



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



博士學位論文

제주도 주변 대륙붕 퇴적물의  
지화학적 조성과 기원지 연구

濟州大學校 大學院

海洋學科

金 太 正

2012年 02月



# 제주도 주변 대륙붕 퇴적물의 지화학적 조성과 기원지 연구

指導教授 尹 正 守

金 太 正

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함

2012年 02月

金 太 正의 理學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 方 益 燦

委 員 崔 永 贊

委 員 徐 榮 教

委 員 金 仙 玉

委 員 尹 正 守

濟州大學校 大學院

2012年 02月

Geochemical Composition and Provenance  
Study of Shelf Sediments around Jeju Island,  
Korea

Tae-Joung Kim

(Supervised by professor Jeung-Su Youn)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of  
Doctor of Science

2012. 02.

This thesis has been examined and approved.

.....  
Thesis director, Ig-Chan Pang, Prof. of Earth and Marine Sciences

.....  
Thesis director, Young-Chan Choi, Prof. of Earth and Marine Sciences

.....  
Thesis director, Young-Kyo Seo, Dr. of Marine Geology

.....  
Thesis director, Seon-Ok Kim, Dr. of Applied Geology

.....  
Thesis director, Jeung-Su Youn, Prof. of Earth and Marine Sciences

*February, 2012*

Department of Oceanography

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

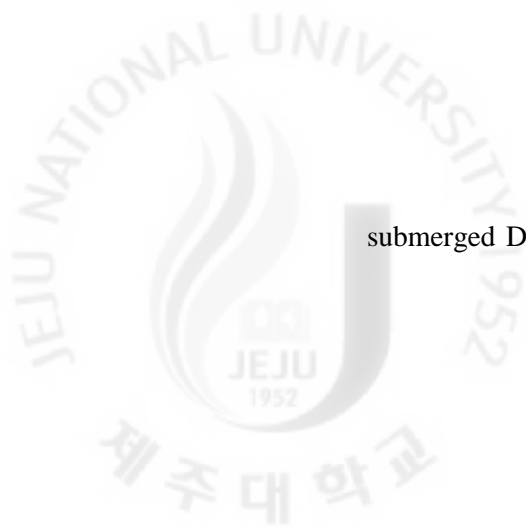
# 목 차

목 차 .....	i
List of Figures and Tables .....	ii
Summary .....	vi
I. 서론.....	1
II. 해저지형과 해황.....	5
III. 재료 및 방법 .....	7
1. 시료 채취 .....	7
2. 시료 분석.....	7
IV. 결과 및 고찰.....	11
1. 표층퇴적상의 조성분포.....	11
2. 퇴적물내 유기물과 주성분 원소의 함량.....	16
2-1. 퇴적물내 탄산염과 유기탄소 함량 분포.....	16
2-2. 금속원소의 함량과 공간 분포.....	21
3. 퇴적물내 원소조성의 지화학적 특성.....	41
3-1. 주성분원소 및 미량원소 .....	41
3-2. 희유원소 .....	50
4. $Pb^{210}$ 동위원소에 의한 퇴적속도 추정.....	58
5. Sr-Nd 안정 동위원소 비율에 의한 퇴적물 기원지 해석.....	63
V. 결론.....	73
참고문헌.....	76
감사의 글.....	88

## List of Figures

Fig. 1.	Schematic map of the bathymetry and regional circulation patten in the Yellow Sea and adjacent areas during wintertime(modified after, Liu et al., 2007).....	6
Fig. 2.	Study area, sampling sites and bathymetry around Jeju Island. contours in meters.....	10
Fig. 3.	Map showing of surface sediment distribution around Jeju Island.....	15
Fig. 4-A.	Areal distribution of the CaCO <sub>3</sub> in surface sediments around Jeju Island.....	19
Fig. 4-B.	Areal distribution of the organic carbon in surface sediments around Jeju Island.....	19
Fig. 5.	Total organic carbon contents vs. C/N ratios in surface sediments around Jeju Island.....	20
Fig. 6.	Relationships between elements plotted against Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> contents around Jeju Island sediment.....	31
Fig. 7-A.	Clay(<2 μm) contents of the bottom sediments around Jeju Island.....	35
Fig. 7-B.	Areal distribution of Al in surface sediments around Jeju Island.....	35
Fig. 7-C.	Areal distribution of Fe / Al ratios in surface sediments around Jeju Island .....	36
Fig. 7-D.	Areal distribution of Mn / Al ratios in surface sediments around Jeju Island .....	36
Fig. 7-E.	Areal distribution of Ti / Al ratios in surface sediments around Jeju Island .....	37

Fig. 7-F.	Areal distribution of Na / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.....	37
Fig. 7-G.	Areal distribution of Ca / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.....	40
Fig. 7-H.	Areal distribution of Sr / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.....	40
Fig. 8.	A-CN-K and A-CNK-FM diagram of the river and study area sediments(Nesbitt and Young, 1982, 1984).....	43
Fig. 9.	Liner trend of (Ca-Fe) / Al, (Ca-Mg)/ K ratio against the (Al+Fe) / (Ca+Mg+K), (Ca-Fe) / Al ratios.....	45
Fig. 10.	Discrimination plots of Sc/Al vs Cr/Th, Th/Sc vs Nb/Co and Ti/Nb vs Th/Sc. Huanghe, Changjiang and Keum rivers sediment(Yang, et al., 2004), UCC: Average upper continental crust(Taylor and McLennan, 1985).....	49
Fig. 11.	Correlation between REE and sediment grain size.....	51
Fig. 12.	Chondrite-normalized REE diagram.....	54
Fig. 13.	The upper continental crust(UCC) normalized distribution patterns for REEs. ....	57
Fig. 14.	Depth profiles of <sup>210</sup> Pb activity from cores SYS-20002 and SYS-20009 in the study area. ....	61
Fig. 15.	Depth profiles of <sup>210</sup> Pb activity from cores SYS-20016, SYS-20030 and SYS-20034 in the study area(after Youn and Jung, 1992).....	62
Fig. 16.	Comparisons of <sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd and <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr ratios between the around Jeju Island sediments(AJIS) and those from other rivers in the world. ....	67
Fig. 17.	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr ratio versus <sup>ε</sup> Nd(o) plot of the around Jeju Island sediment samples(AJIS) in East China Sea, Shandong peninsula mud wedge(SPMW), Central Yellow Sea muddy sediment(CYSMS) and Changjiang River's	



submerged Delta sediments(CRSDS).....72



## List of Tables

Table 1.	Grain-size and Organic material content of surface sediments around Jeju Island	13
Table 2.	Elements concentration around Jeju Island shelf sediments in comparison to Huanghe(HURS), Changjiang(CHRS), Keum rivers sediments and UCC, PAAS and NASC(unit:*in wt.% and $\mu\text{g/g}$ for the other elements)	23
Table 3.	Isotope(Sr-Nd) chemistry of the $< 63\mu\text{m}$ fraction of sediments around Jeju Island samples(AJIS), SPMW, CYSS and CRSDS	68



## Summary

### **Geochemical Composition and Provenance Study of Shelf Sediments around Jeju Island, Korea**

Geochemical compositions sedimentation rates and Sr-Nd isotopic ratios of surface and core sediments around Jeju Island were analyzed for the identification of sediment origins. The sediments in the study area are composed of fine sand and silt with a mean grain size of  $2.43\sim 8.54\Phi$  and their  $\text{CaCO}_3$  contents ranged from 1.92 to 11.7 wt. %. The ratios of TOC over total nitrogen(TN) showed that the study area sediments contained more organic matters of marine origin than those of terrigenous origin. The regional distribution patterns of major elements, which showed the high concentration of Fe/Al, Mn/Al and Ti/Al figures, were found in the southwestern part near the Changjiang estuary, indicating that it seemed to result from the influence of the Changjiang River. The discrimination diagrams including Sc/Al vs Cr/Th, Th/Sc vs Nb/Co and Ti/Nb vs Th/Sc were thus used as provenance indicators to identify the sediment origins around Jeju Island. Based on these discriminated diagrams, it clearly showed that most of the sediment in the western part originated from the Huanghe River, but the sediments in both the southwestern and southern part near the Changjiang estuary might come from the Changjiang River. In contrast, the sediment samples from the northwestern part and the northern coast of Jeju Island were originated from the Korean rivers.

In the REE distribution from the study area, sediments relatively enriched in most of LREEs( $\text{La}_{(N)}/\text{Sm}_{(N)}) > 4$  and negative Eu anomaly and are similar to that of the average of upper continental crust shale.

The ucc-normalized REE pattern in the most of the sediment samples in the southwestern offshore regions showed similar to that of Changjiang sediments with more convex REE

patterns and middle REE enrichment relative to the western part sediments which were originated from the Huanghe River.

The accumulation rate, which can be obtained using  $Pb^{210}$  geochronologies of the muddy sediments in the northeastern area, showed 0.29cm/yr. The sedimentation rate from core SYS 20009, located in the northwestern near the side, showed 0.13cm/yr indicating that the mud deposits in the Central Yellow Sea may have received influence from the Huanghe River discharge sediments. In the isotopic composition of the  $^{87}Sr/^{86}Sr$  ratios versus  $^{143}Nd/^{144}Nd$  values of the study area, sediments can be divided into three potential isotopic end-member group. The sediments in the western and northwestern region are ultimately sourced from the Chinese Rivers especially from the Huanghe River. The sediments in the southwestern part near the Changjiang estuary might come from Changjiang River, whereas the sediments in the northeast part might come from the Korean river and Jeju Island suggesting multiple sources of the sediment in the area.

## I. 서론

본 조사지역은 북위 32° 00' ~ 34° 00', 동경 123° 00' ~ 127° 00'에 범위에 위치하는 제주도 주변 해역으로 황해 남부와 동중국해 북부가 포함되는 대륙붕 지역으로써 주변 육상으로부터 다양하게 퇴적물을 공급 받고 있는 지역이다(Fig. 1).

황해는 한반도와 중국대륙으로 둘러싸여 있는 평균 수심이 50m에 달하는 반폐쇄형의 천해수역으로 북쪽으로는 발해와 연결되며, 양자강 하구역의 귀동(Qidong)에서 제주도에 이르는 경계면을 따라 남쪽으로는 동중국해와 접해 있다. 해저지형은 편평한 서부수역과 경사가 급한 동부수역으로 구분이 뚜렷하며, 수심은 연안쪽에서 중심부로 갈수록 증가하여 중앙부에서 분지지형을 형성한다.

황해 남부의 대륙붕에는 중국의 황하강(Huanghe River)과 양자강(Changjiang River)으로부터 각각 약  $1.1 \times 10^9$  ton/yr 과  $4.9 \times 10^8$  ton/yr에 달하는 육상기원 퇴적물이 공급되며 또한 한반도의 여러 하천으로부터 약  $50 \times 10^6$  ton/yr의 퇴적물이 공급된다 (Schubel et al., 1984; 박 등, 1994). 중국의 주요 강들로부터 유입된 퇴적물의 대부분은 황해의 서부와 중앙부에 퇴적되며, 황해 동측부분의 상대적으로 좁은 해역은 한반도의 크고 작은 강과 하천을 통해 유입된 퇴적물이 분포하는 것으로 보고되었다(Chough and Kim, 1981; Alexander et al., 1991).

중국의 양자강과 제주도-일본의 쿠슈 및 류구열도-대만을 연결하는 선 안쪽에 위치한 동중국해는 서태평양과 황해를 연결하는 수심 200m 이하의 넓은 대륙붕과 좁은 대륙사면으로 이루어져 있으며(Qin et al., 1996; Liu et al., 2000), 제 4기 후기 빙하기-간빙기에 일어난 전 지구적인 해수면 변동에 따라 대륙붕해역은 육상과 천해역 환경이 반복된 지역이다(Li et al., 1999; Liu et al., 2000).

황하의 세계 제2위로 많은 양의 퇴적물을 운반하는 큰 강으로 중국의 서쪽에서

동쪽으로 흘러 발해로 흘러들어 가고 있다. 강의 총 길이는 5,460km, 유역면적은  $7,524 \times 10^2 \text{ km}^2$ 로 1950년부터 1989년의 약 40년간 연평균 하천유량이  $4.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 부유퇴적물 운반량은  $1.1 \times 10^9 \text{ ton}$ 에 달해 황해 퇴적작용에 큰 역할을 하고 있다(Saito and Yang, 1994). 황하는 과거 수 천년 동안 유로를 산둥반도를 중심으로 북쪽과 남쪽으로 변해왔다. 황하의 유로가 산둥반도 북쪽의 발해로 유입한 것은 1855년부터이고, 현재 황하 하구에는 대규모의 삼각주가 형성되어 있고 운반된 토사에 의해 해안선은 최근 10년간 15km 정도 바다로 뺏어 있다(Keller and Prior, 1986). 현재 황하기원 퇴적물은 70~80%가 해안선에서 약 20km 이내 지역에 퇴적되고, 10~15%가 발해만에 퇴적되며, 나머지 15~20% 정도가 산둥반도 부근에서 남하하여 황해 중앙부해역과 동중국해까지 운반·퇴적되는 것으로 알려져 있다(Saito and Yang, 1994). 한편, 황하는 1128년부터 1855년 기간 동안에는 그 유로가 산둥반도 남쪽의 장수(Jiangsu)지역에 위치하였으며 직접 황해로 흘러 들어갔다. 황하의 유로가 1855년 발해역으로 이동한 이후 장수 연안지역은 급격한 해안침식이 일어나  $1,400 \text{ km}^2$ 의 연안육지 지역이 소실되었고, 연평균  $4.4 \times 10^8 \text{ ton}$  정도의 퇴적물이 생산되는 것으로 보고되었다(Satio, 1998). 고향하기원 삼각주 퇴적물은 장수연안류 등에 의해 황해 중앙부해역과 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 운반되고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman et al., 1985).

조사 지역 남서쪽에 위치하는 양자강은 길이가 약 6,300km, 유역면적  $1.94 \times 10^6 \text{ km}^2$ 인 중국대륙에서 가장 큰 강으로서 희말라야 고원 지대에서 발원하여 중국에서 인구가 가장 많은 지역을 관류하여 동중국해로 흘러가며, 동중국해 대륙붕지역 퇴적물은 대부분 양자강에 그 근원을 두고 있다. 연간 담수와 퇴적물 유출량은 각각  $9.24 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,  $4.86 \times 10^8 \text{ ton}$  정도이고 이들 담수와 부유퇴적물 유출량은 계절적으로 심한 편차를 보이며 전체 배출량의 약 70% 정도가 주로 홍수기간인 5월에서 10월

사이에 이루어지고 있다(Schubel et al., 1984; Milliman and Meade, 1983).

황해와 동중국해 퇴적물에 대한 지화학적 및 고환경 변화의 연구로서 Milliman et al.,(1985)은 해역퇴적물에서 황해와 양자강기원 퇴적물의 구별에는 점토광물 조성, 광물형상 및 화학조성의 특징에 의해 동중국해에 분포하는 퇴적물을 황하기원형과 양자강기원형으로 구분하는 연구를 하였고, 동중국해 대륙붕 퇴적물에 대한 지화학적 연구는 주로 양자강 하구 연안역(Wang et al., 1983; Chen et al., 1983; Buckley et al., 1983)에서 수행되었다. DeMaster et al.,(1985)는 동중국해 대륙붕지역에 분포하는 니토대에서 동위원소를 이용한 퇴적률 및 퇴적물 수지(budget)를 평가하는 연구를 하였고, Zhao 등(1990)은 남황해 중앙부에 분포하는 니질퇴적체(Central Yellow Sea Mud; CYSM)에 대한  $^{210}\text{Pb}$  동위원소를 이용한 퇴적률 측정과 화학조성의 특징에 근거하여 이곳의 니토는 황해강으로부터 운반된 물질, 장수 북쪽지역의 고향하 삼각주 해안의 침식·운반된 물질 및 양자강기원 물질이 혼합된 복합기원 현생니토대(multi-source modern mud)로 해석하였다. Zhao and Yan(1992)은 황해, 양자강 및 동중국해 대륙붕 지역에서 채취된 퇴적물에 대한 60여종의 화학분석치로부터 근원지별 배경농도와 이들을 식별할 수 있는 지화학적 연구를 하였고, 천 등(2000)은 황해 중심부에 분포하는 산화대층의 특성 연구에서 황해 중앙부해역은 홀로세 동안에 퇴적물 공급이 거의 없었거나 아주 적게 공급된 퇴적전선(sedimentation front)지역으로 해석하였으며, 남 등(2003)은 황해 남부해역과 동중국해 북부해역에서 채취된 코아퇴적물 시료에 대한 유기지화학적 및 안정동위원소 값을 이용한 고환경변화에 관한 연구를 하였다. 윤 등(2005, 2006, 2011)은 퇴적물의 화학조성 특징과  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해 대륙붕 퇴적물의 기원지 추적자 연구에서 양자기원 부유퇴적물의 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역으로 공급될 가능성을 지적하였고, 윤과 김(2008)은 퇴적물의 지화학적 연구에서 제주도

서부해역은 황하와 양자강에서 운반된 복합기원 퇴적물의 집적되는 지역으로 해석하였다. Yang and Youn(2007)은 황해지역 니질퇴적물에 대한 퇴적률과 지화학적 특징에 근거해 남황해 중앙부에 분포하는 니질퇴적물은 주로 황하강으로부터 공급된 퇴적물로 구성되어 있고, 동쪽의 사질퇴적물은 후빙기 해침 기간에 한반도 강들로부터 기원 되었다고 해석하였다. 그러나 남황해 중앙부에 광범위하게 분포하는 니토대(Central Yellow Sea Mud), 한국 서남해 연안에 분포하는 니토대(Southwestern Yellow Sea Mud), 제주도 남서쪽 동중국해 외대륙붕에 형성된 니토대(Southwestern of Jeju Island Mud)는 대부분 중국의 황하와 양자강 및 한반도 서해안의 강들로부터 공급된 것으로 평가하고 있으나, 아직까지 기원지 구분에 이용될 수 있는 확실한 지화학적 추적자가 제시되지 못한 상태이다. 이처럼 황해 남부와 동중국해 북부지역은 중국과 한반도 주변의 육지에서 강과 대기를 통해 유입되는 물질과 해류에 의해서 운반된 물질로 혼합되어 이 지역의 복잡한 해양조건을 반영하므로 유입된 물질들의 근원지별로 지화학적 특성이 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 제주도 주변해역 대륙붕지역에서 채취된 표층퇴적물 시료에 대한 입도분석과 주성분 및 미량원소를 분석하여 이들 원소들의 공간적 분포특성과 분포에 영향을 미치는 조절 요인을 비롯하여 이미 연구 보고된 중국의 황하와 양자강 및 한국의 강 퇴적물 등의 값과 비교 고찰하고, 채취된 주상시료는  $Pb^{210}$  동위원소 연구를 통한 퇴적속도를 밝혔고, 스트론튬-네오디뮴(Sr-Nd) 동위원소비 분석연구를 수행하여 제주도 주변해역에 분포하는 퇴적물의 근원지를 파악하였다.

## II. 해저지형과 해황

동중국해는 서태평양과 황해를 연결하는 수심 200m 이하인 넓은 대륙붕과 좁은 대륙사면으로 이루어져 있으며(Qin et al., 1996; Liu et al., 2000) 후기 제4기 빙하기-간빙기에 일어난 전 지구적인 해수면 변동에 따라 대륙붕지역은 육상과 천해역 환경이 반복된 지역이다(Li et al., 1999; Liu et al., 2000). 동중국해의 내대륙붕역은 50m 등수심선을 기준할 때 양자강 하구역인 서쪽에 위치하며 이곳에는 수중삼각주가 넓게 분포하고 있으며, 외대륙붕역에 해당하는 중앙부는 50~100m 정도의 수심을 보이며 이곳에도 많은 단구가 분포하고 있다(Zhu and Wang, 1988).

동중국해는 면적  $1,249 \times 10^6 \text{km}^2$ , 최대수심 2,719m, 평균수심 188m인 해역이며(saito, 1998), 음파탐사에 의해 확인된 해저지형은 북동~남서 방향으로 배열된 황해분지, 타이완분지, 오키나와곡분 및 류큐해구의 해저분지들과 복건-영남육괴 및 타이완-신지습곡대의 융기부로 구성되어 있다(Wageman et al., 1970). 또한 본 조사지역내에는 수중암초인 Socotra Rock이 분포하고(북위  $32^\circ 7' 48''$ , 동경  $125^\circ 10' 36''$ ) 있는데, 본 암초의 크기는 남북 길이가 약 50m, 동서는 약 750m, 넓이는 약  $37.5 \text{km}^2$ 로 화산활동에 의해 형성된 암편질 응회암(lithic tuff)으로 구성되어 있다(윤정수, 1986).

연구지역을 포함한 동중국해역의 세립질 퇴적물의 이동과 확산에 영향을 미치는 것으로 알려진 해류는 발해만 해협을 지나 산둥반도 동쪽 해안선을 따라 남하하는 황해연안류, 겨울철 대류혼합에 의해 생성되는 황해저층냉수, (고)황하 삼각주 해역에서 남동 및 북동진하는 장수연안류, 양자강하구역에서 북동진하여 제주도 서쪽해협을 지나 남황해 내부로 북상하는 양자강 회석수 그리고 쿠로시오 해류에서 분기해 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입되는 황해난류수 등인 것으로 보고되고 있다(Fig.1; Lie, 1986; Zhao et al., 1990).



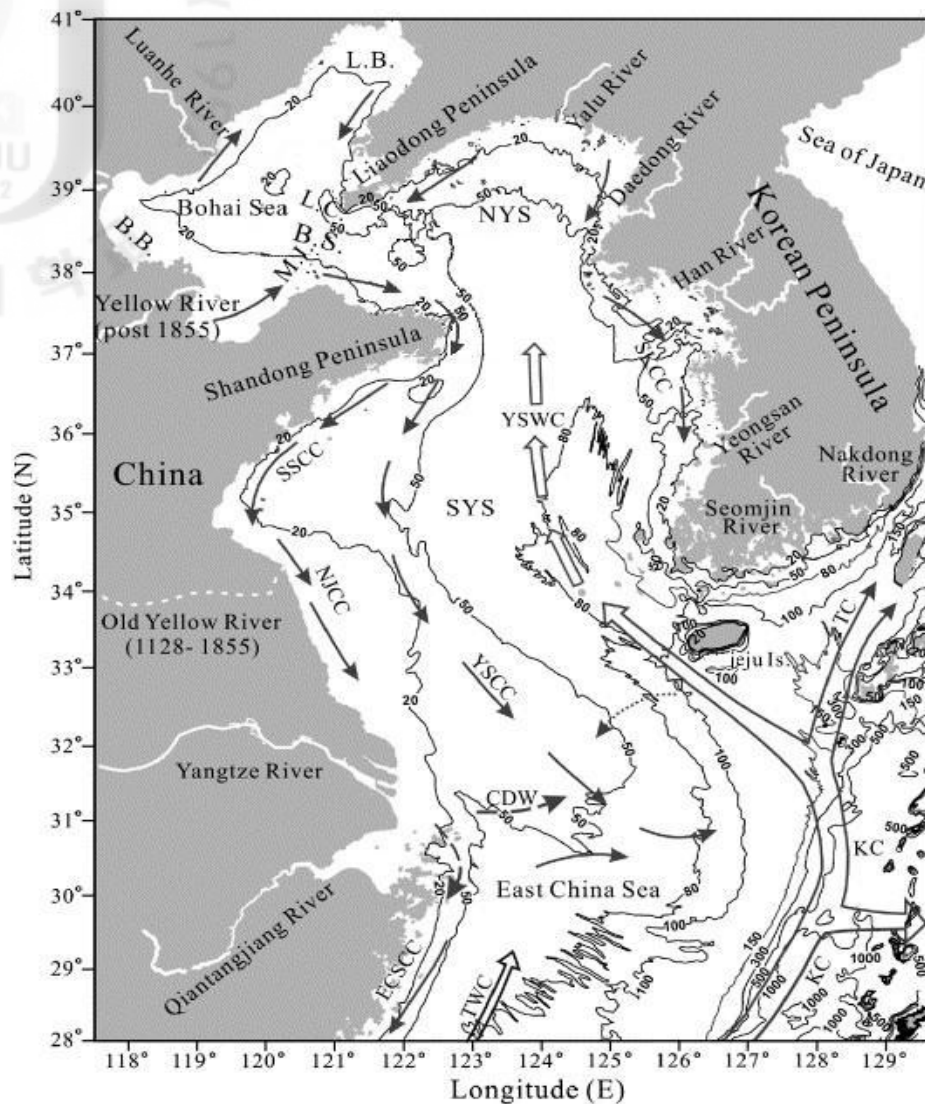


Fig. 1. Schematic map of the bathymetry and regional circulation pattern in the Yellow Sea and adjacent areas during wintertime(modified after, Liu et al., 2007). contours in meters. Note; SYS, South Yellow Sea; NYS, North Yellow Sea; B.S., Bohai Strait; M.I., Miaodao Islands; L.C., Laotieshan Channel; L.B., Liaodong Bay; B.B., Bohai Bay; KC, Kuroshio Current; YSWC, Yellow Sea Warm Current; TC, Tsushima Current; TWC, Taiwan Warm Current; YSCC, Yellow Sea Coastal Current; SKCC, South Korean Coastal Current; SSCC, South Shandong Coastal Current; NJCC, North Jiangsu Coastal Current; CDW, Changjiang Diluted Water; ECSCC, East China Sea Coastal Current.

### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 1. 시료 채취

본 연구를 위한 시료 채취는 제주대학교 실습선 아라호를 이용하여 2000년 부터 2003년 4여년에 걸쳐 북위 32° 00' ~ 34° 00', 동경 123° 00' ~ 127° 00'에 사이에 위치한 광범위한 제주도 주변 해역에서 실시 하였다(Fig. 2). 해저 퇴적물은 Van Veen Grab Sampler를 사용하여 총 45개 정점에서 주상시료는 Gravity Corer를 이용하여 2개 정점에서 시료를 채취하였다.

#### 2. 시료 분석

퇴적물 입도 분석은 Ingram(1971) 과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 시료 40~50g를 취하여 회석법에 의하여 용해성 염분을 제거한 시료를 6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 유기물을 제거하였다. 유기물이 제거된 시료에 10% HCl로 패각편을 제거한 후에 0.0623 mm(230mech)의 체를 사용하여 습식체질 후 조립부와 세립부로 나누어 조립부는 1Φ 간격으로 Ro-tap sieve shaker를 사용하여 건식 체질한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 세립부는 환산제 Calgon(sodium hexametaphosphate) 2g를 첨가하여 시료를 환산시킨 후 피펫방법에 의해 1Φ 간격으로 분석한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 이 결과를 Folk and Ward(1957)의 공식에 의해 평균치, 분급도, 왜도, 첨도 등의 조직표준치를 계산하였고, Folk(1968)의 삼각도표에 의해 퇴적물 유형을 분류하였다. 채취된 2개의 주상시료에 대한 <sup>210</sup>Pb 분석은 분마한 퇴적물 시료를 플라스틱 계측병에 담아 밀봉한 후, <sup>226</sup>Ra, <sup>214</sup>Pb 그리고 <sup>214</sup>Bi 사이의 평형이

이루어지도록 3 주 이상 보관하였다. 사용된 감마선 계측기는 저준위 방사능 시료를 측정하기에 적합한 WIGe 검색기(Well Type Intrinsic Germanium Detector, CANBERRA Model GCW 2021)로 약 24-36 시간 동안 계수(counting)하였다.  $^{210}\text{Pb}$  는 46.5keV 에서 측정하였으며,  $^{226}\text{Ra}$  과 평형에 도달해 있는 딸 핵종들인  $^{214}\text{Pb}$ (295.2keV, 351.9keV)와  $^{214}\text{Bi}$ (609.3keV)를 이용하여  $^{226}\text{Ra}$  의 방사능을 Kim and Burnett(1983)의 방법에 따라 계산하였다.

퇴적물내의 원소총량 분석을 위한 시료는 먼저 100℃로 건조시킨 후 막자사발(agate mortar)에서 분쇄하였다. 분말화된 퇴적물 시료 2g 을 Teflon bomb 내에서 불산(HF), 과염소산(HClO<sub>4</sub>), 질산(HNO<sub>3</sub>) 혼합용액으로 반응시켜 규산염 광물격자를 파괴시킨 후 1M HNO<sub>3</sub> 용액으로 추출하여 20ml 로 만들어 100 배 희석하였다(Kitano and Hujiyoshi, 1980). 이 용액을 한국기초과학연구원(XRF 와 ICP-MS)에 의뢰하여 42 종 원소성분의 함량을 측정하였다. 동일시료에 대한 총탄소 및 유기탄소함량은 CHN 분석기(Leco CHN-100)을 이용하여 분석하였고, 탄산염함량은 총탄소(Total Carbon : TC)와 총유기탄소(Total Organic Carbon : TOC)의 함량 차이를 이용하여 계산하였다(Byers et al., 1978).

