

동중국해 외대륙붕해역 니질퇴적물의 지화학적 특성

윤정수^{1,*} · 변종철² · 김여상³

¹제주대학교 해양과학대학, 690-756 제주도 제주시 아라1동 1

²제주대학교 자연과학대학, 690-756 제주도 제주시 아라1동 1

³공주대학교 지구과학교육과, 314-701 충남 공주시 신관동 182

Geochemical Characteristics of the Outer-Shelf Muddy Sediments in the East China Sea

Jeung-Su Youn^{1,*}, Jong-Cheol Byun² and Yeo-Sang Kim³

¹College of Ocean Sciences, Cheju National University, Jeju-do 690-756, Korea

²College of Natural Sciences, Cheju National University, Jeju-do 690-756, Korea

³Department of Earth Science Education, Kongju National University, Chungnam 314-701, Korea

Abstract: To investigate the provenance of outer-shelf mud patch in the East China Sea, the geochemical compositions were analyzed and compared with those of Chinese rivers sediments. The mud sedimentary facies are distributed in the central region and sandy mud facies are also widely distributed around the study area. The major elements (Fe, Mg, K, Ti, and Mn) show strong 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 high concentration of Fe, Ti, and Mn elements are found in the western middle 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, Th/Sc, Cr/Th, Nb/Co, and Th/U were thus used as provenance indicators to identify the sediment origins of the East China Sea. The discrimination diagrams clearly show that most of the sediment in the northern part are originated from the Huanghe River, while the muddy sediments in the western part near the Changjiang estuary might come from the Changjiang River, suggesting that the outer-shelf muddy sediments of East China Sea are originated from diverse sources.

Keywords: muddy sediment, geochemical composition, provenance, East China Sea

요약: 동중국해 외대륙붕 지역에 분포하는 니질퇴적상의 기원지를 밝히기 위해 이곳 니질퇴적물의 지화학적 조성을 분석하였으며, 그 결과를 황하 및 양자강 퇴적물의 자료와 비교 검토해 보았다. 연구지역 표층퇴적상은 니토 퇴적상이 분포하는 중앙부지역과 사질니토 퇴적상이 전역에 넓은 분포를 보인다. 퇴적물내 Fe, Mg, K, Ti 및 Mn과 같은 주성분 원소와 미량원소 함량은 Al과 높은 정의 상관관계를 보여 퇴적물내 점토광물이 이들 원소 농도에 영향을 주고 있음을 의미한다. 주성분원소들의 공간분포에서 Fe, Ti 및 Mn원소는 양자강하구역과 가까운 중앙부 서쪽지역에서 높은 함량을 보여 양자기원 물질이 유입되고 있음을 추론케 한다. 연구지역 니질퇴적물의 Sc/Al, Ti/Nb, Th/Sc, Cr/Th, Nb/Co 및 Th/U 비는 황하와 양자강 기원의 퇴적물을 구분해주는 유용한 지화학적 지시자로 제시될 수 있었다. 이들 원소의 상관도에서 연구지역의 북쪽에 분포하는 니질퇴적물은 황하기원 퇴적물과 유사한 특징을 보이나, 양자강 하구역과 가까운 남서쪽의 퇴적물은 양자강 퇴적물과 유사성을 보여 동중국해 외대륙붕의 니토 퇴적상은 복합기원 퇴적물의 집적되고 있음을 의미한다.

주요어: 니질퇴적물, 지화학적조성, 기원지, 동중국해

*Corresponding author: jsyou@cheju.ac.kr

Tel: 82-64-754-3432

Fax: 82-64-725-2461

서 론

본 조사지역은 북위 $31^{\circ}00' \sim 32^{\circ}30'$, 동경 $125^{\circ}30' \sim 126^{\circ}30'$ 에 위치한 동중국해역의 외대륙붕 지역으로써 주변 육상으로부터 다양하게 퇴적물을 공급받고 있는 지역이다. 동중국해는 중국의 양자강과 제주도-일본구주 및 류큐열도-대만을 연결하는 선 안쪽의 광범위한 해역으로, 대륙붕, 오키나와곡분, 류큐해구 등 독특한 해저지형을 이루고 있다(Saito, 1998).

동중국해 북부 대륙붕지역은 중국 양자강에서 유입되는 담수의 영향을 직접 받는 해역으로 대량의 퇴적물이 양자강과 (고)황하강을 통해 유입되어 쌓이는데, 조사지역 서쪽에 위치하는 양자강은 길이가 약 6,300 km, 유역면적이 $1.94 \times 10^6 \text{ km}^2$ 인 중국대륙에서 가장 큰 강으로서 회말라야 고원지대에서 발원하여 중국에서 인구가 많은 지역을 관류하여 동중국해로 흘러가며, 동중국해 대륙붕지역 퇴적물은 많은 부분이 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 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 발해해협을 지나 산둥반도 동쪽 해안선을 따라 남하하는 황해연안류, 흑조(Kurushio)에서 분기해 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입되는 황해난류수, 고히강 삼각주 해역에서 남동 및 북동진하는 장수연안류, 여름철 양자강 하구에서 북동진하여 제주도 서쪽해역을 지나 황해 내부로 북상하는 양자강회석수 등으로 보고되고 있다(Lie, 1986; Zhao et al., 1990).

연구해역을 포함하는 동중국해역의 표층에는 제 4기말 동안의 그에 수반된 해수면 변동에 의한 잔류퇴적물(relict sediment)과 현세의 중국대륙 및 주변 육지로부터 유입되는 현생퇴적물의 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-미국 합동연구를 선두로 하여, Milliman et al. (1985)은 해역퇴적물에서 황하와 양자강기원 퇴적물의 구별에는 점토광물조성, 광물형상 및 화학조성의

