

한국 대한해협 대륙붕 표층 퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 지구화학적 특성

박용안* · 김경렬* · 박수철** · 박상윤***

*서울대학교 자연과학대학 해양학과

충남대학교 자연과학대학 해양학과 *한국해양대학

Characteristics of the bottom sediments from the continental shelf of the Korea Strait and some geochemical aspects of the shelf fine-grained sediments

Yong Ahn Park, Kyung Ryul Kim*, Soo Chul Park** and
Sang-Yun Bak****

* Dept. of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151, Korea

** Dept. of Oceanography, Chung Nam University, Taejeon 300-31, Korea

*** Korea Maritime University, Pusan 606

요약 : 한국 동남해역의 일부, 남해해역의 일부 및 대한해협의 대륙붕에 관한 해양지질학적이며 지구화학적 관점의 기초 해양학적 연구가 실시되었다.

본 연구해저의 대륙붕은 미세지형도인과 표층 퇴적물의 분포패턴등으로 내 대륙붕과 외 대륙붕으로 구분되었다. 즉 내 대륙붕과 외 대륙붕의 경계지형은 약 80m수심의 해저이며 내 대륙붕의 해저는 해안선의 방향과 평행하는 발달 추세를 나타내는 반면 외 대륙붕의 해저는 한국해협 해곡(KSR) 등 크고 작은 기복지형을 나타낸다. 내 대륙붕의 표층 퇴적물은 이토(mud)와 사질 실트로 구성된 세립질 퇴적상이며 외 대륙붕은 조립질 퇴적물(모래와 자갈)로 구성된 잔류퇴적상(relict sediment facies)을 나타낸다.

내 대륙붕의 퇴적물은 외 대륙붕의 퇴적물보다 높은 ϵ_{s1} 을 보이나 Ni, Cr, Cu 등의 오염영향을 거의 보이지 않는다. 그러나 Zn, Pb 등의 원소에 관한 오염의 영향을 나타내는 것으로 해석된다.

본 연구지역의 탄성파층서는 음향기반암과 강한 반사면 R에 의하여 3층서단위로 구성된다. 이들은 하부로 부터 기반암(음향), 하부퇴적층(B) 및 상부퇴적층(A)이며 상부퇴적층은 현재 퇴적층이며 하부퇴적층은 선 현재(pre-Holocene) 퇴적층이다.

Abstract

A study on sedimentation, geochemical behavior and seismic stratigraphy of the continental shelf sediments along the Korea Strait and a part of south and southeast offshore area of the Korea Peninsula was carried out.

In the inner shelf floor with depth ranging up to 80 m zonal distribution patterns of mud, sandy silt, and silty sand were observed. In the outer shelf, however, coarse sandy sediments are dominant, and shells and gravels were frequently observed. These observations seem to confirm the Holocene sedimentary processes on the continental shelves off the south, south to east coasts of Korea discussed by Park (1985 and 1986) and Park and Choi (1986).

The surface sediments (upper most 5 cm thick) from selected 9 stations were analyzed for Al, Mn, Fe, Cr, Ni, Cu, Zn and Pb in order to study geochemical behavior of the sediments in the study area. All data were normalized to Al to compensate the size effect of the sediments. In general, inner shelf sediments show slight enrichment compared to the outer shelf sediments. In particular, Pb and Zn show heavy enrichment in most of the sediments to degrees comparable to those observed at the polluted Kwangyang and Masan Bay sediments. Thus, it is considered that rapid migration or movement of fine-grained sediments in the study area does exist.

Three seismic stratigraphic units were analyzed based on the seismic records. The acoustic basement, the lower sedimentary deposit (B) and the upper deposit (A) were observed. The strong reflectivity R, in particular, between unit A and B is considered to be an erosional unconformity during the last Glacial time.

서론

한반도 주변 내 대륙붕에 발달하고 있는 현재 퇴적물의 분포와 퇴적 기작에 관한 여러가지 연구가 지난 10여년 동안에 많은 성과를 거두고 있다. 특히 황해(서해)의 연근해와 내 대륙붕에서의 표층 퇴적상 분포와 그에 관련된 연구는 여러 연구기관과 연구자에 의하여 실시되었다. 그러나 한국 동해 대륙붕 해역과 동해 남부 또는 동남해역에서의 대륙붕 퇴적작용 또는 표층 퇴적물의 지구화학적 특성 규명에 관련한 연구는 상대적으로 빈약하다고 사료된다.

그런데 한국 동남 해역의 대륙붕 표층 퇴적물에 대한 최근까지의 연구 결과는 소위 내 대륙붕(수심 80m 미만)의 해저에 세립질 퇴적물이 우세하며 이러한 세립질 퇴적물은 중기 현세(mid Holocene) 이후에 퇴적된 것으로 해석되었고, 외 대륙붕의 해저에는 현세 이전에 퇴적된 소위 잔류 퇴적물(relict sediments)이 우세한 것으로 규명되었다(Park and Song, Song, 1971; Park, 1983; Park, 1984; Park and Choi, 1986; Suk, 1986).

본 연구는 한국 남해 북동부 해역과 한국 동남 해역을 차지하는 대한해협 해저에 발달하고 있는 표층 퇴적물에 대한 해양 퇴적학적이고 지구화학적인 분석과 해석을 수행하여 대한해협의 대륙붕과 그 주변 해저의 퇴적 과정을 규명하는데 그 목적이 있다. 또한 본 연구지역 중요 지역의 탄성과 자료 해석에 의하여 탄성과 층서와 구조를 밝히는 시도가 연구 내용으로 수행되었다.

연구방법과 자료

본 연구를 수행하기 위한 선상 관측과 시료 채취는 1986년 4월, 1주일 동안에 실시되었다. 탐사 선박은 한국해양대학 한바다호였으며 기본적인 시료 채취 기기와 부수 장비는 서울대학교 해양학과에서 준비되었다. 탄성과 탐사 기록의 자료는 진해 기계창의 것으로 하였다.

그림 1 과 같이 본 연구 수행을 위한 표층 채취 정점은 34 정점이다. 34 정점에서 반반

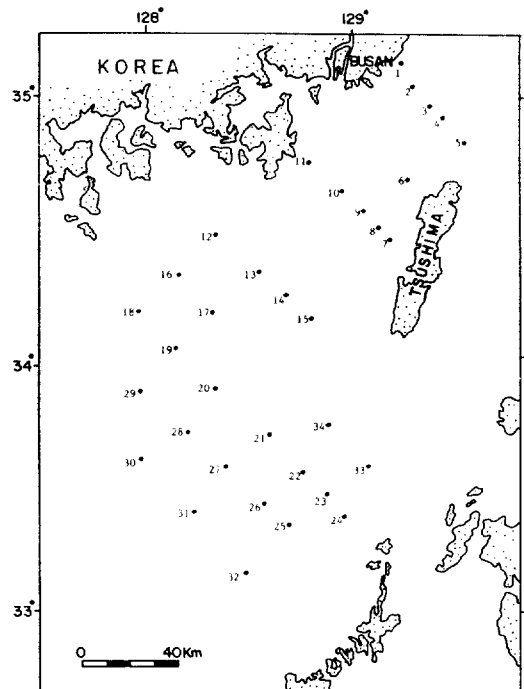


Figure 1. Index map showing sampling stations in the study area.

(Van Veen) 채집기를 사용하여 약 30 cm 두께의 표층 퇴적물을 채취하였고, 이 중 최상부 5 cm 두께의 퇴적물과 그 하부의 퇴적물로 구분하여 실내 연구의 대상으로 하였다. 본 연구에서는 최상부 5 cm 두께의 표층을 분석하고 연구하였으며 그 하부의 퇴적물은 차기 연구의 참고 시료로 하였다. 특히 지구화학적 미량 원소 분석을 위하여 34개 정점 표층 중에서 9개 정점의 시료를 선정하였다. 세립질 퇴적물 분포가 우세한 내 대륙붕에서 4개 정점, 그리고 조립질 퇴적물이 우세한 외 대륙붕(수심 80 m 이상의 해저)에서 5개 정점, 도합 9개 정점이 퇴적 과정과 연관되어 선정되었다. 이들 시료는 우선 냉동, 처리되었고, 그 후 HClO₄/HF/HNO₃ 방법(Kitano and Fujiyoshi, 1980)에 의하여 처리되었고, Mn, Fe, Cr, Ni, Cu, Zn 및 Pb 원소는 IL-251 Atomic Adsorption Spectrometer로 분석되었고, Al 원소는 Nipon-Jarrell-ASM ICAP-500 Atomic Emission Spectrometer를 이용하여 정량되었다.

