

물리탐사에 의한 터널구간의 암반등급 산정

A Case Study for Rock Mass Classification using Geophysical Exploration

김 기 석¹⁾, Ki-Seog Kim, 권 형 석²⁾, Hyoung-Seok Kwon, 김 종 훈³⁾, Jong-Hoon Kim

1) (주) 희송지오택 대표이사, 기술사

2) (주) 희송지오택 차장, 공학박사

3) (주) 희송지오택 과장, 공학박사

요 약 : Electrical resistivity is one of physical property of the earth and measured by electrical resistivity survey, electrical resistivity logging and laboratory test. Recently, electrical resistivity is widely used in determination of rock quality in road and railway tunnel design. To get more reliable rock quality data from electrical resistivity, it needs a lot of test and study on correlation of resistivity and rock quality. Firstly, we did rock property test in laboratory, such as uniaxial compressive strength(UCS), P wave velocity, Young's modulus and electrical resistivity. We correlate each test results and we found out that electrical resistivity has exponentially related to UCS and P wave velocity and linearly related to Young's modulus. And we accomplished electrical resistivity survey in field site and carried out electrical resistivity logging at in-situ area. Also we performed rock classification, such as RQD, RMR and Q-system and we correlate electrical resistivity to rock classification results. We found out that electrical resistivity logging data are highly correlate to RQD, Q and RMR. Also we found out that electrical resistivity survey data are lower than electrical resistivity logging data when there are faults or fractures. And it cause electrical resistivity survey data to lowly correlate to RQD, Q and RMR.

주요어(Key words) : Electrical Resistivity, Rock Quality, Support Pattern, RQD, RMR, Q

1. 서 론

현재, 도로 및 철도터널의 설계에서 지보패턴은 시추조사, 시추코아에 대한 암석물성시험 및 암반분류를 기준으로 결정되고 있으며, 미시추구간에 대해서는 시추공에서의 자료를 기준으로 추정하여 결정하고 있다. 이와 같은 조사방법은 시추공간의 거리가 그리 멀지 않은 경우에는 큰 문제가 없으나, 시추공간의 거리가 멀 경우에는 인접 시추자료 만으로 미시추구간 지하암반의 등급을 결정하는 근거가 매우 미약하고, 또한 시공시 예기치 않은 단층 및 파쇄대의 조우와 같은 문제 유발 요인을 가지고 있다. 따라서 최근 들어 이에 대한 보완으로 터널 전구

간에 대한 전기비저항 분포단면을 기준으로 미시추구간에서의 암반등급을 결정하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 이는 전기비저항 탐사법이 수십~수백 m 심도에 대한 자료를 제공해줄 뿐만 아니라, 시추조사 자료와 비교해볼 때 암반의 파쇄정도와 상당히 일치된 결과를 제공해주기 때문이다. 하지만, 전기비저항이 RQD, RMR 및 Q 등의 암반등급과 어느 정도 상관관계가 있는지에 대한 분석은 거의 수행되고 있지 않으며, 상관관계에 대한 자료를 보더라도 상관관계가 매우 낮게 나타나고 있다.

따라서 본 자료에서는 먼저, 전기비저항이 RQD, RMR 및 Q 등의 암반등급과 어느 정도 상관관계가 있는지에 대해 분석을 수행하고자 하며, 다음으로 전기비저항탐사 결과와 암반등급의 상관관계가 낮게 나타나는 이유에 대해 분석해보고자 하였다. 일반적으로 지하매질의 전기비저항 값은 암종에 따라 크게 달라지는바 먼저, 정밀지표지질 조사결과를 기준으로 암종변화가 전기비저항에 미치는 영향을 검토하였다. 다음으로 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항은 3차원 효과, 역산에 따른 오차 등 많은 오차를 함유하므로, 다수의 시추공에 대해 전기비저항 검층을 수행하여 전기비저항 검층에 의한 전기비저항과 암반등급의 상관관계를 분석하였다. 그리고 전기비저항 검층에 의한 전기비저항과 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항의 상관관계를 분석하였으며, 이상의 상관관계에 대한 분석결과를 기준으로 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항과 암반등급의 상관관계를 분석하였다. 이러한 연구 결과는 다분적 지시크리깅 기법에 의한 미시추구간의 암반등급 산정(유광호, 1995a, 1995b, 박영진 외, 2001)에 있어 물리탐사 결과를 보다 정량적으로 반영할 수 있는 초기 입력 자료를 제공할 것으로 판단된다.

2. 물리탐사의 암반분류에의 적용

미시추구간의 암반분류를 위해 광범위하게 적용하고 있는 대표적인 기법은 전기비저항 탐사, 굴절법탄성과 탐사와 같은 물리탐사 기법과 지구통계학적인 접근법인 지시크리깅 기법으로 대분할 수 있다. 일반적으로 지표에서 얻어진 물리탐사 결과는 시추코아로부터 얻어진 결과와의 상관관계를 유도하여 분석 대상지역의 암반등급 산정에 활용되고 있다.

전기비저항 탐사는 지하에 흘려보낸 전류원에 의해 만들어지는 전위차를 측정함으로써 지하의 전기비저항 분포를 결정하고 지하구조를 해석하는 탐사기법이다. 지하천부에서 전기는 주로 유체에 의해 전도된다. 따라서 전기비저항은 지하 매질내의 물의 함량, 물의 염도에 영향을 받고 점토함량, 입자크기 등과 같이 매질의 이온교환능력의 차이에 영향을 받는다. 물이 매질의 공극을 채우고 있다면 공극률, 파쇄대, 풍화정도 등에 영향을 받는다. 이들 요소는 자연 상태에서 매우 다양하게 나타나므로 전기비저항 값 역시 크게 변화하게 된다. 그러나 전기비저항과 지질 매질 사이의 일반화된 관계는 성립시킬 수 있다. 이는 기반암은 항상 상부에 포화된 퇴적층보다 더 높은 전기비저항 값을 가지고 지하수면 상부의 불포화된 퇴적층보다 높은 전기비저항 값을 갖기 때문이다. 또한 시추조사와 같은 국부적인 지질조사 자료와의 상관관계를 도출함으로써 전기비저항 값에 의한 신뢰성 있는 지질정보를 획득하게 된다(손호웅 외, 1999). 여러 가지 암석 및 광물의 물리적인 성질 중에서도 전기비저항은 그 변화의 폭이 매우 크나 대표적인 암석의 전기비저항 값의 범위는 표 1과 같이 나타난다.

표 1. 대표적인 암석의 전기비저항 값의 범위(Telford 등, 1976)

암석종류		전기비저항($\Omega \cdot m$)
화성암	화강암	$3 \times 10^2 \sim 10^6$
	섬록암	$10^4 \sim 10^5$
	현무암	$10 \sim 1.3 \times 10^7$ (건조시)
	안산암	4.5×10^4 (습윤시) $\sim 1.7 \times 10^2$ (건조시)
변성암	혼펠스	8×10^3 (습윤시) $\sim 6 \times 10^4$ (건조시)
	응회암	2×10^3 (습윤시) $\sim 10^5$ (건조시)
	편마암	6.8×10^4 (습윤시) $\sim 3 \times 10^6$ (건조시)
	대리석	$10^2 \sim 2.5 \times 10^8$ (건조시)
퇴적암	세일	$20 \sim 2 \times 10^3$
	역암	$2 \times 10^3 \sim 10^4$
	사암	$1 \sim 6.4 \times 10^8$
	석회암	$50 \sim 10^7$

전기비저항을 좌우하는 지질 매질에 따른 전기비저항의 범위는 표 2와 같다.

