

전기적 잡음이 심한 지역에서 지표-시추공 복합배열 탄성파탐사에 의한 암반등급 산정

Rock Mass Classification by Surface-borehole Hybrid Array Seismic Refraction Tomography in the Region of Serious Electrical Noises

김예련* 사상호* 남순성* 조철현** 차영호** 박종범*** 신경진***
Kim, Ye Ryun Sha, Sang Ho Jo, Nam, Soon Sung Jo, Cheol Hyun Cha, Young Ho Park, Jong Bum Shin, Kyung Jin

ABSTRACT

Rock mass classification by using electrical resistivity tomography(ERT) method is widely performed for the determination of rock support type in tunnel design. In the region of high electrical noise level, however, the result of the ERT will have many erroneous features. In this study, the back ground electrical noise had been measured to find out the reason why the results of ERT in this area did not agree to the expected geology confirmed by boreholes. In order to overcome this limitation of ERT, a hybrid surface-borehole array seismic refraction tomography had been followed. Using this technique, we could get P-wave velocity section including the depth level of tunnel. The comparison of the P-wave velocity and RMR shows fairly good statistical relationship to make it possible to set up the rock mass classification for the entire tunnel line.

1. 서론

근래에 들어서 터널설계시 전기비저항탐사에 의한 암반등급 산정이 통상적으로 수행되고 있다. 그러나 예정 노선 근처에 전도성 지하시설물이 설치되어 있거나 노선에 평행하게 전선주가 배열되어 있는 경우 전기비저항 탐사의 결과는 신뢰성을 크게 잃게 된다.

본 연구에서는 노선을 따라 전선주가 위치하는 지역에서 전기비저항탐사결과가 실제 시추에 의해 확인된 지질조건과 상이하게 나타나는 현상의 원인을 추적하기 위해, 배경전기잡음에 대하여 살펴 보기로 한다. 배경전기잡음의 영향이 지대한 경우 전기탐사보다 전기적 잡음의 영향이 적은 탄성파탐사를 고려한다. 이때 시추공을 이용한 배열을 채택함으로써 일반 지표굴절법탄성파탐사로는 달성하기 어려운 심부(터널예정심도)에서 탄성파 속도변화 양상을 구하고자 한다. 복합배열 탄성파탐사에 의해 얻어진 탄성파속도와 시추코어로부터 구한 RMR 과의 상관관계를 분석하고 이를 이용하여 터널 전 구간에 대한 암반등급을 산정하고자 한다.

* (주)EJtech 토목설계부 대리 * (주)EJtech 토목설계부 상무이사 * (주)EJtech 토목설계부 대표이사

** 지하정보기술 대표이사, 경희원 ** 지하정보기술 차장

*** (주)대림산업 토목사업부 TK팀 차장 *** (주)대림산업 토목사업부 TK팀 과장

2. 전기적 잡음이 전기비저항탐사 해석시 미치는 영향 분석

전기비저항탐사자료 역산기법의 고도화에 따라 근래에는 전기비저항도모그래피(electrical resistivity tomography; ERT) 기법의 적용이 보편화되고 있으며, 2차원 ERT 탐사가 일반적인 지질조건에서 지표곡면 및 탐사보다 과채대, 중채대, 단층 등 연차 부위에 대한 탐지 능력이 뛰어나며 확인된 후 대부분의 파산선계에서 2D ERT 결과와 RMR은 비슷한 입방중첩과의 관계식에 기반한 양분등산 선형 방식이 널리 활용되고 있다. 그러나 전역승산선에서 발생하는 접지전류 및 유도전차장, 도심지에서 여러 원인과 같이 지하에 매설된 전도성 물체 등 여러 전기적 잡음(정지민 등, 2001) 및 제약 조건에 대한 취약성 등은 고려한 ERT의 한계 또한 인식되어야 할 것이다.

본 연구에서는 부산 인근 지역에서 도로터널의 선계를 위한 지표탐사의 원천으로 통상적인 2D ERT 탐사를 수행하였다. 대상지역의 지질은 서쪽부에서는 화강암류가 분포하며 중심부에서는 화강암류의 관입으로 접촉면 상작용을 받아 호른쎄스화위 퇴적암류(이천리층)가 분포하고 있다. 또한 터널 중점부에서는 안산암질 용암류, 용회암류, 각암암류의 호층을 이루는 안산암질 화산암류 복합체가 분포하고 있다. 지표지진조사에 의한 예상지점 중년면은 그림1에 나타낸 바와 같다. 기본 탐사배열은 쌍극자-쌍극자 배열이었으며 가탐심도와 분해능을 고려하여 전극간격은 10, 20, 40m 로 변화하면서 측정하였다. 측정고도도 예상도선과의 고도차이가 150m 이상이 되는 범위에서는 쌍극자-쌍극자 배열의 신호대잡음비가 급격히 떨어진 것을 고려하여 동일조건에서 신호대잡음비가 상대적으로 양호한 일반화면 습암비저항탐사법(Lake, 2000; 김정호 등, 2001)(그림5)을 채택하여 추가적인 정보를 보완하였다. 또한 고출력 전기비저항탐사장비를 사용하여 신호대 잡음비를 향상시키려 노력하였다. 그럼에도 해석결과와 시추결과와는 통상의 물리적 장치를 벗어난 매우 현격한 차이를 보이는 것이었다(그림2). 이러한 원인을 밝히기 위해 시추공 대차용 측정 및 공내전기비저항 측정을 실시한 결과 두 지점에서 동일한 경향의 전기비저항 분포를 보이는 것으로 볼때 전기비저항 탐사 분석시 양층에 의한 영향은 없을 것으로 판단되며, 자성 광물의 함량이 낮아 이에 따른 영향도 없을 것으로 판단된다(그림 3, 4). 따라서 불완한 측정자료의 원인으로 예상되는 조건은 노선 중심에서 측선과 근접하여 거의 평행하게 위치하는 관성주의 접지 전류와 측정케이블과의 전자기적 커플링이었다(그림5).



