

함평만 표층퇴적물과 금속원소들의 분포 특성

윤 석 태 · 고 영 구 · 류 상 옥*
전남대학교 지구과학교육과 · 전남대학교 해양학과
(1999년 11월 8일 접수)

Distribution Characteristics of Surface Sediments and Metal Elements in Hampyong Bay, the Southwestern Coast of Korea

Seok-Tai Youn, Yeong-Koo Koh, and Sang-Ock Ryu*

Dept. of Earth Science Education, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

*Dept. of Oceanography, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

(Manuscript received 8 November, 1999)

To investigate size distribution and metallic elements of surface sediments in Hampyong Bay, the southwestern coast of Korea, sedimentological and geochemical studies on surface sediments are carried out. The surface sediments of Hampyong Bay are classified into gravel, muddy sandy gravel, gravelly muddy sand, gravelly sandy mud, mud facies in accordance with areal characteristics. The coarse sediments are distributed on the subtidal zone along the main tidal channel and southeast intertidal flat of Hampyong Bay. On the other hand, the fine sediments are dominated in northeast and west intertidal flat of Hampyong Bay. Most metallic elements except for Ba in the sediments are closely interrelated with fine sediments and mutually with each element. Ba is maybe related with sandy sediments and inversely related with carbonate contents. Normalized by Al content, the sediment do not show any remarkable metal enrichments influenced by reasonable artificial or environmental factors.

Key words : Hampyong bay, surface sediments, metallic elements, carbonate, geochemistry

1. 서 론

한반도의 서남해안에 위치하는 함평만은 만입구가 북서 방향으로 열려있고, 해안선 주변 곳곳에 해안절벽과 층적층이 잘 발달되어 있으며, 육지와 연결된 큰 규모의 수계가 존재하지 않는 반폐쇄된 지형 특성을 갖는다 (Fig. 1). 이에 따라 여름에는 반폐쇄된 지형적 특성에 의해 저에너지환경이 조성된 반면 겨울에는 북서 방향의 만입구를 통해 전달되는 북서계절풍에 의해 고에너지 환경이 조성되는 독특한 특성을 갖는다.¹⁾ 이와 같은 독특한 지형적 특성은 지질학 및 생물학자들을 중심으로 많은 관심을 갖게 하였으며 이에 따라 현재 활발한 연구를 수행하고 있다.¹⁻⁸⁾ Park²⁾은 함평만 주변의 풍화토 위에 집적된 폐각층을 동위원소 분석을 통해 태풍퇴적층에 관한 연구를 수행한 바 있으며, 류 등^{1,3,4)}은 함평만의 표층 퇴적물과 집적물, 부유물질 등의 퇴적학적 연구를 통해 조간대 퇴적물의 계절적 변화와 퇴적환경에 관한 연구를 수행하였고, 이 등⁵⁾은 고생물학적 연구와 층서학적 연구를 통해 퇴적환경을 해석하려 하였다. 또한 박 등⁶⁾은 주상시추코어를 통해 제4기 후기 층서를 규명하였으며, 김 등⁷⁾은 조간대의 퇴적작용과 형성과정에 대한 연구를 수

행하였고, 장 등⁸⁾은 조간대의 퇴적작용에 관한 연구를 수행 한 바 있다. 그러나 이와 같은 연구의 대부분은 퇴적학적 또는 고생물학적 입장에 근거한 연구로 퇴적물 내의 금속원소의 분포에 대한 연구는 아직까지 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 함평만의 표층퇴적물에 대한 퇴적학적 특성과 함께 지화학적 연구를 수행하여, 표층 퇴적물의 분포와 퇴적물 내에 함유된 금속성분들의 분포를 밝히는데 그 목적이 있다.

2. 주변지질 및 수리환경

함평만의 주변지질은 시대미상의 편마암류 및 편암류 등을 주로 하는 변성암류와 이들 암체들을 관입하는 중생대 쥐라기의 편상 화강암으로 이루어져 있으며, 이들 암체를 위를 신생대 제4기의 미고화된 층적층이 부정합적으로 피복하면서 계곡과 함평만 연안의 저평지를 따라 분포하고 있다 (Fig. 2). 시대미상의 변성암류들은 만의 중부를 경계로 남동측 연안을 따라 반상변정질 편마암과 화강암질 편마암으로 분포하며, 편상 화강암은 만의 북서측 손불면과 해제면을 따라 분포하고 있다.⁹⁾ 이들 암

체들은 대체로 풍화정도가 심하고 절리면이 수직에 가까운 형태로 전개되어 있어, 인접한 함평만의 퇴적물 구성에 직·간접적으로 많은 영향을 미치고 있을 것으로 판단된다.

함평만의 조석은 반일주조(semidiurnal tide)로 일조부등(diurnal inequality)을 나타내며, 소조차는 205.4 cm, 대조차는 425.3 cm, 평균조차는 315.4 cm¹⁰⁾로 Davies¹¹⁾의 분류 기준에 의하면 중조차(mesotide) 환경이다. 조류의 최대유속은 겨울 대조시 함평만 입구에서 창조시 98.7 m/sec이며, 낙조시 96.7 m/sec로 창조시 최대유속이 다소 강한 반면, 내측 주조류에서는 창조시 50.9 m/sec이며, 낙조시 82.2 m/sec로 낙조시 최대유속이 창조시 최대유속보다 강한 낙조우세(ebb-dominant) 환경이다.⁴⁾

3. 재료 및 방법

함평만의 표층퇴적물과 금속원소의 분포 특성을 파악하기 위해 조간대 및 조하대에서 총 120개의 표층시료를 채취하였다(Fig. 1). 조간대의 시료채취는 간조시 도보로 접근하여 채취하였으며, 도보로 접근하기 어려운 조간대와 조하대의 시료채취는 선상에서 채니기(La-fond type)를 이용하여 채취하였다. 특히 화학분석을 위한 시료는 시료 채취 시 발생할 수 있는 자료의 오차를 최대한 줄이기 위해 플라스틱 스푼을 이용하였다.

