

해안지역에서 단일 시추공을 이용한 전기비저항 탐사 적용 사례



송 성 호

농업기반공사 농어촌연구원 책임연구원

1. 서 론

지표 및 시추공에서 전기비저항이라는 지하매질의 물리적인 특성을 측정하여 지하매질의 암반상태 및 층서구조 등을 규명하는 전기비저항탐사 기법은 1980년대 이후 지하수 조사와 관련하여 활발히 진행되고 있으며, 자원탐사 외에 토목분야 및 환경분야 등에서 그 영역을 넓혀가고 있다. 그 중 해수침투와 관련하여 해수침투 확산 예측기술 개발 및 광역 해수침투 가능 분포도를 작성하는데 전기비저항탐사법이 유용하게 쓰이고 있다.

본 연구사례는 현재 농어촌연구원에서 농림부와 공동으로 수행중인 해수침투조사사업의 일환으로 현재 해안 및 도서 지역에 연차적으로 설치하는 관측망을 대상으로 한 결과로, 이 사례연구에서는 바닷가에 인접하게 설치한 시추공의 경우 시추공을 포함한 지표 전기비저항탐사의 경우 전극설치가 불가능한 점을 극복하기 위하여 단일 시추공을 이용한 전기비저항탐사법을 제안코자 한다.

사례지역은 전라북도 김제시의 관측망 설치 지역으로, 지표지질조사, 간이수질조사, 지하수위 조사, GPS 측위 및 지표 전기비저항탐사 등의 기초현장조사를 실시하여 관측망 주변의 수리지질 특성을 파악하였는데, 이들 지역은 해안에 인접해 있어 지표 전기비저항탐사법인 쌍극자(dipole-dipole) 배열법이나 슬럼버져(Schlumberger) 배열법 등의 측선 설정이 매우 불리한 지형이다. 따라서 관측정을 포함하는 주변 지역의 전기비저항 특성을 파악하기 위해서 시추공 전기비저항 토모그래피를 추가하였는데, 단일 시추공일 경우는 본 연구사례에서 제시한 시추공-지표간 토모그래피의 적용이 바람직한 것으로 밝혀졌다.

2. 본 론

가. 전기비저항 토모그래피 (ERT:Electrical Resistivity Tomography)

지금까지의 전기비저항탐사는 지표에서 수행하는 2차원 탐사 또는 수직탐사 등이 대부분이었지만, 최근에는 고해상도 지하 영상화 수요의 증가 추세에 맞추어 시추공을 이용 지오토모그래피의 원리를 접목한 전기비저항 토모그래피가 사용되는 추세이다. 본 탐사법의 원리는 하나의 시추공에 송신원인 전류전극을 위치시키고 다른 시추공이나 지표에 수신점인 전위전극을 이동시키면서 지하매질의 전기전도도의 함수인 전위를 측정하는 방식이다.

탄성파나 레이더 토모그래피와 같이 파동의 전파 현상을 이용하는 경우에는 시추공간(crosshole) 또는 시추공-지표간(hole-to-surface)탐사로서 충분하지만, 전기비저항 토모그래피에서는 전극이 위치한 부분에서 멀어짐에 따라 분해능이 급격하게 감

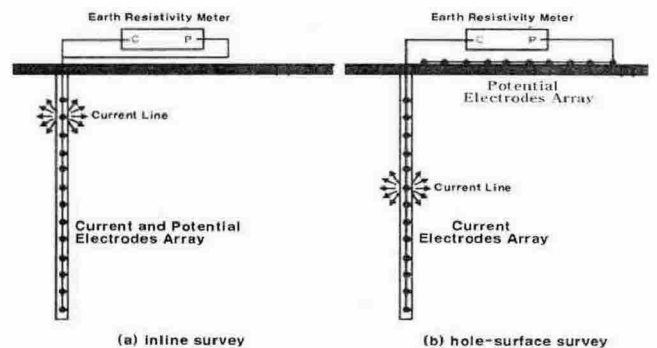


그림 1 시추공 전기비저항 토모그래피 탐사 개념도

소하므로 전류전극과 전위전극이 동일한 시추공에 위치하는 동일 시추공(in-line) 탐사가 필수적이다. 따라서 전기비저항 토모그래피를 수행하기 위해서는 시추공간, 시추공-지표간 그리고 동일 시추공 탐사 등을 함께 수행하는 것이 바람직하다(그림 1).

