한국터널지하공간학회논문집 2012년 9월
제14권 제5호, pp. 503-516

전기비저항 검층으로 얻은 전기비저항과 터널 현장 암반등급의 상관관계에 관한 연구

이강현[1], 서형준[2], 박진호[3], 안희윤[4], 김기석[5], 이인모[6]*

A study on correlation between electrical resistivity obtained from electrical resistivity logging and rock mass rating in-situ tunnelling site

Kang-Hyun Lee, Hyung-Joon Seo, Jin-Ho Park, Hee-Yoon Ahn, Ki-Seog Kim, In-Mo Lee

ABSTRACT Rock mass rating (RMR) is the key factor when designing the appropriate support pattern of tunnel projects. Borehole drilling is usually performed along the tunnel route in order to determine the rock mass rating to be used for tunnel design. The rock mass rating at the non-boring region between boreholes is usually assessed through geophysical surveys such as electrical prospecting, seismic prospecting, etc. Many studies were carried out to find out the correlation between electrical resistivity and rock mass rating. However, most researches were aimed at obtaining the relationship between the two parameters utilizing experimental results obtained from laboratory tests or electrical prospectings. In this paper, efforts were made to analyze and obtain relationships between the electrical resistivity obtained from in-situ electrical resistivity logging data and the rock mass rating. Correlation studies using field data showed that the electrical resistivity is highly correlated with the rock mass rating with the determination coefficient more than 90%. The correlation analysis was also carried out between RMR classification parameters and the electrical resistivity. It was shown that the correlation between the condition of discontinuities and the electrical resistivity was very high with the determination coefficient more than 80%; that between the groundwater condition and the electrical resistivity was very low with the determination coefficient less than 57%.

Keywords: Rock mass rating, electrical resistivity, electrical resistivity logging

요 약 터널 시공 중 암반등급은 지보패턴의 결정에 큰 영향을 주는 요소이다. 따라서 터널 설계 시에 터널이 시공되는 노선의 암반등급을 파악하기 위해서 시추조사를 수행한다. 시추구간 사이의 미시추 구간에서는 전기비저항 탐사, 탄성파 탐사 등과 같은 지구물리탐사를 통해 암반등급을 파악한다. 따라서 전기비저항과 암반등급의 상관관계를 찾기 위한 연구가

접수일(2012.08.13), 수정일(2012.09.07), 게재확정일(2012.09.17)

[1]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 박사수료
[2]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 박사수료
[3]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정
[4]정회원, ㈜희송지오텍 이사
[5]정회원, ㈜희송지오텍 대표이사
[6]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수
***교신저자: 이인모 (E-mail: inmolee@korea.ac.kr)**

www.kci.go.kr

다수 수행되었다. 그러나 대부분의 연구는 실내시험 또는 전기비저항 탐사로부터 얻어진 전기비저항과 암반등급의 상관관계에 대한 연구이다. 따라서 본 연구에서는 현장의 전기비저항 검층 시험으로부터 얻어진 전기비저항과 RMR의 상관관계를 분석하였다. 현장 데이터 분석 결과, 전기비저항과 RMR은 약 90%이상의 매우 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 RMR 평가 요소들과 전기비저항의 상관관계 분석을 수행한 결과, 전기비저항과 불연속면상태는 약 80%이상의 양호한 상관관계가 나타났으나 지하수상태는 약 57%이하의 낮은 상관관계가 나타났다.

주요어: 암반등급, 전기비저항, 전기비저항 검층

1. 서 론

터널 설계를 하기에 앞서 터널 노선에 걸친 암반상태를 평가하고 적합한 설계를 하기 위해서 시추조사, 지구물리탐사, 지표지질조사 등을 수행한다. 시추조사를 통해 얻어진 시추코어에 대한 육안관찰 및 계측, 암석물성시험과 현장에서의 지형측량, 지표지질조사, 시추공 영상촬영 등으로 얻어진 결과를 바탕으로 종합적인 암반상태를 평가한다. 그러나 복잡한 지질구조를 가지거나 시추공 사이의 간격이 넓은 경우에는 시추조사로는 암반상태의 정확한 평가를 할 수 없기 때문에 시추공간 사이의 미시추 구간에서 전기비저항 탐사, 탄성파 탐사, 전자탐사 등의 지구물리탐사를 수행하거나 시추공간 사이의 데이터를 바탕으로 통계학적 분석기법을 통하여 암반상태를 평가하게 된다(안희윤 등, 2008; 유광호 등 2004).

이처럼 다양한 방법 중에서도 전기비저항 탐사는 터널 주변에 발달한 각종 파쇄대 등과 같은 연약대의 조사에 효과적인 방법으로, 일반적으로 터널 설계 단계에서 미리 조사가 수행되어 시공비용을 절감하고 안정성을 확보하기 위한 중요한 기본 자료로 이용되고 있다. 지반의 물리적 특성 중 하나인 전기비저항은 지표에서의 전기비저항 탐사, 시추공에서의 전기비저항 검층 등과 같은 방법을 통해 측정할 수 있다. 현재 실무에서는 전기비저항으로 지반 상태를 파악하기 위해서 전기비저항 탐사를 통해 얻어진 전기비저항으로 지반의 전체적인 분포 및 파쇄대를 파악하고 전기비저항 검층으로부터 얻어진 전기비저항을 참조값으로 사용하여 전기비저항 탐사로 얻어진 결과의 질을 높인다. 이렇게 얻어진 전기비저항 탐사 결과를 바탕으로 미시추 구간의 암반상태를 평가하여 RMR과의 상관관계식을 산출하여 해당 구간에서의 전기비저항을 기반으로 암반등급을 결정한다(권형석, 2008).

