處理에 대한 모든 과정이 컴퓨터화 되어 그 이용 영역 및 사용을 원활히 하는 것은 물론 後처리(Post-Processing)의 條件이 極大化 되었다.

尖端의 다중 해저수심측정 시스템은 SeaBeam 2000(1991년 후반 1호 장비 裝着)에서 비롯되었는데, 이 장비는 1992년 韓國海洋研究所 綜合 海洋調查船 “온누리호”에 裝착(제 2호 장비)되었고, 온누리호의 다중 채널 수심측정장비는 最近까지 심해저 광물자원개발 및 環境조사에 필수 불가결의 장비로 이용하여 왔는데, 이는 조사에 따른 經濟的인 觀點을 고려한 最新의 調查方法으로 潛在鑛物의 海底表層에 대한 密度의 判斷과 調查方法 및 人件費등이 점차로 비싸지는 것을 고려한 世界的인 趨勢로 볼 수 있다. 즉 最近의 경향에 비추어 보면, 다중채널 수심측정기인 SeaBeam (또는 SeaBeam 2000)을 이용

한 잠재광물에 대한 음향원격탐사법(Acoustic Remote Sensing)의 응용은 經費切感은 물론 광범위한 지역에 대한 빠른조사(평균선속 10 - 15 노트)를 수행할 수 있다.

온누리호에 장착 이용되고 있는 SeaBeam 2000을 이용한 음향원격탐사는 물론 Side Scan Image를 만드는 각 Beam 내의 신호를 좀더 세분화하고, 그 자료에 대한 처리 소프트웨어(또는 처리 시스템)에 대한 연구는 해저면 상황(Side Scan Image)과 水深資料를 동시에 알 수 있도록 고안되어 있다는 이점을 최대한 활용할 수 있다. 計數化자료 수록 시스템(Digital Data Logging System)의 보강은 후처리(Post-Processing)에 대한 자료의 극대화가 이루어져 여러 방면(精密 地形圖 作成, 精密 海底面 狀況圖, 망간分布圖 등) 자료 해석이 가능할 것이다. 따라서 본 연구에서는 수신 계수화자료의 처리결과 극대화를 위하여 1차년도에는 주로 지형의 분석을 위한 처리 시스템의 구축 및 그 결과를 제시하였고, 2차년도에는 1차년도의 基本 理論調査에 입각한 음파 자료를 이용한 遠隔探查法의 適用과 3차년도의 應用 適用으로 構成하였다.

제 2 절 SeaBeam 2000의 하드웨어 構成 및 機能

온누리호의 SeaBeam 2000은 12KHz의 周波數 特性을 보이는 28개의 음원발생기(Projector)를 동시에 동작시켜, 84개의 수신기(Hydrophone)로 부터 海底面에서 反射 되돌아오는 信號를 受信하여, 調査船의 航路를 중심축으로 그 垂直方向에 대한 일정한 폭(90 ~ 120°)의 수심을 동시에 측정한다. 컴퓨터에 의한 기록장치에는 조사선의 항적 및 수심에 대한 등고선을 실시간으로 나타낼 수 있을 뿐만이 아니고, 후처리에 필요한 각종 음향정보를 기억할 수 있는 컴퓨터 일체식의 다중 음향측심기(Multi-Narrow Beam Echo Sounder)이다(SeaBeam Inst., 1993).

SeaBeam 2000은 크게 Underhull Array, Transmitter Rack, Receiver Rack, Data Processor Rack, Peripherals, Motion Sensor등의 5가지 하드

웨어로 구성되어 있는데, 각각은 다음과 같이 구성되어 있다(Fig. II-1).

- Underhull Array : 조사선의 선저하부에 장치된 음파의 發信 및 受信部를 이루며, 발신부는 28개의 발신기의 組合으로 坪低船의 방향으로 놓여져 있으며, 수신부는 84개의 수신기의 조합으로 조사선의 좌,우현 방향으로 선수 쪽의 Dome 내부에 장착되어 있다. Dome의 내부는 음파의 매질을 물로 사용하고 있는데, 일반적으로 淡水 또는 海水로 채워져 있고 Hydrophone을 生物로 부터 보호하기 위하여 담수를 주로 사용한다.

- Transmitter Rack : 음파의 발신을 제어하는 모듈로서 필요한 에너지를 발생시키는 장치이다. Host-Computer에 의한 구동신호를 입력받으면 VRU(Vertical Reference Unit)으로 부터 Pitch, Roll, Heave에 대한 정보를 입력 받아 Pitch Compensator에서 Doppler Shift의 영향을 보정하고, 출력된 증폭단에서 증폭되어 Porjector를 통해서 방출된다(Fig. II-2).

- Receiver Rack : 발신음파를 수신하는 수신부를 제어하는 모듈로서 Host-Computer에 의해서 제어되며 Control Mainframe(2A2), 3개의 DBBT Mainframe(2A2 - 2A5; Array Processor Board(DSP 장착))로 구성되어 있고, 각 DSP(Digital Signal Processor)는 Host 컴퓨터로 부터의 명령에 따라 A/D(Analogue/Digital)하여 자료를 전송한다(Fig. II-2). 특히 음파의 入力 部分은 트랜스포머를 통하여 하이드로폰과 結合되어 있으며, 최대 이득 151 dB까지 조절할 수 있고, 대역폭(Bandwidth), 최종이득(Overall Gain), TVG(Time Varying Gain)등은 소프트웨어에 의해서 제어된다.

- Data Processor Rack : 컴퓨터로 이루어진 모듈로서 2대의 미니컴퓨터(Micro-VAX 4000-200)와 신호의 발신부 및 수신부를 제어하기 위한 1대의 486급의 컴퓨터(Host 컴퓨터)로 이루어져 있는데, 미니컴퓨터의 경우 LAN(Local Area Network)으로 연결되어 있어 1대는 보조 컴퓨터의 개념으로 고장시의 대체 컴퓨터와 현장에서의 간단한 후처리를 할 수 있도록 고안되어있다(Fig. II-2). 제 1 컴퓨터는 음파신호 제어용 컴퓨터(Host Computer)와 近距離 通信網으로 연결되어 있어 실시간의 자료의 송신, 수신 및 저장을 수행한다. 제 2 컴퓨터의 경우는 제 1 컴퓨터 시스템으로 부터 음

겨진 자료에 대한 후처리의 기능을 수행하게 되며, 제어용 컴퓨터의 수행 능력에 비추어 현장 실시간 명령의 접수 및 수행은 제 1 컴퓨터에 의해서 이루어진다.

- **Peripheral** : 컴퓨터에 의해 수행된 명령 또는 처리된 결과를 導出하기 위한 주변장치를 말하며 테이프 유닛과 프린터 유닛으로 나누어진다. 특히 프린터의 경우 위치정보와 2차원의 해저지형을 동시에 나타내는 대형 프린터와 해저의 2차 地形만을 나타내는 소형 프린터로 구성되어 있다. SeaBeam 2000의 가장 큰 장점으로서는 빔 자료의 位相差에 의한 Side Scan Image를 수식에 의한 導出이 가능하여 이에 대한 기록계로 EPC-9701VT 레코더로 구성되어 있다.

- **Motion Sensor** : 빔자료 정보의 정밀성을 향상시키기 위한 장치로 조사선의 정중앙부에 위치하며, 주로 피칭 및 롤링, 위치정보등을 정확하게 제어용 컴퓨터에 전송하여 하드디스크에 수록은 물론 실시간처리의 입력자료로 사용하며, 후처리시의 중요한 자료로 이용된다.

각 부분에 대한 주요 기능은 Table II-1, 2, 3, 4에 자세하게 나타내었으며, 온누리호 SeaBeam 2000의 경우 수심의 변동에 따른 빔(최소 61개에서 최대 121개)의 수를 변경하며 자료를 획득하고, 이때에는 주사빔의 형태를 달리하여(Fig. II-3) 천해 및 심해에서의 측정 정밀도를 향상시킨다. 또한 Porjector Array, Hydrophone Array등이 모듈화로 구성되어 있어 장비의 點檢이 용이한 장점과, 송신출력의 크기, 빔폭, 수신 증폭기 이득등이 소프트웨어로 제어되는 병렬처리 방식을 사용하여 모든 기능이 실시간의 처리가 가능하다.

제 3 절 SeaBeam 2000의 소프트웨어 구성

온누리호 SeaBeam 2000의 소프트웨어는 크게 음파신호의 제어, 수신신호의 실시간처리 명령 및 획득자료의 정밀처리를 위한 후처리등 크게 3가지로 나눌수 있다. 제어 및 실시간 명령은 주로 현장에서 이루어 지며 후처리의 경

우 위치자료의 再編輯, 음파자료의 수정등 일련의 간단한 작업은 주로 현장에서 이루어 지고, 최종의 탐사용 정밀도면이나 해저 지형도등을 만드는 일련의 작업은 주로 실험실의 컴퓨터에 의해서 수행된다.

1. SeaBeam 2000의 음파신호 제어

實海域의 조사시 현장에서 전원의 공급 및 시스템 준비가 완료된 후 수행되는 최초의 명령으로 주로 음파신호의 발신, 수신을 制御하기 위한 명령으로 음압의 크기, 발신수신의 시간간격 조절등의 제어 명령으로 구성되어 있다. 대부분의 명령 항목은 기계적 특성에 따른 이미 결정된 값을 변수값(Parameter's Value)으로 하고 있으며 몇 개의 현장 여건에 따른 변수값의 변경이 가능하도록 되어있다. 특히 수신 빔의 크기에 따른 적절한 조절은 Side Scan Image에 큰 影響을 미치게 된다. 발신 및 수신 신호의 적절한 제어는 최초의 原始資料의 質을 결정하게 됨으로 각 변경 변수값의 의미를 파악 운영하는 것이 필요하다. 음파의 제어에 필요한 명령은 다음과 같이 구성되어 있다(Fig. II-4).

- Sonar System Parameters : SeaBeam 2000의 현장 운영시 기계적으로 고정된 장비의 특성에 따른 音波特性 變數를 결정해 주는 명령으로 下位의 4가지 명령으로 구성되어 있다.

- System Mode Control : 최초의 가동 상태 및 음파의 발사, 자료의 수집등과 시스템의 정지등에 관계되는 명령으로 Idle, Survey, Roll Bias, Shutdown으로 구성되어 있다.

- Sonar Display Menu : 수신신호에 대한 제어 명령이 주를 이루고 있으며, Host 컴퓨터에 표현되는 파라메타를 변경하는데 이용된다. 특히 SeaBeam 2000의 가장 큰 특징인 Side Scan Image를 제어하는 명령이 포함된다.

- Signal Processing Parameters : 발신 및 수신 신호의 처리에 필요한 명령으로 이의 적절한 조절은 獲得 資料의 質에 큰 영향을 미친다.

- **Master Status Select Menu** : 시스템의 운영 중 필요한 정보를 인식하기 위해 표시 여부를 결정하는 명령으로 대부분 현장에서의 시스템 상태등의 확인에 필요한 명령이다(Fig. II-5).

- **Receiver Menu** : 발신 신호에 대한 수신에 적절한 대역폭 및 각종 변수를 결정하는 명령으로 주로 수신 신호에 대한 수신 대역폭을 결정한다.

- **Real Time Diagnostic Menu** : 모든 내부적인 처리에 대한 시간의 통일등을 위한 명령으로 실제로 최초의 機動時 확인하고 각 장비에 대한 시간의 일치가 이루어져야 한다.

2. SeaBeam 2000의 컴퓨터 운영

음파신호의 제어에 따라 수신된 음파는 1차로 486급의 컴퓨터(호스트 컴퓨터)에 의해서 제어되는 DSP(Digital Signal Processor)의 실행에 의해서 아날로그 신호를 계수화(Digital)하여 내부의 함수화된 모듈의 처리를 거쳐, 산출된 실제의 조사값들을 조사선의 運營情報(위치정보 및 Motion Sensor 정보)와 함께 실시간처리를 위한 VAX 시스템으로 轉送된다. 이때 MicroVAX 4000-200 시스템은 VMS Operation상에서 일괄처리화일 (Batch Processing)의 實行에 의해서 주로 실시간처리가 이루어 지게 된다. Host 컴퓨터는 주로 송신 및 수신에 제어에 관계되는 프로그램이 운영되는 것에 비해 VT-1300 모니터에 의한 수신신호의 制御 部分은 자료의 정리, 기억, 보관, 결과의 도출(주변 기기운영, 플롯터의 작동 등)이 주로 이루어 진다(Fig. II-6). 모든 명령이 DCL(DEC Command Level)에서 이루어 지는 명령으로 구성되어 있고, 다음의 一括處理(Batch Processing) 화일의 선택에 의해서 수행된다(Fig. II-7).

- **Display** : 송수신에 따른 자료처리 결과를 현재의 모니터상에 표시하고 조사선의 航跡 및 목적지까지의 거리 등이 조타실의 모니터상에 나타내게 하는 명령으로 구성되어 있다.

- **Startup** : 자료의 획득 후 수록환경을 결정하기 위한 명령으로 이 명령의 실행은 자료의 보관영역과 수록방식등이 결정된다.

- **Configuration** : 시스템내에서 처리된 결과자료를 제어하는 명령으로 주로 화일의 관리 및 시간의 결정등에 대한 명령으로 구성되어 있다.

- **Plotter** : 시스템의 운영 중 결과에 대한 導出에 대한 명령으로 주로 Plotter의 제어를 수행한다. 圖面의 크기, 영역, 수심 표현폭의 결정등에 필요한 명령으로 구성되어 있다.

- **Shutdown** : 작업의 完了와 같은 컴퓨터 시스템상의 프로그램 운영등을 中斷하기 위한 명령으로 이루어져 있다.

- **Archive** : 획득자료의 後처리 환경을 위한 명령으로 자료보관 및 Backup등을 수행한다. Reel Mag/Tap, 카트릿지, 네트워크를 통한 자료의 전송등을 수행하며, 기존의 테이프 수록 자료를 다시 컴퓨터로 입력시키는 명령등이 수행된다.

- **Filemgr** : 시스템의 운영중 발생하는 수록 화일의 이름변경, 테이프 수록을 위한 환경 확인, 다음의 작업을 위한 하드디스크의 용량 확보등에 필요한 명령을 수행한다.

第 2 章

獲得音波 資料의 後處理(Post-Processing)

第 1 節 現場 獲得資料의 後處理 命令

현장에서의 資料獲得(하드디스크의 수록, 마그네틱 테이프의 수록 등)(Fig. II-8) 후 MicroVAX 시스템에 의한 후처리 운영은 그림의 재도출, 자료의 오차수정, 자료의 평균, 지도의 제작, 格子화일의 구성등으로 이루어진 비교적 간단한 소프트웨어로 구성되어 있는데, 1차로 처리된 자료는 2次元 또는 3次元으로 표현하기 위한 처리는 주로 실험실의 컴퓨터에 의해서 이루어진다. 다음의 명령은 주로 현장의 補助컴퓨터인 Micro-VAX 시스템의 내장 명령으로 실험실에서의 정밀한 처리 이전에 이루어진다. 주로 概括的인 傾向이나 特定한 지역을 분리하기 위하여 이용되며 資料質 判斷을 위한 處理과정이다 (OMC, 1991).

- AVERAGE : 원시 획득자료의 평균
- CHART : 格子地圖 그림의 제작
- CONTOUR : 2차원에 의한 자료 생성
- EXAMMB : ASCII, Binary 화일 Editor
- FINDTIMES : 획득자료의 시작, 끝시간 및 위치 정보확인
- GRIDDER : Binary 형태의 그리드화일 생성
- GRIDPRINT : ASCII 형태의 그리드 화일 생성
- MAPPER : Gridder 화일결과 導出
- NIBBLER : Gridder 화일내용 중 일부 제거
- REMERGE : 위치자료 수정 후 빔자료와 再結合
- SPLITMERGE : Remerge의 일부 수행
- STRIPNAV : 위치자료의 誤差修正 후 재 구성
- SUBGRID : Grid 화일의 지역별 재 구성
- TRACK : 위치자료의 導出

第 2 節 實驗室內的 後處理

온누리호 SeaBeam 2000의 컴퓨터 시스템은 VAX 시스템의 VMS 運營體系에 의해서 이루어 진다. 이러한 體系下에서의 자료의 형태와 한국 해양연구소의 컴퓨터 시스템의 운영체제인 Unix 운영체제하에서의 자료 구성 형태가 일부 달라지는 관계로 이에 대한 자료의 형태 통일을 위한 Fig. II-9의 소프트웨어를 이용하여 재 編輯을 실시한다. 특히 현장의 자료보관은 대부분 VAX VMS상의 Backup 명령하에서 수행되므로 반드시 자료의 재구성이 필요하다. 재구성 자료는 原始資料가 지니고 있는 시스템의 운영정보 및 각 빔(1 Ping 당 121개의 자료로 구성)의 특성을 그대로 지니게 되며 원시 자료의 형태가 Head 부분은 ASCII, 자료부분은 Binary 형태로 구성되어 있는데 비해 1차의 재구성자료는 Head, 자료부분이 공히 ASCII 형태를 이루게 된다.

第 3 節 1차 처리의 SeaBeam 2000 資料形態

SeaBeam 2000의 원시자료화일은 Head 및 빔으로 부터 획득된 자료로 구성되어 있는 데 원시자료의 형태와 1차 재구성된 자료의 Fotran 형태의 자료 구성은 Fig. II-10과 같다. 각 자료는 시스템의 운영 및 산출된 결과로서 후처리 과정에서 반드시 參照되어야 하는데, 개략적인 화일의 내용으로는 시간, 위치, 방향, 속도, 피칭, 롤링 및 음파의 이득(Gain)등에 관한 정보가 화일의 Head에 구성되어 있고 자료의 부분은 각 빔의 수평거리, 최종 산출된 중심자료, 아날로그 신호를 진폭 Spectrum(Fast Fourier Transform)한 음압, 및 각 빔의 산출을 위해 이용된 자료의 갯수등을 포함하고 있다. 1차의 재구성화일 자료는 ASCII 형태를 유지하므로 후처리를 위한 환경의 변화에도 자료의 적용폭이 넓다. 특히 小規模의 海域에 대한 처리시에는 개인용 컴퓨터에 의한 처리가 가능한 편리한 利點이 있다.

第 3 章

結 果

第 1 節 後處理에 의한 2次 및 3次元 表現

Fig. II-11은 1992년 5월 4일 태평양 심해저 탐사활동 중 획득된 온누리 호 SeaBeam 2000의 자료로서 북위 $8^{\circ} 10.023'$ 서경 $136^{\circ} 28.032'$ 을 중심으로한 14.7×21.7 Km의 해저면에 대한 현장의 實時間 處理 結果이다. 이 자료는 1차의 재구성을 실시하여 音壓의 異常置와 기록의 南北에 나타나는 잡음을 除去한 후 2차의 圖面으로 재 처리 하였다(Fig. II-12). Fig II-11에서는 각 빔의 位置補正處理가 안되어 조사선의 進行方向에 대한 歪曲은 물론 각 빔의 위치 精密度가 떨어지는데 이 자료를 1차로 재구성하고, 중앙빔(Centered Beam)의 위치에서 좌현 및 우현의 121개 빔위치를 재 수정하였다. 座標界는 주로 UTM(Universal Transverse Mercator)의 Northing(Y) 및 Easting(X)을 이용한 각 빔의 고유한 위치(NOAA, 1987)로 계산하였고(Fig. II-13), 이때의 각 빔은 수심 약 4,800m에서 대략 80-100m의 해상도(Resolution)를 각각 나타낸다. 약 100m의 해상도는 자료의 보관 및 DataBase에 수록할 수 있는 格子망의 자료형태를 결정하게 되는데, 최소 100m의 격자망은 자료의 정밀도를 잃지 않는 최소 단위를 의미한다. 세계적으로 수심등의 자료의 최종적인 형태는 격자망 형식으로 구성하기 때문에 이에 대한 후처리를 위한 기존의 개발된 소프트웨어나 새로 개발될 프로그램의 내용을 통일시킬 수 있는 잇점이 있다. Fig II-14, 15, 16, 17은 이러한 격자망의 자료를 이용한 3차원 표현으로 수심별의 색상 표현은 물론 동(14), 서(15), 남(16), 북(17) 방향에서 주시한 표현으로 대상되는 해저면의 상태에 대한 정밀 분석이나 전체 해저지형의 파악에 매우 중요한 자료로서 이용된다.

第 2 節 SeaBeam 2000에 의한 망간團塊의

遠隔探查技法의 背景

본 절과 3절에서는 주로 音響遠隔探查 技法에 대한 기본적인 理論을 기술

하였는데, 이에 대한 구체적인 적용 연구는 2차년도 및 3차년도에 단계적으로 추진되어 SeaBeam 2000에서 얻어진 음파자료를 이용한 구체적인 결과를 도출할 예정이다.

대부분의 심해저 環境하에서의 망간 노들에 대한 탐사기술은 음향원격탐사(Acoustic Remote Sensing), 사진 또는 TV, Bottom Sample에 의한 방법이 주를 이루고 있거나 각 방법의 적절한 調合에 의해서 수행된다. 특히 최근 들어서는 심해저 環境하에서의 노들의 推定을 위한 두가지의 음향 원격탐사기법에 의한 조사가 이루어지고 있는데, 첫번째는 單一 周波數 즉 高周波(100 kHz 이상) 해저면 탐사장비(Deep Tow Side Scan Sonar)를 해저면의 가까이에서 牽引하는 방법에 의한 직접적인 매장량의 추정과 해저지층 탐사장비에 의한 층의 깊이와 노들의 매장량(Nodule Abundance)과의 相關關係를 구하는 방법이고, 두번째로는 여러 周波數(Multi-Frequency)를 이용하여 해저면으로부터의 音響反射에 기인되는 反射周波數에 따른 매장량 및 노들의 크기를 推定하는 방법으로 크게 나눌수 있다.

두가지 방법 공히 해저면의 구성물질에 따른 반사도(Reflectivity)에 대한 정밀값 또는 실제값에 대한 근접됨을 그 前提로 하고있다. 이미 대부분의 심해저 개발에 참여한 국가에서는 많은 자료를 근거로한 自國 特有的의 變數에 대한 常數값을 지니고 있는 현실이다. 그러나 최근들어 다중 빔에 대한 연구가 시작되고 있고, 특히 SeaBeam의 경우에도 단일 주파수(12.5 kHz)에 의한 주사면(Swath Area)과 각 빔과 해저면의 구성물질과의 상관관계를 구명하기 위해서 연구를 시작하고 있다. 각 수신 채널별의 주파수 분석은 물론 수심측정 장비나 지층탐사기의 계수화 자료를 동시에 이용한다면 다중 채널의 기법에 의한 해저면 노들과의 관계 연구를 시작했다.

第 3 節. SeaBeam 2000의 正中央 빔(直下方)의 音響反射度

Multi-Narrow Beam의 특성을 갖는 SeaBeam 2000에서 직하방에 대한 입사 음파만을 고려한 후방산란 및 반사파의 특성을 유추할 수 있다. 즉 SeaBeam 2000은 12 KHz(12 cm의 파장)주파수를 갖고 있으며, 수심을 약 4,500m(노들의 분포 지역)로 가정한다면, 음파의 파두면(Wavefront; 곡률반경)이 해저면에 도달했을 때는 파두면은 거의 평면일 것이다. 이러한 가정하에서 平面音響波(Plan Acoustic Wave)의 強度(Intensity)는 音壓(P)과 다음의 관계가 있다.

$$I = P^2 / (D \times C) \text{ -----(1)}$$

여기서 D는 매질의 密度, C는 음파의 傳達速度(Propagation Velocity)이고, (D x C)는 매질의 音響抵抗特性(Acoustic Impedence)이다. 특히 여기서의 음압 P는 平均壓力을 의미하며 일반적으로 시간에 대한 積分率로 나타낼 수 있다.

만일 I₀를 음원으로 부터의 단위길이에 대한 음의 강도(Intensity of Sound)라고 한다면 거리(깊이, Depth) r인 해저면으로부터의 반사된 음의 강도(I)는 다음으로 나타낼 수 있다.

$$I = I_0 R^2 (e^{-2ar} / (2 r)^2) \text{ -----(2)}$$

여기서 a는 exponential attenuation coefficient이고 r은 Rayleigh reflection coefficient이다.

그러나 (2)에서 반사파가 散亂보다 크다고 본다면, 평면파에 대한 두 매질 사이의 垂直入射波의 Rayleigh Reflection 상수 R은

$$R = \frac{D_2 C_2 - D_1 C_1}{D_2 C_2 + D_1 C_1} \text{-----} (3)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 D 및 C는 두 매질의 밀도 및 음속을 나타낸다.

(3)에서 매질 1은 海水, 매질 2는 堆積物 또는 노들로 볼 수 있으며, 우변 항의 의미로 에너지의 消耗를 알 수 있다. 이는 음원으로 부터의 거리에 따른 指數函數的 감소(Exponential loss)를 의미하며, 음의 강도는 幾何學的 擴散(Geometric Spreading)에 따른 거리의 제곱에 비례하며 감소한다.

(2)의 양변에 $10\log_{10}$ 를 취한 音波式(Sonar Equation)으로 요약할 수 있는데, Sonar Equation은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$EL = SL - BL - TL \text{-----} (4)$$

여기서 $EL = 10\log_{10}I = \text{Echo level}$

$SL = 10\log_{10}I_0 = \text{Source Level}$

$BL = -20\log_{10}R = \text{Bottom Loss}$

$TL = 20\log_{10}(2r) + 20 a r \log_{10}R = \text{Transmission loss}$

위에서 (4)식은 퇴적물의 분류에 이용하는 반사계수를 결정하게 되는데, 대부분의 음향반사는 첫번째의 Fresnel Zone으로 부터 반사가 시작되고, Fresnel Zone은 해저면으로 부터의 거리에 따라 그 크기가 달라진다.

기존에 알려진 해저면의 Roughness(Rn)와 Wave Number(K)와의 다음의 $K \times Rn \ll 1$: Smooth Bottom, $K \times Rn > 1$: Rough Bottom, $K \times Rn = 1$: Smooth와 Rough(Clay, 1972)의 중간의 관계를 고려한다면, $K \times Rn = 1$ 인 경우에는 해저면의 Roughness를 고려할 면적(Ensonify Area)의 크기가 첫번째의 Frsnel Zone보다 충분히 작아서 대부분의 반사 성분은 입사파에 대한 제곱의 합에 의해서 표현할 수 있다. 이 의미는 海底損失(Bottom Loss)의 대부분은 입사면에 의해서 결정되며 SeaBeam 2000의 경우에는 수신시의 입사파의 帶域輻(Bandwidth)에 의해서 결정될 수 있다. 다시 Fresnel

Zone의 직경을 다음 식으로 표현하고 $d=(2 \times \lambda \times h)^{1/2}$, 여기서 λ 는 Wave length, h 는 선저와 해저면과의 거리 즉 깊이(수심)을 나타낸다. SeaBeam 2000의 경우 波長을 12 cm, 수심을 4,500m로 가정했다면 직하방에 대한 Fresnel Zone은 약 33 cm로 입사파의 대상 해저면이 충분히 첫번째의 Fresnel Zone에 비해서 작다고 본다면, 이는 해저면의 구성이 충분히 smooth하여 음향저항(Impedence)과 거의 유사하여 해저면 상에 놓여 있는 망간노들이 반사도에 따른 Impedence의 표현이 큰 對照(Contrast)를 보이며 나타날 것이다. 특히 이러한 類推를 뒤받침하는 堆積物에 대한 Impedence와 노들의 Impedence와의 관계는 많은 研究結果가 이미 나와 있으므로 이의 적절한 이용은 SeaBeam 2000의 음파를 이용한 음향원격탐사 기법을 노들의 분포와의 관계에 적용할 수 있다. 또한 SeaBeam 2000의 경우에는 수신기의 배열에 따른 위상차에 의한 海底面의 走査像(SeaBeam Side Scan Image)를 표현할 수 있어 각 빔에 대한 입사시간을 細分化한 계수화 자료의 획득은(이러한 계수화 자료는 수심의 측정에 뿐만이 아니고 위상차에 의한 파의 변형에 대한 Amplitude Spectrum에 의한 해저면의 음압차로 표현 할 수 있다.) 해저면으로 부터의 주파수 성분 및 반사성분에 대한 계수값의 추정이 가능할 것이므로 수신부의 配列角에 대한 파의 分離(Grazing Angle) 및 발신 수신에 따른 음압의 正格化(Normalization)등의 처리를 통한 走査入射(Swath Received Acoustic Signal)파의 재배열에 대한 연구에 중점을 둔다면, 이는 곧 면개념에 의한 해저면의 노들 분포와도 밀접한 관계에 있음을 알 수 있다.

일예로 Fig. II-18은 Fig. II-11에 대한 각 수신빔에 따른 전체 대상해역에 대한 음압을 2次元으로 표현한 것으로 단위는 dB의 단위이며 수심의 표현과는 다른 성격으로 그 해석을 할 수있다. 즉,정밀 조사구역에 대한 1차의 判斷基準이 될 수 있어 동일한 지역내에서도 相對的인 音壓의 비가 높은 곳을 선택적으로 集中 調査가 가능하다. 재 조사해역 및 집중조사 구역의 결정에 중요한 자료로 활용될 수 있다.

參 考 文 獻

Clarence S. Clay, 1972. *Acoustical Oceanography : Principles and Applications*. A Wiley-Interscience Pub. 1:545.

De Moustier, C., and M. Leinrock, 1986. Bathymetric Artifacts in Sea Beam Data : Hoe to Recognize Them and What Causes Them, *JGR*, V.91(B3), 3407:3424.

Farr, H. K., 1980. Multibeam Bathymetric Sonar : SEA BEAM and HYDRO CHART, *Marine Geodesy*, V.4(2),77:90.

NOAA Charting Reserarch and Development Laboratory, 1987. *General Catographic Transformation Package (GCTP)/II*. 1:30.
Ocean Mapping Center, 1991. *Postprocessing Program Reference DRAFT (for Aboard the ONNURI)*, 1:54.

Tyce, R. C., 1986. Deep Seafloor Mapping System-A Review, *MTS Journal*, V.20(4), 4:16.

SeaBeam Instrument Inc., 1992. *SeaBeam 2000 Bathymetric Swath Survey System Operation Manual (Prepared for KORDI)*, 1:92.

SeaBeam Instrument Inc., 1992. *SeaBeam 2000 Bathymetric Swath Survey System In House System Test Manual (Prepared for KORDI)*,1:152.

SeaBeam INstrument Inc., 1992. *SeaBeam 2000 Bathymetric Swath Survey System Hardware Technical Manual (Prepared for KORDI)*, 1:95.

Table II-1. Components and functions of transmitter rack

No.	Name	Function
1A1	Power Distribution	1) Provide 115VAC to the Pitch Compensator, LVPS, HVPS, and Blower. 2) Distribution Point from the LVPS and HVPS to the PA. 3) Prevent the LVPS from being de-energized if the HVPS Output voltage is higher than 18 VDC.
1A2	Pitch Compensator	1) Receive pitch, roll, and heave inputs from the ship's Hippy attitude sensor. 2) Send/receive data to/from the Host Computer.
1A3	8 PA(Power Amplifier)	1) Convert the Pitch Compensator TTL level PWM(Pulse Width Modulated) signals to a 286 Vrms, sinusoidal signal.
1A4	8 PA	
1A5	8 PA	2) Drive the 75 ohm piezoelectric transducer.
1A6	4 PA & LVPS(Low Voltage Power Supply)	1) Provide +15 VDC to the PA.
1A7	HVPS(High Voltage Power Supply) controller	1) Provide 0 - 150 VDC to the PA.
1A8	Blower Assembly	1) Circulate air inside the transmitter rack.
No.	Name	Function
2A1	Power Distribution	1) Provides a circuit breaker for controlling power for the entire rack. 1) GPIB remote interface with the Host computer. 2) Sequencing for the three A/D subsystem. 3) Interface for transmitting digitized data to the array processor. 4) System Calibration. 5) Control of the ICAR and DBBT channel.
2A2	Control Mainframe	
2A3	DBBT(Dual Base Band Translator) Ch. 1-Ch. 28	1) Ping Gain amplifier (0 - 45 dB, 3 dB step).
2A4	DBBT(Dual Base Band Translator) Ch. 29-Ch. 56	2) BandPass Filter(Center frequency : 12 KHz, Bandwidth : 75 - 1200 Hz, 75 Hz step)
2A5	DBBT(Dual Base Band Translator) Ch. 57-Ch. 84	3) Sample and Hold Amplifier, Mux, 12-bit A/D Converter. 4) Detect Overload 2(OVLD 2).
2A6	ICAR(Triple Channel Acoustic Receiver) Ch. 1-Ch. 42	1) 26.2 dB Preamplifier.
2A7	ICAR(Triple Channel Acoustic Receiver) Ch. 43-Ch. 84	2) TVG Amplifier(0 - 79.8 dB, 0.2 dB step) 3) BandPass Filter(Bandwidth : 3 KHz) 4) Detect Overload 0(OVLD 0), and Overload 1(OVLD 1).

Table II-2. Components and functions of receiver rack

No.	Name	Function
2A1	Power Distribution	1) Provides a circuit breaker for controlling power for the entire rack. 1) GPIB remote interface with the Host computer.
2A2	Control Mainframe	2) Sequencing for the three A/D subsystem. 3) Interface for transmitting digitized data to the array processor. 4) System Calibration. 5) Control of the TCAR and DBBT channel.
2A3	DBBT(Dual Base Band Translator) Ch. 1-Ch. 28	1) Ping Gain amplifier (0 - 45 dB, 3 dB step).
2A4	DBBT(Dual Base Band Translator) Ch. 29-Ch. 56	2) BandPass Filter(Center frequency : 12 KHz, Bandwidth : 75 - 1200 Hz, 75 Hz step)
2A5	DBBT(Dual Base Band Translator) Ch. 57-Ch. 84	3) Sample and Hold Amplifier, Mux, 12-bit A/D Converter. 4) Detect Overload 2(OVLD 2).
2A6	TCAR(Triple Channel Acoustic Receiver) Ch. 1-Ch. 42	1) 26.2 dB Preamplifier.
2A7	TCAR(Triple Channel Acoustic Receiver) Ch. 43-Ch. 84	2) TVG Amplifier(0 - 79.8 dB, 0.2 dB step) 3) BandPass Filter(Bandwidth : 3 KHz) 4) Detect Overload 0(OVLD 0), and Overload 1(OVLD 1).

Table II-3. Components and functions of data processor rack

No.	Name	Function
3A1	Power Distribution	<ol style="list-style-type: none"> 1) Distribute unregulated and regulated AC power for the entire rack. 2) DC Power supplies of the sonar processor, data processor assembly, 9-track tape drives, and VRU Power supply.
3A2	9 Track Magnetic Tape Driver	<ol style="list-style-type: none"> 1) Backup bathymetric sonar record(Depth, Crosstrack Data, Navigation, Sound Velocity, Current Operating Parameter, Average Echo Strength).
3A3	9 Track Magnetic Tape Driver (Spare, Mounted)	
3A4	Sonar Processor	<ol style="list-style-type: none"> 1) Real-time system control. 2) Obtain ship's attitude data. 3) Control timing and pulse length of the sonar transmitter output. 4) Control TVG, sampling and bandwidth of the sonar receiver. 5) Control hydrophone data, and beam data I/O for Array Processor. 7) Side Scan. 8) Array Processor software downloading at the system initialization. 9) Tracking depth changes, range gate control, and depth mode setting. 10) CRT display of depth profile, range gates, beam intensity and selected parameter. 11) Passing roll and pitch data from vertical reference unit to the Data Processor. 12) Passing depth profile data from the Array Processor to the Data Processor. 13) Loading shading coefficients to the pitch compensator at initialization and noting SHALLOW and the DEEP depth mode changes. 14) Loading shading coefficient to the Array Processor at initialization and noting SHALLOW and the DEEP depth mode changes. 15) TVG curve selection and receiver bandpass filter control at depth mode changeovers.
3A5	Data Processor	<ol style="list-style-type: none"> 1) Providing the user interface for display and data logging formats. 2) Interface with the ship's navigation data. 3) Storing sonar, navigation, and survey data to tape and disk. 4) CRT display of a section of the bottom with 3D perspective. 5) Controlling the real time contour and navigation plotters. 6) Controlling the helmsman's display.
3A6	Data processor (Spare, Mounted)	
3A8	Blower Assembly	<ol style="list-style-type: none"> 1) Circulate air inside the Data Processor Rack

Table II-4. Peripheral functional description of SeaBeam 2000 system

Name	Function
Contour Plotter(Zeta 912)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Real time hard copy bathymetric contour strip plot(25cm wide). 2) The center line is the ship's track. 3) Multiple color pens. 4) Chart scale, contour interval, and color interval are user selectable. 5) Tic Marks indicate downward slope. 6) Periodic navigation and time fixes are annotated.
Navigation Plotter(Zeta 936)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Ship's track and contours are plotted.(84 cm wide). 2) Chart scale selectable.
Printer(DEC L4210)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Printout of the navigation data. 2) Connected to the Data Processor via serial RS-232.
Operator Station	Graphic Terminal(VT1300)
	Text Terminal(VT420)
	Host Monitor (NEC JC-1404HVA Multisync VGA)
Helmsman Display (Lucas-DECCO ST3220)	<ol style="list-style-type: none"> 1) System booting. 2) Display real time WMS operating error. 1) Crosstrack profile of the latest swath. 2) Range gates and echo strength. 3) Display operating parameters.(ship's position and heading, ping period, date and time, and etc.)
Side Scan Recorder (EPC Model 9701)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Graphical picture of the ship's position in relation to the survey line being steered. 2) Displays heading of survey line, distance the ship is off the survey line(port or starboard), distance the ship has traveled along the survey line, distance remaining in survey line, vertical depth from sea beam 2000, and operational mode. 3) The display is driven from the Data Processor via a RS232-C port.
Side Scan Recorder (EPC Model 9701)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Pixel resolution : 3968 data point per scan line. 2) Gray scale dynamic Range : 23 dB(ie: 16 shades of gray). 3) Data is received from the Sonar Processor as four bits parallel digital data.

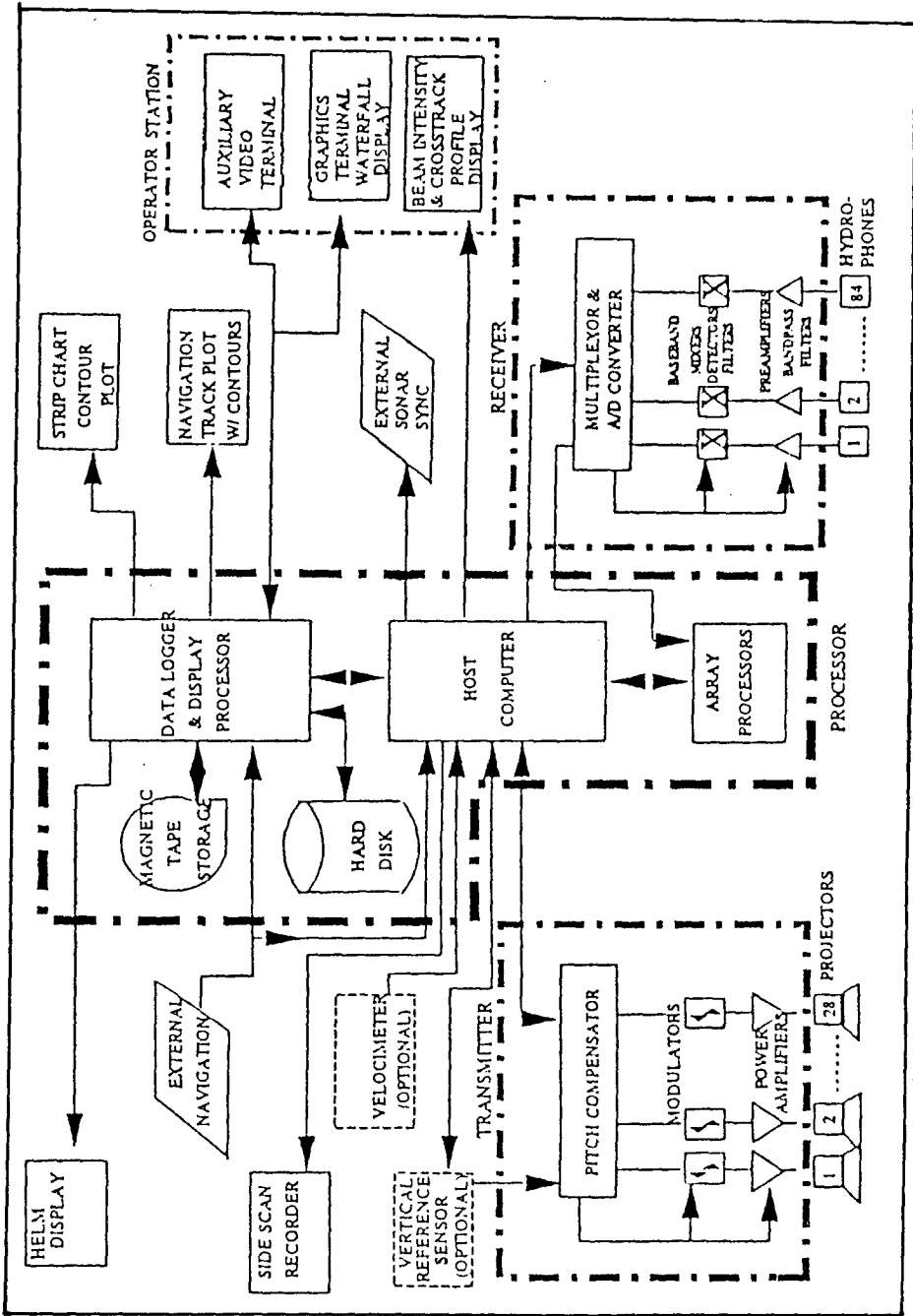


Fig. II-1. Block Diagram of ONNURI SeaBeam 2000 system

TRANSMITTER RACK	RECEIVER RACK	DATA PROCESSOR RACK
1A1 - Power Distribution Blank panel	2A1 - Power distribution	3A1 - Power Distribution
1A2 - Pitch Compensator	2A2 - Control Mainframe	3A2 - 9 Track Magnetic Tape Driver
1A3 - Power Amplifier Drawer	2A3 - Dual Base Band Translator(DBBT)	3A3 - 9 Track Magnetic tape Driver (spare, Mounted)
1A4 - Power Amplifier Drawer	2A4 - Dual Base Band Translator(DBBT)	3A4 - Sonar Processor
1A5 - Power Amplifier Drawer	2A5 - Dual Base Band Translator(DBBT)	3A5 - Data Processor
1A6 - Power Amplifier Drawer & Low Voltage Power Supply	2A6 - Triple Channel Acoustic Receiver(TCAR)	3A6 - Data Processor (Spare, Mounted)
1A7 - High Voltage Power Supply	2A7 - Triple Channel Acoustic Receiver(TCAR)	Blank Panel
Blank Panel	Blank Panel	Blank Panel
1A8 - Blower Assembly	Blank Panel	3A8 - Blower Assembly

Fig. II-2. Layout of ONNURI SeaBeam 2000 system rack component

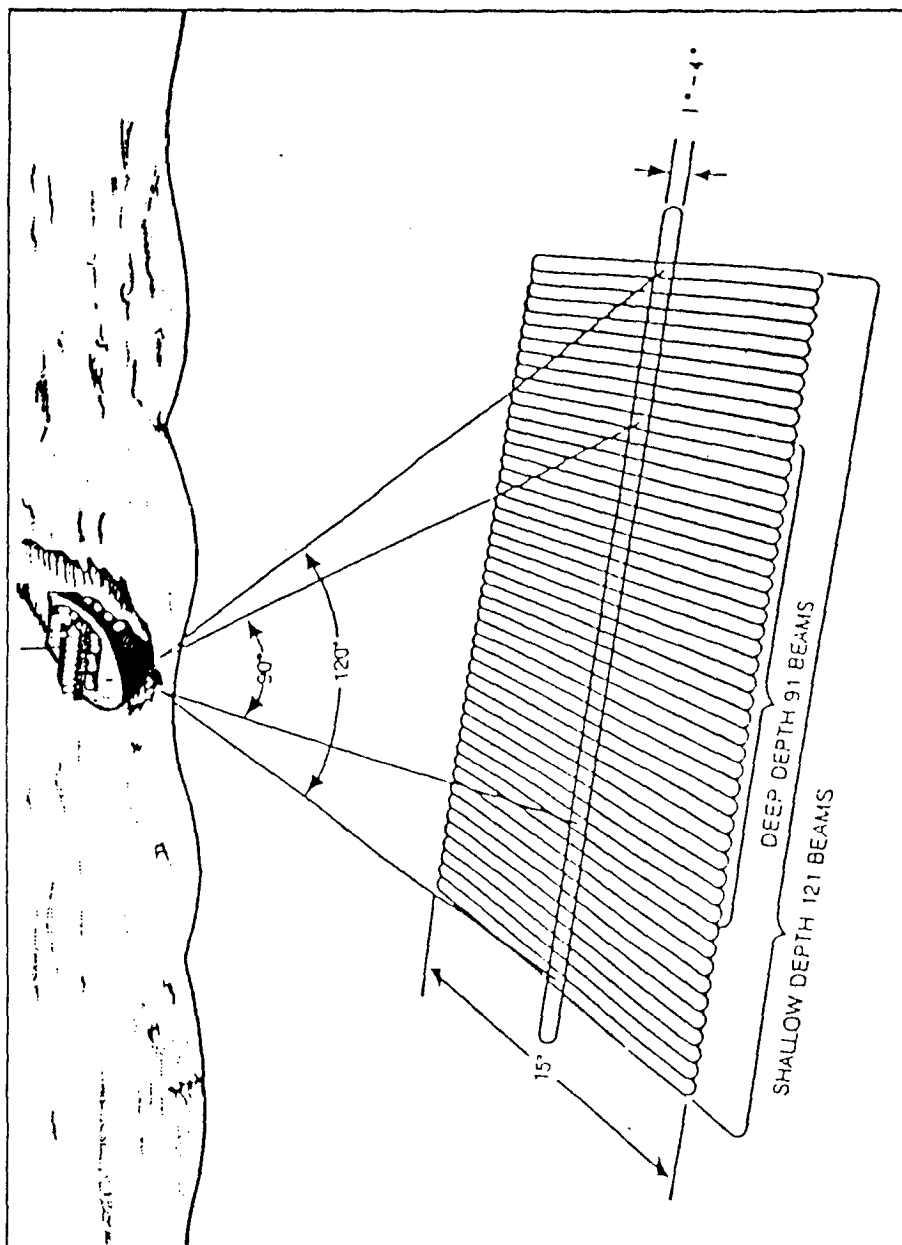


Fig. II-3. Pattern of acoustic Beams propagated from SeaBeam 2000.

ONNURI SEA BEAM 2000
SONAR OPERATION MENU TREE

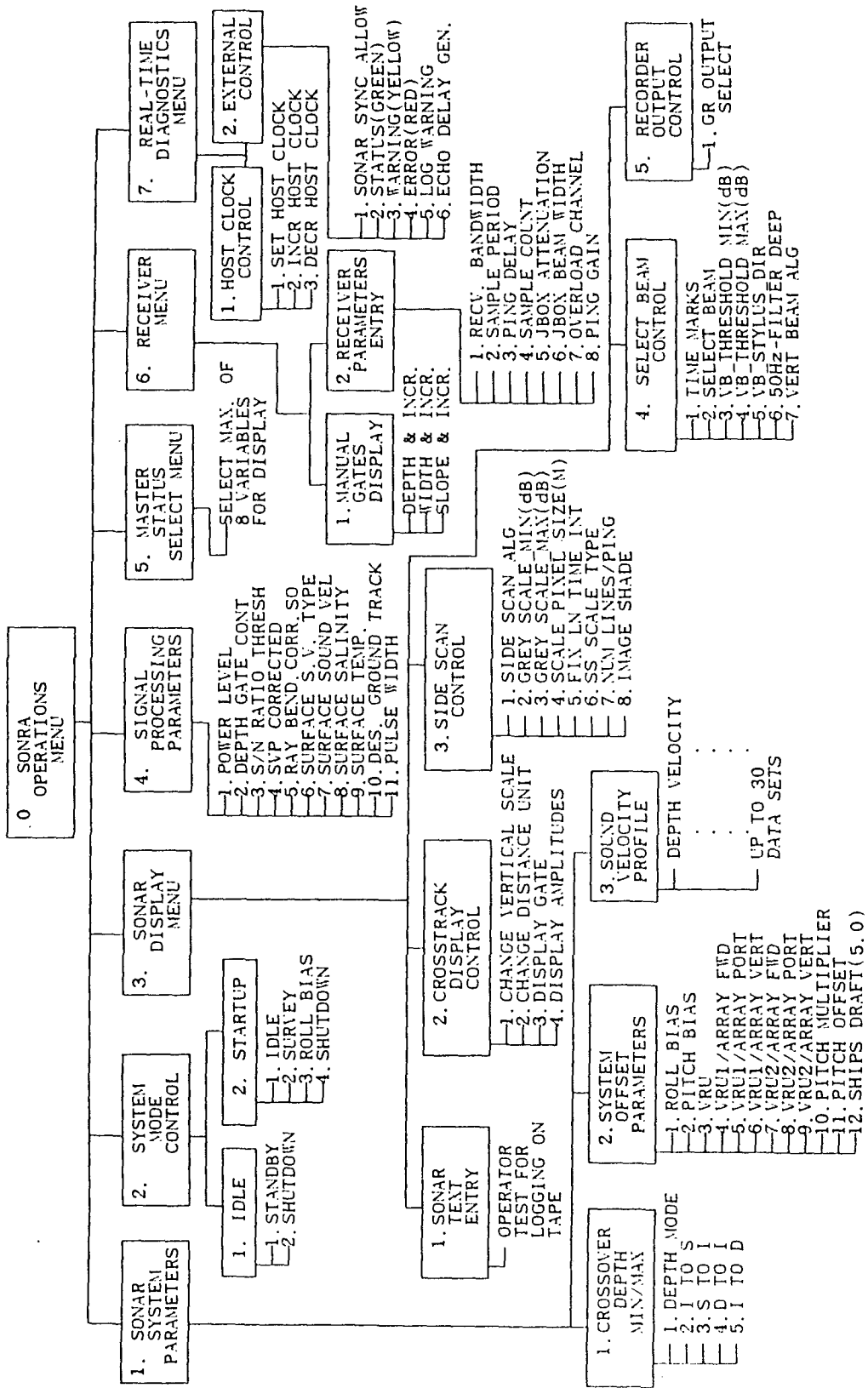


Fig. II-4. Operation menu tree of ONNURI SeaBeam 2000 system

Master Status Items	Contents
AP BAND WIDTH	The result is then passed through a low pass filter. The -3dB bandwidth of this filter is called the AP BAND WIDTH.
AUTOGATE PING CT	The number of pings processed under AUTO gate control.
CESIUM CLOCK DET	This flag is initialized low. At the first pulse of the cesium clock, this flag is set high and remains high.
COUNT XMIT	The number of characters in the responses received from the Transmitter.
CROSSOVER D TO I	Depth at which depth mode changes from Deep to Intermediate.
CROSSOVER I TO D	Depth at which depth mode changes from Intermediate to Deep(meters).
CROSSOVER I TO S	Depth at which depth mode changes from Intermediate to Shallow.
CROSSOVER S TO I	Depth at which depth mode changes from Shallow to Intermediate.
DEPTH GATE CON'L	Type of gate control: MANUAL or AUTO
DEPTH MODE	Current Depth Mode: 0=shallow, 1=deep, 3=intermediate
DOPPLER AT PING	To be supplied
FIXED DELAY	The sum of all electroic delays within the system id displayed as fixed delay. The processed data is adjusted to correct for this delay.
GATE CNTR DEPTH	Center of the gate starts and stops on the vertical beam, in meters.
GATE DEPTH INC	Increment(meters) which Manual Gate Depth moves with each keystroke by operator.
GATE FIRST SLICE	The slice index at which the array processors begin to process sonar data and look for echos.
GATE FROZEN FLAG	This flag indicates that the gates and several other system parameters are frozen while the system has lost the bottom. Once the bottom is reacquired, the gates and system parameters are unfrozen. It takes a ninnum of five pings to unfreeze gates.
GATE LAST SLICE	The total number of samples gathered from the receiver.
GATE LOST PING	Indicates that less than 30% of beams have reported for five pings and lost gate processing will occur.
GATE SPLINE FLAG	An indicator of mode changes when gates are computed for shallow depth and must be expanded for intermediate depth. Similarly, when gates are formed for deep or intermediate mode and must be compressed for use in shallow mode.
GATE SLOPE	Slope of gates, in degrees, in Manual Gate Control.

Fig. II-5. Master status menu item of ONNURI SeaBeam 2000 system

PITCH MULTIPLIER	Pitch Multiplier and Pitch Offset are coefficients used by the Pitch Compensator in calculating the value of depth.
PITCH OFFSET	See Pitch Multiplier
POWER LEVEL	Transmitter power as a measure of the acoustic energy put into the water.
PROFILE VT. SCALE	A switch that determines the units of the vertical scale on the VGA display(meters, feet, fathom).
PROJ. PITCH ARM L	The distance from the center of pitch to the projector array. This distance is fixed for any ship.
PULSE WIDTH	Pulse width is adjusted based on depth mode. At present, pulse width is 3ms in shallow, 7ms in intermediate, and 20ms in deep.
RECEIVER ERROR	An 8bit code sent by the receiver to the host that indicates an error condition in the receiver.
RECV. BANDWIDTH	The value of bandwidth sent to the receiver by the host. This sets filter parameters inside the receiver.
ROLL AT PING	Value of roll(athwartship displacement), selectable in degrees or radians.
ROLL BIAS	Difference from horizontal of the Vertical Reference Unit in the athwartship(roll) direction, in degrees.
SAMPLE COUNT	Total number of data slices that the receiver gathers.
SAMPLE PERIOD	The time difference between samples collected by the front end processor.
SELECTED GR. BEAM	The direction, from vertical, of the beam used to generate the graphic record.
SHIP'S DRAFT	Placement of the hydrophone arrays below the sea surface, in meters.
S/N RATIO THRESH	The array processor sets this value and its may be monitored on the screen.
SS SWATH WIDTH	One of the five values(1250, 2500, 5000, 12500 or 25000) indicating the side scan swath width in meters.
SURFACE S. V. TYPE	Type of Surface Sound Velocity calculation: manual, velocimeter, or temerature calculated.
SURFACE SOUND V.	Value of Surface Sound Velocity, in meters/second.
SURFACE TEMP.	Temperature of water at surface, in Celsius degrees, for sound velocity calculation.
SURFACE SALINITY	Salinity of water at surface, in parts/thousand, for sound velocity calculation.
S. V. P. CORRECTED	A software swith that selects one of three formats for presenting bottom data on the VGA screen: 1.Range vs. Angle format, 2.True Cross-track vs. Apparent Depth, 3.True Cross-track vs. True Depth.

Fig. II-5. Continued.

SYSTEM MODE	Mode at which system is currently operating: IDLE, STANDBY, SURVEY, ARCHIVE, REPLAY, ROLL BIAS.
TIME FROM PING	A running time(in 10 ms units) since the last as signaled by the timer ISR to the VRU. It is reset at every ping.
TIME PER GR. SCAN	The period of time represented by one sweep across the graphic recorder that is used to display the selected beam.
TRANSFER TIME	An estimate of the time to transfer commands to the front end over the GPIB.
TVG SEGMENT	Segment of TVG curve: segment 0 is used in shallow, segment 1 is used in intermediate and deep.
VERTICAL DEPTH	Depth, in meters, directly below ship
VRU/ARRAY VERT	Distance in meters, from the Vertical Reference Unit to the center of the hydrophone array in the vertical direction. Up is positive.
VRU/ARRAY AFT	Distance, in meters, from Vertical Reference Unit to center of hydrophone array in the alongship direction. Array forward of the ship is positive.
VRU/ARRAY PORT	Distance, in meters, from Vertical Reference Unit to center of hydrophone array in the athwartship direction. Array port of the VRU is positive.
VRU SELECT	For ship with multiple vertical reference units, this flag indicates which one is currently selected.
XTRCK DIST. UNITS	Units by which the bottom profile is displayed on the VGA: meters, feet, beam number.

Fig. II-5. Continued.

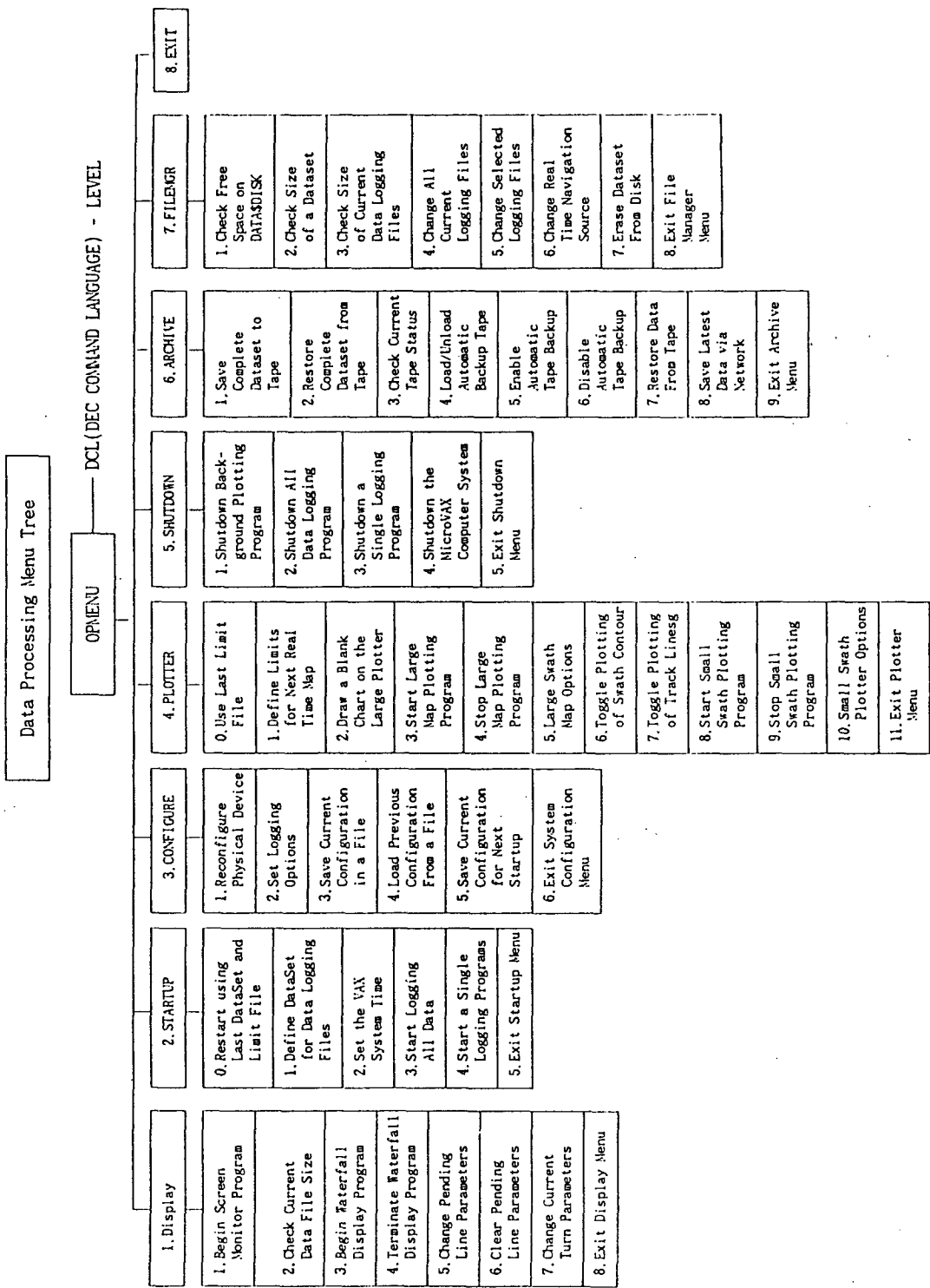


Fig. II-6. Data processing menu tree of ONNURI SeaBeam 2000

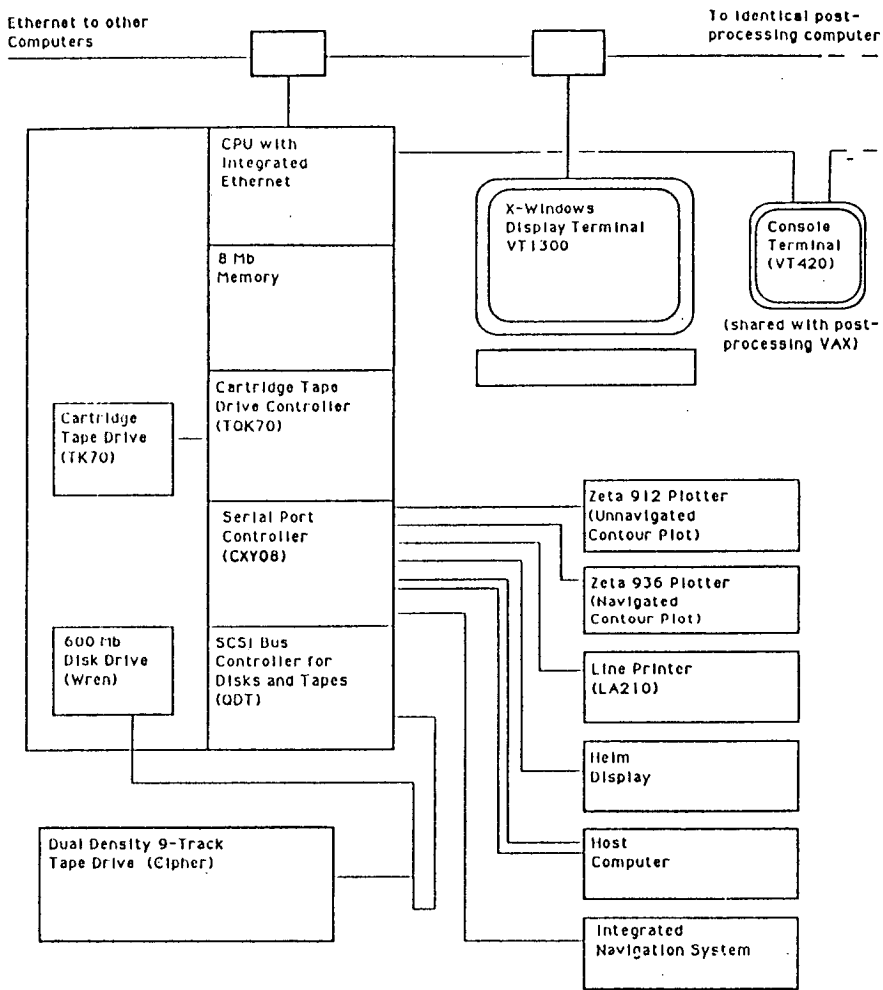


Fig. II-7. Schematic presentation of hardware components in ONNURI SeaBeam 2000 data processing computer.

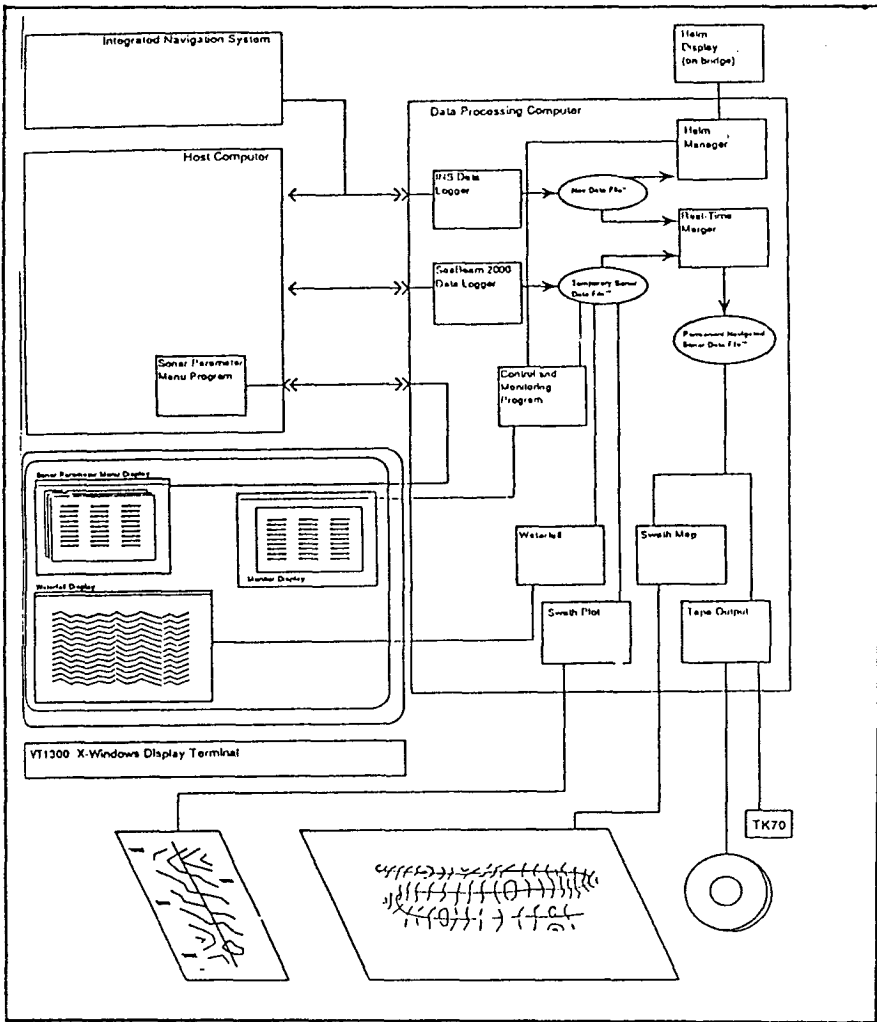


Fig. II-8. Data processing flow in ONNURI SeaBEam 2000 data processing computer.

```

/*
Date : 1992. 4.28
Seabeam data byte swapping program.
It should be compiled with option '-mismatch' in Sun UNIX environment &
used by specifying input output filenames by redirection(program<input>output)..
*/
#include <stdio.h>
main()
{
    int *i1,*i2;
    short i,ix,c1,*r1;
    unsigned char src[1000],m1;

/* full record read loop */

    i=0;
    while((c1=getchar())!=EOF)
    {
        src[i++]=c1;
        if(i==908)
        {

/* Byte swapping */
/* ID,Seconds,Minutes,Day,Year */

            for (ix=2; ix<9; ix=ix+2 )
            {
                m1=src[ix];
                src[ix]=src[ix+1];
                src[ix+1]=m1;
            }

/* Latitude Longitude */

            for (ix=10; ix<15; ix=ix+4 )
            {
                m1=src[ix];
                src[ix]=src[ix+3];
                src[ix+3]=m1;
                m1=src[ix+1];
                src[ix+1]=src[ix+2];
                src[ix+2]=m1;
            }

/* Heading,Speed,Course,Data Correction ..... */

            for (ix=18; ix<45; ix=ix+2 )
            {

```

Fig. II-9. "C" source code for rearrangement of SeaBeam 2000 backup data in SUN Unix system.

```

    m1=src[ix];
    src[ix]=src[ix+1];
    src[ix+1]=m1;
}

/* Cross-track & depth */

for (ix=51; ix<=538; ix=ix+2 )
{
    m1=src[ix];
    src[ix]=src[ix+1];
    src[ix+1]=m1;
}

/* Make a new record */

printf("%c%c",src[0],src[1]);
r1=&src[2];
for (ix=1; ix<=4; ix++) printf("%4d", *r1++);
l1=&src[10];
printf("%12d%12d",*l1,*++l1);
r1=&src[18];
for (ix=1;ix<=14;ix++) printf ("%5d",*r1++);

printf("%c%c%c%c%c",src[46],src[47],src[48],src[49],src[50]);
r1=&src[51];
for (ix=1; ix<=244; ix++) printf("%5d", *r1++);
for (ix=539; ix<=906;ix++) printf("%3d",src[ix]);
printf("\n");
i=0;
}
}
}

```

Fig. II-9. Continued.

