

입도분포에 따른 하상퇴적물의 지구화학적 분산 및 부화

이현구* · 조애란* · 이찬희*

Geochemical Dispersion and Enrichment of Fluvial Sediments Depending on the Particle Size Distribution

Hyun Koo Lee*, Aeran Cho* and Chan Hee Lee*

ABSTRACT: Geochemical characteristics of the fluvial sediments depending on particle size distribution were investigated in the respect of major, minor and rare earth element chemistry. Ratios of Al_2O_3/Na_2O and K_2O/Na_2O of the sediments show the homogeneous value, and are partly positive correlation with SiO_2/Al_2O_3 , respectively. Characteristics of minor element ratios (V/Ni, Cr/V, Ni/Co and Zr/Hf) are within the lower and narrow range. These suggested that sediment sources may be acidic to intermediate granitic rock, and may be explained by simple weathering and sedimentation. With the increasing SiO_2 contents, concentrations of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO and MgO decreased, but those of K_2O and Na_2O increased. Concentrations of Ba, Be, Cs, Cu, Li, Ni, Sr, V and Zr show comparatively normal negative and some positive trends. Compared with the mean composition of granite, concentrations of Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO, CaO and MgO in the sediments of the study area were highly enriched. Among some minor and rare earth elements, concentrations of As, Cd, Cu and V were enriched, but those of Be, Ce, Rb, Sc, Sr and Zn were depleted when compared with average composition of granite. By decreasing of particle size fractions, SiO_2 , Rb and Sr contents decreased, but concentrations of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, MgO, TiO_2 , MnO, P_2O_5 , Be, Cu, Hf, Ni, Pb, V and Zr increased. From the correlations between particle size fractions and element concentrations, some elements of Fe_2O_3 , CaO, MgO P_2O_5 , Cu, Ni, Zn and Zr showed typical trends in the secondary contamination sediments. These trends are typically shown under 100 mesh fractions. It indicates that the fraction of minus 100 mesh is the optimum size fraction for the geochemical and environmental survey.

서 언

토양, 퇴적물 및 기반암의 지구화학적 다양성을 고찰하는데는 구성암석과 풍화정도뿐만 아니라 시료 채취, 처리방법 및 분석상의 문제점을 고려하는 것도 중요한 역할을 한다. 하상퇴적물 시료는 하천수에 비해 시료채취, 운반, 보관 및 분석이 용이하고, 시간적 변화가 적으며 함량도 높아 오염원이 존재하는 지역에서 환경영향을 평가하는 적절한 지구화학적 매개체가 된다 (Thornton, 1983). 일반적으로 시료채취와 분석준비는 조사목적, 비용, 노동력 및 효율성에 따라 달라지기 때문에 방법의 선택이 아주

중요하다. 최근에 지구통계학적 방법과 기술이 발전되면서 환경지구화학적 조사를 위한 분석기술이나 시료채취 방법이 개선되기는 하였으나 아직도 많은 문제점이 있는 것이 현실이다.

Mazzucchelli (1972)에 의하면, 퇴적물의 화학분석 결과는 80 메쉬 (mesh) 이하의 시료를 선택하여 분석하는 것이 가장 높은 신뢰도를 갖는다고 하였다. 그러나 Au는 80 메쉬 이상의 조립질 시료에 더 농축되어 있음이 보고되기도 하였다 (Mazzucchelli, James, 1967). 한편 영국의 환경지구화학탐사를 위한 지침서에는 퇴적물 시료의 입도를 100 메쉬 이하로 채취하는 것이 가장 이상적이라고 규정하였다 (Plant, Raiswell, 1983). 토양이나 퇴적물을 대상으로 환경지구화학적 연구를 수행한 국내의 연구자들은 80 메쉬 이하 (김경용, 이현구, 1996; 이진수 외, 1996; 전효택, 안주성, 1996)를 선택

*충남대학교 지질학과 (Department of Geology, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea), E-mail: phklee@hanbat.chungnam.ac.kr

하거나, 100 메쉬 이하 (김옥배, 이무성, 1992; 이현구, 이찬희, 1998; 이찬희 외, 1998)의 시료를 선택하여 분석하고 있다.

이 연구에서는 오염원의 영향을 받지 않은 장호원지역과 인간활동과 산업활동의 영향으로 수계오염이 심한 대전지역의 하상퇴적물을 대상으로 원소의 기원, 분산 및 거동과 입도에 따른 화학조성의 변화를 알아보고자 한다. 따라서 하상퇴적물의 시료에 따른 특성을 보다 쉽게 인식하고, 광역적 조사를 위한 시료채취 및 처리법을 체계적으로 수립하여 입도에 따른 지구화학적 다양성을 감소시키기 위한 방법을 제시할 것이다. 또한 기반암과 퇴적물의 지구화학적 분산과 관계된 이차적인 원인을 규명할 것이다. 이를 토대로 중금속 원소의 지구화학적 대비와 분석자료의 효율성을 높이기 위해 어느 입도의 퇴적물이 가장 이상적인지를 검토할 것이다.

시료 및 분석

연구지역

이 연구에서는 수계의 기반암이 류라기 화강암으로 구성되어 있고, 산업활동에 따른 영향을 적게 받았을 것으로 추정되는 지역과 비교적 인간 및 산업활동의 영향을 많이 받았을 것으로 보이는 지역을 선정하였다. 전자에 해당되는 지역은 경기도 이천시 설성면과 장호원읍의 경계에 해당되는 백석리, 선읍리, 암산리 및 이황리 일대의 일차수계이고, 후자는 대전광역시 유성구와 대덕구 경계인 대화공단 부근의 갑천 일대이다 (Fig. 1).

장호원지역은 선캠브리아기 변성암류 (호상 및 화강암질 편마암)를 기저로 중생대의 화강암류들이 대부분을 점하고 있다 (Fig. 1). 편마암은 동쪽으로 갈수록 호상편마암에서 화강암질 편마암으로 점이적으로 변하며 규암, 편암 및 석회암이 협재한다. 흑운모화강암은 중립 내지 세립의 등립조직을 보이며, 백운모의 양에 따라 복운모 화강암으로 구별되기도 한다. 백운모 화강암은 편마암류내에 소규모로 존재하고, 석영맥과 규칙적으로 암맥상을 이루기도 한다 (김수진 외, 1989).

대전지역의 지질은 선캠브리아기의 변성암류, 시대미상의 변성퇴적암류와 이를 관입한 시대미상의 심성암류, 중생대 심성암류 및 맥암류, 이를 부정합으로 덮는 충적층이 하천을 따라 발달된다 (Fig. 1). 화성암류로는 편상 화강암, 흑운모 화강암, 복운모 화강암, 섬록암, 반상 화강암, 홍장석 화강암, 맥암류 및 석영맥 등이

있다. 갑천 및 유성천 일대에는 주로 복운모 화강암이 분포하며 입도는 보통 중립 내지 세립질이고, 백운모보다는 흑운모의 양이 많다 (박희인 외, 1977).

장호원지역의 시료는 이 지역의 기반암인 흑운모 화강암 중에서 암체가 균질하게 분포하고 일차수계의 발달이 양호한 곳에서 세 개의 시료를 채취하였다. 시료 채취 위치는 주위로부터 인간활동이나 인위적인 환경오염의 영향이 미치지 않은 수계의 최상류 지점을 선정하였다. 대전지역의 시료는 김경웅, 이현구 (1996)의 연구 결과를 기초로 특히 원소의 부화가 심하게 나타난 지점을 선택하여 세 개의 시료를 채취하였다 (Fig. 1).

채취 및 분석

시료채취에서는 퇴적물의 입도 및 유기물 함량 등의 차이가 중금속 함량에 영향을 미치게 되기 때문에, 시료의 대표성과 균질성을 나타내기 위하여 1m 간격으로 5~6 지점에서 채취한 부시료를 섞어 한 개의 대표시료로 만들었다. 또한 제방붕괴로 인한 희석효과를 줄이기 위하여 수계의 중앙부에서 채취하는 것을 원칙으로 하였고, 10 메쉬 (2mm)로 젖은 체질 (wet sieving)한 것을 취하였다. 이는 조립의 암편, 석영, 유기물 및 기타 불필요한 물질을 제거하고, 시료의 변질이 최소화되도록 균질화시키며 산출상태에 따른 다양한 크기의 구성성분을 예비 분리하는 방법이다 (전효택 외, 1993).

체질과정에서 발생하는 콜로이드상 부유물들은 부피에 비해 표면적이 매우 크므로 많은 양의 금속을 운반할 수 있는 것으로 알려져 있기 때문에 (Thornton, 1983), 이 미립의 부유물은 일정시간을 가리얏힌 후에 따라내어 분석에서 발생될 수 있는 미량원소의 오차를 줄이고자 하였다. 퇴적물의 공극에 존재하는 물은 유실되지 않도록 폴리에틸렌 병에 담고, 나머지 시료는 비닐봉투에 넣은 후 봉하였다. 또한 표토에 있는 유기물도 분석오차를 발생시킬 수 있으므로 이를 제거하고 시료를 채취하였다.

채취된 시료는 실내에서 자연 건조하고 입자들을 단체분리 시킨 후 60, 80, 100, 120, 140 및 200 메쉬 체를 이용하여 각각 6단계 (60~80, 80~100, 100~120, 120~140, 140~200, 200 이하)로 체질하였다. 각 단계에서 걸러진 시료를 시료봉지에 담은 과정에서 다른 메쉬의 시료가 섞이지 않도록 주의하였으며, 시료의 표면적을 증가시켜 화학적인 분해도를 높이고, 시료를 균질화시키기 위하여 일정량을 분말화 하였다.

