

화순천의 퇴적환경 및 퇴적물과 하천수의 지구화학적 특성

오강호·고영구·김주용*·김해경*
전남대학교 과학교육학부·전남대학교 과학교육연구소
*전남대학교 지구환경과학부·전남대학교 해양연구소
(2002년 8월 3일 접수; 2002년 9월 17일 채택)

Sedimentary Environments, Geochemical Characteristics of Sediments and River waters, Hwasun-cheon

Kang-Ho Oh, Yeong-Koo Koh, Joo-Yong Kim* and Hai-Gyoung Kim*

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

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

(Manuscript received 3 August, 2002; accepted 17 September, 2002)

Sediments and river waters from the channel of Hwasun-cheon were studied in sedimentological size and geochemical analyses of metallic elements for the purposes of identification of depositional environments and geochemical characteristics. The sizes of sediments are assigned to pebble to coarse sand in mean size and polymodal in distribution. And the sediments are poorly to very poorly sorted and positively skewed. According to the grain size distributions of the sediments, the Hwasun-cheon belongs to gravel-bed river on the basis of the grain size distribution of the sediments.

The behaviors of metallic elements in the sediments mainly depend on not grain size distribution but the geology connected with geomorphological reliefs near the stream. Contamination indices(CI) of Zn, Cu and Pb are 2.83 to 6.96 with average 4.31 in the sediments. Hwasun-cheon is assigned to general stream type in accordance with water quality of physical factors and chemical characteristics by Piper's diagram. Though meaningful values of BOD, T-N, T-P were locally depicted near Masan-ri, Hwasun-eup and Jiseok-cheon areas, artificial metal concentration do not represent in the most area of the stream.

Sediments and river water are considered that the relatively more or less high metallic contents in the stream are originated from coal mine and urban area.

Key words : sediments, river water, Hwasun-cheon, geochemical characters, gravel-bed river, metallic elements, contamination indices, Piper's diagram

1. 서론

하천은 수자원적 측면에서 우리 생활과 밀접한 관계를 이루고 있다. 따라서 하천환경을 이해하고 효율적으로 관리하는 것은 필수적인 일이라 할 수 있다. 최근에 들어서 산업화에 따르는 오염문제가 하천환경에서도 대두됨에 따라 하천의 중요성이 크게 부각되고 있다. 하천의 오염 등에 의한 환경적

인 접근들은 주로 수질을 주 대상으로 활발히 연구가 진행되고 있으며, 이러한 하천은 토양과 암석을 풍화·침식시켜 지형의 변화를 초래하여 지표수와 지하수에 의해 오염물질을 이동시키기도 한다.^{1,2)} 그러나 하천환경을 정상적으로 이해하기 위해서는 수질뿐만 아니라 하상에 침적되는 퇴적물의 퇴적환경에 대한 연구 역시 중요하며, 이에 수반하여 퇴적물 내에 함유되는 중금속들을 비롯한 지화화학적 성분들의 거동(geochemical behavior)을 살피는 것이 하천환경을 전체적으로 파악하는 길이 될 수 있을 것이다.³⁻⁵⁾

하천에서 수질은 단기간에 걸친 하천환경의 특성

Corresponding Author : Kang-Ho Oh, Department of Science Education, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
Phone : +82-62-530-2510
E-mail : yeongsanriver@hanmail.net

변화를 반영한다. 이에 반하여, 하상퇴적물에 함유되어 있는 중금속들은 하천수에 함유된 성분들에 비해 시간적 변화가 적고 상대적 함량이 높아 환경에 대한 영향을 지속적으로 평가하는데 비교적 유효한 지구화학적 매개체로 알려져 있으며,⁶⁾ 중금속의 존재형태와 물리화학적 변화에 따라서는 하천수 중으로 재용출되거나 퇴적물 내로 침전되어질 가능성이 있기 때문에⁷⁾ 하천환경에 대한 영향이 높다고 할 수 있다.

특히 우리나라의 하천들은 대체로 곡류(meandering stream)를 이루는 경우가 많아 이러한 지화학적 특성에 있어서 관심의 대상이 되고 있으며, 그 대표적인 예로 영산강을 들 수 있다. 영산강 하상퇴적물의 지화학적 특성을 이해하는 데는 먼저 상류 수계를 이루는 지류들에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다. 그러한 지류들 중에서도 화순천은 인구 밀집지역을 관류하며 인근에 탄광이 위치하고 있어 영산강 하천환경에 대한 연구에서 비교적 중요성이 높다. 화순천은 전남 화순군에 위치하고 있으며, 영산강 지류중의 하나인 지식천의 제 2 지류로써 화순군 동면 청궁리에서 발원하여 도곡면 미곡리에서 지식천으로 합류한다. 화순천의 수계는 수지상 하계망(dendritic drainage network)의 형태이며, 제 3 지류인 복림천, 대포천, 동천, 만연천, 벌고천 및 태곡천 등을 포함한다. 화순천은 유로의 총연장이 28.64km로 그 유역면적은 123.8km²에 달한다. 화순천은 1905년 이후, 현재까지 무연탄을 채굴하는 화순탄광 지역에 인접해 있으며 신시가지로 확

장되는 인구 밀집지역인 화순읍을 관류한다(Fig. 1).

화순천과 주변지역에 대한 기 연구들은 이 하천이 탄전에 근접한 관계로 인해 주로 지질학적 및 자원적인 측면의 연구,⁸⁻¹⁰⁾ 광주화강암류에 대한 암석화학적 연구와,¹¹⁾ 영산강권역 수질보존과 관련된 국책연구 등¹²⁻¹⁴⁾에서 연구가 일부 진행된 바 있다. 또한 화순천의 본류인 영산강에 대한 기존의 연구들은 영산강의 퇴적환경에 있어 퇴적물 중에 함유된 금속성분들에 대한 지구화학적 연구가 일부 진행되고 있으나,^{4,5,15)} 화순천 등의 지류를 대상으로 한 수질 및 지구화학적 원소들의 거동을 이해하고 환경적인 요인과 관련된 성분들의 집중을 다룬 연구는 거의 수행된 바 없다.

따라서 이 연구에서는 영산강의 지류 중의 하나이지만 중요한 상류 수계를 이루는 화순천을 대상으로 채취된 퇴적물에 대한 퇴적학적 및 지구화학적 연구를 수행하여 화순천의 퇴적환경과 지구화학적 특성을 규명하는 한편, 화순천의 지리적인 위치상, 환경에 대한 영향정도가 높을 것으로 보이는 수질 성분들의 화학적 거동에 대한 연구를 병행하여 오염가능성의 검토에도 접근을 시도하였다.

2. 지질개관

영산강의 하계망이 전개되는 한반도 남서부는 선캄브리아기의 변성암류를 기반암으로 고생대 후기의 변성퇴적암류, 중생대 쥐라기의 화강암류들이 분포하고 있으며, 북동-남서 방향으로 전개되는 옥천습곡대 연변부를 따라 형성된 구조적 분지들에

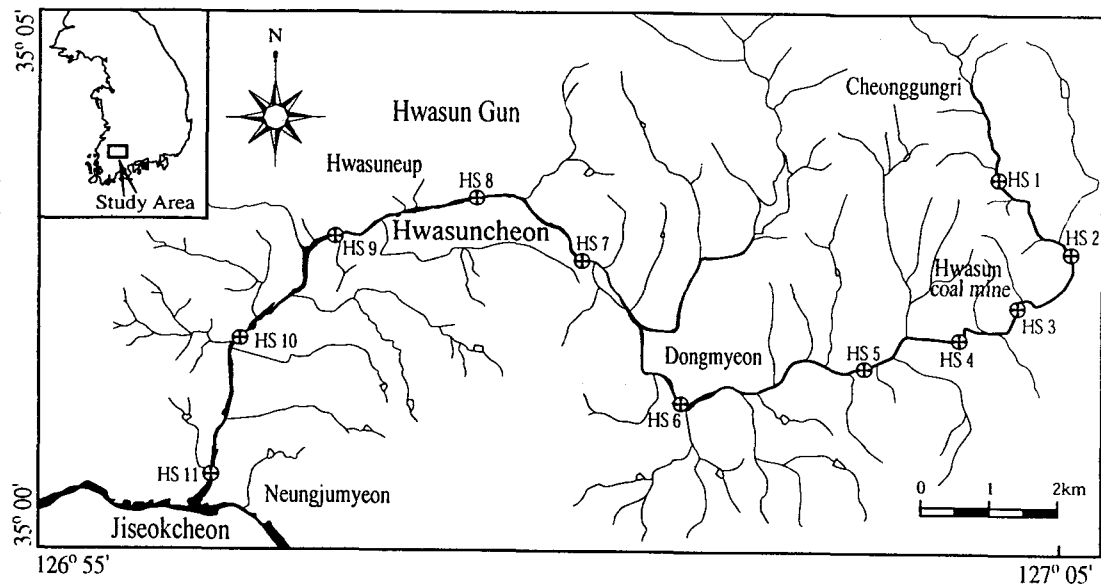


Fig. 1. Map showing the sediments and river waters sampling sites.

