

기하평균법과 징후무계법에 의한 ○지구 연-아연광물자원평가

고 남 혁

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《지질탐사부문에서는 전망탐사에 힘을 넣어 나라의 지하자원을 전면적으로, 종합적으로 조사장악하여야 합니다.》

우리 나라의 풍부한 지하자원을 경제강국건설과 인민생활향상에 효과있게 리용하자면 전망탐사를 앞세워야 하는데 여기서 중요한 문제의 하나는 광물자원평가이다.

광물자원평가는 유용한 탐사자료들을 선택 및 종합하여 믿음성있는 광상예측도를 작성해나가는 과정이라고 볼수 있다.[4]

론문에서는 지식구동형광물자원평가방법의 하나인 기하평균법과 자료구동형광물자원평가방법의 하나인 징후무계법을 리용하여 ○지구 연-아연광물자원평가를 진행하고 그 결과의 믿음성을 평가하였다.

1. 연구지역의 지질과 징후자료의 선택

연구지역에는 중원생대 직현군층, 사당우군층, 신원생대 묵천군층암석들과 이것을 관입한 연산암군, 평강암군과 여러가지 맥암류들이 분포되어있다.[2]

직현군층은 고원생대 지층우에 부정합으로 놓여있으며 사당우군층은 직현군층우에 정합으로 놓여있다. 사당우군층은 아래로부터 위로 가면서 은적산주층, 덕재산주층, 청석두주층으로 구분된다. 묵천군층은 구성암석과 놓임특성에 따라 설화산주층, 옥현주층, 린산주층으로 구분되는데 연구지역에는 설화산주층만이 분포되어있다. 사당우군층 및 묵천군층암석들은 관입암체가 관입할 때 대리석화작용, 스카른화작용을 받았다.

평강암군 황반암은 북북서, 북서, 드물게 북북동방향의 맥모양을 이루며 그 연장길이는 수십m~수km정도이다. 연산암군 휘장휘록암은 주로 북동방향으로 잇달리며 북북서방향의 황반암에 의하여 잘리어있다.

연구지역에서는 구조운동이 강하게 일어난 결과 각이한 습곡구조와 단층들이 형성되었다. 습곡축들의 방향은 거의 동서방향이며 일부 습곡들은 북쪽으로 전도되었다. 연구지역에는 북동, 북서방향의 단층들이 많이 발달하며 그 단층들을 따라 파쇄대들이 형성되어있다. 연구지역의 광체들의 형태와 함광구조, 분포특징이 독특한것으로 하여 성인에 대한 연구결과는 각이하지만 광체들의 형태와 분포특징에 대한 연구결과들은 대체적으로 일치된다. 이로부터 론문에서는 광체들의 형태와 분포특징에 보다 깊은 주의를 돌리었다.

선행연구자[2]들은 연구지역에서 함광파쇄대라고 부르는 구조를 광체탐사의 기본전제로 설정하였다. 연구지역에서 대다수의 연-아연광체로두들은 탄산염암석안에 형성된 파쇄대안에 놓인다. 이 함광파쇄대들은 주로 은적산주층 상부층을 따라 분포하는데 이 지층을 함광층이라고 부른다.

연구지역의 연-아연광체들은 또한 북서 및 북동계열의 단층이 발달한 구역들에 분포되어있으며 평강암군 황반암과도 일정한 공간적관계를 가지고 분포된다. 광체와 광체주변에서 주요조광원소들의 함량은 많으며 원소의 최대농도는 광체 또는 그것과 제일 가까운 곳에서 이루어진다.

광체의 분포특성과 관련한 선행연구에 기초하여 합광충분포자료, 단층분포자료, 황반암분포자료, Pb, Zn, Cu이상의 6개 징후자료들을 연구지역의 연-아연광물자원평가에 적용하였다. 지질학적자료에 기초하여 광물자원평가를 위한 징후자료들을 추출하는 방법들은 여러 연구자들[3, 4]에 의하여 제기되었다.

