

## 전남 나주-영암지역의 영산강 하류 시추퇴적물의 퇴적환경과 지구화학적 특성

김주용<sup>1,\*</sup> · 은고요나<sup>1</sup> · 고영구<sup>2</sup> · 윤석태<sup>2</sup> · 오강호<sup>2</sup> · 김동주<sup>3</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 지구환경과학부, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300

<sup>2</sup>전남대학교 지구과학교육과, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300

<sup>3</sup>광주 · 전남발전연구원, 502-812 광주광역시 서구 농성2동 630-15

## Sedimentary Environments and Geochemical Characters of the Core Sediments Near Naju-Yeongam Area in the Lower Part of the Yeongsan River, Cheonnam, Korea

Joo-Yong Kim<sup>1,\*</sup> · Go-Yeo-Na Eun<sup>1</sup> · Yeong-Koo Koh<sup>2</sup>  
Seok-Tai Youn<sup>2</sup> · Kang-Ho Oh<sup>2</sup> · Dong-Ju Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Earth systems and Environmental Science, Chonnam National University,  
Gwangju 500-757, Korea

<sup>2</sup>Department of Earth Science Education, Chonnam National University,  
Gwangju 500-757, Korea

<sup>3</sup>Gwangju · Chonnam Development Institute,  
Gwangju 502-812, Korea

**Abstract:** To consider the vertical variations of sedimentary environments and geochemical characters in the core sediments in Naju-Yeongam area of the lower part of Yeongsan River, grain-size and metal components of the sediments were analyzed. The sediments are pebble to mud and show fining upward. The core sediments are poorly to very poorly sorted and positively skewed. On the basis of grain size distributions, the sediments of the study areas were thought to have been deposited in a meandering stream. The metallic contents of sediments were presumably controlled by carbonate contents of sediments and weakly controlled by fining upward grain size distribution pattern. Enrichment factors indicating metal concentration in the sediments did not suggest any meaningful concentrations for metallic elements.

**Key words:** Yeongsan river, meander, fining upward, core sediments, metallic elements, enrichment factors

**요약:** 나주-영암 인근인 영산강 하류 부근의 3개소에서 채취된 시추퇴적물의 수직적인 퇴적환경과 지구화학적 특성의 변화를 알아 보기 위하여 이들 시료를 대상으로 퇴적물의 입도 분포와 금속원소의 함량에 대한 분석을 실시하였다. 시추퇴적물의 심도에 따른 입도는 잔자갈에서 니질에 이르고 상향세립화의 특성을 가진다. 퇴적물의 분급도는 poorly sorted에서 very poorly sorted로 불량하게 나타났으며, 왜도는 대체로 양의 왜도가 우세하였다. 퇴적물의 입도별 분포상에서 연구지역의 퇴적층은 사행천을 이루는 하성층으로 생각된다. 지구화학적 원소들의 거동은 일부 시추퇴적층 입도의 상향세립화에 대한 의존도가 영향을 주기는 하였으나 탄산염 함량변화 등을 포함하는 환경적 변화에 의한 조절을 받은 것으로 보인다. 퇴적물에 함유된 금속원소들의 농축을 알아보기 위한 부화지수의 분석결과는 유의할 정도의 부화가 관찰되지 않아 특정 금속원소에 의한 농집은 이루어지지 않은 것으로 보인다.

주요어: 영산강, 사행, 상향세립화, 시추퇴적물, 금속원소, 부화지수

## 서 언

우리 나라는 낙동강과 한강 등의 4 대강을 비롯한 매우 다양한 환경과 규모를 가지는 하천들이 널리 분포하고 있다. 이러한 하천들에 대한 연구들은 오염 등 환경적인 문제들에 병행해 수질을 주 연구 대상으로 하는 경향에 집중되어 있었다. 그러나 하성환경은 수질 뿐만 아니라 그 환경을 정상적으로 이해하기 위해서는 하성퇴적층의 퇴적환경에 대한 연구가 보다 중요하다고 할 수 있으며, 이에 수반하여 퇴적물 내에 함유되는 중금속들을 비롯한 화학성분들의 거동을 파악하는 것이 하성퇴적환경을 이해하는 첩경이 될 수 있으며, 나아가서 인간 활동에 영향을 미치는 요인들의 제어를 비롯한 환경적인 접근에 이르기까지 효율적인 대처수단을 제공할 수 있는 기반을 마련할 수 있는 것으로 보인다. 그러나 하성퇴적환경 특히 하성퇴적층에 함유된 성분들의 화학적 거동을 다루는 지구화학적 연구는 최근에 들어와서 시작되는 단계라 할 수 있다(최만식 외, 1996; 황선출 외, 1996; 황선출 외, 1997; 조영길·김주용, 1998; 오강호, 1999).

하성퇴적층에 대한 지구화학적 특성을 기술하는데 있어 퇴적물에 있는 중금속들은 하천수에 함유된 화학성분들에 비해 시간적 변화가 적고 상대적 함량이 높아 환경에 대한 영향을 지속적으로 평가하는데 비교적 유효한 지구화학적 매개체로 알려져 있으며(Thornton, 1983), 중금속의 존재형태와 물리화학적 변화에 따라서는 하천수 중으로 재용출되거나 퇴적물 내로 침전되어질 가능성이 있기 때문에(Alloway *et al.*, 1988) 하성환경에 지배적인 영향을 미친다고 할 수 있다.

우리 나라 서남부에 하계망을 형성하는 영산강은 전술한 4 대 강들 중 전남 남서부의 저평지를 곡류하며 그 하구는 해안선의 굴곡이 우리 나라에서 가장 심하다고 할 수 있는 서남해의 남서단에 위치한다. 영산강은 1970년대에 시작된 영산강 권역 개발에 의하여 축조된 하구언때문에 반폐쇄적인 환경이 조성된 강이라 할 수 있다. 따라서 영산강의 유로를 따라 조성되고 있는 퇴적환경은 매우 특징적이라 할 수 있으며 그 하성퇴적층의 지구화학적 특성 역시 관심의 대상이 될 수 있을 것으로 보인다. 영산강은 담양 인근에서 발원하여 흐르면서 주요지류인 황룡강, 광주천, 지석천, 고막원천 및 합평천과 합류하여 목포 연안으로 유입된다.

영산강은 광주·전남의 수자원 확보와 오염으로 인한 수질보존과 관련하여 수질관리 종합대책(광주광역시, 1996), 수질개선 종합대책(전라남도, 1996) 및 수자원 장기 종합계획(건설부, 1990) 등의 국책연구들과 하도 변화에 대한 지형학적 연구(이창규, 1988; 김종일, 1993) 등이 이루어진 바 있으나 영산강의 하성퇴적층에 대한 퇴적학적 및 지구화학적 연구는 기초적인 단계라 할 수 있다. 이 하성퇴적층을 대상으로 한 기존의 연구(조영길·김주용, 1998; 오강호, 1999; 김주용 외, 1999)들은 영산강의 퇴적환경에 있어 퇴적층 중에 함유된 금속성분들의 지구화학적 거동에 대한 규명을 시도하였다. 그러나 수직적인 퇴적상의 변화와 지구화학적인 관점에서 퇴적층의 시간적인 변화상을 추적하는 고기 퇴적환경의 변화에 대한 연구는, 섬진강유역의 하성퇴적층에서는 퇴적환경의 수직적 변화를 추적한 연구가 시도된바 있으나(유환수 외, 2000), 영산강 유역에서는 거의 수행된 바 없다.

따라서 이 연구에서는 영산강 하류인 나주-영암 부근의 하계에 위치한 3개 시추공에서 채취된 퇴적물 시추시료들을 대상으로 수직적인 퇴적환경과 금속원소의 변화를 살펴 영산강 유역의 하성퇴적층에 대한 퇴적학적 및 지구화학적 특성과 그 시간적인 변화상을 규명하려 시도하였다.

## 재료 및 연구 방법

본 연구에 사용된 시추 코어의 시료는 한국자연연구소에 의해 영산강 하류역에서 STP 방법에 따라 시추된 3개 시추공의 퇴적물을 사용하였다(Fig. 1). 시추 심도는 퇴적층 하부의 기반암이 나타날 때까지 시행되었다.

채취된 시료는 퇴적물에 대한 퇴적학적 특성과 지구화학적 분석을 위한 시료로 구분하여 사전 처리를 실시하였다. 특히 지구화학 분석을 위한 시료들은, 시추 시의 퇴적물 혼입을 최소화하기 위해 퇴적물의 교란이 상대적으로 적은 중심 부분을 대상으로 하였다.

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

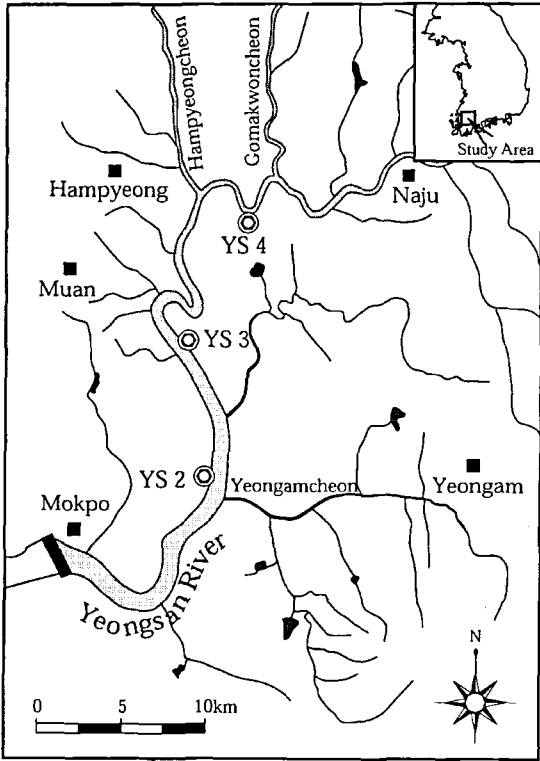


Fig. 1. Map showing the study area and coring sites.

적물의 입도는 표준체를 이용한 건식체질(dry sieving) 방법을 사용하였으며, 니질 퇴적물은 침전속도를 이용한 피펫법(pipetting method)으로 퇴적물의 입도별 함량을 구하였다. 니질 퇴적물 처리 시, 입자들의 응집을 방지하기 위한 확산제로는 칼콘[sodium hexametaphosphate( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>]을 사용하였다. 퇴적물의 입도별 함량은 1φ 간격으로 중량비로 환산한 후, Folk and Ward(1957)에 의해 제안된 그래프 방법(graphic method)을 이용하여 조직매개 변수들을 산출하였다. 각 시추 코어들의 심도별 시료들은 역을 함유한 퇴적물과 그렇지 않은 퇴적물을 구분하여 각각 Folk(1968)에 의해 제시된 삼각도를 이용하여 퇴적물의 유형을 분류하였다.