퇴적물의 유기탄소 측정을 위한 25 정점의 모든 시료의 사전 처리는 10% HCl로 CaCO₃를 완전히 제거한 후 60°C로 건조하였다. 그 후 유기탄소 측정 방법으로 정확도가 높은 K₂Cr₂O₇을 이용한 wet oxidation method를 사용하였다.

퇴적물 입자 분석과 해석 및 부유 퇴적물의 측정을 위한 실내실험은 퇴적학 실험으로 가장 보편적인 여러 방법을 사용하였다. 해저 지형의 규명, 특히 내 대륙붕과 외 대륙붕의 경계 지형과 수심, 외 대륙붕의 봉단지형 및 단구적 지형 요인을 밝히기 위하여 Furuno 음향측심기의 기록지와 기존 수심 자료를 복합적으로 분석하고 해석하였다.

결 과

해저지형

그림 2a와 2b에 제시된 바와 같이 본 연구 해역 북동부에는 한국해협 해곡(Korea Strait Ravine; Park and Choi, 1986)이 있으며 이 해곡 중앙부에 46m 높이의 돌출부가 있

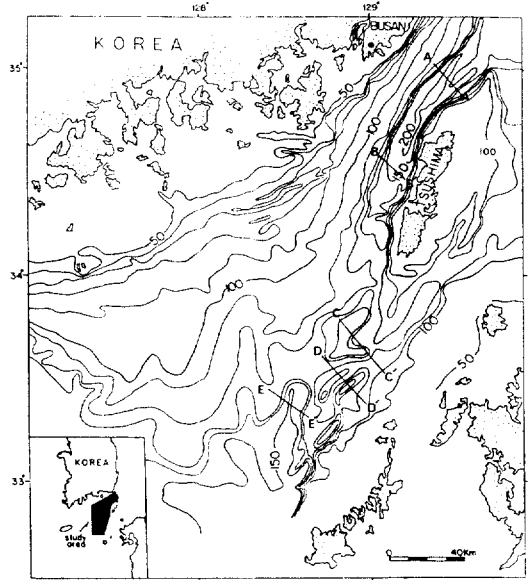


Figure 2a. Map showing the submarine topography of the study area and the cross-section lines of the sea bottom.

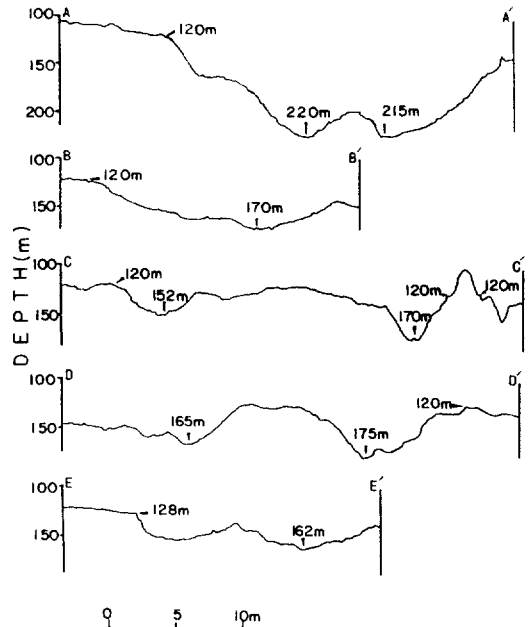


Figure 2b. Map showing the possible shelf edge (120m isobathometric depth) and the bottom shape of the Korea Strait Ravine along the cross-section line of A-A' and B-B'.

다. 돌출부 좌측이 220m이며 우측이 215m 인 해곡 밑바닥의 지형이 그림 2b의 지형 단면 A-A'에서 제시되었고, 해곡의 남서부는 B-B'에서와 같이 170m의 수심을 나타내면서 남서부쪽으로 점차 해곡의 지형이 소멸되어 간다. 이와 같이 한국해협 해곡은 북동-남서 방향의 중심축을 가지며 약 75km의 길이와 약 22km의 폭을 갖는 해저 지형으로 특징적이다. 이 해곡의 성인은 단층에 의한 지구 (graben)로 해석되나, 이에 관련된 구체적인 연구는 탄성과 자료와 기타의 지구물리적 특정 자료가 완비되는 차기 연구에서 발표될 것이며 본 연구에서는 해곡 성인에 관하여 논하지 않는다.

그림 2b의 지형 단면 A-A', B-B', C-C', D-D' 및 E-E'에 제시된 바와 같이 본 연구 지역의 외 대륙붕이 나타내는 봉단의 수심은 120-128m이다. 그러나 기존의 자료를 종합하여 보면, 한국 남해와 본 연구 지역에 이르는 외 대륙붕의 봉단은 130-138m 수심에 발달하는 것으로 해석된다. 내 대륙붕의 지형과는 다

르게 외 대륙붕 지형은 계곡과 능선이 발달하며 봉단 지형과 연결되는 지형을 이룬다(그림 2b). 그런데 내 대륙붕은 80m 내외의 수심에서 외 대륙붕과 경계를 가지며 이러한 지형에 따라 표층 퇴적물의 분포와 퇴적상이 다르게 나타난다.

표층 퇴적물의 분포

그림 3에 제시된 바와 같이 연안 해저(수심 40m 내외)에서부터 내 대륙붕의 해저에는 이토(mud)와 사질 실트의 세립 퇴적물이 북동-남서의 방향성을 가지며 특유의 대상 분포를 나타낸다. 그림 2a의 해저 지형을 참고하면 연안 해저에서 내 대륙붕까지 완만한 경사 지형이 북동-남서 방향의 등심선(isobathymetric line)의 분포로 이루어져 있고 이러한 해저지형과 연관하여 퇴적물 분포가 발달하고 있다고 사료된다. 그러나 내 대륙붕과 외 대륙붕의 경계 부분 또는 점이적 지형이 약 80m 등심선을 따라 발달하는 바, 외 대륙붕의 해저는 실트질 모래와 모래 입자 퇴적물의 분

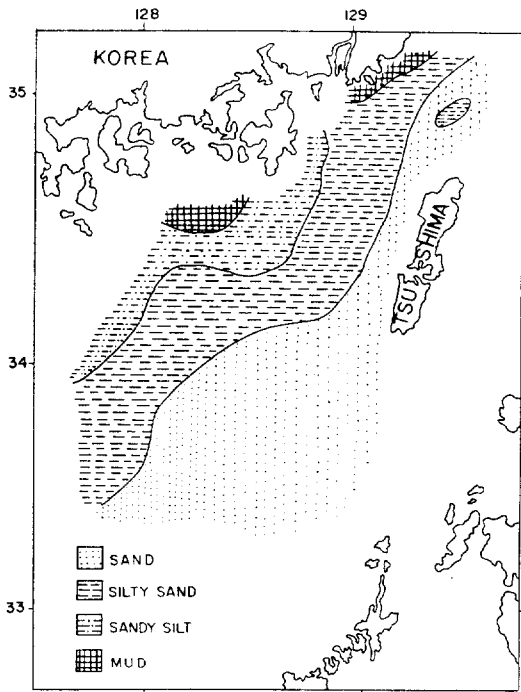


Figure 3. The sediment facies map (after Folk et al., 1970) based on the grain size analysis of the surface sediments (the uppermost 5cm thickness).

