

한반도 남서해안 상부조간대의 퇴적상 및 지구화학적 특성

신상은^{1,*} · 강석범² · 고영구³ · 박배영¹ · 윤석태³ · 김주용¹ · 오강호⁴

¹전남대학교 지구환경과학부, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300

²화순북면중학교, 519-920 전남 화순군 북면 이천리 26

³전남대학교 과학교육학부, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300

⁴전남대학교 과학교육연구소, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300

Sedimentary Facies and Geochemical Characteristics of Upper Intertidal Zone, Southwestern Coast, Korea

Sang-Eun Shin^{1,*} · Suk-Bum Kang² · Young-Koo Koh³ · Bae-Young Park¹
Seok-Tai Youn³ · Joo-Yong Kim¹ · Kang-Ho Oh⁴

¹Department of Earth systems and Environmental Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

²Hwasun Bukmyeon middle School, Jeonnam, 519-920, Korea

³Department of Science Education, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

⁴Institute of Science Education, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Abstract : In order to reveal sedimentary facies and geochemical characteristics on sediments distributed in upper intertidal zone, the southwestern coast of Korea, grain size and metal content analyses to the sediments were carried out. The grain size distribution of sediments shows very wide range from gravel to mud. The sediments are very well sorted to very poorly sorted and mostly positively skewed. Geochemical behavior of metals in the sediments is dependant on grain size, in part, but might be much controlled by complex submarine topography, highly varied tidal currents and surrounding land geology in the study area. Igeo (index of geoaccumulation) representing metal condensation in the sediments moderately/strongly polluted in Co and Cr and moderately polluted in Cu and Ni. But notable metal condensations are not found in the study area. So, it might be interpreted that grain size and metal content distribution tendencies in the sediments are considerably influenced by complex submarine topography, highly varied tidal currents and surrounding land geology.

Keywords : southwestern coast, intertidal zone, sedimentary facies, geochemical characteristics, Igeo (index of geoaccumulation)

요 약 : 우리 나라 남서해안의 상부조간대에 분포하는 퇴적물의 퇴적상과 지구화학적 특성을 살펴보기 위하여, 이들 시료를 대상으로 퇴적물의 입도별 분포와 금속원소의 함량에 대한 분석을 실시하였다. 퇴적물의 입도는 잔자갈에서 니질 크기로 불규칙한 분포특성을 가진다. 퇴적물의 분급도는 매우 양호한 분급에서 매우 불량한 분급으로 다양하게 나타났으며, 왜도는 대체로 양의 왜도가 우세하였다. 퇴적물 내에 함유된 금속원소들의 지구화학적 거동은 퇴적물 입도에 대한 의존도가 일부 영향을 주기는 하였으나, 복잡한 해저지형과 심한 변화를 보이는 조류 및 주변지질의 환경적 변화에 의해 많은 영향을 받은 것으로 보인다. 퇴적물에 함유된 금속원소들의 농축을 알아보기 위한 농집지수는 Co와 Cr이 보통 내지 심한 오염으로, Cu와 Ni가 보통 오염에 해당하였으나 특별한 집중 경향이 인지되지는 않았다. 따라서, 남서해안 퇴적물의 입도와 금속원소들의 함량분포는 복잡한 해저지형과 이에 따른 조류 유형의 심한 변화 그리고 주변지질 등이 복합적으로 영향을 미치는 해역으로 해석된다.

주요어 : 남서해안, 조간대, 퇴적상, 지구화학적 특성, 농집지수

서론

우리 나라 주변 해역은 해저지형과 퇴적환경 등의 측면에서 매우 다양하다. 이들 해역에 유입되는 퇴적물들은 주로 주변 육지로부터 공급되는데, 특히 중국 동안과 우리 나라 서남해안 일대가 대표적인 주 공급원이라 할 수 있다. 이처럼 주변 육지로부터 유입된 퇴적물들은 대륙주변부 해역에 집적되며, 따라서 이들 지역들은 퇴적물의 기원지로서 그 역할이 매우 중요하다. 해양으로 유입되는 육성 퇴적물은 해양에서의 여러 가지 물리·화학적 환경변화에 기인하여 화학조성에 많은 변화를 가져오게 된다(Alloway *et al.*, 1988). 퇴적물의 화학적인 변화는 퇴적물의 성분 변화뿐만 아니라 해수 중에서 퇴적작용 동안의 여러 가지 물리·화학적 영향요인들에 의한 과정들도 동시

에 반영하게 되어 퇴적작용 시, 이들 요인들의 영향 정도를 추정할 수 있게 해준다. 결과적으로 퇴적물의 화학성분들의 함량분포는 퇴적작용 시의 영향요인들과 밀접한 관련성을 가지는 것으로 생각될 수 있다. 또한 근래에 이르러서는 산업화로 인한 여러 형태의 유기화합물과 중금속들을 비롯한 오염물질들이 해양 환경으로 유입되고 있어 이에 대한 연구들이 활발해지고 있다(Thornton, 1983; Jordão *et al.*, 2002; Pirie *et al.*, 2002).

우리 나라의 남서해안은 비교적 수심이 얇고 매우 굴곡이 심한 리아스식 해안과 다도해(archipelago)를 형성하고 있으며 퇴적율이 비교적 높게 나타나고 해저지형의 변화가 심해서, 이에 따른 퇴적환경의 변화도 매우 심하다 할 수 있다(Fig. 1). 이 중에서도 목포에서 완도 인근에 이르는 연안해역은 해안선의 굴

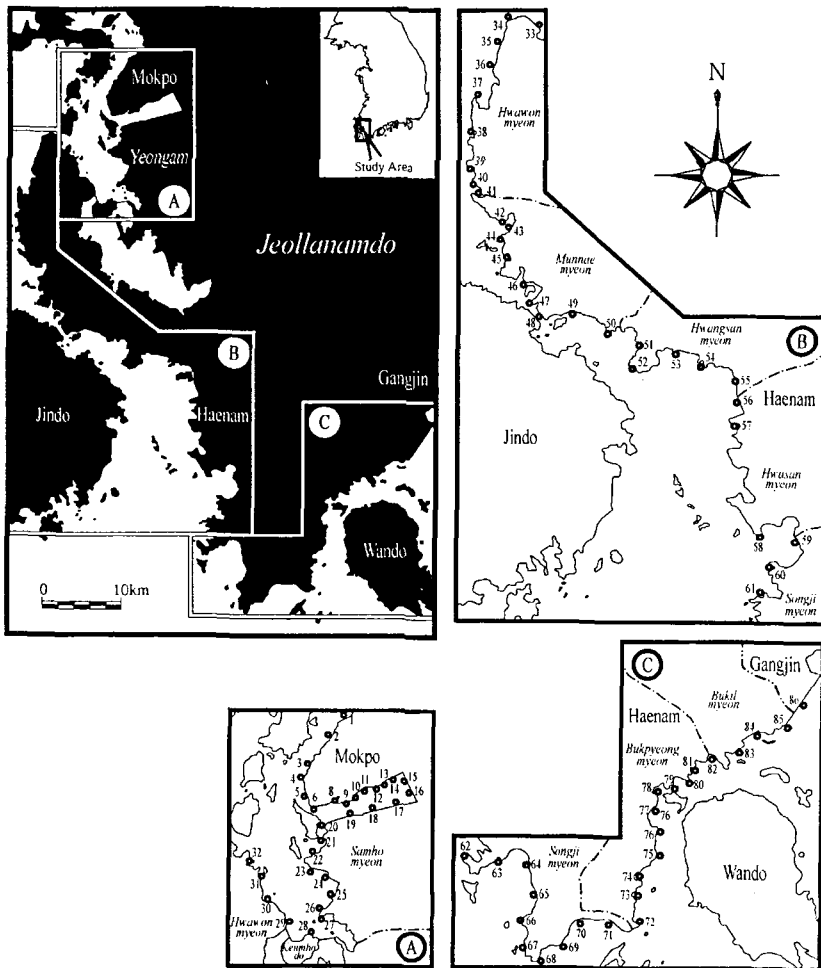


Fig. 1. Map showing the study area and sediment sampling sites.

폭도가 매우 심하며 해저지형의 변화상이 다양하여 해수의 운동에도 매우 큰 변화가 나타나고 있다. 특히, 이 해역의 상부 조간대 부근에 분포하는 퇴적물들은 외해 쪽으로 진행된 해역들의 퇴적물들과는 달리, 사질 이상의 조립질 퇴적물들이 많으나 니질 퇴적물들이 혼재하고 있고 위치에 따라 퇴적물 유형이 다양하게 변화하고 있어(오재경과 금병철, 2001), 퇴적물의 형성에 남서해안 주변 육지의 영향이 클 것으로 보이나 조류를 비롯한 해양환경적 영향요인들 역시 많은 영향을 미치고 있는 것으로 생각될 수 있다. 따라서 이 연구에서는 연구해역의 굴곡이 심한 해안선을 따라 전개되고 육지에 인접한 상부 조간대 부근 퇴적물들의 입도분포와 퇴적물 내의 금속원소들의 함량분포에 대한 연구를 수행하여, 육지에 인접한 연구해역의 연안퇴적환경에 대한 퇴적상의 분포와 이러한 퇴적환경에 작용하는 해양학적 요인들에 대한 접근을 시도하려 하는데 목적을 두고 연구를 수행하였다.