표 2. 지질 매질에 따른 전기비저항 값의 범위(Ward, 1990)

매 질	전기비저항($\Omega \cdot m$)
젖은 점토질 토양과 젖은 점토	1~10
젖은 실트질 토양과 실트질 점토	10 이하
젖은 실트질 및 사암질 토양	10~100
실트층을 가진 사암과 자갈	1000 이하
굵은 입자의 마른 사암과 자갈	1000 이상
젖은 토양으로 채워진 균열을 가진 약간 파쇄되거나 잘 파쇄된 암석	수 100
건조한 토양으로 채워진 균열을 가진 약간 파쇄된 암석	1000 이하
괴상 기반암	1000 이상

지반조사에서 탄성과속도는 밀도와 함께 지반의 동적 특성을 규명하는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 탄성과 속도는 지표 또는 시추공에서 획득할 수 있으며 각각 장단점을 가지고 있다. 적용 환경에 있어 지표 탄성과 탐사는 시추공 탄성과 탐사에 비해 광범위한 지역을 대상으로 할 수 있으나 분해능에 있어서는 지표에 비해 시추공 탄성과 탐사가 높은 해석능력을 보여준다(선우준, 2001).

탄성과 속도는 암석의 종류, 구성물질 및 고결도, 밀도, 공극율, 이방성, 불연속면의 분포 상태 등 많은 인자들에 영향을 받는다. 따라서 탄성과 속도 분포대를 파악함으로써 지반상태의 구분이 가능하다. 탄성과속도에 따른 암반분류 기준의 일례로서 건설교통부 표준품셈의 분류 기준에 따른 암분류 기준은 표 3과 같다.

표 3. 건설교통부 표준품셈의 분류기준중 암종별 탄성과 속도 및 내압강도

암반 구분	암 반 상 태	그룹	자연상태의 탄성파속도 (km/sec)	암편의 탄성파속도 (km/sec)	암편 내압강도 (kgf/cm ²)
풍화암	암질이 부식되고 균열이 1~10cm 정도로서 약간의 화약을 사용해야 할 암질로서, 일부는 곡갱이를 사용할 수도 있는 암질	A	0.7~1.2	2.0~2.7	300~700
		B	1.0~1.8	2.5~3.0	100~200
연암	혈암, 사암 등으로 균열이 10~30cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하나 석축용으로는 부적합한 암질	A	1.2~1.9	2.7~3.7	700~1,000
		B	1.8~2.8	3.0~4.3	200~500
보통암	풍화상태를 엿볼 수 있으나 굴삭 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며 균열이 30~50cm 정도의 암질(석회석, 다공질 안산암 등)	A	1.9~2.9	3.7~4.7	1,000~1,300
		B	2.8~4.1	4.3~5.7	500~800
경암	화강암, 안산암 등으로 굴착에는 화약을 사용해야 하며 균열이 1m 이내로서 석축용으로 쓸 수 있는 암질	A	2.9~4.2	4.7~5.8	1,300~1,600
		B	4.1 이상	5.7 이상	800 이상
극경암	암질이 대단히 밀착된 단단한 암질(규암, 각섬석 등 석영질이 풍부한 경암)	A	4.2 이상	5.8 이상	1,600 이상

구분	A 그룹	B 그룹
대표적 암명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각석암, 석회암, 사암, 휘록암, 응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사교암, 유문암, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 고결도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 많은 것, 천매상인 것
500~100G 햄머 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작고 평평한 암편으로 되어 흐트러지거나 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점의 암 자신이 부서지지 않고, 분상이 되어 남으며, 암편이 별로 흐트러지지 않는 것

3. 현장조사

현장 조사 결과의 분석을 통해 물리탐사 결과의 암반분류에의 활용에서 얻어지는 장점과 문제점을 제시하고자 한다. 현장 조사 사례는 전기비저항 탐사를 기준으로 설명하였다.

3.1. 지형 및 지질

본 조사지역의 지형은 크게 서쪽의 한강변을 따라서 발달하는 저구릉지와, 동쪽의 험준한 산악지역으로 대별되며, 산악지역은 태백산맥으로부터 분기되는 광주산맥의 남쪽 연장부에 속한다. 그림 1은 조사지역에 대한 광역지질도로 조사지역인 뚝섬-양수리 지역의 광역적인 지

질계통은 시생대-원생대의 퇴적기원인 호상편마암과 이를 관입 또는 주입한 규장질편마암과 화강편마암이 기반암체를 이루며 점유하고 있다. 한편, 이 편마암체를 부정합으로 하는 중생대 백악기 퇴적분지가 능내지역에 소분지로 발달하고 있다.



그림 1. 조사지역의 광역지질도

본 조사 대상지역인 덕소-양수리 구역은 한반도의 기반암체로 일컫는 경기육괴의 중앙부에 속하며, 한반도를 북북동-남남서 방향으로 절단하는 추가령단층의 동쪽지역에 위치하고 있다. 추가령단층 서쪽지역의 엮리는 동서방향의 주향에 북쪽 경사를 가지는 반면에, 동쪽지역은 북북동-북동방향의 주향에 동측경사를 보인다. 추가령단층 동쪽지역에는 일동단층, 경강단층, 양구단층, 인제단층 등의 조구조적규모의 단층들이 발달하고 있다. 이 단층들은 NS~N30°E의 주향을 가지며 추가령단층과 옥천습곡대와 예각으로 만난다. 본 조사지역에 분포하는 편마암류는 크게 호상흑운모편마암, 규장질편마암, 화강편마암으로 구분되며, 이외에 규암, 녹니석편암 등이 국부적으로 관찰된다. 그림 2는 정밀지표지질조사에 의한 조사지역의 지질도를 도시한 것이다.