스트론튬-네오디뮴(Sr-Nd) 동위원소 분석을 위해 채취된 시료는 제주도 주변해역에서 18 개 시료를 선택하였고, 황해 중앙부해역과 양자강하구 연안역에서 각각 5 개의 퇴적물 시료를 채취하였다(Fig. 2). 채취된 시료에 대해 해수기원의 스트론튬(즉, biogenic carbonates 와 Fe/Mn oxy-hydroxides)을 제거하기 위해 Eisenhauer et al.,(1999) 방법에 따라 1N-HCl 로 처리하였다(Snoeckx et al., 1999). 또한 입도의 영향을 최소화하기 위해 염산처리된 28 개의 시료에 대해 230mesh 체를 사용하여 습식체질한 후 세립부 시료를 건조시켜 10g 정도를 분말화하여(Tutken et al., 2002) 이 시료를 한국기초과학연구원에 의뢰하여  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  및  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  비와

화학조성을 분석하였다. 분석기간 중 반복측정된 표준시료의 La Jolla(JNdi)와 JNdi-NBS987의 동위원소비는 각각  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512108\pm 5$ 와  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710267\pm 4$ 이었고, 그리고  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  값은  $[(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}]=0.512638$ 에 의해 계산하였다.

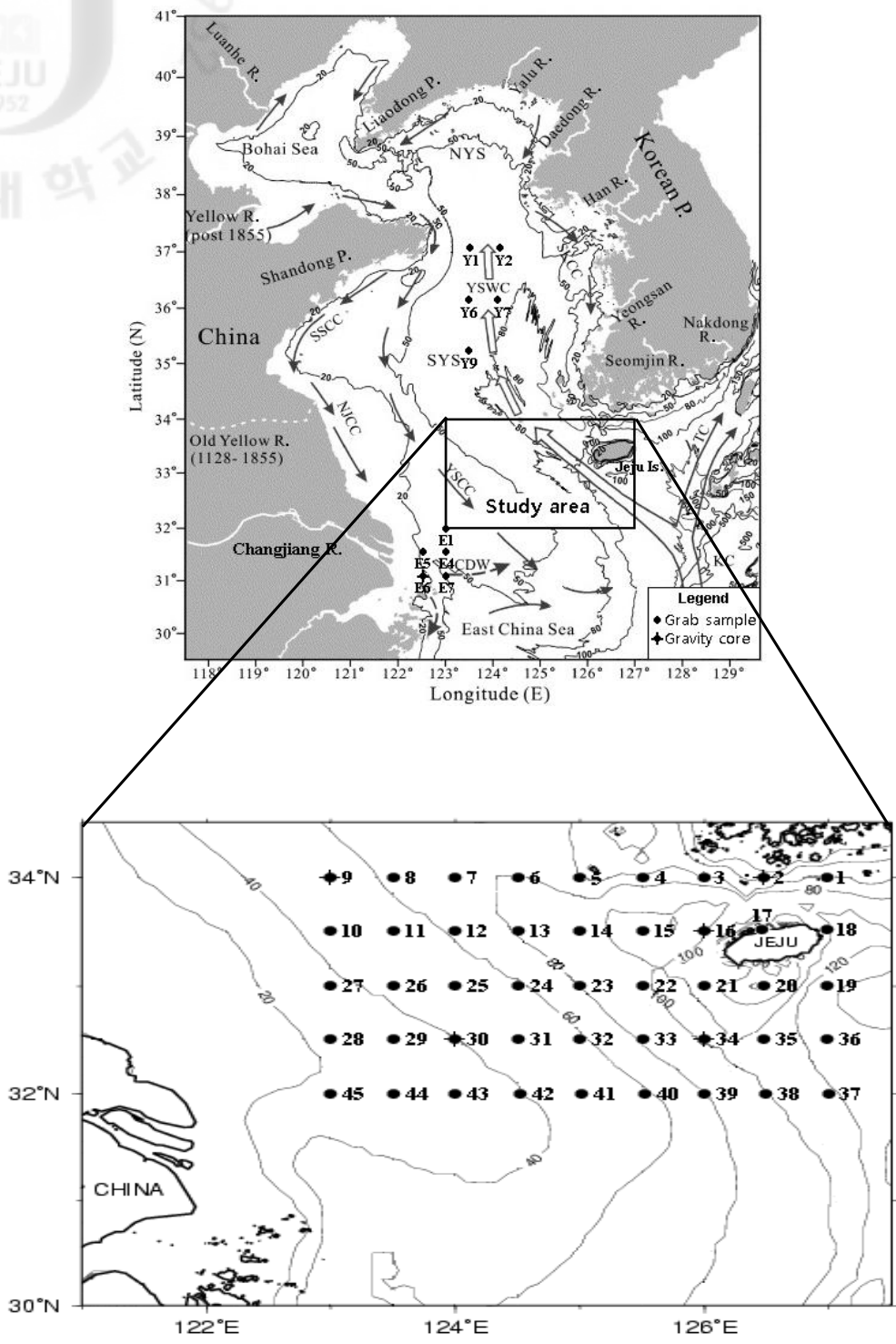


Fig. 2. Study area, sampling sites and bathymetry around Jeju Island. contours in meters.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 표층퇴적상의 조성 및 분포

연구지역 표층퇴적물의 유형은 소량자갈함유니질모래((g)mS), 니질모래(mS), 모래(S), 사질니토(sM), 니토(M) 등으로 총 9 개 유형의 분포를 보이나, 크게 보아 니질모래퇴적상((g)mS+mS+cS+zS), 사질니토퇴적상(sZ+sM+sC+gM), 니토 퇴적상(M)분포 지역으로 분류할 수 있다(Table 1).

니질모래 퇴적상은 연구지역 북동쪽에 광범위한 분포를 보이며 그 외 양자강 하구역과 가까운 남서쪽 끝지역에는 소규모로 분포하고 있다(Fig. 3). 평균조성은 자갈 1.8%, 모래 66.4%, 실트 14.5%, 점토 18.9%이고, 평균입도는  $3.80\Phi$ 로 극세립질 모래에 해당한다. 사질니토 퇴적상은 연구지역 북서쪽에서 남동쪽으로 광범위한 대상 분포를 보이며(Fig. 3) 평균조성은 모래 32.2%, 실트 30.6%, 점토 37.2%이고, 평균 입도는  $6.11\Phi$ 로 중립질 실트에 해당한다. 니토 퇴적상은 연구지역 남동쪽 지역(Stn-34, 38, 39)와 북서쪽 끝지역(Stn-9, 11) 및 북동쪽지역(Stn-4)에 소규모의 분포를 보이며(Fig. 3) 평균조성은 모래 3.7%, 실트 42.0%, 점토 54.3%이고, 평균입도는  $7.58\Phi$ 로 세립질 실트에 해당한다. 본 연구지역 남동쪽 끝지역에 분포하는 니토 퇴적상은 제주도 남서쪽 동중국해 외대륙붕 지역에 형성된 니토대(Southwestern offshore Jeju Island Mud; SOJIM)로 (고)황하와 양자강을 통해 공급된 복합기원 현생퇴적물로 해석하였고(윤 등, 2005), Youn and Kim(2011)과 Hu and Yang(2001)은 연구지역의 북동쪽 지역에 분포하는 니토 즉, 황해남동부 지역에 분포하는 니토대(Southeastern Yellow Sea Mud; SEYSM)는 주로 금강 및 영산강에 의해 니질퇴적물이 공급된 것으로 알려졌으나, 아직까지 근원지가 명확히 밝혀지지

못한 상태에 있다(Lee and Chough, 1989; Alexander et al., 1991; Khim and Park, 1992; Yang et al., 2003). 사질 퇴적상은 양자강 하구역과 근접한 남서쪽 끝지역(Stn-44)에 소규모로 분포하며 평균조성은 모래 90.6%, 실트 4.2%, 점토 5.2%이고, 평균입도는 2.43 $\Phi$ 로 세립질 모래에 해당하며 상기의 사질 퇴적물들은 지난 마지막 최대 빙하기(Last Glacial Maximum)의 해수면이 하강하였던 동안 집적된 잔류퇴적물(relict sediment)로 보고되었다(Niino and Emery, 1961).

Table 1. Grain-size and Organic material content of surface sediments around Jeju Island

Station No.	Size analysis(%)				Sediment type	Organic matter(%)				Mz( $\Phi$ )
	Gravel	Sand	Silt	Clay		TOC	TN	CaCO <sub>3</sub>	C/N(atomic)	
1	0.3	57.8	33.7	8.20	(g)mS	0.61	0.07	11.70	10.16	2.58
2	5.6	26.7	25.3	42.4	gM	1.47	0.09	5.10	18.75	5.78
3	3.2	58.4	13.8	24.6	(g)mS	0.74	0.08	9.91	11.46	4.34
4	-	1.70	44.9	53.4	M	0.91	0.08	4.83	13.31	8.07
5	-	57.0	16.2	26.8	mS	0.51	0.07	4.66	8.60	4.45
6	-	52.2	17.2	30.6	mS	0.29	0.08	4.25	4.24	4.57
7	-	38.9	24.6	36.6	sM	0.61	0.12	4.17	5.93	6.37
8	-	21.1	32.0	46.9	sM	1.04	0.10	3.42	12.18	7.23
9	-	3.40	38.7	57.9	M	0.90	0.06	3.00	17.44	8.54
10	-	31.2	45.1	23.7	sZ	0.52	0.09	2.42	6.68	6.00
11	-	7.60	51.2	41.2	M	0.98	0.13	1.92	8.82	7.33
12	-	20.0	31.3	48.7	sM	0.62	0.11	3.92	6.62	6.20
13	-	37.4	22.1	40.5	sM	0.66	0.10	2.67	7.70	6.67
14	-	48.3	17.9	33.9	sM	0.57	0.06	4.01	11.16	5.78
15	-	54.6	16.9	28.5	mS	0.32	0.08	5.08	4.73	4.32
16	-	18.6	73.5	8.00	sZ	1.36	0.09	5.92	17.11	4.28
17	-	24.5	22.4	53.1	sC	0.84	0.07	6.94	14.01	6.47
18					Rocky Bottom					
19	-	56.4	19.2	24.5	mS	0.59	0.09	9.75	7.83	2.50
20	-	35.8	26.2	38.0	sM	0.56	0.13	7.30	5.05	5.35
21	-	88.4	4.40	7.20	mS	0.36	0.06	8.33	6.97	2.92
22	-	59.7	14.5	25.8	mS	0.27	0.06	8.16	5.83	4.13
23	-	43.9	15.3	40.9	sM	0.89	0.11	1.92	9.36	6.65
24	-	57.0	13.5	29.5	cS	0.54	0.07	4.25	9.01	5.43
25	-	13.5	48.5	38.0	sM	1.07	0.17	2.92	7.41	6.93
26	-	46.5	25.2	28.3	sM	0.95	0.12	2.83	9.18	5.72
27	-	49.5	25.3	25.2	sM	0.94	0.10	2.00	10.92	5.71
28	-	75.6	14.4	10.0	mS	0.59	0.11	2.92	6.86	3.57
29	-	71.6	15.1	13.4	mS	0.51	0.07	2.58	8.43	3.93
30	-	46.5	35.1	18.4	sM	0.47	0.06	2.00	9.12	5.13
31	-	45.2	16.7	38.1	sC	0.38	0.10	2.92	4.48	6.27
32	-	15.0	34.5	50.5	sM	0.97	0.13	3.75	8.70	7.47
33	-	17.9	29.2	52.9	sM	0.73	0.09	3.16	9.48	6.32

NOTE. (g)mS : slightly gravelly muddy sand, gM : gravelly mud, S : sand, mS : muddy sand, sM : sandy mud, sZ : sandy silt, Z : silt, sC : sandy clay, M : mud, zS : silty sand, cS : clayey sand, Mz is mean grain size with unit of  $\Phi$ , TOC: total organic carbon.



Table 1. continued

Station No.	Size analysis(%)				Sediment type	Organic matter(%)				Mz( $\Phi$ )
	Gravel	Sand	Silt	Clay		TOC	TN	CaCO <sub>3</sub>	C/N(atomic)	
34	-	2.70	39.3	58.0	M	0.71	0.07	2.93	11.83	6.98
35	-	23.1	31.1	45.8	sM	0.74	0.12	4.50	7.21	6.00
36	-	70.1	5.30	24.6	cS	0.50	0.09	9.91	6.41	3.93
37	-	66.5	15.2	18.3	mS	0.42	0.10	11.50	4.91	3.50
38	-	5.00	39.5	55.5	M	0.64	0.10	3.74	7.42	7.01
39	-	1.80	38.5	59.7	M	0.71	0.09	3.00	9.20	7.57
40	-	34.7	25.3	40.0	sM	0.63	0.12	5.60	6.14	5.63
41	-	70.5	11.3	18.2	mS	0.37	0.11	5.08	4.32	4.67
42	-	64.7	16.5	18.8	mS	0.57	0.10	4.67	6.76	3.73
43	-	84.3	7.90	7.80	mS	0.34	0.10	5.80	3.92	2.87
44	-	90.6	4.20	5.20	S	0.13	0.02	8.93	7.67	2.43
45	-	83.3	11.6	5.10	zS	0.35	0.05	9.60	8.06	3.23
Average	3.03	42.7	25.2	31.9		0.66	0.09	5.09	8.67	5.33
Huanghe		24.6	52.4	23.1	sZ	0.25	-	7.56	-	5.8
Changjiang		43.1	48.5	8.40	sZ	0.85	-	6.6	-	4.5
Keum		-	-	-	-	-	-	0.3	-	-

NOTE. (g)mS : slightly gravelly muddy sand, gM : gravelly mud, S : sand, mS : muddy sand, sM : sandy mud, sZ : sandy silt, Z : silt, sC : sandy clay, M : mud, zS : silty sand, cS : clayey sand, Mz is mean grain size with unit of  $\Phi$ , TOC: total organic carbon.

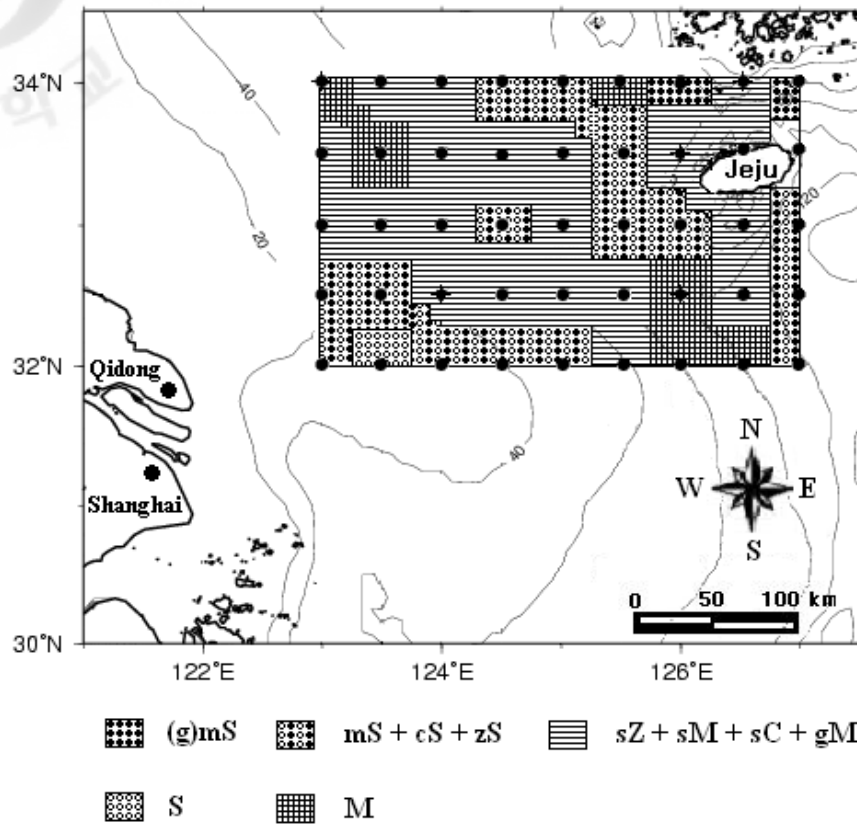


Fig. 3. Map showing of surface sediment distribution around Jeju Island.

Note; (g)mS: slightly gravelly muddy sand, mS: muddy sand, cS: clayey sand, zS: silty sand, sZ: sandy silt, sM: sandy mud, sC: sandy clay, gM: gravelly mud, S: sand, M: mud.

## 2. 퇴적물내 유기물과 주성분 원소의 함량

### 2-1. 퇴적물내 탄산염과 유기탄소 함량 분포

퇴적물의 탄산염( $\text{CaCO}_3$ ) 함량은 1.92 ~ 11.70%(평균 5.09%)의 범위를 보이고(Table 1) 니질모래 퇴적상내의  $\text{CaCO}_3$ 의 평균 함량은 6.95%로 사질니토 퇴적상내의 평균 함량 3.81%보다 약 1.8 배 이상 높다. 탄산염 함량이 높은 퇴적물은 대부분 사질형 퇴적물이며 이런 유형의 퇴적물에는 패각편이 많이 발견되기도 하였다. 탄산염 함량의 지역적 분포는 사질니토 및 니토와 같은 니질퇴적물이 분포하는 서쪽 중국측으로 가면서 낮아지고, 소량자갈함유 니질모래와 니질모래 같은 사질 퇴적물이 분포하는 동쪽의 한국측과 그 외 양자강 하구역의 모래퇴적상의 분포하는 곳에서 높은 함유량을 보였다(Fig. 4-A). 퇴적물내 탄산염 함량을 조절하는 요인으로는 수괴 내에서 생물생산력에 의한 공급, 패각편 등 저서생물의 골격부가 퇴적된 후 파쇄·용해작용 및 육상으로부터의 강을 통한 유입 등으로 알려져 있다(Zhao et al., 1990). 따라서 연구지역 퇴적물의 탄산염 함량은 조립질 퇴적물에서가 세립질 퇴적물보다 높은 함량을 나타내는 현상은 퇴적물내 패각편에 기인되는 것으로 생각된다.

해수 중의 유기물 근원은 주로 해양 자체 내에서 이루어지는 생물학적 활동에 의한 것이며 육상으로부터의 공급은 미미한 것으로 알려져 있다(Hedges and Parker, 1976). 해수 내 용존 형태의 유기물은 주로 점토 입자에 흡착되어 입자 형태로 퇴적물에 침전되어 퇴적물 일부를 형성하는 것으로 보고되고 있으며(Biggs, 1967), 퇴적물내로 유입·흡착하는 유기물의 양은 주로 해양에서의 생물 생산력, 퇴적물의 입도, 해수의 물리적 조건 등에 의해 영향을 받으며, 특히 퇴적물 입도와 관계는

양호한 상관관계가 성립함이 보고 되었다(Bordovsky, 1965). 본 조사지역 표층퇴적물내 유기탄소 함량은 0.13~1.47% (평균 0.66%)의 범위를 보인다(Table 1). 지역적 분포는 니질퇴적물이 분포하는 제주도 북쪽지역에서 1.20% 이상의 최대 함유량을 사질니토 퇴적상이 분포하는 북서쪽지역과 그 외 제주도 남서쪽 외대륙붕지역에 분포하는 니토대 지역에서 높은 유기탄소 함량을 보였다(Fig. 4-B).

퇴적물 유형에 따른 유기탄소 함량은 니질모래 퇴적상에서는 0.46%로 최소값을 니토 퇴적상은 0.81%로 최대값을 보였고, 사질니토 퇴적상에서는 0.77%로 세립한 퇴적물에서가 높은 유기탄소 함량치를 보이고 있다(Table 1). 유기탄소 함량과 평균 입도와의 관계에서는 상관계수가  $R=0.68$  이상으로 양호한 정(+)의 상관관계를 보이며, 니질모래 퇴적상보다 사질니토 및 니토 퇴적상에서 높은 함량치를 보인다. 이는 퇴적물의 조립질보다 세립질에서 표면적이 증가하여 흡착력이 크기 때문인 것으로 알려진 결과 및 퇴적물내 유기탄소 함량은 점토질이 풍부한 퇴적물에서가 높은 함유량을 보인다는 기존의 연구 결과와도 일치하고 있다(Sawlan and Marray, 1983; Bordovsky, 1965).

해저퇴적물에 유기탄소를 축적시키는 기작은 주로 표층에서의 생물생산, 유기탄소의 보존 증가 또는 대륙으로부터의 유기물 공급에 의해 조절된다. 유기물의 특성을 지시하는 총유기탄소(TOC)에 대한 총질소(TN)의 비(C/N ratio)는 여러 형태의 유기물의 기원을 밝히는데 이용되어 왔다. 해양생물의 기초 생산에 의해 형성된 유기물은 C/N 비가 10 이하를 보이며, 주변대륙에서 공급된 유기물인 경우 C/N 비는 10 이상을 보이는 것으로 알려져 있다(Muller, 1977; Muller and Suess, 1979; Stein, 1990). 이런 해양성 및 육성기원의 구분 방법은 해조류(algae)에는 셀룰로오스(cellulose)가 결여되고, 육성기원의 관다발식물(vascular plants)에는 그 양이 많은데서 기여한다. 또한 해양성기원의 유기물은 육성기원 유기물에 비해 질소를 함유하는

단백질(nitrogenous protein)이 상대적으로 풍부하기 때문이다(Stevenson and Cheng, 1972; 박 등, 2005).

연구지역 퇴적물의 총유기탄소와 C/N 비의 관계는 Fig. 5 에서 보는바와 같이 육지와 가까이 위치하는 북동쪽지역의 퇴적물 시료(Stn-1, 2, 3, 4, 14, 16, 17)와 중국쪽과 가까운 서쪽 외해역에 분포하는 몇몇 시료(Stn-8, 9, 27), 제주도 남서쪽에 분포하는 니토대시료(Stn-34)에서 C/N 비가 10 이상의 값을 보이며 그 외 시료에서는 10 이하의 값을 보인다. 이는 연구지역 주변에 분포하는 육지의 육성기원 유기물질의 일부가 연구지역으로 유입되고 있음을 시사한다.

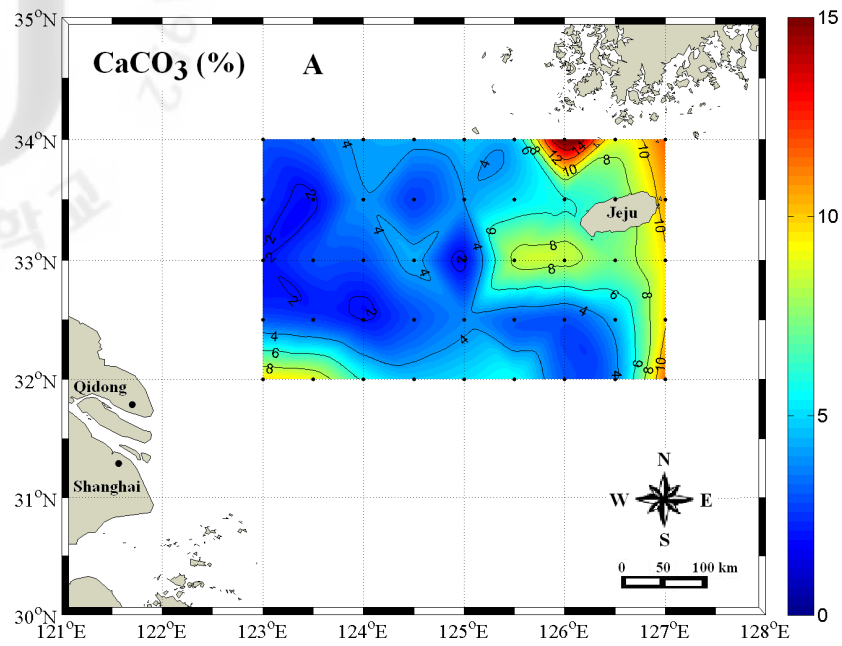


Fig. 4-A. Areal distribution of the  $\text{CaCO}_3$  in surface sediments around Jeju Island.

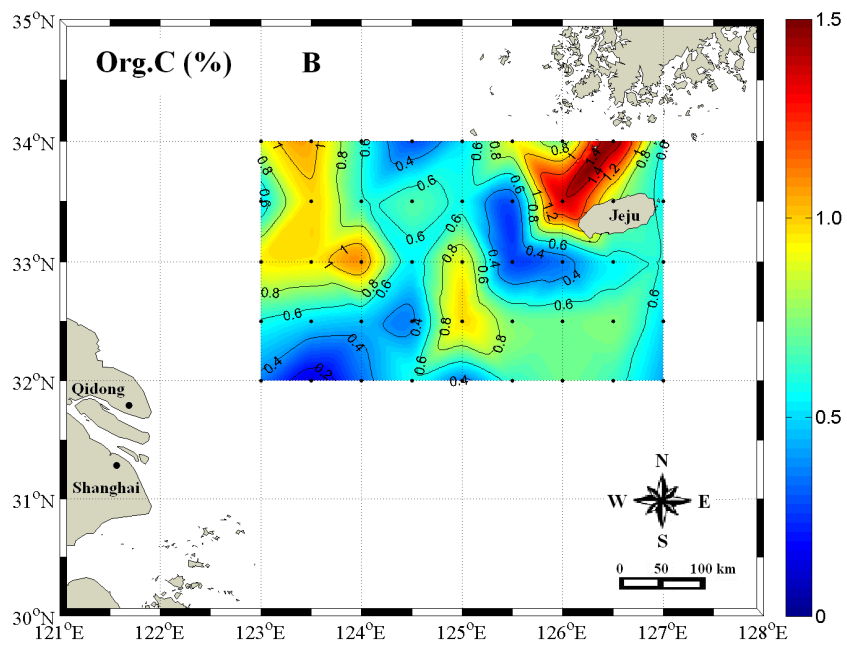


Fig. 4-B. Areal distribution of the organic carbon in surface sediments around Jeju Island.

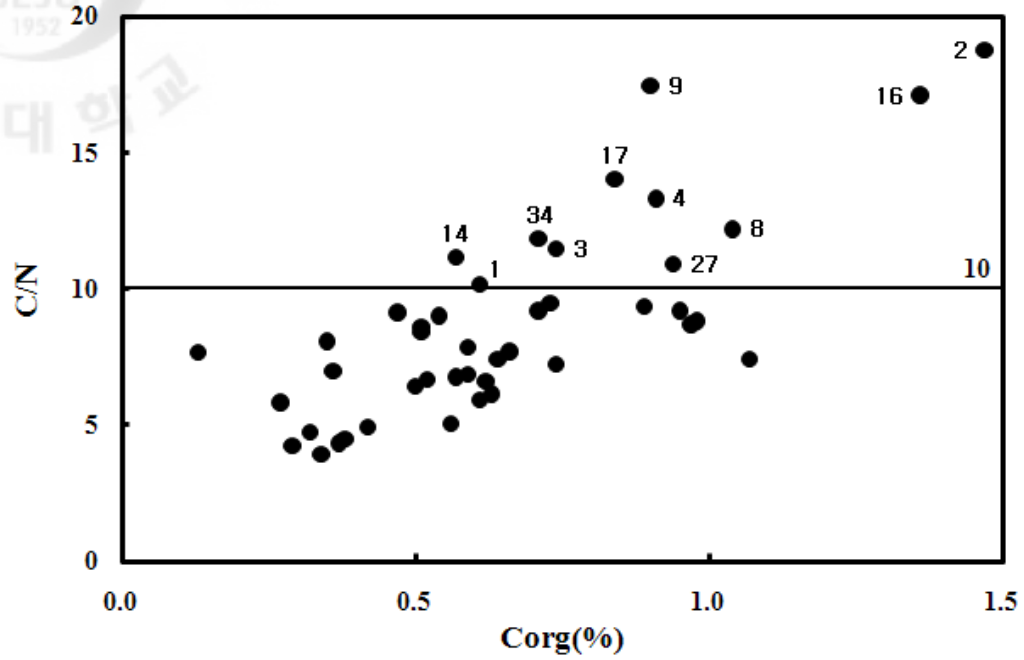


Fig. 5. Total organic carbon contents vs. C/N ratios in surface sediments around Jeju Island.

## 2-2. 금속원소의 함량과 공간분포

해양으로 유입되는 육성기원 물질은 육상에서 풍화작용과 침식에 의한 산물들로 주로 주변 강을 통하여 부유물 형태로 바다로 나오게 된다. 특히 미량 금속원소의 이동과 퇴적은 여러 퇴적물 부분과의 결합에 의해 이루어지기 때문에 이동매체가 환경에 대해 반응하는 고유 특성에 따라서 이들 원소에 수반되는 변화가 다양하게 나타난다(Gibbs, 1977). 특히 해양퇴적물내 금속원소의 함량은 퇴적 환경요인 즉, 퇴적물의 입도, 퇴적물의 광물조성 그리고 인간활동에 의한 영향 등에 의해서 그 함량과 분포가 달라지게 된다(Förstner and Salmons, 1980; Katz and Kaplan, 1981).

