

터널을 포함한 전기비저항탐사 2차원 모델링

경규하¹⁾, 조인기¹⁾, 김기주¹⁾, 정재형²⁾, 배규진²⁾, 안희윤³⁾, 김기석³⁾

¹⁾강원대학교 지구물리학과, choik@kangwon.ac.kr

²⁾한국건설기술연구원 국토지반연구부

³⁾희송지오테크

2D Resistivity Modeling Including Tunnel

Keu-Ha Kyeong¹⁾, In-Ky Cho¹⁾, Ki-Ju Kim¹⁾, Jaehyeung Jung²⁾, Gyu-jin Bae²⁾,
Hee-Yoon Ahn³⁾, Ki-Seog Kim³⁾

¹⁾Department of Geophysics, Kangwon National University

²⁾Geotechnical Engineering Research Department, KICT

³⁾Hee-Song GeoTech, Co. Ltd

Abstract: The electrical resistivity method has been widely used for the efficient maintenance of tunnel. In this case, the main purpose of the survey is to find out resistivity distribution around the tunnel. However, resistivity data are severely distorted by the tunnel, which make it hard to detect anomalous zones developed around the tunnel. In this study, using the finite element modeling, we analyze resistivity data distorted by the tunnel. Finally, we propose a simple method to correct the tunnel effect.

Keywords: resistivity method, modeling, tunnel

1. 서론

전기비저항 탐사법은 터널 주변 지반 혹은 암반의 안정성을 조사하기 위해서는 비 파괴 검사 기법인 물리탐사법이 널리 사용되고 있다. 다양한 물리탐사법 중에서도 전기비저항 탐사법은 터널 주변에 발달한 각종 파쇄대 등과 같은 연약대의 조사에 효과적인 방법이며, 일반적으로 터널설계 단계에서 미리 조사가 수행되어 시공비용을 절감하고 안정성을 확보하기 위한 중요한 기본 자료로 이용되고 있다. 하지만 터널은 시공 후에도 시공에 의한 터널주변부의 자연환경의 변화로 인하여 교란되어 있을 가능성의 크므로 효과적인 유지관리를 위해서는 상시관측 등과 같은 정기적인 조사를 수행하는 것이 바람직하다. 특히 터널 시공에 의한 터널 주변 지하수의 유동통로 변화, 터널 내 출수 문제 등은 터널의 안전성 확보는 물론 효율적인 유지관리에 필요한 매우 중요한 정보이며, 전기비저항 탐사법은 이러한 지하수의 유동 통로를 파악하는데 가장 효과적인 방법 중의 하나로 알려져 있다.

그러나 이러한 전기비저항 탐사결과는 터널의 영향을 피할 수 없다. 즉 공기로 채워진 터널은 전기적 부도체에 해당되며, 터널 상부의 지표에서 전기비저항 탐사가 수행될 경우 터널의 영향으로 인하여 주 관심사인 터널 주변의 정확한 전기비저항 분포의 파악이 어려워진다. 이러한 문제점은 현재 널리 사용되고 있는 전기비저항

탐사 역산 프로그램이 터널을 전혀 고려하지 못하기 때문에 발생한다. 궁극적으로 이러한 문제의 해결을 위해서는 역산에서도 터널의 영향을 고려하는 것이 가장 바람직하지만, 여기서는 우선 모델링을 통하여 터널이 전기비저항 탐사 결과에 미치는 영향을 분석하고, 간단하게 터널의 영향을 보정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 전기비저항 탐사 모델링

전기비저항 탐사 모델링에는 유한차분법(Dey and Morrison, 1979), 유한요소법(Coggon, 1971; Pridmore, *et al.*, 1981)과 적분방정식법(Hohmann, 1975)등이 사용된다. 특히 2.5차원 전기비저항 탐사 모델링에는 미분방정식법인 유한차분법이나 유한요소법이 사용되며, 근래에는 지형의 기복문제를 처리하기 위하여 유한요소법이 주류를 이루고 있다. 본 연구에서도 유한요소법을 사용하였다.

