

RMR 평가를 위한 지구물리 탐사자료와 시추공 자료의 지구통계학적 복합해석

오석훈¹⁾, 정호준²⁾, 변영봉²⁾¹⁾한국수자원공사 수자원연구원, ²⁾(주) 휴먼앤어스

1. 서론

RMR은 터널 공사와 같은 대규모의 설계, 시공이 이루어지는 지역에 대한 안정성을 평가하는데 매우 중요한 요소이다. 그러나 대부분의 경우, RMR은 시추공에서 획득한 코어를 직접 분석하여 얻는 값이기 때문에 그 정보의 분포가 매우 좁고, 제한적이어서 시추공 이외의 지역에 대한 양상을 파악하기가 매우 어렵다. 이에 대한 해결을 위해 지구물리탐사자료와 시추공 주변의 RMR 자료를 지구통계학적으로 복합 해석하는 기술에 대하여 논하고자 한다. 지구통계학은 난수함수 모델 (random function modeling)에 기반한 공간분석 기술로서, 측정 되지 않은 지점의 값들이 공간적으로 의존하는 난수함수의 집합이라는 가정을 통해 대상 지역의 관심변수에 대해 추정하는 방법이다 (Goovaert, 1997). 지금까지 RMR 추정과 관련한 지구통계학의 적용은 단순히 시추공 상의 1차원 RMR 정보를 크리깅 기법 (Kriging)을 통해 2차원 분포로 확장하거나 시뮬레이션을 이용하는 방법이었다 (Ozturk, 2002; Ryu et al, 2003). 그러나 공간적으로 제한된 정보에 대해 크리깅을 적용하는 것은 오해석을 유발하거나 지나치게 단순한 결과를 내놓을 가능성이 많다. 본 연구에서는 이와 같은 점을 지적하였고, 이를 극복하기 위해 복합해석에 대한 결과 함께 비교하였다. 복합해석은 1차원 시추공 자료에 대해 MT나 DC 전기비저항 탐사와 같은 자료를 지구통계학적으로 결합하는 방식을 채택하였고, 이 결과는 단순한 1차원 자료의 크리깅과 비교할 때 매우 믿을 만한 결과를 나타내었다.

2. 본론

Isaaks and Srivastava(1989)에 의하면 지구통계학적 방법에 의해 추정을 시도할 경우, 관심 변수에 대한 직접적인 측정과 더불어 부가적인 정보가 있을 경우 훨씬 정확한 결과를 제공할 수 있다. 특히 이러한 부가정보는 직접 측정된 변수의 자료가 부족하거나 공간적으로 연속성을 갖지 못한 경우 더욱 중요한데, 시추공 주변에 그 정보가 한정된 RMR 추정 문제의 경우 더욱 그 의미가 크다. 일반적으로 RMR값은 그 특성상 암석의 지구물리학적 물성 중, 전기비저항 결과와 유사한 부분이 많은 것이 밝혀져 있다. 그림 1은 본 연구 대상 지역의 RMR 평가 값과, 그에 해당하는 지점에서의 MT 역산에 의한 비저항 결과를 함께 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이, RMR과 비저항은 전체적으로 양의 상관관계를

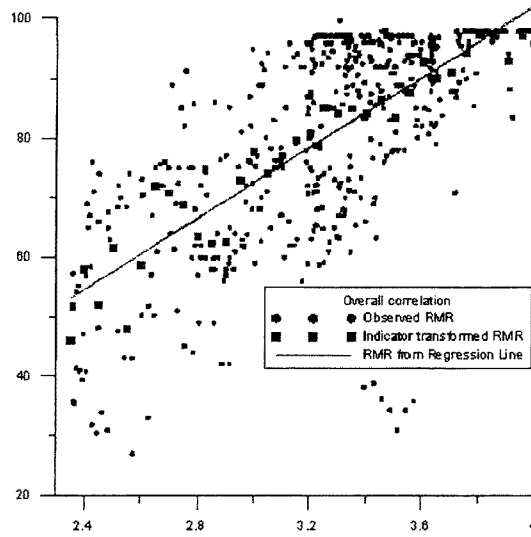


그림 1. Overall correlation between RMR values obtained at borehole sites versus resistivity from MT data.