특징에 의해 동중국해에 분포하는 퇴적물을 황하기원형과 양자기원형으로 구분하는 연구를 하였고, 동중국해 대륙붕 퇴적물에 대한 지화학적 연구는 양자강 하구 연안역(Chen et al., 1983; Buckley et al., 1983)에서 수행되었다. DeMaster et al.(1985)는 동중국해 대륙붕지역에 분포하는 니트대에서 동위원소를 이용한 퇴적물 수치(budget)를 평가하는 연구를 하였고, 남승일 외(2003)는 황해남부 해역과 동중국해 북부해역에서 채취된 코아퇴적물 시료에 대한 유기지화학적 및 안정동위원소 값을 이용한 고환경변화에 관한 연구를 하였다. Zhao and Yan(1992)는 황하, 양자강 및 동중국해 대륙붕지역에서 채취한 퇴적물에 대한 60여종의 화학분석치로부터 근원지별 배경농도와 이들을 식별할 수 있는 지화학적 연구를 하였고, 윤정수 외(2005)은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해 대륙붕 퇴적물의 기원연구에서 양자강기원 부유퇴적물의 동중국해 외대륙붕의 니질퇴적상 분포지역으로 공급될 가능성을 지적하였다. 이처럼 동중국해 외대륙붕의 니질퇴적상 분포지역은 중국 및 주변의 육지에서 강과 대기를 통해 유입되는 물질과 해류에 의해서 운반된 물질로 혼합되어 이지역의 복잡한 해황조건을 반영하므로 유입된 물질들의 근원지별로 지화학적 특성이 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 동중국해 외대륙붕의 니질퇴적상 분포지역에서 채취된 표층퇴적물 시료에 대한 입도분석과 주성분 및 미량원소를 분석하여 이들 원소들의 공간적 분포특성과 이미 연구 보고된 황하와 양자강 퇴적물의 지화학적 값과 비교 고찰하여 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적상의 근원지 파악에 접근하고자 한다.

연구방법

본 연구를 위해 제주도 남쪽 동중국해 외대륙붕해역(동경 $125^{\circ}30' \sim 126^{\circ}30'$, 북위 $31^{\circ}00' \sim 32^{\circ}30'$)의 12개 정점에서 표층퇴적물 시료를 채취하였다(Fig. 1). 퇴적물의 입도분석은 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 유기물과 탄산염을 제거한 후 4ϕ ($63 \mu\text{m}$)체를 사용하여 조립질과 세립질로 분리하였다. 조립질 퇴적물은 건식체질 방법으로, 그리고 세립질 퇴적물은 피펫방법으로 입도별 중량 백분율을 1ϕ 간격으로 구분하여 Folk and Ward(1957)가 제시한 도표 계산법에 따라 입도조직 상수를 계산하였다. 퇴적

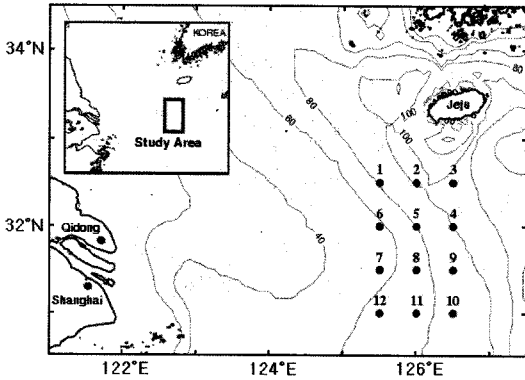


Fig. 1. Sampling sites and bathymetry in the northwestern East China Sea. Contours are given in meters.

물의 총 탄소 함량과 무기탄소 함량은 한국기초과학 연구원의 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 계산하였다.

퇴적물의 원소함량 분석을 위해 먼저 테플론용기에 분말화된 퇴적물시료 2 g과 불산-과염소산-질산 혼합용액으로 반응시킨 후 1 M 질산 용액으로 추출하였다(Kitano and Hujiyoshi, 1980). 전처리된 용액시료 중 원소농도는 한국기초과학연구원의 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용하여 정량되었다.

결과 및 토의

표층퇴적상의 분포

연구지역 표층퇴적상의 유형은 실트질모래(silty sand), 사질니토(sandy mud), 니토(mud)의 유형 분포를 보인다(Fig. 2). 실트질모래와 같은 패각편을 많이 함유한 사질형 퇴적물은 연구지역 북서쪽 끝(St. 1)에 분포하며 평균조성은 모래 50.4%, 실트 32.9%, 점토 16.7%이고, 평균입도는 4.13 ϕ 로 조립실트에 해당하며 분급도는 3.56 ϕ 로 불량한 편이다. 사질니토 퇴적상은 중앙부지역을 제외한 연구지역 전지역에 걸쳐 넓은 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. 니토퇴적상은 연구지역 중앙부에 분포하며 평균조성은 모래 3.2%, 실트 39.1%, 점토 57.7%이고 평균입도는 9.21 ϕ

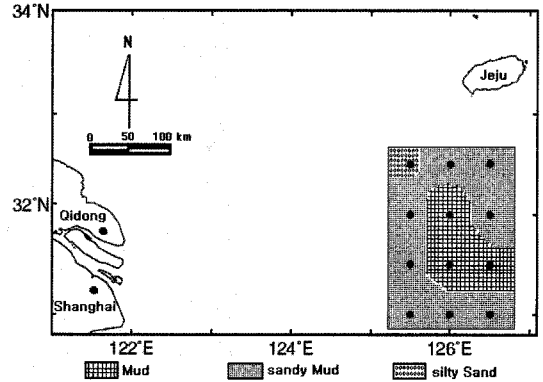


Fig. 2. Map showing surface sediment distribution in the outer-shelf of the East China Sea.

로 극세립실트에 해당하며 분급도는 2.4 ϕ 로 다소 불량하나 주변퇴적물 보다 좋은 편이다(Table 1). 이 니토대(mud patch) 퇴적층이 중앙부 두께는 2 m 정도 이고, 잔류사(relict sand) 위를 덮고 있으며 점토광물 중 스멕타이트가 높고 방해석도 많이 함유하며, spora-pollen-algae 조성에 근거하여 황하게 퇴적물로 보고 되었으나(Su et al., 1983; Yang and Milliman, 1983) 아직까지 근원지가 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다.

금속원소의 함량과 분포

연구지역 12개 퇴적물시료에서 측정된 금속원소들의 평균값은 Al: 7.2%, Fe: 3.5%, Ti: 0.35%, Ca: 5.9%, Mg: 1.5%, K: 2.3%, Na: 1.9%, Mn: 570 ppm, Sr: 246 ppm, Ba: 402 ppm, Zr: 136 ppm 등으로 나타났다(Table 2).