퇴적물의 입도분석은 염분을 제거하기 하기위해 따라 붓기 과정을 3회이상 실시한 후 과산화수소와 묽은 염산을 차례로 넣어 유기물과 탄산염을 제거하였다. 전처리 과정이 끝난 시료는 4φ(62.5μm) 표준체로 습식체질한 후 4φ 이상의 조립질퇴적물과 4φ 이하의 세립질퇴적물로 구분하여 조립질퇴적물은 표준체를 이용한 건식체질 방법으로 세립질퇴적물은 침전속도를 고려한 피펫방법으로 분석하였다. 측정된 모든 결과는 그래픽 방법에 의해 처리되었고 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도 등의 통계적 입도상수는 Folk and Ward¹²⁾의 계산식에 의해 구하였다. 또한 퇴적물 입자의 광물조성은 4φ 이상의 조립질퇴적물을 구간별로 분리한 후 실체현미경(SV6, Carl Zeiss) 하에서 이루어졌다.

퇴적물의 화학분석은 만 내의 표층퇴적상 고려하여 14개 정점의 표층퇴적물을 분말화 한 후 알루미늄(Al), 철(Fe), 티탄(Ti), 망간(Mn), 바륨(Ba), 코발트(Co), 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni), 아연(Zn) 등 총 10종류를 분석하였다. 알루미늄과 철은 건조시료의 총 중량에 대한 중량 백분율비(%)로, 나머지 원소들은 백만분율비(ppm)로 산출하였으며, 금속원소들의 중량비는 유도결합 플라즈마를 사용하는 분광분석인 ICP 분석을 이용하였다. 각 금속원소들의 함량은 퇴적물 입도와와의 관련성을 살펴보기 위해 상관관계를 살펴보았으며, 퇴적물 내에 들어 있는 금속원소들의 집중 정도를 파악하기 위하여 보존성원소인 알루미늄을 이용하여 원소들의 집중도를 분석하였

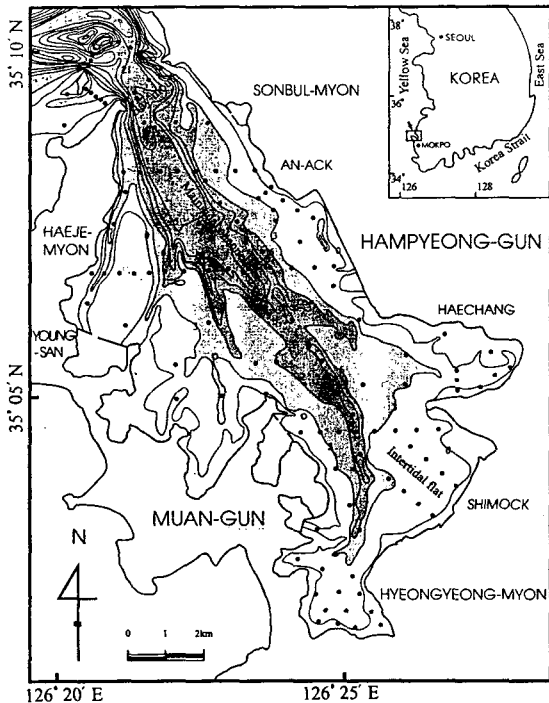


Fig. 1. Location map of Hampyeong Bay showing bathymetry and sampling sites. Bathymetry (relative to mean sea level) is from National Geography Institute (1983), depth in meter.

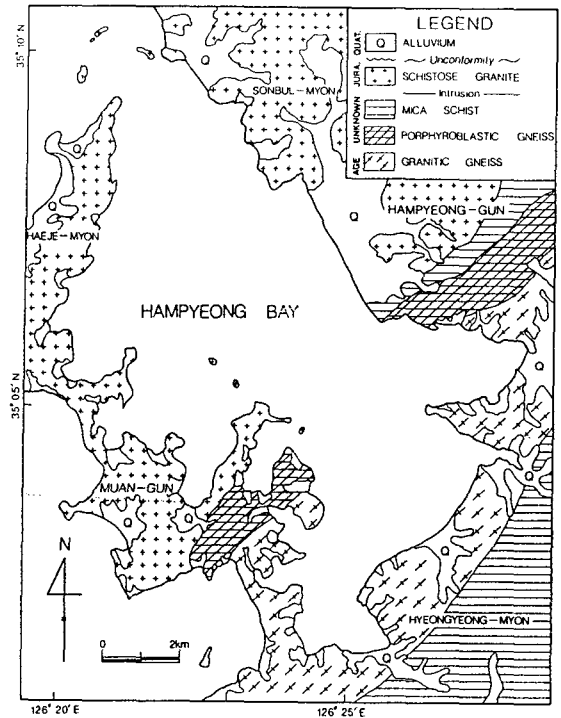


Fig. 2. Simplified geological map of Hampyeong Bay area(after Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 1971).