SeaBeam2000 SB data Format (SUN System)

BYTE	INFORMATION: Unit	FORMAT	Fortran Read Format
1- 2	ID: "SR"	Character*2	A1
3- 4	Seconds: Hundredths	Integer*2	14
5- 6	Minutes: Minutes of day	Integer*2	14
7- 8	Day: Day of year(Julian day)	Integer*2	14
9- 10	Year: Four-digit year	Integer*2	14
11- 14	Latitude: Decimal deg*10 ⁷	Integer*4	112
15- 18	Longitude: Decimal deg*10 ⁷	Integer*4	112
19- 20	Heading: Deg*10	Integer*2	15
21- 22	Course: Deg*10(= 0)	Integer*2	15
23- 24	Speed: Knots*100	Integer*2	15
25- 26	Data Correction: 0=No correction (Time in meters/DATA_DIVISOR: meters=seconds*1500: angle=radians*10 ³) 1=True Cross Track, Uncorrected (Depth in meters @ 1500m/sec depth in meters/DATA_DIVISOR: cross-track in meters/DATA_DIVISOR) 2=True Cross-track, True Corrected (Meters: depth in meters/DATA_DIVISOR; cross-track in meters/DATA_DIVISOR)	Integer*2	15
27- 28	Data Divisor: 0=divide by 1	Integer*2	15
29- 30	Number of Beams:	Integer*2	15
31- 32	Center Beam Location: Beam #	Integer*2	15
33- 34	Status Flags:	Integer*2	15
35- 36	Pitch: Deg*100	Integer*2	15
37- 38	Roll: Deg*100	Integer*2	15
39- 40	Ping Gain: dB	Integer*2	15
41- 42	Transmit Attenuation: dB	Integer*2	15
43- 44	Surface Sound Velocity: meters/second*10	Integer*2	15
45- 46	Pulse Width: milliseconds	Integer*2	15
47	Surface Sound Velocity Source: "V" = Velocimeter "T" = Temperature derived "M" = Manual	Character*1	A1
48	Sound Velocity Corrected: "Y" = Yes "N" = No	Character*1	A1
49	Gate Control: "A" = Automatic "M" = Manual	Character*1	A1
50- 51	End of Header: "EH"	Character*2	A2
52-295	Cross-Tracks: angle or meters/DATA_DIVISOR (122)	Integer*2	12215
296-539	Depths: meters/DATA_DIVISOR (122)	Integer*2	12215
540-661	Amplitudes: dB*4 (122)	BYTE	12213
662-783	Signal/Noise Ratios: dB (122)	BYTE	12213
784-905	Number of Samples: (122)	BYTE	12213
906	Null: "0"	Character*1	A1
907	Carriage Return: <CR>	Character*1	A1
908	Line Feed: <LF>	Character*1	A1

Fig. II-10. SeaBeam 2000 data format in SUN computer system.

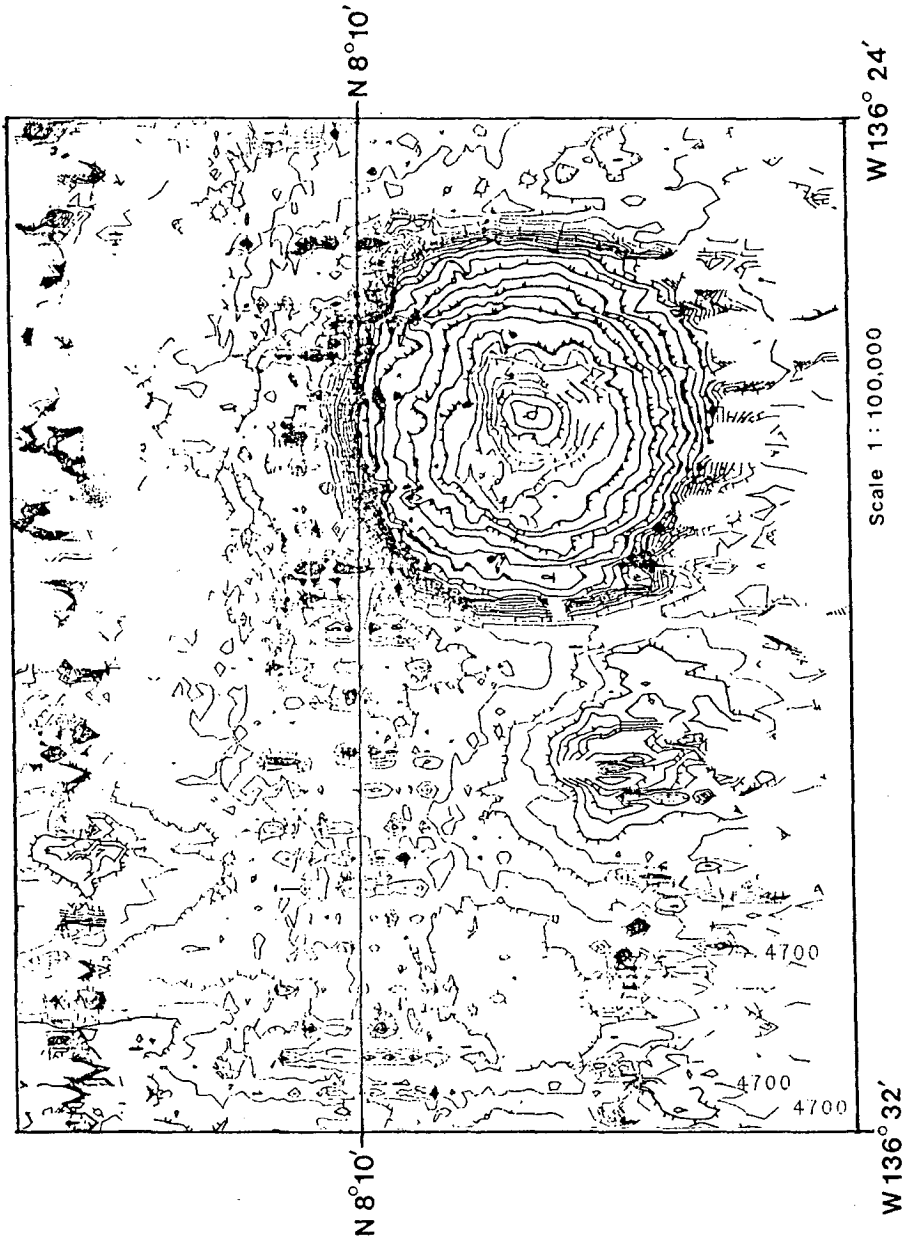


Fig. II-11. Raw 2-dimensional contour map of SeaBeam 2000 data.

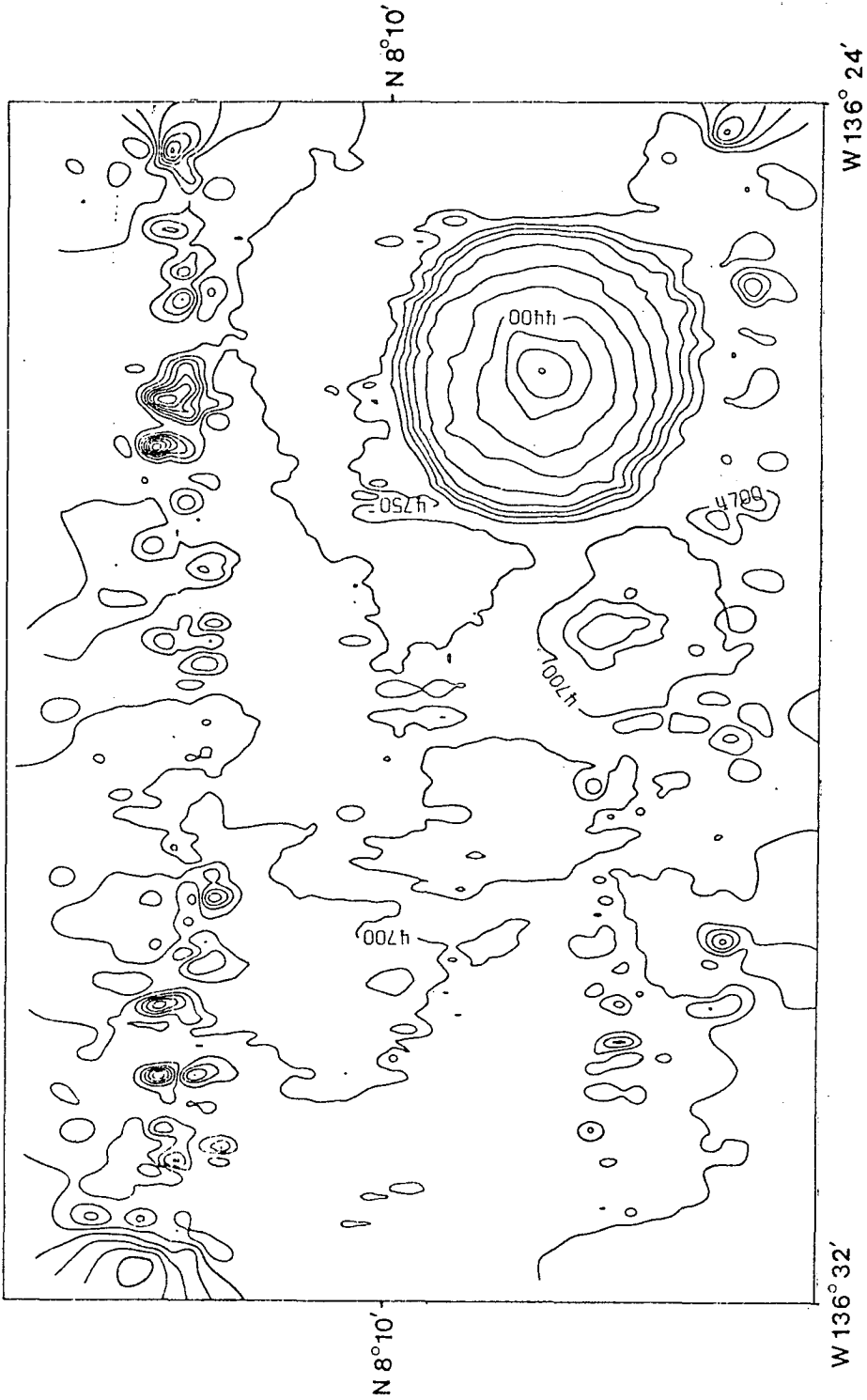


Fig. II-12. Corrected 2-dimensional contour map of
SeaBeam 2000 data

```

c
c... program "mkcndat.for":make the seabeam raw data to contour
c                      input data format.
c                      beam data position correction.
c... made by ykl (08/may/1993)
c
c      program mkcndat
c
c... character parameter definition
c
c      character*16 in_file1,in_file2,out_file
c      character*64 fmt
c
c      real*8 xx,yy
c      real*8 xrl,yrl
c      real*8 range
c      real*8 heading
c      real*8 depth
c
c      real*8 rdata0(122),rdata1(122)
c
c      integer*2 selection
c
c      real*8 xhigh,yhigh,xlow,ylow,deplow,dephigh
c
c      data xhigh/0.0/,yhigh/0.0/,dephigh/0.0/
c      data xlow/100000000.0/,ylow/100000000.0/,deplow/100000.0/
c
c... clear the screen
c      call system('cls')
c
c... input data head and tail file name
c      in_file1='SB      .SH '
c      in_file2='SB      .SD '
c
c... output result head and tail file name
c      out_file='CN      .SD '
c
c      print*,
c      print*, ' ***** Input data ID# (ex> 921253) ? '
c      print*,
c      read(*,*) flnum
c      print*, ' ***** Input data extension ID# (ex> 1 ... 9 ) ? '
c      print*,
c      read(*,*) flnum1
c

```

Fig. II-13. "FORTRAN" source code for correction of positions in SeaBeam 2000 beam data

```

print*, ' ***** '
print*, '      Select Type # for Output data      '
print*, '
print*, '      (1) SeaBeam 2000 Swath Depth Data : '
print*, '      (2) SeaBeam 2000 Amplitude Data   : '
print*, '      (3) SeaBeam 2000 S/N Ratio Data     : '
print*, '      (4) SeaBeam 2000 Sample Count #      : '
print*, '
print*, ' ***** '
print*, '
read(*,*) icase

c
if(icase.eq.1) fmt="(4x,122f5.0,122f5.0)"
if(icase.eq.2) fmt="(4x,122f5.0,6(100x),10x,122f4.1)"
if(icase.eq.3) fmt="(4x,122f5.0,10(100x),98x,122f3.0)"
if(icase.eq.4) fmt="(4x,122f5.0,14(100x),64x,122f3.0)"
if(icase.le.0 .or. icase.ge.5) goto 888

c
c... set the input/output file number
write(in_file1(3:8),'(i6.6)') flnum
write(in_file2(3:8),'(i6.6)') flnum
write(out_file(3:8),'(i6.6)') flnum

c
c... set the input/output file extension number
write(in_file1(12:12),'(i1.1)') flnum1
write(in_file2(12:12),'(i1.1)') flnum1
write(out_file(12:12),'(i1.1)') icase

c
c... open file
open(unit=1,file=in_file1,status='old')
open(unit=2,file=in_file2,status='old',recl=3660)
open(unit=3,file=out_file,status='unknown')

c
print*,
print*, ' ***** Input file #1 '
write(*,'(5x,a)') in_file1
print*, ' ***** Input file #2 '
write(*,'(5x,a)') in_file2
print*, ' ***** Output file #0 '
write(*,'(5x,a)') out_file

c
777 read(1,1,end=999) xx,yy,heading
1   format(47x,2f13.2,1x,f6.2)
read(2,fmt,end=999) (rdata0(ii),ii=1,122),(rdata1(jj),jj=1,122)

c
do loop=1,122

c

```

Fig. II-13. Continued.

```

555 continue
end do

c
go to 777

c
888 print*,
print*, ' -----> There is no format !! '

c
999 continue

c
call system ('cls')

c
print*, ' '
print*, ' ***** '
print*, ' Coord. X-low = ', xlow
print*, '          Y-low = ', ylow
print*, '          X-high = ', xhigh
print*, '          Y-high = ', yhigh
print*, ' = = = = = '
print*, ' Parameter Min. = ', deplow
print*, '          Max = ', dephigh
print*, ' ***** '
stop
end

c
subroutine port(xp,yp,range,heading,xrp,yrp)

c
real*8 xp,yp,xcp,ycp
real*8 range
real*8 heading
real*8 xrp,yrp
real*8 angle
real*8 rad

c
rad=3.141592654/180.0

c
angle=heading+270.0
if(angle .ge. 360.0) angle=angle-360.0

c
xcp=range*dsin(angle*rad)
ycp=range*dcos(angle*rad)

c
xrp=xp+xcp
yrp=yp+ycp

c
return
end

c

```

Fig. II-13. Continued.

```

        range1=rdata0(loop)
        range=dabs(range1)
c
        if(range1 .lt. 0.0 ) selection=1
        if(range1 .gt. 0.0 ) selection=2
        if(range1 .eq. 0.0 ) selection=3
c
c=====
        select case(selection)
c
c... SeaBeam port side range data
        case(1)
            call port(xx,yy,range,heading,xrl,yrl)
            depth=rdata1(loop)
c
c... SeaBeam starboard side range data
        case(2)
            call stbd(xx,yy,range,heading,xrl,yrl)
            depth=rdata1(loop)
        case(3)
            if(loop .gt. 60 .and. loop .lt. 62 ) then
c
c... SeaBeam centered beam depth data
                xrl=xx
                yrl=yy
                depth=rdata1(loop)
                if(depth.eq.0.0) goto 555
                else
c
c... SeaBeam null(blank=no detection) range data check
                    go to 555
                endif
            end select
c=====
c
c... minimum, maximum for boundary check
        if(xrl .le. xlow      ) xlow=xrl
        if(yrl .le. ylow      ) ylow=yrl
        if(depth .le. deploew ) deploew=depth
c
        if(xrl .ge. xhigh     ) xhigh=xrl
        if(yrl .ge. yhigh     ) yhigh=yrl
        if(depth .ge. dephigh) dephigh=depth
c
c... write statements
        write(3,2) xrl,yrl,depth
        2   format(2x,2f13.2,2x,f7.1)
c

```

Fig. II-13. Continued.

```

subroutine stbd(xp,yp,range,heading,xrs,yrs)
c
real*8 xp,yp,xcp,ycp
real*8 range
real*8 heading
real*8 xrs,yrs
real*8 angle
real*8 rad

c
rad=3.141592654/180.0

c
angle=heading+90.0
if(angle .ge. 360.0) angle=angle-360.0

c
xcp=range*dsin(angle*rad)
ycp=range*dcos(angle*rad)

c
xrs=xp+xcp
yrs=yp+ycp

c
return
end

c

```

Fig. II-13. Continued.

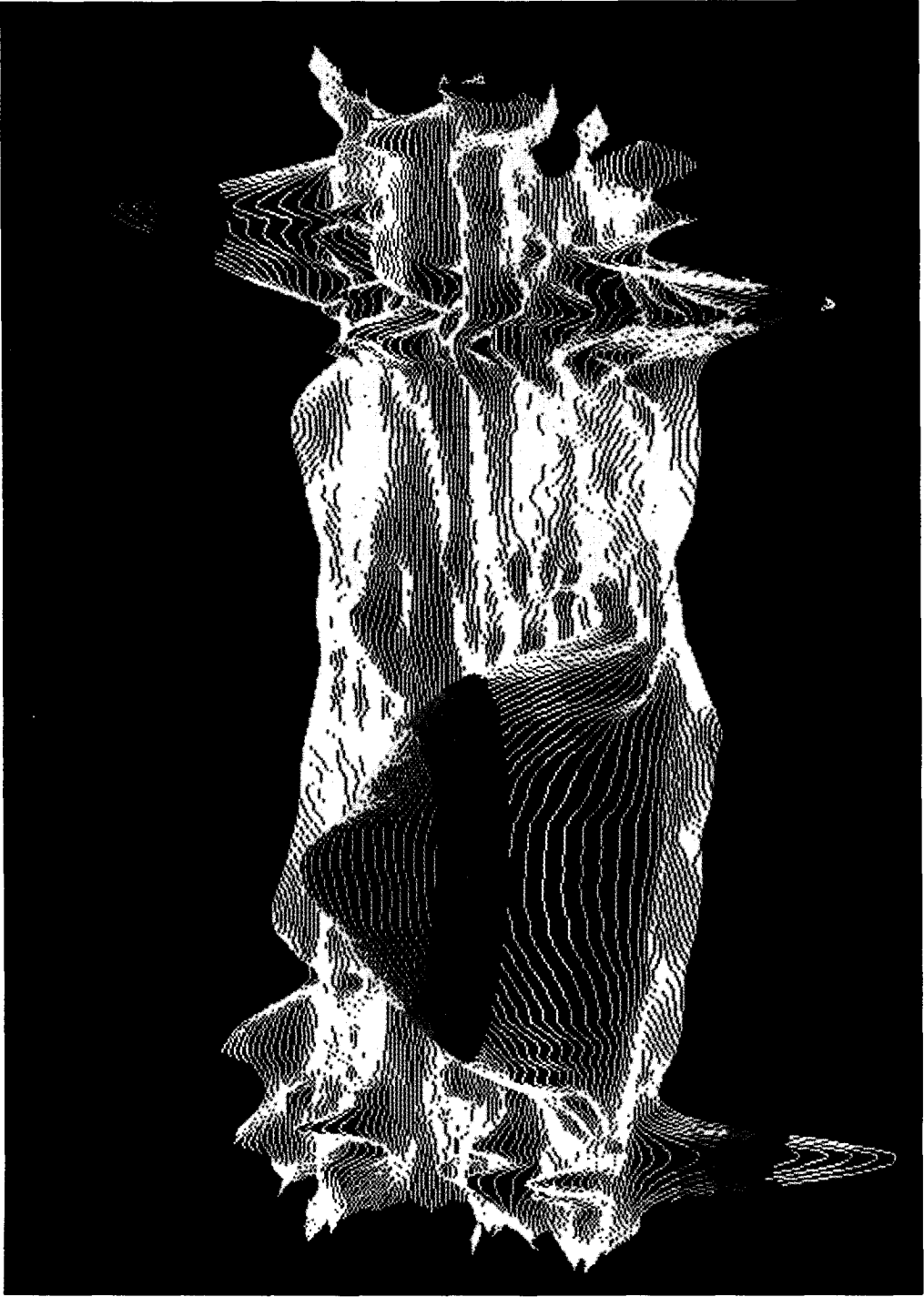


Fig. II-14. Colored 3-dimensional map viewed on the east side
(elevation angle = 55°)

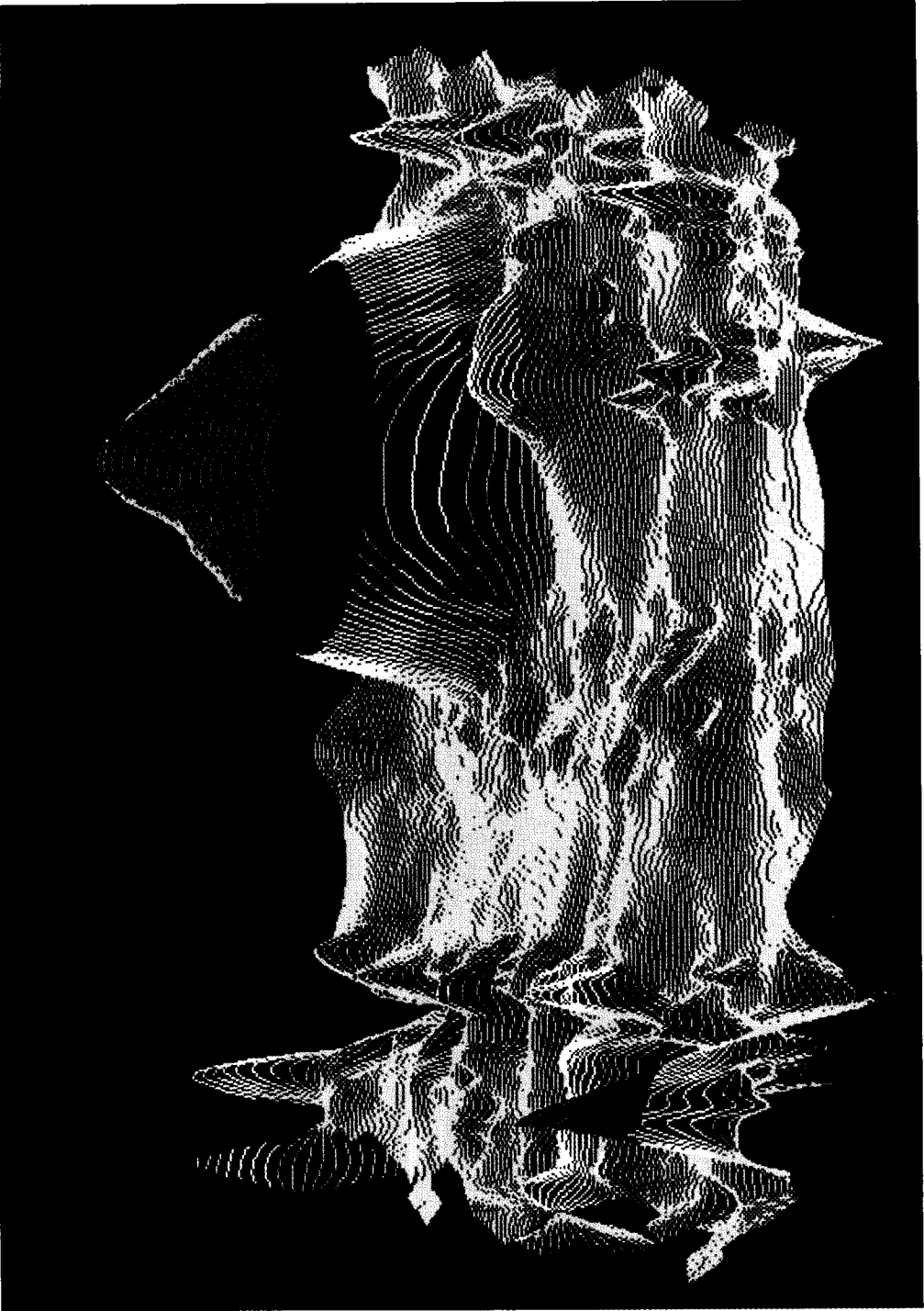


Fig. II-15. Colored 3-dimensional map viewed on the west side
(elevation angle = 55°)

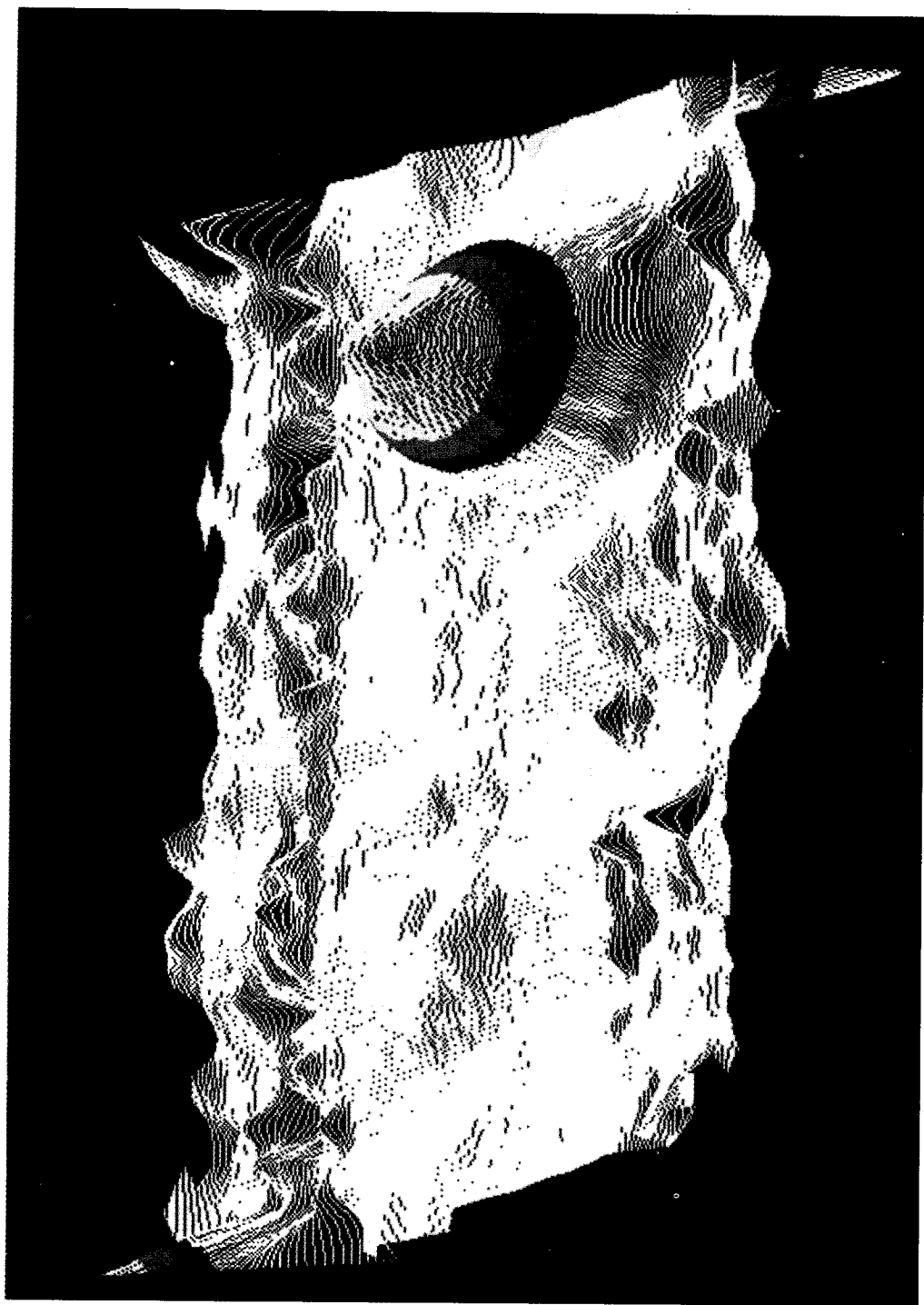


Fig. II-16. Colored 3-dimensional map viewed on the south side
(elevation angle = 55°)

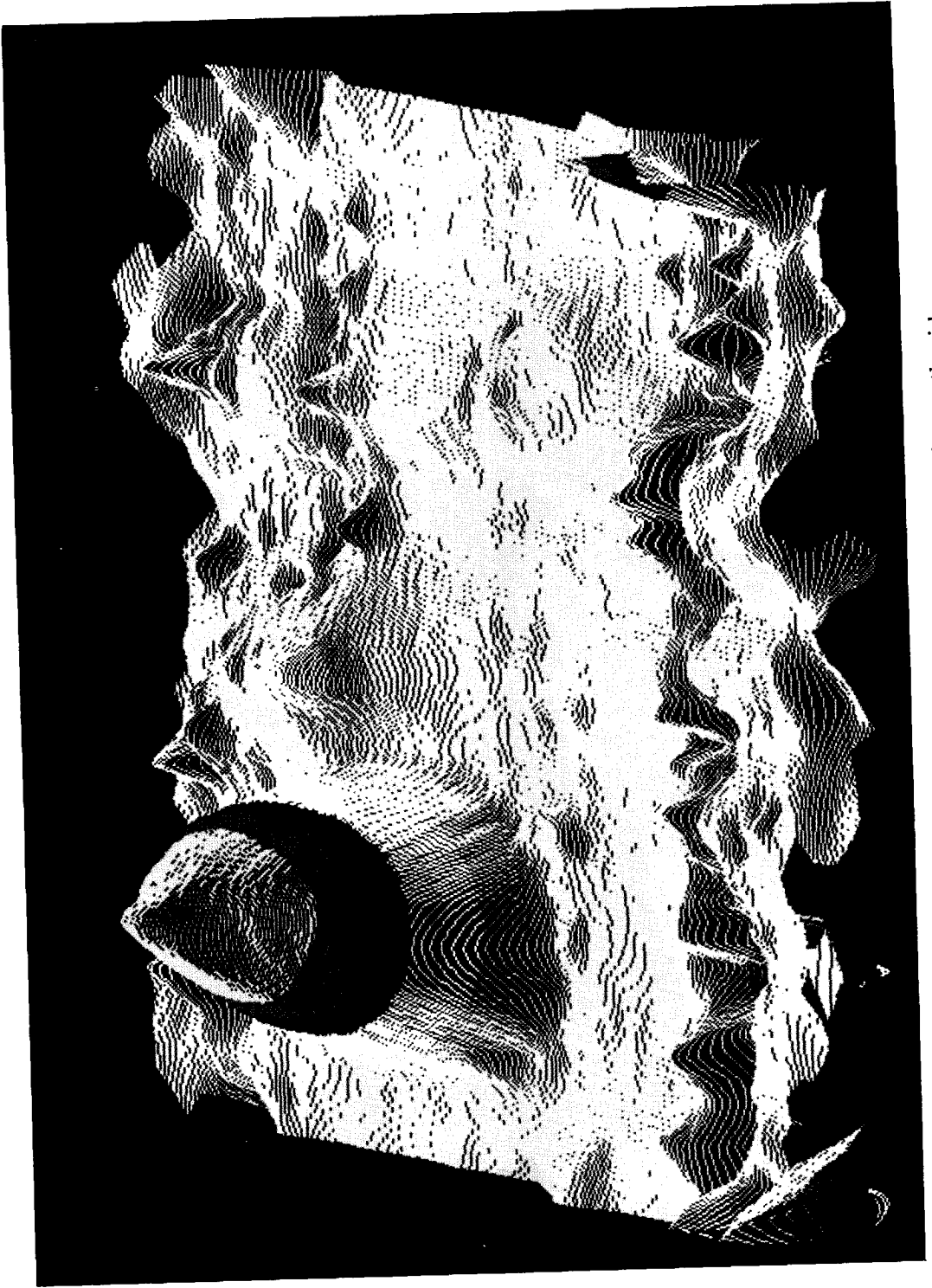


Fig. II-17. Colored 3-dimensional map viewed on the north side
(elevation angle = 55°)

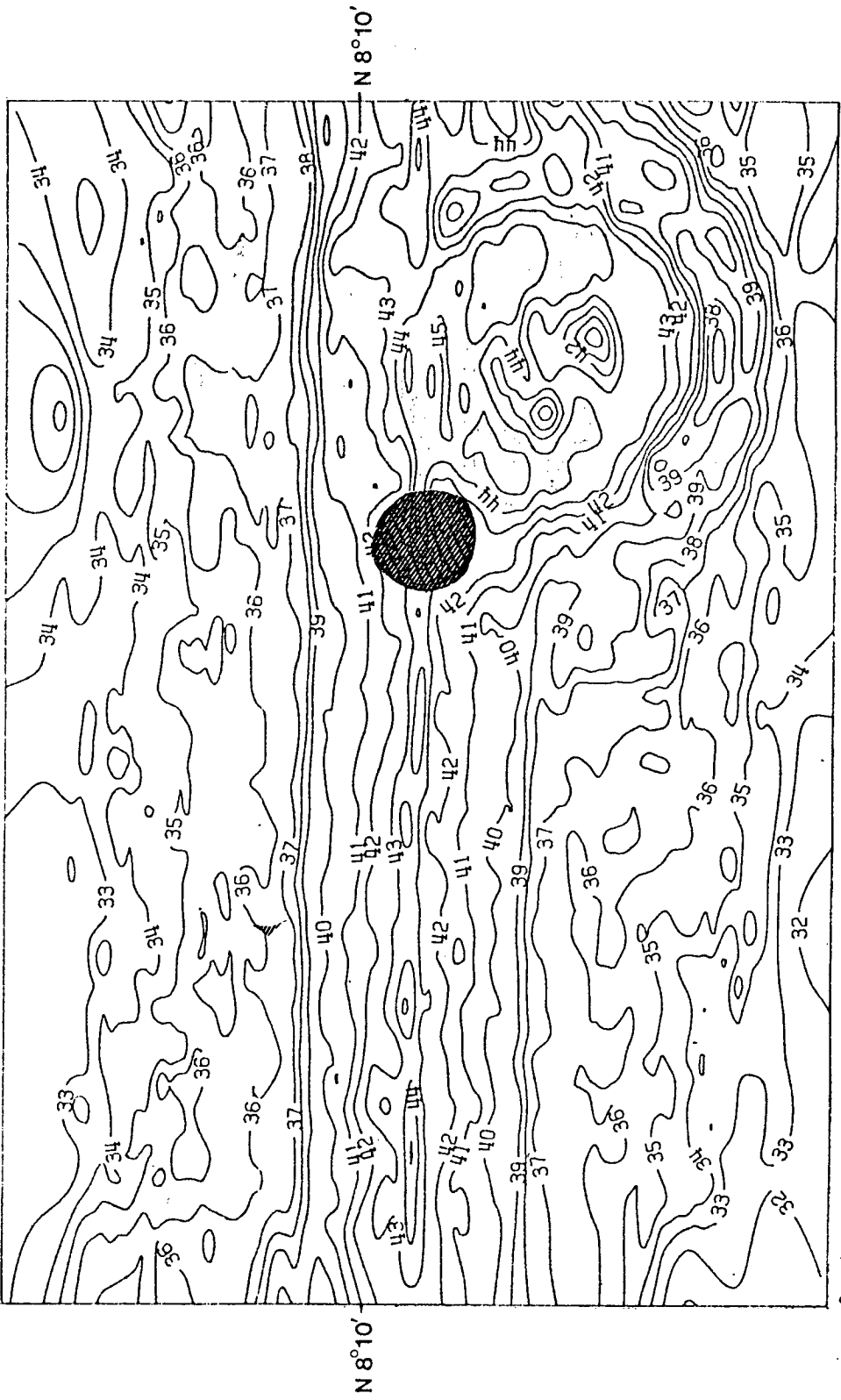


Fig. II-18. Two-dimensional contour map of amplitude in SeaBeam 2000 data

Part III

環境保全 分野

분야 연구책임자 : 吳 在龍, 金 錫鉉

연구원 : 李 壽珩, 梁 東範, 洪 基勳
金 銀洙, 姜 聲炫, 趙 誠碌
鄭 昌洙, 梁 成烈, 姜 東鎭
金 璟泰, 朴 善圭, 金 鐘根
鞠 剛雄, 李 相翰, 朴 景敏
黃 鉉珉

연구보조 : 金 寶蓮

第 1 章

深海底 鑛業 探查地域의 海洋環境

第 1 節 序 論

深海底面은 地球 全體 陸地 面積의 두배 정도에 해당하는 넓은 면적을 차지하고 있으며, 과거 20년 동안의 探查活動에 의해 이곳에는 망간團塊, 망간각, 황화물 등 막대한 資源이 존재하고 있음이 밝혀졌다. 世界 各國은 陸上鑛物資源이 고갈되고 니켈, 코발트, 망간 등 戰略稀少金屬의 需要가 증가할 경우 深海底에 부존되어 있는 有用鑛物의 商業的 採掘이 가능할 것으로 보고, 이에 대한 精密探查와 鑛區登錄을 실시해 왔다. 유엔 海洋法 會議에서는 深海底 開發 後發 參與國에 대한 鑛區登錄時限을 유엔 海洋法協約 발효시기 전까지로 연장하였고, 韓國을 비롯한 開發途上國들에게 深海底 鑛物資源의 鑛區확보를 위한 기회가 마련되었다. 日本은 1994-1996년에 試驗鑛業을 실시할 예정이며, 향후 10년에서 15년 이내에 본격적인 채굴이 시작될 전망이다.

1982년 유엔 海洋法 協約에서는 深海底 資源의 開發활동으로 인하여 발생할 수 있는 유해한 影響으로부터 海洋環境을 효과적으로 보호하기 위하여 海洋環境에 대한 汚染과 기타 危險 및 海洋環境의 生態的 均衡에 대한 훼손의 방지, 경감 및 규제 등에 관하여 國際 深海底 機構(International Seabed Authority)로 하여금 규정을 만들도록 명시하였다(UN, 1982). 준비위원회는 1990년과 1991년에 深海底 多金屬團塊의 試掘, 探查, 開發에 대한 규정 초안을 만들었는데, 이중 深海底 開發에 따른 海洋環境의 보호 및 보존 부분에서는 海洋汚染을 줄이고, 조절하며, 방지하기 위한 적절한 규칙과 규정, 절차를 채택하기 위한 규정초안을 작성하였다. 이 규정 초안을 만드는데 가장 어려운 측면은 深海底 資源 開發과 그에 따른 海洋環境의 保存의 公정한 均衡을 이룬다는 것이 무척 어려운 일일 뿐만 아니라, “海洋環境에의 심각한 損傷”이라는 의미를 규정하기 어렵다는 점에 있었다. 이 규정 초안에서는 深海底 活動의 影響을 추정하기 위해 環境基準地域(Environmental Reference Zones)을 두

고, 시굴단계 동안에 수집된 資料를 기초로 한 環境報告書 또는 環境影響陳述書(Environmental Impact Statement)를 探查事業 計劃 承認前에 法律 및 技術委員會(Legal and Technical Commission)에 제출할 것을 규정하고 있다. 이 규정에서는 深海底 開發者로 하여금 그들의 深海底 開發이 海洋環境에 미치는 影響에 대한 연차 보고서를 제출하도록 되어 있다. 또한, 國際 深海底機構가 선박탐승 검사관을 파견하고, 深海底機構나 다른 보증국과 협업하는 계약자가 사용하는 장치를 검사하는 檢查制度에 관한 규정 및 非常操業中止나 操業調整에 관한 節次도 규정되었다(ISA, 1992).

현재까지 多金屬團塊의 開發이 海洋環境과 海洋生態계에 미치는 影響을 파악하기에는 너무나 정보가 부족한 상태에 있는 것이 사실이다. 深海底는 地球上에서 探查가 수행되지 않은 가장 넓은 地域인 동시에 가장 研究가 되지 않은 地域中的 하나라고 할 수 있다. 人間은 地球의 일부분인 海底 수천 미터 아래의 地域보다 달의 표면에 대해 더 많은 것을 알고 있다고 해도 과언이 아니다. 深海中의 環境破壞行爲가 深海底의 環境에 어떠한 結果를 초래할 것인지에 대해서 우리는 거의 정보를 가지고 있지 못하다. 人間の 環境破壞行爲가 가져올 結果에 대하여 완전히 이해하지 못하고 있는 상태에서, 深海中에서 대규모 교란행위를 시작한다는 것은 무모하고 위험하기까지 하다. 地球가 가지고 있는 제한된 양의 資源을 합리적으로 이용하기 위해서는 우리의 행위의 結果에 대한 철저한 事前 理解가 있어야만 한다. 이것은 豫防原則의 절대적인 要求事項이기도 하다. 豫防原則은 環境에 중요한 結果를 초래할 수 있는 모든 계획된 행위에 대해, 이러한 행위로 말미암아 훨씬 더 값 비싼 댓가를 치루어야 하는 상황이 생기지 않도록 하고자 하는 것이다.

深海鑛業은 大洋의 거의 알려지지 않은 地域에 잠재적으로 중대한 環境 影響을 발생시킬 수 있는 대표적인 계획된 産業 活動으로서, 團塊 鑛業에 의한 生態學的 影響을 완전히 피할 수 없다는 것이 사실이지만, 적절하고 사용 가능한 技術을 이용하여 이러한 影響을 최소화할 수 있을 것으로 예측하고 있다. 本 研究에서는 美國, 日本, 러시아가 1992년부터 공동으로 수행중인

BIE(Benthic Impact Experiment) 研究課題의 2차 년도에(1993년 7월말 예정) 부분적으로 참여하고 있으며, 3차년도(1994년 예정)부터는 본격적으로 참여할 예정이다. 本 研究에서는 深海底 開發로 인한 環境影響을 最小化하기 위하여 必需的인 資料를 제공하고 環境影響을 저감하기 위한 方案들을 모색하고자 한다. 深海底 開發 以前 自然狀態의 物理化學環境과 生物群集의 調査는 深海底 採鑛에 따른 影響을 예측하는데 중요한 基本 情報를 제공할 수 있으며, 深海底 環境變化에 대한 模擬實驗을 통하여 보다 구체적인 環境變化의 證據를 포착할 수 있을 것이다.

第 2 節 試料採取 및 分析方法

1. 水溫 및 鹽分

水溫, 鹽分은 로젯 채수장치(rosette sampler)에 부착된 CTD (conductivity, temperature, depth)를 이용하여 KODOS-92 4개 항차와 KODOS-93 1항차 探查海域의 25개 정점의 水層의 垂直 分布를 測定하였다.

2. 容存酸素

KODOS-93 1항차 探查 海域의 CTD 調査 定點에서 로젯 채수장치에 부착된 5 리터 Niskin 채수기를 이용하여 4000 m 水深까지 海水를 채취하였다. 溶存酸素量은 DO병에 고무관을 통하여 가장 먼저 採水하여 船上에서 測定하였다. DO병에 試料를 담은 후 곧바로 Winkler法에 의하여 황산망간(II) 용액과 알칼리성 요오드화 칼륨용액을 넣고, 잘 흔들어서 溶存酸素를 固定시킨 후 調査船內 實驗室로 옮겼다. 試料에 황산을 가하여 酸性으로 만들어 이 때 遊離되어 나오는 요오드를 자동적정기를 사용하여 0.02N-치오황산소다

(sodium thiosulfate)로 逆適定한 후 容存酸素量을 계산하였다(Stickland and Parsons, 1972).

3. 營養鹽

KODOS-92 4개 항차와 KODOS-93 1항차 기간중 CTD 調査 定點에서 채수된 試料에서 窒酸鹽, 亞窒酸鹽, 磷酸鹽, 珪酸鹽을 測定하였다. 海水試料은 로젯 채수장치에 부착된 5 리터 Niskin 채수기를 이용하여 4000 m 水深까지 채취하였다. 營養鹽 試料은 채수후 유리섬유 여과지(Whatman GF/F)에 여과하여 珪酸鹽(silicate)은 20 ml 플라스틱 scintillation vial에 담았고, 그외의 營養鹽은 20 ml 유리 scintillation vial에 담아 -20 C에 냉동 보관하였다. 營養鹽 分析은 실험실에서 Stickland & Parsons(1972)에 의거하여 Technicon AA-II 자동분석기를 사용하여 測定하였다 (Grasshoff et al., 1983).

亞窒酸鹽(NO_2)은 試料에 sulfanilamide 용액과 (N-naphtyl)-ethylene-diamine dihydrochloride를 더하여 발색시켰으며, 窒酸鹽(NO_3)은 試料을 카드뮴(Cd) 컬럼에 통과시켜서 亞窒酸鹽으로 환원시킨 후 亞窒酸鹽 分析方法과 같은 방법으로 발색시켰다. 磷酸鹽(PO_4)은 試料에 ammonium molybdate, potassium antimonyltartrate와 황산의 混合시약을 더하고 ascorbic acid로 환원시켜 발색시켰다. 珪酸鹽($\text{Si}(\text{OH})_4$)은 試料에 ammonium molybdate를 더하여 silico-molybdate complex를 만든 다음 oxalic acid와 ascorbic acid를 더하여 발색시켰다.

4. 클로로필-a

KODOS-92 4개 항차시에는 플라스틱 양동이를 이용하여 表層海水를 Rosette 채수기에 부착된 5 리터 Niskin 채수기를 이용하여 4000m 水深까지

채취하였다. 그리고 KODOS-93 1항차 기간중에는 Rosette 채수기에 부착된 5 리터 Niskin 채수기를 이용하여 300 m 水深까지 채취하였다. 海水 2 리터를 질소가스를 이용하여 유리섬유여과지(Whatman GF/F)로 濾過한 후 알루미늄 포일에 싸서 영하 20°C에 보관하였다. 실험실에서 여과지에 90% 아세톤을 가하고, 20시간 동안 냉암소에 보관하여 플랑크톤 色素를 抽出한 후 UV-VIS Spectrophotometer로 吸光度를 測定하였다. 吸光度는 480, 510, 630, 647, 664와 750 nm에서 1cm cell을 사용하여 測定하였다. 클로로필-a 양은 Parsons et al. (1984)에 의거 計算하였다. 表層海水중의 식물플랑크톤의 크기에 따른 클로로필-a의 양을 測定하기 위한 試料는 20 μ m 나일론 네트, 8, 3, 1, 0.4 μ m Nuclepore 막 여과지 연속여과 장치로 試料 8 리터를 여과한 후 클로로필-a 分析方法과 같은 방법으로 分析하였다.

5. 酸可溶性 微量金屬(acid-soluble trace metals): Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb

KODOS-92 4개 항차 기간중 CTD cast 정점에서 Rosette 채수기에 부착된 5 리터 Niskin 채수기를 이용하여 4000 m 水深까지 채취하였다. 海水 試料는 미리 산 세척된 1 l 고밀도 폴리에틸렌병에 담아 試料의 汚染 防止를 위하여 폴리에틸렌 필름으로 이중 포장하여 냉동 보관하였다. 실험실로 옮긴 試料는 1 l당 증류된 염산(6N) 4 ml를 가하여 分析 때까지 常溫에서 보관하였다. 分析은 容器에 흡착된 金屬들이 다시 용출되어 나오도록 기다리기 위하여 최소한 3일이 경과한 후에 실시하였다. 용액의 제조와 실험용기의 마지막 세척에는 3차 탈이온수를 사용하였으며 실험에 사용된 모든 시약은 다음과 같이 정제하여 사용하였다.

실험실로 공급되는 1차 탈이온수 (저항이 15M Ω 이상)를 연속 연결된 2개의 초고순도 혼합이온교환칼럼(직경 9cm, 길이 44cm Barnstead #8902)을 통과시켜 3차 탈이온수를 제조하였다. 이온교환칼럼들의 연결에는 저밀도 폴

리에틸렌튜브(8mm O.D)를 사용하여 금속이온의 汚染을 최소화하였는데, 이렇게 제조된 탈이온수의 금속에 대한 순도는 Milli-Q 탈이온수와 비슷하였다.

APDC-NaDDC 混合溶液은 Ammonium Pyrrolidinedithiocarbamate 와 Sodium diethyl-dithiocarbamate를 각각 2g씩 취하여 탈이온수 100ml 에 녹인 후 pore size 0.4 μ m인 Nuclepore 막여과지로 여과하여 여과액을 250ml들이 테프론 분액깔대기에 넣고 정제된 프레온 20ml를 가하여 진탕분리한 후 프레온층을 버렸다. 이때 프레온층은 갈색으로 변하는데 이것은 불순물로 존재하는 금속이온들이 킬레이트 시약과 반응하여 착화합물을 형성하기 때문이다. 상기의 용매추출을 프레온층이 무색으로 변할때까지 반복하였다.

용매추출에 사용된 프레온(Freon 1,1,3)은 용매로 주로 사용되는 공업용 (Daikin Ind., Japan) 시약을 파이렉스 증류장치에서 2회증류하여 정제된 것을 사용하였다. 질산과 염산은 試料의 保管 및 濃縮·分析過程에 사용된 모든 산은 시약급 산을 실험실에서 제작된 테프론 증류장치에서 2차 증류하여 사용하였다. 암모니아는 시약급 암모니아가 담긴 테프론 Jar에 3차 탈이온수가 담긴 테프론 비이커를 넣고 테프론 Jar의 뚜껑을 덮어 등은 증류하여 사용하였다.

용매추출에 의한 미량금속의 분리농축을 위하여 용매추출법(Statham, 1985)을 변형시켜서 중금속을 분리 및 농축하였는데 각 과정을 간단히 설명하면 다음과 같다. 試料 100ml를 미리 산으로 세척된 250ml들이 테프론 분액깔대기에 넣고 암모니아수를 가하여 pH를 6.5정도로 조정하였으며 필요에 따라 염산을 사용하여 pH를 재조정하였다. 여기에 APDC-NaDDC 混合溶液 6ml와 프레온 10ml를 가하여 6분간 진탕시킨 후 용액층이 분리되도록 방치하였다. 프레온층을 조심스럽게 30ml들이 테프론 vial에 옮긴 후 프레온 5ml로 다시 용매추출한 후 다시 테플론 vial에 넣는다. 여기에 재증류한 진한 질산 0.1ml를 넣고 가열판 위에 놓고 낮은 온도로 가열하여 모

든 프레온과 산을 증발시킨 후 2% 질산 1ml를 정확히 넣고 뚜껑을 닫고서 낮은 온도에서 약 1시간 재환류하여 용해시킨 후 상온으로 냉각시켜 비불꽃 원자흡광분광기를 이용하여 분석하였으며 分析條件은 Table 1과 같다. 濃縮을 위한 모든 조작들은 Class-100 청결벤취 속에서 행하였다.

Table III-1. Analytical Condition for trace metals determination

	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
Wavelength(nm)	240.7	324.8	248.3	279.5	232.0	283.3
Slit(nm)	0.2	0.7	0.2	0.2	0.2	0.7
Lamp current(mA)	15	15	15	15	15	7
Furnace programs:						
(Temp. °C/Hold time, sec)						
Heat	90/20	90/20	90/20	90/20	90/20	90/20
Dry	130/40	130/15	130/30	130/20	130/30	130/20
Ash	1400/20	1200/20	1400/20	1400/20	1400/20	850/20
Atomize	2500/3	2300/3	2400/3	2200/3	2500/3	1800/3
Clean	2650/3	2650/3	2650/3	2650/3	2650/3	2650/3
Injection	20	20	20	20	20	20
temp. (°C)						
Inert gas	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Injection	60	10	40	20	30	20
volume(ul)						

6. 新生産量 및 再生産量の 測定

新生産과 再生産 測定은 ^{15}N 가 표지된 窒酸鹽과 암모니아를 이용하였다. ^{15}N 窒酸鹽은 新生産(New Production)을 추정하기 위한 것이고, ^{15}N 암모니아는 재생성된 생산을 추정하기 위하여 測定되었는데, 이 두가지 生産力을 합한 것이 總生産力이다. 海水를 100, 50, 30, 15, 3.5, 1% 光透過水深 (Light Penetration Depth; LPD)에서 로젯 채수장치(Rosette sampler)에 부착된 니스킨 채수기(Niskin sampler)를 이용하여 채수하였다. 각 水深別 2개씩 2 l polycarbonate bottle에 분배하여 $^{15}\text{N-KNO}_3$ 1 μM 과 $^{15}\text{N-NH}_4\text{Cl}$ 0.2 μM 을 가한 후 오전 9시부터 오후 3시까지 6시간동안 表層海水로 냉각시키는 船上培養器(on-deck incubator)에서 배양후 GF/F filter로 여과하였다. Filter는 냉동보관후 60 $^{\circ}\text{C}$ 에서 건조시켜 Tin foil로 싸서 Europa Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS) System을 이용하여 試料에 포함된 ^{15}N , ^{14}N 의 比率과 固形有機窒素 (particulate organic nitrogen)의 量을 測定하였다(Yang, 1992).

第 3 節 深海底 探查 海域의 海洋環境

1. 深海底 鑛業開發 豫定 海域의 一般特性

가. 氣溫 및 降雨

深海底 鑛業開發 豫定 海域은 赤道를 중심으로 하는 熱帶海域으로 年中 高溫, 多濕한 海域이다. 氣溫의 年變化는 뚜렷하지 않고, 겨울철에 접어들면서 變化가 미약하게 나타난다. 調査海域의 남쪽과 북쪽에 위치한 하와이의 호놀

루루(1900-1966)와 펜닝섬의 테라이니(1907-1967)에서 관측된 장기간 資料에 의하면, 月平均 最低氣溫은 하와이에서는 12-3월에 19℃, 最極低溫은 2월에 15℃ 이다. 펜닝섬에서는 월평균 최저기온이 연중 23-24℃로 균일하며, 최저온 또한 연중 21-22℃로 거의 變化가 없다. 월평균 최고기온의 경우 하와이에서는 9월에, 펜닝섬에서는 5-10월에 30℃이다. 최고온은 하와이에서 8월과 10월 사이에 각각 31℃를 보인다.

年平均濕度는 하와이에서 66%이고, 각 월별의 평균 최고습도는 1월중에 오전(08시) 80%, 오후(14시)에 61%이다. 펜닝섬에서는 년평균습도가 71%로 하와이에 비해서 약 10% 정도 높으며, 오전 및 오후의 습도차이는 연중 5-8%로 하와이의 12-19%에 비해서 작게 나타나, 赤道海域에 인접된 펜닝섬의 다습한 경향이 뚜렷이 나타난다.

月最高降雨는 하와이에서 1월에 95mm, 펜닝섬에서는 5월에 289mm이며 년평균 총강우는 펜닝섬에서 하와이에 비해서 거의 4 배인 2,125mm 이다. 위도 30°N-30°S, 경도 110-160°W사이의 海域에서는 降水頻度の 變化가 아주 심하다. 이 海域에서 降水頻도가 가장 낮은 海域은 0°-5°S 사이로 연중 10% 미만으로 발생되나, 곳에 따라서는 5%미만을 보이기도 한다. 반면에 평균빈도가 최대인 海域은 7°N - 10°N 과 120°W - 145°W 사이로 계절에 따라 30-50%를 기록하고 북서 및 북동방향으로 갈수록 강수빈도는 급격히 낮아진다.

나. 風向 및 海流

赤道를 중심으로 하는 熱帶海域에서는 貿易風(Trade Wind)이 北半球에서는 東 또는 北東, 南半球에서는 南 또는 南東의 方向으로 연중 계속 분다. 南, 北半球的 貿易風은 赤道의 無風帶(Doldrums)를 중심으로 南北으로 분리되는 데, 무풍대의 발달여부는 貿易風의 風向 및 風速의 變化에 민감하게 影響을 미친다.

하와이에서는 오전 및 오후에 北東風 및 東風이 년중 30-50%의 빈도를 보이나, 펜닝섬에서는 오전 및 오후에 동풍이 64-86%, 南東風이 10-38%의 分布를 보여 東風이 상대적으로 높은 빈도를 보인다. 특히 펜닝섬에서 5-7월에 無風의 빈도수가 10-11까지 기록되기도 한다. 風速은 년중 7노트로 거의 變化가 없으나 오전보다는 오후에 다소 높다.

太平洋에서의 表層海流는 北半球의 경우 北東, 南半球의 경우 南東 貿易風의 影響에 의하여 表層의 海流는 연중 서쪽으로 흐른다. 특히, 西向의 表層 흐름은 南北半球의 각각에 南, 北 赤道流(South Equatorial Current: North Equatorial Current)로서 대변되며 그 사이에는 赤道反流(Equatorial Counter Current)가 존재한다. 南赤道流(South Equatorial Current)는 西向을 주로 보이며 남쪽의 경계는 대략 南半球의 8° S선에, 북쪽의 경계는 北半球의 4° N 선에까지 미치면서 넓은 띠의 형태로 흐른다. 南赤道流는 북쪽의 境界海域에서는 西向의 흐름이 간혹 北向을 이루기도 한다. 北赤道流(North Equatorial Current)는 貿易風의 직접적인 影響에 의하여 서쪽으로 흐르며, 남쪽으로는 10° N과 북쪽으로는 18° N이 境界가 된다. 동쪽으로 흐르는 赤道反流(Equatorial Counter Current)는 6° N을 중심으로 남쪽으로는 $2-3^{\circ}$ N, 북쪽으로는 8° N선까지 띠 형태의 대상흐름을 보인다. 南北赤道流 각각의 南, 北의 境界海域에서는 무역풍의 影響이 약화되어 제 2의 海流인 南, 北 亞熱帶流(North and South Subtropical Current)가 형성된다. 北半球의 경우, 이 흐름은 약 26° N까지 연장되며, 北太平洋 海流와 접하게 된다. 특히 北太平洋 海流는 $35-50^{\circ}$ N사이에서 동향의 흐름을 보이지만 120° W에서 캘리포니아 海流와 합쳐져서 남쪽으로 방향이 바뀐다.

2. 深海底 鑛業開發 豫定 海域의 生態의 特性

北東 太平洋에서는 光合成에 필요한 太陽光이 상당한 水深까지 투과하기 때문에 營養鹽類가 1차 生物생산의 주요 要因으로 작용한다. 熱帶 太平洋 東

部에서 調査된 바에 의하면, 珉藻類에 있어서도 珉酸鹽이 成長을 제한하는 경우는 드물기 때문에 (Dodson, 1975), 주로 窒素源에 의하여 調査海域의 식물플랑크톤의 成長이 제한될 것으로 생각되고 있다. DOMES 地域의 研究結果 (Fryxell et al., 1979)를 통하여 調査海域 주변의 식물플랑크톤의 量的 分布와 出現種을 보면 平均出現量이 珉藻類 3080 cells/l, 쌍편모조류 3110 cells/l, coccolithophorids 4800 cells/l, 기타 9600 cell/l정도로 나타났으며, 전체 평균은 20500 cells/l였다. 전체 세포수의 일반적인 分布樣相은 잘 발달된 密度躍層(Pycnocline)내 또는 바로 위에서 최대를 보였으며, 그보다 깊은 水深에서는 감소하였다. 또한 대부분의 식물플랑크톤들이 有光層의 기부(表層 광도의 1%깊이) 위쪽에 존재하고 있다.

광업 대상해역의 底棲生態系는 무척 안정한 深海의 物理.化學的 特性을 가지고 있다. 太陽光은 表層에서 대부분 반사되거나 흡수되어 深海에는 發光生物에 의한 빛을 제외하고는 암흑상태나 다름없다. 이러한 環境에서 서식하는 생물들은 먹이를 찾고, 번식을 위해서 다른 감각기관들이 특별히 발달되어 있다. 水深 5,000m에서의 水壓은 500기압에 이르는데, 이러한 深海의 高水壓은 生物의 新進代謝 및 分布에 影響을 미치는것이 사실이나, 채집된 생물이 압력차에 의해 船上에 회수되었을 때에는 죽은 상태이므로 이 影響에 대한 정확한 것은 알 수 없다(Nybakken, 1982).

深海는 水溫躍層 以上の 水深으로, 鹽分이 거의 일정하고, 水溫은 海底面까지 완만한 변화폭으로 낮아져 3,000-4,000m 이상의 水深에서는 거의 일정하다(Nybakken, 1982). Hecker and Paul(1979)에 의하면, 太平洋 北東海域(8° N-16° N, 126° W-150° 47° W)의 4,350-5,150m의 水深대에서는 水溫 및 鹽分이 각각 0.982-1.50°C 및 34.68-34.69 psu 범위로 대체로 균일하다.

深海는 大氣 및 光合成에 의한 酸素의 공급이 차단되어 있음에도, 南極과 北極의 溫度가 낮은 表層水의 유입으로 生物의 棲息에 충분한 量的 酸素가 용존되어 있다. 양극지방의 찬 表層水가 침강하여 深海로 유입된 후에는 많은 양의 酸素供給이 이루어지지 않아도 深海에 서식하는 生物群集이 빈약하여 용

存酸素은 고갈되지 않는다 (Nybakken, 1982). 調査地域 周邊의 4,350-5,150m 水深의 深海水中の 容存酸素量은 3.65ml/l - 4.10ml/l이다 (Hecker and Paul, 1979).

해저면에는 지금까지 알려진 바와는 달리 많은 양의 底棲動物이 섭생하고 있다. 深海는 營養物이 빈약한 環境이며 에너지 압박은 水深이 증가할수록, 육지에서 멀어질수록 더욱 증가한다. 특히 光合成에 의한 基礎生産이 존재하지 않기 때문에 陸上이나 淺海 生態系에서와 같은 營養構造의 形成은 거의 불가능하다. 深海의 營養構造는 表層海水로부터 극히 느린속도로 침전하는 미세한 粒子性 有機物(organic debris), 大型植物과 動物의 殘骸 및 遠洋底棲種 (benthopelagic species)의 배설물로 구성된다. 먹이물질의 공급방법과 양은 深海 底棲生物의 種의 多樣性和 形態를 결정한다 (Rex, 1983).

深海 macrofauna의 먹이공급원인 미세 입자성 유기물은 계절에 따라 양과 성분이 변하여 (Wiebe et al., 1974; Deuser and Ross, 1980; Honjo, 1982), 底棲動物의 번식, 成長 및 加入에 뚜렷한 계절적 특성을 보인다 (Lightfoot et al., 1979; Gage and Tyler, 1981). 또한 대형식물과 動物유해는 국지적인 底棲動物의 群集構造에 큰 變化를 일으키는 중요한 영양원이다 (Isaacs, 1969; Dayton and Hessler, 1972; Turner, 1973; Wolff, 1979; Stockton and Delaca, 1982). 이와 같이 深海는 먹이량이 적고, 먹이 공급이 불안정하지만 深海生物의 독특한 섭식방법, 생리 및 생활사가 이들의 生態系를 안정시키고 있는 것으로 생각된다 (Rex et al., 1979; Rex and Waren, 1982).

Hecker and Paul(1979)에 의하면, 약 5,000m 水深의 深海 底棲動物의 密度는 36-268개체/m² (0.0156-1.5078g wet wt./m²)로 이 가운데 갯지렁이류가 40.1%, 주걱벌레붙이류(Tanaids)가 19.5%, 등각류(Isopoda)가 11.7%, 조개류(bivalvia)가 8.4%이며, 섭식형태는 전체 macrofauna 중 81%가 퇴적물 섭식자(deposit feeder), 19%가 여과 섭식자(suspension feeder)로 퇴적물 섭식이 우세하다.

水深에 따른 無脊椎動物의 分布를 보면, 2,000-6,000m 水深에서 종류수는 급격히 감소하고, 6,000-11,000m 水深에서는 水深에 따라 보다 완만히 감소한다. 해면동물(sponge)과 해삼류(holothuroidea)의 경우 2,500-3,000m 와 4,000-4,500m의 水深에서 총종류수가 증가하고, 갑각류 중의 Decapoda 등은 3,000m 水深에서 증가한다. Macrofauna의 密度는 水深에 따라 기하급수적으로 감소하여 深海底面에서는 10-100개체/m² 정도이다(Sanders et al.,1965; Rowe et al., 1974; Haedrich and Rowe,1978) Megafauna는 深海底에서는 淺海에서보다 出現量이 극히 적다 (Rowe and Mezies, 1969; Haedrich et al., 1980).

特定 水深의 平均 生體量(biomass)과 그 감소율은 지리적으로 變化가 심하여, 국지적인 表層生産力과 底棲群集에 유입되는 먹이량에 따라 變化樣相이 달라진다(Rowe, 1971; Rowe et al., 1974). 평균 생체량은 表層에서의 生産力과는 양의 함수관계가 있으며 表層 生産力이 높은 곳에서 감소율은 낮다.

3. 深海底 探査 海域의 海洋環境

가. 水溫 및 鹽分 分布

水溫과 鹽分の 垂直分布는 수괴의 구분과 水層의 安定性(stability)을 파악하는데 필수적인 정보를 제공한다. 水層의 安定性은 水層의 垂直混合(vertical mixing)에 의한 營養鹽의 공급을 결정하여 新生産과 物質의 垂直收支(vertical flux)에 影響을 미치게 된다. 92년도 探査는 4단계로 나누어 92년 5월-8월에 걸쳐 수행되었는데 探査海域에서 관측된 CTD 資料를 分析해 보면 水溫은 정점에 따라 약간의 變化를 보이나 대체로 일정하여 表層水溫이 26.6 °C - 28.8 °C 의 범위에 있었다. 表層鹽分은 33.7 psu - 34.4 psu로서 상대적으로 큰 變化를 보였다. 水溫은 表層에서 깊이에 따라 거의 일정하거나 서서히 낮아지다가 약 40 m - 90 m에서 급격히 감소하기 시작하여 150 m

에서 11 - 13 °C까지 감소하였다. 이후 약간의 水溫減少率의 變化가 있으나 水溫은 계속 감소하여 500 m에서 약 8 °C, 1000 m에서 약 4.5 °C, 4000 m에서 약 1.4 °C 의 값을 보였다.

鹽分은 水溫이 급격히 감소하는 水深보다는 더 깊은 水深인 120-190 m에서 最大 鹽分値를 보이고 이후 미약한 最小鹽分値를 보이는 水深인 650 - 840 m까지 감소한 후 다시 서서히 증가하여 4000 m에서는 34.66 psu의 값을 보였다. 水層에서의 이러한 最大鹽分값은 赤道 太平洋水에 해당하며 最小鹽分은 北太平洋 中層水の 影響으로 생각된다. 太平洋 底層水を 34.7 psu이하로 본다면 太平洋 底層水の 影響만 있을 뿐 太平洋 底層水塊의 影響은 보이지 않았다. 약 200 m 水深에서 最大 鹽分을 보이는 것은 北半球와 南半球의 순증발량이 최대치를 보이는 위도 25도 부근에서 나타나는 最大鹽分값을 지나는 海水가 침강한 후 赤道쪽으로 흘러와서 형성된 것으로 赤道附近 熱帶海域 海水의 特徵이라고 할 수 있다.

93년도 1次探査는 92년도 探査海域보다 북쪽 海域에서 수행되었는데, 表層水溫이 23.1 - 26.0 °C 범위였으며, 鹽分은 34.2-34.5 psu를 보였다. 水溫躍層은 75-100 m 부근에서 나타나는데, 수직적 水溫구배는 -0.11 ~ -0.22 °C/m정도로서 水深 200 m 까지 10-15 °C의 水溫變化가 나타났다. 300 m 부근에서는 水溫이 약 10 °C 까지 감소하는데, 4000m에서는 약 1.5 °C를 나타내었다. 表層水の 鹽分은 34.2 - 34.5 psu 정도였는데, 水溫躍層이 나타나는 水深에서 증가하여 中層에서 最大를 보였다가 감소한 후 底層으로 갈수록 서서히 다시 증가하는 일반적인 양상을 보였다.

나. 容存酸素 分布

容存酸素의 分布는 海水의 循環, 光合成에 의한 酸素의 生産, 呼吸과 有機物의 酸化에 따른 消費, 表層에서의 混合 등 여러 기작의 結果에 기인한다. 93년도 探査의 表層水中의 容存酸素濃度를 보면 4.6 - 5.4 ml/l의 分布를 보

였다. 대부분의 정점에서는 수직적으로는 水溫躍層이 시작되는 水深인 75-125 m 부근에서 최대를 보였는데, 5.0-5.4 ml/l까지 증가하였다가 지수적으로 감소하는 양상을 나타내었다. 이러한 水溫躍層 경계부분에서의 酸素增加는 底層으로부터 營養鹽이 공급되는 이러한 경계부분에서 식물플랑크톤의 光合成이 활발히 일어나서 容存酸素가 증가한 것이다. 그러나 정점 70, 100, 104에서는 이러한 水層內 최대가 보이지 않고 表層이 容存酸素가 더 높거나 20m 水深에서 높은 값을 보이기도 하였다. 水溫躍層 以下 水深에서의 容存酸素의 지수적 감소로 약 300 m 水深以下에서 容存酸素의 最小가 나타나고 있다. 이러한 층에서의 容存酸素는 0.3-0.5 ml/l까지의 아주 낮은 濃度가 測定되고 있는데, 美國의 DOMES 調査海域에서도 이와 유사한 값이 보고되고 있다(Anderson and Richard, 1977). 이러한 容存酸素 最小層은 이 水深에서 활발히 有機物의 分解가 일어나기 때문이다. 容存酸素가 최소가 되는 水層의 두께는 400-600 m 정도로서 750 - 1000 m 水深까지 연장된다. 그러나 容存酸素가 아주 고갈되지는 않아서 탈질소(denitrification)과정은 나타나지 않는 것으로 보인다. 水深 1000 m에서의 容存酸素는 0.8-1.3 ml/l정도이며, 水深이 증가함에 따라 다시 서서히 증가하여 4000 m 에서 3 ml/l 내외까지 증가하였다. 底層에서 容存酸素가 다시 증가하는 이유는 地球 海洋의 대규모 深層水 循環이 太平洋에서 深層水가 전반적으로 용승(upwelling)하기 때문에 底層水에 비해 中層水의 年齡 (北大西洋 表層에서 냉각되어 冷水塊가 형성되어 底層으로 침강한 뒤 지난시간)이 오래되었기 때문이다.

다. 營養鹽類의 分布 및 相互關係

深海底 探查海域은 일반적으로 表層에서는 매우 낮은 營養鹽 濃度를 나타내지만, 混合層(mixed layer)以下の 水層에서는 水深이 증가함에 따라 營養鹽의 濃度가 증가하는 양상을 나타낸다. 東에서 西로 흐르는 北赤道 海流와 西에서 東으로 흐르는 北赤道 反流가 교행하는 북위 7 - 11도 海域은 海流의 정

확한 위치와 속도는 季節的, 年間 變化를 보이거나 일반적으로 용승작용 (upwelling)에 의하여 水溫躍層의 水深이 상승하게 된다. 이에 따라 중층에서의 營養鹽의 濃도가 높게 나타나며, 수직확산(vertical diffusion)에 의해 營養鹽이 有光層(euphotic layer)내로 공급되어 1차 생산성 및 新生産 (new production)의 증가가 수반된다. 그러나 식물플랑크톤에 의한 營養鹽의 즉각적인 이용으로 인하여 表層에서의 營養鹽 濃度變化는 거의 나타나지 않는다.

