

황해 동부 대륙붕과 한반도 서해안 표층퇴적물의 지구화학적 특성

조영길, 이창복, 박용안, 김대철*, 강효진**

서울대학교 해양학과

*부산수산대학교 응용지질학과

**한국해양대학교 해양공학과

Geochemical Characteristics of Surface Sediments in the Eastern Part of the Yellow Sea and the Korean West Coast*

Yeong Gil Cho, Chang -Bok Lee, Yong Ahn Park, Dae Chul Kim *
and Hyo Jin Kang **

Department of Oceanography, Seoul National University

* Department of Engineering Geology, Pusan Fishery University

**Department of Ocean Engineering, Korea Maritime University

요 약

한반도 서해안의 금강하구와 연안 조간대 및 황해 동부 대륙붕에서 채취된 76개의 표층퇴적물 시료에 대하여 Al, Fe, Na, K, Mg, Ca, Ti, P, Mn 등 9개 주성분원소와 Sr, Ba, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn 등 8개 미량 금속원소, 그리고 유기탄소 함량과 탄산염 함량 등의 화학성분을 분석하여 퇴적물의 지구화학적 특성을 연구하였다. 분석된 원소들의 함량은 K과 Ba를 제외한 지각의 평균함량에 비해 전반적으로 낮게 나타났으며, K과 Ca 등을 제외한 대부분 원소의 함량이 퇴적물 입도와 관련성을 보였다.

연구지역 내에서 퇴적물의 화학성분 함량은 퇴적환경이나 위치에 따라 서로 다른 특성을 나타내었으며, 세립퇴적물의 경우 금강하구의 퇴적물에서 상대적으로 높은 Mn, Co, Ni의 함량이, 그리고 황해중앙이토에서는 높은 Fe, Na, K, Mg, Ca, V의 함량이 특징으로 나타났다. 한편, 원소함량을 Al함량으로 나눈 함량비의 공간적 분포로부터는 황해중앙이토에서 Fe, Mg, V, Ni, Cu, Zn 등이, 그리고 한반도 연안에서는 K, Mn, Ba, Sr 등이 높아지는 경향이 나타났다. 이렇게 분석된 세립퇴적물 지화학 특성의 지역적 차이, Al에 대한 함량비의 분포경향, 지각 평균함량을 기준한 원소의 농축비, 특정 광물분포의 영

* 본 연구는 1992년도 교육부 기초과학육성 연구비의 지원에 의한 것임.

향, 오염의 가능성 등 제반 사항들을 종합적으로 검토하여 본 연구지역에 유입되는 한반도 기원 세립물질과 중국 기원 세립물질을 구분할 수 있는 지화학적 지표로서 각각 Mn과 Mg-V이 제시되었다.

ABSTRACT

A total of 76 surface sediment samples, collected from the Korean west coast and the eastern Yellow Sea areas, were analyzed for their elemental composition in order to understand the geochemical characteristics of these deposits. The analyzed elements included 9 major elements (Al, Fe, Na, K, Mg, Ca, Ti, P, Mn), 8 minor elements (Sr, Ba, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn), organic carbon and calcium carbonate. Contents of most analyzed elements, excluding K and Ba, were generally low compared to those of average crust. Contents of most elements, except K and Ca, also correlated with sediment grain size, though the degree of relationship varied widely from one element to another.

For fine-grained sediments, a distinction could be made between those in the central Yellow Sea and those in the Keum Estuary based on their characteristic elemental composition: the former were rich in Fe, Na, K, Mg, Ca and V, and the latter in Mn, Co and Ni. The element/aluminium ratios, on the other hand, showed that the central Yellow Sea muds were enriched in Fe, Mg, V, Ni, Cu and Zn and depleted in K, Mn, Ba and Sr relative to the mud located near the Korean Peninsula. Based on the analysis of these results, as well as of the influences of particular mineral phases or pollution effects, we could suggest geochemical criteria which can be used in distinguishing muds from the two different sources, the Keum River and the Yellow River: the former by the higher Mn content and the latter by the higher Mg and V contents, relative to each other.

서론

황해는 삼면이 육지로 둘러 쌓인 반폐쇄성 바다로서 약 30만 km² 면적의 대륙붕에 연간 약 16억톤에 이르는 육성 퇴적물이 공급되어 세계적으로 가장 많은 양의 퇴적물이 유입되는 천해 퇴적환경을 대표한다 (Milliman and Meade, 1983; Schubel *et al.*, 1986). 황해의 북서쪽과 남서쪽으로는 황하와 양자강이 거대한 면적의 중국대륙을 배수하며, 동편으로는 비교적 소규모의 한반도 하천들이 유입한다. 이 하천들로부터 운반된 퇴적물은 이 해역의 해수유동 양상을 따라 이동되며, 황해의 해저를 부분적으로 피복하면서 전체의 퇴적층 발달에 기여한다.

황해의 해수순환은 계절풍계와 쿠로시오-황해난류계 및 복잡한 지형 등의 요인에 의해 좌우된다 (이, 1992). 동지나해로부터 황해 중앙

부를 따라 북상하는 황해난류(Yellow Sea Warm Current), 발해로부터 산둥반도를 돌아 중국대륙을 따라 남하하는 중국대륙연안수(Chinese Coastal Water), 한국 서해안을 따라 계절적으로 남하하는 서한연안류(West Korea Coastal Current) 등이 이 해역의 대표적인 해류이며, 황해 중앙부의 중·저층에는 여름-가을철에 냉수괴(Yellow Sea Bottom Cold Water)가 형성된다 (승, 1992; 이 1992). 또한 황해 중앙부와 제주도 남서부에는 반시계 방향으로 순회하는 해류의 흐름이 존재하며, 이들 환류(gyre)가 형성되는 해역은 이토층 분포지역과 일치하여 퇴적물 분포와 해수유동 사이의 밀접한 관련성을 보여준다 (Niino and Emery, 1961; Zhu *et al.*, 1990; Alexander *et al.*, 1991).

황해의 세립퇴적물 공급지로서는 황하와 양

자강이 가장 중요하며, 한반도를 배수하는 하천들에 의해 운반되는 양은 모두 합쳐도 이 둘 하천에 의해 운반되는 양의 수백분의 일에 불과하다. 한편 양자강 기원의 퇴적물은 그 양은 비록 막대하나 연안해류에 의해 주로 남쪽으로 이동되는 까닭에 하구에 인접한 지역을 제외하곤 황해의 세립퇴적물 분포에 큰 영향을 미치지 못한다 (Beardsley *et al.*, 1985). 따라서 북서쪽의 산동반도 연안에서부터 황해 중앙부를 거쳐 제주도 남부해역에 이르기까지 황해저의 거의 전역에 분포하는 세립퇴적물은 대부분 황하기원 물질들로 구성되어 있다고 믿어진다 (Milliman *et al.*, 1985; Alexander *et al.*, 1991). 그러나 한반도에 인접한 황해 동부해역에 있어서는 황해중앙부를 통해 북상하는 황해난류의 존재와 연안역에 발달한 조석전선 등의 영향으로 황하기원 물질들의 유입이 제한되며, 따라서 한반도로부터 유래한 물질들이 상대적으로 우세한 것으로 믿어지고 있다 (Chough and Kim, 1981; Lee and Chough, 1989; Park and Khim, 1990).

한반도에 인접하여 분포하는 세립퇴적물의 근원지와 자세한 이동 및 퇴적의 기작을 밝히고자 하는 연구는 근래에 비교적 활발히 진행되고 있다. 황해 전체 규모에서 대략적으로 계산된 퇴적물의 운반 및 퇴적속도의 비교 (Lee and Chough, 1989; Alexander *et al.*, 1991), 혹은 한반도 서해안을 따라 이동되는 부유물질의 양 (Huh, 1982; Wells and Huh, 1984; Wells, 1988) 등의 연구결과는 한반도에 인접한 곳에서 진행되는 세립퇴적물의 이동과 퇴적이 한반도를 배수하는 하천에 의한 운반량 만으로는 설명될 수 없음을 보여준다. 따라서 이 퇴적물에서 기원이 서로 다른 물질들을 구별하고 한반도로부터 운반되는 퇴적물의 이동 및 퇴적과정을 추적하는 일은 이 환경의 퇴적작용을 이해하는데 있어 가장 핵심적인 요소라 할 수 있으며, 이제까지의 연구에서 점토광물의 조성이나 (Park *et al.*, 1986; Park and Khim, 1992) 일부 금속원소 함량 (이 등, 1992) 등의 지표가 세립퇴적물의 근원과 이동양상을 추적하는데 사용될 수 있다고 제시된 바 있다.

그러나 지금까지의 비교적 활발한 연구에도 불구하고 한반도에서 기원하는 세립퇴적물의 근원적 특성에 대해서는 점토광물을 제외하곤 거의 밝혀져 있지 못하다 할 수 있다. 이는 한반도 주변 대륙붕 퇴적물에 대한 연구에 비해 하천 및 에스추어리 퇴적물에 대한 연구가 상대적으로 미약했던 사실에 그 원인을 찾을 수 있다. 이러한 지식의 공백을 메우기 위한 노력의 일환으로 우리는 금강 하구에 분포하는 세립퇴적물을 대상으로 그 지화학적 특성을 분석하였다. 금강 하구 퇴적물의 지화학적 연구로서는 Kim and Park(1978), Lee(1985) 등이 있으나 이들에 의해 분석된 성분은 수종의 금속원소들로 제한된 까닭에 전체적인 지화학적 조성은 아직 보고되지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 금강 하구 퇴적물의 지화학적 조성을 인접한 조간대 퇴적층 및 외해역의 황해 대륙붕 퇴적물과 비교하여 한반도 하천 기원 물질의 근원적 특성을 이해할 수 있는 기초를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에서 이용된 시료는 북위 35°~37°, 동경 124°에서 한반도 서해의 중부연안에 이르는 해역에 걸쳐 채취된 표층 퇴적물로서, 52개의 대륙붕 퇴적물과 12개 염하구 퇴적물, 그리고 12개 조간대 퇴적물이 분석에 선정되었다 (Fig. 1). 해저의 표층퇴적물은 Van-Veen 채취기를 이용하여 채취하였으며, 조간대 퇴적물은 도бором 간조선까지 왕복하여 채취하였다. 채취된 퇴적물은 실험실에서 입도분석과 지화학 분석을 위한 시료로 구분하여 항목별로 분석에 필요한 처리를 추가하였다.

퇴적물의 입도는 입자의 확산을 위해 먼저 유기물과 염분을 제거한 후, 63 μ m 이상의 입자에 대해서는 표준체를 이용한 체질방법으로, 그리고 63 μ m 이하의 입자에 대해서는 Stoke's law의 침전속도를 적용한 피펫방법으로 분석하였다. 분석결과는 Folk(1968)와 McBride(1971)의 방법에 따라 통계 처리하였으며, 입도 표준치는 Folk and Ward(1957)의 도식법

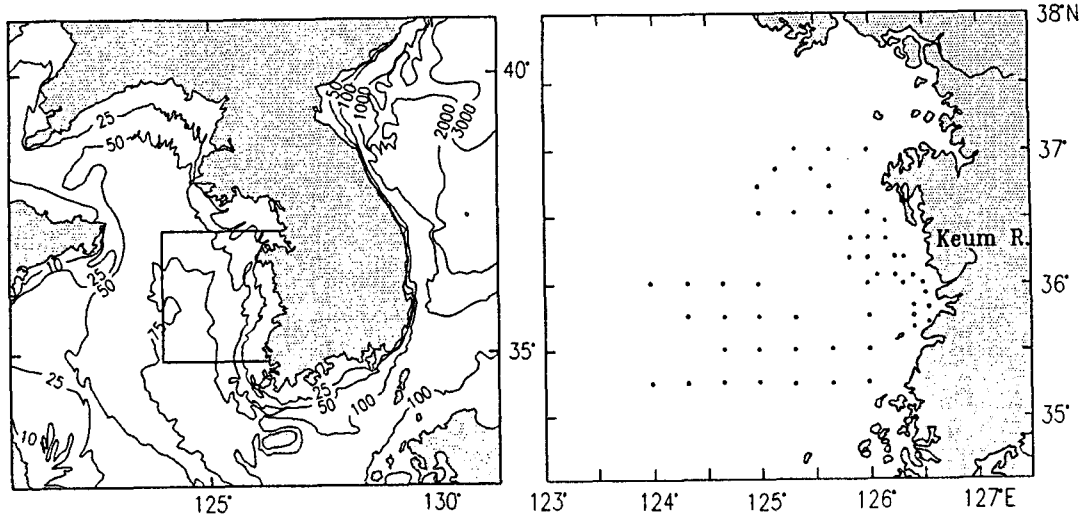


Fig. 1. Map showing the study area and the sample sites.

으로 구하였다.

퇴적물의 지화학 분석은 원시료를 먼저 70 °C 이하의 건조로에서 말린 다음 agate mortar로 분마한 것을 적당량 취하여 사용하였다. 퇴적물 중의 탄산염 함량은 Bernard calcimeter로 측정하였으며 (Gross, 1971). 유기탄소 함량은 일정량의 산화제 ($K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$)를 시료에 넣어 유기탄소를 산화시키고 남은 여분의 산화제 양을 ferrous ammonium sulfate ($FeSO_4(NH_4)_2SO_4$)로 정량하는 역적정법으로 분석하였다 (Strickland and Parsons, 1972). 지화학 원소의 분석은 먼저 혼합산 ($HF + HNO_3 + HClO_4$)으로 퇴적물을 반응시킨 다음, 이 반응물에 0.1N HNO_3 을 넣어 지화학 원소를 용출한 용액을 유도결합플라즈마 방출분광기 (ICP-AES)로 측정하였다.

