

## 터널 탐지를 위한 전기비저항 토모그래피 응용 실험

이명종<sup>1)</sup>, 김정호<sup>1)</sup>, 조성준<sup>1)</sup>, Takao Kobayashi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>한국지질자원연구원 지반안전연구부, [muse@kigam.re.kr](mailto:muse@kigam.re.kr)

### Field experiment of ERT to detect a tunnel

Myeong-Jong Yi<sup>1)</sup>, Jung-Ho Kim<sup>1)</sup>, Seong-Jun Cho<sup>1)</sup> and Takao Kobayashi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Geotechnical Engineering Div., KIGAM

**Abstract:** Tunnel detection is known to be one of the challenging problems in geophysical society. Among various geophysical methods, we tried to examine the applicability of electrical resistivity tomography (ERT) method to detect empty tunnel. In this study, we analyzed the ERT data acquired at the test site for tunnel detection. The inversion results have shown reasonable image of the tunnel although the resolution is quite poor. Moreover, we could obtain the three-dimensional attitude of tunnel through 3-D ERT imaging. Therefore, we expect that ERT can make contribution to the tunnel detection problem and further research effort such as fusion of geophysical methods will provide more reliable tunnel detection capability.

**Keywords:** electrical resistivity tomography (ERT), tunnel, 3-D, imaging

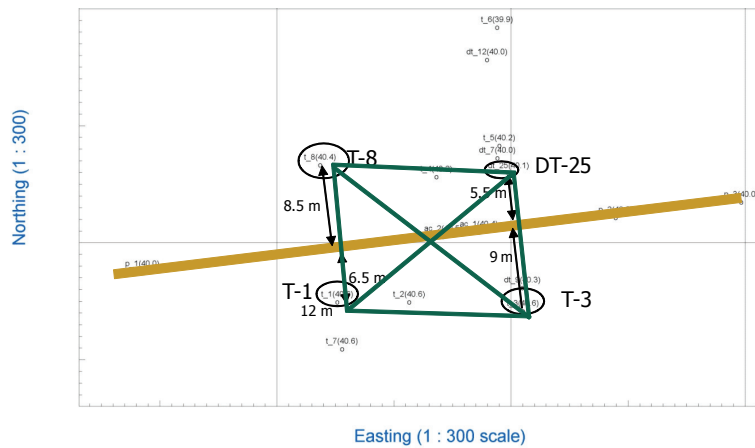
#### 1. 서론

전기비저항 토모그래피는 고분해능 지하 영상화 기술로서 국내에서 단층/파쇄대 영상화, 지하수 유동 조사, 그라우팅 보강효과 검증, 체체 안정성 조사, 지반 안정성 조사, 광상 탐사 등 다양한 분야에서 이용되고 있다. 최근에는 이와 같은 전기비저항 토모그래피를 이용하여 광산의 채굴갱도를 성공적으로 영상화한 결과가 보고된 바 있으며, 이는 조사지역의 전기적 이방성을 이용한 사례이다 (Kim et al., 2006). 이 연구에서는 이와 같은 지하 터널의 영상화 사례를 바탕으로 국내에 조성된 인공 터널 시험장에서 터널 내부가 비어 있는 터널의 영상화에 대한 현장 실험을 실시하고 획득한 탐사자료를 이용하여 터널 탐지를 위한 전기비저항 토모그래피 기술의 응용 가능성을 타진하였다.

#### 2. 실험 개요

실험 지역은 경기도 북쪽의 화강암 지역에 위치한 지하 터널 시험장으로 표고 기준으로 75 m 심도에 터널이 위치하고 있으며, 터널 주위에 6인치 시추공이 다수 존재하고 있다. Fig. 1에 이 지역 터널의 위치와 시추공의 배치를 나타내었다. 이 지역에서는 시추공 DT-25, T-3, T-1, T-8의 4개 시추공으로 이루어진 직사각형 영역을 대상으로 실험 탐사를 실시하여 총 6개의 단면에 걸쳐 전기비저항 토모그래피 탐사자료를 획득하였다. 터널이 심도 약 75 m 에 위치하므로 전기비저항 토모그래피 탐사의 자료획득은 심도 42 m ~ 100 m 구간에 걸쳐 이루어 졌으며, 전극 간격은 2 m

로 하여 총 60개씩의 전극을 각 시추공에 배열하였다. 탐사자료의 획득은 단극-쌍극자 배열을 이용하였으며 이때 쌍극자 간격은 4 m 로 하였고 동일 시추공 탐사와 시추공간 탐사자료를 모두 획득하였다. 사용 전극 배열이 단극-쌍극자배열이므로 시추공간 탐사에서는 송수신 전극이 위치하는 시추공을 바꾸어 2가지의 시추공간 탐사자료를 획득하였다. 획득한 탐사자료는 2차원 전기비저항 토모그래피 해석 소프트웨어인 TomoDC를 이용하여 자료편집 및 2차원 해석을 실시하였고, 조사지역 시추공의 공극변화를 3차원적으로 고려하여 역산을 수행하여 공극변화의 영향에 대한 검토를 수행하였다. 또한 최종적으로는 3차원 전기비저항 토모그래피 영상화(Yi et al., 2006)를 수행하여 3차원적으로 발달하는 터널의 영상화 가능성을 타진하였다.