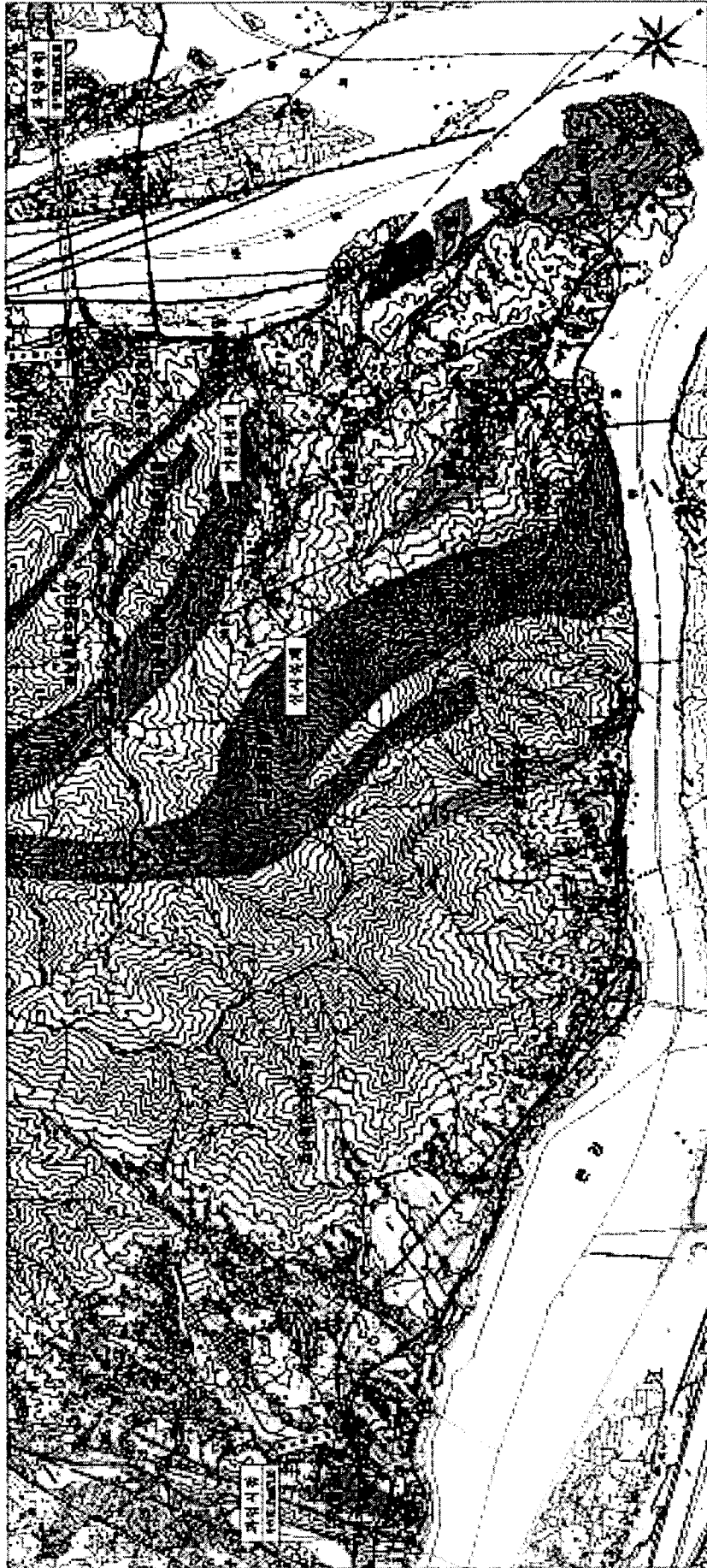


그림 2. 조사지역 지질도

3.2 전기비저항 탐사 결과

그림 3은 월문터널에 대한 전기비저항탐사 결과단면으로 해석의 편의를 위해 터널 및 단층, 파쇄대, 시추공 위치, 암반상태 등을 함께 나타내었다. I 구간에서의 결과를 보면, 대략 50~1,500 ohm-m 범위의 낮은 전기비저항값이 분포하고 있는데, 이 구간에 분포하는 단층 및 여러조의 파쇄대, 화강암질 암맥의 관입에 의한 것으로 판단된다. II구간에서는 1000 ohm-m 이상의 전기비저항값이 분포하며, 대체적으로 신선한 암반상태를 보인다. III구간에서는 1000 ohm-m 이하의 낮은 전기비저항값이 분포하고 있다. 이 구간은 계곡부로 우기시 계곡수가 유입되어 풍화 및 파쇄가 심할 것으로 판단되며, 따라서 절리파쇄에 의한 저비저항대로 추정된다. IV구간에서는 1,000 ohm-m 이상의 전기비저항값이 분포하며, 암반상태가 신선한 것으로 판단된다. V구간에서는 1,000 ohm-m 이하의 낮은 전기비저항값이 분포하며, 저비저항 이상대가 터널 상부까지 발달하고 있다. VI구간에서의 결과를 보면, 1,000 ohm-m 이상의 전기비저항값이 분포하며, 월문터널에서 가장 신선한 암반상태를 보이고 있다. VII구간에서는 500~1,000 ohm-m 내외의 낮은 전기비저항값이 분포하며, 이는 절리 파쇄대의 발달과 연관된 것으로 판단된다.

그림 4는 팔당터널 시점부에 대한 전기비저항탐사 결과단면으로, 먼저 I 구간에서의 결과를 보면 1,000 ohm-m 이하의 낮은 전기비저항값이 분포하고 있다. 이 구간에서 전기비저항이 낮게 나타나는 구간의 암종은 화강편마암으로 호상흑운모편마암 또는 규장질편마암에 비해 전기비저항이 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 시추공 TB-14에 대한 시추조사 결과 대략 7~30m 심도에서 보통암~경암의 암반상태를 보이는 바, 저비저항 이상대가 암종에 의한 것이라는 것을 뒷받침하고 있다. II구간에서는 3,000 ohm-m 이상의 매우 높은 전기비저항값이 분포하며, 신선한 암반이 분포할 것으로 판단된다. III구간에서는 1,000~3,000 ohm-m 범위의 낮은 전기비저항값이 분포하며, 절리파쇄가 발달하였을 것으로 추정된다. IV구간에서는 천부에 1,000 ohm-m 이하의 전기비저항값이 분포하는 데, 파쇄대 및 불연속면의 발달에 의한 것으로 판단된다.

그림 5는 팔당터널 계곡부에 대한 전기비저항탐사 결과단면으로 I 구간에서의 결과를 보면, 대략 3,000 ohm-m 범위의 높은 전기비저항값이 분포하고 있으며, 매우 신선한 암반이 분포할 것으로 판단된다. II구간에서는, 500 ohm-m 이하의 낮은 전기비저항값이 분포하고 있다. 정밀지표지질조사 결과를 보면, 이 구간에 주향 N10°E, 경사 88°SE인 단층이 분포하는 바, 단층 발달과 연관된 저비저항 이상대가 분포하는 것으로 판단된다. III구간에서는 1,000 ohm-m 내외의 전기비저항값이 분포하며, 이 구간에서의 시추조사 결과를 보면 시추공 하부에서 단층에 의한 파쇄대 및 단층각력암이 분포하고 있는 바 이와 연관된 저비저항 이상대로 판단된다. IV구간에서는 300 ohm-m 이하의 매우 낮은 전기비저항값이 분포하는데, NS~N20°E 주향, 60~90° 경사를 가지는 단층이 분포하는 바 이와 연관된 것으로 판단된다. V구간에서는 1,000~3,000 ohm-m 범위의 높은 전기비저항값이 분포하며, 대체로 신선한 기반암으로 구성되어 있다. VI구간에서는 500 ohm-m 이하의 낮은 전기비저항값이 분포하며, 지표지질조사 결과 주향 N20°W, 경사 85°SE의 단층이 분포하는 바 이와 연관된 것으로 판단된다. VII구간에서는 3,000 ohm-m 이상의 높은 전기비저항값이 분포하며, 매우 신선한 암반이 분포할 것으로 해석된다.

