

전기검층과 AMT 탐사자료를 이용한 양산지역의 2차원 투수계수분포 산출

이태종¹⁾ · 박남윤¹⁾ · 추석연²⁾ · 이종호²⁾ · 고성일²⁾

Estimation of Two-dimensional Distribution of Coefficient of Permeability from Electrical Logging and AMT Data in Yangsan Area

Tae Jong Lee¹⁾, Nam Yoon Park¹⁾, Seok Yeon Choo²⁾, Jong Ho Lee²⁾ and Sung Yil Koh²⁾

요약 : 본 연구에서는 토목현장에서 필요로 하는 여러 파라미터들 중에서 물리탐사가 제공할 수 있는 영역을 한걸음 더 넓히고자 투수계수 산출을 위한 새로운 접근을 시도하였다. 전기비저항과 투수계수의 상관관계를 밝히기 위한 현장시험 결과 전기비저항검층과 수압시험(Lugeon test)에 의한 전기비저항-투수계수는 log-log 그래프상에서 반비례 관계를 만족하였다. 양산지역의 화강암과 안산암의 경우

$$\log(k) \approx -0.85621 \log(\rho) + 0.0031$$

의 관계를 보였으며 축선 상에서 수행된 AMT (Audio-frequency Magneto-Telluric) 탐사 결과와 이 식을 이용하여 전기비저항 단면을 2차원 투수계수 분포단면으로 변환하고 이를 지하수 유동모델링의 입력자료로 제공하였다.

주요어 : 전기비저항, 투수계수, AMT탐사, 2차원 투수계수 단면

Abstract : A new approach of estimating the coefficient of permeability (COP) from resistivity has been developed, which can provide another good application tool of geophysical methods to geo-technical field. Borehole electrical logging and Lugeon test results in Yangsan area showed that resistivity is inversely proportional to the COP. For granite and andesite in Yangsan area, the relation between the resistivity (ρ) and the COP (k) revealed that,

$$\log(k) \approx -0.85621 \log(\rho) + 0.0031.$$

Derived relation is applied to AMT data acquired from a survey line along the tunnel. Two-dimensional resistivity distribution from AMT data was converted to two-dimensional COP section. The final COP section can be used as good input data for groundwater modeling.

Keywords : resistivity, coefficient of permeability (COP), AMT, two-dimensional COP section

서 론

터널의 굴착, 시공에 따른 지하수위의 변화, 용출량의 예측 및 감시는 환경문제와 결부되어 터널의 설계에 있어서 매우 중요한 요소 중 하나이다. 이를 위한 지하수 유동 모델링에는 터널 굴착 이전 지하수 유동 양상 변화 분석, 터널 굴착 과정에 있어서의 용수량 예측, 터널 굴착 완료 후 터널 내로의 지하수 유입량 변화분석 및 터널 방수공사 이후의 터널 주변 지하수의 회복양상 예측 등이 포함된다(Matsui, 1995; Matsui *et al.*, 1997; Matsuura *et al.*, 1999). 지하수 유동 모델링 해석에 있어서 주요한 입력변수로는 지하수의 주된 통로역할을 하는 단층 및 파쇄대의 존재와 절리의 특성 및 터널굴착예정구간에서의 투수계수 등이 있으며, 여기에 경계조건이 되는 하천이나 강, 분수령 등이 포함되도록 모델 영역을 선정하여 모델링을

수행하게 된다.

이들 주요 입력변수의 결정은 대부분 지표지질조사나 물리탐사에 의해 이루어지고 있다. 즉, 단층 및 파쇄대의 파악은 지표지질조사, 지표물리탐사 및 시추조사에 의해, 절리의 특성은 지표지질조사와 시추공을 이용한 공벽영상화검층에 의한 절리 망 해석에 의해 주로 결정된다.

지하수 유동모델링에 필요한 입력 상수 중 투수계수의 경우는 터널 굴착시 발생하는 지하수 유동 및 용출량의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 수리상수로 시추공내에서 투수 및 수압 시험, 혹은 양수시험으로 *in-situ* 암반 상태에서 측정하거나 최근에는 암석코어를 이용하여 실내 투수시험으로 투수계수를 측정하는 방법도 적용되고 있다(정교철 등, 2001).

터널설계를 위한 기초 지반조사에서는 노선상의 다수의 시추공에서 투수 및 수압시험에 의해 얻은 투수계수를 풍화암,

*2003년 3월 12일 접수

1) (주) 지오맥스(megi@geomax.co.kr)

2) (주) 삼보기술단(sbegi@chollian.net)

Table 1. Classification of coefficient of permeability for rock mass (Hudson, 1989)

Rock type	coefficient of permeability						
	1	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹²
Clays	Stratified			Homogeneous			
Shale				Mass			
Sandstone	Fractured			Intact			
Limestone & dolomite	Solution, cavities			Intact			
Salt				Bedding			
volcanics	Weathered			Intact			
Metamorphics	Weathered			Intact			
Granites	Weathered			Intact			

연암, 경암에 대한 평균값을 대표값으로 입력하여 지하수 거동 해석을 수행한다. 그러나 지반 내부는 균질하지 않고 같은 연암이라 하더라도 그 풍화정도 및 균열의 특성에 따라 투수계수가 크게 달라지기 때문에(Table 1), 모델링 영역 전체에 걸쳐 단 하나의 대표값으로 표현하는 것은 위험한 가정이라 할 수 있다. 따라서, 공간적으로 다양하게 변화하는 지질조건을 반영할 수 있도록 수리정수의 공간적 분포 파악이 필요하다 (Sudo *et al.*, 2003; Matsuura *et al.*, 1999).

