

전기 및 CSMT 탐사를 이용한 초정지역의 수리지질 구조 해석

송성호¹⁾ · 용환호¹⁾ · 김진호¹⁾ · 송승엽¹⁾ · 정형재¹⁾

Hydrogeologic Structure derived from Electrical and CSMT Surveys in the Chojung Area

Sung-Ho Song¹⁾, Hwan-Ho Yong¹⁾, Jin-Ho Kim¹⁾, Seung-Yup Song¹⁾ and Hyung-Jae Chung¹⁾

요 약 : 암반 대수층으로 구성된 초정지역의 소유역에 대한 수리지질 구조 규명을 목적으로 정밀 지표지질조사, 전기비저항 수직탐사 및 시추공 물리검층을 실시하였고, 심부까지의 수리지질 구조 발달 상태를 확인하기 위하여 인공 송신원을 이용한 CSMT 탐사를 복합적으로 적용하였다. 지질 경계부에 대한 CSMT 탐사 결과 변성퇴적암을 관입한 화강암의 수직적 분포 특성을 파악할 수 있었으며, 이러한 수직적 분포는 수직탐사와 전기비저항 검층에서 나타난 천부의 수리지질 특성과 연결되어 나타남을 확인하였다. 화강암 지대에 대한 CSMT 탐사 결과 심도 약 100m 내외에서 고비저항대의 광역적인 경계가 나타나는데, 수직탐사와 전기비저항 검층에서 밝혀진 대수층 발달 구간과 연결됨에 따라 복합적인 해석이 가능함을 확인하였다. 이 연구에서는 CSMT 자료 해석을 위하여 평활화 제한을 가한 최소자승 1차원 역산법과 측선을 따라 측정된 자료에 대한 EMAP(Electromagnetic Array Profiling) 처리 결과에 Bostick 역산을 가한 2차원 영상 구현 방법을 이용하였는데, 지질경계부와 화강암 지역의 대수층 구조를 파악하는데 적용성이 높음을 알 수 있었다. 따라서 이 연구에서 적용한 CSMT 탐사는 소유역에 대한 정밀 지표지질조사 및 시추공 물리검층 자료가 추가되는 경우에 천부 대수층 구조 파악에 보다 정확한 정보를 제공할 수 있으며, 심부 지질구조와 관련된 대수층 구조를 해석하는데 효과적인 것으로 판단된다.

주요어 : 지표지질조사, 전기비저항 수직탐사, 물리검층, CSMT 탐사, 역산

Abstract : The hydrogeologic structure in the Chojung area was evaluated from a set of geological and geophysical investigations: detailed geological survey, vertical electric sounding (VES), borehole logging, and controlled-source magnetotelluric (CSMT) survey. Among these, CSMT soundings were taken for integrated interpretation to extend hydrogeologic structure with depth. The result of CSMT survey along with VES and borehole logging provides the vertical geologic boundary connected with hydrogeologic structure, and also indicates the depth of aquifer in granite basement. To interpret the geologic boundary and aquifer characteristics using CSMT data, we adopted the technique of 1-D inversion with smoothness-constrained method and 2-D continuous profiling with 1-D Bostick inversion and spatial filtering. The methodology tested and adopted in this study would be useful and required for providing a more information to the structure of fractured aquifer system.

Keywords : geological survey, VES, borehole logging, CSMT survey, inversion

서 론

초정지역은 세계 3대 광천수 생산지 중의 하나로, 1990년대 이후 국민생활 수준 향상에 따른 맑은 물 수요의 급증으로 지하수 이용업체들이 집중됨에 따라 국내 먹는물 총 생산의 약 60%를 차지하고 있다. 따라서 지하수 과다 이용 방지 차원에서 1996년부터 약 3년 동안 이 지역의 지하수에 대한 합리적인 개발, 이용 및 보전 관리를 위한 지하수 환경영향조사가 수행되었으며, 특히 지하수 부존 특성 파악을 위한 지표지질조사,

지하수 함양률 조사 및 다양한 종류의 수리지질조사 등이 수행된 바 있다(농어촌진흥공사와 청원군, 1998). 또한 이 지역에 대한 대수층의 수리지질 특성 파악을 위하여 다양한 방법의 지구물리학적 접근이 수행되었으며(권일룡 등, 1999; 송성호 등, 2000), 초정지역의 소유역에 대하여 지하수 수문조사 및 지하수 유동 모델링을 이용한 물수지 분석으로 전체적인 지하 대수층의 특성이 파악된 상태이다(Lee et al., 2001).

이 연구에서는 천부 대수층의 지하 심부로의 발달 상태 파악을 포함한 소유역의 대수층 특성 규명을 위하여, 송성호 등

*2002년 5월 7일 접수

1) 농업기반공사 농어촌연구원 (Rural Research Institute, KARICO)

(2000)에 의해 제시된 결과를 기초로 정밀 지표지질조사, 전기비저항 수직탐사, 물리검층 및 CSMT(Controlled-Source MagnetoTelluric) 탐사를 종합적으로 수행하였다. 이에 따라 일차적으로 정밀 지표지질조사는 농어촌진흥공사와 청원군(1998)에서 제시된 선캠브리아시대의 변성퇴적암류인 운교리층과 이를 관입한 시대미상의 반상화강암의 정확한 지질경계, 주변 지질구조 및 지질경계의 지하 연장성 등을 파악하였다.

전기탐사 및 물리검층은 소유역 중 대표적인 수리지질 특성이 나타나는 두 곳에 대하여 적용하였는데, 화강암 지역내에 위치한 CJ 지역에서는 전기비저항 수직탐사와 심도 200m의 CJ 시추공에서 자연감마선검층 및 전기검층을 실시하였다. 또한 운교리층과 화강암의 경계부에 위치한 IP 지역에서는 전기비저항 수직탐사와 IP 시추공에서 전기검층을 수행하였다.

