

碩士學位論文

제주도 서부해역 표층퇴적물의
지화학적 연구



濟州大學校 大學院

海洋學科

金 太 正

2008 年 02 月

제주도 서부해역 표층퇴적물의 지화학적 연구

指導教授 尹 正 守

金 太 正

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

2008年 02月

金 太 正의 理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 방익찬 (印)

委 員 이준백 (印)

委 員 윤정수 (印)

濟州大學校 大學院

2008年 02月

Geochemistry of surface sediments in the western part
off 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 Master of Science

Department of Oceanography
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

Feb. 2008

목 차

목 차	i
List of Figures and Tables	ii
Summary	iv
I. 서론.....	1
II. 재료 및 방법	7
1. 시료 채취	7
2. 시료 분석.....	7
1) 입도 분석	7
2) 유기탄소와 탄산염 분석	8
3) 중금속 분석	8
III. 결과 및 고찰.....	10
1. 표층퇴적상의 조성과 분포.....	10
2. 퇴적물 내 탄산염과 유기탄소 함량 분포.....	13
3. 금속원소의 함량과 공간 분포.....	18
4. 퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정.....	31
IV. 결론.....	40
참고문헌.....	42
감사의 글.....	49

LIST OF FIGURES

Fig. 1.	A sketch map of Oceanographic setting of the Yellow and East China Sea(modified from Guan., 1994).....	6
Fig. 2.	Study area, sampling sites and bathymetry in the western part off Jeju Island. Contours are given in meters	9
Fig. 3.	Map showing surface sediment distribution in the western part off Jeju Island. Distribution of surface sediment types after Folk and Ward(1968).....	12
Fig. 4.	Areal distribution of the CaCO ₃ in surface sediments on the western part off Jeju Island.....	16
Fig. 5.	Areal distribution of the organic carbon in the sediments on the western part off Jeju Island.....	16
Fig. 6.	Total organic carbon contents vs. C/N ratios in surface sediments on the western part off Jeju Island.....	17
Fig. 7.	Clay(<2 μ m) contents of the bottom sediments in the study area.....	25
Fig. 8.	Areal distribution of the Al in surface sediments on the western part off Jeju Island.	25
Fig. 9.	Areal distribution of the element / Al ratios for Fe in surface sediments on the western part off Jeju Island.....	26
Fig. 10.	Areal distribution of the element / Al ratios for Mn in surface sediments on the western part off Jeju Island.	26
Fig. 11.	Areal distribution of the element / Al ratios for Ti in surface sediments on the western part off Jeju Island.	27
Fig. 12.	Areal distribution of the element / Al ratios for Na in surface sediments on the western part off Jeju Island.	27

Fig. 13. Areal distribution of the element / Al ratios for Ca in surface sediments on the western part off Jeju Island.	30
Fig. 14. Areal distribution of the element / Al ratios for Sr in surface sediments on the western part off Jeju Island.	30
Fig. 15. Comparison of UCC (Upper Continental Crust; Taylor and McLennan, 1985)-normalized elemental compositions between the sediments from western part off Jeju Island together with Chinese and Korean rivers (Yang et al., 2004)..	32
Fig. 16. Liner trend of (Ca-Fe) / Al, (Ca-Mg)/ K ratio can be observed against (Al+Fe) / (Ca+Mg+K), (Ca-Fe) / Al ratio with variation mainly due to similar sediment sources.	32
Fig. 17. Discrimination plots Sc/Al vs Cr/Th, Th/Sc vs Nb/Co and Ti/Nb vs Th/Sc. The composition of western part off Jeju Island sediment are originated from the diverse sources, especially from Huanghe and Changjiang rivers sediment.	38
Fig. 18. Th / U versus Th diagram.	39
Fig. 19. The relationship between La and Th content diagram.	39

LIST OF TABLES

Table 1.	Grain-size and organic material content of surface sediments in the western part off Jeju Island	11
Table 2.	Elements concentration of the western part off Jeju Island sediments in comparison to Huanghe(HURS), Changjiang(CHRS) river sediments and UCC(unit:*in wt.% and $\mu\text{g/g}$ for the other elements).....	20
Table 3.	Correlation coefficients among the elemental composition and mean grain size(Mz).....	22
Table 4.	Major and trace composition of the western part off Jeju Island sediment from the East China Sea in comparison to HURS, CHRS, PAAS and UCC.(Unite of major elements* : wt. % , trace elements: 10^{-6})	34

Summary

Geochemistry of surface sediments in the western part off Jeju Island, Korea

To discriminate the provenance of shelf sediments in the western part of Jeju Island, the textural and elemental compositions were analyzed and compared with the sediments originated from Chinese rivers. The sediments in the study area are composed of coarse silt with a mean grain size of $3.6\sim 8.5\Phi$ and their CaCO_3 contents ranged from 0.92 to 9.75% (av. 3.65%). The major elements (Fe, Mg, Ti and Mn) show good positive correlation with Al, and trace elements also indicate the same characteristics; hence, clay minerals are likely to be the promising host for those elements. The ratios of Toc over total nitrogen (TN) show that the study area sediments contains more organic matters of marine origin than those of terrigenous origin.

The high concentration of Fe/Al, Ti/Al and Mn/Al values are found in the southwestern part near the Changjiang estuary, indicating that it seems to result from the influence of the Changjiang River. Elemental ratios including Sc/Al, Ti/Nb, Cr/Th, Nb/Co and Th/Sc were thus used as provenance indicators to identify the sediment origins of the western part off Jeju Island.

The discrimination diagrams clearly show that most of the sediment in the western part are originated from the Huanghe River, but the sediments in the southwestern part near the Changjiang estuary might come from the Changjiang River. In contrast, the sediment samples of the northwestern part show the highest values than those of the river sediments and other regions, suggesting that the sediments in the western part off Jeju Island are originated from diverse sources.

I. 서론

본 조사지역은 북위 32° 30' ~ 34° 00', 동경 123° 00' ~ 126° 00'에 범위에 위치하는 제주도 서방 해역으로 황해 남부와 동중국해 북부 일부가 포함되는 대륙붕 지역으로써 주변 육상으로부터 다양하게 퇴적물을 공급 받고 있는 지역이다.

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 1.1×10^9 ton/yr 과 4.9×10^8 ton/yr에 달하는 육상기원 퇴적물이 공급되며, 또한 한반도의 여러 하천으로부터 약 50×10^6 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 구주 및 류큐열도-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).

황하강은 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 뺐어 있다(Keller and Prior, 1986). 현재 황하 기원 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 장수연안지역은 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 중앙부 해역과 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 운반되고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman et al., 1985).

조사 지역 남서쪽에 위치하는 양자강은 길이가 약 6300km, 유역면적 $1.94 \times 10^6 \text{km}^2$ 인 중국대륙에서 가장 큰 강으로서 회말라야 고원 지대에서 발원하여 중국에서 인구가 가장 많은 지역을 관류하여 동중국해로 흘러가며, 동중국해 대륙붕 지역 퇴적물은 대부분 양자강에 그 근원을 두고 있다. 연간 담수와 퇴적물 유출량은 $9.24 \times 10^{11} \text{m}^3$,

4.86×10⁸ton 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).

연구지역 퇴적물의 이동과 확산에 영향을 미치는 것으로 예상되는 해류로서는 보하이만(Bohai)으로 시작되어 발해 해협을 지나 산둥반도 동쪽 해안선을 따라 하계에는 32°N까지, 동계에는 30°N, 126°E까지 남하하는 황해 연안류(Yellow Sea Coastal Current), 흑조(Kurushio)에서 분기해 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입되는 황해난류수, 고향하 삼각주 해역에서 남동 및 북동진하는 장수연안류, 여름철 양자강 하구역에서 북동진하여 제주도 서쪽 해역을 지나 황해 내부로 북상하는 양자강 희석수(Changjiang Diluted Freshwater) 및 한반도 서해안에서 형성된 연안수 등으로 보고 되고 있다(Fig. 1; Lie, 1986; Zhao et al., 1990).

연구해역을 포함하는 황해 남부와 북부 동중국해역의 표층에는 제4기말 동안의 그에 수반된 해수면 변동에 의한 잔류퇴적물(relict sediment)과 현세의 중국대륙 및 주변 육지로부터 유입되는 현생 니질퇴적물이 혼합되어 분포하고 있다(Emery, 1968; Milliman and Emery, 1968).

황해와 동중국해 퇴적물에 대한 지화학적 및 고환경 변화의 연구로서는 Zhao 등(1990)은 남황해 중앙부에 분포하는 니질퇴적체(Central Yellow Sea Mud)에 대한 ²¹⁰Pb 동위원소를 이용한 퇴적물 측정과 화학조성의 특징에 근거하여 이곳의 니토는 황하강으로부터 운반된 물질, 장수 북쪽 지역의 고향하 삼각주 해안의 침식·운반된 물질 및 양자기원 물질이 혼합된 복합기원 현생니토대(multi-source modern mud)로 해석하였다. Zhao and Yan(1992)은 황하, 양자강 및 동중국해 대륙붕 지역에서 채취된 퇴적물에 대한 60여종의 화학분석치로부터 근원지별 배경농도와 이들을 식

별할 수 있는 지화학적 연구를 하였고, Yang and Milliman(1983)은 해역 퇴적물에서 황하와 양자강 기원 퇴적물의 구별에는 점토광물 조성, 광물형상 및 화학조성의 특징에 의해 황해와 동중국해에 분포하는 퇴적물을 황하기원형과 양자기원형으로 구분하는 연구를 하였다. 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 해석하였고, 남 등(2003)은 황해남부 해역과 동중국해 북부해역에서 채취된 코아퇴적물 시료에 대한 유기지화학적 및 안정동위원소 값을 이용한 고환경변화에 관한 연구를 하였다. 윤 등(2005, 2006)은 화학조성 특징과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해 대륙붕 퇴적물의 기원지 추적 해저퇴적물 연구에서 양자기원 부유퇴적물의 동중국해 외대륙붕의 니질퇴적상 분포지역으로 공급될 가능성을 지적하였고, Yang and Youn(2007)은 남황해 중앙부해역 니질퇴적물에 대한 퇴적물과 지화학적 특징에 근거해 남황해 중앙부에 분포하는 니질퇴적물은 주로 황하강으로부터 공급되었고, 동쪽의 사질퇴적물은 후빙기 해침 기간에 한반도 강들로 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 Cheju Island Mud)는 대부분 중국의 황하와 양자강 및 한반도 서해안의 강들로부터 공급된 것으로 평가하고 있으나, 아직까지 기원지 구분에 이용될 수 있는 지화학적 추적자가 제시되지 못한 상태이다. 이처럼 황해 남부와 동중국해 북부 지역은 중국 및 한반도 주변의 육지에서 강과 대기를 통해 유입되는 물질과 해류에 의해서 운반된 물질로 혼합되어 이 지역의 복잡한 해황조건을 반영하므로 유입된 물질들의 근원지별로 지화학적 특성이 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 제주도 서방 대륙붕해역에서 채취한 표층퇴적물 시료에 대한 입도분석과 주성분 및 미량원소를 분석하여 이들 원소들의 공간적 분포와 기 연구 보고된 한국과 중국의 강 퇴적물의 지화학적 자료와 비교 고찰하여 제주도 서부 해역에 분포하는 퇴적물들의 근원지 파악에 접근하고자 한다.



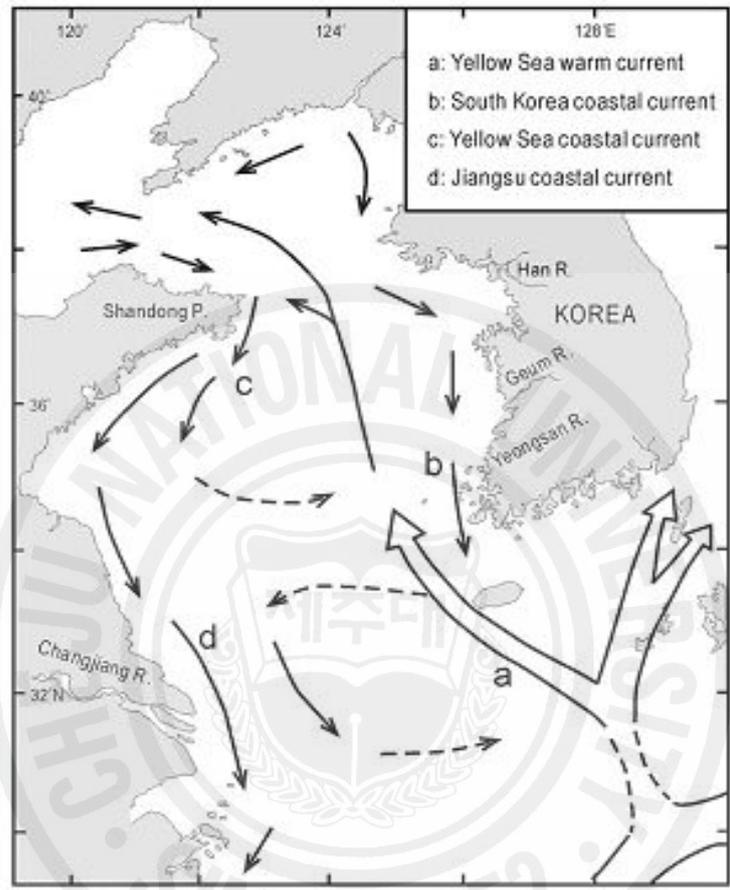


Fig. 1. A sketch map of Oceanographic setting of the Yellow and East China Sea (modified from Guan., 1994).

