

## 전기비저항과 암반등급의 상관관계에 대한 고찰 A Study on the Correlation of Resistivity and Rock Quality

권형석<sup>1)</sup>, Hyoung-Seok Kwon, 신중호<sup>2)</sup>, Joong-Ho Synn, 황세호<sup>3)</sup>, Se-Ho Hwang,  
백환조<sup>4)</sup>, Hwan-Jo Baek, 김기석<sup>5)</sup>, Ki-Seog Kim, 김종수<sup>6)</sup>, Jong-Soo Kim

<sup>1)</sup> (주)희송지오테크 과장, Manager, HeeSong GeoTek Co.

<sup>2)</sup> 한국지질자원연구원 책임연구원, Principal Researcher, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

<sup>3)</sup> 한국지질자원연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

<sup>4)</sup> 강원대학교 공과대학 지구시스템공학과 조교수, Assistant Professor, Department of Geosystem Engineering, Kangwon University

<sup>5)</sup> (주)희송지오테크 대표이사, President, HeeSong GeoTek Co.

<sup>6)</sup> 현대산업개발(주) 부장, General Manager, Hyundai Development Co.

**SYNOPSIS** : 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.

**Key words** : Electrical Resistivity, Rock Quality, Geotechnical Survey, Support Pattern, RMR

### 1. 서 론

도로 및 철도터널 등의 설계에서 터널구간에 대한 암반등급은 지보형식의 결정에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 터널구간에서의 암반등급은 시추조사를 통해 획득된 시추코아에 대한 육안관찰 및 계측, 점하중강도시험 등의 암석시험, 시추공영상촬영(BIPS) 등의 원위치시험 등을 통해 얻은 정보를 바탕으로 RQD, RMR 및 Q 값을 산정하여 결정된다.

한편, 미시추구간에서의 암반등급은 시추공에서의 암반등급을 바탕으로 산출되는데, 조사지역의 지질 구조가 복잡하거나 시추공간의 거리가 먼 경우에는 자료의 신뢰성이 많이 떨어지게 된다. 이에 대한 보완방법으로 대두된 것이 전기비저항을 이용한 암반등급의 결정이다. 전기비저항은 탄성과속도와 함께 대표적인 지반의 물리적인 물성으로, 시추코아에 대한 실내실험, 시추공에서의 전기비저항 검층, 지표에서의 전기비저항 및 전자탐사를 통해 획득된다. 특히 지표 전기비저항 탐사는 터널 전구간에 대한 정보를 주기 때문에 수년 전부터 도로 및 철도터널의 지반조사에서 지보형식의 결정에 널리 사용되고 있다.

미시추구간에서의 암반등급은 전기비저항 탐사를 통해 획득된 전기비저항과 RMR 등의 암반등급과의 상관관계를 구한 후 그 구간에서의 전기비저항을 기반으로 결정된다. 하지만, 그 결과를 보면 상관관계가 현저하게 떨어지는데, 아직까지 그 이유에 대한 체계적인 연구가 수행되지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 전기비저항이 RQD, RMR 및 Q 등의 암반등급과 어느 정도의 상관관계가 있는 지에 대한 정량적인 고찰과 함께, 전기비저항 탐사를 통해 획득된 전기비저항과 암반등급과의 상관관계가 떨어지는 이유에 대해 고찰하였다.

본 연구에서는 먼저, 시추코아에 대해 탄성과속도, 탄성계수, 일축압축강도와 전기비저항 등의 물성을 측정하여 이들의 상관관계에 대해 살펴보았다. 다음으로 다수의 시추공에 대해 전기비저항 검층을 실시하여 전기비저항 검층에 의한 전기비저항과 RQD, RMR, Q 등의 암반등급과의 상관관계에 대해 고찰하였다. 또한 전기비저항탐사를 통해 획득된 전기비저항 단면에서 시추공에서의 전기비저항을 산출하여 전기비저항 검층에 의한 전기비저항 및 암반등급과의 상관관계에 대해 고찰하였으며, 이를 바탕으로 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항이 암반등급과 상관관계가 현저하게 떨어지는 이유를 규명하였다.