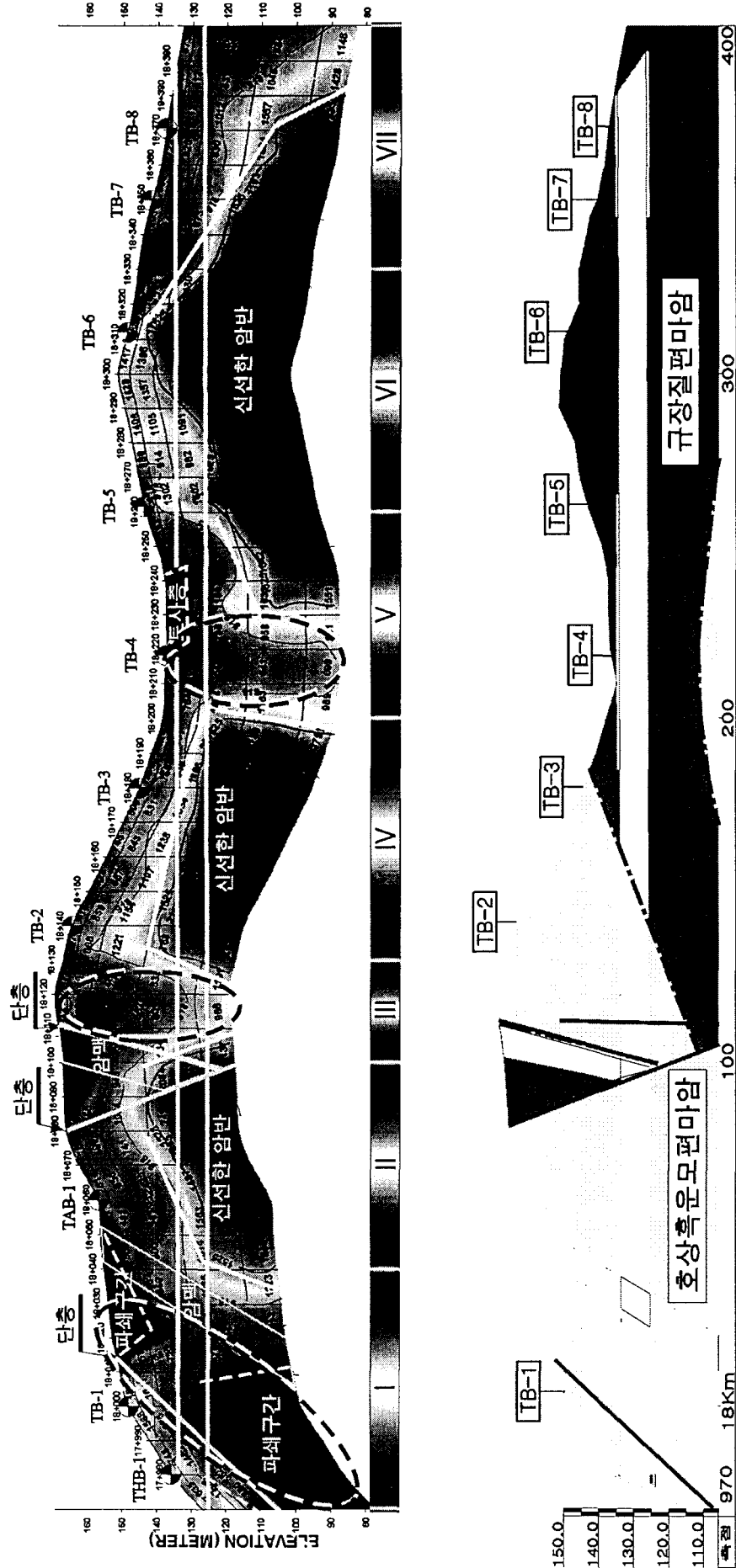


그림 3. 월문터널 전기비저항 탐사 결과

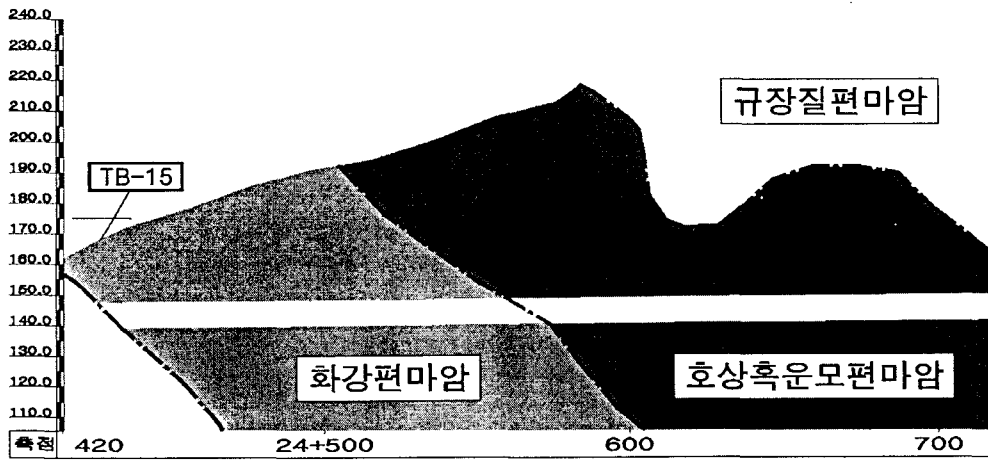
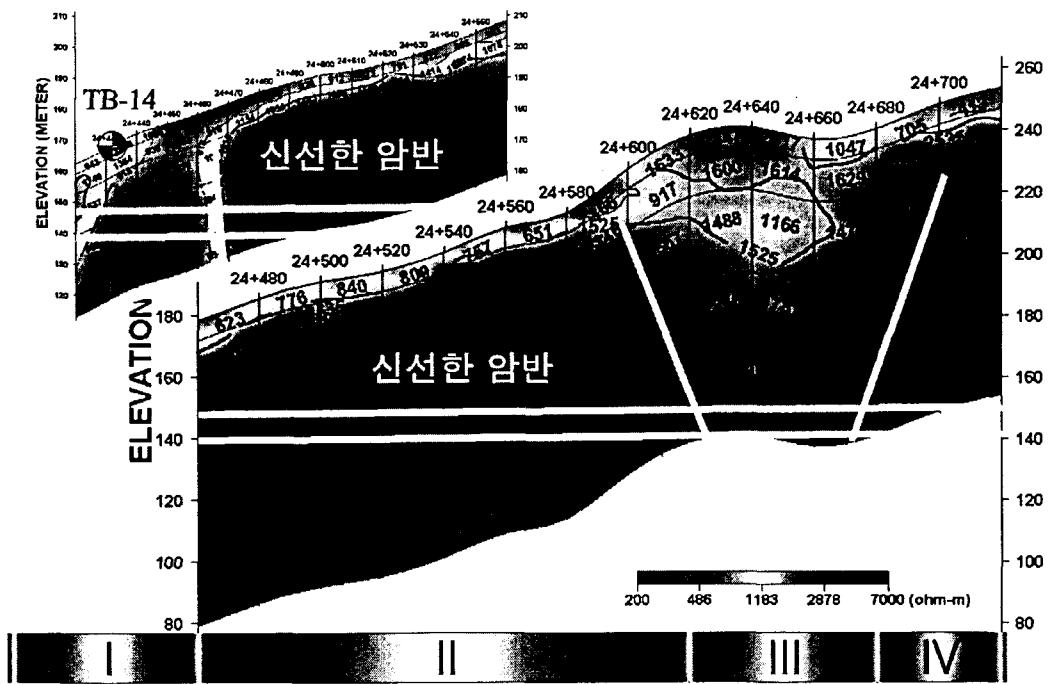


