

다분적 암반분류를 위한 정성적 자료의 지구통계학적 연구 - II. 응용

A Geostatistical Study Using Qualitative Information
for Multiple Rock Classification - II. Application

유 광 호*1
You, Kwang-Ho

Abstract

The application of a multiple rock classification method, which is a generalization of a binary rock classification, is studied in this paper. In particular, this paper shows how to incorporate qualitative data through a case study.

The method suggested in this paper can be effectively used for a systematic multiple rock classification such as RMR system developed by Bieniawski. It will be very useful for rock classifications. In addition, it is known that the expected cost of errors can be adopted to indicate how well a investigation plan is made.

요 지

본 논문에서는 이분적 암반분류 방법 보다 일반적인 다분적 암반분류 방법의 응용에 관해 연구하였다. 특히, 정성적 데이터를 체계적으로 이용할 수 있는 방법이 모색되었다. 응용 예를 통해 Bieniawski의 암반평가 시스템(rock mass rating system, RMR)과 같이 암반을 두 개 이상의 다등급으로 분류할 경우 본 논문에 제시된 방법이 효과적으로 사용될 수 있고 체계적인 암반조사를 위해 크게 기여할 것으로 생각된다. 또한, 오차에 대응하는 비용(cost of errors)의 기대값이 암반조사를 위한 시추 방법이 잘 계획되었는지에 관한 평가척도로 이용될 수 있음을 알았다.

Keywords : Geostatistics, Qualitative information, Tunnel, Spherical variogram, Loss function, Indicator kriging

1. 서 론

시추공 데이터 등을 비롯한 직접 측정된 정량적 데이터가 부족한 터널 시공의 암반분류를 위해, 물리탐사나 전문가의 견해 등의 정성적

데이터(또는 소프트데이터)를 효율적으로 이용할 수 있는 소프트크리깅(soft kriging)(Journel, 1986)의 근간이 되는 지시크리깅(indicator kriging)과 오차에 대응하는 비용(cost of errors)(Aspie, 1989)에 근거한 방법론

*: 정회원, 수원대학교 공과대학 토목공학과 전임강사.

이 이분적 분류(유광호, 1993)와 다분적 분류(유광호, 1995)의 경우에 대해 필자에 의하여 제안되었고, 이분적 분류의 응용방법이 제시된 바 있다(유광호, 1994). 본 논문에서는 보다 일반적인 다분적 분류의 방법론이 어떻게 응용될 수 있는지를, 이분적 분류의 응용(유광호, 1994)을 위해 사용되었던, 특정한 통계 특성을 만족하도록 만들어진 데이터(simulated data)를 사용하여 예시하였다.

한 설계 회사가 터널 설계를 위해 한 특정지역의 암반상태를 분류하고자 한다.

암반은 Bieniawski에 의해 제안되고 수정·보완된 암반분류법(rock mass rating system, RMR) (Bieniawski, 1989)에 따라 분류되었다. 즉, RMR 분류법에 따라 암반은 특정한 RMR값(80, 60, 40, 20)을 기준으로 5개의 다른 등급(class)으로, 예를 들면, 등급 1, 등급 2, ..., 등급 5로 분류되었다. 다시 말해, 암반의 RMR값이 80 보다 크면 좋은 암반으로 등급 1, 80과 60 사이의 값이면 등급 2, ..., 20 보다

작으면 나쁜 암반으로 등급 5로 분류되었다. 본 연구에서는 선택기준으로 오차에 대응하는 비용의 기대값이 사용되었다.

2. Simulated RMR 데이터

본 연구를 위해 길이 50 미터의 일차원(직선) 터널이 가정되었다. 먼저, 터널의 중심선이 50개의 격자점에 의해 등간격으로 세분되었고, 편의상, 각 점들은 점 1, 점 2, ..., 점 50이라 하였다. 각 점에서 RMR 값들은 이동 평균(moving average) 기법을 사용하여 만들어졌다. 참고로, 이 기법은 특정한 구면 베리오그램(spherical variogram)을 만족하는 다변량 가우스 데이터(multivariate Gaussian data)를 산출하는 데 유용한 기법 중의 하나이다(You, 1992).