지질 및 지형

연구해역 부근 육상을 포함하는 우리나라 서남부는 선캠브리아기의 변성암복합체(Metamorphic complex)를 기반암으로 고생대 후기의 변성퇴적암류, 이들을

관입하는 중생대 쥐라기 화강암류 및 그 위를 부정합적으로 덮는 중생대 백악기 화산암류와 퇴적암류 등과 다시 이들을 관입하는 백악기 화강암류 등으로 이루어져 있다(한국자원연구소, 1995, Fig. 2). 광역적으로 분포하는 백악기 화산암류는 당시, 이 지역에서 화산활동이 매우 활발하였음을 알려준다(김용준 외, 1998; 박재봉, 1999).

선캠브리아기의 변성암복합체는 주로 화강편마암(granite gneiss)과 반상변정질 화강편마암(porphyroblastic gneiss)으로 구성된다(박재봉, 1999). 이 중, 퇴적암기원의 준편마암류는 흑운모화강암질편마암(biotite granitic gneiss)이 대부분이며 호상편마암(banded gneiss)이나 미그마타이트질 편마암(migmatitic gneiss) 등도 나타난다. 대보화강암(Daebo granite)에 대비되는 쥐라기 화강암류는 암주 또는 저반 상으로 선캠브리아기의 변성암들을 관입하고 백악기의 불국사화강암(Bulguksa granite)에 대비되는 일칼리 화강암들은 영암 일대에 저반으로 노출된다. 백악기의 쇠설성 퇴적암류로는 해남 부근에 국부적으로 나타나는 하양층군(Hayang Group)에 대비되는 퇴적암류와 영암과 강진 일대에 두꺼운 층후를 보이는 유천층군(Yucheon Group)등을 들 수 있다. 특히 이 지역의 유천층군에 해당하는 퇴적암류들은 다양한 입도를 보이는 쇠설성퇴적암류들과 함께 격렬한 화산활동상을

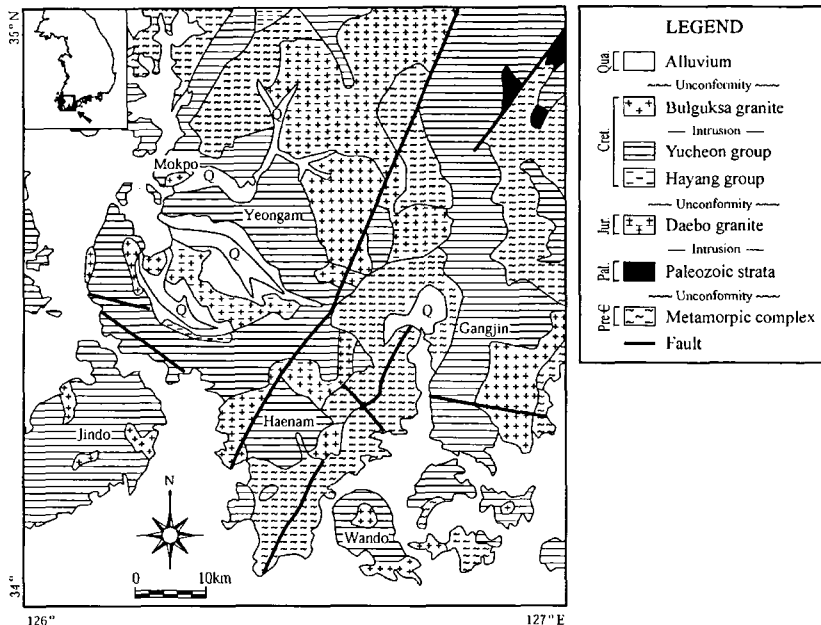


Fig. 2. Geological map around the study area (KIGAM, 1995).

반영하는 응회암과 라필리 응회암(lapilli tuff)등을 비롯한 화산성 쇄설암류들이 비교적 넓게 분포한다(한국자원연구소, 1995; 김용준 외, 1998).

우리 나라 남서해안은 신생대 제 4 기 해수면 상승에 의해 만들어진 리아스식 해안으로 복잡한 만들과 도서들이 많은 다도해를 이루고, 조간대 해역은 육지와 해양의 접이대적인 특성을 지녀 육지와 해양에 의한 영향들이 서로 혼재하고 있다(류상옥, 1998). 이 연안은 조석에 의한 영향이 매우 크게 나타나며, 조석형태는 일조부등이 심한 반일주조가 우세한 혼합형으로, 평균 2~4 m의 중조차(mesotidal) 환경에 해당한다(수로국, 1995; 해양수산부, 2001). 특히, 목포연안은 최근 영산강 하구언 및 화원반도에 금호방조제와 영암방조제의 건설로 인하여 수류변형과 조류 속도의 감소, 조위 상승 등의 변화를 보이며, 하천 및 외해와의 물질교환이 비교적 낮은 반폐쇄적인 만으로 알려지고 있다(조영길과 박경양, 1998). 진도 부근은 남서해안의 가장자리에 위치하는 해역으로 협수로를 통해 이동하는 조류의 영향에 의해 창·낙조류의 유속이 매우 빠르고, 해남 남부 연안은 외해와 열려 있는 개방된 해안의 특성을 보인다(안희수와 정재용, 1993; 나범수, 2002).

재료 및 방법

본 연구에 사용된 시료는, 우리 나라 남서해안에서 환경 별 특성을 나타낼 것으로 생각되는 내만성인 목포 연안 부근 해역, 화원반도와 진도 사이의 해역 그리고 해남과 완도 간 해역 등을 대상으로 편의상 A, B, C 등으로 구분하여, 주로 육지에 인접한 상부조간대에서 채취하였으며, 퇴적물에 대한 퇴적학적 특성과 지구화학적 분석을 위한 시료로 구분하여 전처리를 실시하였다. 특히 지구화학적 분석을 위한 시료들은 금속기기에 의한 오염을 최소화하기 위해 플라스틱 스펀을 이용하여 시료를 채취하였으며, 약 1 m 간격으로 채취한 9개의 부분시료를 합하여 하나의 시료로 사용하였다.

퇴적물의 입도별 분포특성을 살펴보기 위한 입도분석은 시료를 20~30 g 정도 취하여 과산화수소수(H_2O_2)와 묽은 염산(HCl)으로 처리하여 유기물과 탄산염을 제거하였다. 정제된 시료는 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 건조기에서 충분히 건조시켜 사질과 니질 부분으로 분리하였다. 사질 퇴

적물의 입도는 표준체를 이용한 건식체질(dry sieving) 방법을 사용하였으며, 니질 퇴적물은 침전속도를 이용한 피펫법(pipetting method)으로 퇴적물의 입도 별 함량을 구하였다. 니질 퇴적물 처리 시, 입자들의 응집을 방지하기 위한 확산제로는 칼콘(sodium hexametaphosphate, $(NaPO_3)_6$)을 사용하였다. 퇴적물의 입도별 함량은 1φ 간격으로 재어 중량비로 환산한 후, Folk and Ward(1957)에 의해 제안된 그래프 방법(graphic method)을 이용하여 조직매개변수들을 산출하였고, Folk(1968)에 의해 제시된 삼각도를 이용하여 퇴적물의 유형을 분류하였다.

지구화학적 분석을 위한 퇴적물 시료는 70°C 정도로 건조기에서 충분히 건조시킨 후, 마이크로 밀(micro mill)로 200mesh 이하의 크기로 분말화하여 분석 시료로써 사용하였다. 주성분과 미량원소 함량 분석을 위해서는 시료 1g을 영국 London 대학의 Royal Holloway and Bedford New College 에 의뢰하여 주성분 원소인 Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P와 Mn 등 9종과 미량원소인 Ba, Co, Cr, Li, Nb, Ni, Sc, Sr, V, Y, Zn, Zr, Pb 및 Cd 등 14종을 합하여 총 23종의 원소를 분석하였다. 시료분석은 유도 결합 플라즈마 방출분광기(ICP-AES)를 이용한 K1 programme 에 의하여 수행되었으며, 시료들의 전처리 방법으로는 HF/HClO₄를 사용한 침지법이 이용되었다.

결 과

퇴적물의 입도별 분포와 퇴적상

연구해역에서 채취된 남서해안 상부조간대의 퇴적물 분포는 전체적으로 입도변화가 불규칙하며 지역에 따른 많은 변화를 보인다(Table 1). 각 해역 별 퇴적물의 평균입도는, A 해역에서 -0.67~6.66φ(평균 3.45φ), B 해역에서 -1.04~6.58φ(평균 2.40φ), C 해역에서 -0.47~5.79φ(평균 2.64φ)로 잔자갈에서 니질 크기까지 다양하며, 대체로 목포연안 부근이 세립사 정도로 상대적으로 세립질 퇴적물이 우세하다. 전 해역에서의 입도 평균은 2.85φ 내외로 중립사에 해당한다. 그러나 시료채취 정점 별 입도분포의 변화가 심해 일률적인 경향을 단정짓기는 어려웠다. 한편, 목포 인근의 영산강 하구언 우측 연안, 화원반도 좌측 연안, 명랑수도 및 해남지역의 남단 등은 조류의 흐름이 비교적 강한 주조류로에 위치하거나 외해와 인접한 해역들로 사질퇴적물의 분포가 현저하다. 이들 퇴

Table 1. Textural parameters of sediments in the study area.

