

다변량 판별분석을 통한 터널 설계시의 암반분류 연구

A study on rock mass classification in the design of tunnel using multivariate discriminant analysis

이 송*¹, 안태훈², 유오식³

Lee, Song · Ahn, Tae Hun · You, Oh Shick

Abstract

In designing a tunnel, RMR has been widely used to classify rock mass and to decide the support pattern according to the class of rock mass. However, this RMS system can't help relying on the empirical judgment of engineers who use variables which can be obtained only through consideration of the site conditions. In actuality, it is impossible to consider all the rating factors of RMS when using RMR system at the stage of designing. Therefore, in order to confirm possibility of RMR by use of only the quantitative factors for designing, this paper has done discriminant analysis. Rock strength or RQD has high coefficient of correlation with RMR value, and in consideration of the existing standards for rock mass classification, rock intensity and RQD are important factors for classification of rock mass. Through rock mass classification by the existing RMR system and rock mass classification by the discriminant analysis which has considered two variables only, the discriminant analysis using the rock intensity as an independent variable has shown 74.8% accuracy while the discriminant analysis using RQD as an independent variable has shown 74.3% accuracy. In case of the discriminant analysis which has considered both rock intensity and RQD, it has shown 82.5% accuracy. The existing cases have shown 40.3% accuracy at the stage of designing in which all the RMR factors are considered. It means that at the stage of designing, RMR system can work only with the rock intensity and RQD.

Keywords: Tunnel, NATM, RMR, rock classification, RQD, discriminant analysis

요 지

터널의 설계에 있어서 RMR 분류방법은 암반을 분류하고 암반등급에 따른 지보패턴을 결정하기 위하여 널리 사용하여 왔다. 하지만 이러한 RMR 분류방법은 현장상태를 고려하여야만 구할 수 있는 변수들을 사용하고 암반을 분류하는 기술자의 경험적 판단에 의존될 수 밖에 없다. RMR 암반분류 방법을 설계단계에서 활용할 때 RMR의 평가요소들을 모두 고려하는 것은 실무적으로 불가능하다. 따라서 설계시 정량적인 요소만을 사용하여 RMR 분류 가능성을 확인하기 위하여 판별분석을 수행하였다. 정량적 데이터인 암석강도 혹은 RQD는 RMR 값과의

*1 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (scugeo@uos.ac.kr)

2 서울시립대학교 대학원 토목공학과 박사수료

3 서울특별시 도로관리과장

상관계수가 높으며, 기존 암반분류기준을 살펴볼 때 암석강도와 RQD는 암반분류를 위한 중요한 요소이다. 기존의 RMR 암반분류 방법을 통한 암반분류와 두 가지 변수만을 고려한 판별분석을 수행한 암반분류 결과 암석강도를 독립변수로 사용한 판별분석시 74.8%, RQD를 독립변수로 사용한 판별분석시 74.3%의 정확도로 RMR 암반분류가 가능하였다. 암석강도와 RQD를 함께 고려한 판별분석을 하였을 때 82.5%의 정확도로 RMR 암반분류가 가능하였다. 기존의 사례분석에서 RMR 전체 요소를 통하여 수행된 설계단계의 전체 적중률은 40.3% 정도 수준임을 감안할 때 설계단계에서는 암석강도와 RQD 만으로도 충분한 RMR 암반분류가 가능할 것이다.

주요어: 터널, RMR, 암반분류, RQD, 판별분석

1. 서론

터널에 대한 암반분류시 우리나라에서 가장 많이 사용하고 있는 방법이 RMR 암반분류 방법이다. 이 방법은 남아프리카공화국의 Bieniawski (1984, 1989)가 많은 광산용 터널시공에서 경험적으로 얻어진 암반특성과 보강과의 관계에 근거하여 1973년 RMR 분류체계를 개발하였고 1979년 이를 수정하여 발표하였다. 이 방법은 다음 6가지의 변수, 무결암의 일축압축강도·RQD·불연속면의 간격·불연속면의 상태·지하수상태·불연속면의 방향을 분류변수로 하고 있다.