窒酸鹽은 表層과 混合層에서 $0.5 \mu\text{M}$ 이하의 낮은 값을 보였으며, 水溫躍層 이하 水層에서는 水深에 따라 증가하는 양상을 보인다. 증가 양상은 水溫의 감소와 밀접한 직선 상관관계를 보이는데, 窒酸鹽과 水溫의 수직分布는 대칭형을 나타낸다. 최대치는 $49 \mu\text{M}$ 정도로서 1000 m 부근 水深에서 나타나며 그 이하 水層에서는 $45 \mu\text{M}$ 이하로 약간 감소하는 전형적인 양상을 보였다. 이는 지구 전체의 深層水 循環에 기인하는 것으로서, 太平洋 深層水가 전반적으로 상승하면서 수괴에 포함되어 있는 유기물과 表層에서 침강하는 有機物이 분해되면서 營養鹽의 증가를 보이기 때문이다. 200 m 이내의 有光層에서의 分布를 보면, 50 m 水深까지는 거의 균일한 分布를 보이고 그 이하 水深부터 증가하기 시작하여 100 m 水深에서 가장 變化폭이 크며 150 m 이하에서는 점진적인 증가를 보이고 있다.

亞窒酸鹽의 濃도는 表層에서 $0.2 \mu\text{M}$ 이하의 낮은 값을 나타내었는데, 水溫躍層 (thermocline) 부근에서 최대치를 나타낸다. 최대치는 100 m- 200 m 水深에서 약 $0.5 - 0.7 \mu\text{M}$ 정도이며 200 m 이하 水層에서는 다시 $0.2 \mu\text{M}$ 이하의 낮은 값을 나타낸다. 이러한 亞窒酸鹽의 分布는 水溫躍層에서 窒酸鹽이 증가함에 따라 식물플랑크톤에 의한 窒酸鹽의 흡수가 증가하나, 질산대사의 중간매체인 亞窒酸鹽이 낮은 光度에서 암모니아로 변환되지 못하고 體內에 蓄積되거나 體外로 분비됨으로 인해서 水層내 亞窒酸鹽 濃도가 증가하는데 기인한다. 200 m 이하의 水層에서는 식물플랑크톤의 현존량도 적을 뿐만 아니라, 光度도 表層光度의 0.1% 이하로 낮아 窒酸鹽의 吸收가 일어나지 않는다. 이에 따라 亞窒酸鹽 濃도도 낮은 값을 나타내고 있다.

亞窒酸鹽의 최대치는 調査海域에서의 1次生産力과도 밀접한 관계를 나타낸다. 1차생산이 매우 높은 페루 해안 등 용승海域에서는 1000 - 2000 m의水深에서 박테리아에 의한 다량의 유기물 분해로 인해 容存酸素의 濃度가 감소하며, 이 水層에서 亞窒酸鹽의 濃度가 4 μM 이상의 높은 값을 보이는 2차 亞窒酸鹽 最大值(secondary nitrite maximum)가 형성된다. 本 探查海域은 일반적으로 貧營養海域으로서 表層 生産性이 낮아 2차 亞窒酸鹽 最大值는 나타나지 않고 있다.

磷酸鹽의 分布는 窒酸鹽과 마찬가지로 表層에서 0.5 μM 이하의 낮은 濃度를 보이며 水深에 따라 증가한다. 窒酸鹽과 마찬가지로 100 m 에서 200 m까지의 水深에서 가장 증가폭이 크며, 200 m 이하에서는 4 μM 부터 작은 폭의 증가를 보여 底層에서 약 6 μM 에 달하였다.

硅酸鹽은 表層에서 1.5 - 3 μM 의 범위를 보이고, 水深에 따라 계속 증가하여 150 μM 이상까지의 값을 나타내었다. 窒酸鹽과 磷酸鹽이 1500 m 이하의 水深에서는 증가를 멈추는데 반해 硅酸鹽은 계속 증가하여 N:Si 값은 水溫躍層 以下에서 水深에 따라 감소하고 Si:P 값은 증가하게 된다. 表層에서의 硅酸鹽의 濃度는 식물플랑크톤중 硅藻類 (diatom)의 成長에 影響을 주게되고, 그에 따라 生物起源 粒子的 沈降에 影響을 미치게 되며 深海底 망간團塊의 형성에 기여도가 크리라 사료된다. 硅酸鹽의 濃度가 증가하게 되면 成長속도가 빠른 硅藻類의 수가 증가하게 되며 底層에서의 퇴적률도 이에 상응하여 증가하게 된다.

右光層 내에서 營養鹽의 變化는 주로 식물플랑크톤의 1차생산에 의한 소비에 기인하기 때문에 이들의 상호관계를 고찰함으로써 이 海域의 식물플랑크톤의 생리적 상태 및 1차생산에 영향을 미치는 요인들을 규명할 수 있다. 窒酸鹽과 磷酸鹽의 관계를 보면, 窒酸鹽의 濃度가 40 μM 까지 증가할 때까지 磷酸鹽의 濃度도 이에 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 직선회귀 관계를 보면 $(\text{NO}_3) = 9.870(\text{PO}_4) - 3.844$ 이며, $r^2 = 0.985$ 로 매우 높은 상관관계를 보인다. 이는 窒酸鹽과 磷酸鹽이 식물플랑크톤에 의해 일정한 비율로 소비됨을

시사한다. 窒酸鹽 축의 접점이 음의 값을 보이는 것은 이 海域에서 磷酸鹽에 비해 窒酸鹽이 먼저 소비되어 一次生産에 制限要因으로 작용할 수 있음을 보여주고 있다.

窒酸鹽과 硅酸鹽의 관계도 위와 동일한 양상을 나타내 보인다. 磷酸鹽과 硅酸鹽의 관계도 직선상관관계를 나타내나 차이점은 두 營養鹽이 表層에서도 $0.2 \mu\text{M}$ 이상의 값을 나타내며, 직선회귀선의 연장선이 원점을 통과한다는 것이다. 이는 窒酸鹽과 硅酸鹽이 공히 본 探查海域에서 一次生産에 制限要因으로 작용할 가능성이 매우 희박하다는 것을 보여주는 것이다.

營養鹽間 比率의 右光層內 垂直分布를 살펴보면 어느 원소가 一次生産의 制限要因인지 조금 더 용이하게 밝혀낼 수 있다. $\text{N}(\text{NO}_3+\text{NO}_2):\text{P}(\text{PO}_4)$ 비율을 보면 表層 混合層에서는 2 이하의 낮은 값을 보이며, 75 m 이하에서 증가하기 시작하여 100 m 이하에서는 9 내외의 값을 보인다. $\text{N}:\text{Si}$ 비율을 보면 $\text{N}:\text{P}$ 비와 유사하게 表層에서는 0.1 - 0.4 범위의 낮은 값을 보이고, 75 m에서부터 증가하여 100 m에서 1.2 - 1.75 범위의 최대치를, 그리고 200 m 이하의 水深에서는 1.2 이하의 값을 나타낸다. 磷酸鹽과 硅酸鹽의 관계는 水深에 따라 명확한 차이를 보이지 않고 2 - 12의 범위의 값을 보인다. 表層에서 變化폭이 크게 나타나는 이유는 절대값이 작은데서 기인한다. 150 m 이하 水深에서는 7.5의 비교적 일정한 값을 보인다. 위와 같은 分布樣相에서 본 探查海域에서 磷酸鹽이나 硅酸鹽에 비해 窒酸鹽 (亞窒酸鹽 포함) 이 一次生産에 制限要因이 될 가능성이 높다는 것을 알 수 있다. 그러나 貧營養海域에서 窒素固定을 하는 남조류(blue-green algae 와 cyanobacteria)에 의한 고정된 질소의 공급이 상당한 기여를 할 가능성이 존재하며, 또한 水層內에서 암모니아나 요소(urea)의 형태로 재생되는 고정질소에 의해 식물플랑크톤은 최소한의 질소요구량을 만족하여 생리적으로 낮은 固定窒素 環境에 비교적 잘 적응되어 있을 수도 있다.

라. 一次生産

一次生産이란 빛을 에너지원으로 하여 탄소와 기타 營養鹽類로부터 有機物質을 合成하는 過程이다. 一次生産者인 각종 식물플랑크톤은 海水속에 존재하는 무기물로부터 유기물을 합성하는 가장 중요한 역할을 하고 있다. Dugdale and Goering(1967)에 의하여 도입된 新生産(new production)의 개념은 이러한 海洋의 一次生産中에서 窒酸鹽과 용존질소와 같은 질소원으로부터 유래한 一次生産의 比率를 알아냄으로써 有光層으로부터 底層으로 떨어지는 유기물이나 고형유기질소의 收支를 파악하고자 하는 것이다(Eppley and Peterson, 1979). 新生産은 有光層 아래로부터 공급된 窒酸鹽을 질소원으로 하여 광합성을 한 생산량을 의미하며, 재생된 생산(regenerated production)이란 有光層 內에서 循環된 질소원을 사용하여 광합성한 생산량을 의미한다. 따라서 新生産量은 表層에서 底層 혹은 퇴적물로 공급하는 유기물의 양을 나타내게 된다. 전체 一次生産중에서 新生産의 비율을 보통 "f"라 표시하는데, 식물플랑크톤의 ^{15}N 흡수실험을 통하여 구할 수 있다. 주로 새로운 질소염양염의 유입이 주로 수직적인 窒酸鹽 공급에 의존하는 대양에서의 f값은 다음 식으로 계산된다.

$$f = (\rho_{\text{NO}_3}) / (\rho_{\text{NO}_3} + \rho_{\text{NH}_4} + \rho_{\text{urea}})$$

ρ_{NO_3} , ρ_{NH_4} , ρ_{urea} 는 각각 窒酸鹽, 암모니아, 요소의 transport rates이다. 이 식에서 질소고정은 포함되어 있지 않은데 적절한 資料가 없는 상태이므로 f값이 과대평가될 가능성이 있다. 요소 흡수량은 경우에 따라서는 전체 무기질소 흡수의 50%까지도 될 수 있으나, 赤道 太平洋의 용승地域에서는 이러한 흡수가 매우 낮을 것으로 생각되고 있다(Kokkinakis and Wheeler, 1987).

新生産(new production)은 system밖에서 유입된 營養鹽 (주로 窒酸鹽)에

의한 생산을 의미하며, system이 소진되지 않고 system밖으로 export될 수 있는 양에 해당한다. 再生産(regenerated production)은 有光層(euphotic layer) 내에서 순환되는 營養鹽(주로 암모니아나 요소)에 의한 생산을 의미한다. 新生産의 전체 1차생산에 대한 비율을 f 라고 하며, 이 f 값이 높을수록 전체생산에서 新生産이 차지하는 비율이 크다.

新生産은 營養鹽類의 供給이 적은 太平洋의 중앙 gyre에서 최소를 보이며, 용승에 의해 底層에서 營養鹽이 공급되는 海域에서는 큰 값을 보인다. Epply and Peterson(1979)은 新生産의 比率이 貧營養海域에서 6%, 沿岸에서는 30%정도라고 보고하였다. 新生産이 有光層에서 생산된 유기물이 底層으로 공급되는 양이라면, 有光層 바로 아래에 설치한 sediment trap에서 채취되는 유기물의 양과 같아야만 한다. 그러나 식물플랑크톤의 分布가 시간적으로나 공간적으로 불균일한(patch) 分布를 하고 있으므로 이러한 완전한 일치는 이루어지기 어렵다. 新生産量과 底層으로의 유기물 공급이 동일하지 않은 현상은 특히 용승현상이 일어나는 海域에서 두드러지는데, 이는 營養鹽과 생물체들이 수직적인 이동 뿐만 아니라 수평적인 이동을 하기 때문이다. 평균적으로 表層으로부터 底層으로의 유기물 공급은 100 m에서 20%, 200 m에서 10% 정도인데(Berger et al., 1989), 상황에 따라서 그 양은 상당히 변할 수도 있다.

新生産量은 有光層의 海水중 pCO_2 에 影響을 주게 되므로 대기중 이산화탄소의 증가에 대한 海洋의 완충작용과 밀접한 관계가 있다(Ducklow, 1989; Revelle, 1990; Sarmiento, 1991). 赤道太平洋 海域은 底層의 容存 無機 二酸化炭素가 높은 海水가 表層으로 용승하므로 일반적으로 이산화탄소가 대기중으로 방출된다고 생각되고 있다(Freely et al., 1987; Volk and Liu, 1988; Volk, 1989). Broecker(1991)는 생물활동을 통해서는 Redfield ratio에 따라서 용승된 이산화탄소와 窒酸鹽이 제거되므로 대기중 이산화탄소 방출을 줄이는데 큰 역할을 할 수 없다고 주장했으나, 다른 학자들은 이러한 의견에 반대를 보이고 있다(Banse, 1991; Longhust, 1991). 용승 海域의 一次生産者에 의한 탄소/질소의 흡수비는 Redfield ratio보다 클 수 있으며, 有光層 아래로

떨어지는 유기물 중의 탄소/질소비가 Redfield ratio보다 크다면 생물활동이 대기중 이산화탄소 증가의 완충작용을 할 가능성이 있기 때문이다.

일반적으로 海洋에서 一次生産과 新生産을 조절하는 要因으로는 光量, 水溫, 營養鹽, 攝食作用 등을 들 수 있다. 赤道 太平洋 海域에서는 光量은 다른 요인들에 비하여 충분하다고 볼 수 있다. 그러나 강력한 垂直 混合이 일어나는 곳에서는 식물플랑크톤 群集이 실제로 경험하는 平均 光量과 水層의 安定度가 一次生産에 影響을 줄 수도 있다. 溫度도 赤道 太平洋에서는 制限 要因이 될 수 없다. 따라서 赤道 太平洋에서 新生産을 조절하는 요인들은 營養鹽과 섭식 작용이 주된 影響을 끼친다고 볼 수 있다.

赤道 太平洋 海域에서 ^{14}C 을 이용한 一次生産力 測定은 비교적 많이 수행되었으나, ^{15}N 을 이용한 新生産의 測定은 많지 않았다(Dymond and Collier, 1988; Yang, 1992). 서경 150도의 赤道에서 얻어진 新生産의 比 f 는 0.18 ± 0.005 였는데(Dugdale et al., 1992), 이 값은 f 가 0.8 정도인 부영양·해역과 0.05 정도인 빈영양 해역의 중간 값이다. f 가 크다는 것은 表層으로의 營養鹽 공급이 많다는 것을 의미한다. 赤道 太平洋에서 0.18을 보인 것은 窒酸鹽이 $5 \mu\text{M}$ 이상인 이 海域의 높은 營養鹽 濃度에 비하면 오히려 작은 값이다. 赤道 太平洋의 現存量은 0.3 mg chl a/m^3 정도로 낮았는데 이러한 현상은 1) 微量金屬이나 규소 등 다른 營養鹽이 제한 요인으로 작용하였을 가능성이 있거나, 2) 이 海域의 식물플랑크톤 群集이 混合이나 攝食, 沈降 등으로 상당부분 제거되는 요인이 크거나, 3) 암모니아에 의한 窒酸鹽 흡수가 방해되거나, 4) 成長速度가 빠른 seeding 群集이 없는 등의 影響에 의한 것으로 보인다.

마. 水中의 微量金屬

코발트 (Cobalt; Co)의 濃度는 $0.003 - 0.015 \mu\text{g/l}$ 의 범위를 보이며, 表層에서 높은값을 가지나 表層과 底層사이에 커다란 차이가 나타나지 않는다. 원양에서 용존코발트의 일반적인 分布는 表層과 深層에서 결핍된 양상을 나타낸

다. 本 研究에서 表層에서 變化폭이 크고 비교적 높은 값을 나타내는 이유는 입자에 흡착된 코발트가 酸에 용해되어 分析結果에 포함된 것으로 사료된다.

구리 (Copper; Cu)는 表層에서는 0.26 - 1.30 $\mu\text{g/l}$ 의 큰 변화폭을 나타내고, 200- 500 m 水深에서 최소치를 보이고 1000 m 이하 水層에서는 0.3-0.5 $\mu\text{g/l}$ 로 다시 증가한다. 表層에서 변화폭이 큰 이유는 대기에서 유입되는 공해물질 및 시료채취시 汚染에서 기원하는 것으로 생각되며, 混合層 (mixed layer) 以下の 水層에서는 營養鹽의 再生方式과 吸着(scavenging)에 의한 감소가 혼합된 양상을 보인다.

철 (Iron; Fe)은 表層에서 0.15 - 1.10 $\mu\text{g/l}$ 범위의 큰 變化를 보이고 底層으로 가면서 감소하는 양상을 보인다. 원양에서 용존철의 일반적인 分布는 表層에서 결핍된 양상을 나타낸다. 本 探査에서 表層에서 높은 값을 보이고 變化폭이 큰 이유는 입자에 흡착 또는 포함되어있는 철이 산에 용해되어서 分析結果에 포함되는 것과함께 試料채취중 汚染에의한 요인이 복합적으로 작용하였을 가능성이 병존한다.

망간 (Manganese; Mn)의 濃度는 表層 mixed layer에서는 0.07 - 0.10 $\mu\text{g/l}$ 범위의 값을 보이고 水深에 따라 감소하며 1000 m 이하에서는 0.30 $\mu\text{g/l}$ 내외의 낮은 값을 보인다. 혼합층(mixed layer)에서 높은 濃度를 보이는 이유는 表層에서의 대기에 의한 유입에 기인한다. 원양에서 용존망간의 일반적인 分布는 表層에서 높은 값을 나타내며 水深에 따라 감소하는 양상을 나타내 보인다.

납 (Lead; Pb)은 表層에서 0.02 - 0.12 $\mu\text{g/l}$ 범위의 값을 보이며, 1000 m 이하의 水層에서는 0.02 - 0.04 $\mu\text{g/l}$ 범위를 나타낸다. 海水중 납의 주된 공급원은 배기가스등 대기로 부터 유래하며, 海水中에서는 粒子에 흡착되어 침강되어 제거된다. 구리나 철과 마찬가지로 채수중 채수장비나 선박으로 부터의 汚染에 민감하므로 주의가 요구된다.

니켈 (Nickel; Ni)은 表層에서 0.2 $\mu\text{g/l}$ 의 값을 보이며 水深에 따라 0.6 $\mu\text{g/l}$ 까지 증가한다. 수직分布 양상은 營養鹽 (labile-type인 磷酸鹽과

refractory-type인 珪酸鹽의 중간 유형)과 유사성을 보인다. 니켈은 磷酸鹽과 같이 생물체의 연질부 (soft tissue parts)에 결합되며 또한 珪酸鹽과 같이 경골부 (hard skeletal parts)에도 결합이 된다 (Sclater et al., 1976). 그에 따라 니켈은 淺海와 深海에서 공히 재생기작을 가진다. 다른 영양염 유형의 원소와 마찬가지로 니켈은 北太平洋에서 북대서양에 비해 深海에서 높은 값을 나타낸다.

第 4 節 結 論

深海底 多金屬團塊의 開發은 필연적으로 海洋環境에 여러가지 좋지 못한 影響을 미칠 것으로 예상하고 있다. 深海 鑛業은 잠재적으로 중대한 環境 影響을 발생시킬 수 있는 계획된 産業 活動이기 때문이다. 그러나 團塊 鑛業에 의한 影響을 완전히 피할 수는 없다 하더라도, 적절한 技術과 統制手段을 이용하여 이러한 影響을 최소화할 수 있을 것으로 예측하고 있다. 深海底의 有用한 資源을 가장 合理的으로 이용하기 위해서는 環境 破壞 行爲의 結果에 대한 철저한 事前 理解가 있어야만 한다. 國際 深海底機構는 深海底 活動으로 인한 環境影響을 파악하기 위하여 環境基準地域(Environmental Reference Zones)을 두고, 試掘段階 동안에 수집된 타당한 資料를 기초로 한 環境報告書 또는 環境影響陳述書(Environmental Impact Statement)를 探查事業 計劃 承認前에 제출함은 물론 채굴시에도 環境에 미치는 影響에 대한 年次 報告書를 계속 제출하도록 규정할 예정이다. 本 研究에서는 1차년도에 일단 深海底 探查海域의 기본적인 海洋環境特性을 調査함으로써, 인위적인 影響을 받지 않은 자연적인 環境狀態를 파악하고자 하였다. 이러한 資料는 차후 深海底 開發로 인한 環境影響을 추정하는데 있어서 基礎資料가 될 것이며, 赤道 太平洋 海域의 環境을 이해하는데 중요한 정보를 제공할 것이다. 本 研究에서는 美國, 日本, 러시아가 1992년부터 공동으로 수행중인 BIE(Benthic Impact

Experiment) 調査에 참여하여 深海底 環境變化에 대한 模擬實驗을 통하여 보다 구체적인 環境變化의 證據를 포착할 수 있을 것이다.

Table III-2. Vertical distribution of dissolved oxygen in the KODOS-93-1 region.

STN	Depth(m)	Bottle Vol(ml)	Tit. Vol(ml)	D.O. (mlO ₂ /l)
45	10	113.60	5.16	5.133
	20	108.00	4.88	5.108
	30	106.20	4.79	5.100
	50	119.68	5.47	5.162
	75	102.97	4.82	5.294
	100	114.20	5.44	5.382
	125	105.10	4.42	4.755
	150	104.80	4.14	4.467
	200	107.00	2.54	2.684
	250	106.30	1.14	1.213
	300	108.00	0.94	0.984
	400	114.30	0.65	0.643
	500	104.84	0.61	0.658
	750	105.25	0.57	0.612
	1250	104.88	1.20	1.294
	1500	106.21	1.58	1.682
	2000	101.89	1.96	2.176
	2500	105.70	2.46	2.632
	3000	104.50	2.76	2.987
	3500	116.70	3.37	3.262
4000	109.54	3.58	3.694	
76	10	114.30	5.20	5.140
	20	104.80	4.67	5.039
	30	113.60	5.05	5.023
	50	102.97	4.82	5.294
	75	105.70	4.89	5.231
	100	104.50	4.85	5.248
	125	105.25	4.53	4.867
	150	114.20	3.78	3.740
	200	106.30	1.79	1.904
	250	106.21	0.98	1.043
	300	105.00	0.45	0.485
	400	106.00	0.62	0.661
	500	107.00	0.65	0.687
	750	108.00	0.62	0.649
	1000	101.89	0.92	1.021
	1250	108.00	1.28	1.340
	1500	116.70	1.71	1.655
	2000	104.84	2.16	2.330
	2500	107.38	2.55	2.685
	3000	105.10	2.74	2.948
4000	104.88	3.37	3.630	

Table III-2. (continued)

STN	Depth(m)	Bottle Vol(ml)	Tit. Vol(ml)	D.O. (mlO ₂ /l)
104	10	116.70	5.24	5.072
	20	104.88	4.64	5.003
	30	106.20	4.64	4.940
	50	105.10	4.69	5.046
	75	108.00	4.90	5.129
	100	106.21	4.50	4.790
	125	104.84	2.67	2.880
	150	119.68	2.81	2.652
	200	109.54	0.77	0.795
	250	108.00	0.48	0.502
	300	107.38	0.33	0.347
	400	106.00	0.54	0.576
	500	105.00	0.61	0.657
	750	104.50	0.53	0.574
	1000	107.00	0.79	0.835
	1250	113.60	1.13	1.124
	1500	101.89	1.34	1.488
	2000	114.30	2.23	2.204
	2500	106.30	2.53	2.691
	3000	114.20	2.96	2.929
3500	105.25	2.94	3.159	
4000	102.97	3.18	3.493	

Table III-3. Vertical distribution of chlorophyll *a*
in the KODOS-92-2 region

(unit: ug/l)

Depth(m)	STN 5	STN 23	STN 54
0	0.02	0.07	0.02
2	0.02	0.06	0.02
10	0.01	<0.01	<0.01
20	0.02	<0.01	<0.01
30	0.01	<0.01	0.01
40	0.02	<0.01	0.01
50	0.02	0.01	<0.01
75	0.04	<0.01	0.03
100	0.02	0.03	0.02
150	0.04	0.02	<0.01
200	0.01	<0.01	<0.01
250			<0.01
300	0.01	0.02	<0.01
500	0.01	<0.01	<0.01
750	0.01	<0.01	<0.01
1000	0.02	<0.01	0.01
1500	0.01		<0.01
2000	<0.01	0.01	<0.01
2500	0.01		
3000	<0.01	<0.01	
3500	0.01	0.02	
4000	<0.01	<0.01	
4200	<0.01		

Table III-4. Distribution of chlorophyll *a* by phytoplankton size in the surface water(KODOS-92-2)

(unit: ug/l)

STN	0.4 - 1 μm	1 - 3 μm	3 - 8 μm	8 - 20 μm	Total (GF/F)
14	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
15	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
16	0.01	0.02	0.01	0.01	<0.01
17	0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01
18	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
26	0.02	<0.01	0.02	0.02	0.05
27	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01
28	0.02	<0.01	0.02	0.02	<0.01
29	0.02	<0.01	0.02	0.02	0.02
30	0.02	<0.01	0.02	0.02	0.01
31	0.02	<0.01	0.01	0.01	0.01
32	0.02	<0.01	0.01	0.02	0.01
41	0.03	0.01	0.02	0.03	0.08
42	0.04	0.01	0.04	0.04	0.12
43	0.03	0.01	0.02	0.02	0.04
44	0.02	<0.01	0.01	0.02	0.01
45	0.01	<0.01	0.01	0.02	0.01
46	0.03	<0.01	0.02	0.02	0.05
47	0.02	<0.01	0.01	0.02	<0.01

Table III-5. Vertical distribution of biogenic silica in surface waters of the KODOS-92 region

STN	Si (nM)	STN	Si (nM)	STN	Si (nM)
KODOS92-1 1	47.55	KODOS92-2 14	63.60	KODOS92-4 1	29.27
2	60.00	15	101.55	2	26.82
3	51.45	16	94.05	3	82.46
4	9.60	17	45.45	4	28.66
5	19.35	18	64.35	5	97.13
6	15.00	26	61.95	7	40.88
7	11.18	27	99.00	8	61.67
15	44.85	28	65.25	10	53.73
16	108.45	29	50.85	12	55.55
17	60.75	30	47.85	14	43.33
19	93.30	31	101.55	15	42.10
20	46.80	32	31.35	17	30.49
21	502.80	41	57.75	19	53.73
31	209.55	42	94.05	21	43.07
32	53.70	43	109.80	22	28.04
33	108.15	44	58.65	24	24.37
34	69.30	45	42.90	26	55.55
35	55.35	46	37.20	28	26.21
49	228.60			29	28.66
50	103.20			32	24.37
51	98.25			33	30.49
52	92.40			35	35.32
53	99.90			37	31.10
				38	39.04
				40	123.00
				42	108.90
				44	79.20
				47	38.85

Table III-6. Uptake of nitrate and ammonia by phytoplankton in the KODOS-93-1 region

STN	Depth(m)	N. comp.	PON (μg)	At%15N	PON ($\mu\text{g}/\text{l}$)	PON*Ex15N	
22	0	NO3	5.0549	0.5867	2.5275	0.5603	
	10	NO3	5.6343	1.0865	2.8172	2.0324	
	20	NO3	4.3849	1.0701	2.1925	1.5458	
	30	NO3	7.8754	0.6441	3.9377	1.0989	
	50	NO3	5.9692	0.5154	2.9846	0.4489	
	75	NO3	6.1865	0.4888	3.0933	0.3829	
	0	NH4	8.6569	5.7399	4.3285	23.2649	
	10	NH4	9.1347	2.5270	4.5674	9.8747	
	20	NH4	4.0513	2.7873	2.0257	4.9067	
	30	NH4	10.8238	4.0957	5.4119	20.1901	
	50	NH4	6.5528	1.0884	3.2764	2.3701	
	75	NH4	7.7632	1.3862	3.8816	3.9639	
	26	0	NO3	7.5264	1.0161	3.7632	2.4503
		10	NO3	6.0024	1.7761	3.0012	4.2350
20		NO3	8.0813	1.1211	4.0407	3.0552	
30		NO3	7.5761	1.2749	3.7881	3.4468	
50		NO3	7.5115	0.7338	3.7558	1.3852	
75		NO3	7.4265	0.7365	3.7133	1.3796	
0		NH4	6.7877	2.5781	3.3939	7.5110	
10		NH4	8.1332	5.9388	4.0666	22.6664	
20		NH4	7.9966	8.2292	3.9983	31.4436	
30		NH4	7.3288	3.6584	3.6644	12.0683	
50		NH4					
75		NH4	6.1226	2.3298	3.0613	6.0149	
29		0	NO3	8.6148	1.3282	4.3074	4.1488
		10	NO3	8.2143	1.8693	4.1072	6.1784
	20	NO3	5.1315	1.5125	2.5658	2.9442	
	30	NO3	6.6011	2.2155	3.3006	6.1075	
	50	NO3	7.1761	0.9534	3.5881	2.1111	
	75	NO3	7.6989	0.9460	3.8495	2.2365	
	0	NH4	9.5787	2.6935	4.7894	11.1518	
	10	NH4	7.9383	11.3006	3.9692	43.4049	
	20	NH4	8.0587	6.8375	4.0294	26.0801	
	30	NH4	7.8287	6.7972	3.9144	25.1778	
	50	NH4	7.4411	3.3103	3.7206	10.9583	
	75	NH4	6.5850	2.5494	3.2925	7.1922	

Table III-6. (continued)

STN	Depth(m)	N. comp.	PON (μg)	At%15N	PON ($\mu\text{g/l}$)	PON*Ex15N	
39	0	NO3	14.7171	1.0794	7.3586	5.2572	
	10	NO3	7.4564	1.0041	3.7282	2.3828	
	20	NO3	8.7003	1.0367	4.3502	2.9220	
	30	NO3	5.6664	0.8923	2.8332	1.4941	
	50	NO3	8.7362	0.5120	4.3681	0.6421	
	75	NO3	7.8809	0.5347	3.9405	0.6685	
	0	NH4	9.2395	3.8357	4.6198	16.0335	
	10	NH4	6.6110	4.8064	3.3055	14.6811	
	20	NH4	8.7333	5.2452	4.3667	21.3102	
	30	NH4	6.9997	5.9808	3.4999	19.6546	
	50	NH4	6.7586	2.3586	3.3793	6.7371	
	75	NH4	8.2891	1.6564	4.1446	5.3521	
	45	0	NO3	11.5725	0.8559	5.7863	2.8405
		10	NO3	5.7473	1.68087	2.8737	3.7813
20		NO3	6.9906	1.79676	3.4953	5.0044	
30		NO3	6.5626	1.68985	3.2813	4.3472	
50		NO3	6.1244	0.84448	3.0622	1.4683	
75		NO3	4.9716	0.6658	2.4858	0.7477	
0		NH4	9.1978	4.09849	4.5989	17.1699	
10		NH4	6.8547	4.95181	3.4274	15.7206	
20		NH4	7.1279	4.49892	3.5640	14.7331	
30		NH4	6.7226	3.88031	3.3613	11.8160	
50		NH4	5.5808	1.93924	2.7904	4.3928	
75		NH4	6.4295	1.87573	3.2148	4.8566	
55		0	NO3	7.4511	1.00126	3.7256	2.3704
		10	NO3	5.6056	1.42318	2.8028	2.9659
	20	NO3	5.6797	0.79617	2.8399	1.2245	
	30	NO3	7.0997	2.03245	3.5499	5.9192	
	50	NO3	7.0412	0.88419	3.5206	1.8279	
	75	NO3	6.8349	0.97887	3.4175	2.0979	
	0	NH4	10.0780	5.35951	5.0390	25.1673	
	10	NH4	5.7570	6.61228	2.8785	17.9828	
	20	NH4	2.8626	8.65113	1.4313	11.8599	
	30	NH4	6.9921	3.6538	3.4961	11.4978	
	50	NH4	5.9547	3.39464	2.9774	9.0203	
	75	NH4	7.7062	1.36509	3.8531	3.8534	

Table III-6. (continued)

STN	Depth(m)	N. comp.	PON (μg)	At%15N	PON ($\mu\text{g/l}$)	PON*Ex15N	
64	0	NO3	7.7872	0.87947	3.8936	2.0031	
	10	NO3	5.2881	1.15189	2.6441	2.0806	
	20	NO3	6.3292	1.78625	3.1646	4.4977	
	30	NO3	7.3795	1.06192	3.6898	2.5715	
	50	NO3	5.6478	0.91041	2.8239	1.5402	
	75	NO3	6.1147	0.62420	3.0574	0.7925	
	0	NH4	8.3318	3.64730	4.1659	13.6737	
	10	NH4	7.0138	6.96843	3.5069	23.1576	
	20	NH4	6.2817	6.57335	3.1409	19.4995	
	30	NH4	5.2356	9.67246	2.6179	24.3660	
	50	NH4	3.9401	1.69699	1.9701	2.6241	
	75	NH4	6.23	1.69413	3.1150	4.1402	
	70	0	NO3	16.0071	0.83045	8.0036	3.7253
		10	NO3	4.5275	2.16495	2.2638	4.0746
20		NO3	6.2736	1.58439	3.1368	3.8250	
30		NO3	7.5144	2.21907	3.7572	6.9661	
50		NO3	5.9848	0.74200	2.9924	1.1281	
75		NO3	10.0096	0.56394	5.0048	0.9957	
0		NH4	18.1969	5.81990	9.0985	49.6311	
10		NH4	7.7959	8.73060	3.8980	32.6087	
20		NH4	7.6339	10.70345	3.8170	39.4613	
30		NH4	6.2070	6.21233	3.1035	18.1472	
50		NH4	6.0556	1.21187	3.0278	2.5642	
75		NH4	6.7884	1.74974	3.3942	4.7001	
76		0	NO3	9.9229	1.17349	4.9615	4.0113
		10	NO3	5.9574	2.39434	2.9787	6.0448
	20	NO3	7.2697	1.86720	3.6349	5.4603	
	30	NO3	7.2295	5.58385	3.6148	18.8648	
	50	NO3	-2.2737	-0.09220	-1.1369	0.5198	
	75	NO3	6.9356	0.71914	3.4678	1.2281	
	0	NH4	0.4129	1.56779	0.2065	0.2483	
	10	NH4	20.2873	7.07897	10.1437	68.1042	
	20	NH4	7.6205	10.41746	3.8103	38.3024	
	30	NH4	8.1757	1.81095	4.0879	5.9108	
	50	NH4	7.2851	1.76151	3.6426	5.0869	
	75	NH4	7.7879	1.86113	3.8940	5.8259	

Table III-6. (continued)

STN	Depth(m)	N. comp.	PON (μg)	At%15N	PON ($\mu\text{g/l}$)	PON*Ex15N	
100	0	NO3	6.9633	1.31881	3.4817	3.3208	
	10	NO3	6.4188	1.16419	3.2094	2.5649	
	20	NO3	8.1260	1.92095	4.0630	6.3218	
	30	NO3	9.1086	1.73655	4.5543	6.2465	
	50	NO3	7.4344	0.60780	3.7172	0.9025	
	75	NO3	8.5851	0.49372	4.2926	0.5525	
	0	NH4	7.8240	5.48371	3.9120	20.0244	
	10	NH4	9.0926	7.79373	4.5463	33.7732	
	20	NH4	8.3664	7.81401	4.1832	31.1607	
	30	NH4	9.0682	5.92327	4.5341	25.2018	
	50	NH4	8.0060	1.76574	4.0030	5.6072	
	75	NH4	6.7376	3.34787	3.3688	10.0487	
	104	0	NO3	7.5580	1.36995	3.7790	3.7977
		10	NO3	8.2410	1.72604	4.1205	5.6082
20		NO3	7.6975	2.08845	3.8488	6.6331	
30		NO3	9.1050	1.51111	4.5525	5.2177	
50		NO3	7.2364	0.77311	3.6182	1.4766	
75		NO3	7.8388	0.67540	3.9194	1.2166	
0		NH4	6.8637	6.7236	3.4319	21.8218	
10		NH4	6.5888	10.30342	3.2944	32.7411	
20		NH4	9.596	8.39380	4.7980	38.5222	
30		NH4	8.9726	7.86370	4.4863	33.6414	
50		NH4	8.3299	4.42102	4.1650	16.8931	
75		NH4	8.8936	4.50561	4.4468	18.4125	
110		0	NO3	9.4696	0.84379	4.7348	2.2670
		10	NO3	9.9746	1.70653	4.9873	6.6906
	20	NO3	6.4404	2.98733	3.2202	8.4444	
	30	NO3	9.8188	0.88608	4.9094	2.5582	
	50	NO3	12.8069	0.39789	6.4035	0.2106	
	75	NO3	6.9282	2.12661	3.4641	6.1024	
	0	NH4	8.1947	2.18429	4.0974	7.4543	
	10	NH4	6.7624	11.68757	3.3812	38.2839	
	20	NH4	-0.2933	1.61943	-0.1467	-0.1840	
	30	NH4	8.5516	8.70297	4.2758	35.6515	
	50	NH4	6.1201	1.45439	3.0601	3.3336	
	75	NH4	7.8065	0.52285	3.9033	0.6161	

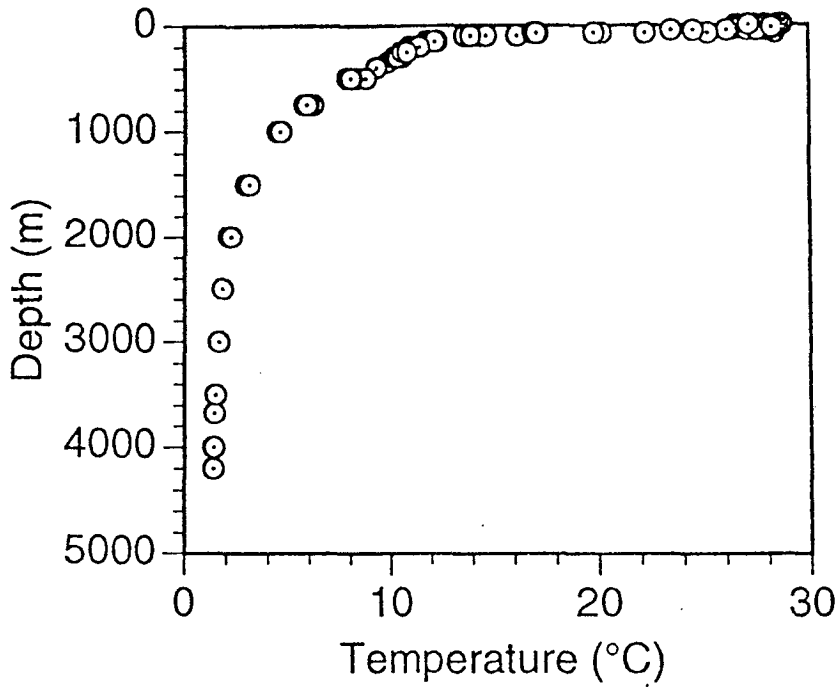


Fig. III-1. Vertical profile of temperature in the KODOS-92 region

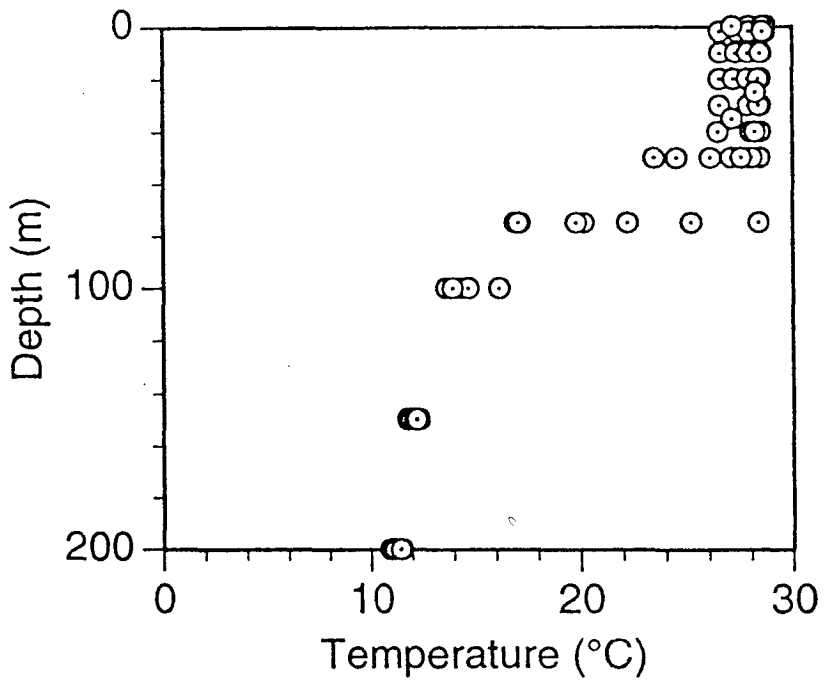


Fig. III-2. Vertical profile of temperature above 200m in the KODOS-92 region

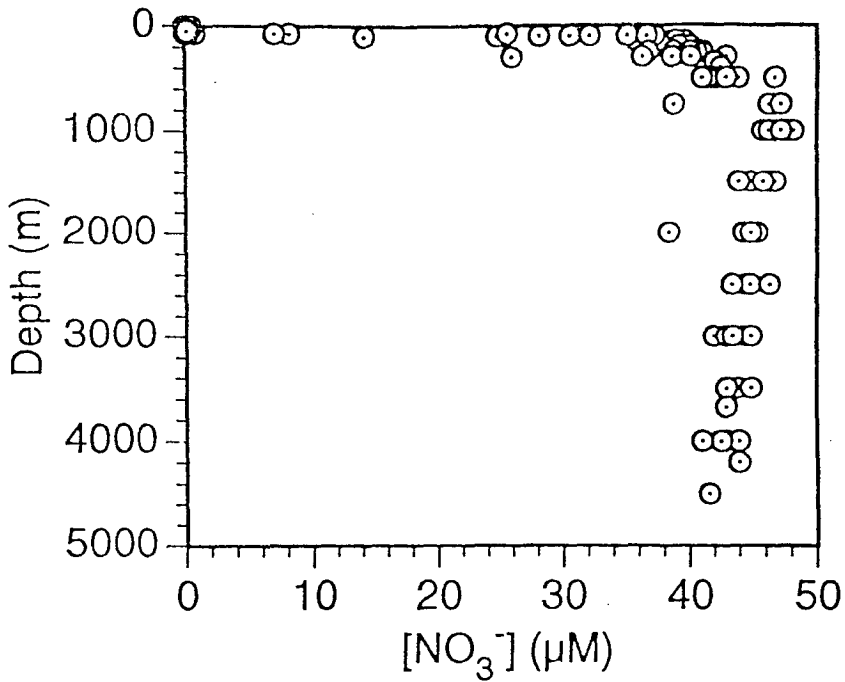


Fig. III-3. Vertical profile of nitrate in the KODOS-92 region

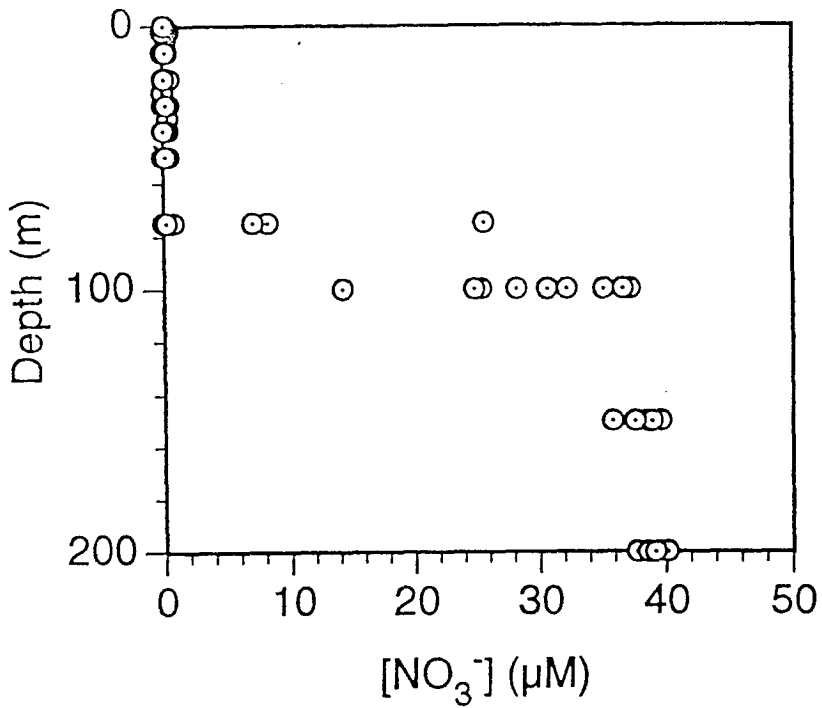


Fig. III-4. Vertical profile of nitrate above 200m in the KODOS-92 region

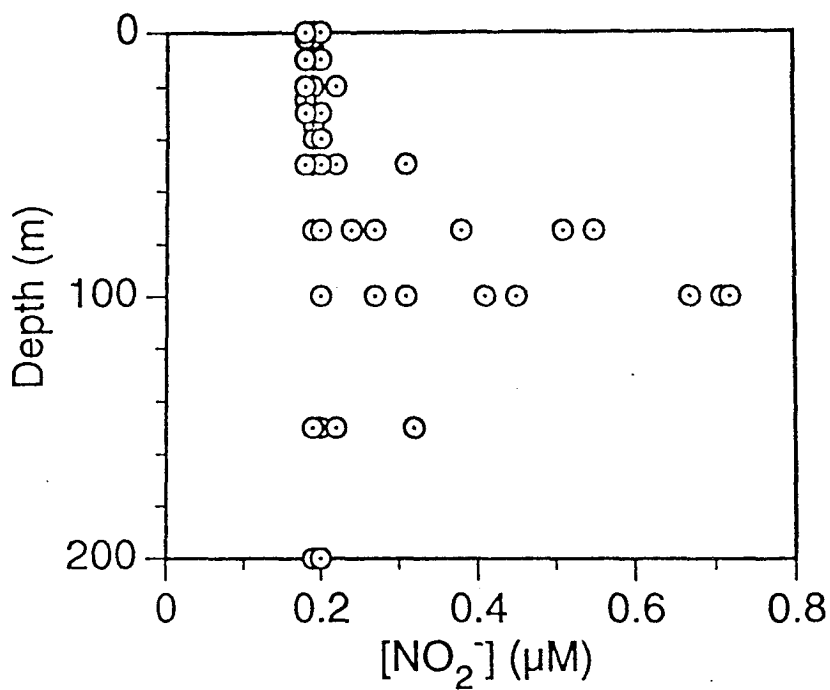


Fig. III-5. Vertical profile of nitrite above 200m in the KODOS-92 region

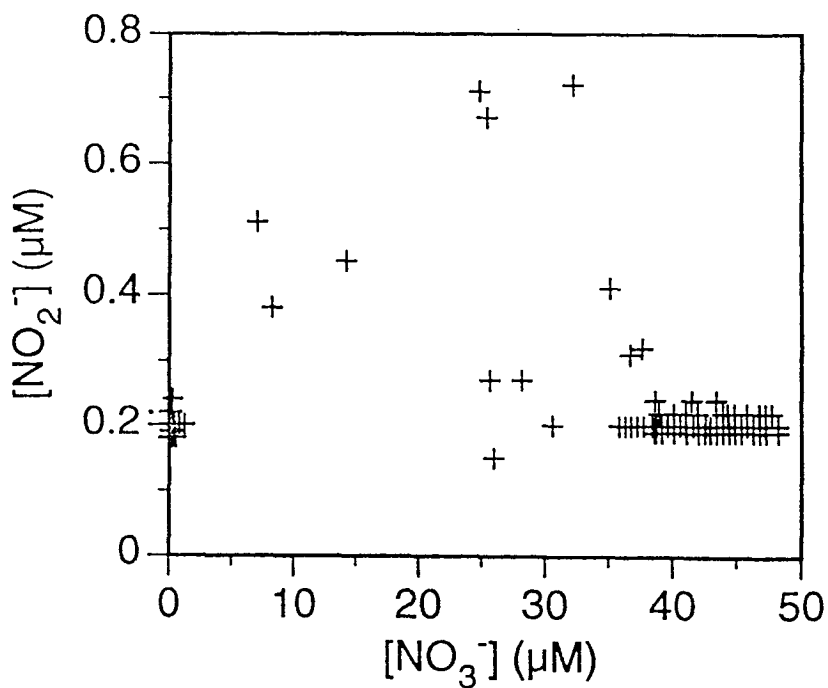


Fig. III-6. Correlation between nitrate and nitrite in the KODOS-92 region

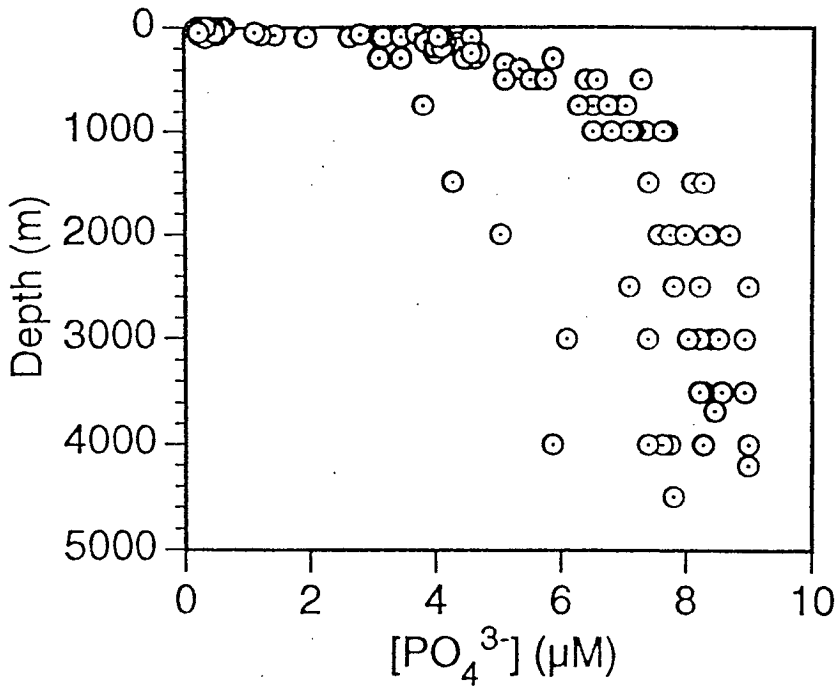


Fig. III-7. Vertical profile of phosphate in the KODOS-92 region

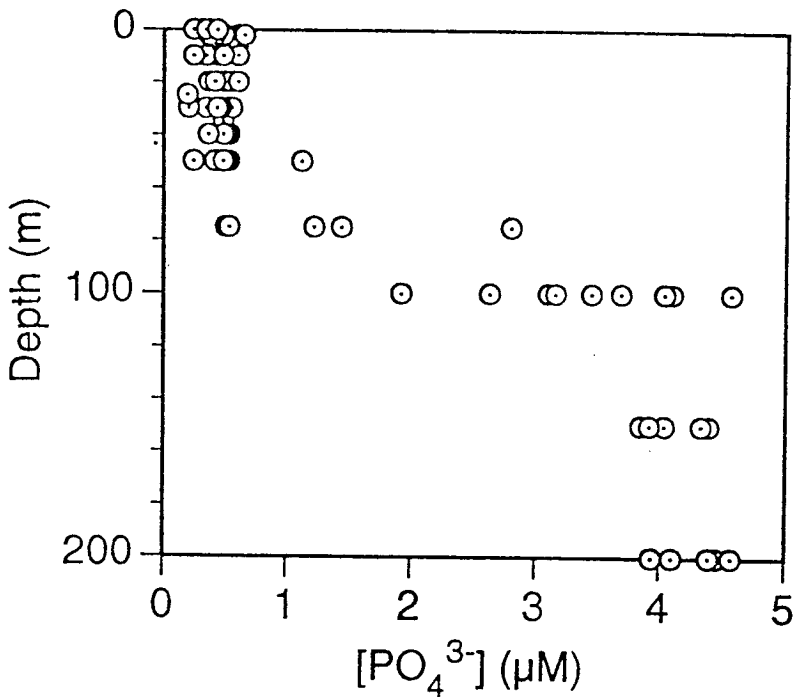


Fig. III-8. Vertical profile of phosphate above 200m in the KODOS-92 region

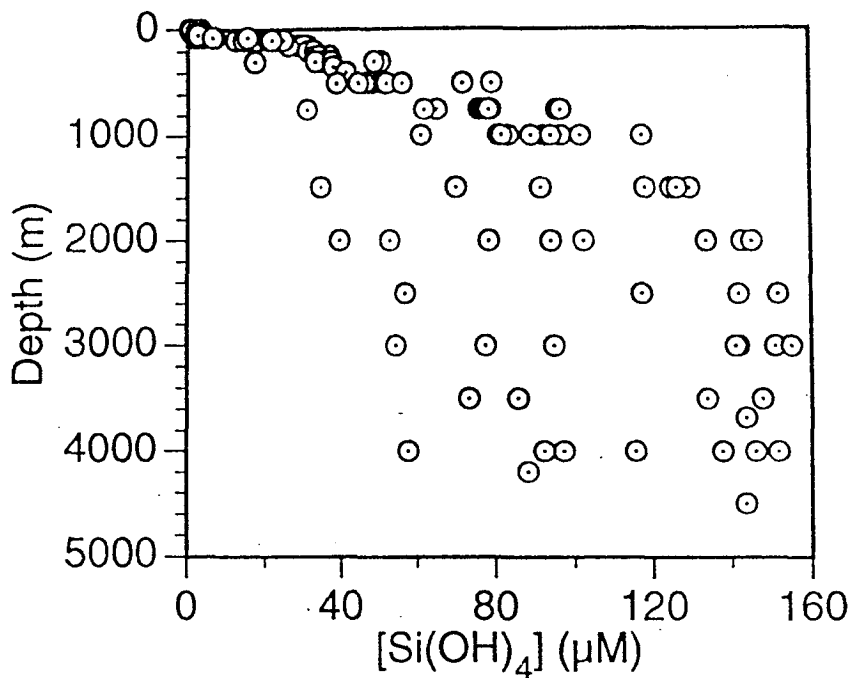


Fig. III-9. Vertical profile of silicate in the KODOS-92 region

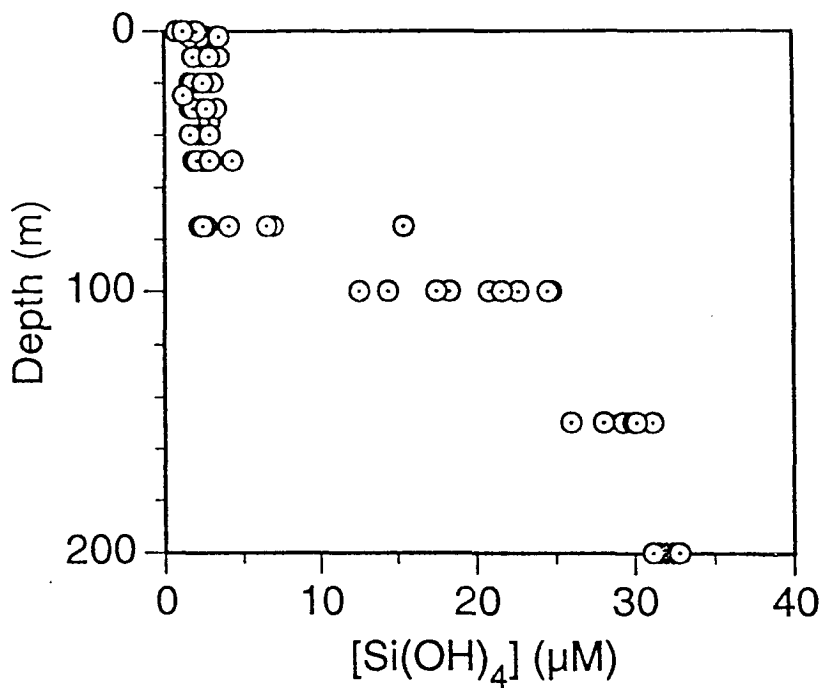


Fig. III-10. Vertical profile of silicate above 200m in the KODOS-92 region

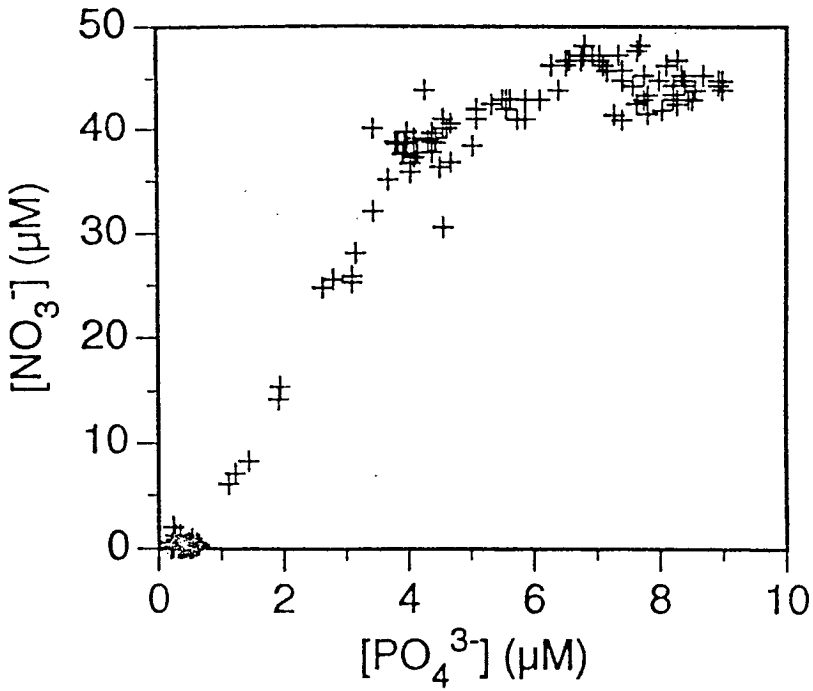


Fig. III-11. Correlation between nitrate and phosphate in the KODOS-92 region

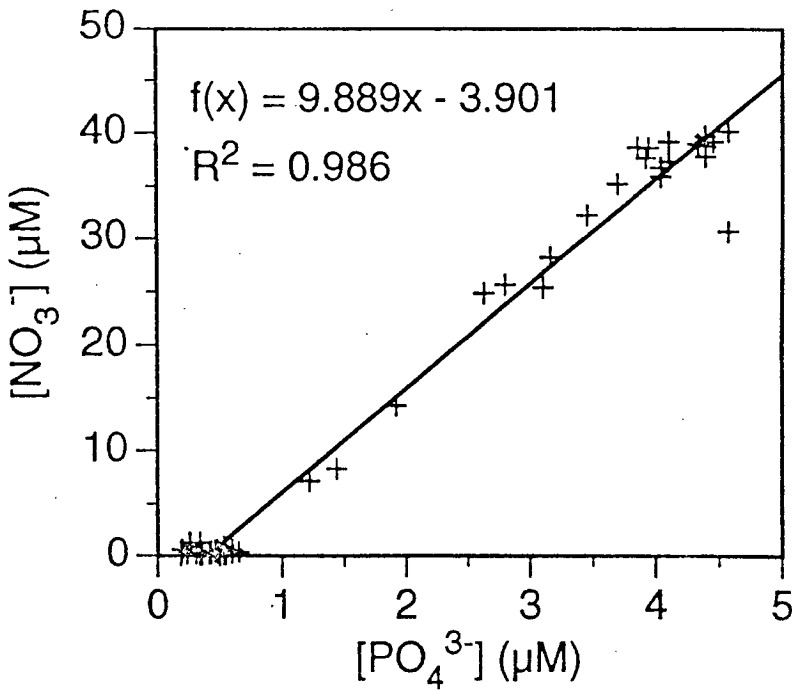


Fig. III-12. Correlation between nitrate and phosphate above 200m in the KODOS-92 region

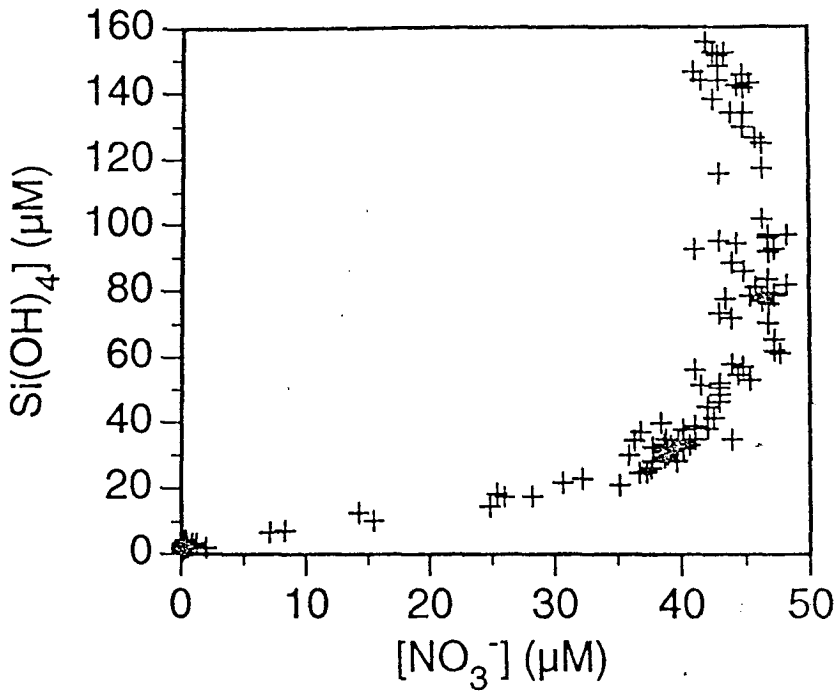


Fig. III-13. Correlation between nitrate and silicate in the KODOS-92 region

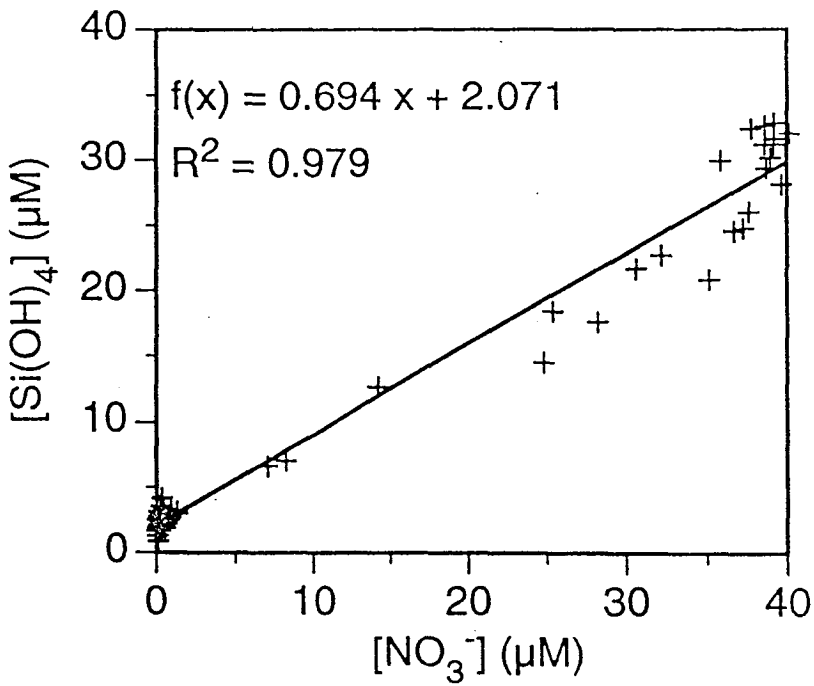


Fig. III-14. Correlation between nitrate and silicate above 200m in the KODOS-92 region

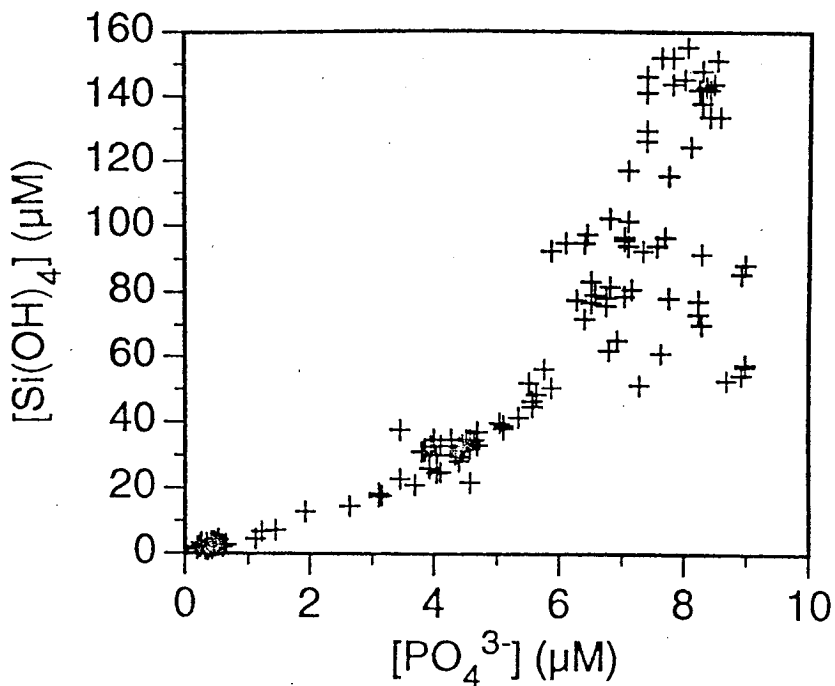


Fig. III-15. Correlation between phosphate and silicate in the KODOS-92 region

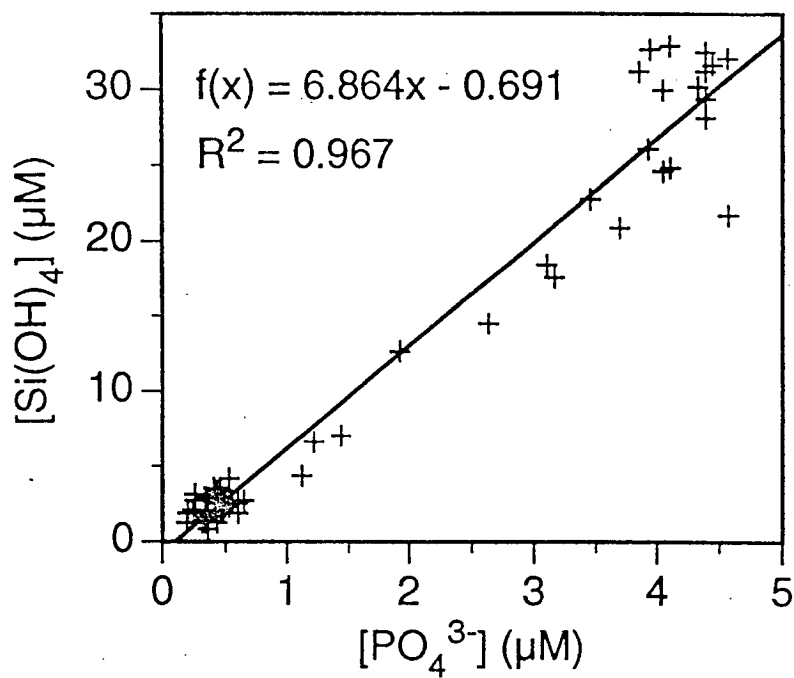


Fig. III-16. Correlation between phosphate and silicate above 200m in the KODOS-92 region

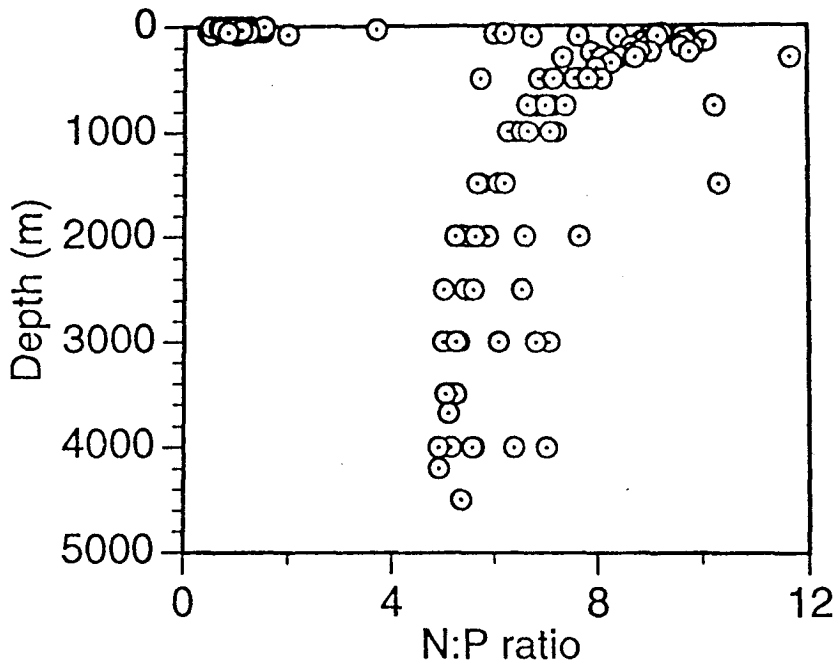


Fig. III-17. Vertical variation of nitrate versus phosphate(N:P) ratio in the KODOS-92 region