결과 및 고찰

퇴적물의 분포와 입도특성

연구지역 대륙붕 표층퇴적물의 입도특성 분포는 Fig. 2에 도시된 바와 같다. 퇴적물의 평균입도는 조립사에서 세립질에 해당하는 0.2 ~ 7.1 ϕ 의 넓은 범위에서 나타났으며, 전반적으로 연구지역의 중앙부에서 조립하고 동부와 서부에서 세립한 분포양상을 나타냈다. 특히

평균입도가 6 ϕ 보다 세립한 퇴적물은 연구지역 서부에서는 동경 124° 30' 서쪽지역에, 그리고 연구지역 동부에서는 금강하구에 국한하여 나타났다. 연구지역의 서부는 황해중앙이토층 (Central Yellow Sea Muds)의 일부로서 세립퇴적물이 서쪽으로 넓게 이어지며, 주로 황해에서 기원한 퇴적물이 분포한다 (Lee and Chough, 1989; Alexander *et al.*, 1991; Park and Khim, 1992). 연구지역의 대부분 지역에는 평균입도 2 ~ 4 ϕ 의 세립사 혹은 극세립사에 해당하는 퇴적물이 넓게 분포하고 있으며, 한반도에 인접한 연안퇴적물과 연구지역 서부에서 평균입도 4 ~ 6 ϕ 범위의 퇴적물이 조립질 퇴적물을 둘러싸는 형태로 분포한다.

한편, 금강하구 퇴적물의 평균입도는 3.5 ~ 7.2 ϕ 범위로 변화하며, 유속이 강한 조류로에는 주로 사질 퇴적물이 분포하고 세립질 퇴적물은 해안선 부근에서 비연속적으로 나타난다. 금강하구 남측의 만경·동진 조간대에서 채취된 퇴적물은 3.3 ~ 5.6 ϕ 의 평균입도 범위를 가지며, 간조선에서 만조선 방향으로 감에 따라 점차 세립해지는 조간대 환경의 특징이 잘 나타났다. 따라서, 연구지역 한반도 연안의 전반적인 세립질 퇴적물 분포는 Fig. 2의 입도분포 경향에서 구체적으로 드러난 것처럼, 금강하구를 중심으로 북쪽 방향의 태안반도에 이르는 해안을 따라 외해로 좁게 뻗어 나가는

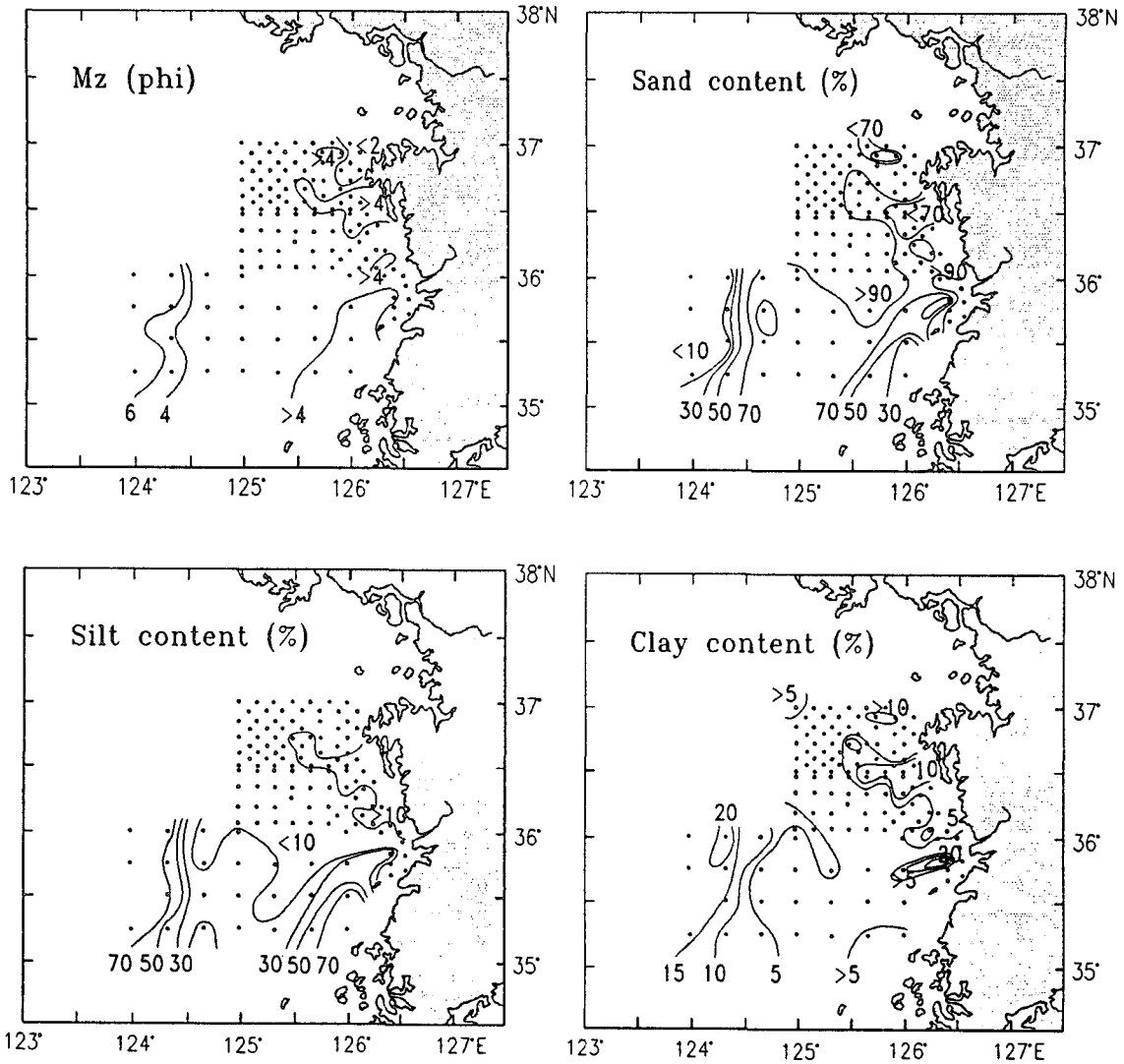


Fig. 2. Areal distributions of the grain-size properties of surface sediments in the eastern Yellow Sea.

형태와 하구 남쪽의 연안을 약간 벗어나 남서 방향의 외해로 다소 폭 넓게 확장되는 모양으로 특징지워진다. 이 세립퇴적물은 주변의 사질 퇴적물로 둘러 싸여서 연구지역 서편의 세립퇴적물과 단절되어진 까닭에 황하기원으로 알려진 황해 중앙부의 이토층과는 다른 경로를 통한 공급을 시사하며, 점토광물을 중심으로한 이체까지의 연구결과는 이들이 대부분 금강으로부터 공급된 것임을 보고하고 있다 (Chough and Kim, 1981; Park *et al.*, 1986).

퇴적물의 화학성분 함량과 분포

주성분원소

연구지역 퇴적물 화학성분의 분석결과는 Table 1과 Table 2에 수록하였다. 퇴적물 입도의 변화가 심한 만큼 화학성분 함량의 변화도 전반적으로 매우 크게 나타났으며, 분석된 76개 퇴적물 전체의 평균함량과 함량범위는 주성분원소의 경우 11.49% Al_2O_3 (7.77-16.78%), 3.28% Fe_2O_3 (1.22-6.71%), 2.16% Na_2O (1.17-3.84%), 3.40% K_2O (2.62-4.20%), 1.06% MgO (0.27-2.77%), 1.00% CaO (0.48-4.13%), 0.45% TiO_2 (0.17-0.73%), 0.08% P_2O_5 (0.04-0.15%), 0.05% MnO (0.02-0.19%)이었고, 유기탄소

Table 1. Major-element composition of 76 surface sediments from the continental shelf of Yellow Sea, Keum estuary(KE) and Kimje tidal flat(KJ)

| St. No. | Mz (ϕ) | Corg (%) | CaCO ₃ (%) | Major Element | | | | | | | | | |
|------------|------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|------------|--------------------------------------|--|
| | | | | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | Na ₂ O (%) | K ₂ O (%) | MgO (%) | CaO (%) | TiO ₂ (%) | MnO (%) | P ₂ O ₅ (%) | |
| A1 | 6.8 | 0.9 | 1.8 | 16.51 | 6.71 | 2.44 | 2.62 | 2.77 | 1.27 | 0.73 | 0.05 | 0.13 | |
| A2 | 7.1 | 1.0 | 2.3 | 16.30 | 6.57 | 3.33 | 3.76 | 2.74 | 1.18 | 0.71 | 0.05 | 0.12 | |
| A3 | 3.1 | 0.2 | 0.0 | 10.95 | 2.52 | 1.96 | 3.77 | 0.82 | 0.75 | 0.36 | 0.02 | 0.07 | |
| A4 | 2.8 | 0.2 | 1.4 | 10.05 | 2.02 | 1.96 | 3.70 | 0.66 | 0.73 | 0.33 | 0.02 | 0.06 | |
| A7 | 2.5 | 0.1 | 0.9 | 8.95 | 2.39 | 1.78 | 3.62 | 0.60 | 0.60 | 0.24 | 0.03 | 0.05 | |
| A8 | 2.4 | 0.2 | 1.5 | 9.57 | 2.43 | 1.61 | 3.00 | 0.69 | 0.72 | 0.45 | 0.04 | 0.07 | |
| B2 | 6.7 | 1.1 | 1.8 | 16.50 | 6.55 | 2.97 | 3.78 | 2.69 | 1.31 | 0.71 | 0.05 | 0.13 | |
| B3 | 3.0 | 0.4 | 0.2 | 12.58 | 3.62 | 2.01 | 3.79 | 1.23 | 0.98 | 0.45 | 0.03 | 0.08 | |
| B4 | 3.4 | 0.3 | 0.0 | 10.57 | 2.24 | 1.85 | 3.72 | 0.70 | 0.75 | 0.33 | 0.02 | 0.06 | |
| B5 | 3.8 | 0.2 | 0.8 | 8.44 | 2.15 | 1.49 | 3.25 | 0.53 | 0.63 | 0.46 | 0.03 | 0.06 | |
| B7 | 4.3 | 0.1 | 1.4 | 7.93 | 1.76 | 1.51 | 3.84 | 0.40 | 0.49 | 0.19 | 0.04 | 0.04 | |
| C3 | 3.2 | 0.2 | 1.9 | 11.68 | 2.88 | 2.22 | 4.20 | 0.95 | 1.15 | 0.36 | 0.03 | 0.08 | |
| C4 | 2.8 | 0.2 | 1.5 | 10.78 | 2.69 | 1.85 | 4.04 | 0.85 | 0.95 | 0.39 | 0.03 | 0.07 | |
| C5 | 2.3 | 0.2 | 2.0 | 8.96 | 2.42 | 1.53 | 3.72 | 0.68 | 0.59 | 0.31 | 0.03 | 0.05 | |
| C6 | 2.7 | 0.2 | 1.1 | 8.69 | 2.20 | 1.32 | 3.74 | 0.63 | 0.49 | 0.30 | 0.02 | 0.05 | |
| C7 | 4.5 | 0.2 | 0.6 | 11.63 | 3.22 | 2.56 | 2.68 | 1.03 | 1.09 | 0.48 | 0.05 | 0.09 | |
| D1 | 6.9 | 1.0 | 2.6 | 15.50 | 5.97 | 2.98 | 4.00 | 2.46 | 1.61 | 0.65 | 0.05 | 0.12 | |
| D2 | 4.8 | 0.7 | 2.2 | 14.35 | 5.01 | 2.33 | 3.93 | 1.86 | 1.56 | 0.58 | 0.05 | 0.11 | |
| D3 | 2.9 | 0.3 | 1.5 | 11.91 | 3.40 | 2.29 | 3.96 | 1.16 | 1.22 | 0.40 | 0.03 | 0.08 | |
| D4 | 2.8 | 0.2 | 0.7 | 10.54 | 2.65 | 2.12 | 3.84 | 0.86 | 0.92 | 0.38 | 0.03 | 0.08 | |
| D5 | 2.5 | 0.3 | 0.5 | 9.26 | 2.88 | 2.00 | 3.70 | 0.82 | 0.80 | 0.47 | 0.04 | 0.07 | |
| D6 | 5.7 | 0.7 | 1.3 | 14.23 | 5.28 | 3.84 | 3.56 | 2.20 | 1.34 | 0.68 | 0.08 | 0.12 | |
| D7 | 5.3 | 0.3 | 1.3 | 12.95 | 4.26 | 2.34 | 3.58 | 1.48 | 1.35 | 0.56 | 0.08 | 0.10 | |
| 1 | 3.0 | 0.1 | 0.1 | 9.41 | 2.97 | 1.79 | 3.35 | 0.76 | 1.03 | 0.53 | 0.06 | 0.08 | |
| 25 | 3.3 | 0.1 | 0.0 | 10.16 | 3.00 | 2.29 | 3.71 | 0.80 | 0.98 | 0.46 | 0.05 | 0.08 | |
| 66 | 3.0 | 0.1 | 0.1 | 9.60 | 2.87 | 1.95 | 3.87 | 0.79 | 0.93 | 0.48 | 0.05 | 0.08 | |
| 68 | 5.3 | 0.4 | 7.5 | 10.56 | 3.59 | 1.98 | 3.11 | 1.20 | 4.13 | 0.44 | 0.09 | 0.13 | |
| 78 | 3.0 | 0.1 | 0.9 | 9.75 | 3.08 | 2.10 | 3.69 | 0.74 | 1.15 | 0.54 | 0.06 | 0.08 | |
| 96 | 3.4 | 0.1 | 0.1 | 10.33 | 3.05 | 2.29 | 3.63 | 0.79 | 0.97 | 0.48 | 0.04 | 0.08 | |
| 108 | 3.6 | 0.1 | 0.2 | 11.03 | 3.16 | 2.39 | 3.72 | 0.89 | 0.91 | 0.39 | 0.04 | 0.08 | |
| 9101 | 1.8 | 0.1 | 1.2 | 8.51 | 1.45 | 1.49 | 3.10 | 0.35 | 0.81 | 0.17 | 0.19 | 0.06 | |
| 9105 | 3.5 | 0.2 | 0.4 | 12.08 | 3.15 | 2.21 | 3.23 | 0.94 | 1.04 | 0.40 | 0.04 | 0.09 | |
| 9109 | 2.8 | 0.2 | 0.1 | 11.25 | 2.62 | 2.17 | 3.52 | 0.64 | 0.87 | 0.28 | 0.04 | 0.07 | |
| 9133 | 2.3 | 0.1 | 0.1 | 9.48 | 2.42 | 1.82 | 3.37 | 0.50 | 0.65 | 0.28 | 0.03 | 0.06 | |
| 9137 | 2.7 | 0.1 | 0.1 | 10.13 | 2.39 | 2.20 | 3.27 | 0.63 | 0.88 | 0.32 | 0.05 | 0.07 | |
| 9157 | 3.7 | 0.3 | 0.3 | 11.64 | 3.24 | 2.22 | 3.09 | 1.02 | 1.03 | 0.39 | 0.04 | 0.09 | |
| 9165 | 2.6 | 0.1 | 0.2 | 10.13 | 2.19 | 2.21 | 3.46 | 0.58 | 0.89 | 0.34 | 0.06 | 0.07 | |
| 91105 | 3.1 | 0.4 | 0.6 | 9.71 | 2.95 | 1.53 | 3.03 | 0.89 | 1.36 | 0.58 | 0.05 | 0.08 | |
| 91109 | 4.5 | 0.2 | 0.0 | 11.39 | 3.16 | 2.44 | 3.28 | 0.98 | 1.00 | 0.40 | 0.04 | 0.08 | |
| 91113 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 9.01 | 2.17 | 1.76 | 3.39 | 0.49 | 0.66 | 0.27 | 0.06 | 0.06 | |