다. 또한 금속원소들의 분포상과 퇴적물에 함유된 탄산염 함량과의 관련성을 알아보기 위해 탄산염의 함량을 측정하였다. 탄산염 함량은 건조시료 2g 정도를 분말화한 후 10% 농도로 희석한 염산을 가하여 탄산염을 용해시킨 후 증류수를 이용하여 세척하였으며, 용해된 탄산칼슘과 염산을 제거한 시료는 건조기에서 건조시켜 중량 결손을 측정하여 탄산염의 함량을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 표층퇴적물의 분포 및 특성

함평만의 표층퇴적물은 입도분석 결과 잔자갈(pebble)에서 점토(clay)에 이르기까지 입도 범위가 매우 넓다(Fig. 3, Table 1). 역 퇴적물(G; gravel)은 자갈의 평균 함량이 95% 이상으로 만입구의 기저면에 협소하게 분포한다. 자갈은 잔자갈(pebble)에서 왕모래(granule) 크기에 해당하는 것으로 평균입도는 -3.8~-3.6φ 범위이고 분급은 0.8~1.0φ 범위로 보통이며, 왜도는 0.5~0.7로 양성왜도(positive skewness)를 갖는다. 니사질역 퇴적물(msG; muddy sandy gravel)은 자갈과 모래, 니의 평균 함량이 각각 약 41%와 38%, 21%로 만입구 주변에서 역 퇴적상을 둘러싸고 있다(Fig. 3). 퇴적물의 평균입도는 -2.1~2.4φ 범위이고 분급은 2.5~5.2φ 범위로 매우 나뉘며, 왜도는 0.1~0.8로 양성왜도를 갖는다. 사 퇴적물(S; sand)은 자갈과 모래의 평균 함량이 약 29%와 71%로 조간대 곳곳에 분포하는 조간대사주와 해안침식에 의해 형성된 만조선 부근의 소규모 해변지역에 분포한다. 퇴적물의 평균입도는 -0.1~-1.2φ 범위이고 분급은 0.6~0.9φ 범위로 보통이며, 왜도는 -0.1~0.2 범위로 양성왜도와 음성왜도가 교호되는 특징을 보인다. 사 퇴적물의 광물조성은 석영과 장석이 평균 24%이며, 압편이 평균 76%로 압편이 대단히 우세한 미성숙된 퇴적물의 특징을 보인다. 역니질사 퇴적물(gmS; gravelly muddy sand)은 모래의 평균 함량이 약 60%로 만입구의 내측 조하대와 내만역의 조간대를 중심으로 분포한다. 만입구의 조하대에서는 약 1km의 폭으로 니사질역 퇴적상을 둘러싸고

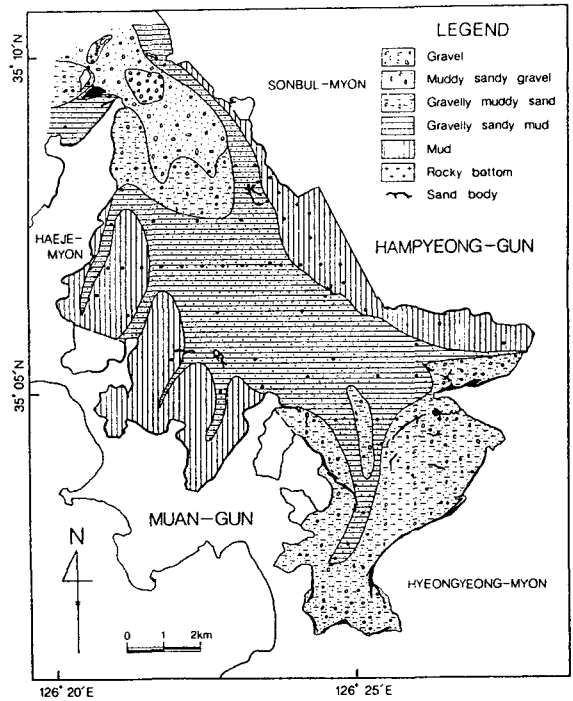


Fig. 3. Surface sediment distribution of Hamgyong Bay.

있으며, 내만역의 조간대에서는 1~3km의 폭으로 분포하고 있다. 퇴적물의 평균입도는 0.3~4.1φ 범위이고 분급은 2.1~4.7φ 범위로 매우 나뉘며, 왜도는 0~0.7로 양성왜도를 갖는다. 역사질니 퇴적물(gsM; gravelly sandy mud)은 니의 평균 함량이 69%로 만의 외측 조간대 일부와 내만역의 조하대에 분포하고 있다(Fig. 3). 만의 외측 조간대에서는 약 1km의 폭으로 분포하고 있으며, 내만역의 조하대에서는 광범위한 분포를 보인다. 퇴적물의 평균입도는 3.2~7.9φ 범위이고 분급은 2.2~5.3φ 범위로 매우 나뉘며, 왜도는 -0.22~0.48 범위로 양성왜도와 음

Table 1. Classification of six facies based on sedimentary texture and CaCO₃ contents

Facies		Mean (φ)	Sd. (φ)	Sk.	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	CaCO ₃ (%)
G	Range	-3.8~-3.6	0.8~1.0	0.5~0.7	95.1~96.2	3.8~4.9	0	0	-
	Mean	-3.7	0.9	0.6	95.7	4.4	0	0	-
msG	Range	-2.1~2.4	2.5~5.2	0.1~0.8	31.5~65.6	18.7~54.3	5.1~27.8	4.0~15.6	5.8~6.4
	Mean	0.5	3.5	0.5	41.0	38.0	12.9	8.1	6.1
S	Range	-1.2~-0.1	0.6~0.9	-0.1~0.2	11.4~64.8	35.2~88.6	0	0	-
	Mean	-0.5	0.8	0.1	29.2	70.8	0	0	-
gmS	Range	0.3~4.1	2.1~4.7	0~0.7	5.4~26.0	38.3~75.3	6.0~28.6	3.5~20.9	1.4~5.9
	Mean	1.8	3.4	0.5	16.8	59.6	14.1	9.5	3.5
gsM	Range	1.9~7.9	2.2~5.3	-0.2~0.5	0.2~27.9	6.1~46.7	24.5~77.8	9.8~40.7	9.1~11.9
	Mean	5.2	4.0	0.1	7.1	24.3	44.7	23.9	10.5
M	Range	6.0~7.8	2.2~3.0	0.3~0.7	0~1.1	0.1~4.1	55.7~81.6	16.6~41.8	5.0~7.9
	Mean	7.2	2.7	0.6	0.1	1.3	68.5	30.2	6.1

G, gravel; msG, muddy sandy gravel; S, sand; gmS, gravelly muddy sand; gsM, gravelly sandy mud; M, mud; Sd., standard deviation; Sk., skewness

성왜도가 교호되는 특징을 보인다. 니 퇴적물(M: mud)은 니의 함량이 99% 이상으로 만의 등측과 서측 조간대를 중심으로 폭 1~2 km의 범위로 분포하고 있다. 퇴적물의 평균입도는 6.0~7.8φ 범위이고 분급은 2.2~3.0φ 범위로 매우 나뉘며, 왜도는 0.3~0.7 범위로 양성왜도를 갖는다.