지하수조사 분야에서 자연감마선검층은 자연방사능에 의한 감마선의 총량을 측정하여 암상변화를 파악하며 점토를 수반하는 파쇄대의 확인(높은 감마선)이나 낮은 감마선을 보이는 염기성 암맥의 확인에 이용된다. 그리고, 전기검층은 결정질 암반에서 대수층 역할을 하는 파쇄대가 상대적으로 낮은 비저항을 보이는 특성을 이용한다(Paillet and Duncanson, 1994).

지하 심부에 대한 대수층 특성 파악은 CSMT 탐사법을 이용하였는데, 일반적으로 MT(MagnetoTelluric) 탐사는 광대역에 걸친 지하구조의 주파수영역 전자반응을 얻을 수 있는 지구물리탐사법의 일종으로 자연 전자기장의 변동을 송신원으로 하여, 지열, 석유 등 심부자원 탐사 및 지각구조 연구 등에 이용되는 탐사 방법이다(Vozoff, 1991). 이 연구에서는 인공 송신원을 이용한 CSMT 탐사를 이용하였는데, 이 방법은 최근 심부 지하수 조사 및 토목 분야에서 심부 지반조사의 일환으로 널리 적용되고 있는 추세이다(김정호 등, 1989; 정승환 등, 1992, 이희순과 송윤호, 1997; Kim et al., 1998; 손호웅 등, 1999).

지질구조

이 지역의 지질은 연구지역 남서쪽에서 북북동 방향으로 발달하는 선캠브리아시대 변성퇴적암류인 운교리층과 이를 관입한 시대미상의 반상화강암으로 구성되며, 화강암내에는 소규모의 산성암맥이 발달하고 있다(Fig. 1). 두 암상의 경계부 파악을 위하여 화강암의 절리계와 변성암류의 염리를 측정하여 분석한 결과 주 절리분포는 N50-70E, 65-80SE로 나타나며, 운교리층을 관입한 화강암은 심도가 증가할수록 운교리층 하부로 발달되는 양상을 보여준다. 이 지역의 등고선에 대하여 10m×10m 크기의 격자망을 구성한 후 Arc/info의 grid analysis를 이용하여 분석한 음영기복도에 의하면 두 암상의 경계부는 지형적으로 경사가 매우 급한 지역과 일치되어 나타남을 알 수 있다(Fig. 2). 이에따라 소유역 중 지질경계부인 IP 지역의 경우는 송성호 등(2000)에 의한 전기검층과 전기비저항 수

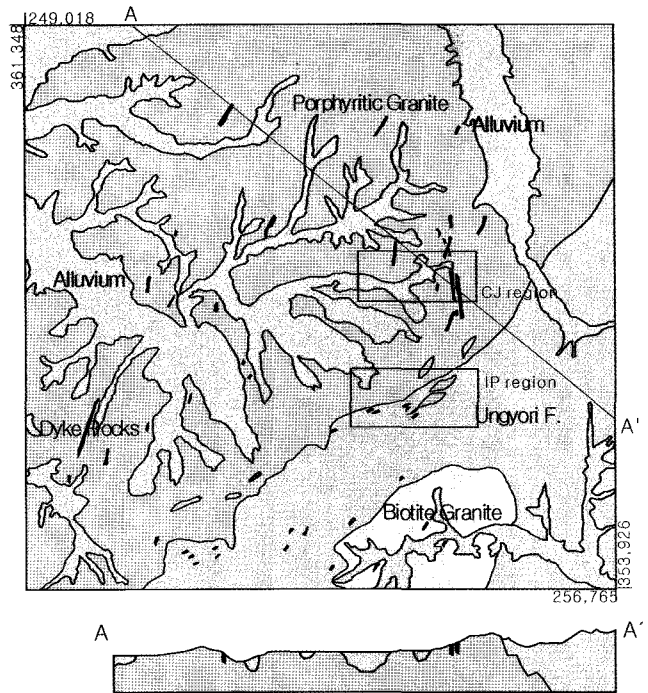


Fig. 1. Geological map of the Chojung area (modified from RDC and Chungwon-gun, 1998). The light rectangles show the location of CSMT soundings. TM coordinate is shown at the upper left and lower right corners.

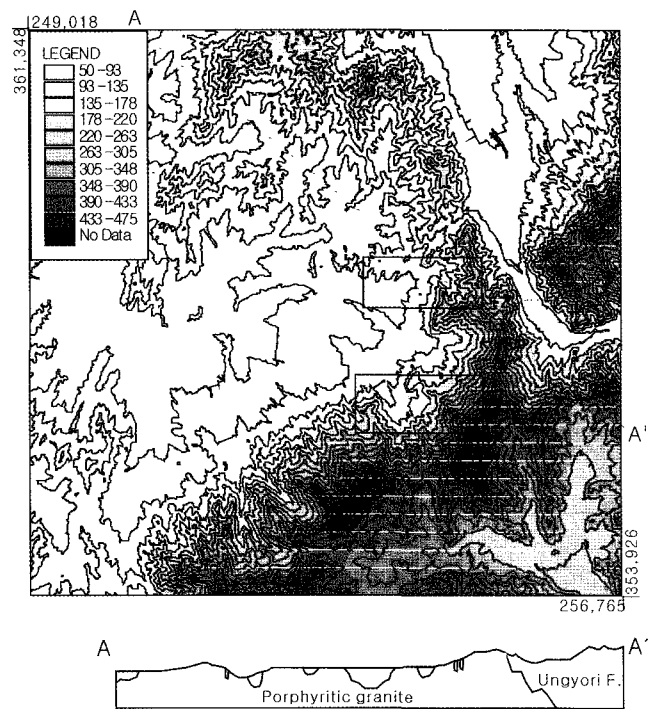


Fig. 2. Hillshade map reproduced from Arc/info using 10×10 m grid.