II. 재료 및 방법

1. 시료 채취

본 연구를 위한 시료 채취는 제주대학교 실습선 아라호를 이용하여 2003년 8월 23일부터 9월 3일까지 동경 123° 00' ~ 126° 00', 북위 32° 30' ~ 34° 00'에 사이에 위치한 제주도 서방 해역에서 실시 하였다(Fig. 2). 해저 퇴적물은 Van Veen Grab Sampler를 사용하여 총 28개 정점에서 시료를 채취하였다.

2. 시료의 분석

1) 입도분석

퇴적물 입도 분석은 Ingram(1971) 과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 시료 40-50g 를 취하여 회석법에 의하여 용해성 염분을 제거하여 시료를 6% H₂O₂ 로 유기물을 제거하였다. 유기물이 제거된 시료에 10% HCl로 패각편을 제거한 후에 0.0625 mm(230mech)의 체를 사용하여 습식체질 후 조립부와 세립부로 나누어 조립부는 1 Φ 간격으로 Ro-tap sieve shaker를 사용하여 건식 체질한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 세립부는 환산제 Calgon(sodium hexametaphosphate) 2g 를 첨가하여 시료를 환산시킨 후 피펫방법에 의해 1 Φ 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.

2) 유기탄소와 탄산염분석

퇴적물의 총 탄소 함량과 무기탄소 함량은 한국기초과학연구원의 CHN 분석기(CE Instrument; Flash-1120)를 이용하여 측정하였다. 유기탄소 함량은 총 탄소의 함량에서 무기탄소 함량을 뺀 값으로 하였으며, 탄산염 함량은 총 탄소와 유기탄소의 함량차이를 이용하여 계산 하였다(Byers et al., 1978).

3) 중금속 분석

퇴적물내의 원소총량 분석을 위한 시료는 먼저 입도에 따른 광물 조성 차이의 영향을 최소화하기 위해 습식 체질하여 $4\phi (< 63 \mu\text{m})$ 보다 세립한 니토(실트+ 점토) 입자만을 사용하였으며, 분석된 시료는 100°C 로 건조시킨 후 agate mortar 에서 분말화하여 분석에 용이하도록 처리하였다. 이렇게 분말화된 퇴적물 시료 2g 을 테플론범(teflon bomb) 내에서 HF, HClO₄, HNO₃ 혼합용액으로 반응시켜 규산염 광물 격자를 파괴시킨 후 1M HNO₃ 용액으로 추출하여 20 ml로 만들어 100 배 희석하였다(Kitano and Hujiyoshi, 1980). 이 용액을 한국기초과학연구원에 의뢰하여 유도결합 플라즈마 원자흡광 분석기(ICP)를 이용한 42 종의 원소성분의 함량을 측정하였다.

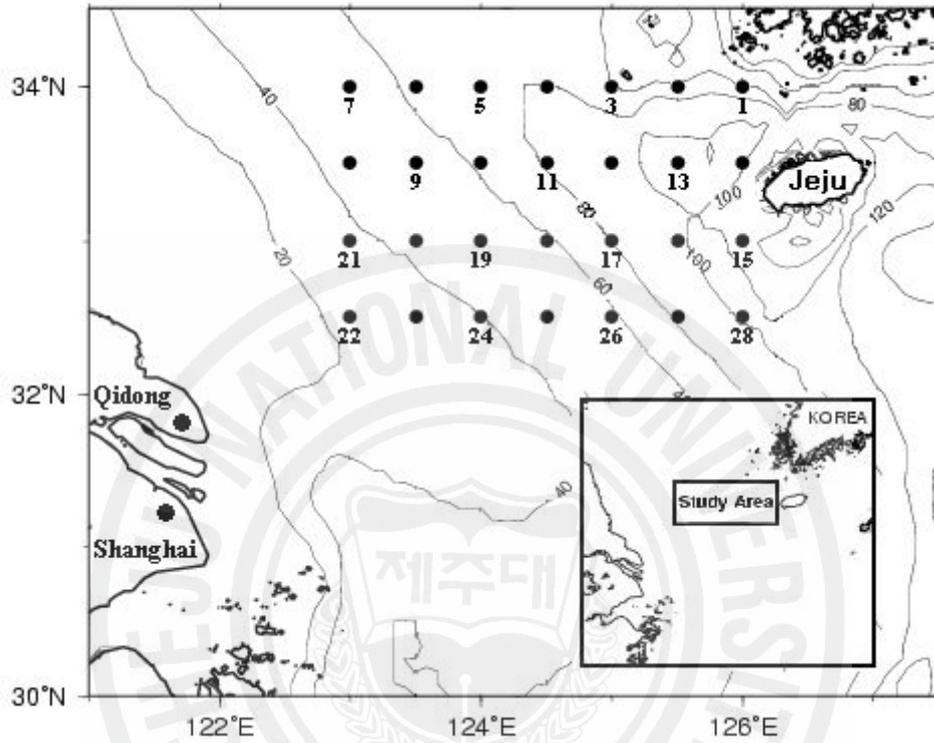


Fig. 2. Study area, sampling sites and bathymetry in the western part off Jeju Island. Contours are given in meters.

Ⅲ. 결 과 및 고찰

1. 표층퇴적상의 조성과 분포

연구지역 표층퇴적물의 유형은 소량자갈함유니질모래((g)mS), 니질모래(mS), 사질실트(sZ), 사질니토(sM), 니토(M)로 총 7개 유형의 분포를 보이나 크게 보아 니질모래 퇴적상((g)mS+mS+cS), 사질니토 퇴적상(sZ+sM+sC), 니토 퇴적상(M)분포 지역으로 분류할 수 있다(Table 1).

니질모래 퇴적상은 연구지역 북동쪽 지역과 남서쪽 끝 지역(Stn-22,23)에 분포하며 (Fig. 3) 평균조성은 자갈 0.3%, 모래 61.2%, 실트 14.8%, 점토 23.7%이고 평균입도는 4.69φ 로 극세립질 모래에 해당한다. 사질니토 퇴적상은 연구지역 서쪽과 남쪽 지역(Stn-24,25,26,27,28)에 광범위한 분포를 보이며(Fig. 3) 평균 조성은 모래 36.3%, 실트 28.7%, 점토 35.0%이고, 평균 입도는 6.26φ로 세립질 실트에 해당한다. 니토 퇴적상은 북서쪽 끝지역(Stn-7,9)과 북동쪽 지역(Stn-2)에 소규모의 분포를 보이며 평균 조성은 모래 4.3%, 실트 44.9%, 점토 50.8%이고, 평균입도는 7.57φ로 극세립질 실트에 해당한다. 본 연구지역 북서쪽 끝지역에 분포하는 니토 퇴적상은 남황해 중앙부에 분포하는 니토대(Central Yellow Sea Mud)로 황하와 양자강을 통해 공급된 복합기원 현생 퇴적물로 해석하였다(Zhao et al., 1990; Yang and Youn, 2007).

Table. 1 Grain-size and organic material content of surface sediments in the western part off Jeju Island

Station No.	Size analysis(%)				Sediment type	Organic matter(%)				Mz(ϕ)
	Granule	Sand	Silt	Clay		TOC	TN	CaCO ₃	C/N(atomic)	
1	3.12	58.4	13.8	24.6	(g)mS	0.59	0.06	9.75	11.46	4.34
2	-	1.7	44.9	53.4	M	0.91	0.08	4.83	13.28	8.07
3	-	57	16.2	26.8	mS	0.26	0.06	4.66	5.06	5.45
4	-	52.2	17.2	30.6	mS	0.29	0.08	4.25	4.24	4.57
5	-	38.8	24.6	36.6	sM	0.61	0.12	4.17	5.93	6.37
6	-	21.1	32	46.9	sM	1.04	0.1	3.02	12.14	7.23
7	-	3.4	38.7	57.9	M	0.9	0.06	2.18	17.48	8.54
8	-	31.2	45.1	23.7	sZ	0.52	0.09	2.42	6.73	6
9	-	7.6	51.2	41.2	M	0.98	0.13	1.17	8.79	6.1
10	-	20	31.3	48.7	sM	0.62	0.11	2.58	6.58	7.33
11	-	37.4	22.1	40.5	mS	0.66	0.1	2.67	7.7	6.67
12	-	54.6	16.9	28.5	mS	0.32	0.08	5.08	4.45	5.32
13	-	48.3	17.9	33.9	sM	0.56	0.06	4.01	11.07	5.78
14	-	41.4	18.8	39.8	sC	0.68	0.11	4.34	11.25	5.65
15	-	88.4	4.4	7.2	mS	0.36	0.03	8.33	14.02	2.92
16	-	59.7	14.5	25.8	mS	0.27	0.03	8.16	10.51	4.73
17	-	43.9	15.3	40.9	sM	0.54	0.05	4.25	12.61	6.65
18	-	57	13.5	29.5	cS	0.89	0.11	1.92	9.44	5.43
19	-	13.5	48.5	37.9	sM	1.07	0.17	0.92	7.35	6.93
20	-	46.4	25.3	28.3	sM	0.95	0.12	1.83	9.24	5.73
21	-	49.5	25.3	25.2	sM	0.94	0.07	1.25	15.66	5.71
22	-	75.6	14.4	10	mS	0.59	0.1	2.92	6.89	3.57
23	0.3	71.4	15.1	13.2	(g)mS	0.51	0.07	2.58	8.43	3.93
24	-	46.5	35.1	18.4	sM	0.5	0.06	2	9.12	5.13
25	-	45.2	16.7	38.1	sC	0.38	0.1	2.92	4.43	6.27
26	-	15	34.5	50.5	sM	0.97	0.13	3.75	8.7	7.47
27	-	48.4	34.9	16.7	sZ	0.73	0.09	3.18	9.46	5.27
28	-	35.8	24.4	39.8	sM	0.71	0.07	2.93	11.83	6.33
Average	0.12	41.76	25.45	32.66		0.66	0.09	3.65	9.42	5.84

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

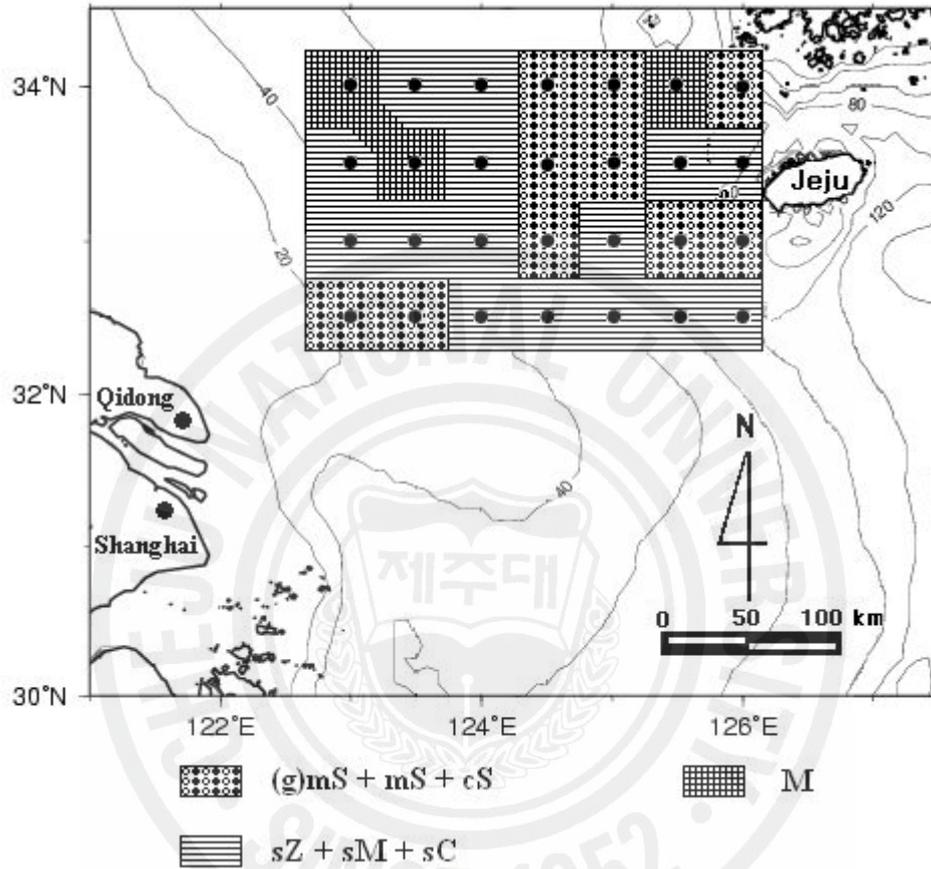


Fig. 3. Map showing surface sediment distribution in the western part off Jeju Island. Distribution of surface sediment types after Folk and Ward(1968). Keys; (g)ms: slightly gravelly muddy sand, mS: muddy sand, cS: clayey sand,sZ: sandy silt, sM: sandy mud, sC: sandy clay, M: mud.

2. 퇴적물 내 탄산염과 유기탄소 함량 분포

퇴적물의 탄산염(CaCO_3) 함량은 0.92 ~ 9.75%(평균 3.65%)의 범위를 보이고(Table 1) 니질모래 퇴적상내의 CaCO_3 의 평균 함량은 5.03%로 사질니토 퇴적상내의 평균 함량 2.90%보다 약 1.7 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, 소량자갈함유니질모래와 니질모래 같은 사질 퇴적물이 분포하는 동쪽의 한국측으로 향함에 따라 높은 함유량을 보인다(Fig. 4).

퇴적물 내 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 퇴적물에 탄산염 함량이 조립질 퇴적물이 세립질 퇴적물보다 높은 함량을 나타내는 현상은 퇴적물내 패각편에 기인된 것으로 사료된다.