이러한 RMR 암반분류 방법을 설계단계에서 활용하기에는 많은 문제점을 내포하고 있다. RMR 암반분류 방법의 문제점 중의 하나는 설계단계에서 RMR의 평가요소들을 모두 고려하는 것은 실제적으로 불가능하다는 것이다. 설계단계에서는 불연속면의 상태나 지하수상태를 정확히 파악할 수 없다는 것이 현 기술수준이다. 또한 RMR의 결과가 본질적으로는 정량적이라 하더라도 몇 가지 변수들은 분류 당시 조사하는 기술자의 경험적 판단에 의존될 수 밖에 없다. 따라서 설계단계에서의 취득이 용이한 암반자료와 가장 정량적인 자료를 가지고 RMR 암반분류를 할 수 있는 방법이 필요하다.

암반분류의 발전과정을 살펴보면 RQD와 무결암의 일축압축강도가 중요자료이며 추가로 절리특성, 지하수 및 응력조건을 고려하고 있다. 이러한 암반변수 중 시추를 통해서 쉽게 파악할 수 있는 자료는 RQD이며 단순한 역학시험으로 무결암의 일축압축강도도 용이하게 파악할 수 있다. 그러므로 취득이 용이하고 정량적인 암반자료는 RQD와 무결암의 일축압축강도라고 할 수 있다.

서울지하철건설본부의 터널 설계기준에 따르면 설계단계에서 RMR 분류기준 중 지하수상태와 절리경사를 고려하지 않는 암반분류기준을 제시하고 있다. 그러나, 절리간격이나 절리상태를 시추자료를 보고 판단하는 것 또한 매우 어려운 점이 있으므로 굳이 절리간격과 절리상태를 설계단계에서 포함할 이유는 없을 것으로 보인다. 이에 대한 충분한 정량적 분석이 가능할 수 있도록 다양한 분석을 수행하고자 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 어느 정도 줄이기 위해 앞에서 언급한 RQD·무결암의 일축압축강도 값을 가지고 통계프로그램인 SPSS 10.0을 이용하여 기존의 RMR암반분류 방법을 통한 암반분류와 두 가지 변수만을 고려한 판별분석을 수행한 암반분류와의 결과를 비교하여 RQD와 무결암의 일축압축강도로 RMR을 평가할 수 있는 가능성을 통계학적 방법으로 모색해 보고자 하였다. 또한, 서울지하철건설본부 (2001)에서 제안하는 4 가지 요소에 대하여 암반분류하는 것에 대한 타당성 분석도 수행하고자 한다.

2. 연구동향

설계단계의 암반분류에 기초한 설계, 시공계획과 시공단계에서의 암반분류에서 얻은 결과는 어느 정도의 차이가 발생하는 것이 일반적이다. 그 차이를 발생시키는 원인은 지질조사 결과의 정밀도와 암반분류 자체에서 내포하고 있는 문제라고 생각할 수 있다.

기존 연구에서 도수터널의 220개소의 시공전의 암반분류와 시공중의 암반분류를 상호비교한 자료에 의하면

적중률은 암반등급별로 0~58%를 나타내며 전체 적중률은 40.3% 정도 수준이다 (위용근, 2000).

이러한 원인은 설계단계에서 얻는 데이터와 시공단계에서 얻을 수 있는 자료의 차이이다. 이러한 자료의 차이를 극복하고자 하는 노력으로 다중회귀분석을 통하여 RQD, 절리상태, 지하수의 3가지 요소로서 RMR 값을 구할 수 있는 기준을 다중회귀모형으로 다음과 같이 제안되었다 (위용근, 2000).

$$RMR = 2.76 + 1.74 RQD + 1.34 \text{ 절리상태} + 0.76 \text{ 지하수} \quad (R^2=0.93) \quad (1)$$

본 회귀분석을 위한 데이터는 도수터널에 대한 222개 소의 자료를 이용한 것이다.

김보현 (2002)은 다양한 터널의 데이터를 이용하여 RMR의 재평가를 위하여 다변량회귀분석하여 다음과 같은 다중회귀모형을 얻었다.

$$RMR = 0.25IRS+0.20Roughness+0.25Js+0.20RQD +0.10Persistence \quad (R^2=0.983) \quad (2)$$

김보현의 연구에서는 무결암강도 25점, 불연속면의 거칠기 20점, 불연속면의 간격 25점, RQD 20점, 불연속면의 연장성 10점으로 제안하였다. 불연속면의 간극과 불연속면의 충전물은 유의확률이 각각 0.859와 0.474로 계산되어 회귀모형에 적합하지 않았으므로 모형에서 제거하였고, 불연속면의 풍화상태와 지하수 상태의 RMR에 대한 편상관계수는 0.12와 0.14로 계산되어 상대적으로 낮은 값을 보여 제외하였다.

