

제주도 서부해역 표층퇴적물의 지화학적 조성과 기원 연구

윤정수* · 김태정

제주대학교 해양과학대학, 690-756, 제주도 제주시 아라동 1

Geochemical Composition and Provenance of Surface Sediments in the Western Part of Jeju Island, Korea

Jeung-Su Youn* and Tae-Joung Kim

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

Abstract: To discriminate the provenance of shelf sediments in the western part off Jeju Island, the textural and elemental compositions were analyzed and compared with the sediments originating from Changjiang and Huanghe Rivers of China and the Korean (Keum) River. 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 wt%. The ratios of TOC over total nitrogen (TN) showed that the study area sediments contained more organic matters of marine origin than those of terrigenous origin. The high concentration of Fe/Al, Ti/Al and Mn/Al figures were found in the southwestern part near the Changjiang estuary, indicating that it seemed to result from the influence of the Changjiang River. The discrimination diagrams including Sc/Al vs Cr/Th, Th/Sc vs Nb/Co and Ti/Nb vs Th/Sc were thus used as provenance indicators to identify the sediment origins of the western part off Jeju Island. Based on these discriminated diagrams it clearly showed that most of the sediment in the western part were 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 northeastern part showed the higher figures than those of the river sediments and other regions, suggesting that the sediments in the western part off Jeju Island must be originated from diverse sources.

Keywords: geochemical composition, provenance, China, Korea, rivers sediment, Jeju Island

요약: 제주도 서부해역에 분포하는 퇴적물의 기원지를 밝히기 위해 이곳 표층퇴적물의 지화학적 조성을 분석하였으며, 그 결과를 중국의 황하와 양자강 그리고 한국의 강 퇴적물과 비교·연구하였다. 연구지역 퇴적물의 평균입도는 $3.6\sim 8.5\Phi$ 범위의 조립질실트 퇴적상으로 구성되며 탄산염 함량은 $0.92\sim 9.75\%$ (평균 3.65%) 범위를 갖는다. 총유기탄소와 총질소(TN)의 비율(평균 9.4)에서 연구지역의 유기물은 육성 기원보다 해양성 기원이 상대적으로 우세하였다. 주성분 원소들의 공간분포에서 Fe/Al, Mn/Al, Ti/Al의 함량비는 양자강 하구역과 가까운 남서쪽 지역에서 높은 농도를 보여 양자기원 물질이 연구지역으로 유입되고 있음을 추론케한다. 연구지역 퇴적물의 Sc/Al 대 Cr/Th, Th/Sc 대 Nb/Co, Ti/Nb 대 Th/Sc의 지화학적 구분지수는 황하와 양자강기원 퇴적물을 구분해 주는 유용한 지화학적 지시자로 제시될 수 있었다. 연구지역의 서쪽에 분포하는 대부분의 퇴적물은 황하기원 퇴적물과 유사한 특징을 보였고 양자강 하구역과 가까운 남서쪽 지역의 퇴적물은 양자강기원 퇴적물과 유사성을 보였으며, 북동쪽 지역에 분포하는 퇴적물 시료는 다른지역 퇴적물 보다 높은 비값을 보여, 따라서 제주도 서부해역은 복합기원 퇴적물이 집적되고 있음을 의미한다.

주요어: 지화학적 조성, 기원지, 중국, 한국, 강 퇴적물, 제주도

*Corresponding author: jsyoun@cheju.ac.kr

Tel: 82-64-754-3432

Fax: 82-64-725-2461

서론

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

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

황해 남부의 대륙붕에는 중국의 황하강과 양자강으로부터 각각 약 1.1×10^9 ton/yr과 4.9×10^8 ton/yr에 달하는 육상기원 퇴적물이 공급되며, 또한 한반도의 여러 강과 하천으로부터 약 $1 \sim 5 \times 10^7$ ton/yr의 퇴적물이 공급되는 것으로 평가되고 있다(Schubel et al., 1984; Lim et al., 2007; 박용안 외, 1994). 중국의 주요 강들로부터 유입된 퇴적물의 대부분은 황해의 서부와 중앙부에 퇴적되며 황해 동측부분의 상대적으로 좁은 해역은 한반도의 크고 작은 강과 하천을 통해 유입된 퇴적물이 분포하는 것으로 보고되었다(Chough and Kim, 1981; Alexander et al., 1991).

중국의 양자강과 제주도 - 일본의 쿠슈 및 류큐열도 - 대만을 연결하는 선 안쪽에 위치한 동중국해는 서태평양과 황해를 연결하는 수심 200 m 이하의 넓은 대륙붕과 좁은 대륙사면으로 이루어져 있으며(Qin et al., 1996; Liu et al., 2000), 쿠로시오해류 (Kuroshio)가 지나가는 통로이기도하다. 따라서 황해와는 달리 원양성 퇴적환경을 지니고 있기도하며 중국에서 가장 큰 양자강의 영향을 크게 받고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman and Meade, 1983).

황해와 동중국해 퇴적물에 대한 지화학적 연구로서 Zhao et al.(1990)은 남황해 중앙부에 분포하는 니질 퇴적체(Central Yellow Sea Mud: CYSM)에 대한 ^{210}Pb 동위원소를 이용한 퇴적률 측정과 화학조성의 특징에 근거하여 이곳의 니트는 황하강으로부터 운반된 물질, 장수 북쪽 지역의 고황하 삼각주 해안의 침식·운반된 물질 및 양자기원 물질이 혼합된 복합기원 현생니토대(multi-source modern mud)로 해석하

