

석사학위논문

동중국해 외대륙붕 표층퇴적물 내 금속원소 분포특성



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
제주대학교 대학원

해 양 학 과

이 승 철

2003년 12월

동중국해 외대륙붕 표층퇴적물 내 금속원소 분포특성

지도교수 윤정수

이 승 철

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.



이 승 철의 이학 석사학위 논문을 인준함

審査委員長 윤 석 훈 ①

委 員 최 영 찬 ①

委 員 윤 정 수 ①

제주대학교 대학원

2003년 12월

Characteristics of metallic elements distribution
in the outer-shelf sediments
of the East China Sea

Seung-Cheul Lee
(Supervised by Professor Jeung-Su Youn)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE



DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

DECEMBER. 2003.

목 차

List of figures and table	i
Summary	iii
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 입도분석	3
2. 유기탄소와 탄산염분석	5
3. 퇴적물 내 금속원소의 측정	5
III. 결과 및 고찰	6
1. 표층퇴적물의 분포 특성	6
2. 퇴적물 내 탄산염과 유기탄소의 퇴적	10
3. 금속원소의 함량과 공간분포	12
3-1. Al, Fe, Mg, K, Mn	17
3-2. Ba, Ti	21
3-3. Na, Ca, Sr	24
4. 퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정	26
IV. 결론	37
참 고 문 헌	39
감사의 글	45

List of Figures and Table

Fig. 1. Study area and sampling sites.	4
Fig. 2. Map showing surface sediment distribution in the outer-shelf of the East China Sea.	8
Fig. 3. Distribution of surface sediment mean grain size.	9
Fig. 4. Clay(<2 μ m) content of the bottom sediments in the study area.	9
Fig. 5. Areal distribution of the CaCO ₃ and the organic carbon on outer-shelf sediments of the East China Sea.	11
Fig. 6. Relationships between the organic matter, metal contents and mean-grain size.	16
Fig. 7. Areal distribution of Al and Fe on the outer-shelf sediments of the outer shelf sediments of East China Sea..	18
Fig. 8. Areal distribution of Mg and K on the outer-shelf sediments of the outer shelf sediments of East China Sea.	20
Fig. 9. Areal distribution of Mn and Ba on the outer-shelf sediments of the outer shelf sediments of East China Sea.	22
Fig. 10. Areal distribution of Ti and Na on the outer-shelf sediments of the outer shelf sediments of East China Sea.	23
Fig. 11. Areal distribution of Ca and Sr on the outer-shelf sediments of the outer shelf sediments of East China Sea.	25
Fig. 12. Element concentration normalized value to the average Upper Continental Crust(UCC; Taylor and McLennan, 1985), together with the data of Lee and Na(2003).	27
Fig. 13. Huanghe/Changjiang concentration ratio of each chemical elements(Lee and Na, 2003).	28
Fig. 14. The comparison of mean values of the each chemical element concentrations.	31

Fig. 15. The comparison of Element/Al values of the each chemical element concentrations.	31
Fig. 16. The relationship between Ca and Sr content diagram.	32
Fig. 17. The value of the UCC, Huanghe and Changjiang rivers sediment, and outer-shelf sediment(present study) were plotted together for comparison.	34
Table. 1. Sediment type, textural parameters and organic material content.	7
Table. 2. Abundance elements in the surface sediment from the study area, the UCC.	14
Table. 3. The calculation result of correlation coefficients for the element concentration in the outer-shelf sediments.	15
Table. 4. Abundance elements in the outer-shelf sediments and adjacent river.	30
Table. 5. Comparison of element to Al ratios(E/Al) from the outer-shelf sediment and two chinese rivers.	30
Table. 6. The calculation result of the Index of Compositional Variability.	36

Summary

Characteristics of metallic elements distribution in the outer-shelf sediments of the East China Sea

Twelve surface sediment samples collected from the outer-shelf area of the East China Sea were analyzed for geochemical composition and calcium carbonate content. The results are compared with the previously published the Huanghe and the Changjiang rivers geochemical data in order to understand provenance of sediments in the outer-shelf area of the East China Sea.

The silty sand facies exist in the northwestern tip of the study area and the mud patch is distributed in the central area. The sandy mud facies are widely distributed in the East China Sea. The content of calcium carbonate range from 3.9 to 11.5%, its distribution trends to be more concentration on the southeastern muddy sediments and gradually decreases toward the northwestern region. The content of organic carbon ranges from 0.30 to 0.64% in the sediment showed increase with the decrease of grain-size and that is dominantly high concentration in the central mud patch region.

The highest concentration of Ba is found in the northwestern parts which tends to gradually increased toward the southern Yellow Sea direction from the study area. its presumed that they are largely transported by the Huanghe River in the past and present. The element content such as Fe and Mn are enriches in the western part of the central region and it seems to be partly influence by the Changjiang Diluted Plume. The highest concentration of Na, Ca and Sr are found in the northeastern deep part and also partly influenced by the biological activity in this region. The element contents such as Al, Fe, Mg and Mn in the study area are higher than those of Huanghe sediments and lower than the Changjiang sediments, but these values showed close to resemblance content trends that of

the Changjiang sediment. The concentration of the Ba, Ti and Mn/Fe ratio are lower than in the outer-shelf sediment than those of the Huanghe and Changjiang rivers sediments, However these element values showed more or less similar to that of the Huanghe sediments. The content of K, Na, Ca, Sr, Ca/Ti and Ca/K in the outer-shelf sediments of the East China Sea are more abundant than those of the Huanghe and Changjiang sediments, which is believed to be a partly derived from the biological deposits by the Yellow Sea Warm Current.

Therefore the terrigenous material sources in the outer-shelf sediments of the East China Sea is thought be multi-source.



I. 서론

본 조사지역은 북위 31°00' ~ 32°30', 동경 125°30' ~ 126°30'에 위치한 동중국해역의 외대륙붕 지역으로서 주변 육상으로부터 다양하게 퇴적물을 공급받고 있는 지역이다. 동중국해는 중국의 양자강과 제주도-일본 구주 및 류구열도-대만을 연결하는 선 안쪽의 광범위한 바다로 대륙붕, 오키나와 곡분, 류구해구등 독특한 해저지형을 이루고 있다(Saito, 1998). 동중국해 북부대륙붕지역은 중국 양자강에서 유입되는 담수의 영향을 직접 받는 해역으로 대량의 퇴적물이 양자강과 (고)황하강을 통해 유입되어 쌓이는데, 조사지역 서쪽에 위치하는 양자강은 길이가 약 6300km, 유역면적 $1.94 \times 10^6 \text{km}^2$ 인 중국대륙에서 가장 큰 강으로서 회말라야 고원지대에서 발원하여 중국에서 인구가 가장 많은 지역을 관류하여 동중국해로 흘러가며, 동중국해 대륙붕 지역 퇴적물은 대부분 양자강에 그 근원을 두고 있다. 연간 담수와 퇴적물 유출량은 $9.24 \times 10^{11} \text{m}^3$, $4.86 \times 10^8 \text{ton}$ 정도이고 이들 담수와 부유퇴적물 유출량은 계절적으로 심한 편차를 보이며 전체 배출량의 약 70% 정도가 주로 홍수기간인 5월에서 10월 사이에 이루어 지고 있다(Schubel et al., 1984, Milliman and Meade, 1983).

연구지역 퇴적물의 이동과 확산에 영향을 미치는 것으로 예상되는 해류로서는 발해해협을 지나 산둥반도 동쪽 해안선을 따라 남하하는 황해연안류, 흑조(Kurushio)에서 분기해 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입되는 황해난류수, 고황하 삼각주 해역에서 남동 및 북동진하는 장수연안류, 여름철 양자강 하구역에서 북동진하여 제주도 서쪽해역을 지나 황해 내부로 북상하는 양자강 희석수 등으로 보고되고 있다(Lie, 1986; Zhao et al., 1990).

연구해역을 포함하는 동중국해역의 표층에는 제 4기말동안의 그에 수반된 해수면 변동에 의한 잔류퇴적물(relict sediment)과 현재의 중국대륙 및 주변 육지로부터 유입되는 현생퇴적물이 혼합되어 분포하고 있다(Emery, 1968; Milliman and Emery, 1968).

동중국해 퇴적물에 대한 지화학적 및 고환경변화의 연구로서는 양자강과 그 주변 대륙붕 해역에 대해 해양학의 제 분야에 대한 종합조사(1980~1981)가 중국-미국합동

연구를 선두로 하여, Yang and Milliman(1983)은 해역퇴적물에서 황하와 양자강 기원 퇴적물의 구별에는 점토광물 조성, 광물 함량 및 화학조성의 특징에 의해 동중국해에 분포하는 퇴적물을 황하기원형과 양자강기원형으로 구분하는 연구를 하였고, 그 외 남해 대륙붕 표층퇴적물 중 중금속 원소의 분포특성(조 외, 1993), 양자강 동부 하구역 퇴적물에 대한 중금속원소의 지화학적 연구(Wang et al., 1983), 양자강 삼각주 해역 표층퇴적물의 지화학적 특성(Bukly et al., 1983), 양자강 하구역 퇴적물 내 Pb, Cu, Cd원소들의 퇴적 기작(Chen et al., 1983), 제주도 서남해역 표층 퇴적물의 특성(윤 외, 1989), 제주도 남방해역 표층 퇴적물 특성(윤과고, 1987), 황하강, 양자강 및 중국 대륙붕해역 퇴적물 내 원소성분들의 화학적 특성(Zhao and Yan, 1992), 동중국해 대륙붕 지역에서 동위원소를 이용으로 퇴적물 및 퇴적 기작 연구(DeMaster et al., 1985) 및 마지막 해빙기 해침 이후 동중국해 북부해역과 황해의 고환경 변화 연구(남 등, 2003)등이 많은 논문이 활발히 발표되었다.

따라서 본 연구는 동중국해 외대륙붕 지역에서 채취한 12개 표층퇴적물 시료에 대한 입도 분석과 지화학 분석을 통하여 원소들의 공간적 분포특성과 분포에 영향을 미치는 조절요인을 비롯하여 기 연구 보고된 황하, 양자강 퇴적물 등의 지화학 값과 비교 고찰하여 이 지역에 분포하는 퇴적물의 지화학적 기원과 특성 파악에 목적을 두었다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 채취

분석시료는 2000년 7월 7일부터 18일 12일간에 걸쳐 북위 31°00′ ~ 32°30′, 동경 125°30′ ~ 126°30′에 위치한 동중국해 외대륙붕 해역에서 표층 12개 정점에 대해 제주대학교 실습선 아라호를 이용하여 채취하였다(Fig. 1).

표층퇴적물은 Van Veen Grab Sampler를 이용하여 채취하였으며 입도분석에 필요한 시료와 구별하여 화학분석을 위한 시료를 따로 취하였다. 특히, 화학분석용 시료는 오염방지를 위해 표층 수mm 정도를 제거한 후 보관하였다. 화학분석용으로 준비된 시료는 모두 자연건조 시킨 후, porcelain mortar를 이용하여 분말화 시킨 후 분석에 대비하였다.



2. 시료의 분석

1) 입도분석

퇴적물 입도 분석은 Ingram(1971) 과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 시료 40-50g를 취하여 회석법에 의하여 용해성 염분을 제거하여 시료를 6% H₂O₂로 유기물을 제거하였다. 유기물이 제거된 시료에 10% HCl로 패각편을 제거한 후에 0.0625mm(230mech)의 체를 사용하여 습식체질한 후 조립부와 세립부로 나누어 조립부는 1φ 간격으로 Ro-tap sieve shaker를 사용하여 건식 체질한 후 입도별 중량백분율을 구하였다. 세립부는 확산제 calgon(sodium hexametaphosphate) 2g를 첨가하여 시료를 확산시킨 후 피펫방법에 의해 1φ간격으로 분석한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 이 결과를 Folk and Ward(1957)의 도식법에 따라 평균치, 분급, 왜도, 첨도 등의 조직 표준치를 계산하였고 Folk(1968)의 삼각도표에 의해 퇴적물 유형을 분류하였다.

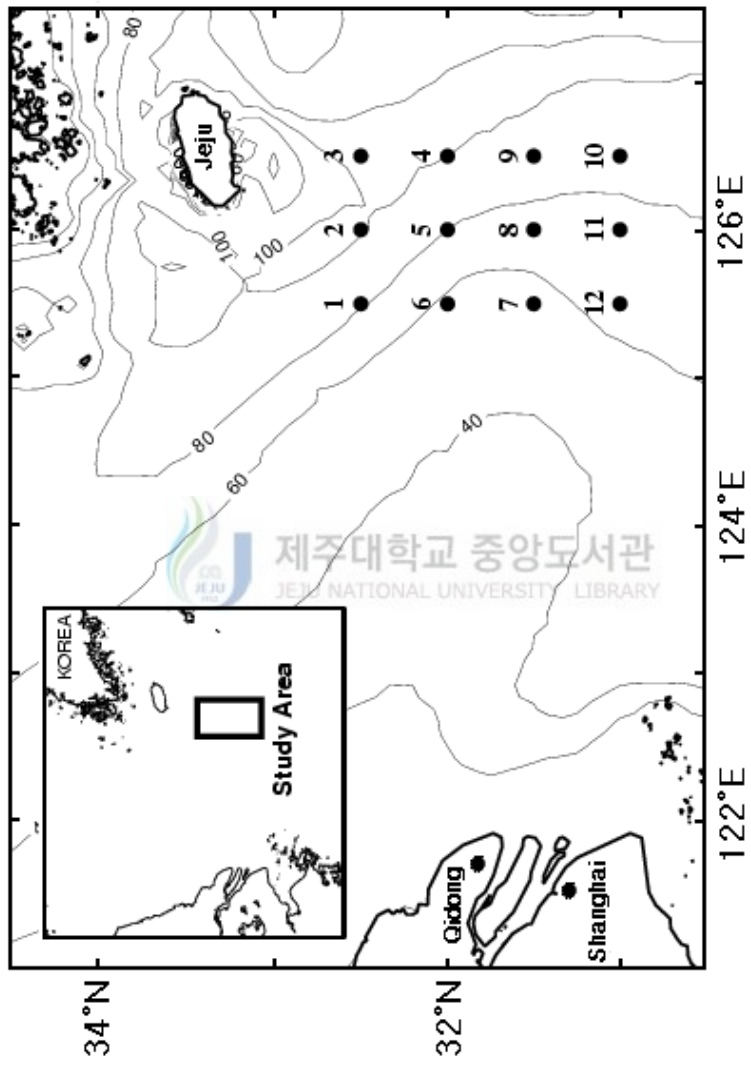


Fig. 1. Study area and sampling sites.