지구화학적 분석을 위한 시료는 건조기에서 70°C 정도로 충분히 건조시킨 후, 아게이트 모르타르(agate mortar)를 이용하여 200 mesh 이하의 크기로 분말화하여 탄산염 함량, 주성분 원소 그리고 미량원소 분석에 사용하였다. 주성분과 미량원소 함량 분석을 위해 시료 1g을 영국의 London 대학에 소재하는 Royal Holloway and Bedford New College에 의뢰하

여 주성분 원소인 Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P와 Mn 등 9종과 미량원소인 Ba, Co, Cr, Li, Nb, Ni, Sc, Sr, V, Y, Zr, Pb, Cd 등 13종을 합하여 총 22종의 원소를 분석하였다. 시료분석은 유도 결합 플라즈마 방출분광기(ICP-AES)를 이용한 K1 programme에 의하여 수행되었으며, 시료들의 전처리 방법으로는 HF/HClO<sub>4</sub>를 사용한 침지법이 이용되었다.

## 연구 결과

### 퇴적물의 입도별 분포

연구지역에서 채취된 영산강 하류인 나주-영암 인근 지역의 YS2, YS3, YS4 등 3개 시추공의 시추심도에 따른 퇴적물 입도별 분포는 전체적으로 입도변화가 불규칙하게 나타나고 있으나 하부로 갈수록 입도가 대체로 조립화 한다. 시추공별로 변화상이 다르기는 하나 전반적으로 상부에서는 니질이 우세하고 하부에서는 중립에서 조립에 이르는 사질 퇴적물이 지배적이다.

시추시료들의 심도별 평균입도( $M_z$ )는 YS2에서  $-0.27\phi \sim 7.50\phi$ , YS3는  $-0.70\phi \sim 7.73\phi$ , YS4는  $0.40\phi \sim 7.73\phi$ 의 범위를 가져 잔자갈에서 니질 크기까지 다양하게 분포한다. 이들 평균입도들의 평균은  $5.40\phi$  내외로 실트 크기에 해당한다. YS2의 경우는 불규칙한 변화를 보이나 하부로 갈수록 점이적으로 조립화 되는데 15 m 심도 부근에서 그 정도가 심해진다. YS3의 경우도 유사한 상태를 보이는데, 입도의 조립화가 YS2 보다 다소 둔화되기는 하나 하부로 갈수록 조립해지고 역시 16 m 심도 부근에서 값의 변화가 큰 조립화 특성을 가진다. YS4는 상기 두 시추공에서처럼 입도변화가 비교적 점이적이지 않고 6.5 m 심도 부근에서만 뚜렷이 조립화한다(Fig. 2). 이들 시료들의 심도에 따른 입도 변화는 전반적으로 상향세립화(upfining)하고 있으며 단일모드적(unimodal)인 특성을 지닌다고 볼 수 있다.

분급도는 1.00φ 이상으로 전체적으로 불량하다. YS2에서 1.17φ ~ 2.86φ, YS3은 1.24φ ~ 2.91φ, YS4는 1.31φ ~ 3.01φ로 poorly sorted에서 very poorly sorted로 매우 불량하다. 시추공들의 심도에 따른 분급도 변화는 다소 불규칙하나 대체로 하부 쪽이 더욱 불량해진다. YS2와 YS3의 경우, 11 m 심도 부근에서 매우 불량해지나 YS4는 6 m 부근에서 매우 불량하다. 그러나 오히려 최심부 부근에서는 불량한 정도가 다소

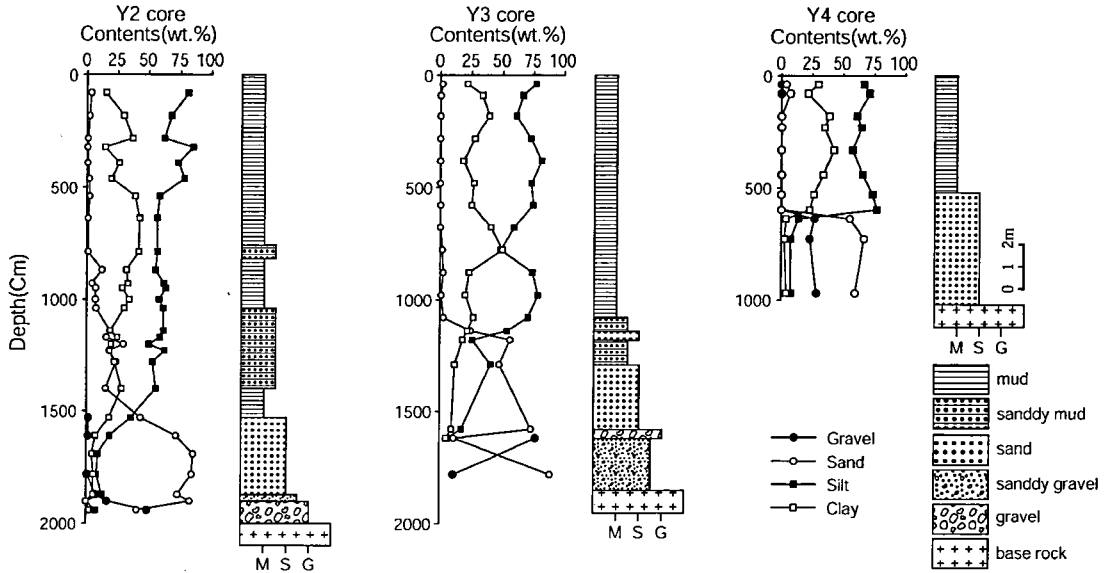


Fig. 2. Vertical variation of sediment types and columnar section of core sediments.

감소하기도 한다. 이 현상은 입도의 조립화와 관련이 있는 것으로 보인다. 퇴적물의 왜도는 YS2에서 -0.11 ~

0.70, YS3에서 -0.24 ~ 0.93, YS4에서 -0.27 ~ 0.37의 범위로 coarse skewed에서 very fine skewed에 이르

Table 1. Textural parameters of core sediments in the study area. YS2

| Depth (cm) | Gravel (%) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Mean (Mz; $\phi$ ) | Sort ( $\sigma$ ) | Skew ( $S_{K1}$ ) | Kurt ( $K_G$ ) | Sed. type |
|------------|------------|----------|----------|----------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------|-----------|
| 80         | 0.00       | 3.61     | 80.97    | 15.42    | 6.47               | 1.44              | 0.31              | 1.12           | Z         |
| 180        | 0.00       | 2.18     | 67.93    | 29.89    | 7.03               | 1.60              | 0.20              | 0.73           | Z         |
| 280        | 0.00       | 0.79     | 62.34    | 36.87    | 7.20               | 1.53              | 0.21              | 0.57           | M         |
| 320        | 0.00       | 0.43     | 84.85    | 14.72    | 5.87               | 1.55              | 0.70              | 0.82           | Z         |
| 390        | 0.00       | 0.58     | 73.34    | 26.08    | 6.73               | 1.78              | 0.22              | 0.62           | Z         |
| 460        | 0.00       | 2.02     | 78.04    | 19.94    | 6.40               | 1.67              | 0.25              | 0.72           | Z         |
| 540        | 0.00       | 2.28     | 58.58    | 39.14    | 7.37               | 1.59              | 0.04              | 0.64           | M         |
| 640        | 0.00       | 0.94     | 56.53    | 42.53    | 7.50               | 1.51              | -0.11             | 0.56           | M         |
| 790        | 0.00       | 1.13     | 56.88    | 41.99    | 6.93               | 1.88              | 0.01              | 0.49           | M         |
| 870        | 0.00       | 12.40    | 55.42    | 32.18    | 6.27               | 2.33              | 0.22              | 0.63           | sM        |
| 930        | 0.00       | 4.42     | 62.11    | 33.47    | 6.47               | 1.99              | 0.43              | 0.50           | M         |
| 950        | 0.00       | 7.42     | 63.70    | 28.88    | 6.70               | 1.94              | 0.01              | 0.91           | Z         |
| 1000       | 0.00       | 7.19     | 58.29    | 34.52    | 7.13               | 1.90              | -0.03             | 0.94           | M         |
| 1040       | 0.00       | 7.79     | 61.62    | 30.59    | 7.03               | 1.98              | -0.03             | 0.87           | Z         |
| 1140       | 0.00       | 18.77    | 61.91    | 19.32    | 5.60               | 2.34              | 0.43              | 1.19           | sZ        |
| 1170       | 0.00       | 16.03    | 59.10    | 24.87    | 6.33               | 2.23              | 0.15              | 0.87           | sZ        |
| 1200       | 0.00       | 29.91    | 50.17    | 19.92    | 5.57               | 2.49              | 0.01              | 0.70           | sZ        |
| 1230       | 0.00       | 18.30    | 62.80    | 18.90    | 5.53               | 2.33              | 0.36              | 1.12           | sZ        |
| 1280       | 0.00       | 24.03    | 53.24    | 22.73    | 5.67               | 2.57              | 0.25              | 0.81           | sZ        |
| 1400       | 0.00       | 15.61    | 55.91    | 28.48    | 6.47               | 2.28              | 0.04              | 0.80           | sM        |
| 1530       | 1.78       | 43.79    | 36.02    | 18.41    | 5.07               | 2.86              | 0.17              | 0.80           | (g)M      |
| 1610       | 1.61       | 71.98    | 18.83    | 7.58     | 3.50               | 1.93              | 0.63              | 1.66           | (g)mS     |
| 1690       | 0.00       | 85.78    | 9.40     | 4.82     | 2.47               | 1.70              | 0.36              | 2.43           | mS        |
| 1780       | 0.73       | 84.68    | 8.50     | 6.09     | 1.87               | 2.10              | 0.59              | 2.15           | (g)mS     |
| 1870       | 8.02       | 73.49    | 12.76    | 5.73     | 1.90               | 2.66              | 0.28              | 1.53           | gmS       |
| 1900       | 16.78      | 83.18    | 0.04     | 0.00     | 0.10               | 1.17              | -0.10             | 1.07           | gS        |
| 1940       | 49.11      | 41.02    | 7.46     | 2.41     | -0.27              | 2.50              | 0.36              | 0.83           | msG       |
| Avg.       |            |          |          |          | 5.37               | 1.99              | 0.22              | 0.97           |           |