가지나, 어긋나는 자료도 매우 많은 것으로 보인다. 이는 지역적으로 RMR이 비저항과 완전히 비례하지 않으며, 따라서 RMR과 비저항 자료를 직접적으로 연관하기는 어려움을 암시한다. 이를 위해 본 연구에서는 두 가지의 절차를 통해 RMR과 비저항 자료를 복합해석하였다.

2.1 가변적 지역 평균에 의한 단순 크리깅

지구통계학에서 평균을 알고 있을 때 임의의 지점에 대한 변수를 추정하는 기술인 단순 크리깅 (Simple Kriging, SK)은 다음과 같이 주어진다.

$$Z_{SK}^*(u) - m = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{SK}(u) [Z(u_{\alpha}) - m]$$

여기서 $Z_{SK}^*(u)$ 는 u 지점에서의 SK 추정값이며, m 은 SK 평균, 그리고 λ_{α}^{SK} 는 관측값 $Z(u_{\alpha})$ 으로부터 결정되는 가중치이다. 본 연구에서는 단순 크리깅 추정시 이용되는 SK 평균 m 을 MT 역산에 의한 비저항 정보로부터 간접 추정하여 이용하는 방법을 택하였다. 이와 같이 가변적 지역 평균을 채택한 단순 크리깅은 아래와 같이 변환된다.

$$Z_{SKlm}^*(u) - m_{SK}^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{SK}(u) [Z(u_{\alpha}) - m_{SK}^*(u_{\alpha})] \quad (1)$$

여기서 가변적 지역 평균 $m_{SK}^*(u)$ 는 비선형 지시자 변환에 의해 설정되었다.

2.2 비선형 지시자 변환에 의한 $m_{SK}^*(u)$ 의 결정

가변적 지역 평균을 구하기 위해서 대상 지역의 비저항 값을 K개의 구간으로 나누고 이에 해당하는 RMR 값을 대응시킨다.

$$m_{SK}^*(u) = m_k \quad \text{with } y(u) \in (y_k, y_{k+1}]$$

$y(u)$ 는 u 지점에서의 MT 비저항 값이며, 조건부 평균 m_k 는

$$m_k = \frac{1}{n_k} \sum_{\alpha=1}^n i(u_\alpha; k) \cdot z(u_\alpha)$$

으로 주어진다.

$y(u_\alpha) \in (y_k, y_{k+1}]$ 에 해당하는 관측자료 $z(u_\alpha)$ 의 개수는 n_k 이며 지시자 변수 $i(u_\alpha; k)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$i(u_\alpha; k) = \begin{cases} 1 & \text{if } y(u_\alpha) \in (y_k, y_{k+1}] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

이상과 같이 정의된 가변적 지역 평균은 식 (1)의 단순 크리깅에 사용되고,

$$\sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_\beta^{SK}(u) C_R(u_\alpha - u_\beta) = C_R(u_\alpha - u) \quad \alpha = 1, \dots, n(u)$$

에 의해 가중값이 결정된다. $C_R(h)$ 은 RMR관측값과 가역평균의 잔차이다.

그림 2는 본 연구에서 사용된 비선형 지시자 변환에 의한 가변적 지역 평균 분포와 단순한 선형 분석에 의한 분포의 양상을 도시한다. 비선형 변환 값이 많은 변이를 보이면서 실제 RMR 값에 근사하고 있음을 알 수 있다.

그림 3은 시추공에서의 RMR값과 MT 역산에 의한 비저항 자료를 지구통계학적으로 복합해석하는 절차를 실제 자료에 적용한 과정에 대해 도시한 것이다.