따라서 전기비저항과 암반등급과의 상관관계를 규명하기 위한 연구가 다수 수행되었다. 권형석 등(2001, 2008)은 1개의 현장에서 전기비저항 탐사, 전기비저항 검층으로부터 얻어진 전기비저항과 RMR과의 상관관계에 대한 연구를 수행하였으며, 최재화 등(2003)은 전기비저항 탐사결과와 터널

www.kci.go.kr

막장에서 직접 측정한 암반분류와의 상관관계에 대한 분석을 수행한바 있다. 또한 오석훈과 서백수(2007)는 탄성파 속도와 전기비저항을 크리깅 방법을 이용하여 암반등급과의 상관성에 대해 확률적으로 분석하였으며, 박삼규 등(2003)은 전기비저항을 탄성파속도로 환산하여 암반분류와의 상관성에 대해 연구한 바 있다.

하지만 대부분의 연구는 넓은 범위의 전기비저항 분포를 측정하는 전기비저항 탐사 결과로부터 얻어진 전기비저항으로부터 암반등급과의 상관성을 분석하였기 때문에 상관성이 다소 떨어지는 문제가 있다. 또한 전기비저항은 현장 상황에 따라서 변화할 가능성이 높기 때문에 하나의 현장에 대해서만 분석한 전기비저항과 암반등급과의 상관관계를 분석하는 것은 하나의 현장에만 국한된 상관관계로 나타날 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 시추코어로부터 RMR 계측과 시추공 공내 원위치 시험으로 실제 암반의 전기비저항을 얻어낼 수 있는 전기비저항 검층을 수행한 3개 현장에서 다수의 데이터를 수집하고 통계학적 분석을 통하여 RMR과 전기비저항의 상관관계를 고찰하였다. 또한 RMR 평가 요소들과 전기비저항의 상관관계에 대한 분석을 수행하였다.

2. 배경이론

암반분류, 전기비저항의 특성, 전기비저항 탐사, 전기비저항 검층으로 수록

2.1 암반분류

암반분류법은 암석과 불연속면의 성질을 종합적으로 평가하여 암반의 상태를 나타내고자 하는 방법이다. 실제로 터널 및 지하공간의 설계 시에 제반의 지반정수를 모두 고려하여 설계하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 암반분류법을 이용하여 총체적인 암반상태를 평가하고 이에 근거하여 기본적인 설계를 한다(이인모, 2001). 현재 전 세계적으로 가장 통용되는 분류법으로는 RMR 분류법(rock mass rating)과 Q 분류법(Q-system)이다. 그 중에서도 Bieniawski(1989)가 제시한 RMR 분류법은 암반의 상태를 평가하는 방법으로 암석의 일축압축강도(15점), RQD(20점), 불연속면의 간격(20점), 불연속면의 상태(30점), 지하수의 상태(15점), 불연속면의 방향성의 영향을 고려하기 위한 보정, 총 6가지 요소를 각각 점수화하고 이를 식 (1)과 같이 합산하여 암반 상태를 평가한다. RMR의 총 점수는 0~100점 사이에 존재하며 점수에 따라서 암반등급을 1등급에서 5등급까지 분류하며, 점수가 좋을수록 공학적으로 양호한 지반으로 볼 수 있다.

$$\text{RMR} = \sum_{i=1}^{5}(\text{암반분류 요소에 따른 점수}) + \text{불연속면의 방향성 효과에 따른 보정} \quad (1)$$

www.kci.go.kr

2.2 전기비저항의 특성

전기비저항은 전류의 흐름에 저항하는 물질의 특성으로 물체의 모양이나 크기에는 관계없이 물체의 전기적 특성을 나타내는 상수로서 단위는 ohm-m이다. 암석에서 전기비저항은 공극률, 포화도, 지하수의 전기전도도, 점토의 함유량 등에 의해 변화한다. 신선한 암반일수록 공극률이 작고, 점토 함유량이 작기 때문에 전기비저항이 크게 나타난다. 반면에 파쇄대나 절리 등이 발달한 암반은 풍화가 많이 진행되었기 때문에 공극률이 크고 공극 사이에 점토 등의 충진물질로 인하여 전기비저항이 작게 나타난다. 이러한 전기비저항의 특성으로부터 암반상태를 평가하기 위해 전기비저항을 측정하는 전기비저항 탐사, 전기비저항 검층, 전자탐사 등의 지구물리탐사가 수행된다. 그림 1은 토사와 암석의 종류별 전기비저항 분포도를 보여준다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 토사와 암석의 특성에 따라 서로 다른 전기비저항 분포를 가지고 있음을 알 수 있으며, 토사는 암석에 비해 전기비저항이 상대적으로 작고 강도가 큰 암석 종류는 전기비저항이 크게 나타나는 경향을 보인다.