화학분석은 X-선 형광분석기 (XRF)로 SiO₂, Al₂O₃,

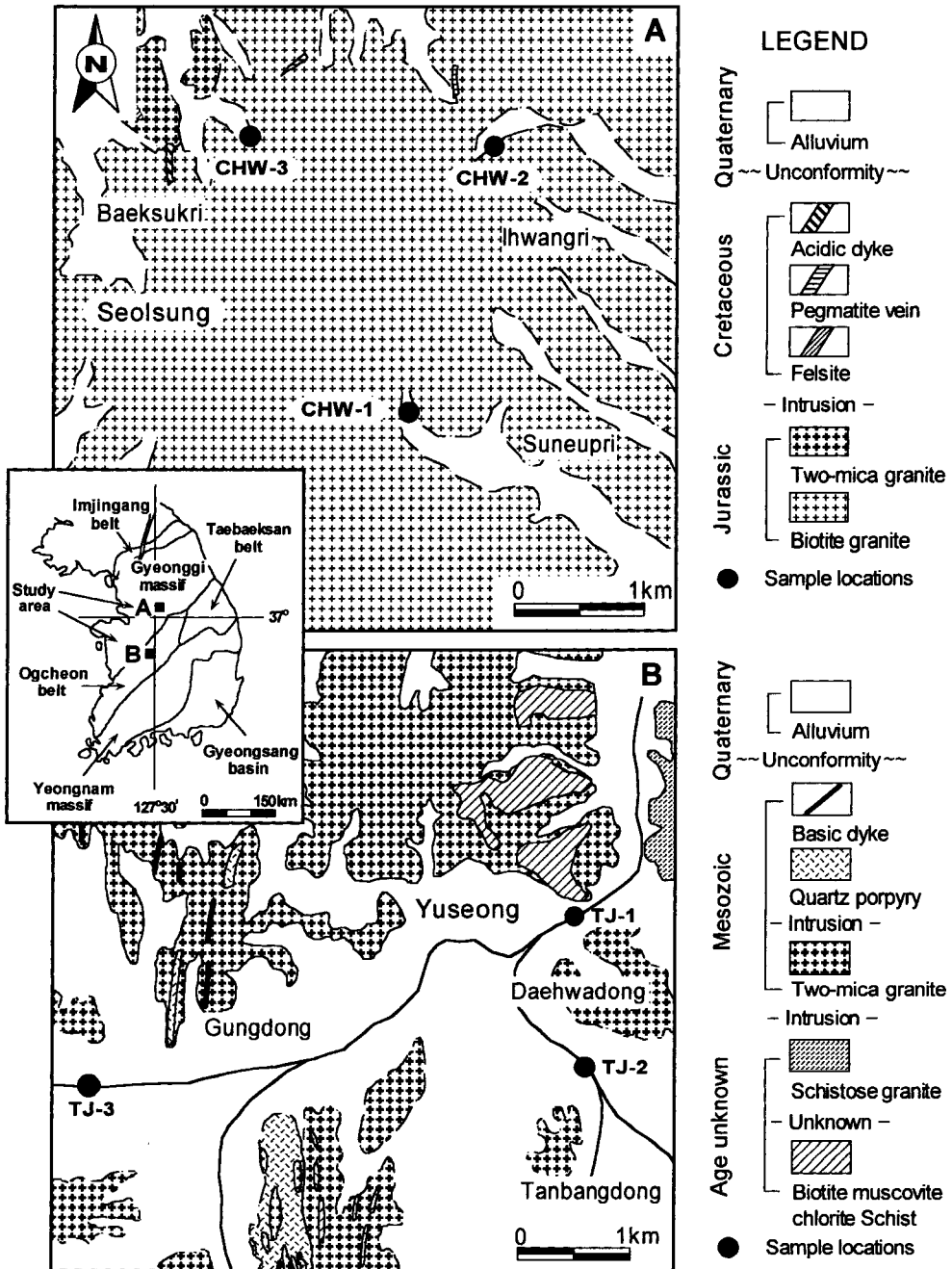


Fig. 1 Geology and sampling locations in the study area. A; Changhowon area modified after Kim *et al.* (1989). B; Taejon area modified after Park *et al.* (1977).

Fe₂O₃, CaO, K₂O, MgO, Na₂O, TiO₂, MnO, P₂O₅ 등 10개의 주성분 원소를 분석하였다. 이 분석을 위한 시료는 Li₂B₄O₇을 이용하여 용융하였고, 분석기기는 Shimadzu 사의 MXF-2100 모델로 원소별 분광장치

파로 설치된 다중채널 형식으로 최대 36 채널까지 설치할 수 있는 장비이다. 또한 유도결합 아르곤 플라즈마 분광분석기 (ICP-AES)를 이용하여 As, Ba, Be, Cd, Cu, Li, Ni, Pb, Sr, V, Zr 등 11개의 원소와 중

성자 활성분석기 (INAA)로 Ce, Co, Cr, Eu, Hf, Rb, Sc, Yb, Zn 등 총 9개의 미량 및 희토류 원소를 정량 분석 하였다. ICP-AES는 다색화 검출장치가 장착된 Labtest사의 Labtam 3000과 Jobin Yvon사의 연속형 JY 38 Plus를 사용하였다. INNA 분석에 사용한 감마선 검출장비는 HPGe γ -ray detector system이고, 감마선 스펙트럼의 정량분석을 위하여 EG & G사의 Ominigam software를 사용하였다.

분석은 주로 한국자원연구소에 실시하였고, INNA 분석에 이용된 중성자 발생 원자로는 한국원자력연구소의 HANARO를 이용하였다. 일부 미량원소는 충남대학교

공동실험실습관의 ICP를 이용하였다. 각각의 분석정확도는 약 5%의 오차를 가지며, 20개 시료를 분석한 후에 표준시료와 공시료를 다시 분석하여 정밀도를 향상시켰다. 분석결과 RSD가 1.5% 이하일 경우에 한하여 분석치로 이용하였다.

결과 및 고찰

지구화학적 특성

퇴적물은 자연수에 의해 분리 및 이동되어 물리화학

Table 1. Major element concentrations (wt.%) by the particle size fraction of fluvial sediments from the Changhwon (CHW) and Taejon (TJ) area.

| No. | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | MnO | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Total |
|--------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|
| CHW1-a | 74.48 | 13.37 | 0.39 | 1.45 | 0.03 | 0.54 | 0.22 | 2.32 | 5.29 | 0.04 | 98.13 |
| CHW1-b | 72.22 | 14.44 | 0.45 | 1.47 | 0.03 | 0.67 | 0.24 | 2.70 | 5.57 | 0.04 | 97.83 |
| CHW1-c | 72.29 | 15.10 | 0.57 | 1.53 | 0.04 | 0.73 | 0.24 | 2.92 | 5.55 | 0.05 | 99.02 |
| CHW1-d | 69.12 | 16.25 | 0.68 | 1.71 | 0.05 | 0.84 | 0.24 | 3.06 | 5.63 | 0.05 | 97.66 |
| CHW1-e | 67.80 | 17.11 | 0.79 | 1.83 | 0.05 | 0.95 | 0.24 | 3.37 | 5.50 | 0.06 | 97.70 |
| CHW1-f | 63.99 | 18.64 | 0.95 | 2.22 | 0.06 | 1.15 | 0.25 | 3.67 | 4.95 | 0.08 | 95.96 |
| CHW2-a | 72.17 | 14.64 | 0.33 | 1.68 | 0.03 | 0.66 | 0.30 | 2.67 | 5.36 | 0.04 | 97.88 |
| CHW2-b | 68.59 | 16.08 | 0.40 | 1.93 | 0.03 | 0.88 | 0.31 | 3.10 | 5.26 | 0.05 | 96.63 |
| CHW2-c | 66.90 | 17.43 | 0.48 | 2.03 | 0.04 | 1.00 | 0.36 | 3.34 | 5.17 | 0.06 | 96.81 |
| CHW2-d | 65.25 | 18.29 | 0.57 | 2.22 | 0.04 | 1.08 | 0.41 | 3.51 | 4.86 | 0.07 | 96.20 |
| CHW2-e | 65.02 | 18.26 | 0.70 | 2.21 | 0.05 | 1.11 | 0.44 | 3.61 | 4.80 | 0.07 | 96.26 |
| CHW2-f | 63.13 | 18.72 | 0.89 | 2.47 | 0.06 | 1.15 | 0.44 | 3.56 | 4.24 | 0.11 | 94.77 |
| CHW3-a | 65.03 | 15.90 | 3.08 | 4.10 | 0.29 | 0.88 | 0.27 | 3.30 | 4.71 | 0.11 | 97.66 |
| CHW3-b | 61.95 | 16.24 | 4.11 | 4.88 | 0.39 | 0.95 | 0.24 | 3.44 | 4.34 | 0.18 | 97.72 |
| CHW3-c | 62.08 | 16.46 | 5.08 | 5.05 | 0.41 | 0.98 | 0.27 | 3.54 | 4.06 | 0.50 | 98.43 |
| CHW3-d | 58.54 | 17.22 | 4.64 | 5.16 | 0.42 | 1.02 | 0.30 | 3.54 | 3.94 | 0.44 | 95.21 |
| CHW3-e | 59.94 | 18.91 | 3.22 | 4.34 | 0.31 | 1.07 | 0.35 | 3.60 | 3.82 | 0.40 | 95.95 |
| CHW3-f | 64.18 | 20.82 | 0.93 | 2.89 | 0.10 | 1.04 | 0.44 | 3.80 | 3.48 | 0.21 | 97.89 |
| TJ1-a | 76.96 | 11.76 | 0.47 | 1.91 | 0.05 | 1.19 | 0.43 | 2.03 | 3.84 | 0.08 | 98.72 |
| TJ1-b | 72.88 | 13.27 | 0.62 | 2.55 | 0.06 | 1.31 | 0.51 | 2.15 | 3.81 | 0.14 | 97.30 |
| TJ1-c | 70.16 | 14.52 | 0.60 | 2.87 | 0.07 | 1.44 | 0.59 | 2.32 | 3.95 | 0.19 | 96.70 |
| TJ1-d | 70.82 | 14.96 | 0.56 | 2.86 | 0.06 | 1.47 | 0.62 | 2.34 | 4.06 | 0.22 | 97.97 |
| TJ1-e | 66.33 | 16.18 | 0.51 | 3.22 | 0.06 | 1.67 | 0.74 | 2.40 | 4.11 | 0.24 | 95.46 |
| TJ1-f | 61.58 | 18.00 | 0.54 | 3.94 | 0.08 | 1.91 | 0.92 | 2.25 | 3.79 | 0.29 | 93.30 |
| TJ2-a | 71.06 | 14.19 | 0.45 | 3.59 | 0.04 | 2.03 | 3.20 | 2.40 | 1.17 | 0.08 | 98.21 |
| TJ2-b | 68.81 | 13.59 | 0.62 | 4.39 | 0.06 | 2.38 | 2.98 | 2.21 | 1.52 | 0.10 | 96.63 |
| TJ2-c | 68.91 | 13.12 | 0.99 | 5.08 | 0.08 | 2.70 | 2.79 | 2.08 | 1.78 | 0.16 | 97.69 |
| TJ2-d | 66.82 | 12.72 | 1.52 | 5.91 | 0.11 | 2.99 | 2.79 | 1.94 | 1.78 | 0.26 | 96.83 |
| TJ2-e | 63.92 | 12.93 | 2.20 | 7.12 | 0.14 | 3.42 | 2.69 | 1.93 | 2.19 | 0.45 | 96.99 |
| TJ2-f | 59.88 | 13.65 | 2.21 | 7.32 | 0.14 | 3.78 | 2.78 | 1.86 | 2.21 | 0.71 | 94.53 |
| TJ3-a | 72.86 | 14.18 | 0.32 | 1.53 | 0.04 | 0.80 | 5.95 | 2.55 | 0.31 | 0.07 | 98.61 |
| TJ3-b | 68.02 | 16.04 | 0.43 | 2.09 | 0.05 | 1.11 | 5.56 | 2.98 | 0.41 | 0.10 | 96.79 |
| TJ3-c | 67.59 | 13.12 | 0.46 | 2.36 | 0.05 | 1.24 | 4.99 | 3.12 | 0.50 | 0.13 | 93.56 |
| TJ3-d | 64.85 | 16.82 | 0.50 | 2.79 | 0.06 | 1.36 | 4.68 | 3.06 | 0.58 | 0.15 | 94.85 |
| TJ3-e | 63.67 | 17.38 | 0.52 | 3.19 | 0.07 | 1.50 | 4.38 | 3.03 | 0.71 | 0.17 | 94.61 |
| TJ3-f | 62.96 | 16.95 | 0.57 | 3.83 | 0.09 | 1.55 | 3.62 | 2.39 | 0.90 | 0.21 | 93.07 |

a; 60~80 mesh, b; 80~100 mesh, c; 100~120 mesh, d; 120~140 mesh, e; 140~200 mesh, f; >200 mesh

적 침전에 따라 퇴적되고, 여기에 포함된 증금속은 광석 광물, 유기물, 철 및 망간 산화물에 흡착되어 이동 또는 농집된다 (Rose *et al.*, 1979). 또한 특정 원소의 함량은 기원, 풍화, 속성, 퇴적물의 분급 및 수리지구화학적 영향에 따라 결정되기도 한다 (Arakel, Hongjun, 1992). 이 원소들의 대부분은 풍화작용에 의해 이동되지만 재침전되는 특징을 가지고 있으므로 (Nesbitt, 1979), 퇴적물의 화학조성은 근원암의 기원을 결정하는 중요한 정보를 제공한다 (Cullers, 1988; Cullers *et al.*, 1988).