한편, 퇴적물 내에 함유된 탄산염의 함량은 1.8~11.9% 범위로 10% 이상을 보이는 남해 연안이나 서남해역의 대륙붕 퇴적물에 비해 낮은 함량 분포를 보였다.¹³⁾ 퇴적물에 따라서는 니사질역 퇴적물에서 평균 6.1%, 역니질사 퇴적물에서 평균 3.5%, 역사질니 퇴적물에서 10.5%, 니 퇴적물에서 6.1%로 역사질니 퇴적물에서 최대 값을 보인 반면, 역니질사 퇴적물에서 최소값을 보였다 (Table 1). 한편 탄산염 입자는 퇴적분지 내에서 무기적인 침전이나 생물의 골격에서 일어나는 생물학적인 분비 작용에 의해 형성되며, 탄산염 입자의 분포는 기후와 생물의 생산성, 지형, 퇴적물의 종류, 광물조성 등에 의해 좌우되는 것으로 알려져 있다. 특히, 만 내에서는 생물의 생산성과 퇴적물의 종류, 지형 등에 의해 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다.

4.2. 금속원소들의 함량 및 분포

금속원소의 분석 결과, 금속원소의 함량은 시료와 원소에 따라 변화정도가 다양하였으나 주성분 원소인 알루미늄과 철, 미량원소인 망간과 바륨의 함량이 비교적 높게 나타났다(Table 2). 이와 같은 금속원소들의 함량은 원소별 지각의 평균함량치^{14,15)}와 비교할 때, 대다수의 금속원소들은 평균치 이하로 나타났으며 바륨은 평균치보다 다소 높은 값을 보였다.

알루미늄(Al)의 함량은 1.8~9.3%(평균 6.1%) 범위로 정점들 간의 변화폭이 다소 크게 나타났으며, 한반도 연

안의 함량 분포와 비교해 볼 때 상대적으로 다소 높은 함량을 보인다.¹³⁾ 특히 만입구에 근접한 안악과 용산 조간대 등 니질퇴적물이 우세하게 분포하는 곳에서 상대적으로 높게 나타났으며, 이러한 알루미늄은 지각에 널리 분포하는 성분들 중의 하나로 암석의 풍화나 풍화된 퇴적물들이 운반되는 도중에 함량 변화가 매우 낮고, 액체 상태보다는 고체 상태로 운반되는 것이 일반적인 현상으로 보고된 바 있다.¹⁶⁾ 철(Fe)의 함량은 0.2~4.0%(평균 2.2%) 범위로 서해 퇴적물에서 철의 평균함량 2.2%와 비슷한 함량 분포를 보인다.¹³⁾ 망간(Mn)의 함량은 77.4~697.0ppm(평균 320.8ppm) 범위로 서해 대륙붕 해역에 비해 다소 낮은 값을 갖는다.¹³⁾ 이러한 망간은 일반적으로 점토광물과 각섬석을 비롯한 유색광물 계열에서 그 함량이 높은 것으로 알려져 있다.¹⁷⁾ 바륨(Ba)의 함량은 304.2~576.1ppm(평균 487.5ppm) 범위로 서해 대륙붕보다는 다소 낮으나 남해에 비해서는 만 내의 함량이 상대적으로 높게 나타났다.¹³⁾ 만 내의 바륨 함량 분포는 내만역의 조간대에서 상대적으로 높고 만입구의 조하대에서는 상대적으로 낮은 함량 분포를 보인다. 일반적으로 바륨은 조립질퇴적물에서 높은 함량을 보이는데 반해 세립질퇴적물에서는 낮은 함량을 보인다. 또한 광물학적으로 운모 및 장석의 함량과 밀접한 관계를 갖는 것으로 알려져 있다. 바륨은 알칼리토족 계열의 원소로 클라크수에 따르면 425ppm 정도가 지각 내의 평균 집중도이다. 코발트(Co)의 함량은 1.0~12.8ppm(평균 7.0ppm) 범위로 서해나 남해 대륙붕 퇴적물 내의 평균 함량과 비교적 유사하다.¹³⁾ 만 내의 코발트 함량 분포는 북동측의 안악과 해창 조간대에서 상대적으로 높고 나머지 해역에서는 비교적 낮은 함량 분포를 보인다. 코발트는 철과 관계가 깊은 원소로써 보통의 화성암보다는 초염기성암 계열에서 높은 집중도를 보인다. 크롬(Cr)의 함량은 2.5~