그림1. Geologic section of syver area



그림2. 노선 중앙부의 시추결과와 전기비저항탐사결과가 불일치하는 구간

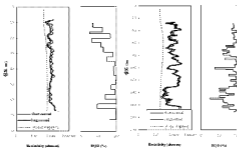


그림3. 불완한 분포를 보이는 비저항 분포

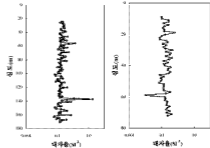


그림4. 낮은 자성광물의 함량 분포

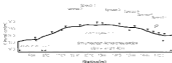


그림5. 본 밤사에 적용된 다양한 전극배열

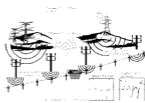


그림6. 전기비저항탐사 자료에 미치는 전자기적 잡음



그림7. PXI를 이용한 전자기적 잡음 측정기기



그림8. 탐사측선도

검지전류의 영향을 정량적으로 살펴보기 위하여 정지민 등(2004)의 측정시스템과 유사한 측정장비(그림7)를 구성하여 배경전위를 측정하였다(그림8). 측정 결과는 그림9에 나타내었다. 측정기준점은 노선의 방향에서 횡으로 200m 이상 이격된 지점이다. 측정된 잡음은 60Hz의 주파수 성분을 보이고 있어 전선의 영향임을 알 수 있었다. 측정기체와 가까운 지점(point A)과 상대적으로 이격된 지점(point B) 모두에서 약 0.1V 이상의 배경전위를 보이고 있다. 이는 전기비저항탐사에서 통상적으로 측정되는 단위적인 수 mV의 범위를 훨씬 넘어서는 잡음 수준이다. 전기탐사경비에는 이러한 상용전원의 영향을 배제시킬 수 있는 필터와 측정방식을 채택한다고 되어 있으나 이러한 기법도 S/N 비가 높은 얇은 심도에서만 제대로 작동할 뿐 S/N 이 낮아지는 심부로 갈수록 그 효과가 떨어질 것으로 예상된다.

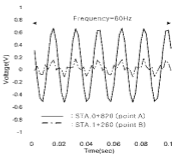


그림9. point A, and B 지점에서 측정된 전기 잡음

이상에서 측선과 근접하여 나란한 전선주에 의한 전기적 잡음은 일반적인 전기비저항탐사기법과 장비로는 극복하기 어려운 수준임을 알 수 있었으며, 이를 고려치 않고 해석한 결과는 실제 지질상황을 복합하게 파악해 줄 수 없음을 알 수 있었다.

3. 암반등급 선정

3.1 지표-시추공 복합배열 탄성파탐사의 적용

지표탄성파굴절법탐사는 ERT 수준의 고해상 전기비저항탐사 자료 역산기법이 일반화 되기 이전까지 터널설계시 채택되는 물리탐사법이였다. 이는 탄성파속도가 전기비저항탐사보다 암반의 역학적 특성과 더 긴밀한 관계가 지니고 있기 때문이다. 그러나 지표굴절법탐사는 심도에 따라 속도가 증가되는 모델만 가능하여 액지니이링 목적으로 사용되는 저에너지 유원(해머, 중추타하, 시추공을 사용하지 않는 화약발파)으로는 가탐심도가 수십 m에 머무르기 때문에 터널설계에 적용하기에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로 터널설계시 전공되는 깊은 심도의 시추공을 이용하는 탄성파탐사가 활용되고 있다. 장심도 시추공을 이용하면 지표발파-지표수신, 지표발파-시추공수신, 시추공발파-지표수신, 시추공발파-시추공수신 등의 다양한 송-수신 배열의 조합을 통해 심도에 제한되지 않은 속도단면을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 총 120채널의 탄성파측정기와 72개의 지오폰, 3 종류의 하이드론폰 레이어를 사용하여 지표-시추공 복합배열 탄성파탐사를 수행하였다. 그림10에 자료축적 배열도를 나타내었다. 사용된 탄성파측정장비를 이용하여 배열된 수평 수신의 1회 전개거리는 약 700m 이며 약 200m 정도를 중복시키면서 이동하여 자료피득을 수행하였다. 지표송신시 화약량은 200~500g 이었으며 발파간격은 50m 이었다. 화약발파의 효율을 높이기 위해 발파점은 1m 이상 순차하도록 하였다.