노상림 (2003)의 연구에서는 국내 도수로 터널 923개 소의 막장관찰자료 및 국내의 서로 다른 8개 지역의 총 168개 시추공에서 평가된 1418개의 데이터를 이용하여 구한 다중회귀모형은 다음과 같다.

$$RMR = 4.259+1.329RQD+1.066DC+1.001GW +1.050SD+1.103SC \quad (R^2=0.99) \quad (3)$$

변수 중 설명력이 높은 변수는 RQD, 절리면상태 (DC), 지하수상태 (GW), 일축압축강도 (SC), 절리면 간격 (DS)의 순서대로 선택되었다.

위 연구결과들을 살펴보면 사용된 데이터에 의해 많은 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 차이는 RMR의 일부 요소들이 상호 높은 상관성을 보이므로 다중공선성에 의해 나타날 수 있다.

기존 연구에서는 다중회귀분석을 통하여 얻은 결과를 실무에 적용하기 위해서는 다중회귀모형에 의해 제안된 값이 어느 정도의 신뢰성을 가지고 RMR 암반분류가 가능한지에 대한 분석이 필요하다.

회귀모형은 회귀분포에 대한 추정함수로서 다중회귀모형에서 주어진 값에 대하여 실측값은 회귀분포를 나타내는 것이다. 이 분포가 정규분포를 나타내고 편차가 크다면 암반분류에 대한 신뢰도는 떨어질 것이다. 또한, 설계단계에서 너무 많은 자료를 사용하면 자료에 대한 신뢰성 문제로 분석결과의 신뢰성도 저하될 수 있다.

3.이론적 배경

판별분석 (discriminant analysis)은 2개 이상의 모집단으로 부터의 표본이 섞여 있을 때 개개의 케이스 (case)에 대하여 그것이 어느 모집단에 속해 있는지를 판별 (discriminate)하기 위해 함수를 만들어서 판별작업을 실시하는 분석방법이다.

판별분석에서는 소속 그룹이 이미 알려진 케이스에 대하여 변수 x_1, x_2, \dots, x_p 를 측정하고, 이 변수들의 선형 함수를 작성하여 판별에 유용한 변수 y_1, y_2, \dots, y_m 으로 변환한다. 이 y_i 들을 판별함수 (discriminant function)라 한다. 판별함수 y_i 가 정해지면 소속이 명확하지 못한 케이스에 대하여 x_1, x_2, \dots, x_p 를 측정된 후에 이로부터 y_1, y_2, \dots, y_m 을 산출해서 이 케이스가 어느 그룹에 소속해 있는지를 판별할 수 있다. 물론 이때 잘못 판정되는 경우도 생기게 된다. 따라서 성공적으로 판정될 수 있도록 판정의 성공률을 높이는 판별함수를 작성하는 것이 중요하다.

판별함수의 작성시에 먼저 변수선택의 기능에 의해

판별효과가 높은 변수를 골라 낼 수 있다. 이 변수선택에는 다섯 종류의 선택기준이 마련되어 있는데 사용자는 이 중 하나를 골라 이용할 수 있다. 물론 변수선택을 생략하고 모든 변수를 투입해서 직접 판별함수를 구할 수도 있다.

판별함수의 수 r 은 그룹의 수를 k , 변수의 수를 p 라고 할 때 $r = \min(k-1, p)$ 이다. 일반적으로 $k < p$ 이므로

$k-1$ 이 판별함수의 수가 된다. 판별변수

x_1, x_2, \dots, x_p

에 대하여 판별함수 y 를

$$y = d_1x_1 + d_2x_2 + \dots + d_px_p = \mathbf{d}'\mathbf{x} \quad (4)$$

로 나타내면

$$\mathbf{d}' = (d_1, d_2, \dots, d_p), \quad (5)$$

$$\mathbf{x}' = (x_1, x_2, \dots, x_p) \quad (6)$$

이고 d_1, d_2, \dots, d_p 는 이들 판별함수에 적용되는 미지의 가중값 (weight)으로 판별함수계수 (discriminant function coefficients)라 한다. 만약 $k-1$ 개의 판별함수가 있으면

$$y_i = d_{i1}x_1 + d_{i2}x_2 + \dots + d_{ip}x_p$$

$$i=1, 2, \dots, k-1 \quad (7)$$

로 나타낸다. 여기서 판별변수 x_i 들은 일반적으로 표준화된 변수 (standardized variable)들이다.