Table 2. Metal contents of sediments in Hampyong bay

Station	Al (%)	Fe (%)	Mn (ppm)	Ba (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)
HP18	3.08	0.22	154.88	555.12	4.85	3.47	1.06	1.29	2.21	14.73
HP32	3.58	0.69	77.44	304.19	12.36	9.89	1.04	3.16	4.13	13.10
HP38	7.79	3.28	464.64	495.12	67.64	58.05	10.56	24.59	17.07	21.41
HP44	8.04	3.41	542.08	495.55	71.99	55.71	11.25	26.62	19.70	24.27
HP50	6.30	2.43	309.76	471.94	53.33	42.89	8.64	18.94	14.51	22.43
HP60	8.05	3.43	542.08	485.70	70.06	56.28	10.94	25.81	19.19	23.13
HP67	8.79	3.80	464.64	475.77	77.37	62.96	11.90	28.04	19.83	23.56
HP68	9.31	3.99	696.96	425.70	80.30	59.38	12.76	28.80	20.56	26.40
HP73	4.40	0.85	77.44	576.06	20.20	12.01	2.75	4.52	5.56	18.41
HP77	5.93	2.20	464.64	371.72	51.18	39.54	10.71	18.84	13.52	18.48
HP89	6.32	2.08	232.32	532.25	39.39	29.45	6.30	13.12	11.82	23.48
HP98	6.52	2.36	232.32	727.64	46.14	18.95	5.11	7.81	9.09	23.62
HP103	5.37	1.93	154.88	548.72	28.60	27.25	4.23	9.43	9.47	15.60
HP115	1.81	0.27	77.44	360.19	5.38	2.52	0.99	0.57	2.25	8.02
Average (SD)	6.09 (±2.25)	2.21 (±1.30)	320.82 (±205.69)	487.54 (±105.02)	44.91 (±26.94)	34.16 (±22.22)	7.01 (±4.44)	15.11 (±10.62)	12.06 (±6.73)	19.76 (±5.24)

63.0ppm(평균 34.2ppm) 범위로 동해의 퇴적물에 비해 상대적으로 낮고, 서해 퇴적물의 평균 함량인 37ppm과 유사한 함량 분포를 보인다.¹³⁾ 만 내에서 크롬의 함량 분포는 철과 관계가 깊은 원소로써 안악과 해창 조간대에서 상대적으로 높은 함량 분포를 보인다. 구리(Cu)의 함량은 2.3~20.6ppm(평균 12.06ppm) 범위로 서해와 남해의 대륙붕 퇴적물들에서 나타나는 9~12ppm 범위와 유사한 함량 분포를 유지한다.¹³⁾ 만 내의 크롬의 함량 분포는 코발트, 크롬과 유사하게 안악과 해창 조간대에서 상대적으로 높은 값을 갖는다. 일반적으로 구리는 흑운모, 각섬석, 휘석 등의 유색광물에 주로 함유되는 것으로 알려져 있다.¹⁸⁾ 니켈(Ni)의 함량은 0.6~28.8ppm(평균 15.1ppm) 범위로 안악과 해창 조간대를 중심으로 상대적으로 높은 함량을 보인다. 니켈은 암석이나 토양 내에서는 비교적 낮은 함량을 보이는 미량원소이나 마그마 분화의 초기에 농집되는 경향이 강하므로 사문암이나 감람암 등의 초염기성 계열의 암석에서는 집중도가 높은 원소이다. 또한 철과 유사한 거동을 보이는 원소로써 크롬이나 코발트와도 유사한 군에 속하여 이들 원소들과도 비슷한 지구화학적 특성을 가진다.¹⁷⁾ 아연(Zn)의 함량은 5.4~80.3ppm(평균 44.9ppm) 범위로 다수의 다른 금속원소들처럼 안악과 해창 조간대를 중심으로 60ppm 이상의 높은 함량을 보인다. 아연은 각섬석과 흑운모에서 주로 집중되는 경향을 보이며, 퇴적물로 이동할 때는 많은 부분이 고체 상태로 이동한다. 일반적으로 아연은 구리와 비슷한 거동을 보이는 것으로 알려져 있으며 연구 해역인 합평만에서도 아연과 구리의 분포는 상당한 유사성을 갖는다. 납(Pb)의 함량은 8.0~26.4ppm(평균 19.8ppm)의 범위로 만의 북서측 연안에서 대체로 높은 값을 갖는다. 납의 함량 분포는 변화 정도는 다르나 구리나 아연과 비슷한 변화경향을 보이는 것으로 나타났다.

4.3. 금속원소 함량의 공간적 변화요인

퇴적물 내의 금속원소 함량의 공간적 변화요인을 살펴보기 위해 금속원소들의 함량에 대한 탄산염 함량, 퇴적물의 입도, 그리고 조립질 부분인 모래의 함량에 대하

여 상관관계를 살펴보았다(Fig. 4, Table 3). 일반적으로 퇴적물 내의 금속함량, 특히 중금속 함량은 퇴적물의 입도 분포와 밀접히 연관되어 있다고 알려져 왔다.^{19,20)} 또한 한반도 주변 해역에서도 금속함량과 퇴적물 입도의 관련 관계가 보고되고 있다.^{21,22)} Fig. 4와 Table 3에서 보는 것처럼 바륨을 제외하고는 대부분의 금속원소의 함량이 입도와 매우 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 즉 퇴적물의 입도가 세립할수록 금속원소의 농집 정도는 증가하는 경향을 보인다. 납과 알루미늄, 철은 입도와 상관관계수가 0.73과 0.86, 0.89로 비교적 높았으며 망간, 코발트, 크롬, 구리 등은 0.9 이상으로 대단히 밀착된 정(+)의 상관관계를 보였다. 그러나 바륨(Ba)은 예외적으로 입도와 다소 상반된 미약한 부(-)의 상관관계를 보여 입도의 세립화 정도와 무관하거나 오히려 입자가 조립화되면 다소 증가하는 속성이 있는 것으로 해석될 수 있다. 각각의 금속원소와 입도의 세립화는 친화도가 높은 것으로 나타났는데 보다 조립질인 모래와 탄산염 함량과 각 금속원소들과의 상관정도를 비교한 결과, 모래의 함량과 대다수 금속원소들은 강한 부(-)의 상관관계를 가지고 있었으며 바륨만이 미약한 정(+)의 상관관계를 나타냈다. 탄산염 함량과 금속원소들과의 관계는 정(+)의 상관관계가 인지되기는 하나 정도가 0.5 이하로 매우 낮았으며 바륨은 부(-)의 상관관계를 보였다. 분석에 사용된 각 금속원소들 간의 상관관계를 보면 바륨을 제외하고는 금속원소들 상호 간에도 0.8 이상의 강한 친화도를 보인다. 바륨은 해양퇴적물에서 사질퇴적물의 분포와 연관되고 탄산염에 의한 희석의 영향을 받는 것으로 보고되고 있다.¹³⁾ 연구해역인 합평만에서도 바륨의 분포와 요인들과의 상관관계에 있어서 바륨은 세립질퇴적물 보다는 조립질퇴적물과 상관관계가 높고, 탄산염에 의해 그 함량이 다소 저하되는 특성을 나타냈다. 따라서 이와 같은 상관관계를 요약해 보면 바륨을 제외한 많은 금속원소들은 입도의 세립화와 높은 정(+)의 상관관계를 유지하며 금속원소 상호 간에도 친밀도가 높은 거동을 보이는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 바륨은 조립질퇴적물과 상관관계가 더 있는 것으로 생각된다. 알루미늄에