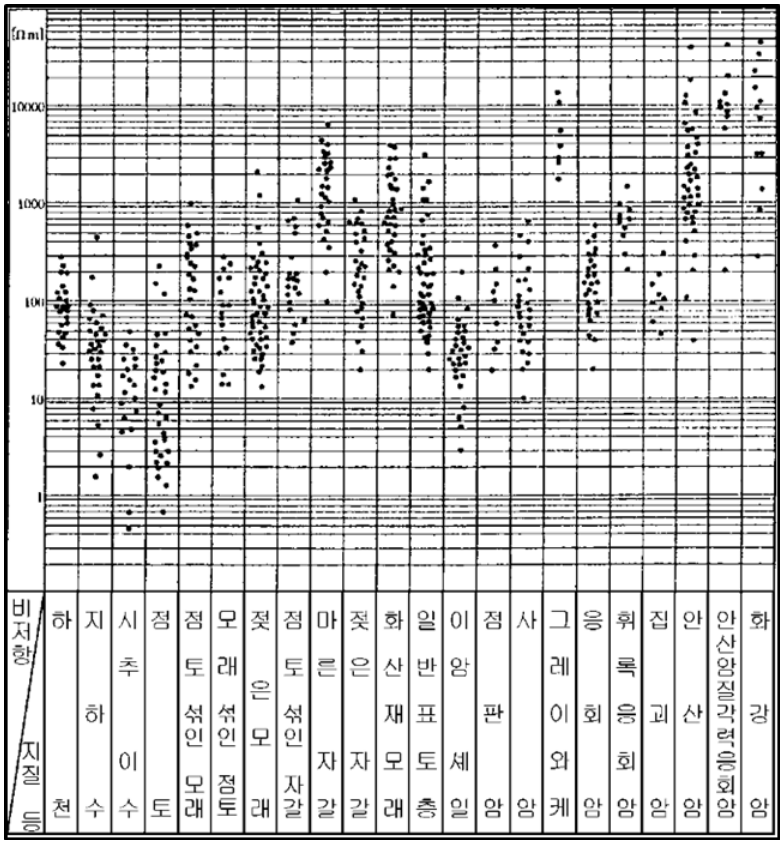


그림 1. 토사와 암석의 종류별 전기비저항 분포도(한국지구물리탐사학회, 2002)

www.kci.go.kr

2.3 전기비저항 측정

전기비저항 탐사는 지반의 전기적 성질인 전기비저항 분포에 의해 지반 상태를 파악하는 탐사방법으로 토목 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 전기비저항 탐사는 탐사하고자 하는 대상에 따라 여러 가지 배열에 맞추어 지표에 다수의 전극을 설치하고 인공적으로 지하에 전류를 흘려 이때 발생하는 지반의 전위 분포로부터 전기비저항을 구하여 지하의 지반구조를 파악하는 방법이다(그림 2). 탐사방법은 수평탐사, 수직탐사, 2차원탐사, 3차원탐사 등이 있지만 현재는 2차원 탐사가 주로 사용되고 있다(한국지구물리탐사학회, 2002). 전기비저항 탐사는 넓은 범위의 지질 분포나 단층파쇄대의 유무 등의 지질 구조, 지층의 풍화·변질 정도, 지하수 상황 등을 파악할 수 있어, 경제적이고 효율적인 탐사방법이다.

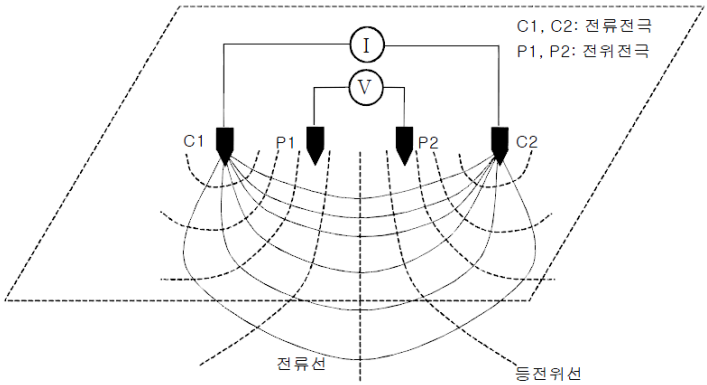


그림 2. 전기비저항 탐사의 측정 모식도(한국지구물리탐사학회, 2002)

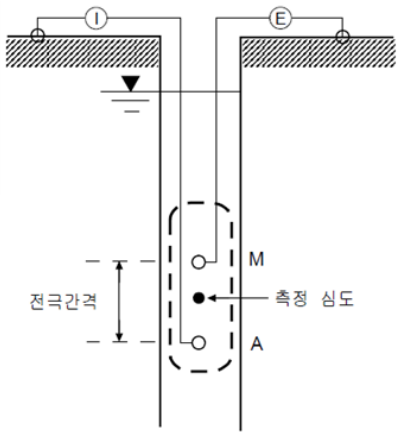


그림 3. 전기검층 2극법의 측정 모식도(한국지구물리탐사학회, 2002)

www.kci.go.kr

전기비저항 탐사와 달리 좁은 범위의 지반의 전기적 특성을 측정하기 위한 전기비저항 검층은 지표에서 수행하는 전기비저항 탐사법의 원리를 시추공에 적용하여 시추공 주변 지층의 겉보기 비저항을 측정하는 방법으로 터널이나 교량 조사 등에서 지질층서나 암상 변화의 파악에 주로 이용된다. 전기비저항 탐사와 마찬가지로 전극 배열의 차이에 따라 여러 탐사 방법이 있으나, 일반적으로 전류, 전위전극을 각각 하나씩 시추공 내에 설치하는 2극법의 노말법이 가장 많이 쓰인다(그림 3). 노말검층은 전극간격이 16 in(약 41 cm)인 단노말(short normal)검층과 전극간격이 64 in(약 163 cm)인 장노말(long normal)검층으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 RMR을 측정한 심도의 간격을 고려하였을 때 좁은 범위의 암반 특성을 대표할 수 있는 단노말 검층 자료를 이용하여 상관관계를 분석하였다.

