

지구 통계학적 방법에 의한 충남 탄전 지역 하상퇴적물의 미량원소 오염조사

황춘길* · 김경웅* · 이현구**

Investigation of Trace Element Contamination in Stream Sediments in the Chungnam Coal Mine Area Using Geostatistical Approach

Chun-Kil Hwang*, Kyoung-Woong Kim* and Hyun Koo Lee**

ABSTRACT : In order to examine the contamination levels of trace elements in stream sediments in the Chungnam Coal Mine area, stream sediment and water samples were collected and analyzed for trace elements. The pH of stream water was neutral or weak-alkaline and the mobility of metal in stream sediments was supposed to be low. From the result of cluster analysis, non-polluted sampling stations can be distinguished from polluted sampling stations influenced by mining activities. The trace element concentrations in sediments from non-polluted zone were considered to be the natural background concentrations of this area. The trace element concentrations in sediment samples from the mining area were higher than those from non-polluted area, and contaminated area of enriched trace element levels need to be properly managed. From the results of discriminant and regression analyses, concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn and predicted values of Be, Mo, and Ni in Chungnam Coal Mine area were found to be lower than those in metal mining areas in Korea.

서 언

폐탄광에서 야기되는 산성폐수는 수계를 통하여 주변 지역을 심각하게 오염시켜 많은 문제를 야기하고 있으며 (Cohen and Staub, 1992), 국내에서도 이에 대한 피해를 줄이기 위한 지구화학적 조사와 처리에 대한 연구가 강원도 지역의 폐탄광을 중심으로 수행되고 있다 (김정엽 외, 1995; 민정식 외, 1995; 김주용, 1998). 충남지역의 탄전에 관한 연구로는 이찬희 외 (1997)에 의한 암석학적 연구와 김경웅 외 (1998)에 의한 암석중의 중금속함량을 이용한 부화지수의 계산 등에 관한 연구가 있는 정도이다. 따라서 본 연구에서는 충남탄전 성주지역을 중심으로 하상퇴적물 및 하천수내 미량원소의 오염정도를 조사하여 주변 생태계로의 영향을 조사하고자 한다. 또한 이와 같은 자료를 이용한 지구통계학적인 처리로 연구지역의 자

연배경치를 설정하고, 그와 비교하여 오염지역의 오염정도를 조사할 것이다. 자연배경치를 설정하기 위하여는 인위적인 부화가 되지 않은 지점을 찾아 하상퇴적물 시료에 대해 군집분석을 실시하였으며, 자연배경치보다 높은 미량원소들의 함량을 가진 지역은 광산활동에 의한 오염지역으로 간주하여 이를 처리하기 위한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

연구 지역

충남탄전은 한국의 중서부 해안지역에 위치하고 있으며, 성주지역을 제외하고는 완만한 경사를 이루는 평坦한 지역이 대부분이다. 이 지역의 지리적 위치는 $35^{\circ}30' - 36^{\circ}40'N$, $126^{\circ}30' - 126^{\circ}53'E$ 이며, 여산군, 홍성군, 청양군, 부여군, 보령시, 대천시 그리고 서천군의 일부를 포함하여 부존 면적이 $1,040 \text{ km}^2$ 에 달한다. 성주지역의 충남탄전에는 선캠브리아기의 변성암류와 이를 부정합으로 피복하거나 단층으로 접한 트라이아스-쥬라기의 대동누층군이 분포하며 이를 관입한 맥암류가 있다 (Fig. 1). 변성암류는 호상편마암, 안구상편마암, 화강편마암, 석영편암, 운

* 광주과학기술원 환경공학과 (Department of Environmental Science and Engineering, Kwangju Institute of Science and Technology, Kwangju 500-712, Korea), E-mail: kwkim@eunhasu.kjist.ac.kr

** 충남대학교 지질학과 (Department of Geology, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

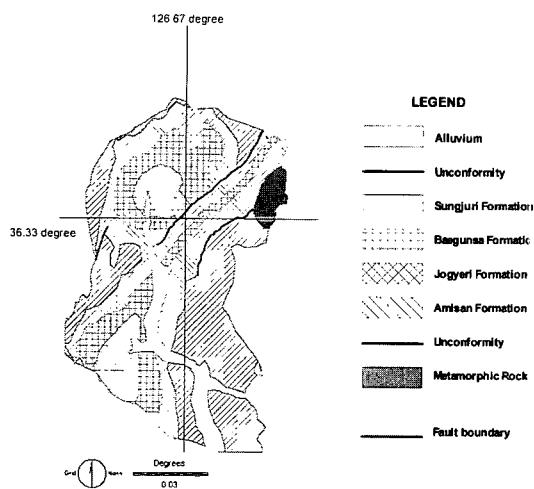


Fig. 1. Simplified geological map (modified after Park, 1990).

모편암으로 구성되어 있고, 대동누층군의 퇴적암류는 하부로부터 하조층, 아미산층, 조계리층, 백운사층, 성주리층으로 이루어져 있다. 이 지역의 대동누층군에는 하조층과 성주리층을 제외한 3개 층에 총 30여매의 탄층이 협재

하나 아미산층에 6매, 조계리층의 2매, 백운사층의 4매가 가행의 대상이었다 (이찬희 외, 1997). 석탄을 구성하는 유기물은 C, H, O, N, S의 기원이 되며 충남탄전산 무연탄은 삼척탄전의 무연탄에 비하여 열량이 낮고 수분의 함량이 높아 저질탄에 속한다 (박석환, 1990).

연구지역은 서산면 북쪽 일부를 포함한 성주면을 주로하고 지리적 위치는 35°16'01"~36°22'53"N, 126°37'08"~126°43'27"E이다 (Fig. 2). 덕수, 성림, 세풍, 성주, 개화, 대보, 한보, 심원 등의 석탄광들이 1992년까지 존재하였으며, 갈색 침전물들이 수계 두 지점에서 발견되었고 수계전반에 걸쳐 백색 침전물들이 보여진다. 또한 폐석과 광미등이 폐갱구와 하천을 따라 아직까지 널려 있는 실정이다.