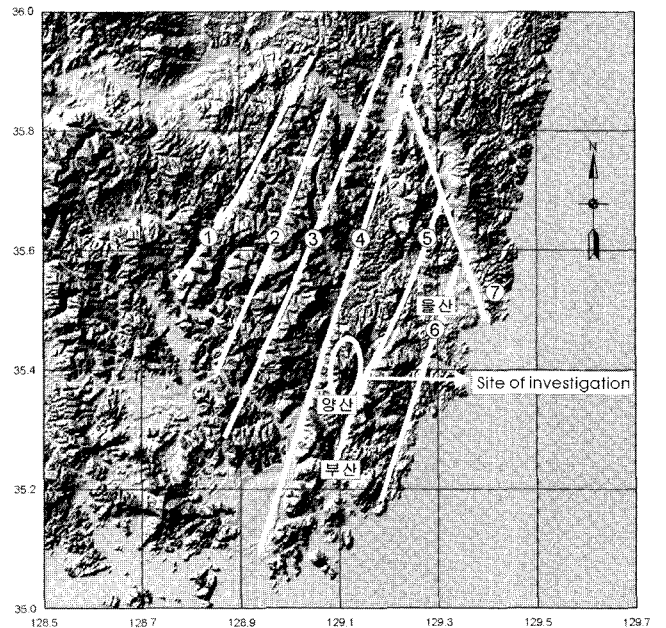
본 연구에서는 전기비저항과 투수계수가 이들을 좌우하는 인자들이 대부분 공통되어 매우 밀접한 상관관계를 보이는 연구결과를 토대로(Yamaguchi, 1962), 우선 여러 시추공에서 수행된 전기비저항 검층 자료와 수압시험 결과 얻어진 투수계수의 상호 관계를 고찰하고자 하였다. 또한, 이로부터 얻어진 전기비저항-투수계수의 상관관계식을 터널예정구간에서 수행된 전자탐사결과에 적용하여 투수계수의 2차원적 분포를 구하여 터널설계에 있어서 지하수유동모델링 해석에 도움을 주고자 하였다.

지질 개요

본 연구의 대상지역은 경상남도 양산시 웅상읍 소주리와 평산리에 걸쳐 펼쳐진 원효산 및 천성산 일대로 경상분지의 동남부에 위치하며, 현저한 NNE-SSW 방향의 단층계 가운데 대표적인 양산단층과 동래단층 사이에 위치하여 중생대 말~고제 3기에 걸친 수차례의 격렬한 화산활동과 반복단층운동에 기인된 취성변형(brittle deformation)의 산물로 다수의 균열대를 수반하고 있다(Fig. 1).

분포지질은 주로 백악기 후기의 불국사 화강암류를 기반암으로 이를 피복하고 있는 백악기 말기~제3기초에 분출한(원효산) 화산암류로 구성된다. 이 중, 불국사 화강암류는 흑운모화강암과 화강섬록암이 주를 이루며, (원효산) 화산암류로는 안산암, 유문암질 응회암, 안산암질 응회암이 주를 이룬다.

연구지역은 경상분지 동남부의 양산단층계 중심부의 양산단



① 자인단층, ② 밀양단층, ③ 모량단층, ④ 양산단층, ⑤ 동래단층, ⑥ 일광단층, ⑦ 울산단층

Fig. 1. Yangsan fault system in South-East part of Korean Peninsula. Note that the major faults are oriented to the direction of NNE-SSW. White circle indicates the survey area of this study and is located between the Yangsan fault and the Dongrae fault.

