

농경작업 영향지역의 금속광상에 대한 토양 지구화학 탐사법 개발 연구*

김옥배** · 이무성***

A Study on the Development of Soil Geochemical Exploration Method for Metal Ore Deposits Affected by Agricultural Activity*

Oak-Bae Kim** and Moo-Sung Lee***

ABSTRACT: In order to study the optimum depth for the soil geochemical exploration in the area which is affected by agricultural activities and waste disposal of metal mine, the soil samples were sampled from the B layer of residual soil and vertical 7 layers up to 250 cm in the rice field and 3 layers up to 90 cm in the ordinary field. They were analyzed for Au, As, Cu, Pb and Zn by AAS, AAS-graphite furnace and ICP.

To investigate the proper depth for the soil sampling in the contaminated area, the data were treated statistically by applying correlation coefficient, factor analysis and trend analysis.

It is concluded that soil geochemical exploration method could be applied in the farm-land and a little contaminated area. The optimum depth of soil sampling is 60 cm in the ordinary field, and 150~200 cm in the rice field.

Soil sampling in the area of a huge mine waste disposal is not recommendable. Plotting of geochemical map with factor scores as a input data shows a clear pattern compared with the map of indicator element such as As or Au.

The second or third degree trend surface analysis is effective in inferring the continuity of vein in the area where the outcrop is invisible.

서 언

토양을 대상으로 하는 지구화학 탐사는 극히 미량으로 함유되어 있는 원소들의 분석결과에 의존하기 때문에 농경작업이 수행되고 있는 지역에서는 자료해석상 오판의 위험이 상당히 크다. 또한 광산 폐석의 영향을 받고 있는 지역도 같은 위험이 있다(Rose, 1979). 따라서 지구화학 탐사를 할 때 농경지나 경사 상부에 광산 폐석이 있는 곳에서는 시료 채취를 피하고 있다. 그러나 우리나라는 완만한 경사지의 대부분이 개간되어 농경지나 목초지로 활용되고, 충적지의 대부분이 논으로 경작되고 있기 때문에 이러한 농경지를 제외하고 탐사를 하는 것은 어렵다. 더

우기 상당수의 금, 은 광상의 경우와 같이 오랫동안 방치되어 있던 광산을 재조사하여 다시 개발 여부를 판단해야 할 경우에는 시추탐사 위치선정을 위해서 지구화학 탐사법의 응용이 필요한데, 광산 폐석의 영향을 입지 않은 지점만을 골라서 만족한 결과를 얻기는 어려울 것으로 사료된다.

본 연구는 농경작업의 영향이 미치는 심도를 규명하기 위해서 심도별로 논 토양은 250 cm, 밭 토양은 90 cm의 심도까지 시료를 채취, 분석하였으며, 분석된 자료는 경향분석, 요인분석 등 통계적 방법으로 해석하여 이들 지역에 대한 지구화학 탐사의 적용 가능성 및 최적의 방법을 도출하였다. 아울러 광산 폐석의 영향이 미치는 지역에 대한 연구도 병행하였다.

대상지역 지질 및 광상 개요

본 연구의 목적에 적합한 대상지역의 조건은 일정한

* 본 논문은 1990년도 한국과학재단의 일반연구비 지원에 의해 연구되었음

** 전북대학교 자원공학과 (Dep't of Mining and Mineral Resources Eng., Jeonbuk National Univ., Jeonju, 560-756, Republic of S.Korea).

*** 전북대학교 자원공학과 대학원 박사과정

주향을 갖는 맥상광체가 존재하고 산과 산사이에 논과 밭이 있고 경사 상부에 다양한 규모의 폐석 더미가 있는 지역이다. 여러지역을 조사한 결과 충남 청양군 사양면 구룡리에 위치한 구봉광산 7호백 일대(위도 36° 24'N, 경도 126° 45' 30"E)를 선정하였다(Fig. 1a). 이 지역의 지질과 광상에 대하여 간략히 기술하면 다음과 같다(Fig. 1 b).