2개의 그룹 G_1, G_2 가 있고 p 개의 변수가 있는 경우 만약 그룹 G_1, G_2 의 평균벡터와 분산-공분산 행렬이 각각 $\mu_1, \mu_2, \Sigma_1, \Sigma_2$ 이고 또한 $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma$ 라고 가정한다면 판별함수 계수들의 벡터 \mathbf{d} 는

$$\Delta = \frac{(\mathbf{d}'\mu_1 - \mathbf{d}'\mu_2)^2}{\mathbf{d}'\Sigma\mathbf{d}} \quad (8)$$

을 최대로 하는 \mathbf{d} 를 구하면 된다. 이렇게 \mathbf{d} 를 구함으로써 그룹 G_1 과 G_2 를 가장 잘 판별할 수 있는 판별함수를 구할 수 있는 것이다. 이 관계를 만족시키는 벡터 \mathbf{d} 는

$$\mathbf{d} = \Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2) \quad (9)$$

로 됨을 보일 수 있다.

그러나 Σ, μ_1, μ_2 는 알고 있지 못하므로 각각의 그룹 G_1, G_2 에서 얻은 n_1, n_2 의 표본케이스로부터 추정하게 된다. 만약 $i(i=1, 2)$ 번째 그룹에서 얻은 데이터행렬을

$$X_i = \begin{bmatrix} x_{i11} & x_{i21} & x_{i31} & \dots & x_{ip1} \\ x_{i12} & x_{i22} & x_{i32} & \dots & x_{ip2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1ni} & x_{i2ni} & x_{i3ni} & \dots & x_{ipni} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{i1}' \\ \mathbf{x}_{i2}' \\ \vdots \\ \mathbf{x}_{ini}' \end{bmatrix} \quad (10)$$

로 나타내면 i 번째 그룹에 대한 p 개 변수의 평균벡터를

$$\bar{\mathbf{x}}_i = \begin{bmatrix} \bar{x}_{i1} \\ \bar{x}_{i2} \\ \vdots \\ \bar{x}_{ip} \end{bmatrix} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \mathbf{x}_{ij} \quad (11)$$

로 표현할 수 있고 Σ 의 불편추정치는

$$S = \frac{n_1-1}{n_1+n_2-2} S_1 + \frac{n_2-1}{n_2+n_2-2} S_2 \quad (12)$$

와 같이 표본표준편차 S_1 과 S_2 의 가중평균을 이용하여 계산한다. 또한 μ_1, μ_2 의 불편추정치는 $\bar{\mathbf{x}}_1, \bar{\mathbf{x}}_2$ 이므로, 이들을 이용하여

$$\mathbf{d} = S^{-1}(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2) \quad (13)$$

인 판별함수의 계수벡터를 얻게 된다. 따라서 판별함수 y 는

$$y = (\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2)' S^{-1} \mathbf{x} \quad (14)$$

가 된다. 이를 Fisher의 판별함수라고 한다.

판별함수를 만든 다음 임의로 택한 하나의 케이스를 어느 그룹에 속하는지 분류하고 싶으면 다음과 같이 하

면 된다. 먼저 표본으로부터 각 그룹의 평균값을 구하면

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S^{-1} \bar{x}_1 \\ \bar{y}_2 &= (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S^{-1} \bar{x}_2 \end{aligned} \quad (15)$$

가 된다. 임의의 케이스에 대하여 판별함수 y 의 값이 \bar{y}_1 에 가까우면 그룹 1에, \bar{y}_2 에 가까우면 그룹 2에 속하게 하면 된다.

4. 판별분석에 따른 RMR 분류

기존의 연구에서는 다변량분석을 통하여 RMR값을 평가하는데 목적을 두어 다변량회귀분석을 수행하였다. 그러나 본 연구에서는 RMR값을 분석하는 것이 보다는 암반분류를 수행하는 방법을 강구하고자 하였다. 암반분류에서 같은 암반등급으로 분류된 경우 RMR값의 차이는 중요한 것이 아니기 때문이다.