Table 1. Continued.  
YS3

| Depth (cm) | Gravel (%) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Mean (Mz; $\phi$ ) | Sort ( $\sigma$ ) | Skew ( $S_{K1}$ ) | Kurt ( $K_G$ ) | Sed. type |
|------------|------------|----------|----------|----------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------|-----------|
| 40         | 0.00       | 1.71     | 76.86    | 21.43    | 6.93               | 1.35              | 0.02              | 1.01           | Z         |
| 90         | 0.00       | 0.24     | 66.27    | 33.49    | 7.63               | 1.53              | 0.04              | 0.80           | M         |
| 180        | 0.00       | 0.23     | 60.81    | 38.96    | 7.73               | 1.24              | -0.05             | 0.69           | M         |
| 280        | 0.00       | 0.11     | 72.47    | 27.42    | 7.47               | 1.33              | 0.09              | 0.96           | Z         |
| 380        | 0.00       | 0.09     | 81.58    | 18.33    | 6.67               | 1.52              | -0.11             | 0.75           | Z         |
| 480        | 0.00       | 0.12     | 73.14    | 26.74    | 7.37               | 1.36              | 0.18              | 0.86           | Z         |
| 580        | 0.00       | 0.31     | 74.73    | 24.96    | 7.40               | 1.25              | 0.02              | 1.12           | Z         |
| 680        | 0.00       | 0.23     | 59.26    | 40.51    | 7.63               | 1.42              | -0.11             | 0.86           | M         |
| 780        | 0.00       | 1.90     | 48.30    | 49.80    | 7.73               | 1.44              | -0.24             | 0.72           | M         |
| 880        | 0.00       | 2.72     | 74.19    | 23.09    | 7.23               | 1.30              | 0.01              | 0.99           | Z         |
| 980        | 0.00       | 1.10     | 78.79    | 20.11    | 6.77               | 1.51              | 0.20              | 0.92           | Z         |
| 1080       | 0.00       | 2.93     | 70.59    | 26.48    | 7.03               | 1.64              | 0.17              | 0.84           | Z         |
| 1140       | 0.00       | 24.53    | 53.63    | 21.84    | 5.63               | 2.45              | 0.32              | 0.83           | sZ        |
| 1180       | 0.00       | 56.11    | 25.85    | 18.04    | 4.73               | 2.65              | 0.57              | 0.78           | mS        |
| 1290       | 0.00       | 47.54    | 40.48    | 11.98    | 4.57               | 2.38              | 0.35              | 1.03           | sZ        |
| 1580       | 0.00       | 73.43    | 17.16    | 9.41     | 3.50               | 1.91              | 0.54              | 1.92           | mS        |
| 1620       | 77.03      | 11.35    | 6.39     | 5.23     | -0.70              | 2.91              | 0.93              | 1.16           | mG        |
| 1780       | 11.03      | 88.97    | 0.00     | 0.00     | 0.70               | 1.38              | 0.06              | 0.80           | gS        |
| Avg.       |            |          |          |          | 5.89               | 1.70              | 0.17              | 0.95           |           |

YS4

| Depth (cm) | Gravel (%) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Mean (Mz; $\phi$ ) | Sort ( $\sigma$ ) | Skew ( $S_{K1}$ ) | Kurt ( $K_G$ ) | Sed. type |
|------------|------------|----------|----------|----------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------|-----------|
| 40         | 0.00       | 3.94     | 66.43    | 29.63    | 6.97               | 1.81              | 0.05              | 0.78           | Z         |
| 80         | 0.00       | 7.09     | 71.33    | 21.58    | 6.73               | 1.80              | -0.15             | 1.28           | Z         |
| 180        | 0.00       | 0.22     | 61.25    | 38.53    | 7.60               | 1.45              | -0.13             | 0.86           | M         |
| 230        | 0.00       | 0.42     | 64.83    | 34.75    | 7.17               | 1.72              | -0.23             | 0.93           | M         |
| 330        | 0.00       | 0.24     | 57.68    | 42.08    | 7.73               | 1.40              | -0.21             | 1.05           | M         |
| 440        | 0.00       | 0.53     | 65.66    | 33.81    | 7.13               | 1.75              | -0.27             | 0.89           | M         |
| 530        | 0.00       | 0.21     | 73.59    | 26.20    | 7.13               | 1.48              | 0.14              | 0.81           | Z         |
| 600        | 0.00       | 0.21     | 76.98    | 22.81    | 7.03               | 1.31              | 0.12              | 0.84           | Z         |
| 640        | 26.78      | 55.58    | 13.89    | 3.75     | 1.10               | 3.01              | 0.32              | 1.11           | gmS       |
| 730        | 22.99      | 66.83    | 7.54     | 2.64     | 0.40               | 2.18              | 0.37              | 1.48           | gmS       |
| 970        | 28.41      | 59.74    | 7.77     | 4.08     | 0.40               | 2.69              | 0.27              | 1.28           | gmS       |
| Avg.       |            |          |          |          | 5.40               | 1.87              | 0.03              | 1.03           |           |

는 매우 광범위한 분포를 하고 있다. 각 시추공에서 왜도치의 변화는 편차가 크며 불규칙하다. 그러나 전체적으로 음의 왜도는 저조하고 양의 왜도가 지배적이었다. 첨도는 시추공들에서의 평균값은 1.00 전후로 mesokurtic에 해당하나 각 시추공들에서는 값의 변화가 불규칙하고 편차가 크다. YS2에서는 0.49 ~ 2.43, YS3는 0.60 ~ 1.92, YS4의 경우는 0.78 ~ 1.48으로 전체 범위에서 본다면 very platykurtic에서 very leptokurtic에 해당된다(Table 1).

연구지역 시추공들에서의 입도분포들은 분급이 불량하고 양의 왜도가 우세하다. 이 분급과 왜도의 분포는 전체적으로 분급이 poorly sorted에서 very poorly sorted이고 양의 왜도가 우세하기는 하나 전체적인 왜도가 1 이하로 나타나, 이들 시추공의 퇴적층은 하상

퇴적물(channel deposits)과 범람원 퇴적물(floodplain deposits)로 된 하성퇴적층(fluvial deposits)에 해당될 수 있는 것으로 판단된다(Füchtbauer and Müller, 1970). 연구지역의 시추 퇴적물은 입도분포로 보아 시추공 별로 차이는 있으나 하부에서 상부로 가면서 분명한 상향세립화의 경향을 가진다. 하부에는 하상에서 퇴적이 이루어진 것으로 보이는 역질 퇴적물이 위치하며, 최상부의 니질 퇴적층에서는 일부 식물 뿌리 등의 파편이 산재하기도 한다.

영산강 시추퇴적물의 퇴적매개변수간의 상관정도를 알아보기 위해 퇴적물의 평균입도, 분급도 왜도 및 첨도들 간의 값을 비교하였다(Fig. 3). 그 결과 평균 입도와 분급, 왜도 그리고 첨도들 각각의 관계들은 전체적으로 분산되어 분명한 상관관계를 확인하기가

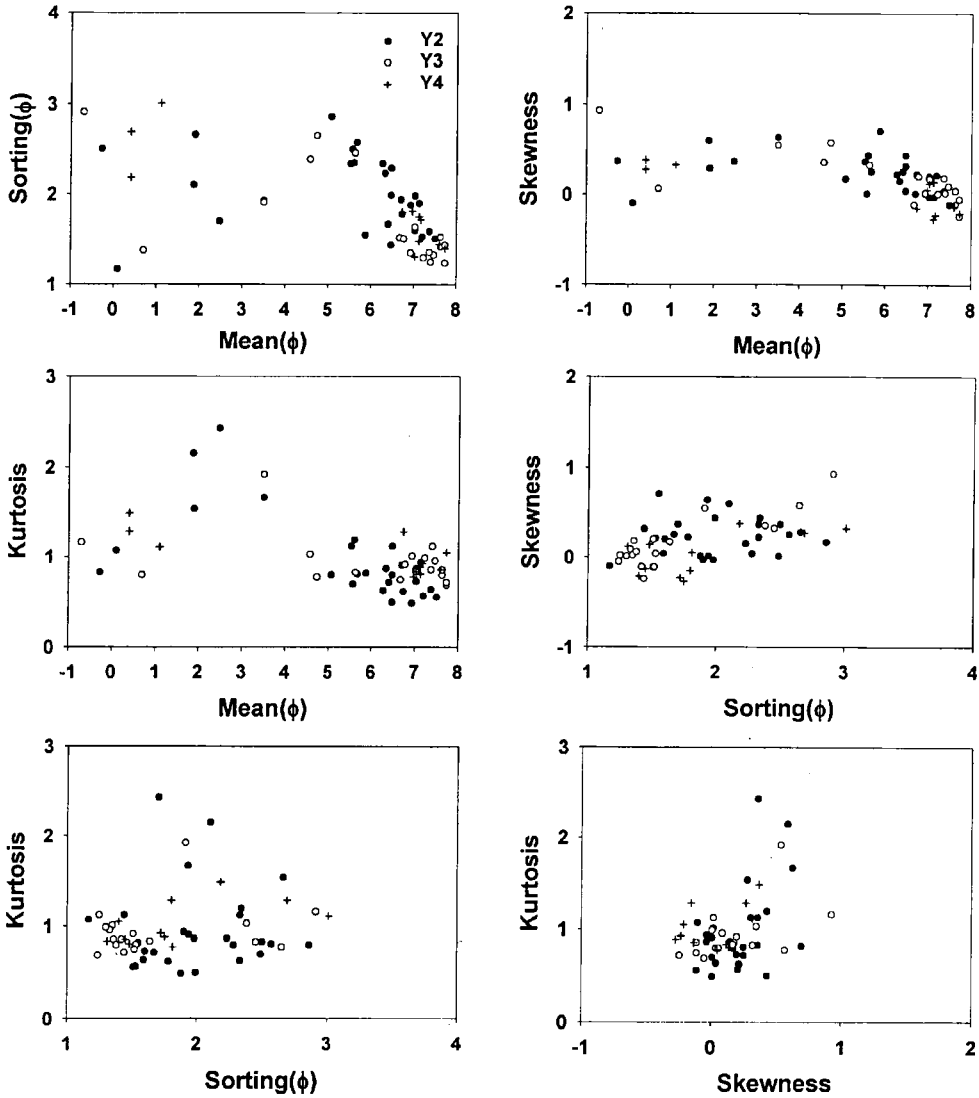


Fig. 3. Fair diagrams of textural parameters of sediments in the study area.