직탐사 결과를 기초로 CSMT 탐사를 추가하여 지질경계부의 특성을 파악코자 하였다. 또한 화강암 내부의 CJ 지역은 심도

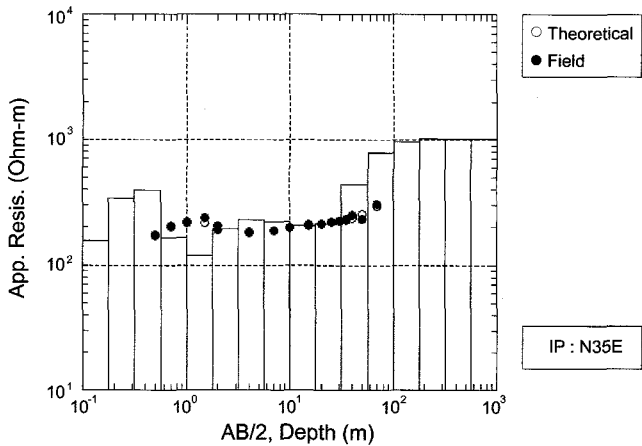


Fig. 3. DC sounding data and one-dimensional inversion result in the vicinity of well IP.

200m의 CJ 시추공을 이용하여 전기비저항 수직탐사, 자연감마선 검층 및 전기비저항 검층을 선행하고, CSMT 탐사를 추가하여 대수층의 수리지질구조를 파악하였다.

전기비저항 탐사 및 물리검층

IP 지역은 변성퇴적암류와 화강암의 경계 지역으로 전기비저항 수직탐사는 지질경계부의 영향을 최소화하기 위하여

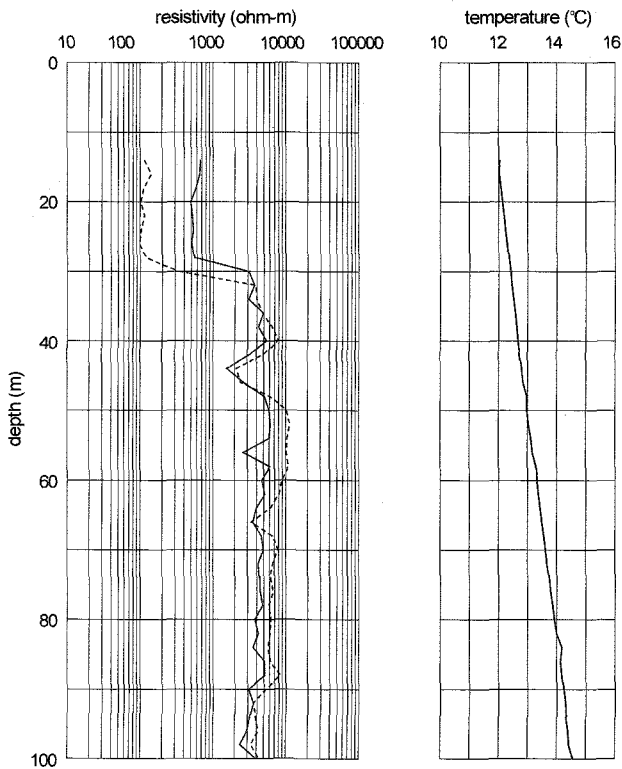


Fig. 4. Normal resistivity (left) and temperature (right) logs in well IP. Solid line shows short-normal and dotted long-normal.

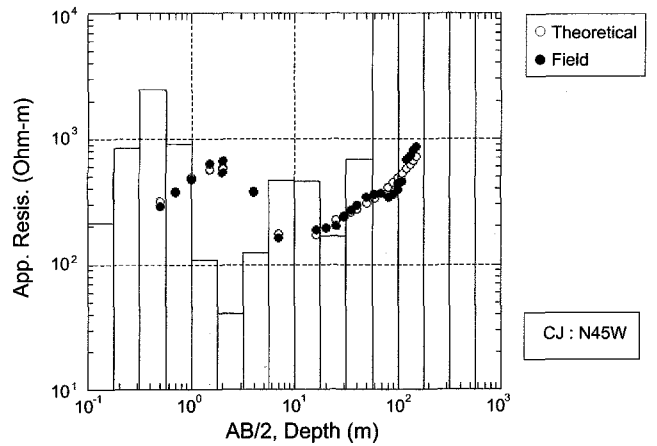


Fig. 5. DC sounding data and one-dimensional inversion result in the vicinity of well CJ.

N35E 방향으로 측선을 전개하여 수행하였으며, 현장자료는 지하를 수평의 다층구조로 가정하고, 평활화제한을 가한 최소자승 1차원 역산을 수행하였다(Fig. 3). 수직탐사 결과 전기비저항은 200~300 ohm-m 범위에서 큰 변화가 나타나지 않았으나, 송성호 등(2000)이 제시한 IP 시추공에 대한 전기비저항 검층의 결과는 약 30m 이하에서 비저항의 급격한 상승이 나타나는데 비하여 동시에 실시한 온도검층의 결과는 뚜렷한 이상이 나타나지 않았다(Fig. 4).