장호원지역과 대전지역의 수계에 분포하는 하상퇴적물내 주성분 원소의 함량은 Table 1과 같다. 이들의 함량은 전반적으로 상당히 불균질하나, SiO₂의 함량은

산성에서 중성에 걸친 넓은 조성범위를 가지며 양자의 함량차이는 거의 없다. MnO와 P₂O₅도 조성변화는 거의 없으나 비교적 낮은 함량을 갖는다. Al₂O₃, Fe₂O₃ 및 TiO₂의 경우도 비교적 넓은 조성변화를 보인다. 그러나 CaO와 MgO의 함량은 대전지역 하상퇴적물에서 월등히 높고 조성의 변화폭도 크다. K₂O와 Na₂O는 장호원지역의 시료에서 높게 검출되었다. 대전지역의 일부 시료에서 MnO 및 P₂O₅는 높은 함량을 보이는데, 이는 주변으로부터 이차적인 영향을 받은 것으로 추정된다.

연구대상 시료에 포함된 일부 미량 및 희토류 원소의 함량은 Table 2와 같다. 이 중 As, Be, Cd, Co,

Table 2. Some minor and rare earth element concentrations (ppm) by the particle size fraction of fluvial sediments from the Changhown (CHW) and Taejon (TJ) area.

| No. | As | Ba | Be | Cd | Ce | Co | Cr | Cu | Eu | Hf | Li | Ni | Pb | Rb | Sc | Sr | V | Yb | Zn | Zr |
|--------|----|------|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|------|------|----|------|-----|-----|-----|------|------|-------|
| CHW1-a | 6 | 1197 | 0.7 | 2.4 | 5.0 | 11.7 | 16.1 | 68 | 17.6 | 18.0 | 33.6 | 29.0 | 30 | 19.6 | 2.3 | 141 | 78 | 33.6 | 41.6 | 45.1 |
| CHW1-b | 7 | 1246 | 0.6 | 2.3 | 5.3 | 18.0 | 16.3 | 70 | 17.5 | 18.4 | 33.6 | 30.7 | 31 | 17.7 | 2.7 | 146 | 81 | 36.6 | 40.5 | 41.8 |
| CHW1-c | 7 | 1238 | 0.7 | 2.3 | 5.3 | 13.4 | 17.8 | 74 | 16.4 | 18.4 | 35.3 | 30.5 | 32 | 17.6 | 2.8 | 149 | 85 | 38.2 | 38.5 | 47.6 |
| CHW1-d | 6 | 1116 | 0.6 | 2.3 | 5.2 | 14.0 | 32.5 | 75 | 17.6 | 19.6 | 31.9 | 30.3 | 28 | 17.4 | 2.6 | 127 | 84 | 37.6 | 39.6 | 42.8 |
| CHW1-e | 7 | 1405 | 0.8 | 2.3 | 5.5 | 18.9 | 18.2 | 76 | 19.1 | 20.6 | 37.1 | 29.8 | 33 | 18.4 | 3.2 | 146 | 90 | 39.6 | 40.9 | 54.4 |
| CHW1-f | 5 | 1084 | 0.9 | 2.4 | 5.8 | 20.3 | 14.6 | 82 | 2.13 | 20.0 | 43.3 | 31.4 | 27 | 17.3 | 2.9 | 105 | 97 | 39.2 | 41.9 | 66.4 |
| CHW2-a | 6 | 961 | 0.7 | 2.4 | 4.3 | 10.8 | 11.9 | 72 | 14.1 | 19.7 | 38.1 | 31.9 | 27 | 21.8 | 2.0 | 122 | 83 | 24.3 | 36.3 | 53.4 |
| CHW2-b | 5 | 791 | 0.7 | 2.3 | 4.4 | 11.4 | 12.1 | 71 | 15.5 | 20.4 | 47.2 | 32.4 | 26 | 17.2 | 2.2 | 119 | 86 | 28.9 | 33.1 | 55.9 |
| CHW2-c | 5 | 875 | 0.8 | 2.3 | 5.0 | 11.3 | 13.0 | 76 | 17.6 | 21.6 | 52.0 | 34.3 | 27 | 16.4 | 2.2 | 105 | 90 | 30.9 | 33.2 | 56.4 |
| CHW2-d | 5 | 869 | 0.8 | 2.4 | 5.2 | 11.2 | 15.6 | 79 | 17.5 | 22.6 | 57.6 | 36.9 | 24 | 17.0 | 2.2 | 96 | 97 | 22.8 | 36.8 | 63.1 |
| CHW2-e | 4 | 863 | 0.8 | 2.4 | 5.6 | 13.2 | 18.1 | 79 | 17.6 | 23.2 | 48.7 | 35.8 | 24 | 16.1 | 2.4 | 94 | 98 | 33.7 | 36.4 | 71.2 |
| CHW2-f | 4 | 795 | 0.9 | 2.4 | 5.5 | 12.1 | 14.8 | 96 | 24.0 | 22.9 | 58.7 | 39.7 | 24 | 16.4 | 2.6 | 96 | 108 | 31.3 | 37.9 | 98.6 |
| CHW3-a | 6 | 838 | 1.2 | 2.4 | 4.8 | 10.9 | 12.0 | 116 | 14.3 | 17.4 | 57.2 | 33.1 | 31 | 18.2 | 1.9 | 93 | 121 | 30.2 | 37.3 | 96.3 |
| CHW3-b | 6 | 813 | 1.7 | 2.9 | 4.1 | 13.4 | 14.9 | 126 | 11.9 | 19.1 | 54.1 | 33.1 | 33 | 21.3 | 2.1 | 82 | 159 | 22.0 | 32.1 | 146.0 |
| CHW3-c | 8 | 915 | 1.7 | 2.8 | 4.1 | 17.9 | 14.6 | 127 | 11.9 | 19.1 | 59.7 | 32.0 | 35 | 21.6 | 2.0 | 97 | 157 | 21.9 | 33.7 | 192.0 |
| CHW3-d | 8 | 790 | 2.1 | 2.9 | 4.1 | 13.4 | 15.0 | 144 | 12.2 | 19.1 | 62.3 | 35.2 | 39 | 19.7 | 2.2 | 79 | 184 | 22.0 | 36.7 | 253.0 |
| CHW3-e | 7 | 861 | 2.0 | 3.8 | 4.1 | 22.0 | 16.4 | 158 | 12.3 | 19.3 | 72.1 | 34.5 | 36 | 17.7 | 2.3 | 80 | 209 | 22.6 | 34.2 | 243.0 |
| CHW3-f | 4 | 799 | 2.5 | 3.1 | 4.8 | 20.2 | 24.4 | 156 | 15.4 | 17.9 | 74.9 | 36.0 | 40 | 18.3 | 2.3 | 74 | 202 | 30.9 | 37.6 | 287.0 |
| TJ1-a | 6 | 1014 | 0.9 | 2.5 | 4.8 | 7.4 | 10.4 | 77 | 23.5 | 21.3 | 29.8 | 34.3 | 29 | 19.0 | 1.9 | 147 | 98 | 21.0 | 28.8 | 39.1 |
| TJ1-b | 7 | 862 | 1.2 | 2.5 | 4.7 | 8.0 | 11.0 | 82 | 15.8 | 21.3 | 35.2 | 32.3 | 32 | 18.1 | 2.1 | 153 | 107 | 26.4 | 34.2 | 41.0 |
| TJ1-c | 8 | 814 | 1.4 | 2.7 | 4.7 | 9.3 | 12.5 | 89 | 13.9 | 24.6 | 41.2 | 34.2 | 37 | 18.7 | 2.0 | 173 | 114 | 27.1 | 33.4 | 50.1 |
| TJ1-d | 9 | 835 | 1.3 | 2.6 | 4.8 | 9.4 | 10.5 | 89 | 14.9 | 23.1 | 41.9 | 35.7 | 39 | 19.2 | 2.2 | 171 | 115 | 33.2 | 33.1 | 56.9 |
| TJ1-e | 9 | 802 | 1.5 | 2.6 | 5.0 | 9.1 | 11.0 | 98 | 16.4 | 22.3 | 48.8 | 36.3 | 41 | 19.0 | 2.1 | 177 | 120 | 32.2 | 36.1 | 58.2 |
| TJ1-f | 9 | 881 | 1.7 | 2.7 | 5.3 | 11.6 | 10.7 | 127 | 16.7 | 23.1 | 56.3 | 41.0 | 43 | 19.4 | 2.2 | 143 | 130 | 32.0 | 36.1 | 68.4 |
| TJ2-a | 9 | 871 | 1.8 | 1.1 | 4.8 | 6.4 | 9.2 | 118 | 14.1 | 17.4 | 33.5 | 38.4 | 38 | 17.5 | 1.3 | 205 | 145 | 31.9 | 33.9 | 36.8 |
| TJ2-b | 8 | 835 | 2.1 | 1.0 | 4.7 | 6.3 | 8.9 | 94 | 12.8 | 12.6 | 31.6 | 37.0 | 36 | 17.1 | 1.3 | 183 | 162 | 26.4 | 31.9 | 40.2 |
| TJ2-c | 8 | 777 | 2.4 | 1.0 | 4.9 | 6.9 | 9.9 | 99 | 15.3 | 13.9 | 28.8 | 36.5 | 34 | 17.7 | 1.3 | 167 | 177 | 27.1 | 31.5 | 38.2 |
| TJ2-d | 8 | 729 | 2.9 | 1.0 | 5.8 | 7.7 | 9.5 | 116 | 15.6 | 20.3 | 27.7 | 36.8 | 35 | 17.3 | 1.4 | 162 | 203 | 33.2 | 33.7 | 45.3 |
| TJ2-e | 8 | 752 | 3.4 | 1.3 | 6.9 | 7.3 | 10.1 | 138 | 15.7 | 16.1 | 29.5 | 39.2 | 37 | 17.8 | 1.5 | 159 | 234 | 32.2 | 37.0 | 83.5 |
| TJ2-f | 9 | 820 | 3.6 | 1.5 | 6.6 | 7.6 | 12.5 | 174 | 16.9 | 23.1 | 36.3 | 46.9 | 40 | 18.4 | 1.6 | 154 | 243 | 32.0 | 37.0 | 183.0 |
| TJ3-a | 8 | 994 | 0.8 | 2.3 | 4.8 | 6.8 | 9.9 | 81 | 14.2 | 12.8 | 25.8 | 35.7 | 37 | 25.0 | 1.8 | 184 | 92 | 29.0 | 26.9 | 39.0 |
| TJ3-b | 9 | 951 | 1.0 | 2.4 | 4.7 | 7.8 | 11.2 | 84 | 14.9 | 13.9 | 31.5 | 35.5 | 42 | 25.2 | 2.1 | 196 | 98 | 33.2 | 28.1 | 31.7 |
| TJ3-c | 8 | 958 | 1.1 | 2.5 | 4.9 | 8.0 | 13.4 | 88 | 16.2 | 24.1 | 34.6 | 35.9 | 38 | 24.8 | 2.2 | 177 | 103 | 24.5 | 30.7 | 49.4 |
| TJ3-d | 9 | 890 | 1.3 | 2.5 | 4.7 | 9.0 | 11.5 | 96 | 14.9 | 24.2 | 38.3 | 39.0 | 43 | 21.1 | 2.4 | 181 | 113 | 32.7 | 34.3 | 51.4 |
| TJ3-e | 9 | 925 | 1.4 | 2.6 | 4.7 | 9.4 | 14.3 | 101 | 16.1 | 22.8 | 41.3 | 38.9 | 42 | 19.1 | 2.6 | 177 | 116 | 31.7 | 34.5 | 56.5 |
| TJ3-f | 10 | 766 | 1.8 | 2.7 | 5.1 | 12.6 | 16.4 | 125 | 16.4 | 23.0 | 46.4 | 43.2 | 46 | 19.3 | 3.4 | 134 | 131 | 32.9 | 36.0 | 66.8 |

a; 60~80 mesh, b; 80~100 mesh, c; 100~120 mesh, d; 120~140 mesh, e; 140~200 mesh, f; >200 mesh

Cr, Hf, Li, Ni, Pb, Rb, Sc 및 Zn 등의 원소는 두 지역 모두 낮은 함량을 보이며, 조성의 변화폭도 비교적 작다. 그러나 일부 원소 (Ba, Cu, Sr, V 및 Zr) 들은 양자 모두 상당히 높은 함량을 갖는다. 특히 As, Cu, Ni, Pb, Rb 및 Sr은 인위적인 환경오염의 영향을 많이 받은 대전지역의 퇴적물에서 훨씬 높은 함량을 나타내고, 조성의 변화폭도 크다. 그러나 Co, Li 및 Sc는 장호원 시료에서 상대적으로 높은 함량을 갖는다. Ce, Eu 및 Yb의 조성은 Table 2와 같이 양자 모두 거의 비슷한 조성을 갖는다.