전기비저항 탐사는 파동장을 이용하는 탄성과 및 레이더 탐사 비해 근본적인 해상도의 한계를 갖지만 기본 이론이 간단하여 대상단면의 영상화에 있어서 더 정확한 계산방법을 동원할 수 있는 장점이 있다. 즉 전기비저항 토모그래피는 근사적 해법이 아닌 정확한 역산(inversion)기법을 동원하여 측정자료로부터 지하 구조의 영상을 구해내는 것이 가능하다. 전기비저항 토모그래피에서 이용되는 가정은 측정간격, 즉 전류 또는 전위전극의 간격 내에서는 지하매질의 전기전도도가 일정하다는 가정이다.

그림 2는 시추공-지표간 전기비저항 토모그래피에서 송신원인 전류전극의 쌍과 수신점인 전위전극 사이의 탐사용 파선경로를 나타낸 것으로, 시추공의 경우 전기비저항탐사가 불가능한 케이싱의 깊이가 25m로 케이싱으로부터 각 지표 전극까지의 깊이

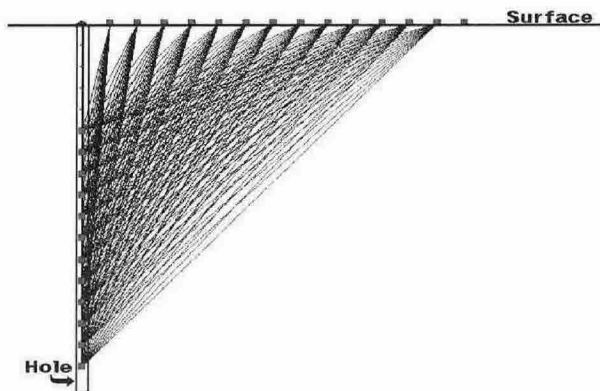


그림 2 단일 시추공 전기비저항 토모그래피 파선도

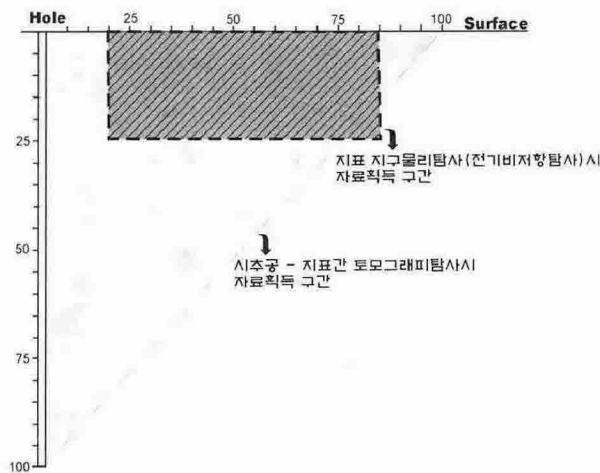


그림 3 지표 전기비저항탐사와 시추공 토모그래피 탐사에서 획득한 결과 비교

구간에서 파선의 밀도가 낮아지므로 해상도가 낮아지는 단점이 나타난다.

그림 3은 케이싱 구간으로부터 발생하는 측정자료의 부족을 보완하기 위하여 지표 전기비저항탐사를 병행한 경우로, 관측정이 위치한 지역에서 지표 전기비저항탐사와 시추공-지표간 전기비저항 토모그래피 시 획득되는 자료로 구현할 수 있는 단면을 나타낸 것이다. 지표 전기비저항탐사의 경우 관측정에 1번 전극을 위치시키고 쌍극자 배열을 이용 전극간격 5m, n=8 까지의 자료를 획득할 경우 영상화가 가능한 단면이며, 전기비저항 토모그래피의 경우는 시추공과 지표의 전극간격을 5m로 했을 때 시추공-지표간 토모그래피와 동일 시추공탐사를 통해 영상화 가능한 구간이다.

나. 적용 사례

(1) 연구지역의 지형 및 지질

사례지역은 전라북도 김제시 죽산면 대창리 일대로서, 이 지역은 김제 평야가 발달한 평야지역에 속하는 지형으로 서쪽으로 서해 바다와 접하고 있다(그림 4). 분포지질은 지표에서부터 25m까지 진흙층, 모래층, 실트층 등이 존재하고 있으며 이후 기반암인 화강암이 나타나고 있다.

탐사여건으로는 관측정이 위치한 곳으로부터 동쪽으로 100여m 지점에 바다와 논이 경계부인 높이 3m정도의 방조제가 위치하고 있으며 관측정의 서쪽으로는 30m 지점에 아스팔트로 포장된 도로가 있어 전기비저항 토모그래피와 지표 전기비저항탐사를 위한 지표상의 측선은 관측정으로부터 동쪽으로 95m까지 설정하였다.