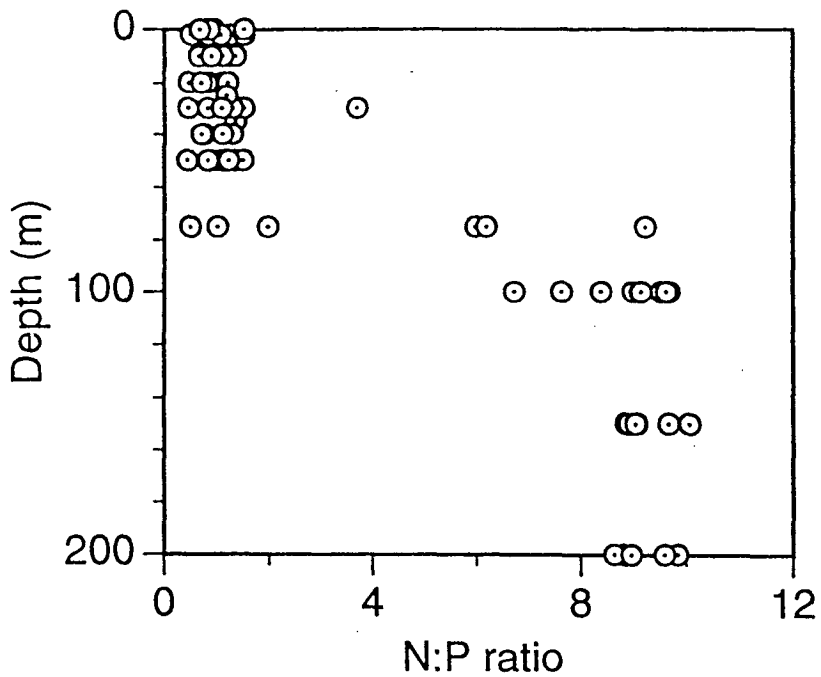


Fig. III-18. Variation of nitrate versus phosphate(N:P) ratio above 200m in the KODOS-92 region

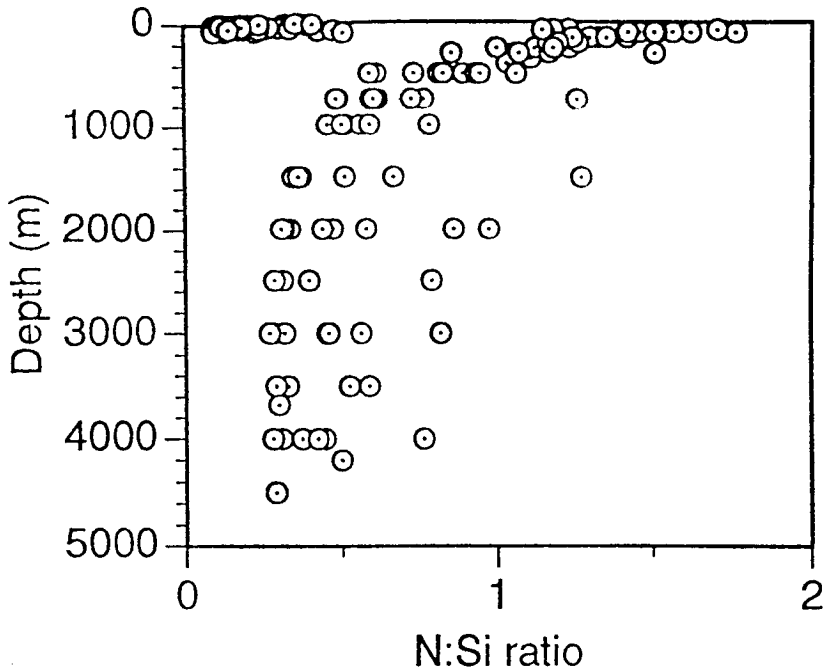


Fig. III-19. Vertical variation of nitrate versus silicate(N:Si) ratio in the KODOS-92 region

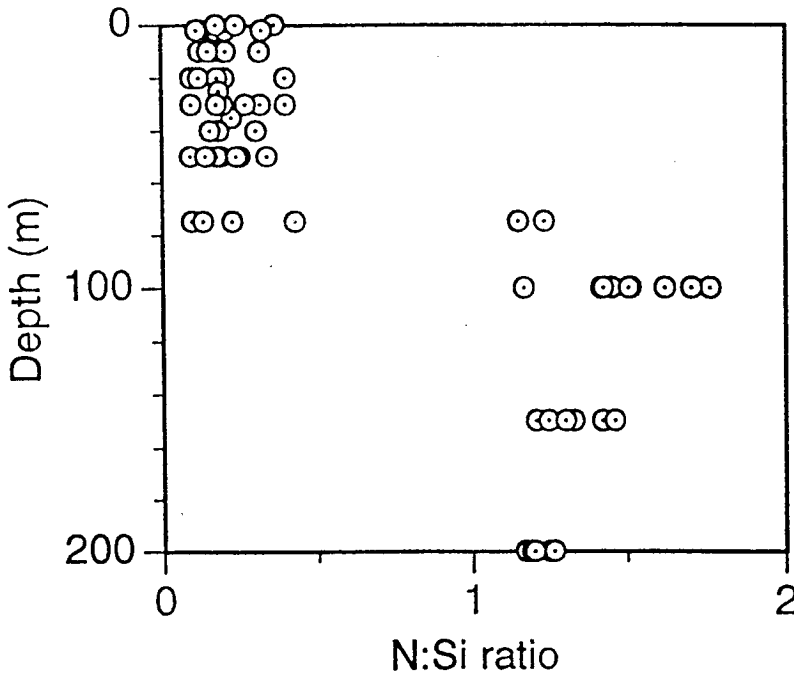


Fig. III-20. Variation of nitrate versus silicate(N:Si) ratio above 200m in the KODOS-92 region

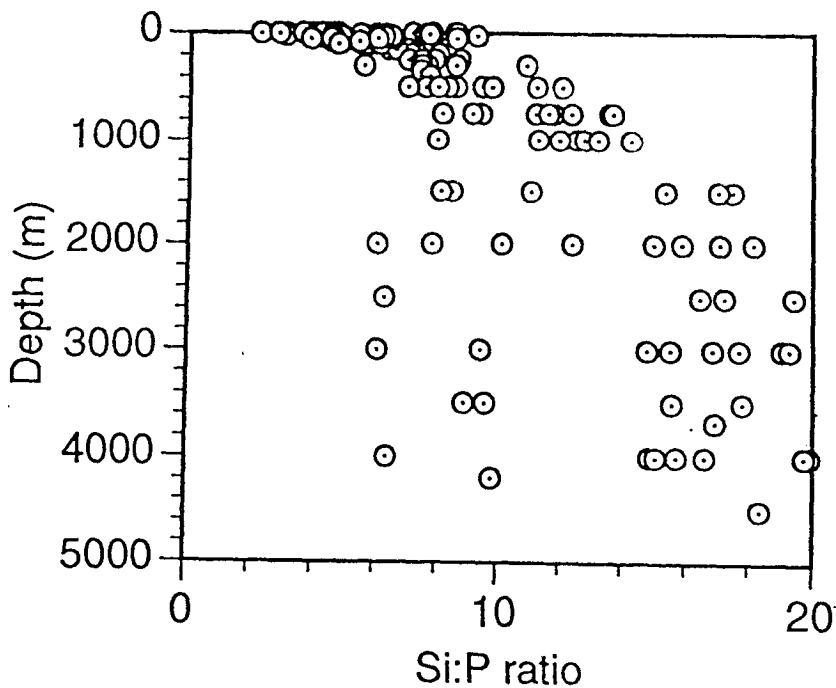


Fig. III-21. Vertical variation of silicate versus phosphate(Si:P) ratio in the KODOS-92 region

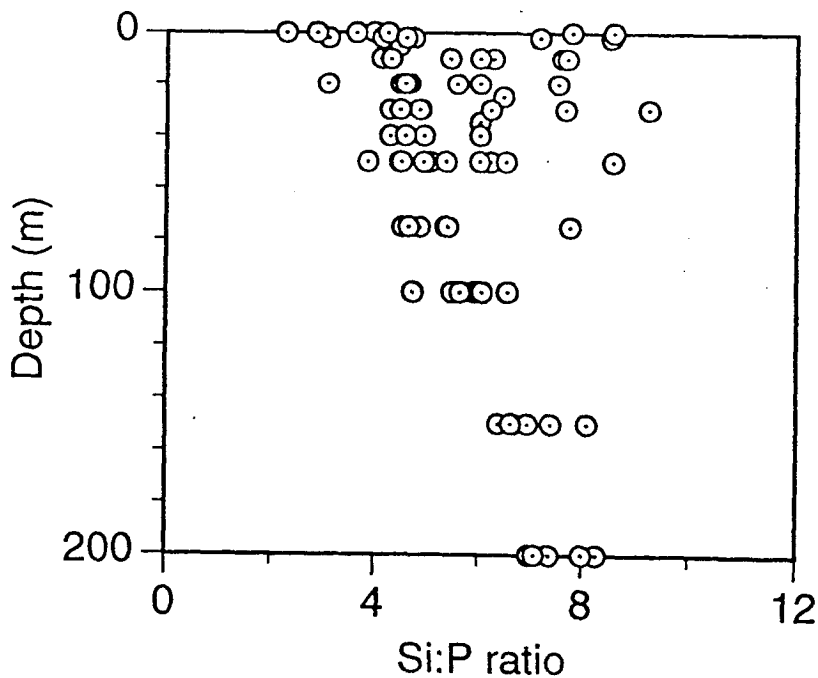


Fig. III-22. Variation of silicate versus phosphate above 200m in the KODOS-92 region

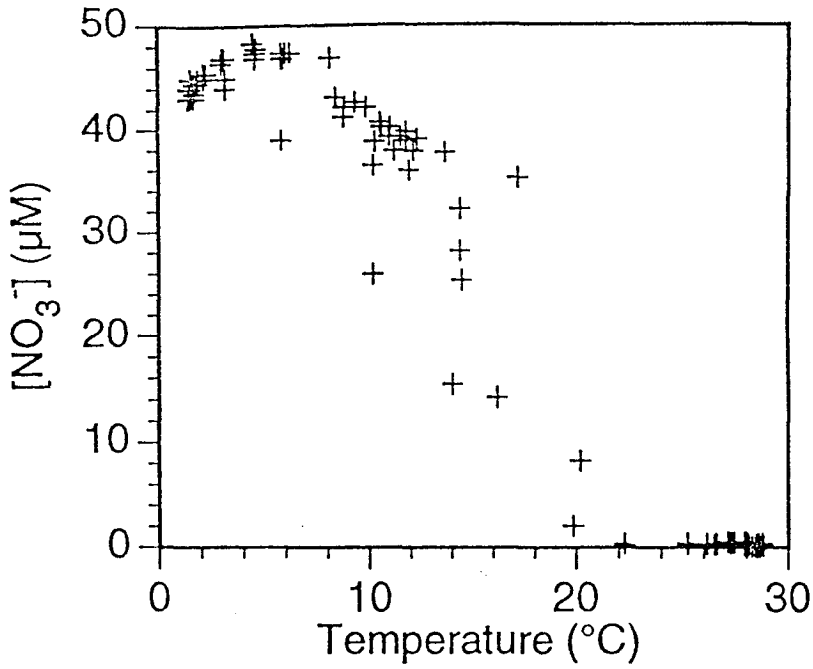


Fig. III-23. Correlation between temperature and nitrate in the KODOS-92 region

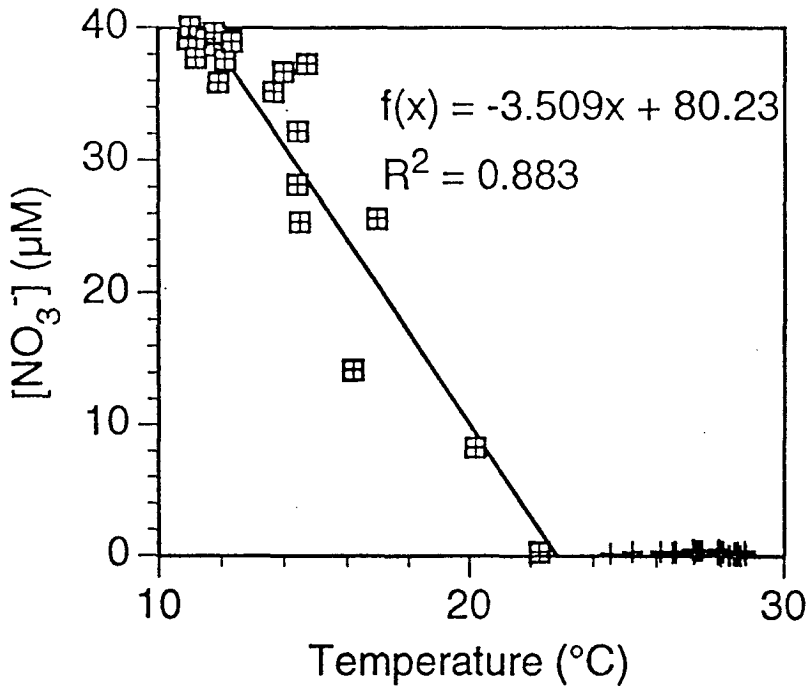


Fig. III-24. Correlation between temperature and nitrate above 200m in the KODOS-92 region

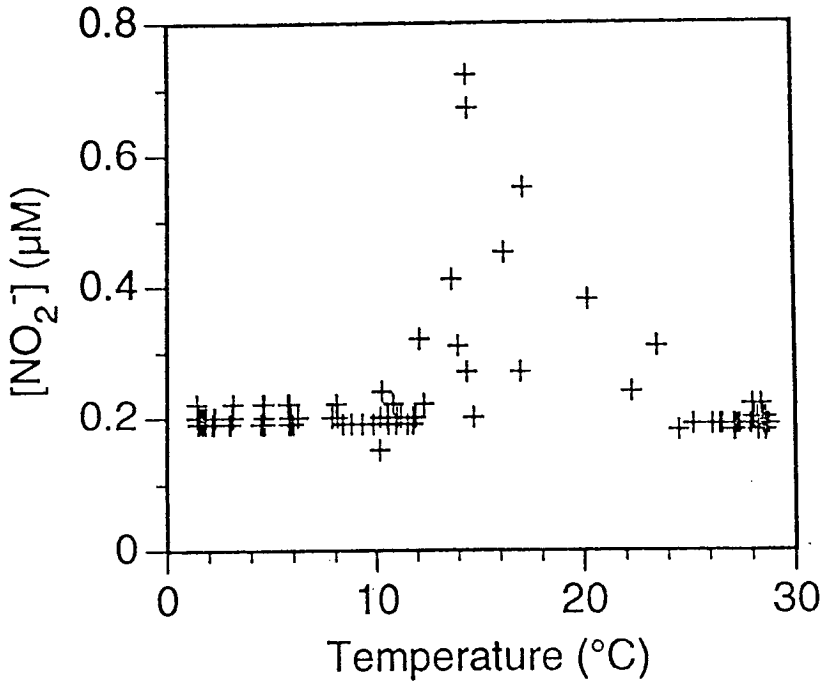


Fig. III-25. Correlation between temperature and nitrite in the KODOS-92 region

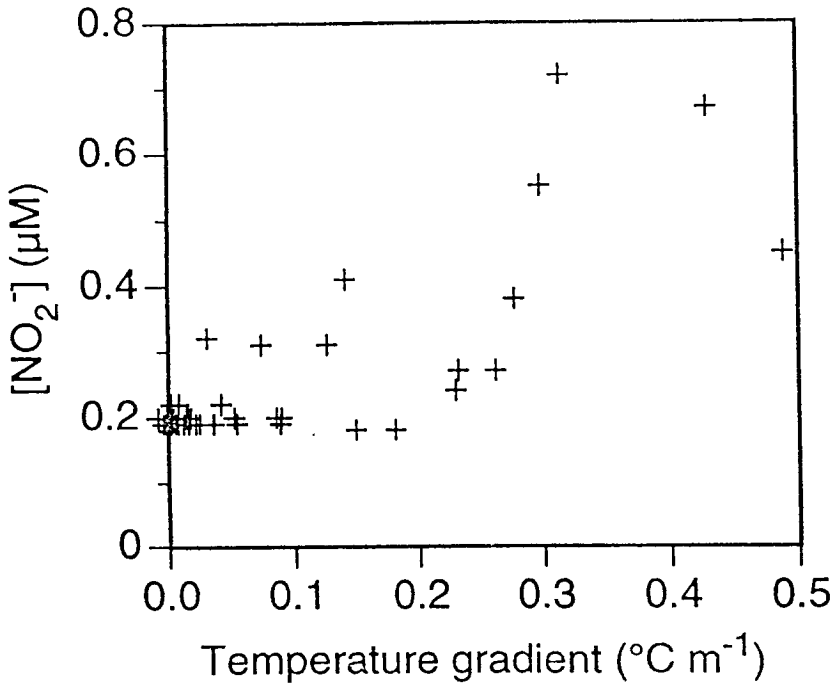


Fig. III-26. Correlation between temperature gradient and nitrite in the KODOS-92 region

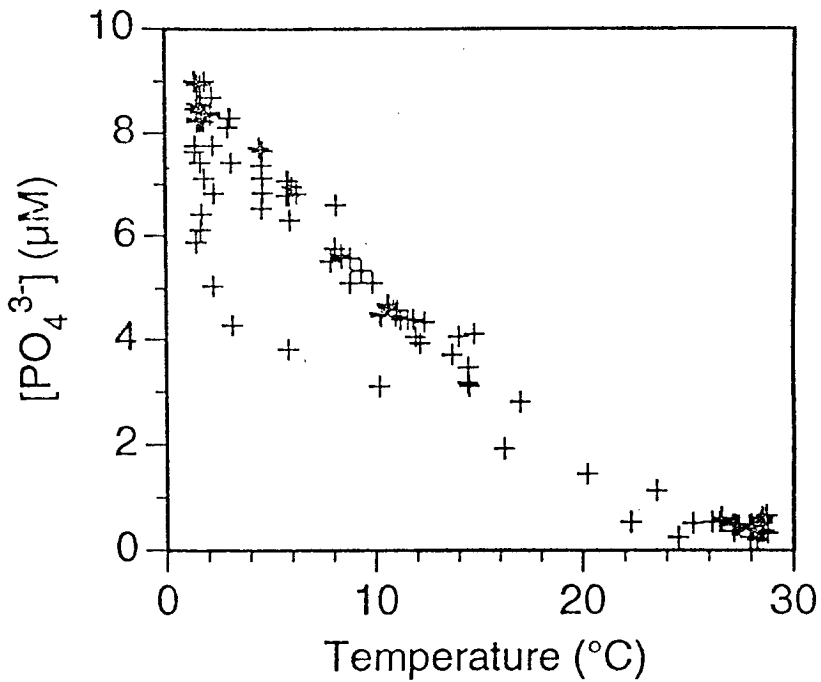


Fig. III-27. Correlation between temperature and phosphate in the KODOS-92 region

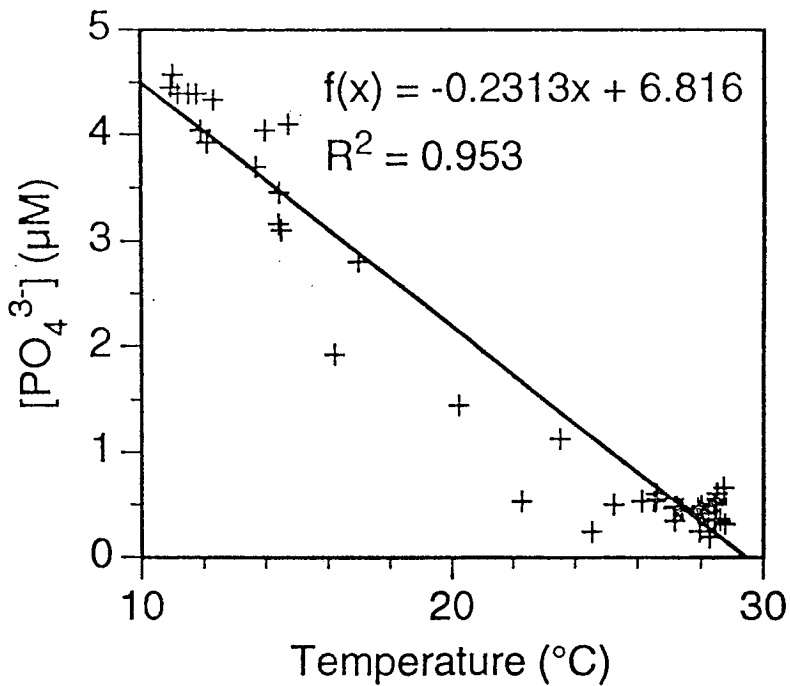


Fig. III-28. Correlation between temperature and phosphate above 200m in the KODOS-92 region

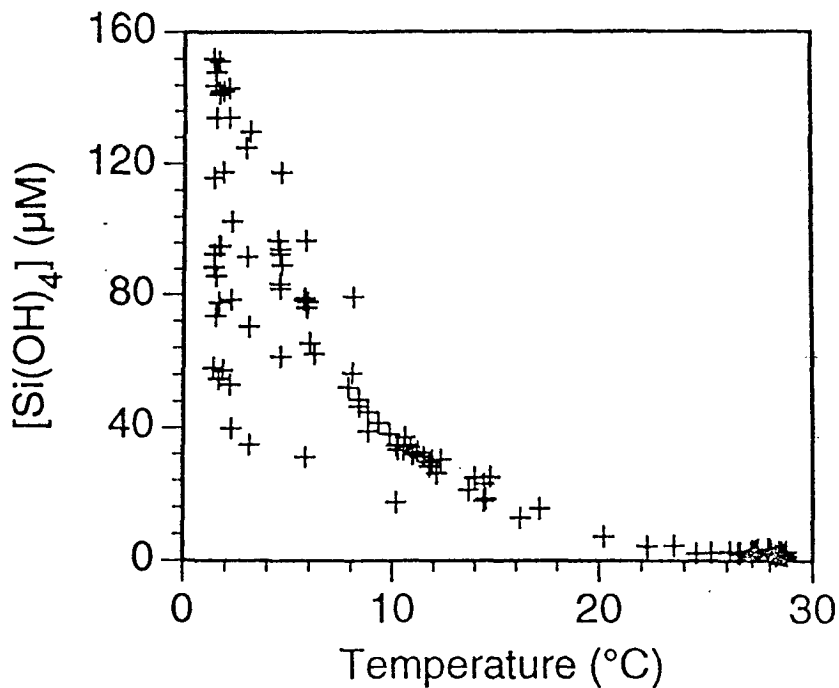


Fig. III-29. Correlation between temperature and silicate in the KODOS-92 region

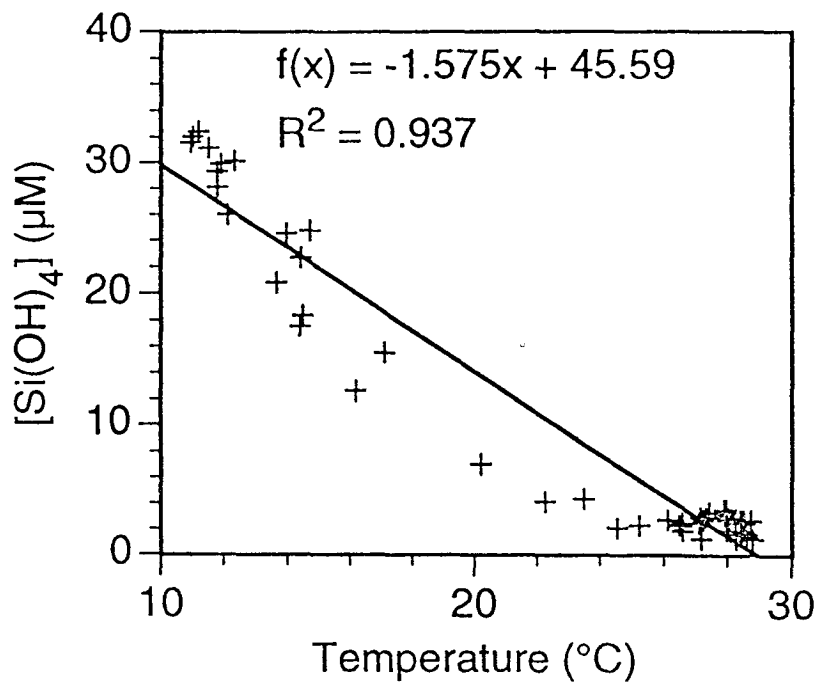


Fig. III-30. Correlation between temperature and silicate above 200m in the KODOS-92 region

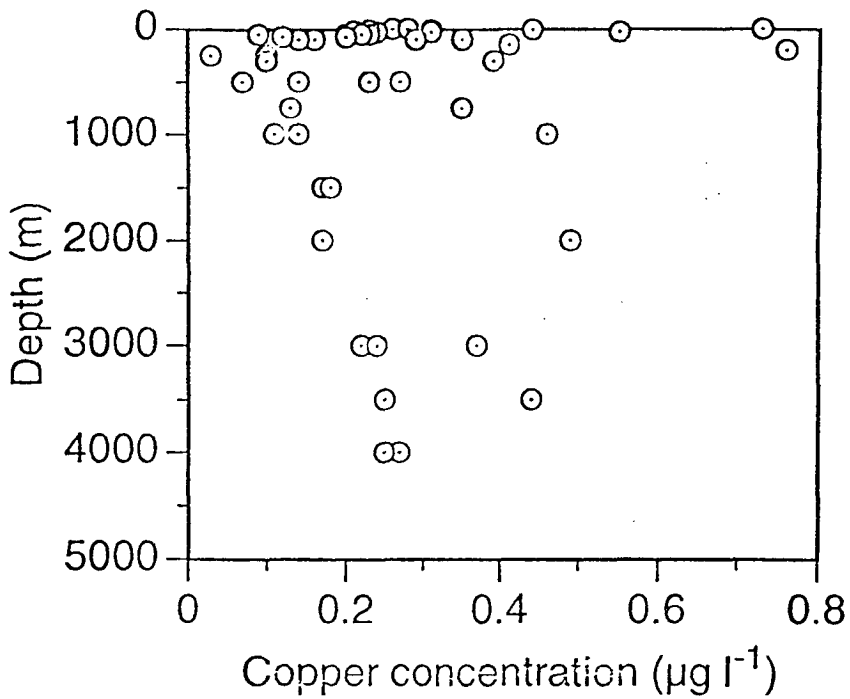


Fig. III-31. Vertical profile of cobalt(Co) in the KODOS-92 region

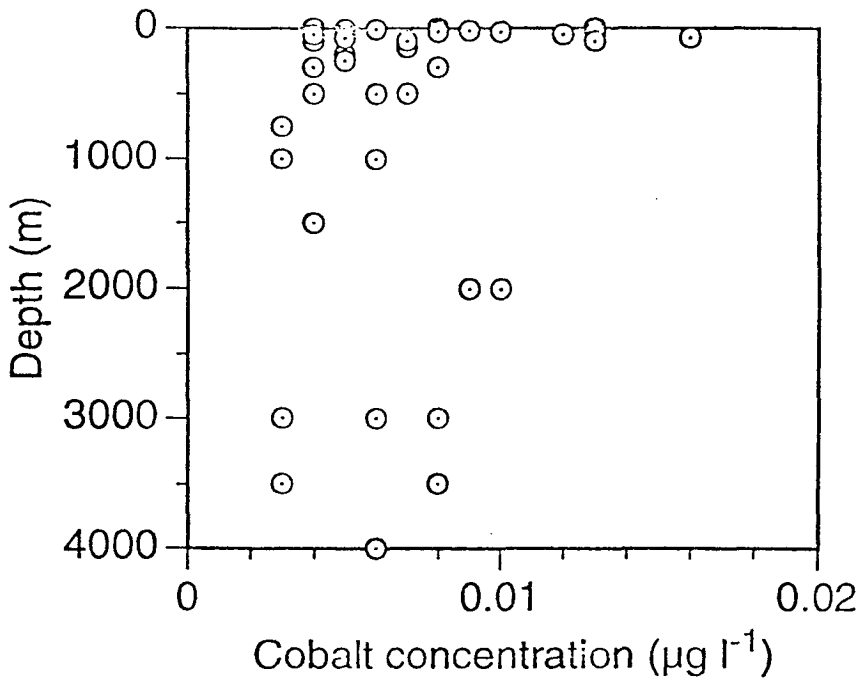


Fig. III-32. Vertical profile of copper(Cu) in the KODOS-92 region

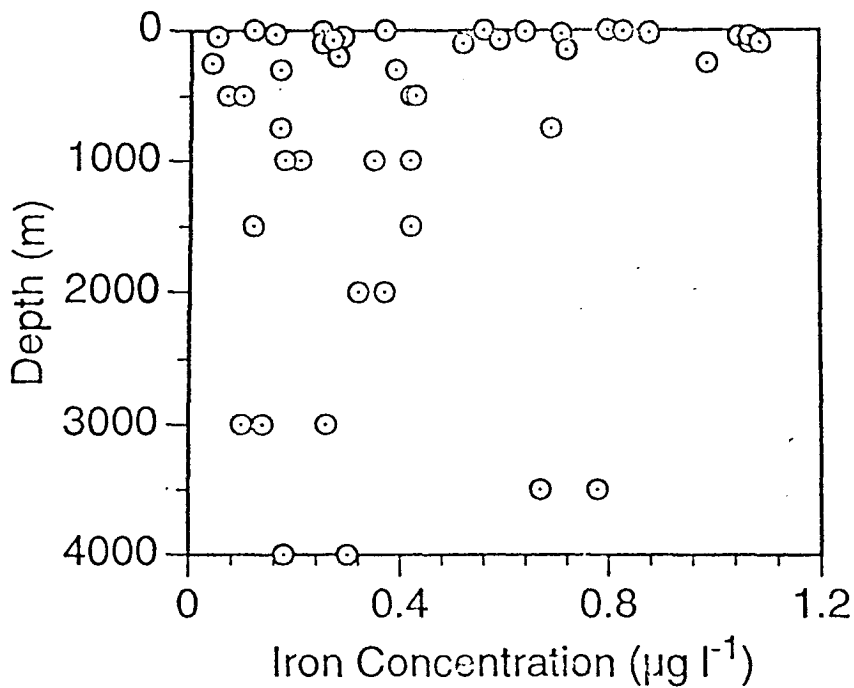


Fig. III-33. Vertical profile of iron(Fe) in the KODOS-92 region

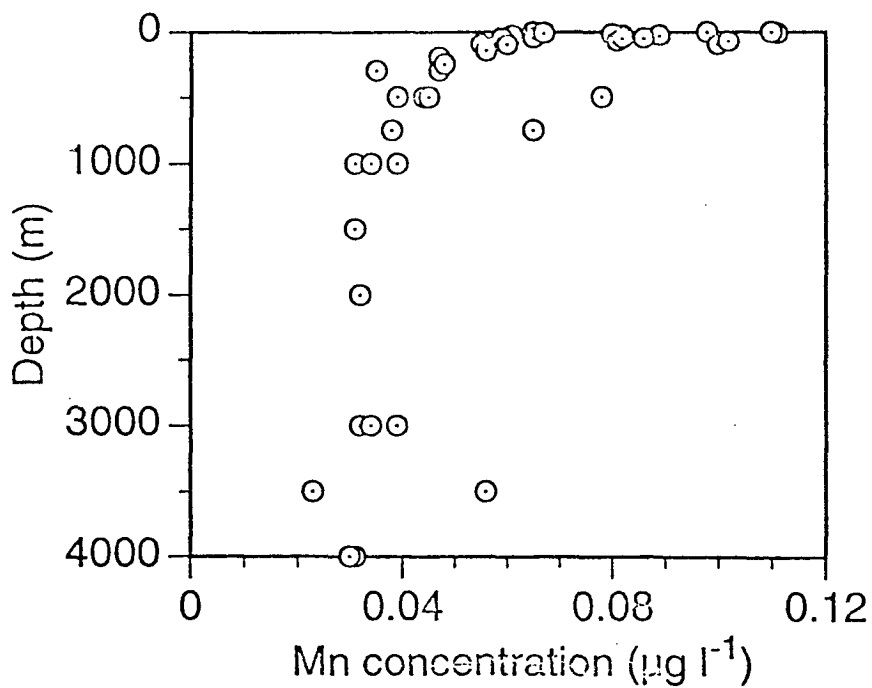


Fig. III-34. Vertical profile of manganese(Mn) in the KODOS-92 region

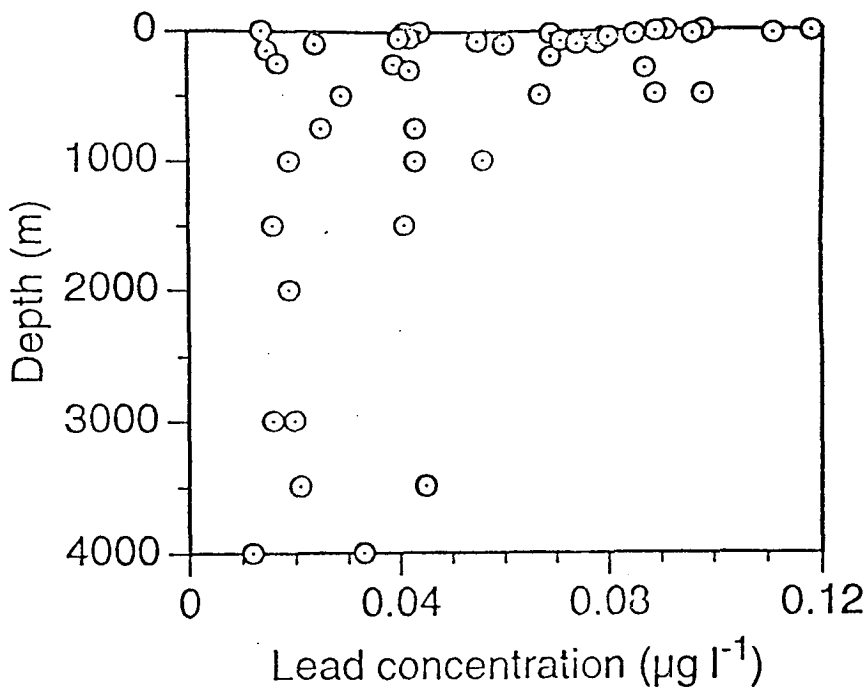


Fig. III-35. Vertical profile of lead(Pb) in the KODOS-92 region

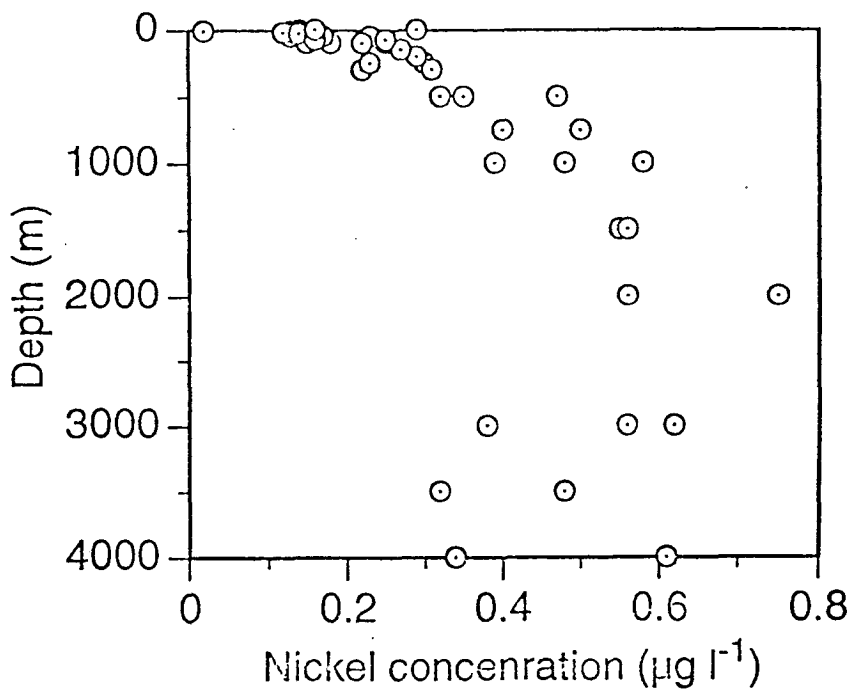


Fig. III-36. Vertical profile of nickel(Ni) in the KODOS-92 region

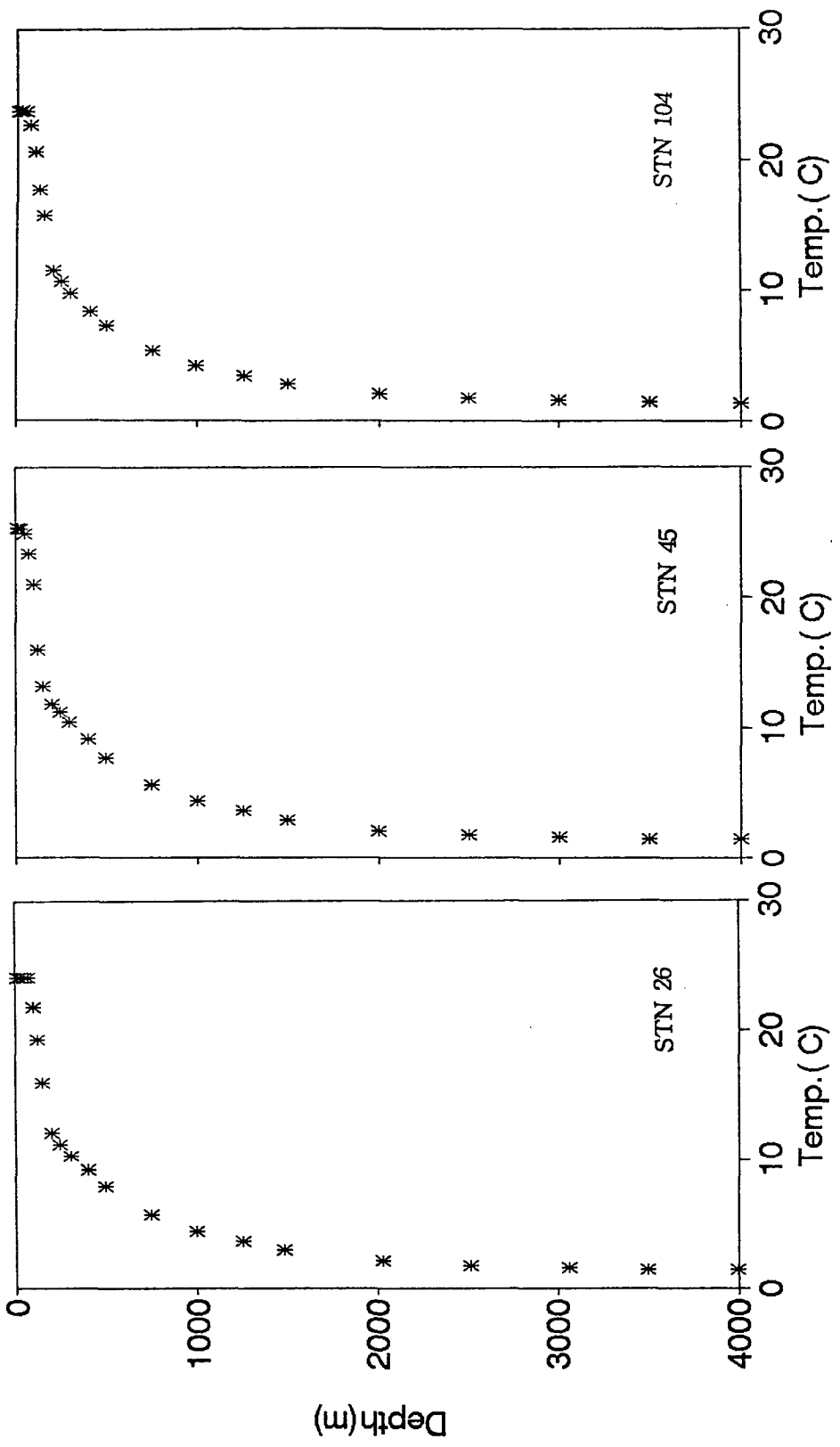


Fig. III-37. Vertical profile of temperature in the KODOS-93 region

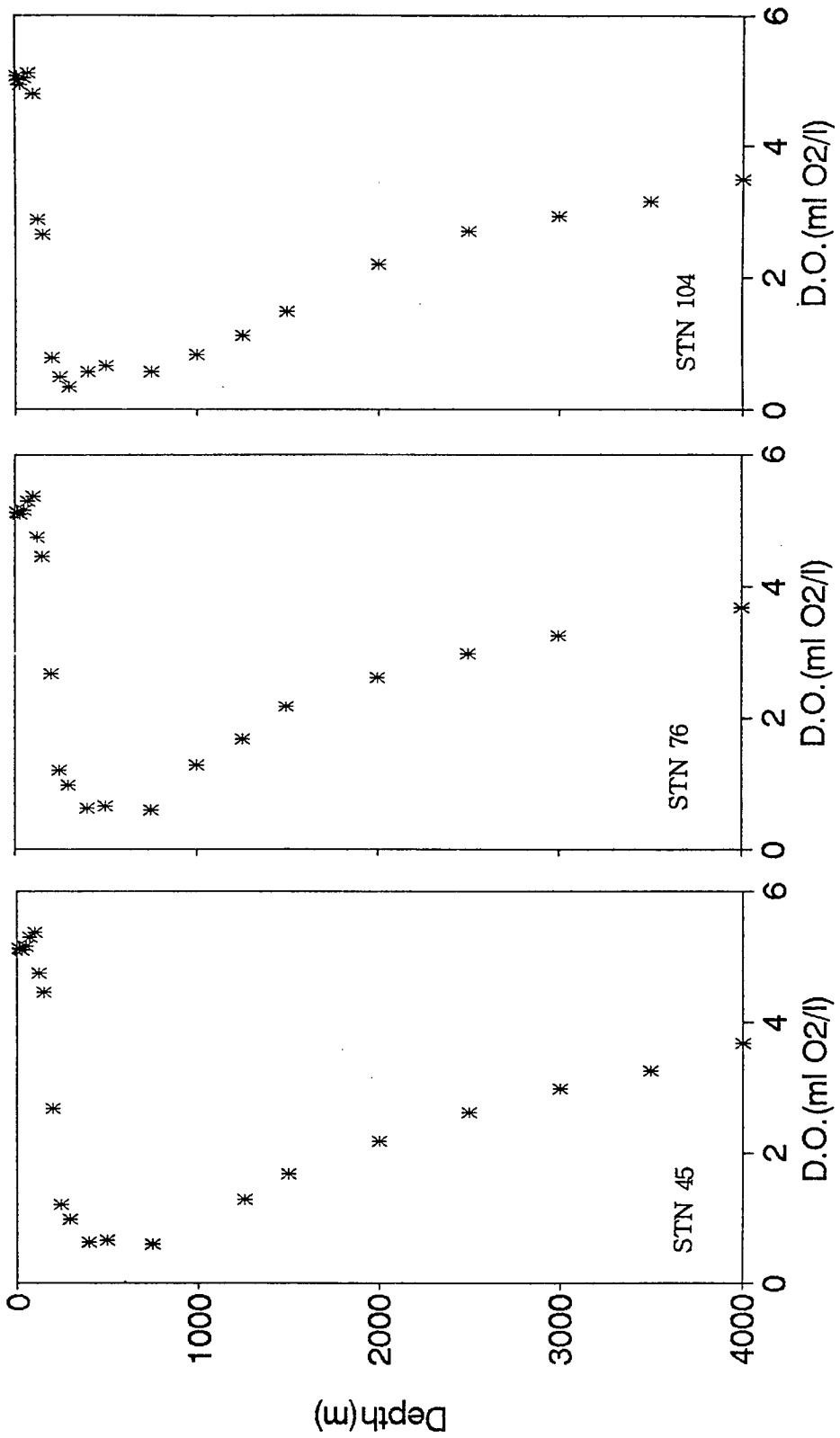


Fig. III-38. Vertical profile of dissolved oxygen in the KODOS-93 region

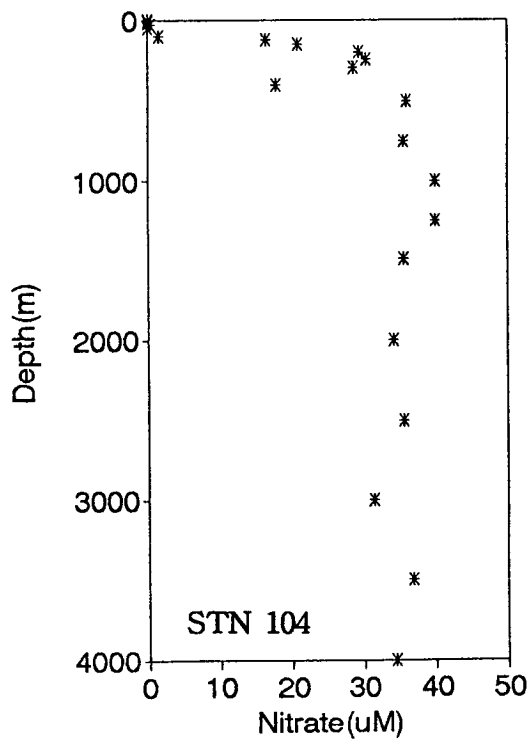
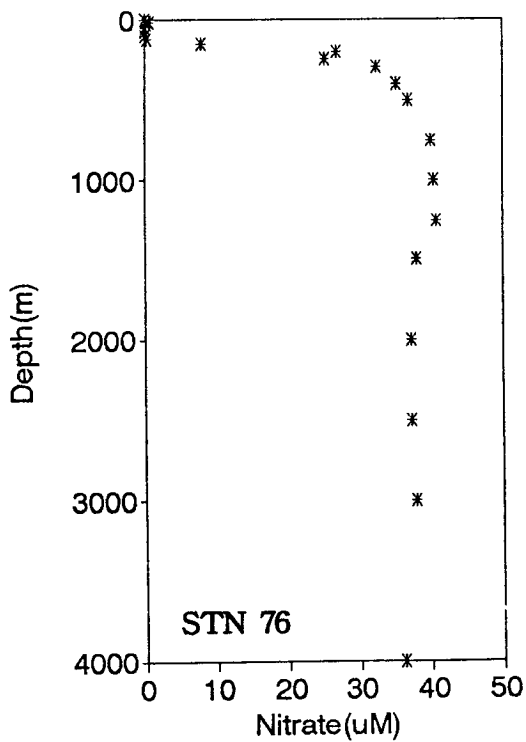
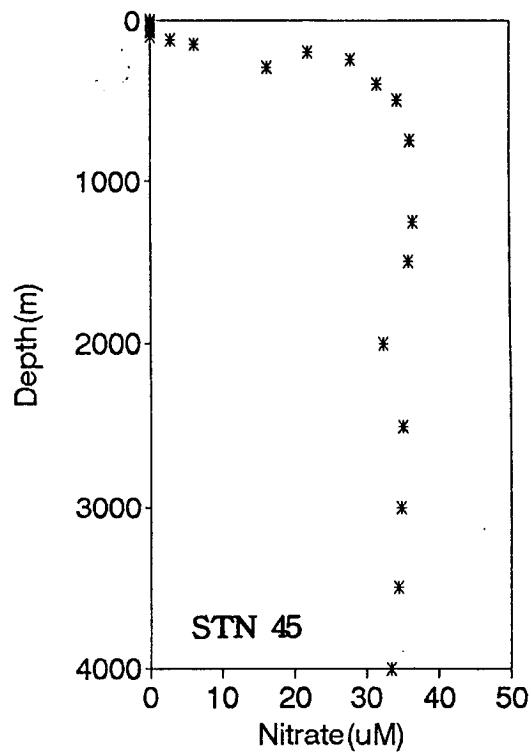
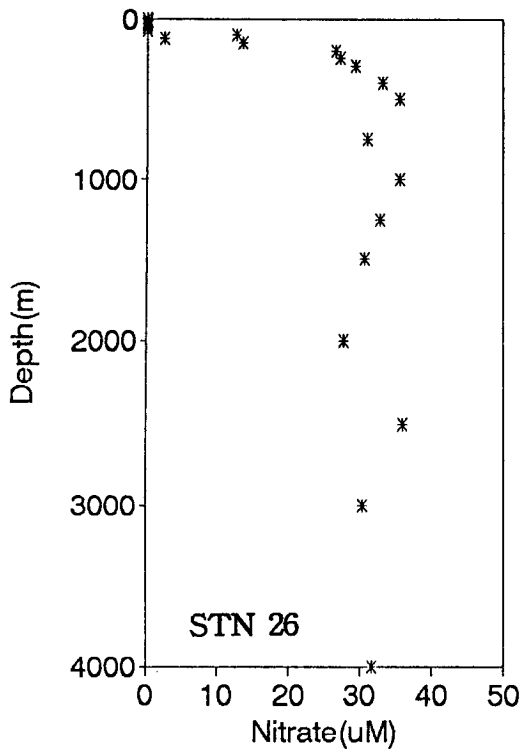


Fig. III-39. Vertical profile of nitrate in the KODOS-93 region

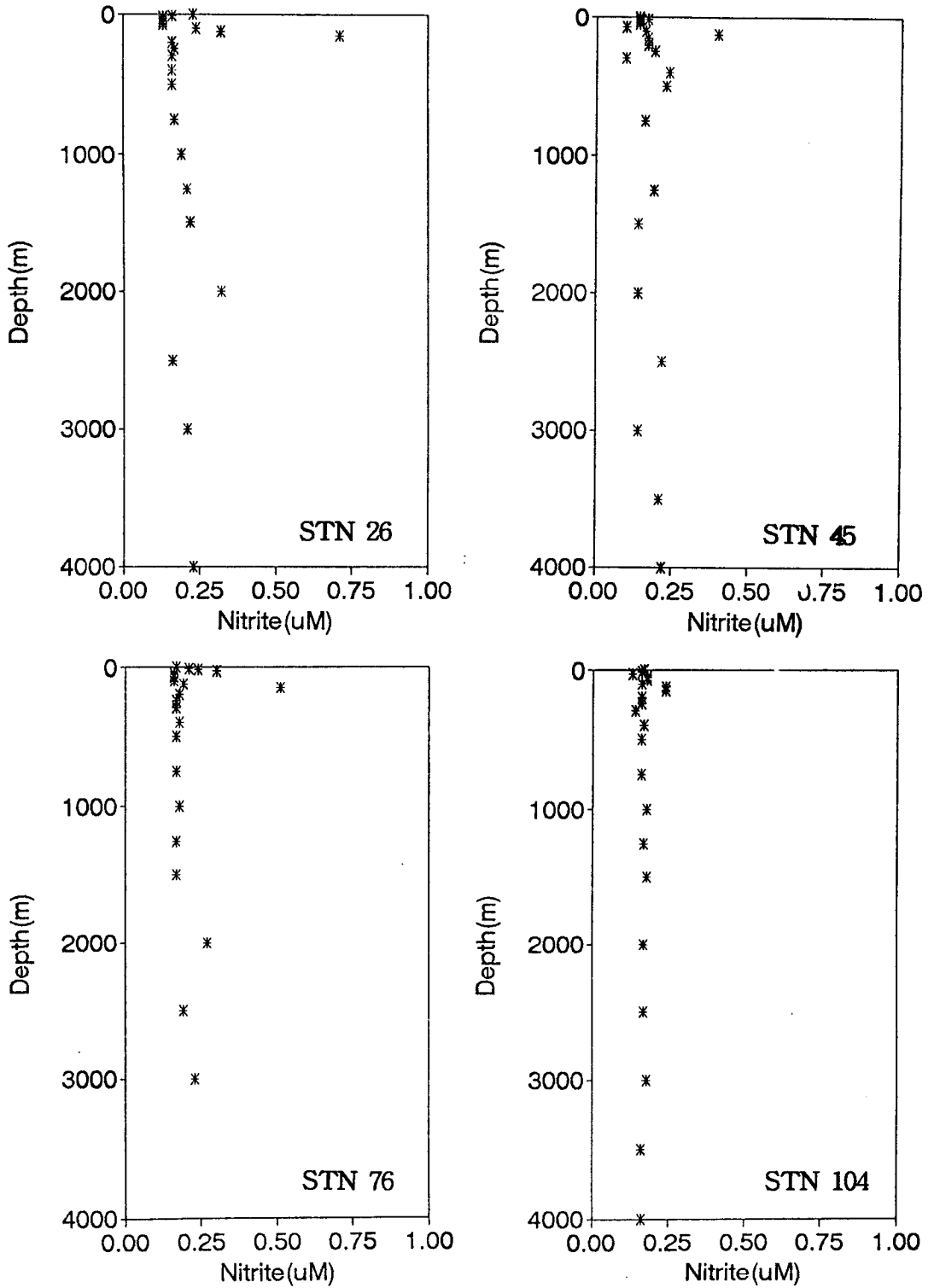


Fig. III-40. Vertical profile of nitrite in the KODOS-93 region

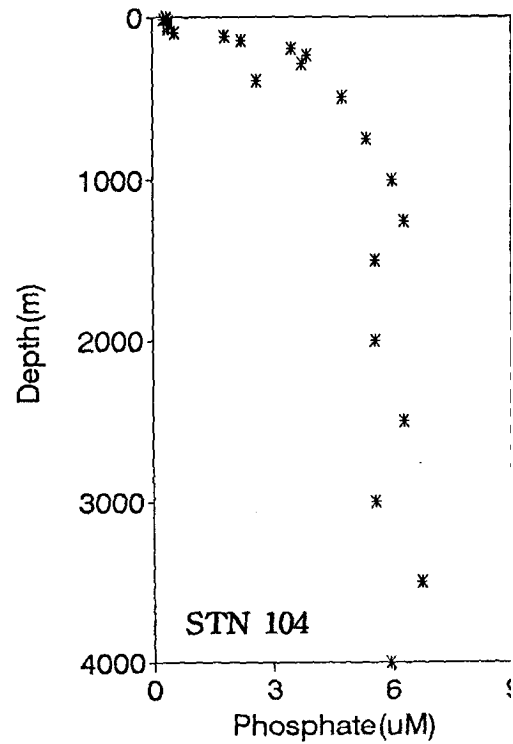
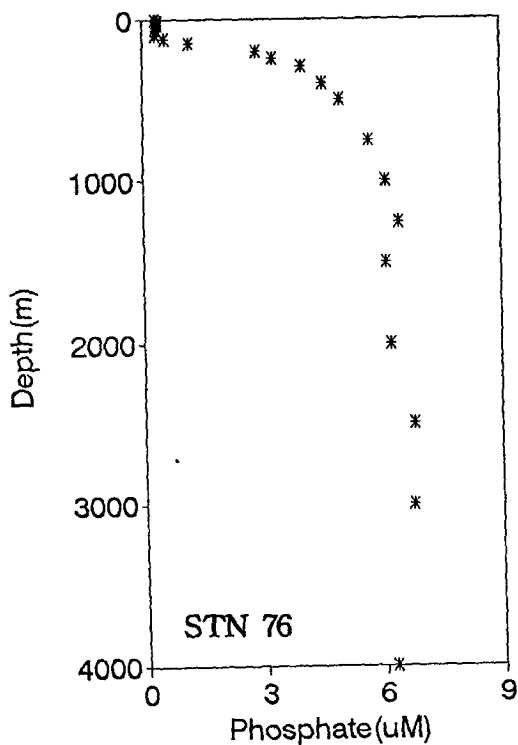
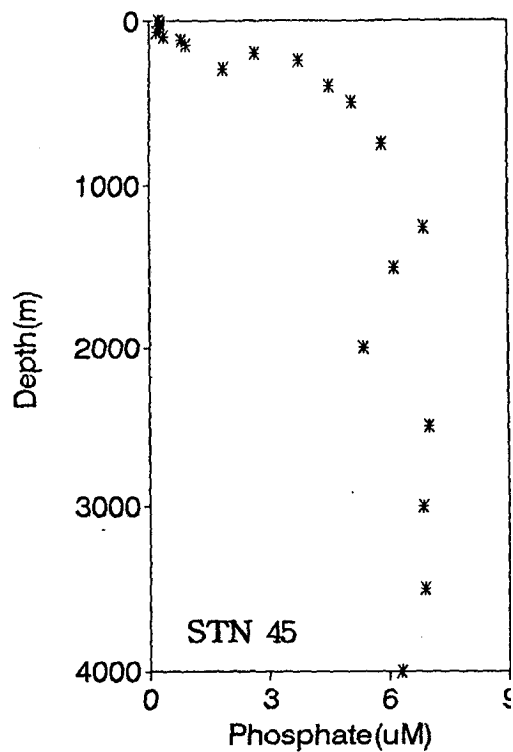
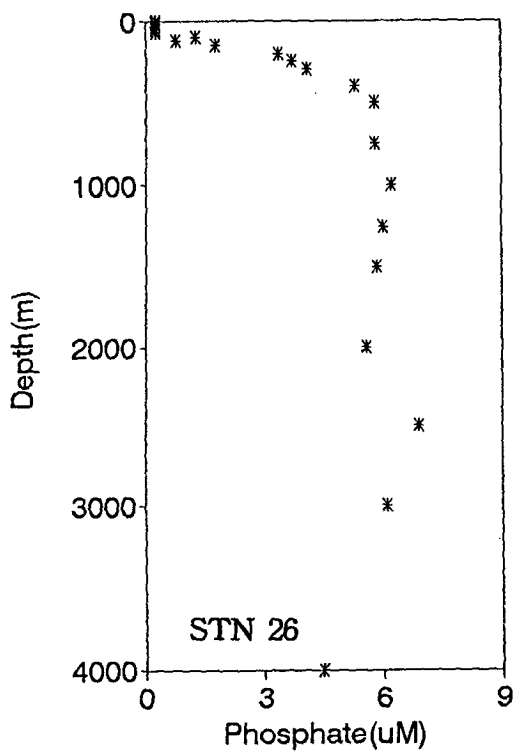


Fig. III-41. Vertical profile of phosphate in the KODOS-93 region

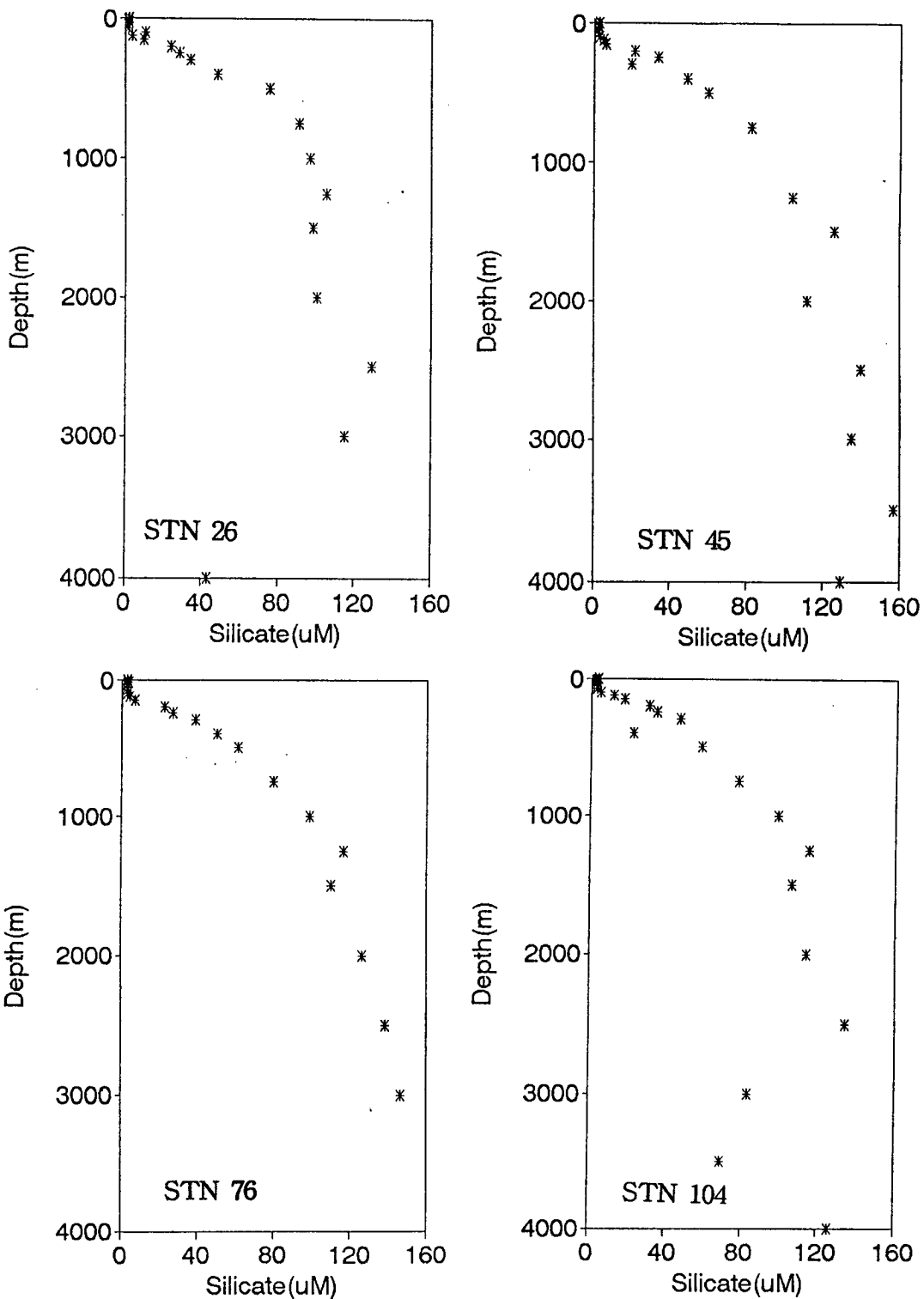


Fig. III-42. Vertical profile of silicate in the KODOS-93 region

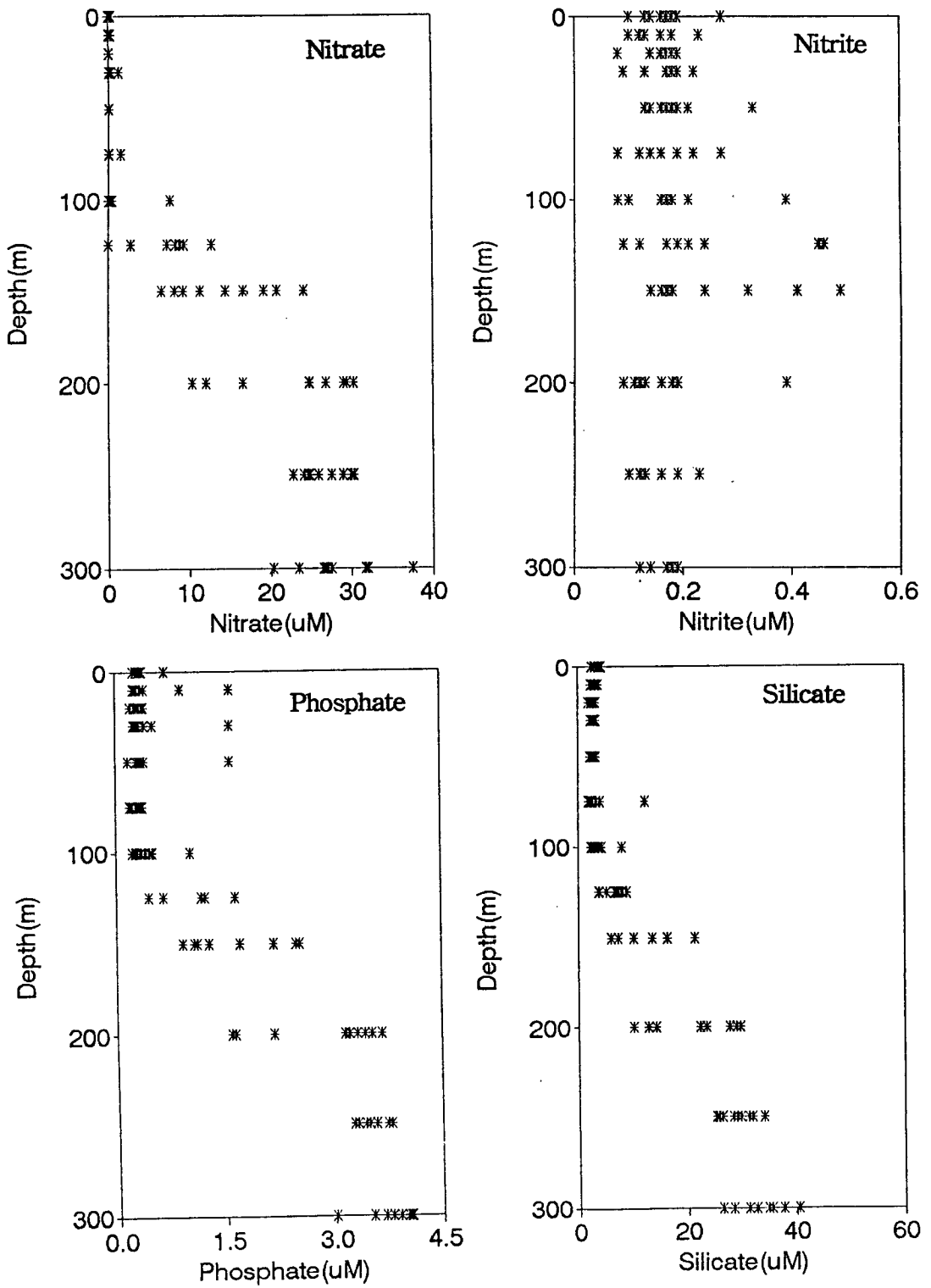


Fig. III-43. Vertical profile of nutrients above 300m in the KODOS-93 region

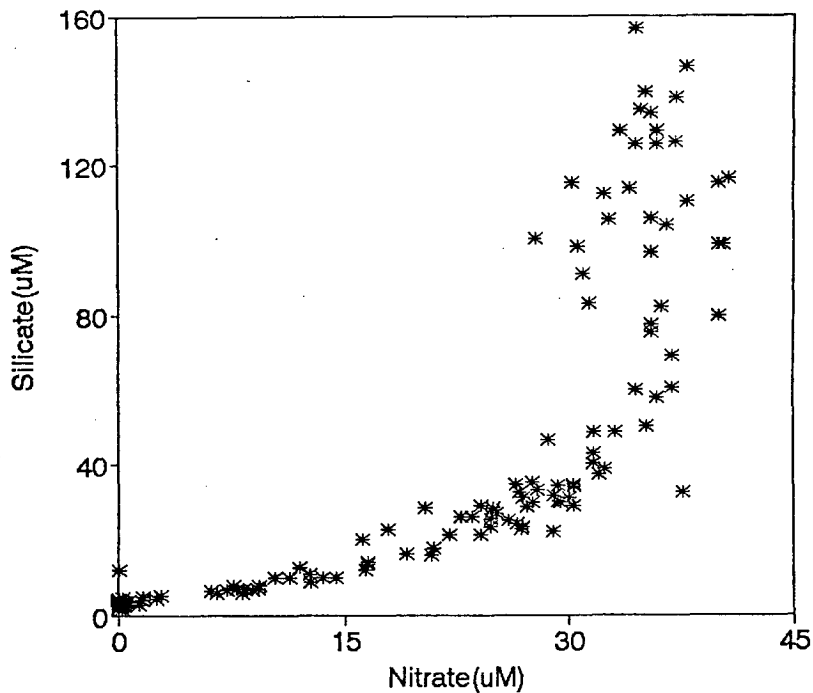


Fig. III-44. Correlation between nitrate and silicate in the KODOS-93 region

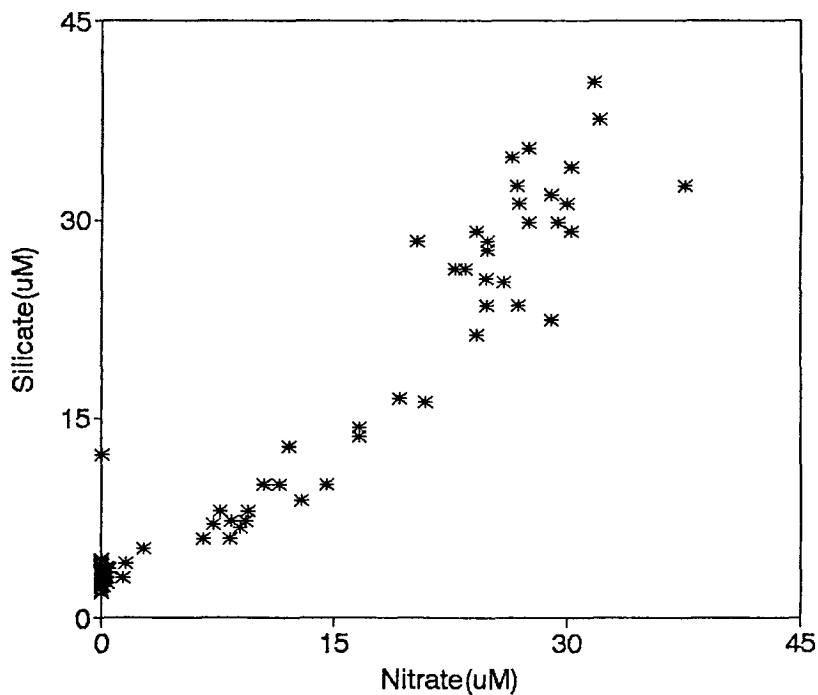


Fig. III-45. Correlation between nitrate and silicate above 300m in the KODOS-93 region