## 2. 시험 및 탐사방법

### 2.1 암석물성 및 전기비저항 코아시험

#### 2.1.1 암석물성시험

암석의 시추코아(NX-core, 직경 54mm)에 대한 전기비저항 및 암석물성시험을 수행하기 위해 먼저 시험편을 제작하였다. 시험편은 암석의 시추코아를 rock saw로 규정된 길이를 절단한 후 carborundum을 사용하여 시험편의 상하 편평도가 0.05mm 이내가 되도록 연마하였으며, 길이는 대략 10.0 cm가 되도록 성형하였다. 시추코아에 대한 암석물성시험은 국제 암반역학회(International Society for Rock Mechanics)에서 제시한 표준시험방법에 준하여 단위중량 및 비중, 흡수율과 공극률, 탄성과속도, 일축압축강도시험을 수행하였다. 또한, 일축압축강도 시험 시 암석코아에 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하여 변형률을 계측하였으며, 이로부터 탄성계수(Young's modulus)를 산출하였다.

#### 2.1.2 전기비저항 코아시험

임의의 물체 양단에 일정한 전압을 걸어주면 어떤 물체는 많은 양의 전류를 흘려 보내주지만 어떤 물체는 훨씬 적은 양의 전류밖에 흘려 보내지 못한다. 이러한 전류를 흐르지 못하게 하는 특성을 그 물체의 전기저항(R)이라 하는데, 만약 암석코아에 전류를 흘려 보내주면 도선은 그 도선을 이루는 물체의 고유한 특성과 길이 L에는 비례하고 단면적 A에는 반비례하는 전기저항을 갖게 된다. 즉,

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

로 표시되는데, 여기서  $\rho$ 는 비례상수로서 물체의 모양, 크기에는 관계없는 물체의 전기적 특성을 나타내는 것으로 이를 전기비저항이라 하며, 단위는 ohm-m가 된다.

본 연구에서는 암석코아에 대한 전기비저항을 측정하기 위하여, 현장에서 측정하는 ABEM Terrameter SAS 4000을 사용하였다. 사용되는 코아 시험편은 물로 포화되어 있는 상태이며, 전류 및 전위전극은 제작된 구리판으로써 코아 시험편 표면의 수분을 완전히 제거한 뒤, 두 개의 구리판에 코아 시험편을 접지시킨다. 장비에서 최초 10 mA의 전류를 흘려주며, 차례로 5 mA, 2 mA, 1 mA의 전류를 흘려줌으로써 코아 시험편에 대한 전기저항 값을 측정한다. 측정된 전기저항 값을 (1)식에 적용하여 최종적인 전기비저항 값을 획득한다.

## 2.2 전기비저항 탐사

전기비저항 탐사는 두 개의 전류전극을 통해 지하매질에 전류를 흘려준 후, 전위전극을 통해 두 전극 간의 전위차를 측정하여 지하매질의 전기비저항 분포단면을 영상화하는 탐사법으로 그림 1 (a)는 전기비저항 탐사기, (b)는 전기비저항 탐사에 대한 개략적 모식도를 나타낸 것이다.