본 연구를 위해 산출된 RMR 데이터들은 표 1에 나타낸 바와 같으며, 다음과 같은 통계 특성을 갖는다.

표 1. Simulated RMR 데이터 및 변환된 지시데이터

점	RMR값	변환된 지시데이터				점	RMR값	변환된 지시데이터			
		Z _k =20	Z _k =40	Z _k =60	Z _k =80			Z _k =20	Z _k =40	Z _k =60	Z _k =80
1	27	0	1	1	1	26	35	0	1	1	1
2	28	0	1	1	1	27	19	1	1	1	1
3	30	0	1	1	1	28	44	0	0	1	1
4	35	0	1	1	1	29	44	0	0	1	1
5	37	0	1	1	1	30	37	0	1	1	1
6	32	0	1	1	1	31	40	0	1	1	1
7	28	0	1	1	1	32	30	0	1	1	1
8	64	0	0	0	1	33	18	1	1	1	1
9	79	0	0	0	1	34	12	1	1	1	1
10	72	0	0	0	1	35	20	1	1	1	1
11	83	0	0	0	0	36	20	1	1	1	1
12	97	0	0	0	0	37	27	0	1	1	1
13	77	0	0	0	1	38	32	0	1	1	1
14	73	0	0	0	1	39	39	0	1	1	1
15	72	0	0	0	1	40	43	0	0	1	1
16	69	0	0	0	1	41	35	0	1	1	1
17	81	0	0	0	0	42	51	0	0	1	1
18	42	0	0	1	1	43	56	0	0	1	1
19	43	0	0	1	1	44	66	0	0	0	1
20	61	0	0	0	1	45	63	0	0	0	1
21	57	0	0	1	1	46	47	0	0	1	1
22	47	0	0	1	1	47	61	0	0	0	1
23	50	0	0	1	1	48	59	0	0	1	1
24	42	0	0	1	1	49	46	0	0	1	1
25	28	0	1	1	1	50	35	0	1	1	1

최소값 : 12
 최대값 : 99
 평균값 : 47
 분산값 : 382
 Nugget : 0
 Sill : 515
 Range : 12m

3. 지시 베리오그램(Indicator variogram) 모델의 산정

지시크리깅(indicator kriging) 분석을 위해서, 표 1에 실린 RMR 데이터들($z(x_i), i=1, \dots, 50$)은 다음 식 (1)의 변환 규칙(transformation rule)에 의해 지시데이터(indicator data)로 변환되었다(유광호, 1995). RMR값은 0에서 100 사이의 값을 취하고 암반이 RMR값 20, 40, 60, 80을 기준으로 5 등급으로 분류되기 때문에, 경계값($z_k, k=1, \dots, 4$)을 20, 40, 60, 80으로 택하였으며, 각 경계값에 있어서 변환된 지시데이터들은 표 1에 나타낸 바와 같다.

$$i(z_k; x_i) = \begin{cases} 0, & \text{만약 } z(x_i) > z_k \\ 1, & \text{만약 } z(x_i) \leq z_k \end{cases}, k=1, \dots, 4 \quad (1)$$

하지만, 이 경계값들은 보다 일반적인 응용을 위해서는 RMR 분류법에서와 같이 등간격일 필요는 없다.

50 개의 변환된 지시데이터로부터 공간적 유사성 측정 (spatial proximity measure) 방법의 하나인, 구면 베리오그램 모델(spherical variogram model)이 4개의 경계값에 대해 각 각 유추되었는데, 표 2에서 보는 바와 같다.

표 2. 구면 베리오그램 모델

경계값 번호	nugget	sill	range
1	0.018	0.048	3.0
2	0.050	0.270	12.0
3	0.050	0.195	12.0
4	0.016	0.042	2.5

4. 시추방법 및 비교

본 논문에서는 터널의 중간부가 높은 산밀을 통과한다고 가정되었고, 아래와 같이 3개의 다른 시추 방법이 오차에 대응하는 비용의 기대값과 분류된 등급들을 근거로 비교·검토되었다.