화성암류의 분화를 지시하는 일부 주성분 및 미량원소의 비를 이용하여 장호원과 대전지역 하상퇴적물의 근원암을 추정하여 보았다. 이 연구에서 분석된 하상퇴적물의 Al_2O_3/Na_2O (장호원; 4.65~5.76, 대전; 4.21~8.00) 및 K_2O/Na_2O (장호원; 0.92~2.28, 대전; 1.33~2.33)의 비는 두 지역 모두 비교적 낮으며 조성변화도 거의 없다. 이는 근원암에 알카리 함량이 높았거나, 수화작용에 의한 알카리 원소의 용탈이 거의 없었음을 지시한다 (Taylor *et al.*, 1986; Cullers, 1988).

SiO_2/Al_2O_3 (장호원; 3.08~5.57, 대전; 3.42~6.54)

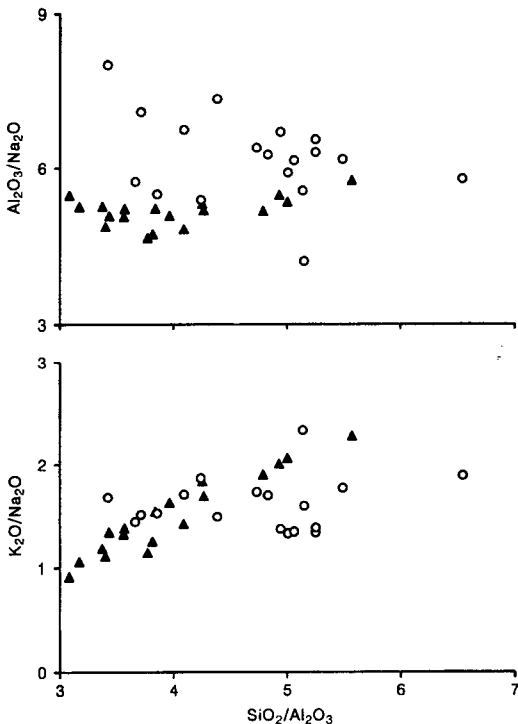


Fig. 2. Relationships between Al_2O_3/Na_2O and K_2O/Na_2O versus SiO_2/Al_2O_3 for fluvial sediments from the Changhown (solid triangles) and Taejon (open circles) area.

비에 대하여 K_2O/Na_2O 와 Al_2O_3/Na_2O 의 관계를 도시하여 보았다 (Fig. 2). K_2O/Na_2O 와 SiO_2/Al_2O_3 는 장호원 시료에서 아무런 경향을 보여주지 않으며, 대전 시료는 상호 반비례한다. Al_2O_3/Na_2O 와 SiO_2/Al_2O_3 는 비례경향을 갖는 것과 아무런 경향성을 보여주지 않는 것이 있다. 한편 V/Ni (장호원; 2.62~6.06, 대전; 2.56

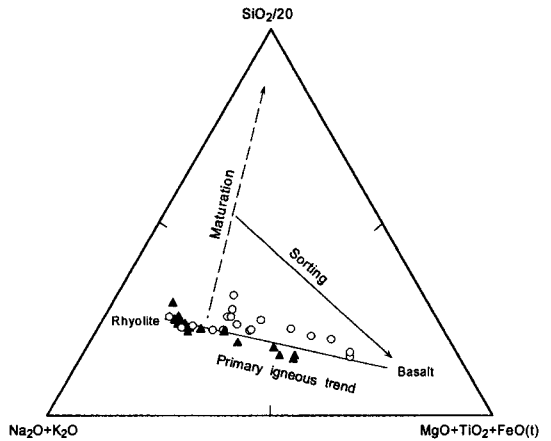


Fig. 3. SAM (silica-alkali-mafic) diagram after Kroonenburg (1994) for fluvial sediments from the Changhown (solid triangles) and Taejon (open circles) area.

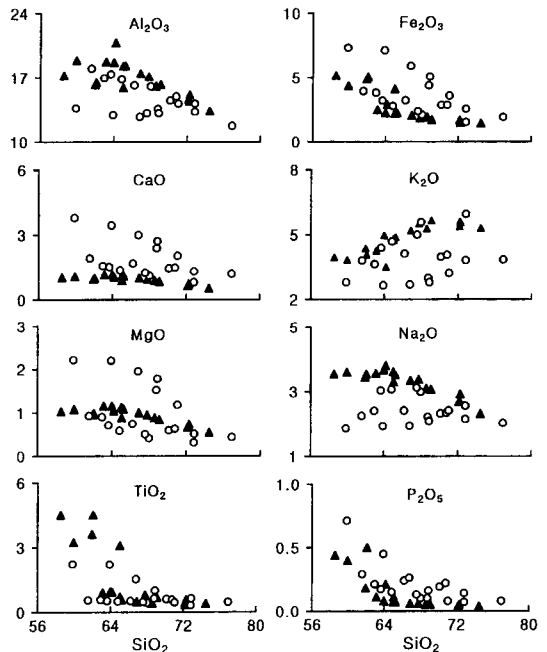


Fig. 4. Diagrams showing the correlations between content (wt.%) of major oxides versus SiO_2 for fluvial sediments from the Changhown (solid triangles) and Taejon (open circles) area.

~5.97), Cr/V (장호원; 0.08~0.38, 대전; 0.04~0.13), Ni/Co (장호원; 1.55~3.29, 대전; 3.43~6.17) 및 Zr/Hf (장호원; 2.18~13.25, 대전; 1.84~7.92)는 모두 상대적으로 낮고 좁은 조성비를 갖는다.

한편 주성분 원소의 조성을 Kroonenburg (1994)가 제시한 SAM (silica-alkali-mafic) 삼각도에 도시하였다 (Fig. 3). 이들은 모두 일반적인 화성암 기원의 퇴적물

이 갖는 분화경향을 따르고 있으며, 알칼리 원소의 조성범위가 산성 내지 중성으로 광범위하게 나타났다. 이는 근원암의 조성 및 분화도를 반영하는 것으로 (Gromet *et al.*, 1984), 두 지역 모두 주로 산성-중성 화성암 기원의 퇴적물로 이루어져 있으며 풍화 및 퇴적환경의 변화가 거의 없었던 것으로 추정된다 (McLennan *et al.*, 1984; Yoshii *et al.*, 1990).

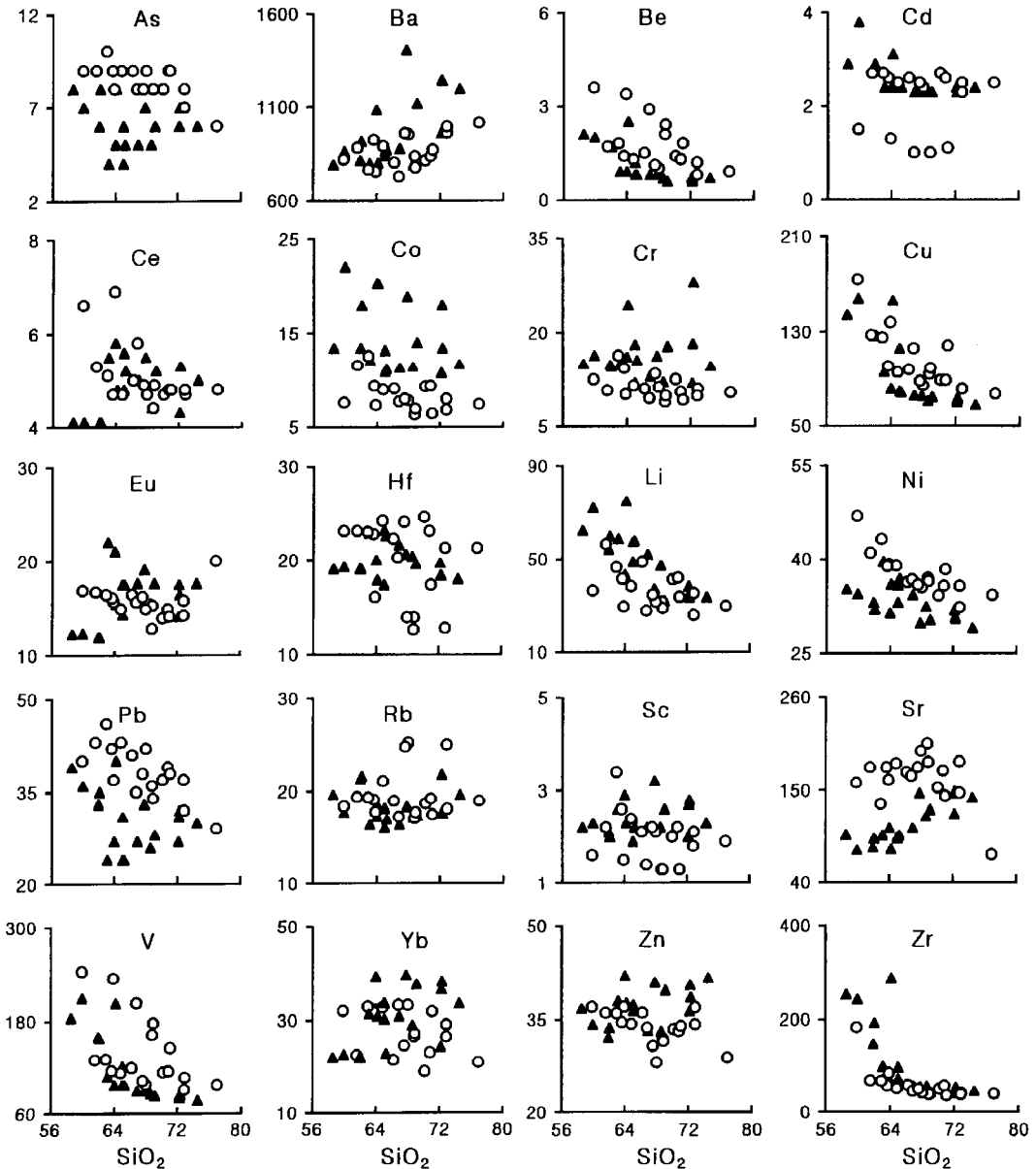


Fig. 5. Diagrams showing the correlations between some content (ppm) of minor and rare earth elements versus SiO₂ (wt.%) for fluvial sediments from the Changhwon (solid triangles) and Taejon (open circles) area.