해수 중 유기물 근원은 주로 해양 자체 내에서 이루어지는 생물학적 활동에 의한 것이며 육상으로부터 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), 퇴적물 내로 유입·흡착하는 유기물의 양은 주로 해양에서의 생물 생산력, 퇴적물의 입도, 해수의 물리적 조건 등에 의해 영향을 받으며, 특히 퇴적물 입도와는 양호한 상관관계가 성립함이 보고 되었다(Bordovsky, 1965). 본 조사지역 표층퇴적물내 유기탄소 함량은 0.26 ~ 1.07% (평균 0.66%)의 범위를 보이고(Table1), 그 지역적 분포는 니질퇴적물이 분포하는 서부지역이 사질퇴적물이 분포하는 동쪽지역보다

높은 유기탄소 함량을 보인다(Fig. 5).

퇴적물 유형에 따른 유기탄소 함량은 니질모래 퇴적상에서는 0.47%로 최소값을 보이고 사질니토 퇴적상은 0.72%, 니토 퇴적상에서는 0.93%의 최대 함유량을 보여 세립한 퇴적물에서 높은 유기탄소 함량치를 보이고 있다(Fig. 5). 유기탄소 함량과 평균 입도와의 관계에서는 상관계수가 $R=0.58$ 이상으로 밀접한 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 Murray, 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(현 등, 1999). 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, 1997; Muller and Suess, 1979; Stein, 1990). 이런 해양성 및 육성기원의 구분 방법은 조류(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).

총유기탄소와 C/N 비의 관계에서는 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 육지와 가까이 위치하는 동쪽지역의 퇴적물 시료(Stn- 1, 2, 13, 14, 15, 16, 17, 28)와 북서쪽 외해역에

분포하는 몇몇 시료(Stn- 6, 7, 21)에서 C/N 비가 10 이상의 값을 보이며 그 외 시료에서는 10 이하의 값을 보인다. 이는 주변 대륙의 육성기원 유기물질이 연구지역으로 유입되고 있음을 시사한다.



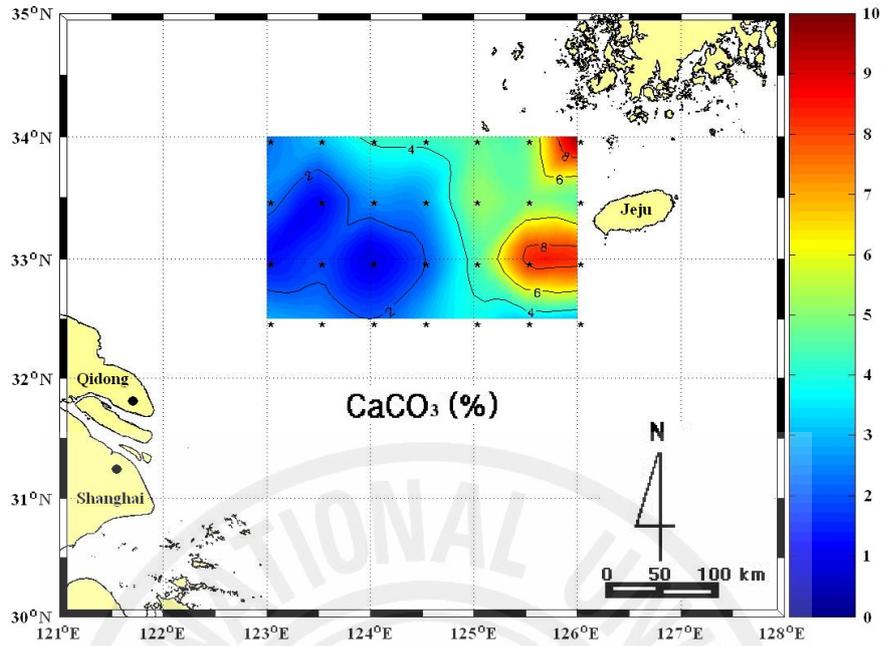


Fig. 4. Areal distribution of the CaCO_3 in surface sediments on the western part off Jeju Island.

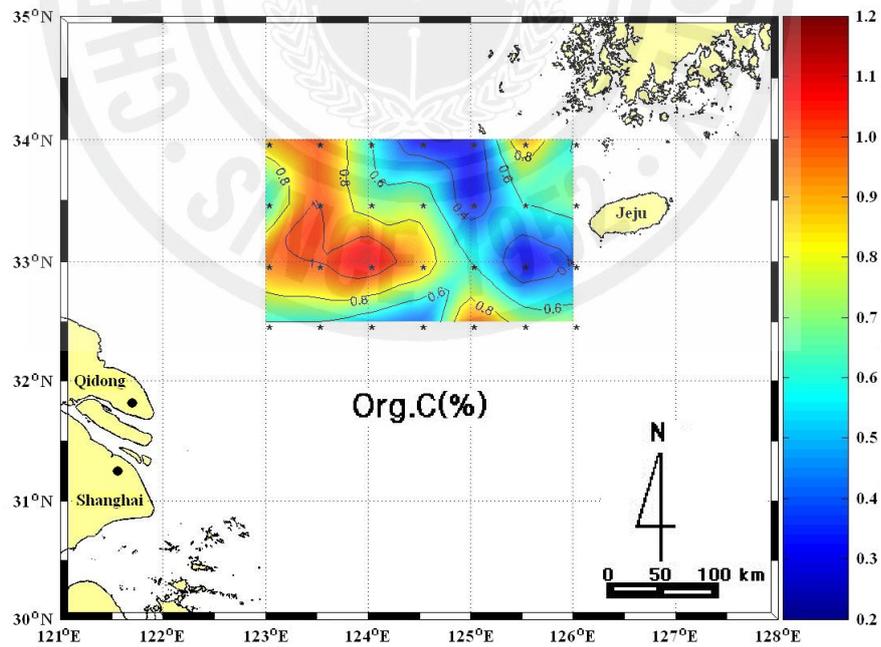


Fig. 5. Areal distribution of the organic carbon in the sediments on the western part off Jeju Island.

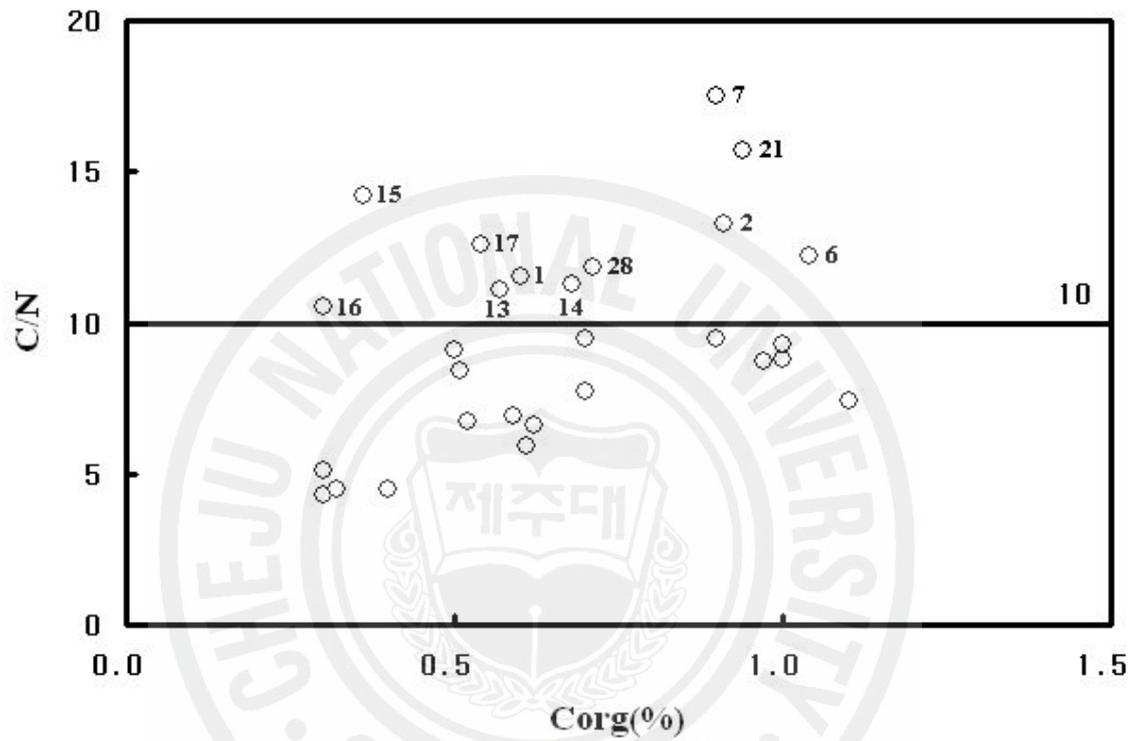


Fig. 6. Total organic carbon contents vs. C/N ratios in the bottom sediments of the western part off Jeju Island.

3. 금속원소의 함량과 공간분포

해양으로 유입되는 육성기원 물질은 육상에서 풍화와 침식에 의한 산물들로 주로 하천을 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 해양퇴적물 내 금속원소의 함량은 퇴적 환경요인 즉, 퇴적물의 입도, 퇴적물의 광물조성 그리고 인간활동에 의한 영향 등에 의해서 그 함량과 분포가 달라지게 된다(Forstner and Salomons, 1980; Katz and Kaplan, 1981).

연구지역 28 개 퇴적물 시료에서 금속원소들의 평균값은 Al: 6.7%, Fe: 3.1%, Ca: 4.2%, K: 2.2%, Na: 1.9%, Mg: 1.2%, Ti: 0.36%, Mn: 507ppm, Ba: 392ppm, Sr: 203ppm, Rb: 103ppm, Cr: 63.6ppm, Co: 9.7ppm, Ni: 27.4ppm 등으로 나타났다(Table 2). 따라서 본 연구지역 퇴적물 중 상기원소 함량치를 상부대륙지각 셰일(UCC: Taylor and McLennan, 1985), 시생대후기호주퇴적암(PAAS: Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock; McLennan, 1989), 북미 셰일 화학 조성값(NASC: North American Shale Composition; cromet et al., 1984) 과 비교할 때 Ca, Pb, Cd, Cs, Li 원소를 제외한 나머지 원소들은 본 연구지역이 낮은 값을 보였다. 또한 퇴적물에 포함된 Al 원소 함량변화에 따른 주성분 원소의 변화 경향을 Table 3 에 나타내었다. 표에서 보면 Fe, Mg, Ti, Mn 원소들은 상관계수 $r=0.46\sim 0.63$ 으로 Al 과 비교적 양호한 관련성을 보여 퇴적물내 점토광물 함량이 이들 원소의 농도를 조절하는 주요 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 V, Cs,

Cr, Ni, Cu, Nb, Sc, Th 및 U 등 미량원소들도 Al 과 높은 상관관계($r=0.50\sim0.83$)를 보여 이들 원소들의 함량도 퇴적물의 입도와 점토광물에 의해 조절되고 있음을 시사한다. 한편 Ca 와 Sr 의 함량은 Al 과 부(-)의 비교적 양호한 상관관계($r=-0.32\sim-0.59$)를 보여 이는 퇴적물내 점토광물 보다는 다른 요인이 작용했음을 시사한다. 즉, 퇴적물내 Ca 와 Sr 농도는 유공충각이나 코코리스와 같은 해양 생물의 영향을 받고 있음을 의미한다(Turekian and Wedepohl, 1961).



Table 2. Elements concentration of the western part off Jeju Island sediments in comparison to Huanghe(HURS), Chanjiang(CHRS) river sediments and UCC(unit:*in wt.% and $\mu\text{g/g}$ for the other elements)

St.	Al*	Fe*	Ca*	K*	Na*	Mg*	Ti*	Mn	Ba	Sr	Rb	V	Cs	Li
1	5.4	2.5	5.2	1.9	1.9	0.9	0.25	420	410	320	81.2	57	5	33
2	7.2	2.9	3.8	2.2	1.3	1.2	0.33	480	385	220	72.2	91.9	10.2	30.5
3	7.3	3.8	4.6	2.6	2.6	1.1	0.43	650	415	209	98.4	98	8.5	41
4	7	2.6	5.6	2.8	2.6	1	0.28	378	414	231	134.4	54.1	5.5	31.3
5	7.6	3.3	3.5	2.6	1.8	1.3	0.39	697	442	175	98.6	81.9	6.1	34
6	7.3	2.5	3.7	2.6	2.1	1.3	0.36	455	538	156	101.1	76.2	8	33.2
7	7.6	3.2	3.8	2.5	1.9	1.4	0.42	443	401	143	92.8	109	9.4	40.7
8	6.7	2.9	4.1	2	1.6	1.2	0.38	632	359	108	65.1	73.8	5.9	36.4
9	7.4	3.2	4.2	2.2	1.6	1.4	0.4	519	387	150	100.9	82.5	8.3	40.3
10	7.5	3.5	4.8	2.6	2.8	1.3	0.36	459	236	204	128.7	75.4	7.9	36.5
11	7.3	3.1	4.5	2.6	2.6	1.3	0.33	447	219	223	131.9	66.5	6.9	48
12	6.1	2.6	6.4	2.4	2.4	1	0.3	411	229	259	117.2	54.9	5.4	35.7
13	6.6	2.7	4.3	2.5	2.5	1.2	0.29	397	205	312	122	54.1	5.9	32.6
15	5.3	2.3	4.6	2.1	2	0.9	0.27	380	446	248	118.8	60.6	5.4	30.2
16	5.7	3.1	5.5	2.5	2	1.3	0.26	450	453	230	120.7	71	7.5	31
17	6.4	3.3	3.1	2.4	1.7	1.3	0.33	524	476	260	120	77	8.1	38.1
18	5.8	2.6	3.8	2.4	1.6	1.1	0.34	406	474	178	105.3	55	5.2	35
19	6.7	3	3.7	2	1.5	1.2	0.37	380	418	182	98.6	82	6	44.1
20	7.4	3	3.3	2	1.5	1.3	0.44	614	363	156	96.3	81.2	6.2	38.6
21	6.8	3.2	3.4	1.9	1.5	1.1	0.41	565	405	176	84.9	71.3	5	36.8
22	7	3.2	3.6	2	1.6	1.2	0.39	615	378	186	84	78.8	5.4	31.5
23	6.3	2.8	3.8	1.8	1.6	1	0.36	525	392	175	82.2	69.1	4.3	28.7
24	6.4	3.1	3.8	2	1.5	1.2	0.5	650	419	200	99.7	85	5.7	44
25	6.2	3.2	3.1	2.2	1.7	1.1	0.38	480	446	180	97.7	75	5.5	40
26	6.3	3.9	3.1	2.5	1.9	1.4	0.45	598	437	193	136.1	83.5	10	44.7
27	7.4	2.5	3.9	2.1	1.6	1	0.4	510	430	190	76.7	57	6	40
28	7	3.1	5.4	2.3	1.8	1.3	0.23	600	414	210	88.4	81	8.9	50
Range	5.3~ 7.6	2.5~ 3.9	3.1~ 6.4	1.8~ 2.8	1.3~ 2.8	0.9~ 1.4	0.23~ 0.45	378~ 697	205~ 538	108~ 320	65.1~ 136.1	54.1~ 109	5~ 10	31~ 50
Average	6.7	3.1	4.2	2.2	1.9	1.2	0.4	507.0	392.0	203.0	103.0	74.2	6.7	37.2
HURS	5.55	2.52	4.01	1.9	1.65	1.15	0.36	498	453	207	81.7	58.2	4	26.1
CHRS	7.09	4.28	3.18	2.06	0.91	1.64	0.57	958	454	146	113	104	7.3	44.9
UCC	8.04	3.5	3	2.83	2.89	1.33	0.41	620	550	350	112	60	3.7	
PAAS	10	5.1	0.9	3.1	0.9	1.3	0.6	853	650	200	160	150		
NASC	8.95	3.96	2.43	3.15	0.75	1.7	0.47	500	636	142	125	130		