2) 유기탄소와 탄산염분석

퇴적물 내에 포함된 유기물의 측정은 105℃에서 24시간 건조한 후 곱게 분말화한 시료에서 CHN 분석기를 사용하여 직접 총탄소 함량을 측정하였다. 총탄소를 측정한 다음 같은 시료를 이용하여 1N 염산으로 무기탄소를 제거한 후 총유기탄소 함량을 측정하였다. 탄산염 함량은 총탄소와 총유기탄소와의 함량차에 의해 다음과 같은 계산식에 의해 계산하였다(현 등, 1999).

$$\text{탄산염 함량(\%)} = (\text{총탄소\%} - \text{총유기탄소\%}) \times 8.33$$

3) 퇴적물 내 금속원소의 측정

금속 원소는 혼합산 추출법을 이용하여 측정하였으며(Kitano and Hujiyoshi, 1980), 잘 분말된 시료 약 0.2g를 정량 하여 테플론범(Teflon bomb)에 넣고, 질산(HNO₃), 과염소산(HClO₄), 불산(HF)을 각각 3, 1, 1 ml씩 첨가해서 밀봉한 채로 가열판 위에 200℃를 유지하면서 약 6시간 동안 반응을 시킨 다음, 뚜껑을 개봉하여 산을 증발시켰다. 이 과정을 세 번 반복하여 잔류물을 완전히 용해시킨 후, 증발된 시료에 1M HNO₃을 7-8ml 정도로 희석 후 20-30분간 약 50℃로 가열 후에 20ml로 만들어 100배 희석하였다. 금속원소 농도 측정은 원소 10개 항목(Al, Fe, Ti, Mg, Na, K, Mn, Ca, Sr, Ba)에 대해 한국기초과학연구원에서 유도결합 플라즈마 원자흡광분석기(ICP)를 이용하였다. 신뢰도를 높이기 위해 3번 측정하여 평균값으로 보정했으며 변화 폭이 큰 원소는 재 실험하여 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 표층퇴적물의 분포 특성

입도분석에 의한 백분율 도수분포로부터 도식법(Folk and Ward, 1957)에 따라 평균치(mean), 분급도(sorting), 왜도(skewness), 첨도(kurtosis) 등의 조직표준치를 계산하였고, Folk(1968)의 삼각도표에 의한 퇴적물 유형을 분류하였다(Table 1).

연구지역 표층퇴적상의 유형은 니토(mud), 실트질모래(silty sand), 사질니토(sandy mud) 등 3개 유형의 분포를 보이거나 사질니토 퇴적상과 니토퇴적상 분포지역으로 분류할 수 있다(Fig. 2). 실트질 모래 퇴적상은 연구지역 북서쪽 끝(st.1)에 분포하며 평균 조성은 모래 50.4%, 실트 16.7%, 점토 32.9% 이고, 평균입도는 4.13 ϕ 로 조립실트에 해당하며 분급도는 3.56 ϕ 로 매우 불량한 편이다. 사질 니토 퇴적상은 중앙부 지역을 제외한 연구지역 전역에 걸쳐 광범위한 분포를 보이며, 평균조성은 모래 28.0%, 실트 29.9%, 점토 42.1%이며, 평균입도는 5.68 ϕ 로 중립실트에 해당하며 분급도는 3.3 ϕ 로 역시 불량한 편이다. 니토 퇴적상은 연구지역 중앙부에 분포하며 이의 평균조성은 모래 3.2%, 실트 39.1%, 점토 57.7%이고, 평균입도는 7.19 ϕ 로 세립실트에 해당하며 분급도는 2.4 ϕ 로 다소 불량하나 주변 퇴적물보다 좋은 편이다. 이 니토대(mud patch) 퇴적층의 두께는 10~12cm 정도이고, 잔류해빈사(old-littoral sand) 위를 덮고 있으며 점토광물 중 smectite의 함량과 중광물 중 garnet를 많이 함유하며 spora - pollen - alga 구성에 근거하여 이곳의 니토층은 (고)황하 하구역의 침식된 물질이 장수연안류에 의해 운반된 황하기원 퇴적물로 보고 되었으나(Yang and Milliman, 1983; Su et al., 1983), 아직까지 근원지와 퇴적 기작에 대하여는 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다.

Fig. 3과 4는 연구지역 표층퇴적물의 평균입도치와 점토함유량을 나타낸 것이다. 그림에 제시된 바와 같이 본 역 중앙부에는 6~7 ϕ 인 중립질 실트에서 세립질 실트가 우세한 분포를 보이며 퇴적물 내 점토함량은 50%이상을 차지하고 있다. 중앙부에서 멀어짐에 따라 퇴적물의 입도는 5 ϕ 이하로 조립질화 되며 점토함유량도 40%이하로

Table 1. Sediment type, textural parameters and organic material content.

Region	St.	Sediment composition			Classification	Textural parameters				Organic matter	
		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)		Mean (Mz)	Sorting (σ)	Skewness (SK ₁)	Kurtosis (K _G)	Org. C (%)	CaCO ₃ (%)
	1	50.4	32.9	16.7	zS	4.13	3.56	0.56	0.56	0.30	3.9
	2	22.8	37.1	40.1	sM	5.50	3.30	-0.02	0.65	0.43	9.1
	3	35.8	26.2	38.0	sM	5.35	3.17	0.07	0.52	0.56	7.3
	4	23.1	31.1	45.8	sM	6.00	3.22	-0.24	0.61	0.50	4.5
	5	2.7	39.3	58.0	M	6.99	2.64	-0.36	0.48	0.58	8.7
Outer-Shelf	6	17.9	29.2	52.9	sM	6.32	3.18	-0.36	0.62	0.44	6.0
Sediments	7	34.7	253.	40.0	sM	5.63	3.24	-0.10	0.48	0.42	5.6
(OSS)	8	1.8	38.5	59.7	M	7.57	2.07	-0.12	0.73	0.61	9.0
	9	5.0	39.5	55.5	M	7.00	2.46	-0.29	0.63	0.64	11.5
	10	28.4	29.4	42.3	sM	5.80	3.37	-0.12	0.53	0.55	10.7
	11	34.3	28.2	37.5	sM	5.55	3.28	0.02	0.51	0.54	6.7
	12	27.1	32.6	40.2	sM	5.85	3.25	-0.11	0.52	0.43	8.3
	Mean	23.7	31.1	45.2		5.93	3.06	-0.10	0.57	0.50	7.61

NOTE. Mz : mean grain size, σ : sorting, Sk : skewness, K_G : kurtosis
zS : silty sand, sM : sandy mud, M : mud, Org.C : organic carbon

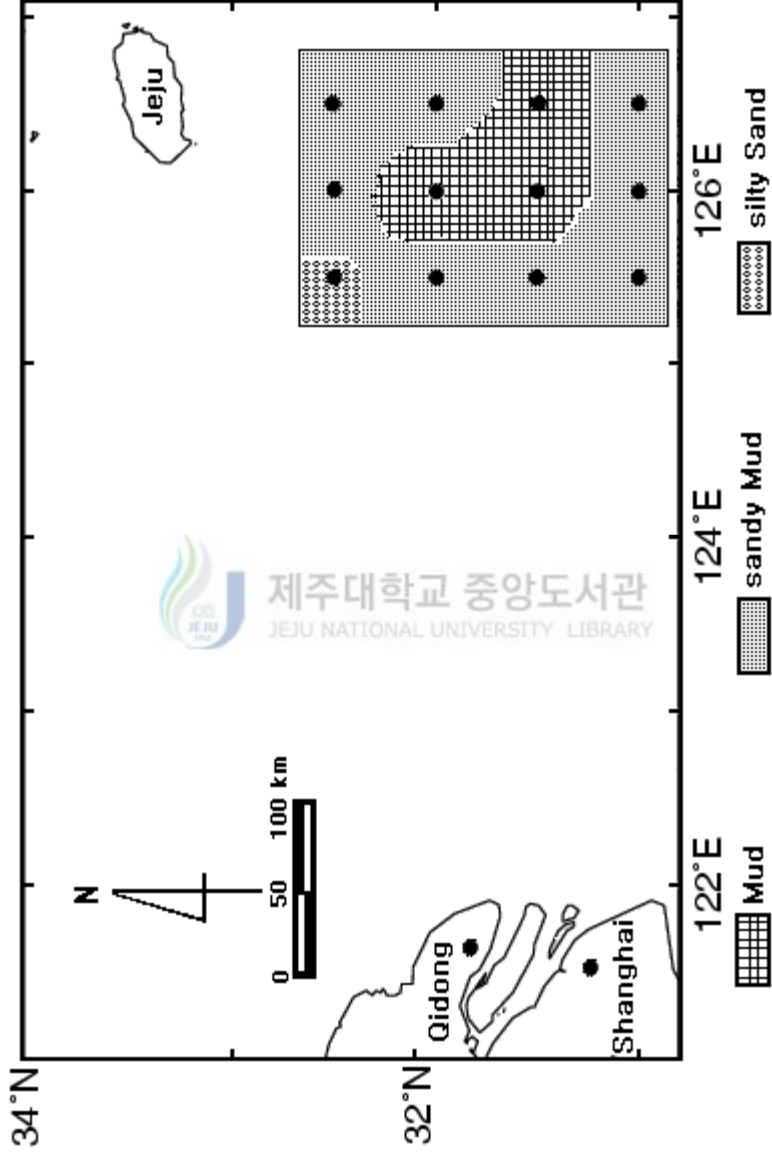


Fig. 2. Map showing surface sediment distribution in the outer shelf of the East China Sea.

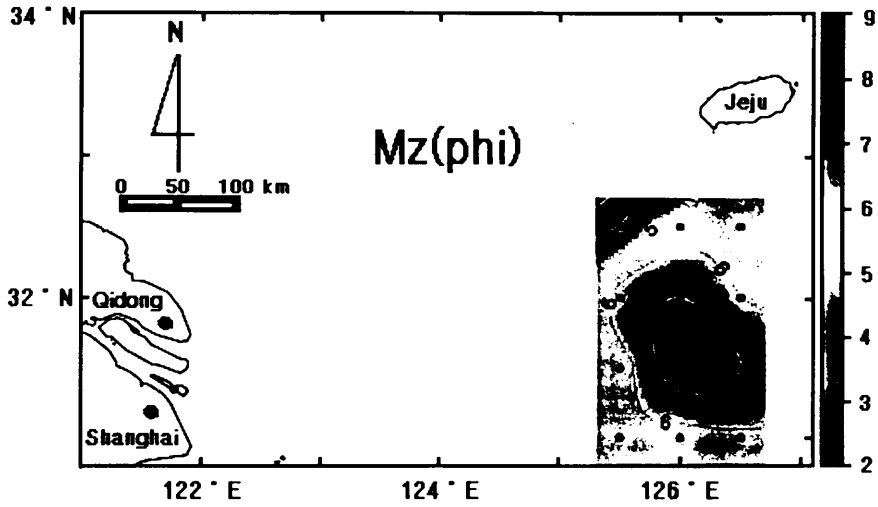


Fig.3. Distribution of surface sediments mean grain size.

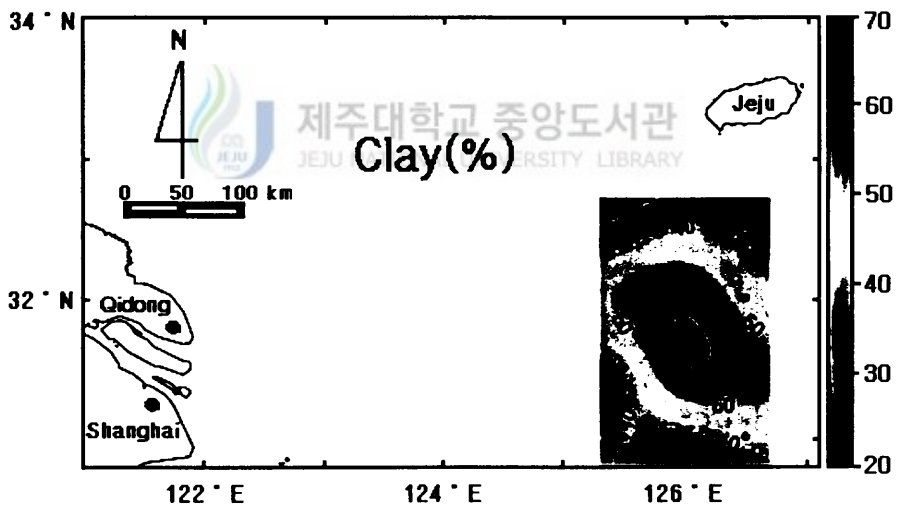


Fig.4. Clay(<2 μ m) contents of the bottom sediments in the study area.

감소하고 있는 분포를 보여 연구지역 중앙부의 니토 퇴적상 분포지역은 황해난류와 양자강하구역 북쪽지역에서 남동방향으로 흐르는 장수연안류에 의해 운반되는 실트질 물질의 퇴적이 진행되고 있는 와류가 발생하는 전선대 지역으로 알려져 있다(Su et al., 1983).