(2) 단일 시추공 전기비저항 탐사 결과

본 사례연구에서 전극 간격은 시추공과 지표 모두 5m로 하였

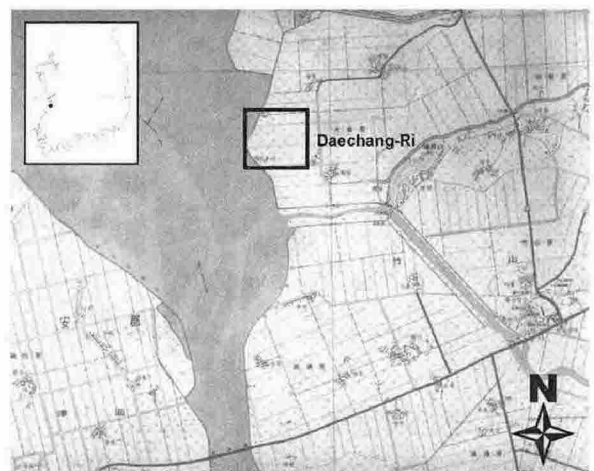


그림 4 사례지구 위치도

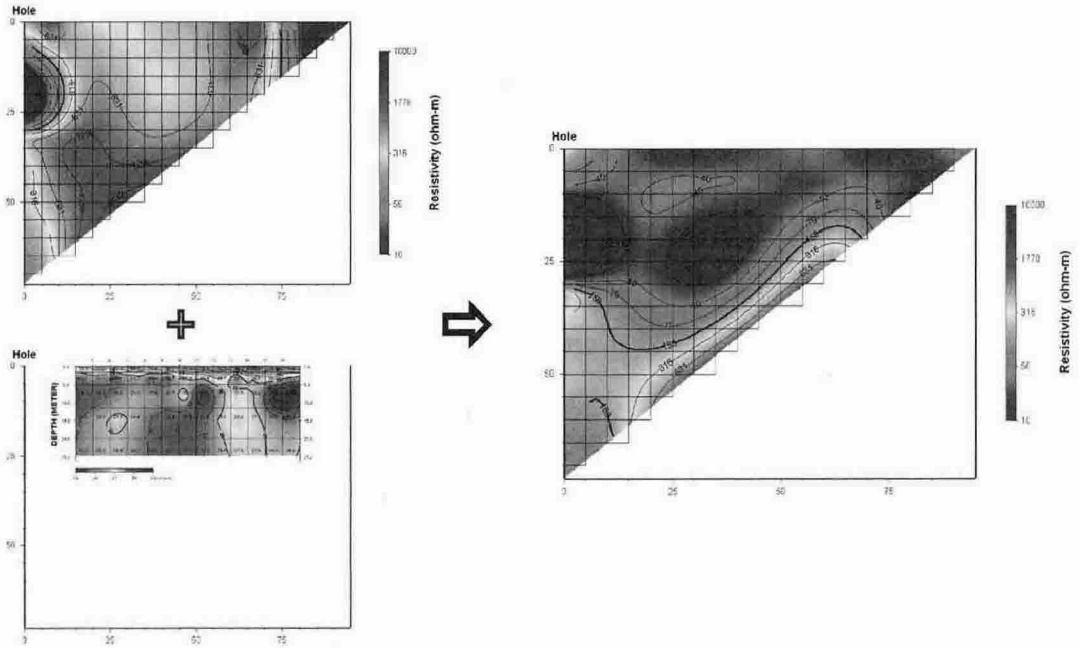


그림 5 지표 전기비저항탐사와 시추공 토모그래피 탐사 결과의 복합 역산도

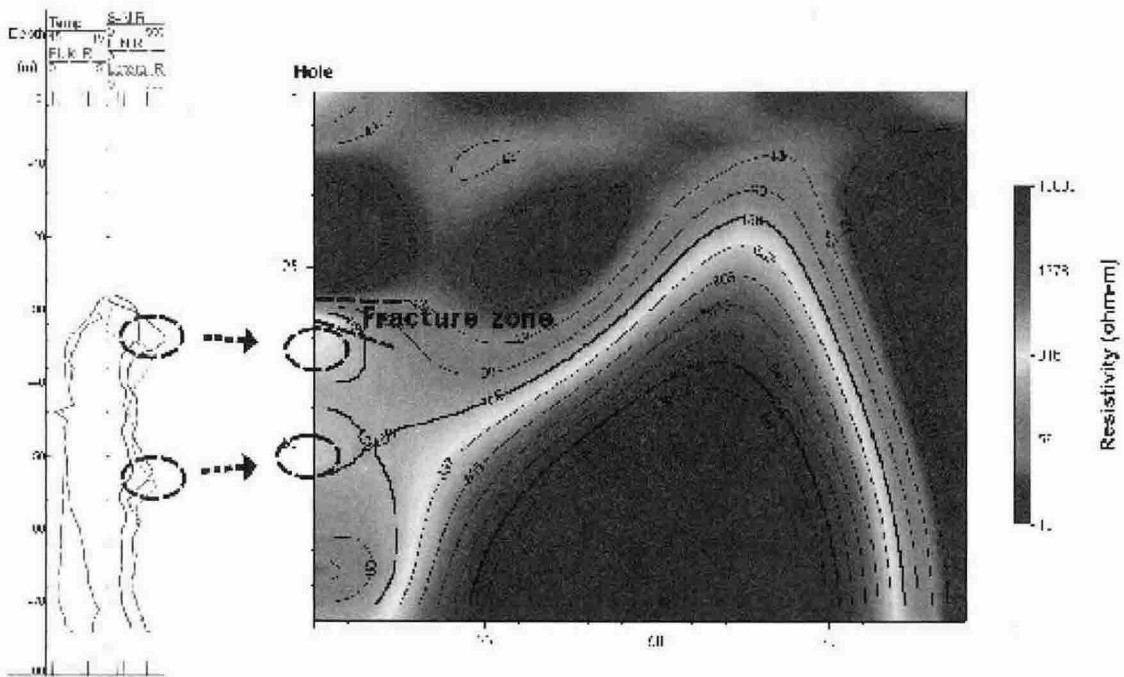


그림 6 복합 역산결과와 검층자료를 이용한 대비결과

으며, 시추공에서 케이싱 구간은 측정에서 제외하였다. 자료 편집과정에서는 전극이 주변 매질보다 전기전도도가 높은 공내수에 위치하기 때문에 발생하는 시추공 효과를 줄이기 위해 시추공 효과가 발생하는 n=1,2 자료는 가급적 제거하였다.

그림 5는 시추공-지표간 전기비저항 토모그래피 결과와 지표 전기비저항 탐사의 결과를 이용한 복합역산 (joint inversion)의 결과를 영상화한 결과이다. 시추공-지표간 전기비저항 토모

그래피 만들 수행한 결과 나타나는 문제점은 시추공에서 멀어질수록 해상도가 급격히 떨어져 마치 매우 낮은 전기비저항대가 형성되고 있는 것처럼 나타나지만, 지표 전기비저항 탐사 결과를 추가하여 복합역산 한 결과 이와 같은 문제점이 해소되었으며, 상대적으로 높은 해상도의 전기비저항 분포 단면을 보여준다.

그림 6은 그림 5의 결과와 온도검층과 전기비저항 검층 (Fluid, Short normal, Long normal, Lateral logging) 결

과를 대비한 최종 단면을 나타낸 것으로, 35m와 52m 지점의 고비저항대가 비교적 잘 일치하고 있으며 전기비저항 단면상에서 파쇄대 등의 연약대로 의심되었던 구간인 28~32m 구간이 시추조사 결과의 파쇄대 구간과 일치한 것으로 나타났다.