Huanghe, Changjiang river sediments(Yang et al., 2004), Average upper continental crust(Taylor and McLnnan, 1981).

Table 2 (continued)

St.	Cr	Zn	Co	Ni	Cu	Y	Zr	Nb	Sc	Pb	Cd	Th	U
1	51	64.6	7.1	21.9	9.3	13.9	144	8.2	7	26.8	0.13	9.1	1.93
2	70.2	98.1	11.5	29.2	17.1	22.5	108	13.5	10.3	28	0.2	12.1	2.24
3	69.3	69.5	9.1	33.2	16.7	20.8	216	10.9	9.9	33.4	0.18	12.6	2.3
4	59.2	58.8	9.2	28.8	14.4	15.3	112	10.6	8.8	26.7	0.3	10.2	2.32
5	75.9	81.6	10.5	31.2	21.1	17.7	132	11.4	10.6	30.6	0.16	13.5	2.33
6	76	85.6	10.2	32.6	23.5	15.7	134	11.5	10.4	26.4	0.3	13.2	2.35
7	75.1	91.9	11.6	34.1	23.3	21.2	142	13.4	10.8	30.1	0.28	13.6	2.41
8	56.2	52	8.9	21	16.6	17.9	108	10.3	9.2	19.3	0.25	10.6	1.85
9	72.6	65.3	11.2	30.6	18.3	20.5	118	12.7	11.2	20.6	0.16	13.2	2.42
10	62.7	67.6	9.6	37.4	20.7	18.6	145	11	10.7	29.9	0.32	13.6	2.34
11	67.3	77.5	8.5	34.9	17.6	17.7	127	10.1	10.4	26.8	0.3	11.8	2.41
12	52.5	51.9	8.6	30.9	13.5	16	114	9.4	8.6	25	0.26	10.2	1.93
13	68.4	57	7.9	33.3	13.7	15.9	119	8.9	8.9	24.2	0.28	10.5	2
15	50.9	54	6.4	20.8	14.9	17.4	133	6.7	7.5	31.5	0.17	10.6	1.89
16	59.6	87.6	6.2	27.8	15.8	17.7	130	6.8	9.1	32.6	0.14	11.9	2.1
17	58	62	7.7	25.7	16.1	18.2	96	9.4	10	30.8	0.16	12.6	2.17
18	51	61	8.7	22.3	15.2	13.8	106	8.5	8.2	22.9	0.3	9	1.73
19	62.1	72	10.6	33.5	19.8	21.7	118	10.3	9.6	18.5	0.21	10.7	1.95
20	68.8	79.1	10.5	33.7	20.9	24.7	118	11.8	10.6	22.7	0.27	12.5	2.34
21	60.5	46.1	10.9	27.6	12	22.7	130	12.5	10.3	18.9	0.16	11.8	2.48
22	65.4	55.1	9.1	16.5	12.2	22.5	109	10.2	10.9	20	0.22	12.4	2.47
23	65.1	48.4	10	22.5	9.7	24.7	139	10.6	10.3	21.9	0.21	12.5	2.39
24	73	97.5	12.4	27.1	16.5	22	163	14.7	10	30.3	0.33	12.8	3.03
25	62.9	67.5	10.8	24.6	17.3	16.8	112	11.4	10.3	30.1	0.24	12.1	2.32
26	75.8	78.6	13.1	20.4	16.4	20.7	106	13.7	11.6	25.8	0.2	12.4	2.6
27	44	89.5	11.9	15.8	9.8	16.3	115	12.4	10.7	30.1	0.11	11.2	2
28	63	91.5	10.6	23.3	16.5	23.5	140	10.1	10.5	32.8	0.16	12.7	2.2
Range	44~ 75.9	46.1~ 98.1	6.2~ 12.4	15.8~ 37.4	9.3~ 23.5	13.8~ 24.7	96~ 216	6.7~ 13.5	7~ 11.6	18.5~ 33.4	0.11~ 0.33	9~ 13.6	1.73~ 2.48
Average	63.6	70.8	9.7	27.4	16.3	19.1	127.0	10.8	9.8	26.5	0.2	11.8	2.2
HURS	46.9	42	9.29	21.6	16.9	19.2	143	11.2	7.77	18.2	0.1	10.4	2.1
CHRS	73.7	106	16.8	40.3	48.5	23.8	138	17	11.9	39.5	0.25	13.4	2.6
UCC	35	71	10	20	25	22	190	25		20		10.7	2.8
PAAS	110	85		55	50	27	210	19		20		14.6	3.1
NASC	125			58		35	200	13	6.3			12	2.7

Huanghe, Changjiang river sediments(Yang et al., 2004), Average upper continental crust(Taylor and McLennan, 1981).

Table 3. Correlation coefficients among the elemental composition and mean grain size(Mz)

	Mz	Al	Fe	Ca	K	Na	Mg	Ti	Mn	Sr	Rb	V	Cs	Cr	Zn	Co	Ni	Cu	Y	Nb	Sc	Pb	Th	U	Toc
Mz	1.00																								
Al	0.65	1.00																							
Fe	0.53	0.46	1.00																						
Ca	-0.41	-0.34		1.00																					
K	0.49	0.40			1.00																				
Na				0.58	0.83	1.00																			
Mg	0.80	0.63	0.72		0.50		1.00																		
Ti	0.41	0.53	0.61	-0.77			0.44	1.00																	
Mn		0.48	0.68			-0.43	0.44	0.69	1.00																
Sr	-0.41	-0.59		0.58		0.53	-0.51	-0.93	-0.54	1.00															
Rb				0.78	0.78				-0.47	0.50	1.00														
V	0.67	0.61	0.77	-0.5			0.72	0.65	0.60	-0.60		1.00													
Cs	0.82	0.52	0.63		0.56		0.79					0.76	1.00												
Cr	0.62	0.63	0.66		0.40		0.81	0.58	0.51	-0.43		0.80	0.62	1.00											
Zn	0.51						0.58					0.61	0.70	0.51	1.00										
Co			0.57				0.41	0.42			0.43	0.52	0.41		1.00										
Ni		0.57		0.59	0.57	0.52					0.48	0.42	0.40	0.60		1.00									
Cu	0.79	0.62	0.43		0.56	0.81			-0.56		0.71	0.63	0.73	0.57		0.77	1.00								
Y		0.45	0.57		-0.53	-0.54	0.44	0.55	0.63	-0.51	-0.44	0.75		0.57				1.00							
Nb	0.64	0.71		-0.59		0.50	0.88	0.57	-0.61		0.69	0.48	0.69	0.55	0.47		0.41	0.60	1.00						
Sc	0.64	0.83	0.75	-0.62		0.80	0.72	0.64	-0.68		0.72	0.61	0.74	0.50	0.46	0.51	0.50	0.69	0.83	1.00					
Pb				0.57	0.44					0.42		0.50									1.00				
Th	0.55	0.72	0.72			0.77	0.57	0.61	-0.51		0.83	0.64	0.83	0.55		0.45	0.65	0.67	0.65	0.92		1.00			
U		0.50	0.64			0.52	0.72	0.61		0.62	0.81	0.44					0.64	0.82	0.76		0.82	1.00			
Toc	0.68	0.48	0.53	-0.62		-0.56	0.58			-0.53		0.46					0.50	0.41	0.60	0.54	-0.57		1.00		

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 원소이면서 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; Brigand et al., 1974; Windom et al., 1989).

Al 원소는 지각물질 중에서 가장 폭넓게 분포하는 원소들 가운데 하나로 이동 중에 풍화나 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. 8 에서 보는 바와 같이 그 분포 범위가 5.3~7.6%의 분포를 보이나 니토와 사질니토 퇴적상의 분포하는 북서쪽 지역에서 7%이상으로 높은 함량치를 보이고, 니질모래 퇴적상이 분포하는 북동쪽 지역으로 향함에 따라 6%이하로 감소하는 경향을 보이고 있어 퇴적물내 점토광물 함량과 일치하거나 석영과 탄산염 물질에 의한 희석작용이 미미함을 의미한다.

퇴적물 유형에 따른 Al 원소의 함량은 평균입도가 7φ 이상인 니토대(mud deposits)에서 7.4%, 사질니토 퇴적상에서 6.9%, 니질모래 퇴적상에서 6.2% 함량을 보여 퇴적물의 평균입도와 관련성이 있음을 보여주고 있다.

Fe 는 전이원소 중 함량이 가장 높은 원소로서 풍화에 대한 안정도가 크며, 주로 강을 통해 운반시 90%이상 입자태로 이동된다(Martin and Meybeck, 1979). 조사지역 퇴적물 중 Fe 의 범위는 2.5~3.9%이며, Fe/Al 비의 공간적 분포는 Fig. 9 에서 보는 바와 같이 0.34~0.62 의 분포 범위를 보이나 양자강 하구역과 가까워지는 남서부 지역에서 0.5 이상의 높은 값을 보이고, 북쪽과 북동쪽으로 향함에 따라 0.4 이하로

점차 감소하는 경향을 보이는데 이는 양자강 하구역이 근래 도시 및 토지이용 증가 등으로 철을 많이 함유한 양자강기원 부유물질의 일부가 제주도 서쪽 외해지역까지 이동되고 있음을 시사한다. 퇴적물 유형에 따른 Fe/Al 비 값은 니질모래 퇴적상에서 0.47로 높은값을 보이고 사질니토 퇴적상에서는 0.46, 니토 퇴적상에서는 0.42의 낮은 값을 보였다.

Mn은 해수와 담수가 만나는 연안역에서 망간산화물이 자생적으로 형성되는 비율이 큰 원소이며(Francois, 1998; Presley et al., 1992), 수괴 내에서 흡착 및 침전 등에 의해 효과적으로 제거되는 것으로 알려져 있다(Chester and Hughes, 1969). Mn 원소의 함량 범위는 378~697ppm이며, Mn/Al 비의 지역적 분포는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 그 분포 범위가 54~101.6의 분포를 보이거나 Fe/Al 비의 분포와 유사하게 양자강 하구역과 가까운 본 연구지역 남서쪽 지역에서 83 이상의 높은값을 보이고 북동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데 이 또한 양자기원 부유퇴적물이 제주도 서쪽 지역까지 이동되고 있는 것으로 사료된다.

퇴적물 유형에 따른 Mn/Al 비는 사질니토 퇴적상에서 78.0으로 최대값을 보이고, 니질모래 퇴적상에서는 74.1, 니토 퇴적상에서는 65.1으로 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 0.23~0.45%이며, Ti /Al 비의 지역적 분포는 Fig. 11에서 보는 바와 같이 양자강 하구역과 가까운 남서쪽 지역에서 0.06 이상의 높은 함량비를 보이고 북동쪽으로 향함에 따라 0.05 이하로 감소하는 경향을 보이는데, 이 또한 양자강기원 물질이 연구지역까지 유입되고 있음을 추론케 한다.

퇴적물 유형에 따른 Ti /Al 비는 사질니토 및 니토 퇴적상에서 0.06, 니질 모래퇴적상에서 0.053의 값을 보였다.