3. 현장시험 결과 및 분석

지금까지 제시된 RMR과 전기비저항의 관계식이 하나의 현장에서 얻은 데이터로 국한되어 있고, 전기비저항과 RMR의 상관관계식을 통해 암반등급을 산출한다 하더라도 현장에 따라 적합하지 않은 결과를 도출할 수도 있다. 따라서 국내 현장 중 RMR 계측을 수행하고 전기비저항 검층을 수행한 3개 현장의 데이터를 수집하여 전기비저항과 RMR의 상관관계에 대해서 분석을 실시하였다.

3.1 현장지역 지질 및 측정결과

본 연구에서 대상으로 한 3개의 현장 중 A현장은 호상편마암과 이를 관입하는 규장질 편마암과 화강편마암이 기반암체를 이루고 있으며, 이 편마암체를 부정합으로 하는 중생대 백악기 퇴적분지가 소분지로 발달하고 있다. B현장은 우백질 편마암, 흑운모 편마암이 주를 이루고 있으며, 부분적으로 호상 흑운모 편마암이 나타난다. 특히 조구조적으로 3등급 규모의 주단층인 경강단층대가 위치해 있으며, 이외에도 능내단층, 곤지암단층이 발달하여 절리나 엽리가 나타나는 빈도가 높게 나타났다. C현장은 중생대 백악기의 흑운모 화강암, 유문암질암, 화강섬록암이 주를 이루고 있는데, 유문암질암이 위치해 있는 구간에서 1개의 시추공에 대해서 전기검층이 수행되었다.

3개의 현장에서 측정을 수행한 항목은 표 1과 같으며 모든 현장에서 단노말(short normal) 검층을 수행하였으며, B현장을 제외한 모든 현장에서 장노말(long normal) 검층을 수행하였다. A현장의 시추공 개수는 11개로 다른 현장에 비해 많은 시추조사가 이루어 졌다.

www.kci.go.kr

표 1. 현장 시추조사 및 전기 검층 개요

Site		A	B	C
시추공개수		11개	5개	1개
전기검층 수행여부	단노말(short normal)	○	○	○
	장노말(long normal)	○		○

3.2 암반등급과 전기비저항과의 상관관계 분석

대부분의 현장에서 RMR을 구하는 심도의 간격은 코어가 채취되는 형태에 따라서 다르나, 전기비저항 검층은 수cm에서 수십cm 간격으로 연속적으로 전기비저항 측정을 한다. 따라서 RMR을 측정한 심도와 전기비저항 검층으로 전기비저항을 측정한 심도에는 다소 차이가 있다. 전기비저항 검층은 연속적으로 측정이 가능하므로 RMR을 측정한 심도에 맞추어 전기비저항 검층으로 얻어진 심도별 전기비저항 데이터를 평균하여 상관관계 분석을 수행하였다. RMR은 일반적으로 암반상태에 대한 점수를 합산한 후에 터널과의 불연속면의 방향성에 따른 점수를 반영하여 최종적인 RMR을 구하게 된다. 그러나 본 연구는 암반상태와 전기비저항과의 상관관계를 분석하고자 하므로, 터널과 불연속면의 방향성에 따른 항목은 고려하지 않은 RMR을 사용하였다. 또한 전기비저항 검층 데이터는 여러 가지 측정 방법 중에서 측정 지점 주위의 암반 상태를 대표하고, 해상도가 좋은 단노말 검층에 의해 측정된 전기비저항을 이용하였다.

3개 현장에 대한 상관관계 분석 결과 A현장과 C현장은 상관계수가 약 0.8정도로 상관성 있는 데이터로 분석되었으나, B현장의 경우 상관계수가 약 0.47정도로 매우 낮게 나타났다(표 2). 그러나 통계학에서 데이터의 상관성을 분석할 때 쓰이는 P값이 유의수준인 0.005이하로 나타나서 전기비저항과 RMR은 상관성이 있는 것으로 판단된다. 전체 데이터에 대한 분포는 그림 4에 나타나 있는데, 수 개의 데이터를 제외하고는 전체적으로 타원형의 분포를 가지면서 어떤 일정한 분포를 나타내는 것처럼 보인다.