중생대 백악기의 활발한 화성활동에 수반된 화산쇄설성 퇴적암류와 안산암을 비롯한 화산암류들이 광범위하게 노출되고 있다.^{8-11,16,17)}

영산강의 지류를 이루는 화순천이 관류하는 연구지역의 지질 역시 선캄브리아기의 편마암류를 기반암으로 하여 고생대 후기의 평안누층군에 대비되는 운모편암과 각섬석편암 등을 주로 하는 변성퇴적암류들이 부정합적으로 피복하고 있다. 선캄브리아기의 편마암류는, 화순천이 북쪽으로 굴곡하는, 화순읍과 동면 일대에 분포한다. 고생대 후기의 변성퇴적암류는 구봉산 일대에 소규모로 노출되며, 이 암층들은 비교적 변성도가 낮은 천매암과 편암류들로 구성되고 무연탄층이 협재되어 현재 채탄작업이 이루어지고 있다. 이들 암체들은 중생대 쥐라기의 흑운모화강암을 비롯한 대보화강암에 대비되는 광주화강암이 폭넓게 관입하고 있다. 이 광주화강암류는 화순천이 남쪽으로 흐르는 화순읍에서 능주면 일대의 저지에 주로 분포한다(Fig. 2). 이후, 활발한 중생대 백악기 화산활동에 수반하여 이루어진 두꺼

운 화산쇄설성 퇴적층과 안산암을 비롯한 화산암류들이 전기한 백악기 이전의 암층들을 부정합적으로 피복하면서 연구지역에 광역적으로 분포한다. 이들 화산쇄설성 퇴적암류들은 경상남북도 일원에 매우 넓게 분포하는 경상누층군의 유천층군에 대비되는 것으로 알려지며,⁹⁾ 라필리 응회암과 세립질응회암 등으로 이루어진다. 이 화산쇄설성 퇴적층에는 응회암질 사암과 세일 등이 부분적으로 협재되며 안산암과 유문암 등의 화산암류에 의해 피복된다.¹⁸⁾ 이들 화산쇄설성 퇴적암류는 화순천 유로의 북쪽 연변부를 따라 연구지역의 대부분에 분포하며 특히 화순군 동면과 동북면 일대에서는 매우 두꺼운 층후를 보인다. 부가하여 이들 암층들은 같은 시기의 산성 및 중성맥암류에 의해 관입당하고 있다.

3. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 시료는 발원지인 청궁리를 기점으로, 화순천 지류를 따라 하류 쪽으로 진행하여, 지석천과 합류하는 곳까지 약 2~3km 간격으로 하

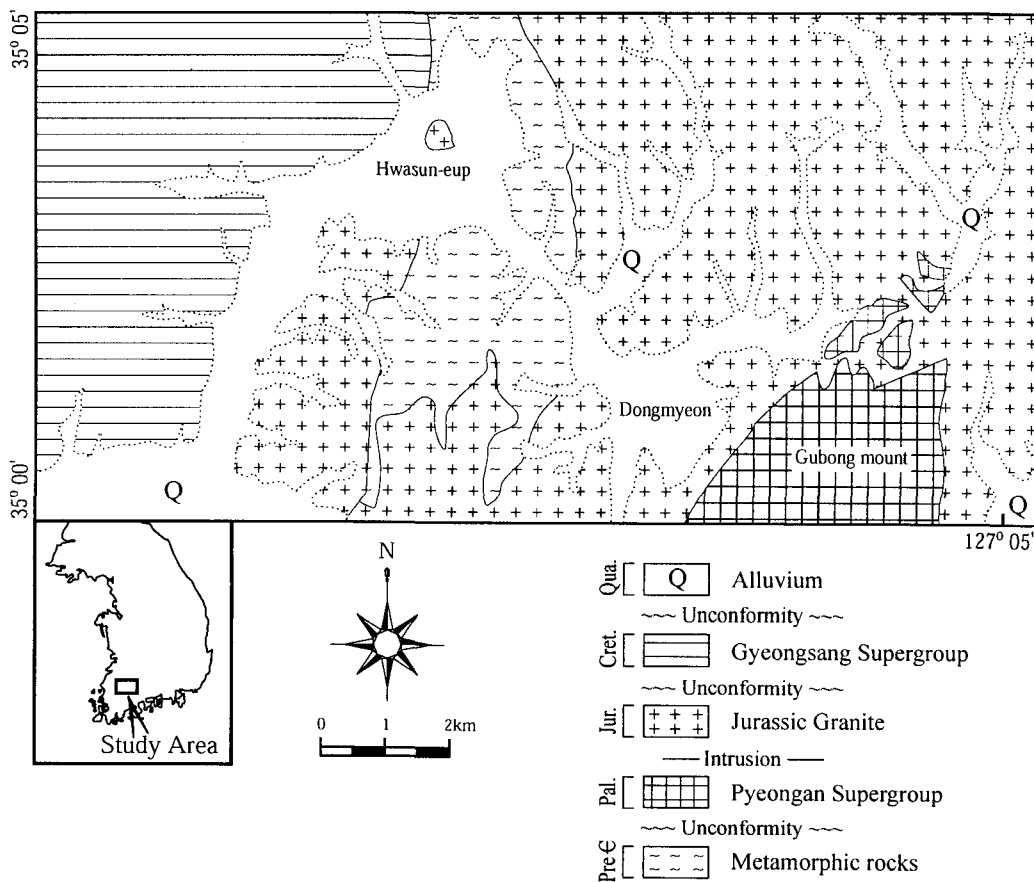


Fig. 2. Geological map in the study area (Modified after, Kim and Park, 1966; Kim *et al.*, 1990).

상퇴적물을 대상으로 하여 채취하였다. 채취된 시료는 퇴적물에 대한 퇴적학적 특성과 지구화학적 분석을 위한 시료로 구분하여 전 처리를 실시하였다. 특히 지구화학적 분석을 위한 시료들은 금속 기기에 의한 오염을 최소화하기 위해 플라스틱 삼을 이용하여 표층퇴적물을 채취하였으며, 약 1m 간격으로 채취한 9개의 부분시료를 합하여 하나의 시료로 사용하였다.

퇴적물의 입도 별 분포특성을 살펴보기 위한 입도분석은 시료를 20~30g 정도 취하여 과산화수소(H_2O_2)와 묽은 염산(HCl)으로 처리하여 유기물과 탄산염을 제거하였다. 정제된 시료는 Ingram¹⁹⁾과 Galehouse²⁰⁾의 방법에 따라 건조기에서 충분히 건조시켜 사질과 니질 부분으로 분리하였다. 사질 퇴적물의 입도는 표준체를 이용한 건식체질(dry sieving) 방법을 사용하였으며, 니질 퇴적물은 침전 속도를 이용한 피펫법(pipetting method)으로 퇴적물의 입도별 함량을 구하였다. 니질 퇴적물 처리시, 입자들의 응집을 방지하기 위한 확산제로 칼콘(sodium hexametaphosphate, $(NaPO_3)_6$)을 사용하였다. 퇴적물의 입도별 함량은 1 ϕ 간격으로 측정하여 중량비로 환산한 후, Folk and Ward²¹⁾에 의해 제안된 그래프 방법(graphic method)을 이용하여 조직매개변수들을 산출하였고, Folk²²⁾에 의해 제시된 삼각도를 이용하여 퇴적물의 유형을 분류하였다.

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

퇴적물 내의 탄산염 함량은 분말화 된 시료를 250ml 비이커에서 10% 정도의 묽은 염산과 충분히 반응시킨 후, 증류수를 사용하여 3~4회 따라 붓기(decantation)를 행하여 세척시켜 손실된 탄산칼슘의 중량을 측정하여 구하였다. 유기탄소의 함량은 일정량의 중크롬산칼륨($K_2Cr_2O_7$)과 황산을 혼합한 용액을 산화제로 사용하여 약 0.1g의 분말시료에

과량으로 넣어 시료 중의 유기탄소를 산화시키고 남은 양을 ferrous ammonium sulfate ($FeSO_4(NH_4)_2SO_4$)로 정량하는 역적정법(back titration)을 사용하였다.²³⁾ 이 때 매 회 실험마다 분석치의 신뢰도 검증을 위해 Standard Conversion Factor를 구하여 유기탄소 함량을 보정하였다.

하천수의 수질은 수질오염공정시험방법²⁴⁾에 의해 분석하였으며, T-N과 T-P의 경우 UV(Ultra Violet : Shimadzu, Visible Recording Spectrophotometer 160A)를 이용하여 각각 220 nm, 880nm에서 시료의 흡광도를 측정하고, 미리 작성한 검량선으로부터 T-N, T-P의 양을 구하여 농도를 산출하였다. HCO₃는 시료액 100ml를 pH meter를 이용하여 표준용액으로 적정한 후, methylene-bromocresol green과 phenolphthalein 지시약을 이용, 0.1N 탄산나트륨 표준용액(Na_2CO_3)으로 적정하였으며, Stednick²⁵⁾과 Greenberg 등²⁶⁾에 의해 제안된 계산식에 의하여 구하였다. 또한 하천수의 무기물질 및 중금속 분석의 경우, 양이온 및 중금속의 분석은 ICP (Induced Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometer : Jobin yvon 138)에 의한 유도결합 플라즈마 방식을, 음이온은 IC(Ion Chromatograph : Shimadzu HIC-10A)를 이용한 이온크로마토그래피법을 사용하여 분석하였다.

4. 결 과

4.1. 퇴적물의 입도별 분포 및 퇴적상

연구지역에서 채취된 화순천의 하상퇴적물을 대상으로 한 퇴적물 입도별 분포는 Table 1에 나타났으며, 전체적으로 입도변화는 상당히 불규칙하며 역을 함유한 사질퇴적물이 지배적이다. 퇴적물들의 평균입도(Mz)는 -1.16 ϕ ~1.87 ϕ 의 범위로 잔자갈(pebble)에서 조립 사(coarse sand)의 크기에 해당하며, 위치에 따른 차이는 있으나 전 시료에서 역들이 함유되고 있다. 이들 하상퇴적물은 지류의 상부역인 청궁폭포 부근에서 화순탄전 지역에 걸쳐서는 자갈을 많이 함유하고 있으나, 중부역인 화순읍 인근으로 내려오면서 지형의 평탄화에 기인한 상대적인 하상 경사의 완만함에 의해 사질의 함량이 증가하여 하류방향으로의 세립화(finishing) 경향을 보이는 하나 지식천과 합류하는 하부역에서는 자갈의 함량이 증가한다. 따라서 전체적인 입도 변화는 복모드(polymodal)적인 특성을 지닌다.