2. 퇴적물 내 탄산염과 유기탄소의 퇴적

연구지역 표층 퇴적물 내의 탄산염(CaCO_3)함량은 3.9~11.5%(평균 7.6%)의 값을 나타내며 수심의 증가함에 따라 함량치도 증가하는 경향을 보인다(Fig. 5-A). 수심이 80m 이상이며 평균입도가 6 ϕ 이상인 니토질 퇴적상이 분포하는 남동쪽 지역은 10% 이상의 최대 함량치를 보이고 수심이 80m 미만이고 평균입도가 6 ϕ 이하인 북서쪽 지역은 탄산염 함량이 6% 미만을 보인다. 퇴적상에 따른 탄산염함량은 실트질 모래 내의 탄산염함량은 3.9%로 최소값을 보이고, 니토 퇴적상 내의 평균 함량은 9.7%로 최대값을 보이며 사질니토 퇴적상 내의 평균 함량 7.3%로 실트질모래 보다 1.9배 이상 높다. 이처럼 본 역 퇴적물 중 탄산염 함량은 일반적인 경향과는 상반되게 꽤각편을 많이 함유하는 사질니토 퇴적물이 분포하는 지역보다 니토 퇴적상(mud patch)이 분포하는 중앙부 지역에서 높은 함유량을 보인다(Fig. 5-A). 퇴적물 내 탄산염 함량을 조절하는 요인으로는 수괴 내에서 생물생산력에 의한 공급, 꽤각편 등이 퇴적된 후 파쇄·용해 작용 및 육상으로부터의 강을 통한 유입 등으로 알려져 있다(Zhu et al., 1990). 따라서 동중국해 외대륙붕 지역의 퇴적물에서 탄산염 함량이 세립질 퇴적물이 조립질 퇴적물보다 높은 함량을 나타내는 현상에 대하여는 Niino and Emery(1961)는 황해와 동중국해 세립질 퇴적물에서 유공충각이 탄산염 물질의 중요한 구성성분임을 보고하였다. 그러나 중국 북부지역 황토층에서 기원한 황하기원 퇴적물에는 다량의 탄산염 광물을 함유하고 있음을 고려할 때(Yang and Milliman, 1983; Milliman et al., 1985), 연구지역 니질 퇴적물에서 나타나는 높은 탄산염 함량은 (고)황하기원 물질의 영향을 배제할 수 없다. 즉 동중국해 외대륙붕역의 니토퇴적상 분포지역은 특성을 달리하는 수괴(황해난류수, 중국대륙연안수, 장수연안류 등)들이 만나서 와류가 발생하는 생물생산력이 활발한 전선대 지역으로 복합기원 퇴적물이 퇴적되고 있는 지역으로 알려져 있다(Qin and Li, 1983; Zhu et al., 1990). 따라서 장수연안지역에 분포하고 있는 (고)

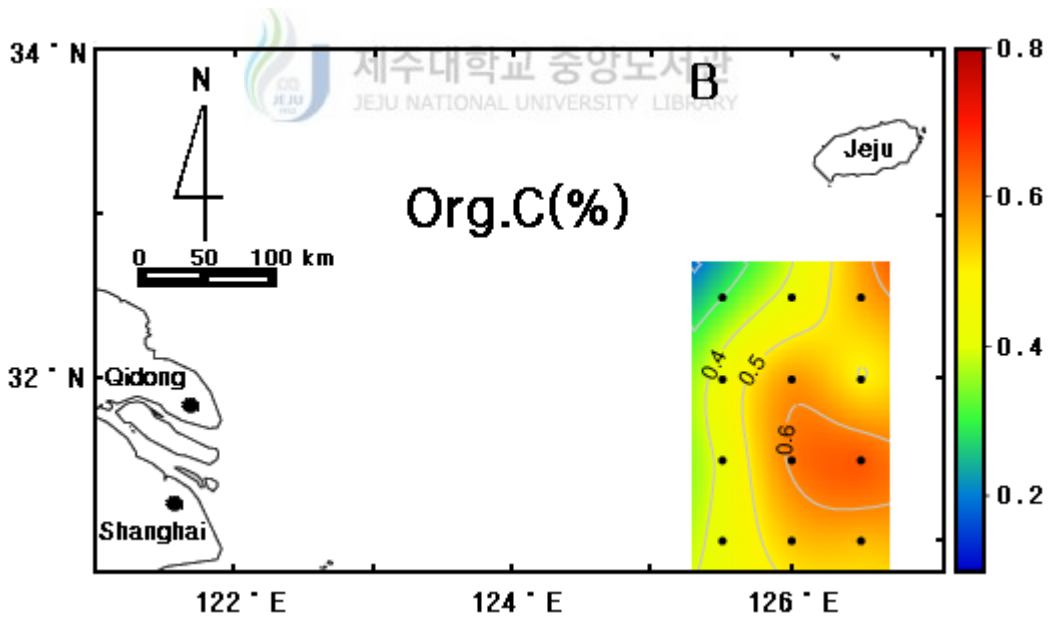
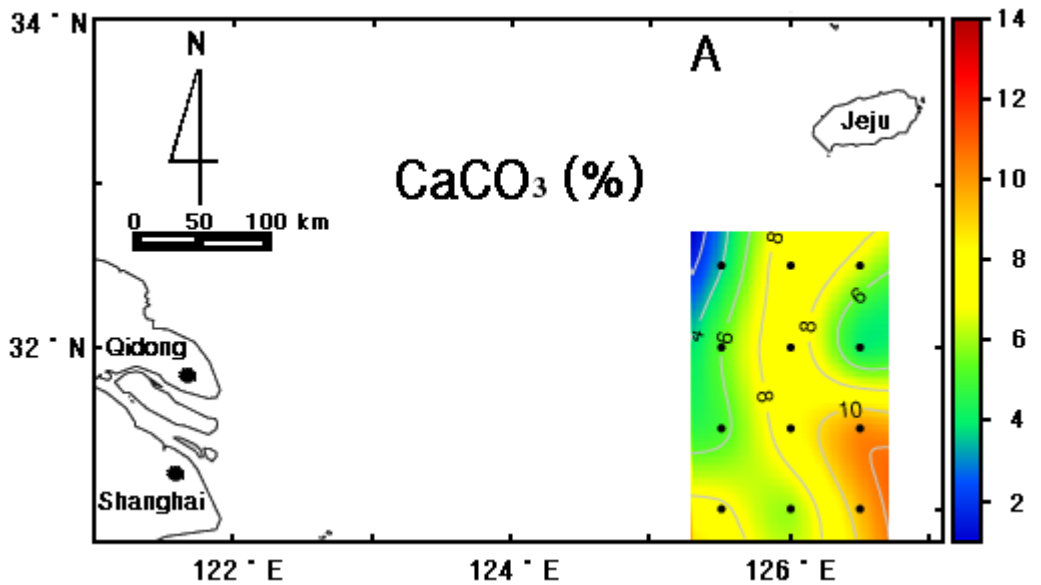


Fig. 5. Areal distribution of the CaCO_3 and the organic carbon on outer-shelf sediments of the East China Sea.

황하기원 삼각주 퇴적물이 장수연안류 등에 의해 황해 중앙부 해역과 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 운반되고 있는 것이다(Milliman et al., 1985)

해수 중 유기물 근원은 주로 해양 자체 내에서 이루어지는 생물학적 활동에 의한 것이며 육상으로부터 공급은 미미한 것으로 알려져 있다(Heade, 1975). 해수 내 용존 형태의 유기물은 주로 점토입자에 흡착되어 입자형태로 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 입도와와의 관계는 양호한 상관관계가 성립함이 보고되었다(Bordovsky, 1965). 본 조사지역 표층퇴적물 내 유기탄소 함량은 0.30~0.64% (평균 0.50%)의 범위를 보이며(Table 1), 그 지역적 분포는 니토대가 분포하는 중앙부 지역에서 0.60% 이상의 최고 함량치를 보이고, 중앙부에서 실트질 모래가 분포하는 북서쪽으로 향함에 따라 퇴적물 내 유기탄소 함량이 점차 감소하는 경향을 보인다(Fig. 5-B), 이는 전술한 바와 같이 본역 중앙부의 니토대(mud patch) 분포지역은 특성을 달리하는 수괴 및 해류들이 만나는 전선대지역으로 생물생산력이 활발하기 때문으로 해석된다. 퇴적물 유형에 따른 유기탄소 함량은 실트질모래 퇴적상에서는 0.30%로 최소값을 보이고, 사질니토 퇴적상에서는 0.48%이며, 니토 퇴적상에서는 평균 0.61%의 최대 함유량을 보여 세립한 퇴적물에서 높은 유기탄소 함량치를 보이고 있다(Table 1). 유기탄소 함량과 평균입도와의 관계에서는 상관계수가 $R=0.74$ 이상으로 밀접한 정의 상관관계를 보이며 실트질모래나 사질니토 퇴적상보다 니토형 퇴적상에서 높은 함량치를 보이고 있다(Fig. 6-L). 이는 퇴적물이 조립질보다 세립질에서 표면적이 크므로 흡착력이 크기 때문인 것으로 알려진 결과 및 퇴적물 내 유기탄소 함량은 점토질이 풍부한 퇴적물에서가 높은 함량을 보인다는 연구 결과와도 일치하고 있다(Sawlan and Murray, 1983; Bordovsky, 1965).

3. 금속원소의 함량과 공간분포

퇴적물 내 금속원소들의 함량변화의 물리적 요인은 입도와 관련되며 평균 입도가 작아질수록 표면적이 증가하여 흡착률이 커지므로 세립질퇴적상이 조립질퇴적상 보다 금속원소의 농도는 증가하는 것으로 알려져 있다(Sawlan and Murray, 1983). 지화학적

요인인 원소들의 치환과 흡착으로서는 점토광물 및 유기물 등이 있고 이런 기작을 통해 해수 중 화학원소를 제거 및 공침하므로써 퇴적에 관여한다(조, 1994). 특히 입도의존도가 큰 원소들(예; Fe, Cr, Ni, Cu, Zn)은 퇴적물의 세립성분인 점토광물 자체에서 함량이 높은 원소이며 이는 주로 전이 금속원소들로서 퇴적물의 입도에 따른 이들 원소의 함량변화는 많은 연구를 해왔다(Calvert, 1976; Salomons and Förstner, 1984; Horowitz, 1991). 또한 금속원소의 함유량 및 존재 형태를 증명할 수 있는 것은 크게 유기물 속에 포함된 함량과 흡착부분, 광물 격자부분 및 금속산화물 또는 수산화물 등 여러 요인이 작용된다고 보고된바 있다(Gibbs, 1977).

연구지역 12개 퇴적물에서 측정된 금속원소의 평균값은 Al : 7.2%, Fe : 3.5%, Ti : 0.35%, Ca : 5.9%, Mg : 1.5%, K : 2.3%, Na : 1.9%, Mn : 570ppm, Sr : 255ppm, Ba : 402ppm 등으로 나타났다. 따라서 본 연구지역 퇴적물에서 측정한 10종의 금속원소 함량을 상부대륙성지각 혈암(shales)의 평균 화학조성과 비교할 때 Ca, Mg 및 Ti원소를 제외한 나머지 원소들은 본 연구지역이 낮은 함량치를 보였다(Table 2 ; Taylor and McLennan, 1985; Lee and Na, 2003).

퇴적물 입도에 따른 금속원소의 함량변화를 살펴보기 위해 입도와 관계 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 분석된 금속 원소들 중에서 Al, Fe, Mg 및 K함량은 퇴적물 입도와 매우 밀접한 정의 직선상관관계($r=0.71\sim0.92$)를 나타내며, Mn, Na 및 Ti원소도 상관계수 $r=0.38\sim0.69$ 로 퇴적물 입도와 비교적 양호한 관련성을 보여 입도가 세립화함에 따라 그 농도가 증가하는 경향을 보여 퇴적물 입도가 연구지역에서의 이들 원소의 농도를 조절하는 중요한 요인 중 하나로 작용하고 있음을 의미한다. 한편 Sr, Ca 및 Ba의 함량은 퇴적물 입도와 매우 미미하거나 부의 직선 상관관계($r=-0.08\sim0.15$)를 보여 이는 입도 이외에 퇴적물 내 금속함량을 조절하는 다른 요인이 작용했음을 시사한다. 즉 퇴적물 내 Ca과 Sr 농도는 유공충각이나 코코리스와 같은 탄산염 물질이 주 구성 성분임이 보고되어(Turekian and Wedepohl, 1961), 본 연구지역 퇴적물 내 Sr, Ca농도는 입도 이외에 해양생물의 영향을 받고 있음을 의미한다. 따라서 상기 원소들의 공간적 분포 형태가 서로 비슷한 원소들끼리 한데 묶어 그 특징을 기술하면 다음과 같다.

Table 2. Abundance elements in the surface sediment from the study area and the UCC(Taylor and McLennan, 1985).

Region	St.	Al (%)	Fe (%)	Ca (%)	K (%)	Na (%)	Mg (%)	Ti (%)	Mn (ppm)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Mz (φ)
	1	5.3	2.1	3.9	2.1	1.6	0.9	0.37	340	430	190	4.13
	2	7.0	3.1	7.0	2.3	1.8	1.3	0.23	600	414	310	5.35
	3	5.6	2.5	9.3	1.9	1.8	1.2	0.28	500	320	430	5.50
	4	6.5	2.9	7.7	2.1	1.9	1.3	0.31	430	383	330	6.00
	5	8.8	4.2	5.2	2.8	2.0	1.8	0.41	650	429	220	6.99
Outer-Shelf	6	8.2	4.0	4.6	2.6	1.8	1.7	0.38	560	422	190	6.32
Sediments	7	7.2	4.5	4.2	2.3	1.9	1.5	0.41	700	426	190	5.63
(OSS)	8	8.9	4.3	5.2	2.6	1.8	1.9	0.40	670	428	210	7.57
	9	7.9	3.7	6.8	2.4	2.3	1.7	0.37	770	398	280	7.00
	10	7.0	3.2	6.3	2.3	2.0	1.5	0.33	500	393	270	5.80
	11	7.3	3.5	5.5	2.3	2.0	1.5	0.37	620	399	220	5.55
	12	7.0	3.4	4.8	2.1	1.8	1.5	0.36	570	386	219	5.85
	Average	7.2	3.5	5.9	2.3	1.9	1.5	0.35	570	402	255	6.0
Upper Continental Crust (UCC)		8.0	3.5	3.0	2.8	2.9	1.3	0.30	600	550	350	

Table 3. The calculation result of correlation coefficients for the element concentration in the outer-shelf sediments.

	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Sr	Ba	Mz
Na	1.00										
Mg	-0.54	1.00									
Al	-0.47	0.94**	1.00								
K	0.68*	-0.73**	-0.72**	1.00							
Ca	-0.46				1.00						
Ti	-0.51	0.84**	0.89**	-0.70*		1.00					
Mn	-0.74**	0.75**	0.74**	-0.67*		0.84**	1.00				
Fe	-0.48	0.92**	0.98**	-0.69*		0.96**	0.79**	1.00			
Sr			-0.45		0.98**	-0.45		-0.47	1.00		
Ba		0.40	0.52		-0.82**	0.40		0.47	-0.86**	1.00	
Mz	0.53*	0.93**	0.89**	0.71**	0.06	0.38	0.69*	0.73**	-0.08	0.15	1.00