표 2. 현장 상관관계 분석

현장	시추공 개수	데이터 개수	상관계수(R)	결정계수(R^2)	P-value
A	11	58	0.809	0.632	0.000
B	5	160	0.476	0.330	0.000
C	1	13	0.799	0.693	0.001
합 계	16	218	-	-	-

www.kci.go.kr

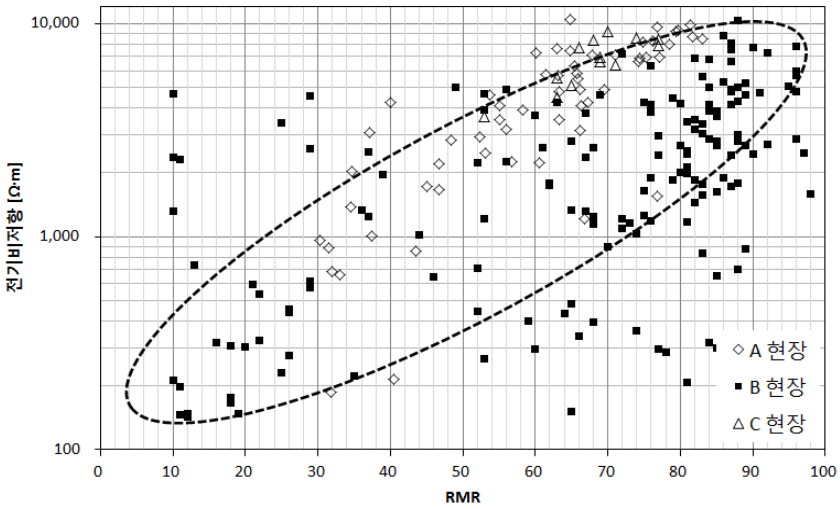


그림 4. RMR과 전기비저항의 분포도

타원형 분포 바깥쪽의 데이터는 크게 다음과 같은 2가지로 분류할 수 있다. RMR이 낮음에도 불구하고 전기비저항이 높게 나온 부분과 RMR이 높음에도 불구하고 전기비저항이 낮게 나온 부분이다. 먼저 RMR이 낮음에도 불구하고 전기비저항이 높게 나온 부분의 데이터를 분석하였다. B현장에서 RMR이 10일 경우 전기비저항이 1,000 Ω·m이상인 경우의 데이터를 살펴본 결과 RMR이 10으로 측정된 심도와 인접한 심도에서는 전기비저항이 약 100~400 Ω·m로 나타났다. 이는 A, C 현장의 경우 전기비저항 검층이 cm단위로 이루어졌지만 B현장의 경우 전기비저항 검층 측정 결과가 1 m단위로 평균값으로 기록되어 있어 전기비저항 측정 심도가 RMR을 구한 심도의 암반 특성을 잘 표현하지 못한 것으로 판단된다. 이러한 측정 오류 이외에도 절리면이나 파쇄대 부분에 공극에 충진물질이 채워져 있지 않고, 공기로 채워져 있고 현장이 산악지형에 위치하고 있어 암반의 포화도가 낮아서 전기비저항이 크게 나타난 것으로 파악된다.

다음으로 RMR이 높음에도 불구하고 전기비저항이 낮게 나온 부분의 데이터를 분석하였다. 시추주상도와 비교한 결과 RMR이 높음에도 불구하고 전기비저항이 낮게 나온 심도는 대부분 단층이나 파쇄대가 있는 것으로 나타났다. 이는 점토 등의 충진물질이 단층이나 파쇄대에 함유되어 있어 전기비저항이 상당히 낮게 나타난 것으로 보인다. 또한 현장 데이터의 신뢰성 확보를 위해서 시추주상도와 RMR과 전기비저항 측정심도를 비교하였는데, 특히 B현장의 1, 2등급에 속하는 대부분의 데이터들이 시추주상도상에 단층이나 파쇄대가 크게 존재하고 있음에도 불구하고, RMR이 크게 계산된 오류가 있는 것으로 판단되었다.

www.kci.go.kr

따라서 상관관계 분석에서는 소수의 이상치가 정상적인 값보다 상관관계에 큰 영향을 주기 때문에 위의 2경우에 대한 데이터를 제거하고, RMR이 크게 나왔음에도 불구하고 시추주상도상에서 단층이나 파쇄대가 크게 발달한 경우는 RMR 계산 시 오류가 있다고 판단하여 상관관계 분석에서 배제하였다.

먼저 각각의 현장에 대한 상관관계를 분석하기 위한 데이터 분포가 그림 5에 나타나 있으며, 그 결과를 표 3에 정리하였다. 3현장 모두 결정계수가 약 0.7이상으로 상관성이 양호하게 나타났다. 다만 추세선 기울기가 각 현장에서 약간의 차이가 있는데, 이는 각 현장의 암종과 암반특성의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 RMR과 전기비저항의 데이터 분석을 통해 일반적인 상관관계를 찾고자 함이므로, 3곳의 현장 데이터에 대해서 RMR과 전기비저항의 전체적인 상관관계를 분석하였다(그림 6). 각각의 현장에 대해 분석하였을 때보다 오히려 결정계수가 증가하여 약 0.94 정도의 매우 양호한 상관관계가 나타났으며, RMR이 증가하면 전기비저항이 증가하는 경향을 보였다. 각각의 현장에