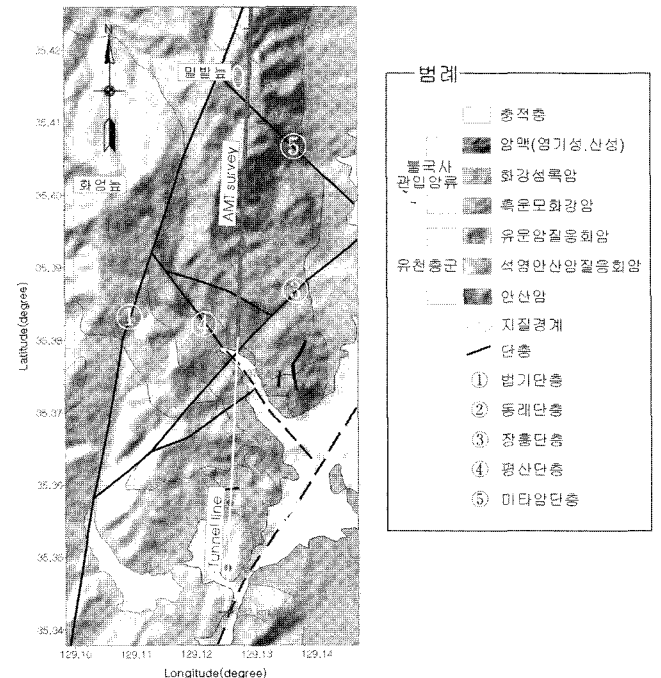


Fig. 2. Geological map around the survey area. The tunnel is planning to pass in between Bupki and Dongrae fault. It is expected that numerous secondary faults are generated by the active igneous activity and faulting during the period of late cretaceous to paleogene. Milbat and Whaum marshes on top of the mountain are located very near the tunnel intended as shown in the figure.

층과 동래단층 사이에 위치하여 두 단층과 평행한 범기단층과 2차 전단계열의 단층, 파쇄대가 산재하는 지역이다(Fig. 2). 이 지역은 특히, 천성산의 정상부에 위치한 화염늪, 밀밭늪, 무제치늪 등의 습지가 발달되어 있고 이중 화염늪은 노선에서는 약 2 km 떨어져 있어 계획된 터널과 수계는 다르지만 자연생태계 보전지구로 지정되어 있으며, 밀밭늪은 터널계획노선에서 약 200미터 이내에 위치해 터널굴착에 따른 영향을 가장 크게 받을 것으로 예상되는 곳이기도 하다.

전기비저항과 투수계수의 관계

암석의 전기비저항과 투수계수는 그 지배하는 물리적인 조건이 매우 유사하여 풍화정도, 점토광물의 존재 유무, 절리의 발달, 파쇄대의 유무 및 공극률에 주로 좌우된다. 예를들어, 파쇄대부근에서 전기비저항은 주변보다 낮고 투수계수는 신선한 암반보다 높다. 그러나 모든 요소들이 공통되는 것은 아니어서, 공극수의 양 및 분포형태, 공극수의 전기비저항은 암반의 전기비저항에는 크게 영향을 미치지나 투수계수와는 거의 관계가 없는 인자들도 있다. 공극수의 전기비저항은 대상지역의 평균적인 전기비저항의 높고 낮음을 좌우하게 되며, 따라서 이것이 특정지역에서 얻어진 전기비저항-투수계수의 상관관계를 다른 지역으로 일반화시키기 어렵게 하는 요인이 되기도 하다. Yamaguchi(1962)는 공극수의 영향을 배제한 형태로 암반의 전기비저항과 지하수의 전기비저항의 비인 지층전기비저항계수(formation resistivity factor: F)를 이용하여 일반적인 식을 유

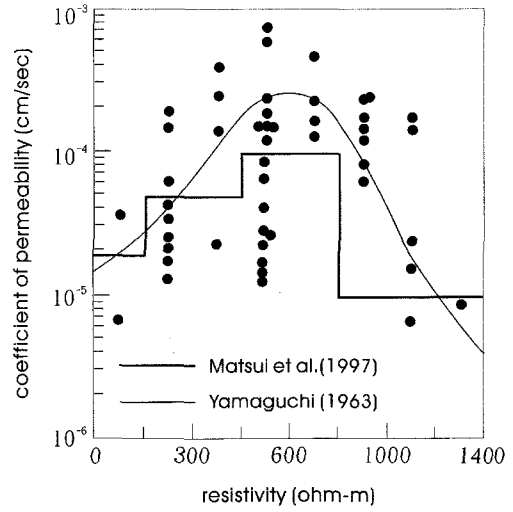


Fig. 3. Relation between resistivity and coefficient of permeability (Matsui et al., 1997).

도하였다. 즉,

$$k \approx (d_m e)^2 \frac{1360}{F} \tag{1}$$

여기서, k 는 투수계수(cm/sec), d_m 은 구성암석의 평균 입경(cm), e 는 공극비로 $(1-\phi)/\phi$ 이다. 양변에 log를 취하고 d_m 및 공극률 ϕ 도 전기비저항과 함수관계를 가지므로 자유도를 추가하여 정리하면,