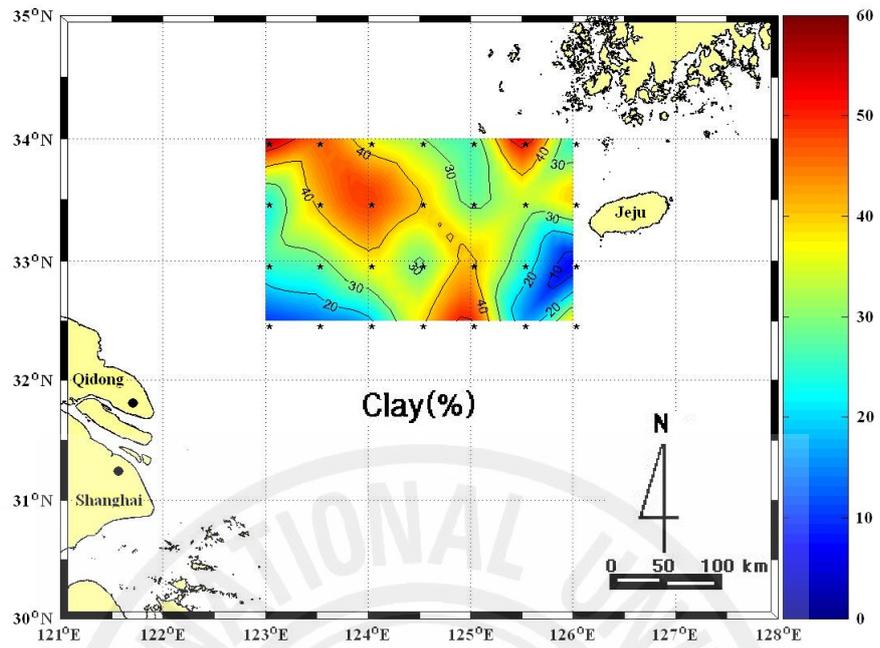


Fig. 7. Clay (<math>< 2 \mu\text{m}</math>) contents of the bottom sediments in the study area.

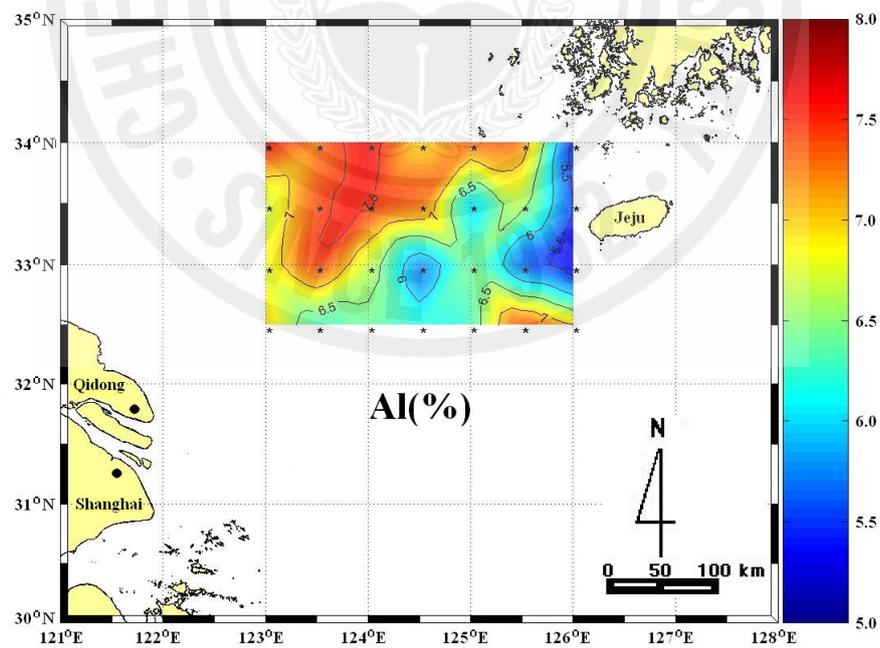


Fig. 8. Areal distribution of the Al in surface sediments on the western part off Jeju Island.

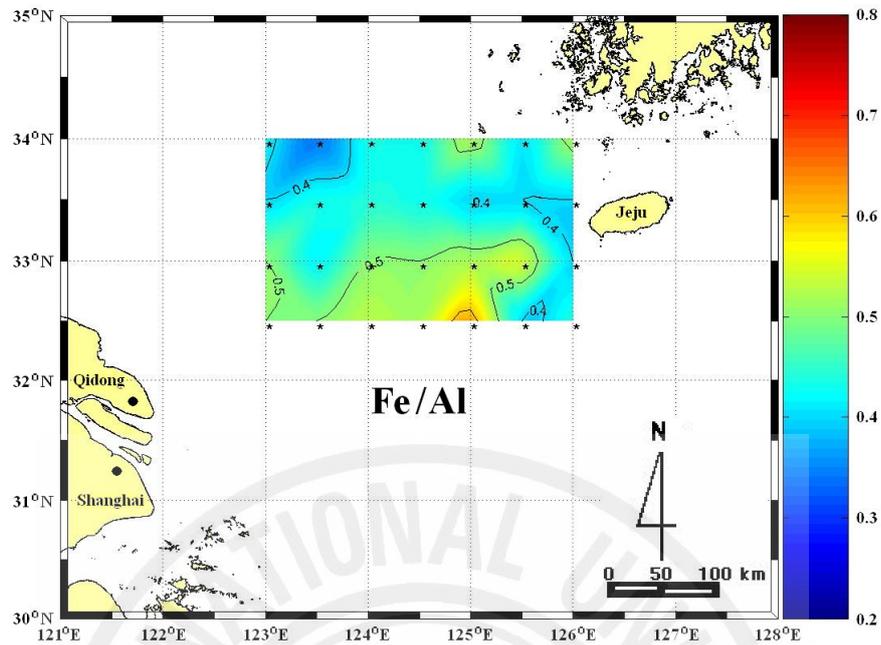


Fig. 9. Areal distribution of the element / Al ratios for Fe in surface sediments on the western part off Jeju Island.

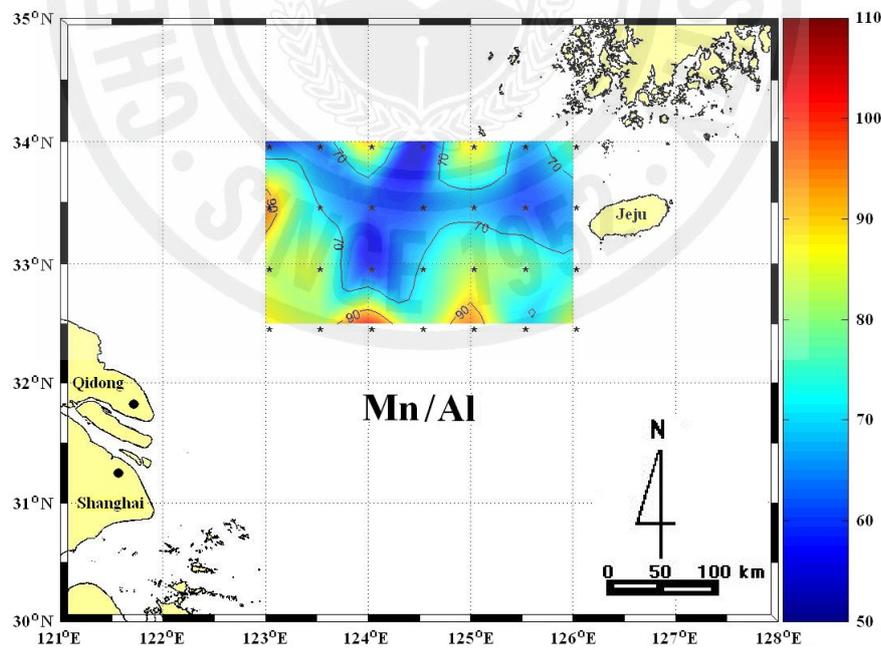


Fig. 10. Areal distribution of the element / Al ratios for Mn in surface sediments on the western part off Jeju Island.

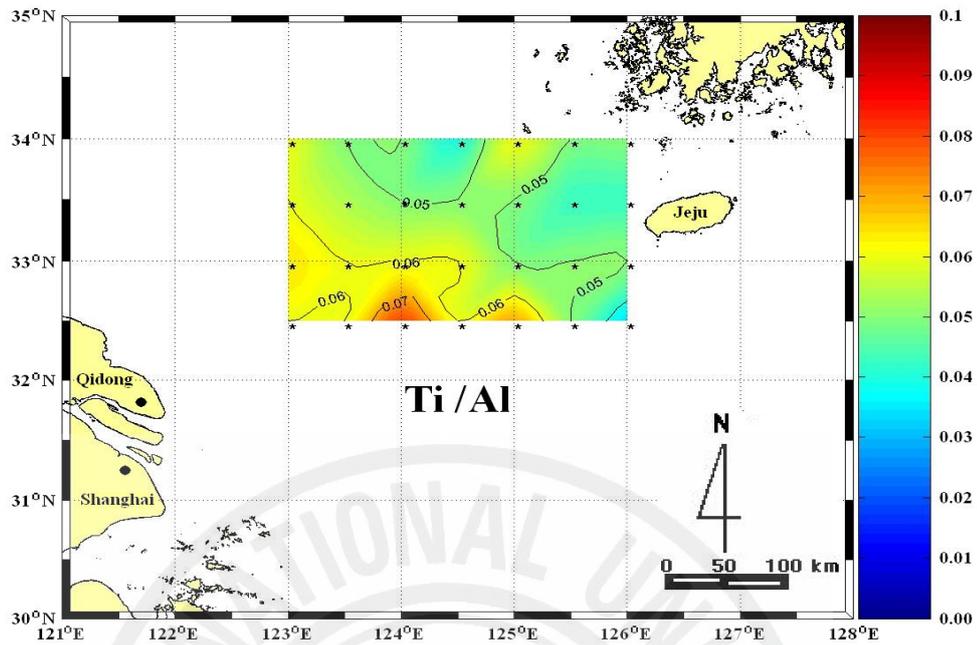


Fig. 11. Areal distribution of the element / Al ratios for Ti in surface sediments on the western part off Jeju Island.

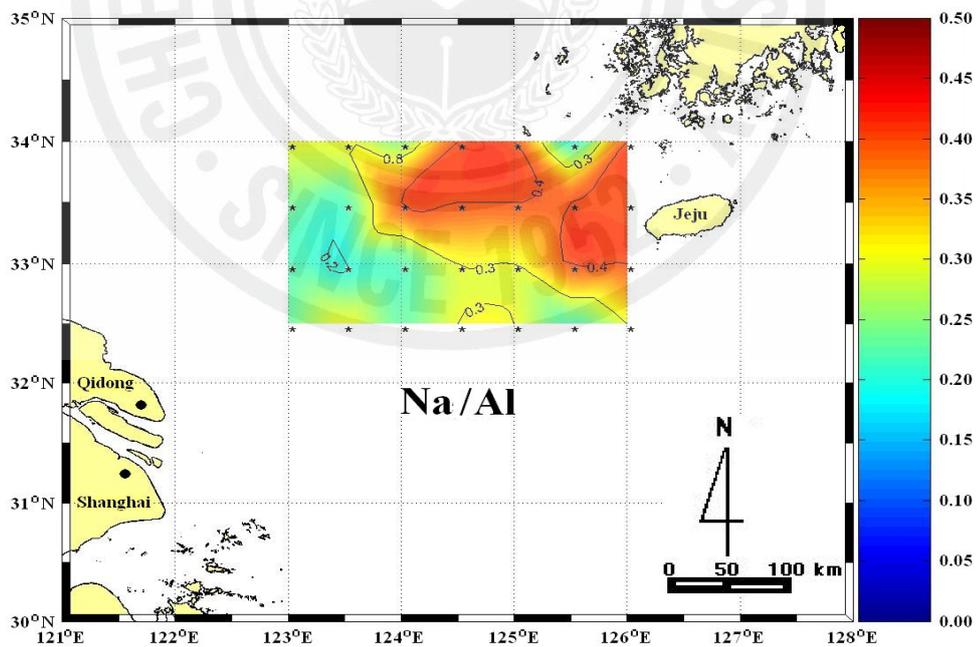


Fig. 12. Areal distribution of the element / Al ratios for Na in surface sediments on the western part off Jeju Island.

Na 원소는 불안정한 알카리 원소에 속하며, 주로 하천을 통해 전체 이동량의 50~90%가 액상으로 이루어지며(Martin and Meybeck, 1979), 입자태로 이동하는 Na 원소 함량은 쇄설성 광물인 장석, 각섬석 및 휘석 등의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Bowen, 1979). 또한 양자강보다 황하기원 퇴적물에서 높은 함량치를 보임이 보고되었다(Zhao and Yan, 1992; Yang et al., 2003). 조사지역 퇴적물 중 Na 의 함량 범위는 1.3~2.8%이고, Na/Al 비의 지역적 분포는 Fig. 12 에서 보는 바와 같이 연구지역 북동쪽에서 0.4 이상의 높은 함량비를 보이고, 서쪽 및 남서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여 근원지 외에 해양생물기원의 영향을 강하게 받는 것으로 사료된다. 즉 패각편과 유공충각과 같은 해양생물 파편을 많이 함유하는 동중국해 퇴적물이 제주도 주변까지 확장하는 대마난류나 황해연안류 같은 해양환경요인에 의해 본 연구지역으로 수송이 이루어지고 있음을 의미한다(윤과 김, 2002).

퇴적물 유형에 따른 Na/Al 비는 니질모래 퇴적상에서 0.36 으로 최대값을 보이고 사질니토 퇴적상에서 0.30, 니토퇴적상에서 0.24 의 최소값을 보여 퇴적물 입도와 상반된 경향을 보였다.

해양퇴적물에서 알카리 지각 원소 중 Ca 함량은 육상기원 쇄설성 퇴적물(석회암, 백운암)의 공급 외에 연체동물, 산호 및 유공충과 같은 해양생물체와 깊은 연관성을 갖으며(Turekian and Wedepohl, 1961), 점토광물에는 그 함량이 매우 낮은 것으로 알려져 있다(Goldberg and Arrhenins, 1958). Ca 원소의 함량 범위는 3.1~6.4%이고, Ca /Al 비의 지역적 분포는 Fig. 13 에서 보는 바와 같이 수심이 깊은 본 연구지역 북동쪽 끝지역(Stn. 1)에서 1.0 의 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 역 북서쪽의

니토대(Central Yellow Sea Mud) 분포지역(Milliman et al., 1985; Yang and Youn, 2007)

이 북동쪽 지역보다 낮은 Ca 함량을 보이는데 이는 주로 육상기원 세립질 물질의 활발한 집적에 따른 희석작용(dilution) 때문으로 사료된다.