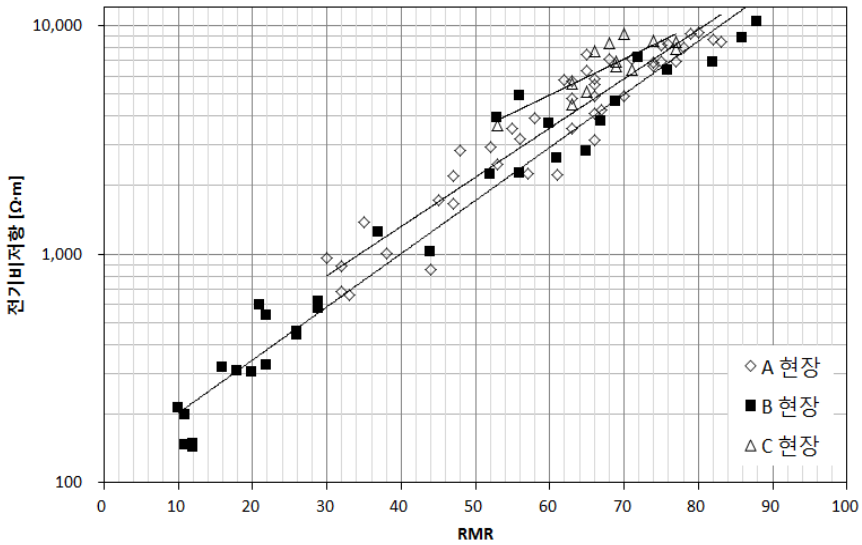


그림 5. 각 현장별 RMR과 전기비저항 상관관계 분석(이상 데이터 제외)

표 3. 각 현장별 RMR과 전기비저항 상관관계 분석(이상 데이터 제외)

현장	상관관계식	결정계수(R^2)
A	$\ln\rho = 0.0495RMR + 5.2036$	0.8967
B	$\ln\rho = 0.0535RMR + 4.7736$	0.9548
C	$\ln\rho = 0.0362RMR + 6.3382$	0.6934

www.kci.go.kr

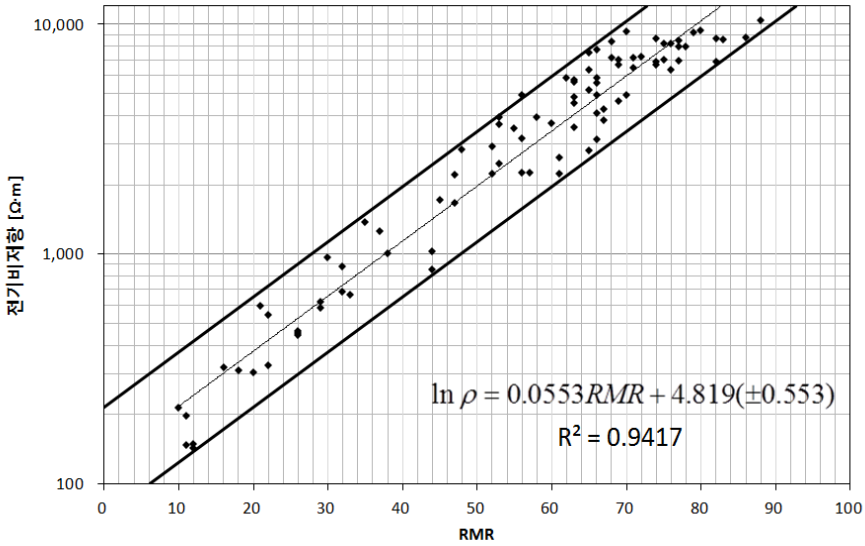


그림 6. 3개 현장의 RMR과 전기비저항 상관관계 분석

대해 상관관계를 분석하였을 때보다 B현장의 경우를 제외하고는 전체적으로 결정계수가 크게 증가하였다. 데이터의 분포에 맞추어 상한선과 하한선을 도시하였다. 이 때 현장에서 측정된 전기비저항이 약 1,000 Ω·m라고 가정하였을 때 전기비저항으로부터 RMR이 약 28~48로 추정할 수 있었으며, 평균 RMR은 약 38로 나타났다. RMR이 40이하, 즉 전기비저항이 700 Ω·m의 데이터에 대해서 별도로 분석한 결과 총 20개의 데이터 중 18개의 데이터에서 시추주상도상에서 파쇄대가 발달한 것으로 나타났다. 또한 전기비저항 2,000 Ω·m이하, 즉 RMR이 40~60이하에서는 파쇄대의 존재 가능성에 염두를 두어야 할 것으로 판단된다. 따라서 전기비저항 측정 시 700~2,000Ω·m이하에서는 파쇄대가 존재할 가능성이 매우 높은 것으로 보인다. 다만 산마루나 지하수위 상부에 터널 노선이 위치하는 경우에는, 지형적 특성이나 포화도 등으로 인하여 RMR이 낮음에도 전기비저항이 크게 측정되는 경우가 있을 수 있기 때문에 그림 6을 사용함에 있어서 유의해야 될 것으로 판단된다.

3.3 암반등급 요소와 전기비저항과의 상관관계

RMR과 전기비저항의 관계를 상세히 분석하기 위해서 RMR을 평가하는 각각의 요소들과 전기비저항과의 상관관계를 분석해보았다. 일반적으로 암석물성과 전기비저항의 상관관계를 고찰할 때 암석물성에 로그를 취하는 경우와 로그를 취하지 않는 경우가 있다(권형석 등, 2001). 따라서 암석물성에 로그를 취하는 경우와 취하지 않는 경우 2경우에 대해서 상관관계 분석을 수행하였으며,

www.kci.go.kr

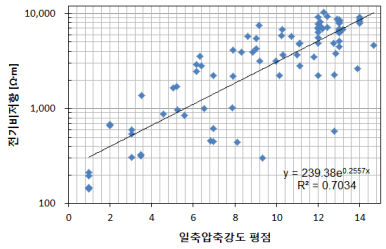
표 4. RMR평가 요소들과 전기비저항의 상관관계 분석

	일축압축강도	RQD	불연속면간격	지하수	불연속면상태
P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
상관계수, R	0.7834	0.9138	0.7973	0.6602	0.7796
결정계수(R^2)(선형)	0.7034	0.7941	0.5674	0.5773	0.8222
결정계수(R^2)(로그)	0.4871	0.7227	0.6473	0.3140	0.1592