그림 4. 팔당터널 시점부 전기비저항 탐사 결과

4. 전기비저항에 의한 암반등급 산정

4.1 전기비저항과 암반등급

일반적으로 도로 및 철도 터널에서는 RQD, RMR 및 Q-System과 같은 암반분류를 근거로 설계를 수행하며, 이때 암반분류 각 항목에 대한 평점은 시추코아에 대한 육안관찰 및 암석물성시험을 통해 산출한다. 하지만, 터널 전구간에 대해 시추조사를 수행한다는 것이 현실적으로 불가능할 뿐만 아니라 비경제적이므로, 시추가 수행되지 않는 구간에서는 다른 조사방법에 의해 암반등급을 결정해야 한다.

지반조사에서 수행되는 조사 방법은 매우 많지만, 터널 전구간에 대한 물성값을 산출해 줄 수 있는 조사방법은 탄성파탐사와 전기비저항 및 전자탐사와 같은 물리탐사법이 일반적이다. 지하매질의 암반상태는 지하수 및 불연속면의 발달에 의해 크게 결정되는데, 탄성파속도에 비해 전기비저항값이 이와 연관성이 높기 때문에 전기비저항값을 기준으로 암반상태를 추정하는 것이 일반적이다.

지하매질의 전기비저항값으로부터 RQD, RMR 및 Q와 같은 암반등급을 결정하기 위해서는 상관관계에 대한 분석을 통해 상관관계식을 도출하여야 한다. 그림 6은 전기비저항 탐사에 의한 2차원 전기비저항 분포 단면으로부터 시추조사가 수행된 구간에서의 전기비저항값을 추출하여 해당 구간에서의 RMR과 상관관계를 도시한 것이다. 그림 6을 보면, 전기비저항의 분포가 매우 넓게 퍼져있어 RMR과 상관관계가 매우 낮게 나타나고 있다. 따라서 본 자료에서는 전기비저항과 RQD, RMR 및 Q와 같은 암반등급이 상관관계가 어느 정도 되는지와 함께 전기비저항 탐사와 RMR과의 상관관계가 낮게 나타나는 이유에 대해 고찰해 보았다.

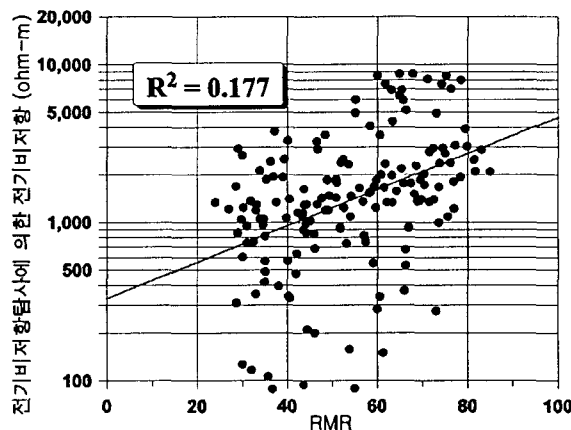


그림 6. 전기비저항과 RMR의 상관관계

그림 7은 본 조사에서 수행한 터널구간에서 암반등급을 결정하는 과정에 대한 흐름도이다. 먼저, 시추가 수행된 구간에서는 시추코아에 대한 육안관찰 및 암석물성시험을 통해 RQD, RMR 및 Q와 같은 암반등급을 결정한다. 다음으로 시추가 수행되지 않은 미시추구간에서의 암반등급 결정을 위해 전기비저항 검층과 해당 시추공에서의 암반등급과의 상관관계를 분석한다. 그리고 전기비저항 탐사와 전기비저항 검층과의 상관관계를 분석하여, 이를 기반으로 하여 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항과 암반등급과의 상관관계에 대한 분석을 수행한다.

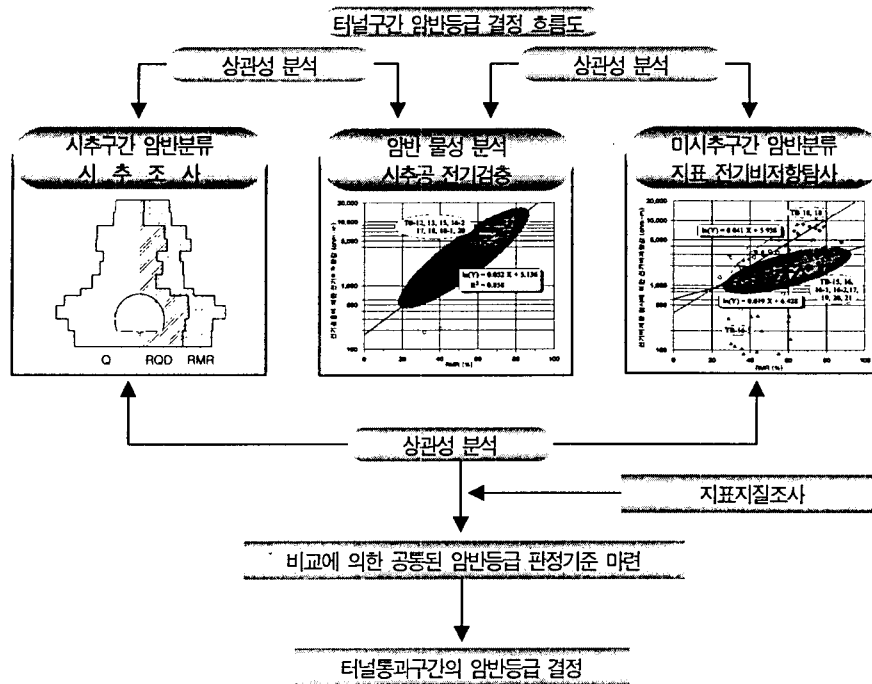


그림 7. 전기비저항에 의한 암반등급 결정과정 흐름도

4.2 전기비저항 검층과 암반등급의 상관관계

전기비저항 탐사에 의한 전기비저항값은 다음에 열거한 오차들을 포함하고 있기 때문에 지하매질의 정확한 전기비저항 값을 산출한다고 하기에는 많은 무리가 따르며, 따라서 지금까지는 정석적인 해석을 주로 수행하고 있다.