Table 1. (continued)

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 91117 | 2.6 | 0.1 | 0.0 | 9.55 | 1.90 | 2.24 | 3.24 | 0.57 | 0.88 | 0.37 | 0.04 | 0.07 |
| 9221 | 2.9 | 0.2 | 0.1 | 10.41 | 2.89 | 1.91 | 3.39 | 0.81 | 0.88 | 0.48 | 0.05 | 0.08 |
| 9223 | 4.4 | 0.5 | 0.0 | 11.28 | 3.53 | 1.92 | 3.25 | 1.09 | 0.86 | 0.40 | 0.04 | 0.08 |
| 9225 | 2.9 | 0.3 | 0.1 | 10.20 | 2.72 | 2.19 | 3.24 | 0.81 | 0.82 | 0.34 | 0.03 | 0.07 |
| 9260 | 3.5 | 0.3 | 0.1 | 10.04 | 2.99 | 1.85 | 3.12 | 0.88 | 0.83 | 0.43 | 0.05 | 0.08 |
| 9261 | 2.2 | 0.0 | 0.1 | 8.12 | 1.99 | 1.48 | 3.29 | 0.42 | 0.48 | 0.20 | 0.09 | 0.05 |
| 9264 | 2.1 | 0.2 | 0.2 | 7.77 | 2.10 | 1.17 | 2.63 | 0.59 | 1.55 | 0.36 | 0.05 | 0.08 |
| 9266 | 2.1 | 0.0 | 0.1 | 7.85 | 1.22 | 1.27 | 3.19 | 0.27 | 0.48 | 0.19 | 0.02 | 0.05 |
| 92100 | 3.2 | 0.1 | 0.1 | 10.45 | 2.91 | 2.06 | 3.13 | 0.84 | 1.03 | 0.39 | 0.04 | 0.08 |
| 92102 | 5.6 | 0.5 | 0.2 | 12.52 | 4.06 | 2.36 | 2.97 | 1.40 | 1.57 | 0.52 | 0.05 | 0.11 |
| 92104 | 2.2 | 0.1 | 0.1 | 10.22 | 2.06 | 1.75 | 3.46 | 0.50 | 0.66 | 0.21 | 0.03 | 0.06 |
| 92138 | 4.5 | 0.4 | 0.1 | 12.81 | 4.00 | 2.24 | 3.34 | 1.30 | 0.95 | 0.49 | 0.05 | 0.09 |
| KE3 | 5.3 | 0.6 | 0.0 | 14.89 | 4.17 | 2.06 | 2.98 | 1.48 | 1.01 | 0.61 | 0.07 | 0.12 |
| KE7 | 5.6 | 0.6 | 0.2 | 15.11 | 4.36 | 2.18 | 3.12 | 1.61 | 0.99 | 0.57 | 0.10 | 0.10 |
| KE10 | 3.5 | 0.5 | 0.0 | 13.55 | 3.67 | 2.37 | 3.15 | 1.31 | 1.05 | 0.52 | 0.07 | 0.09 |
| KE14 | 6.1 | 0.7 | 0.0 | 15.49 | 4.47 | 2.14 | 2.89 | 1.59 | 0.93 | 0.59 | 0.09 | 0.12 |
| KE19 | 3.8 | 0.3 | 0.2 | 11.77 | 2.99 | 2.52 | 3.04 | 1.12 | 1.08 | 0.49 | 0.05 | 0.08 |
| KE30 | 4.8 | 0.5 | 0.2 | 12.95 | 3.48 | 2.56 | 2.95 | 1.31 | 1.06 | 0.52 | 0.07 | 0.09 |
| KE34 | 7.2 | 0.9 | 0.0 | 16.78 | 5.09 | 1.93 | 2.88 | 1.69 | 0.82 | 0.64 | 0.09 | 0.15 |
| KE42 | 4.4 | 0.4 | 0.3 | 13.73 | 3.66 | 2.08 | 3.03 | 1.29 | 1.05 | 0.53 | 0.08 | 0.09 |
| KE44 | 6.4 | 0.6 | 0.2 | 14.84 | 4.05 | 1.95 | 2.76 | 1.45 | 0.98 | 0.60 | 0.08 | 0.13 |
| KE49 | 7.2 | 1.0 | 0.2 | 15.41 | 4.72 | 1.80 | 2.66 | 1.63 | 1.10 | 0.61 | 0.10 | 0.14 |
| KE50 | 3.8 | 0.4 | 0.0 | 12.91 | 3.35 | 1.96 | 3.02 | 1.13 | 0.96 | 0.53 | 0.06 | 0.10 |
| KE54 | 7.2 | 1.4 | 0.2 | 16.09 | 5.18 | 2.07 | 2.71 | 1.83 | 0.84 | 0.63 | 0.16 | 0.14 |
| KJ1 | 5.6 | 0.3 | 2.4 | 12.32 | 3.49 | 2.98 | 3.37 | 1.25 | 0.95 | 0.56 | 0.09 | 0.09 |
| KJ3 | 5.5 | 0.3 | 2.3 | 12.08 | 3.48 | 2.82 | 3.44 | 1.21 | 0.91 | 0.57 | 0.06 | 0.09 |
| KJ5 | 4.5 | 0.1 | 3.1 | 11.00 | 3.11 | 2.96 | 3.46 | 1.08 | 1.02 | 0.58 | 0.06 | 0.09 |
| KJ7 | 4.2 | 0.1 | 2.5 | 10.88 | 3.17 | 2.57 | 3.46 | 0.99 | 0.98 | 0.58 | 0.06 | 0.09 |
| KJ9 | 3.8 | 0.1 | 1.7 | 10.90 | 3.24 | 2.43 | 3.69 | 0.94 | 0.87 | 0.43 | 0.05 | 0.07 |
| KJ11 | 3.3 | 0.1 | 2.0 | 9.94 | 2.87 | 2.08 | 3.86 | 0.69 | 0.83 | 0.39 | 0.03 | 0.07 |
| KJ12 | 3.3 | 0.1 | 2.6 | 9.98 | 2.85 | 2.14 | 3.78 | 0.68 | 0.88 | 0.41 | 0.04 | 0.07 |
| KJ14 | 3.8 | 0.0 | 2.1 | 11.27 | 3.02 | 2.38 | 3.77 | 0.85 | 0.90 | 0.38 | 0.04 | 0.07 |
| KJ16 | 3.9 | 0.1 | 2.0 | 11.23 | 3.06 | 2.31 | 3.66 | 0.85 | 0.90 | 0.40 | 0.04 | 0.07 |
| KJ18 | 4.7 | 0.1 | 1.7 | 11.53 | 3.10 | 2.88 | 3.77 | 1.05 | 1.01 | 0.53 | 0.05 | 0.09 |
| KJ20 | 5.4 | 0.1 | 2.1 | 11.67 | 3.08 | 2.76 | 3.60 | 1.04 | 0.98 | 0.52 | 0.05 | 0.08 |
| KJ22 | 5.6 | 0.3 | 1.5 | 12.49 | 3.64 | 2.78 | 3.42 | 1.24 | 0.89 | 0.53 | 0.06 | 0.08 |

(Corg)의 함량은 0.32% (0.04-1.40%), 그리고 탄산염물질(CaCO_3)은 0.92% (0.00-7.51%)의 함량을 보인다. 화학성분의 함량은 대체로 퇴적물 입도와 관련성을 나타내고 있으며, 주성분원소의 경우 K_2O 와 CaO 를 제외하곤 모두 다 소간의 입도의존성을 보여준다 (Fig. 3). 이러한

입도와의 관련성은 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , P_2O_5 등에서 특히 뚜렷하여 입도세립화에 따라 이들 성분의 함량이 증가한다. 그러나 Na_2O 의 경우 대륙붕과 연안 퇴적물에서는 입도와의 관련성이 보이는 반면 금강하구 퇴적물에서는 그 관련성이 나타나지 않으며, MnO 의 경우에는

Table 2. Trace metal contents and sample location of 76 surface sediments from the continental shelf of Yellow Sea, Keum estuary(KE) and Kimje tidal flat(KJ)

| ST No. | Latitude (N) | Longitude (E) | Sr | Ba | V | Cr ppm | Co | Ni | Cu | Zn |
|--------|--------------|---------------|-----|-----|-----|-----------|----|----|----|-----|
| A1 | 36.00.00 | 124.00.00 | 134 | 457 | 120 | 93 | 15 | 49 | 29 | 106 |
| A2 | 36.00.00 | 124.20.00 | 137 | 449 | 116 | 90 | 15 | 50 | 28 | 103 |
| A3 | 36.00.00 | 124.40.00 | 180 | 685 | 39 | 33 | 7 | 16 | 8 | 34 |
| A4 | 36.00.00 | 125.00.00 | 180 | 704 | 31 | 27 | 5 | 13 | 7 | 29 |
| A7 | 36.00.00 | 126.00.00 | 172 | 718 | 27 | 21 | 6 | 10 | 4 | 25 |
| A8 | 36.00.00 | 126.20.00 | 164 | 646 | 35 | 29 | 5 | 13 | 7 | 32 |
| B2 | 35.45.00 | 124.20.00 | 135 | 436 | 117 | 90 | 16 | 45 | 28 | 102 |
| B3 | 35.45.00 | 124.40.00 | 174 | 636 | 60 | 48 | 10 | 25 | 14 | 51 |
| B4 | 35.45.00 | 125.00.00 | 184 | 712 | 35 | 29 | 6 | 16 | 7 | 31 |
| B5 | 35.45.00 | 125.20.00 | 159 | 638 | 29 | 22 | 4 | 10 | 5 | 24 |
| B7 | 35.45.00 | 126.00.00 | 164 | 715 | 19 | 16 | 4 | 8 | 3 | 17 |
| C3 | 35.30.00 | 124.40.00 | 202 | 669 | 44 | 35 | 7 | 18 | 23 | 39 |
| C4 | 35.30.00 | 125.00.00 | 187 | 675 | 42 | 33 | 7 | 18 | 8 | 36 |
| C5 | 35.30.00 | 125.20.00 | 156 | 633 | 33 | 26 | 5 | 12 | 6 | 31 |
| C6 | 35.30.00 | 125.40.00 | 147 | 674 | 31 | 25 | 5 | 14 | 6 | 28 |
| C7 | 35.30.00 | 126.00.00 | 195 | 565 | 48 | 40 | 7 | 17 | 8 | 40 |
| D1 | 35.15.00 | 124.00.00 | 153 | 445 | 108 | 83 | 14 | 44 | 25 | 93 |
| D2 | 35.15.00 | 124.20.00 | 179 | 521 | 84 | 67 | 12 | 38 | 18 | 73 |
| D3 | 35.15.00 | 124.40.00 | 189 | 615 | 53 | 43 | 10 | 24 | 10 | 46 |
| D4 | 35.15.00 | 125.00.00 | 184 | 639 | 40 | 32 | 7 | 17 | 8 | 35 |
| D5 | 35.15.00 | 125.20.00 | 170 | 625 | 39 | 29 | 6 | 13 | 7 | 33 |
| D6 | 35.15.00 | 125.40.00 | 157 | 436 | 89 | 73 | 12 | 35 | 18 | 89 |
| D7 | 35.15.00 | 126.00.00 | 182 | 520 | 68 | 56 | 10 | 25 | 13 | 60 |
| 1 | 35.55.47 | 126.32.39 | 176 | 592 | 40 | 30 | 7 | 13 | 5 | 32 |
| 25 | 35.45.36 | 126.26.55 | 189 | 621 | 39 | 32 | 6 | 13 | 5 | 31 |
| 66 | 36.00.53 | 126.30.02 | 196 | 692 | 36 | 30 | 6 | 13 | 5 | 29 |
| 68 | 35.50.24 | 126.25.22 | 198 | 483 | 53 | 46 | 11 | 27 | 12 | 52 |
| 78 | 35.49.49 | 126.33.07 | 192 | 631 | 39 | 30 | 6 | 11 | 4 | 29 |
| 96 | 35.41.48 | 126.26.18 | 193 | 627 | 39 | 33 | 7 | 14 | 5 | 31 |
| 108 | 35.44.03 | 126.35.38 | 195 | 616 | 39 | 34 | 7 | 16 | 6 | 35 |
| 9101 | 36.59.12 | 126.00.29 | 161 | 711 | 17 | 15 | 5 | 6 | 4 | 19 |
| 9105 | 36.59.59 | 125.40.05 | 201 | 702 | 42 | 37 | 8 | 14 | 8 | 41 |
| 9109 | 36.59.55 | 125.19.02 | 210 | 775 | 30 | 26 | 6 | 9 | 5 | 27 |
| 9133 | 36.51.47 | 125.30.16 | 175 | 739 | 24 | 19 | 5 | 8 | 4 | 20 |
| 9137 | 36.52.10 | 125.10.01 | 201 | 733 | 29 | 24 | 6 | 9 | 5 | 26 |
| 9157 | 36.44.04 | 125.40.00 | 197 | 666 | 44 | 39 | 8 | 17 | 8 | 45 |
| 9165 | 36.44.06 | 124.59.59 | 207 | 788 | 27 | 23 | 6 | 9 | 4 | 23 |
| 91105 | 36.30.01 | 124.59.59 | 156 | 630 | 42 | 35 | 7 | 15 | 10 | 43 |
| 91109 | 36.29.53 | 125.39.57 | 200 | 692 | 42 | 37 | 7 | 14 | 7 | 40 |
| 91113 | 36.30.01 | 125.19.59 | 173 | 763 | 24 | 20 | 5 | 9 | 4 | 20 |
| 91117 | 36.30.00 | 125.59.59 | 191 | 742 | 26 | 23 | 4 | 9 | 4 | 23 |