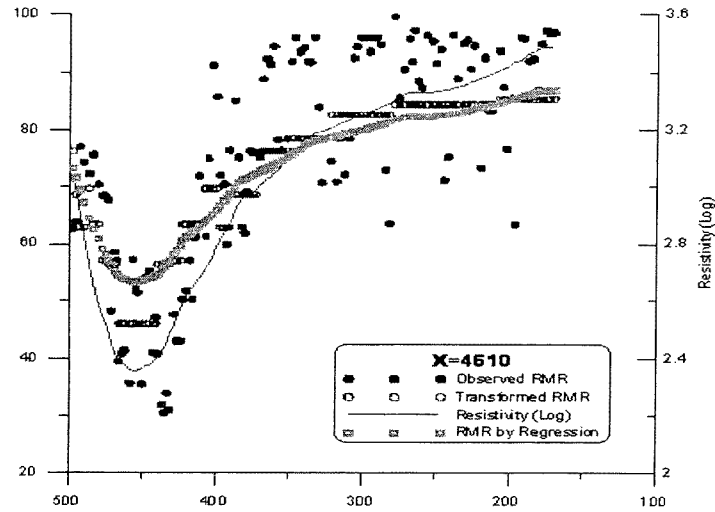


그림 2. Identification of RMR values at borehole position $x=4610$ (fig.3) using resistivity from MT data by simple regression and nonlinear transform method. The resistivity value depends on right axis.

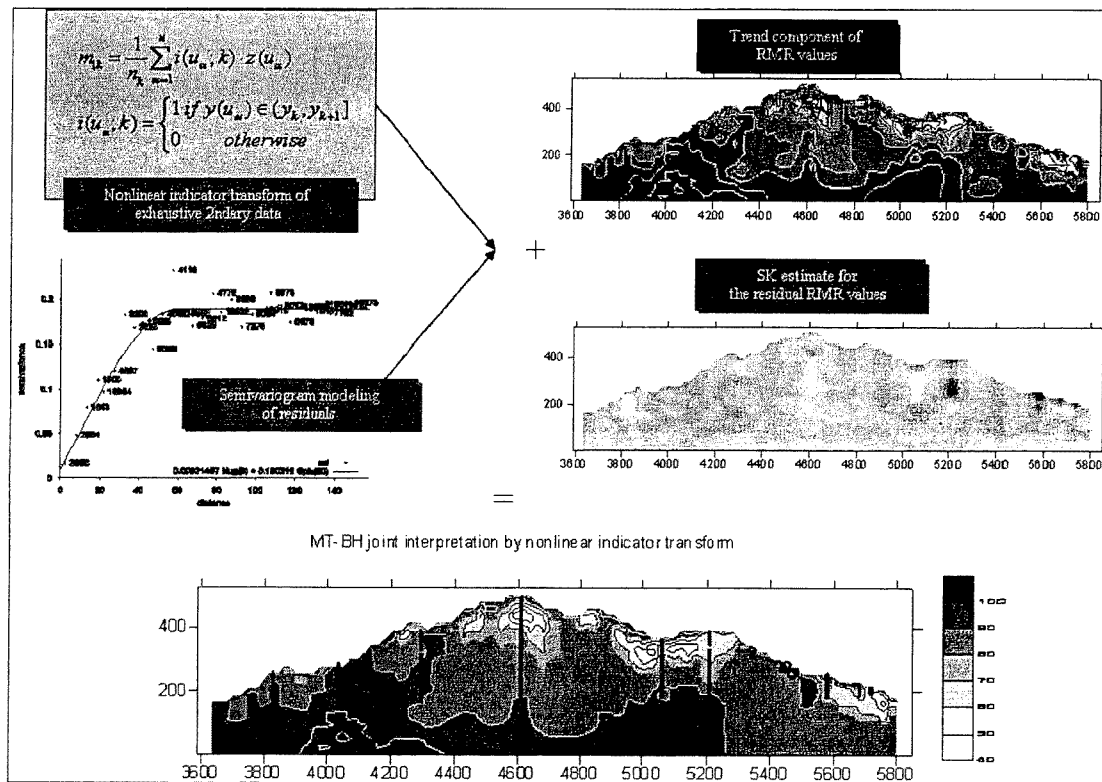


그림 3. The schematics of joint interpretation of resistivity data and borehole RMR information. Nonlinear transform or simple regression is applied to get trend component of RMR at unsampled position, then the simple kriging estimation for the residual values are added to the trend obtained by geostatistical modeling.