- ① 지하매질을 2차원 구조로 가정함에 따른 오차
- ② 3차원적인 지형에 의한 오차
- ③ 역산시 지하매질을 일정 크기의 셀로 구성함에 따른 오차
- ④ 측정시 주변에 존재하는 전기적인 잡음에 의한 오차
- ⑤ 지하매질에 자연적으로 존재하는 자연전위(SP)에 의한 오차

이에 반해 전기비저항 검층은 가탐심도(투과심도)가 80~320cm로 시추공내 주변매질에 대한 전기비저항 값을 측정하므로 전기비저항탐사에 비해 상대적으로 정확한 값을 측정할 수 있다. 따라서 본 조사에서는 조사대상 지역에서 수행된 전기비저항 검층 결과 중 상대적으로 해상도가 나은 Short Normal 검층 결과를 이용하여 RQD, RMR 및 Q와의 상관관계를 분석하였다. 본 조사에서 암반등급은 2~4m 간격으로 수행되는데 반해, 전기비저항 검층은 10cm 간격으로 측정을 수행하여 직접적인 상관관계 도출이 어려웠다. 따라서 암반등급을 결정하는 심도구간에서의 전기비저항 검층 결과에 대한 평균값을 구하여 상관관계를 분석하였다.

그림 8은 전기비저항 검층에 의한 전기비저항과 RQD, RMR 및 Q와의 상관관계를 도시한 것이다. 그림 8을 보면 전기비저항은 RQD 및 RMR과는 지수함수적인 상관관계를 보이며, Q와는 선형적인 상관관계를 보이고 있다. 또한, 앞서 그림 6과 달리 RQD와 RMR에 대해서는

0.875, 0.858의 매우 높은 상관관계를 보이며, Q와도 0.827의 높은 상관관계를 보이고 있다. 따라서 지하매질의 전기비저항 값이 RQD, RMR 및 Q와 같은 암반등급과 매우 높은 상관관계를 가진다는 것을 알 수 있으며, 지하매질의 전기비저항 값으로부터 암반상태를 추정하는 것이 합리적이라는 것을 알 수 있다.

4.3 전기비저항 값에 대한 분석

전기비저항 검층에서는 암반등급과의 상관관계가 높게 나타나는데 반해, 전기비저항 탐사에서는 상관관계가 낮게 나타나는 이유를 규명하기 위해, 전기비저항 검층과 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항에 대한 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석에 사용한 전기비저항 검층과 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값은 암반등급을 구한 심도구간에서의 평균값을 사용하였다.

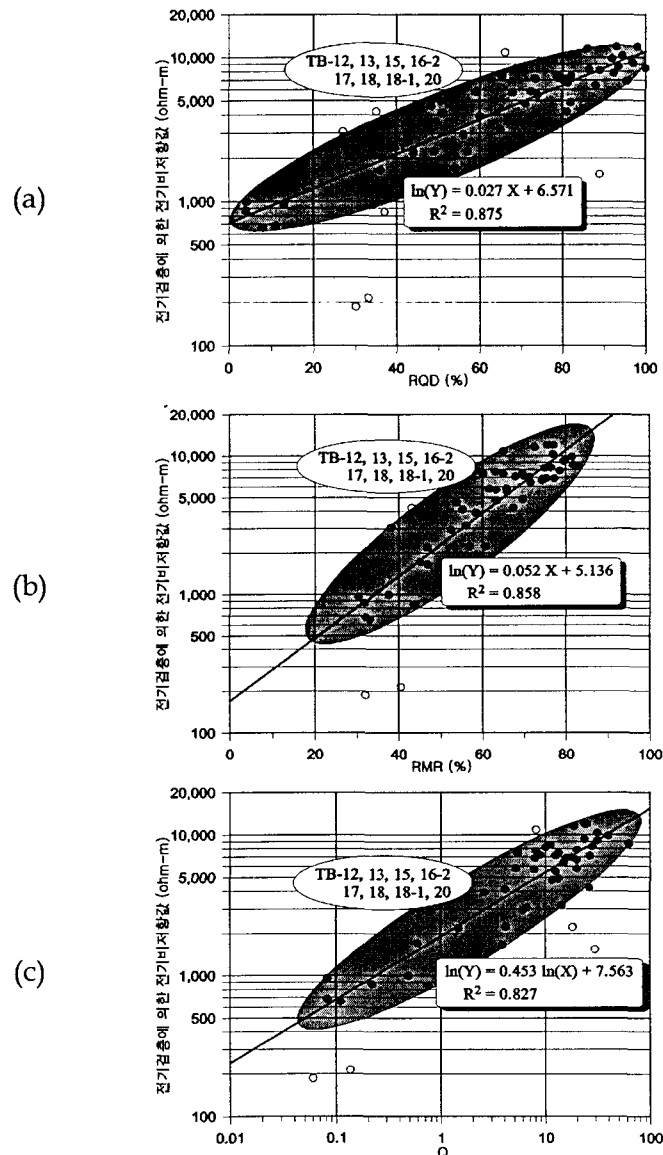


그림 8. 전기비저항 검층과 암반등급과의 상관관계
 (a) 전기검층과 RQD, (b) 전기검층과 RMR, (c) 전기검층과 Q

그림 9는 각각 월문터널과 팔당터널에서의 전기비저항 검층과 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값에 대한 상관관계를 도시한 것이다.

그림 9를 보면 전기비저항 검층에 의한 전기비저항과 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항의 비가 뚜렷한 2~3개의 그룹으로 분리되는 것을 알 수 있다. 또한, 하나의 시추공에서의 자료는 하나의 그룹으로 묶이고 있으며, 따라서 각각의 그룹이 시추공의 위치와 연관되어 있음을 알 수 있다.