시추 방법 1

터널 중심선을 따라서, 가장 단순하게 등간격으로 점 5, 15, 25, 35, 45에서 5 개의 하드데이터(예를 들면, 보오링 데이터)를 시추한다. 이 5개의 하드데이터를 사용하여 나머지 45개 점의 RMR값들을 평가하였다.

시추 방법 2

터널 중간부가 산밀을 통과하기 때문에 이 부분에서 시추하는 것은 비용이 많이 소요되므로 경제적이지 못하다고 판단된다. 따라서 점 25를 제외한 점 5, 15, 35, 45에서 4개의 하드데이터를 시추한다. 나머지 46개 점의 RMR값들은 시추된 4개의 하드데이터를 사용하여 평가되었다.

시추 방법 3

시추 방법 2와 같이 점 5, 15, 35, 45에서 4개의 하드데이터를 시추하고, 점 25에서는 데이터의 질은 좀 떨어지지만, RMR값이 20에서 60 사이에서 등분포한다는 소프트웨어가 존재한다고 가정되었다. 이 때, 점 25에서의 변환된 지시데이터는 경계값 1($z_1 = \text{RMR } 20$)에서는 0, 경계값 2($z_2 = \text{RMR } 40$)에서는 0.5, 경계값 3($z_3 = \text{RMR } 60$)과 경계값 4($z_4 = \text{RMR } 80$)에서는 1이다. 이것은 이 점이 등급 3과 등급 4에 속할 확률이 각각 0.5라는 것을 의미한다. 참고로, 소프트웨어로부터 변환된 지시데이터는 하드데이터의 경우 (0 아니면 1)와는 달리 0과 1사이의 모든 값을 취할 수 있다.

각 점에서의 RMR값들은 표 1에 실린 특정 통계 특성을 갖도록 산출된 값들이 사용되었다. 또한, 이 값들은 각 점에서의 참값들로 가

정되었으며, 본 논문에서 “시추한다”는 것은 RMR값을 측정한다는 뜻으로, 표 1에 실린 값을 취하여 사용하였다.

본 해석을 위해 다음과 같은 손실함수(loss function), S_e 가 사용되었다.

$$S_e = [S_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.8 & 1.2 & 1.6 \\ 0.8 & 0 & 0.4 & 0.8 & 1.2 \\ 1.6 & 0.8 & 0 & 0.4 & 0.8 \\ 2.4 & 1.6 & 0.8 & 0 & 0.4 \\ 3.2 & 2.4 & 1.6 & 0.8 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 $[S_{ij}]$ 는 손실함수의 매트릭스식 표현을 위해 사용되었다. 위 손실함수의 숫자는 계산을 쉽게 하기 위해 임의로 선택되었다. 다만, S_{ij} 는 S_{ji} 의 두 배이다. 이것은 암반상태를 과대 평가했을 때가 과소 평가했을 때 보다 두 배의 손실을 초래한다는 것을 반영한 것이다. 다시 말해, 실제 암반상태가 나쁜데도 좋다고 과대 평가된 경우가 실제 암반상태가 좋은데 나쁘다고 과소 평가된 경우 보다 두 배의 손실을 초래한다고 가정한 것이다.

시추되지 않은 점들의 암반등급은 시추된 점들의 RMR값들을 이용하여 보통 지시크리깅(ordinary indicator kriging) 기법을 사용하여 분류되었다. 이를 위해 오차에 대응하는 비용이 선택기준으로 사용되었으며, 터널 중심선을 따라 위치한 50개 점에서의 참 등급들과 평가된 등급들은 표 3에 나타난 바와 같다. 표 3에서 I, II, ..., IIII는 각각 RMR 분류법의 등급 5(아주 나쁨), 등급 4(나쁨), ..., 등급 1(아주 좋음)을 의미하는 것에 주의해야 한다. 표 3에 평가된 등급들은 각 점의 4개의 경계값들에서 지시크리깅 결과로 얻어진 값들을 사용하여 구해진 누적밀도함수(cumulative density function)와 선택기준으로 사용된 오차에 대응하는 비용에 근거하여 구해진 등급들이다.