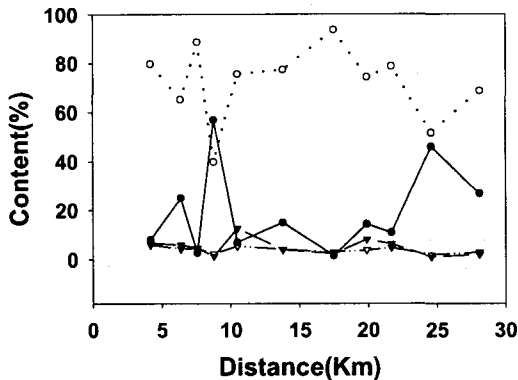
분급도(sorting)는 1.00~2.55 ϕ 로 상당히 불량하여 poorly sorted에서 very poorly sorted로 나타났으며, 하류로 진행하면서 거리에 따른 분급도 변화는 상당히 불규칙하였다. 그러나 화순천의 중간 부

화순천의 퇴적환경 및 퇴적물과 하천수의 지구화학적 특성

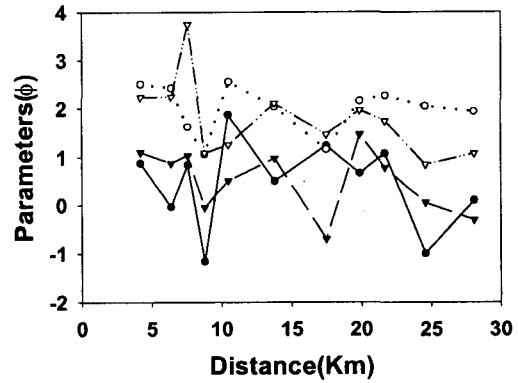
근 화순탄전 주변과 중류 지역에서는 부분적으로 약간 분급이 양호해지기도 한다. 퇴적물의 왜도 (skewness)는 -0.70~1.46 범위로 very coarse skewed에서 very fine skewed에 걸쳐 매우 광범위 하며, 그 변화는 편차가 크며 불규칙하다. 그러나 전체적으로 음의 왜도에 비해 양의 왜도가 우세한 편이다. 퇴적물의 첨도(kurtosis)는 0.84~3.74의 범 위로 platykurtic에서 extremely leptokurtic에 이르며, 값의 변화가 왜도처럼 불규칙하고 편차가 크다 (Fig. 3).

화순천의 하상퇴적물에서 분급이 불량한 쪽으로 편향되고 역질 퇴적물의 함량이 높은 한편, 양의 왜도가 우세한 것은 하천의 상류에서 자주 볼 수 있는 역질 하상 퇴적물(channel deposits)에 해당한다고 보여진다. 또한, 시료채취 위치에 따라 화순천

퇴적물의 조직매개변수들이 불규칙하게 변화하는 것은 주변지형 등의 영향으로 유로의 변화와 함께 유속변화가 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 화순천 하상퇴적물의 유형을 구분하기 위해서 입도별 중량 비를 구하여 Folk²²⁾에 의한 방법에 따라 삼각도에 도시하여 퇴적물들의 분류를 행하였다. 그 결과, 이들 퇴적물들은 주로 역을 함유한 조립질 퇴적상으로, 미량의 역 함유 사 ((g)S), 역질 사(gS), 역니질 사(gmS) 및 사질 역(sG) 등의 4개 퇴적상으로 구분된다 (Fig. 4). 이들 퇴적물들의 유형 별 분포를 살펴보면, 상부역에서는 모래를 함유하는 역 니질 사 및 사질 역이 우세하나, 중부역에서는 모래의 상대적인 비가 증가하는 역 니질 사로 다소 세립화 하다가, 화순천 하부역에서는 다시 다량의 역을 함유한 사질 역 및 역질 사로 조립화 한다.



● : Mean, ○ : Sorting, ▼ : Skewness, ▽ : Kurtosis



● : Gravel, ○ : Sand, ▼ : Silt, ▽ : Clay

Fig. 3. Horizontal variations of textural parameters in surface sediments of the Hwasun-cheon.

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

Site	Distance (km)	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean (Mz-φ)	Sorting (σ:φ)	Skewness (Sk)	Kurtosis (K _c)	Sed. type
HS 1	4.20	7.93	79.65	6.56	5.85	0.87	2.50	1.10	2.23	gmS
HS 2	6.40	24.87	65.17	5.71	4.25	-0.04	2.42	0.87	2.24	gmS
HS 3	7.60	2.55	88.57	4.50	4.38	0.84	1.62	1.03	3.74	(g)S
HS 4	8.80	56.86	39.77	1.19	2.17	-1.16	1.06	-0.05	1.08	sG
HS 5	10.50	6.82	75.47	12.48	5.23	1.87	2.55	0.51	1.25	gmS
HS 6	13.80	14.85	77.34	3.84	3.97	0.50	2.03	0.97	2.10	sG
HS 7	17.50	1.37	93.56	2.21	2.86	1.23	1.15	-0.70	1.46	(g)S
HS 8	19.90	14.21	74.19	7.94	3.66	0.66	2.15	1.46	1.96	gmS
HS 9	21.70	10.75	78.56	6.11	4.59	1.07	2.26	0.78	1.74	gmS
HS10	24.60	45.88	51.53	0.84	1.74	-1.00	2.04	0.05	0.84	sG
HS11	28.10	26.60	68.69	1.91	2.80	0.09	1.93	-0.31	1.07	gS

gmS : gravelly muddy sand, (g)S : slightly gravelly sand,
sG : sandy gravel, gS : gravelly sand.

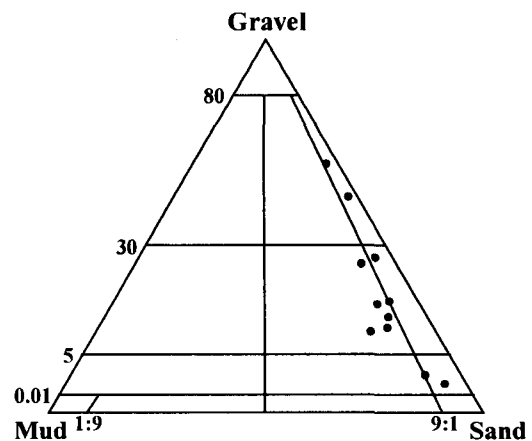


Fig. 4. Triangular diagram showing sediment types in surface sediments of the Hwasun-cheon.

4.2. 퇴적물의 지화학적 특성

화순천 하상퇴적물에서 채취된 시료의 중금속 함량은 중량 백분율로 Table 2에 제시하였다. 시료들 간 Cu가 72% (σ_x / \bar{X}), Ni 65%, Co 59% 및 Ca가 52%로 크게 나타났으며, Al, Zr, Ba가 20%, K가 18%로 다른 원소들에 비해 상대적으로 작게 나타났다. 최대값과 최소값의 차이는 Cu가 10배, Co, Na, Ca, Ni, Mg가 7배 정도로 비교적 큰 변화폭을 보였으며, Mn, Pb, P, Cr, Al, Sr, Zr, Ba 및 K 순으로 3 배 이하의 변화를 보였다.

연구지역인 화순천에서 금속원소의 변화를 살펴보면 Al을 비롯한 주성분원소들은 화순천의 발원지인 청궁리 지역에서 최대이며, 화순천 하류의 능주부근에서 최소로 나타나는 특징을 보인다. 이들 주성분 원소들은 상당히 불규칙하게 변화하나 대체로 상부역에서 하부역으로 다소 감소한다. 이러한 경향은 하천의 하부로 가면서 풍화에 의한 영향이 증가함을 시사한다고 볼 수 있다. 그러나 주성분 원소 중 P는 화순읍을 통과하는 곳에서 최대값을 나타낸다. 미량원소들의 변화는 주성분 원소들과 달리 일부 위치에 따른 변화상을 보인다. 중금속 원소들 중 대표적인 Cu와 Pb는 화순탄광이 위치하는 곳에서 최대이며, 화순읍을 관통하는 지점에서도

상대적으로 높게 나타난다. Co, Ni 및 Zn은 화순탄광의 하부에서 최대값을 보이며, 다른 미량원소들과 같이 화순탄광과 화순읍을 지나는 지점에서도 비교적 높게 나타난다.

이러한 퇴적물 내에서의 금속함량의 변화는 일반적으로 퇴적물의 입도에 의한 영향과 중금속 흡착력이 큰 유기물이나 산화물의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며,²⁷⁻³¹⁾ 이와 유사한 연구결과는 우리나라에서도 이미 보고된 바 있다.^{4,5,32)} 화순천에서 금속원소 함량의 변화는 이러한 요인들 중 특정 요인에 의한 영향이라기 보다는 여러 요인들의 복합적인 결과일 것으로 보이며, 이러한 요인들의 영향을 해석하기 위해서는 입도를 비롯한 유기물, 주변 지질 및 지형에 대한 영향을 고려할 필요가 있다.