암반분류의 목적은 비슷한 거동의 그룹으로 암석이나 암반을 분류하여 각 그룹의 특성을 이해할 수 있는 준거를 마련하고 설계를 위한 정량적 데이터를 획득하며 기술자간에 이러한 정보를 전달하는 근거를 마련하는데 있다.

현재 사용되고 있는 암반분류를 살펴보면 암반강도와 절리발달빈도를 기본적으로 이용하여 암반을 분류하였으며 절리발달빈도가 세부적으로 나뉘어지며 발전되어 왔다 (한국지반공학회, 1998). 초기 암반분류에서 중요시 여긴 암반특성은 RQD이다.

서울지하철건설본부 설계기준에 따르면 시추조사시 분류기준은 일축압축강도 (q_u), RQD, TCR을 사용한다. 이것은 설계단계의 지반조사에서 얻을 수 있는 데이터는 일축압축강도, RQD 및 TCR 세가지로 볼 수 있다. 이 경우 문제점은 3가지 분류 요소 기준의 상호관련성이 명확하지 않다는 것이다. 일례로 보통암층은 $TCR \geq 60\%$, $RQD \geq 25\%$, $q_u \geq 500\text{kg/cm}^2$ 인데, TCR은 경암층 조건인 80%이고 $q_u = 1,500\text{kg/cm}^2$ 이나 RQD가 20%일 경우 처리방법이 모호하다.

단순히 최소 기준에 따르는 것은 합리적이지 못하다. RMR에서는 각 요소에 대하여 점수를 부여하고 합산하

므로 시추조사에 의한 암반분류도 RMR과 같은 체계를 주는 것이 바람직 할 것이다.

RMR분류를 사용할 경우 지하수상태와 절리경사의 평점을 제외한 값을 사용하기도 한다. 이것은 설계단계에서 지하수 상태와 절리경사를 반영하기 어렵기 때문일 것이다. 그러나 절리간격이나 절리상태를 반영하기도 어렵다. 시추코어를 가지고 절리간격을 반영할 수 있으나 시추코어에 의한 절리간격은 원지반상태의 절리간격과 다를 것이다. 또한 절리가 종방향으로 발달된 경우에는 시추코어를 통하여 반영할 수 없다.

절리면 상태는 연장길이, 분리폭, 거칠기, 충전물두께, 풍화도를 각각 구하여 합산하도록 되어 있으므로 시추자료를 통하여 구하는 것은 매우 어렵다. 김보현 (2002)은 절리면 상태를 나누어 다변량분석을 수행하였고 절리면의 거칠기와 연장성만 고려하도록 하였는데 거칠기는 시추코어를 통하여 개략적으로 구할 수 있으나 연장성을 구하는 것은 불가능하다.

따라서, 설계단계의 암반분류를 위해서는 시추조사결과 자료인 암석강도, RQD 및 TCR을 사용하는 것이 합리적이며 기존의 암반분류기준을 고려하였을 때 터널에 있어 TCR의 중요성은 적은 만큼 암석강도와 RQD만을 고려하였다.

기존의 RMR등급과 비교를 위해 암반분류시 암반강도와 절리발달빈도를 대표할 수 있는 RQD와 무결암의 IRS만을 이용하여 판별분석을 수행하였다.

판별분석은 사전에 정의된 하나의 집단변수 개개의 변수값을 판별하는데 중요한 역할을 하는 판별변수의 선형 결합인 판별함수를 만든 후, 이 판별함수에 새로운 개체의 특성을 대입하여 어떤 집단에 속할지를 판별하는 것이다. 통계학 분야에서 가장 보편적으로 쓰이는 SPSS를 사용하여 판별분석을 실시하였다.

분석에 사용된 원자료는 “다변량 분석을 이용한 암반분류 재평가와 터널 지보량 산정에 관한 연구” (김보현, 2002)의 자료로써 지역적 편중성을 최소화하고 다양한 암종을 고려할 수 있도록 여러 지역에서 조사된 결과들이 선택되었다. 도로터널 자료는 중평~괴산간 도로의 유평터널 상하행선 구간 등이고 광산터널로는 한일시멘트 및 대성석회석, 평해석회석 등이다. 또한 폐석탄광인 함태탄광과 폐금속광인 금구광산, 소인광산 지역 내에서