분산 및 거동

일반적으로 석영은 풍화에 아주 강하여 퇴적물에는 다른 광물들 보다 월등히 많이 포함되어 있다. 석영은 또한 미량원소의 함량이 아주 낮고, 다른 산화물보다 높은 조성변화를 가지므로 화성암 계열 및 퇴적암의 조성변화도에 많이 이용되고 있다 (Rollinson, 1993). 따라서 각각의 주원소 조성을 SiO_2 함량에 따른 변화 경향을 검토한 결과, SiO_2 함량이 증가함에 따라 K_2O 는 양자 모두에서 Na_2O 는 대전시료에서만 증가하는 경향을 보였다. Al_2O_3 , Fe_2O_3 및 P_2O_5 는 두 지역에서 모두 뚜렷하게 감소하는 경향을 나타낸다. CaO 와 MgO 는 대전시료에서만 부의 관계를 보이고, TiO_2 함량은 장호원의 일부시료에서 정의 상관도를 보였다. 이는 일반적인 화성암 기원의 퇴적물이 갖는 경향과 일치하는 것이다 (Fig. 4).

미량원소들 사이의 상관계수를 구하여 본 결과 As는 장호원 시료에서 대부분의 원소들과 좋은 양의 상관관계를, 대전시료는 Co, Li, Ni 및 Pb와 양의 상관성을 보인다. Pb는 두 지역에서 모두 0.90 이상으로 좋은 상관성을 보인다. Ba는 장호원 시료에서 Sc, Sr, Yb 및 Zn와 0.70 이상으로 좋은 상관관계를 가지나, 대전시료에서는 대부분의 원소와 부의 관계를 나타내었다. 지질유해원소인 Cd는 장호원 시료에서 Co, Cu, Pb, V 및 Zr과 0.50 이상의 상관성을 나타내었다. 또한 희토류 원소들은 대부분의 미량원소와 부의 상관성을 보였고, 지구화학적 수반관계가 좋은 원소로 알려진 Cd와 Zn은 두 지역에서 모두 아무런 상관이 없었다. 그러나 As-Cd-Cu-Pb-V 간의 유사한 양의 상관관계는 지구화학적으로 수반관계가 양호함을 보여주었다. 특히 대전지역의 시료에서 As-Ce-Cu 간의 지구화학적 수반관계가 양호하였다.

SiO_2 함량을 기준으로 미량 및 희토류 원소의 분산도는 Fig. 5와 같다. 일반적인 화성암은 SiO_2 의 함량이 증가함에 따라 Rb, Th 및 Zr의 함량이 증가하며 Ba, Ni, Sc 및 Sr의 함량은 상대적으로 감소하는 경향을 갖는다. 이 연구의 모든 하상퇴적물들은 SiO_2 가 증가함에 따라 Be, Cd, Cu, Li, Ni, V 및 Zr이 감소하는 경향을 보인다. 다른 원소들보다 이동성이 큰 Cu는 SiO_2 거동과 정의 관계를 갖는 것이 일반적인 특징이지만, 이 연구에서는 반대의 양상을 보였다. Co와 Sc는 염기성 암석에 풍부한 원소들로 SiO_2 가 증가함에 따라 낮은 함량을 갖는 것으로 알려져 있지만 (Taylor, McLennan, 1985), 이 연구에서는 SiO_2 조성변화와 아

무런 관계를 보이지 않았다. 또한 As, Co, Cr, Hf, Sc 및 Zn의 함량도 SiO_2 와 아무런 관계를 갖지 않는다.

장호원 시료 중에 V 및 Zr은 SiO_2 가 58~64 wt.% 범위에서 상당히 높은 함량을 나타내고, 그 이상의 조성에서는 급격히 감소되는 양상을 보인다. 이 원소들은 이온의 크기와 전하가 매우 유사하고 지구화학적 반응도 비슷한 성질을 가지고 있는 것으로, 이 연구에서도 동일한 양상을 보인다. Ba, Rb 및 Sr은 앞에서 설명한 미량원소들의 분산양상과는 달리 SiO_2 함량과 정의 관계를 보인다. 한편 희토류 원소는 사실 퇴적물에 적게 함유되어 있어 SiO_2 함량이 높은 시료일수록 희토류 원소의 함량은 감소하게 되나, 이 연구에서 Ce의 함량은 다소 감소하는 관계를 보이고 Eu와 Yb는 아무런 관계를 보이지 않았다.

입도에 따른 부화계수 및 조성변화

퇴적물과 토양의 미량원소 함량은 변질되지 않은 기반암의 농도를 반영하지만, 기원에 따라 상대적으로 다양하게 부화되거나 고갈된다. 중금속의 오염지역에 대한 특정원소의 부화경향이나 독성기준치는 세계적인 평균조성을 기준으로 비교하는 방법과, 연구지역의 모암 또는 기반암을 기준으로 부화정도를 고찰하는 방법이 있다. 따라서 두 지역의 퇴적물들이 갖는 원소의 부화 및 결

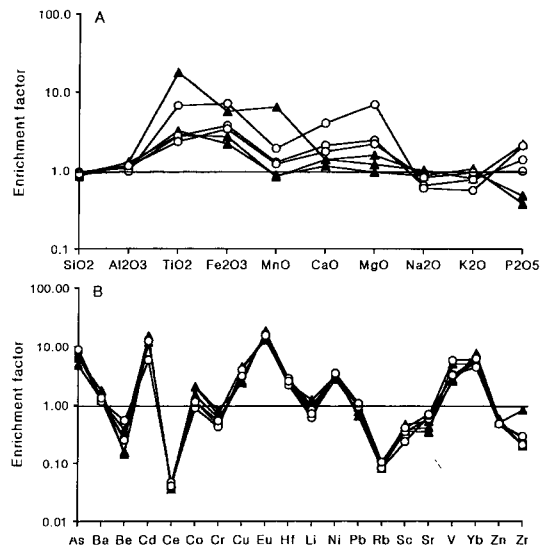


Fig. 6. Diagrams showing enrichment factor (mean value) of major (A), some minor and rare earth (B) elements for fluvial sediment normalized by average composition of granitic rocks from the Changhowon (solid triangles) and Taejon (open circles) area.

펄 정도를 비교하기 위하여, 주성분원소는 일반적인 화강암이 갖는 평균함량 (Nockolds, Allen, 1954)을 기준으로, 미량 및 희토류 원소는 Govindaraju (1989)가 제시한 화강암의 평균조성을 기준으로 나누어 부화계수 (enrichment factor; EF)를 구하였다. 이는 1을 기준으로 높은 값은 부화, 낮은 값은 결핍되어 있음을 나타내는 것이다.

보통 Si, Al 및 Na는 암석에서 퇴적물로 진행되면서 조성변화가 거의 없으나 Ca, Fe 및 Ti는 큰 변화를 보인다 (Cullers *et al.*, 1987; 1988). 이들의 부화계수를 도시한 결과, 두 지역 모두 일반적인 화강암에 비

하여 거의 모든 원소 (Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , CaO 및 MgO)가 부화되어 있고 SiO_2 , Na_2O 및 K_2O 만이 다소 결핍되어 있다 (Fig. 6). Nockolds, Allen (1954) 이 제시한 일반적인 화강암의 평균함량으로 표준화하여 부화계수를 구하였다 (Table 3). SiO_2 는 대부분이 결핍되어 있으며, Al_2O_3 , K_2O , MnO 및 P_2O_5 는 결핍된 것도 있으나 대부분 부화되어 있다. Na_2O 는 결핍되어 있으며 TiO_2 , CaO , MgO 는 상당히 부화되어 있고, 입도가 작을수록 부화정도는 증가한다. 한편 장호원 시료의 TiO_2 와 MnO 는 대전 시료에 비해 상당히 부화되어 있으나 Fe_2O_3 , CaO , MgO 및 P_2O_5 는 오염의 영향을

Table 3. Enrichment factor (normalized by the average composition of granite by Nockolds and Allen, 1954) of major elements by the particle size fraction of fluvial sediments from the Changhwon (CHW) and Taejon (TJ) area.

| No. | SiO_2 | Al_2O_3 | TiO_2 | Fe_2O_3 | MnO | CaO | MgO | Na_2O | K_2O | P_2O_5 |
|--------|---------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------|---------|--------|----------|
| CHW1-a | 1.01 | 0.97 | 1.95 | 1.86 | 0.60 | 0.75 | 0.85 | 0.66 | 1.03 | 0.29 |
| CHW1-b | 0.98 | 1.05 | 2.25 | 1.88 | 0.60 | 0.93 | 0.92 | 0.77 | 1.09 | 0.29 |
| CHW1-c | 0.98 | 1.10 | 2.85 | 1.96 | 0.80 | 1.01 | 0.92 | 0.83 | 1.06 | 0.36 |
| CHW1-d | 0.94 | 1.18 | 3.40 | 2.19 | 1.00 | 1.17 | 0.92 | 0.87 | 1.10 | 0.36 |
| CHW1-e | 0.92 | 1.23 | 3.95 | 2.35 | 1.00 | 1.32 | 0.96 | 0.96 | 1.07 | 0.43 |
| CHW1-f | 0.87 | 1.36 | 4.75 | 2.85 | 1.20 | 1.60 | 1.15 | 1.05 | 0.96 | 0.57 |
| CHW2-a | 0.98 | 1.06 | 1.65 | 2.15 | 0.60 | 0.92 | 1.19 | 0.76 | 1.04 | 0.29 |
| CHW2-b | 0.93 | 1.17 | 2.00 | 2.47 | 0.60 | 1.22 | 1.38 | 0.88 | 1.03 | 0.36 |
| CHW2-c | 0.91 | 1.27 | 2.40 | 2.60 | 0.80 | 1.39 | 1.58 | 0.95 | 1.01 | 0.43 |
| CHW2-d | 0.88 | 1.33 | 2.85 | 2.85 | 0.80 | 1.50 | 1.69 | 1.00 | 0.95 | 0.50 |
| CHW2-e | 0.88 | 1.33 | 3.50 | 2.83 | 1.00 | 1.54 | 1.69 | 1.03 | 0.94 | 0.50 |
| CHW2-f | 0.85 | 1.36 | 4.45 | 3.17 | 1.20 | 1.60 | 1.88 | 1.01 | 0.83 | 0.79 |
| CHW3-a | 0.88 | 1.16 | 15.40 | 5.26 | 5.80 | 1.22 | 1.04 | 0.94 | 0.92 | 0.79 |
| CHW3-b | 0.84 | 1.18 | 20.55 | 6.26 | 7.80 | 1.32 | 0.92 | 0.98 | 0.85 | 1.29 |
| CHW3-c | 0.84 | 1.20 | 25.40 | 6.47 | 8.20 | 1.36 | 1.04 | 1.01 | 0.79 | 3.57 |
| CHW3-d | 0.79 | 1.25 | 23.20 | 6.62 | 8.40 | 1.42 | 1.15 | 1.01 | 0.77 | 3.14 |
| CHW3-e | 0.81 | 1.38 | 16.10 | 5.56 | 6.20 | 1.49 | 1.35 | 1.03 | 0.74 | 2.86 |
| CHW3-f | 0.87 | 1.51 | 4.65 | 3.71 | 2.00 | 1.44 | 1.69 | 1.08 | 0.68 | 1.50 |
| TJ1-a | 1.04 | 0.86 | 2.35 | 2.45 | 1.00 | 1.65 | 1.65 | 0.58 | 0.75 | 0.57 |
| TJ1-b | 0.99 | 0.97 | 3.10 | 3.27 | 1.20 | 1.82 | 1.96 | 0.61 | 0.74 | 1.00 |
| TJ1-c | 0.95 | 1.06 | 3.00 | 3.68 | 1.40 | 2.00 | 2.27 | 0.66 | 0.77 | 1.36 |
| TJ1-d | 0.96 | 1.09 | 2.80 | 3.67 | 1.20 | 2.04 | 2.38 | 0.67 | 0.79 | 1.57 |
| TJ1-e | 0.90 | 1.18 | 2.55 | 4.13 | 1.20 | 2.32 | 2.85 | 0.68 | 0.80 | 1.71 |
| TJ1-f | 0.83 | 1.31 | 2.70 | 5.05 | 1.60 | 2.65 | 3.54 | 0.64 | 0.74 | 2.07 |
| TJ2-a | 0.96 | 1.03 | 2.25 | 4.60 | 0.80 | 2.82 | 4.50 | 0.68 | 0.62 | 0.57 |
| TJ2-b | 0.93 | 0.99 | 3.10 | 5.59 | 1.20 | 3.31 | 5.85 | 0.63 | 0.58 | 0.71 |
| TJ2-c | 0.93 | 0.95 | 4.95 | 6.51 | 1.60 | 3.75 | 6.85 | 0.59 | 0.54 | 1.14 |
| TJ2-d | 0.90 | 0.93 | 7.60 | 7.58 | 2.20 | 4.15 | 7.50 | 0.55 | 0.52 | 1.86 |
| TJ2-e | 0.87 | 0.94 | 11.00 | 9.13 | 2.80 | 4.75 | 8.42 | 0.55 | 0.52 | 3.21 |
| TJ2-f | 0.81 | 0.99 | 11.05 | 9.38 | 2.80 | 5.25 | 8.50 | 0.53 | 0.54 | 5.07 |
| TJ3-a | 0.99 | 1.03 | 1.60 | 1.96 | 0.80 | 1.11 | 1.19 | 0.73 | 1.16 | 0.50 |
| TJ3-b | 0.92 | 1.17 | 2.15 | 2.68 | 1.00 | 1.54 | 1.58 | 0.85 | 1.08 | 0.71 |
| TJ3-c | 0.92 | 0.95 | 2.30 | 3.03 | 1.00 | 1.72 | 1.92 | 0.89 | 0.97 | 0.93 |
| TJ3-d | 0.88 | 1.22 | 2.50 | 3.58 | 1.20 | 1.89 | 2.23 | 0.87 | 0.91 | 1.07 |
| TJ3-e | 0.86 | 1.26 | 2.60 | 4.09 | 1.40 | 2.08 | 2.73 | 0.86 | 0.85 | 1.21 |
| TJ3-f | 0.85 | 1.23 | 2.85 | 4.91 | 1.80 | 2.15 | 3.46 | 0.68 | 0.71 | 1.50 |