Table 3. Correlation coefficients for each geochemical variable in Hampyong bay

	Al	Fe	Mn	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb	Ba	CaCO ₃	Sand content	Mz
Al	1.00	0.99	0.88	0.93	0.94	0.96	0.94	0.98	0.92	0.17	0.20	-0.74	0.86
Fe		1.00	0.90	0.95	0.96	0.98	0.96	0.99	0.86	0.10	0.25	-0.75	0.89
Mn			1.00	0.95	0.92	0.93	0.95	0.93	0.75	-0.11	0.47	-0.86	0.92
Co				1.00	0.97	0.98	0.98	0.97	0.80	-0.06	0.49	-0.84	0.95
Cr					1.00	0.99	0.99	0.97	0.78	-0.07	0.37	-0.85	0.93
Cu						1.00	0.99	0.99	0.83	-0.02	0.35	-0.82	0.95
Ni							1.00	0.98	0.79	-0.09	0.42	-0.86	0.96
Zn								1.00	0.86	0.06	0.34	-0.80	0.92
Pb									1.00	0.39	0.14	-0.63	0.73
Ba										1.00	-0.49	0.17	-0.23
CaCO ₃											1.00	-0.62	0.54
Sand content												1.00	-0.83
Mz													1.00

대한 각 원소별 상관관계를 보면 철, 망간, 구리, 코발트, 아연, 니켈, 크롬 및 납과의 관계는 상관관계가 양호하여 이들 원소들이 퇴적물의 입도와 관련성이 높음을 반증하며 알루미늄과 상호의존적이 될 수 있음을 보여준다. 그러나 바륨은 알루미늄과 거의 상관관계를 인지할 수 없을 정도로 무관한 상태를 유지한다. 바륨의 경우는 조립질퇴적물 내에서 주로 장식과 운모류의 영향을 받은 결과로 생각된다. 이러한 결과로부터 함평만의 퇴적물들은 탄산염이나 사질퇴적물의 영향을 많이 받는 바륨 등을 제외하고는 대체적으로 알루미늄을 포함한 규산염 광물의 영향을 받고 있는 것으로 해석되고 전반적으로 입도의 의존적임을 알 수 있다. 또한 이러한 원소들의 특성 상, 주위 지질에서 장식류나 운모류가 퇴적물의 형성에 많은 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 그리고 금속원소들과

철 또는 망간과의 높은 상관도는 부분적으로 산화물에 의한 영향이 있음을 시사한다고 볼 수 있다. 탄산염의 경우는 바륨에 있어서 함량을 낮추는 요인으로 작용하는 것으로 생각된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 금속원소들과 퇴적물의 입도와는 매우 상관도가 높게 나타나고 있다. 그러나 퇴적물에 분포하는 여러 가지 화학성분들은 퇴적환경에 대한 차이를 나낼 것이라는 점에서 입도에 의한 영향을 보정하여 화학성분들의 분포상을 추적해야 할 필요성이 제기된다. 이러한 목적으로 자주 이용되는 것이 퇴적물의 이송 중에 함량의 변화가 적은 소위 보존성 원소를 이용하는 방법이다.^{23,24)} 본 연구에서는 입도에 의한 영향을 적게 하기 위한 방법으로 알루미늄을 선택하였다. 알루미늄은 대표적인 보존성원소로서 점토광물의 주성분이며 입도에 따라서 그 성분이 일정하게 변화하는 특성을

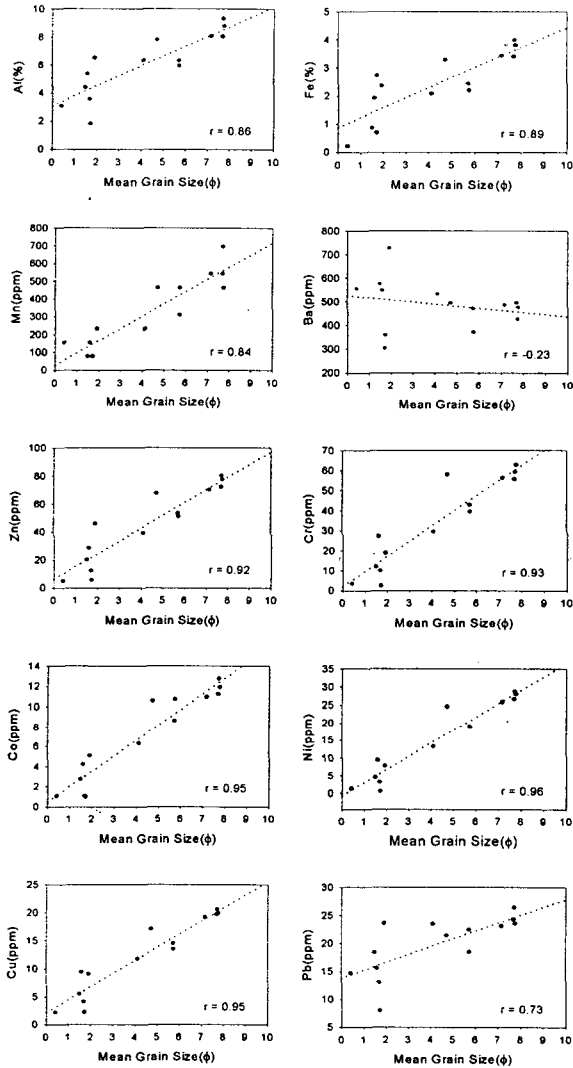


Fig. 4. Relationship between the metal contents and the mean grain size of sediments in Hampyong bay.