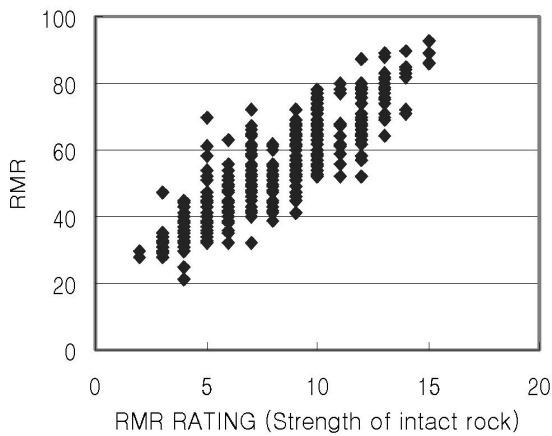


그림 1. RMR과 암석강도 산점도

조사된 자료도 포함되었으며 이들은 모두 막장 혹은 벽면에서 직접 관찰되고 조사된 것이다.

4.1 암석강도에 의한 RMR 분류

암석강도를 RMR 계수로 나타내었을 때 상관분석을 수행하면 상관계수가 0.912이다. 그림 1은 산점도이다. 이것은 상호 높은 관련성을 나타내는 것이다. 따라서, 암석강도에 따라 RMR 값을 추정하는 것은 가능할 것이다.

암석강도를 RMR 계수로 나타내었을 때 판별분석을 수행하면 원래의 집단 케이스 중 74.8%가 올바르게 분류되

표 1. 암석강도에 의한 RMR 분류 판별

구분	암반 등급	예측 소속집단				전체
		1	2	3	4	
원래값	1	87	1	0	0	88
	2	27	129	24	3	183
	3	0	35	129	53	217
	4	0	0	4	92	96
%	1	98.9	1.1	0	0	100.0
	2	14.8	70.5	13.1	1.6	100.0
	3	0	16.1	59.4	24.4	100.0
	4	0	0	4.2	95.8	100.0

었다. 표 1은 암석강도에 의해 RMR 등급을 구분하였을

경우에 나타난 결과를 정리한 것이다.

판별함수는 다음과 같이 나타낸다.

$$F_1 = 0.650 \text{ IRS} - 5.913 \quad (16)$$

여기서, IRS는 RMR 분류기준에 의한 암석강도 점수이다. 함수의 집단중심점은 표 2와 같다.

표 2. 함수의 집단중심점

암반등급	1	2	3	4
함수중심점	2.935	1.208	-0.875	-3.015

RMR 전체 요소에 의해 RMR 1등급으로 분류된 88개 중 암석강도로만 분류하였을 경우 87개는 1등급으로 1개만 2등급으로 분류되었다. RMR 2등급으로 분류된 183개 중 암석강도로만 분류하였을 경우 27개는 1등급으로 129개는 2등급으로, 24개는 3등급, 3개는 4등급으로 분류되었다. 각 등급별 정확히 분류된 비율을 확인해 보면 1등급은 98.9%, 2등급은 70.5%, 3등급은 59.4%, 4등급은 95.8%로 1, 4등급은 매우 정확히 분류되나 2, 3등급은 신뢰성이 다소 떨어진다.

그러나, 암석강도를 RMR 계수로 나타내었을 때 상관계수가 0.912이고 74.8%가 올바르게 분류 된다는 점에서 설계단계에서는 암석강도만으로도 충분히 RMR 기준에 의한 암반분류가 가능할 수 있다.

4.2 RQD에 의한 RMR 분류

RQD를 RMR 계수로 나타내었을 때 상관분석을 수행하면 상관계수가 0.904이다. 암석강도와 같이 상호 높은 관련성을 나타내고 있다. 따라서, RQD에 따라 RMR 값을 추정하는 것도 가능할 것이다.

RQD를 RMR 계수로 나타내었을 때 판별분석을 수행하면 원래의 집단 케이스 중 74.3%가 올바르게 분류 되었다. 표 4-2은 RQD에 의해 RMR 등급을 구분하였을 경우에 나타난 결과를 정리한 것이다.