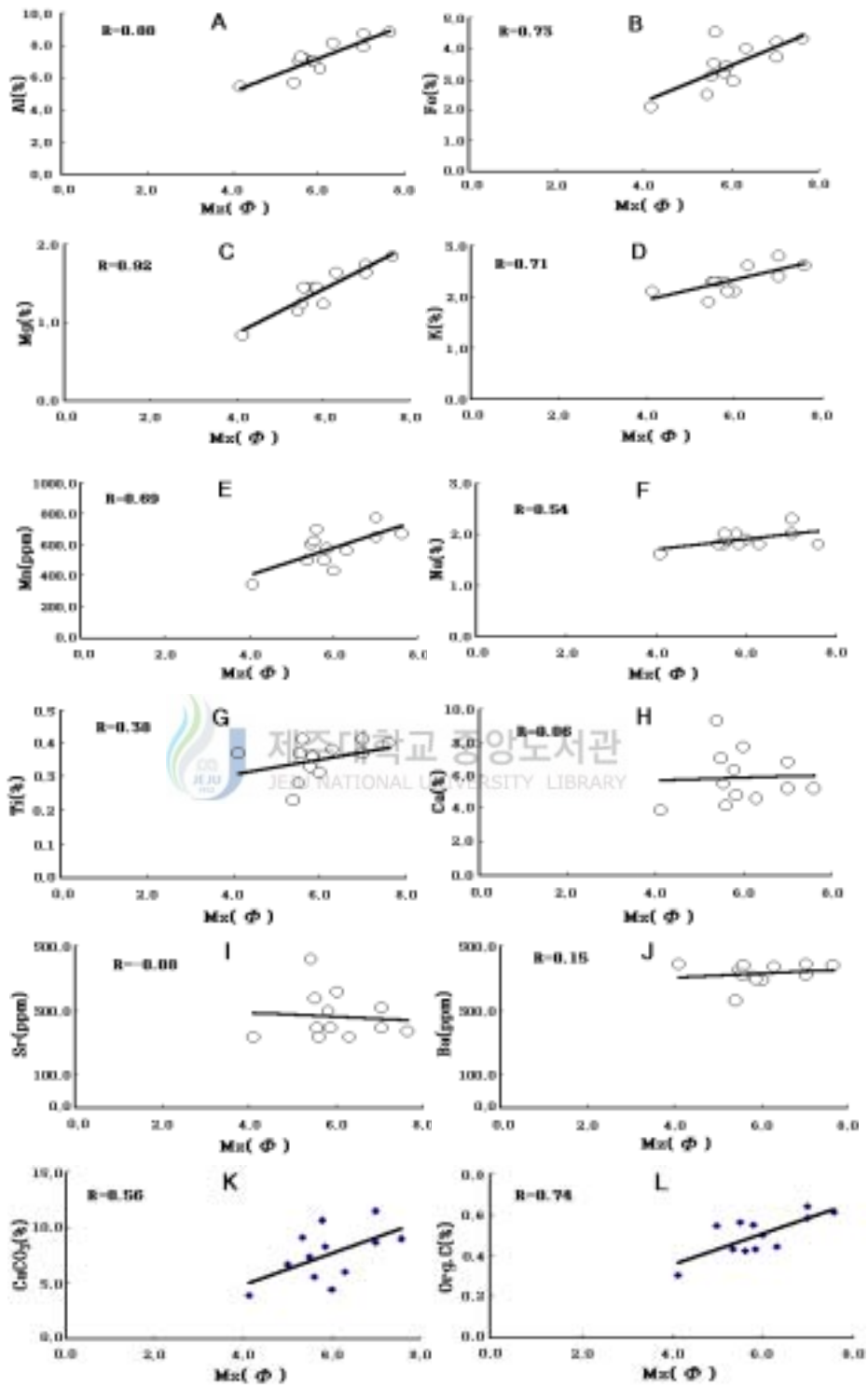


Fig. 6. Relationships between the organic matter, metal contents and mean-grain size

3-1. Al, Fe, Mg, K, Mn

조사지역 퇴적물 중 Al 함량범위는 5.3~8.9%, Fe는 2.1~4.3%, Mg는 0.9~1.9%, K는 1.9~2.8%, Mn는 340~770ppm로 K와 Mg원소는 변화폭이 적은 편이나 Al, Fe, Mn원소는 큰 편이다. Al원소는 지각물질 중에 가장 폭넓게 분포하는 원소들 가운데 하나로 이동 중에 풍화나 함량의 변화가 거의 없고 육지의 하천으로부터 이동 시 90% 이상이 입자태로 이루어지며, 액상의 이동량이 매우 적은 전형적인 대륙기원 원소에 속한다(Martin and Meybeck, 1979). Al원소의 공간적인 분포는 Fig. 7-A에서 보는 바와 같이 그 분포 범위가 5.3~8.9%의 분포를 보이나, 니토대가 분포하는 중앙부 지역에서 8% 이상으로 최대치를 보이고 북쪽으로 향함에 따라 7%이하로 감소하는 경향을 보여주고 있어 연구지역 중앙부의 니토퇴적상 분포지역은 육상기원 세립질 물질이 활발한 퇴적작용이 진행되는 것으로 사료된다. 퇴적물 유형에 따른 Al원소의 함량은 평균입도가 7 ϕ 이상인 니토대퇴적상(mud patch)에서 8.5%, 사질니토 퇴적상에서 7.0%, 실트질모래 퇴적상에서 5.3% 함량을 보여 퇴적물의 평균입도와 양호한 관련성이 있음을 보여주고 있다. Fe원소는 전이금속원소 가운데 가장 함량이 높은 원소로서 풍화에 대한 안정도가 매우 크며, 주로 하천을 통해 90% 이상 입자태로 이동되는 것으로 알려져 있다(Martin and Meybeck, 1979). Fe원소의 지역적 분포는 Fig. 7-B에서 보는 바와 같이 2.1~4.3%의 분포를 보이나, 중앙부 해역에서 4% 이상의 높은 함량치를 보이며, 북쪽으로 향함에 따라 3%이하로 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. 퇴적물 유형에 따른 Fe원소의 함량은 니토 퇴적상에서 4.1%, 사질니토 퇴적상에서 3.4%, 실트질모래 퇴적상에서 2.1%로 Fe원소 역시 Al원소와 마찬가지로 퇴적물의 입도가 농도 조절의 주요인이다. 그러나 양자강하구역과 가까워지는 본 역 서쪽 끝 중앙부지역(St. 6, 7)에서 4.0% 이상의 최대함유량을 보이고 동쪽 및 북동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데 이는 양자강 하구역 지역의 근래 도시 및 공업지대의 확대, 토지이용증가 등으로 Fe를 많이 함유한 양자기원 부유물질이 본 역까지 이동되고 있음을 의미한다. 양자강기원 퇴적물이 본 연구지역으로 이동이 가능하기작으로는 양자강으로부터 유출되는 부유퇴적물은 주로 하구역의 동쪽과 남동쪽의 동경 122°~123°지역에 분포하는 수중삼각주 지역에 퇴적되고 소량만이 동중국해로 확산된다. 그러나 대만해류가 중국 동쪽 해안을 따라 북동방향으로 흐르는 계절에는 남풍계에 편승하여 양자강 기원 부유퇴적물은 표층프름(plume)으로 북동진하여 제주

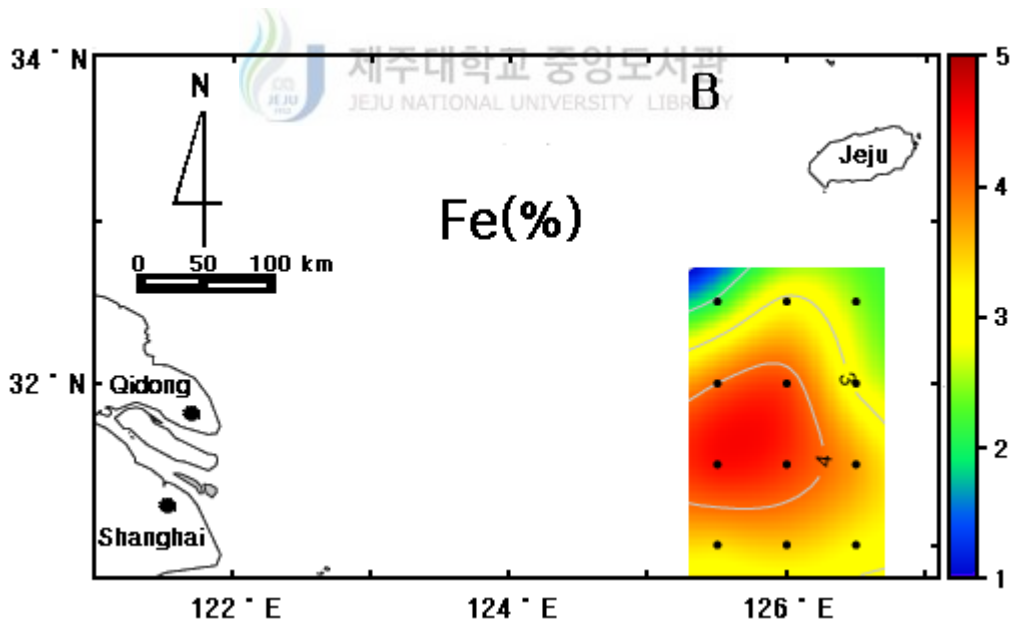
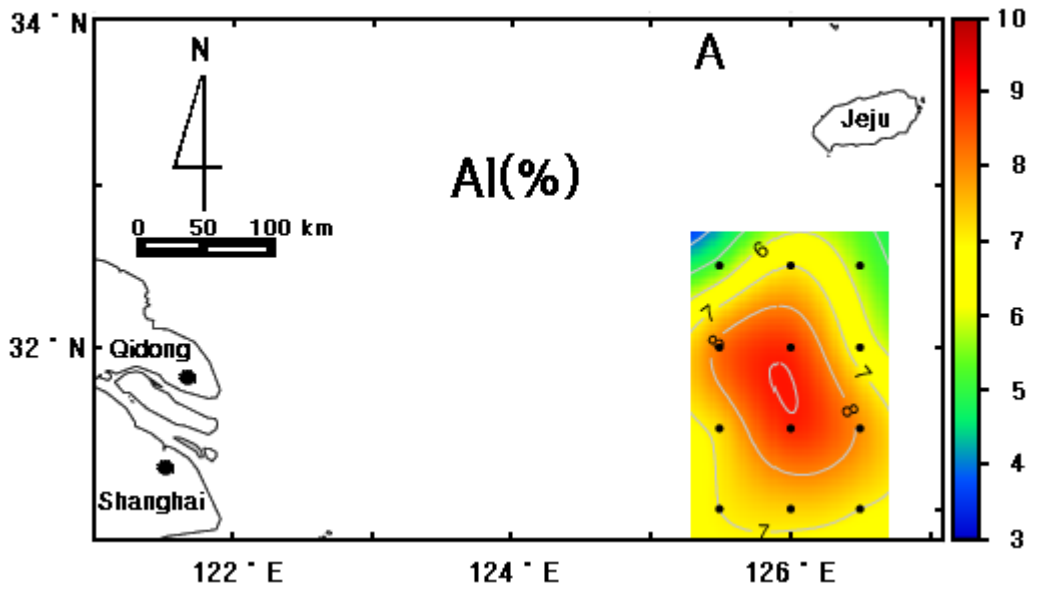


Fig. 7. Areal distribution of Al and Fe on the outer-shelf sediments of the East China Sea.

도 서쪽까지 이동되는 것으로 알려져 있다(Beardsley et al., 1983; Milliman et al., 1985). Mg원소는 해양 퇴적물의 주요 점토광물인 스멕타이트에서 비교적 높은 함량을 보이는 주성분 원소로서 퇴적물 중의 Mg 함량은 퇴적물의 세립질 성분과 관련성을 보인다고 알려져 있다(Krauskopf, 1956). Mg원소의 지역적 분포는 Fig. 8-A에서 보는 바와 같이 점토함량이 50%이상인 니토 퇴적상이 분포하는 중앙부 지역에서 1.8% 이상의 최대함량을 보이며 북서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 퇴적물 유형에 따른 Mg원소의 함량은 니토 퇴적상에서 1.8%, 사질니토 퇴적상에서 1.4%, 실트질모래 퇴적상에서 0.9%의 함량 분포를 보여 Mg원소도 퇴적물의 입도가 연구지역 퇴적물 내 Mg농도를 조절하는 주요인임을 시사해 주고 있다. K원소는 육지의 하천으로부터 이동은 전체 이동량의 50~90%가 입자태로 이루어지며, 점토광물 중 일라이트 성분이 많은 곳에서 K원소 함량이 풍부한 것으로 알려져 있다(Martin and Meybeck, 1979). K원소의 지역적분포는 Fig. 8-B에서 보는 바와 같이 Al원소 분포경향과 유사하게 본역 중앙부에서 2.6% 이상 높은 함량치를 보이고 중앙부에서 멀어질수록 감소하는 경향을 보이는데, 이는 본역 중앙부의 니토대 분포지역은 전술한 바와 같이 특성을 달리하는 수괴 및 해류(장수연안류, 양자강희석수, 황해난류수 등)들이 만나서 와류가 발생하는 전선대 지역으로 퇴적작용이 진행되고 있는 지역이기 때문으로 사료된다. 퇴적물 유형에 따른 K원소의 함량은 니토 퇴적상에서 2.6%, 사질니토 퇴적상에서 2.2%, 실트질모래 퇴적상에서 2.1%의 함량 분포를 보여 퇴적물의 입도가 세립해짐에 따라 그 농도도 증가하는 경향을 보인다. Mn는 해수와 담수가 만나는 연안역에서 Mn산화물이 자생적으로 형성되는 비율이 큰 원소이며(Francois, 1988; Presley et al., 1992) 수괴 내에서 흡착 및 침전 등에 의해 효과적으로 제거되는 것으로 보고되고 있다(Chester and Hughes, 1969; Goldberg and Arrehnisu, 1958). Mn원소의 지역적분포는 Fig. 9-A에서 보는 바와 같이 Fe농도 분포와 유사하게 본역 서쪽 중앙부에서 600ppm 이상의 고농도 분포대가 동서방향으로 대상분포를 보이는데, 이 또한 양자기원 부유퇴적물이 본역 중앙부지역까지 이동되고 있는 것으로 사료된다. 퇴적물 유형에 따른 Mn원소의 함량은 니토 퇴적상에서 697ppm, 사질니토 퇴적상에서 560ppm의 분포를 보여 퇴적물 입도 변화에 따른 농도 변화 폭은 미미한 편이다.