어려웠으며, 평균입도와 분급도의 경우만이 저조한 부(-)의 상관관계를 나타냈다.

**퇴적상**

영산강 시추퇴적물의 퇴적유형을 구분하기 위해 입도별 중량비를 구한 후, Folk(1968)에 의한 방법에 따라 삼각도에 도시하여 퇴적물들의 분류를 행하였다. 그 결과 이들 시추퇴적물들은 YS2에서는 역이 우세한 니사질 역(msG), 역질 사(gS), 역니질 사(gmS), 니질 사(mS), 사질 니(sM), 사질 실트(sZ), 실트(Z) 및 니(M) 등의 8개 퇴적상으로 구분되었다. YS3은

니질 역(mG), 역질 사(gS), 니질 사(mS), 사질 실트(sZ), 실트(Z) 및 니(M) 등의 6개로 구분되었으며, YS4는 역니질 사(gmS), 실트(Z) 및 니(M)의 3개 퇴적상으로 구분되었다(Fig. 4). 시추퇴적물의 심도별 유형 분포를 살펴보면 YS2와 YS3의 경우, 표층에서는 니질 및 실트질이 우세하나, 점차 심도가 깊어질수록 사질을 함유한 사질 실트 및 사질 니가 지배적이며, 기반암 부근에서는 역을 함유한 니질 역, 니사질 역과 사질이 다량 함유된 역질 사, 역니질 사, 니질 사가 주를 이룬다. YS4는 표층에서 니질과 실트질이 서로 교호하면서 기반암 부근에서는 역니질 사가 우세하다.

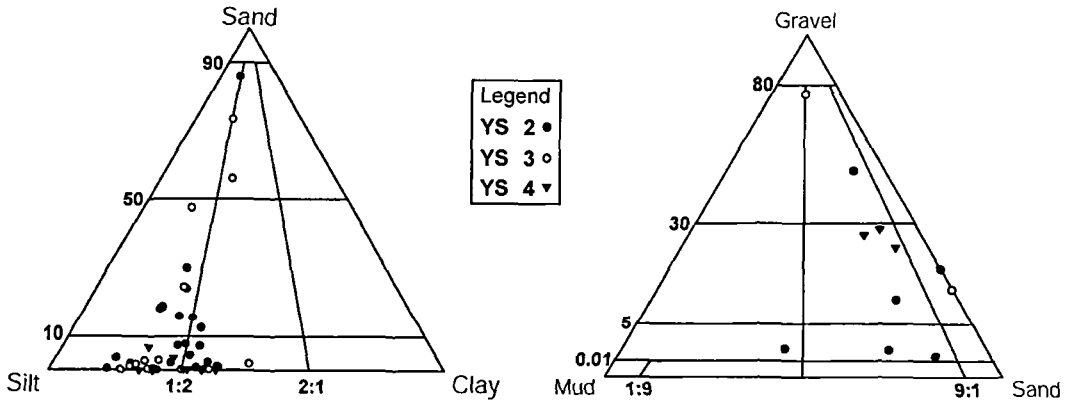


Fig. 4. Triangular diagram showing sediment types in core sediments.

**금속의 함량 및 분포**

연구지역에서 채취된 시추 시료에서의 중금속 함량은 Table 2와 같이 나타났다. YS2에서 주성분원소인 Al의 함량 변화는 1.37~8.64%(평균 5.00%)이며 Ca 0.38~28.77%(14.57%), Fe 0.66~4.39%(2.52%), K 0.46~3.01%(1.42%) 등으로 나타나 비교적 큰 폭의 변화를 보였다. 또한 미량원소들은 Ba의 62~730 ppm(261 ppm)를 비롯하여 Cr 19~90 ppm(54 ppm), Sr 120~659 ppm(390 ppm), Zr 7~84 ppm(38 ppm) 등으로 변화가 큰 편이었다. YS3에서는 주성분 원소의 함량변화에서 YS2와는 달리 Al 7.07~9.87%(8.47%), Ca 0.36~0.57%(0.44%), Fe 2.46~4.73%(3.61%), K 2.28~2.89%(2.60%) 등으로 변화 폭이 적었으나 상대적으로 Mg 0.52~1.52%(0.90%), Na 0.86~1.63%(0.98%), Mn 0.02~0.09%(0.04%)처럼 나타나 변화가 다소 큰 편이었다. 미량원소 중에서는 Co와 Cr이 7~16 ppm(12 ppm)와 36~103 ppm(68 ppm)의 변화를 보였다. YS4에서 주성분 원소를 비롯한 미량원소의 변화는 다른 시추시료와 달리 함량 변화가 다소 적었으며, Ca와 Co는 0.21~0.35%(0.27%)와 12~33 ppm(17 ppm)로 YS3 보다 변화폭이 약간 크게 나타났다.

심도별 금속원소의 변화를 살펴보면 YS2에서는 Al을 비롯한 대다수의 금속원소들이 심도 9.5m까지 대체적으로 감소하고 있으며, 최소값을 나타낸다. 심도 9.5m 층준에서 나타나는 특징으로는 담수성으로 보이는 연체동물 패각이 다량 함유되고 있어 Ca의 함량이 높게 나타나며, Ca와 거동이 유사한 Sr의 함량이 높은 편이다. YS3에서는 YS2와 같은 금속원소들의 뚜렷한 변화는 보이지 않지만 심도 11m 부근

에서 감소하는 경향을 보인다. 이는 금속원소들이 패각의 함량에 의하여 영향을 받은 것으로 보이는 YS2와는 달리 퇴적물의 입도가 관계된 것으로 생각된다. 심도 11m 상위의 퇴적층들은 니질 함량이 97% 이상으로 상대적으로 사질 함량이 적은 편이나, 11m 심도 이하에서는 사질 함량이 20% 이상으로 급격하게 증가하고 있다. 세립질 퇴적물에 비해 조립질 퇴적물에서 높은 함량을 보이는 원소로는 Ba와 Sr을 들 수 있는데, 퇴적물의 입도와 관련이 깊은 금속으로 알려진 바 있다(Gibbs, 1977; 조영길, 1994). 심도 11m 부근에서의 Ba와 Sr의 함량변화는 16m 심도까지 퇴적물의 입도가 조립화 하는 경향을 따라 비교적 점진적인 증가를 하고 있어 YS3의 금속원소의 심도에 따른 함량변화는 입도와 관련된 조절 효과에 의한 것으로 해석된다. YS4에서의 금속원소의 심도별 함량변화는 YS2 및 YS3에 비해 뚜렷한 경향을 보이지는 않는다.

**퇴적물 중의 금속원소 변화의 조절요인**

퇴적물 내에서의 금속함량의 변화는 일반적으로 퇴적물의 입도에 의한 영향과 중금속 흡착력이 큰 유기물이나 산화물의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 (Förstner and Wittmann, 1981; Salomons and Förstner, 1984; Adriano, 1986; Louma, 1990; Horowitz, 1991), 이러한 연구결과는 우리 나라에서도 이미 보고된 바 있다(Lee et al., 1991; 최만식 외, 1996; 조영길·김주용, 1998). 연구 지역에서의 금속원소 함량의 심도에 따른 변화는 이러한 요인들의 영향에 의한 복합적인 결과일 것으로 보이나, 입도에 의한 영향이 주된 요인일 것으로 생각된다. 따라서 퇴적물 내의 금