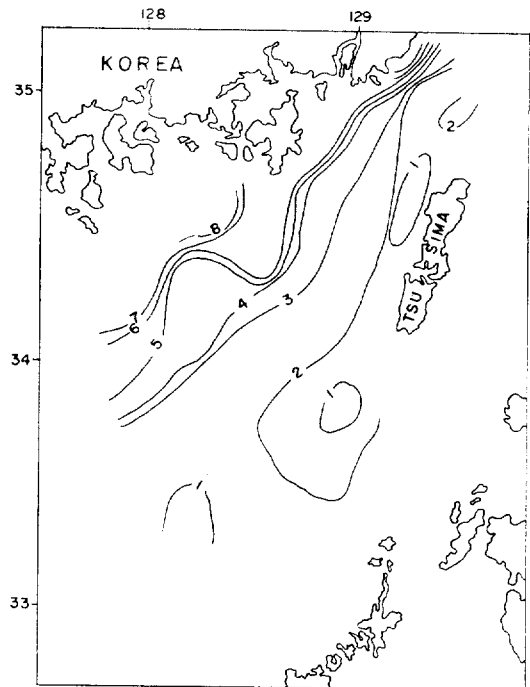


Figure 4. The iso-value line of the mean grain size (ϕ) of the surface sediments.

포가 우세하다.

그림 4에 제시된 바와 같이 본 연구 지역의 표층 퇴적물이 나타내는 평균입자(mean size in phi)의 등치선을 보면, 연안 해저와 내 대륙붕의 해저는 평균 입자 8-4φ의 퇴적물이 우세하게 발달하고 있으며 외 대륙붕의 해저에는 4-1φ의 평균 입자를 가지는 조립 퇴적물이 우세하게 발달함을 이해할 수 있다. 특히 한국해협 해곡 밑바닥에는 평균 입자 1φ보다 조립질인 퇴적물이 우세하다.

부유퇴적물의 분포

그림 5a와 5b에 제시된 바와 같이 본 연구 해역에서의 부유 퇴적물 총량(Total Suspended Matter; TSM)의 분포 패턴이 연안 해역과 내 대륙붕 해역 해저 지형의 등심선 추세와 매우 유사하다. 표층수 TSM은 연근해역의 경우 2mg/l 이상의 값을 나타내며, 외 대륙붕 해역의 경우 1mg/l 이하의 값을 나타냄으로써 대조적이다.(그림 5a). 그런데 저층수(해저면에서 1m 상위)에 함유된 TSM과 그 패턴이 표층수의 경우와는 대조적인 양상

을 나타낸다(그림 5b). 연안 해역에서의 TSM 함량이 3mg/l 이상이며 내 대륙붕의 해역에서는 3-2mg/l의 TSM 함량을 나타낸다. 특히 한국해협 해곡의 추과 일치하는 방향의 저층수가 3mg/l 이상의 높은 TSM 함량을 나타내는 것은 대단히 흥미로운 결과이다.

그림 5a와 5b 같이 본 연구 해역의 TSM 함량과 분포 패턴이 밝혀진 바에 따라 다음의 몇가지 요인이 중요하다고 사료된다. 즉 1) 부유물질이 어느 정도 연안 해역으로 부터 공급되며, 2) 해류와 파랑 작용에 의한 표층 해저 세립 퇴적물의 재 부유(resuspension) 현상이 가능하며, 3) 저층 해류(bottom current) 운동이 방향성을 가지는 경향이 있는 것으로 종합된다. 부유 퇴적물의 성분은 약 80%가 쇄설성 기원 세립 물질이며 20%미만이 유기적 기원으로 해석되었다.

중금속 원소의 함량

본 연구 해역의 표층 퇴적상의 분포(그림 3)와 부유 퇴적물(TSM)의 함량과 분포(그림 5a와 5b)를 규명하게 됨에 따라 필자들은

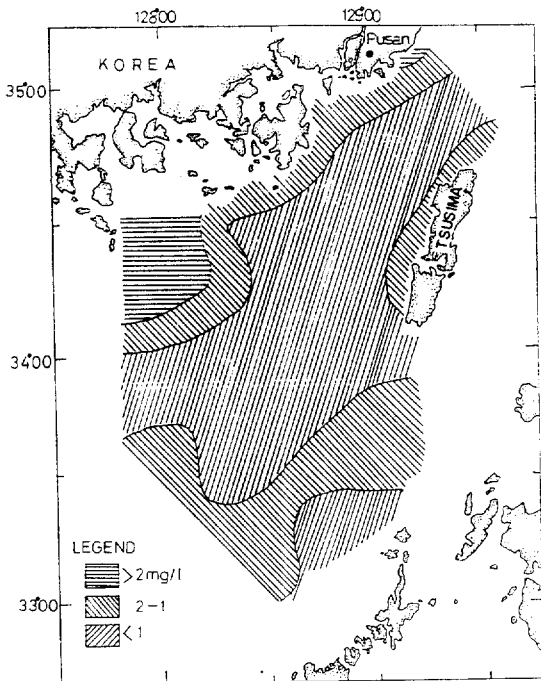


Figure 5a. Total suspended matter (mg/l) in the surface water, April 1986.

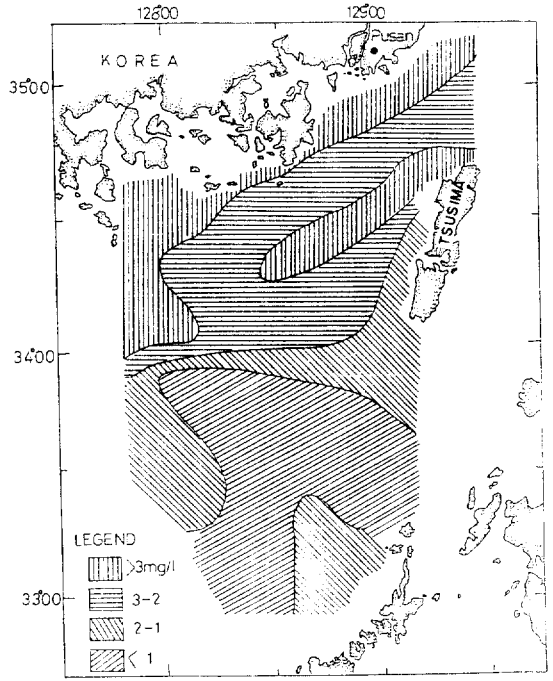


Figure 5b. Total suspended matter (mg/l) in the near-bottom water, April 1986.

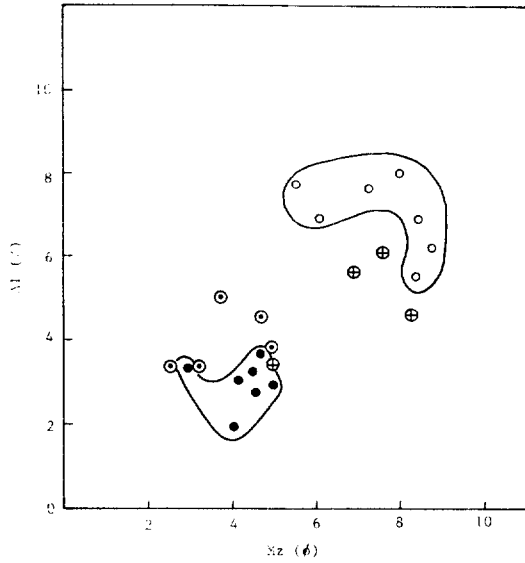


Figure 6. Relationship between the mean grain-size of the sediments and the percent of Al element in the sediments.