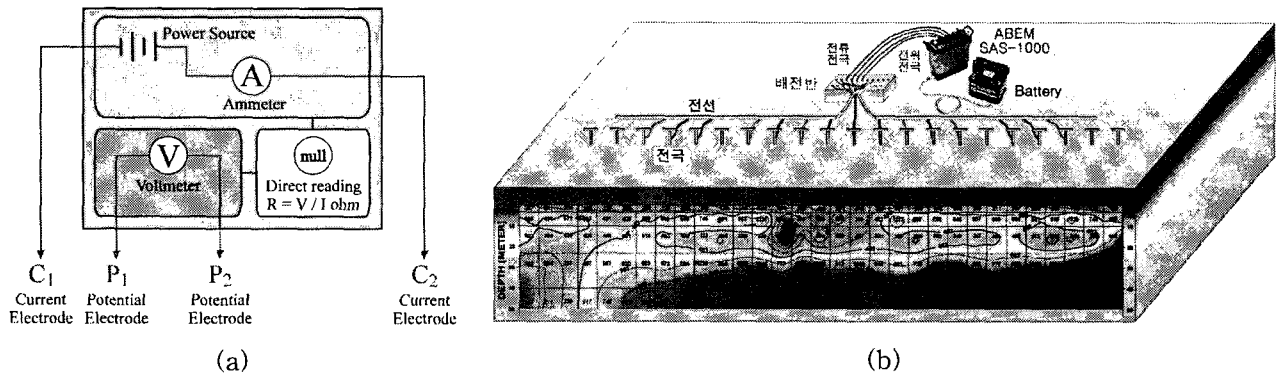


그림 1. 전기비저항 탐사기(a) 및 전기비저항 탐사(b)에 대한 개략적 모식도

국내에서 전기비저항 탐사에 널리 사용되는 배열법은 쌍극자 배열법으로 전류 및 전위전극의 간격을 모두  $a$ 로 일정하게 고정하고 전류 및 전위전극 사이를  $a, 2a, 3a, \dots, na$  간격으로 단계적으로 이동하면서 전위차를 측정하여 겹보기 비저항값을 계산한다. 여기서 전극간격  $a$ 는 탐사목적, 정밀도 등을 고려하여 결정한다. 전기비저항 탐사 결과로 얻어지는 자료는 지하매질의 참 비저항값이 아닌 겹보기 비저항값이다. 따라서 얻어진 겹보기 비저항값을 이용하여 지하의 참 비저항값을 알아내기 위해서는 적절한 해석과정이 반드시 필요하며, 일반적으로 정량적 해석방법인 역산(inversion)을 널리 사용한다.

## 2.3 전기비저항 검층

물리검층은 시추공 내에 각종 검출기(Probe or sonde)를 삽입하여 시추공과 교차하는 지반 또는 공내수에 기인하는 자연적 물리현상이나 인공적으로 발생시킨 물리현상을 심도에 따라 연속적으로 측정하는 탐사법이다. 물리검층자료는 시추공 주변 수십 cm 이내의 반경에 대한 물리적 성질을 포함하기 때문에 시추로 인한 교란의 영향을 작게 받으며 코아의 회수가 어려운 구간에 대한 물리적 성질의 파악이 가능하고 무엇보다도 모든 물리검층 기록이 원위치(in-situ)라는 장점을 갖는다.

전기비저항 검층은 전류 및 전위전극을 지표 및 시추공에 위치시킨 후, 시추공내의 전류 및 전위전극을 일정한 간격으로 이동시키면서 전위전극간의 전위차를 측정하여 시추공 주변 지반의 수직적인 전기비저항 분포를 파악하는 방법으로 그림 2는 전기비저항 검층 모식도이다. 본 연구에서는 시추공 내에서 전류 및 전위전극의 간격은 16인치(약 40 cm)와 64인치(약 160 cm)의 두 종류를 이용하였으며, 가탐심도는 전류 및 전위전극 간격의 약 2배 정도이다.

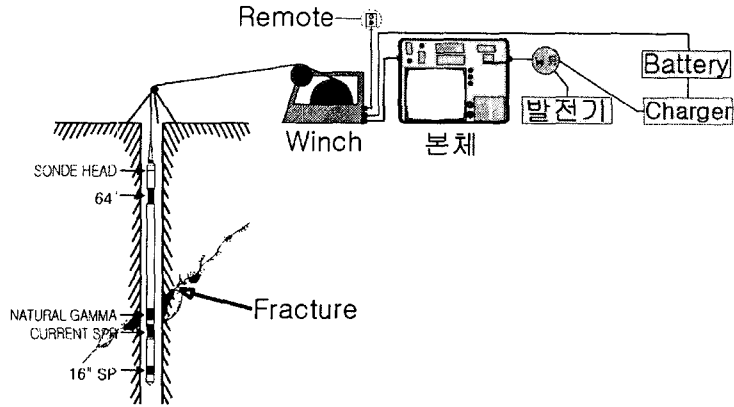


그림 2. 전기비저항 검층 모식도

### 3. 시험 및 탐사결과

본 연구에서는 터널 예정지역에 대해 암석물성 및 전기비저항 코아시험, 전기비저항 탐사, 전기비저항 검층 및 암반분류를 실시하였다.