전찬규 등(1970)에 의하면 이지역의 지질은 변성암류가 가장 고기 암석으로 기저로부터 운모편암, 호상편마암, 석회규산암과 화강질편마암으로 구분된다. 이들 변성암류는 본 광산의 모암으로서 편리방향은 N10°~N40°E, N5°~N40°W 가 우세하며 완만한 wrapping 현상을 보여주고 있다. 운모편암은 본 지역의 기저암으로 흑운모가 우세하며 편리가 잘 발달되어있고 조암광물로는 석영, 사장석, 흑운모와 녹니석으로 구성되어 있다. 호상편마암은 대체로 장석과 운모의 교호에 의하여 호상구조를 보이며 국부적으로 안구상구조를 이루는 부분이 있다. 조암광물은 사장석, 석영, 흑운모, 녹니석이 주 구성광물이고 간혹 석류석과

자철석이 수반된다. 대동계 퇴적암류는 본 지역의 동단과 서단에 남북 방향으로 분포한다. 또한 회색-흑색으로써 역암과 사암의 박층들이 교호하여 분포하고 역암중의 역의 종류는 화강암질편마암, 흑색처트, 석영, 흑색세일 등이며

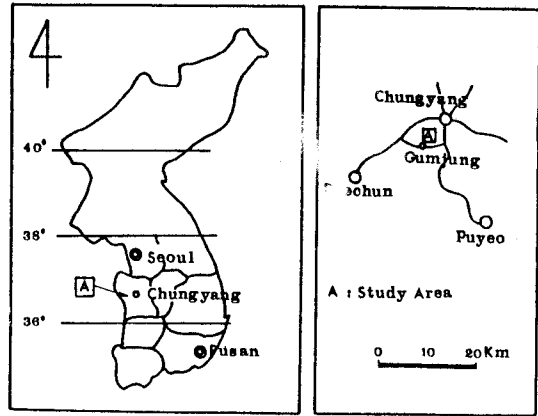


Fig. 1a. Location map of the Kuryongri, Chungyang-gun area.

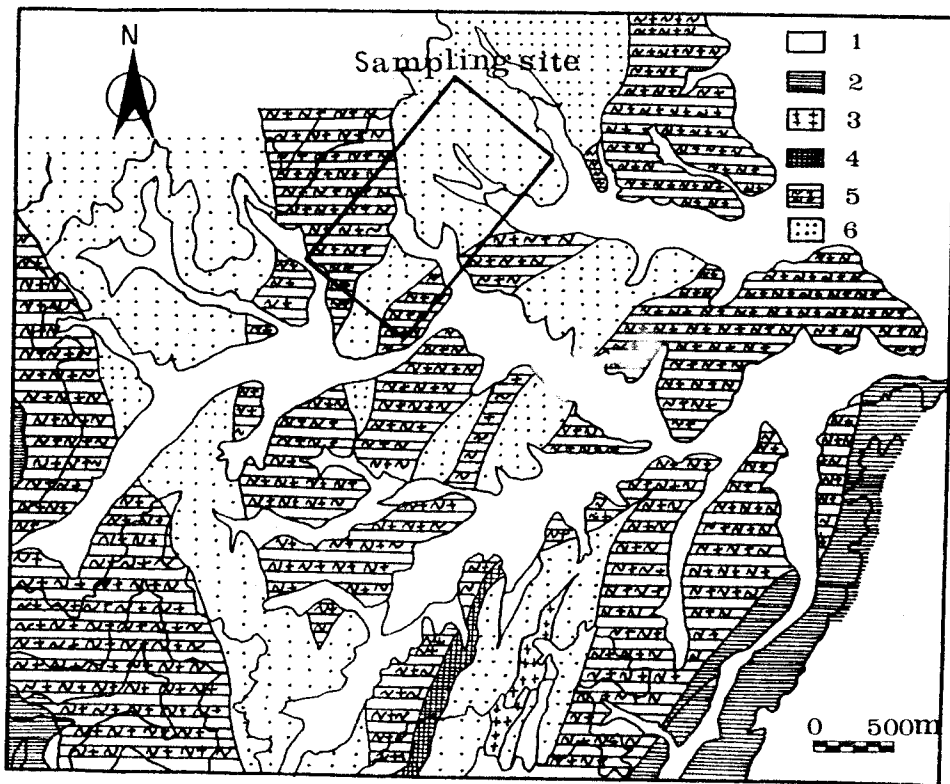


Fig. 1b. Geological map of the Kuryongri, Chungyang-gun area. 1; Quarternary (Unconformity), 2; Metasedimentary rocks (Unconformity), 3; Granitic gneiss, 4; Limesilicate, 5; Banded gneiss, and 6; Mica schist.