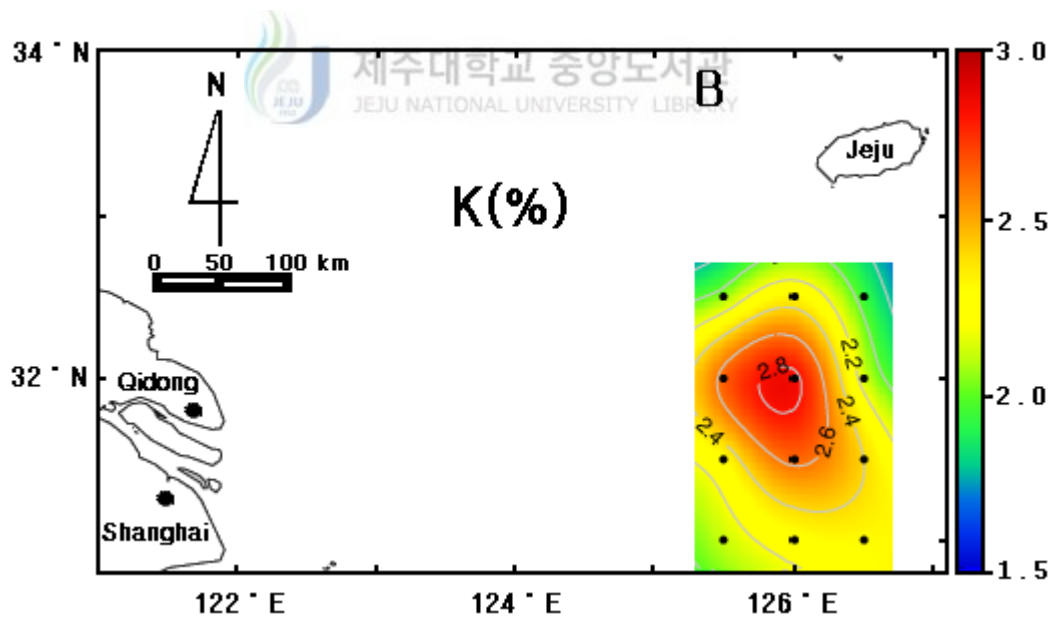
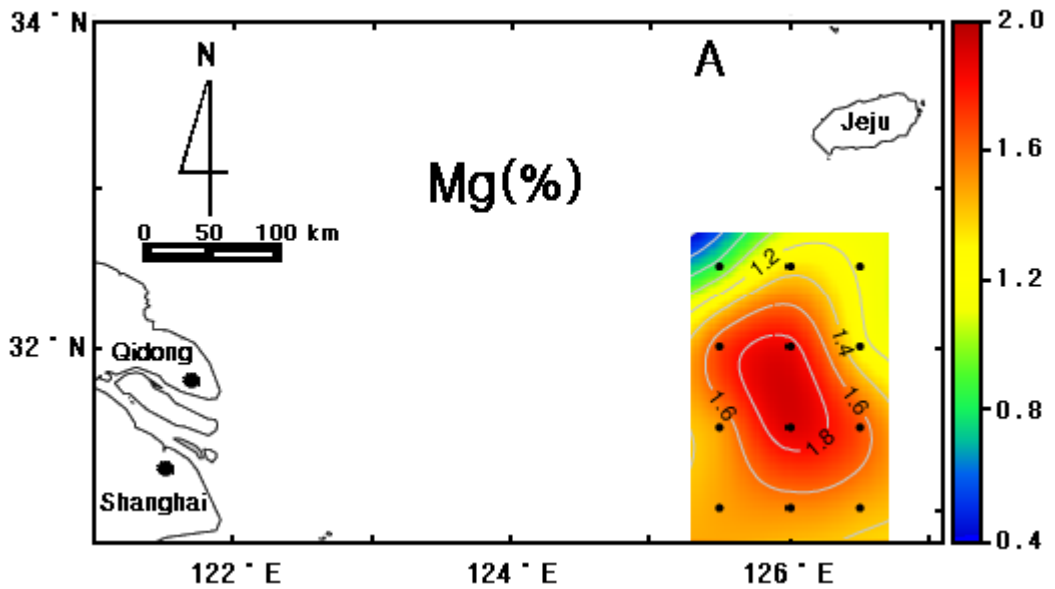


Fig. 8. Areal distribution of Mg and K on the outer-shelf sediments of the East China Sea.

3-2. Ba, Ti

조사지역 퇴적물 중 Ba의 함량범위는 320~430ppm이고, Ti는 0.28~0.41%이다 (Table 2). 화학성분 중 Ba, Sr원소는 해역퇴적물을 연안형과 원양형으로 구분할 수 있음이 제시되었다(Chen et al., 1983). 즉 연체동물의 껍각편은 aragonite구조를 보이며 $BaCO_3$ 의 Ba^{2+} 의 이온반경이 $CaCO_3$ 의 Ca^{2+} 이온반경보다 크므로 치환이 어려워 연체동물 껍각편을 많이 함유하는 연안성 퇴적물에는 Sr에 비해 Ba함량이 높은 농도를 보이나, 반면에 유공충각은 calcite 구조를 보여 $SrCO_3$ 의 Sr^{2+} 의 이온반경이 $CaCO_3$ 의 Ca^{2+} 이온반경과 유사하여 쉽게 치환되므로 유공충각을 많이 함유하는 원양성퇴적물에는 Sr원소가 높은 것으로 보고되었다. Ba원소의 지역적분포는 Fig. 9-B에서 보는 바와 같이 남황해 지역과 가까운 연구지역 북서쪽에서 중앙부지역이 400ppm 이상의 높은 함량치를 보이고 남동쪽 및 북동쪽으로 향함에 따라 감소하는 경향을 보여 북서쪽으로부터 분명한 퇴적물 공급이 있음을 의미한다. 퇴적물 유형에 따른 Ba원소의 함량은 니토 퇴적상에서 418ppm, 사질니토 퇴적상에서 393ppm, 실트질모래 퇴적상에서 그 함량이 430ppm으로 퇴적물의 입도가 Ba원소의 함량과는 미약한 관련성을 보이고 있다. 중국 북부지방의 황토층에 많이 함유되어 있는 것으로 보고된 Ba와 같은 불안정원소가 본 연구지역에서도 남황해지역과 가까운 북서쪽 끝에서 높은 함유량을 보이고 남동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는 것은 황하강이나 (고)황하 기원 부유퇴적물이 동중국해 외대륙붕 지역까지 유입되고 있는 것으로 사료된다. 즉 황하기원 부유퇴적물의 이동기작으로서 발해만해협에서 기원한 황해연안류는 산동반도 동쪽 해안선을 따라 하계에는 북위 32°까지, 동계에는 북위 30°, 동경 126°까지 남하하는 것으로 알려져 있고(Milliman and Meade, 1983), (고)황하 하구역의 장수(Jiangsu)연안지역의 침식된 퇴적물이 장수연안류 등에 의해 황해 중앙부와 동중국해 역까지 운반되는 것으로 보고 되고 있다(Milliman et al., 1985; Saito, 1998). Ti원소는 전형적인 대륙기원 원소로서 모래나 실트질 퇴적물에서 함량이 높은 티탄철광(ilmenite)이나 예추광(anatase) 등의 영향을 강하게 받는 원소로 알려져 있다(Bowen, 1979). Ti원소의 지역적 분포는 Fig. 10-A에서 보는 바와 같이 본 역 중앙부의 니토대 분포지역과 북서쪽 끝 실트질모래 분포지역에서 0.35% 이상의 높은 함량치를 보인다. 퇴적물 유형에 따른 Ti원소의 함량은 니토 퇴적상에서 0.39%, 사질니토 퇴적상에서 0.33%, 실트질모래 퇴적상에서 0.37% 함량 분포를 보이고 있다. Ti원소의 지역적

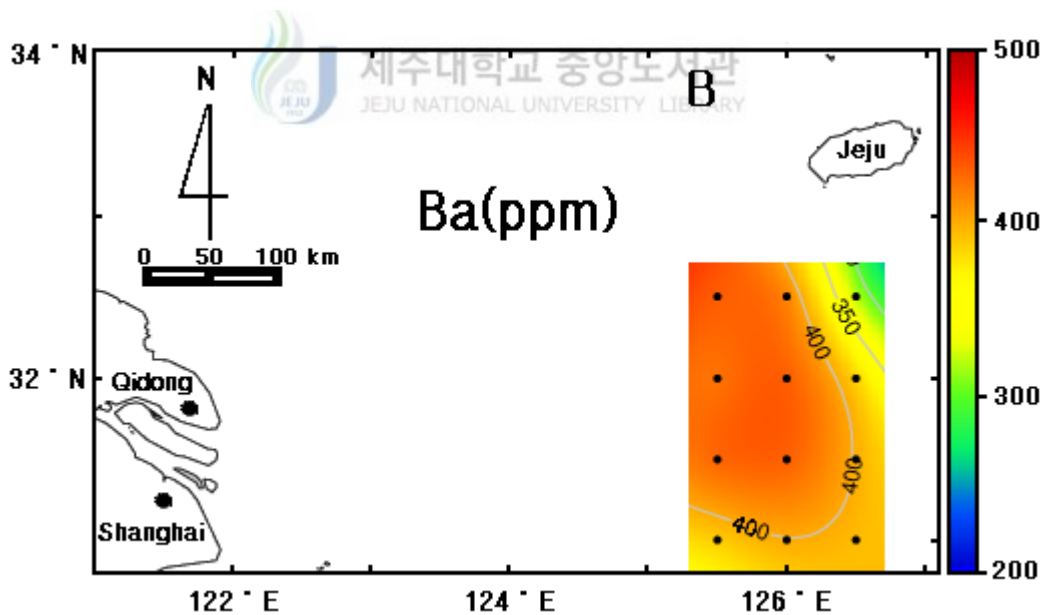
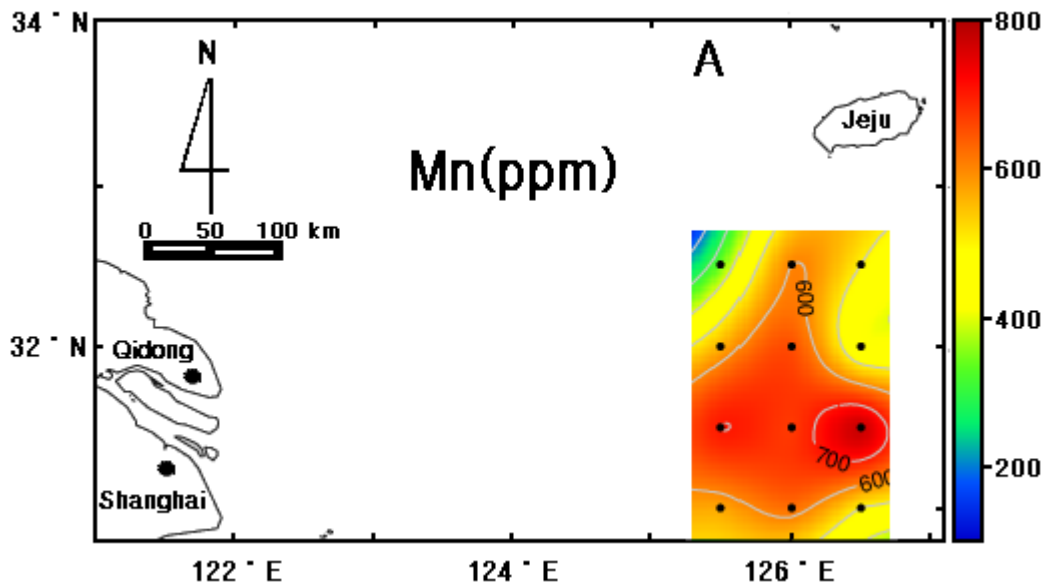


Fig. 9. Areal distribution of Mn and Ba on the outer-shelf sediments of the East China Sea.

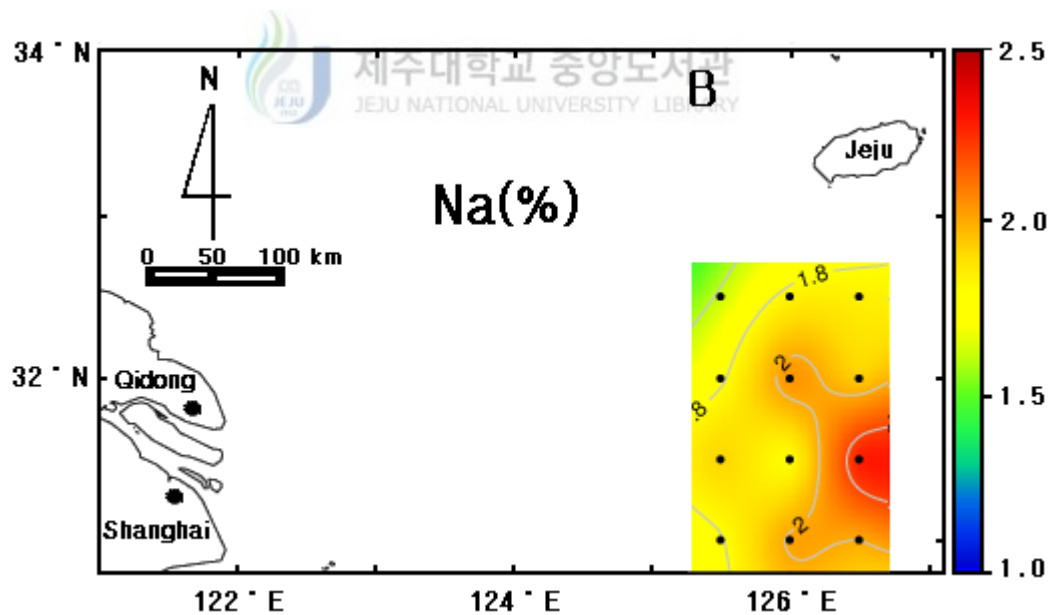
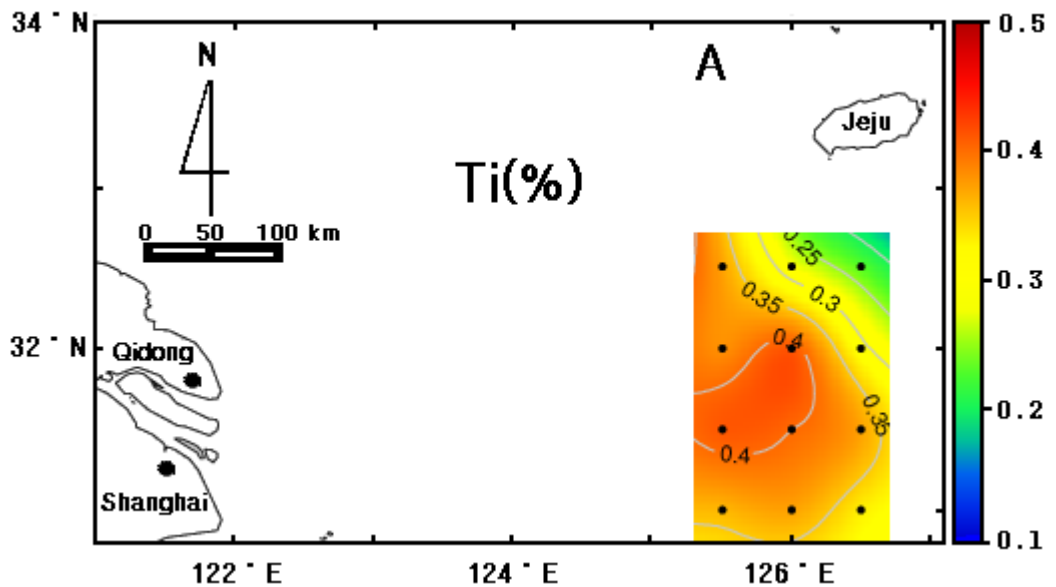


Fig. 10. Areal distribution of Ti and Na on the outer-shelf sediments of the East China Sea.

분포 중 본 연구지역 북서쪽 끝지역(st. 1)에서 0.37%의 높은 함유량을 보이고 서쪽에서 북동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데 이 또한 양자강이나 (고) 황하기원 퇴적물이 본 연구지역까지 유입되고 있음을 추론케한다.