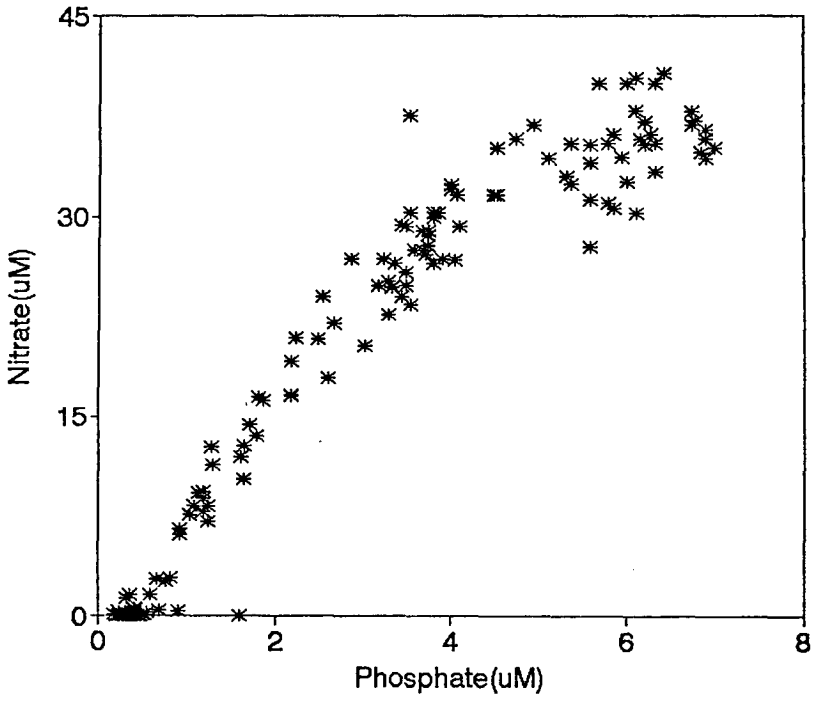


Fig. III-46. Correlation between phosphate and nitrate in the KODOS-93 region

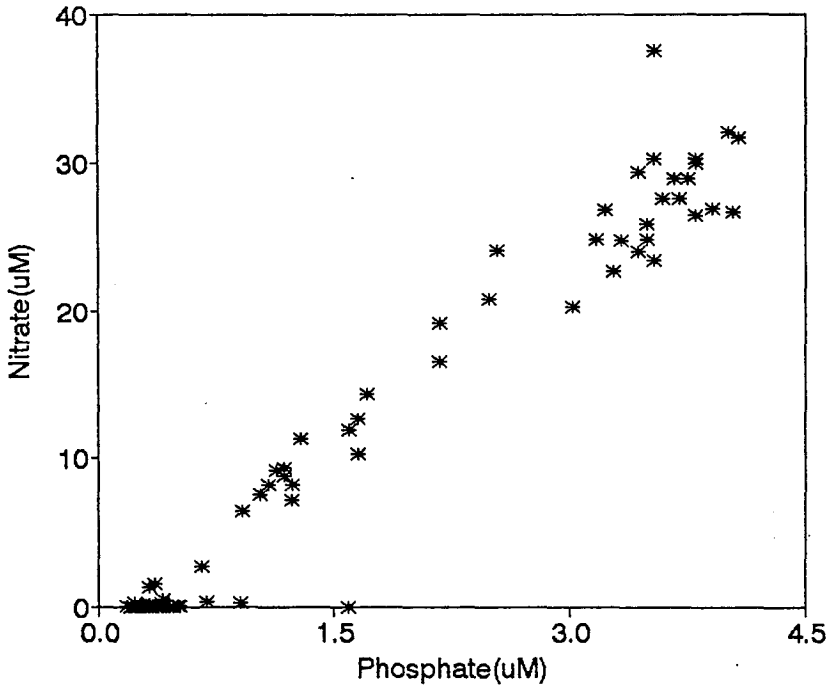


Fig. III-47. Correlation between phosphate and nitrate above 300m in the KODOS-93 region

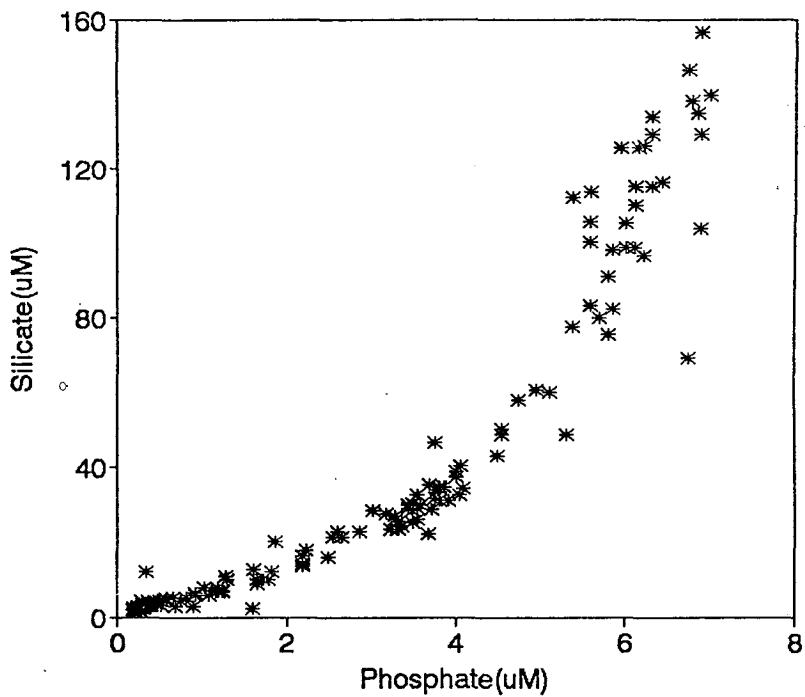


Fig. III-48. Correlation between phosphate and silicate in the KODOS-93 region

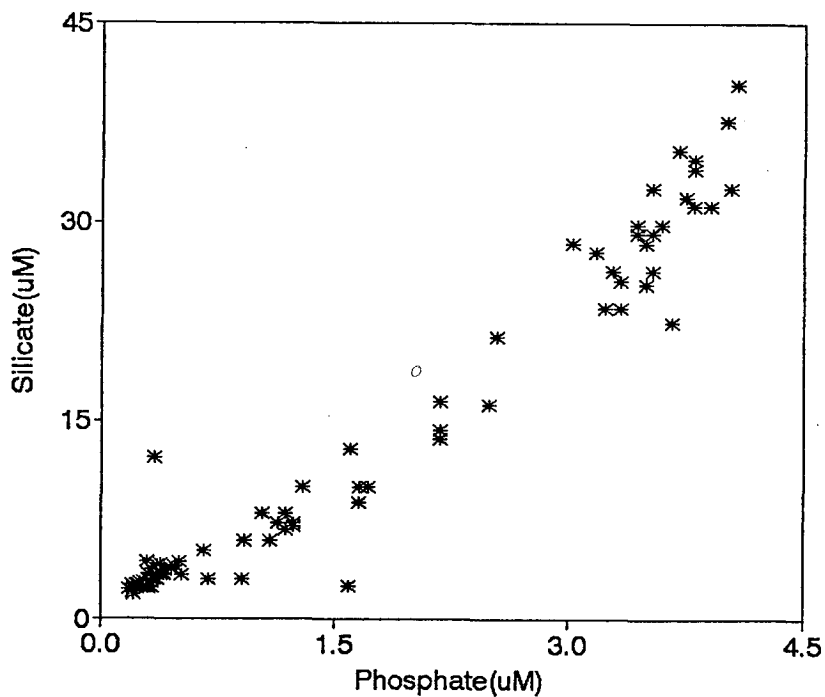


Fig. III-49. Correlation between phosphate and silicate above 300m in the KODOS-93 region

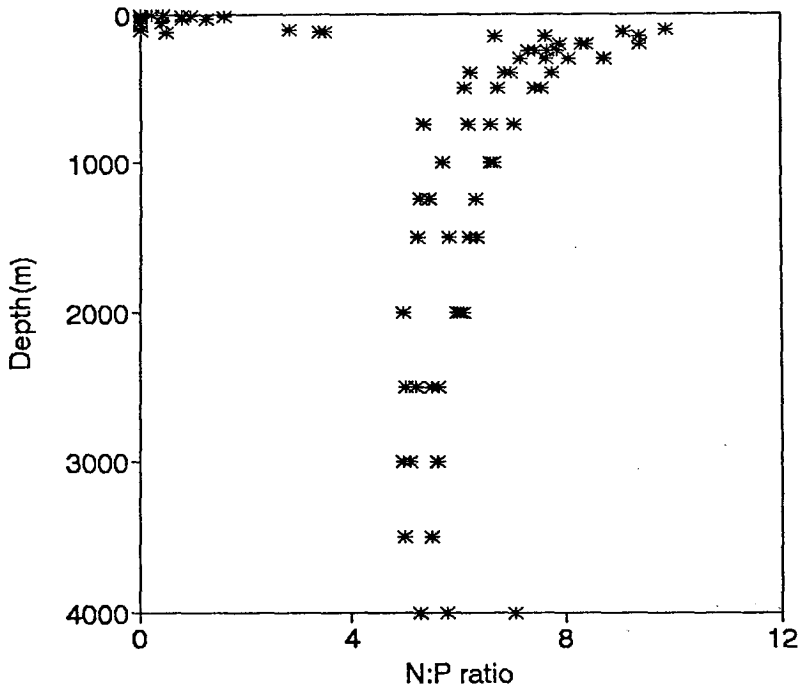


Fig. III-50. Variation of nitrate versus phosphate(N:P) ratio in the KODOS-93 region

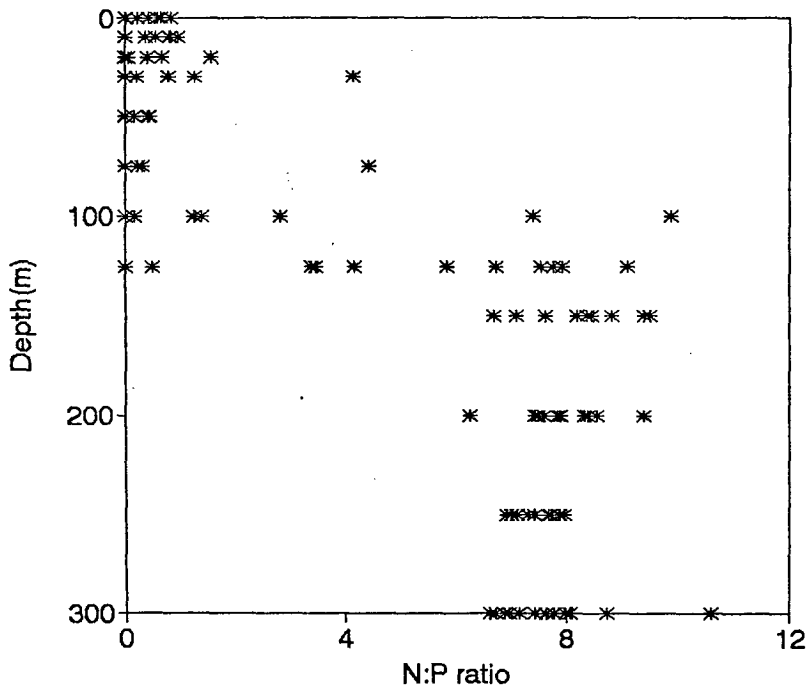


Fig. III-51. Variation of nitrate versus phosphate(N:P) ratio above 300m in the KODOS-93 region

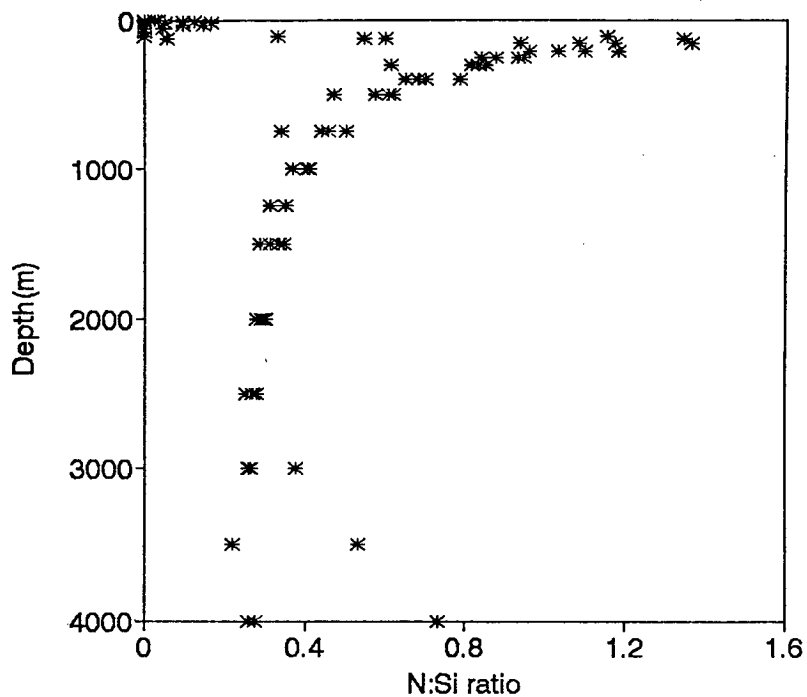


Fig. III-52. Variation of nitrate versus silicate(N:Si) ratio in the KODOS-93 region

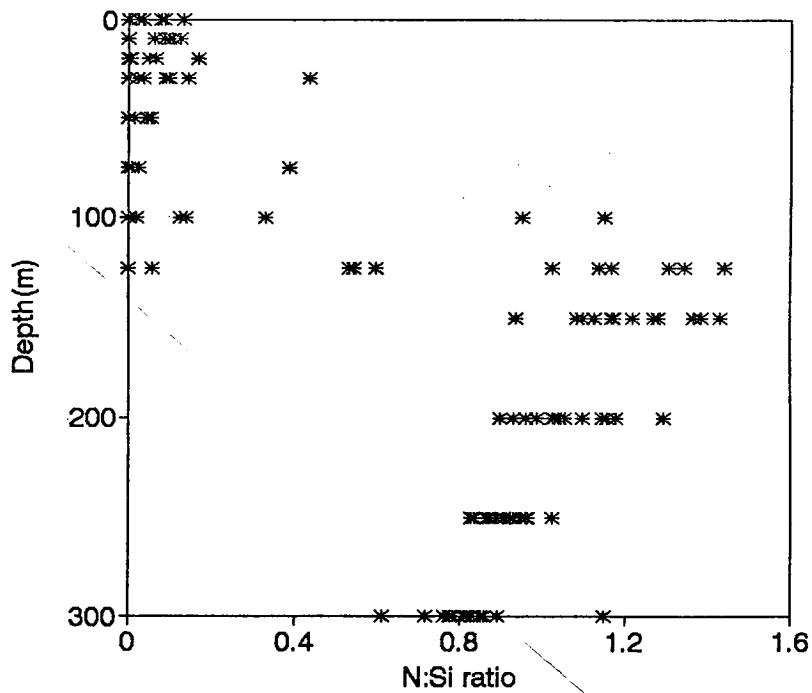


Fig. III-53. Variation of nitrate versus silicate(N:Si) ratio above 300m in the KODOS-93 region

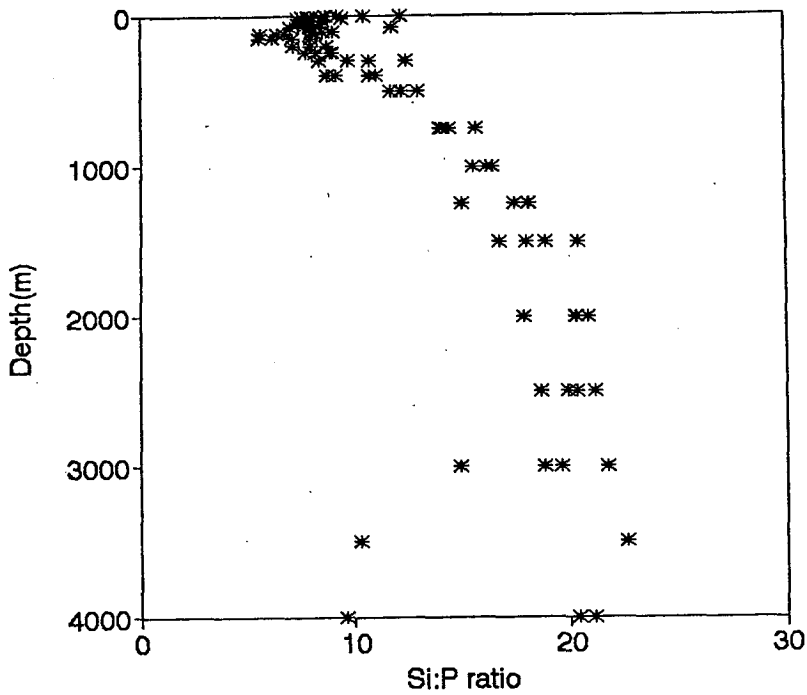


Fig. III-54. Variation of silicate versus phosphate(Si:P) ratio in the KODOS-93 region

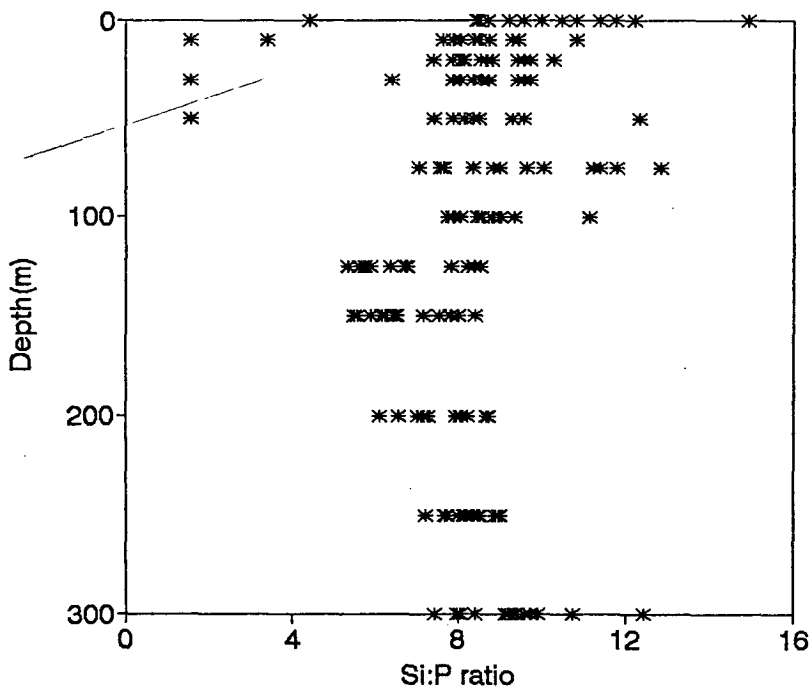


Fig. III-55. Variation of silicate versus phosphate(Si:P) ratio above 300m in the KODOS-93 region

第 2 章

稀土類元素와 放射能 追跡者를 利用한
深海 堆積環境 研究

第 1 節 序 論

稀土類 元素(Rare Earth Element:REE)는 주기율표 상에서 원자번호 57의 La에서 71의 Lu까지 15개 元素이며, 원자번호가 증가할수록 안쪽의 4f shell이 점차 채워지고 이 전자궤도는 또한 바깥의 5s, 5p shell에 의해 가두어져 있기 때문에 化學的 特性이 점진적으로 변화하는 傾向을 보인다. 즉 원자번호가 증가할수록 이온반경이 감소하기 때문에 結合力이 증가하게 된다. 따라서 무거운 元素일수록 海水中에서 더 강한 結합체를 형성하기 때문에 일반적으로 滯留時間(residence time)이 더 길게 된다(Goldberg et al., 1963). 稀土類 元素의 가장 안정적인 산화가(oxidation state)는 Ce, Eu를 제외하고는 +3가 형태로서 이 두 元素를 제외하고는 거동이 거의 비슷하다. Ce은 +4가가 불활성 기체인 Xe의 전자궤도와 일치하기 때문에 酸化環境에서는 +4가로 변하기도 하며, Eu은 還元環境에서 +2가로 되기도 하는데 이것은 반쪽만 채워진 궤도도 안정하다는 설명이 부분적으로 뒷받침된다. 따라서 이 두 元素들의 산화가의 변화는 자연계에서 이상분포를 일으키는 원인이 된다. 위에서 언급한 稀土類元素들의 이러한 성격들은 風化(weathering)나 屬性(diagenesis) 過程에서 원자간의 분화를 제한시키게 되며 Ce과 Eu의 이상분포는 環境의 特性을 이해하는데 있어서 좋은 정보로써 이용된다. 따라서 이러한 특성을 이용한 심해저 퇴적물에서의 稀土類元素의 研究는 堆積環境을 이해하는데 상당한 도움을 줄 수 있다.

海洋環境에서의 稀土類元素의 研究는 분석의 어려움 등으로 인하여 연구가 미진한 상태에 있었다. 그러나 최근에 質量分析器가 널리 보급됨에 따라 이에 대한 연구도 본격화되고 있다. 해수중에서의 稀土類 元素의 연구는 깊이에 따른 농도변화가 거의 없는 Ce을 제외하고는 규산염의 수직분포와 같은 형태의 농도분포를 보이는데, 깊이에 따라 농도가 증가하는 양상을 보인다. 그러나 각 元素별 심층수에서의 농도증가 정도는 원자번호가 증가할수록 더

크게 나타난다. 이것은 稀土類元素에서 무거운 元素일수록 해수중에 있는 ligands와의 결합력이 강해지기 때문에 상대적으로 海水에서의 滯留時間이 길어지기 때문이다.

환경인 퇴적물 공급수중의 稀土類元素의 研究는 초기속성과정으로서 인한 이동현상을 보여주고 있는데(Elderfield and Sholkovitz, 1987; Sholkovitz et al., 1989) 가벼운 元素일수록 깊이에 따라 더 큰 농도구배를 보여주고 있다. 심해퇴적물에서의 稀土類元素에 관한 연구들은 Ce의 이상치를 보고하고 있는데(Toyoda et al., 1990), Ce은 堆積條件을 알 수 있는 좋은 指示者이다. Ce은 산화환경에서 REE(III) hydroxides보다 더 불용성인 Ce(IV) hydroxide로 산화되어 다른 REE(III) hydroxides보다 더 빠른 속도로 海水中에서 제거되어 진다. 반면에 대부분의 심해 망간단괴는 양의 Ce 이상치를 나타냈는데 이러한 현상은 海水로부터의 Ce(IV)의 우선적인 제거기작을 반영하는 것이다. 망간단괴의 稀土類元素에 대한 '80년대 이전의 地化學的인 研究들은 稀土類元素가 해수로부터 직접 단괴로 첨가되어진다고 결론내려 왔다(Goldberg et al., 1963; Piper, 1974). 그러나 Elderfield 등(1981)은 北赤道 太平洋에서 망간단괴와 인접 堆積物을 비교해봄으로써 3가의 稀土類元素의 구성에 큰 역할을 하는 것으로 결론내렸다.

Pb-210은 반감기 22.3년, 자연 방사능 元素인 U-238 계열에 속하는 元素로서, 최근 100년 이내의 짧은 기간 동안의 퇴적속도를 구하는데 적합하다. 海洋堆積物內的 Pb-210은 모핵종 Ra-226에서 붕괴되어 나오는 양보다 더 많이 존재하며, 이를 초과 Pb-210(excess Pb-210)이라고 한다. 초과 Pb-210의 공급원으로는 대기로부터의 공급, 강물에 의한 유입, 용존 Pb-210의 부유물질로의 흡착후 퇴적 등이 있다(Carpenter et al 1984). Pb-210은 강한 친입자성 특성을 갖고 있기 때문에 생물체와 무기입자들에 쉽게 붙들려 해수로부터 퇴적물로 이동된다. 물기동안에서는 이러한 제거기작에 의해 Pb-210의 체류시간이 매우 짧으며, Ra-226 붕괴로부터 생성되는 Pb-210(supported Pb-210)에 첨가되어 퇴적물에는 과량으로

존재하게 된다. 이러한 과량의 Pb-210은 퇴적물 내에서 시간이 지남에 따라 지수함수적으로 감소하게 되며, 물리적인 혼합과 생물교란작용 등에 의해 영향을 받는다.

본 연구에서는 北東太平洋 堆積物試料에서 분석한 稀土類元素의 分布를 이용하여 이곳의 堆積環境을 이해하고자 하였으며 Pb-210을 이용하여 深海底 探查 海域의 堆積率과 混合率을 측정하고자 하였다.

第 2 節 材料 및 方法

1. 試料의 採取 및 保管

試料는 1990년 8월 30일 부터 9월 28일 까지 英國의 종합 海洋조사선 R/V Farnella호를 이용하여 박스 코어 (Box corer: 0.063 m² sampling area, 53 cm penetration depth)로 채취되었다.

回收된 Box core로부터 표층에서 4cm까지는 1cm간격, 10cm까지는 2cm간격, 16cm까지는 3cm간격, 20cm까지는 4cm간격, 40cm까지는 5cm 간격으로 부시료를 採取하였다. 採取된 부시료는 폴리에틸렌 병에 담아 뚜껑을 닫은 후 냉장보관 하였다.

2. 堆積物의 稀土類元素 分析

堆積物과 110℃의 乾燥로 (drying oven)에서 24시간 乾燥 시킨 후 마노 유발 ((agate mortar)에서 200 mesh 나일론체를 통과하도록 분쇄한 후 보관하였다.

보관 중인 試料를 分析하기 직전에 다시 110℃에서 24 시간 동안 乾燥 시키고, 常溫의 건조통 (desiccator)에서 1시간 동안 식힌 후, 1.00g의 試料를 teflon beaker에 稱량 (weighing) 하였다. 여기에 진한 불화수소(HF),

중과염소산(HClO₄), 질산(HNO₃)를 각각 4ml, 3ml, 6ml 씩 넣고 teflon 뚜껑을 닫은 후 175°C 이하에서 거의 마를 때까지 반응시켰다. 여기에 다시 동일한 양의 試藥으로 가한 후 0.1N 질산 용액으로 금속을 용출(elution)시켰다. 용출액을 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 상등액을 취하고, 이를 다시 총 회석 배수가 1,000배가 되게 회석하여 VG Element사의 PQ II+ 모델의 플라즈마 유도 결합 질량분석기 (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer: ICP-MS)를 이용하여 측정하였다.

3. 堆積物 放射能 同位元素 測定

가. 堆積物內의 Pb-210의 活動度 測定

건조 시료에 기대되는 Pb-210의 活動度(activity)에 따라 적당량의 Po-209 追跡者(tracer)를 넣고, 진한 HNO₃, HClO₄, HCl을 堆積物 1g당 각각 10ml씩 순차적으로 넣어 金屬을 용출해낸 뒤, 이를 6N 염산과 더불어 원심분리한 후, Ascorbic Acid로 Pb-210과 Po-209을 silver disc에 coating시키고, 이를 α 계수기로 계수하여 Pb-210의 activity를 測定하였다. 자세한 分析 順序는 附錄에 수록하였다.

각 試料에 넣은 Po-209 tracer의 양과 α 계수기로 계수한 時間을 Table 1에 나타내었다.

아울러 몇몇의 試料는 γ 계수기를 이용하여서도 測定하여 이를 α 계수기를 이용한 資料와 비교하였다. 앞서 설명했듯이, α 계수기를 이용한 測定에서는 여러 단계를 거치지만, γ 계수기를 이용하는 方法에서는 아무런 段階를 거치지 않고 급게 간 시료를 직접 계수기에 넣고 측정하므로 여러 단계를 거침으로 인해 발생할 수 있는 誤差를 줄일 수 있다. 그러나, γ 계수기를 이용하는 방법은 계수하는데에 걸리는 時間이 α 계수기에 비해 매우 길다.

Table III-7. The amount of Po-209 tracer and counting time

STN#	Depth(cm)	Po-209(μ l)	Counting time(sec)
9001	0	1002.5	156448
	3	1002.5	156448
	6	1002.5	156448
	8	1002.5	86631
	10	500.6	86631
	16	500.6	86631
	20	500.6	86631
	25	500.6	99286
	30	299.8	99286
	9025	0	603.4
3		603.4	85680
6		603.4	85680
8		603.4	85680
10		299.8	94758
13		299.8	94758
16		299.8	94758
25		299.8	94758
40		199.7	77031
9037		0	603.4
	3	603.4	77031
	6	603.4	77031
	8	603.4	81545
	10	299.8	81545
	16	299.8	81545
	20	299.8	81545
	25	299.8	79450
	35	199.7	79450
	40	199.7	105537

* Po-209 = 23.7 ± 0.7 dpm/ml

나. 堆積物의 Ra-226의 活動度 測定

堆積物의 混合係數를 구하기 위해서는 지지 Pb-210 (supported Pb-210)의 活動度를 제외한 과량 Pb-210 (excess Pb-210)의 活動度를 알아야한다.

지지 Pb-210의 活動度는 이론적으로 Pb-210의 母核種인 Ra-226의 活動도와 같게되며, 따라서 Ra-226의 活動度를 측정하여 지지 Pb-210의

活動度를 알아낸다.

Ra-226의 活動度는 곱게 간 試料를 잘 말린 후, 이를 적당한 높이 만큼 tube에 넣어 γ 계수기를 이용하여 계수한다.

그러나, γ 계수기에서 Ra-226의 peak가 나타나는 에너지 레벨 (186.1 KeV)은 U-235의 peak가 나타나는 에너지 (185.7 Kev)와 거의 같으므로, 두개의 peak를 서로 구분할 수 없다. 따라서, Ra-226의 活動度를 측정하기 위해서는 이의 딸핵종 중 Ra-226보다 반감기가 훨씬 짧은 Pb-214와 Bi-214의 活動度로 부터 이를 추정한다. 자세한 분석 순서는 부록에 수록하였다.

4. 堆積物 混合係數의 計算

총 Pb-210과 지지 Pb-210으로 부터 과량의 Pb-210을 구한뒤, DeMaster(1982)가 제안한 방법에 따라 堆積物의 混合係數를 계산하였다.

堆積物 混合係數 계산 방법에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.

일반적으로 海底의 堆積物은 상층부에 生物 作用에 의한 混合層과 생물 혼합의 영향을 받지 않는 下層 堆積物, 두 부분으로 나뉘어 질 수 있다 (Goldberg and Koide, 1962). 堆積物의 混合 係數는 堆積物 내에서 일어나는 eddy diffusion coefficient와 상응한다고 생각할 수 있으며, 따라서 堆積物의 混合, dissolution 또는 다른 化學的 反應 및 堆積 現象을 고려할 때 堆積物 내의 추적자의 분포는 정상상태 (steady state)에서는

$$D_{B\rho} \partial^2 \frac{A'}{\partial x^2} - \rho S \frac{\partial A'}{\partial x} - \rho \lambda A' - \rho P - R = 0 \quad (1)$$

$$(0 \leq x \leq L)$$

로 표현할 수 있으며, 여기서 각항은 다음과 같다.

A' = total activity of the radionuclide (dpm/g sediment)

x = depth in the sediment (cm)

L = depth of the mixed layer (cm)

DB = particle mixing coefficient (cm²/yr)

S = sediment accumulation rate (cm/yr)

λ = decay constant of the radionuclide (yr⁻¹)

P = production rate of the radionuclide from the in situ decay of its parent (dpm/g yr)

R = rate at which the radionuclide is removed from the sediment by dissolution (dpm/cm³ yr)

ρ = dry bulk density of the sediment in the mixed layer (g dry sediment/cm³ wet sediment)

여기서, 堆積速度 (S), 放射能 核種의 生成速度 (P), 堆積物의 密度 (ρ) 및 混合層 내에서의 混合速度 (Db)는 일정하다고 할 수 있다. 특히, 남극 해역이나 적도 태평양에서의 dissolution에 의한 영향은 무시할 수 있으므로 (DeMaster and Cochran, 1982), 식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$D_B \partial^2 \frac{A'}{\partial x^2} - S \frac{\partial A'}{\partial x} - \lambda A' - P = 0 \quad (2)$$

식 (2)를 풀면 해는

$$A(x) = C e^{\alpha x} + F e^{\beta x} \quad (3) \text{ 이 된다.}$$

여기서, A는 과량의Pb-210의 活動度 (A' - P)이며, C, F, α , β 는 상수이다.

경계 조건으로는

$$x = 0 \text{ 일 때, } A = A_0$$

$$x = L \text{ 일 때, } D_B \frac{\partial A}{\partial x} = 0$$

이며 따라서, 각 상수는 다음과 같이 표현된다.

$$F = \frac{-A_0 a e^{\alpha L}}{\beta e^{\beta L} - \alpha e^{\alpha L}}$$

$$C = A_0 - F$$

$$a = \frac{S + \sqrt{S^2 + 4\lambda D_B}}{2D_B}$$

$$\beta = \frac{S - \sqrt{S^2 + 4\lambda D_B}}{2D_B}$$

따라서, 식 (2)는

$$A(x) = A_0 \exp\left[\left(\frac{S - \sqrt{S^2 + 4\lambda D_B}}{2D_B}\right)(x)\right] \quad (3)$$

로 표현할 수 있다.

$$\text{즉, } \ln A(x) = \frac{S - \sqrt{S^2 + 4\lambda D_B}}{2D_B} x + \ln A_0 \quad (4)$$

로 堆積物 깊이에 따른 과량의 Pb-210의 活動도의 自然代數와 깊이 간에는 서로 직선의 相關 關係가 있고 그 기울기는 堆積物의 堆積速度와 혼합을 및 Pb-210의 붕괴상수로 표현된다.

따라서, 과량의 Pb-210의 활동도의 自然代數와 堆積物 깊이와의 상관계에서의 기울기를 t라 하면,

$$t = \frac{S - \sqrt{S^2 + 4\lambda D_B}}{2D_B} \text{ 이며,}$$

따라서, 퇴적물의 혼합을

$$D_b = \frac{\lambda - tS}{t^2} \text{ 이 된다.}$$

본 연구에서는 퇴적율을 1×10^{-3} cm/yr로 하였고, Pb-210의

붕괴상수는 반감기가 22.3년 이므로 0.0311 yr^{-1} 이 된다.

第 3 節 結果 및 討議

1. 堆積物의 稀土類元素의 垂直分布

퇴적물의 色相, 金屬含量 變化, 함수량 변화, 稀土類 元素함량 변화등을 기준으로 3개의 類型으로 구분된 정점 1, 정점 25, 정점 37은 각각 그 特性이 다르다. 즉 정점 1은 퇴적물 깊이에 따른 色상, 金屬함량, 稀土類 元素함량의 변화가 관찰되지 않고, 함수량은 깊이에 따라 감소한다. 정점 25는 含水量, 稀土類 元素 함량에서 특별한 變化가 관찰되지는 않지만 金屬含量은 20-25cm 깊이 이하에서 급격히 증가한 양상을 보이고, 色상변화도 약간 관찰된다. 정점 37은 함수량, 稀土類 元素 含量, 金屬 元素 含量등 모든 特性이 色상 境界面을 중심으로 변화하고, 함수량은 色상 境界面 이하에서 증가하는 특이한 양상을 보인다 (김, 1992).

위와같은 각 정점에 대한 特性 외에도 퇴적물중 방산충 (radiolaria)을 동정하여 측정된 堆積物의 연령은 정점 1, 정점 25의 경우 제 4기종의 방산충이 堆積層 전 깊이에서 주로 나타난다. 그러나 정점 37의 상부층에서는 또한 제 4기종이 주로 산출되는 반면, 정점 37의 하부의 갈색 퇴적물에서는 제 3기종의 방산충 화석들이 주로 나타나고 있다. 정점 25의 경우는 대체로 제 4기에서 마이오세 후기까지의 화석종들이 나타나고 퇴적층에 따른 특별한 化石 조성의 變化가 관찰되지 않는다. 정점 37의 경우는 하부층에서 올리고세등 제 3기 중기 시기의 化石種들까지 출현하고 있다.

측정된 Pb-210 자료는 위와같은 年齡 대비를 잘 나타내 주고 있다. Pb-210의 資料는 단지 대략 100년 정도의 짧은 기간 동안 만의 堆積率을 측정하는데 의미를 가질 수 있다. 본 연구결과 나타나는 결과, 즉 色상 境界面을 중심으로 나타나는 급격한 과량 Pb-210 양의 감소는 色상

경계면이 하나의 堆積 缺層임을 지시하는 결과다. 그런데, 정점 25, 정점 37 하부에 나타나는 매우 낮은 과량 Pb-210 양으로는 제 4기 초, 또는 제 3기 말의 연령 변화 즉 마이오세, 또는 플라이오세 동안의 堆積 缺層 까지에 대한 정보를 알아내기 어렵다.

稀土類 元素는 그 함량이 정점 34의 경우 색상 경계면을 중심으로 크게 변화한다. 이러한 변화는 정점 25에서 미세 망간단괴 양이 많은데도 불구하고 稀土類 元素의 함량 변화가 없는 점을 볼 때 稀土類 元素가 미세 망간단괴 또는 금속함량과 상관 관계를 가지는 것으로 보이지 않는다. 미세망간단괴 함량과 금속 함량 변화는 밀접한 관련이 있다 (정 등, 1991).

정점 37의 상하부 堆積物중에 나타나는 특기할 차이점은 위의 미세망간단괴 함량 차이 또는 금속함량 차이 이외에 갈색 입자 함량 차이, 그리고 魚類 殘骸物 함량 차이가 있다. 갈색 입자는 그 기원이 속성기원 또는 화산기원이고, 주로 철 함량이 높은 nontronite 계열의 광물로 여겨지고 있다 (민, 1992). 화산기원의 현무암 유리질 파편이 퇴적물로 유입된 후 이들 입자가 變質作用을 거쳐 smectite 또는 nontronite 광물로 되거나, 또는 zeolitic philipsite 광물로 변질 되는 경우가 많다 (Chester, 1991). 만약 정점 37의 하부층에 나타나는 갈색의 입자가 화산 기원이라면 이 하부층에서 높게 나타나는 稀土類 元素의 함량은 이러한 화산기원 물질에 연유될 가능성이 있다.

위와같은 갈색 입자 외에도 정점 37의 하부층에는 魚類의 殘骸로 생각되는, 그리고 EDS 분석 결과에서 Ca의 peak가 높게 나타나는 입자들이 관찰된다. 이들 입자들은 아마도 Ca-P 化合物일 가능성이 있는데, 일반적으로 Ca-P화합물에는 稀土類 元素의 함량이 높다.

지금까지의 고찰에서 정점 37의 하부에 나타나는 稀土類 元素의 함량 변화의 요인은 크게 두가지로 압축된다. 즉 갈색입자가 화산기원인 경우와 어류의 잔해물이 Ca-P 화합물인 경우다. 어느 원인에 기인된 것인지 현 단계에서 알기는 어렵고, 分析 方法上의 難題가 있기는 하지만 앞으로 두

粒자를 추출하여 각각 分析을 시도함으로써 위의 疑問은 풀리리라 기대된다.

本 研究結果에서 공통적으로 나타나는 하나의 현상은 Ce의 negative anomaly이다 (Fig. III-56). 이러한 양상은 이들 堆積物 위에 分布하는 망간단괴중에서는 Ce이 positive anomaly를 보이는 점과 대비할 때 특기할 만 하다. 망간단괴에서 Ce이 positive anomaly를 보이는 것은 Ce이 해수중에서 쉽게 酸化되어 해저면으로 제거되기 때문이다. 그 결과 海水中에는 일반적으로 Ce이 negative anomaly를 보이고, 반대로 海水로부터 제거되어 堆積物 表層에 쌓인 망간 산화물에서는 positive anomaly를 보인다. 그런데 堆積物중 Ce이 positive anomaly를 보이는 것은 堆積物이 망간 산화물과는 다른 장소 또는 다른 기원으로 형성되었다는 것을 의미한다. 퇴적물의 주요 구성원이 粘土鑛物과 化石 殘骸라면, Ce의 negative anomaly는 쉽게 이해될 수 있다. 즉 粘土鑛物을 구성하는 육성 기원의 illite, smectite, kaolinite, chlorite등은 海水中에서 침전 과정을 거치지 않은 암석의 風化 産物이므로, Ce의 positive anomaly를 기대하기는 어렵다. smectite가 자생의 속성기원 또는 암석이 변질된 결과라 해도 역시 이들이 해수중에서 산화등의 elemental fractionation 과정을 거치지 않았기 때문에 Ce의 positive anomaly를 기대하기는 어렵다. 또한 堆積物중에 존재하는 生物의 殘骸는 거의 모두 해수중에서 元素들이 합성되어진 結果物이므로 오히려 Ce의 negative anomaly가 기대된다. 즉 위의같은 점들로 인해 深海底 堆積物중 Ce의 anomaly는 negative 값을 가지리라 생각된다.

특기할 사실은 Ce anomaly 정도가 정점 37의 下部 堆積物에서 심화되었다는 점이다 (Fig. III-56). 정점 1, 정점 25에서는 Ce anomaly 정도가 크지 않은 점을 고려할 때 위의 사실은 堆積物에 포함된 稀土類 元素 집적체가 해수와 같이 Ce의 negative anomaly가 큰 매질에서 형성되었음을 지시한다. 이와같은 사실은 HREE (heavy rare earth element)의 分散 정도가 LREE (light rare earth element)의 그것과 큰 차이를 보이지 않는 점에서도 찾아 볼 수 있다 (Fig. III-56). 즉, 해수중에서 용존태로 안정한

HREE가 堆積物 속에서도 많은 양이 존재한다는 것은 이들 퇴적체중 稀土類 元素의 집적체가 해수중에서 형성되었다는것을 의미한다.

2. α 計數法과 γ 計數法 에 의한 Pb-210의 活動度 結果 比較

총 9개의 동일한 試料에 대하여 α 계수기를 이용한 방법과 γ 계수기를 이용한 방법을 동시에 실행하여 두 방법의 차이와 본 研究에서 이용한 α 계수법의 信憑性에 대하여 알아보았다.

동일한 시료에 대한 두 방법의 結果를 Table III-8에 나타내었다. 두 방법 사이에는 相關關係 0.97로 매우 좋은 직선의 관계를 보였으며 (Fig. III-56), 기울기 역시 0.93으로 거의 1에 가깝게 나타났다. 또한, 모든 시료에서 두 방법의 차이가 약 10 % 내외로 거의 일치하였다. 본 研究에서는 Pb-210의 活動度を α 계수법에 의한 結果를 이용하였는데, γ 계수법에 의한 結果와 거의 차이가 없는 것으로 보아 본 研究에서 얻은 Pb-210의 活動度 資料는 믿을만 하다고 볼 수 있다.

Table III-8. Comparison of the α counting method with γ counting method for the Pb-210 determination

Sample No.	α counting (dpm/g)	γ counting (dpm/g)
1	68.4	71.6
2	101.8	97.6
3	89.8	82.1
4	109.1	114.5
5	54.2	62.3
6	21.9	26.7
7	85.1	85.1
8	80.5	91.8
9	62.5	61.0

3. 放射性 同位元素의 垂直 分布特性

堆積物 내의 稀土類 元素가 분석된 총 19개의 주상 시료를 색상, 稀土類 元素의 함량, 금속 함량 및 함수량의 변화에 따라 크게 3가지 종류로 분류되는데 (KORDI, 1991), 이렇게 분류된 주상 시료중 각각에서 대표적인 주상 시료를 골라 이것의 放射性 同位元素를 측정하였다.

堆積物の 깊이에 따라 색상, 금속함량, 稀土類 元素 함량의 변화가 없고, 함수량만 깊이에 따라 감소하는 形態 (Type A)에서는 정점 1을, 堆積物 하부층의 색상이 상부층에 비해 약간 어둡고, 금속함량이 하부층에서는 높지만 깊이에 따른 稀土類 元素 함량 및 함수량의 변화는 type A와 유사한 形態 (Type B)에서는 정점 25를, 堆積物 상부층에 비해 하부층의 색상이 어둡고, 금속 및 稀土類 元素의 함량이 상부층에서는 감소하다가 하부층에서 다시 증가한 후 감소하는 形態 (Type C)에서는 정점 37을 대표적인 시료로 하여 분석하였다.

深海中에서 일반적인 Pb-210의 活動度の 垂直 分布는 표층의 混合層을 무시한다면, Fig. III-56과 같이 나타나며 깊이가 충분히 깊어져도 Pb-210의 活動도는 0이 되지 않고 일정한 값에 수렴한다. 그 이유는 堆積物에 포함되어 있는 Pb-210의 母核種 때문이다. Pb-210은 U-238 (반감기 약 45억년) 붕괴 계열의 가장 끝부분에 해당하는 放射性 核種으로서 堆積物에는 여러 종류의 Pb-210 母核種이 존재하기 때문이다.

가. 정점 1

정점 1은 특이하게 상부층에 어두운 색상의 堆積物이 퇴적되어 있고, 金屬이나 稀土類 元素 含量的 변화도 거의 보이지 않는다.

특히, 총 Pb-210의 活動度 역시 표층에서 최저 68.4 dpm/g으로 최소를 보이며, 10cm깊이에서 101.8 dpm/g으로 최대를 보이지만, 30cm 까지는 깊이에 따라 변화를 보이지 않고 거의 일정하다 (Table III-9, Fig. III-57). 이러한 값들은 인근 지역에서 다른 연구자들에 의한 결과 (60 - 100 dpm/g:

DeMaster and Cochran, 1982; 60 - 80 dpm/g; Cochran, 1985)와 비교해 볼 때 거의 비슷한 값을 보인다. 따라서, 최소한 30cm 까지 生物攪亂 또는 물리적인 혼합이 이루어졌다고 볼 수 있으며, 이는 일반적으로 深海에서 알려진 혼합의 깊이보다 훨씬 깊다. Ra-226의 活動度는 깊이에 따라 대부분 거의 일정하지만 깊이 10 cm에서는 60.2 dpm/g으로 다른 깊이의 약 40 dpm/g에 비해 다소 높다. 10 cm 깊이에서 Pb-210의 活動度 역시 최대값을 보이는 것으로 미루어 아마도 表層 堆積物과의 혼합에 의한 결과로 생각된다.

나. 정점 25

정점 25는 Type B에 해당하며, 상부층과 하부층의 색상 차이가 약 15cm를 경계로 뚜렷하고, 하부층에 상부층에 비해 어두운 색상의 堆積物이 존재하고 生物攪亂의 흔적이 뚜렷하다 (KORDI, 1991).

放射性 同位元素의 垂直分布는 총 Pb-210의 경우에는 표층 109 dpm/g에서 부터 깊이가 증가함에 따라 指數函數的으로 감소하여 40 cm에서는 약 5 dpm/g으로 매우 낮은 값을 보인다 (Fig. III-58). 그러나, 다른 정점에서의 Ra-226의 活動度는 깊이에 따라 일정한 분포를 보인 반면, 정점 25에서는 Ra-226의 活動度가 깊이에 따라 감소하는 형태를 보인다 (Fig. III-58).

堆積物 깊이 15 cm를 기준으로 뚜렷한 색상의 차이가 있고, 총 Pb-210의 活動度 역시 깊이 16cm 까지는 50 dpm/g 이상으로 인근 지역의 다른 연구자들에 의해 제안된 堆積物 混合層에서의 活動度와 비슷한 값을 갖지만, 그 이하의 깊이에서는 매우 작은 活動度를 보이므로 16 cm 까지를 堆積物의 混合層으로 보았다.

다. 정점 37

정점 37은 Type C에 해당하며, 함수량이 증가하는 하부층인 堆積物 깊이 25cm 이하에서는 生物攪亂 흔적이 보이지 않는다 (KORDI, 1991).

放射性 同位元素의 垂直分布는 총 Pb-210의 경우에는 깊이 16 cm 까지는 活動도가 77 - 93 dpm/g으로 거의 일정하다가, 그 이하의

깊이에서는 감소하여 깊이 35 cm에 이르러서는 약 10 dpm/g으로 급격히 작아진다. Ra-226의 경우에는 전 堆積層에서 평균 43 dpm/g으로 거의 일정하다 (Fig. III-59).

대체적으로 살펴보면, 깊이 16 cm까지는 매우 활발한 혼합이 일어나며, 그 이하에서 부터 25cm 까지도 비교적 작지만 혼합작용은 일어나는 것으로 보인다.

다. 放射性 同位 元素를 利用한 堆積物의 混合率

堆積物의 混合率을 계산하기 위하여 과량 Pb-210의 수직 분포를 Fig. III-60에 圖示하였다. 이 수직 분포로 부터 앞절에서 설명한 바와 같은 방법으로 각 정점에서의 混合率을 구하여 그 결과를 Table III-9에 나타내었다.

Table III-9. Sediment particle mixing rate based on excess Pb-210 measurement.

Station #	Mixing Rate (cm ² /yr)	Mixing Depth (cm)
1	1265	30
25	15.9	16
	0.2	16 - 40
37	335	16
	3.5	16 - 25

과량 Pb-210의 자료를 이용한 堆積物 混合率은 각 정점에 따라 그 변화가 매우 크며, 한 정점에서조차 깊이에 따라 混合率이 달라진다. 일반적으로 深海에서의 堆積物의 混合 또는 生物 攪亂 작용은 거의 없는 것으로 알려져 있으며, 다른 연구자들이 본 연구와 유사한 방법으로 조사한 지역과 비교하여 보아도 정점 25의 16 cm 이하를 제외하고는 매우 큰 차이가 난다. 본 연구의

결과는 오히려 沿岸域인 Puget Sound의 결과와 유사하다고 볼 수도 있다 (Table III-10).

이러한 차이를 보이는 이유는 堆積物 混合率 계산에서 전제로하는 몇가지 假定에 문제가 있을 수 있고, 다른 한가지 가능성은 실제로 深海에서도 지역에 따라서는 매우 심한 混合 또는 生物 攪亂 作用이 존재한다는 것이다.

Table III-10. Sediment mixing data based on excess Pb-210 measurement

Location	Mixing Depth (cm)	Mixing Rate (cm ² /yr)	Reference
North Atlantic	8	0.2	1
Equatorial Pacific	8	0.12	2
	7 - 12	0.2 - 0.4	3
South Atlantic	15	0.04 - 0.16	3
Puget Sound		0.25 - 3000	4
Equatorial Pacific	16 - 40	0.2 - 1265	this study

1. Nozaki et al., 1977
2. Peng et al., 1979
3. DeMaster and Cochran, 1982
4. Carpenter et al., 1984

堆積物의 混合率 계산시의 가정은 堆積速度, 放射能 核種의 生成速度, 堆積物의 密度 및 混合層 내에서의 混合速度는 일정하고, dissolution에 의한 영향은 무시한다는 것이다. 이 중 가장 문제시 될 수 있는 것이 일정한 堆積速度이다. 본 연구에서는 퇴적속도를 일반적으로 심해의 퇴적속도로 알려진 1 cm/Kyr로 계산하였다. 앞서 설명했듯이, 각 정점의 주상 시료들은 상층부와 하층부의 색상 차이가 뚜렷이 나타나며, 이것은 두 층 사이의 시간적인 차이가 있다는 것을 간접적으로 지시한다고 하겠다. 물론, 이러한 시간적인 차이가 Pb-210의 수직 분포에서도 나타나, 색상의 경계면을 지나면 급격히 감소하여 과량 Pb-210이 거의 없는 것으로 나타났지만, 색상의 차이가 없는

부분 내에서도 반드시 일정한 堆積速度를 갖는다고 볼 수는 없다.

또한, 주상 시료에서 상당히 심한 生物攪亂作用을 肉眼으로도 직접 확인할 수 있었기 때문에 실제로 심해에서도 일반적으로 알려진 정도보다 훨씬 많은 生物攪亂作用이 존재하는 것으로 생각된다.

따라서, 深海堆積物의 環境에 대한 研究를 수행할 때에도 沿岸域의 경우와 마찬가지로 生物攪亂作用 또는 堆積物의 混合에 대해서 고려를 해야하며, 혼합 깊이가 역시 상당히 깊은 곳에 까지 이를 수 있다는 것을 염두에 두어야한다.

附錄

(1) 퇴적물에서의 Pb-210 측정방법

1. 건조된 시료를 곱게 부수어서 필요량(1-10g)만큼 무게를 소수 네째자리까지 정확하게 제어 250ml 비이커에 담는다.
2. Po-209 추적자를 퇴적물에서 기대되는 Activity에 따라 적절히 조절하여 정확한 양을 시료에 가한다.
3. 유기물의 제거를 위하여 시료 1g당 진한 질산 10ml를 가한다음 서서히 가열하여 높지않은 온도에서 거의 마를 정도로 증발 시 킨다. 불화물의 제거를 하기 위하여 진한 질산과 같은 양의 진한 HClO₄와 HCl을 가하여 시료를 Digestion 시킨다.
4. 6N HCl로 50ml 원심분리관에 입자와 용액의 양이 30ml이 되게 옮겨담아 5000rpm에서 20분간 원심분리한다.
5. 원심분리 후 150ml Glass Jar에 상등액을 따라 붓고 다시 0.3N HCl을 이용하여 위의 4단계를 2회 반복한다.
6. 상등액에 Ascorbic Acid reagent power를 적당량 넣고 교반기를 이용하여 잘 혼합한다.
7. 한면이 코팅된 Silver Disk를 Glass Jar에 중간쯤 담그어 걸어 놓고 Plating을 시킨다.
8. Disk 꺼내어 건조후 알파 계수기로 24시간 정도 계수한다.

(2) 퇴적물에서의 Ra-226 측정방법

1. 건조된 시료를 곱게 부수어서 다시 건조시킨다.
2. 건조된 시료를 데시케이터에서 식힌후 일정량을 정확하게 달아 높이 8cm 의 counting tube 에 담는다.
3. 시료의 높이를 정확하게 측정한후 감마 계수기로 48시간 정도 계수한다.

4. Ra-226은 Energy range에서 직접 측정할 수 없으므로 Pb-214와 Bi-214의 Counting area로서 환산하여 측정한다.

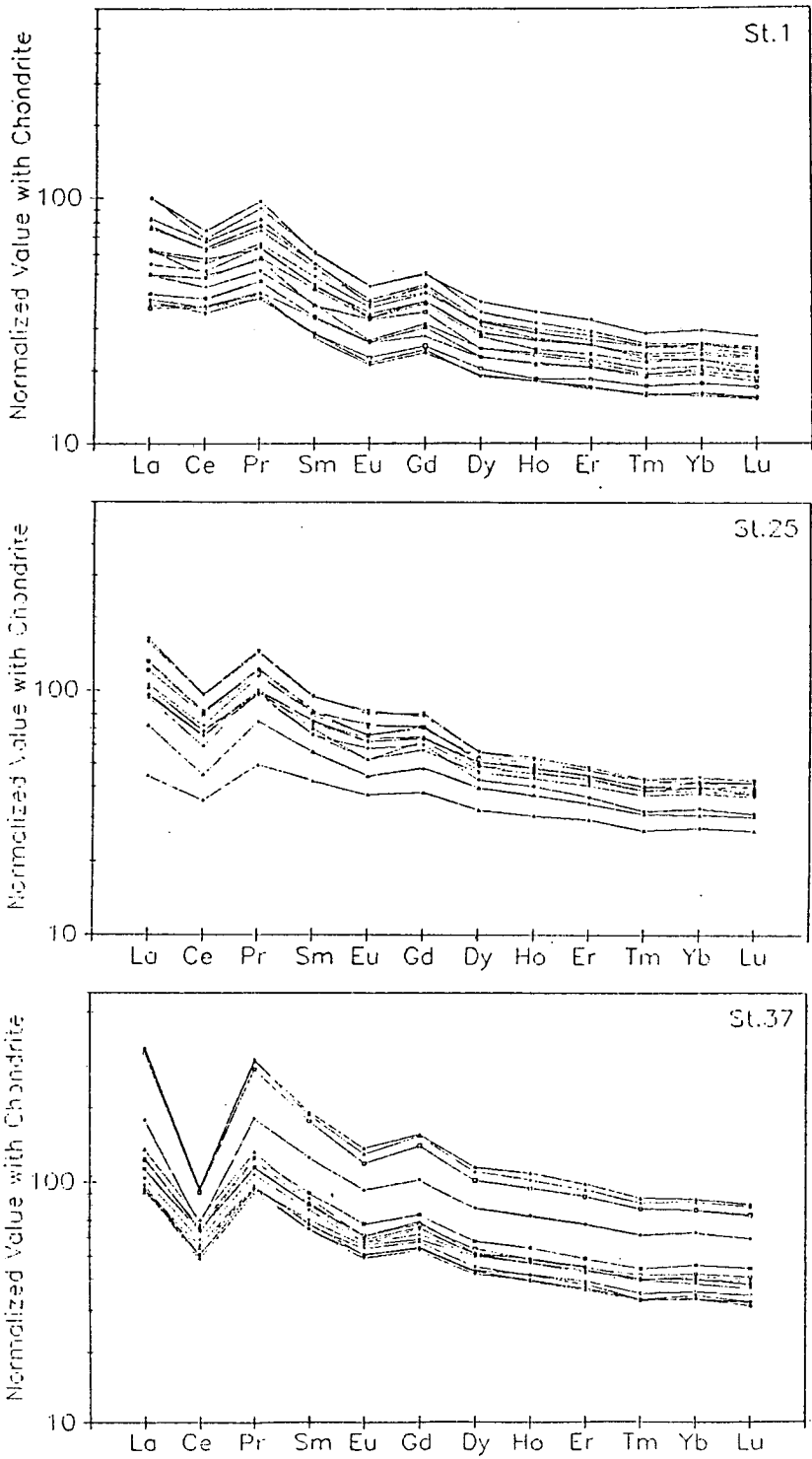


Fig. III-56. Vertical distribution of Rare Earth Elements(KODOS-90)

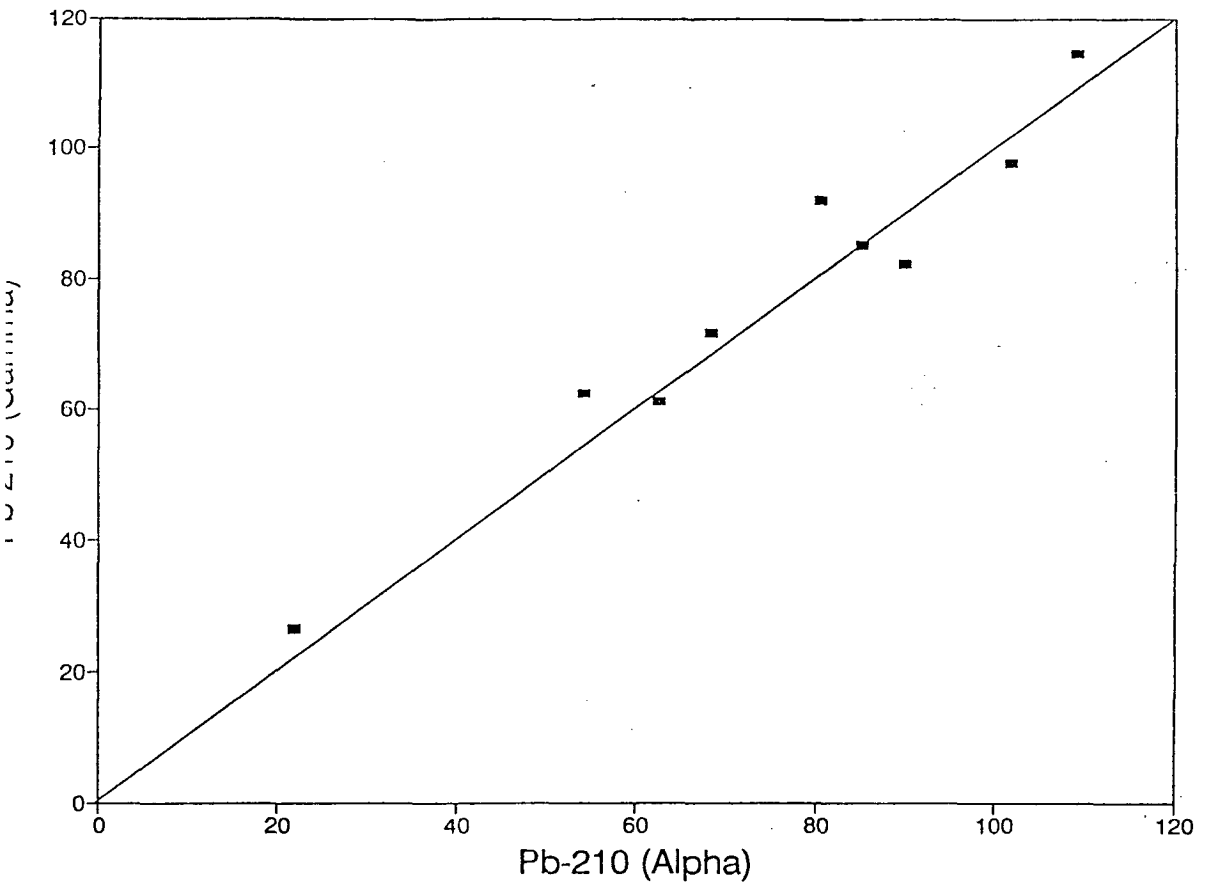


Fig. III-57. Comparison of the Pb-210 activity measurement between α counting method and γ counting method

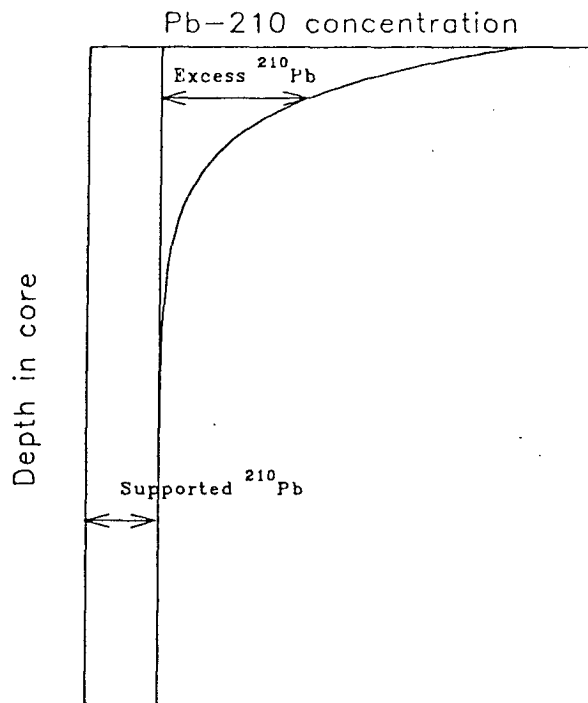


Fig. III-58 Hypothesized Pb-210 activity in the sediment column

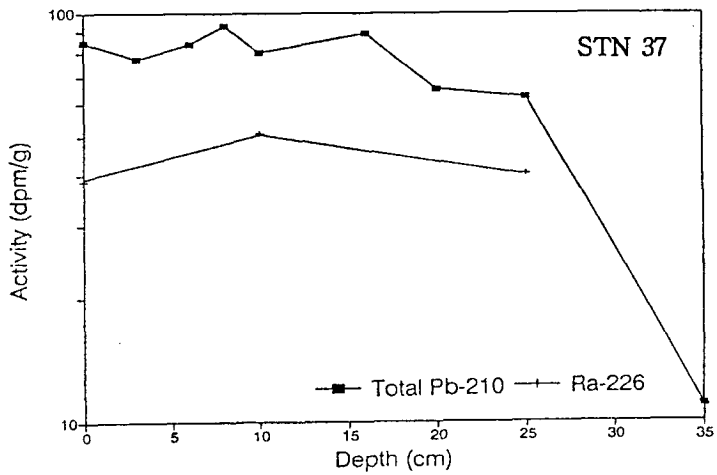
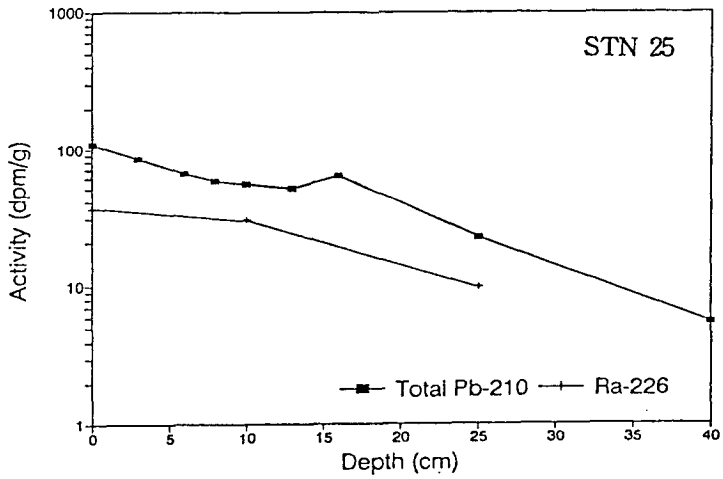
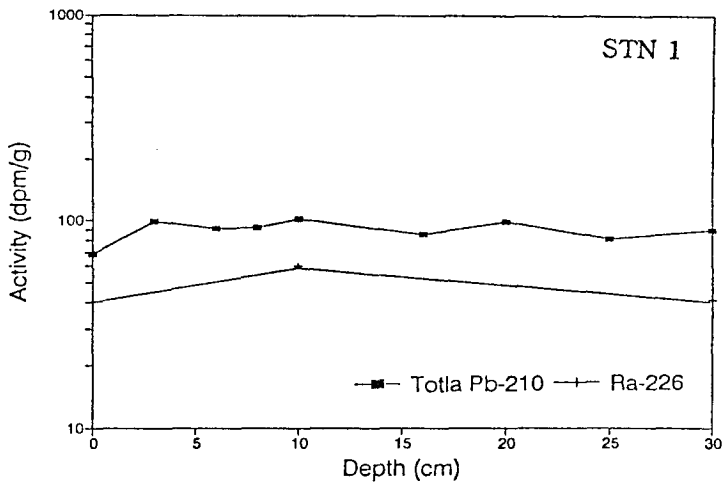


Fig. III-59 The vertical distribution of the total Pb-210 and Ra-226

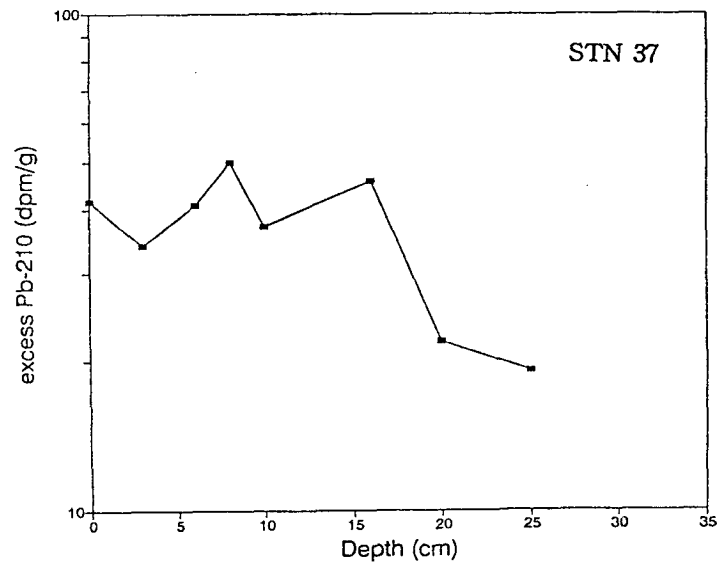
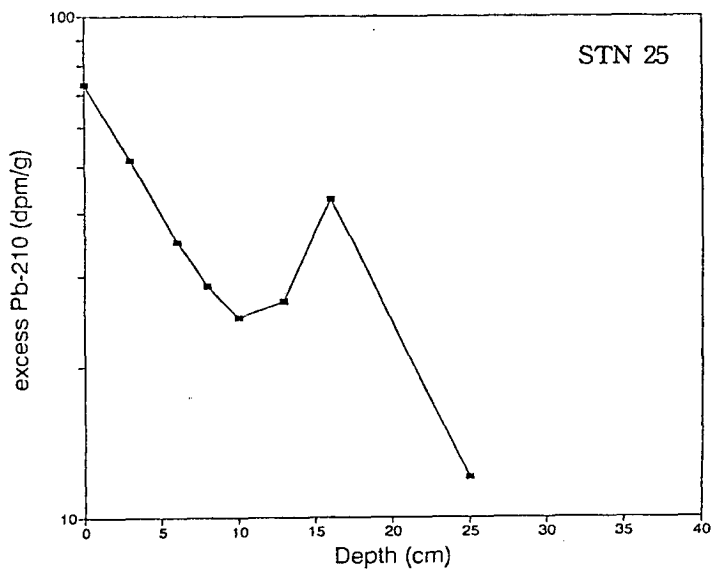
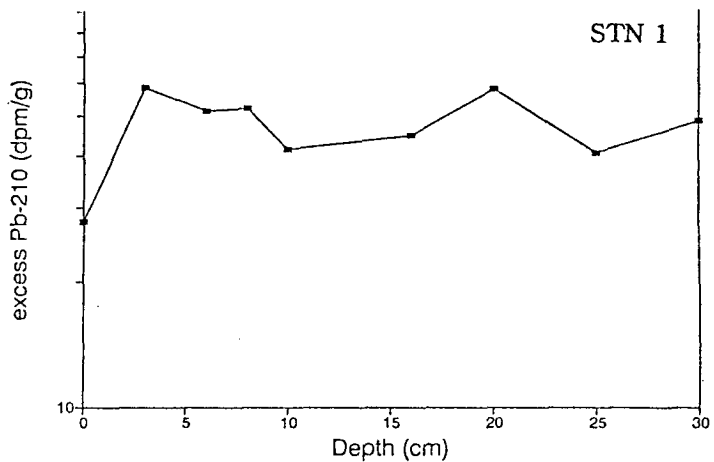


Fig. III-60. The vertical distribution of the excess Pb-210

第 3 章

深海底 鑛業에 따른 環境影響 低減對策

第 1 節 序 論

1873년에서 1976까지 수행된 챌린저호의 海洋 探査 때 처음으로 발견된 망간團塊는 1950년대 후반에 이르러서야 鑛物資源으로서의 그 가치가 인식되기 시작하였다. 太平洋의 團塊에서는 79가지의 元素가 확인되었으나, 실제로 전략적 경제적 중요성이 있는 원소는 망간, 구리, 니켈, 코발트 등 네가지 원소였다. 이제까지 가장 商業的인 관심이 집중된 海域은 中央 東太平洋 海域으로서 다른 海域보다 망간團塊의 부존량이 많고, 평균 함유량이 니켈 1.3%, 구리 1.1%, 코발트 0.2%, 망간 25%으로서 특히 니켈의 함유량이 높은 특성을 가지고 있다.