퇴적물 유형에 따른 Ca/Al 비는 니질모래 퇴적상에서 0.79, 사질니토 퇴적상은 0.56, 니토퇴적상에서는 0.55 의 비값을 보여 조립질 퇴적상에서 높은 비값을 보였다. 해양환경에서 SrCO₃ 형성은 유공충과 코크리스와 같은 탄산염 생물체와 관련이 있는 것으로 보고되었고(Turekian and Wedepohl, 1961), 특히 유공충각을 많이 함유하는 외해 퇴적물에 높은 Sr 함량을 보인다고 알려져 있다(Chen et al., 1983).

퇴적물 유형에 따른 Sr/Al 비는 니질모래 퇴적상에서 36.6로 높은 값을 보이고 니토 퇴적상에서 30.9, 사질니토 퇴적상에서 29.4의 비값을 보였다. Sr 원소의 함량 범위는 108~320ppm 이고, Sr/Al 비의 지역적 분포는 Fig. 14 에서 보는 바와 같이 Ca 원소 분포와 유사하게 본 역 북동쪽 끝지역(Stn-1,2)에서 53.5 이상의 최대 함량비를 보이고 서쪽으로 향함에 따라 감소하는 경향을 보여 주 근원지외에 해양생물 기원의 영향을 강하게 받는 것으로 보여진다.

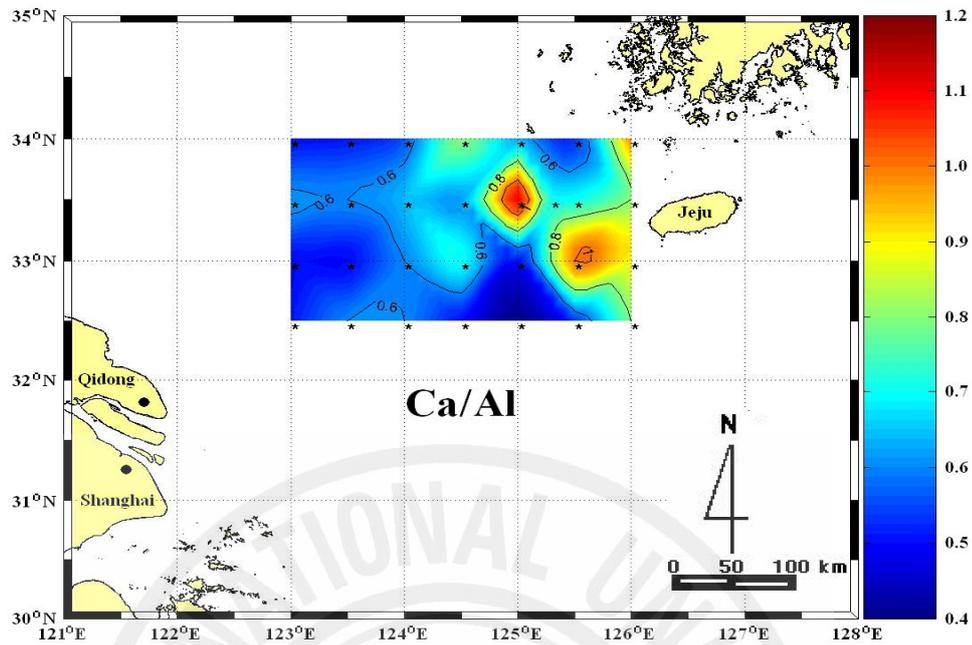


Fig. 13. Arel distribution of the element / Al ratios for Ca in surface sediments on the western part off Jeju Island.

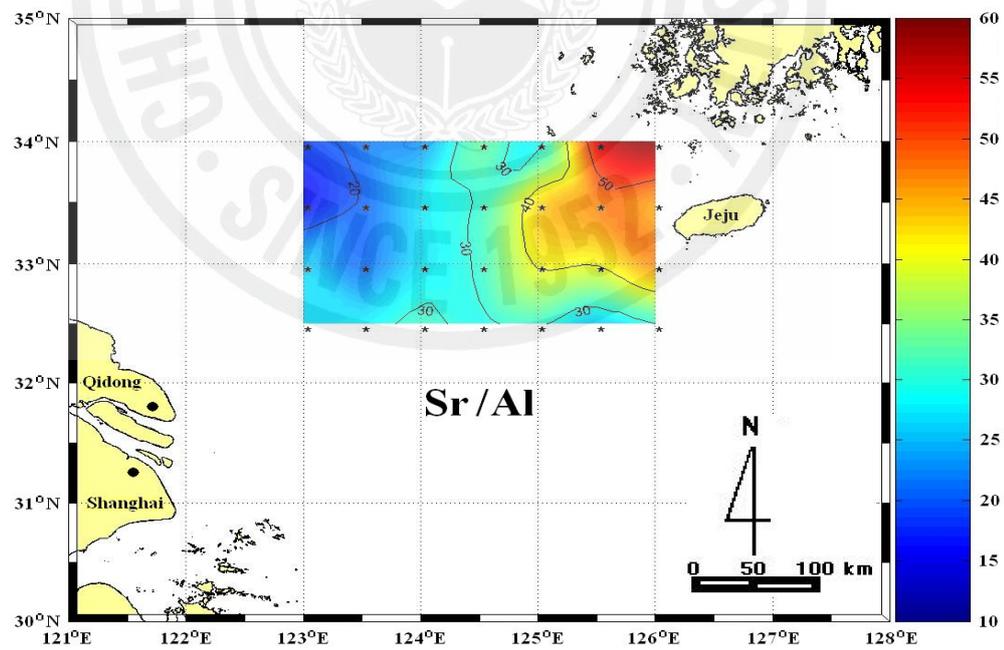


Fig. 14. Arel distribution of the element / Al ratios for Sr in surface sediments on the western part off Jeju Island

4. 퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정

제주도 서방 대륙붕지역에서 채취한 28 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(Fig. 15; Yang et al., 2004; Lee and Na, 2003). 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 $(Ca - Fe) / Al$ 로 이는 각 강에서 정량적으로 풍부한 원소로부터 유도된 것이다. 셋째 지수는 $(Ca - Mg) / K$ 으로 이는 각 근원강 퇴적물을 반영하고 있는 상징적인 알카리와 알카리토류 원소로부터 유도된 것이다.

본 연구에서 이들 구분 지수들을 적용해 본 결과 연구지역 퇴적물은 Fig. 16 에서 보는 바와 같이 제주도와 한반도 남서해안에서 기원된 것으로 추정되는 제주 북서쪽 연안역에 위치하는 몇 개의 퇴적물 시료(Stn-1,12,15,16)를 제외하고는 황하와 양자강 퇴적물 평균치 사이에 분포하나 대부분의 시료들이 양자강 보다는 황하 퇴적물 주위에 밀집 분포하는 경향을 보여 제주도 서부해역은 양자강보다는 황하기원 부유퇴적물의 영향을 더 받고 있음을 시사한다. 그러나 모든 시료들이 황하와 양자강의 평균치 사이에 일직선상의 밀집된 분포 특징을 보여 연구지역의 퇴적물은 주로 황하와 양자강기원 퇴적물의 혼합되어 있는 것으로 추정된다.

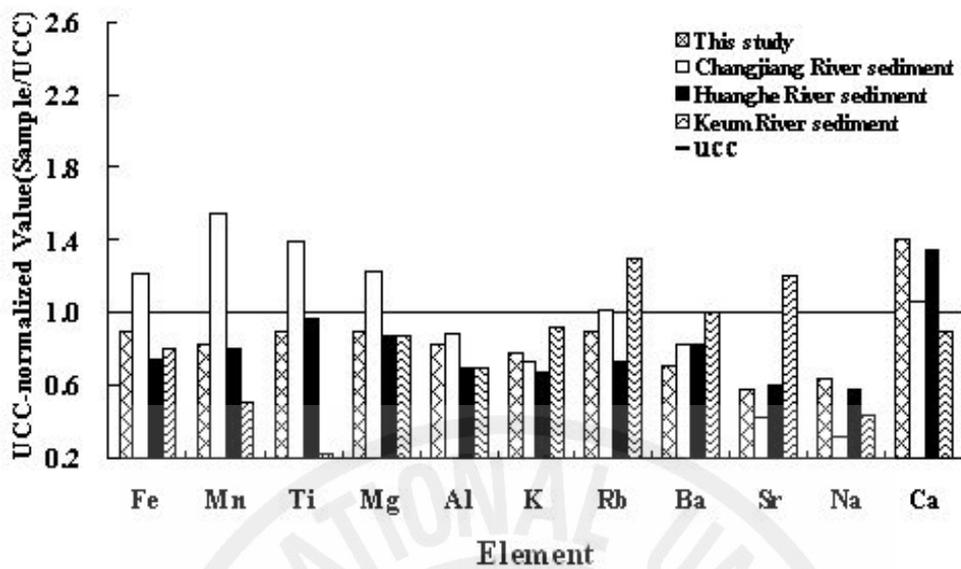


Fig. 15. Comparison of UCC(Upper Continental Crust; Taylor and McLennan, 1985)-normalized elemental compositions between the sediments from western part off Jeju Island together with Chinese and Korean rivers(Yang et al., 2004).

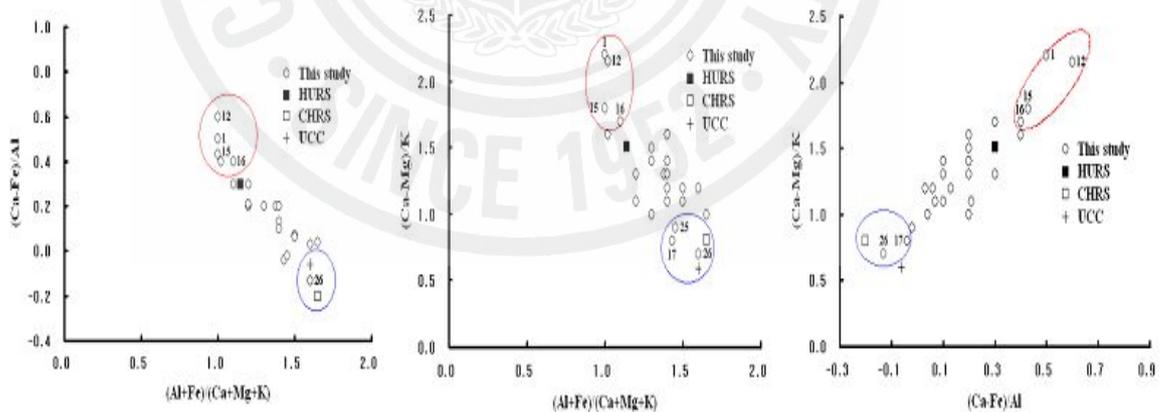


Fig. 16. Linear trend of $(Ca-Fe)/Al$, $(Ca-Mg)/K$ ratio can be observed against $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$, $(Ca-Fe)/Al$ ratio with variation mainly due to similar sediment sources.

제주도 서부해역에 분포하는 퇴적물에서 황하와 양자강기원 퇴적물을 구별할 수 있는 지화학적 특징으로는 Table 4 에서 보는 바와 같이 황하강 퇴적물에는 양자강 퇴적물에 비해 Ca, Na, Sr 및 Zr 원소가 높은 함량 특성을 보이거나, 양자강 퇴적물에는 대부분 전이원소 함량이 풍부한 것으로 보고 되었다(Zhao and Yan, 1992; Yang et al., 2003). 그러나 Ca, Na 및 Sr 과 같은 알카리 토류원소들은 강과 해양환경에서 불안정하고 해양자체에서 공급되는 해양생물과 해수기원 물질 등의 요인에 의해 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 가능할 것으로 보고 되었다(Ergin et al., 1996).

Table 4. Major and trace composition of the western part off Jeju Island sediment from the East China Sea in comparison to HURS, CHRS, PAAS, and UCC.(Unite of major elements* : wt%, trace elements: 10⁻⁶)

Region Element	WPJ ¹	HURS ²	CHRS ²	PAAS ³	UCC ⁴	NASC ⁵
Al *	6.7	5.55	7.09	10.0	8.04	8.95
Fe *	3.1	2.52	4.28	5.1	3.5	3.5
Ca *	4.2	4.01	3.18	0.9	3.0	2.43
Mg *	1.2	1.15	1.64	1.3	1.33	1.7
K *	2.2	1.9	2.06	3.1	2.83	0.75
Na *	1.9	1.65	0.91	0.9	2.89	2.89
Ti *	0.36	0.36	0.57	0.6	0.41	0.47
Mn	507	498	958	853	620	500
Sr	203	207	146	200	350	142
Y	19.1	19.2	23.8	27.0	22.0	35.0
Zr	127	143	138	210	190	200
V	74.2	58.2	104	150	60	130
Cr	63.6	46.9	73.7	110	351	125
Ni	27.4	21.6	40.3	55	20	58
Co	9.7	9.29	16.8	-	10	-
Cu	16.3	16.9	48.5	50	25	-
Zn	70.8	42	106	85	71	-
Rb	103	81.7	113	160	112	125
Nb	10.8	11.2	17	19	25	13
Pb	26.5	18.2	39.5	20	20	-
Th	11.8	10.4	13.4	14.6	10.7	12
Cs	6.7	4.0	7.3	-	3.7	-
U	2.24	2.1	2.6	3.1	2.8	2.66
Ba	392	453	454	650	550	636
Li	37.2	26.1	44.9	-	20	-
Sc	9.8	7.77	11.9	-	11.0	6.3
Cd	0.22	0.1	0.25	-	0.01	-
La	33.8	312.0	39.5	38	30	31
Cr/Ni	2.32	2.33	1.83	2.0	1.75	2.16
Th/U	5.27	4.95	5.15	4.71	3.82	4.51
Cr/Th	5.39	4.51	5.50	7.53	3.27	10.42
La/Sc	3.45	3.98	3.32	-	-	4.92
Ti/Nb	333.2	321.4	335.4	351.8	164	361.5
Sc/Al	1.46	1.40	1.68	-	1.37	0.71
Nb/Co	1.12	1.21	1.01	-	2.5	-
Th/Sc	1.21	1.44	1.13	-	1.0	1.91

¹western part off Jeju Island sediment, ²Huanghe and Changjiang sediment(Yang et al., 2004), ³Post-Archaean shale average Australian sedimentary rock(McLennan, 1989), ⁴Average upper continental crust(Taylor and McLennan, 1985), ⁵North American Shale Composition(cromet et al., 1984).