Table 2. (continued)

| | | | | | | | | | | |
|-------|----------|-----------|-----|-----|----|-----|----|----|----|-----|
| 9221 | 36.03.59 | 126.25.00 | 200 | 776 | 36 | 32 | 6 | 12 | 5 | 33 |
| 9223 | 36.03.59 | 126.14.58 | 175 | 672 | 48 | 40 | 9 | 18 | 10 | 47 |
| 9225 | 36.04.04 | 126.05.04 | 186 | 699 | 35 | 29 | 6 | 12 | 7 | 35 |
| 9260 | 36.11.52 | 126.20.03 | 175 | 682 | 40 | 34 | 7 | 12 | 8 | 38 |
| 9261 | 36.12.02 | 126.15.05 | 161 | 763 | 24 | 17 | 6 | 8 | 4 | 19 |
| 9264 | 36.11.52 | 126.00.02 | 161 | 602 | 30 | 26 | 6 | 12 | 6 | 28 |
| 9266 | 36.11.56 | 125.50.00 | 158 | 764 | 14 | 12 | 3 | 6 | 3 | 15 |
| 92100 | 36.20.13 | 126.10.06 | 191 | 702 | 37 | 33 | 7 | 13 | 6 | 34 |
| 92102 | 36.20.02 | 125.59.58 | 190 | 593 | 60 | 53 | 10 | 23 | 12 | 57 |
| 92104 | 36.20.02 | 125.49.59 | 183 | 762 | 24 | 19 | 5 | 9 | 5 | 22 |
| 92138 | 36.27.55 | 126.10.01 | 182 | 666 | 56 | 50 | 10 | 22 | 12 | 53 |
| KE3 | 35.59.13 | 126.39.50 | 172 | 626 | 68 | 69 | 11 | 34 | 23 | 82 |
| KE7 | 35.58.56 | 126.39.13 | 171 | 603 | 71 | 65 | 11 | 37 | 23 | 82 |
| KE10 | 35.58.29 | 126.37.14 | 188 | 650 | 59 | 54 | 9 | 31 | 18 | 71 |
| KE14 | 35.58.48 | 126.35.14 | 163 | 618 | 73 | 101 | 50 | 37 | 22 | 89 |
| KE19 | 36.00.08 | 126.32.18 | 190 | 639 | 50 | 45 | 7 | 26 | 13 | 49 |
| KE30 | 36.01.36 | 126.34.44 | 180 | 599 | 58 | 54 | 8 | 29 | 21 | 62 |
| KE34 | 36.01.26 | 126.37.42 | 144 | 563 | 81 | 79 | 11 | 40 | 28 | 102 |
| KE42 | 36.00.14 | 126.40.34 | 187 | 909 | 59 | 56 | 9 | 29 | 19 | 67 |
| KE44 | 36.00.08 | 126.41.40 | 164 | 590 | 68 | 66 | 11 | 34 | 24 | 83 |
| KE49 | 35.59.00 | 126.43.53 | 147 | 536 | 76 | 79 | 11 | 40 | 29 | 96 |
| KE50 | 35.59.10 | 126.43.54 | 176 | 629 | 58 | 50 | 8 | 29 | 18 | 62 |
| KE54 | 36.00.21 | 126.44.36 | 140 | 511 | 84 | 83 | 13 | 43 | 37 | 105 |
| KJ1 | - | - | 180 | 527 | 53 | 46 | 7 | 19 | 11 | 51 |
| KJ3 | - | - | 183 | 551 | 52 | 32 | 7 | 22 | 11 | 50 |
| KJ5 | - | - | 197 | 582 | 46 | 31 | 6 | 14 | 7 | 40 |
| KJ7 | - | - | 193 | 585 | 46 | 31 | 6 | 18 | 7 | 40 |
| KJ9 | - | - | 195 | 626 | 42 | 27 | 7 | 17 | 5 | 40 |
| KJ11 | - | - | 193 | 678 | 36 | 17 | 6 | 13 | 4 | 27 |
| KJ12 | - | - | 191 | 658 | 35 | 28 | 6 | 12 | 3 | 27 |
| KJ14 | - | - | 201 | 637 | 39 | 34 | 7 | 15 | 5 | 35 |
| KJ16 | - | - | 194 | 620 | 40 | 34 | 7 | 15 | 5 | 35 |
| KJ18 | - | - | 192 | 564 | 46 | 40 | 7 | 19 | 8 | 40 |
| KJ20 | - | - | 192 | 569 | 45 | 34 | 7 | 17 | 8 | 40 |
| KJ22 | - | - | 178 | 538 | 54 | 47 | 8 | 21 | 11 | 52 |

이와 반대로 대륙붕 퇴적물에서 입도와 관련성이 나타나지 않는다. 한편, K_2O 와 CaO 의 함량은 퇴적물 입도와 아무런 관련없이 변화하며, 이러한 현상은 동해 대륙붕 및 대륙사면 퇴적물에서도 보고된 사실과 일치한다 (Lee *et al.*, 1991).

퇴적물의 유기탄소 함량 또한 전반적으로 입도가 세립화 함에 따라 증가하는 경향을 볼

수 있으며, 특히 연안의 조간대 퇴적물이 타 환경에 비해 낮은 유기탄소 함량을 보이는 것이 특징적이다. 본 연구의 대상지역인 김제조간대 퇴적물에서 측정된 평균 0.1%(0.0~0.3%)의 유기탄소 함량은 경기만 조간대에서 보고된 0.55% (Lee *et al.*, 1992)에 비할 때 아주 낮은 값이다. 퇴적물의 $CaCO_3$ 함량 또한 한반도 주변의 타 지역에서 보고된 값에 비해

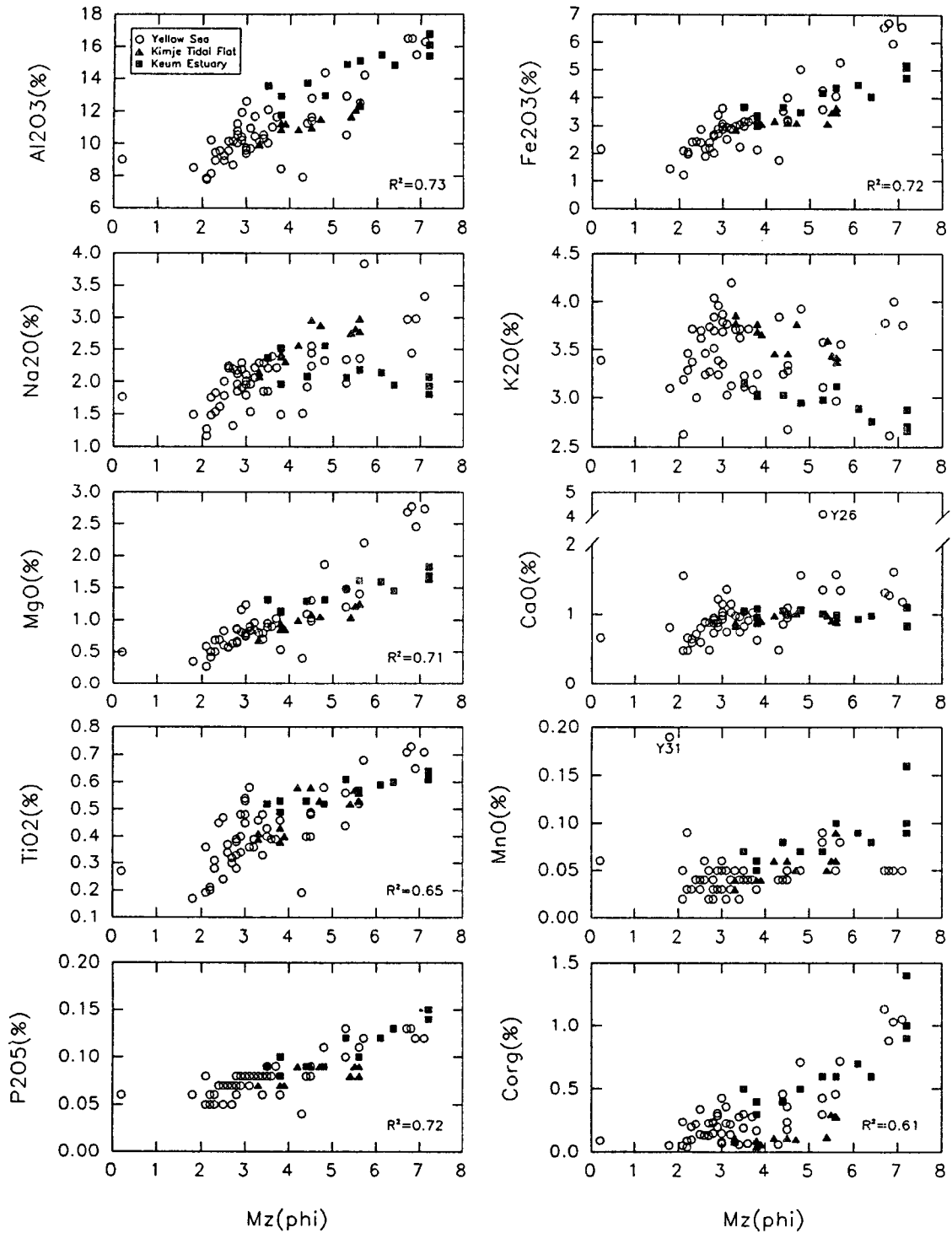


Fig. 3. Relationships between the content of major elements and the mean grain size (Mz) of sediments.

전반적으로 낮으며 (Choi, 1989; Lee *et al.*, 1991), 유기탄소의 경우와는 반대로 조간대 퇴적물에서 상대적으로 높고 금강하구 퇴적물에서 낮은 경향을 나타내었다.

미량금속원소

연구지역 퇴적물에서 측정된 미량 금속원소의 평균함량과 함량의 범위는 179ppm Sr (134-210 ppm), 636ppm Ba (436-909ppm), 48ppm V (14-120ppm), 41ppm Cr (12-101ppm), 8ppm Co (3-50ppm), 20ppm Ni (6-50ppm), 11ppm Cu (3-37ppm), 및 46ppm Zn (15-106ppm)이었다. 이러한 금속원소 함량은 지각의 평균함량이나 (Martin and Whitfield, 1983) 혹은 동해 대륙붕 퇴적물에서 보고된 (Lee *et al.*, 1991) 값에 비하면 전반적으로 낮다. 분석되어진 금속원소들 중 V, Cr, Co, Ni, Cu 및 Zn는 대부분의 주성분원소에서 보여진 것과 같은 입도의존성이 나타나 퇴적물 입도가 증가함에 따라 그 함량이 증가하는 경향을 보인다 (Fig. 4). Ba의 함량도 퇴적물 입도와 관련성을 가지나, 앞의 원소들과는 반대의 경향을 보여 퇴적물이 세립화 함에 따라 함량은 전반적으로 감소한다. 한편 Sr은 금강하구 퇴적물에서는 Ba과 마찬가지로 입도가 세립화함에 따라 함량이 감소하나, 대륙붕 퇴적물에서는 그러한 경향이 뚜렷하지 않다.