모든 점에 있어서 4개의 경계값에서 지시크리깅 결과 얻어진 값들은 누적밀도함수로 사용되기 위해서는 큰 경계값(z_{i+1})에서 얻어진 값은 그 보다 작은 경계값(z_i)에서 얻어진 값 보

표 3. 참 등급과 평가된 등급들

○ : 하드데이터, + : 소프트데이터

격자점	참 등급	각 시추방법으로부터 평가된 등급		
		시추방법1	시추방법2	시추방법3
1	II	II	II	II
2	II	II	II	II
3	II	II	II	II
4	II	II	II	II
5	II	II○	II○	II○
6	II	II	II	II
7	II	II	II	II
8	IIII	II	II	II
9	IIII	II	II	II
10	IIII	II	II	II
11	IIII	II	II	II
12	IIII	II	IIII	IIII
13	IIII	IIII	IIII	IIII
14	IIII	IIII	IIII	IIII
15	IIII	IIII○	IIII○	IIII○
16	IIII	IIII	IIII	IIII
17	IIII	IIII	IIII	IIII
18	III	II	IIII	IIII
19	III	II	IIII	IIII
20	IIII	II	IIII	IIII
21	III	II	II	II
22	III	II	II	II
23	III	II	II	II
24	III	II	II	II
25	II	II○	II	II+
26	II	II	II	II
27	I	II	II	II
28	IIII	II	II	II
29	IIII	II	II	II
30	II	II	II	II
31	IIII	II	II	II
32	II	II	II	II
33	I	II	II	II
34	I	II	II	II
35	II	II○	II○	II○
36	II	II	II	II
37	II	II	II	II
38	II	II	II	II
39	II	II	II	II
40	IIII	II	II	II
41	II	II	II	II
42	IIII	II	IIII	IIII
43	IIII	IIII	IIII	IIII
44	IIII	IIII	IIII	IIII
45	IIII	IIII○	IIII○	IIII○
46	IIII	IIII	IIII	IIII
47	IIII	IIII	IIII	IIII
48	IIII	IIII	IIII	IIII
49	IIII	IIII	IIII	IIII
50	II	II	IIII	IIII

다 커야한다는 “순서(order relation)문제 (유광호, 1995)”를 만족해야 하는데, 본 연구를 위해 사용된 지시크리깅은 이러한 “순서문제”를

만족하도록 개발되었다. 참고로 그림 1은 시추 방법 1을 사용할 경우, 격자점 10, 21, 42에서 얻어진 누적밀도함수를 보여준다. 그림 1에서 보는 바와 같이 “순서문제”가 만족됨을 알 수 있다.

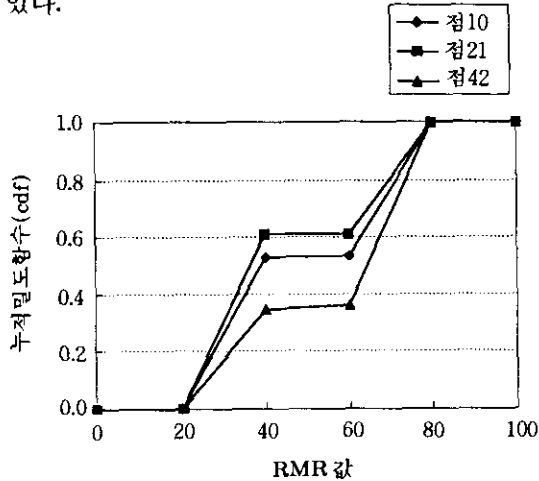


그림 1. 지시크리깅 결과로서의 누적밀도함수

오차에 대응하는 비용의 참값은 식 (2)의 손실함수를 사용하여 표 3의 참 등급과 평가된 등급을 비교하여 계산되었고, 오차에 대응하는 비용의 기대값은 50개 점에서 최적의 등급에 상응하는 기대값을 각각 구하고, 이들 값을 모두 더함으로써 구하였다. 표 5는 오차에 대응하는 비용의 참값과 기대값 및 절대오차를 보여준다.