St.	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean (Mz)	Sort. (σ)	Skew. (SK _i)	Kurt. (K _G)	Sedi. type	St.	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean (Mz)	Sort. (σ)	Skew. (SK _i)	Kurt. (K _G)	Sedi. type
1	0.00	41.07	49.23	9.70	4.13	2.49	0.10	1.00	sZ	45	3.32	89.70	4.61	2.37	0.94	0.94	0.27	1.73	(g)S
2	0.00	3.93	69.72	26.35	6.66	2.02	0.31	0.79	sZ	46	11.86	63.37	16.35	8.42	1.75	2.42	0.25	0.81	gmS
3	0.00	17.69	67.41	14.90	5.53	2.13	0.31	1.31	sZ	47	12.63	79.20	5.39	2.78	0.54	1.56	0.12	1.50	gmS
4	13.57	77.79	5.70	2.94	-0.10	1.43	0.26	0.94	gmS	48	24.07	69.82	4.03	2.08	-0.05	1.62	0.28	1.47	gS
5	4.88	91.97	2.08	1.07	-0.10	0.58	0.09	0.93	(g)S	49	0.00	54.89	36.37	8.74	4.11	2.24	0.42	1.09	zS
6	23.43	56.49	13.25	6.83	1.13	2.74	0.22	1.13	gmS	50	12.13	83.69	2.76	1.42	0.49	1.24	-0.03	0.86	gS
8	12.01	62.76	16.65	8.58	1.59	2.46	0.43	1.18	gmS	51	0.00	3.91	77.79	18.30	6.32	1.80	0.29	1.68	sZ
9	0.00	19.41	59.42	21.17	6.01	2.33	0.17	0.96	sZ	52	0.00	33.90	51.90	14.20	5.21	2.34	0.29	2.99	sZ
10	0.00	26.90	53.80	19.30	5.61	2.47	0.18	1.22	sZ	53	0.00	48.73	40.57	10.70	4.25	2.62	0.23	0.91	sZ
11	0.00	27.42	55.52	17.06	5.10	2.92	0.04	1.00	sZ	54	0.00	65.72	27.85	6.43	3.72	2.07	0.48	1.84	zS
12	0.00	6.18	75.31	18.51	6.16	1.95	0.41	0.93	sZ	55	0.00	37.49	51.80	10.71	4.51	2.49	0.08	1.78	sZ
13	27.92	66.82	3.47	1.79	-0.30	1.68	0.12	1.31	gS	56	0.00	44.76	45.36	9.88	4.46	2.29	0.25	1.03	sZ
14	1.52	92.49	3.95	2.04	0.81	1.17	0.33	0.87	(g)S	57	0.00	11.94	61.67	26.39	6.58	2.32	0.12	1.29	sZ
15	52.44	27.21	13.43	6.92	0.36	2.89	0.68	1.02	msG	58	0.00	29.00	50.39	20.61	5.69	2.57	0.15	2.30	sZ
16	0.00	42.96	43.74	13.30	4.79	2.45	0.31	1.75	sZ	59	0.00	35.40	50.48	14.12	5.17	2.36	0.30	1.45	sZ
17	0.00	11.88	70.74	17.38	5.97	2.05	0.31	1.58	sZ	60	0.00	34.57	47.39	18.04	5.32	2.63	0.18	1.22	sZ
18	0.00	10.75	68.66	20.59	6.17	2.12	0.31	0.91	sZ	61	0.00	59.32	26.85	13.83	3.49	1.41	0.52	1.52	mS
19	0.00	13.61	61.54	24.85	6.41	2.28	0.10	1.04	sZ	62	2.31	91.55	4.05	2.09	1.68	1.44	0.27	0.93	(g)S
20	0.00	2.98	82.69	14.33	5.95	1.65	0.45	0.91	sZ	63	0.00	80.93	15.15	3.92	2.86	1.66	0.50	1.10	zS
21	0.00	33.14	49.61	17.25	5.30	2.61	0.18	0.99	sZ	64	9.94	77.26	8.45	4.35	0.23	1.44	0.06	1.02	gmS
22	0.00	49.66	38.56	11.78	4.59	2.31	0.42	2.51	sZ	65	10.27	85.97	2.48	1.28	0.92	1.38	-0.10	0.96	gS
23	0.00	27.47	67.15	5.38	4.59	1.50	0.18	1.01	sZ	66	0.52	92.63	4.52	2.33	1.03	1.00	0.39	0.89	(g)S
24	0.00	20.12	68.38	11.50	5.24	1.93	0.36	0.87	sZ	67	0.00	99.02	0.42	0.56	1.26	0.72	0.04	1.33	S
25	0.00	33.74	58.69	7.57	4.54	1.83	0.22	0.68	sZ	68	39.64	49.73	7.02	3.61	-0.47	1.75	0.36	1.01	msG
26	49.16	47.61	2.13	1.10	-0.97	1.13	0.13	1.45	sG	69	17.31	78.88	2.51	1.30	0.26	1.38	0.14	1.10	gS
27	0.00	67.75	28.68	3.57	3.35	1.56	0.42	1.56	zS	70	1.57	93.87	3.01	1.55	1.50	0.98	-0.16	0.88	(g)S
28	4.47	93.41	1.40	0.72	0.25	0.79	0.17	0.77	(g)S	71	3.89	90.47	3.72	1.92	0.32	1.11	0.22	0.83	(g)S
29	7.34	86.96	3.76	1.94	0.34	1.18	0.13	0.88	gS	72	11.44	80.54	5.29	2.73	0.65	1.63	0.25	1.00	gS
30	5.16	79.34	10.23	5.27	1.75	1.97	0.18	0.91	gmS	73	13.94	69.62	10.85	5.59	1.41	2.37	0.30	0.82	gmS
31	24.31	59.42	10.74	5.53	0.92	2.51	0.47	0.95	gmS	74	4.45	77.76	11.74	6.05	2.13	1.88	0.25	1.52	(g)mS
32	0.00	14.25	81.53	4.22	5.14	1.15	0.41	1.55	sZ	75	7.00	47.39	30.10	15.51	3.15	2.59	-0.09	0.84	gmS
33	72.26	17.79	6.57	3.38	-1.04	1.98	0.86	1.17	msG	76	0.00	66.00	28.02	5.98	3.20	2.39	0.37	0.95	zS
34	6.60	82.58	7.14	3.68	0.58	1.55	0.18	0.97	gmS	77	0.00	59.41	34.35	6.24	3.61	1.91	0.31	0.85	zS
35	1.39	93.69	3.25	1.67	0.69	0.72	0.21	2.00	(g)S	78	0.00	27.14	59.33	13.53	5.16	1.92	0.17	0.94	sZ
36	5.06	91.20	2.47	1.27	1.06	1.01	-0.20	2.71	gS	79	0.00	75.88	20.18	3.94	2.89	1.76	0.68	1.21	zS
37	16.18	77.61	4.10	2.11	0.40	1.66	0.00	1.77	gS	80	0.00	19.80	63.08	17.12	5.79	2.29	0.17	1.10	sZ
38	21.41	71.41	4.74	2.44	-0.05	1.53	0.41	1.56	gmS	81	0.00	30.78	54.79	14.43	5.28	2.37	0.22	1.28	sZ
39	0.00	35.40	50.48	14.12	5.14	1.33	0.26	1.34	sZ	82	0.00	47.40	42.30	10.30	4.47	2.37	0.24	0.93	sZ
40	51.69	39.01	6.14	3.16	-0.81	1.78	0.46	1.68	msG	83	0.00	40.22	48.88	10.90	4.77	2.32	0.27	1.01	sZ
41	61.11	27.33	7.63	3.93	-1.03	1.51	0.50	1.28	msG	84	0.00	58.94	33.12	7.94	4.08	2.09	0.51	1.01	zS
42	45.40	46.16	5.57	2.87	-0.53	1.89	0.40	2.44	msG	85	0.00	44.32	39.61	16.07	4.98	2.63	0.35	0.85	sZ
43	0.00	99.69	0.31	0.00	1.57	0.29	-0.06	1.12	S	86	0.00	45.69	39.03	15.28	4.86	2.63	0.34	0.86	sZ
44	8.63	89.02	1.55	0.80	1.22	0.92	-0.43	3.16	gS										

적물의 전반적인 입도 변화는 정점 별로 높은 빈도의 입도 크기가 다른 불규칙한 복모드적(multimodal)인 특성을 보인다.