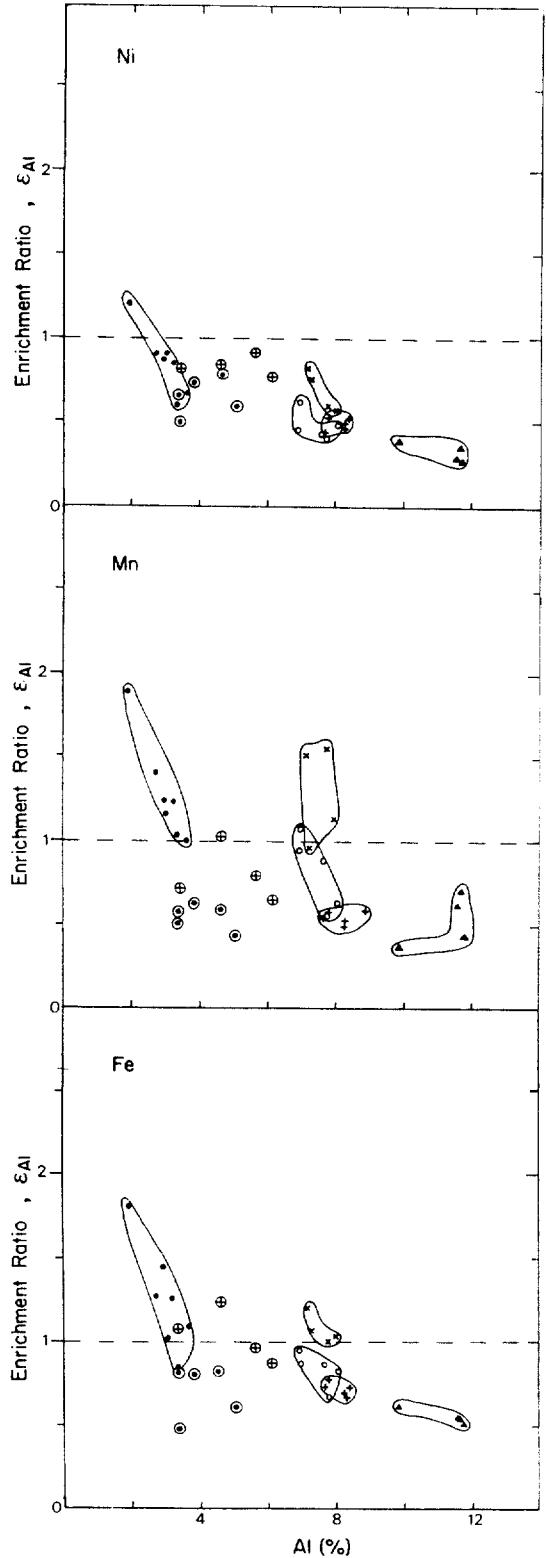
- ⊕ : -nearshore and inner shelf sediments from the present study area
- ⊙ : -outer shelf sediments from the present study area
- : -sediments from Sojukdo, Chang Hang, Korea
- : -sediments from Kwangyang Bay, Korea

연구 해저의 표층 퇴적물이 함유하고 있는 중금속의 농도를 측정 분석하여 그 결과를 표 1, 그림 6 및 그림 7에 제시하였다.

퇴적물에 함유된 중금속들의 농도는, 퇴적물을 이루는 입자들의 크기 분포에 따라 크게 영향을 받을 수 있으며, 따라서 본 논문에서는 보존성 (conservative) 원소인 Al에 대한 상대비를 구한 후 검토하였다. 그림 6에 Al 함량의 평균 입도(Mz)에 대한 분포를 보였는데, 양호한 정의 상관관계를 보이며, 이는 Al을 시료들 간의 입도 분포 변화에 의한 영향을 보정해 주는 원소로 이용할 수 있음을 뒷받침

Figure 7. Relative relationship between Al of metal elements and percent of Al element in the sediments.

- ⊕ : -nearshore and inner shelf sediments from the present study area
- ⊙ : -outer shelf sediments from the present study area
- : -sediments from Sojukdo, Chang Hang, Korea
- : -sediments from Kwangyang Bay, Korea
- ⊕ : -Ulsan Bay, Korea
- ▲ : -Masan Bay, Korea
- × : -Tokyo Bay, Japan



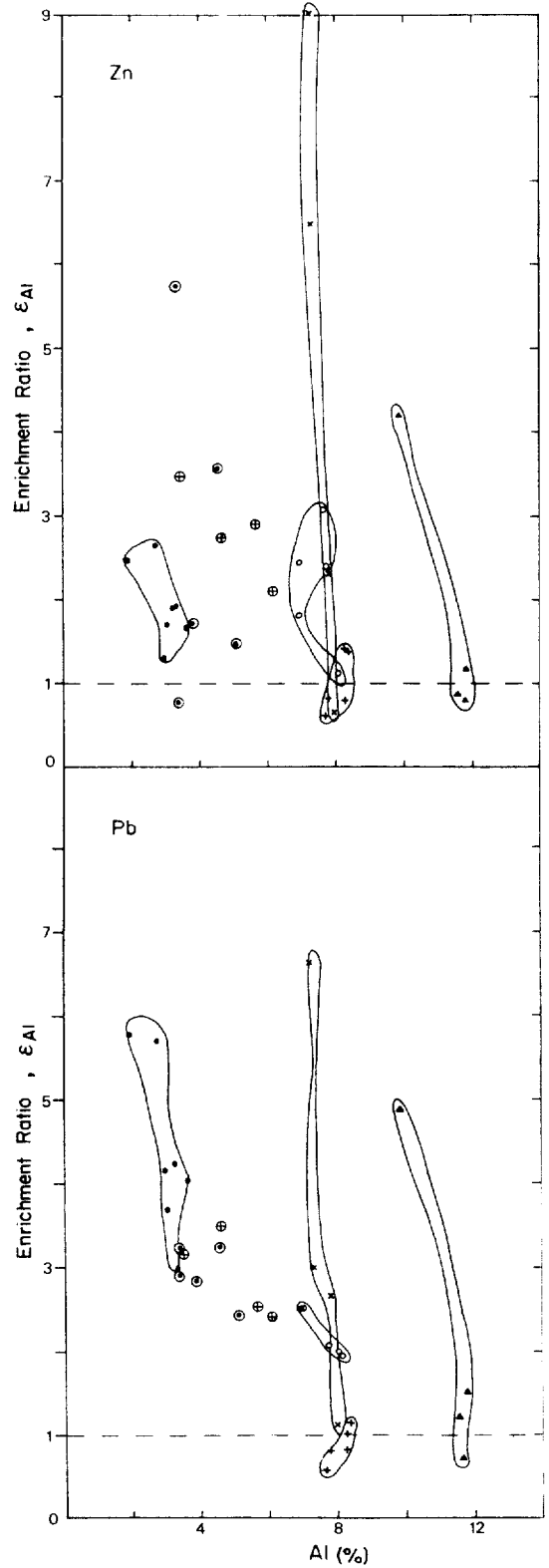
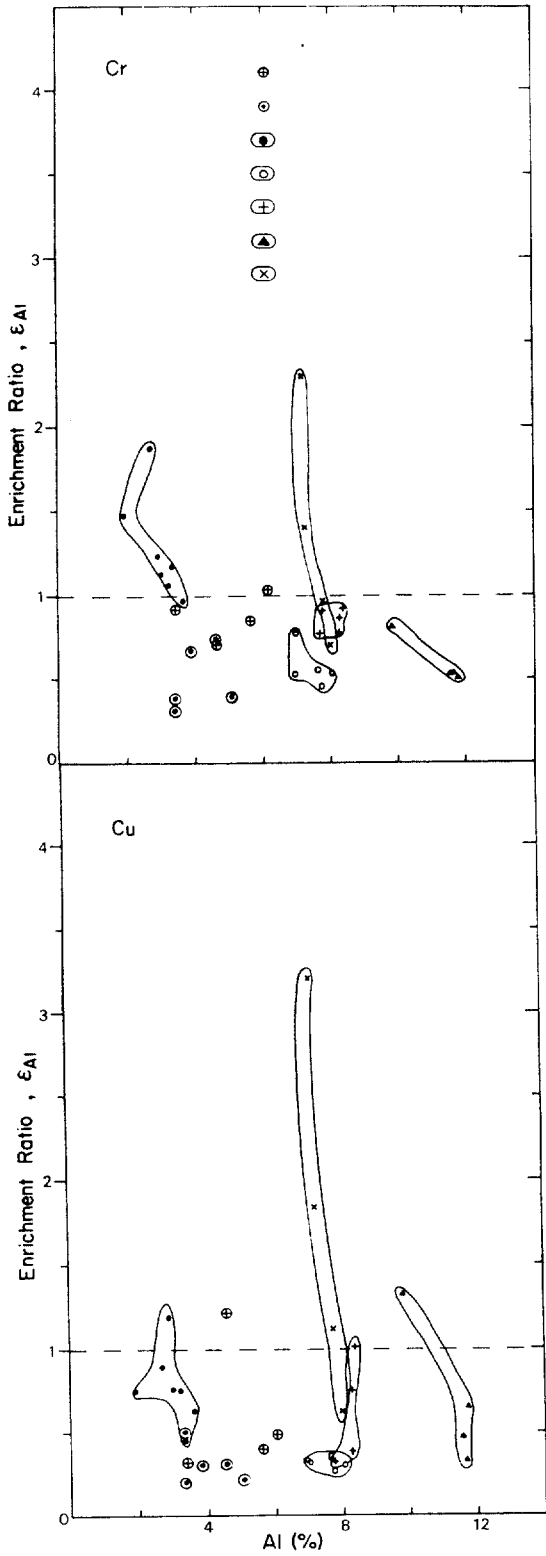