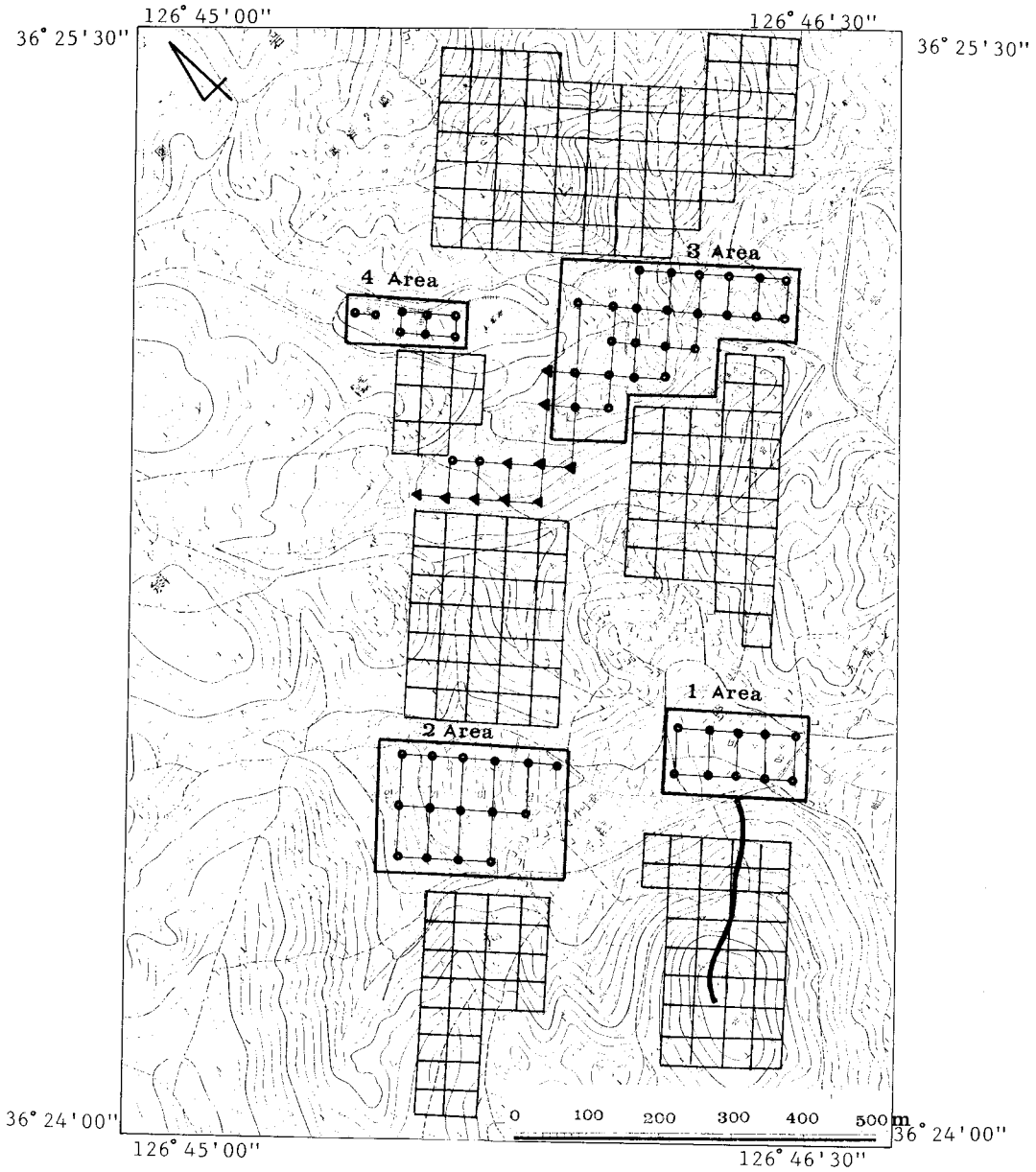


Fig. 2. Sampling site of the study area. Open rectangular; residual soil sample, solid triangle; ordinary field soil sample, and solid circle; rice field soil sample.