였다. 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 하였고, 천중화 외(2000)는 황해 중심부에 분포하는 산화대층의 특성 연구에서 황해 중앙부해역은 홀로세 동안에 퇴적물 공급이 거의 없었거나 아주 적게 공급된 퇴적전선(sedimentation front) 지역으로 해석하였다. 윤정수 외(2005, 2006)는 화학조성 특징과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해 대륙붕 퇴적물의 기원지 추적 연구에서 양자기원 부유 퇴적물의 동중국해 외대륙붕의 니질퇴적상 분포지역으로 공급될 가능성을 지적하였으며, 임동일 외(2007)도 퇴적물의 주성분 원소와 스트론튬($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)을 이용한 기원지 추적 연구에서 한국 서남해안에 발달하는 니질퇴적체는 한국과 중국의 혼합기원으로 해석하였다. Yang and Youn(2007)은 남황해 중앙부해역 니질퇴적물에 대한 퇴적률과 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(CYSM), 한국 서남해 연안에 분포하는 니토대(Southwestern Yellow Sea Mud: SEYSM), 제주도 남서쪽 동중국해 외대륙붕에 형성된 니토대(Southwestern of Cheju Island Mud: SWCIM)는 대부분 중국의 황하와 양자강 및 한반도 서해안의 강들로부터 공급된 것으로 평가하고 있으나, 아직까지 기원지 구분에 이용될 수 있는 정확한 지화학적 추적자가 제시되지 못한 상태에 있다. 이처럼 황해 남부와 동중국해 북부 해역은 중국 및 한반도 주변의 육지에서 강과 대기를 통해 유입되는 물질과 해류에 의해서 운반된 물질로 혼합되어 이 지역의 복잡한 해양조건을 반영하므로 유입된 물질들의 근원지별로 지화학적 특성이 명확히 밝혀지지 못한 상태 때문 등으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 제주도 서쪽 해역에서 채취한 표층퇴적물 시료에 대한 입도분석과 주성분 및 미량원소를 분석하여 이들 원소들의 공간적 분포와 기원 연구 보고된 한국과 중국의 강 퇴적물의 지화학적 조성과 기원에 관해 연구된 결과를 이용하여 제주도 서부 해역에 분포하는 퇴적물의 기원지 파악에 유용한 지화학적 지시자를 제시하고자 한다.

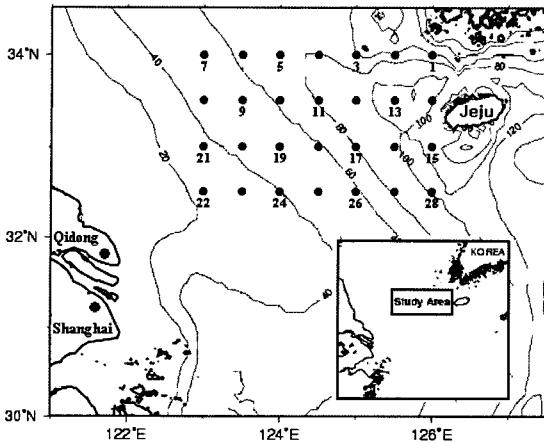


Fig. 1. Study area, sampling sites and bathymetry in the western part off Jeju Island. Contours are given in meters.

연구 방법

본 연구를 위해 제주도 서쪽 대륙붕해역(동경 123°00'~126°00', 북위 32°30'~34°00')의 28개 정점에서 표층퇴적물 시료를 채취하였다(Fig. 1). 퇴적물의 입도 분석은 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 유기물과 탄산염을 제거한 후 4Φ(63 μm)체를 사용하여 조립질과 세립질로 분리하였다. 조립질 퇴적물은 건식체질 방법으로, 그리고 세립질 퇴적물은 피펫방법으로 입도별 중량 백분율을 1Φ 간격을 구분하여 Folk and Ward(1957)가 제시한 도표 계산법에 따라 입도조직 상수를 계산하였다.

퇴적물의 총 탄소 함량과 유기탄소 함량은 한국기초과학연구원의 CHN분석기(CE Instrument; Flash-1120)를 이용하여 측정하였다. 무기탄소 함량은 총탄소의 함량에서 유기탄소 함량을 뺀 값으로 하였으며, 탄산염 함량은 무기탄소에 8.33을 곱하여 계산하였다(Byers et al., 1978). 퇴적물의 원소함량 분석을 위한 시료는 먼저 입도에 따른 광물 조성 차이의 영향을 최소화하기 위해 습식 체질하여 4Φ(<63 μm)보다 세립한 니토(실트+점토) 입자만을 사용하였으며, 분석된 시료는 100°C로 건조시킨 후 agate mortar에서 분말화하여 분석에 용이하도록 처리하였다. 이렇게 분말화된 퇴적물 시료 0.2 g을 테플론 가압산분해용기(Saville™)로 HF, HClO₄, HNO₃ 혼합용액으로 반응시켜 규산염광물 격자를 파괴시킨 후 1M HNO₃ 용액으로 추출하였다(Kitano and Hujiyoshi, 1980). 전처리된 시료들의 주성분원소와 미량성분은

한국기초과학연구원의 ICP-AES와 ICP-M를 각각 이용하여 정량되었다. 각 시료의 원소분석 자료의 정확도를 검증하기 위하여 NRCC의 MESS-3을 시료와 같이 처리하였고 회수율은 91.7100.6%의 범위로 비교적 만족스런 수준이었다.

결과 및 토의

표층퇴적상의 조성과 유기탄소함량

연구지역 표층퇴적물의 유형은 소량자갈함유니질모래((g)mS), 니질모래(mS), 점토질모래(cS), 사질실트(sZ), 사질니토(sM), 사질점토(sC), 니토(M)로 총 7개 유형의 분포를 보이거나 크게 보아 니질모래퇴적상((g)mS+mS+cS), 사질니토퇴적상(sZ+sM+sC), 니토퇴적상(M)분포 지역으로 구분된다(Table 1).

니질모래 퇴적상은 연구지역 북동쪽 지역과 남서쪽 끝 지역(Stn-22,23)에 분포하며 평균조성은 자갈 0.3%, 모래 61.2%, 실트 14.8%, 점토 23.7%이고 평균입도는 4.69Φ로 극세립질 모래에 해당한다. 사질니토 퇴적상은 연구지역 서쪽과 남쪽 지역(Stn-24,25, 26,27,28)에 광범위한 분포를 보이며 평균 조성은 모래 36.3%, 실트 28.7%, 점토 35.0%이고, 평균입도는 6.26Φ로 세립질 실트에 해당한다. 니토 퇴적상은 북서쪽 끝지역(Stn-7,9)과 북동쪽 지역(Stn-2)에 소규모의 분포를 보이며 평균조성은 모래 4.3%, 실트 44.9%, 점토 50.8%이고, 평균입도는 7.57Φ로 세립질 실트에 해당한다. 본 연구지역 북서쪽 끝지역에 분포하는 니토 퇴적상은 남해해 중앙부에 분포하는 니토대(CYSM)로 황하와 양자강을 통해 공급된 복합기원 현생퇴적물로 해석 하였으나 연구자마다 그 결과들이 상이하였다(Zhao et al., 1990; Yang et al., 2003; Yang and Youn, 2007). 퇴적물내 유기탄소 함량은 0.26~1.07%(평균 0.66%)의 범위를 보이고 사질함량이 높은 북동쪽 지역에서 0.47%로 가장 낮고 사질니 퇴적상에서 평균 0.72%, 그리고 세립한 니토퇴적상에서 0.93%로, 퇴적물의 입도가 세립할수록 유기탄소 함량이 증가하는 특징을 보인다(Table 1). 이는 퇴적물의 조립질보다 세립질에서 표면적이 증가하여 흡착력이 크기 때문인 것으로 기존의 연구 결과와도 일치하고 있다(Sawlan and Murray, 1983; Bordovsky, 1965).