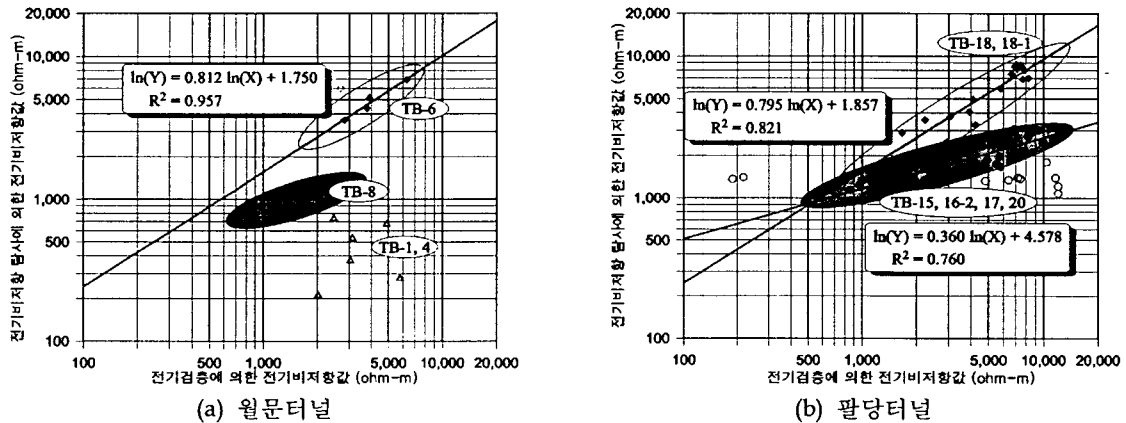


그림 9. 전기비저항 검층과 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항의 상관관계

먼저, 월문터널에서의 결과를 보면, 전기비저항 검층에 비해 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값이 현저하게 낮은 시추공 TB-1과 TB-4 그룹, 그 값이 약간 낮은 시추공 TB-8 그룹, 그 값이 비슷한 시추공 TB-6 그룹으로 분리되고 있다. 그림 3을 보면, 시추공 TB-1과 TB-4 주위에 단층 및 파쇄대와 연관된 저비저항 이상대가 분포하고 있다. 일반적으로 전기비저항 탐사 자료에 대한 역산시 주위에 단층 및 파쇄대가 발달하여 있을 경우 전기비저항 값이 수백 ohm-m 이하로 현저하게 낮게 나타나며, 따라서, 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값이 전기비저항 검층에 의한 전기비저항 값에 비해 현저하게 낮은 이유는 이로 인한 것으로 사료된다. 시추공 TB-8에서도 주위에 절리파쇄와 연관된 저비저항 이상대가 분포하여 전기비저항 탐사 자료에 대한 역산시 전기비저항 값이 다소 낮게 평가되어, 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값이 전기비저항 검층에 의한 전기비저항 값보다 다소 낮게 나타나는 것으로 사료된다. 이에 반해, 시추공 TB-6에서는 주위의 암반이 신선하여 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값과 전기비저항 검층에 의한 전기비저항 값이 거의 일치되어 나타나고 있다.

다음으로 팔당터널에 대한 결과를 보면, 앞서 월문터널에서와 마찬가지로 주위에 절리파쇄로 인한 저비저항 이상대가 분포하는 시추공 TB-15, 16-2, 17, 20 그룹과 주위의 암반상태가 신선한 시추공 TB-18, TB-18-1 2개의 그룹으로 분리되고 있다. 또한, 전기비저항 검층을 수행하지 않아서 그림 9에는 도시하지 않았지만, 단층이 존재하는 시추공 TB-16-3에서의 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값이 현저하게 낮게 나타나고 있다.

따라서 전기비저항 탐사에 대한 역산시 단층에 의한 암반상태가 매우 불량할 경우에는 역산에 의한 전기비저항 값이 실제보다 현저하게 낮게 나타나며, 절리 등의 발달로 다소 불량한 암반상태를 보일 경우 다소 낮게 나타나며, 암반상태가 양호할 경우에는 실제와 유사한 전기

비저항 값을 보인다는 것을 알 수 있다. 그리고 이로 인하여 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값이 전기비저항 검증에 의한 전기비저항 값에 비해 RQD, RMR, Q 등 암반등급과의 상관관계가 다소 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

4.4 전기비저항 탐사와 암반등급의 상관관계

그림 10은 월문터널과 팔당터널에서 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값과 RQD, RMR 및 Q 등 암반등급과의 상관관계를 도시한 것으로, 상관관계가 뚜렷한 3개의 그룹으로 분리되어 있음을 알 수 있다.

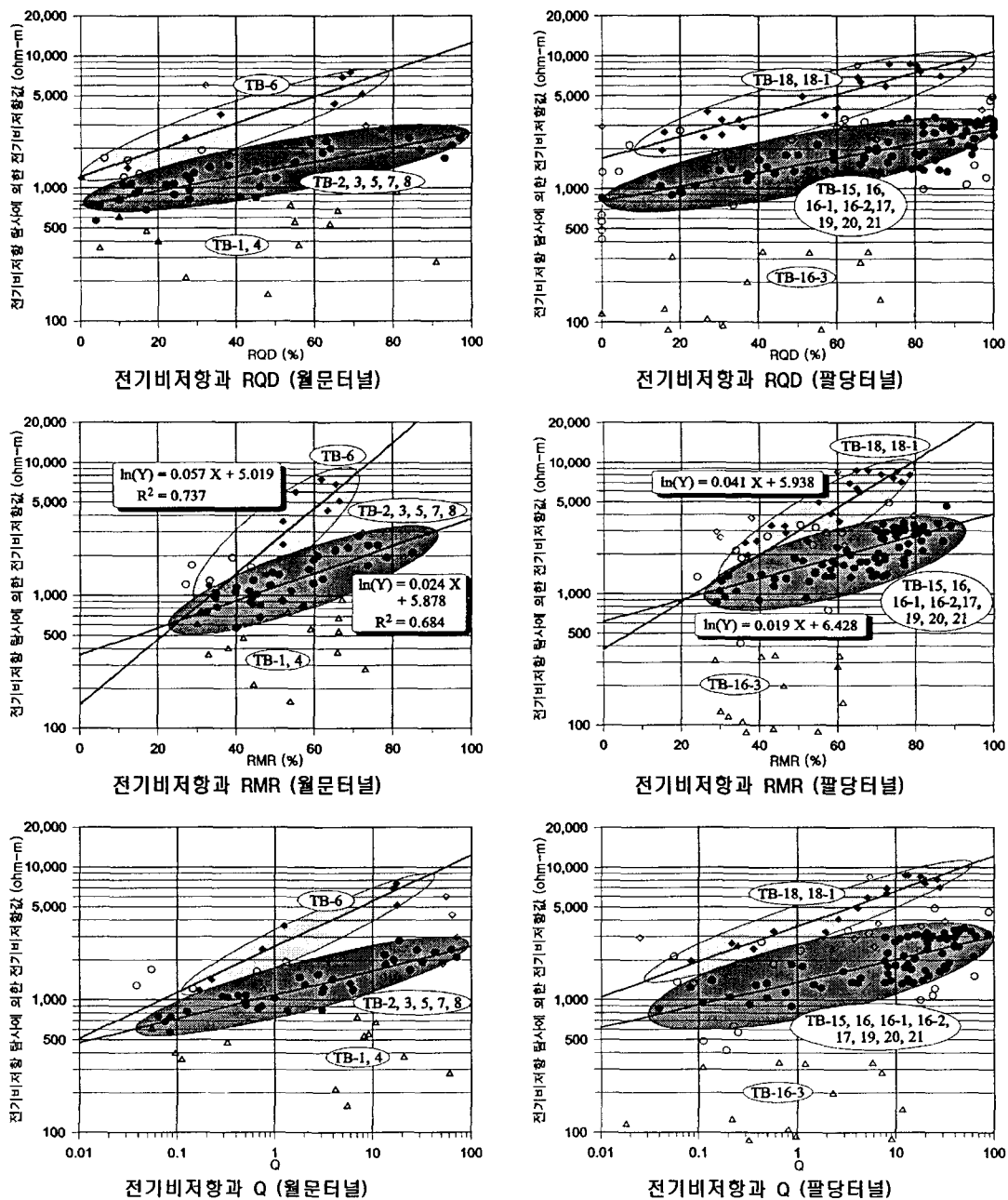


그림 10. 전기비저항 탐사와 RQD, RMR 및 Q와의 상관관계

4.5 암반분류 결과

정밀지표지질조사, 시추조사와 전기비저항 탐사 결과를 기준으로 암반분류를 수행하였으며, 월문터널과 팔당터널에서의 결과를 각각 그림 11과 그림 12에 도시하였다. 그림 11과 그림 12를 보면 정밀지표지질조사에 의한 암종과 단층 등의 구조대, 시추코아에 대한 RMR과 Q 암반분류 결과, 터널구간에서의 탄성과속도, 터널구간에서의 전기비저항 단면을 함께 도시하였으며, 최종적으로 터널에 적용된 지보형식을 나타내었다. 여기서 지보형식은 시추가 수행된 구간에 대해서는 시추코아에 대한 암반분류 결과를 근거로 결정되었으며, 미시추구간에 대해서는 터널구간에서의 전기비저항 값을 근거로 결정되었다. 다만, 지표지질조사 결과 단층 등의 구조대가 존재하는 구간에 대해서는 1단계 정도 낮게 결정하였다.