$$\log(k) \approx -A \log(\rho) + B \tag{2}$$

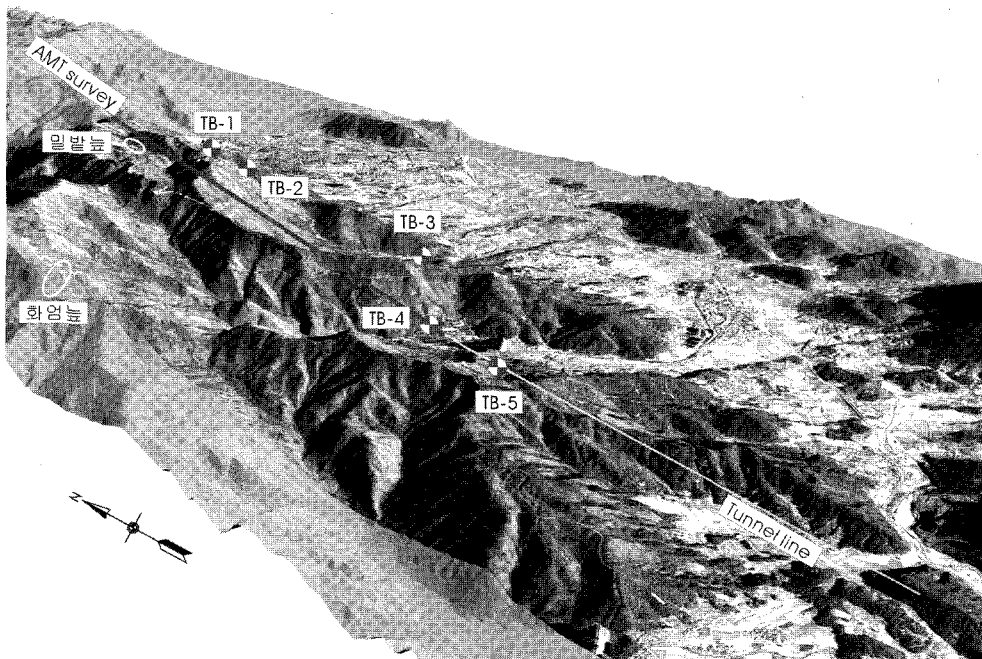


Fig. 4. Sitemap of the survey area with the location of boreholes. Red bold line indicates AMT survey line and yellow line indicates the tunnel intended.

의 형태로 표현할 수 있다. 여기서 전기비저항과 투수계수는 log-log 그래프에서 음의 기울기를 갖는 직선으로 나타나며 서로 반비례 관계임을 알 수 있다. 그러나 매질 내에 점토광물이 존재할 경우는 전기비저항과 투수계수가 모두 낮아져 반비례 관계를 만족하지 않는 경우가 발생하게 된다. 즉, 이러한 경우는 Fig. 3과 같이 일정 전기비저항에서 투수계수는 최대값을 가지고 그보다 전기비저항이 낮거나 높을 때 모두 투수계수는 작아지는 양상을 보인다 (Yamaguchi, 1962).

Matsui *et al.*(1997)은 점토광물이 존재하는 경우 전기비저항과 투수계수의 상관관계를 현장실험을 통하여 구하고 이를 터널굴착시 용수량의 예측에 활용한 바 있다. 즉, Fig. 3의 굵은 실선으로 표시한 바와 같이 Matsui *et al.*(1997)은 전기비저항을 네개의 구역으로 구분하고 각 구역별로 투수계수를 일정하게 부여하여 터널굴착시의 용수량을 성공적으로 예측한 바 있다.

본 연구의 경우는 대상지역의 분포지질이 주로 석영, 장석 및 흑운모로 구성된 화강암, 화강섬록암 및 안산암이 주를 이루기 때문에, 점토광물은 거의 포함되지 않아 (1)식과 같이 전기비저항과 투수계수는 서로 반비례 관계를 보일 것으로 예상된다.

현장조사 결과 및 고찰

본 연구에서는 투수계수와 전기비저항의 상호관계를 고찰하기 위해 Fig. 4와 같이 5개의 시추공에서 전기비저항 검층과 수압시험을 실시하였다. 일반적으로 수리상수를 구하기 위해

서는 터널 노선 직상부에서 시추 및 현장시험들이 이루어지는 것이 가장 이상적이지만 현장여건에 따라 노선 직상부에서의 시추가 불가능하여 이의 대안으로 시추가 가능한 곳 중 지표 지질조사 결과를 토대로 기반암 및 지질여건이 유사하다고 생각되는 5곳을 선정하여 pilot site의 개념으로 접근하였다. 이들 시험정 5곳에서의 전기비저항검층과 수압시험 결과 그리고 기존의 연구 결과를 토대로 전기비저항-투수계수의 상관관계식을 도출하고, Fig. 4의 굵은 실선으로 표기된 축선에서 실시한 전자탐사 결과에 유도된 상관관계식을 적용하여 2차원적인 투수계수의 분포단면을 구하고자 하였다.

Fig. 5는 각 시험정에서 수행된 전기비저항 검층의 결과로 기반암이 화강암인 TB-1과 TB-4에서는 대부분의 구간에서 다수의 수직절리 및 파쇄대가 발달되어 있는 것이 시추 코어로부터 확인되었으며 이것이 다른 3공보다 전기비저항이 전반적으로 낮게 측정된 주된 원인으로 사료된다. 또한 신선한 암반 구간인 경우, 화강암(TB-2) 과 안산암(TB-3, TB-5)에서 10,000 ohm-m 이상의 고비저항으로 나타나, 화강암과 안산암의 경우 전기비저항은 암석의 종류에는 크게 좌우되지 않는다고 판단된다. 암석코어를 이용한 실내 암석실험에서 화강암과 안산암의 역학적 성질 또한 유사하게 나타나, 전기비저항 및 투수계수가 암종에 의한 차이보다는 암반의 상태(연경도)에 더 큰 의존성을 보이는 것으로 판단되어 본 연구에서는 암종에 대한 구분 없이 화강암과 안산암에 대한 현장실험자료를 종합하여 전기비저항-투수계수 관계식을 구하고자 하였다.