**Fig. 1.** Layout of boreholes for the field experiment of ERT to detect underground tunnel. Four boreholes are used to acquire ERT data over six sections.

### 3. 실험 결과

Fig. 2는 Fig. 1의 시추공 DT-25와 T-3을 연결한 단면에서 획득한 전기비저항 토모그래피 영상을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 대부분 영역의 전기비저항은 매우 높은 값을 보이고 있어 신선한 화강암 지역임을 말하여 주고 있다. 심도 75 m 부근에는 주변의 전기비저항에 비하여 매우 높은 고비저항대가 보이고 있으며, 이는 터널의 관통 심도와 일치하고 있다. 이와 같은 고비저항 이상대의 영상을 검토하고자 기존에 이 지역에서 수행된 레이더 토모그래피 결과를 (b)에 도시하였으며 (조성준 등, 2006), 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 두 영상이 터널에 대한 공간적 분포를 잘 보여주고 있다.

그림에서 (a)의 경우 시추공간 거리가 14.8 m에 불과하여 비교적 이상체가 두 시추공에 근접하여 있다고 할 수 있으며, 이에 따라 터널에 대한 영상을 어느 정도 확인할 수 있는 것으로 보인다. 이에 비하여 (c)에 나타난 시추공 T-3와 T-8을 연결하는 단면에서는 두 단면 사이에 터널이 위치함에도 불구하고 터널에 대응하는 영상을 거의 보여주지 못하고 있으며 이는 시추공간 간격이 26.7 m에 달하여 단면 사이에 존재하는 고비저항 이상대를 영상화할 수 있을 정도의 분해능이 확보되지 못하였기 때문으로 해석된다.

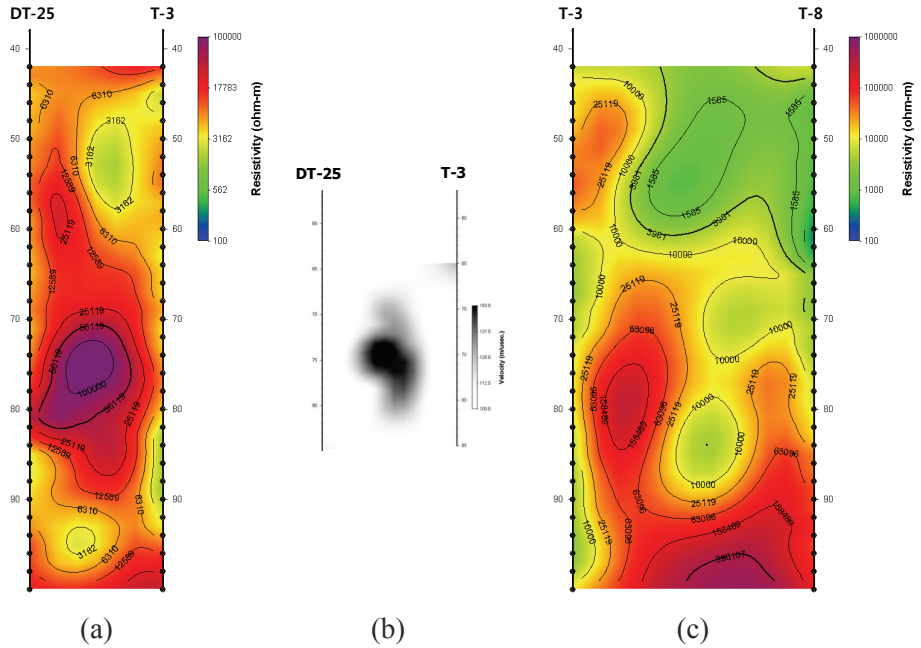


Fig. 2. Comparison of tomograms obtained at the test site for the tunnel detection. (a) 2-D ERT image for the section DT-25-T-3 (b) Radar velocity tomogram for the section DT-25-T-3. (c) 2-D ERT image for the section T-3-T-8.