직경이 1~4 cm 가 대부분이고 간혹 5~7 cm도 있다. 본 지역 서남단 624m 고지 정상부근에서는 상술한 변성암류와 부정합 관계를 확인 할 수 있으며, 동남단에 분포하는 퇴적암층에는 N5°~10°E의 큰 단층이 약 150 m 이상 추적할 수 있다. 이 지역의 광상은 변성암류내에 발달한 합금은 석영맥으로 이루어졌다. 광석광물로는 금은 외에

소량의 황화철, 황동석, 황비철석, 방해석 및 실아연석이 수반되지만 저품질이므로 가행 대상은 되지 못한다. 광맥의 주향은 N30°~60°E, 경사는 20°~50°SE 이고 평균 맥폭은 1~1.5 m 이다. 석영맥내에는 모암의 역을 포함하는 부분이 있고 이는 모암의 각력화작용 이후 석영맥이 관입하였음을 암시하여 주는것 같다. 또한 석영맥중에는

Table 1. Correlation coefficient matrix of log data.

	Au	As	Pb	Zn	Cu
Au	1.0000				
As	.3470**	1.0000			
Pb	.1385**	.2985**	1.0000		
Zn	.0127	.3665**	.0557	1.0000	
Cu	.2414**	.6659**	.3930**	.4540**	1.0000

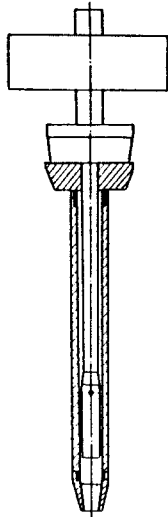


Fig. 3. Percussion soil sampler.

파쇄대가 발달하였고 이 파쇄대를 따라 상술한 황화광물들이 부존되어 있으며 방해석맥이 충전하기도 한다. 광상 생성후의 지각변동은 극히 미약하였고 광맥이 단층에 의해 절단 이동되는 경우가 거의 없으며 간혹 있다하여도 수십 cm의 낙차가 있을뿐 단조로움이 그 특징이다.

김만수(1984)에 의하면 이 지역의 논 토양의 토심은 75~125 cm이고 암반까지의 깊이는 평균 약 3 m 정도이다. 표토는 20~30 cm의 토양두께를 갖고 현저한 황갈색, 적색의 미사질 양토이며, 기층(100~200 cm)은 회색, 회갈색, 암회갈색의 양질사토이고 일부층은 자갈이 나타난다.

시료채취 및 화학분석

적당한 시료채취에 대한 연구로는 Slichter(1955), Drew(1967), 김옥배(1983)에 의해서 발표 되었으며 본 연구 지역의 시료채취 형태는 이들의 연구 결과를 고려하여 구봉광산 7호맥의 주향과 경사를 고려하여 남서에서 북동 방향으로 장축은 40 m, 단축은 30m의 격자망을 작성하였다(Fig. 2). 토양시료는 잔류토양, 발 토양, 논 토양을

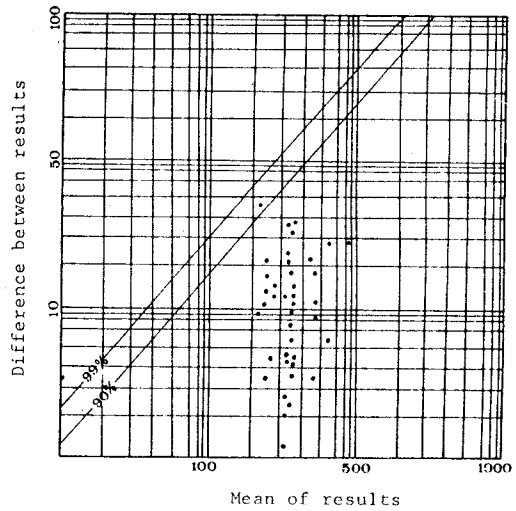
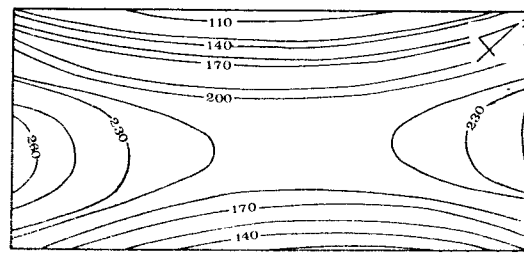
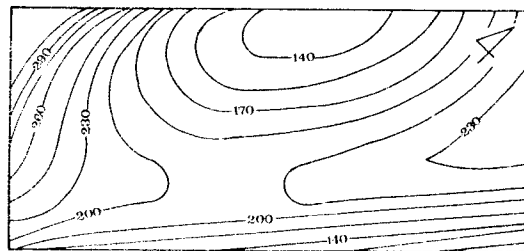


Fig. 4. A control chart of As, using duplicates for 10% precision.