3-3. Na, Ca, Sr

조사지역 퇴적물 중 Na의 함량범위는 1.6~2.3%이고, Ca는 3.9~9.3%이며, Sr는 190~430ppm이다(Table 2). Na원소는 불안정한 알카리 원소에 속하며 주로 하천을 통해 전체 이동량의 50~90%가 액상으로 이루어지며(Martin and Meybeck, 1979), 입자대로 이동하는 Na원소 함량은 쇄설성 광물인 장석, 각섬석 및 휘석 등의 영향을 받는 것으로 알려져 있고(Bowen, 1979). 양자강보다 황하기원 퇴적물에 높은 함량치를 보임이 보고되었다(Zhao and Yan, 1992). Na원소의 지역적 분포는 Fig. 10-B에서 보는 바와 같이 연구지역 남동쪽(St.9)에서 2.3% 이상의 최대 함량치를 보이고 북서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여 근원지 외에 해양생물기원의 영향을 강하게 받는 것으로 사료된다. 즉 패각편과 유공충각과 같은 해양 생물과편을 많이 함유하는 남지나해와 동중국해 퇴적물이 제주도 주변까지 확장하는 대만난류나 황해난류수 같은 해양환경요인에 의해 본 역으로 수송이 이루어지고 있는 것으로 사료된다(윤과 김, 2002). 퇴적물 유형에 따른 Na원소의 함량은 니토 퇴적상에서 2.0%, 사질니토 퇴적상에서 1.9%, 실트질모래 퇴적상에서 1.6%의 함량으로 입도와는 비교적 양호한 관련성을 보이고 있다. 해양퇴적물에서 알카리 지각 원소 중 Ca과 Sr함량은 유공충, 산호 및 연체동물과 같은 해양생물체와 깊은 연관성을 갖으며(Turekian and Wedepohl, 1961), 점토광물에는 그 함량이 매우 낮은 것으로 알려져 있다(Goldberg and Arrhenius, 1958). Ca원소의 지역적 분포는 Fig. 11-A에서 보는 바와 같이 수심이 깊은 연구지역 북동쪽 끝 지역(St. 3)에서 9.3% 이상의 최대 함량치를 보이고 수심이 얕은 남서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데, 이는 황해난류수의 영향으로 지역적 생물 생산력이 매우 높기 때문으로 해석된다. 황하기원 퇴적물이 분포하는 것으로 보고된 본 역 중앙부의 니토대(mud patch)분포 지역(Yang and Milliman, 1983)이 북동쪽보다 낮은 Ca함량을 보이는데 이는 주로 육상기원 세립질 물질이 활발한 집적에 따른 희석작용(dilution)때문으로 사료된다. 퇴적물 유형에 따른 Ca원소의 함량은 니토 퇴적상에서 5.7%, 사질니토 퇴적상에서 6.2%, 실트질모래 퇴적

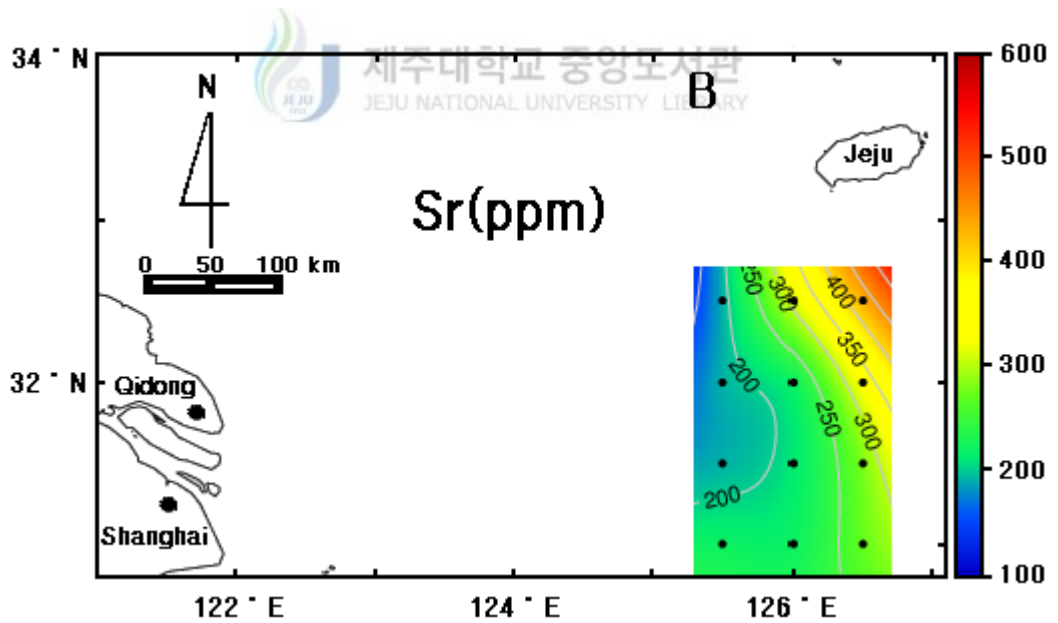
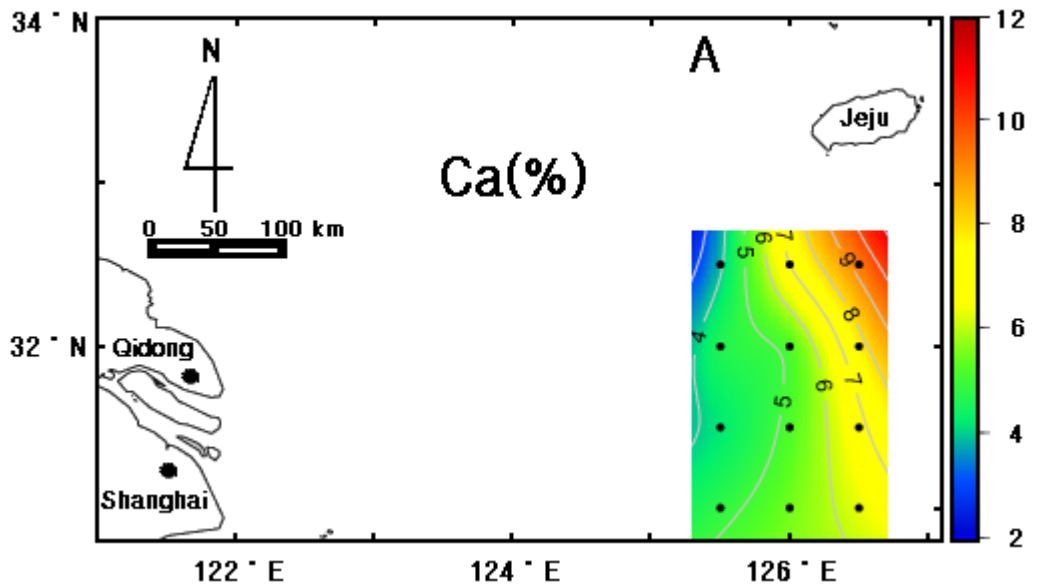


Fig. 11. Areal distribution of Ca and Sr on the outer-shelf sediments of the East China Sea.

상에서 3.9%의 함량으로 Ca함량이 조립질 퇴적상보다 세립질 퇴적상에서가 높은 함량치를 보이는데 이는 황하퇴적물에는 Ca, Na, Sr, Zr 및 Hf원소가 양자강퇴적물보다 높은 함량특성을 보임을 고려해 볼 때(Zhao and Yan, 1992) 연구지역 니질퇴적물에서 높은 Ca함량은 황하기원 물질의 영향도 있는 것으로 사료된다. 해양환경에서 SrCO₃형성은 유공충과 코코리스와 같은 탄산염생물체와 관련이 있는 것으로 보고되었고(Turekian and Wedepohl, 1961), 특히 유공충각을 많이 함유하는 원양성 퇴적물에 높은 Sr함량을 보인다고 알려져 있다(Chen et al., 1983). 퇴적물 유형에 따른 Sr원소의 함량은 니토 퇴적상에서 237ppm, 사질니토 퇴적상에서 270ppm, 실트질모래 퇴적상에서 190ppm으로 사질니토 퇴적상에서 높은 함량치를 보인다. Sr원소의 지역적 분포는 Fig. 11-B에서 보는 바와 같이 Ca원소분포와 유사하게 본 역 북동쪽 끝지역(St. 3)에서 430ppm으로 최대 함량치를 보이고 남서쪽으로 향함에 따라 감소하는 경향을 보여 이도 주 근원지 이외에 해양생물 기원의 영향을 강하게 받는 것으로 보여진다.

4. 퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정



동중국해 외대륙붕 지역의 니질퇴적물에서 채취된 12개의 시료에서 분석된 화학조성과 기존의 황하, 양자강 퇴적물 등의 지화학적 자료를 비교하여 연구지역 퇴적물의 기원을 파악하였다. 황하와 양자강 퇴적물 및 연구지역 퇴적물 내 원소함량을 상부대륙지각(Upper Continental Crust : UCC)에 분포하는 혈암(shales)의 평균 원소함량으로 표준화할 때(Fig. 12; Taylor and McLennan, 1985; Lee and Na, 2003) 황하퇴적물은 Ti과 Ca를 제외한 대부분의 원소는 상부대륙지각의 혈암의 평균조성치 보다 고갈되었으며, 양자강퇴적물은 Fe, Mn, Ti 및 Mg원소는 UCC값보다 높은 값을 보였으며 연구지역의 퇴적물은 Ti, Mg 및 Ca를 제외한 나머지 원소는 고갈되어 양자퇴적물보다는 황하의 특성치와 유사한 경향을 보였다(Fig. 12). 한편 해역퇴적물에서 황하와 양자강 기원 퇴적물을 구별할 수 있는 지화학적 특징으로는 Fig. 13에서 보는 바와 같이 황하 퇴적물에는 양자강 퇴적물보다 Ca, Na, Sr 및 Ba원소 함량이 풍부하나, 양자 퇴적물에는 Al, Fe, Mg, Ti 및 Mn원소함량이 풍부한 것으로 보고되었다(Zhao and Yan, 1992; Lee and Na, 2003). 황하기원 퇴적물에 Ca, Na 및 Sr원소가 풍부한 것은 황하에 의해 운반되는 퇴적물은 약 9할 정도가 중국 북부의 고원지대에서 기원

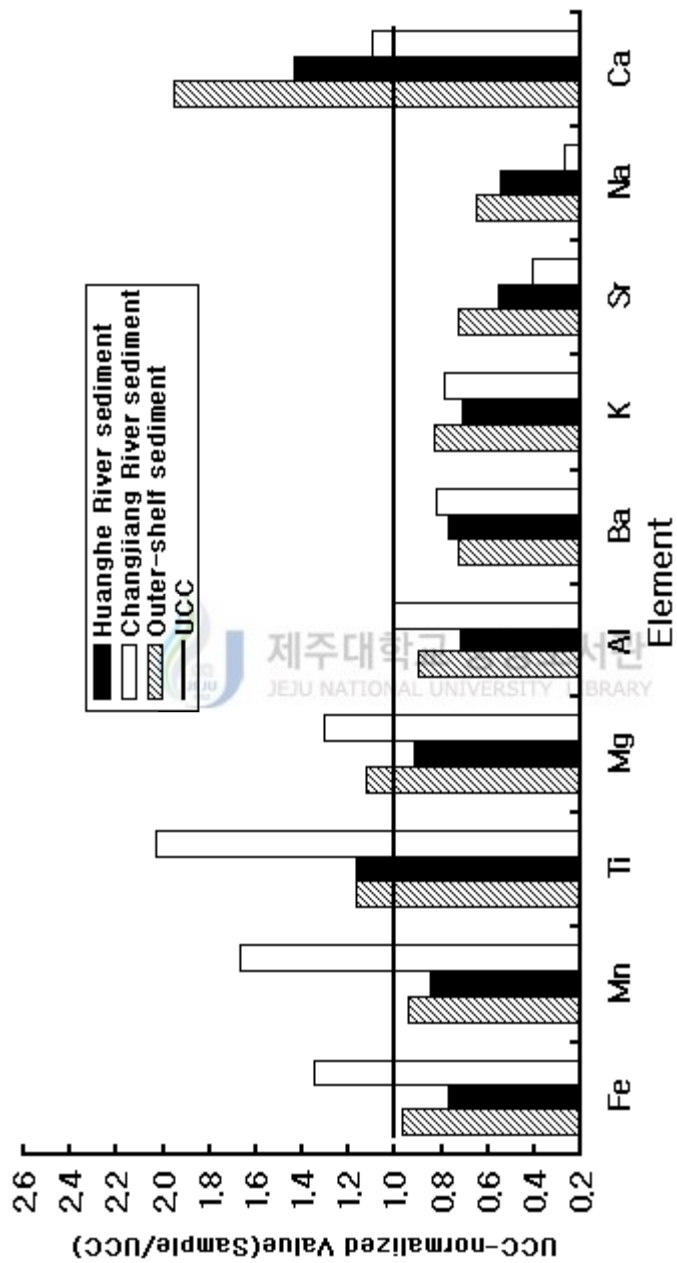


Fig. 12. Element concentration normalized value to the average Upper Continental Crust (UCC; Taylor and McLennan, 1985), together with the data of Lee and Na(2003).