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 서부해역 표층퇴적물의 기원지를 추정해 보았다. Table 4 에서 보는 바와 같이 상기 원소들의 비 값을 황하와 양자강 퇴적물에서 뚜렷한 차이를 보이며 이들 비 값을 이용하여 제주도 서부해역 퇴적물의 공급지 추정에 지시자로 이용될 수 있음을 시사한다. Fig. 17 와 같이 Cr/Th 대 Sc/Al, Nb/Co 대 Th/Sc, Th/Sc 대 Ti/Nb 의 상관도표에서 제주도 서부 대륙붕해역에 분포하는 퇴적물은 기원지로서의 어느 특정한 지역을 명백히 보여주지 않았으며 크게 세 유형으로 구분된다.

즉, 연구해역의 서쪽에 분포하는 대부분의 퇴적물 시료들은 황하강 퇴적물 시료 주위에 밀집 분포하는 특징을 보이거나, 양자강 하구역과 가까이 위치하는 남쪽지역에 분포하는 퇴적물시료(Stn-18,19,25,26,27)는 양자강 퇴적물시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보인다. 반면 연구지역 북동쪽에 분포하는 퇴적물시료(Stn-1,3,13)는 중국의 황하와 양자강퇴적물 및 다른지역 퇴적물보다 높은 비값을 보여 제주도와 한반도 서남해안 지역에서 기원된 퇴적물로 추정된다.

따라서 제주도 서쪽해역은 중국의 황하와 양자강, 제주도 및 서남해안에 분포하는 강 등 복합기원 퇴적물이 집적되고 있음을 의미한다. 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 km²의 연안육지 지역이 소실되었고 연평균 4.4×10^8 ton 정도의 퇴적물이 생산되는 것으로 보고되었다(Saito, 1998). 이들 (고)황하기원 삼각주 퇴적물은 장수연안류 등에 의해 황해 중앙부해역과

동중국해 외대륙붕의 니토대 분포 지역까지 운반되고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman et al., 1985).

연구지역 퇴적물의 Th/U에 대한 Th의 상관관계에서는 Fig. 18에서 보는 바와 같이 UCC의 평균치(3.82; Taylor and McLennan, 1985)보다 높은 값을 보여 기원지에서 강한 화학적 풍화작용을 받았음을 의미하며, 또한 본 연구지역 퇴적물 중 많은 시료들(Stn-20,22,23,28 등)이 양자강 퇴적물 평균치 시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보이는데, 이는 양자기원 부유퇴적물이 제주도 서부해역 대륙붕 지역까지 공급되고 있음을 의미한다. 이는 윤 등(2005)이 언급한 동중국해 외대륙붕의 니토대에서 Sr 동위원소 비 값이 황하보다는 양자강과 더 유사하여 양자기원 부유퇴적물의 제주도 남서쪽 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 공급될 가능성을 지적한 연구 결과와도 잘 일치하고 있다. 유사한 행동을 하는 원소로 알려진 La과 Th 원소(McLennan et al., 1980)는 상관계수 $r = 0.48$ 로 다소 양호한 높은 상관성을 보이며, La와 Th 관계에서는 Fig. 19와 같이 퇴적물 입도가 감소함에 따라 La와 Th 함량이 증가하는 경향을 보여 기원지 외에 입도의 영향도 받고 있음을 의미한다. 그러나 본 해역 퇴적물 시료들은 대부분 황하와 양자강퇴적물 사이에 많이 밀집 분포하는 특징을 보여 제주도 서쪽 대륙붕 지역에 분포하는 퇴적물은 단일 기원지에서 유래된 퇴적물이 아님을 의미하겠다.

양자기원 퇴적물이 연구지역으로 이동이 가능한 기작으로는 양자강으로부터 유출되는 부유퇴적물은 주로 하구역의 동쪽과 남동쪽의 동경 $122^{\circ} \sim 123^{\circ}$ 지역에 분포하는 수중삼각주(submarine delta) 지역에 퇴적되고, 소량 많이 동중국해로 확산된다. 그러나 대마난류가 중국 동해안을 따라 북동방향으로 흐르는 계절에는 남풍계에 편승하여 양자기원 부유퇴적물은 표층프룸(plume)으로 북동진하여 제주도

서쪽까지 이동하는 것으로 알려져 있다(Beardsley et al., 1983; Milliman et al., 1985). 또한 Lie(1986) 는 양자강 희석수는 홍수철에 북동진하여 제주도 서쪽 해역을 지나 황해로 북상하는 것으로 보고하는 등 양자강기원 물질이 동중국해 외대륙붕 해역까지 이동이 가능하다는 것이다.

따라서 황해 남부와 동중국해 북부 일부가 포함되는 제주도 서부 해역에 분포하는 퇴적물의 공급지는 주로 (고)황하 하구역의 침식된 황하기원의 물질과 양자강으로부터 운반된 물질이 주를 이루며 이외에 대마난류수 등에 의해 운반된 물질 및 생물기원 물질의 영향도 다소 있는 것으로 사료된다.



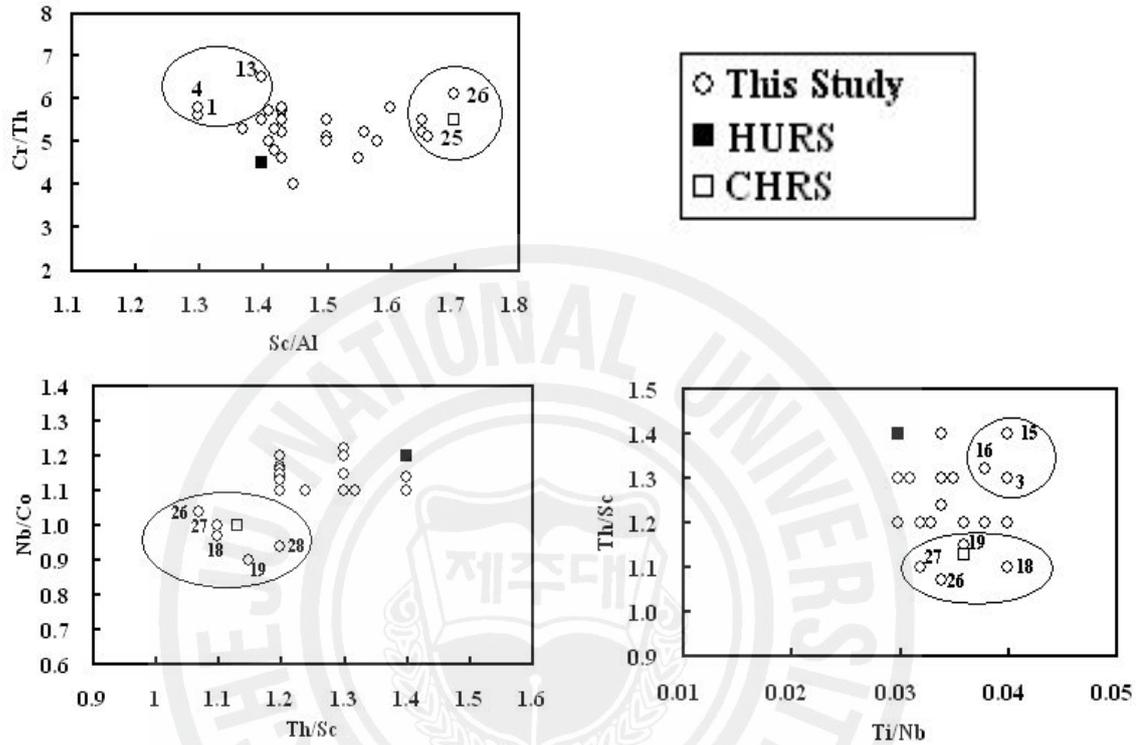


Fig. 17. Discrimination plots Sc/Al vs Cr/Th, Th/Sc vs Nb/Co and Ti/Nb vs Th/Sc. The composition of western part off Jeju Island sediment are originated from the diverse sources, especially from Huanghe and Changjiang rivers sediment.

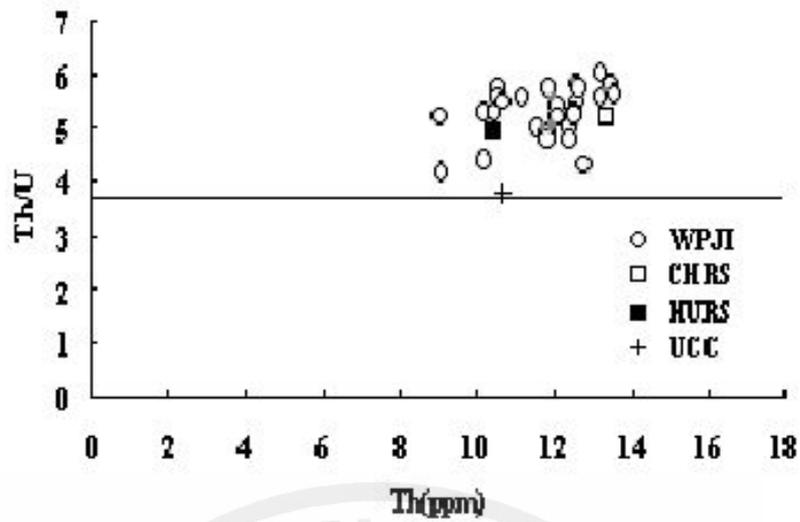


Fig. 18. Th/U versus Th diagram

Note; WPJI: western part off Jeju Island sediment, HURS & CHRS: Huanghe and Changjiang sediment (Yang, et al., 2004), PAAS: Post-Archaen average Australian Sedimentary Rock (McLennan, 1989), UCC: Average Upper Continental Crust (Taylor and McLennan, 1985).

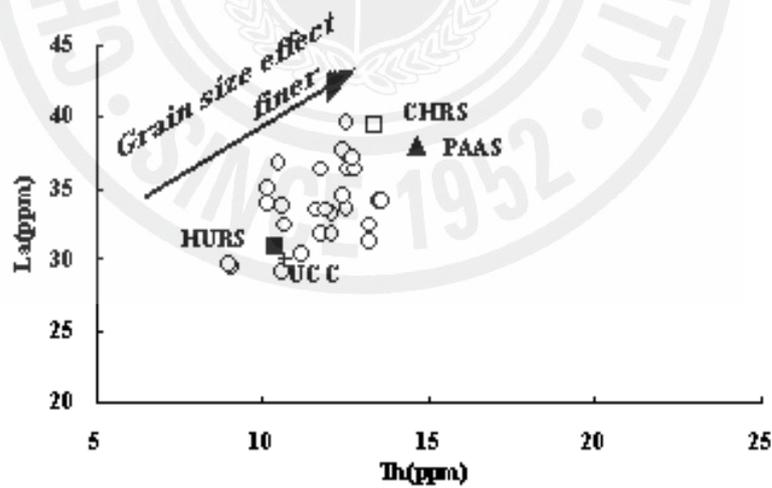


Fig. 19. The relationship between La and Th content diagram.

Note; CHRS & HURS: Changjiang and Huanghe rivers sediment (Yang, et al., 2004), PAAS: Post-Archaen average Australian Sediment rock (McLennan, 1989), UCC: average Upper Continental Crust (Taylor and McLennan, 1985).

IV. 결론

제주도 서부해역 대륙붕지역에 분포하는 표층퇴적물의 입도분석, 유기물 및 탄산염함량, 주원소와 미량원소의 분석을 통한 퇴적물 기원에 대한 본 연구 결과는 다음과 같다.

1. 연구지역 표층퇴적물의 유형은 소량자갈함유니질모래, 니질모래, 사질실트, 사질니토, 사질점토, 점토질모래, 니토 등 총 7개의 유형이 분포하나 크게 보아 주로 니질모래 퇴적상이 분포하는 북동쪽지역, 사질니토 퇴적상이 분포하는 서쪽지역, 니토 퇴적상이 분포하는 북서쪽 끝 지역으로 구분된다.

2. 니질모래 퇴적상의 평균조성은 자갈 0.3%, 모래 61.2%, 실트 14.8%, 점토 23.7%이고, 평균입도는 4.69 Φ 로 극세립질 모래에 해당하며, 사질니토 퇴적상은 모래 36.3%, 실트 28.7%, 점토 35.0%이고, 평균입도는 6.26 Φ 로 세립질 실트이고, 니토 퇴적상은 모래 4.3%, 실트 44.9%, 점토 50.8%이고, 평균입도는 7.57 Φ 로 극세립질 실트에 해당한다.