Table 2. Element contents of core sediments in the study area.  
YS2

| Dep. (cm) | Al (%) | Fe (%) | Mg (%) | Ca (%) | Na (%) | K (%) | Ti (%) | P (%) | Mn (%) | Ba (ppm) | Co (ppm) | Cr (ppm) | Cu (ppm) | Li (ppm) | Nb (ppm) | Ni (ppm) | Sc (ppm) | Sr (ppm) | V (ppm) | Y (ppm) | Zn (ppm) | Zr (ppm) | Pb (ppm) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 80        | 8.64   | 4.39   | 1.24   | 0.38   | 1.15   | 2.38  | 0.38   | 0.05  | 0.05   | 459      | 13       | 88       | 18       | 78       | 14       | 35       | 14       | 120      | 96      | 24      | 70       | 69       | 17       |
| 180       | 7.88   | 3.97   | 1.22   | 0.46   | 1.52   | 2.37  | 0.38   | 0.05  | 0.05   | 456      | 12       | 84       | 15       | 64       | 15       | 34       | 13       | 135      | 87      | 24      | 62       | 77       | 12       |
| 280       | 7.98   | 3.94   | 1.20   | 0.47   | 1.50   | 2.38  | 0.39   | 0.05  | 0.05   | 460      | 13       | 84       | 14       | 65       | 15       | 35       | 13       | 136      | 87      | 24      | 62       | 76       | 12       |
| 320       | 7.75   | 3.98   | 1.30   | 0.41   | 1.46   | 2.26  | 0.35   | 0.05  | 0.05   | 392      | 16       | 84       | 16       | 73       | 14       | 39       | 13       | 180      | 87      | 24      | 64       | 66       | 13       |
| 390       | 7.45   | 3.78   | 1.26   | 0.39   | 1.59   | 2.22  | 0.33   | 0.05  | 0.05   | 389      | 15       | 80       | 21       | 69       | 13       | 38       | 12       | 193      | 82      | 22      | 64       | 64       | 12       |
| 460       | 7.58   | 3.67   | 1.24   | 0.38   | 1.45   | 2.29  | 0.37   | 0.06  | 0.06   | 405      | 15       | 82       | 24       | 70       | 14       | 35       | 13       | 195      | 83      | 24      | 65       | 78       | 16       |
| 540       | 7.97   | 3.83   | 1.30   | 0.91   | 1.51   | 2.38  | 0.39   | 0.05  | 0.06   | 428      | 15       | 86       | 15       | 72       | 15       | 37       | 14       | 158      | 89      | 25      | 65       | 80       | 14       |
| 640       | 8.20   | 3.92   | 1.34   | 1.18   | 1.46   | 2.42  | 0.40   | 0.05  | 0.07   | 431      | 14       | 90       | 16       | 72       | 16       | 39       | 14       | 142      | 92      | 25      | 68       | 78       | 15       |
| 790       | 8.30   | 3.92   | 1.26   | 0.46   | 1.57   | 2.41  | 0.41   | 0.05  | 0.08   | 438      | 13       | 87       | 15       | 73       | 15       | 36       | 14       | 128      | 90      | 26      | 64       | 84       | 15       |
| 870       | 7.82   | 3.41   | 1.06   | 0.79   | 1.45   | 2.51  | 0.37   | 0.05  | 0.05   | 484      | 12       | 75       | 20       | 64       | 15       | 32       | 12       | 149      | 79      | 24      | 58       | 84       | 13       |
| 930       | 7.81   | 3.53   | 1.14   | 0.74   | 1.74   | 2.39  | 0.35   | 0.05  | 0.06   | 459      | 12       | 78       | 21       | 65       | 14       | 36       | 12       | 147      | 80      | 23      | 60       | 69       | 14       |
| 950       | 1.37   | 0.66   | 0.39   | 28.77  | 0.78   | 0.46  | 0.06   | 0.04  | 0.07   | 62       | 11       | 19       | 10       | 35       | 8        | 10       | 3        | 659      | 17      | 2       | 17       | 7        | 5        |
| 1000      | 5.05   | 2.18   | 0.79   | 14.07  | 1.16   | 1.57  | 0.22   | 0.04  | 0.06   | 298      | 14       | 49       | 13       | 43       | 9        | 24       | 9        | 384      | 50      | 17      | 40       | 45       | 7        |
| 1040      | 7.74   | 3.55   | 1.11   | 1.19   | 1.39   | 2.28  | 0.35   | 0.05  | 0.05   | 429      | 13       | 79       | 20       | 66       | 14       | 35       | 12       | 146      | 81      | 23      | 62       | 71       | 13       |
| 1140      | 7.43   | 3.19   | 0.96   | 1.72   | 1.28   | 2.32  | 0.32   | 0.05  | 0.05   | 469      | 12       | 68       | 19       | 61       | 13       | 33       | 12       | 176      | 72      | 22      | 55       | 70       | 18       |
| 1170      | 6.57   | 2.76   | 0.88   | 5.13   | 1.36   | 2.08  | 0.29   | 0.04  | 0.05   | 424      | 13       | 60       | 14       | 54       | 12       | 27       | 10       | 232      | 63      | 18      | 47       | 59       | 12       |
| 1200      | 7.04   | 2.93   | 0.88   | 1.72   | 1.40   | 2.32  | 0.30   | 0.05  | 0.05   | 482      | 11       | 62       | 12       | 55       | 13       | 29       | 11       | 183      | 66      | 20      | 49       | 66       | 15       |
| 1230      | 7.43   | 3.18   | 0.96   | 1.79   | 1.34   | 2.32  | 0.33   | 0.05  | 0.05   | 476      | 12       | 68       | 13       | 60       | 13       | 29       | 12       | 186      | 72      | 23      | 52       | 73       | 14       |
| 1280      | 7.21   | 3.06   | 0.98   | 2.23   | 1.67   | 2.34  | 0.32   | 0.05  | 0.05   | 476      | 13       | 65       | 20       | 60       | 13       | 29       | 11       | 191      | 70      | 22      | 53       | 72       | 12       |
| 1400      | 7.27   | 3.11   | 0.93   | 1.90   | 1.39   | 2.32  | 0.33   | 0.05  | 0.05   | 474      | 11       | 67       | 20       | 58       | 13       | 28       | 12       | 181      | 70      | 22      | 53       | 73       | 15       |
| 1530      | 7.52   | 3.01   | 0.83   | 1.20   | 1.41   | 2.56  | 0.31   | 0.05  | 0.05   | 572      | 11       | 59       | 13       | 58       | 13       | 28       | 11       | 181      | 68      | 19      | 48       | 63       | 12       |
| 1610      | 6.57   | 2.06   | 0.46   | 0.66   | 1.19   | 3.01  | 0.22   | 0.03  | 0.05   | 730      | 8        | 31       | 7        | 38       | 10       | 15       | 7        | 185      | 44      | 13      | 32       | 45       | 15       |
| Min.      | 1.37   | 0.66   | 0.39   | 0.38   | 0.78   | 0.46  | 0.06   | 0.03  | 0.05   | 62       | 8        | 19       | 7        | 35       | 8        | 10       | 3        | 120      | 17      | 2       | 17       | 7        | 5        |
| Max.      | 8.64   | 4.39   | 1.34   | 28.77  | 1.74   | 3.01  | 0.41   | 0.06  | 0.08   | 730      | 16       | 90       | 24       | 78       | 16       | 39       | 14       | 659      | 96      | 26      | 70       | 84       | 18       |
| Mean      | 5.00   | 2.52   | 0.82   | 14.57  | 0.96   | 1.42  | 0.22   | 0.05  | 0.06   | 261      | 12       | 54       | 14       | 57       | 11       | 23       | 9        | 390      | 57      | 13      | 44       | 38       | 11       |
| SD        | 1.46   | 0.81   | 0.25   | 6.20   | 0.20   | 0.46  | 0.08   | 0.01  | 0.01   | 113      | 2        | 18       | 4        | 11       | 2        | 7        | 3        | 113      | 18      | 5       | 12       | 16       | 3        |



Table 2. Continued.  
YS2

| Dep. (cm) | Al (%) | Fe (%) | Mg (%) | Ca (%) | Na (%) | K (%) | Ti (%) | P (%) | Mn (%) | Ba (ppm) | Co (ppm) | Cr (ppm) | Cu (ppm) | Li (ppm) | Nb (ppm) | Ni (ppm) | Sc (ppm) | Sr (ppm) | V (ppm) | Y (ppm) | Zn (ppm) | Zr (ppm) | Pb (ppm) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 40        | 9.60   | 4.60   | 1.15   | 0.40   | 0.86   | 2.40  | 0.41   | 0.06  | 0.05   | 478      | 14       | 91       | 21       | 79       | 15       | 40       | 15       | 123      | 102     | 26      | 77       | 80       | 20       |
| 90        | 9.87   | 4.53   | 1.24   | 0.36   | 0.89   | 2.49  | 0.42   | 0.05  | 0.05   | 472      | 15       | 92       | 20       | 85       | 16       | 41       | 15       | 117      | 105     | 26      | 79       | 83       | 26       |
| 180       | 9.46   | 4.34   | 1.30   | 0.37   | 1.36   | 2.52  | 0.41   | 0.05  | 0.05   | 457      | 14       | 91       | 19       | 87       | 16       | 37       | 15       | 118      | 103     | 27      | 75       | 85       | 18       |
| 280       | 9.21   | 4.37   | 1.33   | 0.38   | 1.51   | 2.50  | 0.41   | 0.05  | 0.05   | 451      | 14       | 93       | 18       | 85       | 16       | 37       | 15       | 120      | 103     | 26      | 75       | 84       | 17       |
| 380       | 8.69   | 4.28   | 1.34   | 0.41   | 1.61   | 2.49  | 0.40   | 0.05  | 0.05   | 450      | 14       | 93       | 16       | 79       | 16       | 39       | 14       | 126      | 99      | 26      | 70       | 83       | 16       |
| 480       | 8.94   | 4.57   | 1.41   | 0.41   | 1.62   | 2.57  | 0.43   | 0.05  | 0.08   | 441      | 16       | 97       | 17       | 84       | 16       | 43       | 15       | 125      | 102     | 26      | 73       | 78       | 17       |
| 580       | 8.74   | 4.37   | 1.40   | 0.39   | 1.51   | 2.57  | 0.44   | 0.05  | 0.05   | 457      | 15       | 97       | 16       | 77       | 17       | 38       | 15       | 126      | 100     | 26      | 71       | 82       | 14       |
| 680       | 8.96   | 4.73   | 1.52   | 0.36   | 1.63   | 2.58  | 0.44   | 0.05  | 0.08   | 419      | 16       | 103      | 17       | 83       | 17       | 42       | 16       | 116      | 105     | 27      | 77       | 83       | 20       |
| 780       | 8.85   | 4.49   | 1.39   | 0.39   | 1.44   | 2.51  | 0.41   | 0.05  | 0.08   | 440      | 15       | 98       | 17       | 80       | 16       | 43       | 15       | 123      | 101     | 27      | 72       | 78       | 17       |
| 880       | 8.83   | 4.43   | 1.34   | 0.41   | 1.29   | 2.47  | 0.42   | 0.05  | 0.09   | 434      | 15       | 97       | 19       | 79       | 16       | 44       | 15       | 122      | 100     | 27      | 71       | 82       | 21       |
| 980       | 8.08   | 3.69   | 1.03   | 0.47   | 1.30   | 2.32  | 0.39   | 0.05  | 0.07   | 471      | 13       | 77       | 17       | 66       | 15       | 32       | 12       | 139      | 83      | 24      | 58       | 78       | 16       |
| 1080      | 8.20   | 3.80   | 1.06   | 0.39   | 1.29   | 2.28  | 0.38   | 0.05  | 0.07   | 457      | 13       | 79       | 17       | 67       | 15       | 32       | 13       | 128      | 86      | 25      | 60       | 77       | 17       |
| 1140      | 7.85   | 3.01   | 0.72   | 0.44   | 0.99   | 2.60  | 0.35   | 0.04  | 0.04   | 633      | 9        | 54       | 15       | 44       | 13       | 23       | 11       | 144      | 70      | 15      | 48       | 74       | 18       |
| 1180      | 7.38   | 2.46   | 0.56   | 0.44   | 0.98   | 2.82  | 0.28   | 0.03  | 0.03   | 699      | 7        | 40       | 13       | 34       | 11       | 20       | 8        | 156      | 58      | 12      | 40       | 62       | 15       |
| 1290      | 7.07   | 2.69   | 0.55   | 0.51   | 1.08   | 2.71  | 0.28   | 0.03  | 0.02   | 698      | 9        | 43       | 12       | 33       | 11       | 19       | 8        | 166      | 56      | 15      | 40       | 61       | 14       |
| 1580      | 7.21   | 2.62   | 0.52   | 0.57   | 1.16   | 2.89  | 0.26   | 0.03  | 0.03   | 748      | 8        | 36       | 20       | 33       | 10       | 18       | 7        | 189      | 54      | 13      | 43       | 52       | 15       |
| Min.      | 7.07   | 2.46   | 0.52   | 0.36   | 0.86   | 2.28  | 0.26   | 0.03  | 0.02   | 419      | 7        | 36       | 12       | 33       | 10       | 18       | 7        | 116      | 54      | 12      | 40       | 52       | 14       |
| Max.      | 9.87   | 4.73   | 1.52   | 0.57   | 1.63   | 2.89  | 0.44   | 0.06  | 0.09   | 748      | 16       | 103      | 21       | 87       | 17       | 44       | 16       | 189      | 105     | 27      | 79       | 85       | 26       |
| Mean      | 8.47   | 3.61   | 0.90   | 0.44   | 0.98   | 2.60  | 0.35   | 0.04  | 0.04   | 585      | 12       | 68       | 16       | 59       | 14       | 30       | 12       | 142      | 81      | 21      | 60       | 72       | 20       |
| SD        | 0.85   | 0.79   | 0.34   | 0.06   | 0.26   | 0.16  | 0.06   | 0.01  | 0.02   | 111      | 3        | 23       | 2        | 20       | 2        | 9        | 3        | 21       | 19      | 6       | 14       | 10       | 3        |