Table 1. Concentration of the heavy metal elements in the surface sediments in the study area.

Element Station No.	Mz(ϕ)	Al	Fe	Mn	Ni	Cr	Cu	Zn	Pb	Remarks
		(%)		(ppm)						
1	8.22	4.63	3.39	502	31.8	37.4	37.4	151	40.6	Mud
11	6.89	5.65	3.21	479	40.1	54.1	12.8	194	36.2	S. Silt
16	4.95	3.42	2.19	262	24.0	35.2	6.6	141	27.5	S. Sand
18	7.60	6.12	3.16	422	40.2	71.2	16.9	153	36.7	S. Silt
4	3.20	3.39	1.61	211	19.3	14.8	9.6	231	24.6	S. Sand
14	3.71	5.04	1.79	238	25.4	16.8	5.8	88	30.9	S. Sand
19	4.68	4.57	2.22	284	30.4	37.2	8.5	193	37.3	S. Sand
27	2.51	3.39	0.96	184	14.5	12.0	4.0	32	27.6	Sand
29	4.91	3.86	1.85	259	24.1	28.8	6.9	78	27.6	S. Sand
Av. Shale		8.00	4.72	850	68.0	90.0	45.0	95	20.0	Turekian and Wedepohl (1961)

해 준다.

그림 7에 동남 해역 표면 퇴적물에 있어서의 금속 분포를 도시하였는데, 오염에 의한 농축 정도에 따라 Fe, Mn, Ni; Cu, Cr 및 Zn, Pb 등의 세 그룹으로 나누었다. 여기서 ϵ_{Al} 은 enrichment ratio로서 아래와 같이 정의하였다. (Li, 1981)

$$\text{Enrichment ratio, } \epsilon_x \equiv \frac{(\alpha_x)_{\text{sample}}}{(\alpha_x)_{\text{av. shale}}}$$

$$\text{Abundance ratio, } \alpha_x = \frac{C_M}{C_X}$$

여기서, C_M : 시료중의 금속 M의 농도

C_X : 시료중의 conservative 원소 X의 농도

$(\alpha_x)_{\text{sample}}$: 시료의 abundance ratio

$(\alpha_x)_{\text{av. shale}}$: 평균 셰일의 abundance ratio

이용되는 conservative 원소로는 Al, Ti 등이 제안되어 있으며, 본 연구에서는 Al을 택하였다. 타 연구 결과와의 비교를 위하여 장항 연안(소죽도 근역), 광양만, 울산만 및 아산만(이 등, 1986), 동경만(Tatsumoto and Saito, 1984)의 자료를 함께 도시하였다. 장항,

광양 및 동남해역 자료는 표면 퇴적물의 자료이며 울산, 마산 및 동경만 자료는 각 해역의 한정점에서의 core시료에 대해 깊이에 따른 농도 변화를 보인 것이다. 울산 및 마산만의 경우 가장 높은 ϵ_{Al} 을 보인 시료가 표면 퇴적물에 해당하며, 동경만의 경우 가장 높은 ϵ_{Al} 을 보인 시료는 약 30cm 깊이(~1970년경)의 시료에 해당된다.

일반적으로 내 대륙붕의 시료들이 외 대륙붕의 시료들에 비해 높은 ϵ_{Al} 을 보이는 것으로 나타나고 있으나, Ni, Cr, Cu 등에 있어서는 ϵ_{Al} 이 대개 1 이하로서 오염의 영향을 거의 보이지 않는다. 그러나 Zn, Pb 등은 마산만에서의 경우와 유사한 높은 ϵ_{Al} 을 보여, 본 연구 해역의 표면 퇴적물들이 이들 원소에 있어 벌써 상당한 오염의 영향을 받은 것으로 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 본 해역에서의 미 세립 퇴적물의 이동 현상이 매우 빠르게 일어나고 있음을 암시해 주고 있다.

유기탄소의 함량과 분포

그림 8에 제시된 내용을 보면, 연안 해저와 내 대륙붕의 포층 퇴적물이 유기탄소(organic carbon)를 1% 이상(최대 1.47%) 함유하고 그 분포가 그림 3과 같은 퇴적물 입도 분포 패턴과 유사함을 나타낸다. 그런데 외 대륙붕의 퇴적물은 0.5% 미만의 유기탄소를 함

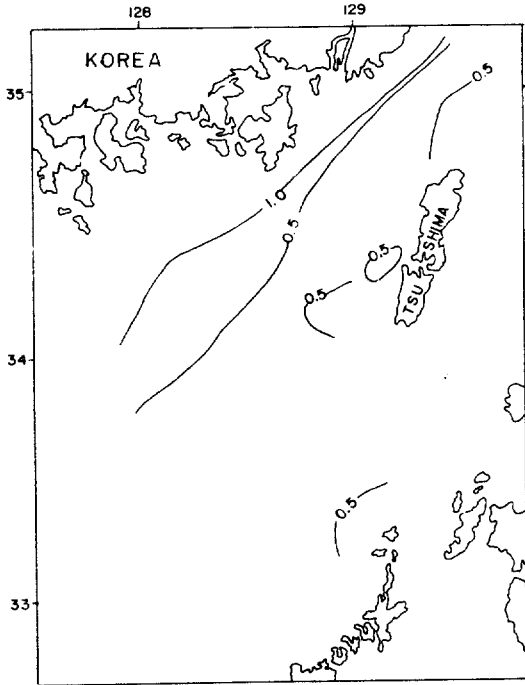


Figure 8. Content of organic carbon (%) in the sediments.

유하지만, 수심 80m 부근의 해저, 즉 내 대륙붕과 외 대륙붕의 경계부분에서는 1.0%와 0.5% 사이의 점이적 함량 값의 유기탄소가 함유된 것으로 나타났다.

이러한 퇴적물 입도와 유기탄소 함유량과의 상관관계는 일반적인 것이나, 본 연구 해역의 경우 그림 9와 같이 대단히 좋은 상관관계를 나타낸다.

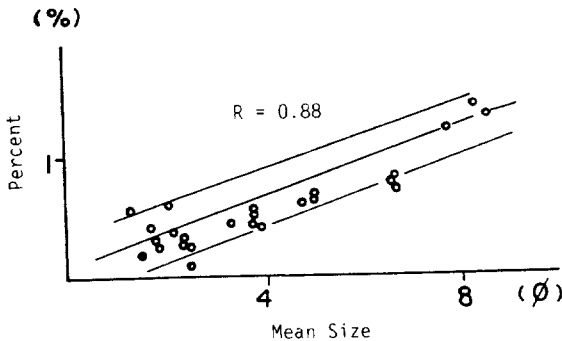


Figure 9. Correlation between mean grain size of the sediments and organic carbon.