특히 주변 암석에 대한 지화학적 성분은 풍화와 침식에 의해 하천 퇴적물에 많은 영향을 주기에, 이에 대한 함량 변화를 살펴보아야 할 것이다. 화순천 주변의 지질에 가장 큰 영향을 주는 암층은, 전술한 바와 같이, 중생대 쥬라기의 흑운모화강암을 비롯한 광주화강암으로 Table 2에 암석화학적 분석치를 부가하여 기재하였다. 연구지역에서 하상퇴적물과 주변 지질의 대표적 암석인 광주화강암류의 화학성분 변화는 Mg, Ca 및 Na 등을 비롯한 대대수 주성분원소와 미량원소인 Sr 및 V의 경우

Table 2. Element contents of the surface sediments and rocks in the study area

	Dis- tance (km)	Al	Fe	Mg	Ca	Na (%)	K	Ti	P	Mn	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Ni	Sc (ppm)	Sr	V	Y	Zn	Zr	Pb	Cd	CaCO ₃	C-org (%)
HS 1	4.2	8.33	4.61	0.92	1.04	1.11	3.13	0.40	0.06	0.09	922	13	32	21	40	12	13	229	92	25	92	178	31	<1	12.03	0.53
HS 2	6.4	6.22	3.23	0.54	0.49	0.77	2.23	0.51	0.04	0.07	612	11	29	14	45	11	9	127	72	16	74	171	26	<1	6.89	0.82
HS 3	7.6	6.23	2.23	0.31	0.30	0.47	2.15	0.23	0.03	0.07	554	23	29	50	64	34	7	116	49	13	89	151	41	<1	5.66	1.71
HS 4	8.8	5.36	1.66	0.14	0.14	0.16	1.65	0.17	0.03	0.04	449	19	26	14	60	30	6	98	35	11	56	146	24	<1	4.61	1.49
HS 5	10.5	6.71	2.67	0.44	0.38	0.83	2.21	0.28	0.04	0.07	672	31	28	20	61	48	8	154	53	19	101	162	23	<1	7.36	1.33
HS 6	13.8	6.35	2.66	0.40	0.44	0.99	2.43	0.23	0.04	0.07	769	17	21	14	41	25	6	170	44	18	75	183	20	<1	7.40	0.68
HS 7	17.5	6.21	2.07	0.36	0.35	1.02	2.91	0.19	0.03	0.03	775	13	24	11	37	18	7	136	38	14	54	142	19	<1	5.98	1.11
HS 8	19.9	5.39	1.67	0.33	0.66	0.69	2.34	0.19	0.08	0.03	699	6	23	22	32	12	6	144	35	12	86	163	34	<1	7.07	1.40
HS 9	21.7	5.68	2.34	0.43	0.68	1.11	2.37	0.25	0.04	0.06	740	11	21	10	29	15	6	179	47	13	58	115	19	<1	6.73	1.21
HS10	24.6	3.40	1.43	0.24	0.38	0.59	1.82	0.14	0.03	0.03	550	4	13	5	21	7	4	119	25	8	29	150	14	<1	4.45	0.14
HS11	28.1	5.41	2.13	0.53	0.94	1.22	2.17	0.20	0.03	0.03	592	5	24	6	28	7	7	219	46	11	38	79	16	<1	5.50	0.09
Mean	-	5.94	2.43	0.42	0.53	0.81	2.31	0.25	0.04	0.05	667	14	25	17	42	20	7	154	49	15	68	149	24	-	6.70	0.96
Min	-	3.40	1.43	0.14	0.14	0.16	1.65	0.14	0.03	0.03	449	4	13	5	21	7	4	98	25	8	29	79	14	-	4.45	0.09
Max	-	8.33	4.61	0.92	1.04	1.22	3.13	0.51	0.08	0.09	922	31	32	50	64	48	13	229	92	25	101	183	41	-	12.03	1.71
STDEV	-	1.19	0.89	0.20	0.28	0.32	0.42	0.11	0.02	0.02	133	8	5	12	15	13	2	42	19	5	23	30	8	-	2.05	0.55
Rock1*	-	8.58	3.31	1.47	3.44	2.12	1.69	0.35	0.07	0.05	694	14	32	9	31	18	10	390	89	16	53	14	-	-	-	-
Rock2*	-	8.22	3.16	1.41	3.29	2.11	1.64	0.36	0.07	0.05	634	13	26	13	29	21	10	402	89	14	52	13	-	-	-	-
Rock3*	-	7.91	1.97	0.71	2.24	2.13	2.42	0.23	0.05	0.04	855	8	12	13	46	10	5	333	41	12	41	15	-	-	-	-
Mean	-	8.24	2.81	1.19	2.99	2.12	1.91	0.31	0.07	0.05	728	12	23	12	35	16	8	375	73	14	49	14	-	-	-	-
Min	-	7.91	1.97	0.71	2.24	2.11	1.64	0.23	0.05	0.04	634	8	12	9	29	10	5	333	41	12	41	13	-	-	-	-
Max	-	8.58	3.31	1.47	3.44	2.13	2.42	0.36	0.07	0.05	855	14	32	13	46	21	10	402	89	16	53	15	-	-	-	-
STDEV	-	0.34	0.74	0.42	0.66	0.01	0.43	0.07	0.01	0.01	114	3	10	2	9	6	3	37	28	2	7	1	-	-	-	-

(* : modified after, Park, 1999)

화순천의 퇴적환경 및 퇴적물과 하천수의 지구화학적 특성

광주화강암에서 비교적 높은 값을, Zr, Zn 및 Cu 등은 하상퇴적물에서 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 이는 암석이 초기분화과정에서 생성된 후, 풍화와 침식을 받아 쇄설성 퇴적물로 하천에 퇴적되면서 하천수에 의해 일부 금속이 용해되어진 결과로 보이며, 풍화와 침식에 강한 Zr, Zn 및 Cu 등의

중금속 원소들은 상대적으로 높은 함량을 나타내는 것으로 보인다.

Fig. 5는 하상퇴적물의 평균 입도와 금속원소들의 함량과의 관계를 도시한 것으로, Al, K, Zn 등이 입도와 비교적 양호한 관련성을 보여 입도가 세립화함에 따라 함량이 다소 증가하였으나, 대다수

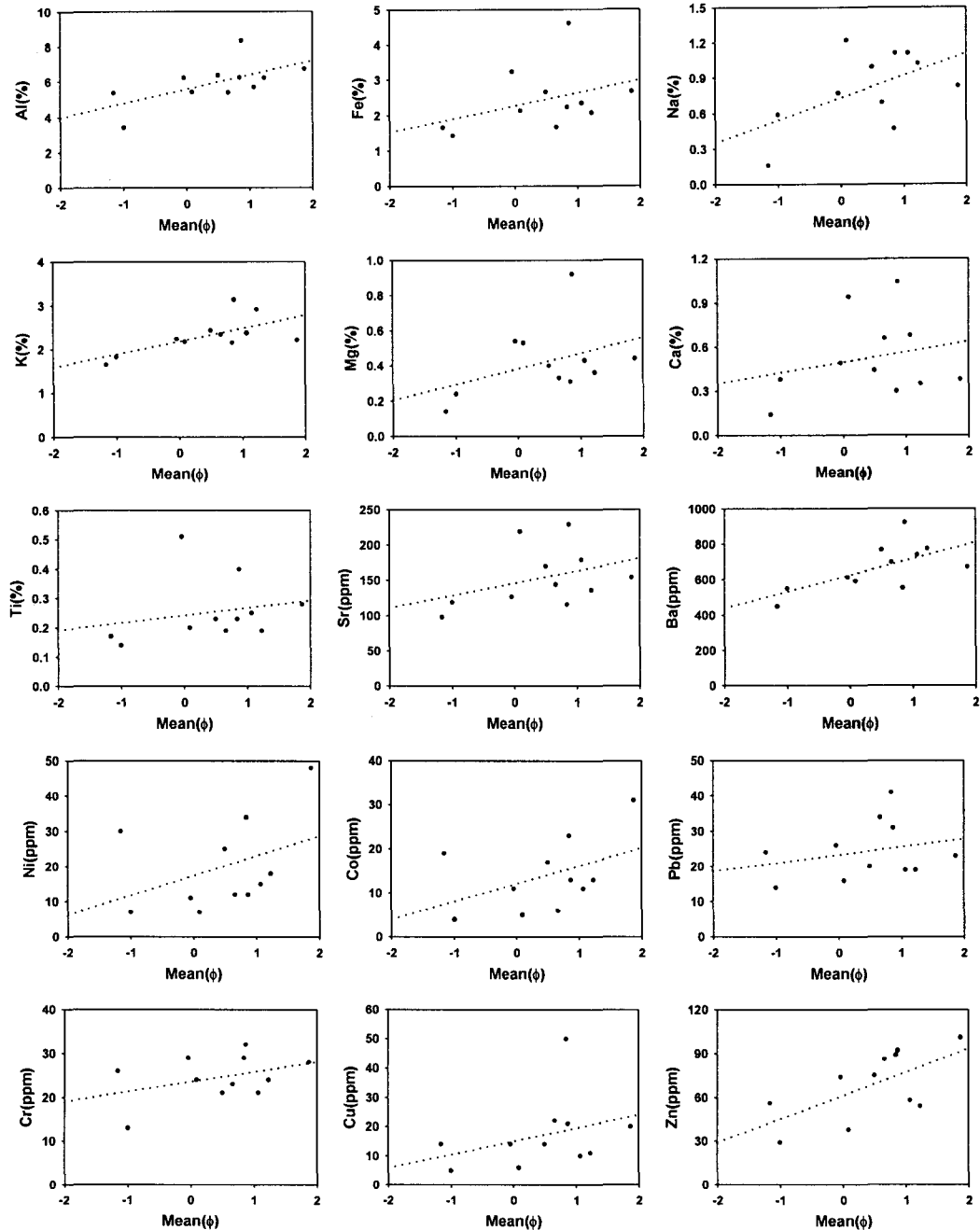


Fig. 5. Pair diagram between metal and mean grain size in surface sediments of the Hwasun-cheon.

금속원소들은 입도에 대해 상대적으로 미약한 정(+)의 상관관계를 나타냈다. 금속원소의 거동은 입도의 세립화에 대해 비교적 일정하게 증가하는 경향이 일반적이기는 하나,^{33,34)} 이들 퇴적물에서 보는 것처럼 금속함량의 분포가 다양하게 나타나는 것은 입도 이외의 다른 요인이 크게 작용하고 있는 것을 생각해 볼 수 있다.

즉 입도 이외의 요인들로서, 인간활동에 의한 생활하수 및 농업용수 등의 영향에 의한 유기물의 유입, 주변 지질을 구성하는 암석의 영향 및 풍화에 따른 다양한 변화 등을 들 수 있다. 연구지역에서의 입도에 의한 영향과 더불어 금속원소의 조절요인으로 보여지는 유기물 및 기타요인에 의한 영향을 파악하기 위하여, 유기탄소(C-org), 무기질 탄산염(CaCO₃) 및 금속원소들간의 상관관계를 Table 3에 수록하였다. 유기탄소의 경우 Co, Cu, Li, Ni 및 Pb 등이 비교적 양호한 상관관계를 보였다. 또한 무기질 탄산염과 금속원소들간의 상관관계는 주성분원소를 비롯한 Ba, Sc, V 및 Y 등의 금속원소에 유기물보다 상대적으로 높은 상관관계를 보여 무기질 탄산염 등의 지질학적인 면에서의 함량변화가 금속원소들의 거동에 영향을 주는 것으로 보인다. 따라서 화순천 퇴적물의 지화화학적 특성은 단순히 입도의 영향이라기 보다는 인위적인 영향, 주변지

질의 영향, 풍화·침식에 의한 영향 등이 복합적으로 작용하는 것으로 보여지며, 부가적으로 하천 흐름의 영향까지 고려해야할 것으로 생각된다.