#### 3.1 암석물성 및 전기비저항 코아시험

조사지역에서 시추조사를 수행하였으며, 회수된 코아를 성형하여 탄성과속도, 일축압축강도, 영률 등의 암석물성시험과 전기비저항 코아시험을 수행하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 또한 상관관계 고찰을 위해 해당 심도구간에서 암반분류를 통해 산출된 기본 RMR 값도 함께 표기하였다.

표 1. 암석물성 및 전기비저항 코아시험 결과

공번	심도	P파속도	일축압축강도	영률	전기비저항	RMR	공번	심도	P파속도	일축압축강도	영률	전기비저항	RMR
TB-1	5.8-5.9	1387	1275	3.80	817	49	TB-6	21.0-21.2	4995	1720	6.30	933	63
	9.0-9.2	1407	469	1.04	364	53		24.5-24.8	4891	2347	6.93	865	66
	13.4-13.6	3559	1633	5.12	1245	66		28.1-28.3	4458	1564	4.00	787	55
	17.8-18.0	2937	986	5.54	1596	66		32.2-32.4	4627	1514	6.36	1323	65
	20.3-20.6	4906	1779	6.38	1041	73		34.8-35.0	4447	2682	5.87	1596	62
	22.7-22.9	4731	2595	6.43	2180	73		10.8-11.0	700	155	0.62	162	46
TB-4	27.8-28.0	4939	1585	7.54	1873	54	TB-7	14.7-14.9	3474	243	0.96	464	46
	14.0-14.1	3542	2103	5.99	788	59		21.6-21.7		51	1.95	20	44
TB-6	20.4-20.5		174	1.60	165	66	TB-8	7.5-7.7	1194	353	0.79	317	32
	3.0-3.2		83	0.27	155	48		14.2-14.3	811	191	0.24	124	44
	10.2-10.4	4750	675	4.29	246	52		17.2-17.3	4458	757	2.42	618	35
	13.7-13.9	5300	3232	6.20	1170	72		22.7-22.8	1391	791	2.13	401	40

#### 3.2 전기비저항 탐사

조사지역에 측선을 설정하여 전극간격을 10 m로 하는 쌍극자배열 전기비저항 탐사를 수행하였으며, 그 결과를 그림 3에 도시하였다. 그림 3을 보면 30 m 내외의 심도에 신선한 암반으로 판단되는 기반암이 보이며, 여러 조의 단층이 광범위하게 발달하고 있다.

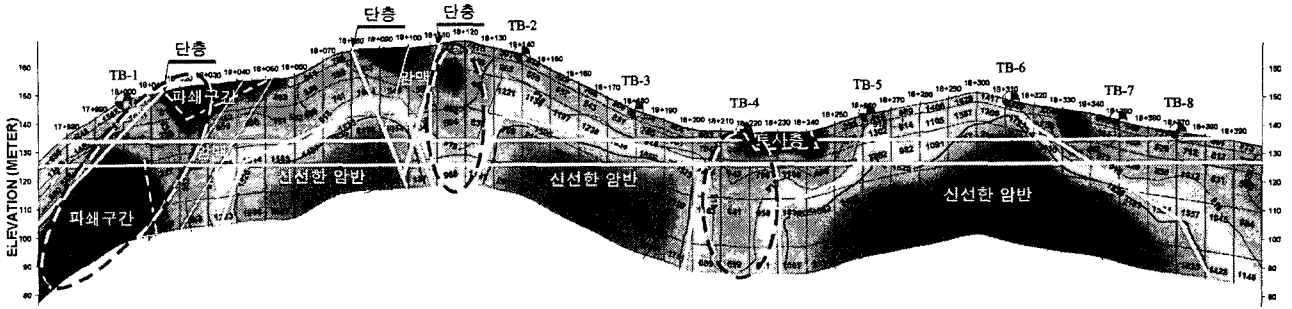


그림 3. 전기비저항 탐사 결과

### 3.3 전기비저항 검층

조사지역에 위치한 시추공에서 물리검층을 수행하였으며, 그 결과를 그림 4에 도시하였다. 그림 5는 심도, 공경검층, 전기비저항검층, 자연감마검층, 밀도검층, 지하수유동검층 결과를 순서대로 도시한 것이다. 전기비저항 검층 결과 중에서 실선은 전반적인 전기비저항의 양상을 보여주는 장노말검층 결과이며, 점선은 국부적인 전기비저항 양상을 보여주는 단노말검층 결과이다.