연구지역 44 개 퇴적물 시료에서 금속원소들의 평균값은  $Al_2O_3$ : 12.8%,  $Fe_2O_3$ : 4.4%,  $CaO$ : 6.3%,  $K_2O$ : 2.7%,  $Na_2O$ : 2.7%,  $MgO$ : 2.1%,  $TiO_2$ : 0.60%,  $P_2O_5$ : 0.3%, Mn: 514ppm, Ba: 408ppm, Sr: 231ppm, Rb: 93.1ppm, Cr: 64.5ppm, Co: 10.4ppm, Ni: 28.3ppm 등으로 나타났다(Table 2). 따라서 본 연구지역 퇴적물 내 상기원소 함량치를 상부대륙지각 셰일(UCC: Upper Continental Crust; Taylor and McLennan, 1985), 시생대후기 호주퇴적암의 평균조성(PAAS: Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock; McLennan, 1989), 북미대륙에 분포하는 셰일의 화학조성(NASC: North American Shale Composition; Gromet et al., 1984) 값과 비교할 때  $CaO$ ,  $P_2O_5$ , Pb, Cs, Sc,  $\Sigma REE$  원소를 제외한 나머지 원소들은 본 연구지역이 낮은 값을 보이는데, 이는 기원지에서 낮은 화학적 풍화작용과 근원지 차이 때문인 것으로 사료된다. 또한 퇴적물에 포함된  $Al_2O_3$  원소 함량변화에 따른 주성분 원소의 변화 경향을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보면  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ , Org.-C 원소들은 상관계수  $R=0.47\sim 0.67$ 으로  $Al_2O_3$ 과 비교적 양호한 정(+)의 상관관계를 보이는데 이는 퇴적물의 입도 즉, 퇴적물내 점토광물 함량이 이들 원소의 농도를 조절하는 주 요인 중 하나로 작용하고 있음을 의미한다. 이는 퇴적물내 주성분 원소의 함량은 환경 변화에 민감한 미량원소와는 달리



퇴적물의 광물 조성에 따라 큰 영향을 받으며 광물 조성 또한 퇴적물의 입도에 따라 크게 변화한다는 기존의 연구 결과와도 일치하고 있다(Calvert, 1976). 또한 Ni, V, Cr, Co, Th, U, Sc, Nb, Y 와 같은 미량원소와 희유원소( $\Sigma$ REE)도  $Al_2O_3$  과 높은 상관관계( $R=0.48\sim0.76$ )를 보여 이들 원소들도 퇴적물내 점토광물 함량에 의해 조절되고 있음을 시사한다. 한편 CaO 와 Sr 의 함량은 반대로  $Al_2O_3$  과 부(-)의 비교적 양호한 역상관관계( $R=-0.50\sim-0.56$ )를 보이는데 이는 퇴적물내 점토광물 보다는 다른 요인이 작용했음을 시사한다. 즉, 퇴적물내 CaO 와 Sr 농도는 유공충각이나 코코리스와 같은 해양 생물의 영향을 받고 있음을 의미한다(Turekian and Wedepohl, 1961).

Table 2. Elements concentration around Jeju Island shelf sediments in comparison to Huanghe(HURS), Chanjiang(CHRS), Keum rivers sediments and UCC, PAAS and NASC(unit: \*in wt.% and  $\mu\text{g/g}$  for the other elements)

St.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	11.51	13.80	12.50	13.60	13.80	13.20	14.34	13.80	14.34	12.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	3.71	5.14	4.43	4.14	5.43	3.71	4.71	3.60	4.60	4.14
CaO*	9.00	4.62	7.30	5.32	6.43	7.83	4.90	5.20	5.31	5.73
MgO*	1.70	1.70	1.50	2.00	1.82	1.70	2.20	2.20	2.32	2.00
K <sub>2</sub> O*	2.90	2.90	2.30	2.70	3.13	3.40	3.13	3.13	3.01	2.41
Na <sub>2</sub> O*	2.83	2.02	2.60	1.80	3.50	3.50	2.42	2.83	2.60	2.20
TiO <sub>2</sub> *	0.62	0.53	0.58	0.55	0.72	0.47	0.65	0.60	0.70	0.63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	0.36	0.32	0.36	0.34	0.36	0.32	0.14	0.11	0.14	0.11
Mn	428	593	430	480	650	378	697	455	443	632
Ba	416	433	410	385	415	414	442	538	401	359
Sr	219	205	240	220	209	231	175	156	143	118
Rb	98.30	115.00	81.20	72.20	98.20	104.40	98.60	101.10	92.80	65.10
Zr	142	127	144	118	216	112	132	134	142	108
Hf	3.70	2.80	3.90	3.50	3.60	2.80	3.60	2.30	2.40	3.50
Ni	27.10	30.20	24.90	29.20	33.20	28.80	31.20	32.60	34.10	21.00
Co	12.30	15.80	10.10	13.50	9.10	9.20	10.50	10.20	11.60	8.90
V	51.70	70.50	57.00	91.90	98.00	54.10	81.90	76.20	109.00	73.80
Cr	52.30	63.70	51.20	70.20	69.30	59.20	75.90	76.00	75.10	56.20
Cu	18.30	21.70	16.60	17.10	16.70	14.40	21.10	23.50	23.30	16.60
Zn	58.40	65.30	64.60	98.10	69.50	58.80	81.60	85.60	91.90	52.00
Pb	27.30	29.70	28.60	28.00	33.40	26.70	30.60	26.40	30.10	19.30
Th	13.20	14.30	9.10	12.10	12.60	10.20	13.50	13.20	13.60	10.60
Cs	7.40	7.70	5.00	10.20	8.50	5.50	6.10	8.00	9.40	5.90
U	2.05	2.33	1.93	2.24	2.30	2.32	2.33	2.35	2.41	1.85
Li	38.20	40.30	33.00	30.50	41.00	31.30	34.00	33.20	40.70	36.40
Sc	8.20	9.30	7.20	10.30	9.90	8.80	10.60	10.40	10.80	9.20
Nb	12.30	13.70	11.20	13.50	10.90	10.60	11.40	11.50	12.40	10.30
Y	14.70	18.60	13.90	22.50	20.80	15.30	17.70	15.70	21.20	17.90
La	37.80	40.20	38.60	34.20	36.30	33.90	34.00	33.50	34.10	31.20
Ce	70.70	73.00	71.10	74.20	70.30	63.90	65.30	67.70	68.20	60.90
Pr	8.70	9.20	7.30	9.30	9.10	8.70	7.50	7.60	7.70	6.80
Nd	29.30	33.70	28.70	31.50	28.90	27.30	27.70	27.40	29.80	27.20
Sm	5.70	6.40	5.90	6.10	5.30	5.10	5.00	5.20	5.80	4.30
Eu	1.21	1.22	1.20	1.19	1.19	0.94	0.96	1.10	1.20	0.93
Gd	4.70	5.40	4.80	5.30	4.33	4.40	4.80	4.70	4.90	4.20
Tb	0.73	0.74	0.71	0.75	0.72	0.63	0.66	0.64	0.72	0.60
Dy	3.20	4.30	3.40	4.23	3.90	3.60	4.10	3.80	4.30	4.10
Ho	0.71	0.75	0.71	0.76	0.72	0.60	0.65	0.64	0.68	0.70
Er	2.00	2.30	2.00	2.30	2.00	2.15	2.30	2.20	2.34	2.10
Tm	0.28	0.30	0.25	0.30	0.31	0.24	0.27	0.30	0.32	0.30
Yb	1.84	2.27	1.72	2.26	2.16	2.00	2.00	2.10	2.30	2.10
Lu	0.23	0.28	0.24	0.26	0.29	0.22	0.25	0.24	0.28	0.30

Table 2. continued

St.	11	12	13	14	15	16	17	19	20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	14.00	14.20	13.80	12.83	12.50	14.20	15.70	10.94	12.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.60	5.00	4.43	5.30	3.90	3.60	3.43	2.90	3.90
CaO*	5.90	6.71	6.30	5.50	6.01	7.62	8.00	8.30	6.60
MgO*	2.32	2.20	2.20	1.33	2.00	2.70	3.50	1.70	2.20
K <sub>2</sub> O*	2.70	3.13	3.30	2.90	3.01	2.10	2.20	1.93	2.80
Na <sub>2</sub> O*	2.20	3.80	3.50	3.24	3.40	4.20	3.64	3.40	3.50
TiO <sub>2</sub> *	0.67	0.60	0.55	0.50	0.48	1.05	1.12	0.40	0.63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	0.11	0.12	0.36	0.34	0.34	0.34	0.33	0.30	0.14
Mn	519	459	447	411	397	616	662	364	483
Ba	387	326	319	323	335	437	473	418	356
Sr	150	204	223	259	312	416	340	432	330
Rb	100.90	128.70	121.90	117.20	122.00	60.20	74.70	65.60	79.10
Zr	118	145	127	114	129	145	162	117	128
Hf	2.50	3.60	3.20	2.80	2.90	3.30	2.60	2.50	2.40
Ni	30.60	37.40	34.90	30.90	33.30	48.10	53.40	21.60	24.40
Co	11.20	9.60	8.50	8.60	7.90	13.80	17.30	6.60	8.80
V	82.50	75.40	66.50	54.90	54.10	78.30	95.20	58.40	68.70
Cr	72.60	62.70	67.30	52.20	68.40	72.40	83.30	50.30	57.70
Cu	18.30	20.70	17.60	15.50	15.70	18.70	21.40	11.50	16.60
Zn	65.30	67.60	77.50	51.90	57.00	62.40	71.80	47.10	58.40
Pb	20.60	29.90	26.80	25.00	24.20	27.30	27.40	22.10	24.70
Th	13.20	13.60	11.80	10.20	10.50	9.70	14.20	8.90	9.80
Cs	8.30	7.90	7.40	7.70	5.90	6.20	7.30	5.80	6.30
U	2.42	2.34	2.41	1.93	2.00	2.21	2.34	2.40	2.50
Li	40.30	36.50	48.00	35.70	32.60	32.60	34.10	23.70	32.40
Sc	11.20	10.70	10.40	8.60	8.90	10.40	11.20	6.20	8.70
Nb	12.70	11.00	10.10	9.40	8.90	14.60	21.80	7.50	8.60
Y	20.50	18.60	17.70	16.00	15.90	20.80	24.60	14.60	20.40
La	34.20	33.40	35.30	35.00	36.80	39.30	42.70	30.30	35.40
Ce	66.50	65.40	64.20	63.20	71.10	71.30	73.20	58.70	68.80
Pr	7.73	7.60	8.00	7.80	7.90	8.80	9.10	6.90	7.80
Nd	29.30	28.60	28.50	27.10	29.10	32.70	34.20	26.10	30.20
Sm	5.70	5.30	5.10	5.10	5.30	6.30	6.60	4.60	5.90
Eu	1.20	0.97	0.96	1.00	1.25	1.32	1.34	0.91	1.20
Gd	4.98	4.80	4.70	4.50	4.40	5.85	5.90	4.20	4.70
Tb	0.74	0.70	0.70	0.60	0.68	0.74	0.73	0.61	0.76
Dy	4.20	4.00	4.20	3.80	3.70	4.62	4.73	3.20	3.70
Ho	0.76	0.70	0.66	0.64	0.63	0.78	0.80	0.62	0.71
Er	2.42	2.20	2.10	2.20	2.10	2.40	2.42	2.00	2.30
Tm	0.34	0.30	0.30	0.28	0.25	0.27	0.31	0.24	0.32
Yb	2.30	2.00	2.10	1.60	1.50	1.50	1.52	1.60	2.10
Lu	0.35	0.30	0.30	0.26	0.23	0.27	0.32	0.26	0.28

Table 2. continued

St.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10.00	10.80	12.10	10.94	12.64	13.21	12.83	13.21	11.90	12.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	3.30	4.42	4.71	4.71	4.30	4.30	4.60	4.60	4.00	4.43
CaO*	6.43	7.70	4.34	5.32	5.20	4.62	4.80	5.04	5.32	5.32
MgO*	1.50	2.20	2.20	1.82	2.00	2.20	1.82	2.00	1.70	2.00
K <sub>2</sub> O*	2.53	3.01	2.90	2.90	2.41	2.41	2.30	2.41	2.20	2.41
Na <sub>2</sub> O*	2.70	2.70	2.30	2.20	2.02	2.02	2.02	2.20	2.20	2.02
TiO <sub>2</sub> *	0.45	0.43	0.55	0.57	0.62	0.73	0.68	0.65	0.60	0.83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	0.32	0.36	0.39	0.69	0.13	0.14	0.11	0.12	0.12	0.39
Mn	380	450	524	406	380	614	565	615	525	650
Ba	446	453	476	474	418	363	405	378	392	419
Sr	248	230	260	178	182	156	176	186	175	200
Rb	118.80	120.70	120.00	105.30	98.60	96.30	84.90	84.00	82.20	99.70
Zr	133	130	96	116	118	120	138	109	139	143
Hf	2.60	3.30	3.00	2.80	2.20	2.40	2.70	2.80	3.20	2.60
Ni	20.80	27.80	25.70	22.30	33.50	33.70	27.60	21.50	22.50	27.10
Co	6.40	6.20	7.70	8.70	10.60	10.50	10.90	9.10	10.00	12.40
V	60.60	71.00	77.00	55.00	82.00	81.20	71.30	78.80	69.10	85.00
Cr	50.90	59.60	58.00	51.00	62.10	68.80	60.50	65.40	65.10	73.00
Cu	14.90	15.80	16.10	15.20	19.80	20.90	12.00	12.20	10.70	16.50
Zn	54.00	87.60	62.00	61.00	72.00	79.10	46.10	55.10	48.40	97.50
Pb	31.50	32.60	30.80	22.90	18.50	22.70	18.90	20.00	21.90	30.30
Th	10.60	11.90	12.60	9.00	10.70	12.50	11.80	12.40	12.50	12.80
Cs	5.40	7.50	8.10	5.20	6.00	6.20	5.00	5.40	4.30	5.70
U	1.89	2.10	2.17	1.73	1.95	2.34	2.48	2.47	2.39	3.03
Li	30.20	31.00	38.10	35.00	44.10	38.60	36.80	31.50	28.70	44.00
Sc	7.50	9.10	10.00	8.20	9.60	10.60	10.30	10.90	10.30	10.00
Nb	6.70	6.80	9.40	8.50	10.30	11.80	12.50	10.20	10.60	14.70
Y	17.40	17.70	18.20	13.80	21.70	24.70	22.70	22.50	24.70	22.00
La	33.80	33.40	36.80	29.80	33.50	34.60	32.90	37.60	38.60	36.30
Ce	65.10	64.00	68.30	61.50	65.50	69.10	66.50	71.60	72.80	78.60
Pr	7.30	7.40	7.10	7.20	7.50	8.10	7.90	8.90	8.70	9.60
Nd	27.30	27.60	27.80	26.20	28.80	28.60	30.30	32.90	32.70	34.70
Sm	5.40	5.10	5.40	4.70	5.30	5.70	5.40	6.60	6.50	6.70
Eu	1.12	1.14	1.10	0.94	0.96	1.00	0.96	1.10	1.22	1.40
Gd	4.60	4.50	4.73	4.70	4.70	5.20	5.00	5.80	5.70	6.30
Tb	0.68	0.67	0.68	0.59	0.60	0.75	0.72	0.80	0.84	0.86
Dy	3.90	3.80	4.38	3.50	4.10	4.20	4.10	4.20	4.40	4.90
Ho	0.69	0.70	0.73	0.62	0.70	0.80	0.77	0.86	0.87	0.84
Er	2.10	2.20	2.10	2.00	2.10	2.60	2.72	2.61	2.40	2.80
Tm	0.30	0.30	0.28	0.22	0.30	0.34	0.32	0.37	0.35	0.33
Yb	1.90	1.91	1.85	1.72	2.00	2.30	2.50	2.43	2.50	2.40
Lu	0.24	0.28	0.29	0.25	0.30	0.33	0.34	0.36	0.38	0.31

Table 2. continued

St.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	11.70	12.10	14.00	13.21	10.60	10.40	10.80	14.20	14.90	14.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.60	5.60	3.60	4.43	3.60	3.14	3.43	4.14	6.00	5.43
CaO*	4.34	4.34	5.50	7.60	10.20	13.40	10.80	7.13	5.90	5.04
MgO*	3.70	2.32	1.70	2.20	2.00	1.50	1.82	2.20	3.00	2.82
K <sub>2</sub> O*	2.10	3.01	2.53	2.80	2.70	2.10	2.10	2.80	3.01	2.80
Na <sub>2</sub> O*	1.50	2.60	2.20	2.43	3.10	3.50	3.51	2.60	2.70	2.43
TiO <sub>2</sub> *	0.63	0.75	0.67	0.38	0.47	0.50	0.50	0.52	0.68	0.67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	0.32	0.14	0.34	0.41	0.30	0.12	0.46	0.39	0.39	0.41
Mn	480	598	510	600	500	368	373	430	650	560
Ba	446	437	430	414	380	409	408	383	429	422
Sr	180	193	190	210	380	450	367	330	200	175
Rb	97.70	116.10	76.70	88.40	79.50	64.90	78.00	86.40	103.80	95.90
Zr	112	106	115	140	122	125	134	129	142	130
Hf	205.00	2.70	2.50	2.90	2.60	2.20	2.30	2.40	3.40	2.60
Ni	24.60	23.40	21.30	23.30	24.80	20.20	21.30	26.70	30.60	27.80
Co	10.80	13.10	11.90	10.60	10.40	7.20	7.80	11.20	12.70	11.60
V	75.00	83.50	57.00	81.00	66.00	53.80	55.70	77.00	112.10	104.00
Cr	62.90	75.80	54.00	63.00	55.90	58.60	54.10	64.00	85.10	76.00
Cu	17.30	16.40	14.80	16.50	15.30	10.50	12.30	16.50	20.20	18.70
Zn	67.50	78.60	89.50	91.50	74.00	66.20	58.00	85.50	98.60	106.50
Pb	30.10	25.80	30.10	32.80	28.20	23.10	20.80	28.20	33.50	36.90
Th	12.10	12.40	11.20	12.70	10.20	10.40	9.90	13.30	15.40	13.90
Cs	5.50	10.00	6.00	8.90	7.10	5.30	4.90	8.40	13.40	11.30
U	2.32	2.60	2.00	2.20	2.40	2.20	2.30	2.60	3.10	2.70
Li	40.00	44.70	40.00	50.00	39.00	22.60	26.80	48.10	43.10	42.00
Sc	10.30	11.60	10.70	10.50	8.40	6.80	6.60	10.00	13.00	13.00
Nb	11.40	13.70	12.40	10.10	9.20	8.20	9.20	10.10	13.20	12.30
Y	16.80	21.70	16.30	23.50	19.80	14.70	15.90	21.50	24.30	21.10
La	32.80	36.50	32.40	37.10	31.70	30.50	32.10	37.60	40.20	38.80
Ce	60.10	74.60	61.20	66.80	62.60	60.30	64.00	67.80	65.60	71.40
Pr	8.10	8.40	7.60	8.20	8.30	6.80	7.20	9.70	10.40	9.20
Nd	37.30	34.10	26.30	29.70	26.30	26.40	27.60	29.10	31.91	32.80
Sm	5.80	6.20	4.10	5.30	5.10	4.80	5.10	5.60	6.41	6.20
Eu	1.10	1.31	1.20	1.10	0.95	0.92	0.90	1.14	1.34	1.33
Gd	4.12	5.10	4.30	4.60	4.50	4.10	4.10	4.42	5.10	4.90
Tb	0.65	0.70	0.59	0.76	0.71	0.63	0.63	0.78	0.84	0.81
Dy	4.10	4.60	4.30	4.37	3.82	3.40	3.40	4.10	4.80	4.64
Ho	0.70	0.80	0.63	0.78	0.74	0.63	0.64	0.80	0.90	0.91
Er	2.30	2.20	2.10	2.26	2.10	2.10	2.00	2.14	2.76	2.70
Tm	0.30	0.31	0.28	0.31	0.30	0.25	0.26	0.30	0.37	0.34
Yb	2.00	2.41	2.18	2.15	2.17	1.70	1.80	2.30	2.32	2.43
Lu	0.31	0.31	0.25	0.30	0.26	0.20	0.26	0.30	0.36	0.33

Table 2. continued

St.	41	42	43	44	45	Av.	JIVR <sup>a</sup>	HURS <sup>b</sup>	CHRS <sup>b</sup>	KEUM <sup>b</sup>	UCC <sup>c</sup>	PAAS <sup>c</sup>	NASC <sup>c</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	12.10	12.30	11.70	12.30	12.83	12.76	17.30	10.60	13.40	14.00	15.20	18.90	16.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.30	5.00	5.43	5.71	5.43	4.41	11.00	3.60	6.14	4.43	5.00	7.23	6.33
CaO*	5.50	5.04	4.80	5.32	6.60	6.32	7.14	5.60	4.50	0.90	4.20	1.30	3.56
MgO*	1.70	2.01	2.02	2.20	2.00	2.09	4.17	2.00	2.70	1.50	2.20	2.20	2.85
K <sub>2</sub> O*	2.41	2.20	2.41	2.41	2.70	2.65	2.04	2.30	2.53	2.80	3.40	3.70	3.99
Na <sub>2</sub> O*	3.10	2.93	2.44	2.83	2.70	2.73	4.15	2.30	1.21	2.02	3.91	1.20	1.15
TiO <sub>2</sub> *	0.75	0.77	0.73	0.67	0.58	0.62	2.15	0.60	0.95	0.65	0.68	1.00	0.78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	0.12	0.11	0.36	0.12	0.36	0.27	—	—	—	—	—	0.16	0.11
Mn	519	617	610	588	567	514	949	498	958	586	620	858	468.00
Ba	414	404	415	445	286	408	588	453	454	492	550	650	636.00
Sr	163	178	210	181	172	231	702	207	146	149	350	200	142.00
Rb	82.70	90.20	76.20	77.80	74.40	93.10	43.00	81.70	113	132	112	160.00	125.00
Zr	136	139	121	125	124	130	261	143	138	141	190	210.00	200.00
Hf	3.10	2.80	3.50	2.60	2.90	7.48	—	4.47	4.26	—	—	—	6.30
Ni	22.30	25.60	27.52	23.10	31.60	28.26	73.00	21.60	40.30	26.00	20.00	55.00	58.00
Co	10.10	11.50	11.30	11.20	11.70	10.43	32.00	9.29	16.80	15.00	10.00	—	—
V	65.30	69.40	82.10	58.00	71.06	73.64	133.00	58.20	104.00	64.20	60.00	150.00	130.00
Cr	64.10	67.10	68.50	67.70	68.60	64.45	140.00	46.90	73.70	44.50	35.00	110.00	125.00
Cu	13.90	15.50	13.10	23.60	18.81	16.88	25.00	16.90	48.50	27.00	25.00	50.00	—
Zn	58.40	63.00	64.60	88.00	63.10	70.47	118.00	42.00	106.00	73.50	71.00	85.00	—
Pb	21.60	21.40	25.23	23.00	28.10	26.52	—	18.20	39.50	36.70	20.00	20.00	—
Th	12.30	12.20	12.40	12.10	12.50	11.91	—	10.40	13.40	16.10	10.70	14.60	12.00
Cs	8.90	6.50	5.71	7.70	7.90	7.11	—	4.00	10.40	—	3.70	—	—
U	1.80	1.90	2.30	2.40	2.33	2.28	—	2.10	2.60	—	2.80	3.60	2.66
Li	30.50	33.10	40.10	34.80	41.50	36.56	10.00	26.10	44.90	45.10	—	—	—
Sc	9.90	10.10	9.90	9.80	10.40	9.74	14.00	7.77	11.90	9.00	6.30	—	—
Nb	11.20	12.20	12.50	12.90	13.10	11.26	—	11.20	17.00	16.90	25.00	19.00	13.00
Y	19.90	20.30	23.00	22.80	21.50	19.45	30.00	19.20	23.80	20.00	22.00	27.00	35.00
La	37.10	38.10	37.90	36.30	35.60	35.41	4.40	31.00	39.50	43.30	30.00	38.00	31.10
Ce	71.70	70.80	69.30	32.70	65.90	66.72	71.00	61.80	78.70	83.80	64.00	80.00	67.03
Pr	8.70	9.40	10.60	8.60	9.40	8.27	—	7.15	8.87	9.62	7.10	8.83	—
Nd	32.20	33.50	29.40	29.70	28.30	29.75	34.00	26.90	33.60	33.80	26.00	32.00	30.40
Sm	5.70	6.20	5.90	5.40	5.70	5.57	6.80	5.02	6.37	6.23	4.50	5.60	5.98
Eu	1.20	1.20	1.24	1.20	1.12	1.12	1.90	0.97	1.30	1.15	0.90	1.00	1.25
Gd	4.60	5.20	4.60	5.80	4.70	4.84	—	4.92	5.98	5.21	3.80	4.70	5.50
Tb	0.60	0.70	0.85	0.74	0.80	0.71	—	0.65	0.82	0.72	0.64	0.77	0.85
Dy	4.10	4.70	4.50	4.40	4.20	4.09	4.80	3.90	4.74	4.00	3.50	4.40	5.54
Ho	0.60	0.70	0.92	0.78	0.83	0.73	—	0.72	0.89	0.76	0.80	1.00	—
Er	2.20	2.30	2.41	2.41	2.38	2.27	—	2.29	2.71	2.25	2.30	2.90	3.28
Tm	0.28	0.30	0.37	0.30	0.33	0.30	—	0.30	0.35	0.31	0.33	0.41	—
Yb	2.00	2.20	2.34	2.42	2.34	2.07	—	2.16	2.48	1.97	2.20	2.80	3.11
Lu	0.26	0.30	0.36	0.32	0.36	0.29	—	0.30	0.35	0.31	0.32	0.40	0.46

Table 2. continued

St.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zr/Ti	383.80	396.90	411.40	357.60	502.30	400.00	338.50	372.20	346.30	284.20
CIA	58.60	67.30	65.10	65.70	56.90	51.70	63.70	59.80	60.90	58.50
∑REE	167.10	180.10	166.30	172.70	165.50	153.70	155.50	157.10	162.60	145.70
LREE	152.20	162.50	151.60	155.30	149.90	138.90	139.50	141.40	145.60	130.40
HREE	13.70	16.40	13.80	16.20	14.40	13.80	15.03	14.60	15.80	14.40
LREE/HREE	11.11	9.90	10.90	9.60	10.40	10.10	9.30	9.70	9.20	9.10
(Eu/Eu <sup>*</sup> )	0.69	0.62	0.67	0.63	0.74	0.59	0.59	0.67	0.67	0.66
(La/Yb)N	13.90	11.90	14.70	10.24	11.40	11.41	11.43	10.74	9.90	10.00
(La/Sm)N	4.17	3.95	4.01	3.53	4.32	4.18	4.27	4.06	3.70	4.50
(Gd/Yb)N	2.08	1.92	2.26	1.90	1.63	1.78	1.94	1.81	1.72	1.61
(Ce/Ce <sup>*</sup> )	0.89	0.86	0.96	0.96	0.89	0.86	0.93	0.93	0.96	0.95
(Ce/Yb)N	9.98	8.29	10.80	8.52	8.45	8.26	8.42	8.02	7.67	7.48
(Ce/Sm)N	3.00	2.76	2.94	2.94	3.21	3.02	3.14	3.03	2.84	3.41
(La/Lu)N	16.90	14.80	16.20	13.71	13.00	15.90	14.03	14.50	12.60	10.80
(La/Yb)ucc	1.54	1.30	1.62	1.12	1.21	1.24	1.24	1.17	1.09	1.10
(Gd/Yb)ucc	1.47	1.37	1.62	1.36	1.12	1.32	1.39	1.30	1.23	1.15
(La/Sm)ucc	1.00	0.94	1.00	0.84	1.01	1.00	1.02	0.93	0.88	1.08

St.	11	12	13	14	15	16	17	19	20
Zr/Ti	295.00	402.80	384.90	380.00	444.80	230.20	241.80	487.50	336.80
CIA	59.10	55.40	54.30	57.80	56.80	57.30	61.20	57.30	58.70
∑REE	160.70	156.30	157.20	153.10	164.90	176.10	183.80	140.20	164.20
LREE	143.40	140.30	141.10	138.20	150.20	158.40	165.80	126.60	148.10
HREE	16.10	15.00	15.10	13.90	13.50	16.40	16.70	12.70	14.90
LREE/HREE	8.90	9.40	9.30	9.90	11.10	9.70	9.90	10.00	9.90
(Eu/Eu <sup>*</sup> )	0.67	0.58	0.59	0.63	0.77	0.66	0.64	0.63	0.68
(La/Yb)N	10.00	11.20	11.32	14.70	16.40	17.56	19.07	12.70	11.40
(La/Sm)N	3.80	3.97	4.35	4.32	4.38	3.92	4.07	4.15	3.78
(Gd/Yb)N	1.75	1.94	1.81	2.26	2.36	3.13	3.16	2.10	1.81
(Ce/Ce <sup>*</sup> )	0.93	0.93	0.87	0.87	0.94	0.87	0.84	0.92	0.94
(Ce/Yb)N	7.47	8.43	7.90	10.20	12.20	12.21	12.54	9.43	8.46
(Ce/Sm)N	2.81	3.00	3.04	3.00	3.24	2.73	2.68	3.08	2.82
(La/Lu)N	10.10	11.50	12.20	14.00	16.40	15.10	13.85	12.15	11.69
(La/Yb)ucc	1.04	1.21	1.23	1.64	1.76	2.00	2.03	1.38	1.25
(Gd/Yb)ucc	1.18	1.42	1.29	1.78	1.71	2.30	2.26	1.27	1.30
(La/Sm)ucc	0.88	0.92	1.04	1.06	1.03	0.94	0.97	1.00	0.92