시료채취 및 분석

하상퇴적물 시료와 하천수 시료는 응천을 따라 대부분의 지류에서 채취하였다. 유입되는 물의 영향을 고려한 대표성을 떠는 시료를 얻기 위하여 지류의 시작점, 합류

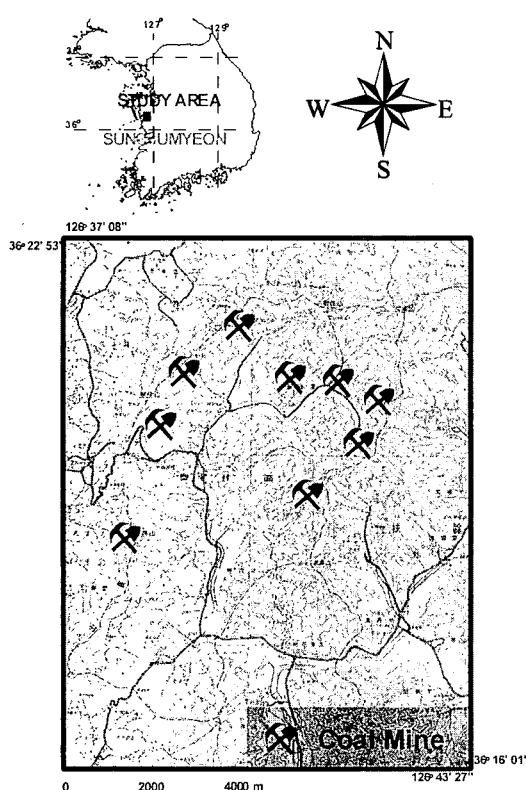


Fig. 2. Study area in Chungnam Coal Mine Field.

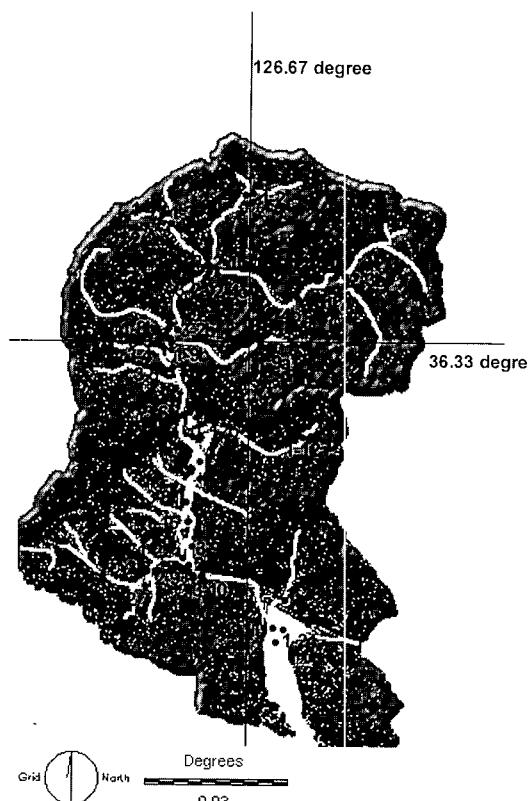


Fig. 3. Sampling stations of stream sediments and waters in the Chungnam Coal Mine area.

점 그리고, 긴 지류의 경우 (2 km 이상)는 시료채취지점을 몇 군데로 나누어서 채취하였다. 하천수시료는 1997년 12월과 1998년 2월에 각각 채취하였고, 하상퇴적물 시료의 경우는 1997년 12월에 한번 채취하였다 (Fig. 3). 하상퇴적물 시료와 하천수 시료는 동일한 지점에서 가능한 유속이 느린 곳에서 각각 40개 지점에서 시료를 채취하였다. 하상퇴적물 시료는 각 시료채취지점을 대표할 수 있도록 9군데에서 부시료를 채취하여 합한 시료를 한 개의 주시료로 하였고, 채취된 시료는 지퍼백에 보관하였다. 하천수의 경우 음이온 분석용과 양이온 분석용의 시료를 동일 지점에서 각각 취하여 처리한 후 냉장보관하였다.

하상퇴적물 시료의 경우는 자연상태에서 건조시킨 후, 덩어리 진 시료를 유발로 가볍게 깬 후 -10 mesh 체로 체질을 하였다. 이것을 다시 사분하여 -80 mesh 체로 체질하여 최종적으로 분석용 시료를 얻었다. 화학분석을 위하여 시료를 0.25 g 취하여 이곳에 HNO_3 4 mL과 HClO_4 1 mL을 가하여 24시간 동안 (50°C에서 3시간, 150°C에서 3시간, 180°C에서 18시간) 가열하였다. 잔류물은 5M HCl 2 mL을 가하여 추출한 후 8 mL의 중류수를 가하여 총 10 mL의 시료로 만들었다. 최종 용액을 2분 동안 2000 rpm으로 원심분리한 후, 영국 Imperial College에서 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer)로 분석하였다. 9종의 주성분원소, 14종의 미량원소, 그리고 1종의 희토류원소를 포함하여 총 24개 원소를 분석하였다. 분석결과 중복시료로 계산된 정밀도와 참고시료로부터 계산된 절대오차로 표현되는 정확도가 10% 이하의 값을 보여 믿을만한 결과임을 알 수 있었다.

하천수 시료는 0.45 μm 공극크기의 여과지로 여과한 후 냉장 보관한 시료를 양이온용은 HCl을 가하여 pH를 2 이하로 조절함으로써 이온이 용기 벽면에 흡착되는 것을 방지하였다. 5 mL의 하천수 시료를 취하여 전처리 없이 하상퇴적물과 같이 24원소를 분석하였다. 또한 음이온 분석용 시료를 IC (Ion Chromatography)로 SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- 을 분석하였고, pH는 현장에서 직접 측정한 후 온도와 유량에 따른 차이를 보정하기 위하여 냉장보관한 시료를 실험실에서 다시 측정하였으나 유의할 만한 차이는 보이지 않았다.