5. 결론

본 연구에서는 조사지역의 시추공 및 전기비저항 검층 및 전기비저항 탐사를 수행한 후 정밀지표지질조사, 시추조사와 전기비저항 탐사 결과를 기준으로 암반분류를 수행하였으며. 각각의 결과들에 대해 상관성을 고찰하였다. 그 결과 전기비저항 검층에 의한 전기비저항 값은 RQD, RMR 및 Q와 매우 높은 상관성을 보인 반면, 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항 값은 상관관계가 다소 낮게 나타났다. 이는 절리파쇄대 및 단층대와 같은 지질이상대가 존재할 경우 전기비저항 값이 현저히 낮게 나타났기 때문이다. 따라서 향후 전기비저항 값과 같은 물리탐사 자료를 암반분류에 적용할 경우 이를 주의하여 상관관계를 산출함이 타당할 것으로 판단된다.

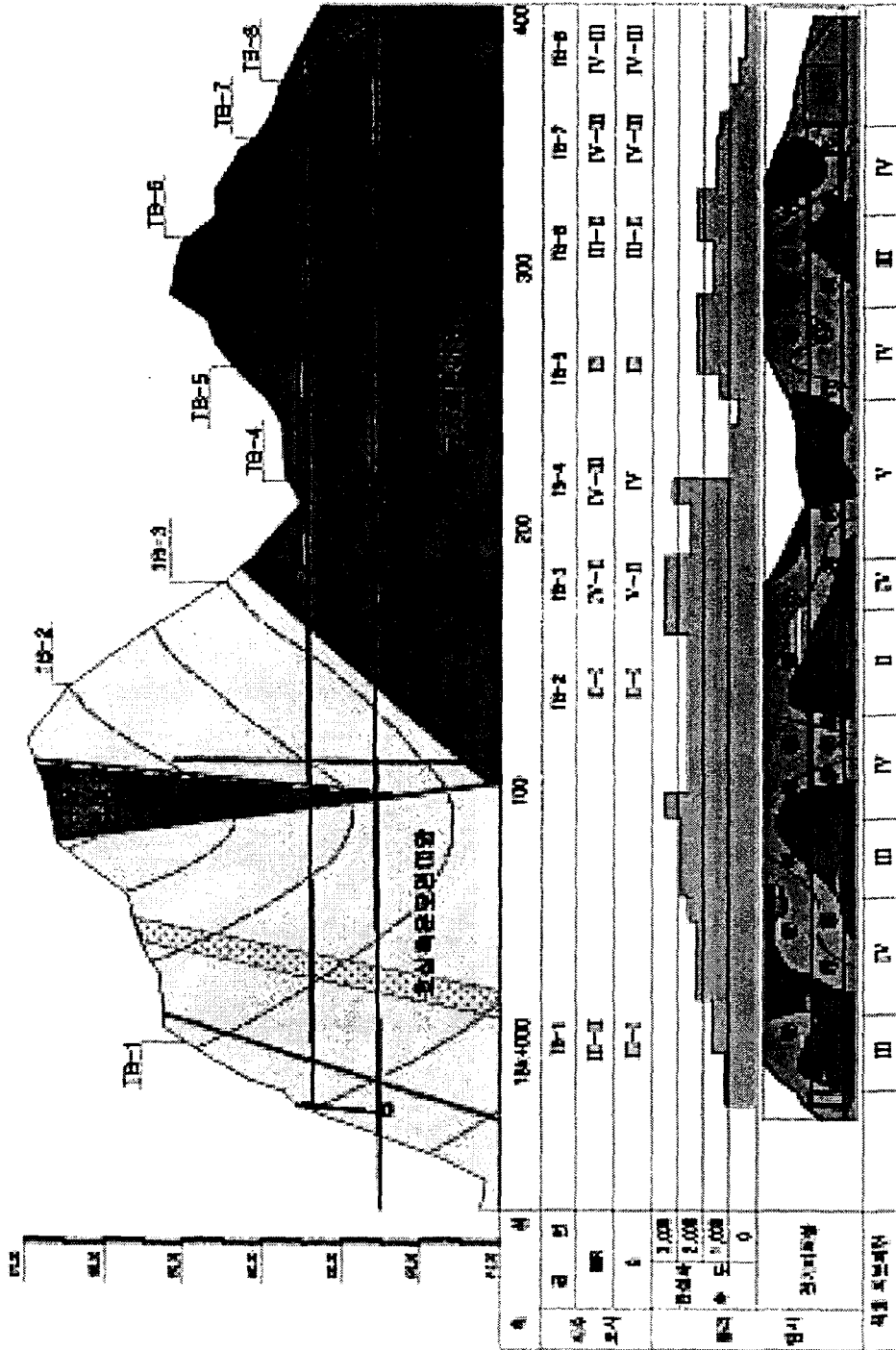


그림 11. 월문터널에서의 암반분류도

참고문헌

1. 유광호(1995a), “다분적 암반분류를 위한 정성적 자료의 지구통계학적 연구 - I. 이론”, 한국지반공학회지, 제11권, 제2호, pp.71~77.
2. 유광호(1995b), “A Solution for order relation problem in multiple indicator kriging”, 한국지반공학회지, 제11권, 제3호, pp.17~26.
3. 박영진, 이석천, 이두화(2001), “다분적 지시크리깅을 이용한 미시추구간 암반등급 산정”, 한국지반공학회 터널기술위원회 2001년 학술세미나, pp.1~17.
4. 선우춘 외(2001), “암반분류방법간의 상관관계에 대한 고찰”, 한국지반공학회 논문집, 제17권 4호, pp.127~134.
5. 민경덕, 서정희, 권병두(1987), 응용지구물리학, 우성, pp.229~347.
6. 손호웅 외(1999), 지반환경물리탐사, 시그마프레스, pp.305~412.
7. 권형석 외(2001), “전기비저항과 암반등급의 상관관계에 대한 고찰”, 2001년 한국지반공학회 춘계학술발표회, 한국지반공학회, pp.81~88.
8. 김기석, 최호식, 조두희(2002), “설계·시공 일괄입찰 방식에서 지반조사의 역할과 방향”, 2002년 한국지반공학회, 지반조사위원회 세미나, pp.35~46.
9. Ward, S.H.(1990), Resistivity and induced polarization method in Ward, S.H., ed., Geotechnical and environmental geophysics. Volume 1. Review and tutorial. Society of Exploration Geophysicists Investigations in Geophysics, No.5, pp.147~189.
10. 신희순, 선우춘, 이두화(2000), “토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류”, 구미서관, 491p.
11. Telford, W.M., Geldart, L.P.(1976), Applied Geophysics, Cambridge Univ. Press.