퇴적물 화학성분의 대부분은 비록 그 정도의 차이는 있으나 모두 퇴적물 입도의 영향을 받으며, 입도에 따른 지화학 원소의 함량 변화는 많은 연구를 통해 보고되어져 왔다 (Förstner and Salomons, 1981; Salomons and Förstner, 1984; Horowitz, 1991). 퇴적물의 입도와 관련되어 나타나는 화학성분 조성상의 차이는 일차적으로 퇴적물의 구성광물 차이에서 기인할 것이나, 동시에 입자의 표면적 변화에 수반한 금속원소 흡착능력과 유기물질 함량의 차이에서도 일부 기인한다 (Luoma, 1990; Horowitz, 1991). 유기물은 세립질 퇴적물과 친화력을 가져 입도가 세립해짐에 따라 그 함량이 증가하는 경향을 나타내며, 동시에 표면적이 매우 넓고 또 대부분 금속원소들과의 결

합력이 크다. 따라서 Fig. 5에서 보여지는 유기탄소와 금속원소 함량 사이의 밀접한 관련성은 유기탄소 함량에 내재된 입도의존성을 반영하거나 혹은 이들 금속원소와 유기물 사이의 친화력을 반영할 수 있다. 한편, Fig. 5에서 나타난 금속원소와 유기탄소 함량 사이의 상관계수가 Fig. 4에서의 평균입도와 보여준 상관계수보다 전반적으로 높게 나타난 현상은 이들 금속원소의 상당부분이 유기물과 결합되어 있을 가능성을 지시한다고 판단된다.

환경별 및 시료별 화학성분 함량의 변화

퇴적물 화학성분의 공간적인 분포는 국지적으로 크게 변화하는 양상을 나타낸다. 이러한 경향은 특히 대륙붕 퇴적물에서 뚜렷하며, 황해 중앙부의 니질 퇴적물로부터 사질 퇴적물로 이어지는 지역에서 가장 큰 함량의 변화를 보인다. 퇴적물의 입도변화와 더불어 지역적으로 변화가 심한 원소는 Al을 비롯하여 Fe, Mg, Ti, P, V, Cr, Co, Ni, Cu 및 Zn이 대표적이며, 이들 원소의 함량은 황해 중앙부에 해당하는 연구지역의 서쪽 해역에서 가장 높고, 동쪽의 한반도 방향으로 오면서 급격히 감소하다가 연구지역의 남부연안에 이르러 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 이와 반면에 Mn, Sr, Ba 등은 연구지역의 서쪽 해역에서 가장 낮고, 동쪽으로 오면서 퇴적물이 니질에서 사질로 변화하면서 (동경 124° 30' 부근) 큰 폭으로 증가한 후 연안에 이르기까지 유사한 함량으로 분포한다. Sr과 Ba은 연구지역의 북서쪽 해역에서, Mn은 남부연안에서 다소 높은 분포를 나타낸다. 한편, Na, K 및 Ca은 함량의 높고 낮음이 지역적으로 그다지 뚜렷하지 않으며, 전반적으로 사질이 우세한 퇴적물에서 약간 높게 분포한다.

김계조간대에서 원소의 공간적인 분포는 비록 변화의 폭은 작지만 원소별로 다른 경향의 변화를 보인다. Al, Fe, Na, Mg, Mn, P, V, Cr, Ni, Cu 및 Zn의 함량은 외해쪽으로 가면서 감소하는 반면 K, Sr, Ba은 증가하며, Ca, Ti, Co는 거의 변화가 없는 일정한 값으로 분포한다. 외해로 가면서 모래의 함량이 증가하는 이 지역의 퇴적물 분포를 고려하면 K, Sr, Ba의 함량은

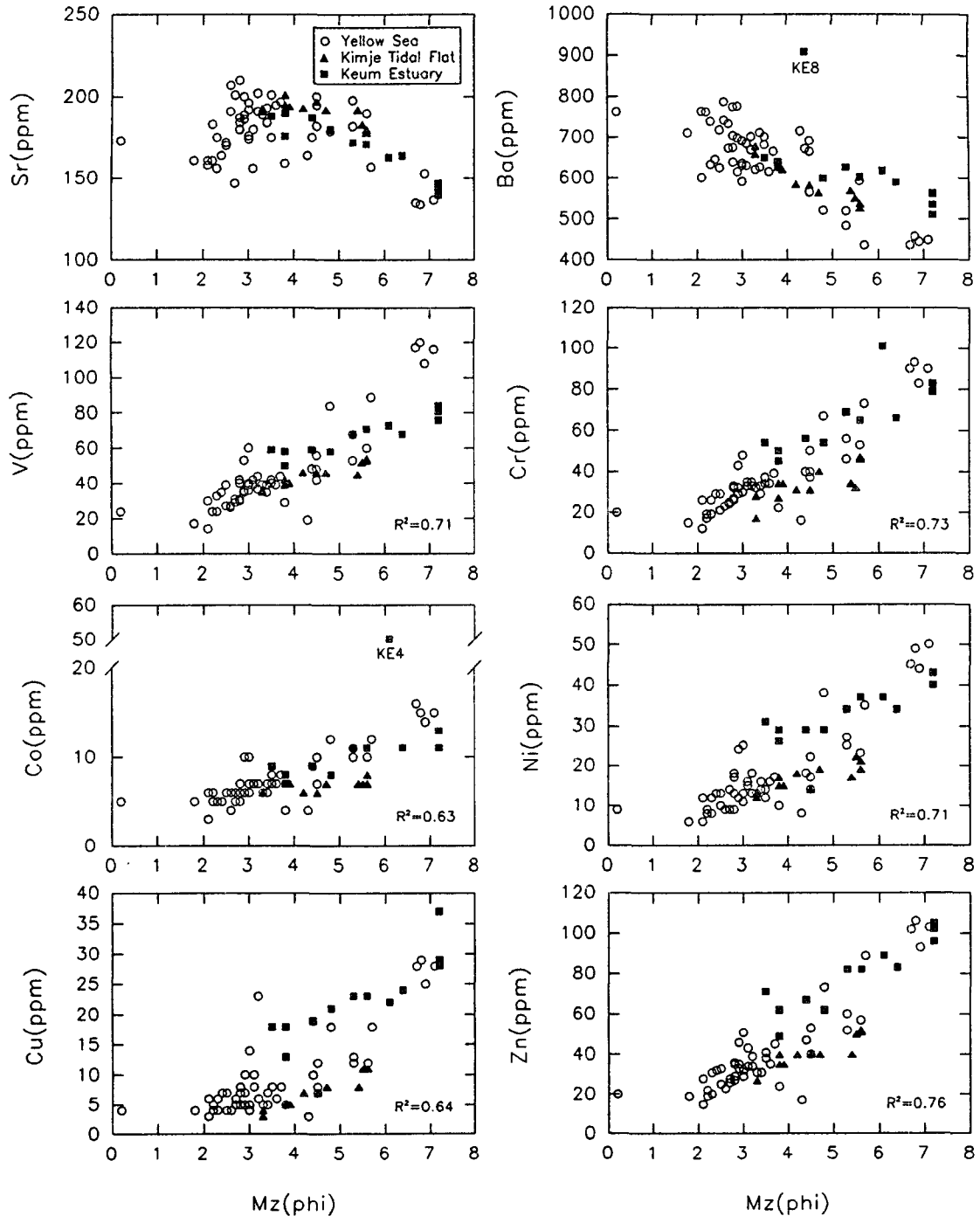


Fig. 4. Relationships between the content of minor elements and the mean grain size (Mz) of sediments.

사질 성분에 의해서, 그리고 Al, Fe, Na, Mg, Mn, P, V, Cr, Ni, Cu, Zn은 세립질에 의해서 그 함량이 조절되어 지는 것으로 생각된다. 금강

하구 환경에서 나타난 원소의 공간적인 분포는 분석된 시료의 양이 변화의 경향을 볼 수 있을 정도로 충분치는 않으나, 전반적으로 세립퇴적

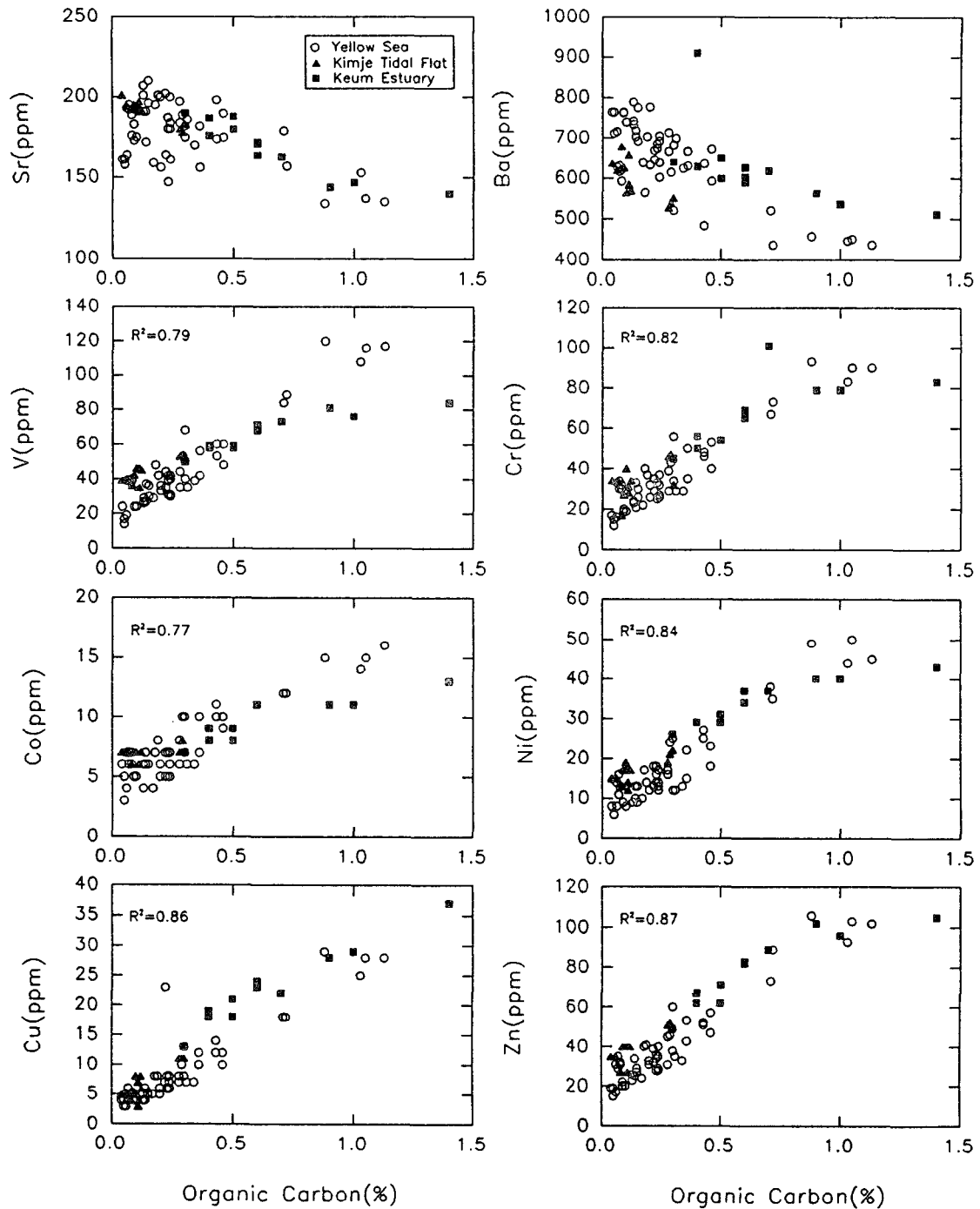


Fig. 5. Relationships between the content of organic carbon and that of some minor metallic elements in surface sediments.

물에서 높은 원소와 조립 퇴적물에서 높은 원소의 유형이 조간대의 경우와 비슷한 양상을 나타낸다.

연구지역 퇴적물의 화학성분 함량은 또한 퇴적환경에 따라 변화하는 모습도 나타낸다. 금강하구와 연안 조간대 및 대륙붕으로 연구지

역 퇴적환경을 구분할 때 일부를 제외한 대부분의 성분이 금강하구에서 상대적으로 높은 평균함량을 나타낸 반면, 대륙붕 퇴적물에서는 Ca과 Ba의 함량이 그리고 조간대 퇴적물에서는 Na, K, 및 Sr의 함량이 상대적으로 높았다. 금강하구 퇴적물에서 함량이 높은 성분 중 특히 Mn, Cr, Co, Ni, Cu 및 Zn의 경우에는 타 환경과 차이가 매우 커서, 금강하구의 평균함량이 대륙붕 퇴적물의 평균함량에 비해 약 2배 가량 높았다. 한편, 시료별로 나타나는 평균함량의 차이는 전반적으로 대륙붕 퇴적물에서 가장 크게 나타났으며, 성분별로 보면 Mg, Mn, Co, Cu 등의 함량이 시료에 따라 큰 폭으로 변화하였다. 이렇게 퇴적환경별 및 시료별로 나타나는 화학성분의 변화는 앞서 언급된 퇴적물 입도차이에 의한 변화요인 이외에도 화학원소 공급원의 차이 및 각 원소들이 운반·퇴적과정에서 나타내는 행동의 차이 등이 복합적으로 작용한 결과일 것이다.