결과 및 토의

하상퇴적물내 미량원소의 오염

자연조건에서도 하상퇴적물이나 토양 내에 부화되어

있는 미량원소들은 동, 식물에 영향을 미쳐 환경문제를 유발시키기도 한다. 따라서 본 연구지역 하상퇴적물내 미량원소들의 자연배경치를 찾고 이와 비교하여 그 유해성 여부를 살펴보았다. 또한 광산활동에 의해 인위적으로 부화된 미량원소들의 함량을 자연배경치와 통계학적으로 비교함으로써 그 근원을 추적할 수도 있을 것이다.

자연배경치를 찾기 위하여 하상퇴적물 시료에 대한 군집분석을 실시하여 광산활동에 의해 인위적으로 부화되지 않은 시료채취지점을 찾고자 하였다. 군집분석은 관측값들 사이의 유사성을 바탕으로 하여 동질의 집단을 찾는 다변량 통계분석 방법의 하나인데, 여기서는 시료 채취지점들 사이의 상관성에 기초하여 Q-모드의 군집분석을 실시하였다. 우선 분석된 지화학 자료로부터 원소들의 농도를 표준화하여 시료 채취 지점을 사이의 상관계수를 계산하였다. 군집분석은 거리를 정의하는 방법에 따라 다른 결과를 얻을 수 있는데, 여기서는 좌표개념의 유클리안 거리 측정 방법의 군집분석을 실시하였고, 비오염지대를 정의하기 위해 광산활동지역에서 고립된 집단을 찾는데 중점을 두었으므로 최단거리 방법인 단일연결법을 취하였다.

군집분석의 결과를 Fig. 4에 나타내었고, Fig. 5와 같이 지도상에 집단화하여 도시하였다. 1-15, 1-23b, 1-24, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8, 2-9, 3-11 그리고 1-22 시료채취지점이 전체 집단들에서 고립되어 있고 (Fig. 4), 특히 2-5~2-9 지점은 문현상에서 광산활동이 없었던 지역이다. 1-24 지점은 본 연구지역에서는 제외된 지역이지만, 상류에 많은 광산활동이 있었던 지역임에도 불구하고 비오염집단과 함께 분류되었다는 것은 중요한데, 이것은 본 연구지역 하천수의 pH가 높아짐에 따라 미량원소들의 이동도가 상

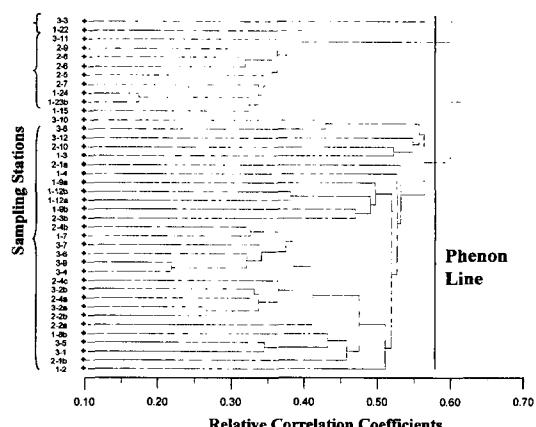


Fig. 4. The dendrogram showing the relative correlation coefficients between sampling stations.

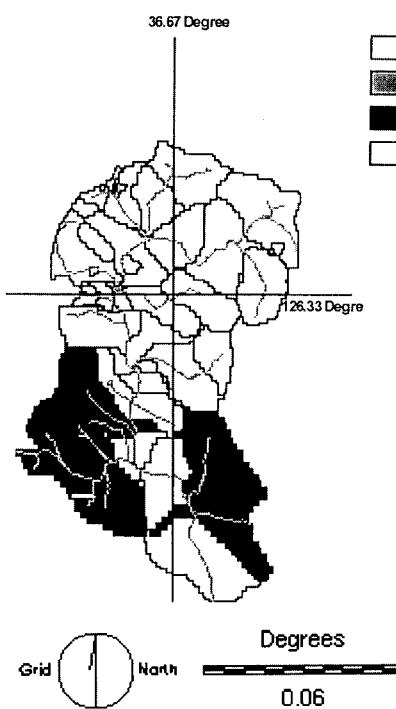


Fig. 5. Classified sampling stations from the results of cluster analysis.

당히 떨어진 것에 기인한 것이다. 또한 1-23b 지점은 근처에 한일 시멘트공장이 있는 지점이지만 공장이 상당히 떨어져 있고 탄광과는 무관한 곳이라 광산활동에 의한 오염에는 영향을 주지 않은 곳이다. 한편 3-3 지점은 모든 집단에서 고립되어 있는데, 이 지점은 3지류가 합류하는 지점으로써 물리적으로 이동한 미량원소들이 축적되기에 지형적으로 아주 적합한 곳이고 많은 주민들이 거주하는 곳이므로 유의해야 한다.

Fig. 4의 군집분석의 결과로는 가운데 집단(시료 위치 3-11~1-23b)은 다른 집단에 비하여 오염되었을 가능성이 상당히 적을 것으로 생각된다. 광산활동의 영향을 받았을 가능성이 있는 1-24, 3-11, 1-22와 2-10 지점을 제외한 2-5~2-9와 1-23b 지점을 택하여 비오염지역으로 하였고, 그 지점들의 미량원소 함량을 평균하여 본 연구지역의 자연배경치로 삼았다. 그 평균값들이 이상치를 보이면 자연적으로 부화된 함량으로 간주하였다. 미량원소의 자연부화정도를 알기 위하여 자연배경치를 지구퇴적물의 평균함량과 비교하였다 (Bowen, 1979). 미량원소 중 Cr, Sr, V, Ni, Ba, Be, Co, Cu, Mo와 Zn 등은 지구퇴적물의 평균함량과 비교하여서는 위험한 수준은 아닌 것으로 생각되지만, Ag와 Pb 등은 자연적으로 상당히 부화되어 있어 유의해야 할 것으로 생각된다 (Table 1).

Table 1. Background concentrations of elements in stream sediments in the study area and the ratio of these concentrations to the mean concentration in the earth sediments.