a; 60~80 mesh, b; 80~100 mesh, c; 100~120 mesh, d; 120~140 mesh, e; 140~200 mesh, f; >200 mesh

Table 4. Enrichment factor (normalized by the average composition of granite by Govindaraju, 1989) of some minor and trace element by the particle size fraction of fluvial sediments from the Changhowon (CHW) and Tadjon (TJ) area.

| No. | As | Ba | Be | Cd | Ce | Co | Cr | Cu | Eu | Hf | Li | Ni | Pb | Rb | Sc | Sr | V | Yb | Zn | Zr |
|--------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| CHW1-a | 6.00 | 1.17 | 0.14 | 12.00 | 0.04 | 1.46 | 0.61 | 2.19 | 17.60 | 2.25 | 0.65 | 2.64 | 0.77 | 0.09 | 0.38 | 0.55 | 2.28 | 6.72 | 0.59 | 0.18 |
| CHW1-b | 7.00 | 1.79 | 0.12 | 11.50 | 0.04 | 2.25 | 0.76 | 2.26 | 17.50 | 2.30 | 0.65 | 2.79 | 0.79 | 0.08 | 0.45 | 0.57 | 2.39 | 7.32 | 0.57 | 0.17 |
| CHW1-c | 7.00 | 1.77 | 0.14 | 11.50 | 0.04 | 1.68 | 1.35 | 2.38 | 16.40 | 2.30 | 0.68 | 2.77 | 0.82 | 0.08 | 0.47 | 0.58 | 2.50 | 7.64 | 0.54 | 0.19 |
| CHW1-d | 6.00 | 1.60 | 0.12 | 11.50 | 0.04 | 1.75 | 0.74 | 2.40 | 17.60 | 2.45 | 0.61 | 2.75 | 0.72 | 0.08 | 0.43 | 0.50 | 2.46 | 7.52 | 0.56 | 0.17 |
| CHW1-e | 7.00 | 2.01 | 0.16 | 11.50 | 0.05 | 2.36 | 0.68 | 2.44 | 19.10 | 2.58 | 0.71 | 2.71 | 0.85 | 0.09 | 0.53 | 0.57 | 2.65 | 7.92 | 0.58 | 0.22 |
| CHW1-f | 5.00 | 1.55 | 0.18 | 12.00 | 0.05 | 2.54 | 0.67 | 2.64 | 21.30 | 2.50 | 0.83 | 2.85 | 0.69 | 0.08 | 0.48 | 0.41 | 2.86 | 7.84 | 0.59 | 0.27 |
| CHW2-a | 6.00 | 1.38 | 0.14 | 12.00 | 0.04 | 1.35 | 0.50 | 2.32 | 14.10 | 2.46 | 0.73 | 2.90 | 0.69 | 0.10 | 0.33 | 0.48 | 2.44 | 4.86 | 0.51 | 0.22 |
| CHW2-b | 5.00 | 1.13 | 0.14 | 11.50 | 0.04 | 1.43 | 0.50 | 2.29 | 15.50 | 2.55 | 0.91 | 2.95 | 0.67 | 0.08 | 0.37 | 0.44 | 2.54 | 5.78 | 0.47 | 0.23 |
| CHW2-c | 5.00 | 1.25 | 0.16 | 11.50 | 0.04 | 1.41 | 0.54 | 2.45 | 17.60 | 2.70 | 1.00 | 3.12 | 0.69 | 0.08 | 0.37 | 0.41 | 2.64 | 6.18 | 0.47 | 0.23 |
| CHW2-d | 5.00 | 1.24 | 0.16 | 12.00 | 0.04 | 1.40 | 0.65 | 2.53 | 17.50 | 2.83 | 1.11 | 3.35 | 0.62 | 0.08 | 0.37 | 0.38 | 2.86 | 4.56 | 0.52 | 0.26 |
| CHW2-e | 4.00 | 1.24 | 0.16 | 12.00 | 0.05 | 1.65 | 0.75 | 2.55 | 17.50 | 2.90 | 0.94 | 3.25 | 0.62 | 0.07 | 0.40 | 0.37 | 2.87 | 6.74 | 0.51 | 0.29 |
| CHW2-f | 4.00 | 1.14 | 0.18 | 12.00 | 0.05 | 1.51 | 0.62 | 3.09 | 24.00 | 2.86 | 1.13 | 3.61 | 0.62 | 0.08 | 0.43 | 0.38 | 3.18 | 6.26 | 0.53 | 0.40 |
| CHW3-a | 6.00 | 1.20 | 0.24 | 12.00 | 0.04 | 1.36 | 0.50 | 3.74 | 14.30 | 2.18 | 1.10 | 3.01 | 0.79 | 0.08 | 0.32 | 0.360 | 3.56 | 6.04 | 0.53 | 0.39 |
| CHW3-b | 6.00 | 1.16 | 0.34 | 14.50 | 0.03 | 1.68 | 0.62 | 4.06 | 11.90 | 2.39 | 1.04 | 3.01 | 0.85 | 0.10 | 0.35 | 0.32 | 4.68 | 4.40 | 0.45 | 0.59 |
| CHW3-c | 8.00 | 1.31 | 0.34 | 14.50 | 0.03 | 2.24 | 0.61 | 4.10 | 11.90 | 2.39 | 1.15 | 2.91 | 0.90 | 0.10 | 0.33 | 0.36 | 4.62 | 4.38 | 0.47 | 0.78 |
| CHW3-d | 8.00 | 1.13 | 0.42 | 14.50 | 0.03 | 1.68 | 0.63 | 4.65 | 12.30 | 2.39 | 1.20 | 3.20 | 1.00 | 0.09 | 0.37 | 0.38 | 5.41 | 4.40 | 0.52 | 1.03 |
| CHW3-e | 7.00 | 1.23 | 0.40 | 19.00 | 0.03 | 2.75 | 0.68 | 5.10 | 12.30 | 2.41 | 1.39 | 3.14 | 0.92 | 0.08 | 0.38 | 0.31 | 6.15 | 4.52 | 0.48 | 0.99 |
| CHW3-f | 8.00 | 1.14 | 0.50 | 15.50 | 0.04 | 2.53 | 1.02 | 5.03 | 15.40 | 2.24 | 1.44 | 3.27 | 1.03 | 0.09 | 0.38 | 0.31 | 5.94 | 6.18 | 0.53 | 1.17 |
| TJ1-a | 6.00 | 1.45 | 0.18 | 12.50 | 0.04 | 0.93 | 0.43 | 2.48 | 20.00 | 2.66 | 0.57 | 3.12 | 0.74 | 0.09 | 0.32 | 0.29 | 2.87 | 4.20 | 0.41 | 0.16 |
| TJ1-b | 7.00 | 1.38 | 0.24 | 15.50 | 0.04 | 1.00 | 0.46 | 2.64 | 15.80 | 2.66 | 0.68 | 2.94 | 0.82 | 0.08 | 0.25 | 0.57 | 3.15 | 5.28 | 0.48 | 0.17 |
| TJ1-c | 8.00 | 1.17 | 0.28 | 13.50 | 0.04 | 1.16 | 0.52 | 2.87 | 13.90 | 3.08 | 0.79 | 3.11 | 0.95 | 0.09 | 0.33 | 0.60 | 3.35 | 3.82 | 0.47 | 0.20 |
| TJ1-d | 9.00 | 1.20 | 0.26 | 13.00 | 0.04 | 1.18 | 0.44 | 2.87 | 14.90 | 2.89 | 0.81 | 3.25 | 1.00 | 0.09 | 0.37 | 0.68 | 3.38 | 4.60 | 0.47 | 0.23 |
| TJ1-e | 9.00 | 1.15 | 0.30 | 13.00 | 0.04 | 1.14 | 0.46 | 3.15 | 16.40 | 2.79 | 0.94 | 3.30 | 1.05 | 0.09 | 0.35 | 0.67 | 3.53 | 4.30 | 0.51 | 0.24 |
| TJ1-f | 9.00 | 1.26 | 0.34 | 13.50 | 0.04 | 1.45 | 0.45 | 4.10 | 16.70 | 2.89 | 1.08 | 3.73 | 1.10 | 0.09 | 0.37 | 0.69 | 3.82 | 4.50 | 0.51 | 0.28 |
| TJ2-a | 9.00 | 1.25 | 0.36 | 5.50 | 0.04 | 0.80 | 0.38 | 3.81 | 14.10 | 2.18 | 0.64 | 3.49 | 0.97 | 0.08 | 0.22 | 0.56 | 4.26 | 6.38 | 0.48 | 0.15 |
| TJ2-b | 8.00 | 1.20 | 0.42 | 5.00 | 0.04 | 0.79 | 0.37 | 3.04 | 12.80 | 1.58 | 0.61 | 3.36 | 0.92 | 0.08 | 0.22 | 0.74 | 4.76 | 5.28 | 0.45 | 0.16 |
| TJ2-c | 8.00 | 1.11 | 0.48 | 5.00 | 0.04 | 0.86 | 0.41 | 3.19 | 15.30 | 1.74 | 0.55 | 3.32 | 0.87 | 0.08 | 0.22 | 0.71 | 5.21 | 5.42 | 0.44 | 0.16 |
| TJ2-d | 8.00 | 1.04 | 0.58 | 5.00 | 0.05 | 0.96 | 0.40 | 3.74 | 15.60 | 2.54 | 0.53 | 3.35 | 0.90 | 0.08 | 0.23 | 0.65 | 5.97 | 6.64 | 0.47 | 0.18 |
| TJ2-e | 8.00 | 1.08 | 0.68 | 6.50 | 0.06 | 0.91 | 0.42 | 4.45 | 15.70 | 2.01 | 0.57 | 3.56 | 0.95 | 0.08 | 0.25 | 0.63 | 6.88 | 6.44 | 0.52 | 0.34 |
| TJ2-f | 9.00 | 1.17 | 0.72 | 7.50 | 0.06 | 0.95 | 0.52 | 5.61 | 16.90 | 2.89 | 0.70 | 4.26 | 1.03 | 0.09 | 0.27 | 0.62 | 7.15 | 6.40 | 0.52 | 0.74 |
| TJ3-a | 8.00 | 1.42 | 0.16 | 11.50 | 0.04 | 0.85 | 0.41 | 2.62 | 14.20 | 1.60 | 0.50 | 3.25 | 0.95 | 0.12 | 0.30 | 0.72 | 2.69 | 5.80 | 0.52 | 0.16 |
| TJ3-b | 9.00 | 1.36 | 0.20 | 12.00 | 0.04 | 0.98 | 0.47 | 2.72 | 14.90 | 1.74 | 0.61 | 3.23 | 1.08 | 0.12 | 0.35 | 0.77 | 2.88 | 6.64 | 0.40 | 0.17 |
| TJ3-c | 8.00 | 1.37 | 0.22 | 12.50 | 0.04 | 1.00 | 0.56 | 2.84 | 16.20 | 3.01 | 0.67 | 3.26 | 0.97 | 0.12 | 0.37 | 0.69 | 3.03 | 4.90 | 0.43 | 0.20 |
| TJ3-d | 9.00 | 1.28 | 0.26 | 12.50 | 0.04 | 1.13 | 0.48 | 3.08 | 14.10 | 3.03 | 0.74 | 3.55 | 1.10 | 0.10 | 0.40 | 0.71 | 3.32 | 6.54 | 0.48 | 0.21 |
| TJ3-e | 9.00 | 1.33 | 0.28 | 13.50 | 0.04 | 1.18 | 0.60 | 3.26 | 16.10 | 2.85 | 0.79 | 3.54 | 1.08 | 0.09 | 0.43 | 0.69 | 3.41 | 6.34 | 0.49 | 0.23 |
| TJ3-f | 10.00 | 1.10 | 0.36 | 13.50 | 0.04 | 1.58 | 0.68 | 4.03 | 16.40 | 2.88 | 0.89 | 3.93 | 1.18 | 0.09 | 0.57 | 0.52 | 3.85 | 6.58 | 0.51 | 0.27 |