Table 2에 각 시추공에서 시행한 수압시험의 심도구간 및 투수계수 그리고 해당 심도구간에 대한 전기비저항검층의 평균

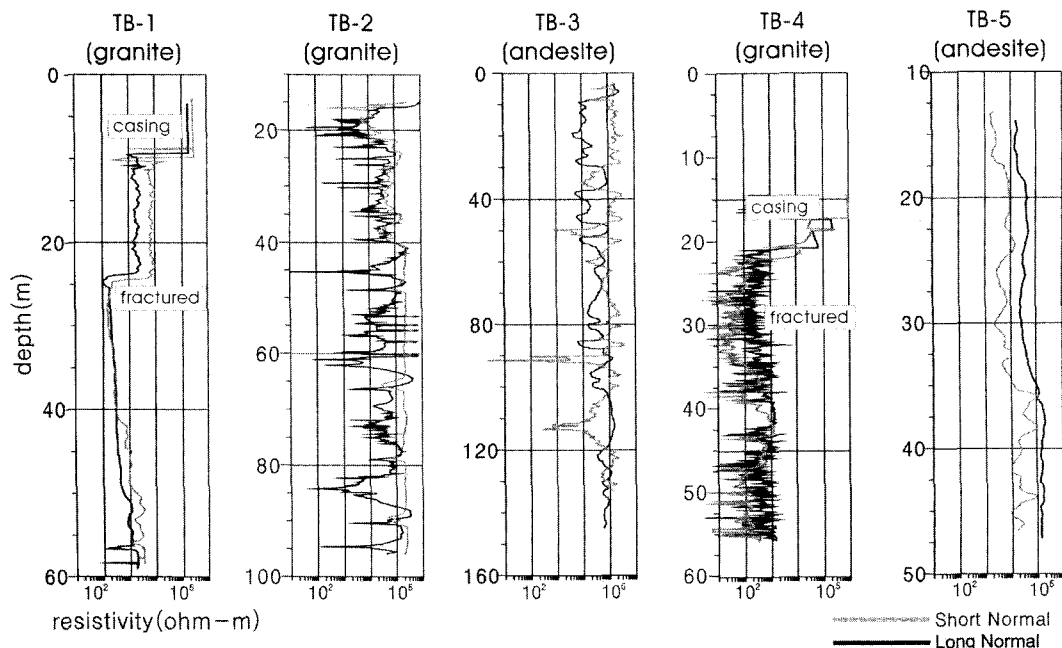


Fig. 5. Normal resistivity logging results for the five boreholes shown in Figure 4. Fresh granite and andesite shows resistivity over 10,000 ohm-m.

Table 2. Resistivity and coefficient of permeability (COP) as a function of depth at each borehole

Borehole ID	Depth (m)	COP (cm/sec)	Average resistivity (ohm-m)		
			Lateral log	Long normal	Short normal
TB-1	23-28	1.19E-05	1960	1398	1942
	27-32	1.16E-05	99	713	329
	33-38	1.15E-05	363	1239	620
	38-43	6.66E-06	491	1381	700
	45-50	2.81E-06	2090	2057	2747
	50-55	2.71E-06	9545	5461	6963
TB-2	25-30	2.79E-07	21254	8398	20796
TB-3	11-16	1.39E-06	23734	12475	24752
	20-25	5.41E-07	23164	13940	23008
	27-32	2.57E-07	38807	39423	17781
	36-41	2.05E-07	61470	17287	23254
TB-4	14-19	1.75E-05	957	128	334
	29.5-34.5	8.38E-06	1925	640	1049
	38-43	1.75E-06	3412	2213	4626
TB-5	23-28	1.19E-05	1960	1361	1942

값을 나타냈었으며, 이를 log-log 축에 도시한 것이 Fig. 5 이다.

검은점으로 표시된 자료는 기반암이 안산암인 TB-3과 TB-5시추공의 결과이며, 흰점은 화강암이 기반암인 TB-1, TB-2와 TB-4시추공에서 얻어진 결과이다. 비록 현장 여건상 시추공의 공간적 분포가 제한된 한계는 있으나 전반적으로 안산암과 화강암에서 모두 투수계수와 전기비저항이 서로 반비례관계에 있음을 확인 할 수 있다. 앞서 서술한대로 화강암과 안산암이 암종에 따라 큰 차이를 보이지 않는다는 가정 하에 Table

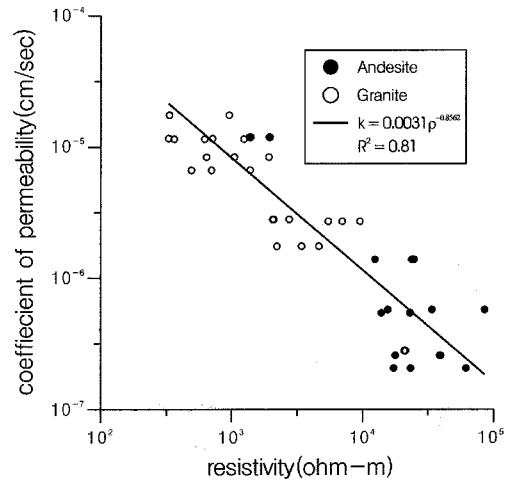


Fig. 6. Relation between resistivity and coefficient of permeability, which are obtained from resistivity logging and Lugeon test from five boreholes, respectively.