CJ 지역에서 수행한 전기비저항 수직탐사는 N45W 방향으로 측선을 전개하였으며, 현장자료에 대하여 이 지역을 수평 다층구조로 가정하고, 평활화제한을 가한 최소자승 1차원 역산을 수행하였다(Fig. 5). 탐사 결과 지하 약 15m 이하에서 전

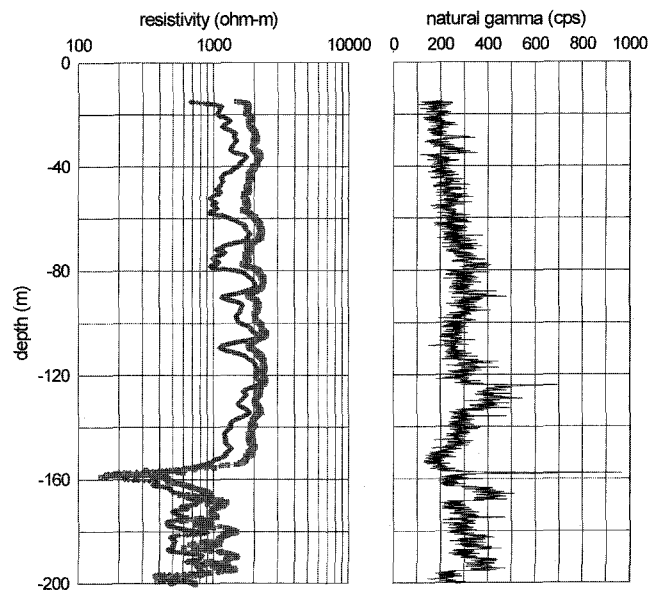


Fig. 6. Normal resistivity (left) and natural gamma (right) logs in well CJ. Symbol diamond shows short-normal and square long-normal.

기비저항이 점차 증가하는 결과가 나타나므로, CJ 시추공에서 실시한 전기비저항 검층 결과와 일치하지만, 전체 탐사심도가 150m로 이하 심도의 대수층 특성을 파악하는 것이 불가능하였다. CJ 시추공에 대한 자연감마선 검층 결과 전체구간에서 평균 200~250 cps의 분포가 나타나는데, 심도 약 120m 이하부터 국부적으로 이상대가 나타나며, 특히 약 125m 지점과 약 160m 지점에서 각각 800과 1,000 cps의 이상대가 나타났다. 따라서 이 구간은 암반 파쇄대로 구성된 대수층 구간의 점토 또는 화강암에 관한 암맥의 영향으로 판단되며, 이 구간에 대한 전기비저항 검층 결과는 동일구간에서 100~200 ohm-m 범위의 저비저항대가 나타남에 따라 125m와 160m 지점이 대수층 구간으로 판단된다(Fig. 6).

CSMT 탐사

국내 지질조건은 다양한 잡음 요인으로 인하여 MT탐사의 특성상 잡음에 의한 영향을 많이 받기 때문에 적용성이 상대적으로 낮은 것으로 알려져 왔으나, 송윤호 등(1992)에 의해 잡음이 약한 제주도에서 양질의 자료가 획득된 바 있다. 그러나 최근에는 인공 송신원을 이용하는 CSMT 방법이 개발됨에 따라 대지의 전기비저항이 북미나 유럽지역에 비해 매우 높은 국내의 경우에도 적용이 점차적으로 증가하는 추세이다.

CSMT 탐사는 자연장을 이용하는 MT 탐사에 인공 송신원을 추가하여 고주파수 대역의 신호대 잡음비를 높이는 탐사법으로, 송신기의 위치는 자료의 질에 큰 영향을 미치므로 측선상의 모든 측정에서 수신할 수 있는 지점을 선택해야 한다. 일반적으로 송신기의 위치는 표피심도 (skin depth)의 약 4배 거리에 위치시키는 것이 적당한 것으로 알려져 있다 (Zonge and Hughes, 1991). 전자기파는 주파수에 따라 침투할 수 있는 심도가 달라지며, 식 (1)에 의하여 표피심도가 계산된다.

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (1)$$

여기서, δ 는 표피심도, ω 는 각주파수, μ 는 투자율, σ 는 전기전도도, f 는 주파수이다.

CSMT 탐사에서 겘보기 비저항 (ρ_a)은 지표면에서 서로 직교하는 방향으로 측정된 전기장과 자기장의 비인 임피던스 (Z)를 사용하며, 이때 겘보기 비저항은 동일한 임피던스를 보여주는 반무한공간의 참 비저항으로 정의된다. 즉 주파수에 대한 겘보기 비저항 및 위상차 (ϕ)는 지표에서 측정된 서로 수직인 방향의 전기장 (E)과 자기장 (H)의 비를 이용하여 식 (2)와 식 (3)에 의해 계산된다.

$$\rho_a = \frac{1}{\mu \omega} \cdot |Z|^2 \quad (2)$$

$$\phi = \phi E - \phi H \quad (3)$$

여기서, ϕE 는 전기장의 위상, ϕH 는 자기장의 위상이다.

1) 현장적용

이 연구지역에 적용한 CSMT 탐사는 1차적으로 수행된 전기비저항 수직탐사와 전기비저항 검층에서 얻어진 전기비저항 분포와 현장 여건을 종합적으로 감안하여 전기장 측정을 위한 쌍극자 길이를 20m로 설정하였다. 현장 자료획득은 다른 수리지질학적 자료와의 연관성 검토를 위해 비교적 천부지역의 정밀한 조사를 할 목적으로 750 Hz~92 kHz의 고주파 대역에 대하여 인공 송신원을 사용했고, 심부의 대체적인 지질구조를 파악하기 위해 10 Hz~1 kHz의 저주파 통과 필터를 설정했다. 또한 측정시 송신탑이나 마을 주변의 잡음이 많은 경우는 고주파수와 저주파수 대역을 중첩시킨 500 Hz~3 kHz의 중간주파수 대역의 자료를 취득하였다. 측정 방법은 매회 각 주파수 대역에 대하여 14번의 중합(stacking)을 실시하였고, 필요시 중간주파수 대역은 10번의 중합을 추가하였다.

이 연구에서 사용된 장비는 미국 EMI사의 IMAGEM system으로 장비의 이동성이 뛰어나 험한 지형 조건에서도 탐사가 가능하며, 특히 현장측정과 동시에 자료의 질을 판별할 수 있는 장점이 있다. 인공 송신원을 함께 사용할 경우는 고주파 대역에서도 양질의 자료를 획득할 수 있으며, 장비 설치 및 측정시간이 매우 짧은 특징이 있다. 또한 측정과 동시에 자료를 화면상으로 출력할 수 있기 때문에 이 지역에서의 경우 측정시 주변 잡음원을 최소화하기 위해 반복 측정의 횟수를 상황에 따라 증가시켰다.