Element	Background conc. in study area(B) (N=6)	Mean conc. in the earth sediments* (M)	Ratio of B/M
Al	37850	72000	0.526
Ca	1230	66000	0.019
Fe	19600	41000	0.478
K	10593	20000	0.53
Mg	2760	14000	0.197
Mn	757	770	0.983
Na	358	5700	0.063
P	308	670	0.459
Ti	943	3800	0.248
Ag	0.51	0.057	9.006
Ba	357.3	460	0.777
Be	1.47	2	0.735
Cd**	0.35	0.17	2.059
Co	11.22	14	0.801
Cr	6.3	72	0.088
Cu	19.5	33	0.591
La	38.5	41	0.939
Li	15.8	56	0.282
Mo	1.87	2	0.933
Ni	19.2	52	0.37
Pb	31.2	19	1.642
Sr	32.1	320	0.1
V	27.3	105	0.26
Zn	61.8	95	0.65

*Bowen (1979), **No. of samples=2.

하상퇴적물내 미량원소의 인위적인 부화정도

하상퇴적물은 물속에 재용출될 수 있는 미량원소들의 궁극적인 저장소이다. 고상으로 존재하는 미량원소의 화학적 형태는 그 용출과 이동에 영향을 줄 수 있고, 또한 생물학적 흡입정도도 그 형태에 따라 결정될 수 있다. 비균질계에 있는 미량원소들의 오염도를 고려할 때, 자연환경의 미량원소의 이동도와 생물학적 물리적 효력은 결합형태에 따라 다르다. 수계의 흡착, 킬레이트 침전 형태 등과 같은 화학형태는 효과적인 정보를 제공하지만 다양한 형태와 미량의 침전물의 화학형태를 알아낸다는 것은 어려운 일이다.

광산활동지역 미량원소들의 함량을 연구지역의 자연배경치와 비교함으로써 미량원소들의 인위적인 부화정도를 계산하고, 그 공간적 분포형태를 살펴보았다 (Fig. 6). 광산활동과 관련된 대부분의 지역에서 자연배경치보다 높은 수치를 보임을 알 수 있다. 또 몇몇 지역은 자연배경치보다 2~5배 정도 높은 값을 보임으로써, 이 지역은 관리가 필요할 것이다. Ag와 Cd의 자연배경치는 지구퇴적물의 평균함

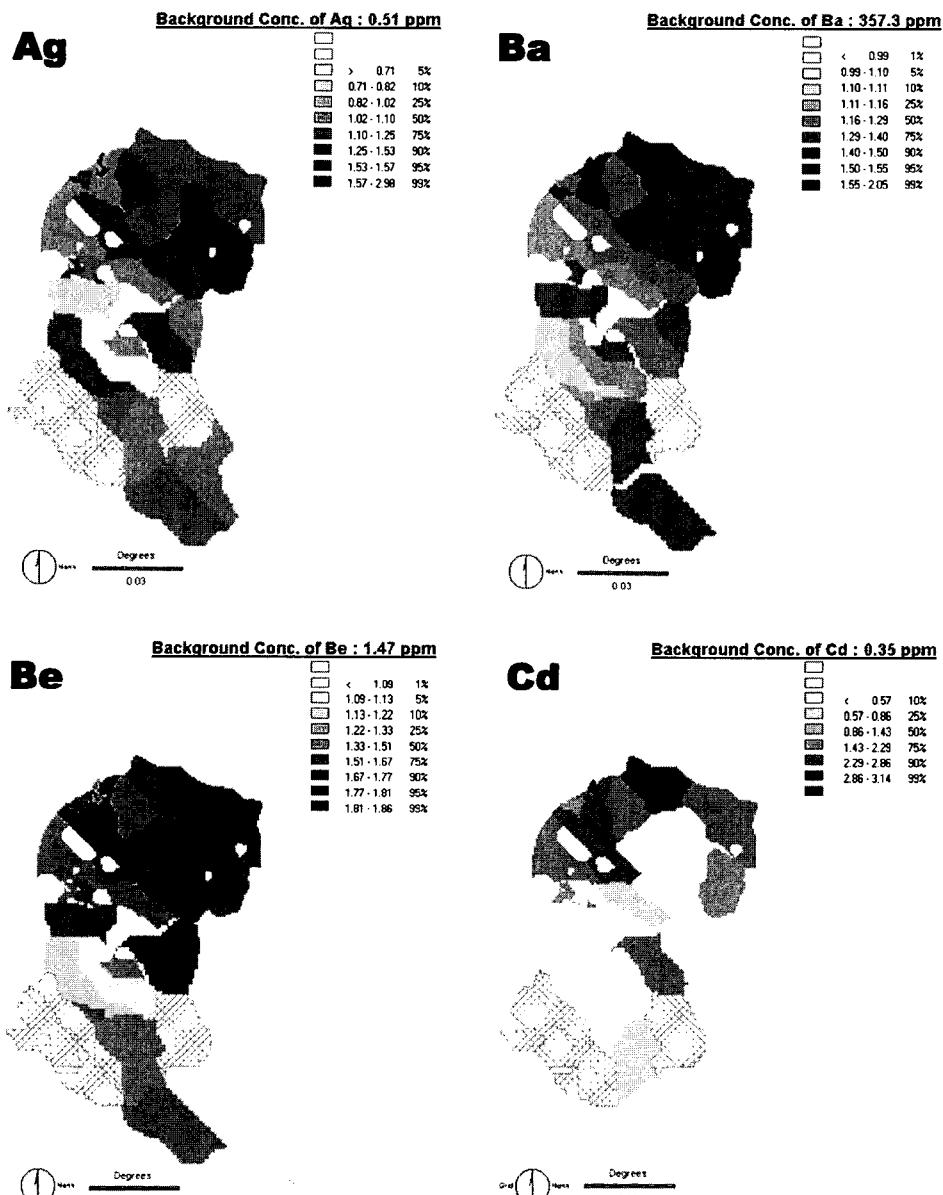


Fig. 6. Anthropogenic enrichment index of trace elements comparing with background concentrations of study area (Enrichment index=concentration of element/background concentration of element in the study area).