2에 나타난 모든 자료를 이용하여 최소자승법으로 최적의 관계식을 구하면 전기비저항과 투수계수는

$$\log(k) \approx -0.8562\log(\rho) + 0.0031 \quad (3)$$

의 관계를 가지며, 이때 결정계수(coefficient of determination), $R^2=0.81$ 의 높은 적합도를 보여준다. 이 상관관계식과 터널 노선상에서 수행된 전자탐사에 의한 전기비저항단면을 이용하면 터널예정구간의 2차원적인 투수계수의 분포를 구할 수 있다.

이 연구에서 수행한 전자탐사는 가탐심도가 1 km 내외로 상대적으로 큰 AMT 탐사법으로, 연구지역의 경우 해발고도

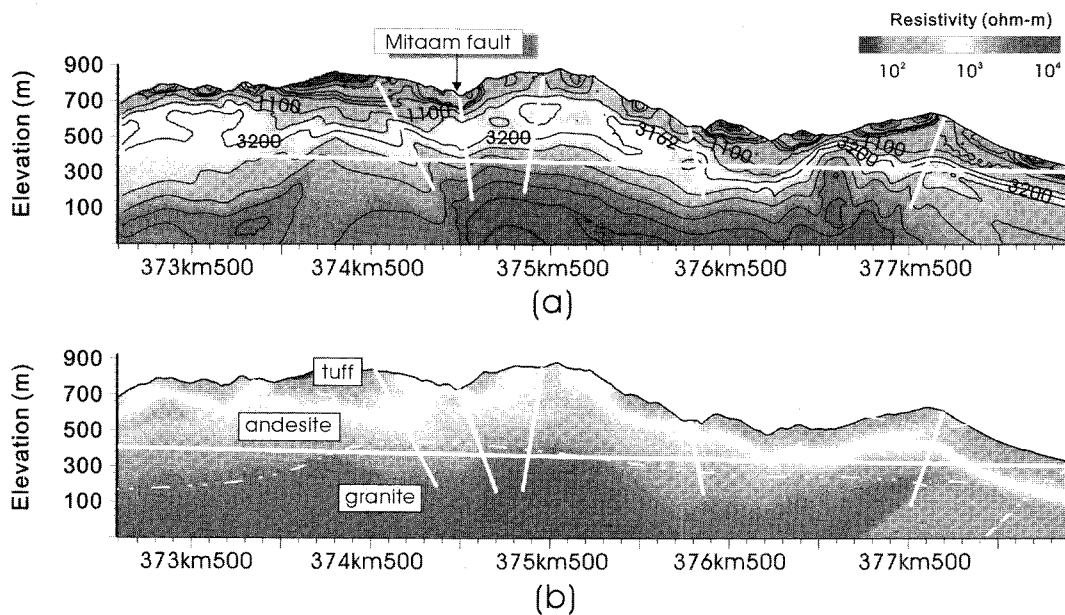


Fig. 7. TM(a) and TE(b) mode AMT results overlain the fractures, faults as well as rock boundaries from the geological survey. Overall trends of the resistivity structures are consistent with the boundaries. From TM mode section, several resistivity anomalies can be found at the right position of faults from geological survey (e.g., at around 374km500, 377km500).

804 m에 이르는 천성산을 관통하는 터널의 계획심도가 500 m에 이르며 산이 험하고 지표 곳곳에 암반이 노출되어 있어 터널지반조사에 주로 이용되는 전기비저항탐사 대신 적용하였다. 사용된 장비는 미국 EMI사의 IMAGEM system으로 장비의 이동성이 좋아 험준한 산악에서도 탐사가 가능하여 최근 계획 고가 깊은 터널의 지반조사 등 토목분야에 자주 적용되고 있다. 일반적으로 천부 자료의 신뢰도를 높이기 위해서 인공송신원의 사용도 가능하나 여기서는 지형이 험하여 송신원은 사용하지 않았다. 전기장 측정시 쌍극자간격은 10 m로 하고 경우에 따라서 가감을 두었으며 측정간격은 50 m로 하고 각 측정점에 대하여 10 Hz~100 kHz의 주파수대역에서 전기장과 자기장의 시계열을 측정하였다.

AMT탐사의 자료처리 과정은 일반적인 MT 탐사의 자료처리 과정인 측정된 전기장과 자기장의 시계열로부터 각각 자기상관과 상호상관을 통해 임피던스를 구하고 이로부터 겉보기 비저항과 전기장과 자기장의 위상차를 계산한 후, 보스틱변환과 공간필터링을 통하여 2차원 전기비저항단면을 얻는 방법을 이용한다.