| Dep. (cm) | Al (%) | Fe (%) | Mg (%) | Ca (%) | Na (%) | K (%) | Ti (%) | P (%) | Mn (%) | Ba (ppm) | Co (ppm) | Cr (ppm) | Cu (ppm) | Li (ppm) | Nb (ppm) | Ni (ppm) | Sc (ppm) | Sr (ppm) | V (ppm) | Y (ppm) | Zn (ppm) | Zr (ppm) | Pb (ppm) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 40        | 8.65   | 4.04   | 0.78   | 0.33   | 0.78   | 2.16  | 0.40   | 0.05  | 0.05   | 530      | 12       | 79       | 21       | 56       | 15       | 30       | 13       | 108      | 91      | 24      | 61       | 73       | 19       |
| 80        | 9.21   | 4.18   | 0.85   | 0.34   | 0.79   | 2.30  | 0.40   | 0.06  | 0.05   | 536      | 13       | 78       | 25       | 62       | 15       | 33       | 13       | 114      | 93      | 24      | 66       | 73       | 20       |
| 180       | 9.87   | 4.03   | 1.09   | 0.21   | 0.73   | 2.42  | 0.44   | 0.03  | 0.03   | 468      | 33       | 107      | 22       | 82       | 17       | 60       | 17       | 98       | 115     | 31      | 81       | 81       | 24       |
| 230       | 9.88   | 4.71   | 1.28   | 0.21   | 0.70   | 2.43  | 0.43   | 0.03  | 0.04   | 441      | 22       | 109      | 19       | 93       | 17       | 62       | 17       | 93       | 116     | 39      | 98       | 81       | 17       |
| 330       | 9.79   | 4.34   | 1.28   | 0.23   | 0.76   | 2.42  | 0.43   | 0.03  | 0.04   | 443      | 19       | 108      | 20       | 93       | 17       | 54       | 17       | 95       | 114     | 33      | 98       | 78       | 19       |
| 440       | 9.38   | 4.27   | 1.15   | 0.24   | 0.83   | 2.36  | 0.44   | 0.03  | 0.04   | 452      | 15       | 101      | 19       | 83       | 17       | 44       | 16       | 100      | 109     | 27      | 75       | 79       | 18       |
| 530       | 9.15   | 3.79   | 1.11   | 0.33   | 0.98   | 2.27  | 0.41   | 0.03  | 0.04   | 445      | 15       | 96       | 21       | 79       | 16       | 42       | 15       | 116      | 100     | 29      | 74       | 84       | 19       |
| 600       | 8.92   | 3.76   | 1.08   | 0.35   | 0.99   | 2.25  | 0.41   | 0.03  | 0.03   | 450      | 15       | 95       | 20       | 76       | 16       | 40       | 15       | 120      | 97      | 29      | 70       | 85       | 18       |
| Min.      | 8.65   | 3.76   | 0.78   | 0.21   | 0.70   | 2.16  | 0.40   | 0.03  | 0.03   | 441      | 12       | 78       | 19       | 56       | 15       | 30       | 13       | 93       | 91      | 24      | 61       | 73       | 17       |
| Max.      | 9.88   | 4.71   | 1.28   | 0.35   | 0.99   | 2.43  | 0.44   | 0.06  | 0.05   | 536      | 33       | 109      | 25       | 93       | 17       | 62       | 17       | 120      | 116     | 39      | 98       | 85       | 24       |
| Mean      | 9.26   | 4.37   | 1.03   | 0.27   | 0.74   | 2.30  | 0.41   | 0.04  | 0.05   | 486      | 17       | 94       | 20       | 75       | 16       | 46       | 15       | 101      | 104     | 32      | 80       | 77       | 18       |
| SD        | 0.46   | 0.31   | 0.18   | 0.06   | 0.11   | 0.10  | 0.02   | 0.01  | 0.01   | 39       | 7        | 12       | 2        | 13       | 1        | 12       | 2        | 10       | 10      | 5       | 14       | 5        | 2        |

YS4

속원소들의 거동을 살피는데 있어 퇴적물 입도의 영향을 적게 하기 위하여 보존성 원소의 사용이나 입자의 표면적을 이용하는 여러 가지 방법들이 제시되어 왔다(Oliver, 1973; Salomons and de Groot, 1978). 본

연구에서는 금속원소의 함량 변화에 가장 큰 영향을 미치는 입도의 영향을 파악해 보기 위해 Al에 대한 금속원소들의 비의 분포를 Fig. 5에 도시하여 보았으며, 각 금속함량들 간의 상관관계는 Table 3에 나타

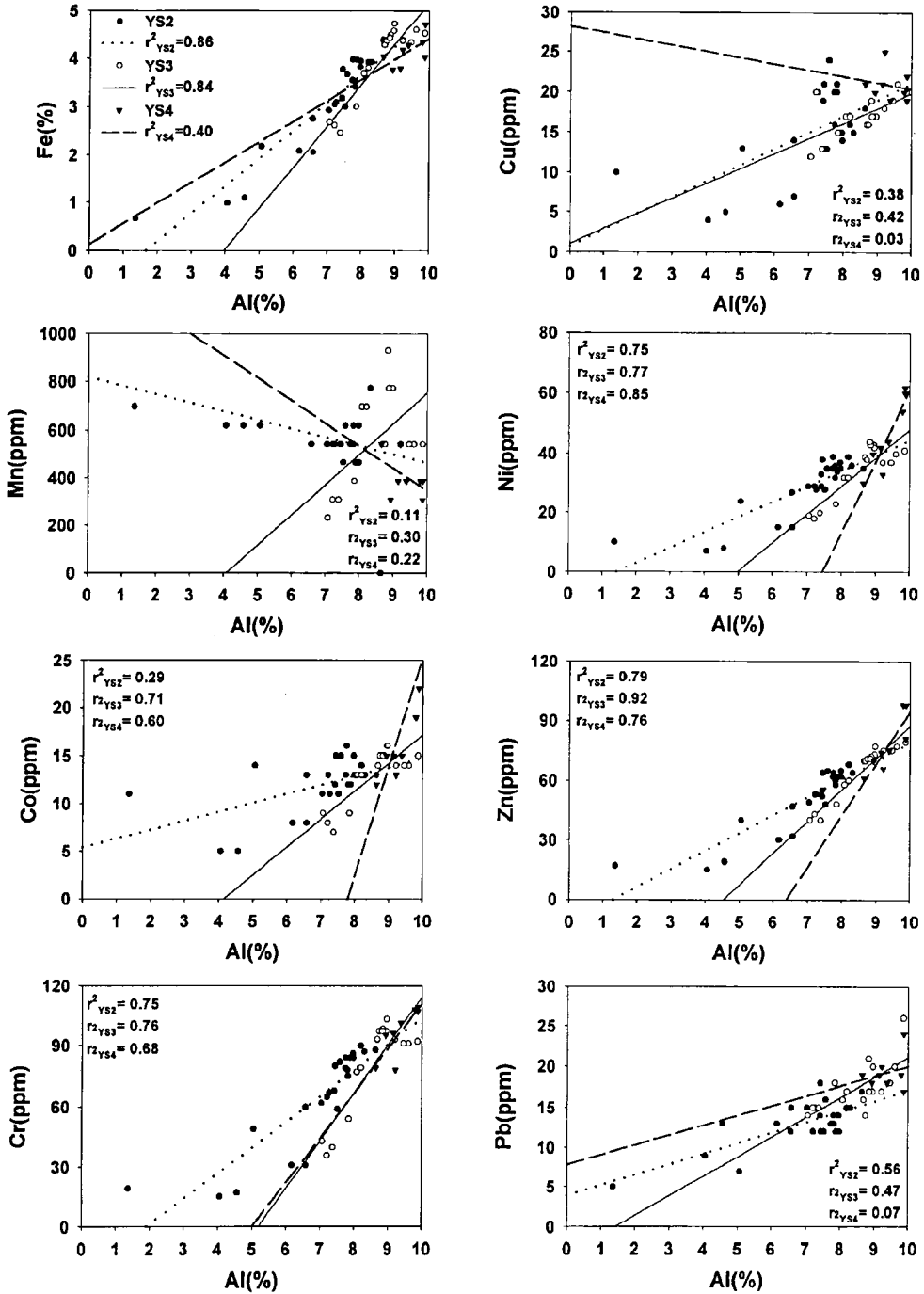


Fig. 5. Pair diagrams between metal and Al in core sediments.