해저퇴적물에 유기탄소를 축적시키는 기작은 주로 표층에서의 생물생산, 유기탄소의 보존 증가 또는 대

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	-	57.0	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	32.0	46.9	sM	1.04	0.10	3.02	12.14	7.23
7	-	3.4	38.7	57.9	M	0.90	0.06	2.18	17.48	8.54
8	-	31.2	45.1	23.7	sZ	0.52	0.09	2.42	6.73	6.00
9	-	7.6	51.2	41.2	M	0.98	0.13	1.17	8.79	6.10
10	-	20.0	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	0.10	2.67	7.70	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	-	57.0	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	10.0	mS	0.59	0.10	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	0.50	0.06	2.00	9.12	5.13
25	-	45.2	16.7	38.1	sC	0.38	0.10	2.92	4.43	6.27
26	-	15.0	34.5	50.5	sM	0.97	0.13	3.75	8.70	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

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

륙으로부터의 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(현상민 외, 1999; Muller, 1977). 해양생물의 기초 생산에 의해 형성된 유기물은 C/N 비가 10 이하를 보이며, 주변대륙에서 공급된 유기물인 경우 C/N비는 10 이상을 보이는 것으로 알려져 있다(Muller, 1977; Muller and Suess, 1979; Stein, 1990). 이런 해양성 및 육성기원의 구분 방법은 조류(algae)에는 셀룰로오스가 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; 박명호 외, 2005).

총유기탄소와 C/N비의 관계에서는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 육지와 가까이 위치하는 동쪽지역의 퇴적물시료(Stn-1,2,13,14,15,16,17,28)와 북서쪽 외해역에 분포하는 몇몇 시료(Stn-6,7,21)에서 C/N비가 10 이상의 값을 보여 이는 주변 육지의 육성기원 유기물질이 연구지역으로 유입되고 있음을 시사한다.

금속원소의 함량과 공간분포

연구지역 28개 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: 507 ppm, Ba: 392 ppm, Sr: 203 ppm, Rb: 103 ppm, Cr: 63.6 ppm, Co: 9.7 ppm, Ni: 27.4 ppm 등으로 나타났다(Table

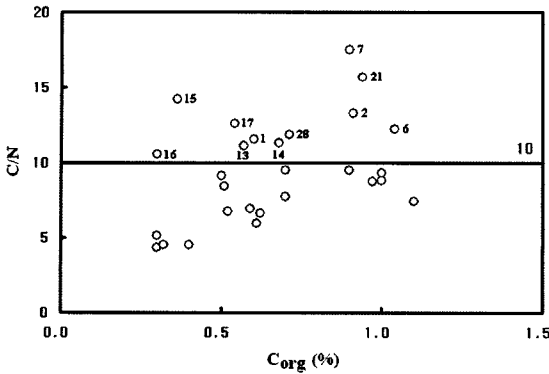


Fig. 2. Total organic carbon contents vs. C/N ratios in the bottom sediments of the western part off Jeju Island.

2). 본 연구지역 퇴적물 중 상기원소 함량치를 상부 대륙지각 셰일(UCC: Taylor and McLennan, 1985), 시생대후기호주퇴적암(PAAS: Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock; McLennan, 1989), 북미 셰일 화학조성 값(NASC: North American Shale Composition; Cromet et al., 1984) 과 비교할 때 Ca, Pb, Cd, Cs, Li원소를 제외한 나머지 원소들은 본 연구지역이 낮은 값을 보였다. 또한 퇴적물에 포함된 Al원소 함량변화에 따른 주성분 원소의 변화 경향을 Table 3에 나타내었다. 표에서 보면 Fe, Mg, Ti, Mn 와 같은 주성분 원소들은 Al과 비교적 양호한 상관성($r = 0.46\sim 0.63$)을 보여 퇴적물내 점토광물 함량이

Table 2. Elements concentration of the western part off Jeju Island sediments in comparison to Huanghe (HURS), Chanjiang (CHRS) and Keum rivers sediment (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	57.0	5.0	33.0
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	98.0	8.5	41.0
4	7.0	2.6	5.6	2.8	2.6	1.0	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	34.0
6	7.3	2.5	3.7	2.6	2.1	1.3	0.36	455	538	156	101.1	76.2	8.0	33.2
7	7.6	3.2	3.8	2.5	1.9	1.4	0.42	443	401	143	92.8	109.0	9.4	40.7
8	6.7	2.9	4.1	2.0	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	0.40	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	48.0
12	6.1	2.6	6.4	2.4	2.4	1.0	0.30	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	122.0	54.1	5.9	32.6
15	5.3	2.3	4.6	2.1	2.0	0.9	0.27	380	446	248	118.8	60.6	5.4	30.2
16	5.7	3.1	5.5	2.5	2.0	1.3	0.26	450	453	230	120.7	71.0	7.5	31.0
17	6.4	3.3	3.1	2.4	1.7	1.3	0.33	524	476	260	120.0	77.0	8.1	38.1
18	5.8	2.6	3.8	2.4	1.6	1.1	0.34	406	474	178	105.3	55.0	5.2	35.0
19	6.7	3.0	3.7	2.0	1.5	1.2	0.37	380	418	182	98.6	82.0	6.0	44.1
20	7.4	3.0	3.3	2.0	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	5.0	36.8
22	7.0	3.2	3.6	2.0	1.6	1.2	0.39	615	378	186	84.0	78.8	5.4	31.5
23	6.3	2.8	3.8	1.8	1.6	1.0	0.36	525	392	175	82.2	69.1	4.3	28.7
24	6.4	3.1	3.8	2.0	1.5	1.2	0.50	650	419	200	99.7	85.0	5.7	44.0
25	6.2	3.2	3.1	2.2	1.7	1.1	0.38	480	446	180	97.7	75.0	5.5	40.0
26	6.3	3.9	3.1	2.5	1.9	1.4	0.45	598	437	193	136.1	83.5	10.0	44.7
27	7.4	2.5	3.9	2.1	1.6	1.0	0.40	510	430	190	76.7	57.0	6.0	40.0
28	7.0	3.1	5.4	2.3	1.8	1.3	0.23	600	414	210	88.4	81.0	8.9	50.0
Av.	6.7	3.1	4.2	2.2	1.9	1.2	0.36	507	392	203	103.0	74.2	6.7	37.2
STD	0.7	0.4	0.9	0.3	0.4	0.1	0.07	97	81	48	19.7	13.9	1.7	5.7
HURS	5.6	2.5	4.0	1.9	1.7	1.2	0.36	498	453	207	81.7	58.2	4.0	26.1
CHRS	7.1	4.3	3.2	2.1	0.9	1.6	0.57	958	454	146	113.0	104.0	7.3	44.9
KEUM	7.4	3.1	0.6	2.3	1.5	0.9	0.39	586	492	149	132.0	64.2		45.1
UCC	8.0	3.5	3.0	2.8	2.9	1.3	0.41	620	550	350	112.0	60.0	3.7	
PAAS	10.0	5.1	0.9	3.1	0.9	1.3	0.60	853	650	200	160.0	150.0		
NASC	9.0	4.0	2.4	3.2	0.8	1.7	0.47	500	636	142	125.0	130.0		