분급도는 A 해역에서 0.58~2.92φ(평균 1.94φ), B 해역에서 0.29~2.63φ(평균 1.76φ), C 해역에서 0.72~

2.63φ(평균 1.84φ)로 매우 양호한 분급(very well sorted)에서 매우 불량한 분급(very poorly sorted)으로 다양하나 대체로 화원반도 인근 해역의 B 해역에서 상대적으로 분급이 양호한 반면, 다른 해역에서는 불량한 경향이 두드러진다. 왜도는 A 해역에서 0.04

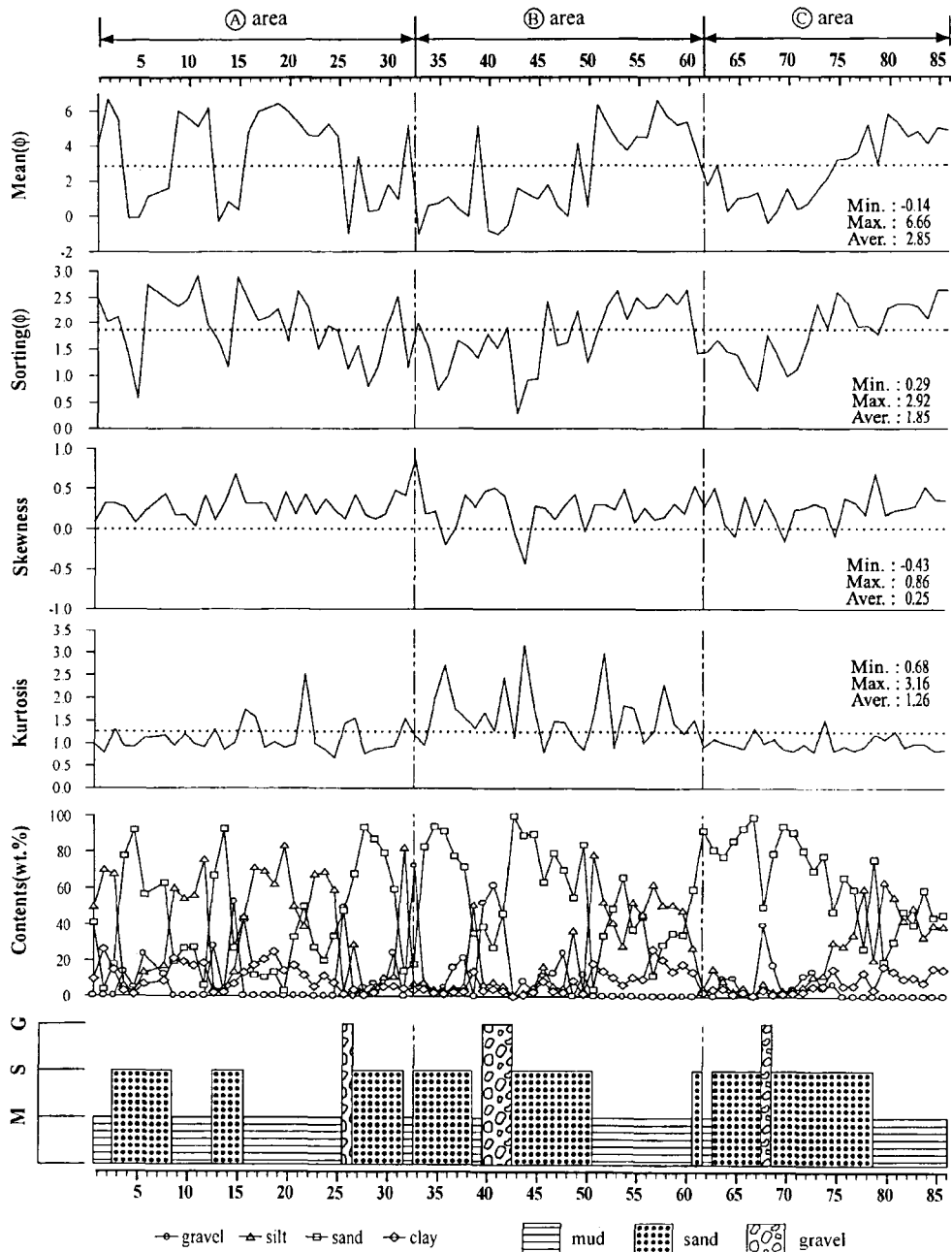


Fig. 3. Variations of textural parameters, contents and types of the sediments.

~0.68(평균 0.27), B 해역에서 -0.43~0.86(평균 0.23), C 해역에서 -0.16~0.68(평균 0.24)의 범위로 very coarse skewed에서 very fine skewed에 이르는 매우 광범위하고, B 해역에서 상대적으로 음의 왜도가 우세하나 변화가 많고, 전체적으로는 음의 왜도에 비해 양의 왜도가 지배적인 유형을 보인다. 한편, 첨도는

A 해역 0.68~2.51, B 해역 0.81~3.16, C 해역 0.82~1.52로 very platykurtic에서 extremely leptokurtic에 해당되어 해역 별로 불규칙한 분포를 보인다(Fig. 3). 이러한 매개변수들의 분포는 전반적인 분포상을 기술한 것이나, 각 정점 별 매개변수들의 분포는 보다 변화가 심하여 회원반도 연안 같은 경우는 인근 정점

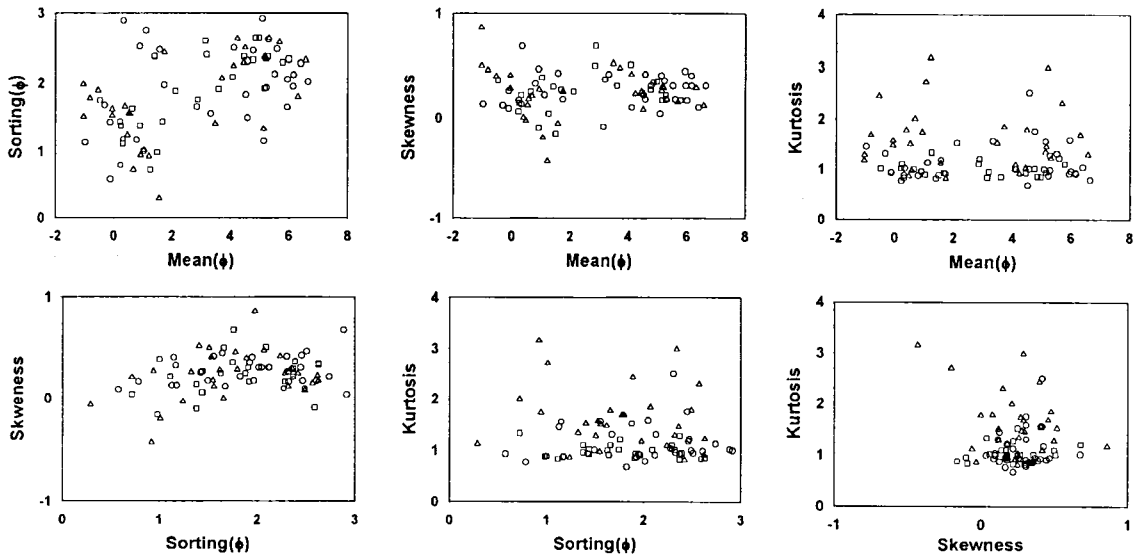


Fig. 4. Pair diagrams among each textural parameters (○: ㉠ area, △: ㉡ area, □: ㉢ area).

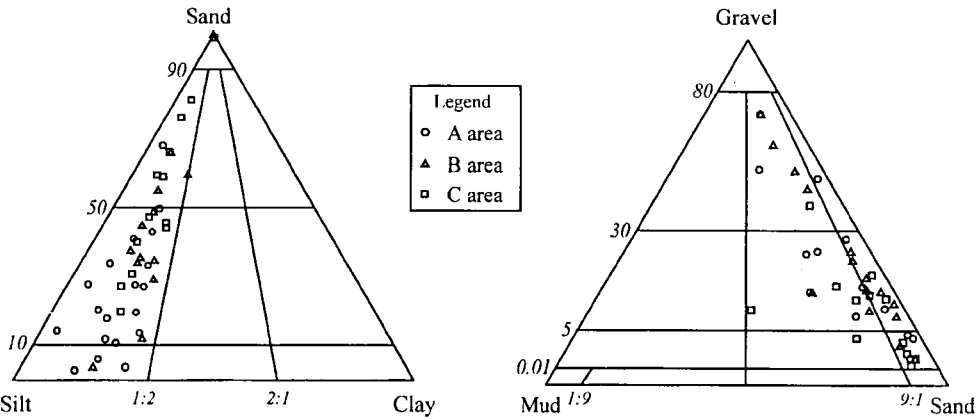


Fig. 5. Triangular diagrams showing sediment types in the study area.

들 간에도 매개변수들간의 상당한 차이가 표출되는 것을 알 수 있다.