현재 예상되고 있는 초기의 鑛業에 있어서의 採掘方式은 Hydraulic type lift system으로서 水中의 원심 펌프나 air lift system을 사용하여 深海로부터 망간團塊를 파이프라인을 통해 採掘船으로 끌어올리는 방법이다. Hydraulic collector는 底層을 긁으면서 진행하게 되는데, 그 폭은 20 m 정도이다. 이러한 採掘기는 자체 추진에 의해 움직이게 되거나, 採掘船으로부터 끌게 될 것이다. 따라서 採掘器는 團塊뿐만 아니라 底層 海水와 堆積物, 底棲生物들을 함께 흡입하였다가 團塊 이외의 物質은 대부분 海底에 다시 放出하게 된다. 그러나, 일부 堆積物은 파이프라인을 따라 團塊와 함께 表層으로 끌어 올려지게 될 것이며, 망간團塊와 분리된 후 表層에 방류될 것이다. 團塊 採掘로 인한 底層의 堆積物 攪亂과 表層으로의 放出은 深海底 鑛業에 있어서의 環境影響의 주된 원인이 될 것으로 예측되고 있다.

이제까지 深海底 鑛業에 의한 環境影響 研究 프로그램은 美國, 프랑스, 獨逸, 日本, 노르웨이, 蘇聯 등의 研究기관에 의해 주도적으로 수행되어 왔다. 美國은 1300만 km²의 면적의 클라리온-클리퍼톤 地域에 대하여 5년간의 深海底鑛業의 環境影響 研究(Dep Ocean Mining Environmental Study:DOMES)를 수행한 바 있으며(NOAA, 1981), 底棲 生態 群集에 대한

底層堆積物攪亂 및 再堆積의 影響을 조사하기 위한 底棲 影響 實驗研究 (Benthic Impact Experiment Project: BIE)를 91년부터 시작하였다(NOAA, 1991). 美國에서는 이미 鑛業作業으로 인하여 表層海水와 水系에 미치는 影響을 조사한 바 있으며, 深海 海底面에서 일어나는 攪亂行爲에 의한 影響과 深海 底棲 生物群集의 變化에 초점을 맞추고 研究를 수행하고 있다. 日本과 러시아는 美國과 공동으로 BIE에 참여하고 있는데 日本은 表面에서 일어나는 問題에, 그리고 美國은 深海 海底面에 초점을 맞추고 있다. 日本은 과거 美國이 수행했던 研究를 연장하여 表面과 수괴에서 어떤 현상이 일어나는지를 보여줄 모델을 만들 계획이다. 日本은 1994-1996년에 C-C균열대(CCFZ)에서 파일럿 鑛業 테스트를 계획하고 있으므로, 美日 兩國은 試驗鑛業 일년전, 試驗鑛業 진행중, 그리고 試驗鑛業 일년 후에 環境分野를 研究할 공동 모니터링 프로그램을 수행하기를 희망하고 있다.

獨逸의 DISCOL 프로젝트(DISTurbance-reCOLonization project)는 深海 鑛業의 環境의 研究로서 최초의 大型 研究 프로젝트이다. 獨逸 科學者들은 深海 生物에 미치는 影響을 규명하기 위하여 1989년 南太平洋에서 10.8 km²의 地域을 "plough-harrow"裝置로 攪亂시킨후 이 地域에 새로운 안정된 生物群集(community)이 棲息할 때까지 계속적으로 生物群集의 再定着(recolonization) 過程을 모니터링하고 있다.

本 研究에서는 深海底 兩塊 採鑛에 따라 발생할 수 있는 여러가지 環境問題를 다각적으로 검토하고 그 影響을 예측하고자 採掘作業에 의한 海底에서의 직접적인 影響과 深海底 底棲 生態系에 미치는 影響, 採掘作業時 발생하는 저니의 再沈澱에 의한 影響, 採掘過程의 부산물을 放出함에 따른 表層 및 中層 수계에 미치는 影響, 採鑛선박으로부터의 汚染, 兩塊處理 工場에 의한 影響 등으로 세분하여 논의하였다. 또한 環境影響 低減 대책 수립에 필수적인 정보를 획득하기 위하여 본 研究에서는 美國, 日本, 소련이 수행하고 있는 BIE 프로젝트에 93년 2차 조사(93년 7월말)부터 공동으로 참여하고 있으며, 1994년의 3차 조사부터는 본격적으로 참여할 예정이다. BIE 프로젝트에서 이미 深

海 堆積物 재부유 시스템(Deep Sea Sediment Resuspension System:DSSRS)을 제작하여 試驗하였고 海底 攪亂 實驗을 실시할 北赤道太平洋 海域에서 사전 조사를 마친 바 있다(NOAA, 1992a; NOAA, 1992b).

第 2 節 深海底 鑛業에 의한 環境影響 豫測

1. 團塊 採掘作業의 直接的인 影響 豫測

현재까지 全世界 大洋의 몇군데 海域이 망간 團塊의 商業的 鑛業의 최적지 로 판명되었다. 東南太平洋의 페루와 Bauer Basin 地域, 中央印度洋의 海域 등 몇몇 海域에 대하여 장래의 探査權利와 최종적인 鑛業 開發의 獨占權 請求가 신청되어 있는 상태에 있다(Heye et al., 1979; Stackelberg, 1987). 그러나 최대의 商業的 關心事는 Clarion-Clipperton Fracture Zone(CCFZ)에 집중되어 있다고 볼 수 있다.

商業的으로 유용한 深海 망간 團塊의 集積物(accumulations)은 深海 海底面의 저니층의 수 cm의 반액체층(semi-liquid layer)에 놓여있다. 가장 관심을 끄는 망간 鑛床은 水深 4000 m와 6000 m 사이의 深海에서 발견된다. 陸上의 鑛床들이 3차원적인 분포를 보이는 것에 반해 이들은 2차원적인 분포를 보인다. 이는 경제성이 있는 商業 採鑛時에는 필수적으로 回收速度(harvesting rate)와 물량을 유지하기 위해 비교적 넓은 海底面이 필요하다는 것을 의미한다. 이제까지 망간 鑛床을 採掘하기 위해 적절한 鑛業器械類가 계속 발달해 왔으나, 광범위한 海底面이 採集裝置(collecting device)에 의해 직접적인 影響을 받는 것을 피할 수는 없다.

모든 深海 鑛業은 불가피하게 海洋環境에 影響을 주게 될 것이다. 그러나 그 影響의 정도는 아직 완전히 파악되지 않고 있으며, 또한 그 影響을 정확히 예측한다는 것은 매우 어려운 일이다. 底棲群集(benthic community) 및 표생

底棲 群集(epibenthic community)에 끼치는 影響의 정도는 採集 시스템(collector system)의 설계와 作動方式에 따라 상당한 차이가 있을 수 있다. 해상에서 견인하고 海底面을 활강(glide), 회전(roll over)하거나, 海底面 위에 매달리게(suspended) 고안된 採集裝置는 프로펠러가 장착되어 있는 캐터필러 레도(caterpillar track)형이나 추진에 아르키메데스 스크르(Archimedes screw)를 이용하는 시스템보다 影響이 적다. 견인되는 활강 시스템보다 프로펠러가 장착된 시스템이 더 많은 양의 저니를 부유시킬 것으로 예측되고 있다. 이러한 採集裝置들은 저니속으로 침투하는 깊이가 서로 다르며, 그에 따른 수직적인 攪亂도 현저히 다를 것이다. 뿐만 아니라 採集裝置가 정확히 團塊를 회수하기 위해서는 團塊가 놓여 있는 깊이보다 어느 정도 더 깊게 파헤쳐야 하며, 이로 인하여 현저히 많은 양의 堆積物 攪亂이 일어날 수 밖에 없다.

그러나 團塊는 매우 부드러운 반액체 상태의 저니에 부분적으로 묻혀있으므로 모든 鑛業 시스템(mining system)은 團塊가 海水 위로 파이프(pipe string)를 통해 올려지기 이전에 경제적으로 가치가 없는 막대한 양의 저니를 團塊로부터 제거시켜야만 한다. 모든 鑛業 시스템은 저니 상층부의 수 cm에서 수십 cm 사이의 저니를 攪亂시키게 되며, 이곳은 대부분의 深海 生物이 발견되는 층이기 때문에 問題는 심각하다(Gage and Tyler, 1991). 採集 作業 地域내에 棲息하는 底棲 生物(benthic biota)의 상당 부분이 採集裝置의 종류에 관계없이 생존하지 못할 것으로 예측되고 있다. 이들은 기계적으로 키질이 되거나(winnow) 압력에 의해 그들의 棲息處로 부터 빠져나오게 되어 採集 過程中에 團塊나 저니에 의해 상처를 입게 될지도 모른다.

저니-해수 界面(interface)의 미세한 化學的인 環境(chemical environment)이 파괴됨에 따라 저니 위의 해수와는 정량 및 정성적으로 상이한 이온들(ionic species)이 존재하는 간극수가 海底面 바로 위의 수층과 섞여서 광범위하게 分散될 것으로 예측된다. 鑛業 裝置가 통과함으로써 직접적인 影響을 받지 않는 周邊地域도 採集기에 의해 부유되었다가 재침전하는 저니가 底棲 群集의 개체들이 급속히 덮어버릴 가능성이 있기 때문에 底棲生物

들이 저니 표면으로 파고 나올 수 없게 되어 影響을 받을지도 모른다.

團塊를 海底面으로부터 제거하는 것은 그 자체가 團塊 鑛業에 따른 명백한 影響중의 하나라고 할 수 있다. 團塊를 딱딱한 기질(substrate)로서 부착에 이용하는 表棲 底棲生物 群集(benthic epifauna community)은 採掘後 團塊가 다량 제거된 地域에서 棲息環境 變化로 심각한 타격을 받을 것으로 예상되고 있다(Foell et al., 1990; Thiel, 1978; Thiel, 1992a). 이 群集에 새로히 가입되는 유생들은 定着(settlement)에 필요한 딱딱한 퇴적층을 발견하지 못하게 된다. 대부분의 團塊가 대단히 느린 속도로 성장을 하기 때문에 적당한 크기와 적당한 수효의 團塊가 다시 생성되기까지는 수백만년이 걸릴 것이다. 따라서 광대한 地域의 海底面으로부터 團塊를 제거하는 것은 사실상 이 地域의 底棲生物 群集을 크게 變化시키게 될 것이다.

또한 南太平洋의 페루와 Bauer Basin 地域 등에서와 같이 성장속도가 빠른 團塊의 내부와 저니 매트릭스(sediment matrix)에 棲息하는 특수한 내서生物(infauna)도 큰 影響을 받게 될 것으로 예상되고 있다(Thiel and Schriever, 1989; Thiel, 1991b). 그러나 海底面 鑛業에 의해 적어도 대형 底棲生物(macrobenthos)과 초대형 底棲生物(megabenthos)이 멸종되리라고는 예상되지는 않는다. 어떤 종의 부분적인 소멸이 예상되기는 하지만 대부분의 深海 大型 및 深海 超大型 底棲生物은 넓은 범위에 걸쳐 분포하므로 大洋 鑛業에 의해 완전히 멸종되지는 않을 것이다(Aurand and Mamontov, 1982; Foell et al., 1989 and 1991).

鑛業 許可地域에서 採掘이 행해지는 위치나 범위, 지형 역시 직접 또는 간접적으로 海底面이 攪亂되는 범위를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 團塊의 부존량과 團塊가 저니 표면을 덮고있는 비율로 볼 때 團塊는 균일하게 분포되어 있지 않다. 鑛業 許可地域은 기운 이불과 같이 團塊가 없거나 양이 매우 적어서 商業的 探查 價値가 없는 地域에 商業的 價値가 있는 地域이 곳곳에 산재해 있는 것 처럼 생각할 수 있다(Usher et al., 1987). 또한 深海底 평원은 大洋 鑛業자가 볼 때 地形學的 環境이 일관적이지 아니다. 많은 양의 團塊

가 존재한다해도 급사면(excessive slopes), 옥석(boulder), 암석 노두(rock outcrops), 단애(escarpments)와 같은 商業的 鑛業에 물리적인 장애와 海底平原의 굴곡(sea floor relief)이 鑛業이 가능한 地域을 제한할 것이다. 그러므로 최종적인 鑛業地帶는 광범위한 鑛業 許可地域중의 비교적 작고 불규칙한 모양의 소구역(subarea)으로 구성될 것으로 보인다(Usher et al., 1987).

鑛業地帶의 최소 규모는 採集 시스템과 鑛業 플랫폼(mining platform)을 운용하기에 충분한 공간이 허용되면서 동시에 採掘效率를 극대화 하기 위하여 경제성이 있는 兩塊 鑛床 地域내에서 위의 설비들을 계속적으로 작동시킬 수 있는 규모로 결정된다. 프랑스 공학자들은 1000 km² 地域안에서 각각 40 km² 규모의 地域을 매년 평균 여섯 곳을 採鑛하도록 고안하였다. 이는 鑛業 許可地域의 25 %가 直接的인 環境 影響을 받고 나머지 75 %의 상당 부분이 海流와 저니 再沈澱 過程(sediment redeposition process)에 의해 間接的인 影響을 받을 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 이러한 수치는 鑛業 許可地域의 평균 단괴 부존량, 등급과 단괴가 놓여있는 상태, 지형적 특성 등에 따라 크게 달라질 수 있다.

鑛業에 부적당하다고 판단된 地域은 주위의 鑛業이 가능한 넓은 地域에서 발견되는 유사한 群集이 棲息할 수 있는 再定着(recolonization)의 근거지로 제공될 것이다. 그뿐만 아니라 鑛業이 부적당한 地域은 群集(communities)과 種들(species)을 보존하는 역할을 할 것이다. 연성 저질에 棲息하는 深海種(soft-bottom deep-sea species)은 일반적으로 넓은 地域에 분포하고 있으므로 鑛業활동에 의해 멸종되리라고는 생각되지 않는다(Thiel, 1991a).

이러한 생각은 鑛業 許可地域안의 넓은 地域이 비교적 影響을 받지 않으리라고 여길지 모르나 環境 影響이 鑛業 許可地域 안에만 국한되지 않는다는 것을 기억하는 것이 매우 중요하다. 鑛業 許可地域에서 저니가 재침전되는 것을 방해하는 해류가 부유저니를 鑛業 許可地域에서 벗어난 地域에 최종적으로 재침전하게 할 수도 있기 때문이다. 그러므로 採鑛에 의해 간접적인 影響을 받는 海底 平原을 예측하기는 매우 어렵다(Thiel, 1991a).

2. 深海底棲生態系攪亂의 影響豫測

수심 3,000 m에서 6,000 m 사이의 海底面으로 정의되는 深海大洋底(abysal ocean floor)는 지구상에서 가장 넓은 표면을 차지하고 있다. 이곳은 인간의 관점에서 볼 때 높은 압력과 낮은 온도 그리고 몇몇 유기체의 화학합성(chemosynthesis)에 의한 빛을 제외하고는 빛이 없는 매우 황량한 곳이다(Ernst and Morin, 1982; Gage and Tyler, 1991). 그러나 이러한 環境에서도 生物들은 놀리울 정도의 種의 다양성을 보이며, 人間이 접근하기 매우 어렵기 때문에 거의 본래대로 수천년 동안 생존해 왔다.

海底鑛業이 시작된다면 이러한 深海에서 棲息하고 있는 底棲生物群(benthic fauna)에 미치는 직접 간접적인 影響을 완전히 피할 수는 없을 것으로 예측되고 있다. 채집기와의 접촉이나, 堆積物攪亂과 먹이망(food web)의 붕괴로 인하여 많은 수의 底棲生物이 치사할 것으로 예상하고 있다. 비록 實驗이나 모니터링에 의해 완전히 증명되지는 않았지만 아마 치사율이 95% 이상일 것이라는 예상이 가능하다. 일부의 底棲生物들은 죽음을 피할 수 있을 지도 모르지만, 먹이 공급이나 기타 棲息에 필요한 環境條件들이 變化한다면 棲息地를 옮겨야만 할 것이다.

海底面中에서 直接的인 影響을 받는 地域의 面積을 개념적으로 알아보기 위하여 深海底鑛業技術의 文獻에 언급된 資料를 근거로 하여 계산을 해볼 수 있다. 商業的 회수가 적합한 地域을 平均 團塊 賦存量이 濕重量 10 kg/m^2 (=건중량 7 kg/m^2) 이상인 地域이라 가정하고, 鑛業作業當年生産량을 濕重量 2.15×10^6 톤(=건중량 1.5×10^6 톤)이라 하면, 鑛業作業當日生産량은 乾重量으로 약 5,000톤 정도가 된다. 만약, 전체적인 團塊 회수효율을 70%로 본다면, 10곳에서 동시에 鑛業作業을 하고, 일년에 300일 作業을 한다면, 한 곳의 鑛業作業에 의해 직접적으로 影響을 받는 海底面의 넓이는 $1.02 \text{ km}^2/\text{일}$ ($306 \text{ km}^2/\text{년}$)으로 계산되며, 20년동안 採鑛作業을 할 경우 $6,102 \text{ km}^2/20\text{년}$ 정도가 影響을 받게 될 것이다. 10곳에서 20년 동안의 鑛

業作業에 의해 직접적으로 影響을 받는 전체 海底面은 61,200 km² 정도가 되며, 이 면적은 남북한 전체 육지 면적의 28%에 해당한다.

이와 같은 계산에서 알 수 있는 바와 같이 직접적인 影響을 받는 地域이 상당히 넓은 地域임을 알 수 있다. 물론 실제적으로는 影響을 받은 地域들이 인접해 있기 보다는 좁은 地域들이 기운 이불처럼 심연(abyss)에 걸쳐 퍼져 있을 것이므로 그러한 국지적인 피해는 人類의 鑛物資源 需要의 必要性에 비추어 허용할 만할 것일 지도 모른다. 또한 망간鑛床의 존재(occurrence), 부존량, 부존범위와 질(quality), 그리고 鑛業에 대한 物理的인 妨害物(physical impediments) 등으로 인하여 여러 鑛業 許可 地域內的 넓은 海底面이 직접적인 攪亂을 받지 않을 수도 있으며, 이 地域들이 生物學的 多樣性(biological diversity)을 가진 保存地域(reservoir) 역할을 하거나, 鑛業이 행해진 地域에 다시 生物들이 再定着(recolonization)을 할 수도 있다(Thiel, 1992a).

이러한 再定着 過程의 特性, 順序(sequence), 時間(timing) 등은 아직 알려지지 않지만 DISCOL 프로젝트에서 현재 연구중에 있다(Thiel and Schriever, 1990). 그러나 딱딱한 기질(substrate)인 망간團塊를 제거하게 되면 새롭게 구성되는 群集이 전에 존재하였던 정착성(sessile) 동물의 수효와 다양성(diversity)에 미치지 못할 것은 확실하다(Foell et al., 1989, 1990). 또한, 深海底 鑛業과 관련하여 우리가 거의 모르고 있으며, 또 잠재적으로 가장 위험한 影響으로 간주되고 있는 것은 海底面과 수계내에서의 간접적인 影響이다. 海底面 위의 海水는 정체된 環境이 아니고 계속적으로 動的인(dynamic) 운동을 한다. 採集기에 의해 부유된 저니는 부유가 일어났던 地域으로부터 다양한 거리에 떨어져서 결국에는 海底面에 다시 정착을 할 것이다. 鑛業 플랫폼에서 放出된 물질들 역시 수천 미터의 海水를 통과한 후 海底面에 다시 떨어질 것이다. 입자들은 입자의 크기, 모양, 밀도 등 여러가지 요인에 의해서로 다른 속도로 떨어질 것이므로 여러 깊이에서 속도와 방향이 다른 海流와 만날 것이다. 따라서 粒子의 크기에 따른 分별(particle size winnowing) 양상과 再沈澱의 양상을 예측할 수 있는 적절한 모델을 만드는 것은 무척 어

려운 일이다. 부유되고 放出되는 물질의 양 역시 다양할 것인데, 여러 鑛業 시스템의 디자인에 따라 상당한 차이가 있을 것으로 보인다. 개개의 鑛業이 가능한 地域은 연속적이 아니기 때문에 底層 부근의 플룸에 의해 影響을 받는 地域이나 放出된 플룸의 재침전이 일어나는 海底面은 직접 鑛業이 수행되는 地域보다 상당히 넓으리라는 것을 예측할 수 있다. 이 물질들이 海底面에 재침전됨으로 해서 이 물질들에 의해 덮이는(covered) 표면은 직접적인 影響을 받는 地域보다 수십 내지 수백 배 이상 넓을 것이다.

底棲 動物群의 死亡率(mortality)과 재침전되는 저니의 두께와의 相關關係 역시 알려지지 않았으나, 최근 여러 研究에서 시험중에 있다(Thiel and Schriever, 1990; Wilson, 1990). 再沈澱이 底棲生物(benthos)에 미치는 影響을 더욱 복잡하게 하는 것은 底棲 生物이 한번 묻히는 것에 반응을 보일 수도 있으며, 時間이 경과한 후나 혹은 여러번 묻히고 난 후에야 반응을 보일 수 있기 때문이다. 어떠한 경우이든 현재 그 결과를 예측할 수는 없는 상태이지만 재침전은 底棲生物들에게 나쁜 影響을 끼칠 것이 분명하다.

3. 底泥 再沈澱의 影響 豫測

團塊 採掘時 이를 海底에서 분리하는 方法과 放出 方法에 따라 海底面에는 모양이나 크기가 상이한 플룸(plumes)이 생성될 수 있다. 동일한 採鑛 시스템을 사용한다고 해도 海底面의 物理的 特性과 鑛業 地域의 特徵에 따라 매우 다른 環境 影響을 줄 수도 있다. 망간 團塊 鑛業에 따른 대규모의 物質 移動을 수치로 나타낸다는 것은 매우 어려운 일이지만 기업체들에 의해 보고된 수치를 이용하여 예를 든다면 海底面 附近에서 발생이 가능한 影響의 크기를 예측하는데 도움을 줄 수도 있다. 매년 乾重量 1500 만 톤의 團塊를 採鑛하기 위해서는 하루에 5,000톤 정도의 團塊를 採鑛해야 한다. 이러한 가정하에서는 하루에 1 km² 地域을 2.5 cm 깊이로 망간과 저니를 海底面으로부터 제거하

게 된다. 이러한 採掘行爲는 하루에 25,000 m³의 물질을 제거하는 셈이 된다. 이 수치는 저니 윗면에 다양하게 나와있는 團塊의 부피를 무시한 값이다. 만일 제거된 物質中の 20 %가 團塊이고 파이프를 통해 위로 올려지기 이전에 團塊로 부터 저니를 완전히 씻어낼 수 있다고 가정한다면, 20,000 m³의 저니가 海底面 근처에서 플룸으로 부유(suspend)하게 된다. 이 플룸은 海底류의 속도와 방향에 따라 水平方向으로 漂流하게 되고 저니 입자의 크기, 응결(flocculation) 특성, 침강 속도 등에 따라 採鑛 시스템으로부터 다양한 거리에 재침전을 하게 된다. 이러한 물량은 길이가 20 km인 화물열차가 계속적으로 매년 300일 정도 이동하는 양에 해당한다.

이와같은 계산은 團塊 鑛業으로 말미암아 막대한 양의 물질이 운반된다는 것을 보여준다. 더구나 이러한 계산치는 실제의 採鑛 過程에서 단지 상부 2.5 cm의 저니층만 攪亂된다는 假定과 一般的인 年生産 要求量 推定值(estimated annual production requirements)에 근거를 둔 신중한 값이다. 실질적인 생산 목표가 궁극적으로는 매년 습중량으로 300만톤 이상이 된다면, 이를 위해 採鑛기는 저니를 더 깊게 침투하게 될 것이다. 많은 양의 團塊를 보다 효과적으로 회수하기 위해서는 攪亂되는 저니층의 두께가 깊어져야 하기 때문이다. 열대 동남 太平洋의 페루 분지의 團塊는 때로는 지름이 10 - 15 cm나 되며, 이런 경우에는 일차적으로 주위의 저니로부터 團塊를 회수하기 위해서는 採鑛기가 저니를 더 깊게 침투해야 할 것이다 (Foell et al., 1990; Thiel and Schriever, 1990). 특히, 프로펠러가 달린 採鑛機를 사용하려 한다면 현실적으로는 10 - 15 cm 깊이까지 攪亂될 것이 예측되고 있다. 따라서 攪亂되는 저니의 부피는 결국 위의 추정치보다 4 - 6 배 정도 더 증가하게 될지도 모른다. 團塊는 저니 표면에서 30 - 40 cm 깊이의 층에서도 발견되고 있으므로, 최소한의 採鑛 要求량을 충족시키기 위해 表層의 團塊와 깊은 층의 團塊를 함께 採鑛해서 鑛業 地域을 좁힐 수 있을 지는 모르나 깊은 층의 團塊를 採鑛하기 위해서는 하루에 400,000 m³의 물질을 제거해야 한다(Cronan and Tooms, 1967) .

더구나 몇몇의 鑛業 作業이 동시에 수행된다고 가정할 경우 團塊 鑛業은 深海環境에 상당한 影響을 줄 수 있을 것으로 예측된다. 문헌에는 40 - 60 개의 深海底 鑛業이 수행될 것이라고 언급돼 있으나(Ozturgut et al., 1978), 아마 10개 이하의 鑛業作業이 동시에 수행될 것이라고 가정하는 것이 합리적 일 것이다. 경제적인 요인과 金屬市場의 상황에 따라 2 - 3개 정도의 鑛業 船舶만이 동시에 鑛業作業을 하게 될런지도 모른다. 여하간 현재로서는 深海 生態系에 대한 지식과 이해가 무척 부족하며, 鑛業 시스템의 전체적인 윤곽과 작동 특성, 그리고 최종적으로 어떤 기술을 사용할 것인지 등에 대한 계속적인 불확실성이 있기 때문에 동시에 여러 곳에서 作業을 하게 될 경우에 대한 影響의 전체적인 범위와 결과를 예측할 수가 없다. 사전에 工學的인 研究와 모델을 이용한 예측을 시도한다면 現場에서의 모니터링에 의한 實測 資料를 대신할 수는 없겠지만 최소한 예상되는 攪亂程度에 대한 어느 정도 근접한 한 계치를 마련할 수는 있을 것으로 보인다.

採鑛 시스템이 海底面을 통과하면서 團塊鑛床을 採鑛할 때 海底面에서 발생하는 플룸의 부피와 모양은 가장 중요한 관심사중의 하나이다. 플룸이 底棲 生態系에 미치는 影響의 程度와 持續性을 본격적인 商業的 鑛業이 시작되기 이전에 알아내는 것이 매우 중요하다. 深海底 鑛業에 의한 環境影響을 합리적으로 평가하기 위하여 필요한 자료를 획득하기 위해서는 試驗 鑛業 기간 동안과 그 이후에 적절한 시료 채취를 할 수 있는 충분한 기간에 걸친 직접적인 모니터링이 반드시 필요하다. 美國, 日本, 러시아의 주도로 이루어지고 있는 底棲 影響 實驗研究(Benthic Impact Experiment Project: BIE)와 기업에 의해 계획된 商業的 鑛業 以前의 豫備 鑛業(pilot mining operations, PMOs)을 통하여 海底 플룸 生成의 影響이 보다 자세히 밝혀질 것으로 예측된다 (Thiel, 1991b).

4. 表層 및 中層 水系에 放出되는 採掘 副産物의 影響 豫測

團塊 鑛業 作業은 채집기에 의한 海底面과 그 부근의 底層水에 미치는 影響뿐만 아니라 또다른 차원에서 海洋 環境에 影響을 주리라 예상되고 있다. 採掘시에는 불가피하게 副産物로서 다량의 저니가 포함된 슬러리가 발생하기 때문이다. 현재 예상되는 空氣浮揚(air-lift) 시스템이나 水壓(hydraulic) 시스템을 이용한 기술은 團塊, 저니 그리고 底層 海水를 파이프를 통해 鑛業 플랫폼 위로 운반하게 된다. 4000 m 이상의 높이를 파이프를 통해 빨아 올리는 동안 團塊는 서로간에 그리고 파이프의 내면과 상당한 접촉을 하게 된다. 그 결과 상당한 마모가 발생하며 團塊와 아직까지 團塊 表面에 붙어 있었거나 團塊 매트릭스에 포함됐던 저니로부터 매우 미세한 입자가 생성될 수 있다. 採集한 團塊中에 10 %에서 50 %에 가까운 團塊가 파이프를 통한 運搬過程에서 회수-불가능한 미세한 입자가 되어 손실될 수 있다는 예측이 가능하다. 이 손실이 크면 클수록 최소 생산 요구량을 유지하기 위하여 海底面으로부터 더 많은 團塊를 회수해야 하며 일정 기간동안에 더 넓은 海底面이 影響을 받게 될 것이다.

鑛業 플랫폼에서는 團塊를 저니나 미세한 입자 그리고 底層 海水로부터 분리하여 임시로 저장을 하거나 즉시 운송선에 옮길 수 있도록 團塊를 파쇄시켜 슬러리(slurry) 형태로 만들어 준비하게 된다. 이러한 過程에서 생성되는 부산물, 즉 底層 海水와 저니 그리고 團塊의 미세한 입자는 배출관을 통해 다시 버려지게 되며, 배출되는 水深에는 플룸을 형성하게 된다. Ozturgut(1981)는 5000 톤의 鑛業 作業에서 발생되는 HH 排出量을 추정한 결과, 25,000 m³의 底層水, 1,600 톤의 저니와 250 톤의 團塊 마모 물질이 배출될 것이라는 예측을 하였다. 이러한 Ozturgut에 의한 계산치는 최소 예측 생산량에 근거한 것이므로, 다양한 鑛業條件에서 발생되는 폐기물의 실제 부피는 이보다 훨씬 더 클 것으로 예측할 수 있다. 表層 근처에서의 플룸 분산 모델 研究에 의하면 길이가 85 km이고 폭이 10 - 20 km 정도인 플룸

이 예측되었다(Lavelle and Ozturgut, 1981). 전형적인 團塊 鑛業에 의해 表層 부근이나 中層에서 생성되는 플룸의 실제적인 구조, 구성 성분과 특성은 아직까지 알려지지 않았으나, 이는 예비 鑛業을 하면서 實驗과 모니터링을 해야만 정확히 밝혀지게 될 것이다.

團塊를 處理工場으로 운송하기 위해서는 鑛業 플랫폼에서 鑛石 運搬船이나 運送船에 團塊를 선적해야만 하는데 이 作業 역시 플룸 물질을 제공할 소지가 있다. 團塊는 파이프를 통해 슬러리의 형태로 플랫폼에서 운송선으로 운반될 것으로 예측된다. 이 作業이 끝나면 광석을 불필요한 운반 유체(transporting fluid), 부가적인 저니와 마모된 물질들로부터 다시 분리해야 할 필요가 있다. 어느 곳에서 최종적인 분리를 하더라도 이러한 부가적인 放出이 불가피하며 그에 따른 表層 부근의 플룸을 확대시키는 결과가 초래될 것이다. 슬러리 운반에 폐쇄된 루프(closed loop)를 사용하는 것을 고려해 볼 수도 있겠으나 동일한 유체가 반복 순환되면서 재사용되어야 하므로 단과가 쉽게 마모되는 경향이 증가함은 물론 새로운 저니가 계속해서 추가되므로 최소한 주기적으로 새로운 운반 유체를 필요로 하게 된다. 슬러리 운반을 위해 루프 시스템을 사용한다 할지라도 전체적으로 초과(excess) 생산되는 단과 마모 물질과 저니를 그리 크게 감소시키지는 않을 것으로 생각되고 있다.

鑛業 플랫폼으로부터 放出되는 플룸은 특히 鑛業地域 이외의 장소에 심각한 피해를 유발할 가능성이 있다. 이제까지는 주로 表層에서의 堆積物 放出을 試驗해 왔는데, 이 방법이 가장 간단하고 비용이 적게 드는 방법이기 때문이었으며, 예비조사기간 동안에 採掘된 海底 堆積物の 양이 제한되어 있었기 때문이었다. 만약 表層에서의 堆積物 放出을 가정한다면, 環境 側面에서는 여러가지 복잡한 問題들이 발생할 수 있다. 堆積物の 플룸이 表層 附近이나 右光層 부근에 형성되면 生態系 내의 먹이 피리미드에서 가장 기본이 되는 생산자인 식물 플랑크톤의 광합성을 방해할 수도 있다. 반대로 어떤 研究에서는 海水가 4000 m의 파이프를 따라 올라오면서 底棲生物의 유기 잔해(organic ramnant)를 포함한 각종 海底 堆積物이 表層에 유입됨으로써 영양염이 빈영

양 상태인 表層에 각종 영양성분을 공급하여 생산력을 증가시킬 수도 있다고 주장하고 있다(Amos et al. 1972a, 1972b). 미세한 堆積物이 동물 플랑크톤들이 섭식을 하는데 필수적인 여과작용에 影響을 미칠 수도 있으며, 어류의 아가미와 같은 호흡기에 影響을 미칠 가능성도 있다고 생각되고 있다(Boehmer et al., 1975; Hanson et al., 1982; Hirota, 1977, 1980, 1981; Matsumoto, 1984). 堆積物 공극수로부터 放出되는 毒性物質들이 플랑크톤을 치사케 하거나, 먹이사슬에 농축될 수도 있으며 이는 深海底 鑛物資源 개발 海域의 중요한 水産資源인 참치 등의 魚類에까지 농축될 위험도 있다. 탁도증가가 商業的으로 중요한 참치류의 행동에 미치는 影響이 研究된 바 있는데 (Barry, 1978), 먹이 섭식(feeding)이나 산란, 이동 등에 미치는 影響도 있을 것으로 예상하고 있다. 그러나 이제까지는 대규모의 鑛業이 실시되는 상황과 유사한 環境條件下에서 試料採取나 資料分析이 이루어지지 않았기 때문에 완전히 이러한 모든 影響에 대해서 부정되어 온 것이 사실이다.

深海底 鑛業으로 인한 각종 피해는 적절한 기술로서 최소화될 수 있다고 주장되어 왔다. 이를 위해서는 鑛業 플랫폼으로부터 表層에 廢棄物을 버리지 않고 地域的인 特性에 따라 1000m 나 그 이상의 수심에 폐기하는 방법을 사용하는 것을 고려할 수 있다. 光層이나 生物의 垂直移動層, 혹은 密度 傾斜(pycnocline) 以下の 水深에 堆積物을 폐기하는 方法은 表層에 放出하는 것보다 環境問題를 줄이는데 훨씬 좋은 방법이다. 生物의 수직이동에 미치는 影響을 최소화 하기 위하여 최근에는 수심 1500m에 堆積物을 폐기하는 방법이 고려되고 있다(Sixth International Deep-Sea Biology Symposium, Copenhagen, Denmark, 30 June - 5 July 1991). 採鑛裝置에 있어서도 堆積物의 攪亂을 최소화하도록 디자인 되어야 하며 파이프를 통해 團塊들이 表層으로 끌어 올려지기 전에 團塊에 묻은 堆積物들이 씻겨지도록 제작되어야 한다. 이렇게 씻겨진 堆積物들은 採鑛裝置 뒤에서 다시 海底表面으로 되돌아가도록 하여 海底 隣近에서의 부유물 플룸이 가능한한 최소로 발생하고 이동하지 않도록 해야 한다.

물론 이러한 제약점들은 鑛業 시스템의 設計나 運營에 있어서 追加費用 負擔이 되지만 이러한 추가부담은 아마도 全體 採鑛 費用에 비하면 비교적 적은 비율을 차지할 것이다. Flipse(1980)는 200m 이하에 堆積物을 폐기하기 위해서는 투자금액의 약 0.5%가 추가로 소요될 것이라고 추정했지만, 이러한 부담은 環境과피로 인한 광범위한 被害나 環境破壞 以後에 소요될 負擔에 비하면 무척 작은 투자라고 할 수 있다. 環境被害는 試驗 鑛業時에는 발생하지 않을 수도 있고 鑛業이 시작된 후 수년 후에야 可視化될 수도 있다. 비근한 예로 지구 온난화를 유발하는 탄산가스의 放出이나 프레온(CFCs)의 放出으로 인한 오존층의 파괴도 그 징후가 나타나기까지 많은 시간이 소요되지만 이러한 影響은 단기간의 모니터링으로는 밝혀내기가 무척 어렵다.

5. 採鑛 船舶에 의한 汚染의 豫測

鑛業 作業中の 여러 단계에서 일어날 可能性이 있는 一時的 汚染源 혹은 點汚染源(point source pollutants)으로부터의 海洋環境破壞도 관심의 대상이 된다. 예를 들면, 團塊를 表層으로 올리는데 쓰이는 파이프나 광석 운반선 사이의 슬러리 운송 시스템의 파이프가 부서지거나 샌다면 汚染物質이 大洋에 투입되게 될 것이다. 鑛業 플랫폼, 鑛石 運搬船과 鑛業 作業에 참여하는 기타 선박들에서 발생될 수 있는 유기물과 다른 폐기물도 問題가 될 수 있다. 특히 鑛業 플랫폼은 비교적 한정된 地理的 地域에 머무르면서 일년에 300 일 이상을 바다에 남아있도록 고안될 것이므로 이곳에서 발생하는 각종 폐기물로 인한 汚染問題가 발생할 수 있다. 鑛業 플랫폼이 이 기간 동안 바다에 머무르기 위해서는 연안 기지에서 연료와 다른 물품들을 운반하는 광석 운반선으로부터 때때로 연료를 재충전 받아야 한다. 따라서 이러한 海上 移送作業에 수반되는 流出事故의 위험 역시 적절한 鑛業 規則 條項(Mining Code article)에 의해 포함되어 있어야 한다. 여러 국가에서 이미 새로 건조

되는 선박에 대하여 요구하고 있는 衛生處理 施設, 有機 廢棄物 貯藏 탱크와 기타 廢棄物 處理施設(저장용기 포함) 등이 반드시 준비되어 있어야만 할 것이다. 광석 운반선을 통하여 해상에서 발생하는 모든 폐기물을 연안으로 운반한 후 최종적인 處理와 폐기하게 할 수도 있으며 海上處理를 위해 小型 廢棄物 處理 裝置를 건설하거나 수송되는 양을 줄이기 위해 대부분의 폐기물을 海上에서 處理할 수 있는 소각로를 건설하는 방법들 중에서 폐기물 處理 방법을 선택할 것으로 보인다. 이러한 내용들은 鑛業 規則(Mining Code)에 명시되었지만, 深海底 團塊 採掘을 시행하는 鑛業會社에서는 엄격한 기준을 세워 安全, 衛生 및 바다에서의 廢棄物 處理 要求事項을 회피하기 위하여 편의치적(flag of convenience)을 사용하지 못하도록 해야 한다.

6. 團塊處理를 위한 臨海 處理工場의 影響 豫測

근래에 계획된 모든 深海底 鑛業 프로그램은 臨海處理工場을 요구하고 있으므로, 이러한 工場에서 나오는 폐기물(tailings)은 陸上 環境 專門家들의 關心事이고 陸上 廢棄物 處理 規程의 적용을 받게 된다(Brown and Nemser, 1985). 만약 團塊 處理 工程에서 발생하는 폐기물을 다시 최종적으로 團塊 運送船이나 다른 폐기물 운송 선박을 이용하여 海洋에 투기하게 된다면 海洋 環境的 側面에서 重要性이 있을 수 있다. 런던 투기협약(London Dumping Convention)에 대양 투기 시행에 대해 나와있으나 조항 III, 1C는 '海底 鑛物 資源의 探查, 採鑛 그리고 이와 관련된 沿岸 處理에서 발생하는 廢棄物이나 다른 物質의 處理는 이 協約의 規程에 의해 규제받지 않을 것이다'라고 정하고 있다(London Dumping Convention, 1972). 그러므로 현재는 예상되지 않고 있지만 만일 商業的 鑛業 會社들이 해양 투기 처리 방법을 선택한다면 해양투기의 영향에 대한 연구와 심사숙고가 필요할 것으로 보인다.

第 3 節 深海底 鑛業의 環境影響의 低減 對策

본 研究에서는 深海底 團塊 採鑛에 따라 발생할 수 있는 여러가지 環境問題를 다각적으로 검토하고 그 影響을 예측하고자 하였다. 첫째, 採掘作業에 의한 海底에서의 直接的인 影響에 대하여 검토하였고, 둘째는 深海底 底棲 生態系에 미치는 影響, 셋째는 採掘作業시 발생하는 저니의 재침전에 의한 影響, 넷째는 採掘過程의 부산물을 放出함에 따른 表層 및 중층 수계에 미치는 影響, 다섯째는 採鑛선박으로부터의 汚染, 여섯째, 團塊處理 工場에 의한 影響에 대하여 세부적으로 논의하였다. 그러나 이러한 環境問題에는 너무나 많은 변수가 개재되어 있으며, 地域이나 採掘장비에 따라 상당한 차이가 있을 수 있다.

深海底 鑛業의 環境影響을 低減하기 위해서는 採掘 計劃過程의 가능한 한 초기 단계에서 다음과 같은 고려가 필요하다. 탁도가 높은 플룸의 형성을 줄이기 위한 방법으로서 特定地域 내에 플룸을 제한하기 위한 실트 커튼(silt curtains)을 사용할 수 있는데, 이 방법은 浚渫裝置의 기동성이 줄어들고, 해류가 1 노트 이하인 곳에서만 사용이 가능하다는 단점이 있다. 두번째는 파이프를 통해 다시 海底로 폐기물들을 되돌려 보내는 방법인데 선박이 천천히 운항하고 다량의 폐기물이 발생할 때 무척 유용하다. 세째는 Bucket ladder의 구조를 보다 개선하여 플룸이 적게 발생하게 하기 위한 연구가 진행중에 있다. 네째, 폐기하는 플룸중에 포함된 저니가 빨리 침전하도록 하는 방안이 모색되고 있는데, 폐기용액내에 포함되어 있는 기포 때문에 입자가 오랫동안 수층내에 부유하게 되기 때문이다. 최근 버려지는 폐기물내에서 기포를 제거하는 기술이 도입되어 시험되고 있다(Parker, 1987).

國際 深海底 機構의 규정에 의하여 採掘地域 附近에는 반드시 環境 保全 基準 地域을 설정하고 影響을 모니터링하도록 되어 있으므로 우리나라의 광구가 확보되면 基準地域을 설정하여 基礎調査를 실시하여야 한다. 美國의 경우

광구의 중앙에 保全 基準 地域을 설정하고 1989년부터 底棲 生物 群集調查를 통해 이곳의 深海生物群集이 다른 採掘 地域과 유사한지를 비교하려는 研究가 수행되고 있다.

앞으로 보다 많은 자료가 축적된다면 산란시기나 어린 개체들이 자라는 계절, 生物들의 移動時期 등 環境影響에 민감한 시기에는 採掘을 당분간 제한하는 조치가 취해질 수도 있다. 1일 혹은 1년내에 준설할 수 있는 상한량을 설정하는 조치가 취해진다면 底棲 群集의 보전에 상당한 효과가 있을 것으로 예측되고 있다. 채취선박의 숫자를 제한하거나 採掘 地域의 環境條件에 따라 적절한 採集 裝置가 사용되도록 하는 조치도 고려할 수 있다. 채굴선박으로부터의 오염행위를 막기 위해 감시체제나 벌금 부과등의 방법을 동원하는 방안도 고려되고 있다(Parker, 1987).

이러한 深海底 鑛業과 관련된 중요한 의사결정 조치들은 우선 採掘行爲에 의한 環境影響에 대한 자세한 情報이 있어야만 가능한 것이다. 현재까지 알려진 지식으로서는 影響의 蓋然性을 예측할 수 있을 뿐이며, 정확한 影響을 定量化하는데 큰 어려움이 있다. 底棲 影響 實驗研究(Benthic Impact Experiment Project: BIE)와 같은 인위적인 試驗 攪亂후 발생하는 影響을 조사하는 프로그램을 통하여 보다 深海底 環境의 變化에 대한 具體的인 證據가 확보될 것으로 보인다.

Reference

- 김석현. 1992. 북태평양 퇴적물중 회토류 원소의 분포. 한양대학교 석사학위 논문.
- 민경택. 1992. 북동 태평양 KODOS-90 지역 점토광물의 분포 특성. 인하대학교 석사학위 논문.
- 정희수, 강정극, 정갑식, 신동혁. 1991. KODOS-89 지역 표층의 황색 퇴적물과 그 하부 갈색 퇴적물의 지구화학적 특성. 한국해양학회지 26:193-203.
- Amos, A.F., C. Garside, K.C. Haines and O.A. Roels. 1972a. Effects of surface discharged deep-sea mining effluent. *J. Mar. Technol. Soc.* 4(4):40-45.
- Amos, A.F., C. Garside, K.C. Haines and O.A. Roels. 1972b. Effects of surface-discharged deep-sea mining effluent, p.271-281. In: D.R. Horn (ed.), *Ferromanganese deposits on the ocean floor*. Arden House Conf., L-DGO, Columbia Univ. and NSF/IDOE, 293pp.
- Barry, M. 1978. Behavioral response of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and kawakawa, *Euthynnus affinis*, to turbidity. Unpublished manuscript No. 31 prepared for NOAA/ERL/PMEL by NOAA/NMFS-SWFC, Honolulu, HI, 31pp.
- Banse, K. 1991. Iron availability, nitrate uptake, and exportable new production in the subarctic Pacific. *J. Geophys. Res.* 96: 741-748.
- Broecker, W.S. 1991. The great ocean conveyor. *Oceanography* 4: 79-89.
- Brown, F.C. and N.L. Nemser. 1985. Disposal of rejects from ferromanganese nodule processing, p.271-284. In: D.R. Kester et al. (eds.), *Wastes in the Ocean*. Vol. 5, Deep-sea waste disposal. Wiley-Interscience, New York, NY., 346pp.
- Carpenter, R., M.L. Peterson, J.T. Bennett and B.L.K. Somayajulu. 1984. Mixing and cycling of uranium, thorium and ^{210}Pb in Puget Sound sediments, *Geochim. Cosmochim. Acta* 48: 1949-1963.
- Chester, R. 1990. *Marine geochemistry*. Unwin Hyman.
- Cochran, J.K. 1985. Particle mixing rates in sediments of the eastern equatorial Pacific: Evidence from ^{210}Pb , $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{137}Cs distribution at MANOP sites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 49: 1195-1210.
- Cronan, D.S. and J.S. Tooms. 1967. Sub-surface concentrations of

- manganese nodules in Pacific sediments. *Deep-Sea Res.* 14: 117-119.
- Dayton, P.K. and R.R. Hessler. 1972. Role of biological disturbance in maintaining diversity in the deep sea. *Deep-Sea Res.* 19: 199-208.
- DeMaster, D.J. and J.K. Cochran. 1982. Particle mixing rates in deep-sea sediments determined from excess ^{210}Pb and ^{32}Si profiles. *Earth Plan. Sci. Lett.* 61: 257-271.
- Deuser, W.G. and E.H. Ross. 1980. Seasonal change in the flux of organic carbon to the deep Sargasso Sea. *Nature* 283: 364-365.
- Ducklow, H.W. 1989. Joint Global Ocean Study: The 1989 North Atlantic Bloom Experiment. *Oceanography* 2: 4-7.
- Dugdale, R.C. and J.J. Goering. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnol. Oceanogr.* 12: 196-206.
- Dymond, J. and R. Collier. 1988. Biogenic particle fluxes in the equatorial Pacific: evidence for both high and low productivity during the 1982-1983 El Nino. *Global Biogeochem. Cycles* 2: 129-137.
- Elderfield, H., C.J. Hawkesworth and M.J. Greaves. 1981. Rare earth element zonation in Pacific ferromanganese nodules. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45: 1231-1234.
- Elderfield, H. and E.R. Sholkovitz. 1987. Rare earth elements in the pore waters of reducing nearshore sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* 82: 280-288.
- Eppley, R.W. and B.J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* 282: 677-680.
- Filatova, Z.A. 1969. The quantitative distribution of the deep-sea bottom fauna. In: Kort, V.G. (ed.), *The Pacific Ocean, V. 7: Biology of the Pacific Ocean*, book 2: *The deep-sea bottom fauna*, p.7-263, Pleuston, p.264-353.
- Foell, E.J., H.F. Hennigar, Jr. and D.L. Pawson. 1989. Assessment of benthic megafauna on a ferromanganese nodule deposit using videotaped television survey data. *Proc. Offshore Technol. Conf.(OTC Paper 5996)* 2: 313-320.
- Foell, E.J., J.F. Hennigar, Jr. and D.L. Pawson. 1991. Assessment of

abyssal benthic megafauna on a ferromanganese nodule deposit and videotaped television survey data. *Transact. Soc. Mining Metall. Explor.* 288:1854-1858.

- Foell, E.J., H. Thiel and G. Schriever. 1990. DISCOL: a long-term, large-scale, disturbance-recolonization experiment in the abyssal eastern tropical South Pacific Ocean. *Proc. Offshore Technol. Conf. (OTC Paper 6328)* 2: 497-503.
- Fryxell, G.A., S. Taguchi and S.Z. El-Sayed. 1979. Vertical distribution of diverse phytoplankton communities in the central Pacific. In: Bischoff, J.L. and D.Z. Piper (eds.), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum Press, New York, p.203-239.
- Gage, J.D. and P.A. Tyler. 1991. *Deep-sea biology. A natural history of organisms at the deep-sea floor*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 490pp.
- Goldberg, E.D. and M. Koide. 1962. Geochronological studies of deep-sea sediments by the ionium/thorium method, *Geochim. Cosmochim. Acta* 26:417-439.
- Goldberg, E.D., M. Koide, R.A. Schmitt and R.H. Smith. 1963. Rare earth distributions in the marine environment. *J. Geophys. Res.* 68: 4209-4217.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt and K. Kremling. 1983. *Methods of Seawater Analysis*. Pergamon Press, Oxford, U.K.
- Haedrich, R.L. and G.T. Rowe. 1978. Megafaunal biomass in the deep sea. *Nature* 269: 141-142.
- Haedrich, R.L., G.T. Rowe and P.T. Polloni. 1980. The Megabenthic fauna in the deep sea South of New England, USA. *Mar. Biol.* 57: 165-179.
- Hanson, P.J., A.J. Chester and F.A. Cross. 1982. Potential assimilation by and effects on oceanic zooplankton of trace metals from manganese nodule fragments discharged from planned ocean mining operations. Draft final report to NOAA/OCRM/OME by NOAA/NMFS-SFC, Beaufort, NC, 79pp.
- Hecker, B. and A.Z. Paul. 1979. Abyssal community structure of the benthic infauna of the eastern equatorial Pacific: DOMES sites A, B and C. In: Bischoff, J.L. and D.Z. Piper (eds.), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum

- Press, New York, p. 287-308.
- Heye, D., V. Marchig and H. Meyer. 1979. The growth of buried manganese nodules. *Deep-Sea Res.* 26(7): 789-798.
- Hirota, J. 1977. DOMES zooplankton. Part I - Data report, and Part II - Text. Final Report, Univ. Hawaii, Honolulu, HI, 710pp.
- Hirota, J. 1980. Potential effects of deep-sea mining on macrozooplankton in the north equatorial Pacific. DOMES final report, Univ. Hawaii at Manoa, Honolulu, HI, 71pp.
- Hirota, J. 1981. Potential effects of deep-sea minerals mining on macrozooplankton in the north equatorial Pacific. *Mar. Min.* 3(1/2): 19-57.
- Honjo, S. 1982. Seasonality and interaction of biogenic and lithogenic particle flux at the Panama Basin. *Science* 218: 883-884.
- ISA. 1992. Draft Regulations on Prospecting, Exploration and Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area: Protection and Preservation of the Marine Environment from Activities in the Area.
- Isaacs, J.D. 1969. The nature of oceanic life. *Sci. Am.* 221: 146-162.
- Kokkinakis, S.A. and P.A. Wheeler. 1987. Nitrogen uptake and phytoplankton growth in coastal upwelling regions. *Limnol. Oceanogr.* 32: 1112-1123.
- KORDI. 1991. A study on the strategy for the development of deep seabed mineral resources (cruise report), BSPG00118-369-5.
- Lavelle, J.W. and E. Ozturgut. 1981. Dispersion of deep-sea mining particulates and their effect on light in ocean surface layers. *Mar. Mn* 33(1-2): 185-212
- Lightfoot, R.H., P. Tyler and J.D. Gage. 1979. Seasonal reproduction in deep-sea bivalves and brittle stars. *Deep-Sea Res.* 26A: 967-973.
- London Dumping Convention. 1972. Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter. London and Oslo.
- Longhurst, A.R. 1991. A reply to Broecker's charges. *Global Biogeochem. Cycles* 5: 315-316.

- Matsumoto, W.M. 1984. Potential impact of deep seabed mining on the larvae of tunas and billfishes. NOAA-TM-NMFS-SWFC-44, 53pp.
- NOAA. 1981. Deep Seabed Mining, Final Programmatic Environmental Impact Statement Vol. 1, 295pp.
- NOAA. 1991. Deep Seabed Mining, Report To Congress, 14pp.
- NOAA. 1992a. US Cruise Report for BIE I, July 17-August 23, 1991, R/V Yuzhmorgeologiya, 29pp.
- NOAA. 1992b. US Cruise Report for BIE II, April 10-May 29, 1992, R/V Yuzhmorgeologiya, 46pp.
- Nozaki, Y., J.K. Cochran, K.K. Turekian and G. Keller. 1977. Radiocarbon and Pb-210 distribution in submersible taken deep-sea cores from project FAMOUS. Earth Plan. Sci. Lett. 34:167-181.
- Nybakken, J.W. 1982. Marine Biology: an ecological approach. Harper and Row Publishers, New York, 446pp.
- Ozturgut, E. 1981. Suspended particulate measurement techniques and accuracy and precision of chemical analyses used in the DOMES project. Final Report to NOAA, Science Applications, Inc., Seattle, WA., 12pp.
- Ozturgut, E., G.C. Anderson, R.E. Burns, J.W. Lavelle and S.A. Swift. 1978. Deep ocean mining of manganese nodules in the North Pacific: pre-mining environmental conditions and anticipated mining effects. NOAA Tech. Memo. ERL MESA 33: 1-133.
- Parker, T. 1987. Survey of environmental Effects of marine mining 1987. Special Project for the Ocean Mining Division, Resource Strategy and Information, Mineral Policy Sector, Energy, Mines and Resources Canada, 56pp.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological method for seawater analysis, Pergamon Press, 173pp.
- Peng, T.H., W.S. Broecker, and W.H. Berger. 1979. Rates of benthic mixing in deep-sea sediments as determined by radioactive tracers. Quat. Res. 11:141-152.
- Piper, D.Z. 1974. Rare earth elements in ferromanganese nodules and other marine phases. Geochim. Cosmochim. Acta 38: 1007-1022.

- Revelle, R. 1990. Letter in forum section. *Issues Sci. Technol.* 7: 21-22.
- Rex, M.A. 1983. Geographical patterns of species diversity in the deep-sea benthos. In: Rowe, G.T. (ed.), *Deep Sea Biology* Vol. 8, p.453-472.
- Rex, M.A. and A. Waren. 1982. Planktotrophic development in deep-sea prosobranch snails from the western North Atlantic. *Deep-Sea Res.* 29: 171-184.
- Rex, M.A., C.A. Van Ummersen and R.D. Turner. 1979. Reproductive pattern in the abyssal snail *Benthonella tenella*(Jeffreys). In: Stancyk, S.E. (ed.), *Reproductive Ecology of Marine Invertebrates*. Univ. of South Carolina Press, Columbia, p.173-188.
- Rowe, G.T. 1971. Benthic biomass and surface productivity. In: Costlow, J.D. (ed.), *Fertility of the sea*. Gordon and Breach 2, p.441-454.
- Rowe, G.T. 1983. Biomass and production of the deep-sea macrobenthos. *The Sea*, Vol. 8, *Deep-Sea Biology*, p.97-121.
- Rowe, G.T. and R.J. Menzies. 1969. Zonation of large benthic invertebrates in the deep-sea off the Carolinas. *Deep-Sea Res.* 16: 531-537.
- Rowe, G.T., P.T. Polloni and S.G. Hornor. 1974. Benthic biomass estimates from the northwestern Atlantic Ocean and the northern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.* 21: 641-650.
- Sanders, H.L., R.R. Hessler and G.R. Hampson. 1965. An introduction to the study of deep-sea benthic faunal assemblages along the Gray Head-Bermuda transect. *Deep-Sea Res.* 12: 667.
- Sarmiento, J. 1991. Slowing the buildup of fossil CO₂ in the atmosphere by iron fertilization: a comment. *J. Geophys. Res.* 5: 1-2.
- Sclater, F.R., E. Boyle and J.M. Edmond. 1976. On the marine geochemistry of nickel. *Earth Planet. Sci. Lett.* 31: 119-128.
- Stackelberg, U. 1987. Pumice and buried nodules from the equatorial North Pacific Ocean. *Geol. Jb.* D87: 229-285.
- Sholkovitz, E.R., D.J. Piergras and S.B. Jacobsen. 1989. The pore water chemistry of rare earth elements in Buzzards Bay sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53: 2847-2856.
- Stockton, W.L. and T.E. DeLaca. 1982. Food falls in the deep sea.

- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bull. fish. Bd. Can. No. 167, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canada.
- Thiel, H. 1978. The faunal environment of manganese nodules and aspects of deep sea time scales, p.887-896. In: W.E. Krumbein (ed.), Environmental biochemistry and geomicrobiology. Vol. 3. Methods, metals and assessment. Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, MI.
- Thiel, H. 1991a. The requirement for additional research in the assessment of environmental disturbances associated with deep seabed mining. p. 133-144. In: J. Mauchline and T. Nemoto (eds.), Marine Biology: Its accomplishments and future prospect. Hokusen-sha, Japan, 261pp.
- Thiel, H. 1991b. Approaches to deep-sea ecology and the need for international collaboration: long-term and large-scale research projects(abstract). Program, Sixth Intl. Deep-sea Biol. Symp., Copenhagen, Denmark.
- Thiel, H., E. J. Foell and G. Schriever. 1992. Potential environmental effects of deep seabed mining. Universitat Hamburg, Institut fur Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft, Hamburg, 214pp.
- Thiel, H. and G. Schriever. 1989. Cruise Report DISCOL 1, Sonne Cruise 61. Ber. Zentrum Meeres- u. Klimaforsch. Univ. Hamburg 3: 1-75.
- Thomas, W.H. and A.N. Dodson. 1975. On silicic acid limitation of diatoms in near-surface waters of the eastern tropical Pacific Ocean. Deep-Sea Res. 22: 671-677.
- Toyoda, K., Y. Nakamura and A. Masuda. 1990. Rare earth elements of Pacific pelagic sediments. Geochim. Cosmochim. Acta 54: 1093-1103.
- Turner, R.D. 1973. Wood-boring bivalves, opportunistic species in the deep sea. Science 180: 1377-1379.
- UN. 1982. United Nations Convention on the Law of the Sea. Montego Bay, Jamaica.
- Usher, J.D., J.P. Latimer and D.C. Tolefson. 1987. Study of deep seabed mining selective minesite considerations for commercial recovery of manganese nodules from the ocean floor. Final Report prepared for NOAA/OME under contract number 50-DGNC-6-00079, 45pp. plus appendices.

- Volk, T. 1989. Effect of the equatorial Pacific upwelling on atmospheric CO₂ during the 1982-1983 El Nino. *Global Biogeochem. Cycles* 3: 267-279.
- Volk, T. and Z. Liu. 1988. Controls of CO₂ sources and sinks in the earth scale surface ocean: Temperature and nutrients. *Global Biogeochem. Cycles* 2: 78-89.
- Wiebe, P.H., C.C. Remsen and R.F. Vaccaro. 1974. *Halosphaera viridis* in the Mediterranean Sea: Size range, vertical distribution and potential energy source for deep-sea benthos. *Deep-Sea Res.* 21: 657-667.
- Wilson, G.D.F. 1990. RUM 3 - R/V New Horizon Cruise "Quagmire II": 23 April - 17 May, 1990. Post Cruise Report. SIO Ref. 90-25, 43pp.
- Yang, S.R. 1992. Factors controlling new production in the equatorial Pacific. Ph.D. Dissertation. Hancock Institute for Marine Studies and Dept. of Biological Sciences, Univ. of Southern California, 291pp.

Part IV

深海底 技術開發 動向 吳 關聯 法制度

分野 研究責任者：權 文 相

研 究 員：李 溶 熙

李 昌 偉

趙 原 徹

研 究 補 助：金 喜 卿

李 娟 貞

第 1 章

유엔海洋法協約上 技術移轉制度

第 1 節 序 言

1. 海洋技術

유엔해양法協約은 「海洋技術」에 대하여 정의를 내리지 않고 있다. 다만 제 266조제2항에서, "...이 협약과 양립하는 海洋環境 내에서의 해양과학조사 및 다른 활동에 관하여 이 분야의 기술지원을 필요로 하고"라고 하여 海洋技術의 범위만 한정하였는데, 이와 관련하여 제3차 유엔해양법회의의 1974년 카라카스회기에 제출된 해저평화이용위원회 사무국의 보고서 「海洋技術의 取得 및 移轉의 諸問題」(Problems of Acquisition and Transfer of Marine Technology)에 의하면 「海洋技術」은 「해양공간의 이용 및 해양자원의 조사 개발을 위해 필요한 지식 및 하드웨어의 총체」라고 되어 있다. 이에는 기술 정보, 설계, 노우하우, 공학, 하드웨어, 가공기술, 관리를 요소로 하고 조선, 어업, 연안개발, 해저광물탐사개발에 관한 설비 및 기술적 노우하우가 포함된다.

또한 1975년 유엔사무총장의 보고서 「海洋技術의 形態와 그 移轉 가능한 方法에 대한 記述」(Description of Some Types of Marine Technology and Possible Methods for Their Transfer)에 의하면 「海洋技術」은 「합리적으로 조직화된 동시스템의 수단에 의해 海洋環境을 통제하고 海洋環境에 적응하기 위해 인간이 시도한 산물」이라고 정의되고 그러한 시스템은 어업, 과학조사, 수송, 교통통신, 항행, 탄화수소 및 금속성광물의 개발 등의 광범위한 활동을 포함하는 것이라 하였다.

그리고 「기술」은 적어도 다음과 같은 같은 다섯가지 요소, 즉, 하드웨어, 작업절차, 유지절차, 조업 및 유지기술, 관리능력을 포함하여야 한다.

2. 技術移轉

유엔海洋法協約은 「技術移轉」이라는 말에 대해서도 정의하고 있지 않다. 학술논문 등에서도 그 정의가 내려지는 경우는 많지 않은데 가끔 인용되는 정의는 다음과 같다.

「技術移轉」은 「과학기술이 인간활동의 모든 범위에 걸쳐서 보급되는 과정」을 의미한다. 특정한 그룹이나 기관에 의해 개발된 체계적이며 합리적인 지식이 다른 기관 또는 그룹에 의해 구체화된 경우 技術移轉이 있게 된다.

이는 보다 기초적인 과학적 지식으로부터 기술로 전달되는 경우일 수도 있으며 기존 기술의 새로운 사용을 위한 응용일 수도 있다. 또한 技術移轉은 통상의 과학적 정보의 이전과 구별된다(水上千之, 海洋技術의 開發 및 移轉, 日本海洋協會, 1985, pp.83-84).

한편 UNCTAD의 「國際技術移轉 行動規範 草案」(Draft International Code of Conduct on the Transfer of Technology)은 「技術移轉」을 「제품의 제조 및 공정을 위하여 또는 역무의 제공을 위하여 체계적인 지식을 이전하는 것이며, 단순한 물건의 판매나 물건의 대차와 관련된 거래는 이에 포함되지 않는 것」이라고 하였다.

유엔海洋法協約에 있어서의 「技術移轉」도 위에서 언급한 정의를 참고한 것으로 생각되는데, 결국 技術移轉은 과학적 지식과 기술을 단순히 지식과 기술로서 이전하는 것이 아니라 인간생활에 보다 직접적으로 활용될 수 있도록 이전하는 것을 말한다고 해석된다.

UNCTAD는 이러한 技術移轉의 방법으로서 (1) 문서, 잡지 및 기타 출판물의 유통, (2) 국가간 인적자원의 이동(예컨대 이민, 유학), (3) 외국제품의 연구, (4) 학생, 기술요원의 훈련 및 외부전문가 고용, (5) 기술협력계획을 통한 정보 및 인적자원의 교환, (6) 기계, 설비 및 관련문헌의 수입, (7) 특허, 라이선스 및 기술지식에 관한 협정, (8) 직접적인 외국투자 및 다국적기업의 활동 등을 열거하고 있다(水上千之, 전계서, p.84).

第 2 節 유엔海洋法協約 規定

유엔海洋法協約 제14장은 4개의 節로 되어 있는데, 총칙, 국제협력, 해양과학센터, 國際組織간의 협력이 그 내용이다. 技術移轉에 관하여 제4장의 규정은 지금까지 유엔총회에서 채택된 相關 決議 또는 UNCTAD의 행동규범초안의 일정규정을 海洋技術의 開發 및 移轉에 관한 것에 한정시켜서 協約의 형태로 구성한 것이다.

그러나 동 규정은 일반적으로 프로그램적 규정이기 때문에 국가에 대한 개별적·구체적인 의무를 정한 것은 아니다. 단지 기본적으로 각국은 직접 또는 권한있는 국제기구를 통한 海洋技術의 開發 및 移轉·촉진을 위하여, 모든 합리적인 이익을 고려하여 자국의 능력에 상응하는 협력을 해야한다고 규정하였다.

국가가 자국의 기술을 이전하지 않은 경우에도 제14장의 규정을 적극적으로 위반한 것은 아니다. 또한 海洋法協約의 성실한 이행 및 권리남용의 금지에 관한 제300조의 규정도, 예컨대 海洋技術에 관한 公業소유권의 행사방법에 대하여 이를 원용할 경우에도 애매한 문제가 될 것이다.

한편 제14장에는 海洋技術의 開發 및 移轉의 촉진을 위한 國際組織의 역할도 강조되어 있다. 이하 각 조항을 분석해 보기로 한다.

1. 海洋技術 開發 및 移轉 關聯條項

가. 海洋技術의 開發 및 移轉의 促進(제266조)

- 1) 각국은 직접적으로 또는 권한있는 國際組織을 통하여, 그들의 능력에 따라 公平하고 合理的인 조건으로 海洋科學 및 海洋技術의 開發과 이전을 활발히 촉진하기 위하여 상호협력하여야 한다.
- 2) 각국은 開途國의 사회적, 경제적 발전을 촉진하기 위하여 본 협약과 양립하는 海洋資源의 탐사, 개발, 보존 및 관리, 海洋環境의 보호 및 보존, 海洋科學調查 및 다른 활동에 관하여 이 분야의 기술원조를 필요로 하고 요청한 국가, 특히 내륙국과 지리적 불리국을 포함한 開途國의 海洋科學技術能力의 발전을 촉진시켜야 한다.
- 3) 각국은 형평에 기초하여 모든 관계국의 이익을 위하여 海洋技術의 移轉을 위한 유리한 경제적, 법적 여건을 조성하도록 노력하여야 한다.

이 조항은 海洋技術의 開發 및 移轉의 촉진을 위해 모든 국가가 협력할 것을 규정한 것으로서, 특히 개도국으로의 技術移轉이 강조되고 있다. 이 조항은 과학기술의 발전에 따른 혜택을 받을 권리, 기술협력 및 技術移轉의 촉진, 개도국의 기술발전을 위한 선진국의 협력, 技術移轉을 위한 지침 또는 규칙의 작성등을 규정하고 있는 「국가의 경제적 권리·의무헌장」 제13조와 그 취지를 같이 하고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 이 규정은 프로그램적 규정으로서 국가에게 어떤 구체적인 의무를 부여하는 것이 아니고 다만 신해양법질서의 일환으로서 技術開發 및 移轉을 촉진하라는 정신을 강조한 것으로 해석된다.

제3항은 技術移轉을 위한 경제적·법적 여건의 개선을 촉구하고 있는데, 여기서 경제적 여건으로 고려되어야 할 것으로는 國際收支效果나 雇傭效果 등을

들 수 있고, 법적 여건으로서 고려되어야 할 것으로는 국내법제와의 조화나 技術移轉에 관한 제한조항의 유무 등을 들 수 있다(長米辰文, 技術移轉과 南北協力, p.225).

나. 適法한 利益의 保護(제267조)

각국은 제266조에 따른 협력을 촉진함에 있어서 특히 海洋技術의 保有者, 提供者 및 受惠者의 권리와 의무를 포함한 모든 적법한 이해를 적절히 고려하여야 한다.