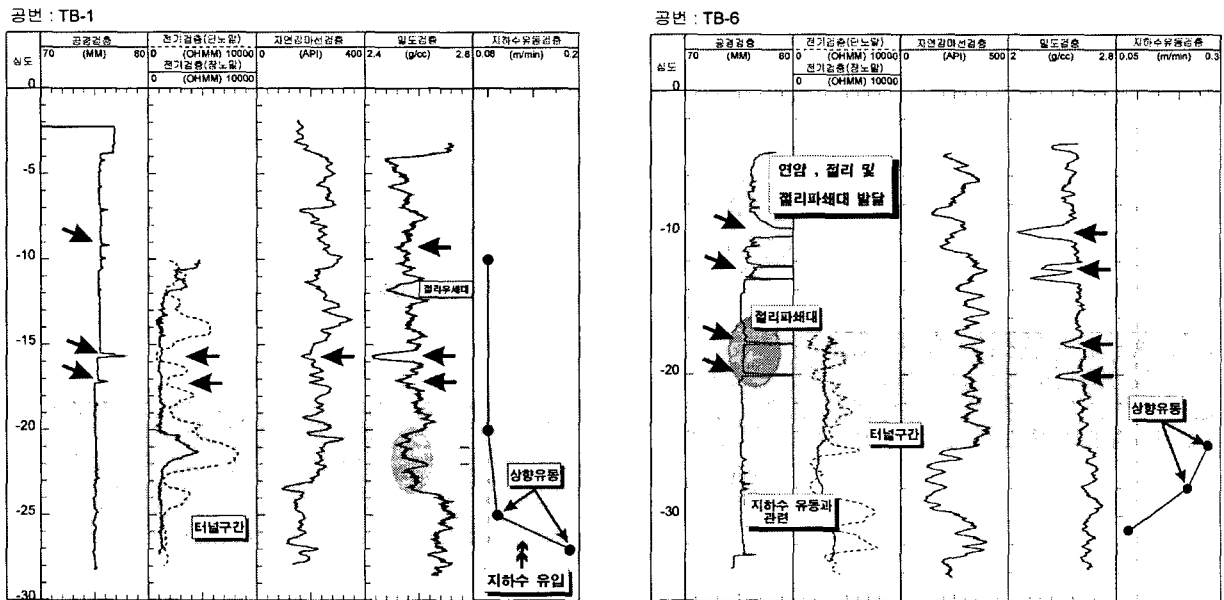


그림 4. 전기비저항 검층 결과

## 4. 상관관계 분석

암석물성 및 전기비저항 코아시험을 실시하여, 수십 cm 내외의 암석에서의 전기비저항과 암석물성과의 상관관계를 고찰하였으며, 전기비저항 탐사, 전기비저항 검층 및 암반분류를 실시하여 수 m 내외의 암반에서의 전기비저항과 암반물성의 상관관계를 고찰하였다.

### 4.1 암석에서의 전기비저항과 암석물성의 상관관계

코아시험에 의한 전기비저항과 일축압축강도, 탄성파속도, 탄성계수 및 기본RMR과의 상관성을 고찰

하였으며, 그 결과를 그림 5에 도시하였다. 그림 5를 보면, 암석시료의 전기비저항은 일축압축강도 및 탄성파속도와는 지수함수적인 상관관계를, 탄성계수와는 선형적인 상관관계를 보이며, 그 정도는 일축압축강도 < 탄성파속도 < 탄성계수 순으로 높은 상관관계를 보인다. 이에 반해 기본RMR과의 상관관계는 다소 떨어지는데, 이는 코아시험이 10cm 내외의 코아에 대한 물성인데 반해, 기본RMR값은 3m 내외의 암반에 대한 물성이기 때문으로 사료된다.