퇴적물 근원지의 차이에 따른 화학성분 변화 요인

본 연구지역에서 퇴적물 화학성분 조성에 영향을 미칠 수 있는 퇴적물 유입원으로서 금강으로 대표되는 한반도 기원과 황해 전역에 지배적인 영향을 미치는 중국쪽 하천, 특히 황하기원으로 크게 나눌 수 있다. 앞서 이미 언급된 바와 마찬가지로 연구지역 서부에 분포하는 황해중앙이토는 중국 황하기원 물질들이 주로 집적되어 있으며, 따라서 그 화학성분의 특징은 중국쪽 하천에서 기원한 퇴적물의 특성을 대표한다고 할 수 있다. 반면 금강하구에 퇴적된 세립퇴적물들은 의심할 나위 없이 금강에서 기원한 물질을 대표하며, 따라서 연구지역 서부의 황해중앙이토와 금강하구 퇴적물의 화학성분 특징을 비교함으로써 퇴적물 유입원에 따른 변화양상을 유추할 수 있을 것이다. 한편

퇴적물의 화학성분 조성에서 입도차이에 따른 변화요인을 근원적으로 제거하기 위해서는 동일한 입도의 퇴적물을 비교하는 것이 바람직하며, 따라서 이들 두 지역에 분포하는 퇴적물중 평균입도가 6 ϕ 보다 세립한 퇴적물만을 대상으로 비교하여 두 지역의 평균함량이 25% 이상 차이를 보이는 성분을 아래의 Table 3에 수록하였다.

Table 3에서 황해중앙이토는 금강하구 퇴적물에 비해 Fe, Na, K, Mg, Ca 및 V의 함량이 높으며, 금강하구 퇴적물은 Mn, Ba 및 Co의 함량이 상대적으로 높다. 이들 중 Na은 시료의 처리과정에서 공극수의 영향이 충분히 제거되지 못했을 가능성이 있으며, 또한 K과 Co는 일부 시료에서 특히 높거나 낮은 함량이 나타난 까닭에 평균함량의 비교가 큰 의미를 갖지 못한다고 판단된다. 따라서 서로 다른 근원지를 대표하는 두 지역의 퇴적물을 구분짓는 지화학적 특징은 황해중앙이토의 경우 상대적으로 높은 Fe, Mg, Ca 및 V의 함량을 들 수 있으며, 금강하구의 경우에는 높은 Mn과 Ba 함량을 들 수 있겠다. 이들 가운데 높은 Ca 함량은 이미 황하기원 퇴적물의 특징으로 보고된 바 있으며 (Li *et al.*, 1984; Milliman *et al.*, 1985; Huang *et al.*, 1992), 쇄설성 방해석(CaCO₃)이 풍부한 loess 층의 침식에 기인하는 현상으로 알려져 있다. 그러나 Ca은 또한 천해환경에 흔한 조개껍질의 탄산염에서도 기인하며, 쇄설성 방해석과 조개껍질의 Ca 성분은 X선 회절법 등에 의한 광물 결정구조 분석이 아닌 통상적 원소분석으로는 구별이 어렵고 따라서 퇴적물 근원지를 구분하는 지화학적 지표로 사용하는 데는 많은 어려움이 있다.

이상과 같은 논의에 근거할 때 황해중앙이토와 금강하구의 세립퇴적물을 구분하는 지화학적 특징으로 사용될 수 있는 원소는 Table. 3에 수록된 것들 중 Fe, Mg, V, Mn 및 Ba의 5개 원소로 압축된다. 따라서 높은 Fe, Mg, V의 함량과 높은 Mn, Ba

Table 3. 황해중앙이토와 금강하구 세립퇴적물(Mz)6 ϕ 사이의 화학성분 평균함량 비교
(단위: %, 단 Ba, V, Co는 ppm)

| 구분 | Fe ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | MgO | CaO | MnO | Ba | V | Co |
|-------------|--------------------------------|-------------------|------------------|------|------|------|-----|-----|----|
| 황해중앙이토(n=4) | 6.34 | 2.93 | 3.54 | 2.67 | 1.34 | 0.05 | 447 | 115 | 15 |
| 금강하구(n=5) | 4.70 | 1.98 | 2.78 | 1.64 | 0.93 | 0.10 | 564 | 76 | 19 |

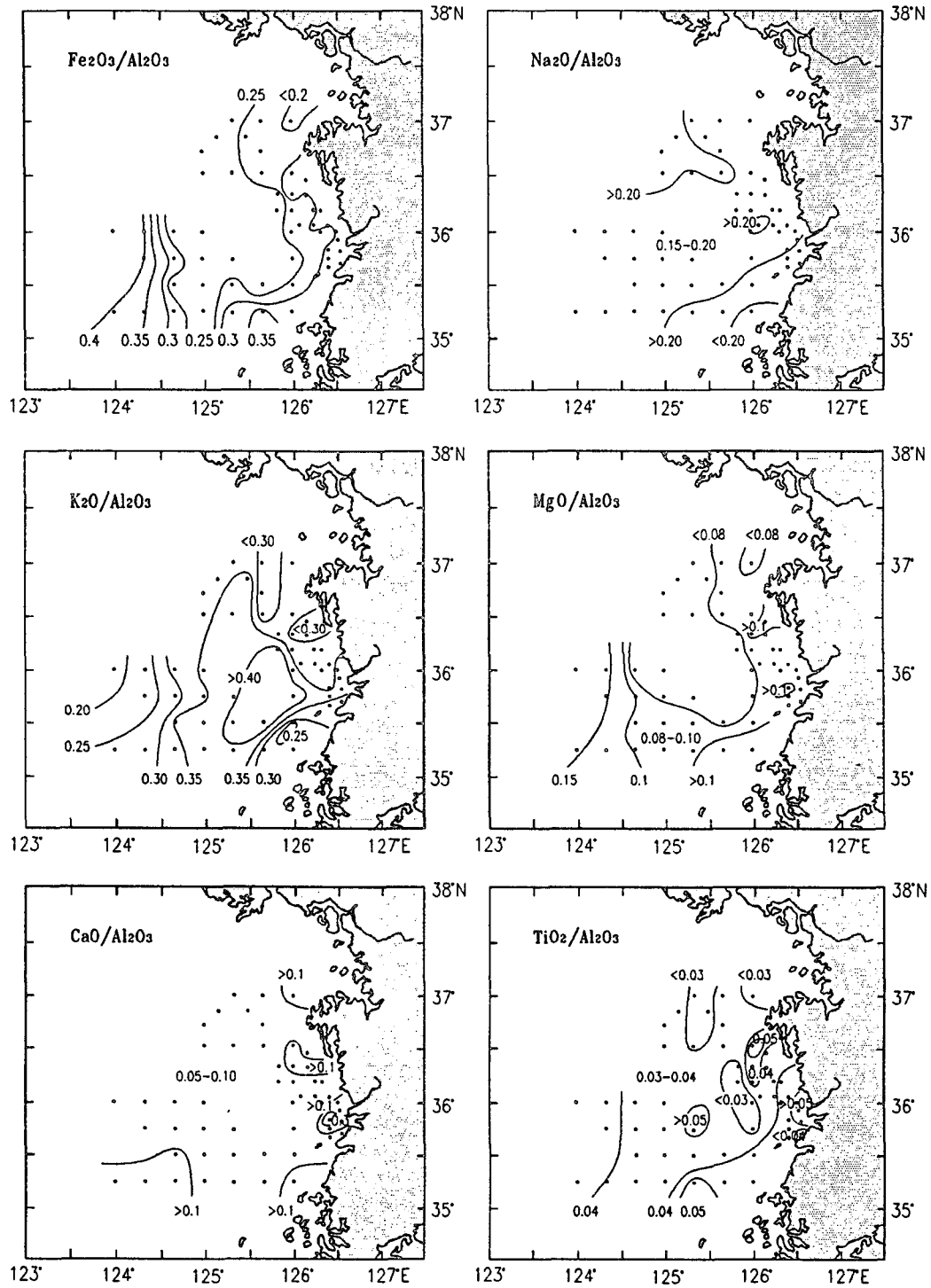


Fig. 6. Areal distributions of the element/Al ratios for each analyzed element in the surface sediments of the eastern Yellow Sea.

Fig. 6. (continued)

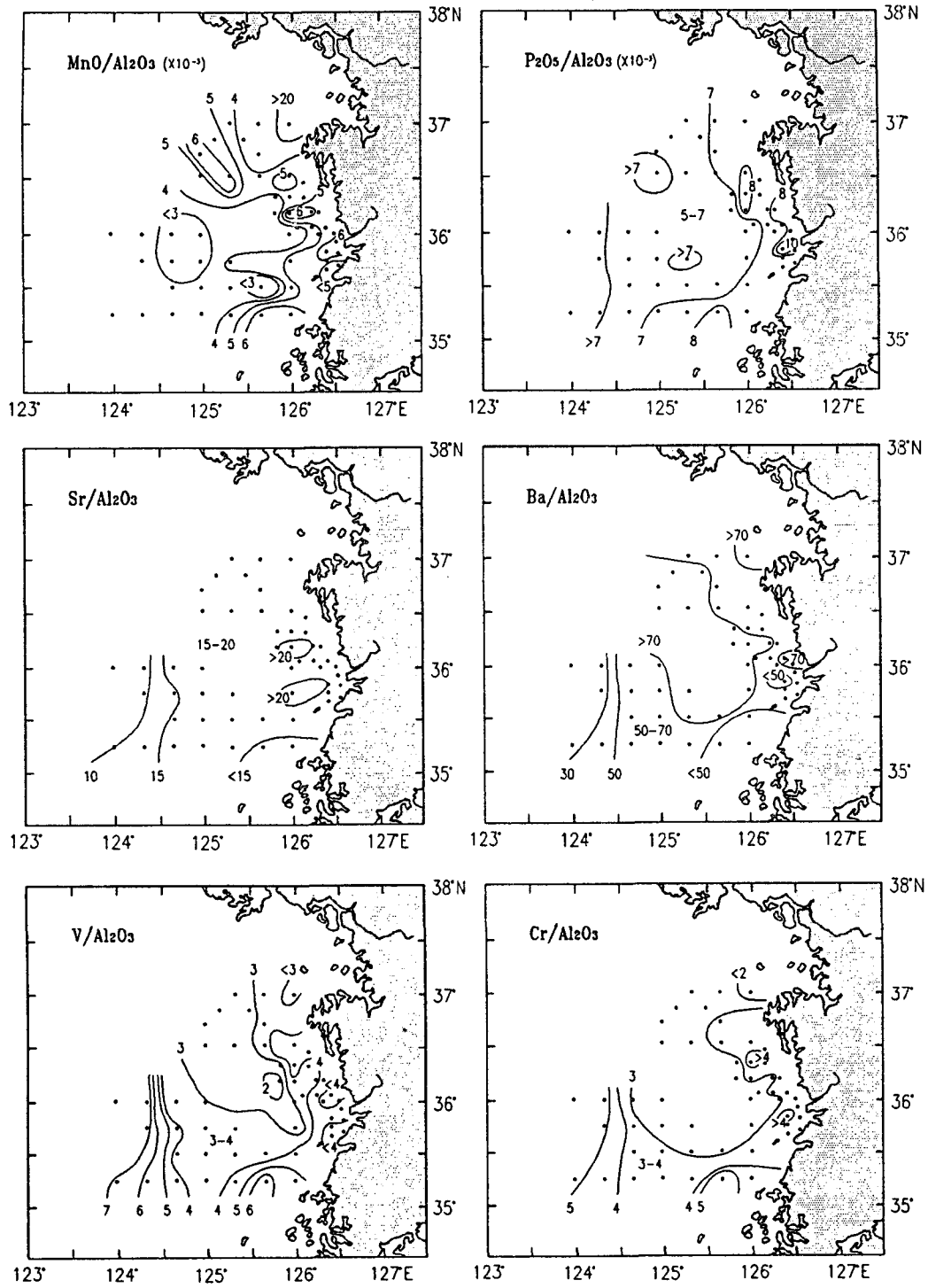
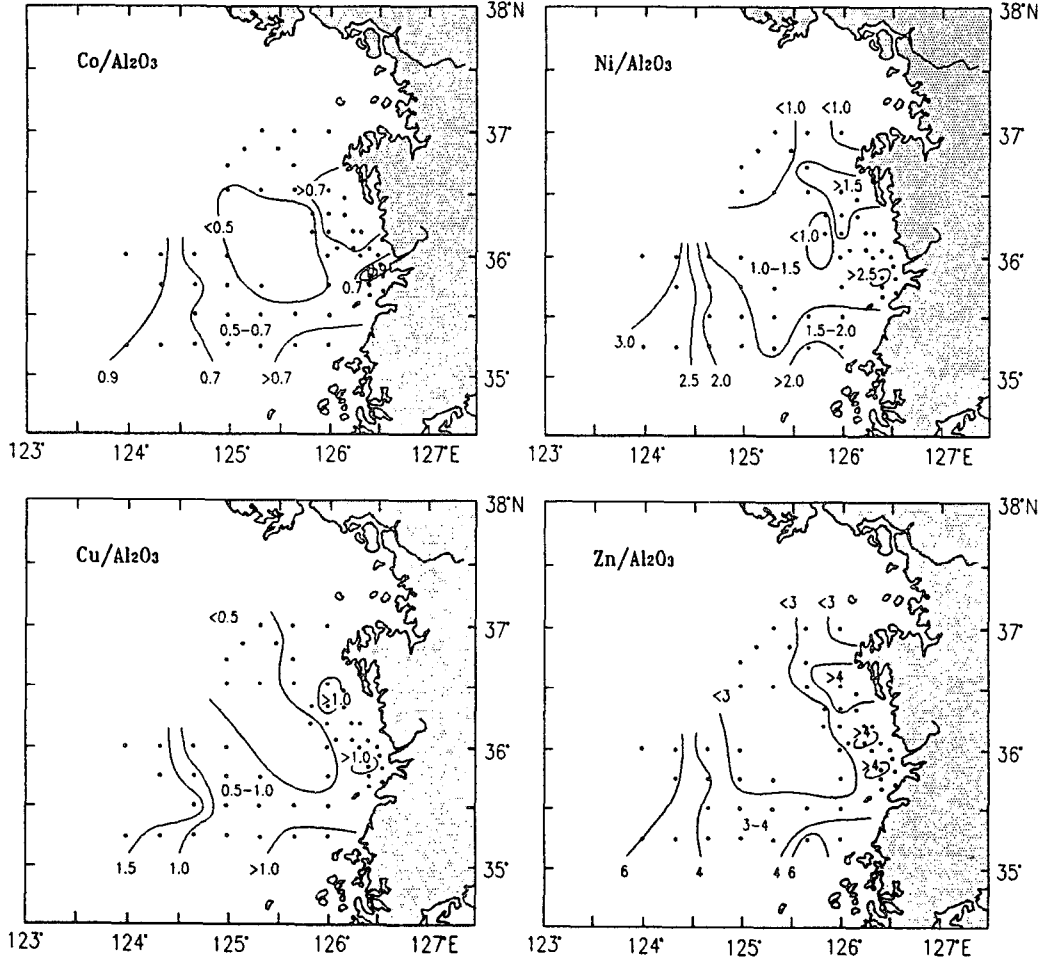