Fig. 1은 터널을 포함하는 요소분할의 일례를 보여준다. 이 모델에서 터널 형태는 반경 5 m인 반원형으로 가정하였으며, 터널 바닥까지의 심도는 10 m로 설정하였다. 주변매질의 전기비저항은 100 ohm-m로 설정하였다. 요소는 사각형 요소를 사용하였으며, 수평방향으로는 매 측정 사이에 4개의 요소를 설정하였고 수직방향으로는 심도가 깊어질수록 요소의 크기를 지수 함수적으로 증가시켰다.

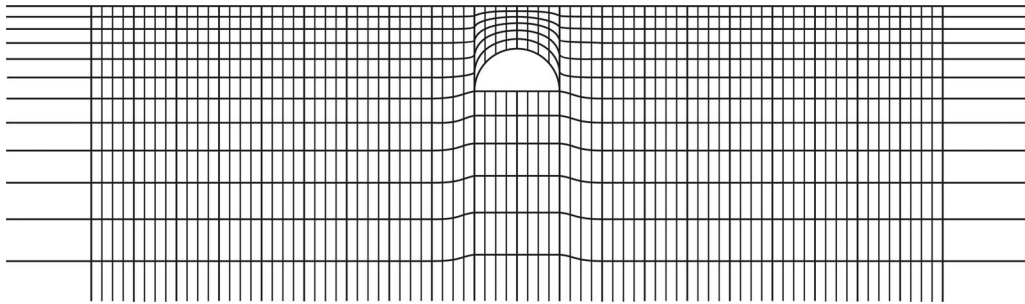


Fig. 1. Finite element mesh including a tunnel.

Fig. 2는 Fig. 1에 주어진 모델에 대하여 지표면에서 쌍극자 간격 5 m인 쌍극자 배열 전기비저항 탐사 결과인 겹보기 비저항 가단면도와 터널을 고려하지 못하는 역산 프로그램을 사용하여 얻어진 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 터널을 의미하는 고비저항대가 잘 나타나고 있으므로 터널의 탐지 자체에는 문제가 없어 보인다. 하지만 터널의 탐지가 목적이 아니라 터널 주변의 전기비저항 분포의 파악이 목적인 경우에 터널에 의한 영향은 자료의 해석에 도움이 되지 못한다. 즉 터널의 공간적 위치와 물성을 이미 알고 있는 경우에는 오히려 터널의 유지관리에 필요한 터널 주변의 전기비저항 분포양상을 파악하는 것이 더 중요하다. 문제는 터널 주변부의 이상대에 의한 영향은 고비저항체인 터널에 의해서 영향을 받게 된다는 점이다. 특히 터널 주변의 지하수의 유동통로는 터널 자체는 물론 주변 매질보다 낮은 전기비저항을 보일 것이며, 이 경우에는 고비저항인 터널과 저비저항체인 지하수로 포화된 이상대의 영향이 서로 복합적으로 전기비저항 탐사결과에 반영될 것이다. 따라서 전기비저항 탐사의 분해능을 고려할 때 이의 분리에는 상당한 어려움이 예상된다. Fig. 3은 이러한 경우를 가정한 터널 모델이다. 즉 터널 좌측부에 극

단적으로 10 ohm-m의 저비저항을 갖은 지하수 포화대가 존재할 경우에 대한 전기비저항 탐사 결과를 나타낸 것이다. 물론 사용된 전극배열법은 전극간격 5 m인 쌍극자 배열법이다.