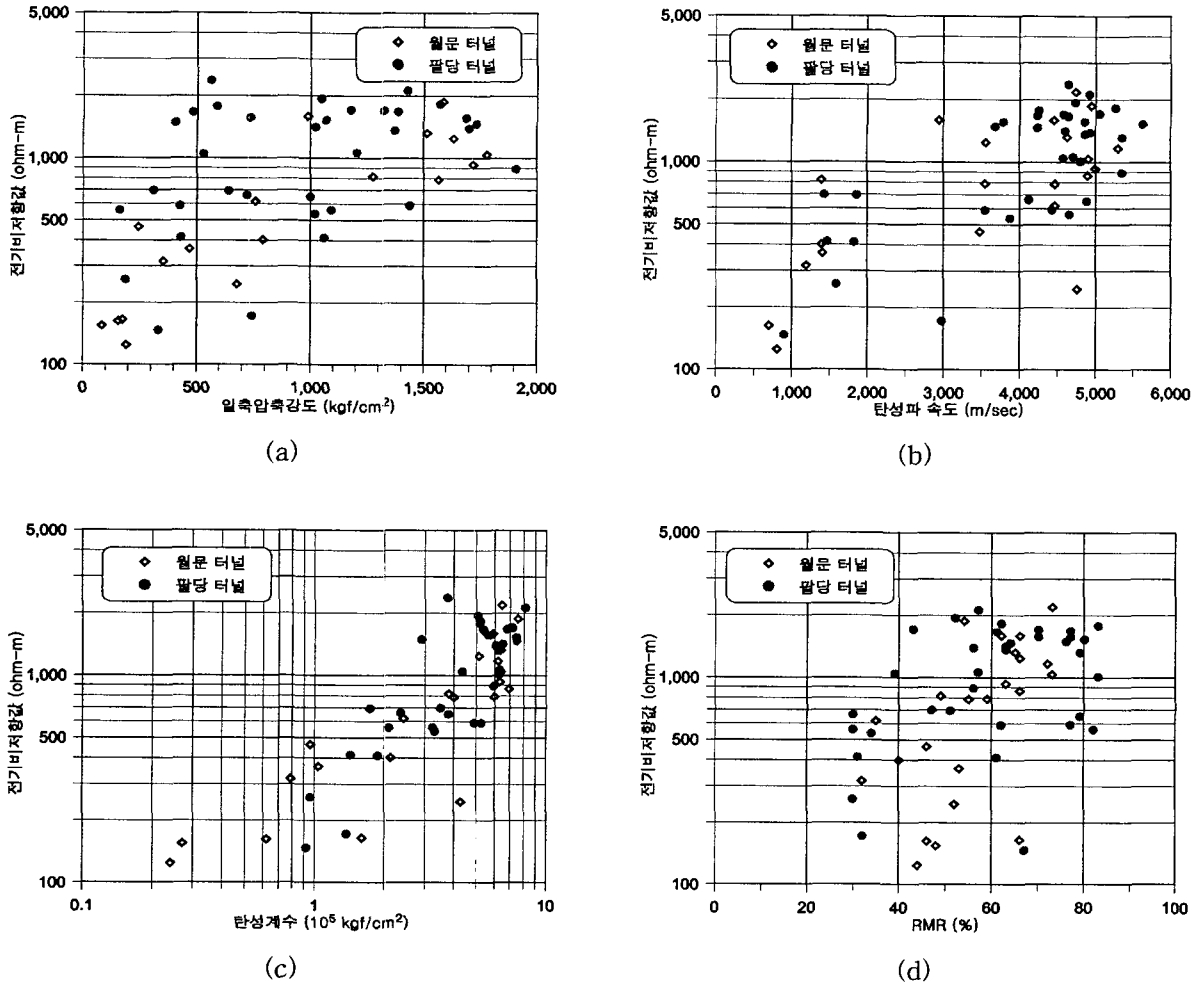
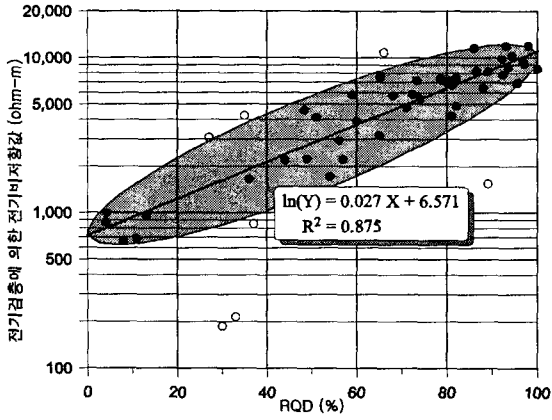