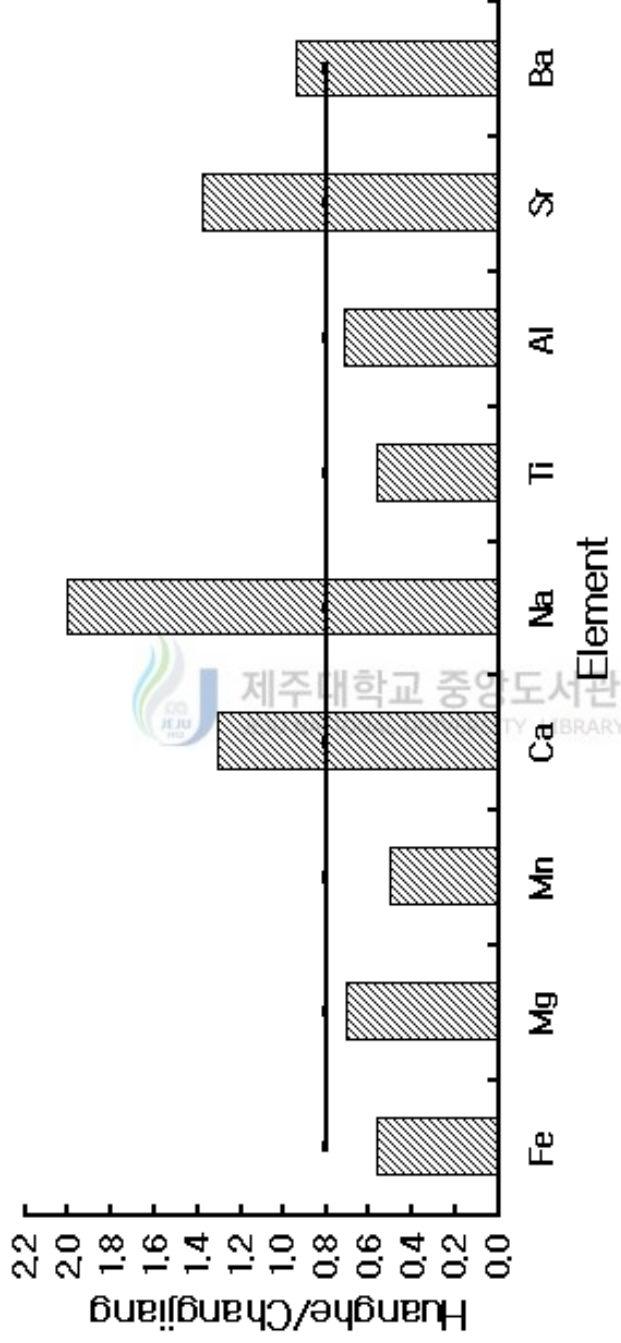


Fig. 13. Huanghe/Changjiang River sediments concentration ratios of each chemical elements(Lee and Na, 2003)

한 세립질의 황토이며, 이 황토는 건조하고 한랭한 기후에서 수 천년동안 표백작용이 진행되어 왔기 때문에 Ca, Na 및 Sr원소가 높은 농도로 함유되어 있어 황해와 동중국해 퇴적물의 기원지를 밝히는데 지시원소로 알려져 있다(Yang and Milliman, 1983). 따라서 동중국해 외대륙붕 지역 니질 퇴적상의 화학조성을 이들 자료와 비교해보면 Table 4와 Fig. 14에서 보는 바와 같이 황하퇴적물보다 높고 양자강퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함량 변화 경향을 보이는 원소는 Al, Fe, Mg 및 Mn이며, 반면 Ti, Ba원소와 Mn/Fe비는 황하와 양자강퇴적물보다는 낮으나 양자강보다는 황하퇴적물과 유사한 함량치를 보였다. 양자강퇴적물보다는 높고 황하퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함량변화 경향을 보이는 원소는 없었으나, 분석된 원소 성분 중 K, Na, Ca, Sr원소 및 Ca/Ti, Ca/K비는 퇴적물 내 총량원소분석 등 원인으로 양자강과 황하퇴적물보다 높은 함량치를 보이나 이들 황하기원 지시원소들은 양자강보다는 Na함량은 2.4배, Ca과 Sr함량은 1.8배, Ca/Ti비는 3.1배, Ca/K비는 1.7배의 높은 함량치를 보였으나, 황하퇴적물보다는 Na원소와 Ca/K비는 1.2배, Ca는 1.4배, Sr원소와 Ca/Ti비는 1.3배로 양자강보다는 황하퇴적물과 더 유사한 함량변화 특성을 보였다. 따라서 동중국해 외대륙붕 지역에 분포하는 니질 퇴적상은 황하와 양자강 부유 퇴적물의 영향을 모두 받고 있는 것으로 사료된다(Table 4; Fig. 15). 정확한 대륙기원 원소의 공급여부나 기원지 차이 등을 밝히고자 해양기원에 의한 요소를 제거하여 대륙기원 원소에 의해서만 추론이 필요하다(Moorby, 1983). 이러한 방법 중의 하나가 대표적인 대륙기원 원소이면서 보존성 원소인 Al로 다른 원소들을 나누어줌으로써 입도의 영향을 최소화시킬 뿐만 아니라 해양퇴적물의 공급지 추정이 가능하다(Ergin et al., 1996). 본 연구지역에서도 대륙기원 원소인 Al과 다른 원소의 비(element/Al)로써 퇴적물의 화학조성에 의한 공급지를 고찰하기로 한다. 즉, 본 연구지역의 표층퇴적물의 element/Al비 값이 황하퇴적물보다 높고 양자강퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함량 변화 경향을 보이는 원소는 Fe원소이며, 양자강 퇴적물보다는 높고 황하 퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함량 변화 경향을 보이는 원소는 K, Na원소이고, 양자강과 황하퇴적물 보다는 낮으나 황하퇴적물과 유사한 함량을 갖는 원소는 Ti, Mn이며, 화학조성 중 해양생물체의 영향을 강하게 받는 Ca과 Sr원소를 Al으로 표준화시켜도 본 연구지역이 비교지역보다 높은 함량치를 보이나 황하퇴적물과 비슷한 함량 변화를 보였다(Fig. 15, Table 5). 한편 Ca에 대한 Sr의 상관관계에서도 Fig. 16에서 보는 바와

Table 4. Abundance elements in the outer-shelf sediments and adjacent rivers.

Element \ Region	Outer-shelf sediments	Huanghe River sediments	Changjiang River sediments
Al(%)	7.2	5.8	8.1
Fe(%)	3.5	2.7	4.7
Ca(%)	5.9	4.3	3.3
Mg(%)	1.5	1.2	1.7
K(%)	2.3	2.0	2.2
Na(%)	1.9	1.6	0.8
Ti(%)	0.35	0.35	0.61
Mn(ppm)	570.0	508	1,005
Sr(ppm)	255.0	197	144
Ba(ppm)	402.0	424	453
Ca/Ti	16.86	12.29	5.41
Ca/K	2.57	2.15	1.50
Mn/Fe	0.016	0.019	0.021

Huanghe and Changjiang rivers(Lee and Na, 2003)

Table 5. Comparison of element to Al ratios(E/Al) from the sediment samples.

Element \ Region	Outer-shelf sediments	Huanghe River sediments	Changjiang River sediments
Fe/Al	0.49	0.47	0.58
Ca/Al	0.82	0.74	0.41
Mg/Al	0.21	0.21	0.21
K/Al	0.32	0.34	0.27
Na/Al	0.26	0.28	0.10
Ti/Al	0.05	0.06	0.08
Mn/Al	79.17	87.59	124.07
Sr/Al	35.42	33.97	17.78
Ba/Al	55.83	73.10	55.93

Huanghe and Changjiang rivers(Lee and Na, 2003)

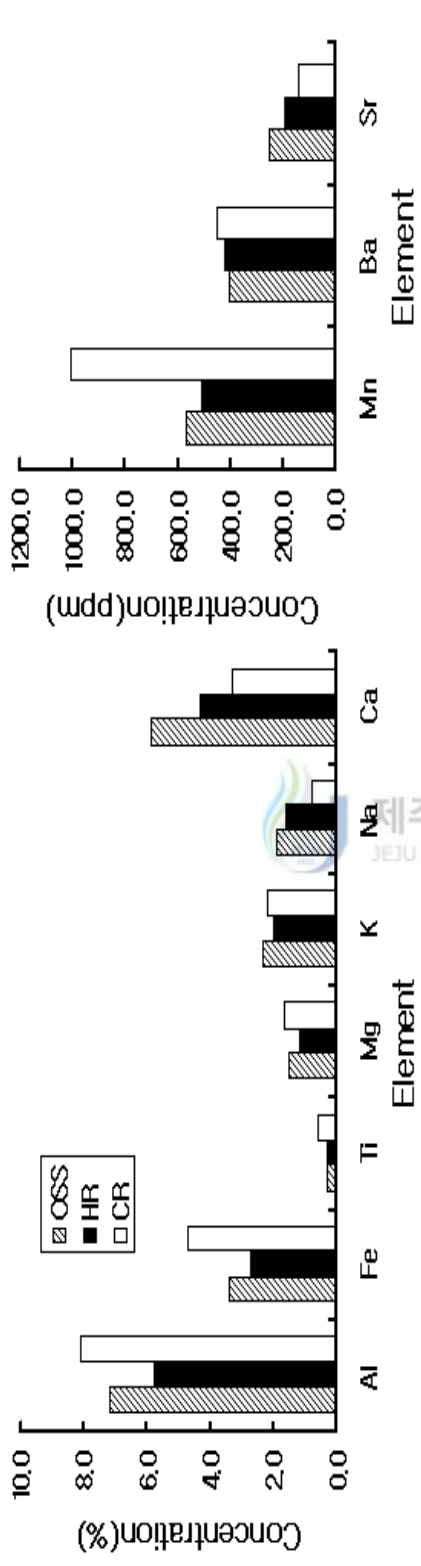


Fig. 14. The comparison of mean values of the each chemical element concentrations.

Notes; OSS: outer-shelf sediments, HR-CR: Huanghe and Changjiang rivers sediment(by Lee and Na, 2003)

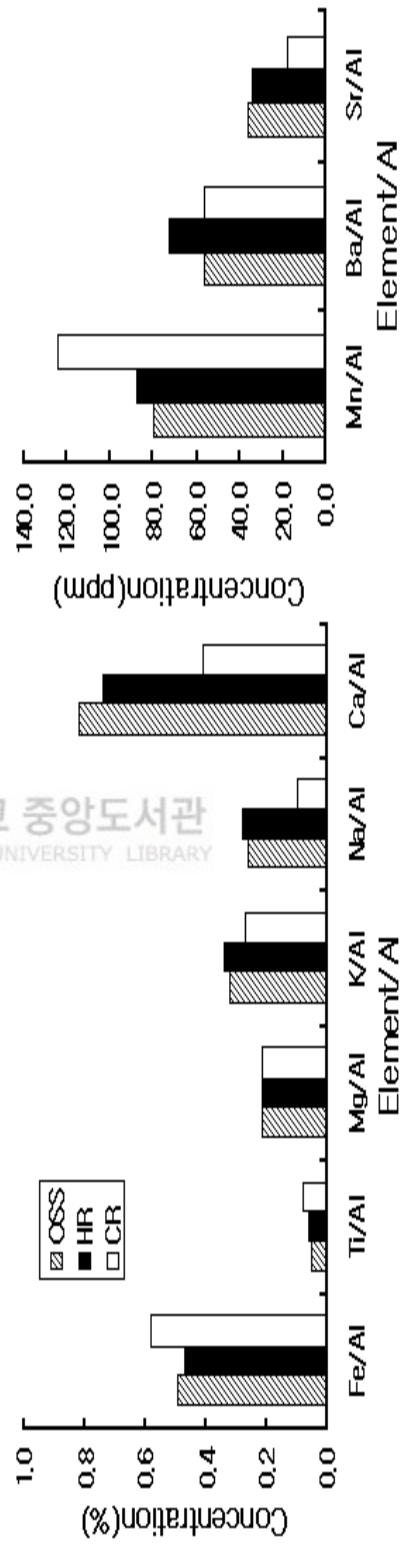


Fig. 15. The comparison of Element/Al values of the each chemical element concentrations.

Notes; OSS: outer-shelf sediments, HR-CR: Huanghe and Changjiang rivers sediment(by Lee and Na, 2003)

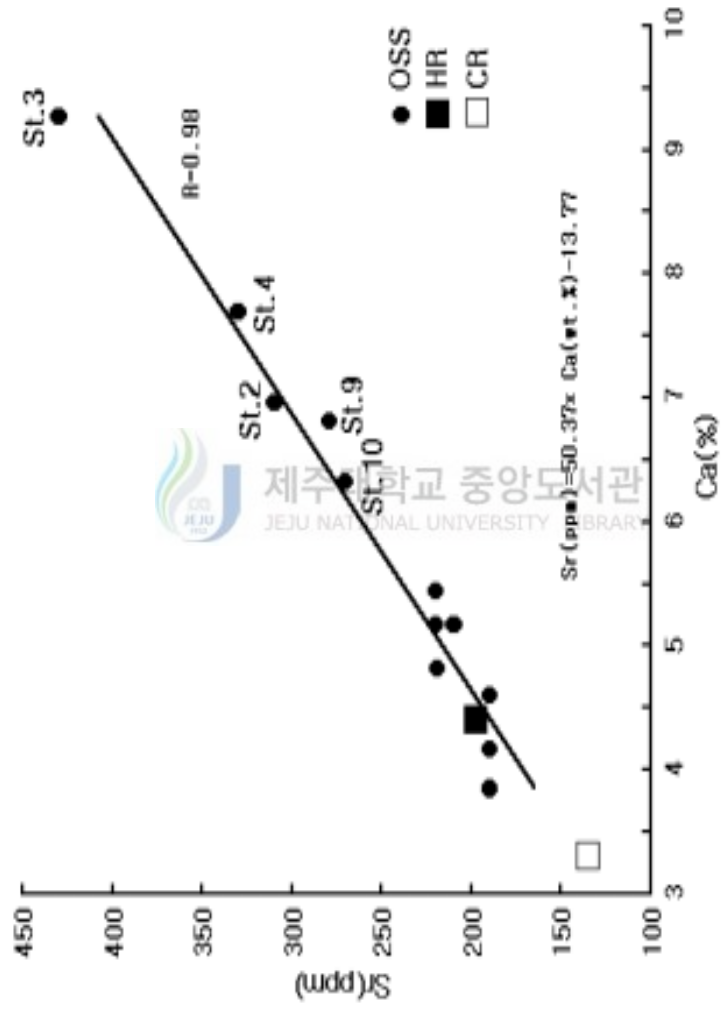


Fig. 16. The relationship between Ca and Sr content diagram.

Notes; OSS: outer-shelf sediments, HR,CR: Huanghe and Changjiang rivers sediment(by Lee and Na,2003

같이 몇몇 시료(st. 2, 3, 4, 9, 10)를 제외하고는 양자강보다는 황하퇴적물에 더 가까이 열을 지어 밀집되는 경향을 보이는데, 이는 황하기원 퇴적물이 동중국해 외대륙붕까지 운반되고 있음을 의미한다. 따라서 동중국해 외대륙붕 지역에 분포하는 니질 퇴적물의 공급지는 황하와 (고)황하 하구역의 침식된 물질이고 이외에 양자강으로부터 공급된 물질 및 황해 난류수에 의해 운반된 생물기원 물질의 영향도 다소 있는 것으로 사료된다.

Lee and Na(2003)의 연구에 의하면 양자강퇴적물은 황하나 한국의 강 퇴적물보다 Mg, Ti, Fe 및 Mn함량이 높고, 황하퇴적물은 Ca, Na 및 Sr원소가 풍부하며, 한국의 강 퇴적물은 Al, K 및 Ba함량이 높다고 보고하였다. 이를 바탕으로 지화학적으로 근원강 퇴적물을 구분하기 위하여 이들 각 강들에서 상대적으로 풍부한 원소들을 근거로 3개의 구분지수를 유도하였다. 첫째 지수는 $(Al+Fe)/(Mg+Ca+K)$ 로써 이는 3강 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. 마지막 지수는 $(Ca-Mg)/K$ 으로 이는 각 근원강 퇴적물을 반영하고 있는 상징적인 알칼리와 알칼리지각 원소로부터 유도된 것이다. 본 연구에서도 이들 구분지수들을 적용해 본 결과 연구지역 퇴적물은 Fig. 17에서 보는 바와 같이 몇 개의 시료(st. 3,4)를 제외하고는 양자강보다 황하퇴적물에 가까이 표시되는 것을 볼 수 있어 동중국해 외대륙붕역의 니토대 분포지역은 양자기원보다는 황하기원 부유 퇴적물의 영향을 더 받고 있음을 알 수 있다. 그러나 모든 시료들이 열을 지어 직선상의 분포를 보이는 것은 연구지역의 니질퇴적물은 주로 황하나 양자강 기원 퇴적물의 혼합으로 이루어져 있음을 의미한다.