량보다 높음에도 불구하고, 많은 지역에서 자연배경치보다 높게 나옴으로써 등식물에 유해할 가능성이 크다고 생각된다. 특히 1-9a과 1-9b 지점은 수자원 공사가 지정한 상수원 보호구역인데, 인위적인 부화 정도가 광산활동지역과 비슷하거나 높음을 보임으로써 자세한 조사가 필요할 것이다. 군집분석에서 비오염집단으로 분류된 1-22지점의 Co 농도는 자연배경치의 10배에 가깝다. 3-1지점은 광산활동의 영향을 직접적으로 받은 세 지류들이 합류하는 지점인데, 지

도상에서 대부분의 원소들의 함량이 높게 나타나고 있다. 인위적으로 부화된 원소들은 용출되거나 쉬울 것이고 이차적인 오염으로써 작용할 것이다. 따라서 자연정화나 인공적인 고안에도 불구하고 지속적인 감시와 처리가 필요하다.

판별분석과 회귀분석을 통한 미량원소의 오염도 조사

광산활동에 의해 오염된 지역과 본 지역을 비교하여 본

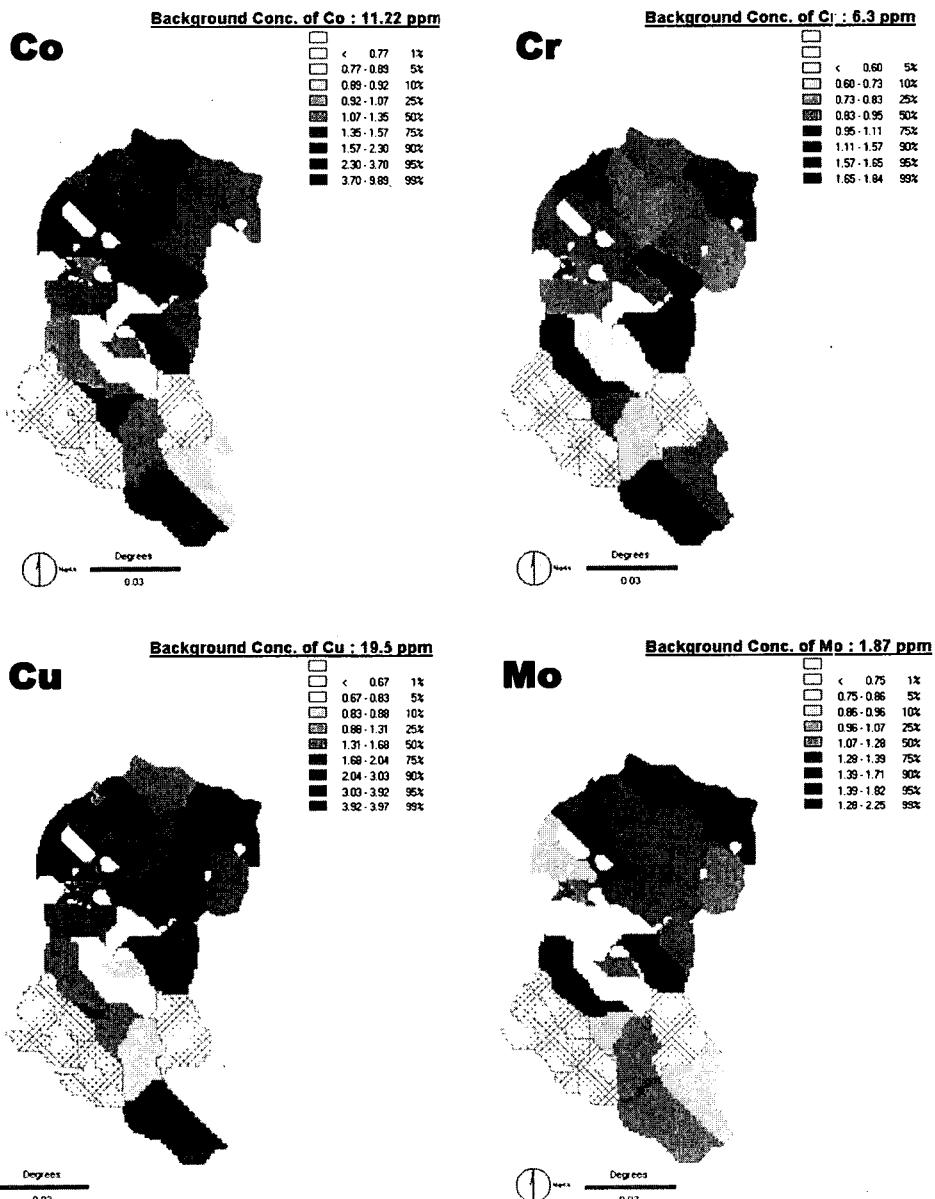


Fig. 6. Continued.

연구지역의 오염유무를 판단해 보고자 판별분석을 실시하였다. 판별분석은 모집단에서 추출된 표본이 가지고 있는 정보를 이용하여 다른 표본이 어느 모집단에서 추출된 것인지를 결정할 수 있는 기준을 찾는 분석방법이다. 판별함수는 이미 알고 있는 모집단의 관측값에 기초하여 계산되고, 새로운 관측값은 그 판별함수에 의해 분류된다. 판별분석, 혹은 분류해석에서 판별함수를 찾는 기준은 다양하고, 그 분류방법도 분류 조건에 따라 다양하다. 그러

나 기본적으로 판별함수는 모집단사이의 차이를 가장 잘 구분할 수 있도록 설정되어야 한다.