a; 60~80 mesh, b; 80~100 mesh, c; 100~120 mesh, d; 120~140 mesh, e; 140~200 mesh, f; >200 mesh

받은 대전시료에서 높은 부화도를 갖는다 (Fig. 6A).

연구시료에 포함된 미량 및 희토류 원소의 평균조성을 Govindaraju (1989)가 제시한 일반적인 화강암의 평균함량을 기준으로 표준화한 결과 (Table 4), 양자 모두 부화 및 결핍정도에 큰 차이를 보이지 않는다 (Fig. 6B). 두 지역 모두 Be, Ce, Cr, Li, Pb, Rb, Sc, Sr, Zn 및 Zr을 제외한 나머지 원소들이 부화되어 있고, 환경유해원소인 As, Cd, Cu 및 V도 높은 부화 계수를 갖는다. Cd은 풍화과정에서 쉽게 용해되어 분산되며, 암석에서 토양으로 진행되면서 상대적으로 토양이나 퇴적물에 부화되는 경향을 갖는다. 이 연구에서도

다른 원소들에 비해 부화정도가 크게 나타났다. Ba 및 Rb는 풍화작용에 의한 조성변화가 거의 없지만 지구화학적 과정에서 K와 가장 잘 수반되므로, 모암에서 퇴적물로 진행됨에 따라 흑운모 또는 알칼리 장석의 함량변화로 인하여 기원암에 비해 부화되거나 결핍되는 경우가 있다. 이 연구에서도 입도가 작아짐에 따라 K가 감소되면서 상대적으로 Ba은 부화되는 경향이 있었다. 희토류 원소는 기원암에 비해 토양이나 퇴적물에 부화되어 나타나나, Ce는 심하게 결핍되어 있고 Eu와 Yb는 부화되어 있다.

연구시료의 입도변화에 따른 주성분 원소들의 거동특

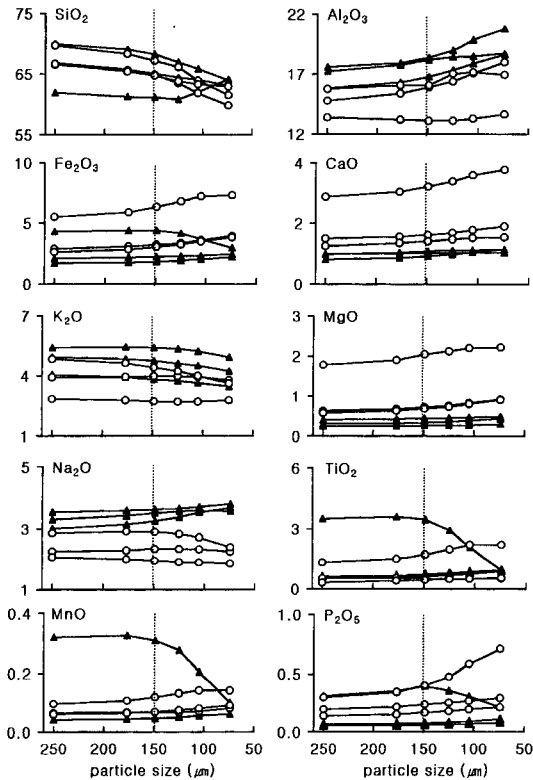


Fig. 7. Diagrams showing major element concentrations (wt.%) as a function of particle size fraction for fluvial sediments from the Changhwon (solid triangles) and Taejon (open circles) area.

성을 알아보았다 (Fig. 7). 일반적으로 환경지구화학 탐사에서는 특정한 입도의 시료를 채취하는 것이 아니라, 어느 입도 이하를 선택하여 이를 분말화한 다음 적당량을 취하여 분석에 이용한다. 따라서 여기에서 언급할 입도분포에 따른 원소들의 조성변화는 각 메쉬의 함량을 누적하여 평균한 값을 기준으로 하였다. SiO₂와 K₂O 함량은 두 지역 모두 입도가 작아짐에 따라 감소하고, Na₂O는 대전지역의 시료에서만 감소하는 양상을 보인다. 특히 SiO₂는 100 메쉬 (150 μm) 이하의 입도에서 함량변화가 뚜렷하나, 인천지역의 한 시료는 140 메쉬 이하에서 갑자기 증가한다. 이는 시료에 문제가 있었던 것으로 보인다.

Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, MnO 및 P₂O₅의 함량은 오히려 입도가 작아지면서 증가하는 경향이 있다. 특히 Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO 및 P₂O₅는 100 메쉬 이하의 입도에서 명확한 함량변화가 인지되며, 장호원보다 대전 시료에서 잘 나타난다. CaO, TiO₂ 및 MnO는 입도가 감소함에 따라 함량은 증가하지만, 뚜렷한

변화는 보이지 않는다. 장호원 시료 중에서 TiO₂, MnO 및 P₂O₅는 입도가 감소함에 따라 일정한 함량변화를 보이다, 120 메쉬 이하에서 급격히 감소되는 것이 있으나 이는 SiO₂의 거동에 따른 영향으로 보인다.

주원소와 동일한 방법으로 입도변화에 따른 일부 미량 및 희토류 원소들의 거동특성을 알아보았다 (Fig. 8). 동일한 입도분포를 갖는 것 중에서 As, Be, Ni, Pb, Rb, Sr 및 V 등은 이차적인 환경오염의 영향을 받는 대전시료에서 더 높은 함량을 갖는다. 또한 대전 시료의 Be, Co, Cu, Hf, Li, Ni, Pb, Sc, V, Zn 및 Zr의 함량은 입도가 작아짐에 따라 증가한다. 이 중에서 Be, Cu, Hf, Ni, Zn 및 V는 100 메쉬 이하에서 함량의 증가경향이 뚜렷하다. Pb는 100 메쉬 이하 입도까지는 일정한 함량을 갖지만, 120 메쉬 이하에서 명확한 변화가 인지된다. 이상에서 언급한 대부분의 변화 경향은 장호원 시료에 비하여 대전지역의 시료가 보다 뚜렷한 변화경향을 보였다.

환경유해원소 (As, Cd, Co 및 Cr)들의 함량은 입도가 작아짐에 따라 다소 증가되는 경향은 있으나 큰 영향을 받지 않는다. 또한 두 지역의 시료에서 Ba, Rb 및 Sr은 다른 미량원소들의 거동과는 달리 입도에 따라 함량도 감소한다 (Fig. 8). Ce은 입도가 작아지면서 미약하게 증가하며 100 메쉬 이하의 입도에서 약간의 함량변화가 있다. Eu은 120 메쉬 이하 입도까지는 함량변화가 없으나 140 메쉬 이하에서 증가하는 경향이 있고, Yb은 거의 변화가 없으나 일부 시료의 120 메쉬 이하에서 약간의 변화가 나타난다.

일반적으로 입도가 작을수록 미량원소와 SiO₂의 상관관계는 좋은 이상치를 얻을 수 있다. 그러나 시료가 너무 미립인 경우 금속함량이 높아져 가이상 (false anomaly)을 초래할 수 있으며, 시료채취는 입도가 작아질수록 어렵다 (Cullers, 1994). 또한 현장에서 120 메쉬 이하의 시료를 얻기 어렵다는 것은 이미 알려진 사실이고, 석영과 장석을 많이 함유한 조립질인 경우에도 금속함량이 낮게 검출되는 경향이 있다. 한편 미량 원소 함량은 입도가 감소함에 따라 대부분 증가하거나 유사한 경향을 보이고, 인위적인 오염을 받지 않은 지역보다는 이차적인 영향을 받은 지역에서 변화양상이 뚜렷해짐을 알 수 있다. 희토류 원소는 입도변화에 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있으나, 많은 시료를 분석하여 입도에 따른 함량변화의 특성을 파악하여야 할 것이다.