따라서 본 연구지역 퇴적물중의 상기원소 함량치를 상부대륙지각 셰일(UCC: Taylor and McLennan, 1985)과 시생대 후기 호주퇴적암(Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock: PAAS: McLennan, 1989)과 비교할 때 Ca, Mg, Zn, Pb, Cs 및 Li 원소를 제외한 나머지 원소들은 본 연구지역이 낮은 값을 보였다. 또한 퇴적물에 포함된 Al원소 함량변화에 따른 주성분원소의 변화 경향을 Table 3에 나타내었다. 표에서 보면 K, Mg, Fe 및 Mn 원소들은 Al과 매우 밀접한 정(+)의 직선관계($r=0.70\sim0.96$)를 나타내며, Ba, Ti 및 Na 원소도 상관계수 $r=0.45\sim0.53$ 으로 Al과 비교적 양호한 관련성을 보여 퇴적물내 점토광물 함량이 이들 원소의 농도를 조절하는 주요요인 중 하나로 작용하고 있음을 의미한다. 이는 퇴적

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

Region	St.	Sediment composition			Classification	Textural parameters				Organic matter	
		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)		Mean (φ)	Sorting (φ)	Skewness (φ)	Kurtosis (φ)	Org. C (%)	CaCO ₃ (%)
Outer-Shelf Muddy Sediments (OSMS)	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
	6	17.9	29.2	52.9	sM	6.32	3.18	-0.36	0.62	0.44	6.0
	7	34.7	253.	40.0	sM	5.63	3.24	-0.10	0.48	0.42	5.6
	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
	Average	23.7	31.1	45.2		5.93	3.06	-0.10	0.57	0.50	7.61

NOTE; sZ: silty sand, sM: sandy mud, M: mud, Org.C: organic carbon.

물내 주성분원소의 함량은 환경변화에 민감한 미량원소와는 달리 퇴적물의 광물조성에 따라 큰 영향을 받으며, 광물 조성 또한 퇴적물의 입도에 따라 크게 변화한다는 기존 연구결과와도 일치하고 있다 (Calvert, 1976). 또한 Zr, Cr, Co, Cu, V, Th, Cs, U, La 및 Sc 등 미량원소들도 Al과 높은 상관관계 ($r=0.70\sim0.98$)를 보이며, V($r=0.98$)과 Cr($r=0.94$)은 매우 높은 상관성을 보여 이들 원소들의 함량도 퇴적물의 입도와 점토광물에 의해 조절되고 있음을 시사한다. 한편 Sr, Ca의 함량은 Al과 부(-)의 상관관계($r=-0.33\sim-0.49$)를 보여 이는 퇴적물내 점토광물 보다는 다른 요인이 작용했음을 시사한다. 즉 퇴적물내 Ca과 Sr 농도는 유공충각이나 코코리스와 같은 탄산염물질이 주 구성성분임이 보고되어(Turekian and Wedepohl, 1961), 본 연구지역 퇴적물내 Sr, Ca 농도는 해양생물의 영향을 받고 있음을 의미한다.

Al원소는 지각물질 중에 가장 폭넓게 분포하는 원소들 가운데 하나로 이동중에 풍화나 함량변화가 거의 없고 육지의 강으로부터 이동시 90% 이상의 입자태로 이루어지며, 액상의 이동량은 매우 적은 전형적인 대륙기원 원소에 속한다(Martin and Meybeck, 1979). Al원소의 공간적인 분포는 Fig. 3-B에서 보는 바와 같이 그 분포범위가 5.3~8.9%의 분포를 보이나, 니토대가 분포하는 중앙부 지역에서 8% 이상으로 최대치를 보이고 북쪽으로 향함에 따라 7% 이하로 감소하는 경향을 보이고 있어 퇴적물내 점토광물 함량과 일치하거나 석영과 탄산염물질에 의한 희석작용이

미미함을 의미한다. 퇴적물 유형에 따른 Al원소의 함량은 평균입도가 7φ 이상인 니토대(mud patch)에서 8.5%, 사질니토 퇴적상에서 7.0%, 실트질모래 퇴적상에서 5.3% 함량을 보여 퇴적물의 평균입도와 관련성이 있음을 보여주고 있다.

Fe는 전이원소 중 함량이 가장 높은 원소로서 풍화에 대한 안정도가 크며, 주로 강을 통해 운반시 90%이상 입자태로 이동된다(Martin and Meybeck, 1979). Fe원소의 공간적 분포는 Fig. 3-C에서 보는 바와 같이 중앙부해역에서 4% 이상의 높은 함량치를 보이며, 북쪽으로 향함에 따라 3% 이하로 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. 퇴적물 유형에 따른 Fe의 함량은 니토대에서 4.1%, 사질니토 퇴적상에서 3.4%, 실트질모래 유형에서 2.1%로 Fe원소 역시 Al 원소와 마찬가지로 퇴적물의 세립성분 특히 점토광물에 의해 조절되고 있음을 시사한다. 그러나 양자강하구역과 가까워지는 본 연구지역의 서쪽 중앙부지역 (St. 6, 7)에서 4% 이상의 높은 함량을 보이며 북동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데 이는 양자강하구역이 근래 도시 및 토지이용 증가 등으로 철을 많이 함유한 양자기원 부유물질이 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 이동되고 있음을 시사한다. Mn은 해수와 담수가 만나는 연안역에서 망간산화물이 자생적으로 형성되는 비율이 큰 원소이며(Francois, 1988; Presley et al., 1992), 수괴 내에서 흡착 및 침전 등에 의해 효과적으로 제거되는 것으로 알려져 있다(Chester and Hughes, 1969). Mn

Table 2. Major and trace elements data for the outer-shelf muddy sediment samples in the East China Sea