표 4. 오차에 대응하는 비용의 참값과 기대값

시추방법	오차에 대응하는 비용		
	참 값	기대값	절대오차
1	15.2	12.1	3.1
2	17.2	14.8	2.4
3	14.0	13.4	0.6

예를 들어, 손실함수의 단위가 각 점당 100만원이라면, 시추방법 1은 약 1,210만원, 시추방법 2는 약 1,480만원, 그리고, 시추방법 3은 약 1,340만원의 오차에 대응하는 비용을 초래할 것으로 기대된다.

계산된 오차에 대응하는 비용의 기대값의 경

향은 참값의 경향과 다소 차이를 보인다. 즉 참값에 의하면 시추방법 3이 가장 좋은 방법이나 기대값에 의하면 시추방법 1이 가장 좋은 방법이다. 이와 같이 기대값의 경향이 참값의 경향을 잘 모사하지 못하는 이유는 지형의 변화상태에 비해 시추에 사용된 점수가 다소 적은 것에 기인한다고 생각된다.

실제 시추에서는 참값은 알 수 없는 값이므로 전적으로 통계 처리된 기대값에 의존할 수 밖에 없다. 따라서, 높은 산밀에 위치한 점 25를 시추하는데 많은 경비, 예를 들면, 270만원 이상의 시추비용이 든다면, 이 방법은 경제적이지 않다. 이 경우는 오히려 시추방법 2나 3이 더 경제적인 수 있다. 또한, 시추방법 3은, 소프트데이터를 얻는데 드는 비용이 140만원보다 적게 든다면, 시추방법 2보다 경제적인 수 있다.

5. 손실함수의 민감도 분석(Sensitivity Analysis)

본 연구에 있어서, 대부분의 어려움은 손실함수를 작성하는 데 있다. 다시 말해, 암반을 등급 3이라 평가했지만, 실제 등급이 4인 경우, 이에 상응하는 비용(S_{ij})을 산정하는 것은 상당히 어렵기 때문이다. S_{ij} 의 산정도 마찬가지다. 따라서, 손실함수에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 그러나, S_{ij} 의 비율이 같은 손실함수는 동일한 암반분류 결과를 준다. 다시 말해, 다음의 두 손실함수를 사용하였을 경우, 암반분류의 결과는 같게 되는데, 이는 오차에 대응하는 비용의 기대값이 손실함수의 선형함수이고, 암반분류는 이 기대값에 따라 결정되기 때문이다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 4.2 & 5.4 & 6.2 & 7.0 \\ 6.3 & 0 & 3.0 & 4.0 & 4.4 \\ 8.1 & 4.5 & 0 & 2.6 & 3.2 \\ 9.3 & 6.0 & 3.9 & 0 & 2.8 \\ 10.5 & 6.6 & 4.8 & 4.2 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 420 & 540 & 620 & 700 \\ 630 & 0 & 300 & 400 & 440 \\ 810 & 450 & 0 & 260 & 320 \\ 930 & 600 & 390 & 0 & 280 \\ 1050 & 660 & 480 & 420 & 0 \end{bmatrix}$$

또한, 위의 두 손실함수를 사용할 경우, B 손실함수의 오차에 대응하는 비용의 기대값은 A

손실함수의 오차에 대응하는 비용의 기대값에 100배(B의 S_0 와 A의 S_1 와의 비율)가 된다. 따라서, 민감도 분석을 위해 다음 식(3), (4), (5)에 나타난 바와 같이 S_0 와 S_1 의 비율이 5/1, 1/1, 1/5인 손실함수가 사용되었는데, 편의상 각각은 손실함수 1, 2, 3이라 한다.