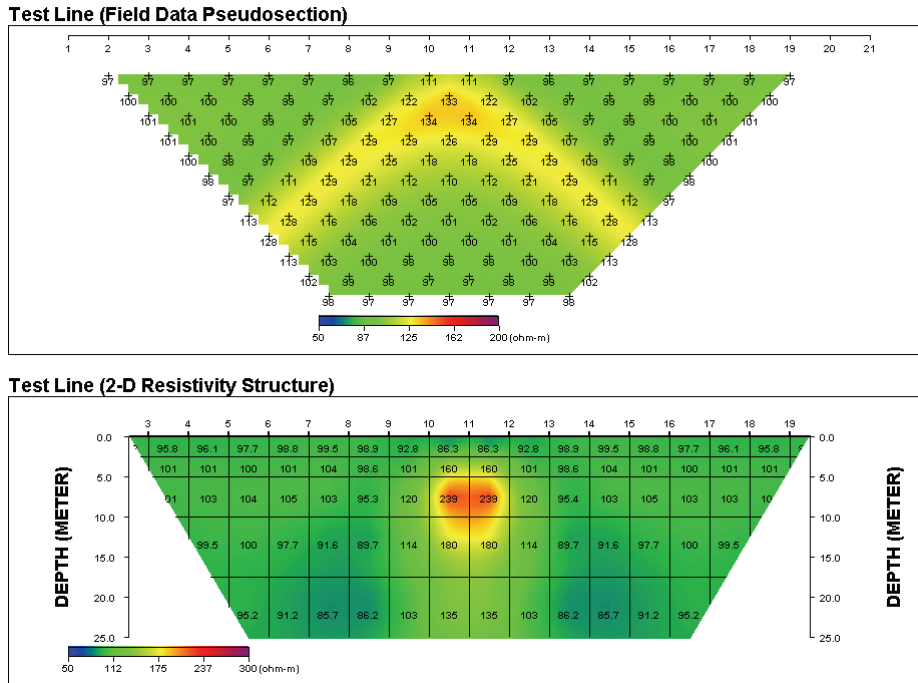


Fig. 2. Apparent resistivity pseudo-section and inverted resistivity for a tunnel.

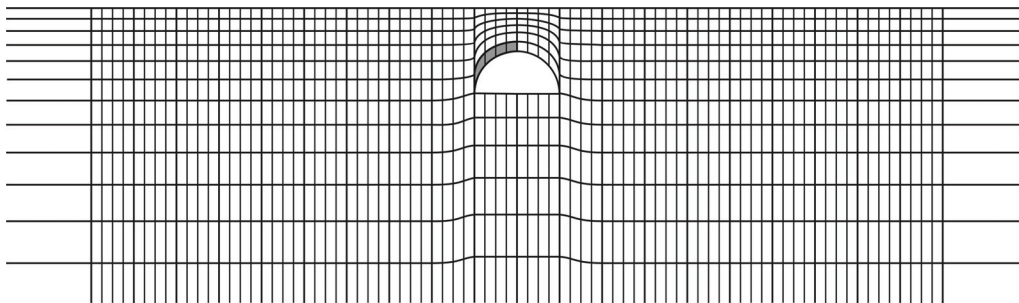


Fig. 3. Finite element mesh when the left part (shaded area) of a tunnel is saturated by groundwater.

Fig. 4는 Fig. 3의 모델에 대한 걸보기 비저항 단면도 및 역산 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3과 같이 모델이 복잡한 경우, 전문가라 해도 걸보기 비저항 가단면도만으로는 정확하게 지하구조를 파악하기 쉽지 않으며, 일반적으로 역산을 통하여 해석을 수행하게 된다. 그러나 Fig. 4의 역산결과에서도 지하수 포화대인 저비저항대와 터널을 나타내는 고비저항 이상대가 잘 나타나고 있으나, 그 위치가 상당히 왜곡되어 나타나고 있다. 여기서는 단순히 저비저항대가 터널의 좌측에 존재하는 모델을 가정하였지만 지하구조가 복잡해질수록 해석은 더 어려워질 것으로 예상된다.