Sample No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Major Oxides (Wt.%)												
Al ₂ O ₃	10.02	13.23	10.59	12.29	16.64	15.51	13.61	16.82	14.39	13.23	13.80	13.23
Fe ₂ O ₃	3.00	4.43	3.58	4.15	6.01	5.72	6.43	6.15	5.29	4.58	5.00	4.86
CaO	5.46	9.79	13.01	10.77	7.27	6.43	5.87	7.27	9.51	8.81	7.69	6.71
K ₂ O	2.53	2.77	2.29	2.53	3.37	3.13	2.77	3.13	2.89	2.77	2.77	2.53
Na ₂ O	2.16	2.43	2.43	2.56	2.70	2.43	2.56	2.43	3.10	2.70	2.70	2.43
MgO	1.49	2.16	1.99	2.16	2.99	2.82	2.49	3.15	2.82	2.49	2.49	2.49
TiO ₂	0.62	0.38	0.47	0.52	0.69	0.63	0.69	0.67	0.62	0.55	0.62	0.60
Trace Elements (ppm)												
Mn	340	600	500	430	650	560	700	670	770	500	620	570
Sr	190	310	380	330	200	175	190	210	280	270	200	219
Y	16.3	23.5	19.8	21.5	29.0	21.1	24.4	29.5	24.1	21.1	21.9	21.0
Zr	110.0	135.0	122.0	129.0	142.1	130.0	126.1	161.1	154.0	138.1	150.1	141.0
V	57.0	81.0	66.0	77.0	112.1	104.0	96.1	112.1	98.0	84.1	90.1	88.0
Cr	44.0	63.0	50.0	64.0	85.1	76.0	81.1	85.1	83.0	65.1	70.0	68.0
Ni	15.2	23.3	18.8	21.7	30.6	27.8	21.6	27.5	22.8	18.5	26.6	26.6
Co	6.8	9.9	8.4	9.2	12.7	11.6	10.7	12.3	10.3	8.9	11.6	11.5
Cu	9.8	16.5	9.9	11.5	20.2	18.7	15.3	19.4	16.6	11.5	16.3	16.1
Zn	89.5	91.5	74.0	85.5	98.6	106.5	103.1	113.6	118.5	98.1	116.1	99.6
Rb	76.7	88.4	79.5	86.4	103.8	95.9	78.5	90.3	85.6	81.8	97.2	89.9
Nb	6.8	10.1	9.2	9.1	12.2	11.3	11.8	12.9	11.3	8.4	11.3	11.4
Pb	30.1	34.8	28.2	32.2	38.5	36.9	33.7	36.5	34.5	29.7	31.2	30.3
Th	11.2	12.7	10.2	13.3	15.4	13.9	13.0	14.7	13.2	8.7	11.9	12.8
Cs	6.0	8.9	7.1	8.4	13.4	11.3	8.2	11.9	10.0	8.7	8.3	8.3
U	1.5	2.2	2.0	2.6	3.1	2.7	2.4	2.9	2.5	2.4	2.2	2.4
Ba	430	414	320	383	429	422	426	428	398	393	399	386
Li	50.0	70.0	59.0	68.0	93.1	82.0	70.1	93.1	84.0	74.0	74.0	69.0
Sc	7.0	10.0	8.0	10.0	13.0	13.0	12.0	14.0	12.0	11.0	11.0	11.0
La	26.4	37.1	31.7	37.6	42.0	38.8	42.5	39.0	37.2	31.5	33.9	35.0
Th/U	4.67	5.77	5.10	5.12	4.97	5.15	5.42	5.07	5.28	5.80	5.41	5.33
Zr/Th	12.6	10.6	12.0	9.7	9.2	9.4	9.7	11.0	11.7	12.3	12.6	11.0
Zr/Ti	297.3	586.9	435.7	416.1	346.6	342.1	307.6	402.8	416.2	418.5	405.7	391.7

원소의 지역적 분포는 Fig. 3-D에서 보는 바와 같이 Fe농도 분포와 유사하게 본 연구지역 서쪽 중앙부에서 600 ppm 이상의 고농도 분포대가 동서방향으로 대상분포를 보이는데, 이 또한 양자기원 부유퇴적물이 본 역 중앙부까지 이동되고 있는 것으로 사료된다. 퇴적물 유형에 따른 Mn원소의 함량은 니토 퇴적상에서 697 ppm, 사질니토 퇴적상에서 560 ppm의 분포를 보여 세립질 퇴적물에서 높은 Mn 함량치를 보이고 있다.

Ti원소는 대표적인 대륙기원 원소이며 보존성 원소로써 모래나 실트질 퇴적물에서 함량이 높은 티탄철석이나 예추광(anatase) 등의 영향을 많이 받는 원소로 알려져 있다(Bowen, 1979). Ti원소의 지역적 분포는 Fig. 3-F에서 보는 바와 같이 양자강하구역과 가

까운 서쪽과 중앙부지역이 0.4% 이상의 높은 함량치를 보이고 북동쪽으로 향함에 따라 0.3% 이하로 감소하는 경향을 보이는데, 이 또한 양자기원 물질이 연구지역까지 유입되고 있음을 추론케 한다. 퇴적물 유형에 따른 Ti원소의 함량은 니토 퇴적상에서 0.39%, 사질니토 퇴적상에서 0.33%, 실트질모래에서 0.37%의 함량분포를 보이고 있다. Ca원소 함량은 육상기원 쇄설성 퇴적물(석회암, 백운암)의 공급 외에 유공충, 산호, 연체동물과 같은 해양생물체와 깊은 연관성을 갖으며(Turekian and Wedepohl, 1961), 점토광물에는 그 함량이 매우 낮은 것으로 알려져 있다(Goldberg and Arrhenius, 1985). Ca원소(Fig. 3-H)와 Sr원소의 지역적 분포는 수심이 깊은 본 연구지역 북동쪽 끝 지역(St. 3)에서 각각 9.3%, 430 ppm으로 최대 함량

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

	Mz	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	Ti	Mn	Sr	Zr	V	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Rb	Nb	Pb	Th	Cs	U	Ba	La	Sc	
Mz	1.00																										
Al	0.72	1.00																									
Fe	0.61	0.88	1.00																								
Ca	-0.33			1.00																							
Mg	0.76	0.96	0.88		1.00																						
K	0.59	0.92	0.77	-0.45	0.81	1.00																					
Na	0.77	0.43			0.52		1.00																				
Ti		0.53	0.63	-0.76	0.53	0.56		1.00																			
Mn	0.56	0.70	0.78		0.71	0.57	0.62		1.00																		
Sr		-0.49	-0.52	0.97		-0.55		-0.81		1.00																	
Zr	0.56	0.76	0.60		0.81	0.54	0.60		0.68		1.00																
V	0.72	0.98	0.94		0.97	0.88	0.45	0.59	0.74	-0.48	0.73	1.00															
Cr	0.75	0.94	0.96		0.94	0.80	0.58	0.60	0.82		0.73	0.96	1.00														
Ni	0.64	0.85	0.73		0.80	0.73			0.53		0.65	0.85	0.75	1.00													
Co	0.63	0.89	0.86		0.88	0.74		0.50	0.66	-0.47	0.72	0.92	0.86	0.96	1.00												
Cu	0.61	0.93	0.83		0.85	0.86		0.46	0.73	-0.52	0.68	0.92	0.85	0.92	0.93	1.00											
Zn		0.72	0.68	-0.54	0.71	0.62	0.53	0.62	0.74	-0.58	0.75	0.72	0.75	0.53	0.64	0.68	1.00										
Rb	0.60	0.73	0.50		0.65	0.71					0.55	0.69	0.56	0.92	0.82	0.79		1.00									
Nb	0.61	0.85	0.90		0.87	0.65		0.49	0.81		0.72	0.90	0.89	0.87	0.95	0.89	0.65	0.63	1.00								
Pb	0.59	0.85	0.74		0.71	0.91			0.57			0.82	0.77	0.72	0.70	0.86	0.48	0.64	0.68	1.00							
Th	0.77	0.90	0.83		0.86	0.77		0.59		0.63	0.90	0.89	0.86	0.87	0.86	0.48	0.71	0.84	0.85	1.00							
Cs	0.74	0.93	0.75		0.89	0.93		0.53		0.62	0.91	0.82	0.82	0.80	0.86	0.47	0.77	0.73	0.88	0.89	1.00						
U	0.81	0.89	0.79		0.90	0.76		0.47		0.63	0.89	0.86	0.79	0.81	0.75		0.68	0.76	0.75	0.95	0.91	1.00					
Ba		0.52	0.50	-0.82		0.70		0.55	-0.78	0.48	0.47				0.56	0.54				0.67				1.00			
La	0.69	0.76	0.87		0.73	0.64			0.65		0.81	0.85	0.70	0.77	0.75				0.82	0.79	0.91	0.72	0.82		1.00		
Sc	0.69	0.92	0.97		0.97	0.84		0.57	0.69	-0.46	0.74	0.99	0.96	0.80	0.89	0.87	0.73	0.62	0.87	0.77	0.89	0.86	0.89	0.47	0.94	1.00	