(a)



(b)

Fig. 5. Trend surface map of As. (a) The second degree and (b) The third degree.

대상으로 채취했는데, 잔류토양은 B층에서 309개를 채취하였고, 논토양은 그림 3 같은 타격식 시료 채취기를 제작하여 한 지점에서 지표로부터 15 cm, 30 cm, 60 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm 등 7개층의 시료를 심도에서 채취하여 50개 지점에서 357개를 채취하였으며, 발 토양은 심도 30 cm, 60 cm, 90 cm에서 채취하여 총 686개를 채취하였다. 논 토양의 시료채취 지역은 지역의 특성을 고려

하여 광산 폐석으로 심히 오염된 1구역과 상부에 폐석이 약간 있는 3구역, 폐석의 영향이 없는 순수한 2, 4구역으로 나누어 고찰하였다. 채취된 시료는 실험실에서 상온 건조한 후 100mesh 체로 체질하여 -100 mesh입도의 시료를 Holcomb등(1960)에 의한 왕수처리법으로 처리하였다. 처리된 시료는 AAS-Graphite furnace, ICP를 이용하여 Au, As, Cu, Zn, Pb 등 5가지 원소를 분석하였다.

채취된 시료들 중에서 40개를 무작위로 추출하여 같은 실험조건하에서 반복, 처리 분석 하였다. 그결과 40개의 반복된 As 시료중 한개가 $P_c=10\%$ Control graph의 90%위로 떨어졌다. 이로써 90% precision control chart에서 40개중 1개가 90%위로 떨어질 확률이 거의 98% ($P=0.985219$)로 Thompson(1978) 등이 제안한 기준에 의하면 분석자료의 신뢰도는 매우 좋은 것으로 사료된다(Fig. 4).

자료의 통계적 해석 및 고찰

분석자료의 신뢰도 검증

자료 해석에 앞서 분석자료의 신뢰도를 검증하기 위하여

Table 2. R-mode factor matrix.

	Factor 1	Factor 2
Zn	.75615	.02467
Cu	.70834	.13505
Pb	.68844	-.12454
Au	-.18472	.86855
As	.47501	.60356

상관계수(Correlation coefficient)에 의한 해석

상관 분석을 위해서는 통계자료가 정상분포인지를 확인해야 하는데 만약 원래의 자료가 양 의도(positive skewness)를 보이면 자료를 대수 변환하여 정상분포인지 확인한 후 자료를 통계처리해야 한다(김옥배,1981). 따라서 본 연구에서는 5가지 원소(Au,As,Cu,Pb,Zn)를 원래의 자료와 대수변환 한 자료에 대한 각각의 의도(skewness)를 조사하였다. 그 결과 자료를 대수변환 한 것이 정상분포에 가까운것을 알았다. 그래서 본 연구의 통계적 고찰은 모든 자료를 대수변환하여 사용하였다. 표 1은 원소 상호간의