AMT 탐사의 결과는 전기장이 측선과 평행한 TM 모드와 자기장이 측선과 평행한 TE 모드로 분해하여 해석하기도 하는데 일반적으로 TE모드는 TM 모드에 비해 비교적 부드러운 전기비저항 분포를 나타내게 되며(Zonge and Hughes, 1991), 따라서 단층, 파쇄대 등의 2차원적 구조에의 해석은 TM 모드를 위주로 해석하게 된다.

Fig. 7은 Fig. 4의 측선을 따라 50 m 간격으로 획득된 자료로부터 얻어진 2차원 전기비저항 단면으로, 구간에 따라 다소 차이는 있으나 천부에서는 수100 ohm-m의 비교적 낮은 전기비저항이, 그 하부에 수 100~3000 ohm-m 정도의 전기비저항을 보이는 중간 비저항대가, 그리고 심부에는 10,000 ohm-m 이상의 높은 전기비저항대가 분포하고 있다. 또한, 본 지역의 지질조사 결과에 의하면 천부에 유문암질 응회암, 그 하부에 안산암이 분포하고 있으며, 심부에는 흑운모 화강암이 넓게 분포하고 다수의 단층대가 발달해 있는 것으로 나타나므로 지질조사 결과 추정된 단층 및 파쇄대의 위치, 그리고 지층단면을 Fig. 7에 함께 도시하였다. 전기비저항 만으로 지하를 구성하는 암석의 종류를 구분하는 것은 무리가 있으나 두 결과를 중

합해볼 때 심부에 넓게 분포하는 10,000 ohm-m 이상의 높은 전기비저항대는 흑운모화강암에, 수 100 ohm-m에서 대략 2000 ohm-m 정도의 전기비저항을 보이는 중간 비저항대는 안산암에 대비될 수 있을 것으로 보이며 전반적인 전기비저항의 양상도 지질조사 결과 추정된 암종경계와 상당히 유사한 경향을 보이고 있다.

비록 양산단층계의 대부분의 대규모 단층들은 남북방향이 주를 이루나(Fig. 1), 본 연구지역이 양산단층과 동래단층의 사이에 위치하고 지표지질조사결과 연구지역에는 중소 규모를 갖는 부차단층(Riedel faults)들이 북동 혹은 북서 방향으로 측선과 교차하는 것으로 나타나 전자탐사의 주된 탐사목적은 이러한 부차단층의 탐지에 있다고 할 수 있다. TM 모드의 결과에서 374km500 부근과 377km700 부근에 존재하는 단층의 반응이 상당히 뚜렷이 심부까지 연장되어 나타나고 있음을 볼 수 있으며 이외에도 376km500 부근에서 낮은 비저항대가 깊은 심도까지 전개되어 있어 단층 및 파쇄대가 발달해 있을 가능성을 시사한다.

심도에 따른 전기비저항은 TM 모드와 TE모드에서 비슷한 양상을 보이지만 파쇄대 및 단층의 영향이 TM 모드에서 더 뚜렷이 관찰되며, 단층, 파쇄대는 지하수 유동의 주요한 통로 역할을 하므로 본 연구에서는 TM 모드결과를 이용하여 투수계수단면으로 변환을 시도하였다(Fig. 8). 그 결과 전자탐사에서 송신원을 사용하지 않았기 때문에 신뢰성이 떨어지는 천부의 자료를 제외하면 수압시험에 의해 현장에서 측정되는 투수계수의 범위와 유사한 범위내에서 투수계수 분포가 구해졌음을 알 수 있다. 이러한 2차원 투수계수 분포는 지하수 유동모델링의 초기조건 혹은 수렴조건으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

토의 및 결론

연구 과정에서 전기비저항 검층 결과와 지표에서 측정하는 전기비저항의 절대값의 상이성 문제가 대두되었다. 이는 지표 자료의 역산에 있어서 해상도의 문제와 직결된다고 사료되나 이외에도 지표에 존재하는 풍화토 등의 낮은 전기비저항 층에 의해 심부의 전기비저항이 영향을 받는 일종의 정적효과(static

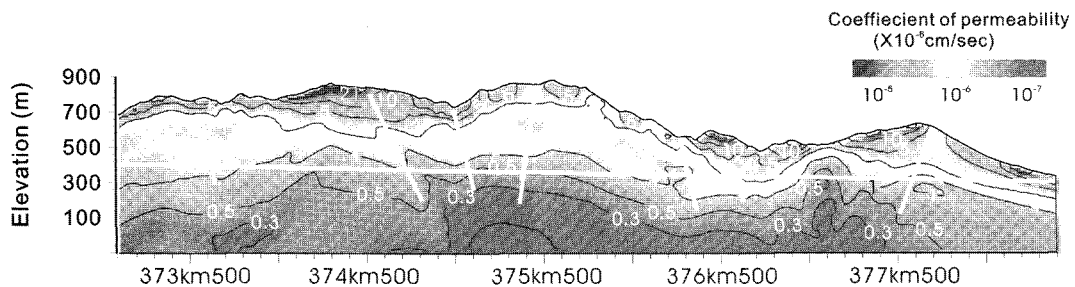


Fig. 8. Coefficient of permeability section converted from resistivity section by TM mode AMT shown in Figure 7(a) using equation (3).