치를 보이고 남서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데, 이는 근원지 외에 대만난류수에 의한 해양생물 기원의 영향을 강하게 받는 것으로 해석된다.

퇴적물내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정

동중국해 외대륙붕해역의 니질퇴적물에서 채취한 12개의 시료에서 분석된 화학조성과 기원이 황하와 양자강퇴적물의 지화학적 자료를 비교하여 연구지역 퇴적물의 기원지를 파악하였다.

황해역과 동중국해 퇴적물에서 황하와 양자강기원 퇴적물을 구별할 수 있는 지화학적 특징으로는 Table 4에서 보는 바와 같이 황하퇴적물에는 양자강퇴적물에 비해 Ca, Na, Sr 및 Zr원소가 높은 함량 특성을 보이나, 양자강퇴적물에는 대부분의 전이원소(transitional elements) 함량이 풍부한 것으로 보고되었다(Zhao and Yan, 1992; Yang et al., 2003). 그러나 Ca Na 및 Sr과 같은 알카리 토류원소들은 강과 해양환경에서 불안정하고 해양자체에서 공급되는 해양생물과 해

수기원 물질 등의 요인에 의해 조절되므로 대륙기원 원소의 함량이 상대적으로 변하게 된다. 따라서 대륙기원 원소의 공급여부나 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 규격화함으로써 입도의 영향을 최소화 할 뿐만 아니라 해양퇴적물의 공급지 추정이 가능하다(Ergin et al., 1996). 본 연구에서는 잔류퇴적물에 높은 함량을 보이며 퇴적물의 운반과정에서 비교적 보존적 거동을 보이는 Sc/Al, Zr/Ti, Cr/Th, Nb/Co 및 Th/Sc 비를 이용하여 동중국해 외대륙붕해역 니질퇴적상의 기원지를 추정해 보았다.

Table 4에서 보는바와 같이 상기원소들의 비 값은 황하와 양자강퇴적물에서 뚜렷한 차이를 보여 이들 비 값을 이용하여 황해와 동중국해역 퇴적물의 공급지 추정에 지시자로 이용될 수 있음을 시사한다. Fig. 5와 같이 Th/Sc 대 Ti/Nb, Nb/Co 대 Th/Sc, Cr/Th 대 Sc/Al의 상관도표에서 동중국해 외대륙붕해역

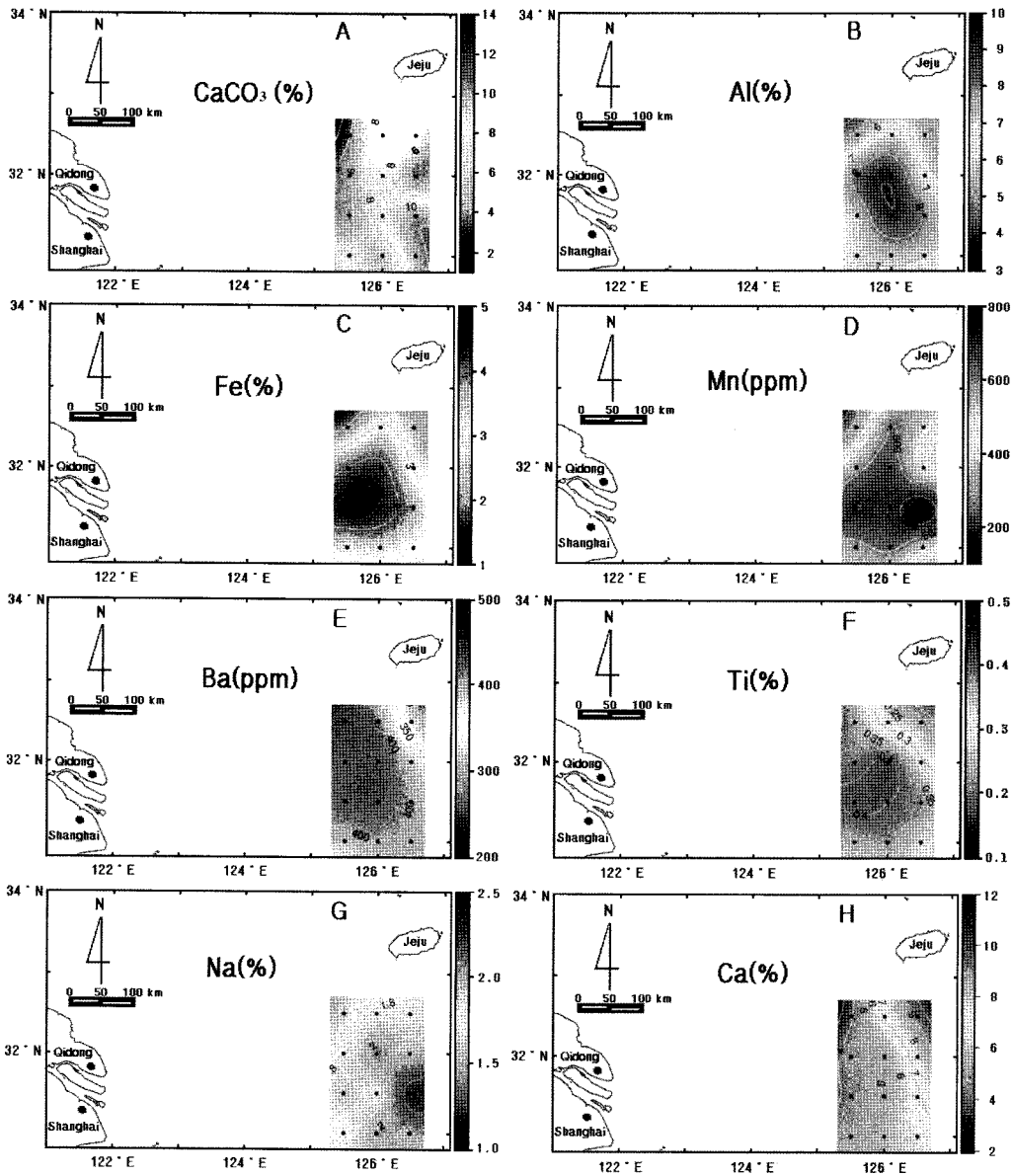


Fig. 3. Areal distribution of Al, Fe, Mn, Ba, Ti, Na, Ca, CaCO₃ on the outer-shelf muddy sediments of the East China Sea.

