

지식구동형광상예측에서 모호순서무게평균법에 대한 연구

동성일, 조창희

지난 시기 광상정량예측에는 특징분석법, 징후무게법을 비롯한 자료구동형방법들과 모호계층분석법과 같은 지식구동형방법들이 널리 이용되었다.[1]

논문에서는 광상예측전문가들의 풍부한 지식과 경험을 더욱 효과적으로 리용할수 있는 모호순서무게평균법에 대하여 서술하였다.

1. 모호순서무게평균법의 원리

다중징후결심채택(MCDM)에서는 많은 광상예측전문가들의 지식과 경험들을 리용하여 광상예측징후들의 무게를 설정하고 추공탐사위치예측을 비롯한 많은 문제들을 해결한다.

모호순서무게평균법(Fuzzy Ordered Weighted Averaging-FOWA)은 징후무게설정에서 순서무게평균법(OWA)과 모호언어수량사를 결합한 광상예측방법이다.

이 방법에서는 징후들의 상대적인 무게와 순서무게평균을 리용한다. 예측대상($i=1,2,\dots,m$)들에서 $j=1,2,\dots,n$ 개의 징후를 설정하고 그 값들을 표준화한다. ($a_{ij} \in [0,1]$) 징후들의 초기무게 w_j 는 델피(Delphi)법을 리용하여 계산한다.[2, 3]

광상예측징후들과 모호언어수량사(Q)가 주어지면 징후들사이의 호상관계에 대한 가정에 기초하여 징후들의 결합을 실현할수 있다.

한 예측대상의 전망성을 평가하는데서 다음과 같은 조건을 설정할수 있다.

- ① 대부분의 징후들이 만족되어야 한다.
- ② 적어도 절반의 징후들이 만족되어야 한다.
- ③ 모든 징후들이 반드시 만족되어야 한다.

위의 조건들을 만족시키는 다중징후평가문제를 정량적으로 해결하기 위하여 모호수학의 언어수량사를 도입한다.

모호수학의 언어수량사개념에 기초한 순서무게평균법을 리용하는 수량사합성에서는 언어적인 수량사의 표현방식을 정확하게 찾아야 한다. 그 표현실례는 《징후 Q 는 평가대상에 대하여 만족되어야 한다.》이다.

2개 무리의 수량사 즉 《대략 5》와 《거의 10》과 같은 언어적인 변량들을 정량화하기 위한 절대적인 수량사와 《극히 드문》, 《거의》, 《대부분》 등과 같은 상대적인 수량사를 리용할수 있다.

다중징후결심채택에서 언어적인 수량사의 적용성을 보여주는 경험적인 규칙은 없다. 이러한 수량사는 단위구간 $[0,1]$ 사이의 모호모임으로 표현할수 있다.

한가지 상대적인 수량화는 다음과 같다.

$$Q(r)=r^{\alpha} \quad (\alpha > 0) \quad (1)$$

식에서 매개의 $r \in [0, 1]$ 은 Q 에 대한 r 의 적합성을 나타내는 성원함수이다. α 는 모호화를 위한 제곱지수이다.

표 1에서와 같이 $\alpha=1$ 이면 $Q(r)$ 는 r 에 비례하므로 그것은 동일한 수량사에 귀착된다. α 가 0으로 수렴하면 수량사 $Q(r)$ 는 MAX연산자에 대응하는 적어도 하나의 극값에 접근한다.

표 1. α 파라미터의 값들에 따라 규칙적으로 증가하는 단조증가수량사의 몇가지 특성

α	수량사	OWA(v_j)에서의 무게	손실	보상	결합연산자
$\alpha \rightarrow 0$	적어도 하나	$v_1=1; v_j=0$	1	0	OWA(OR, MAX)
$\alpha \rightarrow 0.1$	적어도 몇개	*	*	*	-
$\alpha \rightarrow 0.5$	몇개	*	*	*	-
$\alpha=1$	절반	$v_j=1/n$	0.5	1	OWA(WLC)
$\alpha \rightarrow 2$	대부분	*	*	*	-
$\alpha \rightarrow 10$	거의 모두	*	*	*	-
$\alpha \rightarrow \infty$	모두	$v_n=n; v_j=0$	0	0	OWA(AND, MIN)

*는 특수한 경우이다.