Table 2. (continued)

St.	Cr	Zn	Co	Ni	Cu	Y	Zr	Nb	Sc	Pb	Th	U	La
1	51.0	64.6	7.1	21.9	9.3	13.9	144	8.2	7.0	26.8	9.1	1.93	29.6
2	70.2	98.1	11.5	29.2	17.1	22.5	108	13.5	10.3	28.0	12.1	2.24	33.2
3	69.3	69.5	9.1	33.2	16.7	20.8	216	10.9	9.9	33.4	12.6	2.30	36.3
4	59.2	58.8	9.2	28.8	14.4	15.3	112	10.6	8.8	26.7	10.2	2.32	33.9
5	75.9	81.6	10.5	31.2	21.1	17.7	132	11.4	10.6	30.6	13.5	2.33	34.0
6	76.0	85.6	10.2	32.6	23.5	15.7	134	11.5	10.4	26.4	13.2	2.35	32.5
7	75.1	91.9	11.6	34.1	23.3	21.2	142	13.4	10.8	30.1	13.6	2.41	34.1
8	56.2	52.0	8.9	21.0	16.6	17.9	108	10.3	9.2	19.3	10.6	1.85	29.2
9	72.6	65.3	11.2	30.6	18.3	20.5	118	12.7	11.2	20.6	13.2	2.42	31.2
10	62.7	67.6	9.6	37.4	20.7	18.6	145	11.0	10.7	29.9	13.6	2.34	33.4
11	67.3	77.5	8.5	34.9	17.6	17.7	127	10.1	10.4	26.8	11.8	2.41	36.3
12	52.5	51.9	8.6	30.9	13.5	16.0	114	9.4	8.6	25.0	10.2	1.93	35.0
13	68.4	57.0	7.9	33.3	13.7	15.9	119	8.9	8.9	24.2	10.5	2.00	36.8
15	50.9	54.0	6.4	20.8	14.9	17.4	133	6.7	7.5	31.5	10.6	1.89	33.8
16	59.6	87.6	6.2	27.8	15.8	17.7	130	6.8	9.1	32.6	11.9	2.10	33.4
17	58.0	62.0	7.7	25.7	16.1	18.2	96	9.4	10.0	30.8	12.6	2.17	37.3
18	51.0	61.0	8.7	22.3	15.2	13.8	106	8.5	8.2	22.9	9.0	1.73	29.8
19	62.1	72.0	10.6	33.5	19.8	21.7	118	10.3	9.6	18.5	10.7	1.95	32.5
20	68.8	79.1	10.5	33.7	20.9	24.7	118	11.8	10.6	22.7	12.5	2.34	33.6
21	60.5	46.1	10.9	27.6	12.0	22.7	130	12.5	10.3	18.9	11.8	2.48	31.0
22	65.4	55.1	9.1	16.5	12.2	22.5	109	10.2	10.9	20.0	12.4	2.47	37.6
23	65.1	48.4	10.0	22.5	9.7	24.7	139	10.6	10.3	21.9	12.5	2.39	39.6
24	73.0	97.5	12.4	27.1	16.5	22.0	163	14.7	10.0	30.3	12.8	3.03	36.3
25	62.9	67.5	10.8	24.6	17.3	16.8	112	11.4	10.3	30.1	12.1	2.32	31.8
26	75.8	78.6	13.1	20.4	16.4	20.7	106	13.7	11.6	25.8	12.4	2.60	34.5
27	44.0	89.5	11.9	15.8	9.8	16.3	115	12.4	10.7	30.1	11.2	2.00	30.4
28	63.0	91.5	10.6	23.3	16.5	23.5	140	10.1	10.5	32.8	12.7	2.20	37.1
Av.	63.6	70.8	9.7	27.4	16.3	19.1	127	10.8	9.8	26.5	11.8	2.24	33.8
STD	8.8	15.7	1.8	5.9	3.8	3.2	24	2.0	1.1	4.6	1.3	0.28	2.7
HURS	46.9	42.0	9.29	21.6	16.9	19.2	143	11.2	7.77	18.2	10.4	2.10	31.0
CHRS	73.7	106.0	16.8	40.3	48.5	23.8	138	17.0	11.9	39.5	13.4	2.60	39.5
KEUM	44.7	73.5	15.0	26.0	27.0	20.0	141	16.9	9.0	36.7	16.1		43.3
UCC	35.0	71.0	10.0	20.0	25.0	22.0	190	25.0		20.0	10.7	2.80	30.0
PAAS	110.0	85.0		55.0	50.0	27.0	210	19.0		20.0	14.6	3.10	38.0
NASC	125.0			58.0		35.0	200	13.0	6.3		12	2.70	31.1

STD=Standard Deviation; Huanghe, Changjiang and Keum rivers sediment (Yang et al., 2004); Average upper continental crust (UCC: Taylor and McLennan, 1981); Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock (PAAS: McLennan, 1989); North American Shale Composition (NASC: Gromet et al., 1984).

이들 원소의 농도를 조절하는 주요 요인 중 하나로 작용하고 있음을 의미한다. 이는 퇴적물내 주성분 원소의 함량은 환경 변화에 민감한 미량원소와는 달리 퇴적물의 광물조성에 따라 큰 영향을 받으며 광물 조성 또한 퇴적물의 입도에 따라 크게 변화한다는 기존의 연구 결과와도 일치하고 있다(Calvert, 1976). 한편 Ca와 Sr의 함량은 Al과 부(-)의 상관관계($r = -0.32 \sim -0.59$)를 보이는데 이는 퇴적물내 점토광물보다는 다른 요인이 작용했음을 시사한다. 즉, 퇴적물내 Ca와 Sr 농도는 유공충각이나 코코리스와 같은

해양 생물의 영향을 받고 있음을 의미한다(Turekian and Wedepohl, 1961).