의 니질퇴적물은 기원지로서의 어느 특정한 지역을 명백히 보여주지 않았으며 크게 두 유형으로 구분된다. 즉 연구해역의 북쪽에 분포하는 퇴적물시료들(St. 2,3,4)은 황하강 퇴적물시료 주위에 밀집분포하나, 반면에 양자강하구역과 가까이 위치하는 남서쪽 지역의 퇴적물시료(St. 6,7,8,10,11,12)는 양자강 퇴적물시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보여 동중국해 외대륙붕역의 니토대 분포지역은 황하와 양자강의 복합기원 퇴적물이 집적되고 있음을 의미한다. 황하기원 퇴적

물이 연구지역으로 이동이 가능한 기작으로는 황하강은 1128년부터 1855년 기간 동안에는 그 유로가 산둥반도 남쪽의 장수(Jiangsu) 지역에 위치하였으며 직접 황해로 흘러 들어갔다. 황하강의 유로가 1855년에 산둥반도 북쪽의 발해역으로 이동한 이후 장수연안지역은 급격한 해안침식이 일어나 1,400 km²의 연안육지 지역이 소실되었고, 연평균 4.4 × 10⁸ ton 정도의 퇴적물이 생산되는 것으로 보고되었다(Saito, 1998). 이들 (고)황하기원 삼각주 퇴적물은 장수연안

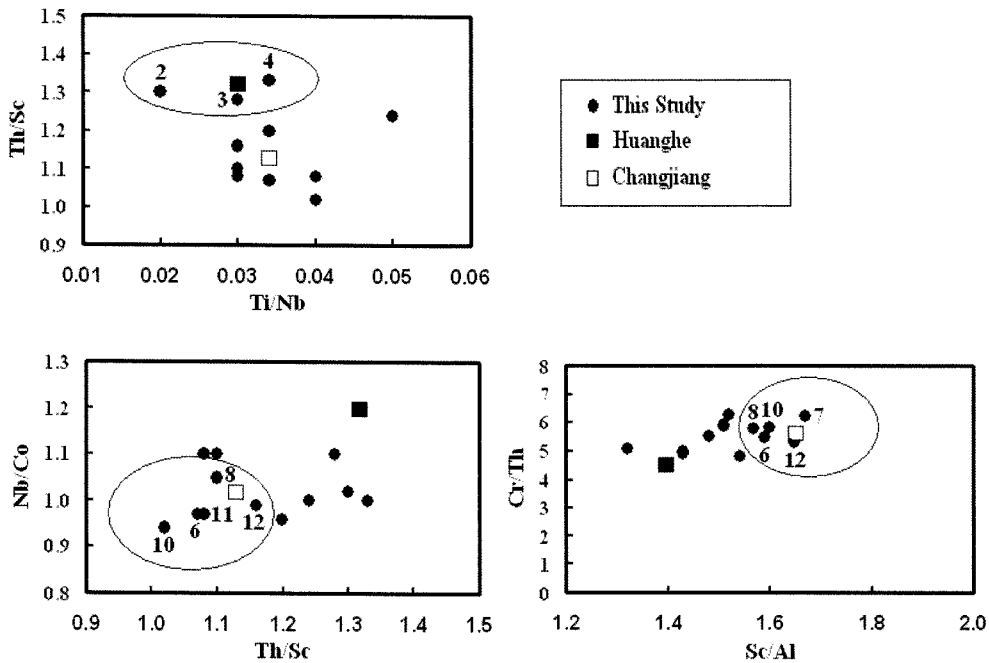


Fig. 4. Discrimination plots Th/Sc vs Ti/Nb, Nb/Co vs Th/Sc and Cr/Th vs Sc/Al. The composition of the outer-shelf sediment are originated from the diverse sources, especially from the Huanghe and Changjiang rivers sediment.

류 등에 의해 황해중상부 해역과 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 운반되고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman et al., 1985).

연구지역 퇴적물의 Th/U에 대한 Th의 상관관계에서는 Fig. 5에서 보는바와 같이 UCC의 평균치(3.82; Taylor and McLennan, 1985) 보다 높은 값을 보여 기원지에서 강한 화학적 풍화작용을 받았음을 의미하며, 또한 본 역의 퇴적물시료들은 황하기원 퇴적물로 사료되는 시료(St. 1,3)를 제외하면 양자강퇴적물시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보이는데 이는 양자기원 부유퇴적물이 동중국해 외대륙붕 지역으로 공급되고 있음을 의미한다. 이는 윤 등(2005)이 언급한 동중국해 외대륙붕의 니토대에서 Sr동위원소 비 값이 황하 보다는 양자강과 더 유사하여 양자기원 부유퇴적물의 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 공급될 가능성을 지적한 연구결과와도 잘 일치하고 있다. 유사한 행동을 하는 원소로 알려진 La와 Th원소(McLennan et al., 1980)는 상관계수 $r=0.91$ 로 높은 상관성을 보이며, La와 Th의 관계에서는 Fig. 6과 같이 퇴적물 입도가 감소함에 따라 La와 Th 함량이 증가하는 경향을 보여 기원지외에 입도의 영향을 강하게 받고 있음을 의미한다. 그러나 본 해역 퇴적물시

료는 황하보다는 양자강퇴적물 주위에 많이 밀집 분포하는 특징을 보여 동중국해 외대륙붕 지역에 분포하는 니토대는 단일기원지에서 유래된 퇴적물이 아님을 의미한다. 양자기원 퇴적물이 연구지역으로 이동이 가능한 기작으로는 양자강으로부터 유출되는 부유 퇴적물은 주로 하구역의 동쪽과 남동쪽의 동경 $122^{\circ} \sim 123^{\circ}$ 지역에 분포하는 수중삼각주 지역에 퇴적되고 소량만이 동중국해로 확산된다. 그러나 대만난류가 중국 동해안을 따라 북동방향으로 흐르는 계절에는 남풍계에 편승하여 양자강기원 부유퇴적물은 표층프름(plume)으로 북동진하여 제주도 서쪽까지 이동하는 것으로 알려져 있다(Beardsley et al., 1983; Milliman et al., 1985). 또한 Lie(1986)는 양자강희석수는 홍수철에 북동진하여 제주도 서쪽해역을 지나 황해로 북상하는 것으로 보고하는 등 양자강기원 물질이 동중국해 외대륙붕 해역까지 이동이 가능하다는 것이다.