$$S_1 = [S_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 2.0 & 4.0 & 6.0 & 9.0 \\ 0.4 & 0 & 2.0 & 4.0 & 6.0 \\ 0.8 & 0.4 & 0 & 2.0 & 4.0 \\ 1.2 & 0.8 & 0.4 & 0 & 2.0 \\ 1.6 & 1.2 & 0.8 & 0.4 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$S_2 = [S_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.8 & 1.2 & 1.6 \\ 0.4 & 0 & 0.4 & 0.8 & 1.2 \\ 0.8 & 0.4 & 0 & 0.4 & 0.8 \\ 1.2 & 0.8 & 0.4 & 0 & 0.4 \\ 1.6 & 1.2 & 0.8 & 0.4 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$S_3 = [S_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.8 & 1.2 & 1.6 \\ 2.0 & 0 & 0.4 & 0.8 & 1.2 \\ 4.0 & 2.0 & 0 & 0.4 & 0.8 \\ 6.0 & 4.0 & 2.0 & 0 & 0.4 \\ 9.0 & 6.0 & 4.0 & 2.0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

표 5는 위의 손실함수 1, 2, 3을 사용하여 앞에서 설명된 시추방법 3에 의해 분류된 등급들을 보여준다. 표 5로부터, 암반이 과소 평가되었을 때 보다 과대 평가되었을 때 더 많은 손실을 초래할 것이라고 가정한 경우(손실함수 3 사용시), 암반의 등급이 낮게(나쁜 암반으로) 분류되는 경향을 알 수 있었고, 반면에 암반이 과대 평가되었을 때 보다 과소 평가되었을 때 더 많은 손실을 초래할 것이라고 가정한 경우(손실함수 1 사용시), 암반이 높게(좋은 암반으로) 평가되는 경향이 있음을 알 수 있었다. 또한, 손실함수 2($S_0/S_1=1$)를 사용한 경우는 단순히 오차에 대응하는 비용을 고려하지 않았을 때의 암반분류 결과를 얻게 된다. 따라서, 손실함수의 산정이 어렵고, S_0 와 S_1 의 비율도 알기 어려운 경우에는 손실함수 2와 같이 S_0 가 S_1 와 같은 손실함수를 사용하여 암반을 분류할

수 있다.

계산된 오차에 대응하는 비용의 참값과 기대값들은 표 6과 같다. 각각의 다른 손실함수를 사용함으로써, 오차에 대응하는 비용의 기대값

표 5. 손실함수 별 시추방법 3에 의해 평가된 등급들
○ : 하드데이터, + : 소프트웨어

격자점	참 등급	시추방법에 3에 의해 평가된 등급들		
		손실함수1	손실함수2	손실함수3
1	II	IIII	II	II
2	II	IIII	II	II
3	II	III	II	II
4	II	II	II	II
5	II	II○	II○	II○
6	II	II	II	II
7	II	IIII	II	II
8	IIII	IIII	II	II
9	IIII	IIII	II	II
10	IIII	IIII	II	II
11	IIII	IIII	IIII	II
12	IIII	IIII	IIII	II
13	IIII	IIII	IIII	II
14	IIII	IIII	IIII	IIII
15	IIII	IIII○	IIII○	IIII○
16	IIII	IIII	IIII	IIII
17	IIII	IIII	IIII	II
18	III	IIII	IIII	II
19	III	IIII	IIII	II
20	IIII	IIII	IIII	II
21	III	IIII	IIII	II
22	III	IIII	IIII	II
23	III	IIII	IIII	II
24	III	III	III+	II
25	II	III+	II+	II+
26	II	III	II	II
27	I	III	II	II
28	III	III	II	II
29	III	III	II	II
30	II	III	II	II
31	III	III	II	II
32	II	III	II	II
33	I	III	II	II
34	I	II	II	II
35	II	II○	II○	II○
36	II	II	II	II
37	II	IIII	II	II
38	II	IIII	II	II
39	II	IIII	II	II
40	III	IIII	II	II
41	II	IIII	IIII	II
42	III	IIII	IIII	II
43	III	IIII	IIII	II
44	IIII	IIII	IIII	IIII
45	IIII	IIII○	IIII○	IIII○
46	III	IIII	IIII	IIII
47	IIII	IIII	IIII	II
48	III	IIII	IIII	II
49	III	IIII	IIII	II
50	II	IIII	IIII	II