이 조항은 科學技術의 開發 및 移轉에 있어서 기술의 소유자, 제공자 및 수혜자의 권리·의무에 대한 타당한 보호를 규정한 것인데 이 점에 대해 선진국들은 그들이 보유하고 있는 첨단기술에 대한 막대한 투자를 보호하기 위한 적절한 보장이 없이 단지 “각국은 기술소유자, 제공자 및 수혜자의 권리·의무를 포함한 모든 적법한 이해를 적절히 고려하여야 한다”는 정도로 그친 것에 대하여 불만을 표시하고 있으며, 그 결과 이 문제는 전체 협약에 대한 署名 내지는 批准을 꺼리는 중요한 요인이 되고 있다. 여기서 기술보유자나 제공자의 이익으로 고려되어야 할 것은 海洋技術에 대한 特許權, 상표권 및 노우하우 등에 대한 합리적 보호이다.

다. 基本目標(제268조)

각국은 직접적으로 또는 권한있는 國際組織을 통하여 다음의 사항등을 增進하여야 한다.

- 1) 海洋技術知識의 획득, 평가 및 보급과 이러한 정보 및 자료의 이용
- 2) 적절한 海洋技術의 開發
- 3) 海洋技術의 이전을 촉진하기 위한 필요한 기술적 기반의 開發
- 4) 개도국 국민, 특히 최저개도국 국민의 훈련 및 교육을 통한 인적 자원의 開發
- 5) 모든 수준, 특히 지역적, 소지역적 및 양자적 수준에서의 國際協力

이 조항은 海洋技術移轉의 기본적인 활동방향을 제시하고 있다. 위에서 열거된 5가지의 목표는 유엔의 산하기관에 의해 수행되어 온 기존의 技術移轉 활동의 기본방향인 교육·훈련, 정보전파, 기술개발 및 직접적 技術移轉의 지역적, 소지역적 및 양자적 수준에서의 국제협력이 덧붙여 강조된 것으로 해석된다(David Kay, *International Transfer of Marine Technology; The Transfer Process and International Organizations*, ODIL Vol.2, No.4, p.353).

권한있는 國際組織을 통한 技術移轉의 예로서는 지금까지 유엔食糧農業機構(FAO)가 개도국에 대하여 어업기술을 이전하는데 주력하여 왔고, 國際海事機構(IMO)는 선박의 안전, 오염의 방지, 선원의 훈련 등의 분야에서 技術移轉을 수행하고 있는 점을 들 수 있다. 또한 유네스코의 해양학위원회(IOC)도 해양 조사에 관한 제국가의 협력을 원조하고 있다(David Kay, *Ibid.* p.353).

라. 基本目標을 달성하기 위한 措置(제269조)

각국은 제268조에 규정된 목표를 달성하기 위하여 직접적으로 또는 권한 있는 國際組織을 통하여 특히 다음의 사항에 노력하여야 한다.

- 1) 이 분야에서 技術援助를 필요로 하고 요청하는 국가, 특히 내륙국과 지리적 불리국 뿐만 아니라 海洋科學 및 海洋資源의 探查와 利用에 있어서의 기술적 능력 또는 이러한 기술적 기반을 확립 또는 발전시킬 수 없는 開途國에게 모든 유형의 海洋技術의 효과적 이전을 위한 技術協力計劃의 樹立
- 2) 공정하고 합리적인 조건하에서 協定, 契約 및 기타유사한 約定의 締結을 위한 유리한 여건의 증진
- 3) 科學 및 技術, 특히 海洋技術移轉을 위한 정책과 방법을 주제로 한 회의, 세미나, 심포지움의 개최
- 4) 과학자 및 기술 전문가들의 교류 증진
- 5) 계획착수 및 합작과 기타 다른 형태의 양자적, 다자적 협력의 증진

이 조항은 海洋技術의 開發 및 移轉을 촉진하기 위한 구체적인 방법을 서술하고 있다. (1)항에서는 內陸國과 地理的 不利國 및 해양과학분야와 해양자원의 탐사·개발분야에 대한 기술능력이 없거나 그러한 기술의 하부구조를 개발할 수 없는 개도국에 대한 효과적인 技術移轉을 위하여 기술협력계획을 수립할 것을 규정하고 있고, (2)항에서는 技術移轉을 위한 유리한 여건조성을 언급하고 있다. (2)항과 관련하여 선진국들은 技術移轉時에 고려될 여건으로 단지 “公正하고 合理的인 條件”만 규정하고 있는 점에 대하여 불만을 표시하고 있으며 技術移轉의 협상시 “公正한 合理的인 商業的 條件”이 고려되어야 한다고 주장하였다. (3)항에서는 海洋技術移轉을 효과적으로 수행하기 위하여 국제회의나 세미나, 심포지움 등을 개최할 것으로 규정하고 있고, (4)항에

서는 과학자 및 기술전문가의 교류를 통한 기술원조를 (5)항에서는 技術移轉計劃을 착수하고 합작이나 양자 또는 다자협력의 형태로서 技術移轉을 촉진할 것을 규정하고 있다.

마. 國際協力の 方法 및 手段(제270조)

海洋技術의 개발과 이전을 위한 국제협력은 적절하고 가능한 경우 海洋科學調查, 특히 새로운 분야에서의 海洋技術移轉을 촉진하고 海洋研究와 개발을 위해 국제기금을 사용하기 위한 새롭고 확장된 계획을 통하여, 또한 기존의 양자적, 지역적 및 다자적 계획을 통하여 수행되어야 한다.

이 조항은 海洋技術의 開發 및 移轉을 위한 국제협력의 실시에 관한 규정으로서, 일정한 계획을 통해 협력이 시행되어야 한다는 점이 강조되고 있다.

海洋技術의 개발과 이전을 위한 기존의 국제협력은 유엔 산하의 기구들에 의하여 주도되어 왔는데 그 몇가지 예를 들면 해양오염과 관련하여 FAO, IAEA, IMO, UNESCO 등이 海洋汚染의 직·간접적 효과를 조사하기 위하여 세계적인 감시체제(Global Monitoring Systems)를 확립하는데 협력하였으며, 항해와 관련하여 IMO, ICAO, ITU가 해양에 人工衛星通信體制를 도입하기 위한 계획에 협력하였음을 들 수 있다. 이외에도 FAO는 유엔開發計劃(UNDP)의 실행기관으로서 어업에 관한 교육훈련사업을 추진하였으며, IMO 역시 UNDP의 실행기관으로서 각국의 해양 및 연안항해능력을 개발하는데 훈련 및 기술원조를 하여 왔다.

바. 指針, 基準 및 標準(제271조)

각국은 직접적으로 또는 권한있는 國際組織을 통하여 특히 開途國의 이익 및 필요를 고려하여, 양자적 기초 또는 국제조직체제 내에서 海洋技術移轉을 위한 일반적으로 수락된 指針, 基準 및 標準의 確立을 增進하여야 한다.

이 조항은 海洋技術의 이전을 위한 일반적 지침 및 기준의 작성에 관한 규정이다. 유엔무역개발회의(UNCTAD)에 의해 작성된 국제技術移轉行動規範草案은 일반적인 관점에서의 技術移轉 原則과 指針을 서술하고 있는데 이 초안은 아직 합의에 이르지 않고 있지만 그 내용은, 전문, 1) 정의 및 적용범위, 2) 목적 및 원칙, 3) 技術移轉 거래의 국내적 규칙, 4) 技術移轉을 포함하는 관행 및 계약에 관한 규제·제한적 상관행·정치적 차별 및 제한적 상관행의 배제, 5) 보장·책임 및 의무, 6) 개도국에 대한 특별취급, 7) 국제협력, 8) 국제기구, 9) 적용법 및 분쟁해결 등으로 되어있다(Draft International Code of Conduct on the Transfer of Technology. pp.773-823).

海洋技術의 移轉에 대한 指針 및 基準의 作成은 이에 대한 선진국과 개도국의 견해차이가 크기 때문에 곤란한 점이 많다고 생각된다.

사. 國際技術計劃의 調整(제272조)

각국은 海洋技術移轉分野에서 開途國, 특히 내륙국과 지리적 불리국의 이익 및 필요를 고려하여 권한있는 國際組織이 지역적 또는 세계적 계획을 포함한 그들의 활동을 조정하도록 보장하는데 노력하여야 한다.

이 조항은 FAO, IMO, UNESCO 등에 의해 수행되는 기술협력활동의 조정 필요성을 규정한 것이다. 특히, 이 기술계획의 조정방향이 개도국, 특히 내륙국과 지리적 불리국의 이익 및 필요를 고려하도록 한 점이 주목된다.

아. 國際組織 및 海底機構와의 協力(제273조)

각국은 심해저 활동에 관한 기능과 海洋技術의 開途國과 그 국민 및 海底企業에 대한 移轉을 장려, 촉진하기 위하여 권한있는 國際組織 및 海底機構와 적극적으로 협력하여야 한다.

협약 제11장 제144조는 협약당사국으로 하여금 海底機構와 상호협력하여 深海底企業 및 모든 당사국이 深海底活動으로 부터 이익을 얻도록 深海底活動에 관한 기술 및 과학적 지식의 이전을 증진하기 위해 노력하여야 한다고 규정하였다. 또한 그 방안으로서 深海底企業 및 개도국에 대한 深海底活動에 관한 기술의 이전계획을 수립하고 深海底企業의 기술 및 개도국의 국내기술을 향상시키는 조치를 취하도록 규정함으로써 본조보다 좀 더 직접적인 의미를 부여하고 있다. 해석상 본조의 취지는 제144조와 중복되는 것으로 생각된다.

자. 國際海底機構의 目標(제274조)

이 조항은 제11장 제144조의 실시에 관한 구체적인 조치를 규정한 것이다. 특히 海底機構의 技術移轉 활동으로서 개도국에 대한 특별조치를 규정하고 있다. (1)항에서는 海底機構로 하여금 그 사업수행시에 지리적 배분원칙에 입각하여 개도국 국민을 관리, 연구 및 기술부문에 참가시켜 훈련시키도록 하고 있고, (2)항에서는 深海底 활동에 관련된 장비, 기계, 장치 및 공정에 관한 정

보를 개도국을 포함한 모든 국가에게 제공하도록 하고 있다. (3)항에서는 海底機構로 하여금 海洋技術의 이전을 위한 규정을 마련하도록 하고 있으며 (4)항에서는 深海底 활동에 관한 기술원조를 요청하는 국가들이 장비, 공정, 공장 설비 및 기타 기술지식을 획득함에 있어 제3부속서 제13조에 규정되어 있는 재정조건 등의 협약상 재정제도를 통하여 원조받을 수 있도록 海底機構가 보장할 것을 규정하고 있다.

海底機構는 특히 기술의 보유자, 공급자 및 수혜자의 권리와 의무를 포함한 모든 정당한 이해를 고려하여 심해저 활동에 관하여 다음을 보장하여야 한다.

- 1) 형평한 지리적 배분의 원칙을 기초로 연안국, 내륙국 또는 지리적 불리국에 관계없이 開途國 국민은 훈련목적상 海底機構의 활동을 위하여 구성되는 관리, 연구 및 기술직원의 일원으로 채용되어야 한다.
- 2) 관련장비, 기계, 장치 및 공정에 관한 기술서류는 이 분야에서 기술원조를 필요로 하고 요청하는 모든 국가, 특히 開途國에게 이용되어야 한다.
- 3) 海底機構는 海洋技術을 필요로 하고 요청하는 국가, 특히 開途國에 의한 海洋技術分野에서의 技術援助 획득을 촉진하고 그들 국민이 전문적 훈련을 포함한 필요한 機能과 技術知識을 획득할 수 있도록 적당한 규정을 마련하여야 한다.
- 4) 이 분야에서 技術援助를 필요로 하고 요청하는 국가, 특히 開途國은 본 협약에 규정된 財政制度를 통하여 필요한 장비, 공정, 공장설비 및 기타 기술지식의 획득에 있어서 원조를 받는다.

技術移轉에 관한 海底機構의 역할에 대해서는 해양법회의의 진행상 선진국과 개도국이 그 입장을 달리하였었다. 개도국들은 海底機構로 하여금 深海底 활동에 관한 것 뿐만 아니라 다른 활동도 할 수 있는 권한을 부여하려고 하였

다. 예컨대, 해양자원의 탐사와 개발에 필요한 장비 등을 획득하려는 개도국을 지원할 특별기금 설치와 지역 해양과학기술센터의 설립등을 海底機構의 임무로 하는 등 海底機構의 활동영역과 권한을 최대한 확대하려고 노력하였다.

반면에 선진국들은 海底機構의 권한을 가능한 한 축소시키고, 技術移轉에 있어 海底機構의 역할에 관한 논의를 제1위원회에 국한시키려고 하였다(U.N. DOC.A/CONF. 62/C. 3/L. 22, pp.103-104). 이와 같은 양측의 주장은 해양법회의를 통하여 많은 토의과정을 거쳤다. 결국, 海底機構와 협력하여 기술을 이전하여야 된다는 개도국의 주장은 권한있는 國際組織을 통하여 技術移轉을 촉진하도록 협력하여야 한다고 수정되어 규정되었으며, 국가 및 지역해양과학센터의 설립도 권한있는 國際組織과 海底機構를 통하여 설립하도록 규정되었다(협약 제275조, 제276조). 또한 기술원조를 위한 특별기금의 창설도 협약에 규정된 재정제도를 통하여 원조하도록 수정되어 규정되었다.(본조 4항).

자. 國家센터의 設立(제275조)

1. 각국은 직접적으로 또는 권한있는 國際組織 및 海底機構를 통하여 開發途上沿岸國의 海洋科學研究 수행을 자극 및 촉진시키고, 그들의 經濟的 利益을 위한 海洋資源의 이용 및 보전에 관한 국가적 능력을 제고하기 위하여, 특히 開發途上沿岸國내에서 國家海洋科學技術研究센터의 설립 및 기존 國家센터의 강화를 증진하여야 한다.
2. 각국은 권한있는 國際組織 및 海底機構를 통하여 援助를 필요로 하거나 요청하는 國家에게 技術專門家, 進歩된 訓練施設 및 필요한 裝備, 機能과 技術知識을 제공하기 위하여 國家센터의 설립 및 강화를 촉진하기 위한 適切한 支援을 하여야 한다.

본조는 제1항에서 모든 국가로 하여금 직접 또는 권한있는 國際組織 및 海

底機構를 통하여 개도국 중 연안국인 국가들의 해양과학연구 수행을 촉진시키며 그들의 해양자원의 이용 및 보전에 관한 능력을 증진시키기 위하여 그러한 국가내에 해양과학기술연구센터를 설립하거나 기존의 센터를 강화하도록 하고 있으며, 제2항에서는 모든 국가에게 단지 권한있는 國際組織과 海底機構를 통해서 기술전문가 뿐만 아니라 진보된 훈련시설 및 필요한 장비, 기능과 기술 지식을 원하는 국가에게 그러한 것들을 제공하기 위하여 그들 국가내에 제1항에서 서술된 성격의 國家海洋科學센터를 설립하거나 기존의 것을 강화하도록 규정하고 있다.

UNCTAD에 있어서도 모든 개도국에 기술개발·이전센터의 설치가 주장되고 있다. 비록 이러한 센터가 海洋法協約上 예정하고 있는 것과는 약간 다른 성질을 가진 것이지만 그 주요 활동방향으로서 1) 기술에 관한 필요성의 확인, 2) 기술대체재에 관한 정보입수, 3) 적당한 기술의 평가와 선택, 4) 일괄이전된 기술의 분석과 비용 및 조건의 평가, 5) 수입기술의 조건교섭, 6) 수입기술의 개량과 자체기술의 개발, 7) 새롭게 취득한 기술의 보급 등을 설정하고 있다(A.F. Ewing, UNCTAD and the Transfer of Technology, Journal of World Trade Law, Vol. 10, 1976, p.208).

차. 地域센터의 設立(제276조)

1. 각국은 권한있는 國際組織 및 海底機構와 國家海洋科學技術研究所와의 조정하에 開途國의 海洋科學研究 수행을 자극 및 촉진시키고, 海洋技術移轉을 촉진하기 위하여 특히 開途國내에서 지역적 海洋科學技術研究센터의 설립을 증진하여야 한다.
2. 地域內 모든 國家는 그들 목표의 보다 효과적인 달성을 보장하기 위하여 地域센터와 협력하여야 한다.

이 조항에서는 개도국의 해양과학연구를 자극·촉진시키고 海洋技術移轉을

촉진하기 위하여 개도국내에 지역적 해양과학기술연구센터를 설립하고, 그 지역내의 국가들로 하여금 당해지역의 해양과학기술센터에 협력하도록 규정하고 있다.

이와 같은 지역적 해양과학기술연구센터의 활동을 조정하는 역할은 UNESCO 정부간 海洋科學委員會(IOC)가 그 기능을 할 수 있다고 생각된다.

IOC는 현재, 국제적인 자료체제를 추진하고 있는바, 國際海洋資料交換準備委員會가 해양자료의 교환촉진, 자료교환용 형식의 표준화, 자료목록 작성, 국가 자료센터의 활동원조 등을 하고 있다(岩淵義郎, 「海洋情報の國際交換」, 트랜스포트, 1983.12, pp. 26-29).

카. 地域센터의 機能(제277조)

이러한 地域센터의 機能은 특히 다음을 포함하여야 한다.

- 1) 海洋科學技術研究 특히 생물자원의 보존, 관리를 포함한 해양생물학, 해양학, 수로학, 기계공학, 해저의 지리적 탐사, 채광 및 탈염기술의 여러 관점에서의 모든 수준의 훈련 및 교육계획
- 2) 경영연구,
- 3) 海洋環境의 보호 및 보존과 오염의 방지, 경감 및 규제와 관련된 연구계획
- 4) 地域會議, 세미나 및 심포지움의 조직
- 5) 海洋科學, 技術資料 및 情報의 획득과 분석
- 6) 쉽게 이용가능한 출판물내에 海洋科學技術調查의 신속한 보급
- 7) 海洋技術移轉에 관한 국가정책의 공표 및 동 정책의 비교연구
- 8) 기술판매, 계약 및 특허에 관한 다른 약정에 대한 정보의 수집과 체계화
- 9) 지역내 타국과의 기술협력

이 조항은 지역적 해양과학기술센터의 기능에 관하여 상당히 세분하여 규정

하고 있는데, 이렇듯 해양技術移轉에 관하여 지역센터의 기능이 강조되는 것은 새로운 국제경제질서의 하나로 세계적인 국제기구의 행위를 지역단위로 분산시키려는 지역주의(Regionalism) 경향에 비추어 볼 때 자연스러운 현상이라고 해석된다(Boleslaw A. Boczek, The Transfer of Technology to Developing Nations in International Law, LSI, 1982. p.31.).

그러나 지역센터가 지역자원을 결합하고 모든 지역에 유익한 조사계획을 제시할 수 있으며, 여러 지역 출신 과학자들로 하여금 정보를 교환하고 새로운 기술을 접할 수 있는 기회를 제공한다는 점에서 유익한 점이 있으나, 비용과 이익의 분배 및 지역센터 설치위치에 대하여 개도국들간에 논쟁이 생길 여지가 있다.

타. 國際組織간의 協力(제278조)

이 장 및 제13장에 규정된 권한있는 國際組織들은 이 장에 따른 기능과 책임의 효과적 수행을 직접적으로 또는 그들간의 긴밀한 협력으로서 확보하기 위한 적절한 조치를 취하여야 한다.

이 조항은 海洋技術 移轉을 효과적으로 수행하기 위하여 협약 제13장(해양 과학조사)과 제14장(海洋技術의 開發과 移轉)에 규정된 권한있는 國際組織들이 직접 또는 상호협력을 통하여 적절한 조치를 취할 것을 규정하고 있는데, 현재 유엔 산하기관으로서 海洋技術에 관여하고 있는 國際組織은 IMO(국제해사기구), FAO (식량농업기구), IOC(정부간해양과학위원회), WMO(세계기상기구), IAEA(국제원자력기구), WHO(세계보건기구) 등이 있다.

第 2 章

深海底鑛業者의 技術移轉 義務

第 1 節 一般鑛業者의 義務

1. 제11장 제144조(技術移轉)

1. 海底機構는 이 협약에 따라 다음 각 호의 조치를 취하여야 한다.
 - 가. 深海底活動과 관련된 技術 및 科學的 知識의 획득
 - 나. 모든 당사국이 이익을 위한 開途國에 대한 그 技術 및 科學的 知識 移轉의 증진 및 장려
2. 전항의 목적을 위하여 海底機構와 당사국은 深海底企業과 모든 당사국이 이익을 얻게 하기 위하여 深海底活動과 관련된 技術 및 科學的 知識의 移轉을 증진하는데 상호 협력하여야 한다. 특히 다음 각호의 사항을 발안하고 촉진하여야 한다.
 - 가. 특히 공평하고 합리적인 조건하에서 深海底企業 및 開途國의 관련 기술의 획득을 촉진하는 것을 비롯한 深海底活動에 관한 技術의 移轉計劃
 - 나. 특히 開途國의 인원에 대한 海洋科學과 技術에 관한 訓練 및 深海底活動에 전면적으로 참여하는 기회를 제공함으로써 深海底企業의 技術 및 開途國의 國內技術의 향상을 위한 조치

2. 第3附屬書 第5條(技術移轉)

1. 모든 신청자는 사업계획의 제출시 深海底活動의 수행에 사용될 장비와 방법에 관한 일반적 설명 및 그 技術의 특성에 대한 비재산권적 관련정보와 그 技術을 획득할 수 있는 장소에 관한 정보를 海底機構가 이용할 수 있도록 하여야 한다.
2. 모든 操業者는 본질적인 기술상의 변화 또는 혁신이 도입될 때마다, 제1항에 따라 제공된 설명 및 정보의 수정을 海底機構에 알려야 한다.
3. 深海底活動을 수행하기 위한 모든 계약은 계약자에 의한 다음 약속을 포함하여야 한다.
 - 가. 海底機構가 요청하는 경우에는 언제나 締約者가 계약에 따라 深海底活動을 수행함에 있어서 사용하며 또한 법적으로 移轉할 수 있는 技術을 공정하고 합리적인 상업적조건으로 深海底企業이 이용할 수 있도록 할 것. 이는 締約者가 深海底企業과 교섭을 거쳐 계약에 부속된 특별약정에 규정한 라이선스 또는 다른 적절한 협정에 의하여 이루어져야 한다. 그 약속은 深海底企業이 공개시장에서 공정하고 합리적인 상업적 조건으로 그와 동일하거나 동등하게 효율적이고 유용한 기술을 획득할 수 없다고 인정한 경우에만 원용될 수 있다.
 - 나. 契約에 따라 深海底活動을 수행함에 있어서 사용되는 技術로서 공개시장에서 일반적으로 획득할 수 없으며 (가)에 포함되지 아니하는 技術에 관하여는 海底機構가 요청하는 경우에는 언제나 그 技術의 소유자가 그 技術을 계약자가 이용할 수 있는 것과 같은 정도로 라이선스 또는 다른 적절한 협정에 의하여 공정하고 합리적인 상업적 조건으로 深海底企業이 이용할 수 있도록 한다는 서면보장을 취득할 것. 그 보장이 취득되지 아니하는 경우 深海底活動을 수행함에 있어서 締約者는 그 技術을 사용할 수 없다.

- 다. 深海底企業이 요청하고 締約者가 실질적인 비용을 부담하지 않고서도 가능한 경우에는 계약에 따라 深海底活動을 수행함에 있어서 締約者가 사용하는 技術로서, 締約者가 법적 권리를 이전할 다른 방법을 가지지 아니하며 공개시장에서 일반적으로 획득할 수 없는 技術을 深海底企業에게 이전할 법적 권리를 집행력을 가지는 계약에 의하여 所有者로부터 취득할 것. 締約者와 技術所有者간에 실질적인 법인조직상의 관계가 있는 경우 그 권리를 취득하기 위하여 모든 가능한 조치가 취하여졌는지의 여부를 결정함에 있어서 그 관계의 긴밀도와 통제력 또는 영향력의 정도를 고려한다. 締約者가 所有者에 대하여 효과적인 통제를 행사하는 경우 所有者로부터 법적권리를 취득하지 못한 사실은 추후의 사업계획에 관하여 締約者의 승인신청 자격을 심사함에 있어서 고려되어야 한다.
- 라. 深海底企業이 技術의 所有者와 직접 교섭하기로 결정한 경우에는 深海底企業의 요청에 따라 라이선스 또는 적절한 협정에 의하여 공정하고 합리적인 상업적 조건으로 (나)에 규정된 技術을 深海底企業이 획득하는 것을 용이하게 할 것.
- 마. 이 부속서 제9조에 따라 계약을 신청한 開途國 또는 開途國集團의 이익을 위하여 (가), (나), (다) 및 (라)에 규정된 것과 동일한 조치를 취할 것. 다만 그 조치는 締約者가 신청한 구역 중 이 부속서 제8조에 따라 유보된 부분의 개발에 국한되어야 하며 開途國 또는 開途國集團이 원하는 계약상의 활동은 제3국 또는 그 국민에 대한 技術의 이전을 수반하지 아니하여야 한다. 이 규정에 의한 의무는 深海底企業이 技術을 요청하지 아니한 締約者 또는 技術을 深海底企業에 이전하지 아니한 締約者에 대하여만 적용된다.

4. 제3항이 요구하는 약속에 관한 분쟁은 계약의 다른 규정과 마찬가지로 제11장에 따른 강제적 해결에 따르며 그 약속을 위반한 경우 이 부속서 제18조에 따라 계약의 정지나 종료 또는 벌금을 명할 수 있다. 계약자의 청약이 공정하고 합리적인 상업적 조건의 범위내에 있는지의 여부에 관한 분쟁은 일방당사자에 의하여 유엔商去來法委員會의 중재 규칙 또는 해저기구의 규칙, 규정 및 절차가 정하는 다른 중재규칙에 따르는 구속력 있는 상사중재에 부탁될 수 있다. 계약자의 청약이 공정하고 합리적인 상업적 조건의 범위내에 있지아니하다고 인정된 경우에는 海底機構가 이 부속서 제18조에 따라 어떤 조치를 취하기 전에 청약을 그 범위내에 속하도록 수정하기 위하여 계약자에게 45일의 기간이 주어진다.
5. 深海底企業이 深海底로부터 광물의 회수와 가공을 적시에 개시할 수 있게 하는 적절한 기술을 공정하고 합리적인 상업적 조건으로 획득할 수 없는 경우 理事會 또는 總會는 深海底活動에 종사하고 있는 당사국 또는 深海底活動에 종사하고 있는 주체를 보증한 당사국 또는 그 技術을 이용할 수 있는 당사국으로 구성된 당사국회의를 소집할 수 있다. 그 당사국들은 함께 협의하고 그 技術이 공정하고 합리적인 상업적 조건으로 深海底企業에 이용될 수 있도록 보장하기 위하여 효과적인 조치를 취하여야 한다. 각 당사국은 이를 위하여 자국 법체계내에서 모든 가능한 조치를 취하여야 한다.
6. 深海底企業과의 합작투자의 경우 技術移轉은 합작투자협정의 조건에 따른다.
7. 제3항이 요구하는 약속은 深海底企業의 상업적 생산개시 후 10년까지는 深海底活動의 수행을 위한 각 계약속에 포함되어야 하며, 그 기간 동안 원용될 수 있다.
8. 본 조를 적용함에 있어서 "技術"이라 함은 실행가능한 체제를 조직하고 유지하고 운영하기 위하여 필요한 교범, 설계, 운영지침, 훈련 및 기술적 자문과 지원을 포함한 전문적 장비 및 기술적 노우하우 그리고 이를 그 목적을 위하여 비배타적으로 사용할 법적 권리를 말한다.

가. 深海底 技術의 定義와 範圍

深海底 技術의 정의에 대해서 협약은 제3부속서 제5절 8항에서 「...“기술”이라 함은 실행가능한 체제를 조직하고 유지하고 운영하기 위하여 필요한 교범, 설계, 운영지침, 훈련 및 기술적 자문과 지원을 포함한 전문적 장비 및 기술적 노우하우 그리고 이들 그 목적을 위하여 비배타적으로 사용할 법적 권리를 말한다.」고 규정하고 있다. 이 정의는 공개시장에서 획득할 수 없는, 해양 개발에 필요한 기술적인 공정에 초점이 맞추어진 것이다. 위에서 열거된 항목 중에서 인적자원에 대한 훈련부문은 제15조에서 계약자로 하여금 海底機構와 開途國의 인원에 대한 훈련계획 작성을 요구함으로써 더욱 강조되고 있다.

深海底 技術의 범위와 관련하여 深海底鑛物의 가공기술이 위에서 언급된 기술에 포함되느냐에 대해 의견이 대립되고 있다. 유엔해양법회의 제8회기에서 제1위원회 의장은 “深海底企業의 활동을 해저광물의 수송과 가공의 단계까지 포함한다는데 일치하고 있다”고 하였으며(Report of the Chairman of the First Committee, UN Doc, 62/2.36, UNCLOSⅢ, Official Records, Vol. XI 1980, p.98), Mr.Njenga도 협약 작성과정에서 제5조 8항에 전문적(Specialized)이라는 단어와 운용가능한(viable)이라는 단어가 삽입됨으로써 8항에서 언급되는 기술에는 개발과 가공을 비롯한 深海底 활동이 전반적으로 포함되는 것이라고 주장하였다(UN Doc. A/Conf. 62/c. 1/L. 27, UNCLOS Ⅲ, Official Records, Vol. XⅢ, 1980, p.113). 그러나 제5조 8항에는 문구상 가공, 판매, 수송기술을 포함하고 있지 않은데, 그 까닭은 이러한 기술들이 深海底開發技術에 독특한 것이 아니라는 점과 선진국들이 개도국의 육상광물 생산자에게 수송기술이 이전되는 것을 원치 않았다는 점에서 연유된 것으로 보여진다(Jon M. Van Dyke, David L. Teichmann, Transfer of Seabed Mining Technology, p.143).

이 深海底 技術의 범위는 제5조 8항을 동조 제5항과 연관시켜 해석해 볼 때 채굴과 가공기술을 포함하는 것으로 해석될 여지가 있다. 즉, 제5조 5항에서

深海底企業이 深海底로 부터 광물의 채굴과 가공을 적시에 개시할 수 있도록 각 당사국이 효과적인 조치를 취할 수 있도록 하였던 바 이것을 근거로 하여 가공기술이 技術移轉의 대상이 된다고 볼 수 있다.

한편 深海底 技術의 판매나 이전의 대상이 되는 기술에는 국가안보에 관계되는 것은 제외된다. 즉, 협약 제302조는 「본 협약에 규정된 분쟁해결절차를 이용할 당사국의 권리를 침해함이 없이 본 협약의 어떠한 규정도 본 협약상의 무리행에 있어서 발표될 경우 자국의 본질적 안보이익에 반하는 정보를 제공하도록 요구하는 것으로 간주되지 않는다」고 규정하고 있어 國家安보에 관한 것을 제외하고 있다. 이 조항과 관련하여, 국가안보에 미치는 영향을 판단하는 주체가 기술보유국이 될 경우 深海底 技術移轉에 상당한 제약을 줄 것으로 생각된다.

나. 海底機構에 대한 技術移轉

(1) 事業計劃 제출시의 技術移轉

제3부속서 제5조 1항은 모든 深海底開發 契約申請人으로 하여금 事業計劃 제출시 深海底 活動의 수행에 사용될 장비와 방법에 관한 일반적 명세서와 이러한 기술의 특성과 이용가능한 분야에 관한 비재산권적 정보도 海底機構에 제출토록 하고 있다. 그리고 동부속서 제5조 제2항에서는 深海底 조업자가 事業計劃 제출시에 제공했던 기술에 근본적인 변화가 생기거나 기술혁신이 일어난 경우에도 기제출된 명세서와 정보에 관한 수정내용을 海底기구에 통고하도록 하고 있다.

事業計劃 제출시에 제출될 자료를 비소유권적 정보에 한정된 것은 동부속서 제14조가 계약신청인이 海底機構에 제출한 재산권적 자료의 사용목적은 事業計劃이 다루는 구역에 관한 海底機構 주요기관의 권한 및 기능의 효과적 행사를 위한 것으로 한정하고 동시에 深海底企業 또는 海底機構 이외의 자에게 공

개를 금지한 것을 명백히 하기 위한 것으로 해석된다.

(2) 契約 締約者에 부과된 技術移轉義務

(가) 契約자가 기술을 소유하고 있는 경우

제3부속서 제5조 3항(가)호는 「海底機構가 요청하는 경우에는 언제나 契約자가 契約에 따라 深海底 活動을 수행함에 있어서 사용하며 또한 법적으로 이전할 수 있는 기술을 공정하고 합리적인 상업적조건으로 深海底企業이 이용할 수 있도록 할 것. 이는 契約자가 深海底企業과 교섭을 거쳐 契約에 부속된 특별약정에 규정한 라이선스 또는 다른 적절한 협정에 의하여 이루어져야 한다.」고 규정하고 있으며, 이에 부수되는 조건으로서 深海底企業이 그러한 기술과 동일하거나 동등하게 효율적이고 유용한 기술을 공개시장에서 공정하고 합리적인 상업적 조건(fair and resonable commercial terms and conditions)으로 획득할 수 없다고 판단한 경우만 契約자의 의무가 원용되도록 하고 있다.

이 규정의 해석상 다음과 같은 점이 주목된다. 그 첫째가 技術移轉시의 조건인 “公正하고 合理的인 商業的 條件”(fair and reasonable commercial terms and conditions)의 의미이다. 이에 대해서는 契約상 명백히 정의되어 있지 않고 다만 海商法회의 제9회기에서 서독대표단에 의해 설명된 내용에 따르면 “공정하고 합리적인 상업적 조건은 그와 동일한 상황아래서 행해진 다른 契約의 실제와 동일하게 평가되면 되고, 만일 그와 같은 사례가 없는 경우에는 그 기술을 개발하는데 사용된 직접적 비용 뿐만 아니라 그 개발에 바탕이 되는 기초지식을 확립하는데 쓰여진 비용과 실패된 개발노력에 든 비용도 보상될 수 있도록 하여야 하며 아울러 앞으로의 개발노력을 장려할 수 있는 것도 고려되어야 한다.”고 한다(UNCLOSⅢ, Official Records, Vol. XIV, p.162).

한편 기술보유국들은 비록 공정하고 합리적인 상업적 조건 아래 협상이 이루어진다고 해도 제5조 3항의 내용이 의무적인 이전절차이므로 상대적으로 자국의 협상능력이 감소된다고 주장하고 있다.

둘째는 공개시장에서 深海底企業이 행한 노력의 정도이다. 이 점에 대해서 본 항은 아무런 언급없이 획득불가의 판단권만을 深海底企業에게 주고 있는데 일반적으로 深海底企業의 노력은 “성의있는 노력”(good faith efforts)의 정도로 이해되고 있다(Ibid, p.161).

셋째로는, 계약자가 사용하려고 하는 기술이 처음으로 개발된 것이라면 이러한 기술은 深海底企業이 공개시장에서 획득할 수 있는 “동일하거나 동등하게 효율적이고 유용한 기술”(the same or equally efficient and useful technology)의 범주에 들지 않는다는 점이다.

그런데 深海底企業은 작업의 초기단계에서는 비록 금융문제와 기술이용가능성문제가 해결된다고 하더라도 深海底企業이 이 분야의 경영자들을 양성하고 기술제공자의 지속적인 협조없이 독자적으로 작업을 할 수 있기까지는 얼마간의 시간이 걸릴 것으로 생각된다(UNCLOSⅢ, Official Records, Vol.VII, 1978, p.73).

(나) 계약자가 기술에 관한 권리를 소유하지 않을 경우

제3부속서 제5조 3항(나)호는 계약자로 하여금 그가 개발에 사용한 기술을 법적으로 이전할 권리가 없고 그 기술이 일반적으로 공개시장에서 이용가능하지 못한 것이라면, 海底機構가 요청할 때 마다 기술의 소유자가 라이선스나 적절한 약정에 따라 深海底企業으로 하여금 그 기술을 사용할 수 있게 기술소유자로 부터 “서면보장”(written assurance)을 받도록 하였다. 만약 이러한 서면보장을 얻지 못하면 계약자는 당해 기술을 深海底 活動의 수행에 사용할 수 없다.

제3부속서 제5조 3항 (다)호는 계약자로 하여금 深海底企業이 요구하고 그

에 따라 많은 비용이 지출되지 않아도 되는 경우에, 공개시장에서 획득할 수 없고 계약자가 이전할 권리는 없으나 사용하고 있는 기술을 深海底企業에 이전할 수 있는 권리를 기술소유자로 부터 “집행가능한 계약”(enforceable contract)의 형식으로 획득할 것을 요구하고 있다. 만약 계약자가 기술소유자에 대해 효과적인 통제를 할 수 있는 경우, 예컨대 계약자와 기술소유자간에 실질적인 법인관계가 있는 경우에도 소유자로 부터 법적 권리를 획득하지 못한 경우에는 제3부속서 제4조 6항 (라)호에 따라 계약자는 다음번 事業計劃 승인자격을 상실하게 된다. 이것과 관련하여 주목되는 것은 계약자의 노력에 대한 평가주체와 발생하는 비용의 처리문제이다. 전자의 문제는 일반적으로 海底機構가 가능한 조치의 이행여부를 평가하는 것으로 해석되며, 후자의 경우에는 명시적인 규정은 없지만 技術移轉에 관한 법적권리를 획득하는데서 발생한 비용을 지불할 것인가는 여전히 深海底企業의 선택에 달려있는 것으로 해석된다(UNCLOSⅢ, Official Records, Vol. XIV, p.162). 이에 대해 미국 측은 深海底企業이 발생하는 어떠한 비용도 부담하여야 한다고 주장하고 있다 (US Delegation Report, Resumed Ninth Session of UNCLOSⅢ, 1980, p.9).

한편, 제3부속서 제5조 3항 (라)호는 深海底企業이 기술소유자와 직접 교섭하기로 결정한 경우에 계약자로 하여금 라이선스 또는 다른 적절한 약정을 통해 深海底企業이 관련기술을 용이하게 획득할 수 있도록 하여야 한다고 규정하고 있다. 이때의 기술도 이미 언급한 (나)호의 기술과 마찬가지로 深海底活動에 사용되거나 공개시장에서 일반적으로 이용가능하지 않은 것으로서 계약자가 소유하고 있지 않은 기술을 말하는 것이다.

(3) 합작의 경우

제3부속서 제5조 6항에 따르면, 深海底企業이 제3부속서 제11조 및 제9조에 규정된 합작의 형태로 직접적인 계약관계로 들어갔을 경우의 技術移轉은

합작협정의 조건에 따르도록 되어 있다. 이 경우에는 深海底企業이 그가 필요로 하는 것을 획득하기 위한 충분한 협상능력과 기술을 갖게 될 것이라고 해양법회의 참석자들은 생각했다(Van Dyke, op. cit., p.443). 그 근거로 海底機構는 명시적인 규정은 없지만 深海底企業과 합작하지 않은 기업에 대해 차별을 할 수 있는 바, 深海底企業의 상대방은 수수료의 할인을 받을 수 있을 것이고 技術移轉에서 유리한 조건을 기대할 수 있다(Jochen Martin, Deep-Sea Mining between Convention & National Legislation, ODIL, Vol. 10. 1981, p.181).

그리고 深海底企業과 합작협정을 체결한 계약자는 제3부속서 제11조 2항에 따라 재정적 유인조치를 받을 수 있다.

(4) 技術移轉을 위한 海底機構 總會 및 理事會의 努力

협약 제3부속서 제5조 제5항은 深海底企業이 深海底로부터 적시에 광물을 채굴하고 가공하기 위한 적절한 기술을 공정하고 합리적인 상업적 조건으로 획득할 수 없는 경우에 海底機構의 이사회 또는 총회가 深海底 活動에 종사하는 당사국 그룹회의를 소집할 수 있도록 규정하고 있다. 이 당사국 그룹회의에 소집되는 대상국은 深海底 活動에 종사하고 있는 당사국, 深海底 活動에 종사하고 있는 주체를 보증한 당사국 및 위에서 언급한 기술을 이용할 수 있는 당사국 등이다. 본항에 따라 소집된 당사국 그룹회의는 深海底企業이 深海底鑛物의 채굴과 가공에 필요한 기술을 공정하고 합리적인 상업적 조건으로 획득할 수 있도록 상호협의를 통하여 효과적인 조치를 취하여야 하며, 각 당사국은 자국법체계 안에서 모든 가능한 조치를 취하여야 한다.

이러한 규정에 따라 당사국들은 技術移轉에 따른 비용부담 뿐만 아니라 수용 또는 기타방법(expropriation or other means)을 통하여 국내시장에 개입할 것을 요구받고 있다. 더 나아가 深海底企業에게 그들이 이전하기 꺼리는 가공기술도 이전하여야만 한다(Breaux, Technology Transfer: A Case

Study of the Inequity of the New International Economic Order, Marine Tech. Soc. J., Vol.13, 1979, p.22). 이 加工技術 移轉義務는 技術移轉에 관한 협약규정 전반에 걸쳐서 가공기술 및 후속절차의 이전을 의도적으로 삭제한 제정과정에 비추어 볼 때 특히 주목되는 부문이다(UN. Press Release, SEA/422, 1980, p.14).

생각컨대, 深海底 技術의 대부분을 사기업이 보유하고 있는 선진국들이 위와 같은 조치를 취하는 것이 헌법을 비롯한 국내법제상 부여된 법적관리나 전통을 위반하게 되는 경우 과연 효과적으로 이 규정의 내용을 이행할 수 있는지 의문이다.

다. 開途國에 대한 技術移轉

(1) 海底機構로 부터의 技術移轉

海底機構로부터 개도국에 대한 深海底 技術의 이전에 관해 일반적인 규정을 한 협약 제144조는 海底機構로 하여금 모든 당사국이 그로부터 이익을 얻도록 개도국에게 深海底 活動에 관한 기술 및 과학적 지식의 이전을 증진하고 장려할 조치를 취하도록 하고 있으며 이를 위해 海底機構와 당사국이 상호협력할 의무가 있음을 강조하고 개도국에 대한 深海底 活動에 관한 기술의 이전 계획을 제안하고 촉진하도록 하고 있다. 또한 협약 제274조는 海底機構로 하여금 기술원조를 필요로 하고 요청하는 국가 특히 개도국이 적절한 장비, 기계, 장치 및 공정에 관한 기술서류를 이용할 수 있게 보장하도록 하였으며, 개도국이 기술원조를 획득하고 개도국 국민이 전문적 훈련을 포함한 기능과 기술지식을 획득할 수 있게 적당한 규정을 마련하도록 하고 있다.

(2) 締約者로 부터의 技術移轉

협약 제3부속서 제5조 3항 (마)호는 계약자로 하여금 협약 제3부속서 제9조에 따라 유보지역(reserved area)을 개발하는 계약을 신청한 개도국들에게 제3부속서 제5조 3항 (가)(나)(다)(라)호에 규정된 조치를 취하도록 규정하고 있다. 이때에 개도국은 이전받은 기술을 계약자가 제안한 구역중 제3부속서 제8조에 따라 유보된 지역을 개발하는데 한해서만 사용하여야 하며, 제3국이나 제3국의 국민에게 이전하여서는 안된다. 또한 이전되는 기술은 계약자가 深海底企業에 이미 이전한 것이거나 深海底企業이 계약자에게 이전을 요구한 기술이 아니어야 한다.

라. 時間的 制限

협약 제3부속서 제5조 7항은 동 부속서 제5조 3항에 규정되어 있는 義務的 技術移轉의 이행기간을 深海底企業이 商業生産을 개시한 후 10년 까지로 한정하고 있다. 이 한정 의미는 10년이 경과되면 그 이전에 체결된 계약에 의해서도 技術移轉을 요구할 수 없다는 것을 말한다. 10년의 기간은 제3부속서 제17조 2항 (사)호에서 정의하고 있는 상업생산이 개시된 그달로부터 진행된다.

10년이라는 기한이 확정되기까지는 선진국이나 개도국간에 이견의 대립이 있었다. 즉, 선진국은 技術移轉의 의무가 深海底企業의 상업적 생산개시 이후 5년동안 존속하는 것으로 규정하려 하였고, 개도국은 그러한 技術移轉의무를 무기한적인 것으로 규정하려고 하였다. 이러한 대립은 개도국이 이전되는 기술중 가공공정을 제외시킨다는 타협아래 10년으로 확정된 것이다.

10년 기한 이후 深海底개발에 참가하는 후발참여자(later-comers to sea-bed mining)는 深海底企業을 공동참여자 또는 기술공급자로 기대할 수 있을 것이다.

한편, 기한경과후 深海底企業은 제3부속서 제5조 3항에 규정된 특별한 의무를 계약자들에 대해서 더 이상 요구할 수 없는 반면에, 동부속서 제5조 5항의 일반규정에 따라서 계속해서 기술을 획득함에 있어 실질적 도움을 요청할 수 있다. 그렇지만 개도국이나 개도국그룹은 그렇게 할 수 있다.

마. 技術移轉에 관한 紛爭 解決方法

협약 제3부속서 제5조 4항에 따르면 기술을 이전할 계약자의 의무에 관한 분쟁은 협약 제11장의 규정에 따라 국제해양법재판소의 해저분쟁부에 제기되는 강제적 분쟁해결방법에 따른다. 그리고 계약자의 의무조건에 대해 계약의 정지나 종료 또는 금전형이 부과될 수 있다.

海底機構와 계약자 사이의 분쟁은 주로 다소 모호한 기준인 "공정하고 합리적인 상업적인 조건"의 해석에 관한 것이 될 것인데, 이에 관한 분쟁은 일방 당사자에 의해 유엔國際貿易去來委員會 仲裁規則(UNCITRAL Arbitration Rules) 또는 海底機構의 규칙, 규정과 절차에 명시된 다른 중재규칙에 따라 구속력 있는 상사중재에 제기될 수 있다. 만일 공정하고 합리적인 상업적 조건의 범위에 속하지 않는다고 판정된 경우에는 제3부속서 제18조에 따라 海底機構가 어떠한 조치를 취하기 전에 그 기준에 합치되도록 수정하기 위해 계약자에게 45일의 기간이 주어진다.

바. 深海底 技術 移轉制度에 대한 外國의 態度

海洋法協約에 따라 강제적인 深海底技術移轉義務를 부담하게 된 기술보유국들은 협약상의 제도에 대하여 부정적인 태도를 보이고 있다. 기술보유국들은 자신들의 불리한 입장, 특히 넓은 범위의 技術移轉으로부터 발생하는 직·간접적인 비용부담이 상대적으로 자국의 노력을 약화시킨다는 점을 들어 협약상의

제도수락을 보류하고 있으며, 그 결과 독일, 미국, 영국, 프랑스, 일본, 이탈리아 등의 국가들은 深海底 活動을 규율하기 위한 잠정적 국내입법상에 海洋法 協約上의 技術移轉義務와 동일한 내용의 규정을 두고 있지 않다(E.D. Brown, Sea-bed Energy and Mineral Resources and the Law of the Sea, Vol.Ⅱ(The Area Beyond the Limits of National Jurisdiction) p. Ⅱ.8 29).

다만, 영국의 경우에는 법안의 통과시에 야당의 노력에 의해 개도국에 유리하게 초안을 일부 수정하였는데, 그 내용은 深海底 개발허가의 조건으로서 개도국에게 深海底 技術을 이전한다는 명문협정을 국무장관에게 제출토록 한 것과, 深海底 活動에 개도국의 인적, 재정적, 경제적 참여를 위하여 가능한 모든 노력을 할 것을 포함한 것이다(Ibid, P.Ⅱ 8 30.).

이러한 수정과정에서 위와 같은 입법으로 인하여 그와 같은 부담을 지지 않는 타국의 기업에 대한 자국의 입장이 불리하게 된다는 비난이 있었음은 물론이다.

한편, 이상에서 언급한 서방국가들과는 달리 소련은 「人陸棚 以遠의 深海底 鑛物資源의 探查, 開發에 대한 蘇聯企業活動을 규율하기 위한 臨時措置 勅令」(Edict on Provisional Measures to Regulate the Activity of Soviet Enterprises relating to Exploration for and Exploitation of the Mineral Resources of Sea-bed Areas Beyond the Limits of the Continental Shelf) 제8조에서 기술의 발전, 장비의 생산, 오염방지조치의 수행, 인원에 대한 훈련 및 기타 深海底鑛物資源의 탐사, 개발에 관련된 사항에 대해서 외국을 원조할 것이라고 규정하고 있다. 비록 이러한 소련의 입법이 위에서 살펴본 6개국의 입법보다는 海洋法協約上의 의무에 접근하고 있지만 여전히 그 차이가 크다고 보여진다(Ibid.pp.Ⅱ 8 35 - 8 36).

第 2 節 先行投資家の義務

유엔海洋法協約 決議II의 규정에 따라 ‘등록한 先行投資家(Registered Pioneer Investor)’는 決議II 제12항 (a)호 (iii)의 규정에 따라 技術移轉을 하여야 할 의무를 부담한다. 決議II 제12항 (a)호 (iii)은 先行投資家の 技術移轉 의무와 관련하여 모든 登錄先行投資家は “이 협약의 효력발생 이전에 技術移轉과 관련하여 이 협약에서 규정한 의무를 이행하여야 한다(every registered pioneer investor shall undertake before the entry into force of the Convention, to perform the obligations prescribed in the Convention relating to transfer of technology)”고 규정하고 있다.

이 규정의 해석상 先行投資家の 技術移轉義務는 그 내용, 방법, 범위 등에 대해서는 전술한 一般深海底鑛業者의 경우와 동일한 것으로 보인다. 다만, 技術移轉義務의 이행시기에 차이점을 보이고 있다.

즉, 一般深海底鑛業者의 경우에는 협약발효후 6개월 경과시점 부터 사업계획서를 제출한 때 및 그것이 승인되어 海底機構와 계약체결을 하고 계약자가 된 후 부터 海底機構 또는 深海底企業의 요구에 따라 이행되게 된다. 이에 반하여 先行投資家の 경우에는 비록 협약이 발효되지 않은 시점이라 하더라도 先行投資家 등록시점부터 행하여 지는 것이다.

이와 같은 先行投資家 技術移轉義務制度의 취지는 深海底企業이 적어도 다른 深海底鑛業者와 동일한 시기에 유엔을 대표하여 深海底鑛業을 개시할 수 있도록 기반을 조성하기 위한 것으로 생각된다.

先行投資家 技術移轉義務 내용을 구체적으로 살펴보면, 一般鑛業者의 경우와 같이 비재산권적인 기술과 재산권적 기술로 나누어 볼 수 있다. 먼저, 비재산권적 기술중 개괄탐사에 관련된 것은 비록 의무적인 것은 아니지만 先行投資家 등록신청시 기술자료 또는 보충자료의 형태로 제출하며, 탐사·채광·제련 등에 관한 것은 협약 발효후 6개월 이내에 제출하여야 하는 사업계획서에 포함하여 제출하여야 한다.

재산권적 기술의 경우에는 협약발효이전에 海底機構의 업무를 대행하는 준비위원회의 요구가 있는 경우 협약규정에 따라 준비위가 공개시장에서 당해 기술의 획득을 위하여 노력하고, 그러한 노력이 실패한 것을 조건으로 공정한 상업적 가격 및 조건하에서 이전 의무가 이행되게 된다.

1993년 8월 현재까지 준비위에 등록한 先行投資家は 인도(1987. 8.17.), 프랑스(1991. 3. 5.), 일본(1987.12.17.), 러시아(1987. 8.17.), 중국(1991. 3. 5.), 동구권콘소시엄IOM(1991. 8.21.)등 6개 주체이다. 이들은 모두 신청서 제출시 자국의 탐사활동 설명을 통하여 탐사방법 및 사용된 장비에 대한 내용을 제출하였다. 또한 이들은 각각 자국의 先行投資家 의무이행과 관련하여 준비위와 양해를 채택한 바 있다. 1990년 8월 29일 준비위에서 채택된 인도, 프랑스, 일본, 러시아의 의무이행에 관한 양해(Understanding on the Fulfilment of Obligations by the Registered Pioneer Investors and Their Certifying States : LOS/PCN/1990/CRP.44)는 제3항에서 “4개 登錄先行投資家は 決議II 제12항 (a)(iii)에 따라서 技術移轉에 관하여 협약이 규정한 의무를 이행하며, 더 나아가 이용가능한 모든 기술의 사용훈련(training in the use of all available technology)이 본 양해 제2항에서 언급한 훈련계획의 실질적 요소로 포함시킬 것을 동의한다”고 규정하였다.

이와 같은 내용은 중국에 관한 양해(LOS/PCN/L.102/13 March 1992) 및 IOM에 관한 양해(LOS/PCN/1992/CRP.60,17 August 1992)에서도 동일하게 반복되어 규정되어 있다.

준비위와의 협상을 통하여 채택된 諒解상의 技術移轉義務는 기본적으로 決議II상의 내용을 포함하고 이에 덧붙혀 당해 先行投資家에게 이용가능한 훈련을 포함시키고 있다. 후자의 경우는 무상으로 이루어지는 것으로서 i) 100만 불 연간고정납부로 면제의 대가적 의미와 ii) 深海底企業요원 훈련의 질적 향상을 의도하여 先行投資家の 의무로 추가된 것으로 분석된다.

아직까지 준비위가 登錄先行投資家에게 決議II의 규정에 따라 상업적인 技術移轉을 요구한 사례는 보고되지 않고 있다. 다만 준비위와의 의무이행에 관

한 양해에 따라 인도, 프랑스, 일본, 러시아 등이 훈련위원회에 의해 선발된 각각 3명의 훈련생에 대한 훈련계획을 작성하여 시행하고 있거나 할 예정으로 있다.

第 3 章

深海底 鑛業技術 開發動向

第 1 節 序 論

深海底 鑛業技術은 1970년 대서양에서의 망간團塊引揚시험이 있는 이후 1970년대 초반에 일본의 CLB 시스템(Continuous Line Bucket System)이 태평양 深海底 시험에서 첫 선을 보였으며, 1970년대 후반에는 미국의 OMI 사가 수심 4500m의 태평양 深海底에서 시간당 10-20톤의 망간團塊를 引揚하는데 성공하는등 1980년대를 거쳐 현재까지 부단한 기술발전을 가져오고 있다.

深海底 鑛業에 있어 가장 중요한 사항은 유망한 망간團塊 부존지역을 찾아 내는 것이며, 광구설정시 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

첫째, 深海底 鑛業이 최소한 20년정도의 project으로 설정되므로 단기적이 아닌 장기적인 추진계획을 필요로 하며

둘째, 현재 예상되는 深海底 망간團塊 연생산량은 150-300만건톤(Dry metric ton)으로 이를 수용, 제련할 수 있는 제련시설 및 규모가 필요하며

셋째, 광구조건이 km^2 당 5000습톤(Wet metric ton)이상의 團塊밀도를 유지하고 평균 품위 니켈 1.2-1.35%, 코발트 0.25%, 구리 1.0-1.25%, 망간 27.5-29% 정도가 함유되어 있어야 하고

넷째, 망간團塊 채취에 있어 해저면의 기울기(Slope)가 5-10도 이하이어야 하고

다섯째, 광구에서 물리적 장애물이나 품위가 요구수준에 달하지 못하더라도 망간團塊의 채수율이 10-50% 정도가 되어야 한다.

이와 같은 기준은 국第 콘소시엄이 채택한 광구에 대한 필수요건들이며, 채광방식에 따라 그리고 미래에 개발되는 探鑛技術에 따라 수적인 차이가 다소 있을지 모르나 근본적인 필수요건에는 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

深海底 鑛業技術은 探查技術, 探鑛技術, 그리고 광석의 이송 및 製鍊技術로 크게 나눌 수 있으며, 이러한 기술들은 기존의 해양과학기술과 鑛業技術을 사용할 수 있지만 해수심 5000m에서의 장기간의 작업에 해당하는 만큼 새로운

방식으로 응용, 결합된 고도의 기술과 대규모 사업에 적합한 기술 또한 필요하다 하겠다. 본 연구에서는 深海底 鑛業技術중 採鑛技術과 이송 및 製鍊技術에 연구의 중점을 둘 것이며, 探查技術에 대하여는 다음과 같이 간략하고 개괄적으로 알아보기로 하겠다.

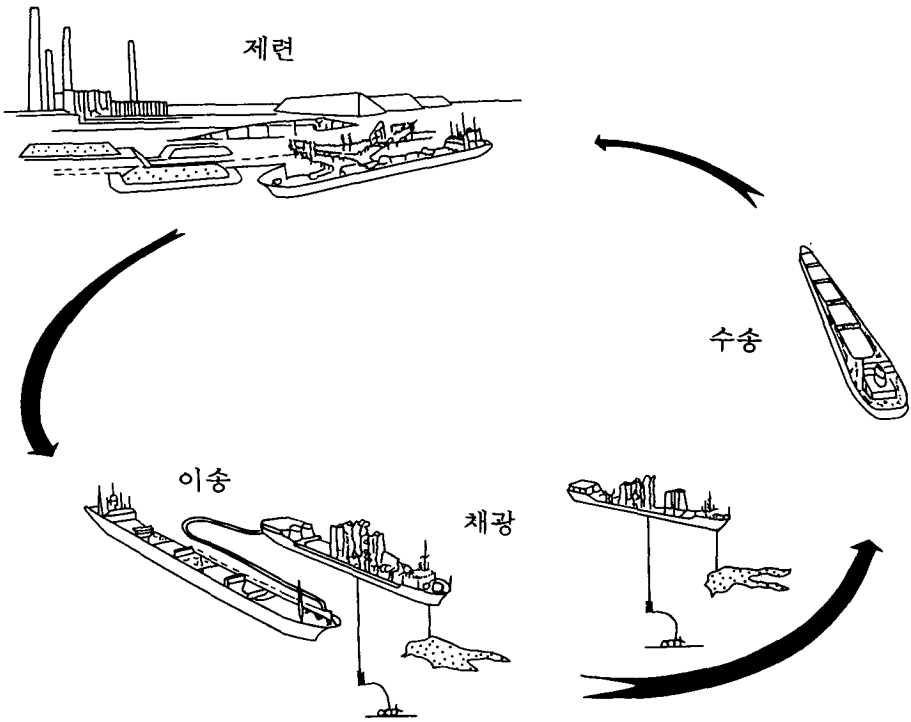


그림4-1 심해저 광업 모형도 :채광, 이송, 수송, 제련

深海底 探查技術은 탐사의 주체가 되는 탐사선의 위치측정을 기준으로 항해중 탐사(Non-stop survey)와 정박중 탐사(On-station survey)로 나눌 수 있으며, 탐사선 위치의 측정은 인공위성을 통하여 인공위성 항해수신장치와 보완장치를 사용하여 파악할 수 있다. 항해중 탐사로는 해양지질조사의 기본

이 되고 망간團塊의 분포 파악에 필요한 해저지형조사, Sub-bottom profiler를 사용하여 해저표층퇴적물과 구조를 파악할 수 있는 해저면단면조사, Side Scan Sonar를 사용한 탄성파탐사, 그리고 그 외 자력탐사와 중력탐사가 있다. 정박중탐사에는 Grab식 채취기를 이용하여 퇴적물을 채취하는 해저표층 시료채취를 위한 드래지, 그리고 무인 사진촬영에 의한 深海底 망간團塊의 사진촬영조사등이 있다.

第 2 節 採鑛技術

1. 引揚式(Lift) 採鑛方式

이 방식은 지금까지 고안된 채광방식중에서 가장 효율성이 있는 것으로 알려져 있으며, 團塊채취작업과 團塊引揚작업을 구분하고 있다. 團塊채취작업에 있어서는 採鑛船이 集鑛機를 견인하면서 團塊를 채취하는 견인식(Towed)과 集鑛機 자체가 해저면을 이동하면서 團塊를 채취하는 자주식(Self-propelled)이 대표적이며, 引揚방법으로는 수압에 의해 團塊를 引揚하는 수압식 引揚방법(hydraulic pump lift)과 공기압에 의해 團塊를 引揚하는 공기압식 引揚방법(Air lift)으로 크게 나눌 수 있다. 引揚식 채광방식의 주요 구성요소를 살펴보면 다음과 같다.

가. 採鑛船

採鑛船은 採鑛技術중에서 가장 잘 설계되어야 하는 시스템중에 하나로 근본적인 기능은 채광시스템(集鑛機시스템+引揚시스템)을 해저면에 내려놓아 이로부터 引揚되는 망간團塊를 하역, 저장하여 수송선으로 이송하는 것이다. 採

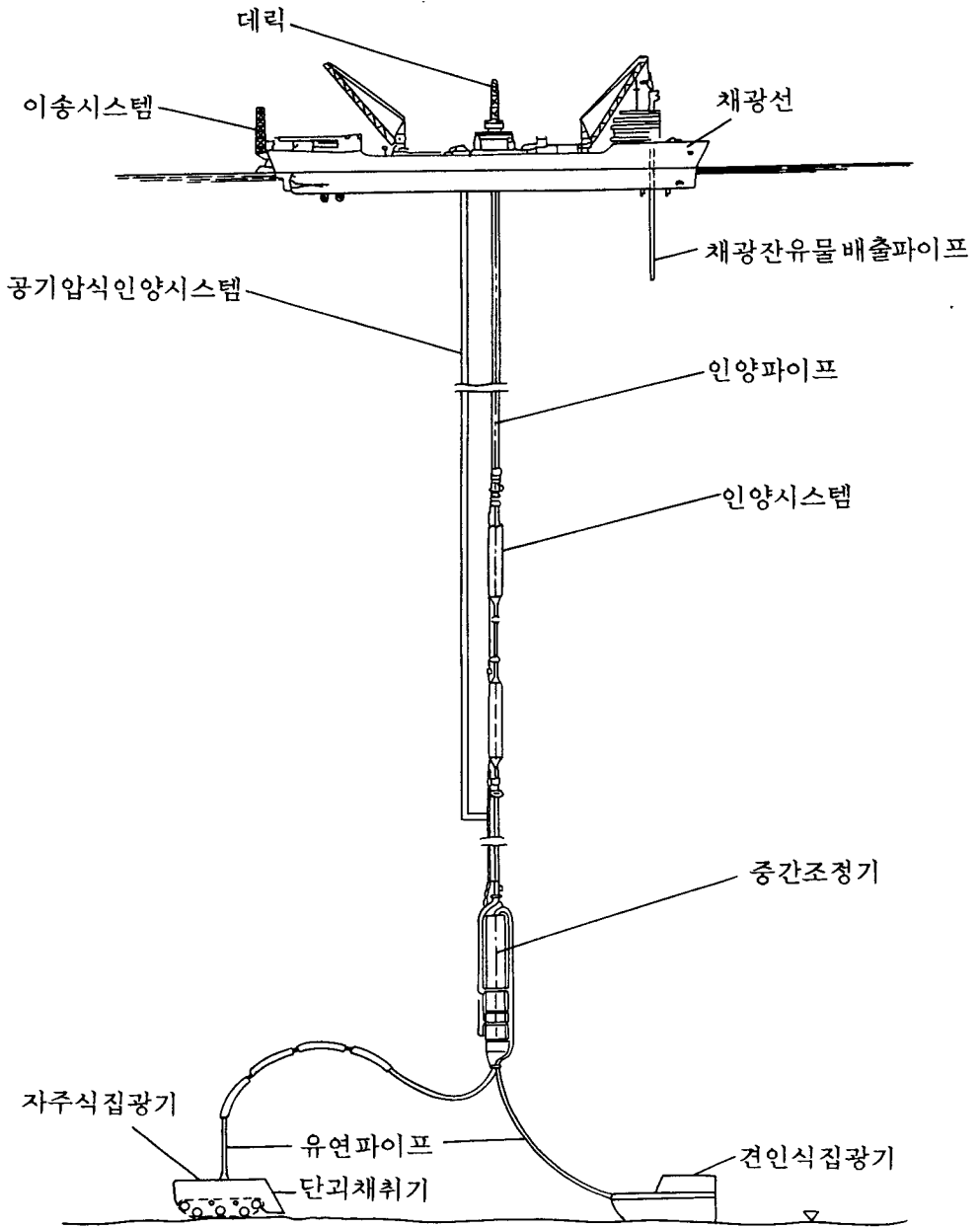


그림4-2 심해저 망간단괴 채광시스템 개념도
(인양 채광방식)

鑛船의 기능을 살펴보면 다음과 같다.

- i) 채광시스템, 즉 集鑛機시스템 및 引揚시스템의 조립, 이동, 운영, 감시 및 회수가능한 수단제공
- ii) 채광시스템에 동력공급
- iii) 전반적인 채광작업통제
- iv) 수송선으로 광석의 이송 및 통제
- v) 축척된 광석의 저장 및 비가동중인 채광시스템의 보관
- vi) 거주 시설, 창고 및 장비수리소 제공

採鑛船은 서어지(Surge: 전후방의 선형운동), 스웨이(Sway: 측면으로의 선형운동), 히이브(Heave: 상하로의 선형운동), 핏치(Pitch: 수평축 주위를 선수와 선미가 회전함), 롤(Roll: 현축주위를 좌우현이 회전함), 요(Yaw: 수직축 주위의 회전)등의 선박자체진동운동 및 부하로 부터 채광시스템을 보호하여야 한다. 히이브는 채광시스템을 상하로 움직이게 하고, 핏치와 롤은 引揚시스템에 角運動(Angular motion)을 유발시켜 굴곡효과를 가져오게 한다. 채광시스템의 상하운동을 최소화하기 위해서는 선박이 파동에 따라 움직이는 동안에 일정한 높이의 共有領域(Interface)을 유지시키기 위한 보상장치가 이용될 수 있으며, 또한 핏치효과를 감소시키기 위해서는 水平維持裝置(Gimbal)가 사용될 수 있다.

채광작업에 있어 集鑛機의 이동에 따른 集鑛機에 대한 採鑛船의 위치파악이 필요하며, 採鑛船의 위치를 측정하는 방법은 인공위성시스템을 이용하여 한, 두시간 간격으로 採鑛船의 위치를 측정하는 방법과, 해저에 설치된 음파위치측정기(Acoustic transponder)를 이용하여 음파에 의해 위치를 측정하는 방법과, 그리고 GPS(Global Positioning System)에 의한 3차원적인 위치측정방법등이 있다. 그러나 인공위성과 음파위치측정기를 이용한 방법은 망간團塊 채광작업에 이용하기에는 충분한 정확도를 가지지 못하고 그리고 단시간내에 측정기를 설치하여야만 하는 등의 단점이 있어 계선부표(Moored buoy)와 자동측정기를 결합한 형태의 선박위치측정기가 개발중에 있다. 이는 일단 선

박의 위치가 파악되면 컴퓨터 통제시스템이 선박의 항로에 대한 엔진보정을 하고 補助推進機(Thruster)를 자동적으로 작동시켜 선박의 항로를 보정하는 것이다.

採鑛船은 너무 많은 항해시간을 소비하지 않고도 채광가능지역 전체에 대하여 작업이 가능하여야 하고, 그리고 유리한 기상조건을 충분히 이용할 수 있는 기동성을 가져야 하며, 또한 나쁜 기상, 해상조건을 극복할 수 있어야 한다.

採鑛船은 深海底 鑛業활동을 위한 약 700톤 가량의 시스템을 설치, 작동할 수 있는 설비를 갖추어야 하고, 그리고 최소한 5일간 조업량인 45000톤을 수용저장할 수 있는 공간을 갖추고 있어야 하며, 한시간에 약 45000톤의 광석을 공기압식니장이송장치(Pneumatic slurry transport)또는 수압식 니장이송장치(Hydraulic slurry transport)를 이용하여 수송선에 이송할 수 있는 해상이송설비(Offshore loading facility)를 보유하여야 한다. 게다가 연 300일 그리고 하루 24시간 조업을 수행할 수 있어야 하며, 이에 따른 약 100여명 가량의 선원, 기술자 및 조업원들이 생활하고 조업할 수 있는 시설을 갖추어야 한다 (미래의 자동화 조업이 이루어질 때에는 약 50여명의 인원이 추정됨).

선박에 의한 採鑛船의 대안으로 반잠수식 플랫폼(Semi-submersible platform)을 고려할 수 있다. 이 시스템은 선박식 採鑛船보다 나쁜 해상 및 기상조건하의 조업에 있어 유리하며, 또한 년 조업시간이 10-20% 높아 년 300-330일 정도 조업이 가능하다(선박식 採鑛船은 년 270-300일 정도). 그러나 부동성이 낮고, 광석저장능력이 적으며 투자 및 운영비용이 많이 든다는 단점이 있다.

나. 수압식 데릭(Hydraulic derrick)

데릭은 채광시스템을 설치, 유지, 운영하기 위한 장치로써 약 길이 25m, 폭14m의 Moonpool위에 설치된다. 자동화 설비와 수직운동보강(Vertical motion compensation)으로 비추어 볼때 수압식 데릭(Hydraulically operated derrick)이 유리하며, 이는 1978년 OMI사의 深海底 鑛業試驗에서 선보인 바 있다. Moonpool위의 주조정구조물(Main handling structure)은 석유시추용 drilling rig와 유사하며, 여기서 Moonpool은 선박에 있어서 유동이 가장 적은 곳에 설치되어야 하고, Hook은 1000톤의 하중에 견딜 수 있어야 한다.