Table 2. continued

St.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Zr/Ti	492.60	500.00	291.00	341.20	318.90	272.70	313.60	279.50	386.10	286.00
CIA	58.80	55.10	8.90	57.70	61.20	63.90	61.50	62.30	59.20	58.40
∑REE	154.50	153.00	161.50	143.90	156.40	163.60	160.40	176.10	177.90	186.00
LREE	138.90	137.50	145.40	129.40	140.60	146.10	143.00	157.60	159.30	165.90
HREE	14.40	14.40	15.00	13.60	14.80	16.50	16.50	17.40	17.50	18.70
LREE/HREE	9.70	9.60	9.70	9.50	9.50	8.90	8.70	9.10	9.10	8.90
(Eu/Eu <sup>*</sup> )	0.67	0.71	0.65	0.60	0.57	0.55	0.56	0.53	0.60	0.65
(La/Yb)N	12.00	11.80	13.37	11.60	11.30	10.10	8.90	10.50	10.40	10.20
(La/Sm)N	3.94	4.12	4.29	3.98	3.98	3.82	3.83	3.58	3.74	3.41
(Gd/Yb)N	1.95	1.91	2.07	2.20	1.90	1.83	1.61	1.94	1.84	2.12
(Ce/Ce <sup>*</sup> )	0.94	0.92	0.94	0.96	0.94	0.95	0.94	0.89	0.90	0.97
(Ce/Yb)N	8.83	8.69	9.52	9.19	8.44	7.81	6.90	7.63	7.54	8.46
(Ce/Sm)N	2.91	3.03	3.05	3.15	2.98	2.94	2.97	2.62	2.71	2.83
(La/Lu)N	14.62	12.30	14.10	12.30	11.60	10.84	9.97	10.80	10.50	12.06
(La/Yb)ucc	1.26	1.23	1.45	1.25	1.23	1.09	0.93	1.17	1.14	1.11
(Gd/Yb)ucc	1.34	1.33	1.49	1.55	1.36	1.27	1.16	1.38	1.34	1.52
(La/Sm)ucc	0.94	0.98	1.02	0.96	0.93	0.92	0.88	0.87	0.90	0.81

St.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Zr/Ti	294.70	235.60	287.50	608.70	435.70	416.70	446.70	416.10	346.30	325.00
CIA	65.00	60.70	62.40	54.10	44.20	43.70	52.00	57.70	60.10	66.80
∑REE	159.70	177.50	163.00	163.70	149.60	142.70	150.00	166.10	173.30	176.80
LREE	144.10	159.80	147.10	147.10	134.00	128.80	136.00	149.80	154.50	158.40
HREE	14.50	16.40	14.70	15.50	14.60	13.00	13.10	15.10	17.50	17.10
LREE/HREE	9.90	9.70	10.00	9.50	9.20	9.90	10.40	9.90	8.80	9.30
(Eu/Eu <sup>*</sup> )	0.65	0.69	0.87	0.66	0.59	0.62	0.59	0.68	0.69	0.72
(La/Yb)N	11.00	10.30	10.00	11.62	9.80	12.00	12.00	11.00	11.70	10.80
(La/Sm)N	3.56	3.71	4.96	4.40	3.90	4.00	3.96	4.24	3.95	3.94
(Gd/Yb)N	1.67	1.72	1.60	1.72	1.67	1.94	1.84	1.55	1.78	1.63
(Ce/Ce <sup>*</sup> )	0.85	0.97	0.89	0.87	0.89	0.95	0.96	0.82	0.74	0.86
(Ce/Yb)N	7.75	8.04	7.27	8.02	7.43	9.13	9.16	7.62	7.30	7.61
(Ce/Sm)N	2.50	2.91	3.59	3.04	3.00	3.02	3.03	2.93	2.48	2.78
(La/Lu)N	10.90	12.13	13.40	12.80	12.70	15.60	12.90	13.00	11.53	12.15
(La/Yb)ucc	1.21	0.92	1.10	1.27	1.10	1.28	1.34	1.18	1.22	1.18
(Gd/Yb)ucc	1.21	1.22	1.13	1.24	1.20	1.38	1.34	1.09	1.22	1.17
(La/Sm)ucc	0.85	0.73	1.09	1.03	1.00	0.93	0.97	1.13	0.80	1.05



Table 2. continued

St.	41	42	43	44	45	Av.	JIVR <sup>a</sup>	HURS <sup>b</sup>	CHRS <sup>b</sup>	KEUM <sup>b</sup>	UCC <sup>c</sup>	PAAS <sup>c</sup>	NASC <sup>c</sup>
Zr/Ti	302.20	302.60	275.00	312.50	354.30	359.20	—	397.20	242.10	361.50	463.40	350.00	425.50
CIA	60.00	62.00	64.80	68.90	66.00	59.35	—	63.80	74.70	71.70	—	69.00	—
ΣREE	171.20	175.60	170.70	161.10	162.00	163.16	—	148.10	186.70	193.30	146.40	183.07	154.49
LREE	155.40	158.00	153.10	142.70	144.90	146.75	—	131.90	167.00	178.60	131.60	164.50	134.51
HREE	14.60	16.40	16.30	17.20	15.90	15.30	—	15.20	18.30	15.50	13.90	17.47	18.73
LREE/HREE	10.60	9.60	9.40	8.30	9.10	9.63	—	8.70	9.10	11.40	9.50	9.41	7.18
(Eu/Eu <sup>+</sup> )	0.70	0.63	0.71	0.65	0.64	0.65	—	0.60	0.64	0.61	0.65	0.65	0.67
(La/Yb)N	12.50	11.60	11.00	10.20	10.30	11.73	19.70	9.61	10.63	14.81	9.21	9.17	6.75
(La/Sm)N	4.09	3.86	4.05	4.23	3.93	4.02	4.10	3.81	3.83	4.33	4.20	4.26	3.27
(Gd/Yb)N	1.85	1.91	1.60	1.96	1.64	1.92	—	1.73	1.92	2.13	1.40	1.40	1.44
(Ce/Ce <sup>+</sup> )	0.91	0.86	0.80	0.82	0.83	0.90	—	0.97	0.99	0.94	1.07	1.07	1.04
(Ce/Yb)N	9.25	8.32	7.70	6.86	7.33	8.56	12	7.45	8.26	11.05	7.58	7.40	5.90
(Ce/Sm)N	3.03	2.76	2.84	2.84	2.79	2.94	3	2.97	3.87	3.23	3.42	3.45	2.70
(La/Lu)N	14.80	13.10	10.90	11.80	10.20	12.87	—	10.70	11.70	11.40	9.70	9.84	8.35
(La/Yb) <sub>ucc</sub>	1.36	1.30	1.18	1.11	1.09	1.27	2.10	1.00	1.20	1.60	—	1.00	1.59
(Gd/Yb) <sub>ucc</sub>	1.33	1.40	1.10	1.40	1.13	1.37	—	1.33	1.40	1.56	—	0.98	1.03
(La/Sm) <sub>ucc</sub>	0.95	0.93	1.00	1.01	0.92	0.96	0.96	0.92	0.93	1.03	—	1.02	1.68

<sup>a</sup> Jeju Island volcanic rock(Park and Kwon, 1993)

<sup>b</sup> Huanghe, Chanhjiang and Keum rivers sediment(Yang et al., 2004)

<sup>c</sup> Average upper continental crust(UCC: Taylor and McLennan, 1985); Post-Archaean shale average Australian sedimentary rock(PAAS: McLennan, 1989); North American shale composition(NASC: Gromet et al., 1984).

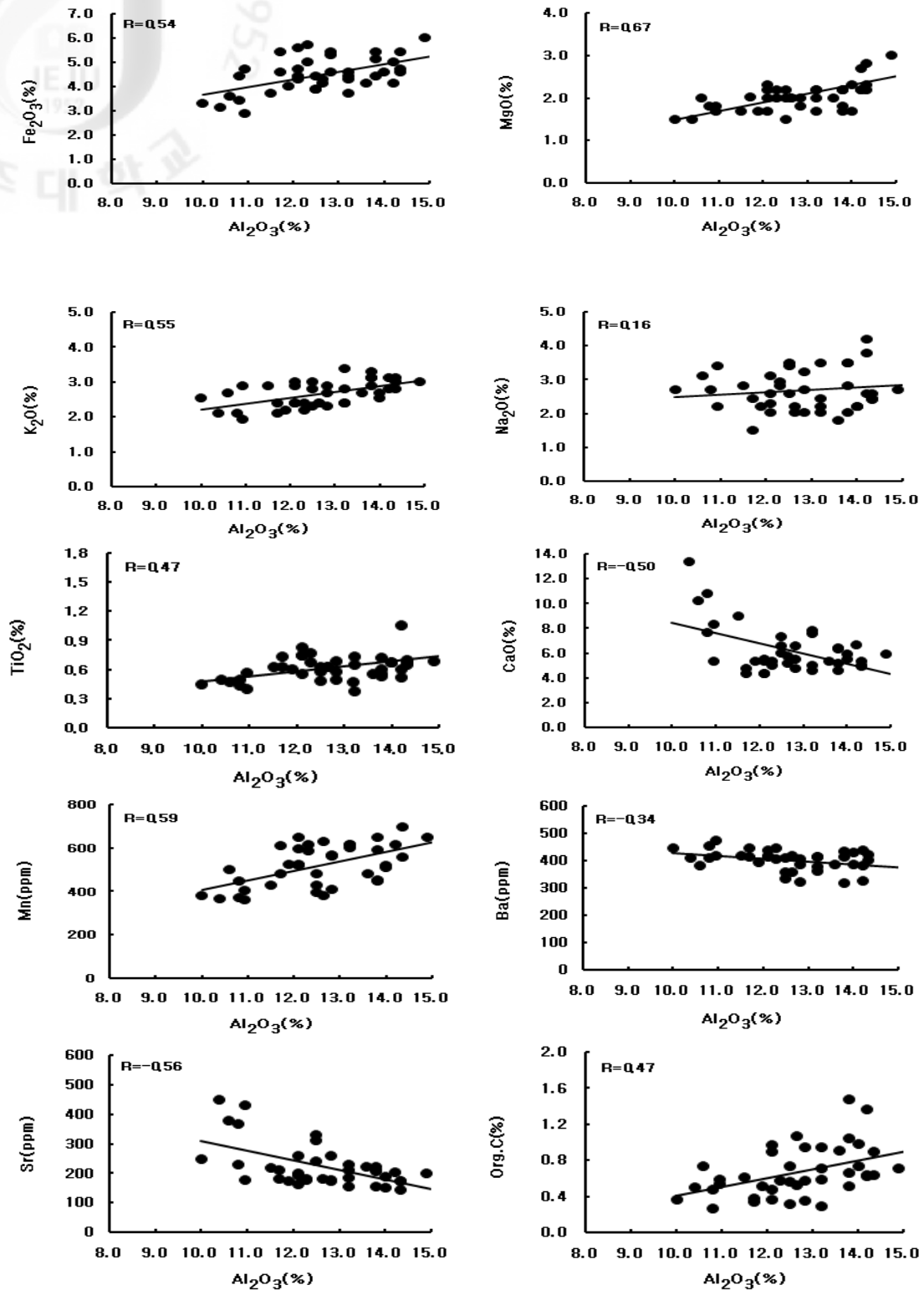


Fig. 6. Relationships between elements plotted against  $Al_2O_3$  contents around Jeju Island sediments.

Fig. 7-A 는 연구지역 표층퇴적물의 점토함유량을 나타낸 것이다. 그림에 제시된 바와 같이 본 역 중앙부 남동쪽 외대륙붕 지역에는 6~8Φ 인 중립질실트에서 세립질실트가 우세한 분포를 보이며 퇴적물내 점토함량은 50% 이상을 차지하고 있다. 이 니토대(silt+clay) 분포지를 벗어나면 퇴적물의 입도는 5Φ 이하로 조립화되며 점토함유량도 40% 이하인 사질퇴적상이 분포하고 있다. 따라서 본 연구지역의 니토퇴적상 분포지역은 황해난류와 양자강 하구역 북쪽지역에서 남동방향으로 흐르는 장수연안류에 의해 운반되는 (고)황하기원의 물질의 퇴적이 진행되고 있는 와류가 발생하는 전선대 지역으로 알려져 있다(Su et al., 1983).

일반적으로 미량원소들은 퇴적물의 세립성분(특히 점토광물)과 잘 결합하는 경향이 있어 퇴적물의 입도에 따른 그 농도 변화가 다르므로 이를 보정해주는 연구가 많이 보고되었다(Goldberg and Arrhenins, 1958; Calvert et al., 2001). 이러한 방법 중의 하나가 대표적인 대륙기원 원소(terrigenous element)이면서 환경변화에 비교적 안정한 보존성 원소(conservative element)인 Al 로 다른 원소들을 나누어 줌으로써 입도의 영향을 최소화 할 뿐만 아니라 생물기원 원소에 의한 희석효과가 상쇄되는 것이다(Goldberg and Arrhenins, 1958; Moorby, 1983; Windom et al., 1989).

Al 원소는 지각물질 중에서 가장 폭넓게 분포하는 원소들 가운데 하나로 이동 중에 풍화에 의한 함량변화가 거의 없고, 육지의 강으로부터 이동시 90% 이상의 입자태로 이루어지며 액상의 이동량은 매우 적은 전형적인 대륙기원 원소에 속한다(Martin and Meybeck, 1979). Al 원소의 공간적인 분포는 Fig. 7-B 에서 보는바와 같이 그 분포 범위가 5.4~8.3%의 분포를 보이나, 사질니토와 니토퇴적상이 분포하는 북쪽과 남동쪽 끝지역에서 7 이상으로 높은 함량치를 보이고, 니질모래 퇴적상이 분포하는 남서쪽과 동쪽 지역으로 향함에 따라 6 이하로 감소하는 경향을 보이고 있어

퇴적물내 점토광물 함량과 일치하나 석영과 탄산염 물질에 의한 희석작용이 미미함을 의미한다. 퇴적물 유형에 따른 Al 원소의 함량은 평균입도가 7Φ 이상인 니토대 분포지역(mud deposits)에서 7.5, 사질니토 퇴적상에서 7.0, 니질모래 퇴적상에서 6.3 함량을 보여 퇴적물의 평균입도와 뚜렷한 관련성이 있음을 보여주고, 주로 세립질 퇴적상 분포지역에서 높은 함량을 보였다.

Fe는 전이원소 중 함량이 가장 높은 원소로서 풍화에 대한 안정도가 크며, 주로 강을 통해 운반시 90% 이상 입자태로 이동된다(Martin and Meybeck, 1979). 조사지역 퇴적물내 Fe의 함량 범위는 2.0~4.2%이며, Fe/Al 비의 공간적 분포는 Fig. 7-C에서 보는바와 같이 0.33~0.62% 값의 분포 범위를 보이나 양자강 하구역과 가까워지는 남서부 지역에서 0.5 이상의 높은 값을 보이고, 북쪽과 동쪽으로 향함에 따라 0.4 이하로 점차 감소하는 경향을 보이는데, 이는 양자강 하구역이 근래 도시 및 토지이용 증가 등으로 철을 많이 함유한 양자강기원 부유물질의 일부가 해류(양자강희석수)에 의해 제주도 서쪽 외해지역까지 이동되고 있음을 시사한다. 퇴적물 유형에 따른 Fe/Al 비 값은 니질모래 퇴적상에서 0.47로 높은값을 보이고, 사질니토 퇴적상에서는 0.45, 니토 퇴적상에서는 0.43의 낮은 값을 보였다.

Mn은 해수와 담수가 만나는 연안역에서 망간산화물이 자생적으로 형성되는 비율이 큰 원소이며(Francois, 1998; Presley et al., 1992), 수괴 내에서 흡착 및 침전작용 등에 의해 효과적으로 제거되는 것으로 알려져 있다(Chester and Hughes, 1969). Mn 원소의 함량 범위는 364~697ppm이며, Mn/Al 비의 지역적 분포는 Fig. 7-D에서 보는바와 같이 그 분포 범위가 54~101.6의 분포를 보이나 Fe/Al 비의 분포와 유사하게 양자강 하구역과 가까운 본 연구지역 남서쪽 지역에서 90 이상의 높은값을 보이고, 북쪽 및 북동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데 이 또한 양자강기원 부유퇴적물이 제주도 서쪽 지역까지 이동되고 있는 것으로 사료된다.

퇴적물 유형에 따른 Mn/Al 비는 사질니토 퇴적상에서 78.1 으로 최대값을 보이고, 니질모래 퇴적상에서는 75.5, 니토 퇴적상에서는 69.8 으로 가장 낮은 값을 보였다.

Ti 원소는 대표적인 대륙기원 원소이며 보존성 원소로써 모래나 실트질 퇴적물에서 함량이 높은 티탄철석이나 예추광(anatase) 등의 영향을 많이 받는 원소로 알려져 있다(Bowen, 1979). Ti 원소의 함량 범위는 0.24~0.67%이며, Ti /Al 비의 지역적 분포는 Fig. 7-E 에서 보는바와 같이 양자강 하구역과 가까운 남서쪽 끝지역에서 0.06 이상의 높은 함량비를 보이고, 북동쪽으로 향함에 따라 0.05 이하로 감소하는 경향을 보이는데, 이 또한 양자강기원 물질이 연구지역까지 유입되고 있음을 추론케 한다. 그 외 제주도 주변 연안역 지역에는 0.06 이상의 높은 함유량비를 보인다. 퇴적물 유형에 따른 Ti /Al 비는 사질니토 및 니질모래 퇴적상에서 0.06, 니토 퇴적상에서 0.05 의 값을 보였다.

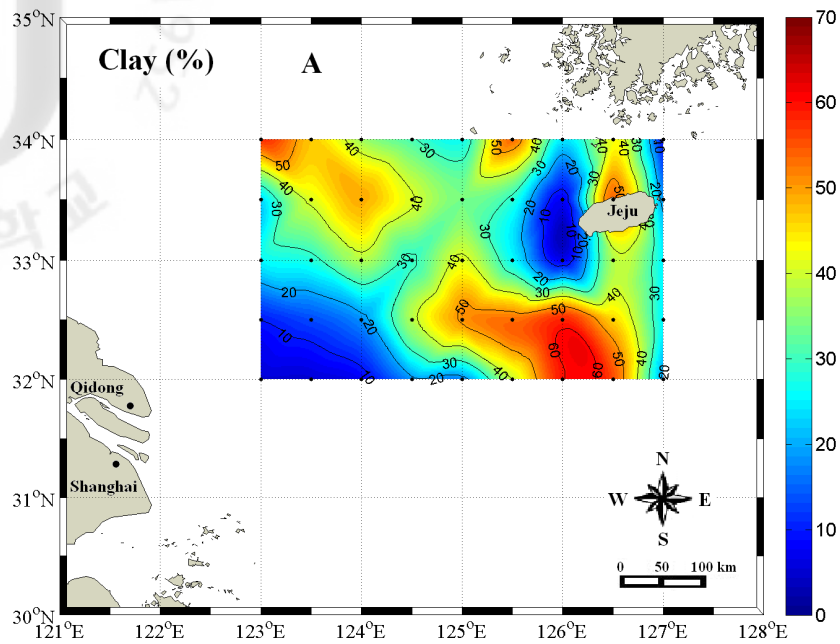


Fig. 7-A. Clay (<math><2 \mu\text{m}</math>) contents of the bottom sediments around Jeju Island.

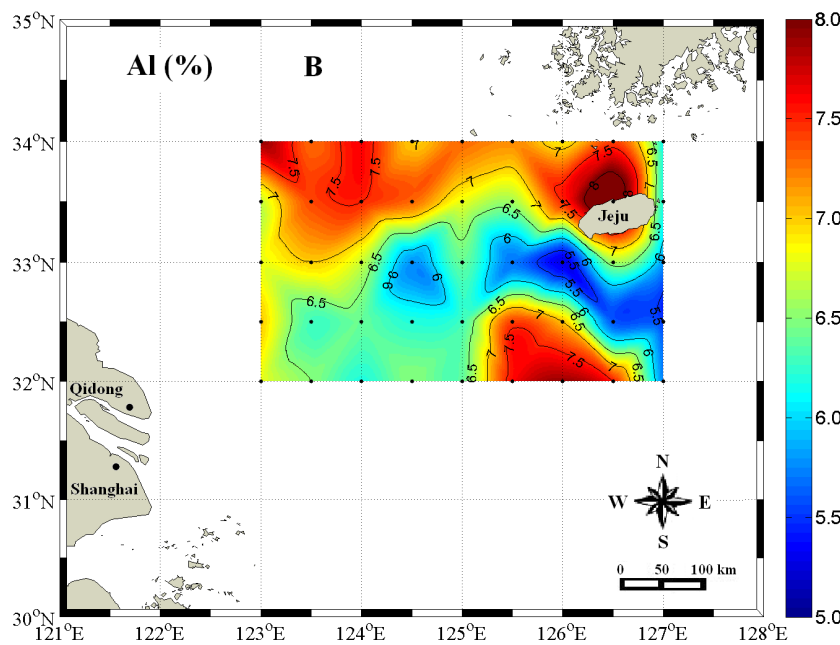


Fig. 7-B. Areal distribution of Al in surface sediments around Jeju Island.

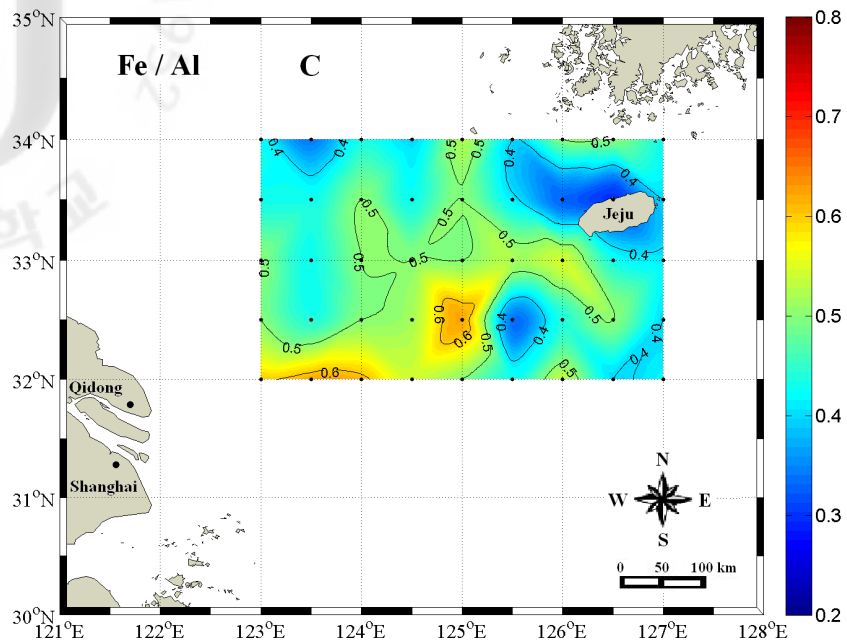


Fig. 7-C. Arel distribution of Fe / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.

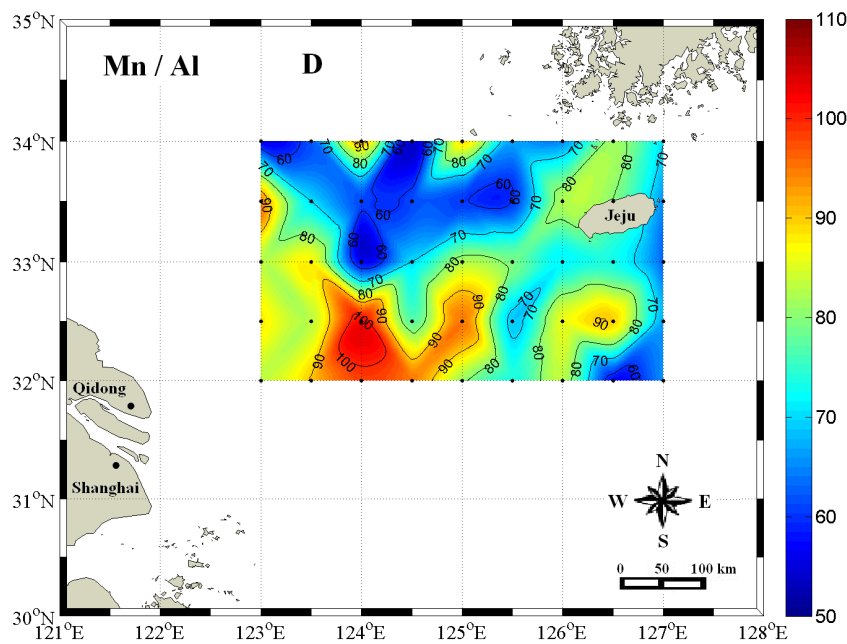


Fig. 7-D. Arel distribution of Mn / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.

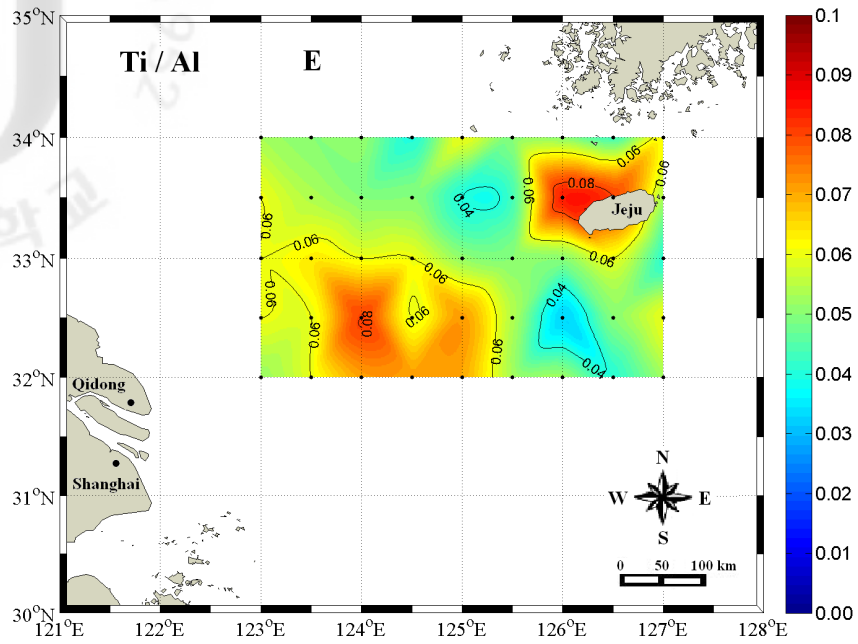


Fig. 7-E. Arel distribution of Ti / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.

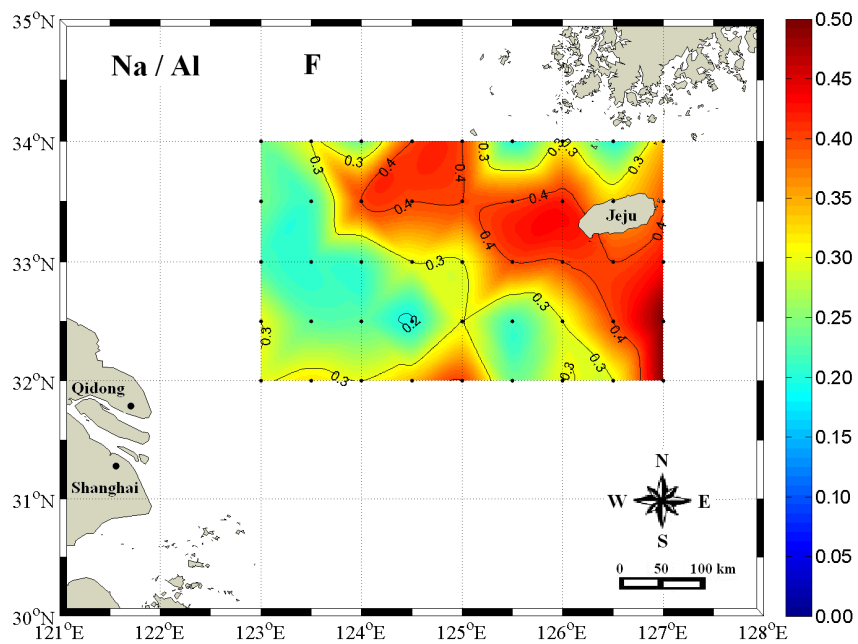


Fig. 7-F. Arel distribution of Na / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.



Na 원소는 불안정한 알칼리 원소에 속하며, 주로 강을 통해 전체 이동량의 50~90%가 액상으로 이루어지며(Martin and Meybeck, 1979), 입자태로 이동하는 Na 원소 함량은 퇴적물내 쇄설성 광물인 장석, 각섬석 및 휘석 등의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Bowen, 1979). 또한 양자강보다 황하기원 퇴적물에서 높은 함량치를 보이는 것으로 보고되었다(Zhao and Yan, 1992; Yang et al., 2003). 조사지역 퇴적물 중 Na의 함량 범위는 1.1~3.1%이고, Na/Al 비의 지역적 분포는 Fig. 7-F에서 보는바와 같이 수심이 깊고 주로 사질 퇴적상의 분포하는 동쪽지역과 북부 중앙부인 제주해협에서 0.4 이상의 높은 함량비를 보이고, 수심이 얇은 중국측과 가까운 서쪽 및 남쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여 이는 기원지 외에 해양생물 기원물질의 영향을 강하게 받고 있음을 의미한다. 즉, 패각편과 유공충각과 같은 해양생물 파편을 많이 함유하는 동중국해 퇴적물이 제주도 주변까지 확장하는 대마난류나 황해연안류 같은 해양환경 요인에 의해 본 연구지역까지 운반이 이루어지고 있음을 의미한다(윤과 김, 2002). 퇴적물 유형에 따른 Na/Al 비는 니질모래 퇴적상에서 0.37 으로 최대값을 보이고 사질니토 퇴적상에서 0.29, 니토 퇴적상에서 0.26의 최소값을 보여 퇴적물 입도와 상반된 경향을 보였다.