CSMT 측선은 연구지역 내에 두 측선으로, IP 측선은 변성퇴적암류와 화강암의 지질경계 확인을 위하여 경계면에 수직되게 설정하였으며, 특히 측선의 중앙부에 전기비저항 수직탐사와 전기비저항 검층을 수행한 IP공이 포함되도록 하였다. CJ 측선은 지하수 부존량이 상대적으로 풍부한 곳으로 조사된 지역으로 화강암 지대의 대수층 발달상황을 파악하기 위하여 측선의 중앙부에 전기비저항 수직탐사, 자연감마선 검층 및 전기비저항 검층을 수행한 CJ공을 포함하도록 전개하였다.

IP 측선에서는 지표지질조사에서 밝혀진 화강암 지역과 변성암 지역의 지질 경계를 가로지르는 660m 구간에 대하여 측선 진행방향으로 총 14 측점에 걸쳐 탐사하였는데, 지질조건 변화에 따라 전기비저항값의 급격한 변화가 나타남을 확인할 수 있었다. CJ 측선에서는 화강암 지역 내의 총 560m 구간에 대하여 총 12 측점에 대하여 탐사하였다. 각 측선의 측정 간격은 천부의 해상도를 높이기 위하여 50~60m 간격으로 설정하였으며, 측선상에서 도로나 마을 등 지형적인 문제로 인해 측정이 어려운 경우 전극 간격을 조정하여 탐사를 수행하였다.

2) 자료처리 및 해석

이 연구지역에서 수행한 CSMT 탐사는 가탐심도가 큰 전자탐사의 특성을 이용하여 광역적 구조를 중심으로 천부의 수리

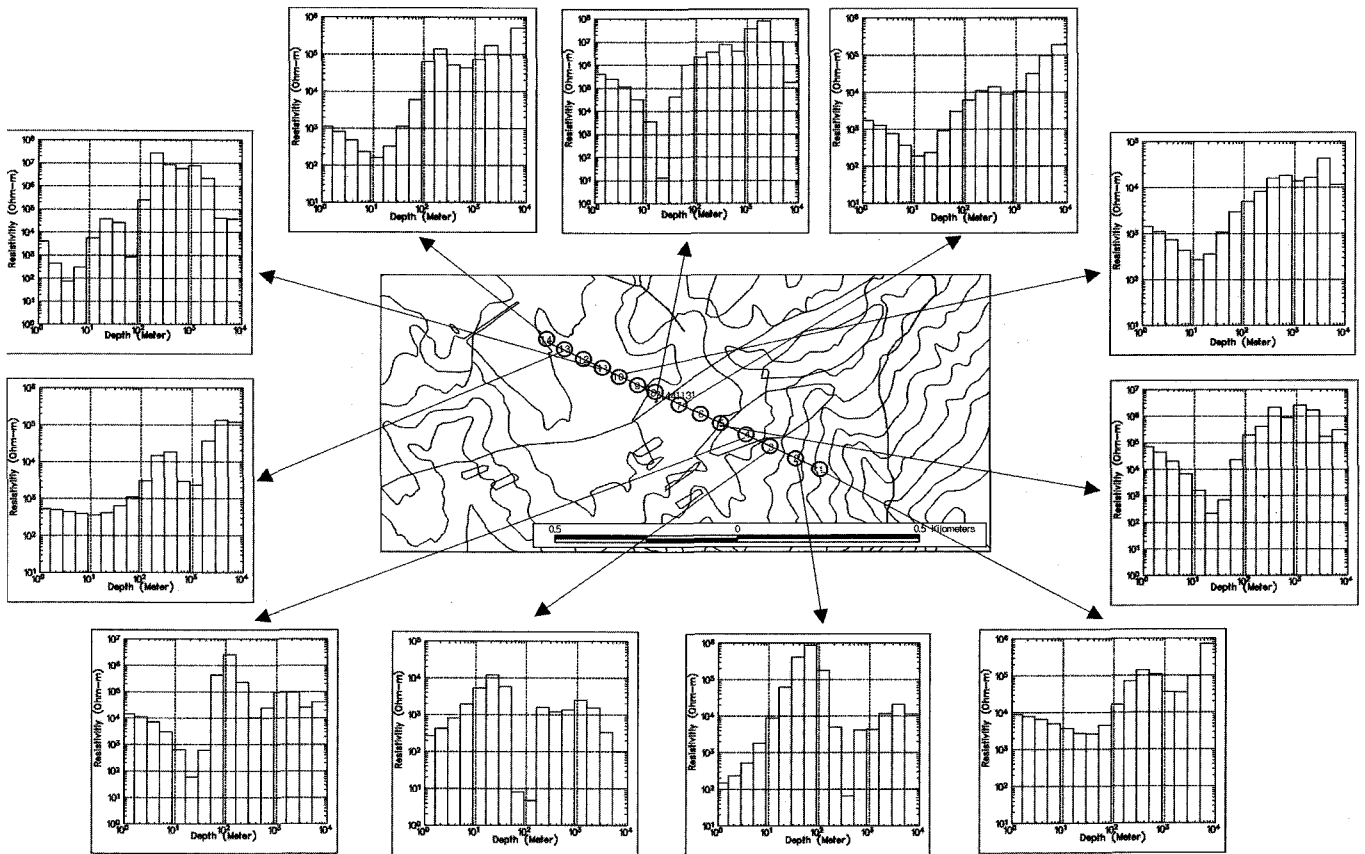


Fig. 7. One-dimensional smoothness-constrained inversion results in the IP region. Well IP is located near No. 7.

지질구조와의 연관성을 파악코자 하였다. 여기서는 CSMT 탐사 결과를 전기비저항 탐사에서 얻어진 천부 수리지질 구조와 연관성을 규명하기 위하여 전기비저항 수직탐사, 시추공에서 수행한 자연감마선 검층 및 전기비저항 검층 자료와 상호비교하였다.