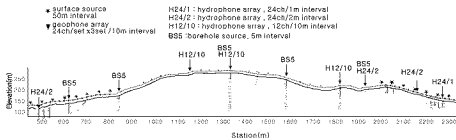


그림10. 지표-시추공 복합배열 탄성파도모그래피 탐사시 수행된 송수신 배열도

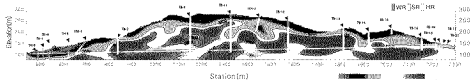


그림11. 탄성파도모그래피탐사 결과 자료 분석에 의한 탄성파 P와 단면도

자료처리결과를 그림11에 나타내었다. 전기적 잡음이 심한 노선 중앙부를 제외하고는 전기비저항탐사단면과 일치하는 경향을 보이고 있어 양 탐사방법의 신뢰성을 인정할 수 있었다. 노선 중앙부에서는 전기비저항탐사결과에서 저비저항대가 널리 나타나는 것과는 달리 시추결과와 상응하는 속도 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.2 암반등급의 결정

그림12에 시추공에 기반하여 작성된 RMR (rock mass rating)과 동일 시추공에서 계산된 P파속도의 관계를 나타내었다. 높은 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있으며, 따라서 이에 기반한 터널 전 구간에 대한 암반분류 작업이 가능하였다. 그림13에 P파속도에 기반한 암반분류를 제시하여 놓았다.

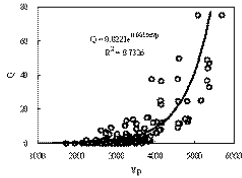


그림12. Q와 P파속도와 관계

암반등급	RMR	Q	Vp (km/sec)
I	81~100	42.18이상	5.033이상
II	61~80	5.62~42.18	3.689~5.033
III	41~60	0.75~5.62	2.340~3.689
IV	21~40	0.10~0.75	1.004~2.340
V	20이하	0.10이하	-

표1. 암반등급에 따른 Q와 P파 속도

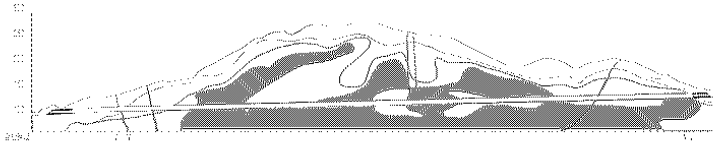


그림13. P파속도와 Q 관계에 기반한 암반 지보매턴 선정

4. 결론

전기비저항 측선노선에 근접하여 전선수가 평행하게 위치하는 지역에서 전기비저항탐사를 수행한 결과 시추 및 지표지질조사 등 여타 조사와 큰 차이를 보였다. 이러한 원인을 파악하기 위해서 배경전위를 측정한 결과, 전선수를 지나는 전선과 전기비저항탐사 전선과의 전자기적 커플링 등에 의해 발생된 것으로 파악되는 전기적 잡음이 존재함을 확인하였다. 이는 전기비저항탐사결과에 지대한 영향을 미칠 수 있는 매우 큰 규모로서 이러한 잡음은 전기비저항탐사기에 내장되어 있는 잡음제거기법이나, 출력의 증대, 전극배열의 변화 등으로는 극복할 수 없는 수준이었다.

이러한 전기비저항탐사 적용성의 한계를 극복하기 위해 장심도 시추공을 이용하는 지표-시추공 복합배열 탄성파탐사를 수행하였다. 이는 시추공간 탄성파도모그래피 탐사의 공간적인 확장으로 간주할 수 있어 터널 심도에서도 속도분포를 파악해 낼 수 있었다. P파속도와 RMR 사이에도 비교적 높은 상관관계를 지니고 있음을 확인하였으며 이로부터 전구간에 대한 암반등급 선정이 가능하였다.

따라서 전기적 잡음이 존재할 것으로 예상되는 지역과 강도와 전기비저항과의 낮은 상관관계를 보이는 지질 조건에서는 다수의 장심도 시추공을 이용하는 지표-시추공 복합배열 탄성파탐사가 우선 고려되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 탐사자료 측정, 처리, 해석에 도움을 준 지하정보기술(주)의 이상균, 이효진님 및 지반의 공학적 특성 자료 분석에 도움을 주신 (주)이제이텍의 이견님에게 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- 김정호, 이명중, 송운호, 정승환 (2001), "2차원 전기비저항 탐사를 위한 전극배열법의 비교", 한국자원공학회지, 제38권, pp116-129.
- 정지민, 조상준, 김경호, 송영수 (2004), "전선의 전자기유도 현상에 의한 신호 왜곡", 물리탐사, 제7권, pp251-255
- Loke, M.H. (2000), "Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies - A practical guide to 2-D and 3-D surveys", Geotomo Software tutorial note(www.geoelectrical.com)