해양퇴적물에서 알칼리 지각 원소 중 Ca 함량은 육상기원 쇄설성 퇴적물(석회암, 백운암)의 공급 외에도 연체동물, 산호 및 유공충과 같은 해양생물체들과 깊은 연관성을 갖으며(Turekian and Wedepohl, 1961), 점토광물에는 그 함량이 매우 낮은 것으로 알려져 있다(Goldberg and Arrhenins, 1958). Ca 원소의 함량 범위는 3.1~9.6%이고, Ca /Al 비의 지역적 분포는 Fig. 7-G에서 보는바와 같이 수심이 깊고, 주로 사질 퇴적상이 분포하는 동쪽지역에서 1.0의 최대비 값을 보이고, 서쪽 및 남서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데, 이는 황해난류수의 영향으로 지역적 생물 생산력이 매우 높기 때문으로 해석된다. 황하기원 퇴적물이

분포하는 것으로 보고된 본 연구지역의 북서쪽에 분포하는 니토대(Central Yellow Sea Mud; Stn-9, 11; Milliman et al., 1985; Yang and Youn, 2007) 지역에서가 동쪽 지역보다 낮은 Ca 함량치를 보이는데 이는 주로 육상기원 세립질 물질의 활발한 집적에 따른 희석작용(dilution) 때문일 것으로 사료된다. 퇴적물 유형에 따른 Ca/Al 비는 니질모래 퇴적상에서 0.84, 사질니토 퇴적상은 0.63, 니토 퇴적상에서는 0.61 의 비값을 보여 조립질 퇴적상에서 높은 비값을 보였다.

해양환경에서  $\text{SrCO}_3$  형성은 유공충과 코크리스와 같은 탄산염 생물체와 관련이 있는 것으로 보고되었고(Turekian and Wedepohl, 1961), 특히 유공충각을 많이 함유하는 외해역 퇴적물에 높은 Sr 함량을 보인다고 알려져 있다(Chen et al., 1983). Sr 원소의 함량 범위는 108~320ppm 이고, Sr/Al 비의 지역적 분포는 Fig. 7-H 에서 보는바와 같이 Ca 원소 분포와 유사하게 연구지역 동쪽 및 제주도 주변 연안역에서 50 이상의 높은 함량비를 보이고, 수심이 얇은 서쪽과 남서쪽으로 향함에 따라 현저하게 감소하는 경향을 보여 근원지 외에 해양 생물기원의 영향도 강하게 받는 것으로 보여진다. 퇴적물 유형에 따른 Sr/Al 비는 니질모래 퇴적상에서 43.3 로 높은 값을 보이고, 사질니토 퇴적상에서 32.7, 니토 퇴적상에서 28.1 의 비값을 보이며 Ca/Al 비와 유사한 경향을 보였다.

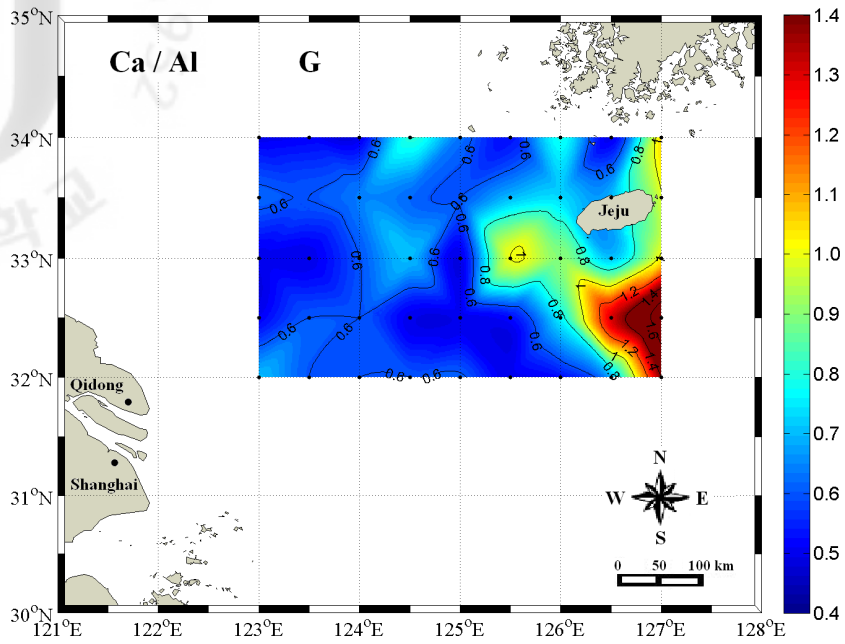


Fig. 7-G. Arel distribution of Ca / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.

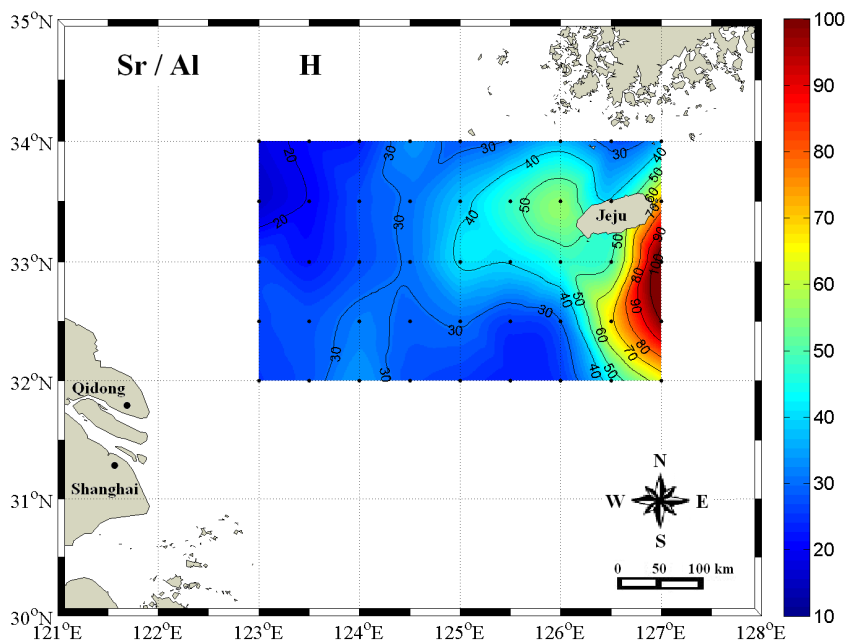


Fig. 7-H. Arel distribution of Sr / Al ratios in surface sediments around Jeju Island.

### 3. 퇴적물내 원소조성의 지화학적 특성

#### 3-1. 주성분원소 및 미량원소

쇄설성 퇴적물에 대한 주요원소(major elements) 분석을 통하여 퇴적물들 간의 조성 차이를 밝힘과 동시에 육지기원 퇴적물의 공급원을 평가하고 또한 화학적 변질지수(Chemical Index of Alteration; CIA)을 이용하여 퇴적물 근원지의 풍화정도를 평가할 수 있다. 화학적 변질지수는  $CIA = \frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)} \times 100$  으로 나타낸다(Harnois, 1988). 변질지수에 사용되는 주요원소들은 풍화가 진행되는 동안 상대적으로 쉽게 유동하는 원소를 의미하며  $CaO^*$ 와  $Na_2O$  과 같은 원소가 이에 속하며  $CaO^*$ 는 퇴적물내 규산염광물에 포함된  $CaO$  양을 의미한다. Nesbitt and Young(1982)은 근원암의 퇴적 및 변성작용 기간에도 CIA 값이 크게 변하지 않아 근원지의 풍화작용의 강도를 반영할 수 있다고 하였다. 따라서 CIA 값의 변화는 공급원 퇴적물의 받은 풍화 정도를 지시하기 때문에 현재 퇴적된 퇴적물의 공급원을 평가하는데 이용되기도 한다. 본 조사지역 퇴적물의 CIA 값은 44.2~68.9(av. 59.4)의 범위를 보이며, 양자강 퇴적물의 CIA 값(71.7) 보다는 낮고, 황화 퇴적물과 유사한 값(61.0)을 보였다(Table 2).

풍화받지 않은 화성암의 CIA 값은 50 정도이고, PAAS 에서 CIA 값은 69 정도인 것으로 보고되었다(Nesbitt and Yang, 1982; Taylor and McLennan, 1985). 따라서 연구지역 퇴적물에서 CIA 값은 평균 59.4 로 PAAS(69) 보다 낮은 값을 보이는데 이는 근원지에서 강한 풍화작용을 많이 받지 않았음을 의미한다.

일반적으로 토양과 퇴적물의 화학조성 차이로 풍화정도를 파악하는 것이 무리이기 때문에  $Al_2O_3$ - $CaO$ - $Na_2O$ - $K_2O$ - $FeO_t$  의 조성비를 이용한 Nesbitt and

Young(1984)가 제시한 A-CN-K 혹은 A-CN-K-FM 삼각도가 기원암과 풍화강도 연구에 많이 이용된다. Fig. 8 에서 CN 축과 CNK 축의 CaO\*는 규산염광물내의 CaO의 양을 의미한다. 암석, 토양 및 퇴적물을 구성하는 사장석, 정장석, 흑운모, 방해석, 녹니석, 고령석, illite, smectite 및 gibbsite 등의 주요광물들은 이 삼각도상의 각정점 혹은 중앙점에 위치한다(Fig. 8). 그러므로 삼각도표상에 표시되는 시료의 위치에 따라 퇴적물 혹은 토양의 주요광물의 조성을 알아낼 수가 있다.

연구지역 퇴적물을 A-CN-K 삼각도상에 표시하면 대부분의 시료들이 강한 풍화작용을 받지 않았음을 의미하며 주로 사장석과 양자강 퇴적물보다 황하강 퇴적물이 많이 함유되어 있는 smectite 광물과 가까운 곳에 주로 밀집 분포한다(Fig. 8). 또한 중국의 양자강이나 한국의 금강 퇴적물의 평균값보다 황하강 퇴적물 평균치 주위에 집중적으로 위치하는데, 이는 본 연구지역에 분포하는 퇴적물은 양자강보다 황하강의 영향을 더 많이 받고 있음을 의미한다. A-CN-K-FM 삼각도상에서도 유사하게 사장석 광물과 가까운 CNK 집중 위치하는데(Fig. 8) 이는 장석의 풍화작용에 의해 영향을 많이 받은 것으로 사료된다.

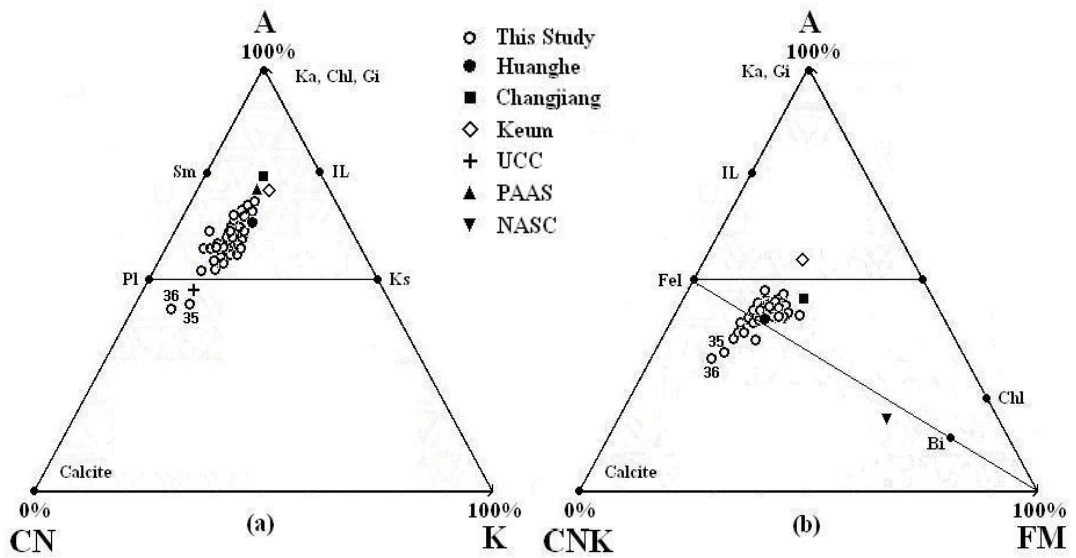


Fig. 8. A-CN-K and A-CN-K-FM diagram of the river and study area sediments(Nesbitt and Young, 1982, 1984). Ka=kaolinite; Chl=chlorite; Gi: gibbsite; IL: illite; Pl=plagioclase; Kfs=K-feldspar; Fel=feldspar; Bi=biotite. A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; CN=CaO+Na<sub>2</sub>O(CaO\* represents CaO incorporated into silicate minerals; K=K<sub>2</sub>O; CNK=CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O; FM=FeO+MgO.

제주도 주변 대륙붕지역에서 채취한 44 개의 퇴적물 시료에서 분석된 화학조성과 기존의 황하와 양자강퇴적물의 지화학적 자료를 비교하여 연구지역 퇴적물의 기원지를 파악하였다. 기존의 연구에 의하면 양자강 퇴적물은 황하나 한국의 강(금강) 퇴적물보다 Mg, Ti, Fe 및 Mn 함량이 높고, 황하퇴적물은 Ca, Na 및 Sr 원소가 풍부하며, 한국의 강 퇴적물은 Al, K 및 Ba 함량이 높다고 보고 하였다(Yang et al., 2004). 이를 바탕으로 지화학적으로 근원강 퇴적물을 구분하기 위하여 이들 각 강들에서 상대적으로 풍부한 원소들을 근거로 3 개의 구분지수를 유도하였다.

첫째 지수는  $(Al + Fe) / (Ca + Mg + K)$  로써 이는 3 강 퇴적물의 모든 조성적 특징을 반영하는 환경적으로 고정된 원소 대 비고정된 원소의 비이다. 둘째 지수는  $(Ca - Fe) / Al$  로써 이는 각 강에서 정량적으로 풍부한 원소로부터 유도된 것이다. 셋째 지수는  $(Ca - Mg) / K$  으로써 이는 각 근원강 퇴적물을 반영하고 있는 상징적인 알칼리와 알칼리토류 원소로부터 유도된 것이다.

본 연구에서 이들 구분 지수들을 적용해 본 결과 연구지역 퇴적물은 Fig. 9 에서 보는바와 같이 제주도과 한반도 남서해안과 기타 해양 환경으로부터 기원된 것으로 추정되는 제주 북쪽과 연구지역 남동쪽 외해에 위치하는 몇 개의 퇴적물 시료(Stn-3, 16, 19, 35, 36, 37)를 제외하고는 황하와 양자강 퇴적물 평균치 사이에 분포하나 대부분의 시료들이 양자강 보다는 황하 퇴적물 주위에 밀집 분포하는 경향을 보여 제주도 주변해역은 양자강보다는 황하기원 부유퇴적물의 영향을 더 받고 있음을 시사한다. 그러나 양자강 하구역과 가까운 몇몇 시료(Stn-31, 32, 40)는 양자강 퇴적물 평균치 가까이에 위치하고 또한 모든 시료들이 황하와 양자강의 평균치 사이에 일직선상의 밀집된 분포 특징을 보여 연구지역의 퇴적물은 주로 황하와 양자강기원 퇴적물의 혼합되어 있음을 의미한다.

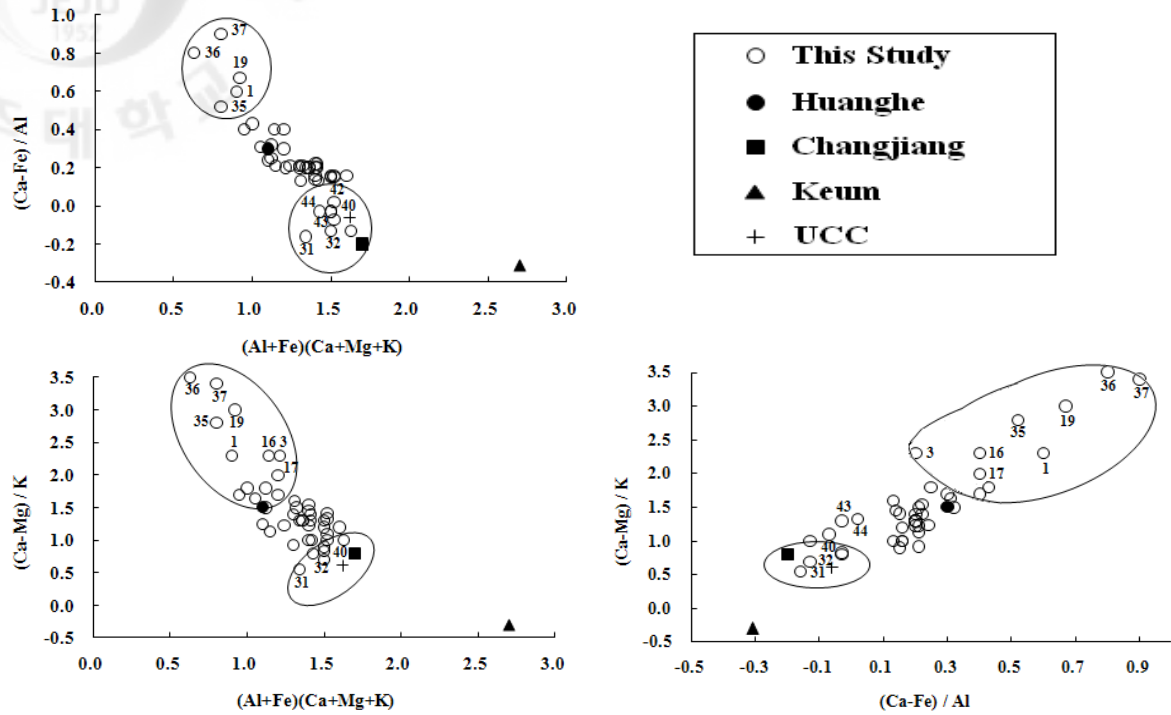


Fig. 9. Linear trend of  $(Ca-Fe)/Al$ ,  $(Ca-Mg)/K$  ratio against the  $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$ ,  $(Ca-Fe)/Al$  ratios.



해양퇴적물은 일반적으로 주변암석의 풍화에 의해 형성된 토양으로부터 다양한 운반기작과 퇴적작용을 거친 후 쌓인 것이다. 따라서 해양에 분포하는 쇠설성 퇴적물의 기원지를 판단하기 위해서는 다양한 지질현상을 이해하여야 하나 우선 해양퇴적물과 주변 강 퇴적물의 광물조성과 화학조성을 서로 비교하면 일차적인 정보를 얻을 수 있을 것이다. 특히 퇴적물내 화학조성 중 Th, Sc, Zr, Hf, Y, Nb, Cr, Co 및 REE 와 같은 육성기원의 미량원소와 희토류 성분들은 퇴적물의 풍화작용이나 운반과정에 따른 분급과 속성작용 등에 크게 변하지 않는 특성을 보여 퇴적물의 기원지 및 지구조 환경(tectonic setting)을 밝히는데 유용한 도구로 이용되고 있다(Culler et al., 1987; Bhatia and Taylor, 1981; Bhatia and Crook, 1986; McLennan et al., 1980,1993).

따라서 제주도 주변 대륙붕해역에 분포하는 퇴적물, 황하 및 양자강퇴적물, 후기 시생대 호주퇴적암의 평균조성(Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock; PAAS) , 상부대륙지각(Upper Continental Crust; UCC)과 북미지역 셰일조성(North American Shale Composition; NASC)의 지화학적 원소성분의 평균함량을 Table 2 에 제시하였다.

연구지역 퇴적물내 화학조성을 UCC 와 PAAS 의 평균값(McLennan, 1989; Taylor and McLennan, 1985)과 비교할 때 Ca, Na, Pb, Cr, Cs 및 Sc 원소를 제외한 나머지 대부분의 원소들은 본 연구지역에서가 고갈되는 특징을 보이는데, 이는 근원지에서 화학적 풍화작용을 많이 받지 않은 것으로 해석할 수 있다.

제주도 주변해역에 분포하는 퇴적물의 화학조성을 이용하여 황하와 양자강기원 퇴적물을 구별할 수 있는 지화학적 특징으로는 Table 2 에서 보는바와 같이 황하강 퇴적물에는 양자강 퇴적물에 비해 Ca, Na, Sr 및 Zr 원소가 높은 함량 특성을 보이나, 양자강 퇴적물에는 대부분 전이원소 함량이 풍부한 것으로 보고 되었다(Zhao and Yan,

1992; Yang et al., 2003). 그러나 Ca, Na 및 Sr 과 같은 알칼리토류 원소들은 강과 해양환경에서 불안정하고 해양자체에서 공급되는 해양생물과 해수기원 물질 등의 요인에 의해 함량이 조절되므로 대륙기원 원소의 함량이 상대적으로 변하게 된다.

따라서 대륙기원 원소의 공급 여부나 기원지 차이 등을 밝히고자 할 때에는 해양기원에 의한 요소를 제거하여 대륙기원 원소에 의해서만 추론이 필요하다(Moorby, 1983). 이러한 방법 중의 하나가 대륙기원 원소이면서 보존성 원소인 Al, Ti 등으로 규격함으로서 입도의 영향을 최소화 할 뿐만 아니라 해양퇴적물의 공급지 추정이 가능하다고 보고 되었다(Ergin et al., 1996).

본 연구에서는 잔류퇴적물에 높은 함량을 보이며, 퇴적물의 운반과정에서 비교적 보존적 거동을 보이는 Sc/Al, Ti/Nb, Cr/Th, Nb/Co 및 Th/Sc 비를 이용하여 제주도 주변 대륙붕해역에 분포하는 퇴적물의 기원지를 추정해 보았다. Fig. 10에서 보는바와 같이 상기 원소들의 비 값을 황하와 양자강 퇴적물에서 뚜렷한 차이를 보이며 이들 비 값을 이용하여 제주도 주변해역에 분포하고 있는 퇴적물의 공급지 추정에 지시자로 이용될 수 있음을 시사한다. 즉, Fig. 10의 Cr/Th 대 Sc/Al, Nb/Co 대 Th/Sc, Th/Sc 대 Ti/Nb의 상관도표에서 제주도 주변 대륙붕해역에 분포하는 퇴적물은 기원지로서의 어느 특정한 지역을 명백히 보여주지 않았으며 크게 세 유형으로 구분된다.

연구해역의 서쪽에 분포하는 대부분의 퇴적물 시료들은 황하강 퇴적물 평균시료 주위에 밀집 분포하는 특징을 보이나, 양자강 하구역과 가까이 위치하는 남서쪽 및 남쪽지역에 분포하는 퇴적물시료(Stn-29, 32, 33, 40, 43)는 양자강 퇴적물 평균시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보인다. 반면 한반도 남서해안과 근접한 연구지역 북동쪽에 분포하는 퇴적물시료(Stn-1, 2, 3)와 제주도 주변해역에 분포하는 퇴적물시료(Stn-16, 17) 및 남동쪽 끝지역에 분포하는 퇴적물시료(Stn-19, 36, 37)들은 중국의 황하와 양자강 퇴적물 평균시료와 분리된 독립된 영역에 별도로 위치하는

특징을 보이는데, 따라서 이곳에 분포하는 퇴적물은 중국의 황하와 양자강에서 공급된 것이 아니라 다른지역 즉, 제주도와 한반도 남서해안 및 기타지역에서 운반된 퇴적물로 추정된다.

따라서 제주도 주변해역은 중국의 황하와 양자강, 제주도 및 한국의 남서해안에 분포하는 강 등 복합기원 퇴적물이 집적되고 있음을 의미한다.

토양이나 퇴적물의 화학조성에서 Zr 과 Ti 는 비교적 유동성이 낮은 안정한 원소들로서 토양의 Zr/Ti 비를 모암의 Zr/Ti 와 비교하여 토양을 구성하는 물질들간의 모암의 균질성 여부를 파악할 수 있다(Birkeland, 1984; 이 등, 2002). Table 2 에서 보는바와 같이 황하, 양자강 퇴적물의 Zr/Ti 비의 평균값은 각각 387.2 와 242.1 이며, 제주도 주변해역 퇴적물의 Zr/Ti 비는 230.2~608.7 범위(평균 359.2)로 양자강 퇴적물의 평균값 보다는 높고 전반적으로 황하 퇴적물의 평균값과 유사한 값을 보여 본 연구지역은 주로 황하의 영향을 더 받고 있음을 의미한다(Table 2). 황하기원 퇴적물이 연구지역으로 이동이 가능한 기작으로는 황하강은 1128 년부터 1855 년 기간 동안에는 그 유로가 산둥반도 남쪽의 장수(Jiangsu) 지역에 위치하였으며 직접 황해로 흘러 들어갔다. 황하강의 유로가 1855 년에 산둥반도 북쪽의 발해역으로 이동한 이후 장수연안 지역은 급격한 해안 침식이 일어나 1,400 km<sup>2</sup>의 연안육지 지역이 소실되었고 연평균 4.4×10<sup>8</sup> ton 정도의 퇴적물이 생산되는 것으로 보고되었다(Saito, 1998). 이들 (고)황하기원 삼각주 퇴적물은 장수연안류 등에 의해 황해 중앙부해역과 제주도 서쪽해역 및 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포 지역까지 운반되고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman et al., 1985).

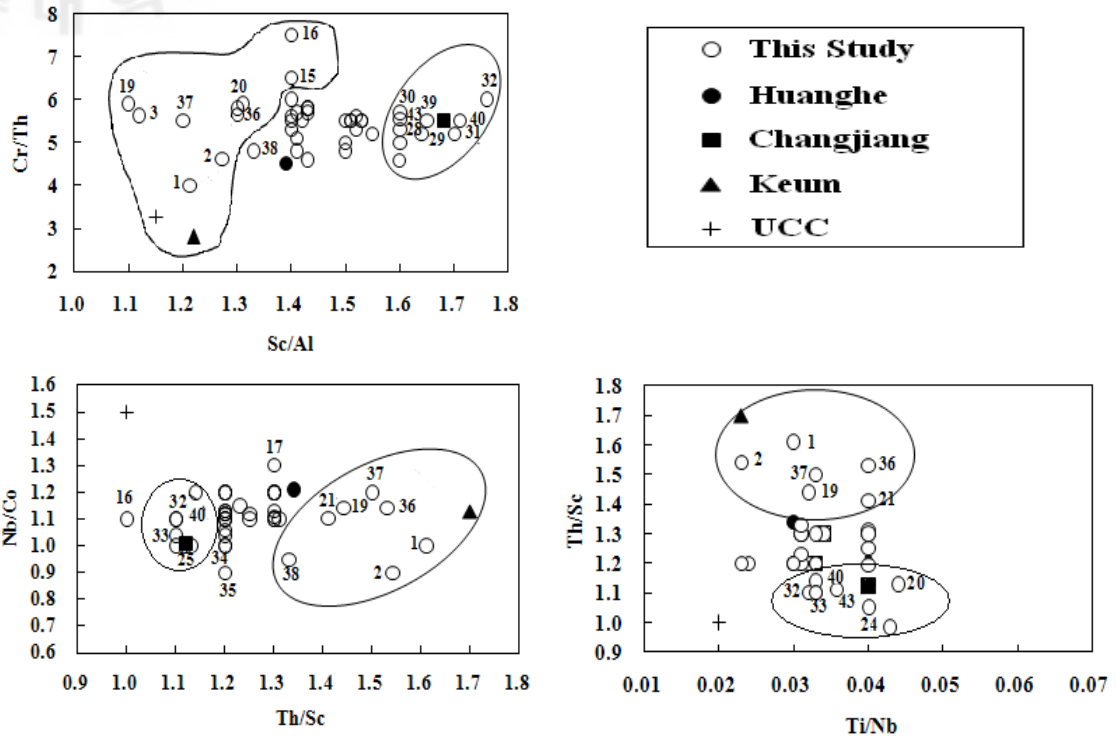


Fig. 10. Discrimination plots of Sc/Al vs Cr/Th, Th/Sc vs Nb/Co and Ti/Nb vs Th/Sc. Huanghe, Changjiang and Keum rivers sediment(Yang et al., 2004), UCC: Average upper continental crust(Taylor and McLennan, 1985).