4.3. 하천수의 지화학적 특성

하상퇴적물 내 금속원소의 분포 및 거동에 영향을 주는 하천수를 분석한 결과, BOD, COD 및 부영화를 일으키는 물질로 알려진 T-N, T-P의 변화는 상부역 마산리 부근, 화순읍을 관류하는 지역과 지식천에 합류되는 죽청리 부근에서 높은 값의 농도를 나타내었다(Table 4). 특히 BOD는 환경부²⁴⁾의 하천수수질환경기준으로 V등급을 나타내어 생활하수 및 농업용수 등에 의한 유기물들이 수질에 많은 영향을 주는 것으로 보인다.

SO₄²⁻의 경우, 연구지역에서 분석되어진 음이온 중 가장 큰 변화를 보이며, 북암리의 석탄공사 부근에서 340mg/l의 높은 값을 보이거나 하류 방향으로 대체로 감소하는 경향이 인지된다. 일반적으로 SO₄²⁻는 철광과 탄광의 갱내수 중에 높은 농도로 함유되어져 있으며, 공업폐수 및 생활하수의 유입으로 인해 증가되어지는 것으로 알려져 있다.³⁵⁾ 화순천 및 영산강 수질에서 나타나는 SO₄²⁻의 농도가 평균 50mg/l 내외의 값을 나타내는 것과 비교하여 볼 때,⁵⁾ 탄전을 지나는 하천수에서 SO₄²⁻의 농도가 높게 나타나는 것은 인위적인 요소보다 탄전을 비

Table 3. Geochemical correlation chart in the study area

	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	P	Mn	Ba	Co	Cr	Cu	Li	N	Sc	Sr	V	Y	Zn	Zr	Pb	CaCO ₃	C-org	Mz
Al	1.00																								
Fe	0.86	1.00																							
Mg	0.75	0.92	1.00																						
Ca	0.37	0.55	0.82	1.00																					
Na	0.39	0.47	0.69	0.75	1.00																				
K	0.74	0.68	0.74	0.55	0.70	1.00																			
Ti	0.63	0.82	0.70	0.34	0.27	0.39	1.00																		
P	0.31	0.26	0.38	0.53	0.24	0.47	0.18	1.00																	
Mn	0.78	0.85	0.65	0.23	0.21	0.42	0.72	0.13	1.00																
Ba	0.67	0.67	0.73	0.58	0.74	0.94	0.35	0.56	0.48	1.00															
Co	0.47	0.19	-0.08	-0.48	-0.27	-0.05	0.11	-0.26	0.50	-0.05	1.00														
Cr	0.84	0.67	0.54	0.19	0.03	0.39	0.65	0.16	0.61	0.22	0.51	1.00													
Cu	0.38	0.15	0.00	-0.19	-0.36	0.06	0.12	0.17	0.43	-0.06	0.53	0.54	1.00												
Li	0.43	0.15	-0.14	-0.52	-0.52	-0.18	0.19	-0.25	0.43	-0.28	0.89	0.67	0.67	1.00											
Ni	0.29	-0.03	-0.27	-0.57	-0.37	-0.19	-0.09	-0.26	0.32	-0.17	0.97	0.36	0.50	0.86	1.00										
Sc	0.88	0.94	0.89	0.55	0.37	0.67	0.76	0.30	0.71	0.58	0.20	0.82	0.23	0.25	0.00	1.00									
Sr	0.50	0.60	0.82	0.91	0.85	0.61	0.26	0.35	0.34	0.67	-0.23	0.20	-0.22	-0.39	-0.32	0.54	1.00								
V	0.83	0.97	0.90	0.55	0.39	0.59	0.88	0.25	0.82	0.54	0.17	0.77	0.22	0.21	-0.04	0.96	0.54	1.00							
Y	0.93	0.92	0.80	0.39	0.42	0.71	0.66	0.33	0.84	0.75	0.42	0.66	0.20	0.29	0.24	0.86	0.53	0.84	1.00						
Zn	0.74	0.54	0.37	0.05	-0.03	0.37	0.48	0.50	0.70	0.39	0.65	0.71	0.68	0.62	0.57	0.56	0.09	0.55	0.71	1.00					
Zr	0.38	0.41	0.14	-0.26	-0.28	0.23	0.39	0.33	0.52	0.31	0.35	0.24	0.32	0.35	0.28	0.31	-0.26	0.32	0.55	0.62	1.00				
Pb	0.45	0.26	0.14	-0.01	-0.35	0.16	0.28	0.46	0.41	0.05	0.33	0.64	0.91	0.56	0.29	0.39	-0.16	0.36	0.29	0.74	0.42	1.00			
CaCO ₃	0.84	0.90	0.89	0.64	0.50	0.78	0.62	0.59	0.74	0.84	0.11	0.55	0.15	0.02	-0.06	0.86	0.67	0.84	0.92	0.63	0.47	0.33	1.00		
O-org	0.20	-0.19	-0.39	-0.53	-0.51	-0.11	-0.08	0.11	0.11	-0.16	0.61	0.38	0.64	0.69	0.66	-0.08	-0.52	-0.12	-0.01	0.55	0.22	0.62	-0.11	1.00	
Mz	0.63	0.38	0.40	0.24	0.54	0.65	0.22	0.35	0.42	0.64	0.45	0.40	0.34	0.19	0.40	0.38	0.38	0.34	0.56	0.64	0.10	0.26	0.49	0.34	1.00

화순천의 퇴적환경 및 퇴적물과 하천수의 지구화학적 특성

못한 주변 지질에 의한 농도 변화일 가능성이 있다. 또한 하천수에서 SO_4^{2-} 의 거동을 같이하는 원소로 알려진 As의 경우 석탄공사가 위치하고 있는 지역에서 $17\mu g/l$ 의 비교적 높은 값이 관찰되어 동일한 거동을 하는 것으로 나타났다.

Piper's diagram에 의한 연구지역 하천수의 화학적 특성은, 양이온의 경우 Na+K가 주된 유형으로, 음이온은 SO_4^{2-} 가 우세한 것으로 나타났다(Fig. 6). 이는 화순천의 수질이 화순탄전 등의 주변 지질의 영향을 받아 SO_4^{2-} 를 비롯한 Na+K의 함량이 높은 것으로 해석된다. 이처럼 화순천 수질에 많은 영향을 주고 있는 양이온과 음이온의 주성분원소들이 암석의 풍화에서 비롯되는 산물이거나 대기로부터의 유입, 또는 인간활동에 의한 영향으로 인해 생성된다면 하천수의 이온변화에 많은 영향을 줄 수 있을 것이다.³⁶⁾ 또한 무기염류나 탄산염 광물의 용해 및 풍화작용 등에 의해 하천수의 주요 이온 성분들이 결정된다면 양이온과 음이온 사이에는 비례적 상관관계를 기대할 수도 있다.³⁷⁻⁴⁰⁾

Fig. 7은 이들의 상관성을 나타낸 것으로, Na vs Cl의 평균 당량비는 -0.12로 해양성 에어로졸의 평균 당량비인 0.83보다 낮게 나타났다. 한편 K vs Cl의 당량비는 0.14로 해양성 에어로졸의 0.018보다 높게 나타나는 특징을 보이고 있다. 즉 이들 주성분원소들은 대기순환 및 강우에 의한 영향 외에도 다른 원인에 의해서도 유입되고 있음을 반증한다. 특히 (Na+K) vs Cl의 경우 (Na+K)/Cl=1의 직선에

근사한 특징을 보이는데, 이는 K를 함유하고 있는 규산염 광물의 풍화에서 유래한 것으로 볼 수 있다. 이같은 특징은 (Ca+Mg) vs 총 양이온 당량값 (TZ')의 관계에서도 나타난다.

4.4. 퇴적물 및 하천수 오염

하상 퇴적물 내의 금속원소의 부화나 인위적인 오염 등을 효율적으로 파악하기 위해서 부화지수 (enrichment factor; EF)를 구하였다.³³⁾ 이 때 보존성원소로는 일반적으로 Al과 Fe가 이용되는데, 본

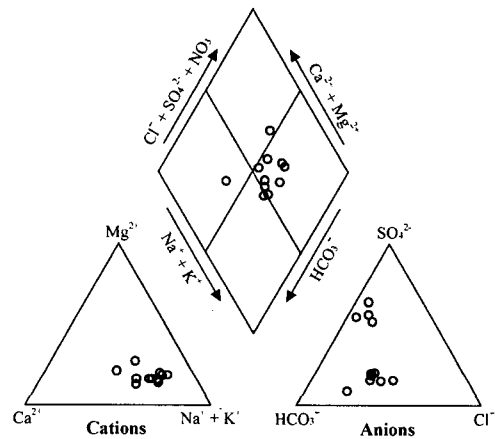


Fig. 6. Piper diagram showing the chemical compositions of the surface waters from the Hwasun-cheon.