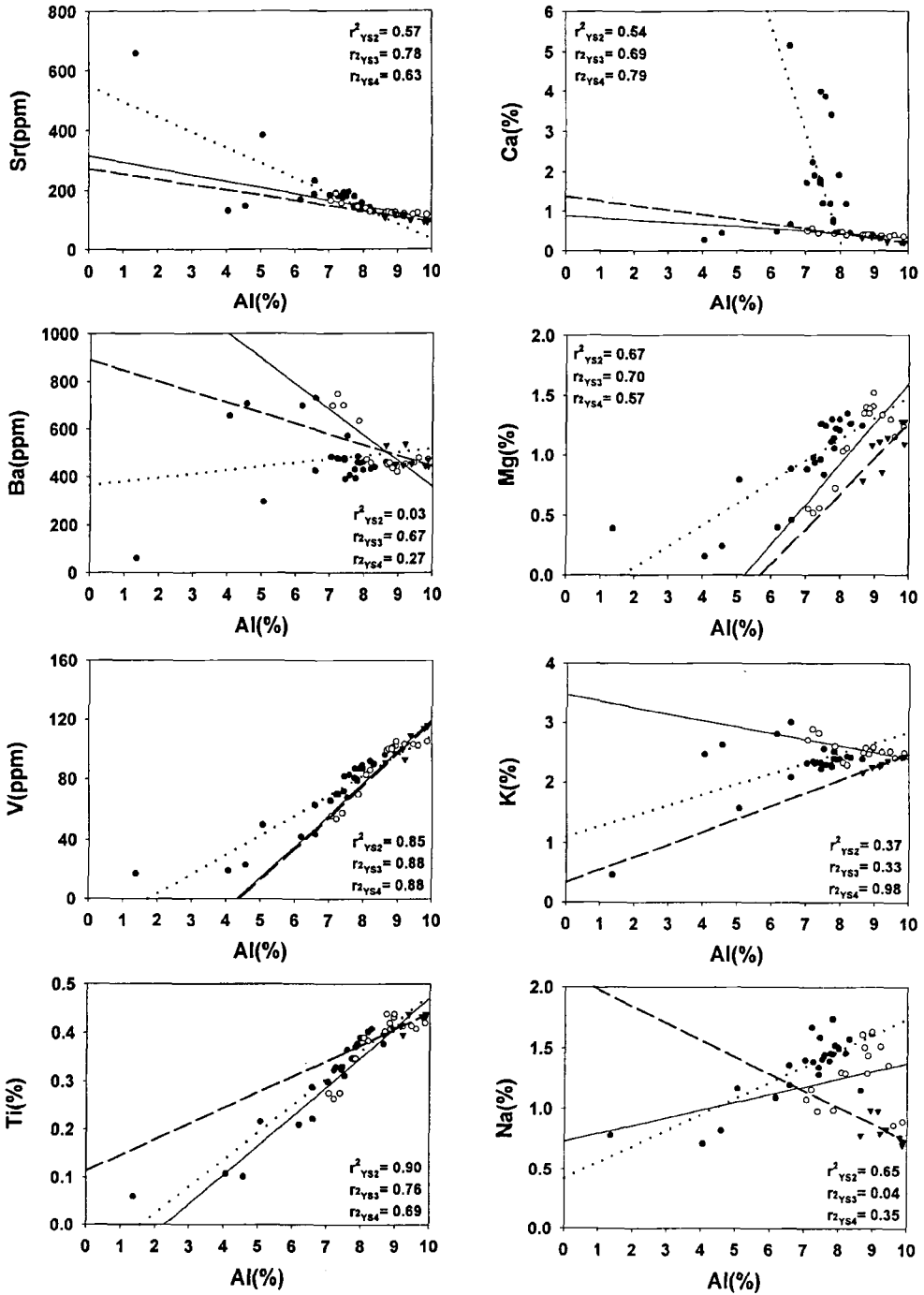


Fig. 5. Continued.

내었다.

YS2에서 Al에 대한 Fe, Ti, V 및 Zn의 비는 Al의 함량과 비교하였을 때 함량 간의 상관관계가 비교적 높은 것으로 나타나고, Na, Mg, Ni, 및 Cr 경우도

다소 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 어느 정도 입도의 영향이 작용한 것으로 보인다. YS3에서 금속 원소의 함량변화는 YS2에서의 함량변화와 유사하게 나타나기는 하나, Na, Ba, Co 등은 상당한 변화를



보이며 Mn은 정(+)의 상관관계를 보인다. Ba와 Sr은 상대적으로 강한 부(-)의 상관관계를 보이고 있다. YS4의 경우는 Mn이 YS2와 달리 부(-)의 상관관계를 가지며, K, Co와 Pb도 큰 차이를 보인다. Ba와

Sr은 YS3과 유사하였다.

연구지역의 퇴적물에서 Al에 대한 금속원소의 함량변화는 위에서 살펴본 것처럼 대다수의 금속원소가 정(+)의 상관관계를 보이기는 하나 그 변화가 다양하

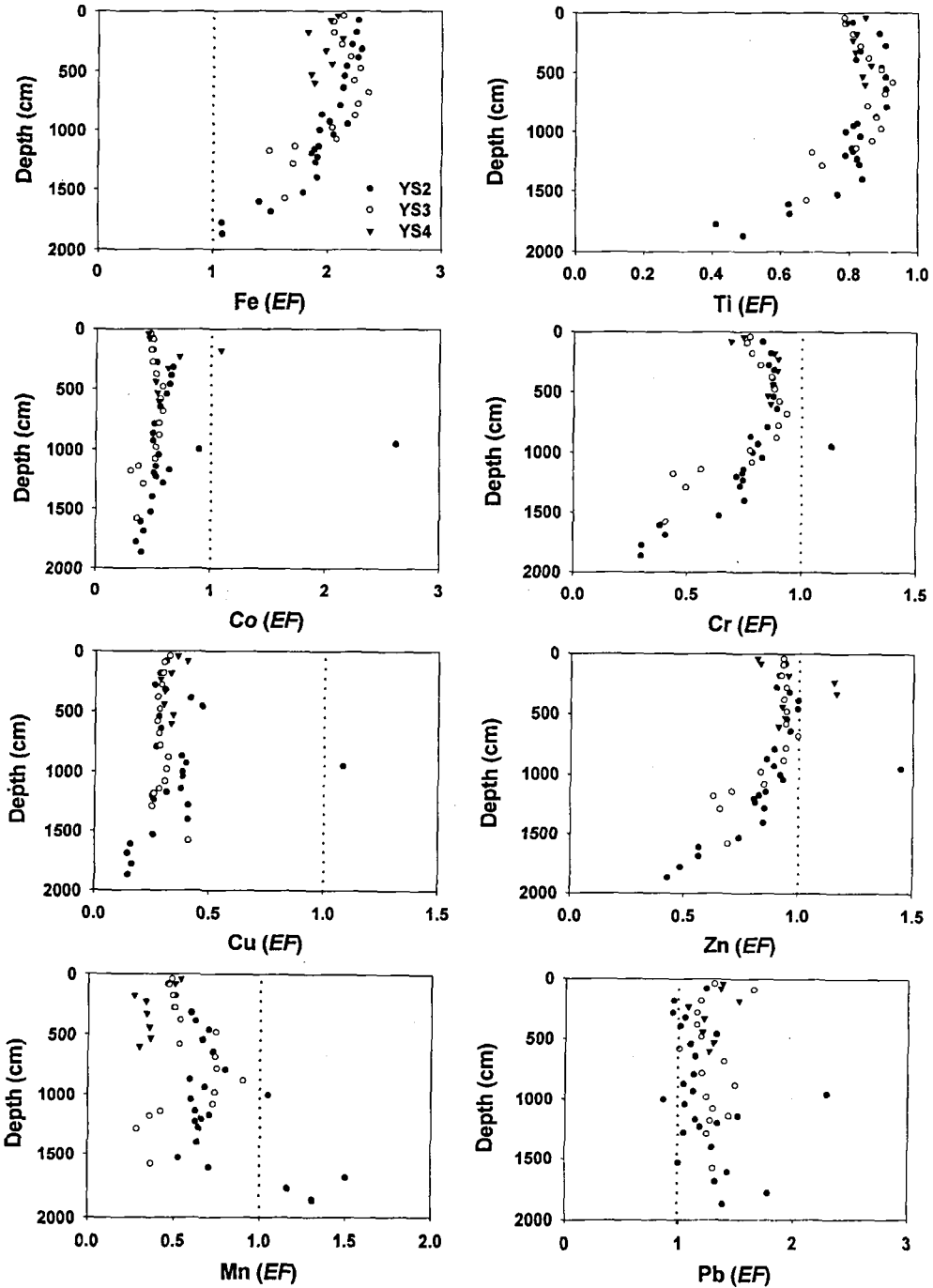


Fig. 6. Vertical variations of enrichment ratios in core sediments.

게 나타난다. 이는 퇴적물에서 금속원소의 함량변화가 입도에 의한 영향이 작용하기는 하나 그 정도는 그리 크지 않음을 시사한다(Table 3). 환경에 대해 비교적 안정되어 있으며, 입도의 세립화에 대해 비교적 일정하게 증가하는 Al과 입도를 관련짓는 것이 일반적이기는 하나(Bruland *et al.*, 1974; Windom *et al.*, 1989), 이들 퇴적물에서 보는 것처럼 금속함량의 분포가 다양하게 나타나는 것은 입도의 영향 뿐만 아니라 심도에 따른 퇴적환경적인 변화가 많은 영향을 미쳤음을 생각해 볼 수 있다. 예를 들어 일부 시추 심도에서는 패각에 기인한 탄산염 함량이 입도의 세립화보다 금속원소의 거동에 영향을 주었던 것으로 보인다. 특히 Sr의 함량은 Ca의 함량과 분명한 정(+)의 상관관계를 보이며, 입도의 영향보다는 탄산염 함량에 의한 변화가 직접적으로 영향을 미친 것으로 보인다. Ba의 경우는 Al의 거동과 부(-)의 상관관계를 보여, 사질이 많은 조립질 퇴적물에서 그 함량이 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 Ba가 퇴적물의 구성광물 중, 비교적 조립질 퇴적물에서 함량이 높은 장석류 등의 함유와 연관된 것으로 보인다(Bowen, 1979; 조영길, 1994). 이들 금속원소의 함량이 장석류의 산출과 관계된다는 것은 국내의 연구 결과에서도 지적된 바 있다(한국해양연구소, 1986). Mn의 경우는 전술한 것처럼, 퇴적물의 심도별 함량 변화가 다른 금속들과는 달리 불규칙한데, 이는 Mn이 입도의 영향보다는 다른 조절요인에 의해 영향을 받았을 것으로 생각된다(조영길, 1994).

### 금속원소의 부화지수

퇴적물 내의 금속원소의 부화나 인위적인 오염 등을 효율적으로 파악하기 위해서 수직적인 부화지수(Enrichment Factor; EF)를 구하였다(Bruland *et al.*, 1974). 이 때 보존성원소로는 일반적으로 Al과 Fe가 이용되는데, 본 연구에서는 상대적으로 함량 변화가 적은 Al을 이용하였으며, 지각 평균값은 Mason and Moore(1982)에 의해 제시된 값을 사용하였다.

연구지역의 심도별 각 금속원소의 부화지수를 살펴보면(Fig. 6), Fe를 비롯한 Ti, Cr 및 Zn이 상부로 가면서 증가하는 경향을 보였다. Co 및 Cu의 수직적인 변화는 상부로 오면서 약간의 증가경향을 보이나 그 변화는 미약하다. 그러나 이들 금속원소들이 YS2 시추공의 심도 9.5m에서 예외적으로 높게 부화되는 경향을 보이는데, 이런 현상은 Cr, Zn, Pb에서도 인지

된다. 이들 원소들과는 달리 Mn은 분산되는 특징을 보이고 있다. 특히 Mn의 경우 YS2의 17m 심도를 경계로 뚜렷한 차이를 보인다.