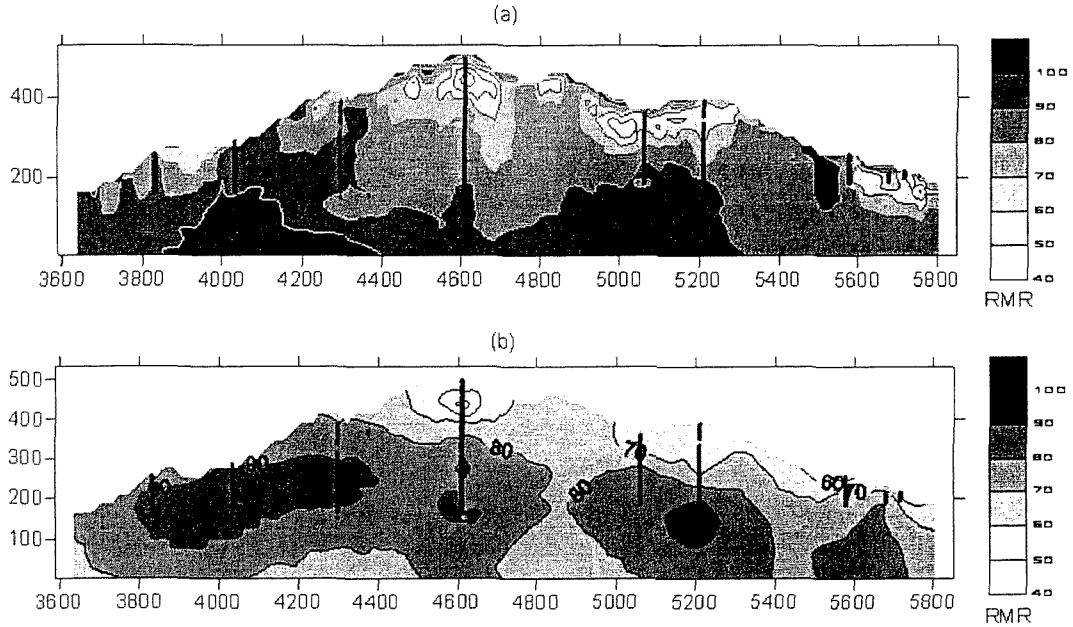


그림 4. Difference between combined result using MT resistivity and borehole information (a), and RMR data only kriging result (b).

3. 자료처리결과비교

그림 4는 비선형 지시자 변형과 가변적 지역 평균 단순 크리깅에 의해 구해진 복합 RMR 단면도 (a)와 시추공에서의 RMR 값을 크리깅 해서 획득한 단면도(b)를 함께 도시한 결과이다. 비교할 수 있는 바와 같이, 복합해석에 의한 단면이 보다 상세한 지하 암반의 RMR 값을 도시하고 있으며, 그림 (b)와는 많은 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Goovaerts, P., 1997, Geostatistics for natural resources evaluation, Oxford.
2. Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M., 1989, An introductions to applied geostatistics, Oxford.
3. Ozturk, C. A., 2002, Geostatistical assessment of rock zones for tunneling, Tunneling and Underground Space Technology, 17(3), 275-285
4. Ryu, D.-W., Kim, T.-K., and Heo, J.-S., 2003, A study on geostatistical simulation technique for the uncertainty modeling of RMR, Tunnel & Underground, 13(2), 87-99.