따라서 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적물의 공급지는 주로 (고)황하 하구역의 침식된 물질과 양자강으로부터 운반된 물질이고 이외에 대만난류수 등에 의해 운반된 물질 및 생물기원 물질의 영향도 다소 있는 것으로 사료된다.

Table 4. Major and trace composition of the outer-shelf muddy 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	OSMS ¹	HURS ²	CHRS ²	PAAS ³	UCC ⁴
Al*	7.2	5.55	7.09	10.0	8.04
Fe*	3.5	2.52	4.28	5.1	3.5
Ca*	5.9	4.01	3.18	0.9	3.0
Mg*	1.5	1.15	1.64	1.3	1.33
K*	2.3	1.9	2.06	3.1	2.83
Na*	1.9	1.65	0.91	0.9	2.89
Ti*	0.35	0.36	0.57	0.60	0.41
Mn	570	498	958	853	620
Sr	246	207	146	200	350
Y	22.8	19.2	23.8	27.0	22.0
Zr	136.5	143	138	210.0	190.0
V	88.8	58.2	104	150.0	60.0
Cr	69.5	46.9	73.7	110.0	35.0
Ni	23.4	21.6	40.3	55.0	20.0
Co	10.3	9.29	16.8	-	10.0
Cu	15.2	17.1	40.3	50.0	25.0
Zn	99.6	42	106	85.0	71.0
Rb	87.8	81.7	113	160.0	112.0
Nb	10.5	11.2	17.0	19.0	25.0
Pb	33.1	18.2	39.5	20.0	20.0
Th	12.6	10.4	13.4	14.6	10.7
Cs	9.2	4.0	7.3	-	3.7
U	2.4	2.1	2.6	3.1	2.8
Ba	402	453	454	650	550
Li	73.9	26.1	44.9	-	20.0
Sc	11.0	7.77	11.9	-	11.0
La	36.1	31.0	39.5	38.0	30.0
Sc/Al	1.53	1.40	1.68	-	1.37
Zr/Th	10.83	13.75	10.30	14.38	9.5
Nb/Co	1.02	1.21	1.01	-	2.50
Cr/Th	3.14	4.51	5.50	7.53	3.27
Zr/Ti	390	397.2	242.1	350	463.4
Th/Sc	1.15	1.34	1.13	-	0.97

¹Outer-shelf muddy sediment, ²Huanghe and Changjiang rivers sediment (Yang et al., 2004), ³Post-Archaean shale average Australian sedimentary rock (McLennan, 1989), ⁴Average upper continental crust (Taylor and McLennan, 1985).

결론

동중국해 외대륙붕의 니질퇴적상 분포지역에서 채취한 표층퇴적물의 입도분석, 주원소 및 미량원소의 함량과 분포특성에 대한 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 연구지역 표층퇴적물의 유형은 사질니토, 니토, 실트질모래가 분포하나 주로 니토 퇴적상이 분포하는 중앙부지역과 사질니토퇴적상이 전역에 넓은 분포를

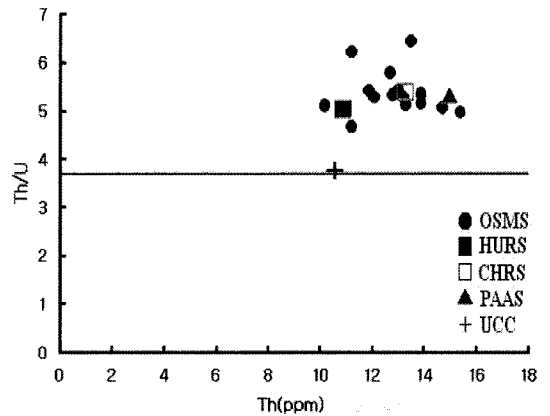


Fig. 5. Th/U versus Th diagram. Note; OSMS: Outer-Shelf Muddy Sediment, HURS: Huanghe River Sediment (Yang et al., 2004), CHRS: Changjiang River Sediment (Yang et al., 2004), PAAS: Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock (McLennan, 1989), UCC: Average Upper Continental Crust (Taylor and McLennan, 1985).

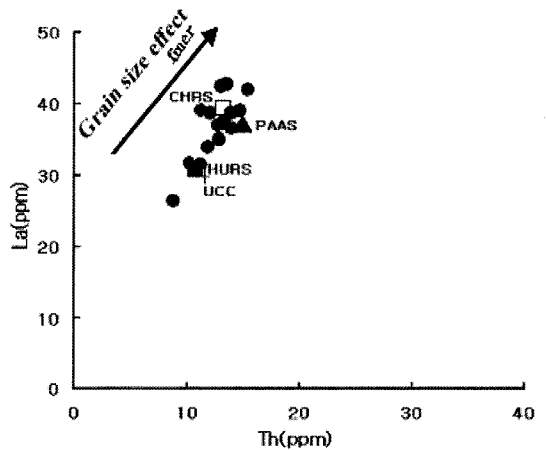


Fig. 6. The relationship between La and Th content diagram. Note; CHRS & HURS: Changjiang and Huanghe rivers Sediment (Yang et al., 2004), PAAS: Post-Archaean average Australian Sedimentary rock (McLennan, 1989), UCC: Average Upper Continental Crust (Taylor and McLennan, 1985), NASC: North American Shale Composition (Gromet et al., 1984).

보인다. 사질니토 퇴적상의 평균 조성은 모래 28.0%, 실트 29.9%, 점토 42.1%이고, 평균입도는 5.68φ로 중립질 실트이며, 니토 퇴적상은 모래 3.2%, 실트 39.1%, 점토 57.7%이고, 평균입도는 7.9φ로 세립질 실트에 해당한다.