α 가 무한대로 수렴하면 $Q(r)$ 는 MIN연산자에 대응하는 극값에 접근한다. 매개 징후들의 무게 $w_j \in [0, 1]$ 은 $\sum_{j=1}^n w_j=1$ 을 만족시킨다.

FOWA연산자는 α 값에 대응하는 결심채택결과를 나타낸다. FOWA연산자에서는 일반적으로 2개의 측도(보상과 손실)를 리용한다.

보상은 광상예측과정에서 어떤 징후의 약한 특성이 다른 징후의 좋은 특성에 의하여 보충되는것을 의미한다. 징후결합특성은 논리적(AND)과 비슷하다. 값구간은 $[0, 1]$ 이며 완전한 보상의 값은 1.0이다.

손실은 수량사전체와 적어도 어느 하나사이의 관계에서 순서무게평균에 의하여 산생되는 정보의 불확정성을 표시한다. 값범위는 역시 $[0, 1]$ 이며 징후결합특성은 논리합(OR)과 비슷하다. 순서무게들은 측도들에 완전히 의존하지 않지만 그것들의 합은 1.0이 되어야 한다.

모호수량화의 개념에 기초하여 모호순서무게를 다음과 같이 정의하고 계산한다.

$$v_j = \left(\frac{\sum_{k=1}^j u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^{\alpha} - \left(\frac{\sum_{k=1}^{j-1} u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^{\alpha} \quad (2)$$

$\sum_{j=1}^n w_j=1$ 이고 그로부터 $\sum_{j=1}^n u_j=1$ 이므로 식 (2)는 다음과 같다.

$$v_j = \left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^{\alpha} - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^{\alpha} \quad (3)$$

최종무게와 순서무게들이 주어지면 모호순서무게평균은 다음과 같이 정의할수 있다.

$$FOWA_i = \sum_{j=1}^n \left(\left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^\alpha \right) z_{ij} \quad (4)$$

식 (2)–(4)에서 u_k 는 크기순서로 배열한 초기징후값들의 무게이고 v_j 는 순서무게이다. z_{ij} ($i=1, 2, \dots, m$, $j=1, 2, \dots, n$)는 크기순서로 배열한 징후값, m 은 예측대상의 수, n 은 계층구조로 설정된 부분징후의 수이다.

2. 모호순서무게평균법의 적용사례

연구지역은 지체구조적으로 평남요곡지 중부구조성광대의 양덕관입암체 서남부지역에 속한다. 연구지역에는 양덕관입암체와 회창관입암체를 비롯한 관입암들과 신시생대의 랑림층군, 중원생대의 직현군층, 사당우군층, 묵천군층과 기타 하부원생대의 암석들이 분포되어있다.[1]

연구지역에서 대표적인 광화작용은 금, 연-아연광화작용이며 이미 회창금광상을 비롯한 많은 광상들과 광화로두들이 발견되었다. 적용하는 방법이 지식구동형인것으로 하여 이미 발견된 광상들은 모른다고 가상하고 그것들을 계산에 포함시키지 않으면서 효과성과 정확성을 검증하는데만 리용하였다.

표 2와 같이 3개의 징후들과 11개의 부분징후들로 구성된 계층구조를 만들고 델피법으로 광상예측전문가들의 의견을 종합하여 무게를 주고 정규화하였다.