### 3-2. 희유원소

희유원소는 외적요인 즉 변성작용, 변질작용 및 풍화작용의 영향을 다른 원소와 비교해 볼 때 덜받는 특성을 보이고, 특히 지구환경에서 발생된 모든 환경에서 규칙성을 가지고 거동하는 특성을 보이는 것으로 보고되었다(Taylor and McLennan, 1985; McLennan, 1989). 희유원소의 존재도 특히 운석이나 상부대륙지각세일(Upper Continental Crust; UCC)로 규격화한 분포양상에서도 변화하지 않기 때문에 이를 이용하면 퇴적물의 기원지 혹은 근원암을 추적하는데 매우 유용하게 이용되고 있다(Piper, 1985; McLennan, 1989; Holser, 1997; Sholkovitz and Szymezak, 2000; Yang et al., 2002). 또한 암석이 심하게 풍화를 받아 토양화된 후에도 희유원소의 분포도가 변화되지 않음을 보고한 바 있다(Lee et al., 1994, Yang et al., 2002). Cullers et al.,(1979, 1987, 1988)와 Li et al.,(2009)은 퇴적물의 입도, 광물조성이 희유원소의 함량에는 영향을 주지만 운석이나 UCC로 규격화한 분포도에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 보고되었다. 연구지역 퇴적물의 희유원소의 조성은 Table 2에 기재되었다. 표에서 보는바와 같이 희유원소의 함유량은 140.2~186.0(평균 163.2)의 범위로 양자 퇴적물의 평균값 보다 낮고 황하 퇴적물 보다 다소 높은 값을 보이나, NASC 평균값과 유사한 함유량을 보였다.

퇴적물 조성과의 관계는 Fig. 11에 제시하였다. 그림에서 보는바와 같이 퇴적물내 점토함량이 증가함에 따라 가벼운 희유원소(Light Rare Earth Element; LREE)와 무거운 희유원소(Heavy Rare Earth Element; HREE)의 함량은 증가하는 정(+)의 상관관계를 보였고, 반면에 모래함량이 증가함에 따라 LREE 및 HREE는 상대적으로 감소하는 부(-)의 상관관계를 보이는데, 이는 퇴적물내 희유원소의 함량은 점토광물과 또한 퇴적물의 입도에 의해 영향을 받고 있음을 의미한다.

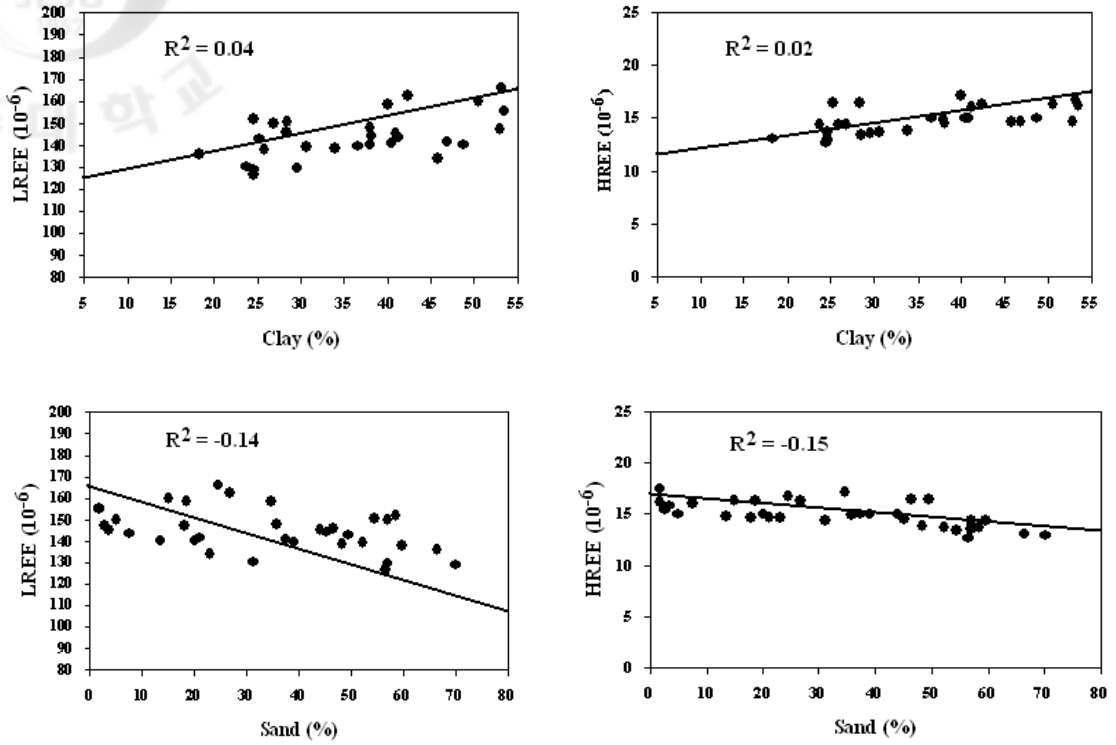


Fig. 11. Correlation between REE and sediment grain size.

연구지역 퇴적물 시료들 중 전술한 풍화작용과 운반과정에서 비교적 보존적 거동을 보이는 미량원소비 자료(Fig. 10)와 후술할 Sr-Nd 동위원소 분석자료를 근거하여 황하기원 퇴적물로 추정되는 시료(Stn-7, 9, 13, 23, 24), 양자강기원 퇴적물로 추정되는 시료(Stn-27, 30, 32, 40, 44), 한반도 남서해안 기원으로 추정되는 퇴적물시료(Stn-2, 4) 및 제주도기원 시료(Stn-16, 17)를 선택하였고, 기보고된 황하 및 양자강 퇴적물의 희유원소의 평균값을 이용하여 이들 시료들에 대하여 희유원소(REE)의 분포를 작성하였다(Fig.12). 토양이나 퇴적물의 화학조성 중 REE 분포 패턴을 이용하여 근원암이 염기성암에서 기원된 것인지 혹은 규산질암에서 유래된 것인가를 평가하는데도 유용하게 이용된다. 즉 기원암이 염기성암일 경우 일반적으로 가벼운 희유원소와 무거운 희유원소비(LREE/HREE)가 낮고, Eu의 부(-)이상이 미미한 반면에, 기원암이 규산질암일 경우는 보다 높은 LREE/HREE 비를 보이고, Eu의 부(-) 이상도 두드러진 특징을 보인다 하였다(Culler et al., 1975, 1987).

따라서 본 연구지역에서 선택된 퇴적물 시료와 중국의 황하, 양자강 및 한국의 금강 퇴적물의 희유원소의 평균값을 운석으로 규격화한 REE 분포 패턴을 나타내었다(Fig.12). 그림 12에서 보는바와 같이 황하와 양자강 및 금강 퇴적물인 경우 LREE는 상당히 부화되어 있고, HREE는 전반적으로 고갈된 편이며 Eu의 부(-)이상이 상당히 두드러진 특징을 보이는데 이는 상부대륙지각세일(UCC)의 희유원소 분포경향과 매우 유사하였다(Fig. 12-A). Fig. 12-B는 연구지역 퇴적물의 희토류원소 조성을 Taylor and McLennan(1985)가 제시한 운석값으로 규격화한 희토류원소의 분포도이다. 그림에서 보는바와 같이 연구지역 퇴적물도 LREE가 상당히 부화되어 있고, HREE는 고갈되며 평평한 경향을 보이고, 특히 제주 화산암 시료와 제주도 기원으로 추정되는 퇴적물시료(Stn-16, 17)를 제외한 나머지 시료들은 Eu의 부(-) 이상도 상당히 뚜렷하며 황하, 양자 및 금강 퇴적물의 희토류원소 분포패턴과 매우

유사하였다. 따라서 본 연구지역은 황하와 양자강이 영향을 많이 받고 있으며 그 외에 주로 제주도 및 한반도 남서해안에서 다른 기원된 물질도 섞여 있음을 의미한다. 그러나 Fig.12 에서 보는바와 같이 이들 퇴적물 시료들의 REE 분포 패턴이 너무 가까이 인접한 분포를 보여 운석으로 규격화하여 희유원소의 분포도를 이용하여 연구지역 퇴적물의 기원지를 구분할 수가 없었다. 반면에 표 2 에서 보는바와 같이 LREE 와 HREE 의 값은 황하기원 퇴적물로 추정되는 시료에서(Stn-7, 9, 13, 33, 34) 평균값은 각각 144.1, 15.20 로 이는 황하강 퇴적물 평균값과 유사하였고, 양자강기원 퇴적물로 추정되는 시료에서(Stn-27, 30, 32, 40, 44)은 각각 154, 17.2 로 이는 양자강 퇴적물의 평균값과 유사하였다(Table 2). 또한 양자강기원 퇴적물로 추정되는 시료(Stn-27, 30, 32, 40, 44)의 (La/Yb)<sub>N</sub> 과 (La/Sm)<sub>N</sub> 비값은 각각 11.7 과 4.02 로 양자강 퇴적물의 평균값(10.63~3.83)과 유사한 값을 보였고, (Eu/Eu)<sup>\*</sup> 값도 0.65 로 양자강 퇴적물 값(0.64)의 동일한 값을 보였다(Table 2), 따라서 양자강기원 물질도 본 연구지역까지 이동되고 있음을 의미한다. 이는 전술한 Fe, Mn 및 Ti 원소의 분포도 결과와도 잘 일치하고 있다.



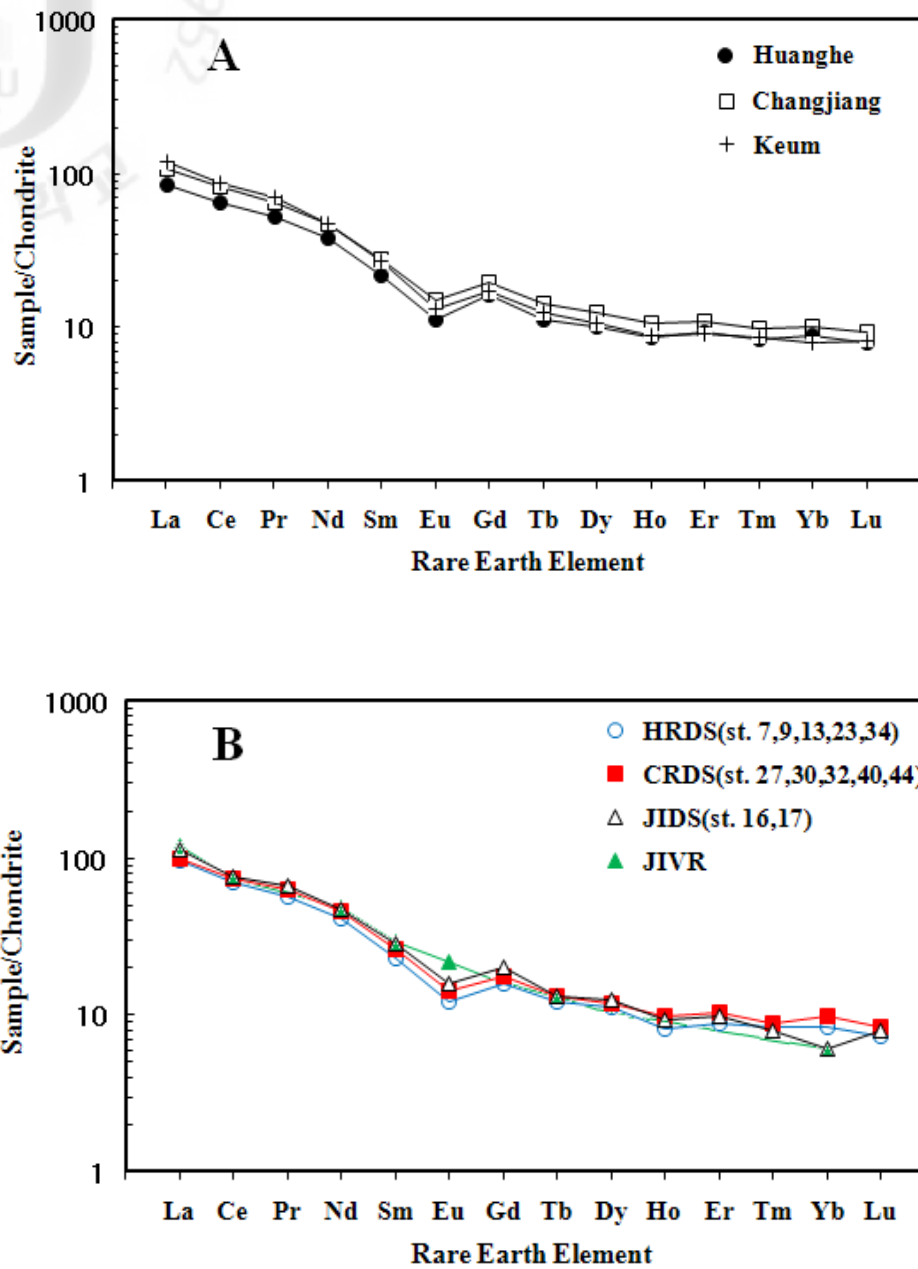


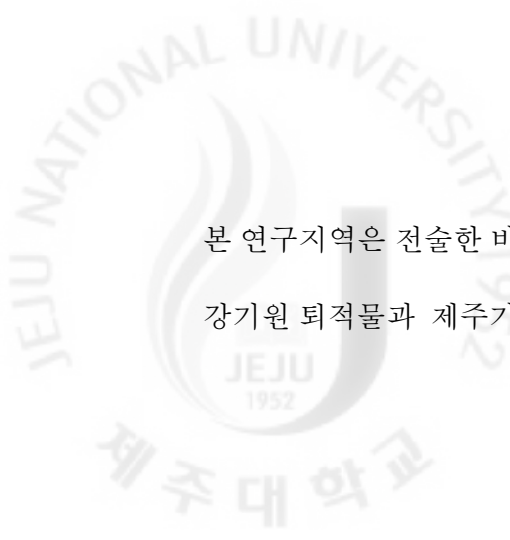
Fig. 12. Chondrite-normalized REE diagram.

Note; HRDS: Huanghe-derived sediment, CRDS: Changjiang-derived sediment, JIDS: Jeju Island-derived sediment, JIVR: Jeju Island volcanic rock.

Fig. 13-A 는 Taylor and McLenna(1985)가 제시한 상부대륙지각셰일(Upper Continental Crust Shale; UCC) 평균값으로 규격화한 REE 분포도이다. 그림에서 보는바와 같이 양자강 퇴적물이 황하와 한국의 금강 퇴적물보다 높은 REE 함량과 전반적으로 위로 볼록한 REE 분포 형태를 보이고, 중희토류원소(Sm~Dy)도 더 부화되어 있다. 이처럼 중국의 황하와 양자강 및 한국의 금강 퇴적물에서 현저히 다른 REE 분포 패턴을 보이는 것은 이들 강유역 지역이 지질, 생성연대, 근원암의 조성 및 풍화작용 강도 등이 다르기 때문인 것으로 보고되었다(Yang et al., 2002).

Fig. 13-B 는 연구지역 퇴적물과 제주 화산암을 UCC 로 규격화한 희유원소의 분포도이다. 그림에서 보는바와 같이 양자강기원 퇴적물로 추정되는 본 역의 남서쪽 외해지역에 분포하는 시료(Stn-27, 30, 32, 40, 44)는 황하기원 퇴적물로 추정되는 북서쪽에 위치하는 시료(Stn-7, 9, 13, 23, 34)에 비해 높은 REE 함량치를 보이고 중희토류원소도 상당히 부화된 형태를 보였고, 또한  $(La/Yb)_{UCC}$  와  $(La/Sm)_{UCC}$  비도 각각 1.3 과 0.9 로 양자퇴적물 평균값과 유사하였다(Table 2).

따라서 양자기원 부유퇴적물은 양자강 하구역과 가까운 본 연구지역 남서쪽 외해지역을 비롯하여 동중국해 외대륙붕에 분포하고 있는 니토대(Southwestern of Jeju Island Mud) 분포 지역까지 운반되고 있음을 의미한다. 한편, 제주도 화산암 시료의 REE 분포도에서 Eu 의 양(+) 이상(positive anomaly)이 상당히 두드러진 특징을 보이나, 반면에 중국 및 한국의 강기원 퇴적물에서는 이런 두드러진 양상을 볼 수 없었다(Fig. 12, 13). 반면 제주도 기원으로 추정되는 시료(Stn-16, 17)에서 Eu 의 두드러진 양(+) 이상을 보이지 않으나, 강기원 퇴적물에 비해 중희토류원소가 더 부화되어 있고, 또한  $(La/Yb)_{UCC}$  와  $(La/Sm)_{UCC}$  비도 각각 1.27 과 0.96 으로 비교 지역 중 가장 높은 값을 보였다. 따라서 UCC 로 규격화한 REE 분포 패턴을 이용하여 제주도 주변 대륙붕지역에 분포하는 퇴적물의 기원지 추적에 매우 유용하게 이용될 수 있고, 또한

The logo of Jeju National University is a circular emblem. It features a stylized flame or torch in the center, with the text 'JEJU NATIONAL UNIVERSITY' around the top and '제주대학교' (Jeju National University) around the bottom. Inside the circle, the text 'JEJU 1952' is visible.

본 연구지역은 전술한 바와같이 중국의 황하와 양자강과 한국의 남서해안에 분포하는  
강기원 퇴적물과 제주기원 물질이 모두 포함되어 있음을 알 수 있었다.

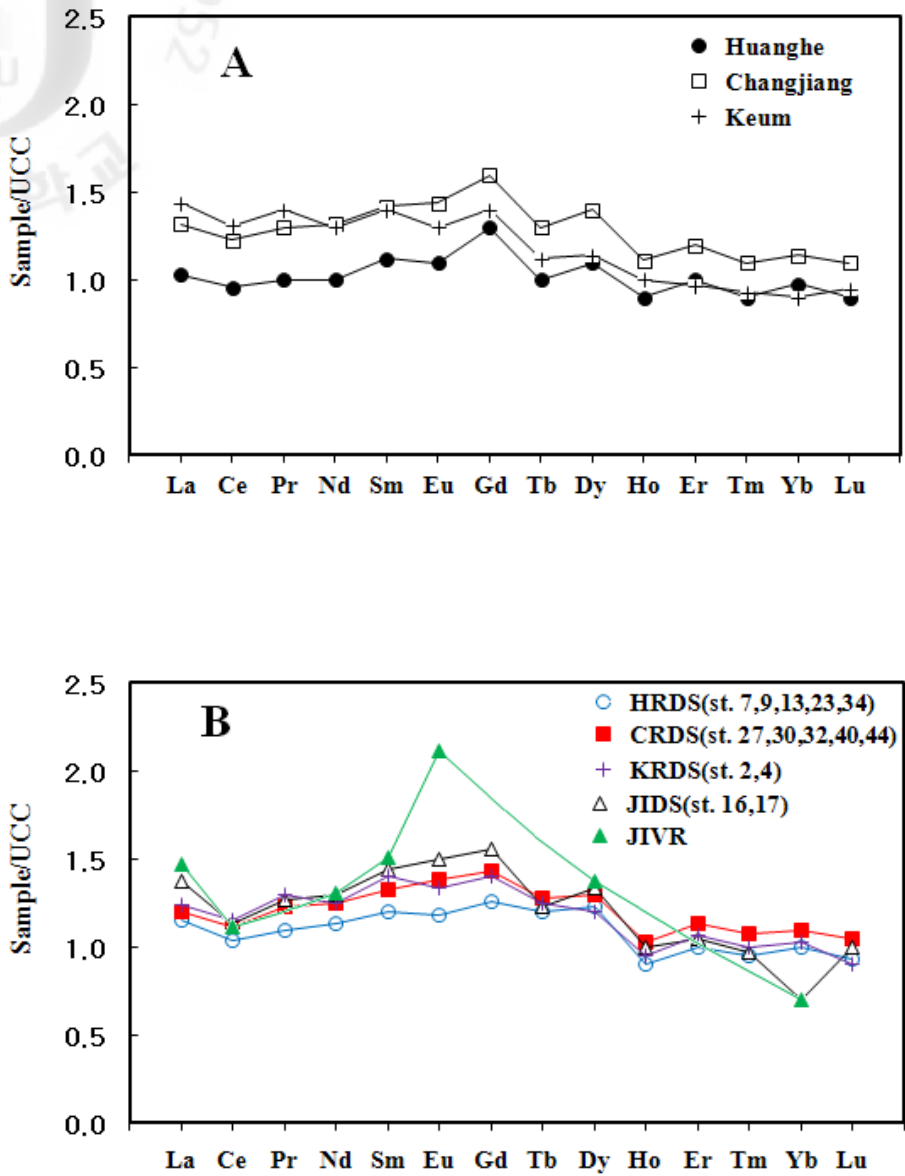


Fig. 13. The upper continental crust(UCC) normalized distribution patterns for REEs. Note; HRDS: Huanghe-derived sediment, CRDS: Changjiang-derived sediment, KRDS: Korean river-derived sediment, JIDS: Jeju Island-derived sediment, JIVR: Jeju Island volcanic rock.

#### 4. $Pb^{210}$ 동위원소에 의한 퇴적속도 추정

호수와 해양지역에서  $Pb^{210}$ ,  $Th^{234}$  과 같은 비교적 짧은 반감기(22.3yr or 24days)를 갖는 동위원소 연구를 통한 지질연대 축조는 현생퇴적물의 퇴적속도 결정과 퇴적에 영향을 주는 재과정을 통찰할 수 있는 유용한 도구의 역할을 하는 것으로 밝혀졌다(Krishnaswamy et al., 1971; Koide et al., 1972; Pennington et al., 1976; Ritchie et al., 1973).  $Pb^{210}$ 은  $U^{238}$  계열의 한 가족이며,  $Pb^{210}$ 이 해양환경내로의 유출입(flux)은 대기권에서의 침강, 주변 강을 통한 유입과 해저퇴적물 내에서의  $Ra^{226}$ 의 자연 붕괴에 의해 생성된  $Pb^{210}$ 의 이류작용(advection) 등이 주요 공급원이 되고 있으며(Carpenter et al., 1981), 이러한  $Pb^{210}$ 이 해수에 머무르는 시간은 1년 이내로 매우 짧은 것으로 알려졌다(Koide et al., 1972). 해수내에 존재하는  $Pb^{210}$ 은 유기체에 의한 섭취나 점토광물, 유기물질 및 Fe-Mn 산화물과 같은 입자들에 의해 흡착되어 퇴적물내로 동시 침전된다(Carpenter et al., 1981; Nittrouer et al., 1979). 따라서 이러한 과정에 의해서 형성되는 해양 퇴적물내의  $Pb^{210}$ 함량은  $Ra^{226}$ 의 붕괴에 의해 유지되는 Supported  $Pb^{210}$ 양보다 항상 높게 나타나 이는 과거 100년 전후에 퇴적된 퇴적층내의 초과량(excess)  $Pb^{210}$  활동도 측정을 통하여 퇴적속도 결정에 효과적으로 이용되고 있다(Nittrouer et al., 1979).

따라서 한국 서남해안에 분포하는 니토대(Southwestern Yellow Sea Mud)의 연장지역으로 추정되는 본 연구지역 북쪽에 위치하는 주상시료(Stn-2)와 남황해 중앙부에 분포하는 니토대(Central Yellow Sea Mud)의 연장된 지역의 시료(Stn-9)에 대하여 퇴적속도를 평가하는 연구하였다. Fig. 14는 상기 연구지역에서 채취한 2개의 주상시료에서 깊이에 따른 총  $Pb^{210}$  활동도와 초과량  $Pb^{210}$  활동도를 나타낸 것이다. 이들  $Pb^{210}$  동위원소의 활동 단면도에서 물리적 및 생물체들이 작용에 의해 혼합되어

초과량  $Pb^{210}$  활동도 값이 거의 균일한 표면혼합층 부분, 깊이에 따라  $Pb^{210}$  활동도 값이 대수함수적으로 감소하는 중간부분, 거의 일정하게 낮은  $Pb^{210}$  활동도를 보이는 하부지역 등 3 부분으로 구분된다. 따라서 퇴적물 평가는 초과량  $Pb^{210}$  활동도 분포가 대수함적으로 감소하는 중간부분의 값들로부터 다음의 방정식을 이용하여 계산하였다(Nittrouer et al., 1979; DeMaster et al., 1985).

$$S = \lambda Z / (\ln A_0 / A_Z)$$

여기서 S : 퇴적률(cm/yr)

$\lambda$  :  $Pb^{210}$  의 붕괴상수(0.031/yr)

Z : 퇴적물의 깊이(cm)

$A_0$  : 표층에서 초과량  $Pb^{210}$  활동도(dpm/g)

$A_Z$  : 깊이 Z 에 초과량  $Pb^{210}$  활동도(dpm/g)

$Pb^{210}$  을 이용한 연구지역 북동쪽과 북서쪽 끝지역의 니토대(mud deposits) 지역에서 계산된 퇴적률은 0.13~0.29cm/yr 로 지역에 따라 다르게 나타난다. 즉, 한국 서남해역 추자군도 동쪽 연안지역 정점(SYS-20002)에서 퇴적속도는 0.29cm/yr 로 높은 값을 보였고, 연구지역 북서끝지역 즉, 남황해 중앙부의 니토대지역(SYS-20009)에서의 퇴적속도는 0.13cm/yr 을 보였다(Fig. 14).

따라서 한국 서남해역에 분포하는 쇄설성 퇴적물이 영산강과 보성강 등을 통해 연구지역 북동쪽지역까지 공급되고 있음을 의미하며 또한 현생 황하강기원 퇴적물도 본 연구지역까지 이동·퇴적되고 있음을 의미한다. 윤과 정(1992)의 제주도 주변해역 퇴적물의 퇴적환경 연구에 의하면 제주도 북서쪽 연안지역(SYS-20016)에서의 퇴적속도는 0.21cm/yr 로 보고되었고, 양자강 하구역과 가까운 지역(SYS-20030)에서 퇴적속도는 0.54cm/yr 를 보이는 것으로 보고하였는데(Fig. 15) 이는 양자기원 부유퇴적물이 연구지역까지 이동되고 있음을 의미한다. 이는 전술한

일부 보존성 미량원소의 지화학적 상관지역과 희유원소의 분포도의 연구 결과와도 잘 일치한다. 한편 연구지역 남동쪽인 동중국해 외대륙붕에 분포하는 니토대지역에서 채취된 주상시료(SYS-20034; 북위 32° 30', 동경 126° 00')에서 계산된 퇴적속도는 0.45cm/yr (Fig. 15)로 이는 Youn and Kim(2011)의 인접한지역(CJ-2000; 북위 31° 30', 동경 126° 30')에서 채취한 주상시료에서 계산된 퇴적속도 0.23cm/yr 보다 큰 값을 보였다. 이들 값이 차이를 보이는 것은 SYS-20034 주상시료에서 계산된 퇴적률 값은 아마도 상기 니토대 분포지역에서의 최대 퇴적속도일 것으로 추정된다. 왜냐하면 제주도 남서쪽 동중국해 외대륙붕지역의 니토대지역(Southwestern offshore Jeju Island Mud) 분포지역은 태풍이 빈번히 통과하고, 수심도 40~90m 비교적 얇고 이곳에는 길이가 남북으로 약 500m, 동서로 약 750m 이고, 넓이가 약 37.5 km<sup>2</sup>인 Socotra 수중암초가 평균해수면하 약 6.4m 까지 돌출된 형태로 인접해 분포하고 있어서(윤정수, 1986) 태풍때 강한 파랑에너지에 의한 해저퇴적물의 재부유와 저서생물에 의한 혼합작용 등의 영향을 고려하지 않았기 때문이다(Nittrouer et al., 1984).

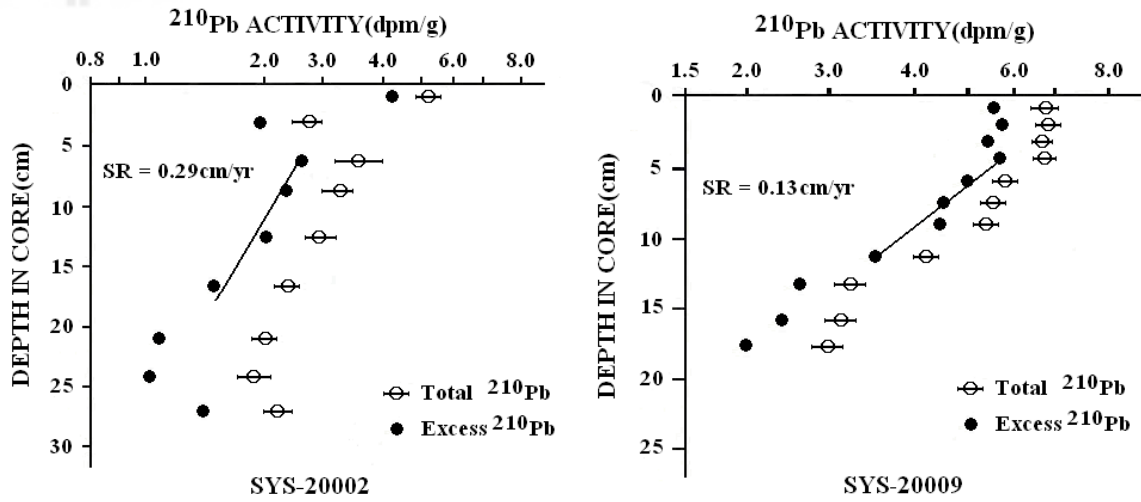


Fig. 14. Depth profiles of  $^{210}\text{Pb}$  activity from cores SYS-20002 and SYS-20009 in the study area.