판별분석에 투입된 관측값은 국내 금속광산지역의 중금속들의 농도로 하였고, 이를 이용하여 계산된 값과 본 연구지역의 결과를 비교하여 폐금속광과 폐탄광에서의 오염양상도 비교해 보았다. 각 지역에서의 관심 원소들이 서로 상이하여, 공통적 특성 원소인 Cd, Cu, Pb와 Zn을 선택하여 관측값으로 하였다. 각 연구지역의 자료를 대상

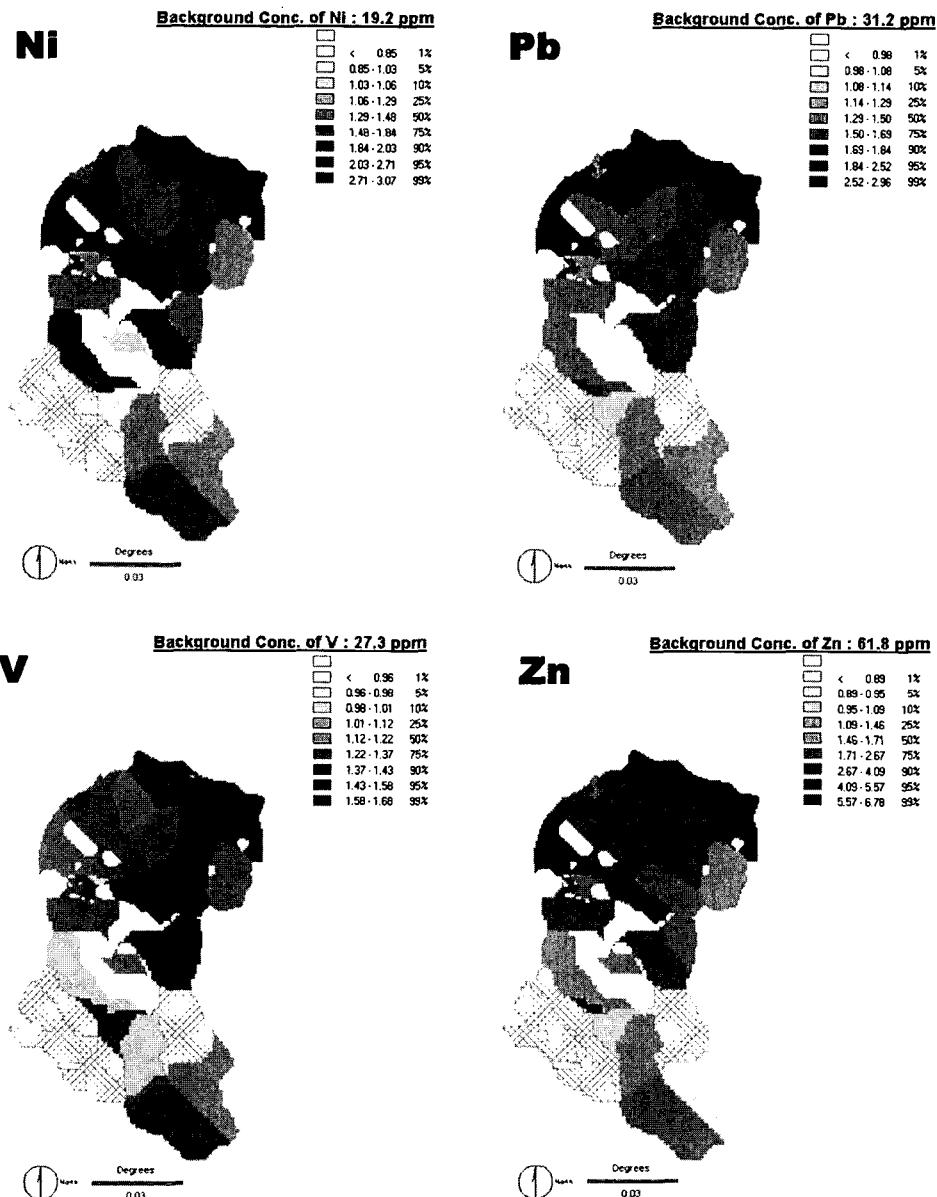


Fig. 6. Continued.

지역과 비교지역으로 나누었는데, 대상지역은 금속광산활동으로 오염된 집단으로, 비교지역을 비오염집단으로 나누었고, 이 두 집단을 잘 구분할 수 있는 판별함수를 구하였다. 하상퇴적물을 연구 대체로 삼은 지역만을 선택하여 판별함수를 구함으로써, 판별함수의 객관성을 취하였다. 대상지역 중에는 오염원의 가까이에 있는 체취된 지점과 오염원에 의한 영향을 아주 적게 받는 지점이 있으나 오염원의 영향에서 완전히 벗어난 지역을 비교지역으로 정

의하여 비오염집단으로 하였다. 판별함수는 금속광에 의해 오염된 지역과 비오염지역만을 구별할 수 있는 능력을 지녔다. 판별함수를 설정하는데 투입된 입력자료는 총 7개 금속광산 지역에서 얻은 것인데 (Fig. 7), 7개의 금속광산활동에 의해 오염된 지역에서 55개의 자료집단과 비오염지역에서 취한 13개 자료집단이다 (Table 2).

한편 두 집단을 분류하기 전에 사전 확률이 정의 되기도 하는데 (Davis, 1986), 이것은 때때로 집단의 표본크기

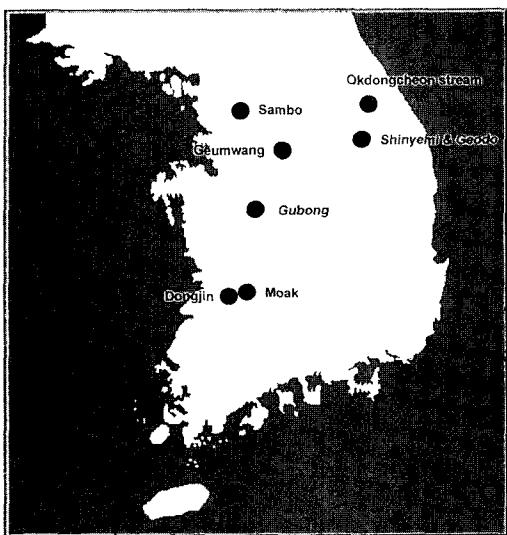


Fig. 7. Location of selected metal mines for discriminant analysis.