풍화지수(Index of Compositional Variability; ICV)에 사용되는 중요 원소들은 풍화가 진행되는 동안 상대적으로 쉽게 유동하는 원소를 의미하며 CaO, Na₂O, K₂O 등이 이에 속한다. ICV값의 증가는 풍화정도의 증가를 의미하며 퇴적물에서 서로 다른 풍화지수 값의 변화는 공급원 퇴적물의 겪은 풍화정도의 차이와 공급된 퇴적물의 근원지를 평가하는데 이용되고 있다(Harnois, 1988). 풍화지수(ICV)는 암석이나 광물에서 상대적으로 다른 주요 양이온과 알루미늄 함량의 비로써 다음과 같이 나타낸다(Cox et al., 1995).

$$ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3$$

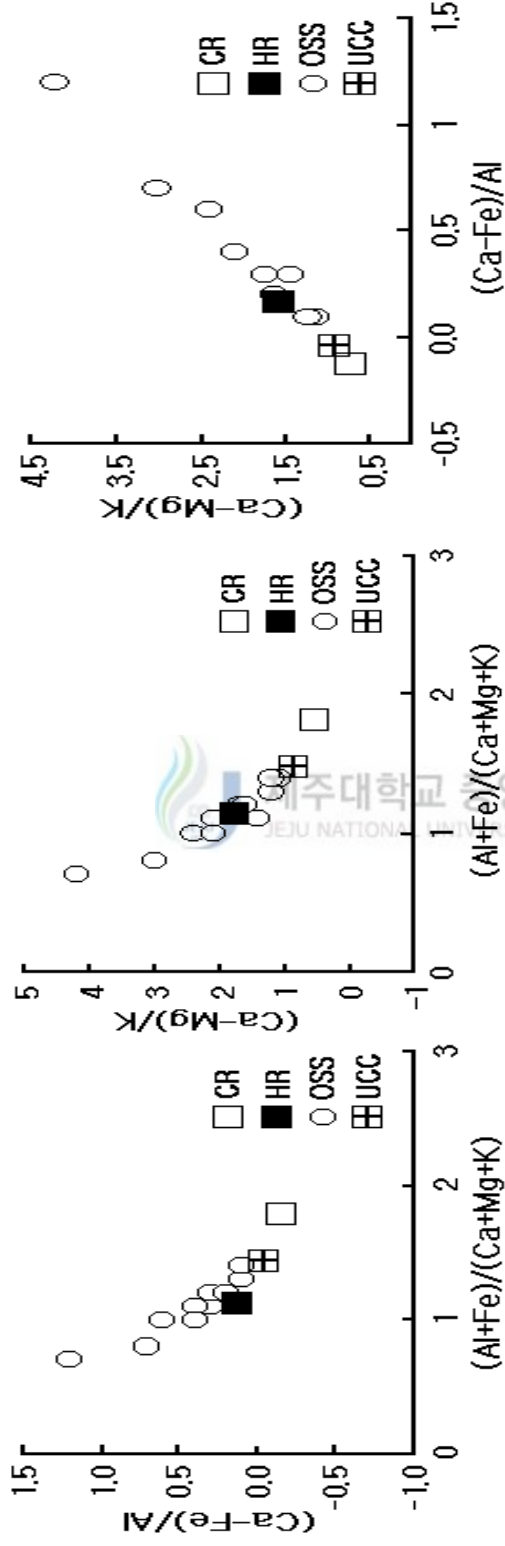


Fig. 17. Comparison of the geochemical indices of $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$, $(Ca-Fe)/Al$, and $(Ca-Mg)/K$. The value of the UCC (by Taylor and McLennan, 1985), Huanghe(HR) and Changjiang(CR) rivers sediment (by Lee and Na, 2003), and outer-shelf sediment (Present Study) were plotted together for comparison.

따라서, 연구지역의 ICV값과 기존의 연구된 각 강 퇴적물의 ICV값을 비교해 본 결과 Table 6에서 보는바와 같이. 황하퇴적물 ICV값은 1.5~1.7(평균 1.5)의 범위를 가지며, 양자강퇴적물의 ICV값은 1.1~1.4(평균 1.2)의 범위를 보인다. 이는 황하퇴적물이 양자강보다 큰 풍화작용을 받았음을 의미하며 양자강퇴적물은 황하보다 조성적으로 안정되어 있음을 의미한다. 본 연구지역의 니질 퇴적물에 대한 ICV값을 계산하여 본 결과 1.3~2.2(평균 1.6)의 범위를 보이는데, 이는 양자강 퇴적물보다는 높고 황하퇴적물과 비슷한 평균값을 보이고 있어 본 연구지역에 분포하는 니질 퇴적물은 양자강보다 황하기원퇴적물의 영향을 더 받는 것으로 사료된다.

Table 6. The calculation result of the Index of Compositional Variability(ICV, Cox et al., 1995), the ICV values of the UCC(Taylor and McLennan, 1985), the Huanghe and Changjiang rivers(Lee and Na, 2003), the loess(Ding et al, 2001) and the outer-shelf sediments(Present Study) were calculated by comparison.

Region	Range of the ICV values
Outer-Shelf Sediments	1.3~2.2
Huanghe River	1.5~1.7
Changjiang River	1.1~1.4
UCC	1.3
Loess	1.9



IV. 결론

동중국해 외대륙붕 지역에 분포하는 니질 퇴적상의 공급지와 특성을 파악하기 위해 채취된 12개 표층퇴적물을 대상으로 입도분석, 탄산염함량 및 10종의 금속원소 함량 등을 분석하였다.

1. 연구지역 표층퇴적물의 유형은 사질니토, 니토, 실트질 모래로 총 3개의 유형 분포를 보이나 주로 니토 퇴적상이 분포하는 중앙부 지역과 사질니토상이 전역에 광범위한 분포를 보인다. 사질니토 퇴적상의 평균조성은 모래 28.0%, 실트 29.9%, 점토 42.1%이고, 평균입도는 5.68 ϕ 로 중립질 실트이며 니토 퇴적상은 모래 3.2%, 실트 39.1%, 점토 57.7%이고 평균입도는 7.19 ϕ 로 세립질 실트에 해당한다.

2. 퇴적물 내 유기탄소 함량은 0.30~0.64%의 범위를 보이며 퇴적물의 평균입도가 감소함에 따라 그 함량이 증가하였고 중앙부의 니토 퇴적상 분포지역에서 최대함유량을 보였다. 탄산염 함량은 3.9~11.5%로 다양한 값을 보이며 퇴적물의 평균입도와 수심이 증가하는 남동쪽 끝 지역에서 10% 이상의 높은 함유량을 보인다

3. 퇴적물 내 금속원소 함량은 전반적으로 퇴적물 입도와 밀접한 상관관계를 나타내어 그 공간적인 분포는 입도와 유사하게 나타났으나, Ca, Sr 및 Ba원소는 입도와의 관련성이 미약하였다. 금속 원소들의 공간분포에서 Ba원소는 연구지역 북서쪽에서 높은 함유량을 보여 (고)황하나 황하강의 영향이 있음을 의미하며 Fe과 Mn원소는 중앙부 서쪽지역에서 높은 함유량을 보이는데 이는 양자기원 물질이 유입되고 있음을 의미한다. Na, Ca 및 Sr원소는 연구지역의 동쪽과 북동쪽에서 높은 함량치를 보이는데 이는 주 근원지 이외에 해양생물의 영향을 강하게 받는 것으로 사료된다.

4. 동중국해 외대륙붕 해역 니질 퇴적물 내의 화학조성 중 Al, Fe, Mg 및 Mn원소들은 황하보다는 양자강 퇴적물의 유사한 함량치를 보였고, Ti, Ba 및 Mn/Fe 비는 양자강보다는 황하퇴적물과 유사한 함량치를 보였다.

5. 연구지역 니질 퇴적물의 element/Al 비값 중 Fe원소는 황하보다는 양자강 퇴적물과 비슷한 함량 특성을 보였으나 K과 Na원소는 양자강보다는 황하퇴적물의 특성치와 유사한 값을 보였으며, 황하나 양자강 퇴적물보다 높은 비값을 보이는 원소로는 Ca과

Sr원소로 이들 두 강 이외의 생물기원 물질의 영향도 있는 것으로 보여 연구지역은 복합기원 퇴적물이 집적되는 지역으로 사료된다.

6. 연구지역 니질 퇴적물의 화학조성 중 $(Al+Fe)/(Mg+Ca+K)$, $(Ca-Fe)/Al$ 및 $(Ca-Mg)/K$ 3개의 지화학적 구분지수를 이용한 결과 양자강보다는 황하퇴적물이 밀집 분포하는 경향을 보였으며, 풍화지수는 평균 1.6으로 양자강(평균 1.2)보다는 높고 황하퇴적물(평균 1.5)과 유사한 값을 보여 연구지역의 니질 퇴적물은 양자강보다는 황하의 영향을 더 받는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 남승일, 김성필, 장정해, A. Mackensen. 2003. 마지막 빙하기 해침이후 동중국해 북부
해역과 황해의 고환경변화. 지질학회지, 39(2), pp. 149-160.
- 윤정수, 김성복, 고기원, 1989. 제주도 서남해역의 해저퇴적물 특성. 한국해양학회지,
24(3), pp. 132-147.
- 윤정수, 고기원, 1987. 제주남방해역 표층퇴적물의 특성. 한국해양학회지. 22(3), pp.
130-142.
- 윤정수, 김여상, 2002. 황해 중앙부해역 니질퇴적물의 지화학적 특성 및 퇴적물, 한국
제4기학회지 16 : 1-16.
- 조영길, 1994. 한반도 주변해역 퇴적물 중 금속원소의 분포와 기원에 관한 연구. 이학
박사 학위논문, 서울대학교, pp. 61.
- 현상민, 천종화, 이희일, 1999. 시화호의 퇴적환경과 중금속오염. 한국해양학회지, 4(3),
pp. 198-207.
- 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.
- 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.
- Bukly, 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. Proceeding of International Symposium on

- Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea. China Ocean Press, Beijing, pp. 746-753.
- 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.
- 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.
- Cox, R., Lowe, D. R. and Cullers, R. L. 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. Geochimica CosmoChim. Acta, 59(14) pp. 2919-2940.
- DeMaster, D. J., Mckee, B. A., Nittrouer, 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. Cont. Shelf Res., 4(1), pp. 143-158.
- Ding, Z. L., Sun, J. M., Yang, S. L. and Liu, T. S., 2001. Geochemistry of the Pliocene red clay formation in the Chinese Loess Plateau and implications for its origin, source provenance and paleoclimate change. Geochim. Cosmochim. Acta, 65(6), 901-913.
- 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, Austin, Tex. pp. 182.
- 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.
- 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.
- Harnois, L., 1988. The CIW index; new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, 55, pp. 319-322.
- Horowitz, A. J., 1991. A primer on sediment-trace element chemistry. Lewis Publishers, 136p.
- Ingram, R. L., 1971. Sieve analysis. In: *Procedure in Sedimentary Petrology*: edited by Carrer, R. E., Wiley Interscience, pp. 49-68.
- Kitano, Y. and Hujiyoshi, R. 1980. Selective chemical leaching of cadmium, copprr, and manganese and iron in marine sediments. *Geochem. Jour*, 14: pp. 113-122.
- Krauskopf, K.B., 1956. Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in sea water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 9:1.
- 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 Dan. Jour. Korean Soc. Ocean*. pp. 99-122.

- 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., and Emery, K. O. 1968. Sea levels during the past 35,000 years. *Sciences*, 162, pp. 1121-1123.
- 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., 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.
- 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.
- Niino, H. and Emery, K. O., 1961. Sediments of shallow portion of East China Sea and South China Sea. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 72; pp. 731-762.
- 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, p. 267-282.
- Qin, Y. and Li, F. 1983. Study of influence of sediment loads discharged from the Huanghe River on sedimentation in the Bohai sea and the Huanghe sea, *Proceeding of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Referance to the East China Sea*, China Ocean Press, Beijing., pp. 83-92.
- 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.
- Salomons, W. and Förstner, U. 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer Verlag, Berlin, pp. 349.

- 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.
- Su, X. and Jeng, W., 1983. The recent sedimentation rates and process in the Changjiang estuary and its adjacent continental shelf area. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, Beijing, p. 606-616.
- Taylor S. R. and McLennan, S. K. 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312p.
- 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.
- Wang, Z., Lou, M. and Li, W. 1983. On submarine sediments and depositional process of west of south Huanghe Sea. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, Beijing, pp. 686-695.
- 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.
- 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. Chin 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.

Zhu, E., W, Wang, G. H. 1990. Dynamic sedimentary subdivison of the East China Sea continental shelf. In: Proc. 1st Conf. on Asia Marine Geology, Shanghi, Sept. 7-10, 1988. China Ocean Press, Beijing, 351-365.



감사의 글

석사과정동안 많은 지도와 관심을 가져주신 지도교수 윤정수 교수님께 깊이 감사드립니다. 또한, 바쁘신 와중에도 귀중한 시간을 내주시어 논문에 대한 충고를 해주신 최영찬 교수님, 윤석훈 교수님께도 감사 드립니다. 그밖에도 지난 4년 간의 학부시절과 3년 간의 석사시절동안 많은 가르침을 주신 해양학과 고유봉 교수님, 이준백 교수님, 윤석훈 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

항상 실험실의 만형으로 많은 도움을 주신 운영이형과 석수형, 생태연구실의 승종이형, 진필이형 또한 석사과정동안 좋은 추억을 남겨준 지형이와 동현, 태룡, 창수에게도 감사의 마음을 전합니다. 대학원 생활을 하고있는 재홍이와 수강이, 실험실 후배 성욱과 지금은 사회 생활을 하고 실험실 후배 병수와 남훈, 농업기반공사의 선배님인 창욱형, 기표형, 동림형, 창석이형에게도 앞으로의 미래에 보다 좋은 일들만이 생기기를 바랍니다.

또한, 제가 힘들고 지칠 때마다 즐거움과 웃음을 주었던 내 친구들 요한, 진철, 권섭, 태훈, 영삼이와 승미, 내 친동생과 같은 병언이에게도 감사의 마음을 전합니다.

이밖에도 저를 아는 모든 분들께 이제까지의 제 삶에 영향을 준 것에 대해서 깊은 감사의 마음을 전하며 항상 건강하시고 웃음을 잃지 않으시길 바랍니다.

마지막으로 언제나 저의 든든한 후원자이며 이제까지의 제 삶을 이끌어 주신 아버지와 어머니, 또한 누나와 매형, 동생에게 머리 숙여 감사의 마음을 전하며 이 글을 마칩니다.