에 의한 시추방법이 잘 계획되었는지에 관한 평가가 달라짐을 표 6으로부터 알 수 있다. 손실함수 2와 3의 경우 시추방법 1이 예상대로 가장 적은 기대값을 주기 때문에 가장 좋은 시추방법으로 생각될 수 있다. 하지만 손실함수 2의 경우는 오히려 시추방법 2가 시추방법 1과 3에 비해 적은 기대값을 주고, 시추방법 1과 시추방법 3의 경우 기대값이 거의 같으므로 산밀에 위치하는 점 25에서 시추하는 것은 경제적이 못하다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 시추방법은 손실함수에 의해서도 영향을 받기 때문에 손실함수를 작성할 때에는 각별한 주의가 필요하다.

표 6. 손실함수 별 오차에 대응하는 비용의 참값과 기대값

손실함수	시추방법	오차에 대응하는 비용의 기대값
1	1	18.2
	2	17.9
	3	18.3
2	1	9.0
	2	11.0
	3	10.0
3	1	14.4
	2	18.2
	3	16.2

6. 결론 및 맺음말

본 논문에서는 다분적 분류에 의한 암반분류의 응용에 대해 살펴보았다. 본 논문에서는 3개의 다른 시추방법을 오차에 대응하는 비용(cost of errors)의 기대값에 의해 비교·분석하였다. RMR 분류법과 같은 다분적 암반분류가 지시크리깅 기법과 오차에 대응하는 비용의 선택기준을 사용함으로써 효과적으로 수행될 수 있음을 알았고, 그 때의 기대값은 다분적 암반분류를 위한 시추방법의 효율성을 평가하는 지표로서 사용될 수 있다. 손실함수의 민감도 분석을 통해 이분적 암반분류에서와 마찬가지로 다분적 암반분류에서도 암반이 과소 평가되

었을 때 보다 과대 평가되었을 때 더 많은 손실을 초래할 것이라고 가정한 경우, 암반의 등급이 낮게(나쁜 암반으로) 분류되는 경향을 알 수 있었고, 반면에 암반이 과대 평가되었을 때 보다 과소 평가되었을 때 더 많은 손실을 초래할 것이라고 가정한 경우, 암반이 높게(좋은 암반으로) 평가되는 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

앞으로의 연구는 추가 시추가 필요할 경우, 어떠한 시추방법이 사용되어야 하는지에 대한 보다 체계적인 연구와 물리탐사 자료나 전문가의 견해 등과 같은 소프트웨어의 보다 체계적인 활용이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 유광호(1993), "이분적 터널 암반분류를 위한 정성적 자료의 지구통계학적 연구-I. 이론", *한국지반공학회*, 제9권, 제3호, pp.61~66.
2. 유광호(1994), "이분적 터널 암반분류를 위한 정성적 자료의 지구통계학적 연구-II. 응용", *한국지반공학회*, 제10권, 제1호, pp.19~25.
3. 유광호(1995), "다분적 암반분류를 위한 정성적 자료의 지구통계학적 연구-I. 이론", *한국지반공학회*, 제11권, 제2호, pp.71~77.
4. 유광호(1995), "A Solution for order relation problem in multiple Indicator Kriging", *한국지반공학회*, 제11권, 제3호, pp.17~26.
5. Aspie, D.(1989), *The Cost of Classification Errors in Geologic Site Characterization*, M.S. Thesis, University of Minnesota, pp.18~36.
6. Bieniawski, Z. T.(1989), *Engineering Rock Mass Classifications*, John Wiley & Sons, New York, pp.51~72.
7. Journel, A. G.(1986), "Constrained Interpolation and Qualitative Information--The Soft Kriging Approach", *Mathematical Geology*, Vol. 18, No. 3, pp.269~286.
8. You, Kwangho(1992), *Infill Sampling Design for Tunnel Rock Classification using both Quantitative and Qualitative Information*, Ph.D. Thesis, University of Minnesota, pp.90~91.

(접수일자 1997. 8. 30)