다. 引揚파이프(Pipe string)

수압식(Pumping lift) 또는 공기압식(Air lift) 引揚방식에서 團塊引揚은 團塊引揚과 採鑛船의 속도등을 고려한 적당한 지름의 파이프가 사용되는데 주로 해양석유시추에 사용되는 지름 400mm(16 inches)정도의 강파이프(Casing steel pipe)가 될것이다. 採鑛船에 부하되는 引揚파이프의 하중은 파이프벽의 두께(Wall thickness)를 조절하면서 조정할 수 있으며, 引揚파이프의 상단은 1/2 inch의 두께로 그리고 하단으로 내려가면서 서서히 두께를 감소시켜 하단부분에서는 3/8 inch가 되도록 하는 것이 적당하다. 파이프 1개의 단위길이는 약 30 feet(10.4m)가 좋으며, 파이프의 연결부는 분해, 결합이 용이하여야 한다. 引揚파이프는 또한 25KNm(Kilo Newton meter)정도의 토크(Torque)를 지녀야 하고, 이 토크는 50bar정도의 내외부 압력차를 충분히 견디어야 한다. 강파이프의 무게는 700-800톤 정도가 되며, 그리고 강파이프는 바닷물의 염화작용으로 인하여 부식되므로 수명이 길지 않다. 만약 부식방지(Anti-corrosion)방식을 적용한다면 2년정도의 수명을 유지할 수 있을 것이다. 강파이프의 대체품으로는 섬유질 플라스틱파이프(Fiber reinforced

plastic pipe)와 합성파이프(Composite pipe)가 현재 개발중에 있으며, 플라스틱파이프는 강파이프 무게의 1/4정도이고 바닷물에서 가라앉지도 뜨지도 않는 반부상(Neutral) 상태를 유지하며 또한 부식문제가 없다는 장점이 있다.

團塊引揚시 引揚파이프에는 採鑛船의 유동에 따른 여러가지힘이 작용하며, 또한 수중견인시 引揚파이프에는 抗力(Drag)이 발생하고 引揚파이프의 측면으로 부터는 소용돌이가 생겨 적정수준이상의 파이프진동을 유발시킨다. 이러한 항력을 최소화시키기 위하여 여러가지 방법을 사용할 수 있는데, 예를 들면 파이프 조립시 고강도의 철강을 사용하여 항력에 견딜 수 있게 하는 방법과, 採鑛船의 속도를 1-3노트정도로 그리고 引揚파이프의 직경을 30-75mm 정도의 적정수준으로 하여 항력을 제한하는 방법과, 또는 分割機版(Splitter plate)이나 페어링(Fairing)을 이용하여 소용돌이를 억제하는 방법등이 있다. 그리고 引揚파이프를 통한 니장의 수직흐름이 갑자기 중단되고 딱딱한 물질이 파이프입구에 쌓이기 시작하는 경우에는 파이프가 막히지 않도록 적당한 위치에 밸브를 설치할 수 있다.

라. 引揚시스템(Lift system)

引揚시스템은 集鑛機에 의해 채광된 團塊를 引揚파이프를 통해 採鑛船까지 引揚하는 것을 말하며 수압식 引揚시스템(Hydraulic pump lift system)과 공기압식 引揚시스템(Air lift system)으로 크게 나눌수 있다. 전반적인 引揚시스템의 기능을 열거하면 다음과 같다.

- i) 集鑛機에서 보내어진 해수와 團塊의 혼합물인 니장(Slurry)을 펌프질 또는 흡입하는 기능.
- ii) 引揚파이프내에서 니장의 흐름을 조정하는 기능
- iii) 니장의 수송관로로써의 기능
- iv) 集鑛機에 기계적 연결장치를 제공하는 기능
- v) 集鑛機가 견인되는 경우 集鑛機에 추진력을 제공하는 기능

vi)集鑛機에 통신연계기능

vii)採鑛船의 진동과 수주(Water column)를 통한 이동으로 야기되는 힘에 견디어 내는 기능

viii)해저면 지형변화로 인하여 集鑛機로 부터 전달되는 힘에 견디어 내는 기능

ix)니장흐름이 예기치 않게 중단되었을때, 파이프안이 막히지 않게 하는 기능

x)引揚시스템에 부착된 장비 및 계기와 함께 자체중량을 지탱하는 기능

(1) 수압식 引揚시스템(Hydraulic pump lift system)

수압식 引揚시스템에서 망간團塊는 해수와 혼합되어 니장을 형성하고, 그 니장은 引揚파이프를 따라 수심 여러곳에 일렬로 설치된 수압식 펌프에 의해 採鑛船으로 引揚된다. 이 시스템은 약 20-25% 정도의 團塊引揚밀도 (Transport concentration)를 가지며 일반적으로 4개의 수압식 펌프가 수심 약 1000m(수압 120 bar)마다 引揚파이프위에 설치된다. 전원공급은 引揚파이프에 부착된 3단계 power cable에 의해 이루어진다.

펌프의 기능은 파이프내에서의 니장과 기타 침전물의 혼합물 흐름에 있어서의 손실양(Spillage)과 그리고 고체입자간의 또는 고체입자와 파이프내벽사이에서 발생하는 마찰등의 요소를 고려하여야 한다. 그리하여 파이프내에서 발생할 수 있는 요소들과 그리고 해저면에서 해수면까지 團塊를 引揚하기 위해 필요한 충분한 동력을 고려하여 파이프 압력경사도(Gradient)와 펌프 동력소요량을 결정한다. 이와 같은 요소들을 고려하고 많은 실험을 거친 결과 6-8 단계의 Radial-axial-turbo pump가 가장 적합한 것으로 판명되었다.

수압식 引揚시스템과 다음에 설명될 공기압식 引揚시스템을 비교하여 볼 때 수압식 引揚시스템(수중에서의 총 引揚파이프의 무게 600톤)은 공기압식 (1700톤)보다 훨씬 가볍고 그리고 團塊引揚밀도(Transport concentration)도

높은 장점이 있다.

(2) 공기압식 인양시스템(Air lift system)

공기압식 인양시스템은 수압식 인양시스템의 대안으로써 수압식 인양시스템이 수중의 인양파이프 여러곳에 펌프를 설치하여 團塊를 인양하는 것 처럼, 공기압식 인양시스템은 수중의 인양파이프 여러곳에 선상의 공기압축기로 부터 생성된 압축된 공기를 주입시켜 공기와 니장의 혼합물이 파이프내에서 밀도차를 발생시키고 유체역학적 수두(Hydrostatic head)에 의해 혼합물을 위로 이동시킨다. 이러한 상향이동이 파이프 최하단부에서 흡입의 원인이 되고 해저면의 망간團塊를 위로 빨아올리게 된다.

선상에서 생성된 압축공기는 호스나 파이프를 통하여 공기압주입구(Injection point)로 운반되며 공기압주입구는 수심 1700-2000m정도에 위치한다. 공기압 운반에 있어서 호스는 파이프보다 용이하게 설치할 수 있다는 장점은 있으나 손상의 우려가 높다는 단점이 있다. 선상에서 압축공기를 생성하기 위해서는 피스톤 압축기 또는 turbo 압축기가 사용되는데, 피스톤 압축기는 약 2000시간 정도의 지속적인 내구성과 기계적인 고장의 우려가 높은 반면에 turbo식 압축기는 약10000시간 정도의 지속적인 내구성과 높은 압력(250 bar)를 생성시킬 수 있어 공기압식 인양시스템으로 적당하다. Turbo 압축기의 10000시간정도의 내구성은 약 1년이상의 지속적인 조업을 가능케 하는 것으로 이는 상업적 深海底 鑛業의 300일/년의 조건을 만족시킨다.

공기압식 인양시스템은 모든 동력장치의 조작이 선상에서 이루어진다는 점과 團塊인양시 파이프내에서 막히는 위험이 수압식 인양시스템보다 적다는 장점은 있으나, 에너지가 수압식 인양시스템보다 50-100%정도 더 들어 비경제적이고, 團塊인양밀도가 약 10%정도로 수압식의 1/2정도 밖에 되지 않아 효율성이 낮으며, 그리고 수압식보다 무게가 많이 나가 hook load(2000톤 정도)가 많이 걸린다는 점등을 고려하여 볼때, 수압식 보다 단점이 많아 보다

나은 시스템 개발연구의 필요성이 있다.

라. 중간조정기(Buffer)

중간조정기는 길이 20m와 지름 2m정도의 가늘고 긴 병모양을 하고 있으며, 강판으로 결합된 약 20톤정도의 장치로 인양파이프 하단부에 즉 해저면으로부터 약 100m정도에 위치하고 있다. 중간조정기의 주요기능을 살펴보면 다음과 같다.

- i) 集鑛機와 인양파이프 사이의 團塊이동흐름을 분리,조정하는 기능
- ii) 약 60여톤 정도의 망간團塊의 중간저장기능
- iii) 약 50여톤정도의 자중(Dead weight)을 인양파이프 최하단에 제공하여 인양 파이프의 수직을 유지하는 기능
- iv) 集鑛機에서 이동된 團塊중 지름 50-100mm이상의 團塊를 지름 10mm 이하의 미립자로 분쇄하는 기능
- v) 集鑛機에 배전(Power distribution), 자료전달(Data transfer)등의 기능

마. 유연파이프 또는 호스(Flexible pipe or hose)

유연파이프(또는 호스)는 集鑛機와 중간조정기 사이를 연결하며 다음과 같은 기능을 가진다.

- i) 集鑛機로 부터 채취된 團塊를 중간조정기로 전달하는 기능
- ii) 자주식 集鑛機의 고장시 集鑛機를 견인하는 기능
- iii) 集鑛機를 해저면에 내리고 회수하는 기능
- iv) 集鑛機에 data와 전원을 전달하는 기능

유연파이프의 길이는 해저면의 높낮음에 대비하여 적어도 200m는 되어야 한다. 유연파이프로는 유연강파이프(Flexible steel pipe)가 사용될 수 있고,

이는 공동강(Hollow steel)등과 같은 부력재질(Buoyancy material)을 사용하여 반부상상태(Neutral buoyancy)를 유지하여야 한다. 대용품으로는 반부상 고무호스(Neutrally buoyant rubber hose)가 사용될 수 있는데, 이는 集鑛機의 축하중을 견디기 위하여 kevlar 또는 aramid fiber의 보강이 필요하며 현재 深海底 鑛業에 사용할 수 있는 고성능호스가 개발되고 있다.

바. 集鑛機(Collector)시스템

集鑛機시스템은 深海底 鑛業에 있어 가장 독특하고 중요한 시스템으로 현재까지 다양한 형태의 集鑛機시스템이 연구,개발 되고 있다. 集鑛機시스템은 근본적으로 해저면에서 망간團塊를 채취하여 수직引揚시스템으로 보내는 역할을 하며 다음과 같은 기능을 수행한다.

i)해저면의 퇴적물로 부터 망간團塊를 분리,채취하는기능

ii)채취된 團塊 처리기능

- 퇴적물 세척
- 團塊의 농축
- 團塊의 引揚시스템으로 주입

iii)해저면에서의 이동

iv)集鑛機의 운영감시 및 위치 통지

集鑛機는 해저면 퇴적물의 구조, 전단응력 및 강도를 고려하여 설계되어야 하며 해저면의 장애물이나 경사에도 대처할 수 있어야 한다. 集鑛機시스템내의 감지장치는 集鑛機시스템의 가동상태를 나타내고 團塊의 채취 및 引揚시스템으로의 유입비율을 측정하며, 集鑛機 전, 측면 지형에 관한 자료를 제공하고, 集鑛機 주위의 물리,화학적인 변수인 압력, 수심, 고도, 온도, 밀도, 탁도, 염분도 및 전진속도등을 측정하며, 그리고 採鑛船에 集鑛機의 궤적과 위치를 통지한다.

위와 같은 기능을 수행하기 위한 集鑛機시스템은 크게 두가지로 분류되고 있는데, 그 중 하나는 견인식(Towed) 集鑛機시스템이고 다른 하나는 자주식

(Self-propelled) 集鑛機시스템이다.

(1) 牽引式(Towed) 集鑛機시스템

견인식 集鑛機시스템은 썰매형태의 集鑛機시스템으로 1978년과 1979년의 OMI사와 OMA사의 첫 深海底 채광시험에서 처음으로 도입되었다. 이 시스템은 해저면에서의 團塊채취에 있어 일정한 전진속도를 유지할 수 없고 集鑛機의 수평, 수직 이동이 용이치 않아 해저면에서 아무렇게나 움직이는 결과를 초래하므로, 團塊채취에 있어 일정한 통제가 불가능하여 비효율적이다. 그리고 해저면을 광범위하게 교란시키므로 海洋環境 보존차원에 있어서도 적합하지 않은 것으로 알려져 현재 개발을 중단해 오고 있는 실정이다. 그러나 일본에서는 아직 이 시스템을 연구,개발하고 있으며, 1996년 일본의 深海底 鑛業技術 개발·시험 완료시에 효율적이고 海洋環境 보존차원에서 우수한 시스템이 개발될지는 미지수로 남아있다.

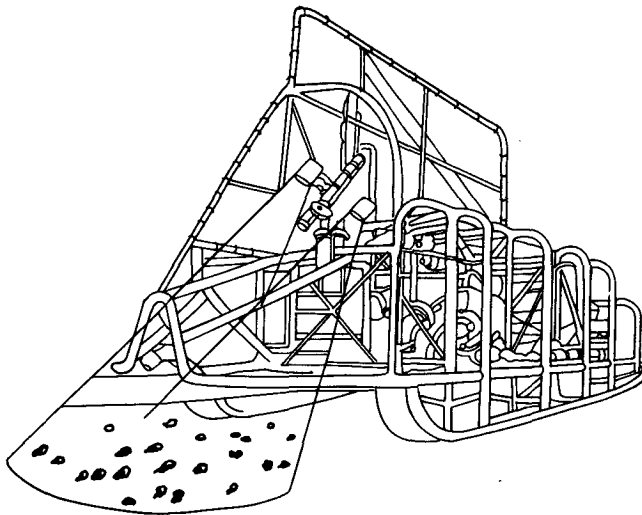


그림4-3 인양식 채광방식의 견인식 집광기

(2) 自走式(Self-propelled) 集鑛機시스템

이 시스템은 1970년대 후반 Lockheed사의 深海底 채광실험에서 사용되었으며, 추진장치(Propulsion element)로 Archimedean screw를 이용하여 引揚파이프와의 연

결한계내에서 해저면 모든 방향을 따라 이동할 수 있게 설계되었다. 이 시스템은 작동상에 있어서는 견인식보다 우수한 점이 있었으나 해저면을 파뒤집어 교란시킨다는 점에 있어서는 견인식과 별 차이가 없다. 그리고 Archimedean screw작동시 에너지가 많이 소요된다는 단점이 또한 있다.

1980년대에는 Snowmobil을 모형으로한 가벼운 무게의 Caterpillar chain을 부착한 자주식 集鑛機(Caterpillar crawler)가 개발되었다. Archimedean 集鑛機와 Caterpillar 集鑛機 모두 부드러운 해저면에서의 작업에 있어 우수한 것으로 알려져 있으나, Caterpillar 集鑛機를 Archimedean 集鑛機와 비교해 볼 때 다음과 같은 우수한 점들이 있다. 첫째, Caterpillar 集鑛機는 Archimedean 集鑛機보다 해저면을 깊이 파 뒤집지 않으므로 해저면을 덜 손상시키고 海洋環境 보존차원에서 유리하다. 둘째, 최대 견인력이 Archimedean 集鑛機 보다 높다. 셋째, Caterpillar 集鑛機는 가파른 경사에서도 작업이 가능하며 장애물에 대처하는데 있어 Archimedean 集鑛機보다 우수하다. 이러한 장점들로 미루어 볼 때 집광식 시스템으로는 Caterpillar 集鑛機시스템의 채택이 가장 유력시 되며 또한 보다 우수한 시스템을 위한 연구,개발이 활발히 진행 되고 있다.

자주식 集鑛機시스템에서 채취시스템은 해저면으로 부터 망간團塊를 채취하여 團塊와 퇴적물을 분리한 다음 퇴적물은 밖으로 배출하고 團塊는 잘게 부수어 유연호스나 파이프를 통하여 중간조정기로 전달하는 시스템이다. 이러한 채취원리는 채취시스템의 종류에 따라 기술적인 원리와 기능이 다르며 기계식 채취시스템, 수압식 채취시스템, 그리고 혼합식 채취시스템의 3가지로 분류할 수 있다.

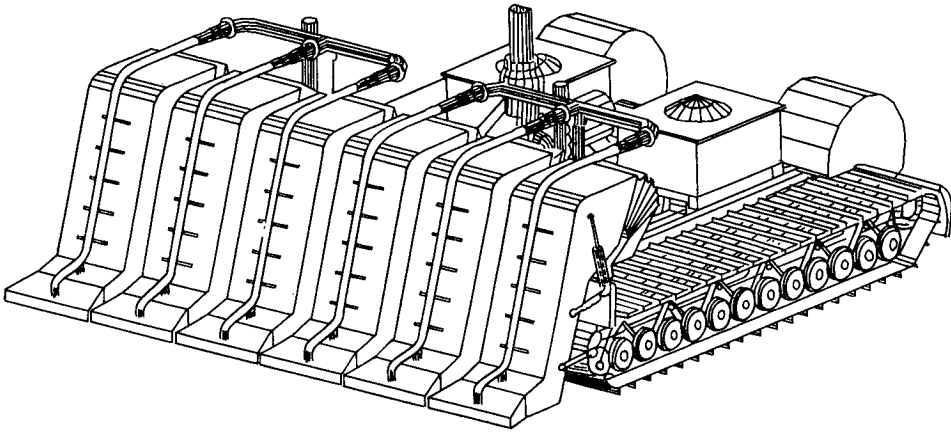


그림4-4 인양식 채광방식의 자주식 집광기

(가) 機械式 채취시스템(Mechanical pick-up system)

기계식 채취시스템은 감자수확기 형태로 콘베이어 벨트위에 격자모양의 판(Grid)을 이용하여 해저면의 團塊를 끌어올려 콘베이어 벨트를 통하여 Hopper로 이송한 다음 團塊를 잘게 부수는 시스템으로써, 團塊에 붙어있는 퇴적물은 콘베이어 벨트를 통해 Hopper로 이송될 때 분리된다. 기계식 채취시스템은 團塊가 채취되어 콘베이어 벨트로 옮겨지는 과정에서 막힘이 발생할 여지가 많고, 채취시 해저면에서의 채취깊이(Cutting depth)가 깊기 때문에 많은 양의 벤토나이트가 Hopper로 이송되는 단점이 있다. 그러므로 이 시스템은 채취깊이가 너무 깊으면 상당히 비효율적이다. 이러한 문제를 줄이기 위해 채취깊이를 거의 없애고 대신 團塊의 끌어올림만을 위한 갈구리모양의 보조기계장치가 부착된 시스템이 개발되었으나, 이는 團塊를 해저면에 더욱 밀어넣고 채취구역에서 wake flow를 발생시키는 등 채취율이 상당히 저하되는

것으로 나타났다. 벨트나 고정된 드럼(Drum)에 버킷이 달린 그리고 보조장치가 있는 기계식 채취시스템 또한 개발되었으나, 이것은 團塊채취율이 낮고 또한 빠른 전진속도(0.5m/sec 이상)에서 채취된 團塊가 계속 버킷속에 남아있어 Hopper로 전달되지 않는 단점이 있다.

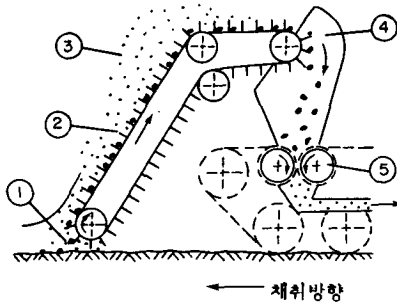
(나) 水壓式 채취시스템(Hydraulic pick-up system)

수압식 채취시스템은 진공청소기의 원리를 이용하여 흡입구주위에 고속의 유체흐름을 발생시켜 團塊를 퇴적물로 부터 이완시킨 다음 흡입하는 방식으로 써, 해저면과 흡입구 사이의 간격변화에 상당히 민감하다. 이러한 민감성(Sensitivity)을 줄이기 위해서 團塊를 흡입구 주위로 끌어올리는 보조기구가 사용될 수 있다.

(다) 混合式 채취시스템(Hybrid pick-up system)

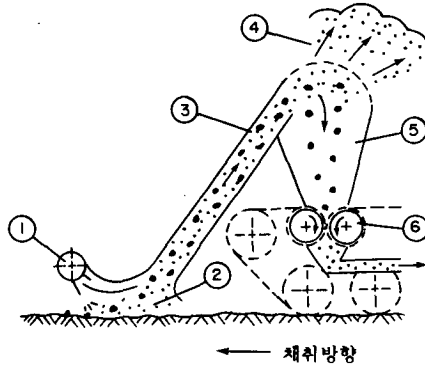
이 시스템은 기계식과 수압식 채취시스템을 결합한 방식으로, 해저면의 團塊를 이완시키고 끌어올림에 있어서는 제트흐름을 이용한 수압식 시스템이 사용되고 끌어올려진 團塊를 Hopper로 이송하는데 있어서는 기계식 시스템이 사용된다. 이 시스템은 團塊로부터의 퇴적물의 분리에 있어 우수하며 또한 團塊채취시 해저면을 교란시키지 않아 해양생태계보존이나 海洋環境보존의 측면에서 가장 뛰어난 것으로 알려져 있다. 그러나 團塊채취에 있어 흡입된 團塊의 10%정도만이 기계식 이송장치까지 도달하므로 나머지 團塊채취를 위하여는 기계식 이송장치까지 團塊를 끌어올릴 수 있는 적절한 보조장치가 요구된다. 이 보조장치로 보조 jet흐름을 이용한 결과, 시스템이 전진속도 0.25-0.75m/sec와 퇴적물의 전단응력 3-4KPa 와 높이 변화(해저면과 흡입구 사이의 간격) 25cm에서 만족할 만한 團塊 채취율을 보였다.

이상과 같은 시스템들에서 사용되는 團塊분쇄장치는 團塊의 크기를 줄여



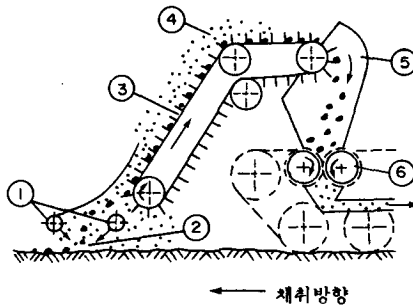
1. 단괴채취
2. 기계식 단괴 이송
3. 퇴적물 분리
4. Hopper
5. 단괴 분쇄기

그림4-5 기계식 채취시스템



1. Jet 흐름 장치
2. 단괴흡입채취
3. 수압식 단괴이송
4. 퇴적물 분리
5. Hopper
6. 단괴 분쇄기

그림4-6 수압식 채취시스템



1. Jet 흐름장치
2. 단괴채취
3. 기계식 단괴이송
4. 퇴적물 분리
5. Hopper
6. 단괴 분쇄기

그림4-7 혼합식 채취시스템

引揚작업을 원활하게 하고 移送密度(Transport concentration)를 향상시키는 장점은 있으나, 해저면의 수저생물류를 흡입, 파괴하므로 먹이사슬을 붕괴시키는 결과를 초래할 수 있다. 그리고 團塊를 유연파이프를 통하여 중간조정기로 이송하기 위해서는 펌프가 集鑛機시스템 또는 중간조정기에 설치되어야 하는데, 이 펌프는 集鑛機시스템 보다는 중간조정기에 설치되는 것이 기술적인 측면에서 그리고 海洋環境 보존측면에서 유리한 것으로 알려지고 있다. 團塊에 붙은 퇴적물을 마지막으로 분리하는 단계는 중간조정기에서 행하여지며, 이때 團塊와 같이 운반된 해양생물이 다시 수중으로 돌아가는 정도는 아주 낮으며 그리고 퇴적물의 분리, 유출은 다시 한번 수중을 혼탁하게 만든다.

(3) 未來 集鑛機시스템

앞에 전술한 바와 같이 集鑛機시스템은 深海底 鑛業에 있어 기술적, 경제적, 환경적인 측면에서 고려해 볼 때 深海底 鑛業技術 측면에서도 가장 중요한 부분을 차지하고 있으며, 다음과 같은 4가지 유형의 集鑛機시스템이 미래 深海底 鑛業에 있어 채택될 가능성이 높은 것으로 추정된다.

- i) Coanda nozzle을 이용한 썰매 형태의 견인식 集鑛機시스템
- ii) Archimedean screw와 기계식 채취방법을 이용한 자주식 集鑛機 시스템
- iii) Caterpillar와 기계식 채취방법을 이용한 자주식 集鑛機시스템
- iv) Caterpillar와 혼합식 채취방법을 이용한 자주식 集鑛機시스템

이 4가지 유형중에서도 Caterpillar를 이용한 기계식 또는 혼합식 채취방법이 미래 深海底 鑛業에 있어 경제적이고, 海洋環境 보존측면에 있어서도 가장 적합한 것으로 알려져 있다.

이러한 集鑛機시스템의 무게는 수중에서 약 25톤(공기중에서 약 30톤)가량 될 것이며, 團塊 채취기는 集鑛機 앞부분에 위치하고 그 폭은 集鑛機 폭 (11.5m)보다 조금 더 넓은 약 6개의 채취장치로 구성된 약 12m정도가 될 것

이다. 그리고 2개의 Caterpillar가 集鑛機의 해저면에서의 이동을 위해 설치될 것이며 그 길이와 폭은 각 10m와 4m정도 될 것이다. 또한 團塊와 함께 채취된 퇴적물의 확산을 최소화하기 위한 장치가 설치될 것이며, 團塊 채취시 해저면의 지형 및 해저 온도와 압력등을 관찰하고 集鑛機의 채취상태와 위치 및 속도등을 측정하며 採鑛船과 集鑛機사이에 자료 송수신을 위한 감지장치가 集鑛機에 갖추어지게 될 것이다.

Caterpillar 자주식 集鑛機의 대안으로써 가벼운 무게의 섬유질 플라스틱(Fiber reinforced plastic) Caterpillar 자주식 集鑛機시스템이 제시되고 있는데, 이는 현재의 자주식 集鑛機 보다 團塊채취시 해저면을 덜 교란시키므로 海洋環境 보존측면에서 유리할 뿐만 아니라 부식되지 않는 장점이 있다.

2. CLB(Continuous Line Bucket) 採鑛方式

CLB(Continuous Line Bucket) 채광방식은 1970년대 초기에 프랑스, 일본, 미국등의 몇몇 산업체에 의해 개발되었다. 이 시스템은 선상과 해저면 사이의 깊이에 달하는 2개의 로프에 다수의 채광 및 수직운반용 버킷을 일정한 간격으로 배치하여 로프의 계속적인 순환작동으로 망간團塊를 연속적으로 채취하는 방법이다.

CLB 채광방식은 1척의 採鑛船을 이용하여 선박의 선미로부터 내려진 빈 버킷이 해저면의 망간團塊를 채취하여 선수에서 引揚되는 형태로, 로우프의 궤적곡선(하강부분, 대기부분, 준설부분 및 상승부분)은 로프의 길이와 선박의 속도에 의해 좌우된다. 로프의 길이와 선박의 속도를 적당히 조정하여 그리고 유체역학적 편향기(Hydrodynamic deflector)를 사용하여 꼬임(Entanglement)을 방지할 수 있으나, 해저면에서의 장애물, 해저조류, 악천후등으로 인하여 團塊채취에 있어 여러가지 장애를 받는다. 이러한 단점을 보완하고 그리고 가동유연성을 향상시키기 위해 2척의 採鑛船을 이용한 2-선박시스템이 고안되었다. 이 시스템은 한 선박으로부터 빈 버킷을 해저면으로 하강시켜 團

塊를 채취한 후 다른 선박에서 引揚하는 형태로, 버켓을 引揚하는 선박은 버켓을 하강시키는 선박의 앞쪽 또는 뒤쪽에 위치할 수 있으며 로프의 궤적곡선은 두선박의 속도와 상대적 위치에 의해 결정된다.

이상과 같은 CLB 채광방식은 저가격으로 시스템을 개발할 수 있는 장점과 바다 수심이 얕고 소규모의 兩塊채취에 유리한 점은 있으나, 로프와 bucket 이 꼬이기 쉬고, 채수율이 낮으며, 해저면의 장애물과 해저조류등에 대한 조정이 어려우며, 그리고 불규칙한 방법으로 해저면을 깊게 손상시키기 때문에 海洋環境과 생태계에 큰 영향을 미치는 단점이 있어 많은 深海底 鑛業 開發業體들이 이에 대한 개발을 중단하고 引揚式 채광방법을 채택하고 있다.

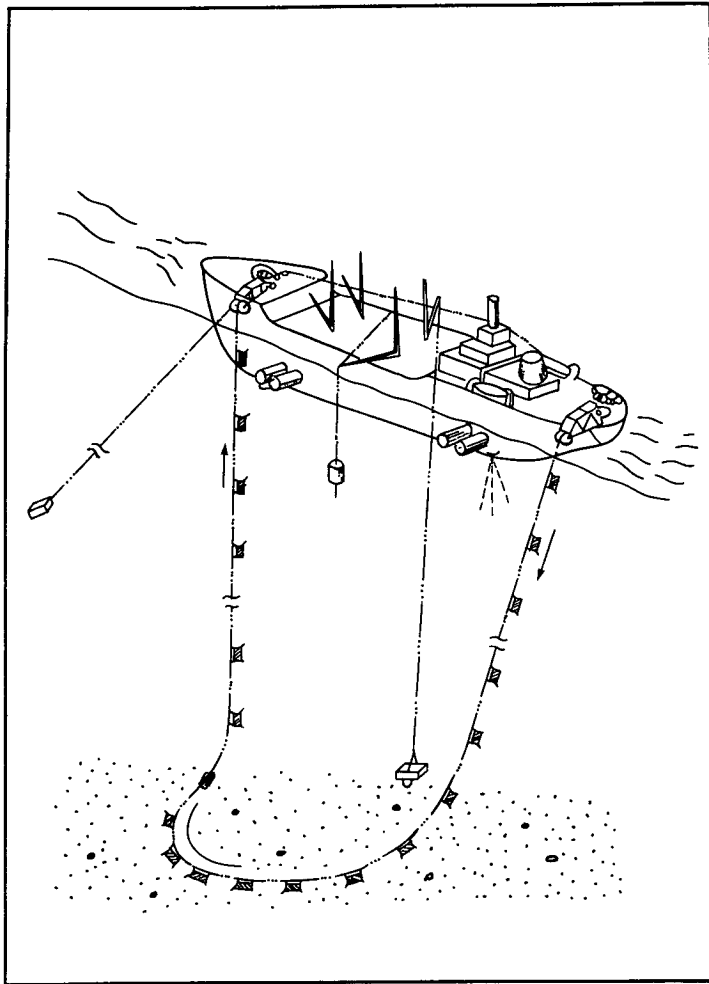


그림4-8 CLB 채광 방식

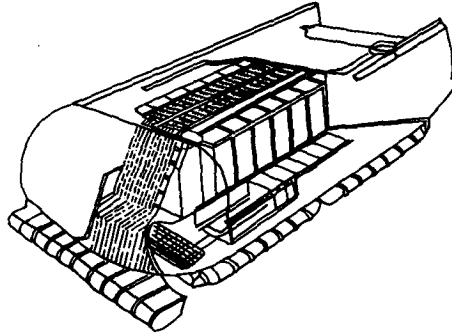


그림4-9 자율 운행 셔틀 시스템

3. 自律 運行 셔틀 시스템(Free Oprating Shuttle)

이 시스템은 1970년과 1980년대 초반에 걸쳐 프랑스 기술진에 의해 고안, 개발된 것으로, 引揚파이프 시스템이 연결되지 않은 集鑛機시스템이 원격조정 장치에 의해 探鑛船으로 부터 海底면으로 잠수하여 망간團塊를 채취한 다음 되돌아 오는 채광방법이다.

그러나 이 채광방법은 운행상에 있어 비용이 아주 많이 들 뿐만 아니라 몇 차례 셔틀의 운행에 의한 團塊채취량이 대량생산을 만족시킬 수 없다는 단점이 있고, 그리고 아직 이 시스템에 대한 海洋環境 보존측면에서의 평가가 명백하게 나타나 있지 않으며, 운행상에 있어 사고발생여지가 자주식 시스템보다 높다.

第 3 節 移送技術 및 輸送·補給시스템

1. 鑛石의 貯藏 및 移送技術

채취된 망간團塊가 광석수송선을 통하여 육지의 제련소로 수송되기까지는 망간團塊의 採鑛船에서의 중간저장이 필요하며 최소 5일 작업량(40000-45000톤)에서 최대 10일 작업량(80000-90000톤)을 저장하기 위한 저장시설이 필요하다. 이러한 採鑛船에서의 저장용량은 광석수송선의 수송량과 속도와 그리고 운행주기에 따라서 달라질 수 있으며, 수송선의 운행주기는 深海底 광구위치와 육지의 항구사이의 거리에 따라 달라진다.

광석의 수송비용을 절감하기 위하여 해수면에서 직접 광석을 제련하여 농축된 광물만을 육지로 운송하는 해상제련방법이 제시되고 있으나, 이는 아직 연구개발중에 있으며 현 시점으로서는 실행가능성이 적다.

引揚파이프를 통하여 引揚된 團塊 니장은 원뿔형의 탱크(Conical tank)를 통하여 회전분리기(Rotating drum separator)로 들어가게 되고 여기서 Screen에 의해 silt water가 걸러진다. Silt water가 걸러진 團塊는 펌프에 의해 광석저장소에 저장되며 자연적인 배수가 중력에 의해 이루어진다. 만약, 저장된 광석이 바닷물과 퇴적물등의 혼합된 형태로 광석수송선으로 이송된다면 광석의 건조과정은 필요치 않을 것이다. 採鑛船에서 수송선으로의 團塊 이송에 있어서는 수압식 또는 기계식 이송장치가 개발되어 있으며 현재로써는 수압식 이송장치가 적합한 것으로 알려져 있다.

採鑛船에서 수송선으로 광석을 이송하는 방법에는 여러가지 형태가 있으며 다음과 같이 분류될 수 있다.

표 4-1. 선박의 배치형태에 따른 광석이송방식

광석이송에 있어서 채광선과 수송선의 배치 형태	이 송 방 식		
	니 장 식	압축 공기식	컨베이어식
채광선이 수송선을 견인하는 형태	○	—	—
수송선이 채광선을 견인하는 형태	○	—	—
평행식 형태	○	○	○

‘○’는 각 배치형태에 대한 가장 적합한 이송방식을 나타냄.

표 4-1 에서 나타나 있는 바와 같이 평행식 형태는 모든 광석이송방식을 폭넓게 선택할 수 있는 반면에, 견인식 형태는 니장이송방식에만 거의 국한되어 있는 것을 알 수 있다. 이송방식의 선택은 牽引式(Towing mode) 또는 平行式(Alongside mode)의 상대적 장단점에 의해 결정되며, 후자는 전자보다 비용은 더 많이 들지만 이송형태에 있어서 원활하다는 장점이 있다.

가. 牽引式 (Towing mode)

견인식 형태에 있어서 니장이송방식은 團塊가 니장형태로 수송선에 도달한다는 점에서 유리하다. 니장이송방식을 적용함에 있어서는 각 수송선마다 배수장치를 설치하여야 하며, 니장호스의 동역학적인 요소와 신뢰도가 이 방식 설계상에 있어 고려하여야 할 주요사항이다. 만약 압축공기 또는 컨베이어 이송방식을 사용할 경우에는 採鑛船에 건조장비를 갖추어야 한다. 견인식 형태는 또한 500m정도의 호스가 충분한 부력을 가지고 수면상에 유지될 수 있어야 하며, 호스는 견인 로프에 부착될 수 있다. 또한 이 형태에 있어서 채광작업이 계속되는 동안 採鑛船과 수송선사이의 위치조정이 중요하므로, 採鑛船의 위치를 유지함에 있어서 수송선의 움직임에 의한 영향을 최소화하기 위하여

수송선에 보조추진장치가 설치되어야 한다.

나. 平行式 (Alongside mode)

이 형태는 니장이송방식에 있어 가장 적합할 뿐만 아니라 압축공기방식이나 컨베이어방식에 있어서도 가장 적합한 형태이다. 평행식 형태에 있어 주요 점은 採鑛船과 수송선사이의 위치선정이며 두 선박사이의 위치 유지를 위하여 다음과 같은 방법이 적용될 수 있다.

i) 밀접한 거리에서의 採鑛船과 수송선의 독립적인 위치유지방법

ii) 피벗 조인트(Pivot joint)를 사용한 採鑛船과 수송선의 단단한 구조적인 연결 방법

iii) 밧줄등을 이용하여 採鑛船과 수송선을 묶은 방법

첫째 방법에 있어서 가장 큰 문제는 광석이송중 두 선박간의 충돌가능성이며 이를 방지하기 위해서는 두 선박사이에 적어도 300m 이상의 거리가 유지되어야 한다. 일정한 거리유지를 위하여 각 수송선마다 보조추진장치가 설치되어야 하고 또한 채 광선에 대한 수송선의 위치조정을 위하여 수송선에 컴퓨터시설이 갖추어져야 한다. 이 형태에 맞는 광석이송방식은 호스를 통한 압축공기방식 또는 니장이송방식이 적절하며, 그중 압축공기방식은 採鑛船에 건조장비를 설치해야 한다는 경제적인 문제가 있으나 평행식 형태에 있어서는 가장 적합한 이송방식으로 알려져 있다. 두번째 방법에 있어서는 sway, surge, yaw 같은 일부 船舶運動은 배제할 수 있으나, heave, roll 과 pitch와 같은 선박운동은 배제할 수 없다. 그리고 이 방법은 rolling등에 의해 선박사이의 연결구조에 발생하는 힘을 감쇄하고 구조적 연결장치를 보완하기 위한 장치가 필요하다. 셋째 방법은 두 선박을 밀접하게 유지시켜 이송방식 선택의 폭을 다양하게 해 주지만 상호연결상에 있어 많은 기술적인 어려움이 뒤따른다.

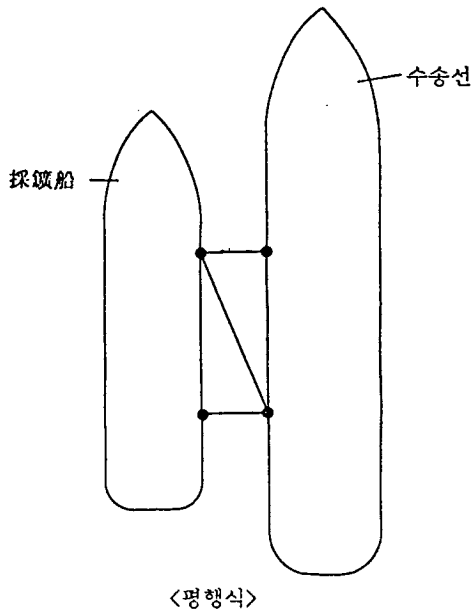
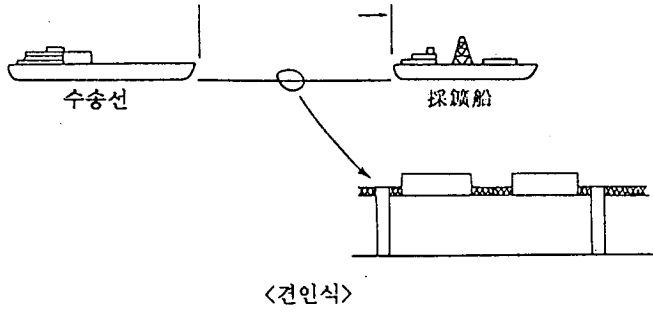


그림4-10 견인식·평행식 단괴이송방식

해상에서의 광석이송에 있어서는 여러가지 방식에 대한 설계개발이나 기술요건과 그리고 비용등을 잘 고려하여야 한다. 또한 많은 양의 광석이 이송되고, 연료, 부품등을 계속 공급받아야 하며, 그리고 어떠한 기상하에서도 작업이 수행되어야 하고, 수송선의 움직임이 채광작업에 방해되지 않아야 한다는 점등에서 많은 문제가 발생할 수 있다. 그리고 이송간이나 작업상 또는 기술상의 문제로 인하여 발생하는 광석 유출이나 사고등에 대한 위험 또한 배제할 수 없다.

2. 輸送·補給시스템

일반적으로 採鑛船은 5일 채광작업양(40000톤)을 저장할 수 있으며 이를 수송하기 위해서는 일주일에 한번 주기의 수송작업이 필요하다. 만약 두척의 採鑛船에 대한 수송작업이 2주일 주기로 행하여 진다면 최소한 4척의 수송선이 필요로 한다. 그러나 수송작업상에 있어 중복되는 경우를 고려하여 5척의 수송선이 필요로 할 것이며 각 수송선은 45000톤의 저장용량을 갖추어야 할 것이다. 수송선 운행횟수는 採鑛船과 수송선의 저장용량과 수송선의 속도에 의해 달라지며, 보다 빠른 수송선의 속도는 수송주기를 줄일 수 있다.

신속한 장비, 연료, 부품 및 물자 공급과 작업반 교대는 보다 효율적인 채광작업 수행을 위해 필수적이며, 이러한 보급체계는 深海底鑛區에서 가까운 위치에 육상기지를 정하여 이루어져야 할 것이다. 이러한 육상기지로 연료, 중장비, 기계등의 보급을 위한 캐나다의 프린스 러프트(Prince Rupert)와 식품, 특수장비, 그리고 작업반 교체등을 위한 하와이의 힐로(Hilo)가 제시되고 있다.

第 4 節 採鑛殘留物 處理技術

망간團塊 채광시 많은 양의 해저면 퇴적물과 부식된 團塊조각과 해저면생물등이 團塊와 함께 引揚되며(채취團塊의 약 3%정도가 이상적임), 이러한 채광잔류물의 해양배출은 海洋環境汚染의 직접적인 원인이 될 수 있다. 그러므로 深海底 鑛業에 있어서 채광잔류물 처리는 海洋環境保存의 측면에서 특별한 주의를 필요로 하며 다음과 같은 4가지 방법이 적용될 수 있다.

- i) 해수면으로의 배출
- ii) 수중파이프를 통한 수중으로의 배출
- iii) 集鑛機나 중간조정기로의 재순환

iv)고밀도(Higher density)해수와의 혼합배출

1. 해수면으로의 배출

이 방법은 採鑛船으로 부터 채광잔류물을 해수면으로 직접 배출하는 방법으로 1978년과 1979년 深海底 채광실험에서 이미 시도된 바가 있으며, 잔류물 배출에 있어 가장 간편할 뿐만 아니라 기술적으로 간단하고 비용 효율성에 있어서도 경제적이다. 단기적이고 작은 규모의 잔류물 확산실험에 의하면 이 방법은 해양에서 잔류물이 회석되는 과정에 있어 해수면이나 수중 그리고 해저면에 거의 악영향을 미치지 않으며, 또한 해수면으로 배출된 잔류물은 pycnocline에 의해 회석이 더욱 촉진된다고 알려져 있다. 그리고 확산된 잔류물은 인공위성이나 기타 관측기기로 관찰할 수 있어 적절한 통제를 가할 수 있다. 그러나 아직까지 장기적 이고(최소 1년) 큰규모의 잔류물 확산실험이 행하여 진바 없으며, 이에 의한 海洋環境에 미치는 영향 또한 알려져 있지 않아 더욱 연구, 실험되어야 할 것이다.

2. 수중파이프를 통한 배출

이 방법은 採鑛船으로 부터 연장된 약 500m의 수중파이프를 통하여 잔류물을 배출시키는 방법으로, 파이프의 조립과 분리가 손쉬워야 한다. 파이프 재질로는 강파이프보다 부식에 강하고 가벼운 섬유질 폴리에틸렌파이프가 유리하다. 파이프 최하단부에는 노즐이나 또는 확산기(Diffuser)가 사용될 수 있으며, 잔류물의 회석과정없이 바로 해저면으로 침전시킬 경우에는 제트흐름을 생성하는 노즐이 사용되며, 그리고 잔류물의 회석이 요구될시에는 저속의 확산기가 사용된다. 그러나 이 방법으로 인하여 생물에 미치는 영향은 아직 알려져 있지 않다.

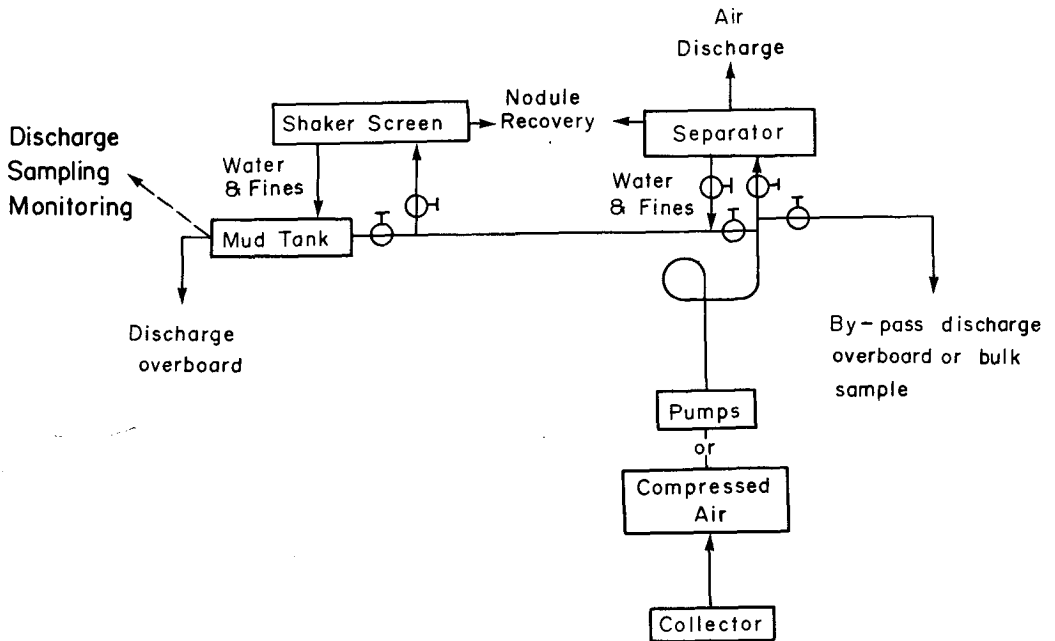


그림4-11 채광 잔유물 처리 개념도

3. 集鑛機 또는 中間調整機에 의한 再循環

일반적으로 採鑛船에서 선광후 배출되는 잔류물의 80-90%가 해수로 구성되어 있으며, 이 방법은 채광잔류물에 포함되어 있는 해수를 해양으로 배출하지 않고 다시 중간조정기나 集鑛機로 재순환시켜 團塊引揚시 필요로 하는 해수를 대체한다는 측면에서 고려되고 있다. 이 방법을 사용할 시에는 引揚파이프에 재순환파이프를 부착시켜야 하고 해수의 재순환을 위한 별개의 펌프시스템이 필요하며, 그리고 引揚파이프내에 누적되는 잔류물의 처리등의 문제들이 대두되고 있다.

4. 高密度 海水와의 混合排出

이 방법은 큰 부피의 차갑고 밀도가 높은 해수와 잔류물의 혼합물을 일시적으로 배출시켜 무거운 무게의(밀도가 높은)해수와 잔류물의 혼합물이 상대적으로 온도가 높고 가벼운 무게의 해수층을 통과하게 한 후, 혼합물의 온도와 밀도가 비슷한 해수층에서 (Thermocline - 해수면으로 부터 약 700-1100m) 확산, 희석, 침전되도록 하는 방법이다. 그러나 이 방법을 적용하는데 있어서는 아직 10000m³ 또는 그 이상 부피의 혼합물을 저장하고 일시적으로 배출시킬 수 있는 기술이 개발되어 있지 않으며, 아직 현장실험 또한 이루어지지 않은 상태이므로 보다 많은 연구와 실험이 필요하다.

第 5 節 製鍊機術

지금까지 망간團塊로 부터 유용금속을 회수하기 위한 製鍊技術 개발이 활발하게 진행되어 왔으며 여러가지 방법들이 제안되고 있다. 그리고 망간團塊의 제련방법에 있어서는 기술성, 경제성, 시장성등이 고려되어야 하며 다음과 같은 사항들을 만족시켜야 한다.

- i)망간團塊 함유금속의 높은 회수율 보장
- ii)시약의 재사용 가능성 또는 저렴한 還元劑 사용
- iii)효율적인 에너지 사용
- iv)다양한 원광취급의 융통성 및 다양한 금속의 생산

이와 같은 요구사항을 만족시키는 제련공정은 많이 개발되어 있으나 망간團塊 製鍊技術의 선택은 원광의 형태 및 품위, 필요한 자재, 에너지 공급 등에 따라 달라지며 또한 회수되어야 할 금속이 망간을 포함한 4금속(니켈, 코발트, 구리, 망간)인가 아니면 망간을 제외한 3금속인가에 따라 달라진다. 그외 망간團塊에는 Ti(티타늄), V(바나듐), Mo(몰리브덴), Pb(납), Zr(지르코늄)등의 광

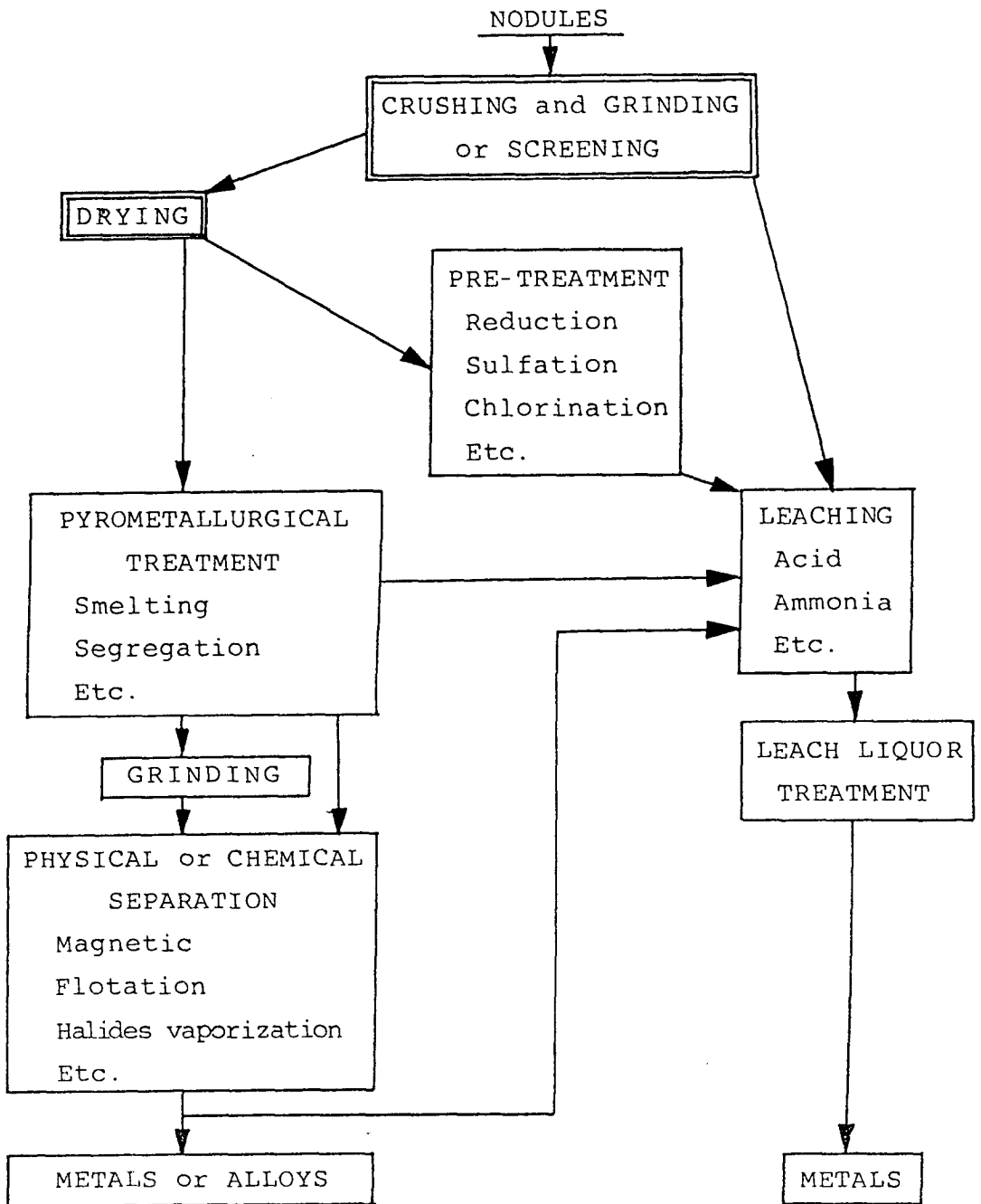


그림4-12 망간단괴 제련공정 개념도

물들이 함유되어 있으며, Ti(티타늄), Zr(지르코늄)같은 금속들은 경제적으로 회수할 값어치가 충분히 있는 것으로 추정되고 있다.

망간團塊 제련종류에는 건식법과 습식법 그리고 두가지의 혼합법으로 분류할 수 있으며, 또한 금속들을 침출하는데 사용되는 침출제(Lixiviant)의 종류에 따라 제련방법이 분류될 수도 있다. 이 침출제들은 암모니아, 염화물, 그리고 황화물을 기본으로 하며 다음의 12가지로 나뉘어질 수 있다.

○ 암모니아(Ammoniacal)계

- i)가스환원, 암모니아 침출
- ii)큐프리온(Cuprion)암모니아 침출
- iii)고온 암모니아 침출

○ 염화물(Chloride)계

- i)환원, 염산침출
- ii)염화수소 환원배소, 산침출
- iii)분리(Segregation)배소
- iv)용융성 염화(Molten salt Chlorination)

○ 황화물(Sulfate)계

- i)고온 고압 황산침출
- ii)용융, 황산침출
- iii)황산 환원침출
- iv)환원배소, 황산침출
- v)황화배소

구체적인 제련방법이나 공정에 대해서는 1992년 한국자원연구소의 “深海底 망간團塊 處理技術 基礎 調查研究”에 잘 나타나 있으며, 본 연구에서는 深海底 鑛業技術의 전반적인 동향을 파악하기 위하여 위의 보고서에 기술된 상업적으로 적합하다고 판단되는 다음과 같은 제련방법에 대해서만 개괄적으로 알아보기로 하겠다. 그러나 이 공정들은 最適工程 選定을 위한 방안제시에 불과하며 이에 대한 응용이나 실용화를 위해서는 기술적인 타당성이나 관련된 여러가지 조건들에 대한 보다 구체적인 연구를 필요로 한다.

i) 가스환원-암모니아 浸出法

ii) 큐프리온-암모니아 浸出法

iii) 고온 고압 황산 浸出法

iv) 환원-염산 浸出法

v) 용융-황산 浸出法

이들 공정중 i), ii), iii)은 구리, 니켈, 코발트의 3가지 금속만을 회수하는 공정이며, iv)와 v)는 구리, 니켈, 코발트와 그리고 망간의 4가지 금속을 회수하는 공정이다.

1. 商業的 製鍊方法

가. 가스 환원-암모니아 浸出法

이 방법은 육상 니켈 라테라이트 광석제련에 이용되고 있는 것으로서, 고온에서 망간團塊중의 이산화망간(MnO_2)을 일산화탄소(CO)를 이용하여 일산화망간(MnO)으로 환원시킨 후 암모니아-탄산암모니아 침출액중에서 구리, 니켈, 코발트를 회수하는 방법이다. 구리와 니켈은 용매추출과정을 거쳐 산성 수용액중에서 선택적인 탈거후 전해석출법에 의하여 회수하며, 코발트는 암모니아-이산화탄소 수용액에 황화수소를 가하여 황화코발트의 침전물을 생성한

후 재용해, 수소환원을 통하여 회수한다.

나. 큐프리온 암모니아 浸出法

이 방법은 용액중에서 망간團塊의 주성분인 이산화망간을 일산화망간으로 환원시킨 후 암모니아-탄산암모니아 침출액중에서 구리, 니켈, 코발트를 회수하는 방법이다. 이산화망간의 환원제로 사용되는 Cu^+ 를 재사용하기 위하여 일산화탄소가스가 사용된다. 구리와 니켈은 용매추출과 탈거과정을 거쳐 전해석출법에 의하여 회수되며, 코발트는 구리와 니켈이 제거되고 남은 암모니아-이산화탄소수용액에 황화수소를 첨가하여 코발트를 황화코발트형태로 침전, 재용해한 후 수소환원시켜 분말상태로 회수한다.

다. 高溫 高壓 黃酸浸出法

이 방법은 고온(245℃) 고압(35기압)하에서 황산용액을 사용하여 망간團塊를 침출시켜 구리, 니켈, 코발트를 회수하는 방법이다. 구리와 니켈은 침출잔사 분리후 침출여액을 용매추출하여 선택적인 탈거과정을 거친 후 전해석출법에 의하여 회수하며, 코발트는 구리와 니켈이 용매추출되고 남은 산성액에 황화수소를 가하여 황화코발트 침전물을 형성시킨 후 재용해, 수소환원하여 분말형태로 회수한다. 구리, 니켈, 코발트를 제거하고 남은 용액은 중화단계에서 첨가된 암모니아를 회수하기 위하여 화학처리되며, 암모니아가 제거된 용액은 새로 침출된 망간團塊를 세척하는데 이용된다.

라. 還元-鹽酸 浸出法

이 방법은 고온(500℃)에서 건조된 망간團塊를 염화수소로 처리하여 구리, 니켈, 코발트 및 망간을 회수하는 방법이다. 염화수소는 망간團塊중의 이산화

망간을 일산화망간으로 환원시키며 이 반응이 진행됨에 따라 니켈, 구리, 코발트가 용해하게 된다. 구리와 니켈은 용매추출과정을 거쳐 전해석출법에 의하여 회수되며, 코발트는 황화수소에 의한 침전법에 의하여 분리, 회수된다. 망간은 용액중의 염화망간을 결정화 시킨 후 용융전해법에 의하여 회수된다.

마. 鎔融-黃酸浸出法

이 방법은 건식법과 습식법을 혼합사용하여 구리, 니켈, 코발트 및 망간을 페로망간으로 회수하는 방법이다. 페로망간은 용융공정에서 생성되는 슬래그로부터 제조되고, 구리와 니켈은 금속 matte상을 고온 고압에서 황산으로 침출한 다음 용매 추출법에 의하여 회수되며, 코발트는 황화침전법에 의해 회수된다.

2. 製鍊方法의 比較 및 研究方向

일반적으로 금속의 제련공정에 있어서 건식법은 고온에서 광석을 용융하는 공정이 필요하므로 에너지비용이 가장 문제시되고, 습식법은 육상광의 경우 일반적으로 저품위광이나 구성광물이 복잡한 광석에 적합하여 근래에 들어 그 사용도가 점점 높아지고 있는 실정이나 이 방법에 있어서는 처리장치와 사용시약의 종류가 중요시 된다. 망간團塊는 수분의 함유량이 높아 구리, 니켈, 코발트를 회수하기 위하여 전 광석을 건조, 용융시켜야 하므로 에너지 소비면에서 큰 단점이 있어 건식법 보다는 습식법을 선호하는 경향이 높다.

미국과 일본에서는 이미 경제성이 있고 유망하다고 판단되는 몇가지 공정을 선정하고 있으며 미국과 일본이 선정한 공정은 다음과 같다.

미국 :

- 가스 환원-암모니아 浸出法 (Gas reduction and ammoniacal leaching process)
- 큐프리콘 암모니아 浸出法 (Cuprion ammoniacal leaching process)
- 고온 고압 황산 浸出法 (High temperature and high pressure H₂SO₄ leaching process)
- 환원-염산 浸出法 (Reduction and HCl leaching process)
- 용융-황산 浸出法 (Smelting and H₂SO₄ leaching process)

일본 :

- 큐프리콘 암모니아 浸出法
- 고온 고압 황산 浸出法
- 염화배수-수 浸出法
- 건식용-합금-황화-습식법

위의 두나라가 선정한 제련법을 비교하여 볼 때 암모니아 浸出法과 고온 고압 황산 浸出法등이 망간團塊제련에 있어 가장 적합한 공정으로 현재 추정되고 있으며, 미래에 경제성이 타당하면 사용될 수 있는 방법이다. 두방법중에 어떤 방법이

더 유리한가 하는 것은 에너지 소비량과 시약의 양을 어느정도까지 감소시킬 수 있는냐에 의해 결정될 것이다. 그러나 이 두가지 방법은 구리, 니켈, 코발트의 3금속 만을 회수하는데 가능하며 망간의 회수가 필요할 때에는 다른 방법을 적용하여야 한다. 망간團塊 제련법의 특성은 표 4-2에 나타나 있다.

표 4-2. 深海底 망간團塊의 제련방식 비교

처리법		용련 황화 침출법	염화배소 수침출법	염산 침출법	고온 고압 황산침출법	Cuprion 법
개요		건조·예비 환원, 용련, 황화, 가압 침출	건조, 염화배소, 상압수침출	상온, 상압, 염산침출	고온, 가압, 황산침출	일산화탄소 주입, 암모니아 침출
시약의 가격, 종류 및 재사 용성		싸다	싸다 HCl 사용 재사용가	적당하다 HCl 사용 재사용가	비싸다 H ₂ SO ₄ 사용 재사용가	싸다 NH ₃ 사용 재사용가
에너지 효율성		나쁨	나쁨	적당함	적당함	좋음
내식성 장치		필요없음	각부분에 필요함 HCl 사용	각부분에 필요함 HCl 사용	Autoclave 필요함	필요없음
시약 독성		없음	있음	있음	없음	없음
잔사 처리		좋음 건식처리 슬라그처 리법	나쁨 침출잔사 처리	좋음 잔사에 중금속 잔류	나쁨 침출잔사 처리	나쁨 침출잔사 처리
망간 회수		가능함	가능함	가능함	회수공정 필요함	회수공정 필요함
금속 회수율	니켈 코발트 구리	95%	95%	95%	90%	90%
		85%	95%	90%	45%	70%
		90%	90%	90%	90%	90%

資料 : 深海底 망간團塊 處理技術 基礎調査 研究
韓國資源研究所(1992년)

지금까지 언급된 製鍊技術외에도 많은 製鍊技術이 있으며 앞으로도 계속 연구, 개발될 것이다. 실제 제련공정의 선택기준은 i)유가금속의 고침출율, ii)침출액으로 부터 유가금속 회수기술의 확립성, iii)현재 製鍊技術의 응용가능성, iv)연구단계에 있어서의 연구도와 확실성, v)잔사처리의 기술적 견해, vi)경제성의 정확한 추정, vii)제련공장 설계 및 구상등이며, 미래 망간團塊 개발이 경제성이 있기 위하여는 i)폐기되는 잔사량의 감소와 그 활용성, ii)에너지 절약공정, iii)망간의 경제적인 회수방법등이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

第 6 節 深海底 鑛業技術 特許動向

深海底 鑛業技術 開發研究는 크게 망간團塊의 採鑛技術과 製鍊技術로 나뉘어지며 세계 여러나라의 많은 연구기관에서 행하여 지고 있다. 이러한 연구기관은 OMA(Ocean Mining Associates), OMI(Ocean Management Incorporated), OMCO(Ocean Mineral Company), KCON(Kennecott Consortium)등의 國第 컨소시엄그룹과 AFERNOD(Association Francaise Pour L'etude et la Recherche des Nodules), DORD(Deep Ocean Resources Development Corporation)등의 정부-민간 컨소시엄과 러시아, 중국, 독일등의 국가기관, CLB신디케이트등의 기술자 그룹, 그리고 철강, 방위산업체등의 최소한 50여개의 사기업과 8개의 공공기관이 있으며, 이들이 深海底 鑛業技術에 대한 약 400여개의 특허를 가지고 있다.

深海底 鑛業技術의 연구는 1960년대부터 시작되어 1970년대 중반까지 가장 활발하였으며 이 기간동안에 가장 많은 특허가 나왔다. 그러나 현재 深海底 鑛業生産에 대한 금속시장에서의 경제성이 밝지 않아, 기업들의 深海底 鑛業 技術研究가 1980년대 이후 활기를 띄지 않고 있는 실정이다. 그러나 深海底 鑛業에 대한 국제적인 제도와 경제성이 확립될 때에는 다시 연구활동이 활

발해될 것으로 예상된다.

深海底 鑛業技術특허와 관련된 문제는 特許權의 소유주체 및 중점분야, 특허기술 개발의 시기, 확산, 특허기술개발의 각 주체별 동기 및 전략등이 있으며, 深海底 鑛業技術의 特許權 保有現況은 망간團塊의 採鑛技術에 관련된 215건과 製鍊技術에 관련된 173건으로 총 388건이다 (1985년 기준, 표 4-3 참조). 深海底 鑛業技術 특허보유는 전세계적으로 콘소시엄이 가장 많이 보유하고 있으며 그외의 국가별로는 미국, 독일, 러시아, 프랑스 순서이고 기술자 그룹으로는 미국, 독일, 일본, 캐나다 순서로 나타나 있다.

현재 프랑스, 일본, 러시아, IOM등이 이미 유엔에 先行投資家로 등록을 마쳤으며, 인도와 중국도 先行投資家로 등록을 하였다. 우리나라는 1994년에 先行投資家 등록 예정으로 있으며, 우리나라와 인도와 중국은 深海底 鑛業 기술개발에 있어 잠재적인 능력이 있는 것으로 알려져 있으나, 이 국가들이 독자적인 기술개발을 할 것인지 아니면 현재의 기술을 모방, 답습할 것인지는 미지수로 남아있다.

우리나라의 경우에는 현재까지 深海底 鑛業技術에 대한 개발이 전무하고 또한 준비단계에도 미치지 못하고 있는 실정이다. 그리고 深海底 鑛業技術개발이 단기간에 이루어지지 않는다는 점과 그리고 자본이 많이 든다는 점을 고려해 볼 때, 독자적인 새로운 기술개발보다는 이미 개발된 기술을 답습한 후에 어느정도 기술수준이 향상되었을 때 독자적인 신기술을 개발하는 것이 바람직 하다고 판단된다. 그리고 深海底 鑛業이 본격화 될 것으로 예상되는 2000년대를 대비하며 빠른 기간내에 深海底 鑛業技術에 관련된 電子, 컴퓨터, 新素材, 機械, 造船, 海洋 및 海洋環境·기술등을 개발하여 장비생산에 착수하여야 할 것이다.

표 4-3. 심해저 광업기술 특허보유현황

특 허 권 자	망간단괴의 기술		제련 기술		합 계		
	특허권수	비중(%)	특허권수	비중(%)	특허권수	비중(%)	
OMA	32	(15)	40	(23)	72	(18)	
KCON	8	(4)	50	(29)	58	(15)	
OMI	36	(17)	15	(9)	51	(13)	
OMCO	4	(2)	2	(1)	6	(2)	
AFERNOD	18	(8)	7	(4)	25	(6)	
DORD	2	(1)	5	(3)	7	(2)	
콘소시업소계	100	(47)	119	(69)	219	(57)	
국 가 기 관	미국	21	(10)	22	(13)	43	(11)
	독일	16	(7)	1		17	(4)
	캐나다			1		1	
	네덜란드	4	(2)			4	(1)
	프랑스	4	(2)	1		5	(1)
	러시아	9	(4)			9	(2)
국가기관소계	54	(25)	25	(14)	79	(20)	
기 술 자 그 룹	미 국	34	(16)	6	(3)	40	(10)
	독 일	8	(4)	3	(2)	11	(3)
	영 국	1		5	(3)	6	(2)
	캐나다	1		8	(5)	9	(2)
	프랑스	2	(1)	2	(1)	4	(1)
	일 본	8	(4)	2	(1)	10	(3)
	러시아	6	(3)			6	(2)
	노르웨이			2	(1)	2	
	벨기에			1		1	
	남아프리카	1				1	
기술자 그룹 소계	61	(28)	29	(17)	90	(23)	
총	215	(100)	173	(100)	388	(100)	

자료 : Port Hoagland, Patent Activity in the Seabed Mining Industry, Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report, WHOI-85-20, May 1985.

參 考 文 獻

1. 國內文獻

權文相, 李元甲, 李裕熙, 國際聯合海洋法協約 (英韓對譯), 韓國海洋研究所, 1991.

朴椿浩·柳炳華, 海洋法. 서울:민음사, 1986.

外務部, 國際海底機構 및 國際海洋法裁判所 設立準備委員會 參加報告書 (1991-1992).

韓國海洋研究所, “太平洋 深海底 鑛物資源 開發研究”, 1992.

韓國資源研究所, “심해저 망간단괴 처리기술 기초 조사연구”, 1992.

2. 外國文獻

Churchill, R.R., Lowe, A.V., The Law of the Sea. Manchester: Manchester Univ. Press, 1983.

E.D.Brown, The Area beyond the Limits of National Jurisdiction. London: Graham & Trotman, 1984.

J. M. Markussen, “Exploration and Exploitation of Polymetallic nodules—An International and Multidisciplinary Overview”, The 27th Annual Conference of the Law of The Sea Institute, Seoul, Korea, 1993

Shon, Louis B., Kristen Gustafson, The Law of the Sea. St. Paul, Minn: West Publishing Co., 1984.

Thetis, “The Environmental Impact of Deep Sea Mining, Section III, Deep Sea Mining and Its Impact”, 1992.

United Nations, "Law of The Sea Bulletin", No.12, 1988.

Woods Hole Oceanographic Institution, " Patent Activity in The Seabed Mining Industry" 1985, Technical Report, WHOI-85-20.

山本草二, 國際法.東京: 有斐閣, 1985.

山本草二, 海洋法 と 國內法制.東京: 日本海洋協會, 1988.

小田滋, 石本泰雄, 條約集.東京: 三省堂, 1989.

日本海洋協會, 新海洋法條約の締結に伴う國內法制の研究, 第4號 .東京: 日本海洋協會, 1985.

田畑茂二郎, ケースブック 國際法.東京: 有信堂, 1983.