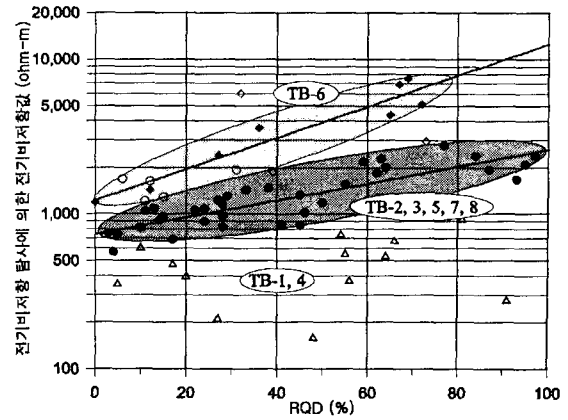
그림 5. 전기비저항과 일축압축강도(a), 탄성파속도(b), 탄성계수(c), 기본RMR과의 상관관계

#### 4.2 암반에서의 전기비저항과 암반분류의 상관관계

전기비저항 검층 및 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항값과 RQD, Q, RMR 등의 암반분류 결과와 상관성을 고찰하였으며, 그 결과를 그림 6 ~ 그림 8에 도시하였다. 그림 6 ~ 그림 8을 보면 전기비저항 검층에 의한 전기비저항은 RQD, Q 및 RMR과 80% 이상의 매우 높은 상관관계를 보이고 있다. 이에 반해 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항은 상관관계가 약 3개의 그룹으로 분리되고 있다. 전기비저항이 높은 그룹은 비교적 신선한 암반에서의 전기비저항이며, 중간인 그룹은 주위에 절리에 의한 파쇄대가 분포하고 있는 지역에서의 전기비저항이며, 낮은 그룹은 단층파쇄대가 광범위하게 발달하고 있는 지역에서의 전기비저항이다. 따라서 신선한 암반에서는 전기비저항이 RQD, Q 및 RMR과 비교적 높은 상관관계를, 절리파쇄대가 존재할 경우에는 전기비저항값이 다소 낮은 상태에서 상관관계를 보이며, 단층파쇄대가 존재할 경우에는 상관관계가 현저하게 떨어짐을 알 수 있다.

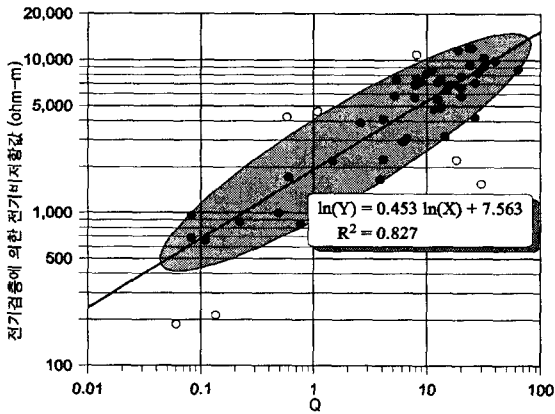


(a)

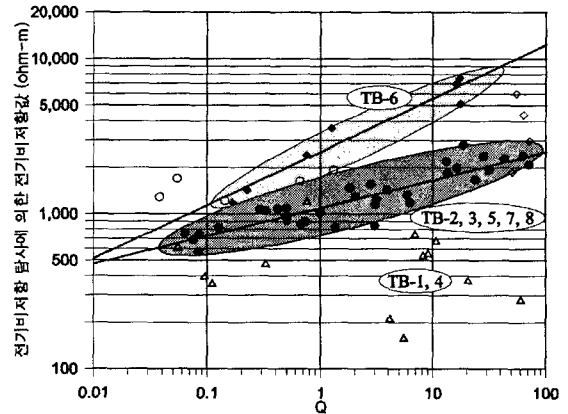


(b)