Table 4. The chemical constituents of water samples in the study area

Site	Dis-tance (km)	pH	DO	BOD	COD	TN	TP	SS	Si	Mg	Ca	Na	K	HCO ₃	F	Cl	NO ₃	SO ₄	As	Se	Zn	Cd	Pb	Cu	Cr
			(mg/ℓ)														(μg/ℓ)								
HS 1	4.2	7.14	4.17	1.43	3.08	1.57	0.00	15.20	2.62	2.32	7.34	3.57	0.77	39.04	0.04	7.66	1.53	4.55	ND	ND	1	ND	1	1	1
HS 2	6.4	6.95	2.78	6.14	12.74	7.65	0.53	26.00	1.93	3.21	10.80	7.55	4.06	43.92	0.22	20.76	2.89	15.90	ND	1	6	ND	1	4	1
HS 3	7.6	7.16	6.21	4.31	7.98	4.22	0.28	12.00	1.42	2.44	10.80	7.60	3.50	36.60	0.16	23.78	3.59	15.12	1	ND	2	ND	1	5	1
HS 4	8.8	6.98	5.58	2.74	5.02	0.08	0.06	15.60	1.73	9.42	15.70	13.50	2.65	81.74	0.23	11.31	0.32	276.59	17	1	5	ND	ND	1	ND
HS 5	10.5	8.39	7.81	1.21	2.62	1.30	ND	1.60	1.33	12.30	15.70	39.80	4.29	162.26	0.46	12.09	0.85	340.30	7	1	1	ND	ND	1	ND
HS 6	13.8	7.37	5.30	1.23	2.18	3.66	0.04	4.00	1.58	10.20	14.90	27.60	4.19	90.28	0.18	17.44	3.69	230.04	ND	ND	3	ND	1	1	ND
HS 7	17.5	7.29	4.52	1.38	2.80	2.99	ND	2.80	1.34	9.54	14.90	29.10	5.12	85.40	0.16	23.13	2.97	202.55	ND	ND	5	ND	ND	1	ND
HS 8	19.9	7.12	7.14	6.27	10.94	4.03	0.05	11.00	1.01	4.00	10.50	15.40	4.51	65.88	0.09	23.94	2.50	32.24	ND	ND	1	ND	ND	1	ND
HS 9	21.7	7.49	5.31	8.92	17.84	4.00	0.25	3.40	1.91	4.52	11.20	14.30	3.40	63.44	0.08	22.65	2.12	34.56	ND	ND	2	ND	ND	3	ND
HS10	24.6	7.67	4.80	4.35	7.95	2.57	0.15	10.80	1.23	4.10	10.90	12.50	3.22	54.90	0.08	21.60	2.04	32.49	ND	ND	8	ND	1	2	ND
HS11	28.1	7.69	6.17	9.43	17.45	1.58	0.20	8.00	1.14	5.41	11.90	17.20	5.80	82.96	0.32	29.27	0.67	36.06	1	ND	4	ND	1	2	ND
Mean	-	7.36	5.36	3.80	7.32	3.21	-	10.24	1.61	6.21	12.27	17.09	3.57	72.35	0.17	18.44	2.25	118.43	-	-	3.4	-	-	2.0	-
Min	-	6.95	2.78	1.21	2.18	0.08	-	1.60	1.01	2.32	7.34	3.57	0.77	36.60	0.04	7.66	0.32	4.55	-	-	1.0	-	-	1.0	-
Max	-	8.39	7.81	9.43	17.84	7.65	-	26.00	2.62	12.30	15.70	39.80	5.80	162.26	0.46	29.27	3.69	340.30	-	-	8.0	-	-	5.0	-
STDEV	-	0.42	1.40	3.05	5.83	2.03	-	7.25	0.46	3.54	2.69	10.86	1.33	35.20	0.12	6.55	1.16	124.88	-	-	2.3	-	-	1.4	-

(ND : no detected)

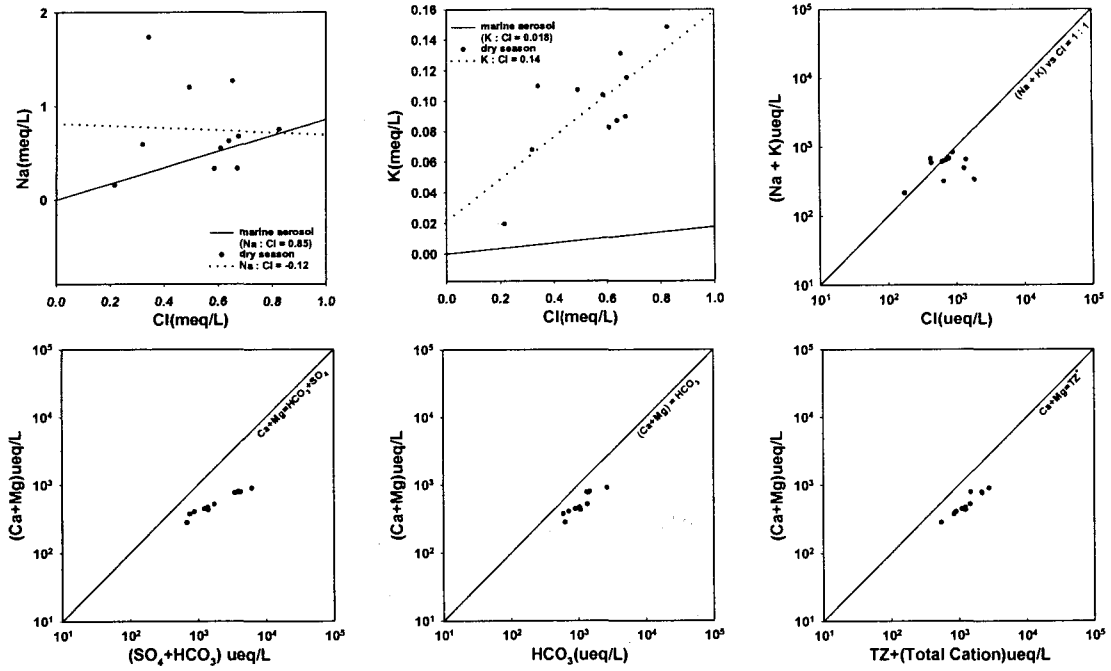


Fig. 7. Scatter diagrams of cations and anions for the water samples in the Hwasun-cheon.

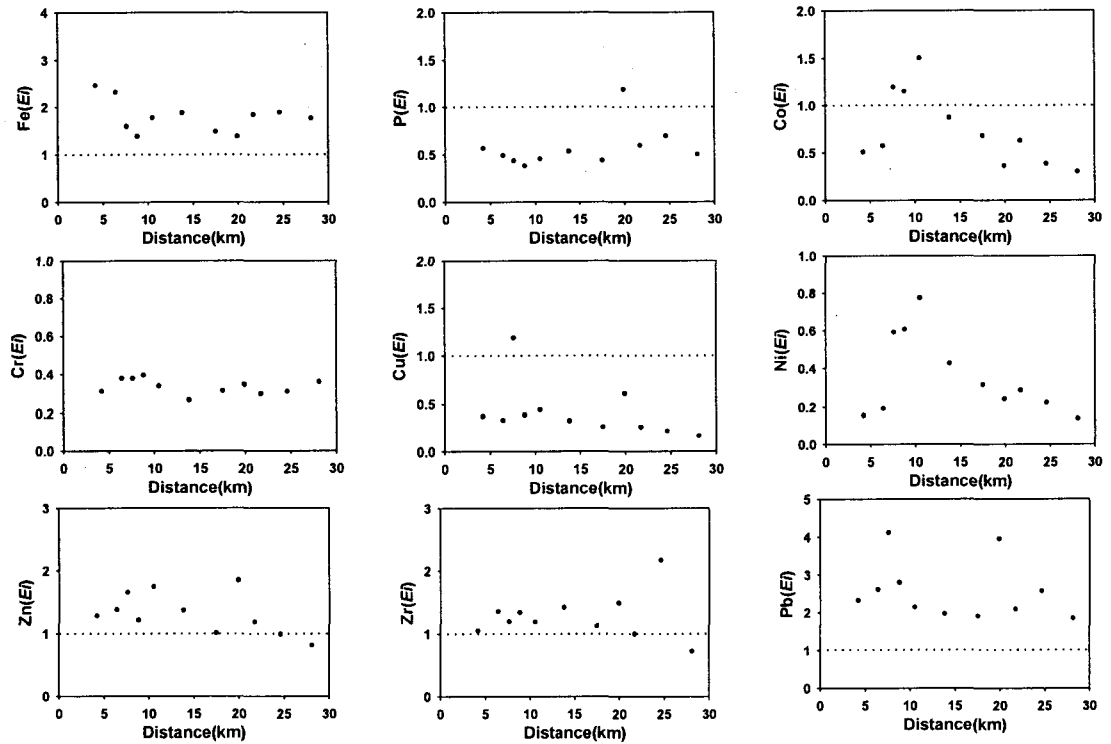


Fig. 8. Horizontal variations of enrichment factor of elements in surface sediments, Hwasun-cheon.

연구에서는 상대적으로 함량 변화가 적은 Al을 이용하였으며, 지각 평균값은 Mason and Moore⁴¹⁾에 의해 제시된 클라크 수(clark of concentration)를 사용하였다.

$$\text{Enrichment Factor (EF)} = \frac{\left(\frac{\text{Metal}_{(\text{sediment})}}{\text{Al}_{(\text{sediment})}} \right)}{\left(\frac{\text{Metal}_{(\text{crust})}}{\text{Al}_{(\text{crust})}} \right)}$$

연구지역의 금속원소의 부화지수를 살펴보면 (Fig. 8), Fe와 Pb가 전 지역에 걸쳐 지각 평균함량을 넘어 부화되어 있으며, 화순탄광 주위와 화순읍 부근에서 비교적 높게 나타났다. Zn과 Zr도 능주 부근의 하부역을 제외하고는 부화된다. 이와는 달리 지역에 따라 일부 집중되는 경향을 가지는 원소들로는 Co가 화순탄광 인근에서 부화되어 탄층에 의한 영향이 있음을 시사하고, P는 화순읍이 위치한 곳에만 부화되어 화순읍으로부터 흘러나오는 생활하수가 영향을 미친 것으로 보인다.

특히 Zn, Cu 및 Pb는 개별적인 인자로서 인간활동에 안 좋은 영향을 미칠 가능성이 있는 원소들로, 이들 개개의 인자를 하나의 인자로 하여 퇴적물 오염을 종합적으로 파악할 수 있는 오염지수(contamination index; CI)를 산출하는 것은 의미 있는 것으로 생각된다.^{42,43)} Fig. 9는 오염지수의 변화를 나타낸 것으로 Zn, Cu 및 Pb의 개별적 인자들에 의한 오염지수는 2.83~6.96의 범위를 보이며, 평균 4.31의 값을 보인다. 특히 화순탄광과 화순읍

에서 오염지수는 각각 6.96과 6.40으로 지각평균치의 2 배 정도 농축을 보여, 이들 원소들의 지역적인 농축이 있음을 시사하고 있다(Fig. 10).