3. 퇴적물의 탄산염 함량은 0.92~9.75%로 다양한 값을 보이며 동쪽 한반도측이 서쪽 중국 측보다 높은 함유량을 보였다. 퇴적물내 유기탄소 함량은 0.26~1.07%의 범위를 보이며 퇴적물의 평균입도가 감소함에 따라 그 함량이 증가하였고, 북서쪽의 니토대 분포지역에서 최대 함유량을 보였다.

4. 퇴적물 내 C/N 비는 평균 9.42 이다. 이와 같은 비율은 분석한 퇴적물 시료내에 육성기원 유기물보다 해양성기원 유기물이 상대적으로 많이 포함되어 있음을 의미한다. 그러나 동쪽의 몇몇 시료들은 C/N 비가 10 이상인 값을 보여 육성기원 퇴적물이 섞여 있음을 가리킨다.

5. 퇴적물 내 금속원소의 함량은 전반적으로 Al 원소와 밀접한 정의 상관관계를 보여 퇴적물 내 점토광물 함량에 영향을 받고 있으나, Ca와 Sr 원소는 관련성이 미약하였다. 금속원소의 공간 분포에서 Fe/Al, Ti/Al 및 Mn/Al 함량은 연구지역의 남서쪽지역에서 높은 값을 보이는데 이는 양자기원 물질이 연구지역으로 유입되고 있음을 의미하며 Na/Al, Ca/Al 및 Sr/Al 함량은 북동쪽지역에서 높은 함량을 보여 근원지외에 해양생물의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.

6. 본 역 퇴적물의 화학조성 중 $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$, $(Ca-Fe)/Al$ 및 $(Ca-Mg)/K$ 3 개의 지화학적 구분지수 결과 연구지역 퇴적물은 제주도와 한반도에서 기원된 것으로 추정되는 몇 개의 퇴적물 시료(Stn-1,12,15,16)를 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.

7. 연구지역 퇴적물의 Th/U에 대한 Th의 상관관계에서는 UCC의 평균치(3.82)보다 높은 값을 보여 기원지에서 강한 화학적 풍화작용을 받았음을 의미하며, 또한 본 연구지역 퇴적물 중 몇몇 시료들(Stn-20,22,23,28 등)이 양자강 퇴적물 시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보이는데 이는 양자기원 부유퇴적물이 제주도 서부해역으로 공급되고 있음을 의미한다.

8. 표층퇴적물의 화학조성 중 Sc/Al 대 Cr/Th, Th/Sc 대 Nb/Co 및 Ti/Nb 대 Th/Sc 3 개의 지화학적 구분지수에서 제주도 서부해역은 황하와 양자기원 퇴적물이 혼합되어 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), pp. 149-160.
- 박용안, 최진용, 이창복, 김대철, 최광원, 1994. 한국서해 중부해역 대륙붕 퇴적물의 분포와 퇴적작용. 한국해양학회지, 29(4), pp. 357-365.
- 박명호, 김지훈, 서광수, 2005. 제주도 동부지역 제 4 기 신양리층의 지화학적 특성 연구. 지질학회지, 41(1), pp. 19-33.
- 윤정수, 김여상, 2002. 황해 중앙부해역 니질퇴적물의 지화학적 특성 및 퇴적물. 한국제 4기학회지, 16(1), pp. 1-16.
- 윤정수, 임동일, 변종철, 정희수, 2005. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해역 대륙붕 퇴적물의 기원연구. 한국해양학회지, 10, pp. 92-99.
- 윤정수, 변종철, 김여상, 2006. 동중국해 외대륙붕해역 니질퇴적물의 지화학적 특성. 한국지구과학회지, 27(2), pp. 198-208.
- 천중화, 허식, 한상준, 신동혁, 이희일, 김성렬, 2000. 황해 중심부 해역에서 저해수면 시기에 형성된 후기 플라이스토세 산화대층의 특성 및 고해양학적 중요성. 지질학회지, 36(4), pp. 517-528.
- 현상민, 천중화, 이희일, 1999. 시화호의 퇴적환경과 중금속오염. 한국해양학회지, 4(3), pp. 198-207.
- 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, pp. 51-72.
- 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, pp. 43-47.

- Biggs, R. B., 1967. The sediments of Chesapeake Bay in Lauff, ed., *Estuaries*; Washington, D. C, Am. Assoc. Adv. Sci. Publ., 83, pp. 239-260.
- Bordovsky, O. K., 1965. Sources of organic matter in marine basins. *Mar. Geol.*, 3, pp. 5-32.
- Bowen, H. J. M., 1979. *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, London, pp. 333.
- 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, pp. 265-284.
- 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, pp. 721-758.
- Cromet, 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, pp. 2468-2482.
- 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: pp. 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, pp. 283-305.
- Chester, R. and Hughes, M. J. 1969. The trace element geochemistry of a North Pacific pelagic clay core; *Deep Sea Research*, 16; pp. 619-654.
- 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, pp. 763-772.

- Emery, K. O., 1968. Relict sediments on continental shelves of world. *Am. Asso. Pet. Geol.*, 52: pp. 445-464.
- Ergin, M., Kazan, B., Ediger, V., 1996. Source and depositional controls on heavy metal distribution in marine sediments of the Gulf of Iskenderun, Eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 133, pp. 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, pp. 3-27.
- Folk, R. L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hamphill's, pp. 170.
- 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, pp. 285-308.
- Guan, B., 1994. Patterns and structures of the currents in Bohai, Huanghai, and East China Seas. In: Zhou, D., Liang, Y-B., Zeng, C-K.(Eds.), *Oceanology of China Seas*, vol. 1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 17-26.
- 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: pp. 71-73.
- Goldberg, E. D. and Arrhenius, G. O. S. 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 13, pp. 153 – 143.
- Hedges, J. I., and Parker, P. L., 1976. Land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico, *Geochim Cosmochim. Acta*, 40: pp. 1019-1029.
- Ingram, R. L., 1971. Sieve analysis. In; *Procedure in Sedimentary Petrology*: edited by Carrer, R. E., Wiley Interscience, pp. 49-68.
- Keller, G. H. and Prior, D. B. 1986. Sediment dynamics of the Huanghe(Yellow River) delta and neiboring Gulf of Bohai, Peoples Republic of China : project overview. *Geo-Mar. Lett.*, 6, pp. 63-66.

- 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.
- 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: pp. 441-452.
- Li, B., B. K. Park, and D. Kim, 1999. Paleooceanographic records from the Northern shelf of the East China Sea since the Last Glacial Maximum. *J. Korean. Soc. Oceanogr.*, 34: pp. 151-166.
- Lie, H. J. 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Huanghe. *Prog. Oceanog.*, 17, pp. 229-242.
- Lee, C. B. and Na, T.K. 2003. Geochemical discrimination of fine-grained sediments entering the Yellow and East China Seas from the Yangtze, Huanghe and Korean rivers. *Proceeding of the International Symposium on Oceanographic Environmental Change after Completion of the Changjiang Three Gorges Dam*. *Jour. Korean Soc. Ocean.* pp. 99-122.
- 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, pp. 175-188.
- Milliman, J. D., and Meade, R. H. 1983. World-wind delivery of river sediment to the ocean. *Jour. Geol.*, 91, pp. 1-21.
- Milliman, J. D., and Emery, K. O. 1968. Sea levels during the past 35,000 years. *Sciences*, 162, pp. 1121-1123.
- 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, pp. 765-776.

- Muller, P. J. and E. Suess, 1979. Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic carbon in the ocean I. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Res.*, 26, pp. 1347-1362.
- McLennan, S. M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Review Mineralogy*, 21, pp. 170-199.
- Moorby, S. A. 1983. The geochemistry of transitional sediments recovered from the Galapagos hydrothermal mounds field during DSDP Leg 70-implication for mound formation. *Earth and Planetary Science Letter*, 62, pp. 367-376.
- Martin, J. M. and Meybeck, M. 1979. Elemental mass balance of material carried by major world rivers. *Mar. Chem.*, 7, pp. 173-206.
- Milliman, J. D., Beardslay, R. C., Yang, Z. S. and Limebruner, R., 1985. Modern Huanghe derived mud on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms. *Cont. Shelf Res.*, 4, pp. 175-188.
- Moorby, S. A. 1983. The geochemistry of transitional sediments recovered from the Galapagos hydrothermal mounds field during DSDP Leg 70- implication for mound formation. *Earth and Planetary Science Letter*, 62, pp. 367-376.
- 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, pp. 1833-1839.
- 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, pp. 267-282.
- 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.
- Schubel, J. R., Shen, H. T. and Park, M. J. 1984. A comparison of some characteristic sedimentation process of estuaries entering the Yellow Sea. *Proceedings of Korea-U.S. Seminar and Workshop, Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, pp. 286-308.

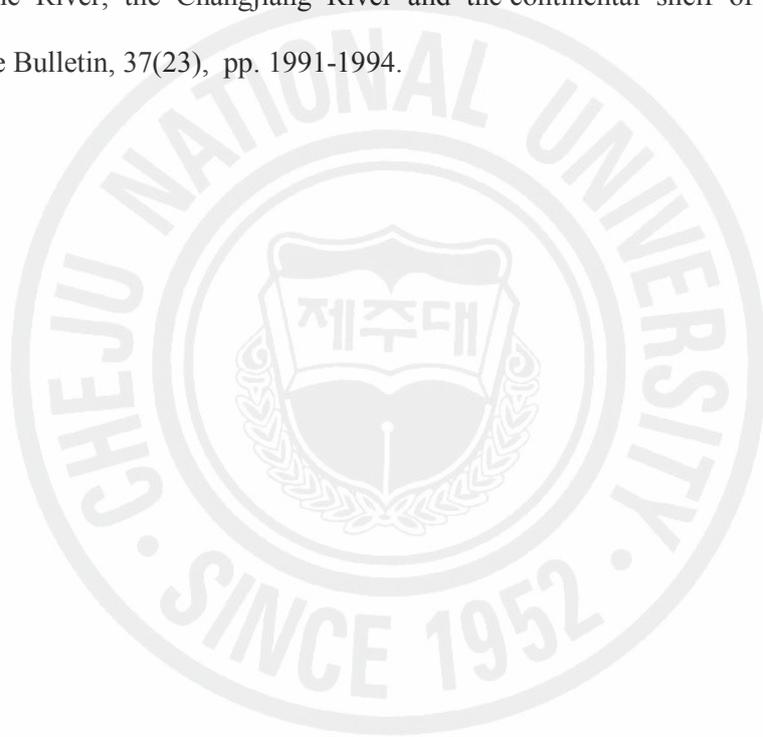
- Saito, Y. and Yang, Z. 1994. The Huanghe River : its water discharge, sediments discharge, and sediment budget. *J. Sed. Soc. Japan*, 40, pp. 7-17.
- Saito, Y. 1998. Sedimentary environment and budget in the East China Sea. *Bull. Coast. Ocean. Japan*, 36(1), pp. 43-58.
- Sawlan, J. J. and Marray, J. W. 1983. Trace metal remobilization in the interstitial waters of red clay and hemipelagic marine sediments. *Earth and Planetary. Science Letter*, 64, pp. 213-230.
- Stein, R., 1990. Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Mar. Let.*, 10, pp. 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, pp. 653-671.
- Taylor S. R. and McLennan, S. K. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, pp. 312.
- 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: pp. 175-192.
- Yang, Z. S. and Milliman, J. D. 1983. Fine-grained sediments of Changjiang and Huanghe Rivers and sediment sources of 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, pp. 436-446.
- Yang, S. and Youn, J. S. 2007. Geochemical compositions and provenance discrimination of the central south Yellow Sea sediments. *Marine Geology*, 243, pp. 229-241.
- Yang, S. Y., Jung, H. S. and Lim, D. I., 2003. A review on provenance discrimination of the Yellow Sea sediments, *Earth-Science Reviews*, 63, pp. 93-120.
- 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, pp. 41-53.

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), pp. 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), pp. 1991-1994.



감사의 글

석사과정 동안 매우 바쁘신 와중에도 불구하고 논문이 나오기까지 끊임없이 지도해주시고 부족한 저를 언제나 믿어주시며 기회를 주신 윤정수 교수님께 머리 숙여 깊은 감사의 마음을 전합니다. 또한 학부시절부터 올바른 길로 갈 수 있도록 지도 편달을 해주신 고유봉, 최영찬, 방익찬, 이준백, 윤석훈 교수님께도 감사를 드립니다.

항상 옆에서 조언과 격려를 아끼지 않으셨던 좌종헌선배님, 김준택선배님, 김창욱선배님, 생태연구실의 승중이형, 물리연구실의 희종이형, 지질연구실의 승철이형과 윤석이형, 근혁이형, 남훈이형, 보경이형, 철홍이형, 홍석이형, 경석이형, 성주형, 재원형에게도 감사의 마음을 전합니다.

때로는 힘든 과정에서도 물심양면으로 도와준 친구 성준, 준호, 지훈이에게도 더없이 고마움을 전하며 대학원 생활을 함께한 수형이, 진석이, 바쁜 와중에도 실험을 함께해준 지질연구실의 후배들에게도 고마움을 전합니다.

또한, 따뜻한 말을 아낌없이 주신 저를 아는 많은 분들께도 감사의 마음을 전하며 비롯 시작에 불구하고지만 좋은 열매를 맺을 수 있도록 더욱더 노력하는 사람이 되겠습니다.

끝으로 대학원 진학을 비롯하여 항상 믿어주시고, 사랑과 정성으로 염려해주시는 부모님께 깊이 감사드리고, 아직도 손주 건강을 걱정하시는 할머니와 친척들 언제나 밝은 모습을 잃지 않고 힘든 여건 속에서도 열심히 사회생활을 하고 있는 내 동생 태웅이와 함께 기쁨을 나누고 싶습니다.