연구해역 퇴적물의 퇴적매개변수들 간의 상호변화 정도를 추정하기 위해 퇴적물의 평균입도, 분급도, 왜도 및 첨도들 간의 단순상관관계를 조사하였다 (Fig. 4). 그 결과, 평균입도와 분급, 왜도 그리고 첨도들 간의 각각의 상관관계들은 분산 정도가 심하여 분명한 상관관계를 인정하기가 어려웠으며, 다만 완도 일대 연안의 C 해역에서 평균입도와 분급도 간에 $r=0.72$ 로 정(+)의 상관관계가 형성되었을 뿐이다.

퇴적물의 퇴적유형을 구분하기 위해 입도별 중량비를 구해 Folk(1968)의 방법에 따라 삼각도에 도시하

여 퇴적물들의 분류를 행하였다(Fig. 5). 그 결과, 이들 퇴적물들은 A 해역에서는 니사질 역(msG), 사질 역(sG), 역 니질 사(gmS), 역질 사(gS), 역함유 사((g)S), 실트질 사(zS), 사질 실트(sZ), 실트(Z) 등의 8개 퇴적상으로 구분되었다. B 해역은 니사질 역(msG), 역니질 사(gmS), 역질 사(gS), 역함유 사((g)S), 사(S), 실트질 사(zS), 사질 실트(sZ), 실트(Z) 등의 8개로 구분되었으며, C 해역은 니사질 역(msG), 역니질 사(gmS), 역질 사(gS), 역함유 니질 사((gmS), 역함유 사((g)S), 사(S), 실트질 사(zS), 사질 실트(sZ)의 8개 퇴적상으로 구분되었다. 전체 연구해역을 종합하면, 니사질 역(msG), 사질 역(sG), 역니

Table. 2. Element contents of sediments in the study area.

St.	Al Fe Mg Ca Na K Ti P Mn										Ba Co Cr Cu Li Ni Sc Sr V Y Zn Zr Pb Cd												
	(%)										(ppm)												
1	6.14	2.28	0.74	0.76	1.83	2.29	0.35	0.03	0.04	521	8	54	12	40	17	8	170	51	26	48	78	21	<1
4	2.87	0.48	0.13	2.52	0.56	2.45	0.05	0.02	0.05	582	1	3	5	15	5	1	236	8	6	15	115	20	<1
9	5.85	1.94	0.51	0.29	1.62	2.66	0.20	0.04	0.02	471	6	36	43	43	13	6	101	35	15	94	70	63	<1
12	6.03	2.16	0.69	0.63	2.00	2.22	0.34	0.03	0.04	490	8	47	10	40	15	8	159	47	17	47	76	21	<1
15	7.41	2.43	0.62	3.17	2.72	2.98	0.27	0.06	0.12	753	6	21	10	44	11	8	340	37	23	73	125	24	<1
18	6.90	2.87	0.85	0.94	1.79	2.41	0.37	0.04	0.04	536	10	56	14	53	20	10	187	62	20	68	87	25	<1
21	6.34	2.27	0.67	0.29	1.45	2.84	0.23	0.04	0.22	543	9	34	11	64	17	6	101	45	17	50	96	34	<1
24	6.31	2.34	0.77	0.72	1.72	2.40	0.32	0.03	0.04	563	9	53	10	44	18	8	173	55	17	52	70	24	<1
27	6.26	2.48	0.70	1.09	1.93	2.40	0.37	0.04	0.04	596	8	43	11	36	13	7	225	56	20	45	105	29	<1
30	6.38	3.64	0.51	0.84	0.60	2.24	0.34	0.05	0.08	535	10	47	14	36	15	7	128	70	15	81	111	46	<1
33	7.58	3.73	0.70	1.67	0.75	3.29	0.29	0.03	0.09	746	8	32	18	42	13	9	155	54	25	99	129	41	<1
36	4.53	1.27	0.27	0.59	0.66	2.23	0.20	0.01	0.02	555	3	13	4	35	4	4	123	26	10	26	112	21	<1
39	5.50	4.53	0.32	0.17	0.27	2.08	0.27	0.03	0.02	355	10	75	58	43	29	10	72	74	13	80	92	35	<1
42	5.65	3.49	0.54	1.57	0.88	2.29	0.18	0.07	0.05	613	6	31	221	66	19	5	171	42	16	206	113	77	<1
45	6.66	1.24	0.27	2.03	2.66	2.92	0.10	0.02	0.03	960	1	5	6	55	3	3	266	15	14	31	111	24	<1
48	7.59	2.15	0.50	0.58	1.23	2.82	0.14	0.02	0.05	1198	4	8	9	43	6	4	186	34	13	57	152	31	<1
51	6.70	2.22	0.52	0.66	1.91	2.96	0.19	0.03	0.05	756	5	27	8	57	11	6	173	37	17	49	101	28	<1
54	6.36	2.48	0.85	5.65	1.57	2.52	0.23	0.05	0.11	512	8	47	20	53	20	8	239	52	18	79	67	32	<1
57	7.86	3.61	1.24	0.95	1.51	2.57	0.41	0.05	0.09	500	13	81	16	69	30	12	157	82	22	80	77	33	<1
60	7.68	3.89	1.37	3.47	1.68	2.42	0.38	0.06	0.13	458	13	84	18	73	32	13	216	89	22	90	71	37	<1
63	4.19	1.79	0.46	2.39	0.88	1.90	0.22	0.03	0.03	456	5	32	7	31	9	6	172	33	14	41	103	28	<1
66	4.06	1.60	0.49	0.94	0.42	2.38	0.13	0.02	0.03	638	6	181	22	28	28	6	88	35	7	47	85	26	<1
69	4.11	0.64	0.14	0.09	0.83	3.01	0.05	0.01	0.02	189	0	2	3	24	1	3	36	4	31	27	182	27	<1
72	4.72	1.55	0.37	0.19	0.55	2.52	0.10	0.01	0.02	512	2	39	10	30	11	5	56	27	7	29	102	22	<1
75	7.12	2.68	0.78	0.24	0.66	2.57	0.29	0.04	0.04	485	8	76	11	54	20	12	77	71	16	57	102	29	<1
78	7.42	3.08	1.00	0.73	1.64	2.52	0.38	0.06	0.04	540	11	67	20	61	24	11	150	70	22	86	94	35	<1
81	8.64	4.03	1.31	0.53	1.73	2.94	0.43	0.06	0.06	607	13	89	20	76	33	14	134	91	25	99	97	40	<1
84	7.07	2.76	0.79	0.35	1.54	3.03	0.35	0.04	0.04	682	9	53	12	51	19	10	107	49	23	63	71	34	<1
86	8.39	4.64	1.65	1.14	1.61	2.57	0.44	0.06	0.11	465	16	139	26	85	42	16	130	106	29	109	77	38	<1
Min.	2.87	0.48	0.13	0.09	0.27	1.90	0.05	0.01	0.02	189	0	2	3	15	1	1	36	4	6	15	67	20	-
Max.	8.64	4.64	1.65	5.65	2.72	3.29	0.44	0.07	0.22	1198	16	181	221	85	42	16	340	106	31	206	182	77	-
Aver.	6.29	2.56	0.68	1.21	1.35	2.57	0.26	0.04	0.06	580	7	51	22	48	17	8	156	50	18	66	99	33	-
SD	1.40	1.07	0.36	1.23	0.65	0.33	0.11	0.02	0.04	183	4	39	40	16	10	4	67	25	6	37	26	12	-

질 사(gmS), 역질 사(gS), 역함유 니질 사((g)mS), 역함유 사((g)S), 사(S), 실트질 사(zS), 사질 실트(sZ) 및 실트(Z) 등의 10개 퇴적상들이 인지되었다.

금속의 함량 및 분포

연구해역 시료들에서의 중금속 함량들은 중량 백분율과 ppm(part per million)으로 Table 2에 제시하였다. 이들 금속함량들 간의 최대치와 최소치 차이는 주성분 원소들의 변화에 비해 상대적으로 미량원소인 Cr, Ca, Cu 및 Zn 등이 큰 폭의 변화를 보였다. 연구해역의 금속원소 변화를 살펴보면, A 해역에서의 경우, 무안만 입구 부근에서 가장 낮은 값을 보이나

Cu, Zn 및 Pb 등이 목포항 부근에서 일부 상대적으로 증가하였다. 반면, Ca와 Sr은 무안만 입구와 깊숙이 만입된 영산강 하구엔 부근에서 높게 관찰되며, P의 경우도 하구엔 부근에서 유사하게 나타났으며, Mn은 삼호면 인근에서 가장 높았다. B 해역에서는 비교적 내만 쪽에 위치한 황산면에서 5% 이상으로 높았으며, 화원반도 서측부의 문내면 해역에서 P를 비롯한 Cu, Zn 및 Pb 등이 높게 나타났다. C 해역에서는 Al을 비롯한 Na, Mg, Ti, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Zn 등의 대다수 금속원소가 해남 남부에서 해안선을 따라 완도 부근으로 갈수록 다소 증가하였으며, Cr의 경우 송호리 부근에서 181ppm의 높은 함량을 나타