2. 기하평균법과 징후무계법에 의한 광물자원평가와 믿음성검증

1) 기하평균법

기하평균법은 징후값들의 적의 n 차뿌리로 정의되는데 여기서 n 은 광물자원의 전망스평가를 위하여 리용되는 징후자료들의 개수이다.

론문에서는 6개의 징후자료를 리용하였으므로 징후자료모임 $\{v_1, v_2, \dots, v_6\}$ 의 기하평균 G_A 는 다음과 같이 계산된다.[1, 3]

$$G_A(v_1, v_2, \dots, v_6) = \left(\prod_{i=1}^6 v_i \right)^{1/6} = \sqrt[6]{v_1 v_2 \dots v_6} \quad (1)$$

기하평균법을 적용하려면 징후값들이 정수이어야 하며 만일 부수인 경우에는 로지스틱함수나 모호함수 등을 리용하여 정수로 변환하여야 한다.

론문에서는 이미 선택된 6개의 징후값들에 ArcGIS 10.4에 있는 Fuzzysmall함수를 비롯한 모호함수들을 적용하여 징후값들을 0~1의 값으로 변환하였다.

2) 징후무계법

징후무계법에서는 n 개의 징후자료들을 결합할 때 다음의 식을 리용한다.[4]

$$\log it\{D | B_1 \cap B_2 \cap B_3 \cap \dots \cap B_n\} = \log it\{D\} + \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

여기서 B_i 는 i 번째 징후이고 D 는 광상을 의미하며 $\log it$ 는 확률비의 로그값, W_i 는 i 번째 징후의 무계값이다.

징후무계법을 적용하려면 징후자료들사이의 조건부독립성이 만족되어야 하는데 합광충분포자료와 단층, 황반암분포자료들사이, 단층분포자료와 황반암분포자료, Cu이상자료사이, 황반암분포자료와 Pb이상자료사이, Pb이상자료와 Zn, Cu이상자료사이에 조건부독립성이 만족되지 않았다. 이것을 극복하기 위하여 단층분포자료와 황반암분포자료를 론리합(Or)연산자를 리용하여 하나의 징후자료로 결합하고 Pb, Zn, Cu이상자료들도 론리합연산자를 리용하여 하나의 징후자료로 결합하였다.

다음 징후자료들에 대한 조건부독립성검정을 다시 진행한 결과 조건부독립성이 만족된다는것이 확증되었다. 조건부독립성이 만족되는 징후자료들을 가지고 식 (2), (3)을 리용하면 광상예측도를 작성할수 있다.

3) 믿음성검증

기하평균법과 징후무계법을 리용하여 연구지역의 연-아연광상예측도를 작성하였다.(그림 1)