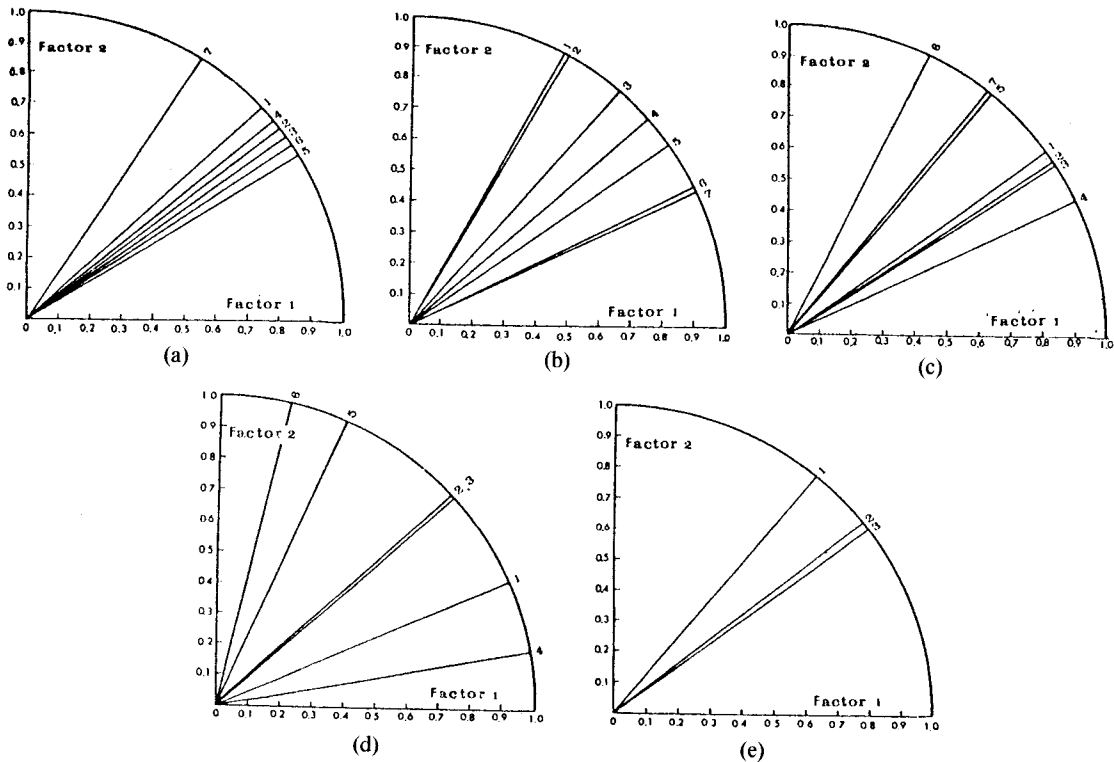


Fig. 6. Plot of factor loadings from Q-mode analysis(a; 1 area, b; 3 area, c; 2 area, d; 4 area, e; ordinary field area).

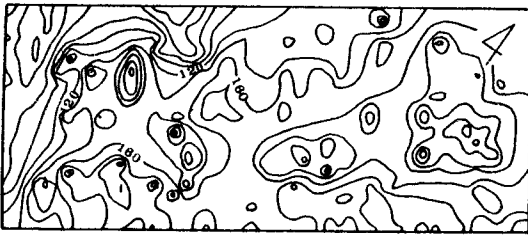


Fig. 7. The geochemical map of As.

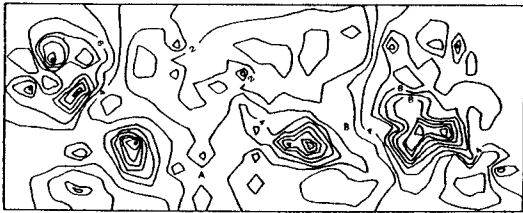


Fig. 8. The second trend residual map of factor score Au and As in 30 cm depth.

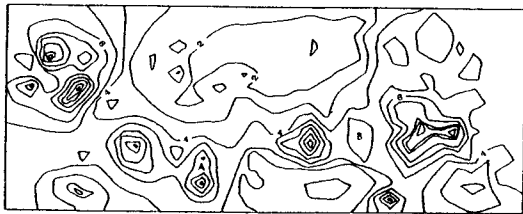


Fig. 9. The second trend residual map of factor score Au and As in 150 cm depth.

상관계수를 나타낸 것이다. Brooks(1972)가 제안한 기준에 의하면 자유도 685에서 Au과 As는 매우 높은 상관성을 보여 주고 있다.

경향분석(trend surface analysis)에 의한 고찰

본 연구지역의 맥의 방향을 고찰하기 위해서 2차 및 3차 경향분석을 수행한 결과 남서에서 북동쪽으로 뚜렷한 방향을 보여주고 있다(Fig. 5a,b).

요인분석(Factor analysis)에 의한 고찰

자료 집단을 R-mode 요인분석한 결과 표2와 같이 요인 1에 대해서 Zn-Cu-Pb가 강한 영향을 미치고, 요인 2에 대해서는 Au-As가 강한 영향을 미치고 있다. 이는 상관 계수에 의한 해석과도 잘 일치하고 있다.