하천수 오염의 경우, Kerndorff 등⁴⁴⁾에 의해 제시된 오염지수(contamination index; CI)를 이용하여 구하였으며, 바탕값의 함량이 나타나지 않는 원소는 제외하였다. 수질오염에서 오염지수는, 주변의 오염되지 않은 하천수인 최상류의 값을 바탕값(background value)으로 하여 1보다 클 경우 지질매체와의 반응이 아닌 특정오염원에 의해 오염된 것을 의미한다. 화순천에서 나타난 하천수 오염지수는 BOD, T-N, Na, K, 및 Cl 등이 바탕값의 함량과 비교할 때, 매우 높은 대조를 보여 오염지수인자(cotamination indicator)로 적절한 것으로 판단된다(Fig. 11). 부가하여, 상류에서 SO₄²⁻(CI=75)는 오염에 의한 영향보다는 석탄 채굴의 영향이 보다 크

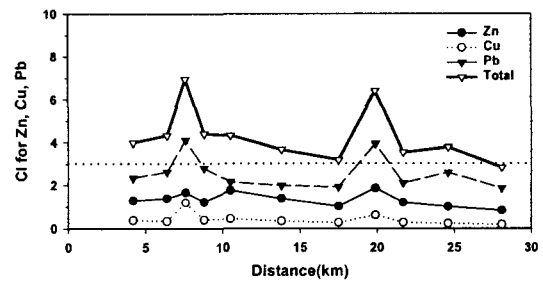


Fig. 9. Horizontal variations of contamination index (CI) for Zn, Cu and Pb in surface sediments of the Hwasun-cheon.

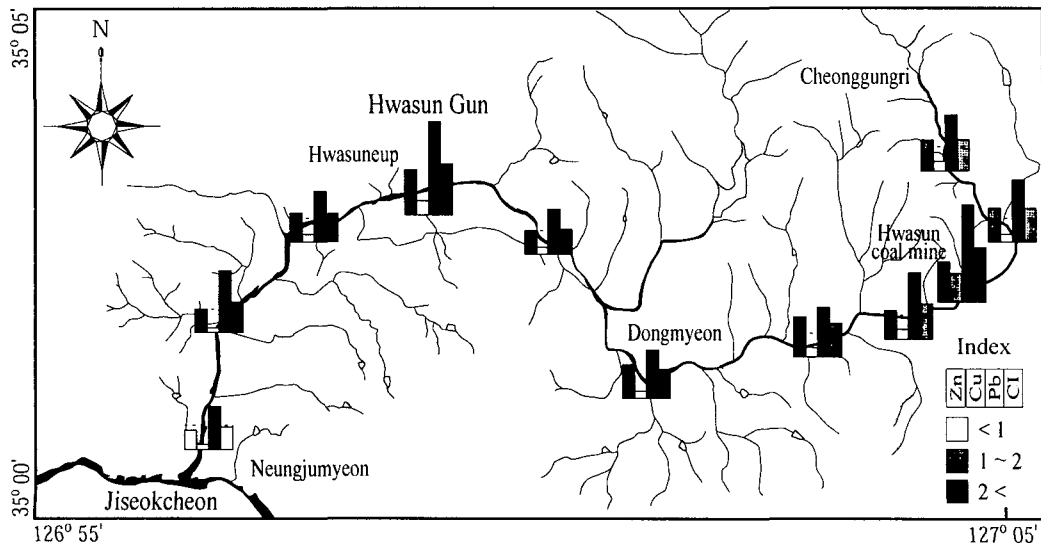


Fig. 10. CI values of the sediments in Hwasuncheon.

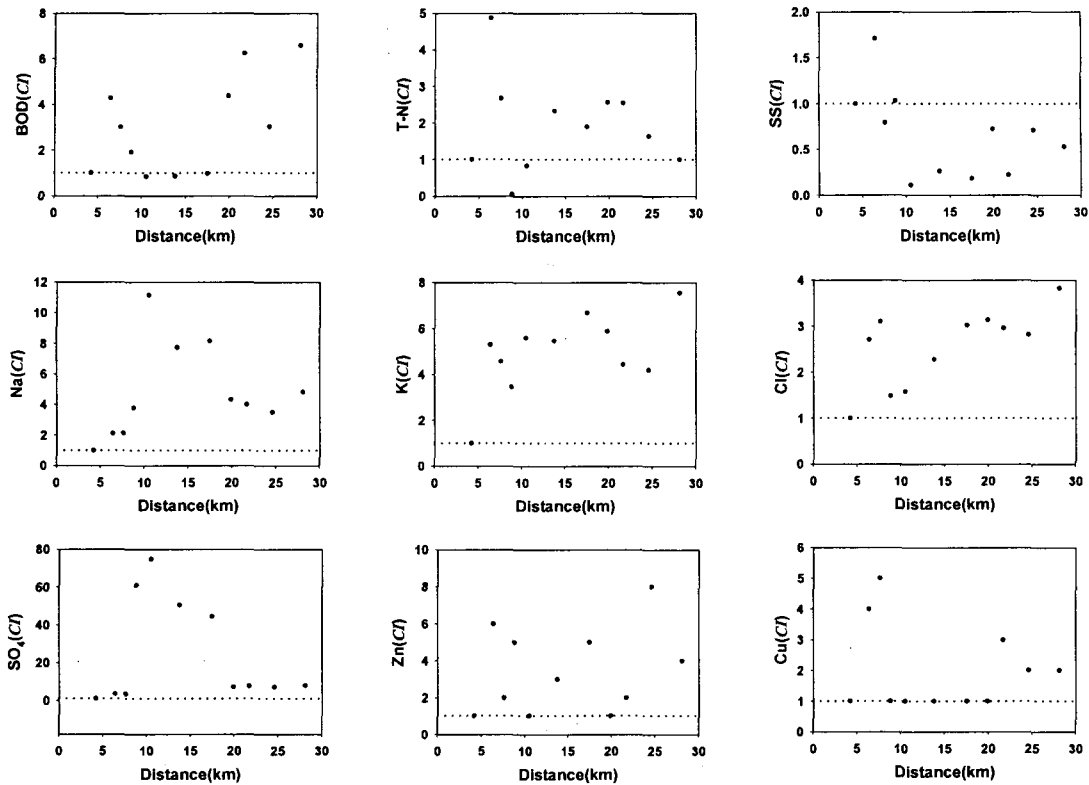


Fig. 11. Horizontal variations of contamination indices in river waters, Hwasun-cheon.

게 반영되어 나타나는 현상으로 보이며, 미량으로 존재하는 Zn(8) 및 Cu(5)와 함께 오염지시인자로서 화순천에 적용하기에는 체계적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

5. 토의 및 결론

화순천 하상퇴적물에 채취된 시료에 대한 퇴적물의 입도분포를 분석한 결과, 퇴적물의 입도는 잔자갈에서 조립 사의 크기로 비교적 조립질의 퇴적물이 분포하며, 분급도는 poorly sorted에서 very poorly sorted로 나타났다. 한편 왜도는 전체적으로 양으로 편향된다. 전술한 것처럼, 퇴적물의 퇴적상은 전체적으로 역의 함량이 높은 역질 사, 역 니질 사 등의 조립질 퇴적물들이 주를 이루고 있어, 이들 하상퇴적물은 하천 상류에서 보이는 역질하상하천(gravel-bed river)의 퇴적상을 이루고 있다.^{45,46)} 그리고 주변 고지에서 퇴적물이 공급되어 자갈을 많이 함유하는 조립질 퇴적물이 주를 이루었고, 화순읍 부근 등 평탄한 지역에서는 일시적으로 유속이 감소하여 사질의 함량이 증가했던 것으로 생각된다. 다시 지석천과 합류하는 곳에서는 주변고지

에 유리가 인접되어 자갈을 함유하는 조립질 퇴적물이 증가한 것으로 생각된다.

퇴적물에 함유된 금속원소들의 분포상을 보면 Al을 비롯한 금속 원소들의 경우는 어느 정도 입도와 연관성을 보이기는 하나, 그 정도는 그리 현저하다고 볼 수 없으며 유기탄소 또한 연관성이 미약하였다. 반면 탄산염 함량은 Al, Fe, Mg, Sr 등 여러 금속원소들의 함량분포와 상관성을 보유하여, 금속원소 함량에 일부 조절요인으로 작용했을 것으로 보인다. Zr, Sc, Ti 등의 원소들은 자갈의 함량이 많은 화순천의 상부역에서 상대적으로 높게 나타난다. 이처럼 금속원소들의 입도에 대한 의존도가 미약하고 불규칙한 분포를 보이는 것은, 먼저 화순천이 자갈의 함량이 높은 상류인 관계로, 사질이나 니질퇴적층으로 주로 구성된 해성 퇴적층과는 달리, 상대적으로 중금속 입자들의 흡착 정도가 매우 낮기 때문인 것으로 보인다. 또한, K와 Ba 함량이 높은 상관정도를 가지는데, 이는 Ba가 광물의 초기 분화과정에서 K와 일정 부분 치환되는 속성을 감안한다면, 칼륨 장석계열의 산출과 관련된 가능성이 높다.⁴⁷⁾

화순천의 하계망을 따라 진행되는 하천수의 특성은, Piper's diagram에서 제시된 결과에 따르면 이들 양이온과 음이온의 성분들은 일반적인 하천에서의 용존되어 있는 농도를 함유하고 있어 전형적인 자연 하천수의 특성을 반영하고 있다. 그러나 하천수 중 SO_4^{2-} 및 As의 농도가 일반 하천수에 용존되는 것과 비교할 때, 다소 높게 나타나는 것은 일반적인 하천수의 특징과는 다른 해석을 낳게 한다. 이는 하천에서 오염 요소에서 접근하였던 요인보다는 주변 지질학적인 요인이 더 강하게 작용하고 있음을 시사한다. 한편 수질의 특성에 영향을 주는 요인들 중, 지질학적인 요인 이외의 것으로는 BOD를 비롯한 T-N, T-P 및 중금속류들의 함량변화를 살펴봄으로써 추정할 수 있을 것으로 생각된다. 화순천에서 BOD를 비롯한 T-N, T-P의 변화는 상부의 마산리 지역과 화순읍을 관류하는 지역 및 지식천에 합류하는 곳에서 변화가 심하다. 이러한 변화 요인은 전술한 것처럼, 주로 생활용수 및 농업용수에 의한 인위적인 오염에 의한 것으로 설명되어질 수 있는데, 이는 상기 지역들에서 검출되는 중금속류들의 농도가 하천수수질환경기준 이하인 한편, 일부 중금속들은 전혀 검출되지 않은 것으로 보아 알 수 있다.