이상에서와 같이 일부 원소들 (Ba, Rb 및 Sr)은 조립질 시료에 더 농축되는 경향이 있다. 그러나 지구화

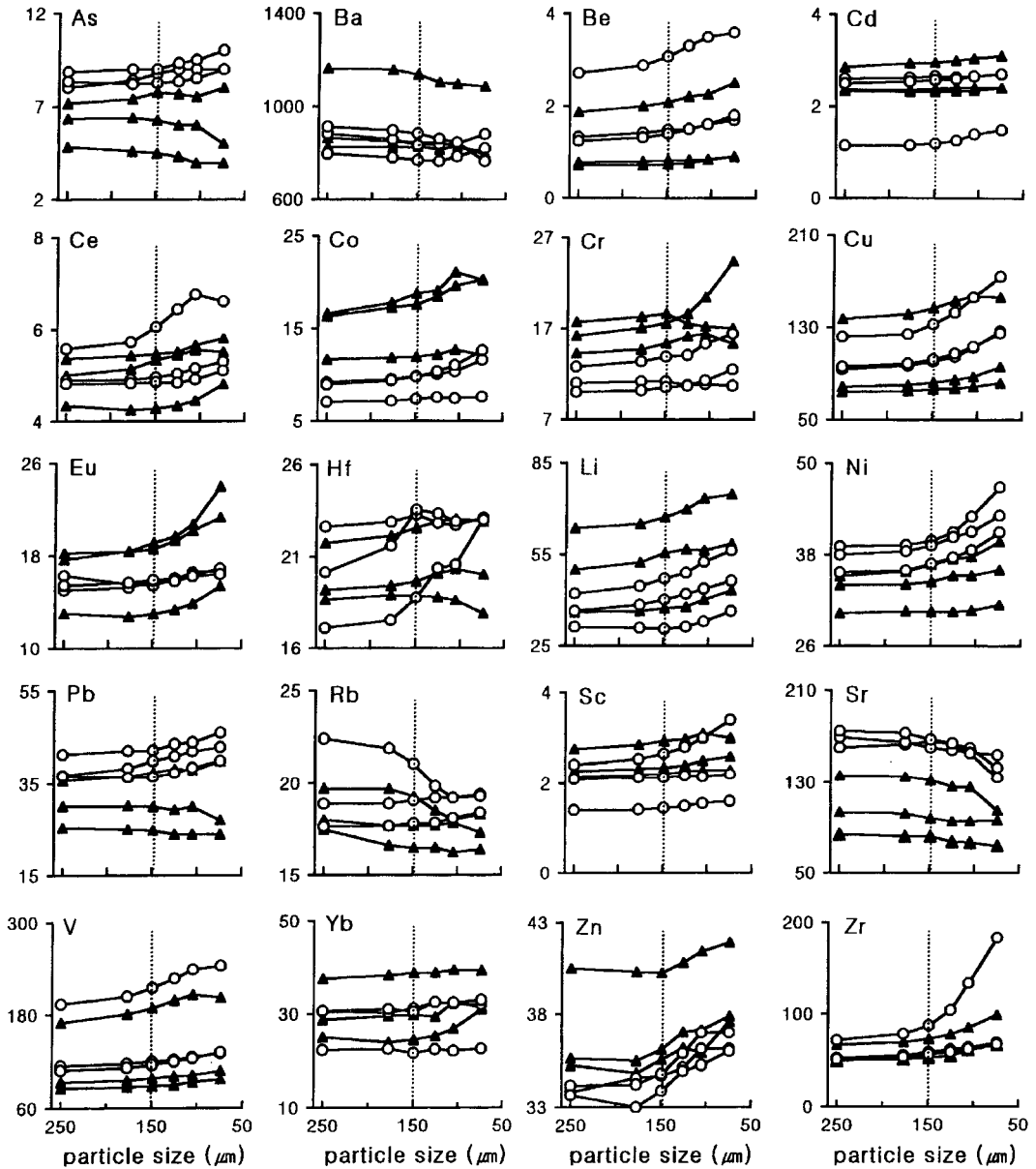


Fig. 8. Diagrams showing some minor and rare earth element concentrations (ppm) as a function of particle size fraction for fluvial sediments from the Changhwon (solid triangles) and Taejon (open circles) area.

학적 다양성을 보다 쉽게 감지하고 시료채취 시간, 노동력, 경제성 및 분석자료의 효율성을 고려할 때 하상 퇴적물의 화학분석에는 100 메쉬 이하의 시료를 선택하는 것이 가장 이상적이라고 판단된다.

결 언

1. 연구대상 퇴적물의 일부 원소비 (SiO_2/Al_2O_3 , Al_2O_3

$/Na_2O$, K_2O/Na_2O , V/Ni , Cr/V , Ni/Co , Zr/Hf)로 볼 때, 근원암은 산성-중성의 화강암질암이며 풍화와 퇴적 당시의 환경은 거의 변화가 없었던 것으로 추정된다. 대부분의 퇴적물은 SiO_2 함량이 증가함에 따라 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Be , Cs , Cu , Li , Ni , V 및 Zr 은 감소하고 K_2O , Na_2O , Ba 및 Sr 은 증가하는 경향을 보인다.

2. 일반적인 화강암의 평균조성과 비교할 때, 연구대상 퇴적물의 주성분 원소 (Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO ,

CaO 및 MgO) 함량은 모두 부화되어 있다. 미량 및 희토류 원소 중에 As, Cd, Cu 및 V은 부화되어 있고 Be, Ce, Rb, Sc, Sr, Zn 및 Zr은 결핍되어 있다. 부화계수는 입도가 작아지면서 증가하는 경향이 뚜렷하다.

3. 일반적으로 퇴적물의 입도가 작아지면서 SiO₂는 감소하고, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, MnO 및 P₂O₅는 증가하는 경향을 갖는다. 또한 입도가 감소함에 따라 Be, Cu, Hf, Ni, Pb, V, Zn 및 Zr의 함량은 다소 증가하나 Rb와 Sr은 감소한다.

4. 특히 입도에 따른 Fe₂O₃, CaO, MgO, P₂O₅, Cu, Ni, Zn 및 Zr의 함량변화는 이미 오염이 진행된 대전 지역의 퇴적물에서 뚜렷한 경향을 보이며, 100 메쉬 미만의 입도에서 현저하게 나타난다. 따라서 환경지구화학 탐사를 위한 퇴적물 시료의 입도는 100 메쉬 이하로 채취하는 것이 이상적이라고 판단된다.

사 사

이 연구는 한국과학재단 후원 전략광물자원연구센터의 지원을 받아 수행되었음을 명기하며 이에 감사한다. 일부는 1997년도 한국자원연구소 위탁연구 (경기 북부 지역에 관한 지질환경에서의 유해원소 분산연구)의 지원을 받았다. 연구의 수행에 많은 도움을 주신 홍영국 박사께 감사하며, 원고를 심사해주시고 건설적인 비평과 조언을 하여주신 광주과학기술원의 김경웅 교수와 한국자원연구소의 이평구 박사께도 사의를 표합니다.

참고문헌

김경웅, 이현구 (1996) 대전지역 하천수 및 하상퇴적물에서의 중금속 오염. 한국자원공학회지, 33권, p. 266-273.
 김수진, 노진환, 장세원 (1989) 한국지질도, 장호원도폭 (1:50000) 및 설명서. 한국동력자원연구소. 17p.
 김옥배, 이무성 (1992) 상이한 배경값을 갖는 인접지역에 대한 지구화학탐사 자료의 최적해석법과 시료채취 형태에 관한 연구. 한국자원공학회지, 29권, p. 316-325.
 박희인, 이준동, 정지곤 (1977) 한국지질도, 유성도폭 (1:50000) 및 설명서. 자원개발연구소. 21p.
 이진수, 전효택, 김경웅 (1996) 충주지역 흑색세일 분포지역에서의 잠재적 독성원소들의 분산과 부화. 자원환경지질, 29권, p. 495-508.
 이찬희, 이현구, 이종창 (1998) 나립광산 수계의 토양과 퇴적물에 관한 지구화학적 특성: 중금속 원소의 분산, 부화 및 기원. 자원환경지질, 31권, p. 297-310.
 이현구, 이찬희 (1998) 충주호 상류, 상곡광산 수계에 분포하는 토양과 하상퇴적물의 중금속 오염. 지하수환경, 5권, p. 10-20.
 전효택, 김중대, 김옥배, 민경원, 박영석, 윤정환 (1993) 응용지구화학. 서울대학교 출판부, 380p.

전효택, 안주성 (1996) 수도권 위성도시의 토양과 분진의 중금속 오염에 관한 연구. 자원환경지질, 29권, p. 87-100.
 Arakel, A.V and Hongjun, T. (1992) Heavy metal geochemistry and dispersion pattern in coastal sediments, soil and water of Kedron Brook floodplain area, Brisbane, Australia. Environ. Geol. Water Sci., v. 20, p. 219-231.
 Cullers, R.L. (1988) Mineralogical and chemical changes of soils and stream sediment formed by intense weathering of the Danburg granite, Georgia, U.S.A., Lithos, v. 21, p. 301-314.
 Cullers, R.L. (1994) The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A., Chem. Geol., v. 113, p. 327-343.
 Cullers, R.L., Barrentt T., Calson R, and Robinson B. (1987) Rare-earth element and mineralogic changed in Holocene soil and stream sediments: a case study in the Wet Mountains Colorado, U.S.A., Chem. Geol., v. 63, p. 275-297.
 Cullers, R.L., Basu, A. and Suttner, L.J. (1988) Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco root batholith, Montana, U.S.A., Chem. Geol., v. 70, P. 335-348.
 Govindaraju, K. (1989) 1989 compilation of working values and sample description for 272 geostandards. Geostandards Newsletter, v. 13 (special issue), p. 1-113.
 Gromet, L.P, Dymek, R.F, Haskin, L.A. and Korotev, R.L. (1984) The "North American shale composite" : its complication, major and trace elements characteristics. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 48, p. 2462-2482.
 Koonenberg, S.B. (1994) Effect of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments. Proceedings of the 29th International Geological Congress. Part A, p. 69-81.
 Mazzucchelli, R.H. (1972) Secondary geochemical dispersion patterns associated with the nickel sulphide deposits at Kambalda, WesternAustralia. Jour. Geochim. Explor., v. 1, p. 103-116.
 Mazzucchelli, R.H. and James, C.H. (1967) arsenic as a guide to gold mineralization in laterite-covered areas of Western Australia. Trans. IMM, v. 75, p. 285-294.
 McLennan, S.M., Taylor, S.R. and McFregor, V.R. (1984) Geochemistry of Archean metasedimentary rocks, West Greenland. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 48, p. 1-13.
 Nesbitt, H.W. (1979) Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. Nature, v. 279, p. 206-210.
 Nockolds, S.R., and Allen, R. (1954) Average chemical compositions of some igneous rocks. Geol. Soc. Amer. Bull., v. 65, p.1007-1032.
 Plant, J. and Raiswell, R. (1983) Principles of environmental geochemistry. In: Thornton, I. (ed.), Applied Environmental geochemistry. Academic press, London, p. 1-39.

- Rollinson, H.R. (1993) Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Sci. Tech., 352p.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S. (1979) Geochemistry in mineral exploration. 2nd ed., Academic Press, London, 657p.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M. (1985) The continental crust: Its Composition and Evolution. Blackwell, Oxford, 312p.
- Taylor, S.R., Rudnick R.L., McLennan S.M., and Eriksson K.A. (1986) Rare earth element patterns in Archean high-grade metasediments and their tectonic significance. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 50, p. 2267-2279.
- Thornton, I. (1983) Applied Environmental Geochemistry. Academic Press. 501p.
- Yoshii, M., Goto, H. and Katada, M. (1990) Minor elements of the Paleozoic-Mesozoic sandstone and mudstone in the Kitakami Mountains, Northeastern Japan. *Jour. Japan Assoc. Petr. Econ. Geol.*, v. 85, p. 442-454.

1999년 2월 23일 원고접수, 1999년 5월 3일 게재승인.