에 의해 정의된다. 그러나 본 연구에서는 비오염 집단의 표본수가 적은 것이 비오염집단의 모집단 크기가 적은데서 기인했다기 보다는 객관적인 표본을 얻기가 용의하지 않음에 기인하여 오염집단의 표본수보다 적은 것이므로 사전 확률은 같은 것 (0.5:0.5)으로 하였다. 분산 공분산

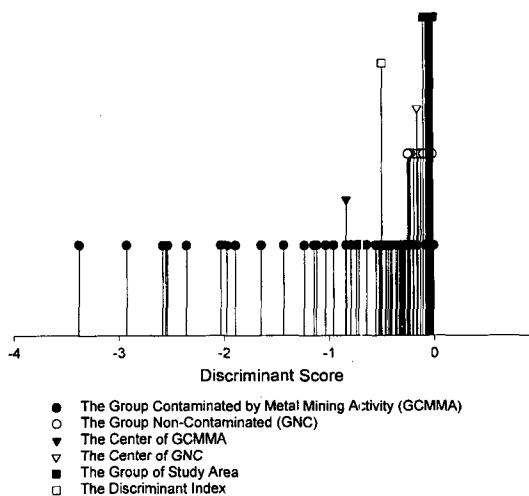


Fig. 8. Diagrams showing the result of discriminant analysis to discriminate polluted group from non-polluted group.

행렬을 사용하기 전에, 두 집단의 공분산의 동질성 검증을 1% 유의 수준을 실시하였다 (송문섭과 조신섭, 1997). 카이 제곱 값이 유의 수준 이상이므로 판별함수는 집단내의 공분산 행렬을 이용하여 계산하였다. Cd의 경우 측정한계 이하의 값을 보이는 것이 4개 있었으므로 결측값 (missing value)으로 처리하여 분석하였다.

판별분석의 결과로부터 11개의 표본들이 잘못 분류되

Table 2. Selected input data from other mining area for discriminant analysis.

Reference	Name of mine	Produced mineral	No. of observations		Summary
			Influenced by mine	Non-polluted	
1	Geumwang	Au, Ag	3 (mean, maximum, minimum values)		Dispersion of heavy metals were limited in the vicinity of the flotation plant and tailings dam.
2	Okdirongcheon (stream)		6 (in lower stream)	6	Toxic trace metal contamination of the stream sediments was mainly found in the lower reaches
3	Gubong	Au, Ag	4		Heavily polluted by Cd and Pb
4	Moak	Au, Ag	6	1	Copper, Pb and Zn pollution were occurred in the polluted downstream sediments.
5	Dongjin	Au, Ag, Cu	8		High concentration of heavy metal in mine activity area
6	Sambo	Pb, Zn, Barite	24	3	Enrichment of heavy metals in stream sediments
7	Shinyemi Geodo	Pb, Zn, Fe, Cu, Fe	4 (mean values)	3 (mean values)	Higher concentration of heavy metal in stream sediment than those in soil
Total			55	13	

1; 박석환 (1990), 2; Cheong and Thornton (1994), 3; 백성희 (1996), 4; 나춘기, 전서령 (1995), 5; 이무성 .외 (1996), 6; 김상현, 전효택 (1993), 7; 전동진 (1995).

Table 3. The linear regression formulas and fitness for the prediction of some trace element concentrations.

Dependent variables	Linear regression formula	R-square
Ag	$0.512 + (0.332 \times Cd) + (0.005 \times Cu) + (-0.002 \times Pb) + (-0.001 \times Zn)$	0.1189
Ba	$363.76 + (94.38 \times Cd) + (-1.00 \times Cu) + (1.76 \times Pb) + (-0.03 \times Zn)$	0.1423
Be	$1.271 + (-0.017 \times Cd) + (-0.003 \times Cu) + (0.020 \times Pb) + (0.000 \times Zn)$	0.5077*
Co	$24.16 + (30.42 \times Cd) + (0.60 \times Cu) + (-0.86 \times Pb) + (-0.03 \times Zn)$	0.2844
Cr	$5.201 + (3.517 \times Cd) + (0.025 \times Cu) + (-0.014 \times Pb) + (-0.005 \times Zn)$	0.1704
Mo	$1.450 + (1.885 \times Cd) + (0.007 \times Cu) + (0.009 \times Pb) + (-0.004 \times Zn)$	0.6697*
Ni	$14.87 + (2.78 \times Cd) + (0.14 \times Cu) + (-0.04 \times Pb) + (-0.07 \times Zn)$	0.7685*
V	$24.29 + (1.31 \times Cd) + (-0.03 \times Cu) + (0.15 \times Pb) + (0.01 \times Zn)$	0.2304

* Good determination of Goodness-to-fit (S.L. 5%).

었음을 확인할 수 있는데 (Fig. 8), 이것은 모두 오염원의 영향을 거의 받지 않은 관측값들이 있는 오염집단의 표본들이다. 하지만 본 연구지역의 시료들을 판별함수에 투입하여 계산한 결과 비오염 집단의 중심에서 완전히 벗어나 그림의 오른편에 위치함을 볼 수 있다. 이것은 분명히 본 연구지역의 시료들은 비오염 집단에 속한다는 것을 보이는 것으로 결과적으로 본 연구지역의 Cd, Cu, Pb와 Zn의 함량은 오염원으로 작용할 수 있을 혹은 오염되었을 정도의 수준은 아닌 것을 보이는 것이다.

그러나 Cd, Cu, Pb, Zn는 연구대상원소의 일부분으로 판별분석만으로 본 연구지역의 미량원소들에 의한 오염 정도를 모두 설명할 수는 없다. Cd, Cu, Pb, Zn 외의 나머지 원소들에 대해 다변량 선형회귀분석을 실시하여 Cd, Cu, Pb, Zn를 독립변수로 하여 종속변수 Ag, Ba, Be, Co, Cr, Mo, Ni, V에 대한 각각의 회귀 분석식을 계산하였다. 이것은 연구지역의 예측값을 금속광산지역의 예상값과 비교하기 위한 것으로 본 연구지역과 같은 상황에서, Cd, Cu, Pb, Zn의 농도수준을 보였을 때, Ag, Ba, Be, Co, Cr, Mo, Ni, V의 예측값들은 어느 정도의 농도 수준으로 나타날 것인가를 조사해 본 것이다. 회귀분석의 결과는 Table 3에 선형회귀식으로 나타나 있다. 각각의 회귀식을 회귀분석에 대한 분산분석으로 적합성 여부를 조사하였는데 Be, Mo, Ni에 대한 회귀식은 5% 유의 수준으로 좋은 회귀식을 얻었음을 알 수 있다 (Table 3). Be, Mo, Ni에 대한 회귀식에 연구지역의 자료와 다른 지역 (판별 함수에서 사용된 금속광산지역)의 자료를 각각 투입하여