화순천에서 퇴적물과 하천수의 지구화학적 거동은 하천환경에서 밀접한 관계를 보인다. 퇴적물의 경우, 화순탄전 주변과 화순읍을 관류하는 지역에서 환경지시원소인 Cu와 Zn의 거동이 뚜렷이 인지되어 나타나는 것과 더불어, 하천수의 지시인자인 BOD, Cl 및 SO_4^{2-} 등의 변화가 일치되는 것에서도 알 수 있다. 또한 Perel'man⁴⁸⁾이 제시한 원소들의 상대적인 이동도와도 잘 부합된다. 이는 화순천과 같은 하천환경에서 상대적 이동도에 의한 하천환경의 오염을 평가할 때, $K>1$ 이상의 원소들인 Cl, SO_4^{2-} , Na, 및 K 등은 하천수에서, $K<1$ 이하의 원소인 Cu와 Zn 등의 경우는 퇴적물을 대상으로 하는 평가에서, 유효한 지시인자로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

전술한 결과들을 종합해 보면, 연구지역은 하천의 상류에서 고지를 이루는 주변지형들 사이의 계곡을 관류하는 역질하상하천에 해당한다. 또한 일부 원소들의 함량분포는 탄층이나 인구밀집지역인 화순읍과 관계가 있는 것으로 해석되는데, 특히 화순천에서 나타나는 지역적 오염 요인은 공업화에 의한 영향과 더불어 도시화 등에 의해 인위적이 영향이 간접요인으로 작용하고 있음을 시사하고 있다.

참 고 문 헌

- 1) 옥지상, 이주상, 박홍석, 백병천, 이병인, 1999, 수질 및 수자원 관리, 도서출판 대학서림, 606.
- 2) 전효택, 문희수, 김규한, 정명채, 1998, 환경지질학, 서울대학교출판부, 529.
- 3) 황선출, 정성욱, 박원우, 김우성, 이봉헌, 박홍재, 1996, 낙동강 하류의 하상구조와 오염물질과의 상관관계 연구, 한국환경과학회지, 5, 481-494.
- 4) 조영길, 김주용, 1998, 영산강 하상퇴적물의 중금속 함량, 한국환경과학회지, 7, 281-290.
- 5) 오강호, 2002, 영산강 유역 퇴적환경과 하천수 및 퇴적물의 오염, 전남대학교 대학원 박사학위논문, 195.
- 6) Thornton, I., 1983, Applied Environmental Geochemistry, Academic Press, 501.
- 7) Alloway, B. J., I. Thornton, G. A. Smart, J. C. Sherlock, and M. J. Quinn, 1988, Metal Availability, Sci. Tot. Environ., 75, 41-69.
- 8) 이돈영, 정춘식, 최선근, 남원희, 이석중, 1965, 호남탄전지질조사보고서, 대한석탄공사, 54.
- 9) 김봉균, 박병권, 1966, 동북도폭(1:50,000), 국립지질조사소, 33.
- 10) 김규봉, 이병주, 황상구, 1990, 광주도폭지질보고서(1:50,000), 한국동력자원연구소, 20.
- 11) 박재봉, 1999, 광주화강암류에 대한 암석학적 연구, 전남대학교 대학원 박사학위논문, 145.
- 12) 광주광역시, 1996, 영산강수질관리 종합대책수립에 관한 연구, 409.
- 13) 전라남도, 1996, 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구, 668.
- 14) 건설부, 1990, 수자원 장기종합계획(1991-2011), 89.
- 15) 김주용, 유환수, 고영구, 윤석태, 오강호, 조석희, 1999, 전남 서남부 영산강 유역의 퇴적물과 회토류 원소들의 분포 특성, 전남대 과학교육연구지, 23, 125-137.
- 16) Chang, K. H., 1975, Cretaceous stratigraphy of Southeast Korea, Jour. Geol. Soc. Korea, 11, 1-23.
- 17) 장기홍, 1982, 상부중생대층(백악계-경상누층군) : 한국의 지질과 광물자원, 김옥준교수 정년퇴임기념 논문집, 113-131.
- 18) 고영구, 김정길, 김주용, 김해경, 유경아, 1995, 전남 화순군 이서면 일대에 분포하는 백악기 퇴적암류에 관한 연구, 한국지구과학회지, 17, 64-74.
- 19) Ingram, R. L., 1971, Sieve analysis, In:

- Procedures in Sedimentary Petrology (ed. Carver, R. E.), Wiley-Interscience Co., 49-68.
- 20) Galehouse, J. S., 1971, Sedimentation analysis, In: Procedures in Sedimentary Petrology (ed. Carver, R. E.), Wiley-Interscience Co., 69-94.
 - 21) Folk, R. L. and W. C. Ward, 1957, Brazos river bar; a study in the significance of grain size parameter, Jour. Sedi. Petrol., 27, 3-27.
 - 22) Folk, R. L., 1968, Petrology of Sedimentary Rock, Hemphill's, 170.
 - 23) Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1972, A Practical Handbook of Seawater analysis, Fish. Res. Board of Canada, 310.
 - 24) 환경부, 2000, 수질오염공정시험방법, 환경부, 407.
 - 25) Stednick, J. D., 1991, Wildland and water quality sampling and analysis, Academic Press, 217.
 - 26) Greenberg, A. E., S. C. Lenore, and D. E. Andrew, 1992, Standard method for the examination of water and wastewater (18th ed.), Amer. Pub. Heal. Asso., 1010-2320.
 - 27) Förstner, U. and G. T. W. Wittmann, 1981, Metal Pollution in the Aquatic Environment Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 486.
 - 28) Salomons, W. and U. Förstner, 1984, Metals in the Hydrocycle, Springer-Verlag, Berlin, 349.
 - 29) Adriano, D. C., 1986, Trace elements in the Terrestrial Environment, Springer-Verlag, 533.
 - 30) 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 P. S. Rainbow), CRC Press, Inc., 51-66.
 - 31) Horowitz, A. J., 1991, A primer on Sediment-Trace Element Chemistry, Lewis Publishers, 136.
 - 32) 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, Kor. Jour. Quat. Res., 5, 15-31.
 - 33) Bruland, K. W., K. Bertine, M. Koide, and E. D. Goldberg, 1974, History of metal pollution in southern California coastal zone, Environ. Sci. Tech., 8, 425-432.
 - 34) Windom, H. L., S. J. Scropp, F. D. Calder, J. D. Ryan, R. G. Jr Smith, L. C. Burney, F. G. Lewis, and C. H. Rawlison, 1989, Natural metal concentration in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States, Environ. Sci. Tech., 23, 314-320.
 - 35) 최석원, 김억수, 1996, 의학환경 지구화학, 도서출판 춘광, 434pp.
 - 36) Berner, E. K. and R. A. Berner, 1987, The global water cycle, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York, 397pp.
 - 37) 서혜영, 김규한, 1997, 한강수계분지내 하천수의 지구화학적 특성, 지하수환경, 4, 130-143.
 - 38) Stallard, R. F. and J. M. Edmond, 1983, Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load, Jour. Geophys. Res., 88, 9671-9688.
 - 39) Sarin, M. M., S. Krishnaswami, K. Dilli, B. L. K. Somatajulu, and W. S. Moore, 1989, Major ion chemistry of the Ganga-Brahmaputra river system : Weathering processes and fluxes to the Bay of Bengal, Geochem. Acta., 53, 997-1009.
 - 40) Zhang, J., W. W. Huang, R. Lutolle, and C. Jusserand, 1995, Major element chemistry of the Huanghe (Yellow River), China weathering processes and chemical fluxes, Jour. Hydrol., 168, 173-203.
 - 41) Mason, B. and C. B. Moore, 1982, Principles of Geochemistry, John Wiley & Sons Inc., 329.
 - 42) Rang, M. C., C. E. Klejin, and C. J. Schouten, 1978, Mapping of soil pollution by application of classical geomorphological and pedological field techniques, In: International Geomorphology (eds. Gardiner, V., Wiley), New York, 1029-1044.
 - 43) Prusty, B. G., K. C. Sahu, and G. Godgul, 1994, Metal contamination due to mining activities at the Zawar zinc mine, Rajasthan, India, Chem. Geol., 112, 275-291.
 - 44) Kerndorff, H., R. Schieyer and G. Milde, 1992, Geochemistry of groundwater pollutants at German waste disposal sites, In: Groundwater Contamination and Analysis at Hazard-

- dous Waste Sites(eds. Lesage, S. and R. E. Jackson), Marcel-Dekker Inc., 245-271.
- 45) Allen, J. R. L., 1970, A quantitative modal of grain size and sedimentary structures in lateral deposits, *Geol. Jour.*, 7, 129-146.
- 46) Miall, A. D., 1988, Reservoir heterogeneities in fluvial sandstone : lessons from outcrop studies, *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 72, 682-697.
- 47) Krauskopf, K. B., 1982, *Introduction to Geochemistry*, McGraw-Hill, 617.
- 48) Perel'man, A. I., 1967, *Landscape Geochemistry* (Translation No. 676, Geological Survey of Canada, 1972), *Vyshshaya Shkola Moscow*, 1-338.