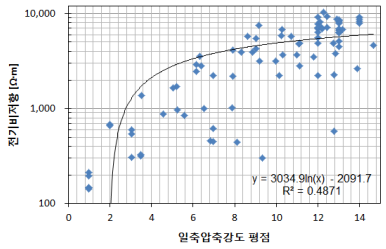
그 결과를 표 4에 정리하고 데이터 분포를 그림 7에 도시하였다. 대 부분의 RMR평가 요소에서 RMR-log(전기비저항)의 상관관계가 log(RMR)-log(전기비저항)의 상관관계보다 더욱 좋은 것으로 나타났으며, 절리간격에서만 그 반대의 형태로 나타났다. 불연속면 상태와 RQD가 약 0.8정도로 가장 양호한 상관관계를 보였으며, 불연속면 상태, RQD, 일축압축강도, 지하수상태, 불연속면 간격 순으로 상관관계가 좋은 것으로 나타났다. 일반적으로 현장에서 일축압축강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태를 관측하여 관측된 값을 바탕으로 보간법을 사용하여 점수를 주게 된다. 예를 들어 일축압축강도가 150이라면 12점을 주는 것이 아니라 12점과 15점 사이의 점수차이와 일축압축강도 차이를 보간하여 13점을 주게 된다. 그러나 A현장의 경우 불연속면 간격에 대한 평가를 함에 있어 보간법을 사용하지 않은 점수를 매겨 상관관계가 상당히 떨어진 것으로 나타났으며, A현장의 데이터만 제외한 후에 상관관계를 선형으로 분석하였을 때는 0.6이상, 로그분석시 0.8 이상의 결정계수가 나타나서 상관성이 증가하였다. 그러나 데이터의 수가 40개 정도로 적어 다소 신뢰성이 떨어지는 것으로 판단된다. 또한 지하수의 상태는 터널길이 10m당 유입량, 수압/주응력의 비, 건습상태로 판단할 수 있는데 일반적으로 육안으로 관찰된 건습상태로 지하수의 상태에 대한 점수를 주기 때문에 보간법을 사용하기 힘들어 0, 4, 7, 10, 15점 형태로 끊어서 점수를 주기 때문에 전기비저항과 상관성이 매우 떨어지는 것으로 나타난 것으로 보인다.

따라서 RMR평가 요소들과 전기비저항의 상관성 분석을 수행한 결과를 바탕으로 미루어 볼 때 현장에서 전기비저항을 이용하여 RMR을 평가함에 있어서는 지하수 상태를 제외하고 평가하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 또한 불연속면 간격에 대해서 보간법을 사용하여 점수를 매긴 현장의 데이터를 추가적으로 분석한다면 좀 더 신뢰성 있고 좋은 상관관계를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

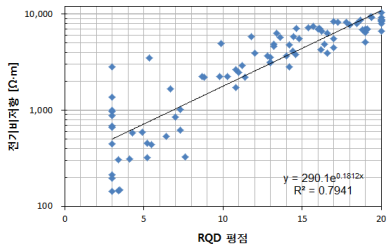
www.kci.go.kr



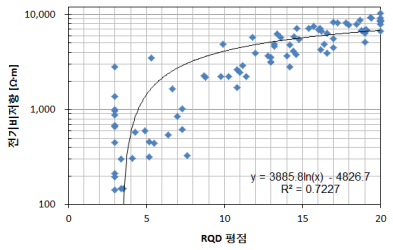
(a) 일축압축강도 평점–log(전기비저항)



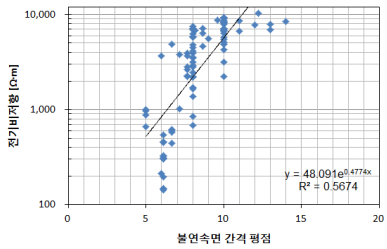
(b) log(일축압축강도 평점)–log(전기비저항)



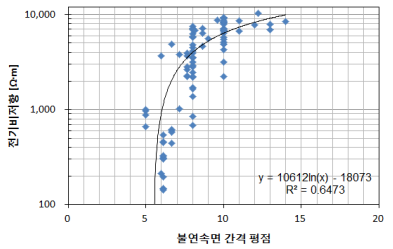
(c) RQD 평점–log(전기비저항)



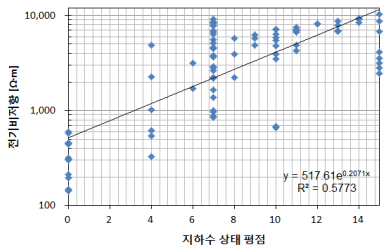
(d) log(RQD 평점)–log(전기비저항)