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. 3b에서 보는 바와 같이 그 분포 범위가 5.3~7.6%의 분포를 보이거나 니토와 사질니토 퇴적상의 분포하는 북서쪽 지역

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	

에서 7% 이상으로 높은 함량치를 보이고, 니질모래 퇴적상이 분포하는 북동쪽 지역으로 향함에 따라 6% 이하로 감소하는 경향을 보였다.

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 원소인 Al로 다른 원소들을 나누어 줌으로써 입도에 의한 농도변화를 최소화 하였다(Goldberg and Arrhenins, 1958; Moorby, 1983).

Fe는 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 Fe의 범위는 2.5~3.9%이며, Fe/Al비의 공간적 분포는 Fig. 3c에서 보는 바와 같이 0.34~0.62의 분포 범위를 보이나 양자강 하구역과 가까워지는 남서부 지역에서 0.5 이상의 높은 값을 보이고, 북쪽과 북동쪽으로 향함에 따라 0.4 이

하로 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.

Ti 원소는 대표적인 대륙기원 원소이며 보존성 원소로써 모래나 실트질 퇴적물에서 함량이 높은 티탄 철석이나 예추광(anatase) 등의 영향을 많이 받는 원소로 알려져 있다(Bowen, 1979). 연구지역 퇴적물내 Ti원소의 함량 범위는 0.23~0.45%이며, Ti/Al비의 지역적 분포는 Fig. 3e에서 보는 바와 같이 양자강 하구역과 가까운 남서쪽 지역에서 0.06 이상의 높은 함량치를 보이고 북동쪽으로 향함에 따라 0.05 이하로 감소하는 경향을 보인다.

Na 원소는 불안정한 알카리 원소에 속하며, 주로 강을 통해 전체 이동량의 50~90%가 액상으로 이루어지며(Martin and Meybeck, 1979), 입자태로 이동하는 Na원소 함량은 쇄설성 광물인 장석, 각섬석 및 휘석 등의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Bowen, 1979). 또한 양자강보다 황하기원 퇴적물에서 높은 함량치를 보임이 보고되었다(Yang et al., 2003). 조사

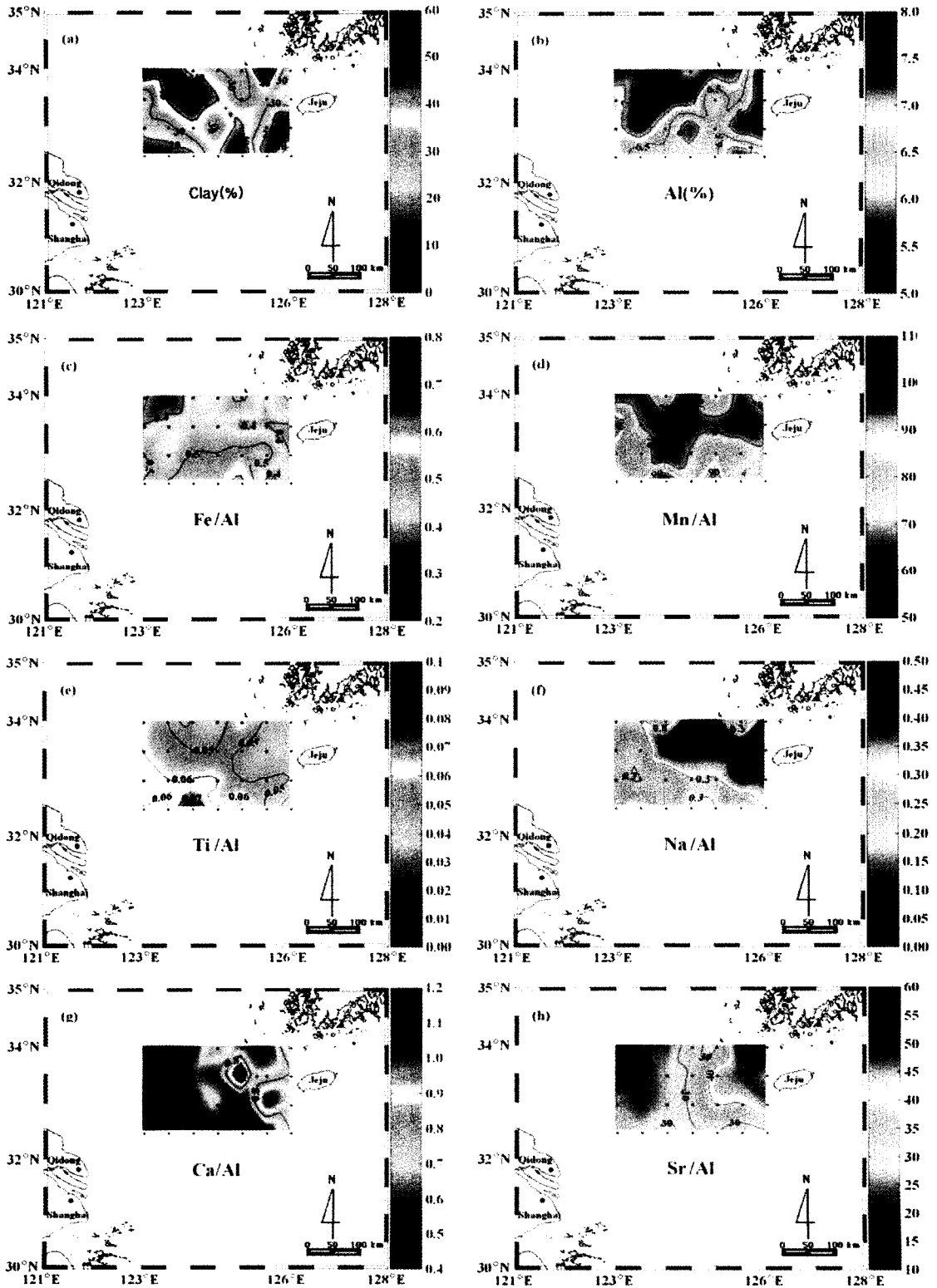


Fig. 3. Areal distribution of Al, Fe/Al, Mn/Al, Ti/Al, Na/Al, Ca/Al, Sr/Al and clay contained in sediments of the western part off Jeju Island.

