

수리지질구조 조사를 위한 전기비저항 토모그래피 응용

박삼규*, 김정호*, 이명중*, 손정술*, 성낙훈*, 정지민*, 김창렬**

* : 한국지질자원연구원 지반안전연구부

** : 농업기반공사 환경지질사업처

1. 서론

최근 토양 및 지하수의 환경오염이 사회적으로 심각한 문제로 대두되고 있으며, 이들의 조사 및 복원에도 막대한 비용이 소모되고 있다. 국내의 환경오염원은 주로 비위생 쓰레기 매립장, 산업 폐기물 처분장 및 유류저장 시설 등에서 유발되고 있으며, 장기간에 걸쳐 오염상태가 방치되고 있어서 정확한 오염원과 오염물질의 이동경로를 밝히는데 많은 어려움이 따르고 있다(박삼규 등, 2003). 특히 오염물질이 주로 지하수를 따라 이동되고 있기 때문에 정확한 오염실태를 파악하기 위해서는 지하수의 유동 경로 등 수리지질구조를 상세히 밝히는 것이 무엇보다도 중요하다. 이를 위해 주로 시추조사를 실시하여 공내 영상촬영, 물리검층 및 현장투수시험 등의 결과로부터 지하수의 오염여부와 지하수 유동, 지질구조 및 수리지질 특성을 밝히고 있지만, 지질구조가 복잡하고 절리 및 파쇄대가 발달되어 있는 암반에서는 시추공에서 얻은 자료를 공간적으로 확대시켜 해석하기에는 한계점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 시추공간을 이용한 토모그래피 탐사가 효율적인 방법으로 이용되고 있다.

본 논문은 암반 내 유류에 의한 지하수 오염물질의 거동을 파악하기 위해 기존의 시추공을 이용하여 전기비저항 토모그래피 탐사를 실시하고, 전기비저항 분포로부터 지질구조 및 수리지질구조를 해석하여 오염물질의 이동경로 및 지하수 유동해석에 필요한 지반정보를 제공한 사례에 대해서 소개한다.

2. 탐사방법

기존의 시추공 중에서 자유상유류(free product)가 검출되는 시추공을 대상으로 총 5 단면의 전기비저항 토모그래피 탐사를 수행하였다. Table 1에 전기비저항 토모그래피 탐사 내역을 표시하고 있다. 이 중에 p-p(pole-pole array)는 단극배열을 의미하고, p-dp(pole-dipole)는 단극-쌍극자 배열을 의미한다. 또 괄호 안의 숫자는 쌍극자 간격을 의미하는데, 예를 들어 p-dp(4, 6 m)는 단극-쌍극자 배열로 쌍극자 간격 4 m와 6 m의 두 종류 탐사자료를 취득하였음을 의미한다.

탐사방법은 대상 시추공에 전극케이블을 삽입하고, 이들 케이블을 다채널 스위치 박스에 연결한다. 다채널 스위치 박스는 탐사기 본체(SuperSting R8/IP)와 연결되어 있으며, 각 시추공별 전류전극 및 전위전극의 이동은 미리 준비된 전극배열 프로그램에 의하여 자동측정된다. 측정에 있어서는 시추공간의 전류 및 전위전극을 이용하여 최소한 두 종류 이상의 쌍극자 간격 탐사자료와 각 시추공 탐사자료(inline)를 획득하였으며, 한 토모그래피 탐사 단면에 대해 획득한 탐사자료의 양은 최소한 3 개의 토모그래피 단면에 대응되는 양이 된다.

Table 1 Borehole descriptions of the electrical resistivity tomograph.

Section No.	Borehole-1	Borehole-2	Depth interval (m)		Electrode array
			Borehole -1	Borehole -2	
Tomo1-2	BH-1	BH-2	16~52	16~38	p-p, p-dp(4, 6m)
Tomo2-3	BH-2	BH-3	16~38	12~28	p-p, p-dp(4, 6m)
Tomo3-4	BH-3	BH-4	12~28	12~38	p-p, p-dp(4, 6m)
Tomo4-5	BH-4	BH-5	12~38	12~30	p-p, p-dp(4, 6m)
Tomo5-6	BH-5	BH-6	12~30	10~28	p-p, p-dp(4, 6m)

3. 탐사결과 및 해석

측정 자료를 재검토하여 이상이 있는 자료를 검출하고, 필요에 따라 측정값의 보정 또는 보간이나 평활화 처리를 수행한 후 반복적 역산법(Tomo DC, 김정호)을 이용하여 지반의 전기비저항을 구했다.