2. 퇴적물내 금속원소 함량은 전반적으로 Al원소와 밀접한 정이 상관관계를 보여 퇴적물내 점토광물 함

량에 영향을 받으나, Ca, Sr 및 Na원소는 Al과 관련성이 미약하였다. 금속원소들의 공간분포에서 Fe, Ti 및 Mn원소는 연구지역의 중앙부 서쪽지역에서 높은 함량을 보이는데 이는 양자기원 물질이 유입되고 있음을 의미하며, Ca와 Sr원소는 북동쪽에서 높은 함량치를 보여 근원지 외에 해양생물의 영향도 많이 받는 것으로 사료된다.

3. 니질퇴적물의 화학조성 중 Th/Sc 대 Ti/Nb, Nb/Co 대 Th/Sc, Cr/Th 대 Sc/Al 3개의 지화학적 구분지수에서 동중국해 외대륙붕지역의 니토대 분포지역은 양자강기원 물질도 유입되고 있는 것으로 해석된다.

사 사

본 연구는 “한국과학재단의 특정기초연구비(과제번호: R01-2002-000-0002-0)” 사업에 의해 지원되었습니다. 이 연구를 수행함에 있어서 시료채취에 많은 배려를 해주신 제주대학교 아라호 직원 여러분과 실험에 도움을 준 해양학과 지질해양학 연구실 이승철, 김태정 학생에게 감사드립니다. 논문의 심사과정에서 세심한 검토와 지적으로 도움을 주신 익명의 심사자들에게 감사드립니다.

참고문헌

남승일, 김성필, 장정해, A. Mackensen, 2003, 마지막 해빙기 해침이후 동중국해 북부해역과 황해의고환경변화. 지질학회지, 39, 149-160.
 윤정수, 임동일, 변종철, 정희수, 2005, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 비를 이용한 동중국해역 대륙붕 퇴적물의 기원연구. 한국해양학회지, 바다, 10, 92-99.
 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. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, Vol. 2, China Ocean Press, 265-284.
 Bowen, H. J. M., 1979, Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London, 333 p.
 Buckley, D. E., Yu, G., Chen, W., Lin, Y., Huang, P., Zhu, F. and Zhu, J., 1983, Initial investigation of the geochemistry of surficial sediments on the Changjiang River submerged delta. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, Vol. 2, China Ocean Press, 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, 187-280.
 Chester, R. and Hughes, M. J., 1969, The trace element geochemistry of a North Pacific pelagic clay core. Deep Sea Research, 16, 619-654.
 Chen, Y., Wang, X. and Wu, M., 1983, Geochemistry and material source of sediments in the East China Sea. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, Vol.2, China Ocean Press, 763-772.
 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. Continental Shelf Research, 4, 143-158.
 Emery, K. O., 1968, Relict sediments on continental shelves of world. American Association of Petroleum Geologist, 52, 445-464.
 Ergin, M., Kazan, B. and Ediger, V., 1996, Source and depositional controls on heavy metal distribution in marine sediments of the Gulf of Iskenderun, Eastern Mediterranean. Marine Geology, 133, 223-239.
 Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957, Brazor river bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-27.
 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, British Columbia, Canada. Marine Geology, 83, 285-308.
 Galehouse, J. S., 1971, Sedimentation analysis. In: Procedures in Sedimentary Petrology edited by Carver, R.E., Wiley-Interscience, 69-94.
 Gromet, L. P., Dymek, R. F., Haskin, L. A. and Korotev, R. L., 1984, The North American shale composite: Its compilation major and trace element characteristics. Geochemica et Cosmochimica Acta, 48, 2468-2482.
 Goldberg, E. D. and Arrhenius, G. O. S., 1985, Chemistry of Pacific pelagic sediments. Geochemica et Cosmochimica Acta, 13, 153-143.
 Ingram, R. L., 1971, Sieve analysis. In: Procedure in Sedimentary Petrology: edited by Carrer, R. E., Wiley Interscience, 49-68.
 Kitano, Y. and Hujjiyoshi, R., 1980, Selective chemical leaching of cadmium, copper and manganese and iron in marine sediments. Geochemical Journal, 14, 113-122.
 Lie, H. J., 1986, Summertime hydrographic features in the southeastern Huanghe. Progress of Oceanology, 28, 680-683.
 Martin, J. M. and Meybeck, M., 1979, Elemental mass balance of material carried by major world rivers. Marine Chemistry, 7, 173-206.
 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. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 44, 1833-1839.
- McLennan, S. M., 1989, Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Review Mineralogy*, 21, 170-199.
- Milliman, J. D. and Emery, K. O. 1968, Sea levels during the past 35,000years. *Sciences*, 162, 1121-1123.
- Milliman, J. D. and Meade, R. H., 1983, World-wind delivery of river sediment to the ocean. *Journal of Geology*, 91, 1-21.
- Milliman, J. D., Beardslay, R. C., Yang, Z. S. and Limebruner, R., 1985, Modern Huanghe deived mud on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms. *Continental Shelf Research*, 4, 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, 367-376.
- Presley, B. J., Taylor, R. J. and Booth, P. N., 1992, Trace metal concentration in sediment of the Eastern Mississippi Bight. *Marine Environmental Research*, 33, 267-282.
- Saito, Y., 1998, Sedimentary environment and budget in the East China Sea. *Bulletin on Coastal Oceanography of Japen*, 36, 43-58.
- Schubel, J. R., Shen, H. T. and Park, M. J., 1984, A comparison of some characteristic sedimentation process of estuaries entering the Yellow Sea. *Preceedings of Korea-U.S. Seminar and Workshop, Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, 286-308.
- Su, X., Zoh, H. and Zeng, W., 1983, The recent sedimentation rates and process in the Changjiang estuary and its adjacent continental shelf area. *Sedimentation on the Continental shelf with special Reference to the East China Sea Vol. 2*, China Ocean Press, 562-571.
- Taylor S. R. and McLennan, S. K., 1985, *The continental crust: its composition and evolution*. Blcakwell, Oxford, 312 p.
- Turekian, K. K. and Wedepohl, K. H., 1961, Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72, 175-192.
- Yang Z. S. and Milliman. J. D., 1983, Fine-grained sediments of Changjiang and Huangho Rivers and sediment sources of the East China Sea. *Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, Vol. 2* China Ocean Press, 436-446.
- 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, 93-120.
- Yang, S. Y., Lim, D. I., Jung, H. S. and Oh, B. C., 2004, Geochemical composition and provenance discrimination of coastal sediments around Cheju Island in the southeastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 206, 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. *Chinese Journal of Oceanography and Limnology*, 8, 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, 1991-1994.

2006년 1월 26일 접수
 2006년 3월 9일 수정원고 접수
 2006년 3월 21일 원고 채택