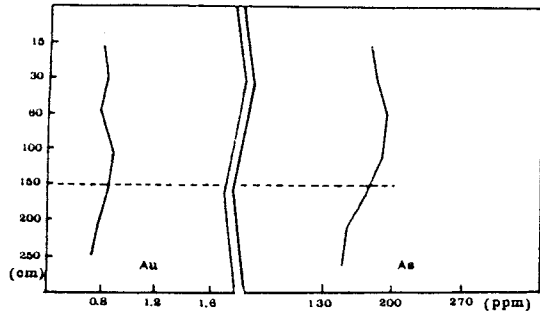


Fig. 10. The vertical variation of Au and As content in the Rice field soil of the background area.

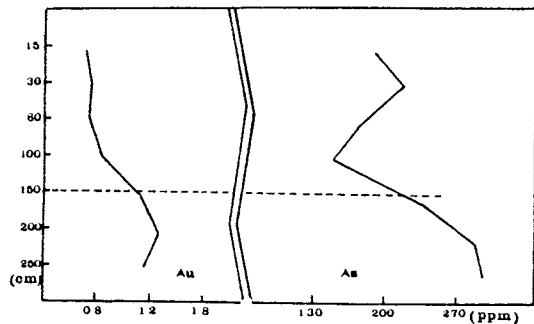


Fig. 11. The vertical variation of Au and As content in the Rice field soil of the anomaly area.

농경지에서 농경작업과 폐석의 오염심도를 조사하기 위하여 밭 토양과 광산 폐석으로 심히 오염된 1구역과 상부에 폐석이 약간 있는 3구역과 폐석의 영향이 없는 순수한 논 2, 4구역으로 나누어 5가지 원소를 심도별로 Q-mode 요인분석을 하였다. Q-mode 요인분석의 결과에서 얻은 각 층의 요인을 도표로 그린 1구역에서는 1층에서 6층 즉 200 cm까지 그룹되어졌고, 7층은 분리되어 폐석의 영향이 200 cm까지 미쳤다고 볼 수 있으며, 따라서 폐석이 심하게 영향을 미친 지역의 시료채취는 피하는 것이 좋을 것으로 사료된다(Fig. 6a).

3구역에서는 1, 2층 3, 4, 5층 및 6, 7층이 각각 그룹되어 이지역 에서도 폐석의 영향이 5층 즉 150 cm까지도 미쳤다고 볼 수 있다(Fig. 6b). 또한 폐석의 영향이 없는 순수한 논인 2구역에서는 1, 2, 3, 4층 그룹과 5, 7층, 6층이 한 그룹이 되어 각각의 그룹을 형성하였다(Fig. 6c). 4구역에서는 5, 6층이 그룹되어 졌으며(Fig. 6d), 밭토양의 경우 2, 3층이 그룹되어 졌다(Fig. 6e).

이상의 결과들을 종합하면 농경작업의 영향을 배제한 심도는 논토양에서는 5층 즉, 150 cm 이하이고 밭토양에서는 60 cm 이하로 판단된다.

As가 Au의 대표적인 지시원소임이 Berger(1975), Hawkes(1965), Levinson(1974)에 의해서 보고되어 졌으며, 본 연구 대상지역에서도 양호한 지시원소 임이 확인되었다. 많은 연구자들은 탐사대상원소나 지시원소에 대한 지구 화학도를 그려서 결과를 해석했는데 모든 분석자료가 그 지역의 지구화학적 특성을 지니고 있으며 분석 자료중 한 두개 원소만 선택하여 개별적으로 결과 해석에 이용하는 것 보다는 자료의 통계적 특성 즉, 그 지역의 지구화학적 특성에 영향을 미치는 원소들에 대한 복합적인 해석이 효과적일 것이라는 개념에서 Au과 As의 높은 적재값을 갖는 요인을 취해서 요인점수(factor score)로 경향 잔류 지구화학도를 작성하여 결과를 고찰하였다(Fig.8). 그 결과 Au의 지시원소인 As만(Fig.7)을 가지고 그려본 지구화학도보다 Au과 As의 요인점수로 그린 지구화학도에서 이상대가 더욱 뚜렷하게 나타났다.

Q-mode 요인분석 결과를 확인하기 위해서 Au와 As의 요인점수로 논과 밭 토양의 2층인 30 cm와 잔류토양의 분석 자료로 지구화학도(Fig. 8)를 그리고 밭토양 3층인 심도 60 cm, 논토양 5층인 심도 150 cm와 잔류토양의 분석자료를 입력한 지구화학도를 그려서 고찰하였다(Fig. 9). 그 결과 밭토양 30 cm, 논토양 30 cm 심도에서는 농경지 부분(논과밭)에서 맥의 연결성이 결여되지만 잔류토양과 밭토양 60 cm, 논토양 150 cm 심도의 시료에 대한 지구 화학도는 농경지 부분 즉, 그림 9의 논 A지역과 밭 B지역에서 맥의 연결성이 더욱 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.