Fig. 1은 시추공을 이용한 전기비저항 토모그래피 탐사결과 중 BH-2공과 BH-3공 사이의 전기비저항 단면 영상을 나타내고 있다. 전기비저항은 넓은 범위(50~5,000 ohm-m)로 분포하고 있으며, 상대적으로 낮은 전기비저항이 분포하고 있는 구간은 시추코어의 암질 평가 지수인 RQD가 50이하로 나타나고 있다. 본 조사지의 지질이 흑운모 편마암으로 구성되어 있으며, 전체적으로 절리 및 파쇄대가 발달되어 있다. 부분적으로 나타나는 100 ohm-m 이하의 저비저항대는 파쇄대에 점토가 충전되어 있기 때문으로 생각된다. Fig. 1에서도 BH-2공의 14~15.2 m 구간과 BH-3공의 25~29.5 m 구간은 저비저항대로 서로 연결성을 가지고 있으며, 시추코어의 암질평가 및 공내 영상촬영 등의 자료를 종합해 볼 때 저비저항대가 분포하고 있는 곳은 지질구조적으로 연약대가 분포하고 있음을 시사하고 있다. 이러한 연약대는 신선한 암반에 비하여 투수성이 좋아 지하수의 유동경로가 되고, 따라서 유류에 의한 오염물질의 거동에도 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

4. 지질구조 및 수리지질 특성 평가

일반적으로 지반의 전기비저항을 좌우하는 요인으로는 공극률, 지하수의 전기전도도, 포

화도 및 점토함유량 등을 들 수 있다. 본 조사지에서는 이들 요인 중에서 지하수의 전기전도도는 시추공 마다 약간의 변동은 있으나, 온도 25°C에서 0.376~0.637 s/m로 큰 차이는 보이지 않았다. 공내수의 전기전도도 차이는 지하수의 전기전도도 차이보다는 공내수에 들어 있는 혐기성 미생물에 의한 부유물질의 양에 의한 것으로 생각된다. 또 전기비저항 토모그래피 탐사가 지하수위 아래에서 수행되었기 때문에 암반이 거의 포화상태일 것으로 생각된다. 따라서 지하수위 아래의 혹은 운모 편마암의 전기비저항을 좌우하는 요인으로는 공극률과 점토함유량을 들 수 있다. 즉 암반의 포화상태에서 공극률이 크면 체적함수율이 높아 전기비저항을 저하시키는 역할을 하고, 절리 및 파쇄대에 점토가 충전되어 있으면 더욱더 전기비저항을 저하시킬 것으로 생각된다. 이러한 점을 고려하면 시추공간의 전기비저항 토모그래피 탐사결과에서 상대적으로 저비저항대가 분포하는 영역은 지질구조적으로 절리 및 파쇄대가 발달되어 있는 연약대로 판단된다.

Fig. 2는 시추공간의 전기비저항 토모그래피 탐사결과를 표시한다. 전체적으로 저비저항대의 분포가 서로 연결성을 가지고 있으며, 이것은 지질구조적으로 절리 및 파쇄대가 발달되어 있는 연약대가 서로 연결성을 가지고 있음을 시사하고 있다. 특히 BH-2공의 상부와 BH-3공의 하부가 연약대로 연결되어 있고, 이것은 BH-4공과도 심부에서 연결성을 가지고 있어 단면상으로 넓은 영역으로 파쇄대가 발달되어 있는 것을 알 수 있으며, 공내 영상촬영에서도 확인할 수 있었다.

절리 및 파쇄대가 발달된 영역에서의 투수성은 신선한 암반에 비해 현저하게 높을 것으로 생각되지만, 대부분 충전된 점토에 의해서 투수성을 상당히 저하시킬 것으로 판단된다. 실제 시추공내에서 실시한 현장투수시험 결과에 의하면 저비저항대가 분포하는 BH-2공의 심도 13~18 m 구간, BH-3공의 심도 18~23 m 구간 및 BH-4공의 심도 23~33 m 구간에서 각각 1.57×10^{-4} cm/s, 1.65×10^{-4} cm/s, 1.64×10^{-4} cm/s 의 투수계수가 측정되었다. 그 외 구간에서의 투수계수는 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-7}$ cm/s의 범위인데 비해서 저비저항대가 분포하는 영역에서는 절리 및 파쇄대가 발달되어 있음에도 불구하고 투수계수가 1.0×10^{-4} cm/s인 것은 파쇄대에 충전된 점토의 영향으로 생각된다. 그러나 저비저항이 분포하는 영역은 상대적으로 투수성이 높아 지하수의 유동경로가 되고 있으며, 유류에 의한 오염물질의 이동 통로가 될 것으로 생각된다.