두 축선에서 수행된 CSMT 탐사 자료처리는 1차적으로 자료분석 단계에서 서로 수직한 전기장 및 자기장의 시간적 변화를 기록한 시계열의 자료 중 잡음원에 의한 과도한 전기장 및 자기장의 자료를 제거한 후, 각 시계열간의 상호상관과 자기상관을 구하고 이로부터 임피던스를 계산하였다. 또한 시계열 자료와 그에 대한 Fourier 변환의 결과를 전기장과 자기장의 각 성분별로 분석하였다.

두 번째 단계에서는 1차원 분석으로 겉보기 비저항 및 위상 자료를 대상으로 상관성을 분석하였으며, 1차원 분석 결과를 계산하여 각 측정점을 축선방향에 위치시킨 후, 2차원 분석에서 역산을 이용한 전기비저항의 수직적 분포 양상을 얻었다. 특히 자료처리 과정에서 1차원 분석은 겉보기 비저항의 연결성과 위상 자료의 상관성을 분석하였고, 서로 직교하는 전자기장 성분의 일관성(coherency)의 정도가 높은 자료를 선별하여 자료의 신뢰성을 높이고자 하였다.

이 연구에서는 현장에서 취득한 각 측정점의 CSMT 자료에

대하여 1차원 역산을 수행하였는데, 이때 적용된 역산방법은 평활화 제한을 가한 Occam 역산 방법(Constable *et al.*, 1987) 중 creeping 방법을 적용하였다. 2차원 축선에 대한 자료 처리는 1차원 탐사에서 나타날 수 있는 정적효과 및 잡음 오염문제 등을 극복하기 위한 방법으로 EMAP(Electromagnetic Array Profiling) 탐사 개념을 적용하였다(Bostick, 1986). 이 탐사법은 정해진 축선을 따라 연속적으로 전기장 신호를 측정하는 2차원 탐사의 형식을 취하며, 결과는 축선 하부의 비저항 분포 단면으로 나타나는 방법이다.

Fig. 7은 IP 축선내의 각 측정 자료에 대하여 평활화 제한을 가한 1차원 역산 결과로, 대체로 심도 약 20~30m 사이에서 비저항이 급격히 높아지는 결과가 나타난다. 이러한 결과는 8번 측정점에 위치한 IP 시추공에 대한 전기비저항 수직탐사와 전기비저항 검층 결과로 나타난 기반암 심도인 29m와 일치된다. 그러나 변성퇴적암류 지대인 2, 3번 측정점의 경우는 지층의 수를 증가시키에 따라 실제 자료와는 무관한 역산 결과가 나타났는데, 이는 처리된 불량한 자료의 수가 다른 측정점에 비해 많기 때문에 지층의 수를 보다 적게 설정하여 반복 역산을 수행하였다. 이러한 1차원 역산은 부분적으로나마 MT탐사에서 상대적으로 취약한 천부와 각 측정점의 비저항대 파악에 큰 효과를 얻을 수 있었다.

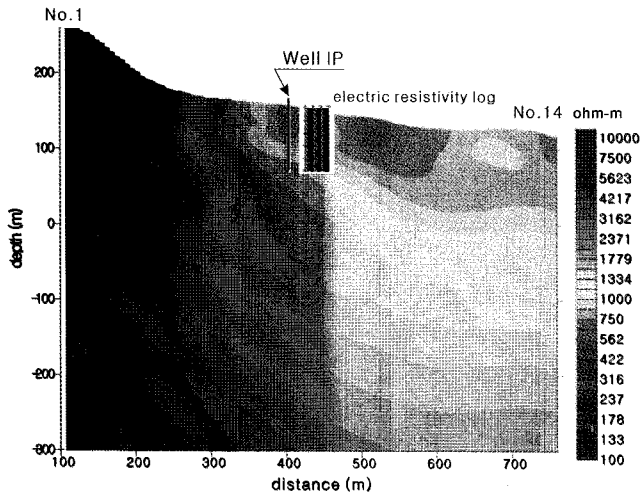


Fig. 8. Resistivity section derived from Bostick inversion results of CSMT data beneath line IP. The normal log in Figure 4 is superimposed on the interpolated resistivity image. High-resistivity zone from upper left to lower right is interpreted as metasedimentary basement and intruded granite.

Fig. 8은 IP 측선에 대하여 공간 filtering을 수행한 후, Bostick 역산을 적용하여 얻어진 2차원 단면도로, 이때 이용된

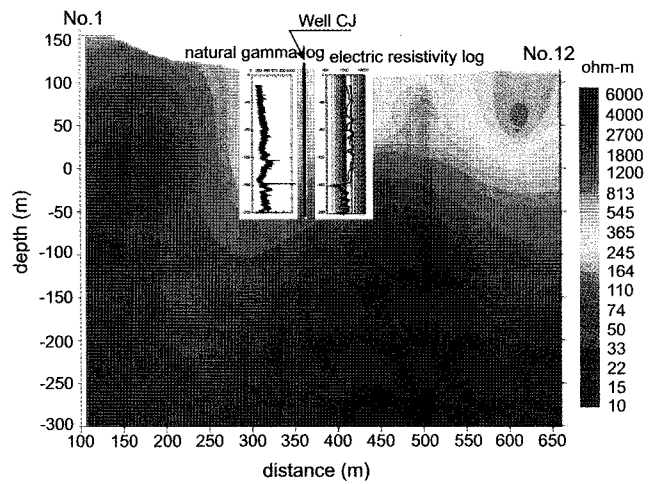


Fig. 10. Resistivity section derived from Bostick inversion results of CSMT data beneath line CJ. The natural gamma and normal logs in Figure 6 are superimposed on the interpolated resistivity image. The high-density and low-resistivity anomalies at 160 m below the surface indicate the major aquifer of this region.