지역 퇴적물 중 Na의 함량 범위는 1.3~2.8%이고, Na/Al비의 지역적 분포는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 연구지역의 북쪽 및 북동쪽에서 0.4 이상의 높은 함량비를 보이고, 서쪽 및 남서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여 근원지 외에 해양생물 기원의 영향을 강하게 받는 것으로 사료된다. 즉 패각편과 유공충과 같은 해양생물 파편을 많이 함유하는 동중국해 퇴적물이 제주도 주변까지 확장하는 대마난류와 같은 해양환경 요인과 또한, 황해연안류 등에 의해 황하기원 퇴적물이 본 연구지역으로 이동되고 있음을 의미한다(Yang et al., 2004). 해양환경에서 SrCO₃ 형성은 유공충과 코크리스와 같은 탄산염 생물체와 관련이 있는 것으로 보고 되었고(Turekian and Wedepohl, 1961), Sr/Al비의 지역적 분포는 Fig. 3h에서 보는 바와 같이 육지와 가까운 북동쪽 끝지역(Stn-1,2)에서 53.5 이상의 최대 함량비를 보이고 남서쪽으로 향함에 따라 감소하는 경향을 보여 근원지 외에 연체동물, 산호, 유공충과 같은 해양생물 기원의 영향을 강하게 받는 것으로 보여진다.

퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정

제주도 서방 대륙붕지역에서 채취한 28개의 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(Table 2; Yang et al., 2004; Lee and Na, 2003). 이를 바탕으로 지화학적으로 근원강 퇴적물을 구분하기 위하여 이들 강들에서 상대적으로 풍부한 원소들을 근거로 3개의 구분지수를 유도하였다.

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

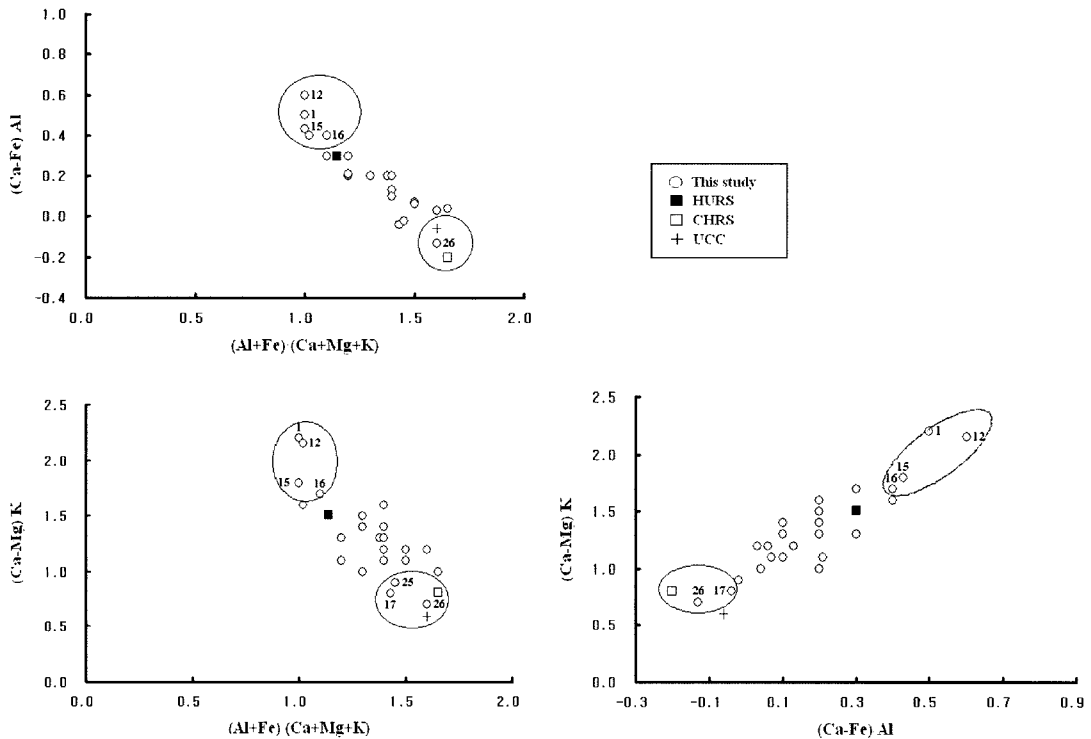


Fig. 4. Comparison of the geochemical indices of $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$, $(Ca-Fe)/Al$, and $(Ca-Mg)/K$. The composition of western part off Jeju Island sediments originated from the diverse sources, especially from the Huanghe river sediments.

적인 알카리와 알카리토류 원소로부터 유도된 것이다.

본 연구에서 이들 구분 지수들을 적용해 본 결과 연구지역 퇴적물은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 제주도과 한반도 서남해안에서 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 양자강 보다는 황하기원 부유퇴적물의 영향을 더 받고 있음을 시사한다. 그러나 모든 시료들이 황하와 양자강의 평균치 사이에 일직선상의 밀집된 분포특징을 보여 연구지역의 퇴적물은 주로 황하와 양자강기원 퇴적물의 혼합되어 있는 것으로 추정된다.

제주도 서부해역에 분포하는 퇴적물에서 황하와 양자강기원 퇴적물을 구별할 수 있는 지화학적 특징으로는 Table 2에서 보는 바와 같이 황하강 퇴적물에는 양자강 퇴적물에 비해 Ca, Na, Sr 및 Zr 원소가 높은 함량 특성을 보이나, 양자강 퇴적물에는 대부분 전이원소 함량이 풍부한 것이다(Yang et al., 2003). 그러나 Ca, Na 및 Sr과 같은 알카리토류 원소들은 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; Moorby, 1983).