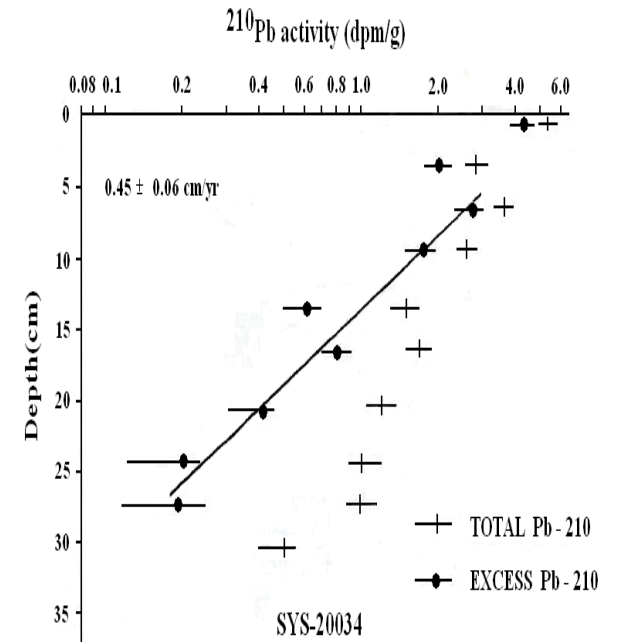
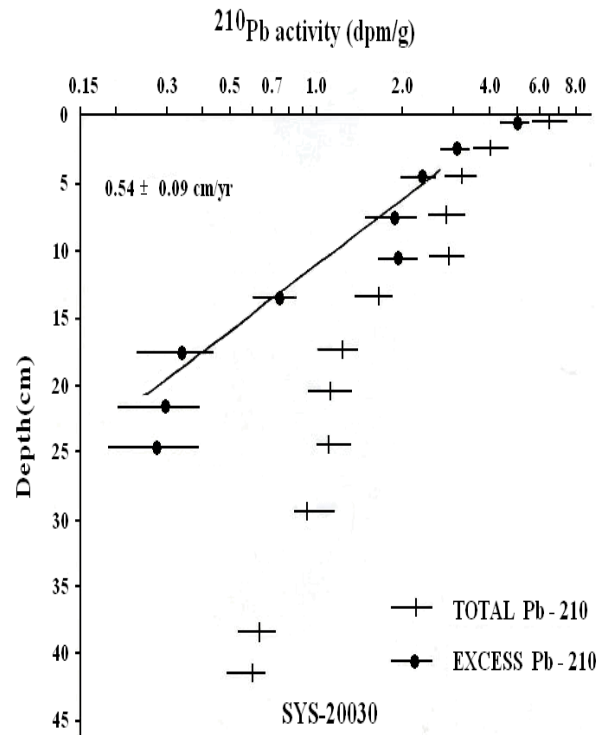
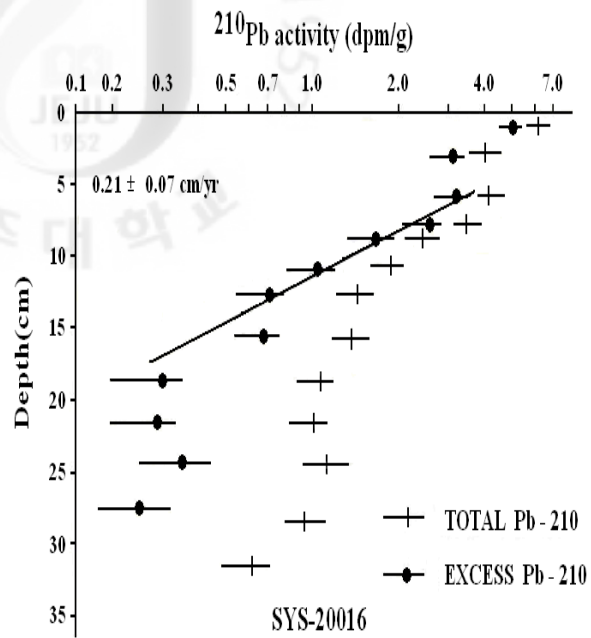


Fig. 15. Depth profiles of  $^{210}\text{Pb}$  activity from cores SYS-20016, SYS-20030 and SYS-20034 in the study area(after Youn and Jung, 1992).

## 5. Sr-Nd 안정 동위원소 비율에 의한 퇴적물 기원지 해석

토양이나 퇴적물내에 기록된 Sr-Nd 동위원소계 연구는 맨틀과 지각의 화학적 분화연구, 고해양 해수의 변화, 강기원 퇴적물의 해양으로 유출입(flux), 지층의 연대측정 및 근원암 추적 등 다양한 분야에서 이용되고 있다(Burke et al., 1982; Koepnik et al, 1985; Capo and Depaolo, 1990). 퇴적물내 Sr 동위원소계 조성은 비록 화학적 풍화작용이 강도 차이에 따른 장석이나 운모류의 분해비율의 차이, 퇴적물의 입도차이, 인간의 활동 등에 영향을 받으나, 퇴적층이 형성되는 동안 화학적 형상의 형성과 분리과정, 증발작용과 생물체의 동화작용 등에 크게 영향을 받지 않는 것으로 보고되었다(Peterman, 1992; Asahara et al., 1995; Douglas et al., 1995; Capo et al., 1998; Martin and KrCulloch, 1999). 퇴적물내에 Sr 동위원소비는 근원암내 Rb/Sr 비와 형성시기 또한 화학적 풍화작용 비율의 다름 등에 의해서도 결정되는 것으로 알려졌다(Goldstein and Jacobsen, 1988; Borg and Banner, 1996; Capo et al., 1998). 또한 Boger and Faure(1974)와 Shaffer and Faure(1976)가 홍해지역 퇴적물의 Sr 동위원소계 연구에서 추적자로서 유효함이 밝혀진 이래 많은 연구가 수행되었다. 반면에 Nd 동위원소계는 지표면 물질의 순환과정에서 보존적 거동을 하며, 퇴적물의 입도, 화학적 풍화작용, 퇴적물의 운반과 퇴적과정에서 큰 영향을 받지 않는 것으로 보고되었고, 특히 지각과 맨틀 사이의 분화과정에서 Sm 원소가 Nd 원소로 분배되므로 퇴적물내 Nd 동위원소 조성은 퇴적물의 기원지 연구에 더 유효하다고 알려졌다(Goldsterin and Jacobsen, 1988; Borg and Banner, 1966; Goldsterin et al., 1984; Weldeab et al., 2002). Dasch(1969)의 연구에 따르면 탄산염 물질이 제거된 퇴적물에서도  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비 또한 퇴적물 입도가 감소함에 따라 증가하는 경향을 보인다고 지적하였다. 따라서 이러한 입도(광물조성)에 따른 영향을 최소화하기

위하여 본 연구에서는 63 $\mu$ m 이하인 니질퇴적물(silt+clay) 시료 부분만을 분석대상으로 선택하여 탄산염을 제거한 퇴적물 시료를 대상으로 Sr-Nd 동위원소 분석을 실시하였다.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 와  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  동위원소비의 측정결과는 Table 3와 같다. 표에서 보는바와 같이 산동반도 동쪽지역과 황해 중앙부해역의 퇴적물 시료에서는  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  동위원소비는 0.721258~0.724479의 범위로 대단히 높은 값을 보인다. 반면에 양자강 하구역의 수중삼각주 퇴적물 시료에서  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  동위원소비는 0.711966~0.717200으로 좁은 범위와 황해 중앙부해역에 비해 상당히 낮은 값을 보였다. 제주도 주변 대륙붕지역의 니질퇴적물에서 추정된  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  동위원소비는 0.711966~0.723523로 대단히 넓은 범위와 황해 중앙부해역과 양자강 하구역의 퇴적물 시료에서의 비값과 중간 정도의 값을 보였다. 이처럼 연구지역 퇴적물 시료에서  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비가 큰 폭의 변화를 보이는 것은 아마도 퇴적물이 입도의 차이에서 오는 결과 보다는 일차적으로 기원지의 다양성을 반영하는 것으로 보여진다. 왜냐하면  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비 분석에 사용된 시료들은 입도의 영향을 최소화하기 위하여 모두 63 $\mu$ m 이하의 니질퇴적물 시료 부분만을 분석하였기 때문이다.

따라서 산동반도 동쪽 퇴적물 시료(Stn-Y1)에서 측정한  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  동위원소비 값 0.724479를 황하기원 퇴적물의 단성분(end-member)으로 가정하고, 양자강 하구역의 수중삼각주 퇴적물시료(Stn- E5, 6)에서 측정된  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비값 0.716720을 양자기원 퇴적물의 단성분으로 가정한다면, 제주도 주변해역 퇴적물 시료에서 얻은  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비는 평균 0.718701로 황해 중앙부해역보다는 낮은 값을 보이나, 양자강 하구역의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  동위원소비와 유사한 값을 보였다. 따라서  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  동위원소비의 지역별 분포특성을 종합해 볼 때 양자강기원 부유퇴적물이 본 연구지역까지 운반·퇴적되고 있음을 의미한다. 반면에  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  비와  $^{\epsilon}\text{Nd}(o)$  값은 산동반도 동쪽지역과 황해

중앙부해역의 퇴적물 시료에서 각각 0.511855~0.511994, -12.6~-15.2 의 범위를 보이고, 양자강 하구역의 수중삼각주 퇴적물시료에서 각각 0.512066~0.512132 와 -9.9~-11.2 의 범위를 보여, 이는 산둥반도 동쪽과 황해 중앙부해역에 비해 양자강하구 수중삼각주 니질퇴적물에서가 Nd 비와  $\epsilon\text{Nd}(o)$ 가 높은 값을 보였다. 이처럼 양자강 하구역의 수중삼각주 퇴적물시료에서  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  비가 황하강의 영향을 주로 받고 있는 산둥반도 동쪽지역과 남황해 중앙부해역 퇴적물시료에서 보다 높은 값을 보이는 것은 양자강 유역은 온난, 습윤한 기후환경에서 활발한 화학적 풍화작용이 활발히 진행됨에 따라 이곳 강유역에 분포하는 퇴적물에서 높은  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  비의 조성을 보이는 것과 관련이 있을 것으로 추정된다.

연구지역 퇴적물 시료에서  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  비와  $\epsilon\text{Nd}(o)$  값은 각각 0.511874~0.512132 와 -9.9~-15.3 으로 황하 중앙부해역과 양자강 하구역 수중삼각주 퇴적물의 Nd 동위원소 값을 모두 포함하는 대단히 넓은 범위의 값을 보였다(Table 3). 따라서 산둥반도 동쪽 니질퇴적물 시료(Stn-Y1)에서 측정된  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  비와  $\epsilon\text{Nd}(o)$  값 0.511966 와 -13.1 을 황하기원 퇴적물로 가정하고, 또한 양자강 하구역의 니질퇴적물 시료(Stn-E5, 6)에서 Nd 동위원소비와  $\epsilon\text{Nd}(o)$  값 0.512116 와 -10.2 을 양자기원 퇴적물로 가정한다면 연구지역 퇴적물 시료에서 측정된  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  비와  $\epsilon\text{Nd}(o)$  값은 각각 0.511994 와 -12.6 으로 이는 풍화된 대륙지각의 평균값(0.51204±2)과도 유사하며 UCC 의 평균값(0.5117) 보다 다소 높은 값을 보였다(Goldstein et al., 1984; Goldstein and Jacobsen, 1988). 또한 양자기원 퇴적물의 단성분값 보다는 낮으나, 황하기원 퇴적물의 단성분값과 더 유사한 특징을 보였다. 따라서 연구지역 퇴적물의 Nd 동위원소비 값을 종합해 볼 때 제주도 주변해역은 양자강 보다는 황하강의 영향을 강하게 받고 있음을 의미한다.

세계의 주요 강 퇴적물내의 Sr-Nd 동위원소계는 풍화된 대륙지각의 평균조성을 반영하므로 육성기원 물질이 해양으로의 유출입(flux)을 평가하는데 이용된다(Palmer and Edmond, 1989, 1992; Derry and France, 1996; Goldsterin et al., 1984; Goldstein and Jacobsen, 1988). Fig. 16는 연구지역과 세계의 주요 강 퇴적물의 Sr-Nd 동위원소비를 나타내었다. 연구지역 퇴적물에서  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  동위원소비는 아마존강, 미시시피강, 갠지스강, 메콩강, 인더스강 및 나일강 등의 퇴적물에서 보다 큰 변화 폭을 보였고 또한 풍화된 대륙지각의 평균값과 유사하였다(Fig. 16). 연구지역 퇴적물에서 Nd 동위원소비가 세계의 주요 강 퇴적물보다 넓은 변화 폭을 보이는 것은 전술한 바와같이 제주도 주변 대륙붕지역은 중국의 황하와 양자강, 한국의 강 및 제주도 등 다양한 기원지의 퇴적물이 공급되고 있음을 의미한다.

연구지역 퇴적물 시료에서  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비는 미시시피강과 세계 주요 강의 값(0.711~0.725)과 유사한 값을 보였다(Fig.16; Goldsterin et al., 1984; Goldstein and Jacobsen, 1988). 갠지스/브라마 푸트라 강(G/B River) 퇴적물에서 Sr 동위원소비가 상당히 큰 변화폭을 보이는데 이는 히말라야 남쪽지역에 분포하는 화성암과 결정질 석회암과 관련이 있는지 혹은 분석상의 오류 문제인지 확실치 않다(Palmer and Edmond, 1992; Derry and France, 1996; Quade et al., 1997; Chesley et al., 2000; Harris et al., 1998).

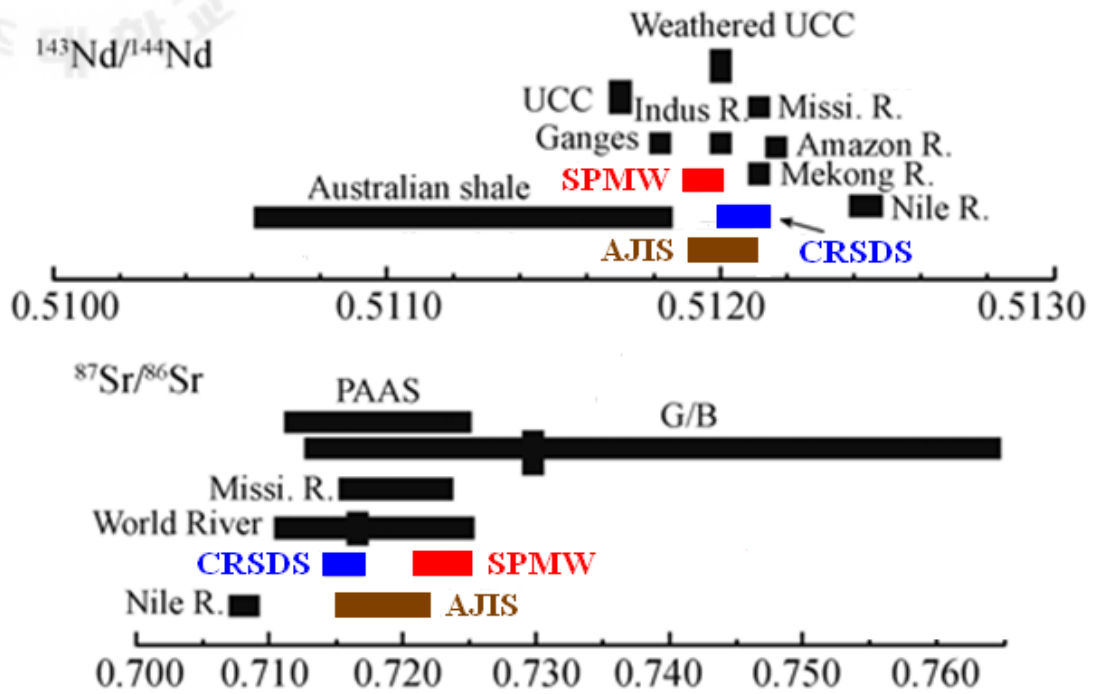


Fig. 16. Comparisons of  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios between the around Jeju Island sediments(AJIS) and those from other rivers in the world.

(Note; SPMW: Shandong peninsula mud wedge, CRSDS: Changjiang River's submerged delta sediments)

Table 3. Isotope(Sr-Nd) chemistry of the <math><63\mu\text{m}</math> fraction of sediments around Jeju Island samples(AJIS), SPMW, CYSS and CRSDS

Station	Latitude(N)	Longitude(E)	Sediment type	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd(o)}$
Around Jeju Island Sediment(This study)						
St. 2	34°00′	126°30′	gM	0.718912±13	0.511895±14	-14.5
St. 4	34°00′	125°30′	M	0.717435±14	0.511874±19	-14.9
St. 7	34°00′	124°00′	sM	0.721886±11	0.511895±13	-14.8
St. 9	34°00′	123°00′	M	0.722106±10	0.511854±10	-15.3
St. 11	33°30′	123°30′	M	0.719920±11	0.511986±14	-12.7
St. 13	33°30′	124°30′	sM	0.721814±12	0.511967±10	-13.1
St. 16	33°30′	126°00′	sZ	0.717684±13	0.511841±15	-13.6
St. 21	33°00′	126°00′	mS	0.719177±14	0.512064±12	-11.2
St. 23	33°00′	125°00′	sM	0.723523±13	0.511901±15	-14.4
St. 25	33°00′	124°00′	sM	0.719306±13	0.512008±12	-12.3
St. 27	33°00′	123°00′	sM	0.717563±13	0.512058±14	-11.4
St. 30	32°30′	124°00′	sM	0.714832±12	0.512060±11	-11.3
St. 32	32°30′	125°00′	sM	0.717617±13	0.512038±15	-11.7
St. 34	32°30′	126°00′	M	0.721726±11	0.512023±13	-12.0
St. 39	32°00′	126°00′	M	0.719056±10	0.511977±13	-12.9
St. 40	32°00′	125°30′	sM	0.715498±10	0.512117±14	-10.2
St. 42	32°00′	124°30′	mS	0.716588±14	0.512104±11	-10.4
St. 45	32°00′	123°00′	zS	0.711966±10	0.512132±15	-9.9
Av.				0.718701±12	0.511994±13	-12.6
Shandong Peninsula Mud Wedge(SPMW)						
Y1	37°00′	123°30′	sM	0.724479±11	0.511966±10	-13.1
Y2	37°00′	124°00′	mS	0.721631±11	0.511935±14	-13.5
Av.				0.723005±11	0.511951±12	-13.3
Central Yellow Sea Sediment(CYSS)						
Y6	36°00′	123°30′	sM	0.723710±13	0.511855±10	-15.2
Y7	36°00′	124°00′	M	0.722522±9	0.511994±11	-12.6
Y9	35°00′	123°30′	C	0.721258±11	0.511872±15	-14.9
Av.				0.722497±11	0.511907±12	-14.2

Changjiang River's Submerged Delta Sediment(CRSDS)

E1	32°00′	123°00′	zS	0.711966±10	0.512132±15	-9.9
E4	31°30′	123°00′	mS	0.713518±13	0.512084±11	-10.8
E5	31°30′	122°30′	sZ	0.717200±10	0.512126±14	-10.0
E6	31°00′	122°30′	M	0.716240±10	0.512105±13	-10.4
E7	31°00′	123°00′	Z	0.716309±13	0.512066±11	-11.2
Av.				0.715047±11	0.512103±13	-10.5

Note; gM : gravelly mud, mS: muddy sand, zS : silty sand , sZ: sandy silt, sM: sandy mud, M: mud, C: clay, Z : silt. n-run uncertainties given for Sr and Nd isotope ratios are 2 $\delta$  errors.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios are calculated as  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = \left[ \frac{^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{sample}}}{^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}}} - 1 \right] \times 10^4$  using the present-day CHUR value  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} = 0.512638$  (Jacobsen and Wasserburg, 1980).



제주도 주변 대륙붕해역에 분포하는 퇴적물시료와 산둥반도 동쪽과 남황해 중앙부의 니질퇴적물시료, 양자강 하구역 수중삼각주 퇴적물 시료에서 분석된  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비와  $^{6}\text{Nd}(o)$  값의 상관도를 이용하여 연구지역 퇴적물의 기원지를 추정해 보았다.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  와  $^{6}\text{Nd}(o)$  상관도에서 제주도 주변 대륙붕해역에 분포하는 퇴적물은 기원지로서의 어느한 특정 지역을 보여주지 않았으며 크게 세 유형으로 구분된다(Fig. 17).

즉, 중국측에 가까운 연구지역 북서쪽과 제주도 서쪽에 분포하는 퇴적물시료(Stn-7, 9, 13, 23, 34)들은 황하기원 퇴적물로 추정되는 산둥반도 동쪽 및 남황해 중앙부 퇴적물시료 가까이에 밀집 분포하였다. 반면 양자강 하구역과 가까이 위치하는 남서쪽지역과 동중국해 외대륙붕의 니토대 퇴적물시료(Stn-27, 30, 32, 40, 42, 44, 45)들은 양자강 하구역의 수중삼각주 퇴적물시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보였다. 또한 연구지역 북동쪽과 제주도 북서쪽 연안지역에 분포하는 퇴적물시료(Stn-2, 4, 16)은 상기 지역과는 별개로 독립된 지역에 위치하여 이들 퇴적물은 한반도 남서해안지역과 제주도에서 운반된 퇴적물임을 의미한다.

따라서 제주도 주변 대륙붕지역에 분포하는 퇴적물은 기원지로서의 어느 특정할 지역을 보여주지 않고, 중국의 황하 및 양자강, 한국의 남서지역에 분포하는 영산강과 보성강 및 제주도 등 다양한 기원지로부터 유입된 퇴적물이 혼합된 복합기원(multiple origin) 퇴적물이 구성되어 있음을 의미한다. 이처럼 양자강기원 퇴적물이 연구지역으로의 이동이 가능한 기작으로는 양자강으로부터 유출되는 부유퇴적물은 주로 하구역의 동쪽과 남동쪽의 동경  $122^{\circ}\sim 123^{\circ}$  지역에 분포하는 수중삼각주 지역에 퇴적되고, 소량만이 동중국해로 확산된다. 그러나 대만해류가 중국 동쪽해안을 따라 북동방향으로 흐르는 계절에는 남풍계에 편승하여 양자강기원 부유퇴적물은 표층프룸(plume)으로 북동진하여 제주도 서쪽까지 이동되는 것으로 알려져

있다(Beardsley et al., 1983; Milliman et al., 1985). 또한 Lie(1986)는 양자강희석수는 홍수철에 북동진하여 제주도 서쪽해역을 지나 황해로 북상하는 것으로 보고하는 등 양자강기원 물질이 동중국해 외대륙붕해역까지 이동이 가능하다는 것이다. 이러한 기존의 연구 결과는 본 연구지역 퇴적물내에 기록된 Sr-Nd 동위원소계 연구를 통해서도 확인할 수 있었다.

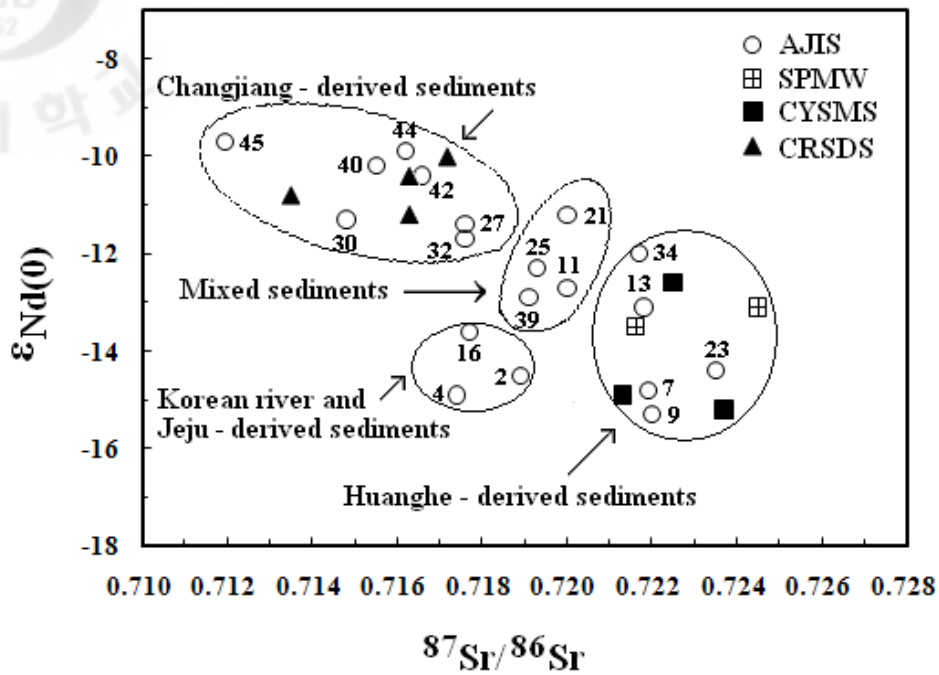


Fig. 17.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio versus  $\epsilon\text{Nd}(0)$  plot of the around Jeju Island sediment samples(AJIS) in East China Sea, Shandong peninsula mud wedge(SPMW), Central Yellow Sea muddy sediment(CYSMS) and Changjiang River's submerged Delta sediments(CRSDS).

## V. 결론

제주도 주변해역 대륙붕지역에 분포하는 퇴적물의 기원지를 밝히기 위하여 채취한 45개 퇴적물시료에 대한 입도분석, 유기물함량, 주성분원소, 미량 및 희토류 원소조성, Sr-Nd 동위원소조성 및  $Pb^{210}$ 을 이용한 퇴적률 연구결과는 다음과 같다.

1. 연구지역 표층퇴적물의 유형은 소량자갈함유니질모래, 니질모래, 모래, 사질니토, 니토 등으로 총 9개의 유형이 분포하나 크게 보아 니질모래 퇴적상이 분포하는 북동쪽지역, 사질니토 퇴적상이 분포하는 서쪽지역, 니토 퇴적상이 분포하는 남동쪽 끝 지역으로 구분된다.

2. 니질모래 퇴적상의 평균조성은 자갈 1.8%, 모래 66.4%, 실트 14.5%, 점토 18.9%이고, 평균입도는  $3.80\Phi$ 로 극세립질 모래에 해당하며, 사질니토 퇴적상은 모래 32.2%, 실트 30.6%, 점토 37.2%이고, 평균입도는  $6.11\Phi$ 로 중립질 실트이고, 니토 퇴적상은 모래 3.7%, 실트 42.0%, 점토 54.3%이고, 평균입도는  $7.58\Phi$ 로 세립질 실트에 해당한다.

3. 퇴적물의 탄산염 함량은 1.92~11.7%로 다양한 값을 보이며 동쪽 한반도측이 서쪽 중국 측보다 높은 함유량을 보였다. 퇴적물내 유기탄소 함량은 0.13~1.47%의 범위를 보이며 퇴적물의 평균입도가 감소함에 따라 그 함량이 증가하였고, 제주도 북쪽지역에서 1.2%로 최대 함유량을 보였다.

4. 퇴적물내 C/N 비는 평균 8.67로 퇴적물 시료내에 육성기원 유기물보다 해양성기원 유기물이 상대적으로 많이 포함되어 있음을 의미한다. 그러나 북동쪽의 몇몇 시료들은 C/N 비가 10 이상인 값을 보여 육성기원 퇴적물이 섞여 있음을 의미한다.

5. 퇴적물내 주성분 원소의 함량은 전반적으로  $Al_2O_3$  원소와 밀접한 정(+)의 상관관계를 보여 퇴적물 내 점토광물 함량에 영향을 받고 있으나, CaO와 Sr 원소는 관련성이 미약하였다. 금속원소의 공간 분포에서 Fe/Al, Ti/Al 및 Mn/Al 함량은 연구지역의 남서쪽지역에서 높은 값을 보이는데 이는 양자강기원 물질이 연구지역으로 유입되고 있음을 의미하며 Na/Al, Ca/Al 및 Sr/Al 함량은 동쪽 및 제주도 주변지역에서 높은 함량을 보여 근원지외에 해양생물의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.

6. 화학적 변질지수(CIA)는 평균 59.4로 양자강 퇴적물의 평균치 보다는 낮고 황하 퇴적물과 유사한 특징을 보였다.

7. 본 역 퇴적물의 화학조성 중  $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$ ,  $(Ca-Fe)/Al$  및  $(Ca-Mg)/K$  3개의 지화학적 구분지수 결과 연구지역 퇴적물은 제주도와 한반도에서 기원된 것으로 추정되는 몇 개의 퇴적물 시료를 제외하고는 황하와 양자강 퇴적물 평균 사이에 분포하나 황하 퇴적물 평균치에 가까이 밀집 분포하는 경향을 보였다. 그러나 모든 시료들이 직선상의 분포 특징을 보여 연구지역의 퇴적물은 주로 황하와 양자강기원 퇴적물이 혼합되어 있는 것으로 추정된다.

8. 표층퇴적물의 화학조성 중 Sc/Al 대 Cr/Th, Th/Sc 대 Nb/Co 및 Ti/Nb 대 Th/Sc 3개의 지화학적 구분지수에서 연구지역 서쪽에 분포하는 많은 시료는 황하 퇴적물 주위에 밀집 분포하였고, 양자강 하구역과 가까운 남서쪽 외해역의 퇴적물은 양자강 퇴적물의 특징을 보이며 북동쪽 및 제주도 주위의 퇴적물은 이른바 독립된 영역에 분포하는 특징을 보였다.