시추당시 냄새 등으로 유류오염의 징후가 나타나고, 시추 후에 공내에서 자유상유류가 검출되는 시추공은 BH-2공, BH-3공 및 BH-4공이다. 특히 자유상유류가 가장 많이

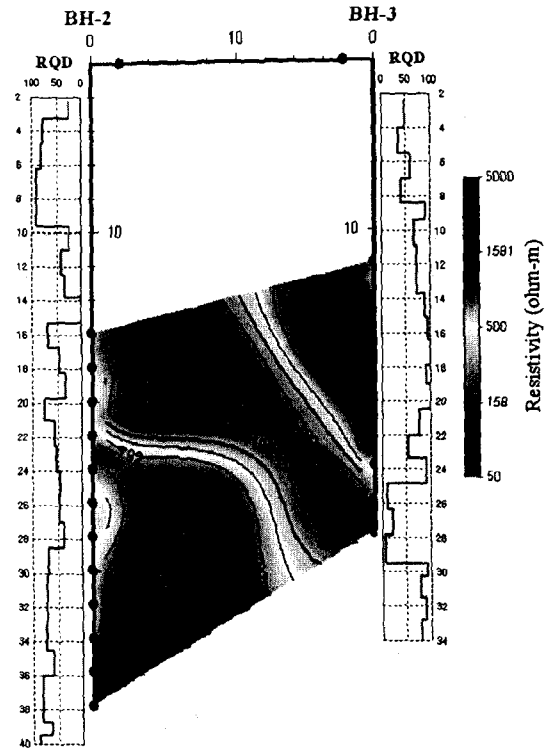


Fig. 1 Resistivity tomogram between BH-2 and BH-3.

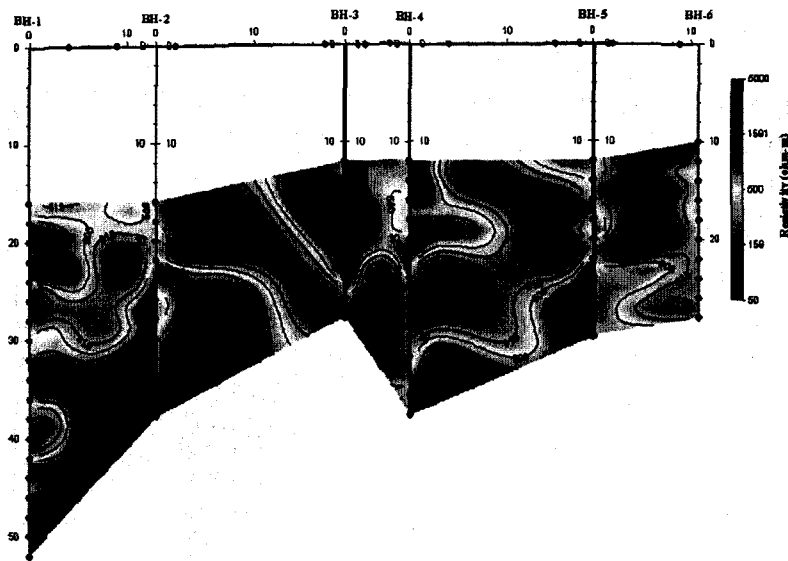


Fig. 2 Resistivity tomogram among the boreholes.

검출되는 시추공은 BH-2공으로 그 심도가 13.8~15.3 m의 구간으로 저비저항대와 거의 일치하고 있다. 또한 BH-3공과 BH-4공에서의 유류오염 징후가 발견된 심도가 각각 25.2~27.0 m 구간과 20.0~24.7 m 구간으로 저비저항대와 거의 일치하고 있어 절리 및 파쇄대가 발달되어 있는 저비저항대는 상대적으로 투수성이 높아 유류오염물질의 이동 통로가 되고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문은 암반 내 유류에 의한 지하수 오염물질의 거동을 파악하기 위해 기존의 시추공을 이용하여 전기비저항 토모그래피 탐사를 수행하고, 전기비저항 분포로부터 지질구조 및 수리지질구조를 해석하여 시추코어의 암질평가 지수인 RQD, 공내 영상촬영 및 현장투수시험 결과와 비교하였다. 그 결과 저비저항대가 분포하는 영역은 지질구조적으로 절리 및 파쇄대가 발달되어 있는 구간과 일치하고 있으며, 파쇄대에 점토가 충전되어 있음에도 불구하고 상대적으로 투수성이 높게 나타났다. 따라서 저비저항대가 지하수를 따라 이동하는 유류 오염물질의 이동 통로가 되고 있었으며, BH-2공에서 자유상유류가 검출되는 이유를 설명할 수 있었다. 이러한 결과들로부터 전기비저항 토모그래피 탐사가 지질구조 및 수리지질구조 조사에 유용함을 입증할 수 있었다.

참고문헌

박삼규, 박용기, 김을영, 최보규, 이병호, 2003, 비위생 매립장의 침출수 유동경로 탐지를 위한 물리탐사의 적용성, 한국지하수토양환경학회, 2003년 춘계학술발표회, pp. 180~183.