RMR 전체 요소에 의해 RMR 1등급으로 분류된 88개 중 RQD로만 분류하였을 경우 85개는 1등급으로 3개만 2등급으로 분류되었다. RMR 2등급으로 분류된 183개

중 RQD로만 분류하였을 경우 48개는 1등급으로 114개는 2등급으로, 20개는 3등급, 1개는 4등급으로 분류되었다. 각 등급별 정확히 분류된 비율을 확인해 보면 1등급은 96.6%, 2등급은 62.3%, 3등급은 72.8%, 4등급은 80.2%로 1, 4등급은 매우 정확히 분류되나 2, 3등급은 60% 대로 신뢰성이 다소 떨어진다. 암석강도에 의한 분류보다 분류력이 더 떨어진다.

판별함수는 다음과 같이 나타난다.

$$F_1 = 0.557 RQ - 6.844 \quad (17)$$

여기서, RQ는 RMR 분류기준에 의한 RQD 점수이다. 함수의 집단중심점은 표 4와 같다.

4.3 암석강도와 RQD에 의한 RMR 분류

표 3. RQD에 의한 RMR 분류 판별

구 분	암반 등급	예측 소속집단				전체	
		1	2	3	4		
원래값	빈도	1	85	3	0	0	88
		2	48	114	20	1	183
		3	1	24	158	34	217
		4	0	0	19	77	96
%		1	96.6	3.4	0	0	100.0
		2	26.2	62.3	10.9	0.5	100.0
		3	0.5	11.1	72.8	15.7	100.0
		4	0	0	19.8	80.2	100.0

표 4. 함수의 집단중심점

암반등급	1	2	3	4
함수중심점	2.845	1.355	-1.063	-2.786

암석강도와 RQD에 대하여 개별적으로 RMR 판별분석을 수행한 결과 1, 4등급에 대해서는 상당히 정확한 판별이 가능하였으나 2, 3등급에 대해서는 판별 확률이 다소 떨어졌다. 따라서, 두가지를 함께 판별요소로 사용할 경우 판별 확률에 대한 분석을 수행하였다. 암석강도와 RQD의 RMR 계수를 독립변수로 사용할 때 판별분석을 수행하면 원래의 집단 케이스 중 82.5%가 올바르게 분

류 된다. 표 5는 판별 결과를 정리한 것이다.

각 등급별 정확히 분류된 비율을 확인해 보면 1등급은 100%, 2등급은 74.3%, 3등급은 78.3%, 4등급은 91.7%로 1, 4 등급은 90% 이상의 확률로 정확히 분류되나 2, 3등급은 70% 대로 신뢰성이 다소 떨어진다. RMR 분류에서 2, 3등급을 정확히 분류할 수 있는 판별요소를 추가적으로 사용할 필요가 있다. 서울지하철건설본부의 설계 기준에서와 같이 절리간격과 절리거칠기를 사용할 수도 있을 것이다. 그러나, 절리간격과 거칠기는 실제로 시추 자료로서 얻는 것이 어려우며 이것이 2등급을 명확히 판별할 수 있는 요소인지 불명확하다.

본 판별분석에 의해 구해진 판별함수는 다음과 같이 나타난다.

$$F_1 = 0.368 RQD + 0.433 IRS - 8.471 \quad (18)$$

$$F_2 = 0.424 RQD - 0.492 IRS - 0.738 \quad (19)$$

본 판별분석에서는 2가지 요소를 사용하므로 함수 2개를 구할 수 있다. 표 6에서 보면 함수 1과 함수 2의 고유값의 차이가 크며 분산값도 차이가 크므로 2개의 판별함수를 사용할 필요는 없다.

이것은 절리간격과 거칠기를 판별요소로 포함시켜 판

표 5. 암석강도와 RQD에 의한 RMR분류 판별

구 분	암반 등급	예측 소속집단				전체
		1	2	3	4	
빈도	1	88	0	0	0	88
	2	36	136	11	0	183
	3	0	20	158	2	217
	4	0	0	19	77	96
원래값	1	100.0	0	0	0	100.0
	2	1	6.0	0	0	100.0
	3	0	9.2	78.3	12.4	100.0
	4	0	0	8.3	91.7	100.0