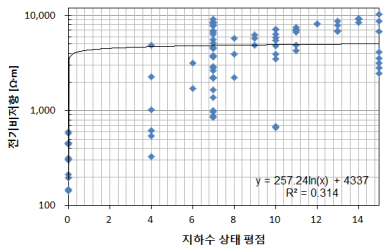
(e) 불연속면 간격 평점–log(전기비저항)



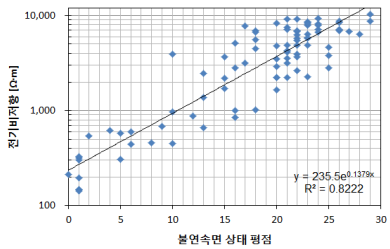
(f) log(불연속면 간격 평점)–log(전기비저항)



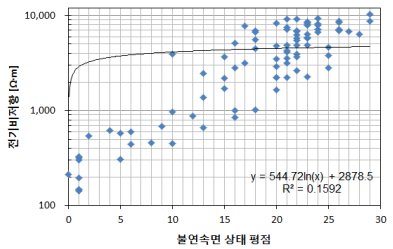
(g) 지하수 상태 평점–log(전기비저항)



(h) log(지하수 상태 평점)–log(전기비저항)



(i) 불연속면 상태 평점–log(전기비저항)



(j) log(불연속면 상태 평점)–log(전기비저항)

그림 7. RMR평가 요소들과 전기비저항과의 상관관계

www.kci.go.kr

4. 결 론

본 연구에서는 전기비저항 검층과 RMR계측이 이루어진 3곳의 현장의 데이터로부터 전기비저항과 암반등급의 상관성을 분석하였다. 전기비저항과 RMR, 전기비저항과 RMR평가 요소와의 상관관계를 분석함으로써 전기비저항으로부터 RMR을 예측할 수 있는 기준을 제시하였다. 이상의 연구로부터 얻어진 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서 얻어진 현장 데이터로부터 상관관계에 대한 분석 결과, RMR이 증가할수록 전기비저항도 증가하는 경향을 확인하였으며, 전기비저항과 RMR의 결정계수가 0.94이상으로 상당히 높은 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 또한 전기비저항이 매우 작은 구간은 대부분 파쇄대가 존재하는 것으로 나타났다.
2. 현장 데이터 상관성 분석을 통해 RMR에 따른 전기비저항의 상한선과 하한선을 제시하여 전기비저항 측정을 통해 암반등급을 추정할 수 있을 것으로 예상된다. 다만 이는 3개 현장의 데이터에서 얻어진 결과로, 타 현장에 적용 시에는 전기비저항에 큰 영향을 미치는 지하수 상태, 조성광물, 풍화정도에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.
3. RMR평가 요소와 전기비저항과의 상관관계 분석 결과, RQD, 불연속면 상태와 전기비저항의 결정계수가 약 0.80정도로 상당히 양호한 상관관계가 나타났다. 지하수의 상태를 제외한 다른 RMR평가 요소들 역시 전기비저항과 어느 정도 상관성이 있는 것으로 나타나서, 추후 추가적인 현장 데이터 분석을 수행함으로써 지하수의 상태를 제외하고는 전기비저항으로부터 RMR평가 요소의 값을 유추할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술 혁신사업의 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술 개발” 연구비지원(10기술혁신E09)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 권형석, 신중호, 황세호, 백환조, 김기석, 김종수 (2001), “전기비저항과 암반등급의 상관관계에 대한 고찰”, 한국지반공학회 봄 학술발표대회 논문집, 서울, pp. 81-88

www.kci.go.kr

2. 권형석, 황세호, 백환조, 김기석 (2008), “전기비저항과 암반분류의 상관관계에 대한 고찰”, 지구물리와 물리탐사, 제11권, 제4호, pp. 350-360.

3. 박삼규, 김정호, 조성준, 이명종, 손정술 (2003), “전기비저항 및 탄성파속도를 이용한 터널암반의 정량적 평가수법과 적용성”, 한국터널공학회 논문집, 제5권, 제3호, pp. 291-299.

4. 안희윤, 정재형, 조인기, 김정호, 배규진 (2008), “터널 굴착에 따른 전기비저항 모니터링 기술 적용”, 한국터널공학회 논문집, 제10권, 제4호, pp. 405-420.

5. 유광호, 이상호, 추석연, 주광수 (2004), “터널 중심선으로부터 이격된 자료를 활용한 미시추구간의 암반등급 산정에 관한 연구”, 한국터널공학회 논문집, 제6권, 제2호, pp. 101-111.

6. 오석훈, 서백수 (2007), “탄성파 속도와 전기비저항 자료의 지구통계학적 복합해석에 의한 암반등급의 확률적 평가”, 물리탐사, 제10권, 제4호, pp. 293-298.

7. 이인모 (2001), 암반역학의 원리, 새론출판사, 서울, pp. 222-240.

8. 최재화, 조철현, 류동우, 김훈, 오병삼, 강문구, 서백수 (2003), “전기비저항 탐사결과와 터널막장 암반분류의 상관성 검토”, 터널과 지하공간, 제13권, 제4호, pp. 279-286.

9. 한국지구물리탐사학회 (2002), 토목·환경 분야 적용을 위한 물리탐사 실무 지침, 한국지구물리탐사학회, pp. 193-201.

10. Bienniawski, Z.T. (1989) “Engineering rock mass classification”, Wiley, New York

www.kci.go.kr