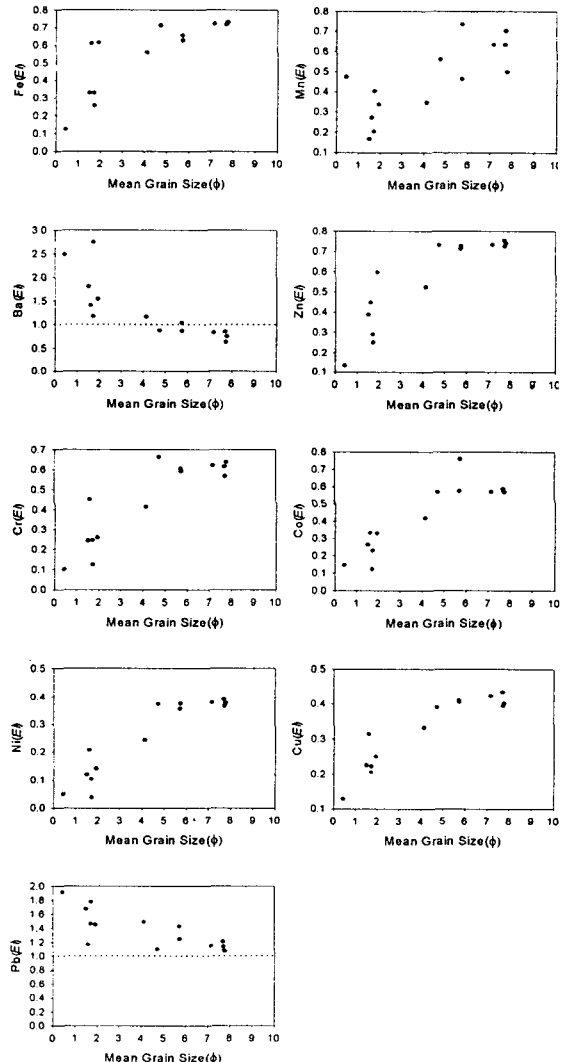


Fig. 5. The concentration ratios of each metal in Hampyong bay.

지니고 있다. 함평만에서 알루미늄은 입도와 상관도가 $r=0.86$ 인 양호한 상관관계를 가져 보존성원소로 이용될 수 있음을 보여준다. 이 알루미늄과 다른 금속원소들의 함량비를 이용하여 금속원소별 집중도(EI)를 구하여 도시하였다(Fig. 5).^{22,25)} 금속원소들에서 구해진 집중도는 철, 망간, 코발트, 아연 등이 0.8 이하, 크롬과 바나듐이 0.7 이하 그리고 구리(Cu)와 니켈(Ni) 등이 0.5 이하로 전반적으로 1.0 이하의 값을 보였으나 납은 1.0~2.0 범위에 해당하는 값을 가져 상대적으로 집중도가 높은 것으로 나타났다. 그러나 우리나라 대륙붕 해역의 납 함량 분포에 비해서는 낮은 수준이다.¹³⁾ 또한 바륨은 산포되는 경향을 보이거나 상대적으로 높은 집중도를 보이며 조립질퇴적물 분포지역에서는 1.0 이상으로 나타나 조립질퇴적물과 관련이 있음을 시사하였다. 이들 결과를 종합해 보면, 함평만에 분포하고 있는 퇴적물 내의 금속원소들의 뚜렷한 농집 현상이 이루어지는 않는 것으로 보인다.

5. 결 론

함평만의 표층퇴적물은 역, 니사질역, 역니질사, 역사질니, 니 퇴적물의 5개 퇴적물로 구분된다. 역 퇴적물은 조류의 유속이 강한 만입구의 기저면에 협소하게 분포하며, 니사질역 퇴적물은 역 퇴적물 주변에 분포한다. 역니질사 퇴적물은 만입구 주변과 내만역의 조간대에 분포하며, 역사질니 퇴적물은 내만역의 조하대에 광범위하게 분포한다. 또한 니 퇴적물은 만의 동측과 서측 조간대를 중심으로 광범위하게 분포한다.

함평만의 표층퇴적물 내에 함유된 금속원소들의 분포를 살펴보면, 바륨을 제외한 알루미늄, 철, 망간 등의 대부분의 금속원소들은 세립질퇴적물 내에서 높은 함량을 보여 입도 의존적인 특성을 보였다. 이를 보다 명확히 하기 위해 상관관계를 조사한 결과, 바륨을 제외하고는 퇴적물의 세립화 정도와 매우 밀접한 상관관계를 지닌다. 납은 입도의 세립화 정도와 다소 낮은 상관관계를 가지나, 알루미늄과 철은 양호한 상관관계를 가지며 아연, 구리, 크롬, 니켈, 코발트 등은 0.9 이상으로 상관관계가 매우 높은 것으로 나타났다. 반면, 바륨은 조립질퇴적물 내에서 상대적으로 높은 함량을 보였는데 이는 조립질퇴적물 중 장석류와 밀접한 관계를 갖는 것으로 생각된다. 탄산염 함량과의 상관관계를 살펴보면, 다수의 금속원소들이 정(+의 상관관계를 유지하나 정도가 낮게 나타나 뚜렷한 관계 설정은 어려웠으며, 바륨의 경우는 오히려 부(-)의 상관 관계를 가져 탄산염의 분포가 바륨의 집중을 희석시키는 효과를 나타내는 것으로 생각된다.