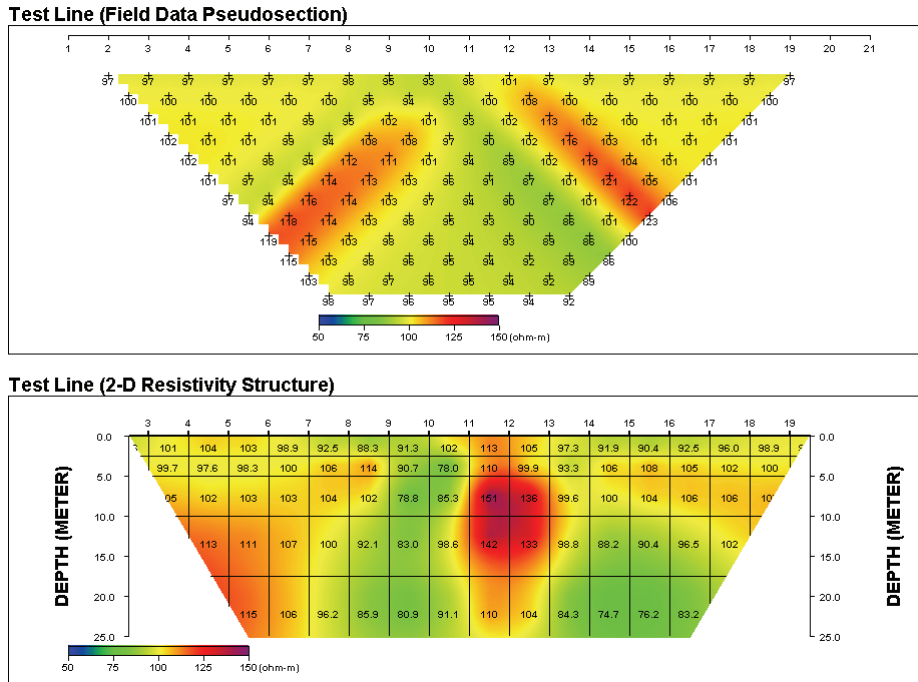


Fig. 4. Apparent resistivity pseudo-section and inverted resistivity section when the left part of a tunnel is saturated by groundwater.

3. 터널 영향의 보정

터널에 의한 전기비저항 탐사자료의 왜곡을 제거하기 위해서는 역산에도 터널을 포함시키는 것이 가장 바람직해 보인다. 하지만 터널 조사를 위하여 개발된 역산 프로그램이 없는 실정에서는 기존의 역산 프로그램을 사용해야 하며, 이 경우 터널에 의한 영향을 보정해 주는 방법을 생각해 볼 수 있다. 불과 수년전까지만 해도 지형의 기록이 심한 지역에서의 전기비저항 탐사자료의 역산 지형보정을 이용하여 이루어 졌다. 물론 최근에는 지형을 포함하는 역산 프로그램이 사용되어 이러한 문제점이 해결되었다. 여기서는 지형보정(Fox *et al.*, 1981; 박권규, 1994; 오석훈, 1994)의 경우와 유사하게 터널에 의한 탐사자료의 왜곡을 보정하는 방법을 제안한다. 터널 보정은 관측자료에 터널보정계수를 곱해줌으로써 수행되며, 이 때 터널보정계수는 균질 등방성 매질에 터널이 존재할 경우에 대해 모델링을 통해 얻어진 전기비저항 값(ρ_{tunnel})으로 균질 매질의 전기비저항(ρ_{true})를 나누어줌으로써 계산된다. 즉 다음과 같은 식으로 터널보정이 이루어진다.

$$\rho_{cor} = \rho_{obs} \frac{\rho_{true}}{\rho_{tunnel}} \quad (1)$$

(1)식에서 ρ_{obs} 는 관측된 겉보기 비저항, ρ_{cor} 는 터널보정이 이루어진 겉보기 비저항이다.

Fig. 5는 Fig. 3에 주어진 모델에 대한 결과에 대해 터널보정을 수행한 겉보기 비저항 가단도와 그 역산결과를 나타낸 것이다. 이미 터널의 영향이 보정된 상태이기 때문에 천부에 저비저항 이상체가 존재할 경우와 유사한 가단면도가 나타나고 있음

며, 역산 결과에도 저비저항 이상체가 잘 나타내고 있다.