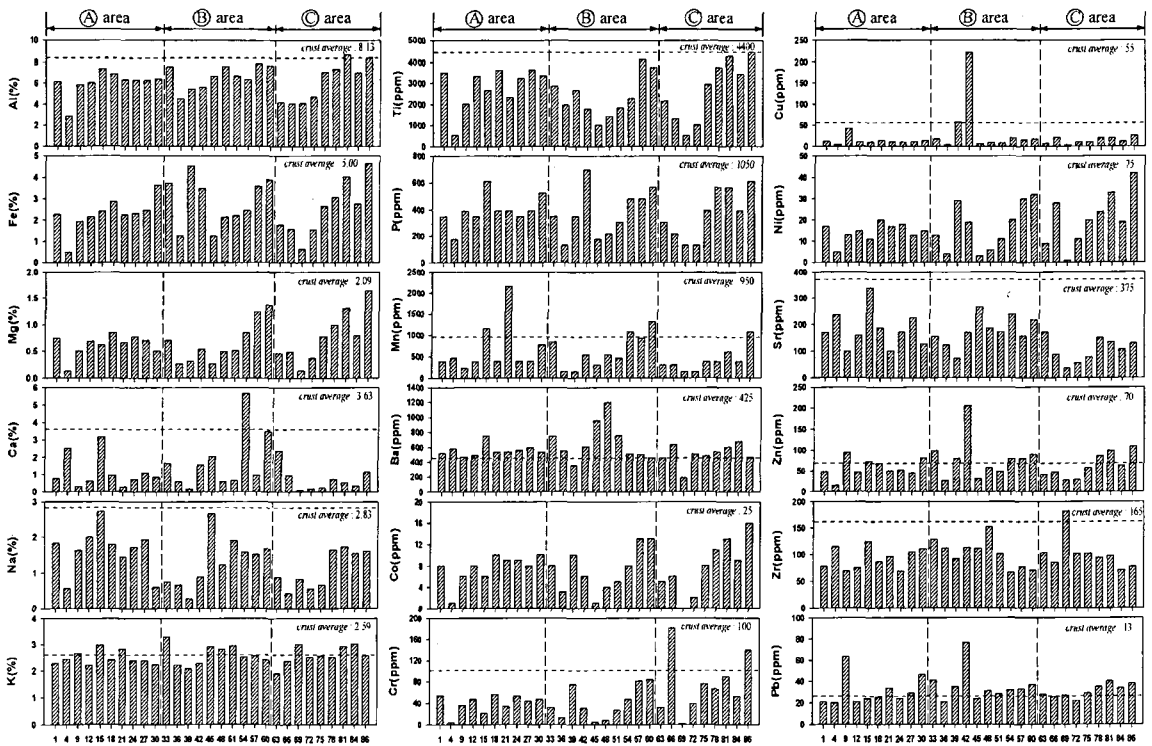


Fig. 6. Variations of metal contents in the sediments.

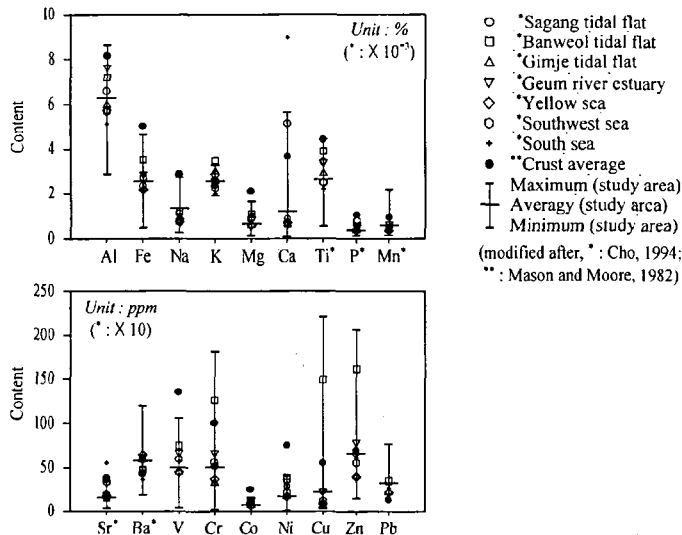


Fig. 7. Metal content distributions of marine sediment around Korean peninsula and ranges of intertidal sediments of sampling sites.

내기도 하였다(Fig. 6).

이러한 남서해안에서 전반적인 금속원소의 함량분포는 Al, Mg, Na 및 Ti 등이 목포 부근에서 북측 영산강 하구언 방향으로 증가하며 화원반도 서측부

이동하면서 대체적인 감소경향을 가진다. 또한 진도 대교 부근에서는 비교적 낮은 값을 보이나 해남 황산면과 화산면 부근, 완도 부근에서 일부 증가하기도 하는데, 이러한 경향은 퇴적물의 세립화와 관련되는

것으로 보인다. Cu, Zn 및 Pb는 화원반도 서측에 위치한 문내면 해역에서 다소 높은 함량을 보인다. Ba는 화원반도 좌측연안의 일부 정점들에서 비교적 높게 나타나는데 사질 퇴적물의 분포와 관련성을 추정해 볼 수 있다.

한편, 이들 해역에서 나타난 금속원소 성분들의 상대적인 함량분포를 살펴보기 위하여 Fig. 7에 지각평균 함량(Mason and Moore, 1982)을 비롯한 우리나라 남서해안에서 조사된 자료(조영길, 1994)와 비교하였다. 연구해역에서 금속원소의 함량 분포는 Fe, Na, Mg, Ti, V, Co 및 Ni 등은 지각평균함량보다 비교적 낮은 값을 보였다. 한편 한반도 남서해안을 대상으로 분석되어진 자료와 비교할 때, Ca와 Sr은 남해안 보다 낮았으나, Cr, Cu, Zn 및 Pb는 해역에 따른 상대적인 편차가 크며 반월 조간대의 평균함량보다 일부 높은 함량을 보이기도 한다.

토 의

퇴적물 분포

우리 나라 남서해안에서 채취된 퇴적물의 입도분포를 조사한 결과, 퇴적물의 입도는 잔자갈에서 니질 크기로, 분급도는 매우 양호한 분급(very well sorted)에서 매우 불량한 분급(very poorly sorted)으로 나타났다. 한편 왜도는 대체적으로 양의 왜도가 우세한 편이다. 또한, 조직매개변수들 사이의 상관관계 역시 분산되어 상호관계를 인지하기는 어려웠다. 이는 해역들의 퇴적환경이 단조로우면서 일정한 경향성을 보이기보다는 이미 언급한 것처럼, 복잡한 해저지형을 비롯한 여러 해양학적 요인들이 퇴적물의 이동과 재배치에 작용하여 입도분포가 매우 산포되는 경향을 띠는 것으로 생각될 수 있다.

퇴적상의 분포는 조직매개변수들의 분산된 유형을 반영하여 실트에서 사질 역에 이르기까지 입도 분포의 대부분 영역을 점유하며, 정점별로도 상당한 차이를 나타낸다. 먼지 폭포 연안 일대 해역의 경우는 내만성 해역으로 대체적으로 세립질이 우세하나 일부 정점들에서 조립질인 역을 일부 함유한 사질 퇴적물이 분포하고 있다. 이들 사질 퇴적물의 분포는 해저지형에 관련된 조류 등에 의한 영향을 생각해 볼 수 있으며 일부에서는 연안에 노출된 노두의 기계적 풍화 등이 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 화원반도에서 해남에 이르는 해역을 보면, 화원반도 서측 연안은

진도의 동측 연안과 접하며 이 해역에 분포하는 역을 함유한 조립질 퇴적물은 국부적으로 굴곡이 심한 지형상의 특성과 이에 관련된 조류 유속과 유형의 급격한 변화들과 관련지어 설명될 수 있을 것으로 보인다(안희수와 정재용, 1993). 해남에서 완도에 이르는 해역에서는 전술한 두 해역의 경우와는 약간 다르게 입도 분포상 변화의 불규칙성이 다소 완화되고 완도 연안 쪽으로 점차 세립화 하는 경향을 보여 주나 전체적으로는 사질퇴적물이 우세하여 조류에 의한 영향이 큰 것으로 생각된다. 이처럼 연구해역의 상부조간대에서 퇴적물의 입도분포 및 퇴적상의 변화가 큰 변화폭과 불규칙성을 보이는 것은 상부조간대 부근이 환경의 변화가 크고 해안선의 복잡한 굴곡과 이에 따른 복잡한 해저지형과 조류의 다양한 변화 및 외해와 연결된 해안에서 나타나는 파랑에 의한 영향 등에 기인한 것으로 생각된다(Alexander *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1994).

금속원소 함량변화의 조절요인

퇴적물 내에서의 금속함량의 변화는 일반적으로 퇴적물의 입도, 유기물 및 산화물의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Förstner and Wittmann, 1981; Salomons and Förstner, 1984; Adriano, 1986; Louma, 1990; Horowitz, 1991; Huisman *et al.*, 1997), 이러한 연구결과는 우리나라에서도 이미 보고된 바 있다(이종현 외, 1998; 조영길과 박경양, 1998; 최정훈 외, 2000; 김주용 외, 2001; 오강호, 2002). 연구해역에서 퇴적물의 평균 입도와 금속원소들의 함량과의 관계를 살펴보면, Al, Mg, Ti 및 Zn 등이 입도와 비교적 양호한 관련성을 보여 입도가 세립화함에 따라 함량이 다소 증가하였으나, 대다수 금속원소들은 입도에 대해 상대적으로 미약한 정(+)의 상관관계를 나타냈다. 또한 유기물 및 탄산염과의 금속원소의 상관성도 대부분 $r=0.5$ 이하로 낮다(Table 3).