그림 6. RQD와 전기비저항 검층(a) 및 전기비저항 탐사(b)와의 상관관계

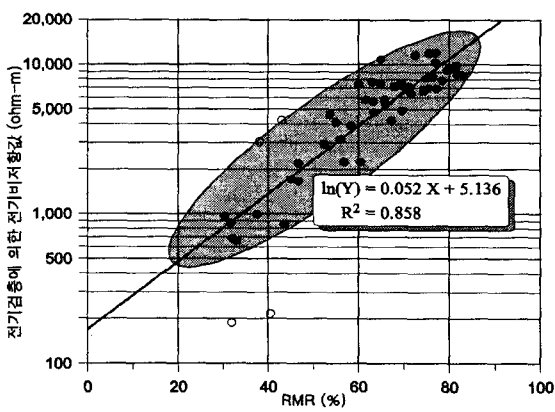


(a)

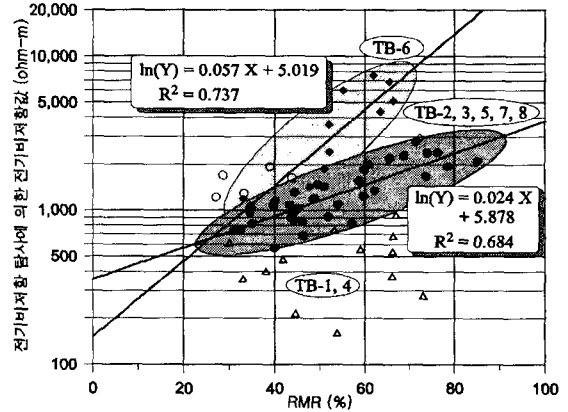


(b)

그림 7. Q와 전기비저항 검층(a) 및 전기비저항 탐사(b)와의 상관관계



(a)



(b)

그림 8. RMR과 전기비저항 검층(a) 및 전기비저항 탐사(b)와의 상관관계

## 5. 결 론

본 연구에서는 암석시료를 성형하여 일축압축강도, 탄성파속도, 탄성계수 등의 암석물성시험과 전기비저항 코아시험을 수행하였으며, 그 결과를 바탕으로 각 물성과의 상관관계를 도출하였다. 그 결과 코아에 대한 전기비저항이 일축압축강도 및 탄성파속도와는 지수함수적인 상관관계를, 탄성계수와는 선형적인 상관관계를 보임을 알 수 있었다.

또한, 조사지역의 시추공 및 지표에서 전기비저항 검층 및 전기비저항 탐사를 수행하였으며, 시추코아에 대해 암반분류를 수행하였다. 그리고 그 결과들에 대해 상관성을 고찰하였으며, 그 결과 전기비저항 검층에 의한 전기비저항은 RQD, Q 및 RMR과 매우 높은 상관관계를 보였다. 이에 반해, 전기비저항 탐사에 의한 전기비저항은 다소 상관관계가 낮게 나타나는데, 그 이유는 절리파쇄대 및 단층파쇄대가 존재할 경우에 전기비저항 값이 현저하게 낮게 나타나기 때문이었다. 따라서 향후 전기비저항을 바탕으로 암반등급을 추정코자 할 경우에는 이를 주의하여 상관관계를 산출함이 바람직함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 김기석, 권형석, 오세영(2000), "Turn Key 설계에서의 지반조사-물리탐사와 조사사례", 한국지구물리탐사학회·한국지반공학회 지반조사위원회 공동특별강연 논문집-지반조사를 위한 물리탐사기술, pp.155~191.
2. 김영화, 최예권(1999), "코어 비저항 측정에 미치는 영향요소에 대한 실험적 고찰", 지구물리, 제2권, 제3호, pp.225~233.
3. 김정호, 이명중, 정승환(2001), "전기비저항 탐사를 이용한 단층조사 사례-3차원 탐사와 하상탐사를 중심으로", 한국지반공학회 암반역학위원회 특별세미나 논문집-단층이 토목구조물에 미치는 영향, pp.41~66.
4. 민경덕, 서정희, 권병두(1987), **응용지구물리학**, 우성, pp.229~347.
5. 손호웅 외(1999), **지반환경물리탐사**, 시그마프레스, pp.305~412.