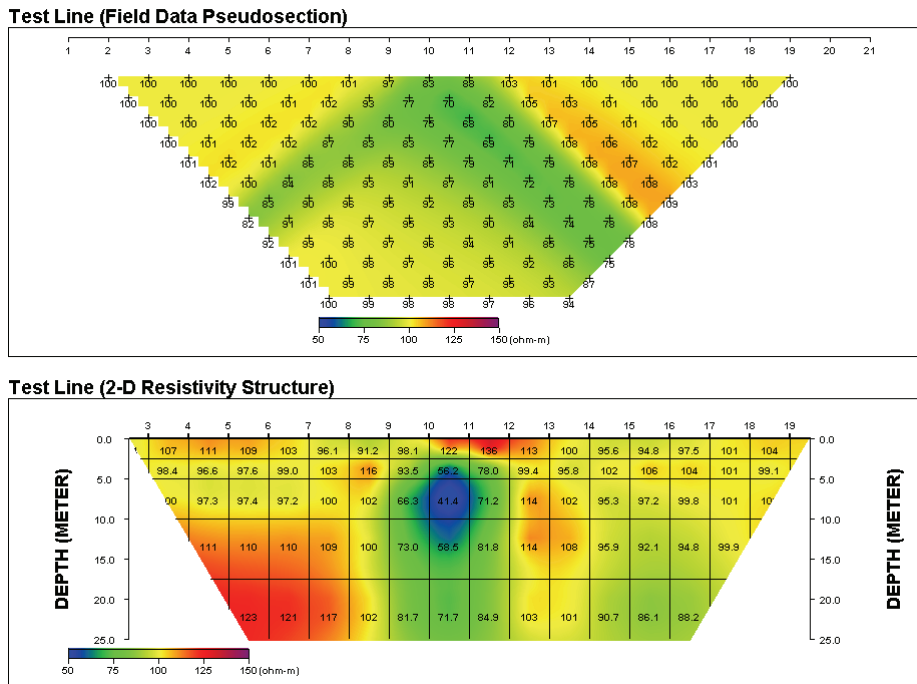


Fig. 5. Corrected apparent resistivity pseudo-section and inverted resistivity section when left part of tunnel is saturated by groundwater.

4. 결론

본 연구에서는 터널의 효과적인 유지관리를 위하여 터널상부에서 전기비저항 탐사를 수행할 경우 터널이 전기비저항 탐사 결과에 미치는 영향을 유한차분법에 의한 수치모델링 프로그램을 사용하여 분석하였다. 또한 지형보정기법의 원리를 이용하여 간단하게 터널보정기법을 개발하고 이를 이론자료에 적용하여 보았다. 터널보정은 보다 정확하게 터널 주변부의 전기비저항 분포양상을 파악할 수 있는 방법으로 생각되지만, 궁극적으로 터널을 포함한 역산법의 개발, 적용하는 것이 정밀한 자료 해석을 위해 필요한 것으로 판단된다. 특히 정밀한 해석을 요구하는 모니터링 자료의 경우에는 터널을 포함한 역산법을 사용해야만 보다 정량적인 해석이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 박권규, 1994, 유한요소법을 이용한 3차원 전기비저항 모델링 및 지형보정에 관한 연구, 공학석사 학위논문, 서울대학교,
 오석훈, 1994, 유한요소법을 이용한 2차원 전기탐사의 지형보정, 교육학 석사학위논문, 서울대학교.
 Coggon, J. H., 1971, Electromagnetic and electric modeling by finite element method, *Geophysics*, **36**, 132-155.

- Dey, A., and Morrison, H. F., 1979, Resistivity modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures, *Geophysical Prospecting*, **27**, 106-136.
- Fox, R. C., Hohmann, F. W., Killpack, T. J., and Rijo, L., 1980, Topographic effect in resistivity and induced-polarization surveys, *Geophysics*, **45**, 75-93.
- Hohmann, G. W., 1975, Three-dimensional induced polarization and electromagnetic modeling, *Geophysics*, **40**, 309-324.
- Pridmore, D. F., Hohmann, G. W., Ward, S. H., and Sill, W. R., 1981, An investigation on finite element modeling for electrical and electromagnetic data in three dimensions, *Geophysics*, **46**, 1009-1024.