표 2. 델피법으로 설정한 징후, 부분징후들과 무게

징후	징후무게	부분징후	부분징후무게	최종무게
지층	0.183 7	신시생대	0.273 9	0.050 3
		직현군층	0.274 8	0.050 5
		사당우군층	0.237 5	0.043 6
		묵천군층	0.161 0	0.029 6
		기타	0.052 8	0.009 7
단층	0.396 9	북동	0.276 1	0.109 6
		북서	0.407 2	0.161 6
		교차	0.316 8	0.125 7
화성암	0.419 4	연산암군	0.094 8	0.039 8
		회창관입암체	0.403 4	0.169 2
		양덕관입암체	0.501 8	0.210 5

11개의 부분징후들에서 북동단층과 북서단층, 단층교차점부분징후들에 대하여 광상예측전문가들의 의견을 종합하여 각각 0.8, 0.8, 0.6km의 영향대를 설정하고 양덕관입암체에 대하여서는 서남부분의 관입암점축대로부터 10km의 영향대를 설정하였다.

설정된 무게를 리용하여 예측단위들의 금광상탐사유리성지수를 식 (2)–(4)로 계산하였다.(표 3) 표 1을 참고하여 α 값은 0.5로 하였다.

표 3. 모호순서무계평균법의 계산실례

부분징후	초기 부분징후값 (a)	초기부분징후 무계(w)	크기순서로 배렬한 부분징후값(z)	대응한 부분징후무계(u)	Г	Л	Ц
1	0.000	0.050 3	1.000	0.109 6	0.331 1	0.331 1	0.331 1
2	0.359	0.050 5	1.000	0.161 6	0.520 8	0.189 7	0.189 7
3	0.016	0.043 6	1.000	0.125 7	0.630 0	0.109 2	0.109 2
4	0.078	0.029 6	1.000	0.210 9	0.779 6	0.149 6	0.149 6
5	0.313	0.009 7	0.359	0.050 5	0.811 4	0.031 8	0.011 4
6	1.000	0.109 6	0.313	0.009 7	0.817 3	0.005 9	0.001 8
7	1.000	0.161 6	0.219	0.169 2	0.915 0	0.097 7	0.021 4
8	1.000	0.125 7	0.078	0.029 6	0.931 0	0.016 0	0.001 2
9	0.000	0.039 8	0.016	0.043 6	0.954 1	0.023 1	0.000 4
10	0.219	0.169 2	0.000	0.050 3	0.980 2	0.026 1	0.000 0
11	1.000	0.210 5	0.000	0.039 8	1.000 0	0.019 8	0.000 0
결과		1.000 0		1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.815 8

$$\Gamma = \left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^{\alpha}, \quad \text{Л} = \left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^{\alpha} - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^{\alpha}, \quad \text{Ц} = \left(\left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^{\alpha} - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^{\alpha} \right) z_{ij}$$

실례의 예측단위에는 신시생대와 연산암군의 부분징후가 없는것으로 하여 초기부분징후값은 0으로 주었다. 단층구조와 양덕관입암체의 부분징후들은 가장 큰 값을 가지고 회창관입암체와 직현군층, 기타 암석부분징후들은 비교적 높은 값을 가진다.

계산공식(Г, Л, Ц)에서 j는 제1렬의 부분징후번호이다.

최종적으로 계산한 예측단위의 금광상탐사유리성지수의 계산결과는 0.815 8이다. 이것은 연구단위가 금광상의 탐사에 매우 유리하다는것을 보여준다. 현실적으로 연구단위와 그것을 둘러싸고있는 예측단위들에는 회창광상의 금광체들과 모두들이 분포되어있다.

맺 는 말

지식구동형광상예측에서 모호순서무계평균법의 원리와 계산방법을 확립하고 양덕관입체의 서남부지역에서 금광상전망구역설정에 적용하여 모호순서무계평균법의 효과성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 조창희 등; 지질탐사, 2, 25, 주체98(2009).
- [2] M. Abedi et al.; Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 54, 2, 145, 2013.
- [3] Daojun Zhang et al.; Math Geosci, 46, 869, 2014.

Fuzzy Ordered Weighted Averaging in Knowledge-Driven Mineral Deposit Prediction

Tong Song Il, Jo Chang Hui

We proposed effectiveness of the method and the application example by fuzzy ordered weighted averaging in knowledge-driven mineral deposit prediction.

Key words: fuzzy ordered weighted averaging, knowledge-driven mineral deposit prediction