표 6. 함수의 고유값

함수	고유값	분산의 %	누적 %	정준 상관
1	6.229	97.7	97.7	0.928
2	0.017	0.3	100.0	0.130

표 7. 표준화하지 않은 계수함수의 집단중심점

암반등급	함수	
	1	2
1	3.839	-0.055
2	1.702	0.118
3	-1.287	-0.148
4	-3.854	0.160

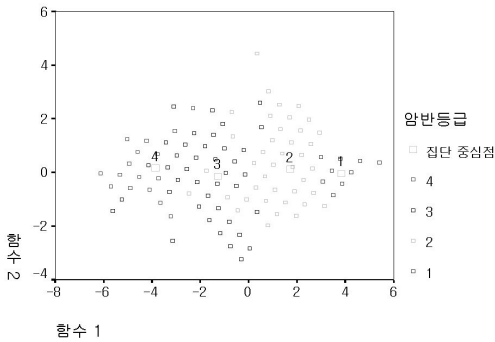


그림 3. 정준판별함수 산점도

별분석을 수행한 후에 포함여부를 결정할 수 있으나, 현재로서 암석강도와 RQD만에 의한 RMR 분류는 80% 이상의 정확도를 가지고 분류하므로 설계단계에서는 충분히 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 80% 이상의 정확성을 요구하는 것은 필요성 여부를 보다 면밀히 검토할 필요가 있으며 80% 정도로서 만족할 수 있는지에 대하여도 추가적인 연구가 필요하다.

5. 결론

터널의 설계에 있어서 RMR 분류방법은 암반을 분류하고 암반의 등급에 따른 지보패턴을 결정하기 위하여 널리 사용되어 왔다. 하지만 이러한 RMR 분류방법은 현장상태를 고려하여야만 구할 수 있는 변수들을 내포하고 있다. 또한 암반을 분류하는 기술자의 경험적 판단에 의존될 수밖에 없다.

따라서 설계시 구하기 용이하며 정량적인 변수만을 사용하여 기존의 RMR 암반분류 방법을 통한 암반분류와

두 가지 변수만을 고려한 판별분석을 수행한 암반분류와 의 결과를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기존 RMR 데이터를 통계적 방법으로 검토할 때 무결암의 일축압축강도를 독립변수로 사용한 판별분석시 74.8%의 정확도로 RMR 암반분류가 가능하였다.
2. 기존 RMR 데이터를 통계적 방법으로 검토할 때 RQD를 독립변수로 사용한 판별분석시 74.3%의 정확도로 RMR 암반분류가 가능하였다.
3. 기존 RMR 데이터를 통계적 방법으로 검토할 때 무결암의 일축압축강도와 RQD를 독립변수로 사용한 판별분석시 82.5%의 정확도로 RMR 암반분류가 가능하였다.

본 연구결과 RQD만으로 터널하중을 결정하는 Deere에 의해 수정된 Terzaghi 암반분류도 어느 정도의 신뢰성이 있는 것으로 나타났으며, 설계단계에서는 암석강도와 RQD 만으로도 충분한 RMR 암반분류가 가능할 것으로 판단된다.

기존의 사례분석에서 RMR 전체 요소를 통하여 수행된 설계단계의 전체 적중률은 40.3% 정도 수준임을 감안할 때 더욱 신뢰성을 높여준다. 암반분류에 대하여 설계단계에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단되며 추후 더 많은 데이터를 가지고 국내에 적합한 암반분류 기준을 정립하고자 한다.

참고문헌

1. 한국지반공학회 (1998), 지반공학 시리즈 7 터널, 구미서관, pp. 64, pp. 141-160.
2. 김보현 (2002), 다변량 분석을 이용한 암반분류 재평가와 터널 지보량 산정에 관한 연구, 전남대학교 대학원 박사학위논문.
3. 노상립, 윤지선 (2003), "통계적 기법을 이용한 터널에서의 암반분류에 관한 연구", 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 4635-4640.
4. 위용곤, 노상립, 윤지선 (2000), "다변량 분석을 이용한 터널에서의 효율적인 암반분류에 관한 연구", 한국터널공학회 터널기술논문집, 제2권, 제2호, pp. 41-49.

5. 서울특별시 지하철건설본부 (2001), 서울지하철9호선 설계기준, pp. 116.
6. Bieniawski Z. T. (1989), Engineering rock mass classifications, John Wiley & Sons, Ins., pp. 251.
7. Bieniawski Z. T. (1984), Rock mechanics design in mining and tunnelling, A. A Balkema, Rotterdam, pp. 97-133.



이 송

서울시립대학교 토목공학과 교수
scugeo@uos.ac.kr



안태훈

서울시립대학교 대학원 토목공학과 박사수료
matins10@hotmail.com



유오식

서울특별시 도로관리과장
ohshick@seoul.go.kr