Fig. 6. (continued)



함량은 각각 본 연구지역에 유입하는 중국쪽 하천 기원 세립퇴적물과 금강기원 세립퇴적물의 영향을 추적하는 수단으로서의 잠재적 가능성이 있다고 판단된다. 이 등(1992)은 본 연구지역을 포함한 황해 남동해역 퇴적물에 대한 연구에서 Mn이 한반도 하천으로부터 기원한 퇴적물을 구분하는 지화학적 특징으로 사용될 수 있다고 제시한 바 있으며, 본 연구에서 나타난 결과는 그러한 이 등의 제안을 뒷받침 한다.

입도 보정된 지화학 원소의 분포 경향

지화학 원소의 공간적 분포는 퇴적물의 입도, 광물성분, 유기물 및 탄산염 물질의 함량

등과 같은 퇴적물 자체의 내재적 조절요인과 퇴적물의 유입원이나 이동경로 등의 외부 환경적 조절요인에 의해 영향을 받는다. 그 중 입도의 영향은 그것이 광물성분 및 유기물 함량 등을 조절하는 주요 요인으로 작용하는 까닭에 퇴적물의 지화학 원소 함량을 조절하는데 지대하게 작용하며, 앞에서 이미 살펴본 것 처럼 본 연구에서 분석된 화학성분들도 대부분 입도와 관련성을 나타낸다. 결국 연구지역 내에서 퇴적물에 포함된 어느 특정한 원소의 공간적 분포양상을 단순한 총 함량으로 표시할 경우 그것은 대부분 입도분포 양상의 한 변형에 머무르게 된다. 따라서 지화학 원소의 공간적 분포와 그것을 조절하는 외부 환경적 요인을 해

석할 수 있기 위해서는 우선적으로 입도와 같은 퇴적물에 내재된 조절요인의 영향을 제거할 필요가 있다.

퇴적물 입도의 영향을 제거하기 위해서는 보존성 원소인 Al과의 비(ratio)를 이용하는 방법이 널리 사용되고 있으며 (Bruland *et al.*, 1974; Kemp *et al.*, 1976; Li, 1981). 본 연구에서도 퇴적물내 지화학 원소들의 함량을 Al 함량으로 나누어 원소/Al 함량비의 공간적 분포를 Fig. 6에 도시하였다. Al은 세립퇴적물의 근간을 구성하는 점토광물의 주요 구성요소로서 지표면으로부터 이동 및 퇴적되는 동안 보존적 (conservative)으로 행동하는 것으로 알려져 있으며, 본 연구지역 퇴적물에서도 Al의 함량은 퇴적물 평균입도와 양호한 상관관계를 나타내는 까닭에 원소/Al 함량비의 공간적 분포양상은 해당 원소의 입도 보정된 분포경향을 지시해준다.

연구지역 대륙붕 퇴적물에서 보여지는 공간적인 원소/Al 함량비의 분포양상은 연구지역 서부의 황해중앙이토에서 높은 값을 나타내는 원소, 황해중앙이토에서 낮은 값을 나타내는 원소, 연구지역 중앙부 사질퇴적물에서 낮고 연안과 황해중앙이토에서 높은 값을 나타내는 원소, 그리고 특정한 경향성을 나타내지 않는 원소 등 크게 4가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫번째, 황해중앙이토에서 특히 높은 함량비가 나타나는 원소에는 Fe, Mg, V, Ni, Cu 및 Zn가 속한다. 이들 중 Mg과 V은 Li *et al.* (1984)이 황하 퇴적물에서 보고한 함량이 금강하구와 한반도 연안에서 이(1992)에 의해 측정된 값에 비해 월등히 높으며, 따라서 황하기원 퇴적물의 특성이 반영된 결과로 해석된다. 반면 Fe, Ni, Cu 및 Zn 등은 Mg이나 V과는 달리 금강과 황하에서의 차이가 뚜렷하지 않으며, 따라서 이들 소위 오염형 중금속원소의 높은 함량비는 연구지역 서부 해역에서 진행되는 폐기물의 해양투기(노, 1992)에 의한 영향으로 판단된다.

두번째, 황해중앙이토에서 특히 낮은 함량비가 나타나는 원소에는 K, Mn, Ba 및 Sr이 속한다. 이들 중 K은 앞서 논의된 바와 같이 시료간의 함량차이가 크고 또 Ba과 Sr은 모두 사질 퇴적물에서 높은 함량이 나타나는 까닭에 금강에서 기원한

세립퇴적물의 특징을 대표한다고 하기 어렵다. 따라서 이 두번째 그룹의 원소들 중에서는 Mn만이 금강에서 기원한 세립퇴적물의 특성이 반영되었다고 할 수 있다. 세번째, 연구지역 중앙부의 사질 퇴적물에서 낮은 함량비를 나타낸 원소에는 Ti, P, Cr 및 Co가 속하며, 이들의 함량비 분포는 전체적으로 입도분포와 유사한 양상으로 해석될 수 있다. Na과 Ca의 함량비는 위의 어느 유형에도 속하지 않으며 일정한 분포경향을 나타내지 않는다.

한편, 퇴적물내 어느 지화학 원소의 함량에서 오염이나 혹은 특정 광물의 집적과 같은 인위적 혹은 자연적 농축의 영향을 파악하기 위해서는 그 농축비(enrichment ratio; E_i)를 이용할 수 있다. 농축비 E_i 는 어느 원소 i 의 시료내 Al에 대한 함량비를 그 원소가 표준물질에서 나타내는 Al에 대한 함량비로 나누어준 값으로 정의된다: $E_i = [(C_i/C_{Al})_{\text{sample}}]/[(C_i/C_{Al})_{\text{standard}}]$. 표준물질로서는 통상적으로 평균 지각물질이나 혹은 평균 셰일(shale)이 사용되며, 본 연구에서는 Martin and Whitfield (1983)에 의해 제시된 지각의 평균함량을 사용하였다. 본 연구지역 퇴적물에서 계산된 원소별 농축비는 Fig. 7에 제시되었다. 그림에 나타난 바와 같이 대부분의 원소와 시료에서 농축비 값은 1 부근이나 혹은 그 이하로 나타나 환경오염의 영향 등에 의한 농축이 연구지역 전체의 지화학 원소 분포에 있어 중요하지 않음을 보여준다. 그러나 Co의 경우 금강하구의 한개 시료에서, Mn의 경우 연구지역 북동부 태안반도 연안의 한개 시료에서 각각 3 이상의 높은 농축비가 나타나 이들 금속원소에 의한 오염이 비록 국지적으로나마 진행되고 있음도 아울러 시사한다. Ca의 경우 금강하구에 인접한 한개 연안시료에서 나타난 높은 농축비 값은 탄산염 물질에 의한 영향을 반영한다. 한편, K과 Ba의 농축비 값은 입도가 조립해질수록 증가하여 조립퇴적물에서 전반적으로 높게 나타난다. 이러한 현상은 아마도 퇴적물 조립성분에 포함된 장석이나 각섬석 등 광물의 영향이 반영된 결과로 생각되며, 황해 대륙붕에 분포하는 사질 퇴적물에 사장석과 각섬석이 비교적 풍부하게 포함된 사실은 한국해양연구소(KORDI, 1986)에 의해 보고된 바 있다.

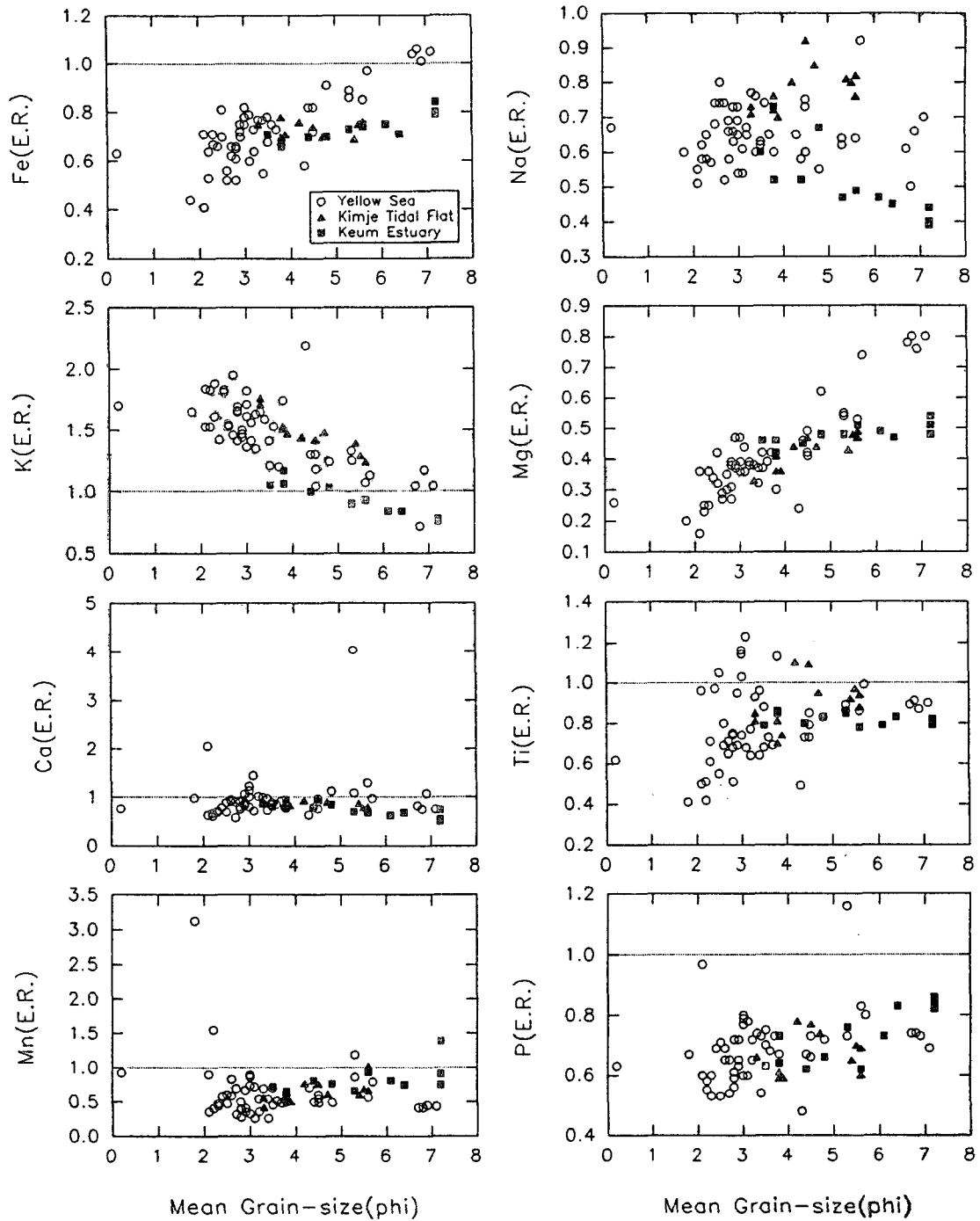
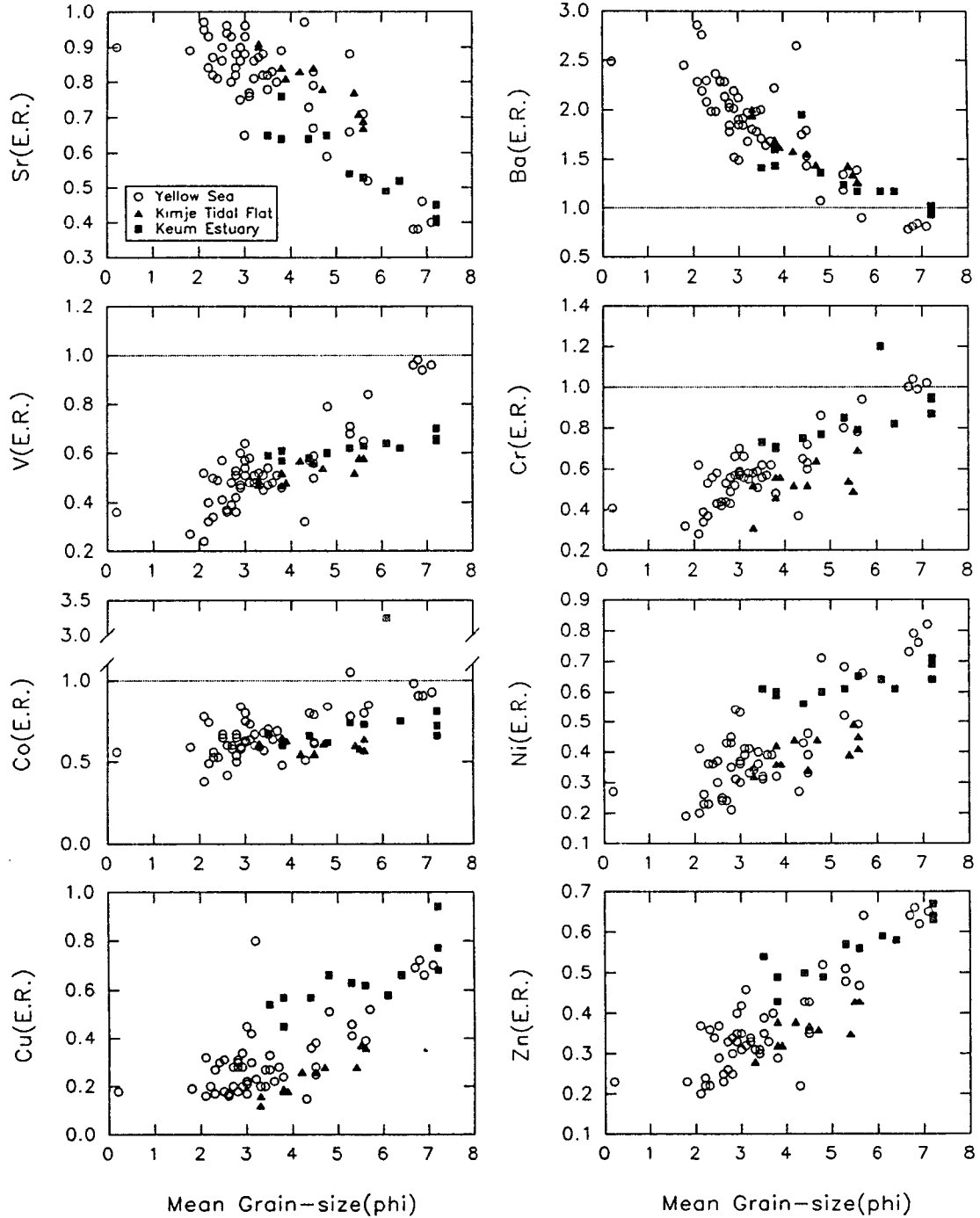