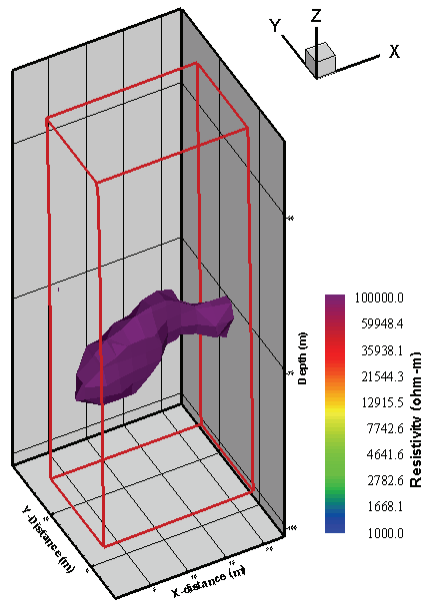


Fig. 3. 3-D iso volume ERT image of subsurface. Very high resistivity region is well connected with the similar location of known tunnel.

전기비저항 토모그래피는 과거의 전파를 이용하는 타 토모그래피 탐사법에 비하여 분해능이 낮으나 수직구조를 효과적으로 영상화할 수 있다는 점과 경제적으로 3차원 지하 영상을 획득할 수 있다는 강점을 가지고 있다. 이 연구에서는 Fig. 1의 6단면에서 획득한 탐사자료를 이용하여 3차원 전기비저항 토모그래피 영상화를 수행하였으며, Fig. 3에 전체 영상에서 매우 높은 전기비저항을 나타내는 부분을 영상으로

나타내었다. 그림에는 고비저항대의 발달 양상이 터널의 발달 형태와 잘 일치하고 있다. 2차원 해석결과에서 단면 DT-25-T-3과 T-8-T-1에서 터널의 영상이 나타남에 비하여 여타 단면에서는 영상화할 수 없음을 비하여, 3차원 해석을 통하여 비교적 실제 현황에 가까운 타당성 있는 터널의 발달을 영상화할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 3차원 영상화를 통하여 터널의 공간적 분포를 밝힘으로써 비교적 향상된 터널 탐지능력을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 토론 및 결론

터널을 탐지하기 위한 전기비저항 토모그래피의 응용은 터널이 비어 있는 경우 고비저항 이상이 탐사대상이기 때문에 매우 어려운 응용 분야라고 할 수 있다. 터널의 탐지능은 이상대의 물리적 특성, 시추공으로부터의 거리, 이상대의 크기 등 여러 가지 요인에 의하여 변화하며, 따라서 조사의 수행이전에 이런 부분에 대한 고찰이 선행되어야 할 것이다. 실험지역의 전반적인 전기비저항은 상당히 높아 물성 대비 측면에서 불리한 것으로 보이며, 터널의 크기가 2 m × 2 m로 상당히 작은 이상체라고 할 수 있다. 이에 비하여 이상체의 위치는 Fig. 2(a)의 경우 시추공으로부터 6 ~ 8 m로 비교적 가깝게 위치하고 있으나 2.5차원 수치 모델링 실험 결과에 의하면 이와 같은 이상체 위치 또한 그 반응이 미약하여 탐지가 어려운 것으로 파악되었다. 따라서 비록 이 실험에서 터널의 반응으로 보이는 고비저항 이상대를 영상화함으로써 터널 탐지를 위한 전기비저항 토모그래피의 응용 가능성을 보였으나 이 자체가 전기비저항 토모그래피를 이용한 터널 탐지의 효율성을 입증하는 것으로 보기는 어려운 것으로 판단된다. 다만 이 실험에서 3차원 영상화를 통하여 터널의 진행 방향에 대한 영상을 획득할 수 있었다는 점에서 향후 터널탐지에 유용한 탐사법들과의 융복합 해석을 통하여 터널의 탐지 능력을 높일 수 있을 것으로 보이며, 궁극적으로 효율적인 3차원 지하터널 영상화 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원 전문연구사업인 ‘지하 정밀 영상화 융합기술 개발’ 과제의 일환으로 수행되었다.

#### 참고문헌

- 조성준, 김정호, 김창렬, 손정술, 성낙훈, 2006, 시추공 레이더 탐사에 의한 지하 터널 탐지 적용성 연구, 물리탐사, **9**, 279-290
- Kim, J.-H., Yi, M.-J., Cho, S.-J., Son, J.-S., and Song, W.-K., 2006, Anisotropic crosshole resistivity tomography for ground safety analysis of a high-storied building over an abandoned mine, *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, **11**, 225-235.
- Yi, M.-J., Kim, J.-H., Song, Y., 2006, Application of 3D resistivity tomography to delineate subsurface structures, *Exploration Geophysics*, **37**, 268-278.