이는 퇴적물의 분포에서도 보는 것처럼, 해안선의 굴곡과 해저지형 그리고 조류 등의 영향과 더불어 주변 지질을 구성하는 암석의 풍화 등이 금속원소의 함량분포에 많은 영향을 준 것으로 보여진다(서경원 외, 1998; 권종택 외, 1999; 지정만 외, 2000). 한편, 퇴적물 내의 K와 Ba 함량분포의 경우는 사질 퇴적물 내의 장석류 입자의 산출과 관계지어 생각해 볼 때(Bowen, 1979; 조영길, 1994), 주변 육지의 지질과 관련되어 있을 것으로 추정된다. Mn의 경우, 함량변

Table 3. Correlation chart of metal and mean grain size in the study area.

	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	P	Mn	Ba	Co	Cr	Cu	Sr	Zn	Zr	Pb	Mz
Al	1.00																
Fe	0.71	1.00															
Mg	0.78	0.71	1.00														
Ca	0.02	0.00	0.14	1.00													
K	0.42	-0.04	0.07	-0.05	1.00												
Ti	0.73	0.76	0.84	-0.05	-0.11	1.00											
P	0.64	0.76	0.70	0.27	-0.03	0.69	1.00										
Mn	0.43	0.35	0.47	0.37	0.27	0.29	0.49	1.00									
Ba	0.31	-0.10	-0.11	0.09	0.41	-0.18	-0.11	0.05	1.00								
Co	0.71	0.87	0.89	0.01	-0.11	0.92	0.75	0.45	-0.22	1.00							
Cr	0.24	0.49	0.60	-0.08	-0.21	0.47	0.34	0.10	-0.24	0.65	1.00						
Cu	-0.04	0.32	-0.02	0.03	-0.21	-0.07	0.46	-0.03	-0.04	0.06	0.03	1.00					
Sr	0.22	-0.05	0.10	0.71	0.07	0.07	0.27	0.27	0.48	-0.03	-0.29	-0.04	1.00				
Zn	0.44	0.70	0.44	0.13	0.00	0.36	0.80	0.25	-0.02	0.49	0.24	0.82	0.04	1.00			
Zr	-0.23	-0.35	-0.53	-0.15	0.36	-0.55	-0.36	-0.15	0.22	-0.60	-0.53	-0.01	-0.04	-0.16	1.00		
Pb	0.21	0.47	0.17	-0.03	0.03	0.11	0.58	0.14	-0.05	0.26	0.06	0.78	-0.15	0.87	-0.06	1.00	
Mz	0.40	0.38	0.56	-0.17	-0.18	0.64	0.33	0.16	-0.34	0.65	0.35	-0.18	-0.11	0.05	-0.71	-0.01	1.00

화가 매우 불규칙하고 산포되어, pH나 Eh 등의 환경 조건의 변화에 의한 퇴적물 내의 산화환경의 조성에 의한 영향과 관련되어 있을 가능성이 있다(이종현 외, 1998; 최정훈 외, 2000; Naseem *et al.*, 2002).

일반적으로 퇴적물 내 금속원소의 거동은 입도의존성을 비롯하여 유기물 및 산화물과의 관련성이 높게 나타나나, 연구해역의 퇴적물에서 보는 것처럼 금속함량들의 분포가 다양성을 보이는 것은 다른 영향요인들의 작용으로 전술한 요인들의 작용이 저하된 때문으로 생각해 볼 수 있다(Naseem *et al.*, 2002). 예를 들어, 복잡한 해안선과 해저 지형의 전개에 따른 해수 운동의 다양성과 조류 등의 영향에 따른 퇴적물의 재동과 재배치, 퇴적물 기원지로서의 주변 지질의 영향, 풍화에 따른 변화 및 산업활동 등이 퇴적물의 금속원소 거동에 영향요인으로써의 역할을 하고 있을 가능성이 제기된다(오강호 외, 2002). 따라서 연구해역에서의 금속원소의 조절요인은 이미 언급한 일반적인 조절인자들 외에 남서해안의 지형, 주변 지질 등의 영향이 고려되어야 할 것이다.

금속원소의 농축평가

퇴적물 내에 함유되는 금속원소들의 집중 정도를 살펴보는 데는 일반적으로 Bruland *et al.*(1974)에 의해 제안된 부화지수(Enrichment Factor; EF)의 개념이 자주 적용된다. 그러나 연구해역의 퇴적물 내에 함유되는 보존성 원소인 Al과 다른 금속원소 함량들

과의 관계를 고려하여, 부화지수(EF) 대신에 Müller (1979)가 제안한 농집지수(Igeo: Index of geo-accumulation)를 이용하여 금속원소들의 집중정도를 조사하였다(Table 4). 농집지수는 퇴적물에 함유된 금속함량을 오염되지 않은 금속 함량과 비교하여 정량하는 방법으로 주로 퇴적물의 오염 평가에 사용되며(이평구와 이재영, 1997; 이평구 외, 2001), 그 값에 따라 7 등급으로 구분된다(Table 5). 이 연구에서는 남서해안의 퇴적물에 함유된 금속원소 함량들의 최소 값을 Igeo의 바탕값으로 사용하였다.

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{\text{Metal}_{(\text{sediment})}}{\text{Metal}_{(\text{background})} \times 1.5} \right)$$

남서해안 퇴적물을 대상으로 한 농집지수값을 계산한 결과, Co, Cr, Cu 및 Zn의 금속원소들이 목포항 부근, 문내면 해역 및 완도 부근에서 다소 집중되는 것으로 나타났다. Co와 Cr은 각각 2.12(-0.58~3.42), 2.89(-0.58~5.91)로 보통 내지 강한오염(moderately/strongly polluted)에 Cu 및 Ni는 1.21(-0.58~5.20), 1.84(-0.58~5.20)로 보통오염(moderately polluted)에 해당하였다.

이러한 결과는 이들 금속원소들이 특별히 집중 경향이 높다는 것을 의미한다기보다는, 전술한 목포항 부근, 해남군 문내면 및 완도 부근 등의 정점들에서 Cr, Cu 및 Zn 등의 함량이 높은 금속함량 분포 결과와 관련하여 다소 집중되는 경향이 표현된 것으로

Table 4. Calculated indices of geoaccumulation for metal in the sediments.

St.	P	Mn	Co	Cr	Cu	Ni	Sr	Zn	Pb
1	0.42	0.15	2.42	3.58	0.68	1.18	0.17	1.09	-0.51
4	-0.58	0.42	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	0.64	-0.58	-0.58
9	0.58	-0.58	2.00	3.00	2.52	0.79	-0.58	2.06	1.07
12	0.42	0.15	2.42	3.38	0.42	1.00	0.07	1.06	-0.51
15	1.22	1.74	2.00	2.22	0.42	0.55	1.17	1.70	-0.32
18	0.58	0.15	2.74	3.64	0.90	1.42	0.30	1.60	-0.26
21	0.58	2.64	2.58	2.92	0.55	1.18	-0.58	1.15	0.18
24	0.42	0.15	2.58	3.56	0.42	1.26	0.19	1.21	-0.32
27	0.58	0.15	2.42	3.26	0.55	0.79	0.57	1.00	-0.05
30	1.00	1.15	2.74	3.38	0.90	1.00	-0.24	1.85	0.62
33	0.83	1.87	2.42	2.09	1.58	1.53	0.52	1.34	0.38
36	-0.58	-0.58	1.00	0.79	-0.58	-0.17	0.19	-0.58	-0.58
39	0.83	-0.58	2.74	3.32	3.27	2.69	-0.58	1.04	0.15
42	1.83	1.22	2.00	2.05	5.20	2.08	0.66	2.40	1.29
45	-0.17	0.42	-0.58	-0.58	0.00	-0.58	1.30	-0.33	-0.39
48	0.15	1.22	1.42	0.09	0.58	0.42	0.78	0.55	-0.02
51	0.64	1.00	1.74	1.85	0.42	1.29	0.68	0.33	-0.17
54	1.29	2.22	2.42	2.65	1.74	2.15	1.15	1.02	0.02
57	1.29	2.00	3.12	3.43	1.42	2.74	0.54	1.04	0.07
60	1.53	2.50	3.12	3.49	1.58	2.83	1.00	1.21	0.23
63	0.64	0.42	1.74	3.42	0.64	2.58	1.67	0.02	-0.24
66	0.15	0.42	2.00	5.91	2.29	4.22	0.70	0.21	-0.34
69	-0.58	-0.58	-	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.29
72	-0.58	-0.58	0.42	3.70	1.15	2.87	0.05	-0.48	-0.58
75	1.00	0.74	2.42	4.66	1.29	3.74	0.51	0.49	-0.19
78	1.53	0.74	2.87	4.48	2.15	4.00	1.47	1.09	0.08
81	1.53	1.42	3.12	4.89	2.15	4.46	1.31	1.29	0.28
84	1.00	0.74	2.58	4.14	1.42	3.66	0.99	0.64	0.04
86	1.64	2.22	3.42	5.53	2.53	4.81	1.27	1.43	0.20
min.	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58
max.	1.83	2.64	3.42	5.91	5.20	4.81	1.67	2.40	1.29
aver.	0.66	0.79	2.12	2.89	1.21	1.84	0.53	0.84	-0.03
SD	0.70	0.98	1.00	1.72	1.24	1.56	0.65	0.81	0.46

생각해 볼 수 있다. 또한, 이러한 금속원소들의 집중에 대해서는, 전술한 것처럼 연구해역에 미치고 있는 다양한 영향요인들을 보다 면밀히 고려해야 할 필요성이 있을 것으로 보인다.