탄성과 층서

본 연구 지역 북부와 북동부 해역의 탄성의 탐사 기록지의 해석은 몇가지 사실을 제시한다.

수심 약 70-80m까지의 내 대륙붕 해저는 30-50m 두께의 퇴적층(후기 프라이스토세 및 현세?)이 불규칙한 기복의 유항 기반(acoustic basement)을 피복하고 있다. 그런데, 이 기반암은 섬 근처와 내만 부근에서는 해저로 노출되어 있으며 탄성과 반사 구조가 불투명하게 나타나는 등의 여러 조건을 모아 이 기반암은 육상 지층의 연장 부분으로서 백악기외 제3기의 화성암류로 해석된다. 그러나 이 기반암을 피복하고 있는 최대 약 50m 두께의 퇴적층은(거제도과 가덕도 또는 낙동강 하구 부분) 외 대륙붕 방향으로 향하여 그 두께가 점차적으로 감소한다(그림 10). 이러한 퇴적층은 강한 탄성과 반사면(약 50m 두께의 내부 중 20m 부분)이 존재하는데, 이 반사면을 reflector R이라고 하였다. 따라서 본 연구 해역의 해저 지층은 유항 기반과 반사면 R을 기초로 크게 3 단위의 탄성과 층서 단위를 구성한다고 해석된다. Reflector R를 경계로 하여 기반암 상위의 퇴적층을 현세 퇴적층(주로 이토로 구성됨)과 선 현세층(pre-Holocene deposit)으로 구분하였다. 전자는 단순하며 연속성 있는 수평 층리적인 탄성과 내부 구조를 보여준다. 그러나 후자는 비교적 복잡한 탄성의 구조를 나타내며 침식면의 구조를 보여주기도 한다

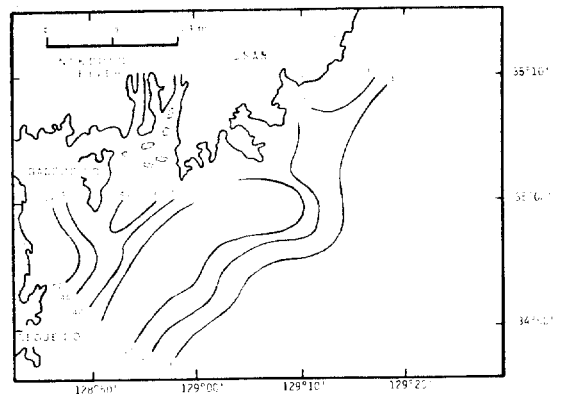


Figure 10. Isopach map of the sedimentary deposit above the acoustic basement in the study area.

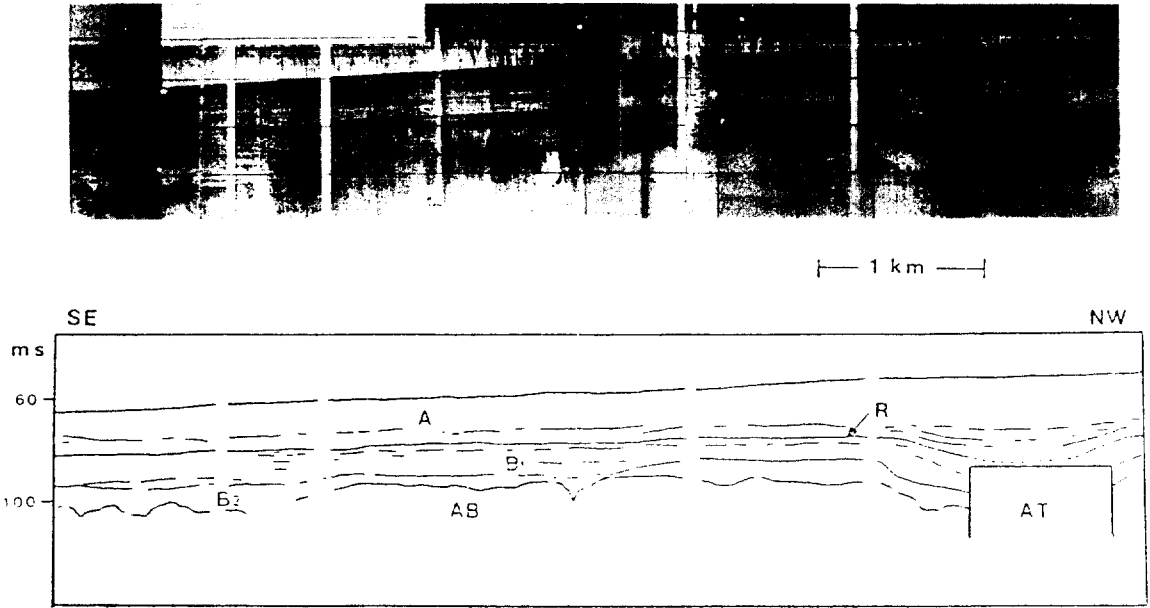


Figure 11. Seismic reflection profile and its line drawing on the inner shelf floor off the Geoje Do, northwestern part of sequences based on the strong midreflector R, the pre-Moleune surface. The lower unit (B) shows complex seismic facies and could be divided into two subunits (B₁ and B₂).
 AT: Acoustically turbid, AB: Acoustic basement.

(그림 11).

토 의

해저지형

소위 한국해협 해곡의 명칭이 Park과 Choi (1986)에 의하여 제의되고 일부 설명된 바 있으나, 금번 연구의 내용으로 설명된 것은 해곡의 중앙부에 돌출한 凸부분의 지형과 해곡 사면의 120m수심의 지형 단위인바, 저자들은 수심 120m 지형 특징이 해수면 하강과 관련 있다고 해석하면서 토의한다. 지형의 여러 모습이 프라이스토세빙하기 동안 형성되었을 경우 특징적인 해수면 하강의 위치를 간접적으로 지지하는 해안 지형이 밝혀지고 이에 따른 연구가 보고된 바 있다(Jin and Schubel, 1984; Jin, 1980; Ye et al., 1983; Park and Choi, 1986; Song, 1986; Lee, 1987). 본 연구 해저의 지형적 특징에서 해수면의 하강 위치(빙하기)를 약 120m+ α 로 해석하는 이유는 Song (1986)과 Lee(1987)의 연구 결과와 몇 번의

구두 발표(Park, 1983, 1984, 1985, 1986)에서 제시된 130-140m 수심의 대륙붕 봉단의 지형 발달 때문이다. 이와 같이 10m범위의 수심 차이는 음향 축심의 기록지 보존상태와 기존 수심 측량의 자료 신뢰도 또는 지형 단면도 작성 과정의 착오가 문제된다고 생각된다. 결론적으로, 저자들은 Wuerm빙하기의 해수면 최하강 위치를 약 138m내외로 보며 본 연구해역의 경우 120m로 나타난 지형은 한반도 남부의 지역적인 지질구조 배경(지층의 풍화강도 또는 국지적 단면 부분의 지각 변동?)으로 해석한다. 따라서 이에 관한 종합적 고찰이 필요하다고 사료된다.

표층 퇴적물 분포와 부유 퇴적물

본 연구에서 표층 퇴적물(5cm 두께)의 입도 분석 결과가 Folk et al. (1970)에 의한 방법으로 설명되고 도시 되었는데, 실트와 점토(clay)의 상대 함량 비율 부분이 "mud"로 기재되는 입도 범위를 이토(泥土)라고 하였다. 이 용어의 제의는 Choi (1987)의 논문에서도 기재된 바가 있다. 연안 해저와 내 대륙붕의

해저에 세립질 퇴적상으로 구분된 이토와 모래질 실트 퇴적물이 우세하게 분포하고 있는 사실과 외 대륙붕의 해저에는 조립질 퇴적상인 모래가 우세한 현상은 한국 동남 해역의 대륙붕 퇴적상 분포와 유사하다. 이러한 표층 퇴적상(입도 분포에 기초한 특징)의 분포 발달은 한국 주변 대륙붕 어느 곳이나 다 적용되는 것이 아니며 본 연구 지역과 동남해역 부분에서 가장 뚜렷하다. 이에 따른 이유는 Park (1983), Park (1984), Park and Choi (1986) 및 Park (1985)의 발표와 같이 현세 해수면 상승의 중기 이후(약 8,000 year B. P.)의 세립질 퇴적물 이동·퇴적과 선 현세 조립질 퇴적물의 이동·퇴적 시기가 시간 차이를 가지는 퇴적 과정(sedimentary processes)에 유관되는 것으로 해석한다. 즉 본 연구 해역의 외 대륙붕의 조립 물질은 잔류 퇴적물(Park, 1984, 1985; Park and Choi, 1986)이라고 해석된다.