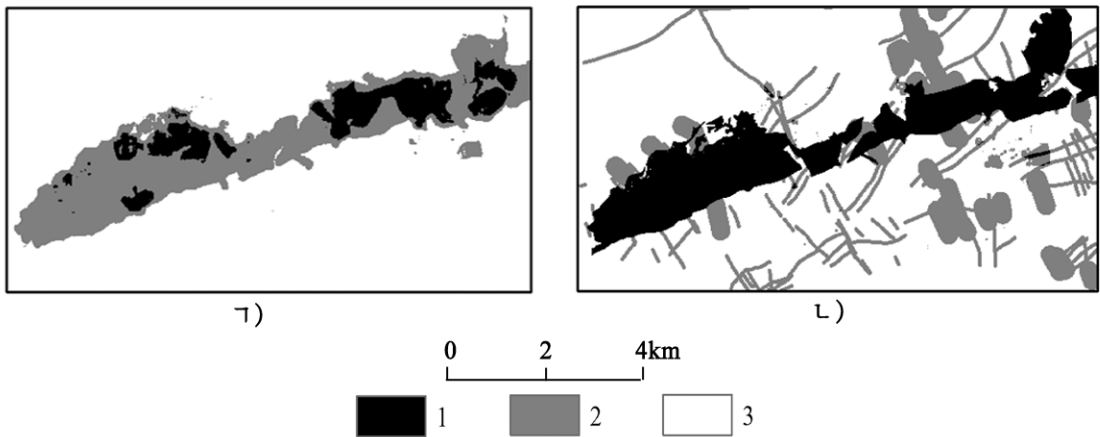


그림 1. ○지구 연-아연광상예측도

1) 기하평균법, 2) 징후무계법

1-광상존재가능성이 높은 구역, 2-광상존재가능성이 있는 구역, 3-광상존재가능성이 없는 구역

ROC곡선은 변화되는 척도에 의한 2값분류 체계의 성능을 평가하는 도표들중의 하나로서 광물자원평가결과의 믿음성을 검증하고 최량결과를 얻는데 널리 이용되고있다.(그림 2)

ROC곡선들이 서로 교차하는 경우에는 ROC곡선아래부분의 면적(AUC)들을 각각 계산하여 광물자원평가결과의 믿음성을 평가한다. 계산결과 기하평균법에 의한 광물자원평가결과의 AUC값은 0.866이고 징후무계법에 의한 광물자원평가결과의 AUC값은 0.839로서 0.5보다 훨씬 크다. 현실적으로 두가지 방법들을 이용한 광상예측도들에서 가장 유망하다고 평가된 지역들은 대체로 연구지역의 함광충분포구역과 일치하는데 이것은 연구지역의 지질과 관련한 선행연구내용에 전적으로 부합된다.

또한 이 지역들은 함광충분포구역과 함께 이미 알려진 광체들과 밀접한 련관이 있는 단층분포구역이나 지구화학이상구역들을 비롯한 여러가지 징후자료들이 함께 존재하는 구역들이기도 하다.

이로부터 기하평균법과 징후무계법은 ○지구의 연-아연광물자원평가에 효과적인 방법들이며 그중에서도 기하평균법은 보다 믿음성있는 광물자원평가결과를 얻을수 있는 방법이라는것을 알수 있다.

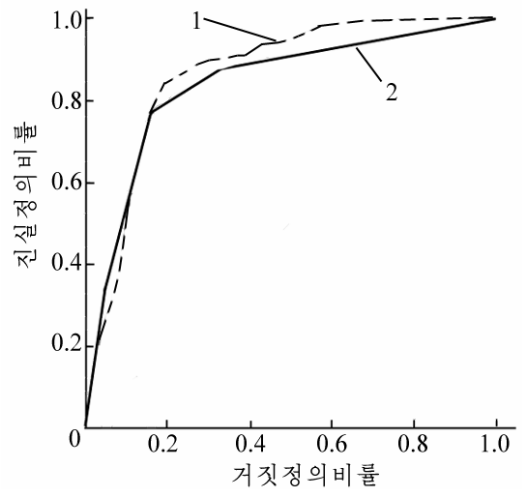


그림 2. ROC곡선

1-기하평균법, 2-징후무계법

맺는 말

기하평균법과 징후무계법은 ○지구의 연-아연광물자원을 평가하는데 효과적인 방법들이다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 지구환경과학 및 지질학, 65, 3, 67, 주체108(2019).
- [2] 최병숙 등; 조선지질총서 6, 공업출판사, 190~211, 주체100(2011).
- [3] M. Yousefi et al.; Computers & Geosciences, 83, 72, 2015.
- [4] Y. Chen et al.; Ore Geology Reviews, 74, 26, 2016.

주체109(2020)년 10월 5일 원고접수

Mineral Potential Mapping for Pb-Zn Deposits in the ○ Area Using Geometric Average and Weights of Evidence

Ko Nam Hyok

In this paper, geometric average and weights of evidence were applied to the mineral potential mapping for Pb-Zn deposits in the ○ area. The results show that it is reliable and efficient to apply two methods for mineral potential mapping of the study area.

Keywords: geometric average, weights of evidence, mineral potential mapping