Table 5. Classment of index of geoaccumulation (after Müller, 1979).

Igeo	Igeo-class	Designation of sediment quality
> 5	6	very strongly polluted
4-5	5	strongly / very strongly polluted
3-4	4	strongly polluted
2-3	3	moderately / strongly polluted
1-2	2	moderately polluted
0-1	1	practically unpolluted / moderately polluted
0	0	practically unpolluted

결론

연구해역은 리아스식 해안과 다도해로 특징 지워지는 굴곡이 심한 해안선을 보유하고 있으며, 이에 수반한 복잡한 해저지형과 심한 변화를 보이는 조류 유형들이 다양한 퇴적환경을 형성하고 있다. 특히 조류에 의한 영향은 화원반도와 해남 남부 연안에 이르는 점점들에서 강화되고 해남 연안에서는 파랑에 의한 영향도 작용하는 것으로 믿어진다. 또한 비교적 환경의 변화가 심한 상부조간대의 환경적 특성도 연구해역 퇴적물의 입도분포와 금속원소 함량에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 금속원소의 집중과 관련한 농집지수는 Co, Cr, Cu 및 Zn의 금속원소들이 목포항 부근, 문내면 해역 및 완도 부근에서

높게 나타나 이들 원소들이 일부 해역에서 다소 집중되는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 금속원소들의 집중에 대해서는, 연구해역에 미치고 있는 다양한 영향요인들을 보다 면밀히 고려해야 할 필요성이 있을 것으로 보인다.

사 사

본 논문을 위해 세심한 부분까지 살펴주시고 건설적인 제안을 해주신 세 분의 심사위원님께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

권종택, 지정만, 장운호, 1999, 한반도 서해안 변산지역의 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계. 한국지리학회지, 36, 42-66.

김용준, 이창신, 김희남, 박재봉, 이훈교, 1998, 전남 장성 동부지역에 분포하는 화성암류에 대한 암석화학. 한국지구과학회지, 19, 154-171.

김주용, 은고요나, 고영구, 윤석태, 오강호, 김동주, 2001, 전남 나주-영암지역의 영산강 하류 시추퇴적물의 퇴적 환경과 지구화학적 특성, 한국지구과학회지, 22, 301-317

나범수, 2002, 도암만 표층퇴적물의 분포와 지화학적 특성. 전남대학교 석사학위논문, 79 p.

류상욱, 1998, 한국 서남해안 합평만의 퇴적현상과 층서. 전남대학교 박사학위논문, 247 p.

박재봉, 1999, 광주화강암류에 대한 암석학적 연구. 전남대학교 박사학위논문, 145 p.

서경원, 지정만, 장운호, 1998, 한반도 서해안 변산-태안지역 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계. 자원환경지질, 31, 69-84.

수로국, 1995, 수로기술연보. 273 p.

안희수, 정재용, 1993, 명랑수도(울돌목) 부근해역의 조석 잔차류에 의한 해수순환 연구. 한국지구과학회지, 14, 100-108.

오강호, 2002, 영산강 유역 퇴적환경과 하천수 및 퇴적물의 오염. 전남대학교 박사학위논문, 195 p.

오강호, 고영구, 김주용, 김해경, 2002, 화순천의 퇴적환경 및 퇴적물과 하천수의 지구화학적 특성. 한국환경과학회지, 11, 881-895.

오재경, 금병철, 2001, 한반도 중서부 근 · 외해의 표층퇴적물 특성과 퇴적환경. 한국지구과학회지, 22, 377-387.

이중현, 이정석, 김범수, 이창복, 고철환, 1998, 경기만 퇴적물의 중금속 분포 특성. 바다, 3, 103-111.

이평구, 박성원, 엄승준, 2001, 공주 금홍매립지의 중간복토재 및 차수재(논토양)의 중금속 오염과 존재형태 연구. 자원환경지질, 34, 283-299.

이평구, 이재영, 1997, 프랑스 A-71 고속도로변 Retention

pond의 기능평가. 한국토양환경학회지, 2, 73-81.

조영길, 1994, 한반도 주변해역 퇴적물중 금속원소의 분포와 기원에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문, 262p.

조영길, 박경양, 1998, 영산강 하구 표층 퇴적물의 중금속 함량 및 분포. 한국환경과학회 7, 549-559.

지정만, 장운호, 오재경, 이연희, 2000, 한반도 서해안 금강 하구 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계. 자원환경지질, 33, 447-467.

최정훈, 강정원, 홍대벽, 박용안, 2000, 시화호 퇴적물의 유기탄소, 유기질소 및 중금속 함량과 분포. 바다, 5, 276-284.

한국자원연구소, 1995, 한국지질도 (1 : 1,000,000)

해양수산부, 2001, 수로기술연보. 449 p.

Adriano, D.C., 1986, Trace elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, Berlin, 533 p.

Alexander, C.R., Nittrouer, A.A., De Master, D.J., Park, Y.A., and Park, S.C., 1991, Macrotidal mudflats of southwestern korean coast : a model for interpretation of intertidal deposits. Journal of Sedimentary Petrology, 61, 805-824.

Alloway, B.J., Thornton, I., Smart, G. A., Sherlock, J. C., and Quinn, M. J., 1988, Metal Availability. Science of The Total Environment, 75, 41-69.

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

Bruland, K.W., Bertine, K., Koide, M., and Goldberg, E.D., 1974, History of metal pollution in southern California coastal zone. Environmental Science and Technology, 8, 425-432.

Folk, R.L., 1968, Petrology of Sedimentary Rock. Hemphill's, Austin, Texas, 170 p.

Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957, Brazos river bar; a study in the significance of grain size parameter. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-27.

Förstner, U. and Wittmann, G.T.W., 1981, Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 486 p.

Galehouse, J.S., 1971, Sedimentation analysis, In Carver, R.E.(ed.), Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley-Interscience, New York, 69-94.

Horowitz, A.J., 1991, A Primer on Sediment-Trace Element Chemistry. Lewis Publishers, Chelsea (MI), 136 p.

Huisman, D.J., Vermeulen, F.J.H., Baker, J., Veldkamp, A., Kroonenberg S.B., and Klaver, G.Th., 1997, A geological interpretation of heavy metal concentrations in soil and sediments in the southern Netherlands. Journal of Geochemical Exploration, 59, 163-174.

Ingram, R.L., 1971, Sieve analysis, In Carver, R.E. (ed.), Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley-Interscience, New York, 49-68.

Jordão, C.P., Pereira M.G., and Pereira J.L., 2002, Metal Contamination of River Waters and Sediments from Effluents of Kaolin Processing in Brazil. Water Air and

- Soil Pollution, 140, 119-138.
- Lee, H.J., Chun, S.S., Chang, J.H., and Han, S.J., 1994, Landward migration of isolated shelly sand ridge (Chenier) on the macrotidal flat of Gomso Bay, west coast of Korea: controls of storms and typhoon. *Journal of Sedimentary Research*, 64, 886-893.
- Luoma, S.N., 1990, Process affecting metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments, In Furness, R.W. and Rainbow, P.S. (eds.), *Heavy Metals in the Marine Environment*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 51-66.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, *Principles of Geochemistry*. John Wiley & Sons Inc, New York, 344 p.
- Müller, G., 1979, *Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Verderungen Seit. Umschau*, 79, 778-783.
- Naseem, S., Sheikh, S., Qadeeruddin, M., and Shirin, K., 2002, Geochemical stream sediment survey in Winder Valley, Balochistan, Pakistan. *Journal of Geochemical Exploration*, 76, 1-12.
- Pirrie, D., Power, M.R., Wheeler, P.D., Cundy, A., Bridges, C., and Davey, G., 2002, Geochemical signature of historical mining: Fowey Estuary, Cornwall, UK. *Journal of Geochemical Exploration*, 76, 31-43.
- Salomons, W. and F rstner, U., 1984, *Metals in the Hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlin, 349 p.
- Thornton, I., 1983, *Applied Environmental Geochemistry*. Academic Press, London, 501 p.

2002년 10월 21일 원고 접수
 2002년 11월 22일 수정원고 접수
 2002년 11월 23일 원고 채택