9. 연구지역 퇴적물의 희유원소 함량은 평균 163.2로 양자퇴적물 보다는 낮고 황화퇴적물 보다는 다소 높으나, NASC 값과 유사한 특징을 보였다. UCC로 규격화한 희토류원소 분포도에서 남서쪽 외해지역에 분포하는 퇴적물은 중희토류원소도 다른

지역에 비해 중희토류원소는 상당히 부화되어 있고  $(La/Yb)_{UCC}$  와  $(La/Sm)_{UCC}$  비도 양자퇴적물과 유사한 특징을 보여 양자강기원 부유퇴적물이 제주도 남서쪽 외해역에 분포하는 니토대지역까지 운반되고 있음을 의미한다.

10. 추자군도 동쪽지역에서 퇴적속도는  $0.29\text{cm/yr}$  로 한반도 남서해안기원 퇴적물의 연구지역까지 이동·퇴적되고 있음을 의미한다. 연구지역 북서쪽 끝의 니토대지역에서 퇴적물은  $0.13\text{cm/yr}$  을 보여 황하기원 퇴적물도 공급되고 있음을 의미한다.

11. 연구지역 퇴적물의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  동위원소비는 평균  $0.718701$  로 황하의 영향을 받는 황해 중앙부해역보다는 낮고, 양자강 하구역의 수중삼각주 퇴적물값과 유사한 특징을 보였다.

12.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  비와  $\epsilon\text{Nd}(o)$  값은 각각  $0.511994$  와  $-12.6$  으로 양자강기원 단성분 보다는 낮으나, 황하기원 퇴적물의 단성분과 더 유사한 특징을 보였다.

13.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비와  $\epsilon\text{Nd}(o)$ 의 상관도에서 연구지역의 퇴적물은 기원지로서의 어느한 특정 지역을 보여주지 않았으며 주로 (고)황하강에서 기원된 물질이 주를 이루며 그 외 양자강기원 퇴적물과 제주도 그리고 한반도 남서해안 퇴적물이 혼합되어 분포하고 있는 것으로 추정된다.

## 참 고 문 헌

- 남승일, 김성필, 장정해, A.Mackensen, 2003. 마지막 해빙기 해침 이후 동중국해 북부해역과 황해의 고환경 변화. 지질학회지, 39(2): 149-160.
- 박용안, 최진용, 이창복, 김대철, 최광원, 1994. 한국서해 중부해역 대륙붕 퇴적물의 분포와 퇴적작용. 한국해양학회지, 29(4): 357-365.
- 박명호, 김지훈, 서광수, 2005. 제주도 동부지역 제 4 기 신양리층의 지화학적 특성 연구. 지질학회지, 41(1): 19-33.
- 이용일, 이선복, 2005. 용인시 평창리 구석기유적발굴지 고토양 특성과 이의 고고지질학적 적용. 지질학회지, 38: 471-489.
- 윤정수, 1986. Socotra 암초의 지질 및 주변해역 퇴적물에 관한 연구. 대한지질학회지, 22(2): 123-134.
- 윤정수, 정덕상, 1992. 제주도 주변해역 퇴적물의 특성 및 퇴적환경. 대한지질학회지, 28(4): 342-365.
- 윤정수, 김여상, 2002. 황해 중앙부해역 니질퇴적물의 지화학적 특성 및 퇴적물. 한국지질학회지, 16(1): 1-16.
- 윤정수, 임동일, 변종철, 정희수, 2005.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  비를 이용한 동중국해역 대륙붕 퇴적물의 기원연구. 한국해양학회지, 10: 92-99.
- 윤정수, 변종철, 김여상, 2006. 동중국해 외대륙붕해역 니질퇴적물의 지화학적 특성. 한국지구과학회지, 27(2): 198-208.
- 윤정수, 김태정, 2008. 제주도 서부해역 표층퇴적물의 지화학적 조성 및 기원 연구. 한국지구과학회지, 29(4): 328-340.

천중화, 허식, 한상준, 신동혁, 이희일, 김성렬, 2000. 황해 중심부 해역에서 저해수면 시기에 형성된 후기 플라이스토세 산화대층의 특성 및 고해양학적 중요성. 지질학회지, 36(4): 517-528.

Alexander, C. R., DeMaster, D. J. and Nittrouer, C. A. 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting : the Yellow sea. Mar. Geol., 98: 51-72.

Asahara, Y., T. Tanaka, H. Kamioka and A. Nishimura, 1995. Asian continental nature of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios in north central Pacific sediments. Ear. Planet. Sci. Lett, 133: 105-116.

Beardsley, R. C., Limeburner, R., Hu, D., Le, K., Cannon, G. A. and Pashinski, D. J., 1983. Structure of the Changjiang plume in the East China Sea. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, Beijing, 265-284.

Bhatia, M. R. and Crook, K. A. W., 1986. Trace element characteristics of graywacks and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contribution of Mineralogy and Petrology, 92: 181-193.

Bhatia, M. R. and Taylor, S. R., 1981. Trace-element geochemistry and sedimentary province: a study from the Tasman Geosyncline, Australia. Chemical Geology, 33: 115-125.

Biggs, R. B., 1967. The sediments of Chesapeake Bay in Lauff, ed., Estuaries; Washington, D. C, Am. Assoc. Adv. Sci. Publ., 83: 239-260.

Birkeland, P. W., 1984. Soils and geomorphology. Oxford University Press, New York, pp.372.

Bordovsky, O. K., 1965. Sources of organic matter in marine basins. Mar. Geol., 3: 5-32.

Bowen, H. J. M., 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London, pp. 333.

Borg, L. E. and Banner, J. L., 1996. Neodymium and strontium isotopic constraints on soil sources in Barbados, West Indies. Geochim Cosmochim Acta, 60: 4193-4206.



- Buckly, D. E., Yu, G., Chen, W., Lin, Y., Huang, P., Zhu, F. and Zhu, J., 1983. Initial investigation of the geochemistry of surficial sediments on the Changjiang River submerged delta. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea. China Ocean Press, 2: 746-753.
- Burke, W. H., Denison, R. E., Hetherington, E. A., Koepnick, R. B., Nelson, H. F. and Otto, J. B., 1982. Variation of seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  throughout Phanerozoic time. *Geology*, 10: 516-519.
- Byers, S. C., Mills, E. L. and Stewart, P. I., 1978. A comparison of method for determining organic carbon in marine sediments with suggestion for a standard method. *Hydrobiology*, 58: 43-47.
- Calvert, S. E., 1976. The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In: *Chemical Oceanography* edited by Riley, J. P. and R. Chester, Academic Press, London, 6: 187-280.
- Calvert, S. E., Pedersen, T. F. and Karlin, R. E., 2001. Geochemical and isotopic evidence for post-glacial palaeoceanographic changes in Saanich Inlet, British Columbia, *Marine Geology*, 174: 283-305.
- Capo, R. C. and Depado, D. J., 1990. Seawater strontium isotopic variation from 2.5 million years ago to the present. *Science*, 249: 51-55.
- Capo, R. C., B. W. Stewart and O. A. Chadwick, 1998. Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods. *Geo-derma*, 82: 197-225.
- Carpenter, R., Bennett, J. J. and Peterson, M. L., 1981. Pb-210 activities in and fluxes to sediments of the Washington continental slope and shelf. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45: 1155-1172.
- Chen, Y., Wang, X. and Wu, M., 1983. Geochemistry and material source of sediments in the East China Sea. *Proceeding of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea*, China Ocean Press, Beijing, 763-772.

- Chesley, J. T., Quade, J. and Ruiz, J., 2000. The Os and Sr isotopic record of Himalayan paleorivers: Himalayan tectonics and influence on ocean chemistry. *Earth Planet Sci Lett*, 179: 115-124.
- Chester, R. and Hughes, M. J., 1969. The trace element geochemistry of a North Pacific pelagic clay core, *Deep Sea Research*, 16, 619-654pp.
- Chough, S. K. and Kim, D. C., 1981. Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea : a steady-state model. *Jour. Sed. Petrol.*, 51: 721-758.
- Cullers, R. L., Chaudhuri, C., Kilbane, N. and Koch, R., 1979. REE in size fractions and sedimentary rocks of Pennsylvanian-Permian age from the mid-continent of the USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 1285-1301.
- Cullers, R. L., Barrett, T., Carlson, R. and Robinson, B., 1987. REE mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment, *Chemical Geology*, 63: 275-297.
- Cullers, R. L., Basu, A. and Suttner, L. J., 1988. Geochemical signature of provenance in sand-material in soils and stream sediments near the Tobacco Root Batholith, Montana, U.S.A, *Chemical Geology*, 70: 335-348.
- Dasch, E. J., 1969. Sr isotope in weathering profiles, deep-sea sediments and sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33: 1521-1552.
- DeMaster, D. J., Mckee, B. A., Nittourer, C. A., Qian, J. and Cheng, G., 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurement from continental shelf deposit in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4, 143-158pp.
- Derry, L. and France-Lanord, C., 1996. Neogene Himalayan weathering history and river  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : Impact on the marine Sr record. *Earth Planet Sci Lett*, 142: 59-74.
- Douglas, G. B., C. M. Gray, B. T. Hart. and R. Beckett., 1995. A strontium isotopic investigation of the origin of suspended particulate matter (SPM) in the Murray-Darling River system, Australia, *Geochim. Et Cosmo. Acta*, 59: 3799-3815.

- Eisenhauer, A., Meyer, H., Rachold, V., Tutken, T., Wiegand, B., Hansen, B. T., Spielhagen, R. F., Lindemann, F. and Kas-sens, H., 1999. Grain-size separation and sediment mixing in Arctic Ocean sediments: evidence from strontium isotope systematic. *Chem. Geol.*, 158: 173-188.
- Ergin, M., Kazan, B. and Ediger, V., 1996. Source and depositional controls on heavy metal distribution in marine sediments of the Gulf of Iskenderun, Eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 133: 223-239.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957. Brazor river bar: a study in the significance of grain size parameters, *Jour. Sed. Pet.*, 27: 3-27.
- Folk, R. L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hamphill's, pp. 170.
- Förstner, U. and Salmons, W., 1980. Trace metal analysis on polluted sediments. Part I : Assessment of sources and intensities, *Environ. Sci, Technol. Lett*, 1: 494-517.
- Francois, R., 1998. A study on the regulation of the concentration of some trace metals(Rb, Sr, Zn, Pb, Cu, V, Cr, Ni, Mn, and Mo) in Saanich Inlet sediments, Brithsh Columbia, Canada. *Marine Geology*, 83: 285-308.
- Galehouse, J. S. 1971. Sedimentation analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology* edited by Carver, R. E., Wiley-Interscience, pp. 69-94.
- Gibbs, R. J., 1977. Transport phase of trace metal transport in rivers. *Science*, 180: 71-73.
- Goldberg, E. D. and Arrhenius, G. O. S., 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 13: 153 – 143.
- Goldstein, S. J., Jacobsen, S. B., 1988. Nd and Sr isotopic sys-tematics of river water suspended material: implications for crustal evolution. *Earth Planet. Sci. Lett*, 87: 249-265.
- Gromet, L. P., Dymek, R. F., Haskin, L. A. and Korotev, R. L., 1984. The North American shale composite: its compilation major and trace element characteristics. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 48: 2468-2482.

- Harnois, L., 1988. The CIW index; new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, 55: 319-322.
- Harris, N., Bickle, M and Chapman, H., 1998. The significance of Himalayan rivers for silicate weathering rates: Evidence from the Bhote Kositributary. *Chem Geol*, 66: 245-272.
- Hedges, J. I. and Parker, P. L., 1976. Land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico, *Geochim Cosmochim. Acta*, 40: 1019-1029.
- Hu, D. and Yang, Z., 2001. Key Processes in the Ocean Flux of the East China Sea. China Ocean Press, Beijing, 513-516.
- Ingram, R. L., 1971. Sieve analysis. In; *Procedure in Sedimentary Petrology*: edited by Carrer, R. E., Wiley Interscience, pp. 49-68.
- Katz, A. and Kaplan, I. R., 1981. Heavy metals behavior in coastal sediments of southern California: critical review synthesis. *Mar. Chem*, 10: 281-299.
- Keller, G. H. and Prior, D. B., 1986. Sediment dynamics of the Huanghe(Yellow River) delta and neighboring Gulf of Bohai, Peoples Republic of China : project overview. *Geo-Mar. Lett.*, 6: 63-66.
- Kim, K. H. and W. C. Burnett, 1983. Gamma-ray spectrometric determination of uranium-series nuclides in marine phosphorites. *Anal. Chem.*, 55: 1976-1980.
- Kitano, Y. and Hujiyoshi, R. 1980. Selective chemical leaching of cadmium, copper, and manganese and iron in marine sediments. *Geochem. Jour*, 14: pp. 113-122.
- Koepnick, R. B., Burke, W. H., Denison, R. E., Hetherington, E. A., Nelson, H. F., Otto, J. B. and Waite, L. E., 1985. Construction of the seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  curve for the Cenozoic and Cretaceous: supporting data. *Chemical Geology(Isotope Geoscience section)*, 58: 55-81.
- Koide, M., Soutar, A. and Goldberg, E. D., 1972. Marine geology with Pb-210. *Earth and Planetary Sci. Letter*, 14: 442-446.
- Krishnaswamy, S., Lal, D., Martin, J. M. and Meybeck, M. 1971. Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Sci. Letter*, 11: 407-414.

- Lee, H. J. and S. K. Chough., 1989. Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 87: 195-205.
- Lee, S. G., Masuda, A. and Kim., 1994 An early proterozoic leuco-granitic gneiss with the REE tetrad phenomenon. *Chemical Geology*, 114: 59-67.
- Li, B., B. K. Park. and D. Kim., 1999. Paleoceanographic records from the Northern shelf of the East China Sea since the Last Glacial Maximum. *J. Korean. Soc. Oceanogr.*, 34: 151-166.
- Li, C., Kang, S., Zhang, Q. and Wang, F., 2009. Rare earth elements in the surface sediments of the Yarlung Tsangbo (upper Brahmaputra River) sediments. Southern Tibetan Plateau. *Quaternary International*, 208: 151-159.
- Liu, Z. X., S. Beme, Y. Saito, G. Lericolasis and T. Marsset, 2000. Quaternary seismic stratigraphy and paleoenvironments on the continental shelf of the East China Sea. *J. Asian Ear. Sci.*, 18: 441-452.
- Liu, J., Saito, Y., Wang, H., Yang, Z. and Nakashima, R., 2007. Sedimentary evolution of the Holocene subaqueous clinoform off the Shandong Peninsula in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 236: 165-187.
- Martin, J. M. and Meybeck, M., 1979. Elemental mass balance of material carried by major world rivers. *Mar. Chem.*, 7: 173-206.
- Martin, C. E. and McCulloch, M. T., 1999. Nd-Sr isotopic and trace element geo-chemistry of river sediments and soils in a fertilized catchment, New South Wales, Australia. *Geochim Cosmochim Acta*, 63: 287-305.
- McLennan, S. M., Nance, W. B. and Taylor, W. B., 1980. Rare earth element-thorium correlation in sedimentary rocks and the composition of continental crust. *Geochemical Cosmochimica Acta*. 44: 1833-1839.
- McLennan, S. M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Review Mineralogy*, 21: 170-199.

- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics, In: Johnsson, M. J., Basu, A.(eds), Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geological Society America Special Paper, 284: 21-40.
- Milliman, J. D. and Meade, R. H., 1983. World-wind delivery of river sediment to the ocean. *Jour. Geol.*, 91: 1-21.
- Milliman, J. D., Beardslay, R. C., Yang, Z. S. and Limebruner, R., 1985. Modern Huanghe deived mud on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms. *Cont. Shelf Res.*, 4: 175-188pp.
- Moorby, S. A., 1983. The geochemistry of transitional sediments recorved from the Galspagos hydrothermal mounds field during DSDP Leg 70-implication for mound formation. *Earth and Planetary Science Letter*, 62: 367-376.
- Muller, P. J., 1977. C/N ratio in Pacific deep-sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41: 765-776.
- Muller, P. J. and E. Suess, 1979. Productivity, sedimentation rate, and sedimentay organic carbon in the ocean 1. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Res.*, 26: 1347-1362.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1982. Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715-717.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimca et Cosmochimca Acta*, 48: 1523-1534.
- Niino, H. and Emery, K. O., 1961. Sediments of shallow portion of East China Sea and South China Sea. *Geological Society of America Bulletin*, 72, pp. 731-762.
- Nittrouer, C. A., Sternberg, R. W., Carpenter, R. and Bennett, J. J., 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sedimentllogical tool: application to the Washington continental shelf. *Marine Geology*, 31: 279-316.

- Nittrouer, C. A., D. J. DeMaster and B. A. McKee, 1984. Fine-scale stratigraphy in proximal and distal deposits of sediment dispersal systems in the East China Sea. *Marine Geology*, 67: 13-24.
- Palmer, M. R. and Edmond, J. M., 1989. The strontium isotope budget of the modern ocean. *Earth Planet Sci Lett*, 92: 11-26.
- Palmer, M. R. and Edmond, J. M., 1992. Controls over the strontium isotope composition of river water. *Geochim Cosmochim Acta*, 56: 415-418.
- Park, Y. A. and Khim, B. K., 1992. Origin and dispersal of recent clay mineral in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 104: 205-213.
- Park, J. B. and Kwon, S. T., 1993. Geochemical evolution of the Cheju Volcanic Island: II. Trace element chemistry of Volcanic rocks from the northern part of Cheju Island. *J. Geol. Soc. Korea*, 29: 477-492.
- Pennington, W., Canbray, R. S., Eakins, J. D. and Harkness, D. D., 1976. Radionuclide dating of the recent sediments of Blehan Tarm. *Freshwater Boil*, 6: 317-331.
- Peterman, Z. E., 1992. Strontium isotope characterization of the Ash Meadows ground-water system, southern Nevada, USA. In: Kharaka K Y, Maest A S, eds. *Water-Rock Interaction*. Balkema, 825-829pp.
- Piper, D. Z., 1985. Rare earth elements in the sedimentary cycle: a summary. *Chemical Geology*, 14: 285-304.
- Presley, B. J., Taylor, R. J. and Boothe, P. N., 1992. Trace metal concentrations in sediment of the Eastern Mississippi Bight. *Marine Environmental Research* 33, 267-282pp.
- Qin, Y., Y. Zhao, L. Chen. and S. Zhao, 1996. *Geology of the East China Sea, A Series of Solid Earth Science Research in China*. Science Press, Beijing, pp. 357.
- Quade, J., Roe, L. and DeCelles, P. G., 1997. The late Neogene  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  record of lowland Himalayan Rivers. *Science*, 276: 1828-1831.

- Ritchie, J. C., Mchenrn, J. R. and Gill, A. C., 1973. Dating recent reservoir sediments. *Limnol. Occanogr*, 18: 254-263.
- Saito, Y. and Yang, Z., 1994. The Huanghe River : its water discharge, sediments dis-charge, and sediment budget. *J. Sed. Soc.*, 40: 7-17.
- Saito, Y., 1998. Sedimentary environment and budget in the East China Sae. *Bull. Coast. Ocean. Japan*, 36(1), pp. 43-58.
- Sawlan, J. J. and Marray, J. W., 1983. Trace metal remobilization in the interstitial waters of red clay and hemipelagic marine sediments. *Earth and Planetary. Science Letter*, 64: 213-230
- Schubel, J. R., Shen, H. T. and Park, M. J. 1984. A comparison of some characteristic sedimentation process of estuaries entering the Yellow Sea. *Preceedings of Korea-U.S. Seminar and Workshop, Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, 286-308.
- Shaffer, N. R. and Faure, G., 1976. Regional variation  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios and mineral composition in sediment in the Red Sea. *Geological Society of America Bulletin*, 87: 1491-1500.
- Sholkovitz, E. R. and Szymeazk, R., 2000. The estuarine chemistry of rare earth elements: comparison of the Amazon, Fly, Sepik and the Golf of Papua system. *Earth and Planety Science Letters*, 179: 299-309.
- Snoeckx, H., Grousset, F., Rerel, M. and Boelaert, A., 1999. European contribution of ice-rafted sand to Heinrich layers H3 and H4. *Marine Geology*, 158: 197-208.
- Stein, R., 1990. Organic carbon content/sedimentation rate relation-ship and its paleoenvironmental significance for marine sedi-ments. *Geo-Mar. Let.*, 10: 37-44.
- Stevenson, F. J. and Cheng, C. N., 1972. Organic geochemistry of the Argentine Basin sediments: Carbon-nitrogen relationships and Quaternary correlations. *Geo chimica et Cosmochimica Acta*, 36: 653-671.



- Su, X., Zoh, H. and Zeng, W., 1983. The recent sedimentation rates and process in the Changjiang estuary and its adjacent continental shelf area. Sedimentation on the Continental shelf with special Reference to the East China Sea. China Ocean Press, 2: 562-571.
- Taylor S. R. and McLennan, S. K., 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, pp. 312.
- Tutken, T., Eisenhauer, A., Wiegand, B. and Hansen. B. T., 2002. Glacial-interglacial cycles in Sr and Nd isotope composition of Arctic marine sediments triggered by the Svalbard/Barents Sea ice sheet. Marine Geology, 351-372.
- Turekian, K. K. and Wedepohl, K. H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Bull. Geol. Soc. Am., 72: 175-192.
- Wageman, J. M., Hilde, W. C. and Emery, K. O., 1970. Structural framework of East China Sea and Yellow Sea. American Association of Petroleum Geologist, 54: 1611-1643.
- Wang, Z., Lou, M. and Li, W., 1983. On submarine sediments and depositional process of west of south Huanghe Sea. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea. China Ocean Press, 2: 686-695.
- Weldeab, S., Emeis, K. Ch. and Hemleben, C., 2002. Provenance of lithogenic surface sediments and pathways of riverine suspended matter in the Eastern Mediterranean Sea: evidence from  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios. Chem Geol, 186: 139-149.
- Windom, H. L., Scropp, S. J., Calder, F. D., Ryan, J. D., Smith, R. G., Burney Jr, L. C., Lewis, F. G. and Rawlinson, C. H., 1989. Natural metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States. Environmental Science and Technology, 23: 314-320.
- Yang, S. Y., Li, C. X., Jung, H. S. and Lee, H. J., 2002. Discrimination of elemental compositions between the Changjiang and Huanghe sediments and identification of sediment source in northern Jiangsu coast plain, China. Marine Geology, 186: 229-241.

- Yang, S. Y., Jung, H. S. and Lim, D. I., 2003. A review on provenance discrimination of the Yellow Sea sedi-ments, *Earth-Science Reviews*, 63, pp. 93-120.
- Yang, S. Y., Lim, D. I., Jung, H. S. and Oh, B. C., 2004, Geochemical composition and provenance discrimina-tion of coastal sediments around Cheju Island in the southeastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 206: 41-53.
- Yang, S. and Youn, J. S., 2007. Geochemical compositions and provenance discrimination of the central south Yellow Sea sediments. *Marine Geology*, 243: 229-241.
- Youn, J. S. and Kim, T. J., 2011. Geochemical composition and provenance of muddy shelf deposits in the East China Sea. *Quaternary International*, 230: 3-12.
- Zhao, Y. Y., Qing, Z.Y. and Li, F., 1990. On the source and genesis of the mud in the central area of the south Yellow Sea. *Chim Jour. Oceanol. Limnol.* 8(1): 66-73.
- Zhao, Y. Y. and Yan, M. C., 1992. Abundance of chemical elements in sediments from the Huanghe River, the Changjiang River and the continental shelf of China. *Chinese Science Bulletin*, 37(23): 1991-1994.
- Zhu, E. and Wang, Q., 1988. Sedimentation on the north shelf of the East China Sea. *Marine Geology*, 81: 123-136.

## 감사의 글

사면이 둘러싸인 조그마한 섬(추자도)에서 자라오면서 평소 해양과학에 취미를 가져 제주대학교를 입학하고, 대학원 생활을 통해 이학석사를 마치고, 이학박사 학위를 취득하기 전까지 해양의 중요성을 더욱더 느낄 수가 있었습니다.

해양지질학을 전공하면서 해양과 육지의 환경에 관심을 가져 관련 자격증을 취득하였고, 해양환경 및 수·저질 변동조사 연구를 통하여 모니터링 기법과 영향 최소화 검토방안 등을 제안하여 육상과 해양의 종합적인 학문에 증진하였습니다. 그리하여 정부에서 시행하는 다양한 국책사업을 통하여 연구수행 능력을 고취시키고, 다방면의 논문 및 학술발표를 통하여 수상의 영광을 얻을 수가 있었습니다. 또한 대외적인 활동을 통하여 개인의 능력을 인정 받았고, 사무 보조능력 또한 역량을 키울 수가 있었습니다. 이러듯 박사학위를 취득하기 전까지 돌이켜보면 제 자신의 발전된 모습과 해양과의 필연적인 관계가 되었던 것 같습니다.

해양은 지구의 자연환경을 지배하고 중요한 인자들로서 지구의 거대한 열저장 장소이며 지구의 기후를 조절하는 중요한 역할을 하고 있습니다. 인류의 역사를 살펴보면 바다를 장악한 나라가 세계를 지배해 왔음을 알 수 있습니다. 지중해에 있는 로마제국, 대서양과 인도양에 있는 스페인과 영국과 같은 나라의 해양탐험 시대를 보면 그 사실을 알 수 있듯이 해양의 중요성을 내면하는 것처럼 해양학을 전공한 한 사람으로써 끊임없이 노력하고, 더욱 정진하여 중요한 역할을 할 수 있는 학자가 되도록 하겠습니다.

무엇보다도 부족한 면이 많이 있는 저를 학문의 길로 불러들여 석사 및 박사과정 동안 연구에 매진할 수 있도록 아낌없는 격려와 지도를 해주신 윤정수 교수님께 고개 숙여 깊이 감사드립니다. 또한 학부시절부터 논문이 완성되기 전까지 많은 가르침을

주신 최영찬, 방익찬, 이준백, 윤석훈 교수님 및 지금은 퇴임하신 고유봉 교수님께도 감사의 마음을 전합니다. 아울러 논문 심사를 맡아주시고, 소중한 충고와 조언을 해주셨던 부경대학교 서영교 겸임교수님, 부경대학교 김선옥 계약교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

논문이 완성되어 가는 과정에서 항상 옆에서 조언과 격려를 아끼지 않으셨던 제주시청 김방훈 시장님, 제주발전연구원 김태운 선배님, 제주특별자치도 양희범 선배님, 제주국제대학교 좌중헌 교수님, 이원석 선배님, 김현원 선배님, 한국농어촌공사 김창옥 선배님, 수자원본부 김기표 선배님, 제주지방기상청 고희종 선배님, 제 8 대 해양학과 총동문회 사무국장을 맡으면서 힘이 들때면 항상 멘토가 되어주셨던 제주특별자치도 비서관 이기우 회장님, 송창수·신희섭 감사님, 제주교도소 강문수 내무부회장님, 제주해양경찰서 이태호 외무부회장님, 부찬식 기획이사님, 과학영재교육원 지구과학반을 운영하면서 바쁘신 와중에도 흔쾌히 많은 도움을 주신 제주여고 이은주 선생님, 서귀포고 박용성 선생님, 제주과학고 추교형 선생님, 오현고 박윤종 선생님, 든든한 나의 의형제인 윤석이형, 근혁이형, 언제나 응원을 해주시고 아낌없는 박수를 보내주시는 경석이형, 보경이형, 병수형, 봉수형, 창환형, 상규형, 남훈형, 성주형, 재원형에게도 감사의 마음을 전합니다. 때로는 힘든 과정에서도 물신양면으로 도와준 물리해양학연구실에 친구 준호, 고향 친구인 용범, 재윤, 영렬, 건주와 열심히 생활하는 인호, 정근, 홍석 그리고 아끼는 후배인 상호에게도 고마움을 전합니다. 또한 해병대 생활에 있어서 많은 도움을 주고, 아직까지도 연락을 하고 있는 동기인 상규에게도 더없이 고마움을 전하며 지질해양학연구실 후배들에게도 감사의 마음을 전합니다.

일일이 거론하지는 못했지만 따뜻한 말을 아낌없이 주신 저를 아는 많은 분들께도 감사의 마음을 전하고, 글로나마 감사의 마음을 표현할 수 있어서 다행이라 생각하며 비록 시작의 불구이지만 좋은 열매를 맺을 수 있도록 열심히 살아가겠습니다.

마지막으로, 대학원 진학을 비롯하여 자식들을 항상 믿어주시고, 힘든 생활에도 내색하지 않으시면서 사랑과 정성으로 염려해주시는 부모님과 어려운 여건 속에서도 열심히 사회 생활을 하며 따뜻한 마음씨를 가지고 있는 우리 막둥이 태옹이와 함께 기쁨을 나누고 싶습니다. 또한 언제나 옆에서 조마조마 하면서 응원해 준 나의 아내 은지에게도 감사의 말과 고마움을 전하며 앞으로 더욱더 든든한 남편이 되겠다는 말도 함께 전합니다. 그리고 저의 장인·장모님에게도 감사함을 표현하며 믿음직한 사위가 되겠다고 다짐하고, 매형의 든든한 지원군인 창은·환주 처남에게도 고마움을 전합니다. 특히 멀리 추자도에서 아직도 손주 걱정을 하시고, 손수 식혜를 만들어주시는 외할아버지·할머니, 명절때 추억이 있는 큰집 큰아버님, 특히나 어린시절부터 지금까지도 응원의 메시지를 보내주시는 우리 이모와 삼촌에게도 감사의 말과 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.