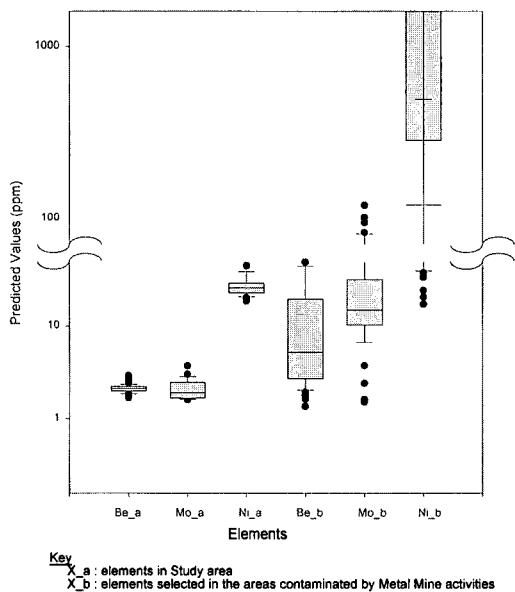


Fig. 9. Predicted values of trace elements in stream sediments from the study area and polluted metal mining area.

계산한 후 비교하였다. Fig. 9에서 연구지역의 Be, Mo, Ni의 예측값들은 금속광산지역의 예측값보다 낮은 농도 수준을 보여 금속광산에서의 중금속오염이 더욱 심각함을 알 수 있었다.

결 론

충남탄전지역의 오염수준을 조사하기 위하여 하상퇴적물 시료와 하천수시료를 분석하여, 지구통계학적 다변량 해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 군집분석을 실시하여 오염되지 않은 시료채취지점을 찾았고, 이를 토대로 자연배경치를 계상하였다. Ag, Cd와 Pb는 자연적으로 부화되어 있음을 알 수 있었고, Cr, V, Ni, Ba, Be, Co, Cu, Mo와 Zn의 자연배경치는 지구 퇴적물내의 평균값보다 낮음을 확인하였다.

2. 대부분의 미량원소들은 광산활동지역에서 인위적으로 부화되어 있음을 알 수 있었다. 특히 세 지류가 만나는 3-1 지점에서는 미량원소들의 함량이 상당히 높은 수준이었다.

3. 판별분석의 결과로 충남탄전지역의 Cd, Cu, Pb와 Zn은 다른 금속광산지역에 비해 덜 위험한 정도의 함량을 보임을 확인하였고, 회귀분석에 의해 예측된 Be, Mo와 Ni의 함량 또한 타지역 금속광산보다는 낮음을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 한국학술진흥재단의 1996년도 학제간 연구과제(충남탄전지역 폐광주변 토양 및 하천수의 중금속 오염)의 연구비지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김경웅, 황춘길, 이찬희, 이현구 (1998) 충남탄전지역 암석중의 중금속함량을 이용한 세분화된 부화지수. *한국자원공학회지*, 제35권, p. 253-263.
- 김상현, 전효택 (1993) 삼보연-아연-중정석 광산 주변 하상퇴적물에서의 중금속 오염 연구. *대한자원환경지질학회지*, 제26권, p. 217-226.
- 김정엽, 오대균, 전효택 (1995) 동해 폐탄광일대 산성 광산폐수의 중화처리. *대한지하수환경학회지*, 제2권, p. 38-47.
- 김주용 (1998) 산성광산배수에 의한 강릉탄전 일곡천 일대의 수계오염과 처리에 관한 연구. *박사학위논문*, 서울대학교, 207p.
- 나춘기, 전서령 (1995) 모악 금은광산에 방치된 폐석이 주변 수계 및 생태계에 미치는 환경적 영향. *대한자원환경지질학회지*, 제28권, p. 221-229.
- 민정식, 권광수, 조원재, 홍영국, 홍성규, 정영욱 (1995) 폐광에 따른 광산지역 환경개선 연구. *석탄합리화사업단 용역보고서*, 268p.
- 박석환 (1990) 삼척탄전과 충남탄전 석탄의 암석학적 지화학 연구. *박사학위논문*, 서울대학교, 140p.
- 박종진, 김명균, 전효택 (1997) 금왕 금은광산 주변 지구화학적 환경에서의 중금속 원소들의 분산. *대한자원환경지질학회지*, 제30권, p. 407-416.
- 백성희 (1996) 유구-광천 금은광화대 지역에서의 토양 및 농작물의 중금속 오염. *석사학위논문*, 배재대학교, 62p.
- 송문섭, 조신섭 (1997) Windows용 SAS를 이용한 통계자료 분석. *자유아카데미*, p. 329-347.
- 이무성, 전서령, 나춘기, 정재일 (1996) 동진 금은동광산 주변에 방치된 폐석의 환경적 영향. *대한자원환경지질학회지*, 제29권, p. 45-55.
- 이찬희, 이현구, 김경웅 (1997) 충남탄전, 대동누층군의 세일과 탄질암에 관한 암석화학 및 환경지구화학적 특성. *대한자원환경지질학회지*, 제30권, p. 417-431.
- 전동진 (1995) 신예미광산과 거도광산에서의 토양, 하상퇴적물 및 하천수의 중금속 오염연구. *석사학위논문*, 서울대학교, p. 42-50.
- Bowen, H.J.M. (1979) Environmental Chemistry of the Elements, Academic Press, p. 40-46.
- Cheong, Y.W. and Thornton, I. (1994) Acid mine drainage and heavy metal contamination of stream sediments in the Okdongcheon stream, Sangdong area, South Korea, Econ. Environ. Geol. v. 27, p.101-113.
- Cohen, D.R.H. and Staub, M.W. (1992) Technical manual for the design and operation of passive mine drainage treatment system. U.S. Bureau of Reclamation, p. 6-22.
- Davis, J.C. (1986) Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons, Inc. 646p.

1998년 9월 9일 원고접수, 1998년 12월 5일 게재승인.