이상에서 언급한 각 원소들에 대한 퇴적환경적 특성을 추적해 보기 위하여 보존성 원소로써 알루미늄을 사용하여 원소들의 집중정도를 조사한 결과, 바륨과 납의 경우 상대적으로 다소 높게 나타났으나 다른 대부분의 금속원소들은 1.0 이하로 원소들의 농집 정도가 낮게 나타나 알루미늄을 함유하고 있는 규산염광물(aluminosilicates)과 비례적인 산출을 보이는 경향을 가지는 것으로 해석된다. 납은 만 내에서 집중도는 높으나 우리나라 인근 해

역에 비해서는 상대적으로 상당히 낮은 함량을 나타냈다. 따라서 함평만의 퇴적물 내에 함유된 금속원소들은 바륨을 제외하고는 세립질 퇴적물에서 높은 함량을 보이는 입도의존적인 특성을 나타내고 있으며, 만 내의 퇴적물에서 금속원소들의 뚜렷한 농집은 관찰되지 않는다. 이와 같은 관점에서, 함평만에서 이루어지는 퇴적물의 퇴적과정에서 인위적인 원인이나 특정한 환경적 요인과 관련된 금속원소들의 집중은 일어나지 않고 있는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 류상욱, 유환수, 이종덕, 1999, 함평만 조간대의 표층퇴적물과 집적물의 계절변화, 한국해양학회지 「바다」, 4, 127~135.
- 2) Park, Y. A., 1996, Coastal Typhoon Deposit in the Hampyung Bay, Southwest Coast of Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, 31, 32~36.
- 3) 류상욱, 유환수, 전승수, 1997, 한국 서해 남부 함평만 표층퇴적물의 분포 및 특성, 한국지구과학회지, 18, 380~391.
- 4) 류상욱, 유환수, 김민지, 문병찬, 1998, 한국 서해 남부 함평만의 퇴적환경, 한국지구과학회지, 19, 343~353.
- 5) 이영길, 박용안, 최진용, 1997, 한국 서해 함평만 조간대 퇴적체의 층서, 퇴적상 및 구조에 관한 연구, 한국지구과학회지, 18: 90~98.
- 6) 박용안, 임동일, 최진용, 이영길, 1997, 한국 서남해 함평만 조간대 퇴적층의 제4기 후기 층서 연구, 한국해양학회지 「바다」, 2, 138~150.
- 7) 김여상, 장진호, 1998, 한국 남서해안 함평만 조간대의 퇴적작용과 형성과정, 한국지구과학회지, 19, 664~674.
- 8) 장진호, 김여상, 조영길, 1999, 해안침식이 우세한 반폐쇄적 조간대의 퇴적작용: 한국 서해안의 함평만, 한국해양학회지 「바다」, 4, 117~126.
- 9) 한국자원연구소, 1971, 한국지질도(망운도폭), 1:50,000, p.25.
- 10) 국립지리원, 1983, 연안해역 기본조사 보고서(법성포지구), p.60.
- 11) Davies, J. S., 1964, A morphogenic approach toward sholines, Z. Geomorph, 8, 127~142.
- 12) Folk, R. L. and W. C. Ward, 1957, Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters, Jour. Sed. Petrol., 27, 3~26.
- 13) 조영길, 1994, 한반도 주변 해역 퇴적물 중 금속원소의 분포와 기원에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, p.262.
- 14) Martin, J. M. and M. Whitefield, 1983, The significance of the river input of chemical elements to the ocean, In Wong, C. S., E. A. Boyle, K. W. Bruland, J. D. Burton and E. D. Goldberg, (eds.), Trace metals in sea water, Plenum, 265~296.
- 15) Turekian, K. K. and K. H. Wedepohl, 1961, Distribution

- of the elements in some major units of the earth's crust, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72, 175~192.
- 16) Martin, J. M. and M. Meybeck, 1979, Elemental mass balance of material carried by major world rivers, *Mar. Chem.*, 7, 173~206.
- 17) Bowen, H. J. M., 1979, *Environmental chemistry of the elements*, Academic Press, London, p.333.
- 18) Wedepohl, K. H., 1969, *Handbook of geochemistry*, Springer-Verlag.
- 19) Förstner, U. and G. T. W. Whittman, 1981, *Metal pollution in the aquatic environment*, Springer-Verlag, Berlin, p.486.
- 20) Salomons, W. and U. Förstner, 1984, *Metals in the hydrocycle*, Springer Verlag., Berlin Heidelberg, p.349.
- 21) Lee, C. B., Y. A. Park, H. J. Kang, and D. C. Kim, 1991, Geochemical characteristics of the continental shelf and slope sediments off the southeastern coast of Korea, *Jour. Quat. Res.*, 5, 15~32.
- 22) 조영길, 이창복, 박용안, 김대철, 강효진, 1993, 황해 동부 대륙붕과 한반도 서해안 표층퇴적물의 지구화학적 특성, *한국제4기학회지*, 7, 69~92.
- 23) Bruland, K. W., K. K. Bertine, M. Koide, and E. D. Goldberg, 1974, History of metal pollution in southern California coastal zone, *Environ. Sci. Technol.*, 8, 425~431.
- 24) Ackermann, F., 1980, A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analysis of estuarine and coastal sediments, *Environ. Technol. Lett.*, 1, 518~527.
- 25) Li, Y. H., 1981, Geochemical cycles of elements and human perturbation, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 45, 2073~2084.