3. 결 론

사례지구에 대하여 복합역산한 전기비저항 토모그래피 탐사와 검층자료를 비교한 결과 35m와 52m 지점의 고비저항대 심도와 전기비저항값의 분포인 50~400 ohm-m가 비교적 잘 일치하였으며, 시추공-지표간 전기비저항 토모그래피만을 이용한 경우와 비교하여 지표부근의 해상도가 향상됨을 알 수 있었다. 따라서 김제시 죽산면 대창리에 위치하고 있는 관측정은 공내수의 전기전도도가 1,000~9,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 주변 암반 및 표토층의 전기비저항은 50~400 ohm-m로 지하수가 해수에 영향을 받고 있으

며, 주변의 지질 역시 낮은 전기비저항 분포로 해수의 영향을 받고 있는 지역으로 여겨진다. 본 사례연구 결과에서는 복합역산한 전기비저항 토모그래피가 시추공 주변과 지표 부근에서 고해상도의 결과와 함께 외삽(extrapolation)이 이루어진 부분에서 해상도가 떨어지는 단일시추공 토모그래피의 한계도 보여주었다. 이에 따라 지형적인 여건상 측선 설정이 불리한 해안변 지역에서 관측정을 이용한 전기비저항 토모그래피를 실시하여 관측정을 포함하는 한 방향만의 짧은 측선으로 관측정의 전기비저항 단면을 영상화할 수 있었으며, 지표 전기비저항 탐사 자료를 복합역산하여 고해상도의 전기비저항 영상 자료를 획득할 수 있었다. 따라서 향후 다양한 전기비저항탐사 결과를 함께 역산함으로써 얻어지는 고해상도의 영상은 시추 및 검층조사의 결과와 함께 지하매질의 암반상태 및 층서구조 등과 함께 지하수 환경파악에도 유용하게 쓰일 수 있음을 밝혀둔다.