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. 상기 원소들의 비 값은 황하와 양자강 퇴적물에서 뚜렷한 차이를 보여(Table 2), 따라서 이들 비 값을 이용하여 제주도 서부해역에 분포하는 퇴적물의 공급지 추정에 지시자로 이용될 수 있음을 시사한다. Fig. 5와 같이 Sc/Al 대 Cr/Th, Th/Sc 대 Nb/Co, Ti/Nb 대 Th/Sc의 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 퇴적물시료 주위에 밀집 분포하는 특징을 보이나, 양자강 하구역과 가까이 위치하는 남쪽지역에 분포하는 퇴적물시료(Stn-18,19,25,

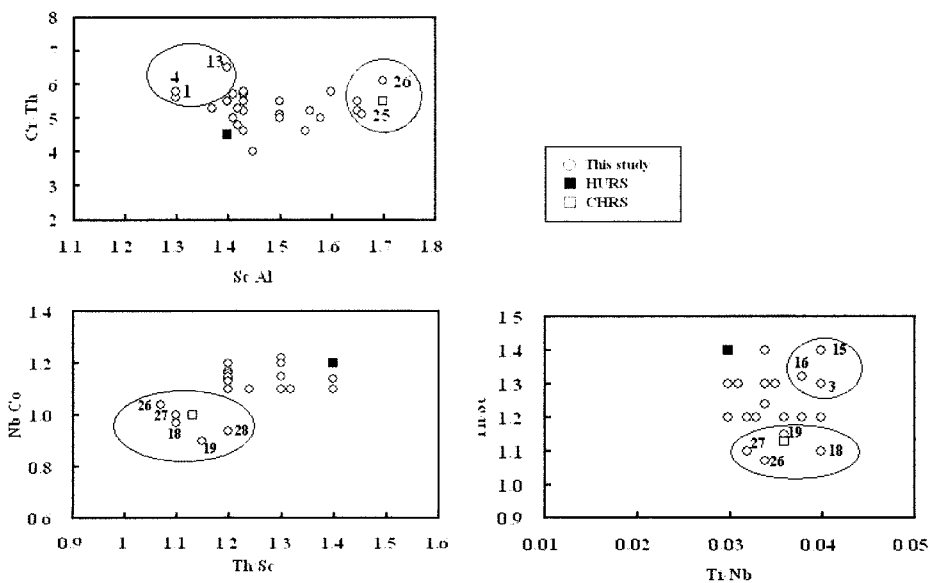


Fig. 5. Discrimination plots of Sc/Al vs Cr/Th, Th/Sc vs Nb/Co and Ti/Nb vs Th/Sc. HURS and CHRS: Huanghe and Changjiang Rivers sediment (Yang et al., 2004).

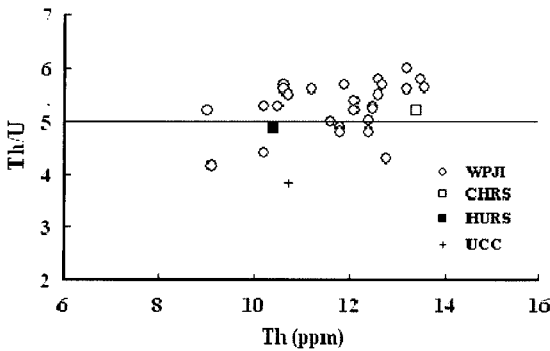


Fig. 6. Th/U versus Th diagram WPJI: western part off Jeju Island sediment, HURS and CHRS: Huanghe and Changjiang sediment (Yang et al., 2004), UCC: Average Upper Continental Crust (Taylor and McLennan, 1985).

26,27)는 양자강 퇴적물시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보인다. 반면 연구지역 북동쪽에 분포하는 퇴적물시료(Stn-1,3,13)는 중국의 황하와 양자강퇴적물보다 높은 비값을 보이는데 이는 제주도과 한반도 서남해안 지역에서 공급된 퇴적물로 추정된다. 따라서 제주도 서쪽해역은 중국의 황하와 양자강, 제주도 및 한반도 서남해안에 분포하는 강 등 복합기원 퇴적물이 혼합되어 있음을 의미한다.

연구지역 퇴적물의 Th/U에 대한 Th의 상관관계에서는 Fig. 6에서 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 몇몇 시료들(Stn-20,22,23,28등)이 양자강 퇴적물 평균치 시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보이는데, 이는 양자기원 부유퇴적물이 제주도 서부해역까지 이동되고 있음을 의미한다. 이는 윤정수 외(2005)가 언급한 동중국해 외대륙붕의 니토대에서 Sr동위원소 비 값이 황하보다는 양자강과 더 유사하여 양자기원 부유퇴적물의 제주도 남서쪽 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 공급될 가능성을 지적한 연구 결과와도 잘 일치하고 있다.

따라서 황해 남부와 동중국해 북부 일부가 포함되는 제주도 서부 해역에 분포하는 퇴적물의 공급지는 주로 (고)황하 하구역의 침식된 황하기원 물질이 주를 이루며, 그 외에 양자강으로부터 운반된 물질과 제주도와 한반도 서남 해안에서 운반된 물질 및 해양생물 기원 물질 등이 혼합되어 있는 것으로 해석된다.

결론

1. 연구지역 표층퇴적물의 유형은 소량자갈함유니질모래, 니질모래, 사질실트, 사질니토, 니토 등이 분포하나 니질모래 퇴적상이 분포하는 북동쪽 지역과 사질니토 퇴적상이 전역에 걸쳐 넓은 분포를 보인다. 니질모래 퇴적상의 평균조성은 자갈 0.3%, 모래 61.2%, 실트 14.8%, 점토 23.7%이고, 평균입도는 4.69Φ 로 극세립질 모래에 해당하며, 사질니 퇴적상은 모래 36.3%, 실트 28.7%, 점토 35.0%, 평균입도는 6.26Φ 로 세립질 실트이고, 니토 퇴적상은 모래 4.3%, 실트 44.9%, 점토 50.8%, 평균입도는 7.57Φ 로 극세립질 실트에 해당한다.

2. 연구지역 퇴적물에 대한 유기탄소 함량은 낮은 편이나 0.26~1.07%의 범위를 보이며, 유기물의 특성을 지시하는 C/N비에 의하면 거의 대부분이 해양에서 생물생산에 의해 형성된 해양성 유기물로 해석되나, 북동쪽 시료들은 10 이상의 값을 보여 육성기원 퇴적물이 섞여 있음을 의미 한다.

3. 금속원소의 공간 분포에서 Fe/Al 및 Ti/Al 함량비는 연구지역의 남서쪽지역에서 높은 값을 보이는데 이는 양자기원 물질이 제주도 서쪽 지역으로 유입되고 있음을 의미하며 Na/Al 및 Sr/Al 함량비는 북쪽 및 북동쪽지역에서 높은 함량을 보여 황하기원 물질과 해양생물의 영향도 많이 받는 것으로 사료된다.

4. 본 역 퇴적물의 화학조성 중 (Al+Fe)/(Ca+Mg+K), (Ca-Fe)/Al 및 (Ca-Mg)/K 3개의 지화학적 구분지수 상관관계에서 제주도 서부해역은 제주도와 한반도 서남 해안에서 기원된 물질을 제외하고는 양자강보다는 황하기원 퇴적물에 더 밀집된 분포특징을 보였다.