또한 농경지의 이상대 지역과 배경값 지역에서 Au과 As의 수직적 함량변화를 고찰하였다(Fig. 10, 11). 배경값 지역의 30~60 cm 심도에서 원소들이 집적되다가 하부로 갈수록 원소의 함량이 감소하는 현상을 나타내고 있으며, 이상대 지역에서는 역시 30 cm에서 집적현상을 보여주지만 100 cm부터 하부로 갈수록 원소의 함량이 증가한다. 이는 심도 30 cm~60 cm가 토양 B층으로 원소의 집적현상을 나타내는 부위로서 여러 보고서의 내용과 일치한다. 점선지점은 Q-mode 요인분석에서 밝힌 5층 즉, 150 cm 지점으로 이 지점 이하에서 시료를 채취하면 상부의 오염을 배제하고 기반암의 영향을 잘 반영하는 깊이로 다시 한번 확인되었다.

결 론

농경지에서 토양 시료를 심도별로 채취하여 통계적인

여러가지 방법으로 농경작업과 폐석의 영향이 미치는 심도를 조사한 결과 농경지나 폐석으로 심하게 오염되지 않은 지역에서도 지구화학 탐사가 가능함을 알게 되었고 효과적인 지구화학 탐사를 위한 방법으로 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 밭 토양의 적정 시료 채취 심도는 60 cm 이하이며, 논 토양에서 농경작업의 영향을 배제한 적정시료 채취 심도는 150~200 cm이다.

2) 폐석으로 오염이 심하게 미친 지역에서는 지표로부터 200 cm까지 오염이 미친것을 알 수 있다. 이 경우 적정 시료채취 심도는 200cm이하 이지만 이는 지구 화학 탐사법의 적용에는 비효율적인 것으로 사료된다.

3) Au의 지시원소인 As만 가지고 해석한 결과보다 Au과 As의 요인점수를 이용한 결과 해석이 더욱 효과적이다.

4) 2, 3차 경향분석은 중간에 노두가 발견되지 않은 지역에서 광맥의 연속성을 판단하는데 매우 효과적이다.

참고문헌

- 김만수 (1984) 한국의 논토양 농업기술 연구소. p. 258.
 김옥배 (1981) 지구화학 탐사를 위한 통계학적인 연구. 대한 광산 학회지, 18권 4호, p. 169-176.
 김옥배 (1983) 경향분석에 있어서 효과적인 시료채취 형태에 관한연구. 전북대학교 공학연구, 13권, p. 283-290.
 전찬규, 오민수 (1970) 구봉광산의 지질과 광상. 광산지질, 3권, 3호, p. 170-173.
 Berger, B.R. (1975) Trace element variation associated with disseminated gold mineralization at the Getchell mine, Humboldt County, Nevada. Econ. Geol., v. 70, 1318p.
 Brooks, R.R. (1972) Geobotany and biogeochemistry in the mineral exploration. Harper and Row, 141p.
 Drew, L.J. (1967) Grid-drilling and its application to the search for petroleum. Econ. Geol., 62, p. 698-710.
 Hawkes, H.E. (1965) Geochemistry in mineral exploration. Harper and Row, 119p.
 Holcomb, H., Perry Y. and John H. (1960) Spectrophotometric determination of Uranium with 3-(2-Arsenopheny lazo) 4, 5-dihydroxy-2, 7-naphtholane disulfonic acid. Analytical Chemistry v. 32, p. 612-617.
 Levinson, A.A. (1974) Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Co., Maywood, 317p.
 Rose, A.W. (1979) Geochemical soil surveys, Geochemistry in Mineral Exploration. p. 325-328.
 Slichter, L.B. (1955) Optimum prospective plans. In: A.M. Bateman(Editor). Econ. Geol., 50th Anniv. v., p. 885-915.
 Thompson, M., and Howarth R.J. (1978) A new approach to the estimation of analytical precision. J. Geochem. Explor., v. 9, p. 23-30.