## 토의 및 결론

영산강 하류인 나주-영암 인근 유역에서 채취된 3개 시추시료에 대한 퇴적물의 입도분포를 분석한 결과, 퇴적물의 입도는 잔자갈에서 니질 크기로 넓은 범위로 산포되며 분급도는 poorly sorted에서 very poorly sorted로 나타났다. 한편 왜도는 양으로 편향된다. 전술한 것처럼, 퇴적물의 조직매개변수의 분포와 퇴적층 하부의 역질 퇴적물에서 상부로 가면서 니질 퇴적물로 변화하는 상향세립화의 특징에 비추어, 이들 시추 퇴적물은 하도퇴적물과 하도 주변의 범람원 퇴적물이 주를 이루는 하성 퇴적층으로 생각된다. 그리고 이들 퇴적층의 상부를 이루는 니질 퇴적층 중에는 일부 식물 뿌리 등의 잔류물 등이 나타나고 있으며 하부의 역질 퇴적층 위에 연이어 역 니질 사와 니질 사의 부분들이 전개되고 있어 이 시추 퇴적층은 사행천(meandering river)의 퇴적환경을 지시하는 것으로 해석된다(조성권 외, 1995; Allen, 1970; Walker and Cant, 1984). YS2와 YS3은 이러한 수직적인 퇴적물의 입도 변화가 관찰된다. YS4의 경우는 퇴적층의 상향세립화가 인지되기는 하나, 사질과 니질 퇴적물로만 이루어져 유로가 이동되어 간 후 형성되는 범람원 퇴적물로 생각해 볼 수 있다. 한편, 비교적 근접해 있는 각 시추공들에서 조직매개변수들의 편차가 큰 편이며, 조직매개변수들 사이의 상관관계가 분산되어 나타나는 것 역시 사행하는 하천의 유로 변화와 관계되는 것으로 생각된다.

시추 퇴적물에 함유된 금속원소들의 분포상을 보면 Al을 비롯한 금속 원소들의 경우는 대체적으로 입도와 연관성을 보이기는 하나, 그 정도는 그리 현저하다고 볼 수는 없었으며 오히려 패각의 산출에 따른 탄산염 등의 함량이 보다 영향정도가 높은 것으로 생각된다. Sr은 Ca의 거동과 직접적인 관련성을 보였으며, Ba는 오히려 부(-)의 상관관계를 보여 전술한 것처럼 입도와의 관련성을 드러내었다. 이 것은 조립질인 사질 퇴적물 중의 장석류 함유와 관계된 것으로 보인다. 퇴적물 내의 금속원소들의 부화지수를 살펴보면 Fe, Ti, Cr, Zn 등은 상부로 갈수록 증가하는데 이는 퇴적층의 상향세립화가 영향을 미치고 있는

것으로 생각된다. 예외적으로 YS2의 패각을 함유한 층층에서 Cr, Zn, Cu, Co 등의 부화지수가 높게 나타나고 있다. 이는 패각의 함유에 의한 Ca의 함량 증가가 상대적으로 Al 함량비를 저하시켜 나타난 결과로 이들 원소들이 부화되어진 것으로는 볼 수 없다. Mn은 시료에 따른 함량변화가 불규칙하고 부화지수도 산포되어 분명한 경향성을 인지하기가 어려웠다. Mn은 pH나 Eh 등 환경조건의 변화에 따라 액상 또는 고상으로 쉽게 전환하는 전이원소로서 퇴적물의 속성작용 또는 산화환경의 조성과의 같은 환경변화와 밀접하게 관련되는 것으로 알려진다(조영길, 1994; Liss, 1976; Duinker *et al.*, 1979; Horowitz, 1991). 따라서 연구지역 시추퇴적물에서 Mn의 함량은 입도보다는 퇴적물 내의 산화환경의 조성에 의한 영향과 관련되어 있을 가능성이 있다. 따라서 퇴적물의 심도에 따른 금속함량의 분포가 시추시료에 따라 분포 상이 변화하고 입도에 대한 의존이 그리 높지 않은 것은 탄산염 함량의 변화, 퇴적물의 속성작용의 정도, 산화환경의 조성등 퇴적환경적인 변화가 이들 금속원소들의 함량 변화의 조절요인으로 작용했을 것으로 생각된다.

전술한 결과들을 종합해 보면, 연구지역은 사행천을 이루는 하성 환경에서 퇴적이 이루어졌으며 유로의 변화가 심하여 위치에 따른 퇴적상의 변화가 다양했던 것으로 생각된다. 또한 퇴적물 내에 함유된 금속원소들의 함량분포로 보아, 심도에 따른 퇴적층의 상향세립화가 금속원소들의 거동에 관련되기는 하였으나 탄산염 함량 등 환경적인 변화가 많은 영향을 미쳤던 것으로 해석되며 연구지역에서 유의할 만한 금속원소들의 부화는 인지되지 않았다.

## 사 사

이 논문의 원고를 읽고 세심한 지적과 깊은 배려를 해 주신 광주대학교 김여상 교수님과 익명의 심사위원님께 감사드립니다.

## 참고문헌

건설부, 1990, 수자원 장기종합계획(1991-2011). 89 p.  
 광주광역시, 1996, 영산강수질관리 종합대책수립에 관한 연구. 409 p.  
 김종일, 1993, 영산강 하도변화에 관한 지형학적 연구. 전남대학교 대학원 박사학위논문, 160 p.  
 김주용·유환수·고영구·윤석태·오강호·조석희, 1999, 전

남 서남부 영산강 유역의 퇴적물과 회토류 원소들의 분포 특성. 전남대 과학교육연구지, 23, 125-137.  
 오강호, 1999, 영산강 수계 하상퇴적물의 지구화학적 특성과 분포. 전남대학교 대학원 석사학위논문, 54 p.  
 유환수·조석희·고영구, 2000, 섬진강 유역의 하상퇴적층에 관한 연구. 한국지구과학회지, 21, 174-187.  
 이창규, 1988, 영산강 유역의 지형특성. 효성여자대학교 대학원 석사학위논문, 35 p.  
 전라남도, 1996, 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구. 668 p.  
 조영길, 1994, 한반도 주변 해역 퇴적물층 금속원소의 분포와 기원에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문, 262 p.  
 조성권·이철우·손영관·황인걸, 1995, 퇴적학. 도서출판우성, 512 p.  
 조영길·김주용, 1998, 영산강 하상퇴적물의 중금속 함량. 한국환경과학회지, 7, 281-290.  
 최만식·이석훈·이창복·조영길, 1996, 금강 퇴적물 중 미량금속의 분포 특성. 한국제4기학회지, 10, 27-52.  
 황선출·정성욱·박원우·김우성·이봉헌·박홍재, 1996, 낙동강 하류의 하상구조와 오염물질과의 상관관계 연구. 한국환경과학회지, 5, 481-494.  
 황선출·이봉헌·박원우·정영연·박홍재·정성욱, 1997, 낙동강-서낙동강-수영천 하구의 하상구조에 따른 연중 퇴적저도의 오염특성 연구와 부산근해 적조예의 영향에 관한 연구. 한국환경과학회지, 6, 513-520.  
 한국해양연구소, 1986, 한국해역 종합 해양자원도 작성연구(황해: 봄·가을·겨울철). 한국과학기술원 해양연구소, 337-445.  
 Adriano, D.C., 1986, Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, 533 p.  
 Allen, J.R.L., 1970, A quantitative modal of grain size and sedimentary structures in lateral deposits. Geological Journal, 7, 129-146.  
 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.  
 Duinker, J.C., Wollaster, R., and Billen, G., 1979, Behavior of manganese in the Rhine and Scheldt estuaries. Estuary and Coastal Shelf Science, 9, 727-738.  
 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.  
 Folk, R.L., 1968, Petrology of Sedimentary Rock. Hemphill's, 170 p.  
 Förstner, U. and Wittmann, G.T.W., 1981, Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin,

- Heidelberg, New York, 486 p.
- Füchtbauer, H. and Müller, G., 1970, *Sedimente und Sedimentgesteine Teil II*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nagele u. Obermiller), 726 p.
- Galehouse, J.S., 1971, Sedimentation analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology* (ed. Carver, R.E.), Wiley-Interscience Co., 69-94.
- Gibbs, R.J., 1977, Transport phase of transition metals in the Amazon and Yukon rivers. *Geological Society of American Bulletin*, 88, 829-843.
- Horowitz, A.J., 1991, A primer on sediment-trace element chemistry. Lewis Publishers, 136 p.
- Ingram, R.L., 1971, Sieve analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology* (ed. Carver, R.E.), Wiley-Interscience Co., 49-68.
- Lee, C.B., Park, Y.A., Kang, H.J., and Kim, D.C., 1991, Geochemical characteristics of the continental shelf and slope sediments off the southeastern coast of Korea. *Korean Journal of Quaternary Research*, 5, 15-31.
- Liss, P.S., 1976, Conservative and non-conservative behavior of dissolved constituents during estuarine mixing. In: *Estuarine chemistry* (ed. Burton, J.D. and Liss, B.S.), Academic Press, London, 93-130.
- Luoma, S.N., 1990, Process affecting metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments. In: *Heavy Metals in the Marine Environment* (ed. Furness, R.W. and Rainbow, P.S.), CRC Press, Inc., 51-66.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, *Principles of Geochemistry*. John Wiley & Sons Inc, 329 p.
- Oliver, B.G., 1973, Heavy metal levels of Ottawa and Rideau river sediments. *Environmental Science and Technology*, 7, 135-137.
- Salomons, W. and De Groot, A.J., 1978, Pollution history of trace metals in sediments, as affected by the Rhine River. In: *Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology* (ed. Krumbein, W.E.), Ann Arbor Science, 1, 149-162.
- Salomons, W. and Förstner, U., 1984, *Metals in the hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlin, 349 p.
- Thornton, I., 1983, *Applied Environmental Geochemistry*. Academic Press, 501 p.
- Walker, R.G. and Cant, D.J., 1984, Sandy fluvial systems. In: *Facies Models* (ed. Walker, R.G., 2nd edition), *Geoscience Canada Reprinted Series 1*, 71-90.
- Windom, H.L., Scropp, S.J., Calder, F.D., Ryan, J.D., Jr. Smith, R.G., Burney, L.C., Lewis, F.G., and Rawlison, C.H., 1989, Natural metal concentration in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States. *Environmental Science and Technology*, 23, 314-320.

2001년 4월 24일 원고 접수

2001년 7월 10일 수정원고 접수

2001년 8월 4일 원고 채택