그림 5a와 5b에 도시된 바와 같이 연안 해역과 내 대륙붕 해역이 외 대륙붕 해역보다 높은 TSM 함량을 나타내고 있다. 이것은 위에 설명된 바와 같은 퇴적기작(mechanism)에 유관되며, 본 연구의 부유 퇴적물의 분포 패턴이 Park (1984, 1985)의 연구·내 대륙붕의 연구 내용과 관련되어 있다고 토의한다. 그러나 이러한 부유 물질의 정성적 성분 분석과 정량적 자료의 입도 조직 특성이 세밀하게 연구되어야 하며, 이에 따라 부유 물질의 근원과 확산 기작이 규명되어야 한다고 토의한다.

중금속의 함량과 분포

퇴적물에 함유된 중금속들의 농도는, 퇴적물을 이루는 입자들의 크기 분포에 따라 크게 영향을 받으며, 이는 오염의 영향을 받은 퇴적물에 있어서는 물론이고 인위적 영향을 전혀 받지 않은 자연 퇴적물에 있어서도 마찬가지이다(예컨대, Förstner and Wittman, 1983, Gibbs, 1977). 특히 강, 연안 등의 퇴적물에서와 같이 입도분포의 변화폭이 상당히 큰 지역에 있어서는, 이러한 입자 크기의 변화에 대한 영향을 보정해 주지 않는 한, 이런 퇴적물들에 있어서의 중금속 농도를 상호 비교하며 해석하는 것은 실질적으로 큰 의미를 주지 못한다.

이러한 각 퇴적물 사이의 입자 크기의 변화에 대한 영향을 보정해 주기 위한 방법으로 입도에 대한 농도의 상관관계를 통해 외삽하는 방법(Salomons and de Groot, 1978 등), 입자의 표면적에 대하여 농도를 비교하는 방법(Oliver, 1973), 입도에 따른 분리 후 정량하는 방법(Banat et al., 1972a 등), conservative 원소에 대한 상대비를 구하는 normalization을 통해 보정하는 방법(Bruland et al., 1974), Quartz 함량을 이용하여 보정하는 방법(Thomas and Jaquet, 1976 등) 등의 여러 방법들이 시도 되었으며, 본 논문에서는 Bruland 등(1974)에 의해 제안된 conservative 금속, Al에 대한 상대비를 구하여 비교하는 방법을 채택하였다.

본 연구의 중금속 함량의 분석 결과를 보면, 대부분의 원소에 있어 높은 Al을 보이는 일부 오염된 시료를 제외하면 대개 지역에 관계없이 ϵ_{Al} 이 Al의 함량에 무관하게 수평적으로 분포하며 약 1 또는 1보다 적은 값을 보여 주는데, 이는 Al에 의한 normalization 법이 퇴적 입자의 입도 변화에 의한 영향을 보정해 주는 방법으로서 타당성이 있음을 나타내며, 한국 인근 해역의 자연 퇴적물의 대표적인 ϵ_{Al} 을 나타내는 것으로 생각된다.

철, 망간은 산화, 환원 상태에 따라 퇴적층 내에서의 이동이 용이한 원소로서 특히 장항, 동경만등에서 다른 해역에 비해 높은 ϵ_{Al} 값을 보이고 있으며, 이는 환원 환경의 형성(특히 동경만)과 함께 철, 특히 망간이 표면으로 이동되어 나타난 결과로 생각된다.

탄성과 층서

탄성과 반사면 R에 의하여 본 연구 해역의 해저 퇴적층(최대 50m 두께)이 상·하부로 나누어졌는데, 이 반사면이 침식 부정합으로 해석되는 것은 본 역의 내 대륙붕 전역에 걸쳐 넓게 나타나기 때문이다. 이와 유사한 반사면이 본 연구 지역의 인접 남해 대륙붕에서도 보고되었다(Cho et al., 1984; Song and Park, 1984; Song and Jo, 1978; Kang and Chough, 1982).

더구나 본 연구 지역의 경우 뿐만 아니라

한국 주변 대륙붕 해저에서의 탄성과 반사면 R은 넓게 분포하고 있으며 반사면 상부의 퇴적층을 A층 이라고 하고 있다(Min, 1987; Lee, 1985). Werner et al. (1984)은 이 A층을 현세 이토층(modern mud)이라고 하였다. 한국 동남 해저의 경우도 A층이 주로 실트 또는 점토로 구성된 세립질 퇴적층이라고 보고하였다(Park, 1983a; Park and Choi, 1986; Park and Yoo, 1986). 이 퇴적층 A는 현세 해수면 상승(Holocene sea-level rise)이 현재의 해수면에 도달하는 시기와 관계 있으며 퇴적기간을 약 7500-6500년으로 해석하였다(Park, 1983b). 그런데 반사면 R을 한국 서·남해의 대륙붕에서는 흑산 부정합(Huksan unconformity)이라 하였다(Werner et al., 1984). 본 연구 해저의 반사면 R의 하부층으로 해석된 퇴적층 B는 비교적 불연속적이며 강한 탄성과상, 고수로(paleochannel), 전면 층리 구조(forset bedding) 또는 혼탁 층리(acoustic turbid layer) 등의 매우 복잡한 퇴적층 구조를 나타낸다. 그런데 고수로 또는 전면 층리 구조 등은 퇴적층 B가 현세 이전의 간빙기 동안 델타와 같은 비교적 천해적 환경에서 형성되었음을 시사한다고 해석된다. 이러한 해석이 Werner et al. (1984)와 Min(1987) 등에 의하여 발표된 바 있다. Werner et al. (1984)은 이와 같은 층을 하태층(Ha Tae Deposit)이라고 하였다.

결 론

본 연구 해역의 해저 지형은 내 대륙붕과 외 대륙붕의 지형적 구분을 나타내며, 연구 해역 북동부에는 220m내외의 수심을 가지는 한국해협 해곡이 약 75km의 (북동-남서 방향) 축을 나타낸다.

연안·내 대륙붕의 표층 퇴적물은 이토와 사질 실트로 구성된 세립질 퇴적상을 나타내며, 외 대륙붕의 조립질 퇴적물은 모래가 우세한 잔류 퇴적상(relict sediment facies)을 나타낸다. 퇴적물에 함유된 유기탄소의 함량과 분포는 본 연구 해저의 퇴적입도 분포 패턴과

대단히 유사하며 연안·내 대륙붕의 세립 퇴적물이 1% 이상의 함량을 나타낸다.

동남 해역의 9개 정점에서의 표면 퇴적물의 중금속(Mn, Fe, Cr, Ni, Cu, Zn 및 Pb)을 측정하였다. 각 값들을 Al의 함량에 대해 normalization을 수행하여 입도 분포의 변화에 대한 영향을 보정하였다. 장항, 광양만, 마산만, 울산만 및 동경만에서의 자료와 비교하였으며, Ni, Cr, Cu 등은 오염의 영향을 거의 보이지 않으나, Zn, Pb 등은 이미 상당히 오염되어 있음을 보여주었다. 이들 결과는 이 해역에 있어 미세 입자들의 이동이 이미 활발하게 진행되고 있음을 보여주고 있으며, 특히 오염된 미세 입자들의 인접 공급원들에서의 자료들과 비교할 때, 이 해역에서의 미세 입자들의 이동 pattern에 대한 중요한 지구화학적 단서를 얻을 수 있는 가능성을 보여 준다.