effect) 등의 요인도 있다고 사료된다. 일반적으로 전기비저항 탐사 결과는 토목현장에서 전기비저항과 RMR 등의 상관관계 분석에 의해 암반등급산정 등에 이용되나 경우에 따라서 전기비저항 검층과 지표 전기비저항 역산 결과가 그 양상은 일치하나 절대값에 있어서는 10배 이상 차이 나는 경우도 있어 이 둘을 동시에 이용하는 것이 현실적으로 불가능한 경우가 많다. 본 연구의 경우도 전기비저항검층-투수계수의 상관관계식은 전기비저항 검층 자료로부터 구하고 실제 적용은 지표 전자탐사의 결과에 적용하였으나 그 이전에 전자탐사에 의한 전기비저항과 검층에 의한 전기비저항 간의 상호 관계에 대한 분석이 선행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 탐사구간과 시추공의 위치가 상이하어 이에 대한 분석이 이루어 질 수 없었으나 앞으로 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다.

이러한 다양한 제약조건에도 불구하고 본 연구에서는 제한적인 범위내에서 2차원 투수계수 분포를 파악하기 위하여 전기비저항검층 결과를 토대로 투수계수와 상관성을 해석하였다. 경상남도 양산시 웅상에 위치한 천성산(원효산)은 양산단층계의 중심부에 위치하여 다수의 단층, 파쇄대가 밀집되어 있고, 특히, 정상부에 자연 생태계 보전지구로 지정된 화엄늪을 비롯하여 밀밭늪, 무제치늪 등의 습지가 발달되어 있어, 이 곳에 터널을 굴착할 경우 천성산 및 이들 습지의 생태계가 파괴될 우려가 있는 지역이다. 본 연구는 이러한 습지 및 자연생태계 보호 및 대책수립을 위한 지하수 유동모델링을 위하여, 그 주된 입력변수인 투수계수를 전기비저항으로부터 제공하고자 하였다.

전기비저항과 투수계수는 상당히 밀접한 관계를 가지며 천성산 주변의 안산암과 화강암의 경우, 전기비저항검층과 수압 시험에 의한 전기비저항-투수계수는 log-log 그래프상에서 반비례 관계를 만족하였다. 양산지역의 화강암과 안산암의 경우의 관계를 보였으며, 이 식을 축선 상에서 수행된 AMT 탐사에 의한 2차원 전기비저항 분포 단면에 적용한 결과 2차원 투수계수 분포단면으로 변환할 수 있었다. 이러한 결과는 지하수 유동모델링시 심도별 투수계수의 분포에 대한 입력자료로 활용되었다.

사 사

본 연구를 수행함에 있어 지질조사를 담당해주신 (주)지오넷 김종렬 박사과 전자탐사의 자료획득에서 처리, 해석에 이르까지 도움을 주신 강원대학교 조인기교수, 바쁜신 외중에 토론에 기꺼이 응해주신 농업기반공사 박삼규 박사, 그리고 논문의 심사를 맡아 논문의 세세한 부분까지 다듬어 주신 농업기반공사 송성호 박사께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- 정교철, 채병곤, 김만일, 서용석, 2001, 화강암의 손상과정에 따른 투수계수 특성 연구: 지질공학, **11**, 315-325.
- Hudson, J. A., 1989, Rock mechanics principles in engineering practice - CIRIA Ground Engineering Report: *Underground Construction*, **20-23**, 66-67.
- Matsui, T., 1995, Needs and Application of Resistivity-Based High-Density Prospecting to Geotechnical Engineering: *Butsuritansa*, **48**, 530-538.
- Matsui, T., Kamide, S., and Park, S. G., 1997, An Applicability of Resistivity-Based High-Density Prospecting to Ground Survey of Mountain Tunnel (in Japanese): *Soils and Foundation*, **45**, 20-22.
- Matsuura, S., Park, S. G., Asano, S., and Okamoto, T., 1999, Flow Simulation of Groundwater in Volcanic Tertiary Landslide (in Japanese): *Proc. of 29th Symp. of Rock Mech., Japanese Soc. of Civil Eng.*, 161-165.
- Sudo, H., Tanaka, T., Kobayashi, T., Kondo, T., Takahashi, T., Miyamoto, M., and Amagai, M., 2003, Two-dimensional permeability imaging using a surface resistivity profile in a tunnel route investigation at a granitic rock site: *Proc. Of 6th SEGJ Int. Symp.*, 379-384.
- Yamaguchi, H., 1962, On the Relationship between the Formation Resistivity Factor and the Hydrological Constants of the Granular Aquifer (in Japanese): *Butsuritanko*, **13**, 194-206.
- Zonge, K. L., and Hughes, L. J., 1991, Controlled source audio-frequency magnetotellurics, in Nabighian, M. N., Ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics: vol. II. Soc. Expl. Geophys.*, 713-809.