Bostick 역산은 겉보기 비저항에 위상차 자료를 동시에 적용하여 정확도를 향상시킨 방법이다(Whittall and Oldenberg,

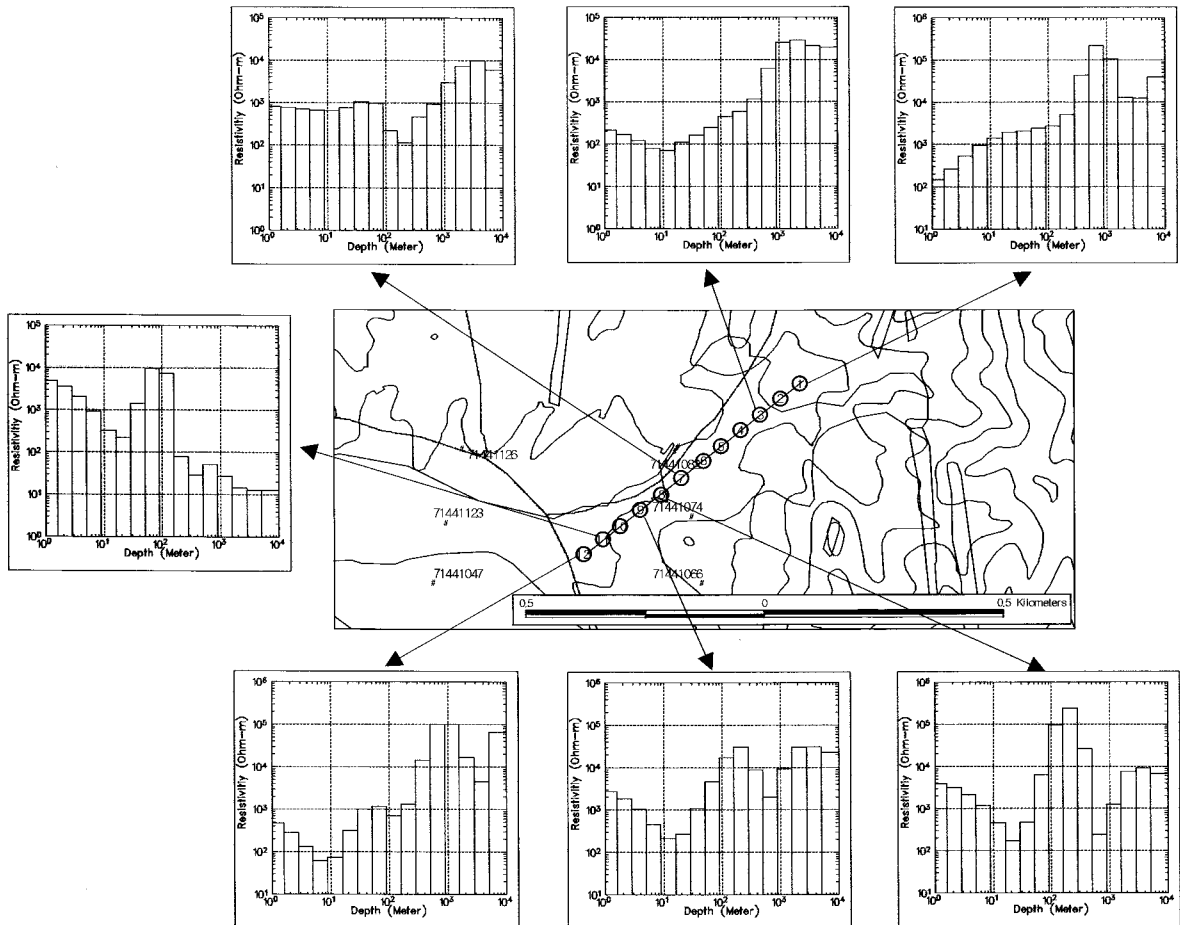


Fig. 9. One-dimensional smoothness-constrained inversion results in the CJ region. Well CJ is located near No. 6.

1992). 이 측선은 경사면을 따라 전개하였기 때문에, 지형적인 영향을 감안하여 각 측정점의 위치를 고도로 표시하여 2차원 단면을 영상화하였다. 이 결과 IP 시추공을 중심으로 변성암 지역은 수 천 ohm-m 이상의 고비저항대가 발달되며, 화강암 지역인 IP 시추공 우측부분에서는 심도 100m 깊이까지 약 1,000 ohm-m 이하의 낮은 비저항대가 좌측 하단부를 따라 연장되는 양상이 나타났다. 이러한 낮은 비저항대의 연장은 정밀 지표지질조사 결과 나타난 변성퇴적암류와 이를 관입한 화강암의 지하 연장성과 일치되며, 이를 따라 발달하는 낮은 비저항대는 송성호 등(2000)이 제시한 이 지역의 천부 대수층이 지질경계부를 따라 연장되는 것으로 판단된다.

Fig. 9는 CJ 측선내의 각 측정 자료에 대하여 평활화 제한을 가한 1차원 역산 결과로, 지표 하부로 심도 약 200m까지 200~400 ohm-m 범위의 저비저항대가 나타나며, 6번 측정점에 위치한 CJ 시추공에 대한 자연감마선 검층 결과 약 160m 심도의 1,000 cps의 이상대와 동일심도의 전기비저항 검층 결과에서 나타나는 저비저항의 이상대 발달로 밝혀진 추정 대수층의 심도와 일치된다.

Fig. 10은 CJ 측선의 2차원 단면도로 100m 내외의 심도에서 전반적으로 나타나는 1,000 ohm-m 이상의 고비저항대는 기반암인 화강암에 의한 것으로 판단되며, CJ 시추공을 중심으로 심도 증가에 따라 발달되는 저비저항대는 물리검층 결과에서 추정된 대수층과 일치함을 알 수 있다.