Fig. 7. The enrichment ratios of each analyzed element in the study area.

표층퇴적물의 분포와 화학성분 함량, 세립퇴적물의 특성과 근원지, 지화학 원소들의 보존성 원소에 대한 함량비와 농축비 등에 대한 이상의 논의를 통하여 본 연구지역에 분포하는

세립퇴적물에서 황하기원 물질의 지화학적 특징과 금강기원 물질의 지화학적 특징이 도출될 수 있을 것이다. 즉, 황하에서 기원한 세립퇴적물은 상대적으로 높은 Mg와 V의 함량으로, 그

Fig. 7. (continued)



리고 금강에서 기원한 세립퇴적물은 상대적으로 높은 Mn의 함량으로 서로 구분될 수 있으며, 따라서 이들 원소는 황해저 환경에서 중국과 한반도 기원의 세립물질들이 이동되고 또 서로

혼합되는 양상을 추적할 수 있는 잠재적 가능성을 갖는다고 판단된다.

결론

황해 동부 대륙붕과 한반도 연안 및 금강하구에 분포하는 표층퇴적물의 지구화학적 특성에 대한 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 연구지역에 분포하는 표층퇴적물의 입도는 조립사에서 세립실트에 이르는 넓은 범위에서 나타나며, 전체적으로 사질 퇴적물이 우세한 가운데 세립질 퇴적물의 분포는 연구지역 서부의 황해중앙부와 동부의 한반도에 인접한 연안 및 하구에 국한된다. 연구지역 서부와 동부에 분포하는 세립퇴적물은 서로 구별될 수 있는 특징적 화학성분 함량의 특성을 나타내며, 이것은 이 두 분포대의 세립퇴적물이 각각 중국쪽의 하천과 한반도의 하천으로 서로 다른 근원지를 갖는데 기인하는 현상으로 판단된다.

2. 퇴적물의 화학성분 중에서 K과 Ca 등 일부 원소를 제외한 대부분의 원소들은 그 함량 변화가 퇴적물 입도와 어떠한 형태로든 관련성을 나타내었으며, 입도와 관련성을 나타낸 원소들은 Sr과 Ba를 제외하곤 모두 입도가 세립해짐에 따라 함량이 증가하는 경향을 보였다. 따라서 대부분의 분석된 원소들에 있어 공간적인 함량의 분포는 퇴적물의 입도분포에 의해 주로 조절되는 양상을 나타내었다.

3. 연구지역 퇴적물에서 측정된 지화학 원소들의 함량은 K과 Ba를 제외하곤 지각의 평균함량이나 한반도 주변 타 퇴적환경에 비해 전반적으로 낮았다. 연구지역 내에서 퇴적환경별로 비교할 때 금강하구 퇴적물에서는 Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Zn 등의 함량이 평균적으로 높고, 대륙붕 퇴적물에서는 Ca과 Ba, 그리고 연안의 조간대 퇴적물에서는 Na, K, Sr의 함량이 상대적으로 높게 나타났다. 한편, 금강하구와 황해중앙부에 분포하는 평균입도가 6 ϕ 보다 세립한 퇴적물만을 서로 비교할 때 금강하구에서는 Mn, Co, Ni의 함량이, 그리고 황해중앙부에서는 Fe, Na, K, Mg, Ca, V의 함량이 상대적으로 높게 나타났다.

4. 퇴적물내 지화학 원소의 함량을 Al의 함량으로 나눈 함량비의 공간적 분포를 분석한 결과 황해중앙부에서 높은 함량비가 나타나는 원소들과 한반도 연안에서 높은 함량비를 나타내는 원소들의 구분이 이루어질 수 있었으며, 전자에는 Fe, Mg,

V, Ni, Cu, Zn 등이 그리고 후자에는 K, Mn, Ba, Sr 등이 해당되었다. 한편, 지각 평균함량을 표준으로 삼아 계산한 연구지역내 지화학 원소들의 농축비(E_i)는 연안의 극히 일부 시료에서 Co와 Mn에 의한 오염 가능성을 시사하며, 황해중앙부에서는 해양투기에 의한 일부 중금속 원소들의 축적을 시사하였다.

5. 퇴적물내 지화학 원소들의 함량과 분포, 세립퇴적물 지화학특성의 지역적 차이, Al에 대한 원소의 함량비와 지각 평균함량을 기준한 농축비, 탄산염 등 특정 광물의 영향, 오염의 가능성 등의 제반 요인들을 종합적으로 검토한 결과 본 연구지역에 분포하는 세립퇴적물에서 한반도기원의 물질과 중국기원의 물질을 각각 높은 Mn 함량과 높은 Mg 및 V 함량을 지표로 구분될 수 있음이 제시되었다.

참고문헌

- 노부호, 1992. 우리나라의 폐기물해양배출제도와 국제동향. 한국해양학회지, 28: 137-141.
- 승영호, 1992. 한반도 주변의 수괴와 해수순환. 한국해양학회지, 27: 324-331.
- 이석우, 1992. 한국근해해상지. 집문당, 334p.
- 이창복, 1992. 연근해저 및 대륙붕 퇴적물의 지화학적 특성과 광물자원에 대한 연구. In: 천해저(한국 주변)의 광물자원과 심해저(태평양) 광물자원에 관한 퇴적학적, 지화학적 및 탄성과 층서 연구. pp. 223-377. 한국과학재단, 목적기초연구 보고서 (KOSEF 89-06-29-05).
- 이창복, 정희수, 정갑식, 1992. 황해 남동해역 표층퇴적물 중 수종 금속원소의 분포 특성에 관한 연구. 한국해양학회지, 27: 55-65.
- 해양연구소, 1986. 한국해역 종합 해양자원도 작성연구 -황해: 봄·가을·겨울철-. 한국과학기술원 해양연구소, BSPG00030-119-7.
- Alexander, C.R., D.J. DeMaster and C.A. Nittrouer, 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The

- Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 98: 51-72.
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, H. Yu and G.A. Cannon, 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, 4: 57-76.
- Bruland, K.W., K. Bertine, M. Koide and E.D. Goldberg, 1974. History of metal pollution in Southern California coastal zone. *Environ. Sci. Technol.*, 8: 425-432.
- Choi, J.Y., 1989. Depositional environments of the coarse-grained sediments on the continental shelf of Korean Seas. Ph. D. Thesis, Seoul Nat'l Univ., 331pp.
- Chough, S.K. and D.C. Kim, 1981. Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: A steady-state model. *J. Sed. Petrol.*, 51: 721-728.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rock. Hemphill's, 170pp.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Pet.*, 27: 3-26.
- Förstner, U. and W. Salomons, 1981. Trace metal analysis on polluted sediments. *Environ. Sci. Technol. Lett.*, 1: 494-517.
- Gross, M.G., 1971. Carbon determination. In: *Procedures in Sedimentary Petrology*, edited by Carver, R.E., Wiley- Interscience, 573-596.
- Horowitz, A.J., 1991. A primer on sediment-trace element chemistry. Lewis Publishers, INC., 136pp.
- Huang, W.W., J. Zhang and Z.H. Zhou, 1992. Particulate element inventory of the huanghe (Yellow River): a large, high-turbidity river. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 56: 3669-3680.
- Huh, O.K., 1982. Spring season flow of Tsushima Current and its separation from the Kuroshio: satellite evidence. *J. Geophys. Res.*, 87: 9687-9693.
- Kemp, A.L.W., R.L. Thomas, C.I. Dell and J.M. Jaquet, 1976. Cultural impact on the geochemistry of sediments in Lake Erie. *J. Fish. Res. Board Can.*, 33: 440-462.
- Kim, W.Y. and Y.A. Park, 1978. Distribution of trace metals and sediments in estuaries of the Keum River and the Mankyung River. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 13(1): 19-28.
- Lee, C.B., 1985. Sedimentary processes of fine sediments and the behaviour of associated metals in the Keum Estuary, Korea. In: *Marine and Estuarine Geochemistry*, edited by Sigleo, A.C. and A. Hattori, pp. 209-225. Lewis Publishers, Inc., Chelsea(MI).
- 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. *Korean J. Quat. Res.*, 5: 15-31.
- Lee, C.B., H.R. Yoo and K.S. Park, 1992. Distribution and properties of intertidal surface sediments of Kyeonggi Bay, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27: 277-289.
- Lee, H.J. and S.K. Chough, 1989. Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 87: 195-205.
- Li, Y.H., 1981. Geochemical cycles of elements and human perturbation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45: 2073-2084.
- Li, Y.H., H. Teraoka, T.S. Yang, and J.S. Chen, 1984. The elemental composition of suspended particles from the Yellow and Yangtze Rivers. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 1561-1564.
- Luoma, S.N., 1990. Processes affecting metal concentrations in estuarine and coastal marine environments. In: *Heavy Metals in the Marine Environment*, edited by Furness, R.W. and P.S. Rainbow, CRC Press, INC., 51-66.
- Martin, J.M. and M. Whitfield, 1983. The significance of the river input of chemical ele-

- ments to the ocean. In: Trace Metals in Sea Water, edited by Wong, C.S., E.A. Boyle, K.W. Bruland, J.D. Burton and E.D. Goldberg, New York: Plenum, 265-296.
- McBride, E.F., 1971. Mathematical treatment of size distribution data. In: Procedures in Sedimentary Petrology, edited by Carver, R.E., Wiley-Interscience, 109-127.
- Milliman, J.D., R.C. Beardsley, Z.S. Yang and R. Limeburner, 1985. Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, 4: 175-188.
- Milliman, J.D. and R.H. Meade, 1983. Worldwide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.*, 91: 1-21.
- Niino, H. and K.O. Emery, 1961. Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 72: 731-762.
- Park, Y.A. and B.K. Khim, 1990. Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves. *Cont. Shelf Res.*, 12: 1179-1191.
- Park, Y.A. and B.K. Khim, 1992. Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 104: 205-213.
- Park, Y.A., S.C. Kim and J.H. Choi, 1986. The distribution and transportation of fine-grained sediments on the inner continental shelf off the Keum River estuary, Korea. *Cont. Shelf Res.*, 5: 499-516.
- Salomons, W. and U. Förstner, 1984. Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag, 349pp.
- Schubel, J.R., H.T. Shen and M.J. Park, 1986. Comparative analysis of estuaries bordering the Yellow Sea. In: Estuarine Variability, edited by Wolfe, D.A., Academic Press, INC., 43-62.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board of Canada, Ottawa.
- Wells, J.T., 1988. Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea: onset of winter monsoons. *Mar. Geol.*, 83: 273-284.
- Wells, J.T. and O.K. Huh, 1984. Fall-season patterns of turbidity and sediment transport in the Korea Strait and southern Yellow Sea. In: Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas, pp. 387-397. Elsevier Sci. Pub., Amsterdam.
- Zhu, E., W. Gao and H. Wang, 1990. Dynamic sedimentary subdivision of the East China Sea continental shelf. Proc. Int. Conf. on Asian Marine Geology, Shanghai, 1988, pp. 351-365. China Ocean Press, Beijing.