부유 퇴적물의 함량과 분포 양상에 있어 표층의 것과 저층의 것이 서로 다른 점은 TSM의 총량과 분포 패턴이다. 특히 저층의 TSM 총량이 전반적으로 표층의 것보다 높은 값을 나타내며 한국해협 협곡 부근의 저층수가 연안·내 대륙붕의 경우와 같이 3mg/l 이상의 높은 TSM값을 가지며 혈입상의 분포를 나타낸다.

본 연구 지역의 탄성과 층서가 규명되었는바, 기본적인 층서 단위는 음향 기반암과 강한 반사면 R에 의하여 상부 퇴적층 A와 하부 퇴적층 B로 구분된다. 상부 퇴적층 A는 현세 퇴적층이며 하부 퇴적층 B는 선 현세 퇴적층으로 사료된다.

감 사

본 연구는 문교부 기초과학 육성 연구 조성비(1986년도)에 의하여 수행되었습니다. 이 연구를 수행하는데 많은 협력을 아끼지 않은 한바다호(한국해양대학)의 박 상갑선장과 선박의 모든 분에게 감사의 뜻을 표명합니다. 이 연구를 위하여 해양탐사에서부터 실내 연구에까지 꾸준하고 열심히 도와준 서울대학교 해양학과 최 진용석사, 최 만식석사, 정 회수석사,

이 상목 학사, 차 현수학사 및 이 미혜 학사에게 사의를 표하며, 연구실의 여러분께도 감사를 포함합니다. 끝으로 이 논문을 토의하고 수정하여 주신 서울대학교 해양학과 이 창복 교수와 한국동력자원연구소 박영수 박사에게 사의를 포함합니다.

REFERENCES

- 이광우, 이수형, 이동수, 1986. 한국 연안 퇴적물의 중금속 오염 역사에 관한 연구, 한국과학기술원 해양연구소, 연구보고서 BSPE 00059-105-4, 48
- Cho, K.J., W.S. Kim, H.C. Han and W.C. Shin, 1984. A seismic stratigraphy of shallow water sediments in the eastern sea of Cheju Island. In Y.A. Park, O.H. Pilkey and S.W. Kim (eds.), Marine geology and physical processes of the Yellow Sea, Proceedings of Korea-U.S. seminar and workshop Seoul, Korea. p. 26-35.
- Banat, K., U. Förstner and G. Müller, 1972 a. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. Umsch. Wiss. Tech. 72: 192-193.
- Bruland, K.W., K. Bertine, M. Koide and E. Goldberg, 1974. History of metal pollution in Southern California coastal zone. Environ. Sci. Technol., 8: 425-432.
- Förstner, U. and G.T.W. Wittmann, 1983. Metal pollution in the Aquatic Environment. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 486p.
- Gibbs R.J., 1977. Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon Rivers. Geol. Soc. Am. Bull., 88: 829-843.
- Jin, Q.M., 1980. Sediment and geomorphology in the East China Sea (Technical Report of Second Institute of Oceanography).
- Jin, C.M. and J. R. Schubel, 1984. Geomorphological and Sea level changes on the continental shelf of the East China Sea since the Late Pleistocene. In Y.A. Park, O.H. Pilkey and S.W. Kim (eds.), Marine geology and physical processes of the Yellow Sea, Proceedings of Korea-U.S. seminar and workshop Seoul, Korea. p. 117-127.
- Kang, H.J. and S.K. Chough, 1982. Gamagyang Bay, southern coast of Korea: sedimentation on a tide-dominated rocky embayment. Mar. Geol., 48: 197-214.
- Kemp, A.L.W., R.L. Thomas, C.I. Dell and J. -M. Jaquet, 1976. Cultural impact on the geochemistry of sediments in Lake Erie. J. Fish. Board Can., 33: 440-462.
- Kitano, Y. and R. Fujiyoshi, 1980. Selective chemical leaching of Cadmium, copper, manganese and iron in marine sediments. Geochem. J., 14: 113-122
- Lee, C.S., 1987. Characteristics of the elastic sediments on the continental shelf off the eastern coasts (Bukpyung-Gampo) of Korea. M.S. thesis, Seoul Natl. Univ., 65p.
- Li, Y.-H., 1981. Geochemical cycles of elements and human perturbation. Geochim. Cosmochim. Acta, 45: 2073-2084.
- Min, G.H. 1987. Quaternary sediments of the western Cheju Strait: M.S. thesis, Seoul Natl. Univ. 90p.
- Oliver, B.G., 1973. Heavy metal levels of Ottawa and Riveav River sediment. Environ. Sci. Technol., 7: 135-137.
- Park, Y.A. and M.Y. Song, 1971. Sediments of the continental shelf off the southern coasts of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 20: 55-61.
- Park, Y.A., 1983 The nature of Holocene sedimentation and sedimentary facies of the continental shelves of Korea. Proceeding, 1983 Summer conference for domestic and foreign scholars of science and technology: KOFST, p. 72-80.
- Park, Y.A., 1984. The nature of late Quaternary sedimentation on the continental shelf off the south-east of Korea. Research Institute for Basic Science, Seoul Natl. Univ, Korea, 147p.
- Park, Y.A., 1985. Late Quaternary sedimentation on the continental shelf off the south-east coast of Korea — A further evidence of relict sediments. J. Oceanol. Soc. Korea, 20: 55-61.
- Park, Y.A. and J.Y. Choi, 1986. Factor analysis of the continental shelf sediments off the Southeast Coast of Korea and its implication to the depositional environments. J. Oceanol. Soc. Korea, 21: 34-45.
- Salomons, W. and A.J. de Groot, 1978. Pollution history of trace metals in sediments, as affected by the Rhine River. In Environmental Biogeochemistry, vol. 1 Krumbein, W.E. (ed.), Ann Arbor Sci. Rubl., 149-162.
- Song, M.Y. and K.J. Jo, 1978. Submarine layer structure by seismic reflection survey between Geoje Island and Namhae Island. J. Oceanol. Soc. Korea, 13: 1-8.
- Song, Y.I., 1986. Origin of the shelfbreak in the central part of the eastern margin of the Korean Peninsula. M.S. thesis, Seoul Natl. Univ., 51p.
- Song, M.Y. and Y.A. Park, 1984. Seismic stratigraphy of the inner continental shelves off Korean peninsula. In Y.A. Park, O.H. Pilkey and S.W. Kim (editors), Marine geology and physical processes of the Yellow Sea, Proceedings of Korea-U.S. seminar and workshop, Seoul, Korea, p. 271-285.
- Suk, B.C., 1986. Depositional environment of late Quaternary sediments and suspended particulate matter on the Southeastern continental shelf, Korea. J. Geol. Soc. Korea, 22: 10-20.
- Tatsumoto, E. and Y. Saito, 1984. Environmental changes of Tokyo Bay by man in comparison with environmental changes by nature during geological history. Bull. Geol. Surv. Japan 35(6): 243-260.
- Thomas, R.L. and J. -M. Jaquet, 1976. Mucury in the surficial sediments of Lake Erie. J. Fish. Board

- Can., 33: 404-412.
- Turekian, K.K. and K.H. Wedepohl, 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 72: 175-192.
- Werner, F., Y.A. Park, S.W. Kim and K.J. Cho, 1984. Impact of Quaternary sea-level fluctuations on sediment dynamics in the Yellow Sea. In Y.A. Park, O.H. Pilkey and S.W. Kim (eds.), *proc. of Korea-U.S. seminar and workshop on marine geology and physical processes of the Yellow Sea*. Seoul: KIER, p. 314-328.
- Ye, Y.O., C.M. Jin, Z.Y. Lei and X.T. Chen, 1983. Bedform morphologies of the continental shelf off the Changjiang (Yangze) River mouth and their environmental conditions. *International Symposium on sedimentation on the continental shelf, with special reference to the East China Sea (Treatise Abstract)*. Hangzhou, China.

Received March 2, 1987

Accepted March 19, 1987