토의 및 결론

이 연구에서 이용된 CSMT 탐사법은 주변의 각종 전자기 잡음으로 고주파수 대역에서 인공 송신원을 사용하였음에도 불구하고 일부 측정에서는 양질의 자료획득이 불가능하였다. 따라서 천부의 잡음에 의한 자료가 심부의 자료에 영향을 미치는 것을 방지하기 위해 전기비저항 수직탐사를 시추 지점에서 수행하여 천부의 대체적인 비저항대를 고찰하였다. 그러나 CSMT 탐사와 전기비저항 수직탐사 결과만으로 전반적인 대수층 구조를 해석하기 어렵기 때문에 이 연구에서는 수리지질학적 환경에서 매개변수들과 물리검층 결과와의 상관성을 비교하여 천부의 대수층 구조와 심부 지질구조와의 상관성을 해석코자 하였다.

한편 CSMT 탐사 자료 해석을 위한 방법으로 각 측정에서의 전기비저항 분포를 확인하기 위하여 평활화 제한을 가한 1차원 역산을 수행하였으며, 전반적인 수리지질학적 구조를 파악하기 위하여는 1차원의 정적효과를 극복하기 위하여 EMAP 탐사 개념을 적용하여 2차원 영상을 구현하였다. 이 결과 화강암 지역과 변성퇴적암 지역의 경계를 확인할 수 있었으며, 화강암 지역의 대수층 구조를 파악하는데 큰 효과를 거둘 수 있었다.

IP 측선에 위치한 IP 시추공의 전기비저항 검층 결과 심도

30m 지점부터 1,000 ohm-m 이상의 고비저항대가 나타나는데, 이는 CSMT 탐사 결과에서 나타난 천부의 변성퇴적암에 의한 결과로 나타났다. CJ 측선의 경우는 No.6 지점의 CJ 시추공에 대한 자연감마선 검층 및 전기비저항 검층 자료와 CSMT 탐사 결과를 상호 비교하면, 검층 결과 나타난 심도 160m 부근의 이상대가 CSMT 탐사에서 보여지는 고비저항대의 광역적인 경계부근과 일치한다. 이러한 이상대는 자연감마선 검층 결과 1,000 cps의 이상대와 전기비저항의 급격한 감소 결과로 알 수 있었다.

따라서 이 연구에서 적용한 CSMT 탐사는 소유역에 대한 정밀 지표지질조사 및 시추공 물리검층 자료가 추가되는 경우 천부 대수층 구조 파악에 보다 정확한 정보를 제공할 수 있으며, 심부 지질구조와 관련된 수리지질 구조를 해석하는데 효과적일 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-3-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 권일룡, 김지수, 김경호, 1999, 지표물리탐사 자료의 상관분석-충북 조정지역: 지구물리, **2**, 75-88.
- 김정호, 정승환, 전정수, 1989, CSMT 탐사자료의 1차원 해석에 관한 연구: 한국자원공학회지, **26**, 423-432.
- 농어촌진흥공사, 청원군, 1998, 조정-미원지구 환경영향조사 보고서.
- 손호웅, 윤해수, 오진용, 1999, 전기, 전자탐사에 의한 경주남부(입실지역)의 울산단층 심부구조: 자원환경지질, **32**, 161-167.
- 송성호, 정형재, 권병두, 2000, 물리탐사자료를 이용한 수리지질 구조 해석-충청북도 청원지역: 자원환경지질, **33**, 283-293.
- 송윤호, 조인기, 김정호, 정승환, 전정수, 1992, 제주도에서의 MT 탐사 - 전기, 전자탐사 연구: 한국자원연구소, KR-92-IG-5, 33-69.
- 이희순, 송윤호, 1997, 전기장 또는 자기장 송신원을 이용한 벡터 CSMT: 자원환경지질, **30**, 451-458.
- 정승환, 김정호, 조인기, 전정수, 1992, 종합적 물리탐사에 의한 파쇄대 및 심부 지하수 탐사: 지질공학, **2**, 113-130.
- Bostick, F. X., 1986, Electromagnetic Array Profiling: *56th Ann. Internat. Mtg., Soc. Explor. Geophys., Expanded Abstracts*, 60-61.
- Constable, S. C., R. L. Parker, and C. G. Constable, 1987, Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data: *Geophysics*, **52**, 289-300.
- Kim, J. S., H. Shon, W. H. Ryang, and S. K. Chough, 1998, Electrical resistivity and MT imaging in the northern-middle part of Eumsung Basin (Cretaceous), Korea: *Geoscience Journal*,

- 2, 206-219.
- Lee, K. C., H. J. Chung, S. H. Song, K. O. Bae, J. H. Kim, and J. Y. Lee, 2001, Estimation of Groundwater Recharge Rate for Fractured Hard Rock Aquifer, Chojeong Area, South Korea: 1st Asian Regional Conference of International Commission on Irrigation and Drainage, September 16-21, 2001, Seoul, Korea. 42.
- Paillet, F. L., and R. Duncanson, 1994, Comparison of drilling reports and detailed geophysical analysis of ground-water production in bedrock wells: *Ground Water*, **79**, 1-19.
- Spies, B. R., and D. E. Eggers, 1986, The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic method: *Geophysics*, **51**, 1462-1471.
- Vozoff, K., 1991, The magnetotelluric method, in Nabighian, M.N., Ed., *Electromagnetic method in applied geophysics: vol.II., Soc. Expl. Geophys.*, 641-711.
- Whittall, K. P., and Oldenberg, D. W., 1992, Inversion of magnetotelluric data for a one-dimensional conductivity, in Fitterman, D.V., Ed., *Geophysical Monograph Series, No. 5.; Soc. Expl. Geophys.*
- Zonge, K. L., and L. J. Hughes, 1991, Controlled source audio-frequency magnetotellurics, in Nabighian, M. N., Ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics: vol.II. Soc. Expl. Geophys.*, 713-809.