5. 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 보여 양자기원 부유퇴적물이 제주도 서부해역으로 공급되고 있음을 의미한다.

6. 표층퇴적물의 화학조성 중 Sc/Al 대 Cr/Th, Th/Sc 대 Nb/Co 및 Ti/Nb 대 Th/Sc 3개의 지화학적 구분지수에서 제주도 서부해역은 (고) 황하에서 기원된 물질이 주를 이루며, 그의 양자기원 퇴적물과 제주도

와 한반도 서남해안 퇴적물이 혼합되어 있는 것으로 추정된다.

사 사

본 연구를 수행함에 있어서 시료채취에 많은 배려를 해주신 제주대학교 아라호 직원 여러분과 실험에 도움을 준 해양학과 지질해양학 연구실 이수형, 박상은 대학원생 들에게 감사드립니다. 또한, 논문의 심사과정에서 세심한 검토와 지적으로 많은 도움을 주신 편집위원님과 익명의 두분이 심사자들에게 감사드립니다. 본 연구는 이어도연구회에서 일부 연구지원비를 받았음.

참고문헌

박명호, 김지훈, 서광수, 2005, 제주도 동부지역 제4기 신양리층의 지화학적 특성 연구. 지질학회지, 41, 19-33.

박용안, 최진용, 이창복, 김대철, 최광원, 1994, 한국서해 중부해역 대륙붕 퇴적물의 분포와 퇴적작용. 한국해양학회지, 29, 357-365.

임동일, 신인현, 정희수, 2007, 한국과 중국의 강 퇴적물의 주성분원소 함량특성: 황해 니질퇴적물의 기원지 연구를 위한 잠적적 추적자. 한국지구과학회지, 28, 311-323.

윤정수, 김여상, 2002, 황해 중앙부해역 니질퇴적물의 지화학적 특성 및 퇴적물. 한국제4기학회지, 16, 1-16.

윤정수, 변종철, 김여상, 2006, 동중국해 외대륙붕해역 니질 퇴적물의 지화학적 특성. 한국지구과학회지, 27, 198-208.

윤정수, 임동일, 변종철, 정희수, 2005, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해역 대륙붕 퇴적물의 기원연구. 한국해양학회지, 10, 92-99.

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

현상민, 천중화, 이희일, 1999, 시화호의 퇴적환경과 중금속 오염. 한국해양학회지, 4, 198-207.

Alexander, C.R., DeMaster, D.J., and Nittrouer, C.A., 1991, Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea. Marine Geology, 98, 51-72.

Bordovsky, O.K., 1965, Sources of organic matter in marine basins. Marine Geology, 3, 5-32.

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

Byers, S.C., Mills, E.L., and Stewart, P.I., 1978, A comparison of method for determining organic carbon in marine sediments with suggestion for a standard method. Hydrobiology, 58, 43-47.

Calvert, S.E., 1976, The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In Riley, J.P. and Chester, R., Chemical Oceanography. Academic Division of Unwin Hyman Ltd Press, London, UK, 6, 187-280.

Calvert, S.E., Pedersen, T.F., and Karlin, R.E., 2001, Geochemical and isotopic evidence for post-glacial palaeoceanographic changes in saanich Inlet, British Columbia. Marine Geology, 174, 283-305.

Chough, S.K. and Kim, D.C., 1981, Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: A steady-state model. Journal of Sedimentary Petrology, 51, 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, 2468-2482.

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.

Galehouse, J.S., 1971, Sedimentation analysis. In Carver, R.E., Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley-Interscience, NY, USA, 69-94.

Goldberg, E.D. and Arrhenius, G.O.S. 1958, Chemistry of Pacific pelagic sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta, 13, 153-143.

Ingram, R.L., 1971, Sieve analysis. In Carrer, R.E., Procedure in Sedimentary Petrology. Wiley-Interscience, NY, USA, 49-68.

Kitano, Y. and Hujiyoshi, R., 1980, Selective chemical leaching of cadmium, copper, and manganese and iron in marine sediments. Geochemical Journal, 14, 113-122.

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. Journal of the Korean Society of Oceanography, 9, 99-122.

Lim, D.I., Choi, J.Y., Jung, H.S., Rho, K.C., and Ahn, K.S., 2007, Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow Sea and East China Seas. Oceanography, 73, 145-159. (In progress)

Liu, Z.X., Beme, S., Saito, Y., Lericolasis, G., and Marsset, T., 2000, Quaternary seismic stratigraphy and paleoenvironments on the continental shelf of the East China Sea. Journal of Asian Earth Science, 18, 441-452.

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., 1989, Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes. *Review Mineralogy*, 21, 170-199.
- 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. *Continental Shelf Research*, 4, 175-188.
- Milliman, J.D. and Meade, R.H., 1983, World-wind delivery of river sediment to the ocean. *Journal of Geology*, 91, 1-21.
- 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.
- Muller, P.J., 1977, C/N ratio in Pacific deep-sea sediments: Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41, 765-776.
- Muller, P.J. and Suess, E., 1979, Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic carbon in the ocean 1, Organic carbon preservation. *Deep-Sea Research*, 26, 1347-1362.
- Qin, Y., Zhao, Y., Chen, L., and Zhao, S., 1996, *Geology of the East China Sea, A Series of Solid Earth Science Research in China*. Science Press, Beijing, China, 357 p.
- Sawlan, J.J. and Marray, J.W., 1983, Trace metal remobilization in the interstitial waters of red clay and hemipelagic marine sediments. *Earth and Planetary Science Letter*, 64, 213-230.
- Schubel, J.R., Shen, H.T., and Park, M.J., 1984, A comparison of some characteristic sedimentation process of estuaries entering the Yellow Sea. *Proceedings of Korea-U.S. Seminar and Workshop, Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, 286-308.
- Stein, R., 1990, Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Marine Letter*, 10, 37-44.
- Stevenson, F.J. and Cheng, C.N., 1972, Organic geochemistry of the Argentine Basin sediments: Carbon-nitrogen relationships and Quaternary correlations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36, 653-671.
- Taylor S.R. and McLennan, S.K., 1985, *The continental crust: Its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, USA, 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, 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.
- Yang, S.Y. and Youn, J.S., 2007, Geochemical compositions and provenance discrimination of the central south Yellow Sea sediments. *Marine Geology*, 243, 229-241.
- 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, Beijing, China, 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. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 8, 66-73.

2008년 2월 21일 접수
 2008년 5월 21일 수정원고 접수
 2008년 7월 14일 채택