

평택 남양호 물바다 Pole-Dipole 비저항탐사

정현기, 이동구¹⁾, 안희운²⁾, 김호영³⁾

1. 서론

근래에 제한된 땅의 효율적 활용을 위해 호수 및 강의 지하 공간을 활용하는 산업현장이 증가하고 있다. 이러한 현장에서 경제적인 수용을 위해서는 사전 지반조사가 철저하여야 한다. 국내외적으로 이러한 경우 지질조사와 더불어 지구물리탐사가 여러 가지 방법을 동원하여 수행된다. 탄성파탐사 기법이 가장 정밀한 조사방법이나 여전히 고가 장비가 동원되어야 하고, 복잡한 전문 전산처리과정이 필요하다. 때로는 수심이나 퇴적지층의 물성 특성에 의해 탐사가 곤란한 경우도 적지 않다. 전기탐사는 비교적 간단한 방법임에도 불구하고 신속 개략탐사에 유리하다. 80년의 역사에도 불구하고 고전적인 방법이지만 후속 시추결과와 비교할 때 다수 현장에서 매우 잘 맞기 때문에 많은 현장에서 호응 받고 있는 방법이다. 이외에 하상 혹은 호상에서 GPR 레이다탐사나 전자파탐사가 적용되기도 하지만 현장에 따라 투입이 제한적이거나 탐사심도가 적어 현재 기술적으로 취약한 부분이 많다.

본 연구는 평택 남양호 지하 LPG기지 공사를 위해 수행되었던 호저 지반조사에 있어 국내 최초로 수중 물바다 전기비저항탐사를 성공적으로 수행하고 정성적 해석을 행한바 있었으나 전산역산 소프트웨어의 결핍으로 그 동안 분석하지 못하였던 현장탐사자료를 이번에 재분석 보고하고자 하는 것이다. 아울러 추후 유사 현장 응용을 위해 자료획득시의 경험적 주의사항을 최대한 기술하고자 한다.

2. 현장자료 획득

전기탐사에 있어 일반적으로 쌍극자 배열방법이 최고의 정밀 분해능을 제공하지만 현장 측정시에는 지반 조건에 따라 잡음에 급격히 취약하여 쓸모 없는 측정을 하는 경우가 허다하다. 본 탐사에서는 다소의 측정분해능을 희생하더라도 안정적인 현장계측 자료획득을 위해 Pole-Dipole 측정을 취하였으며 동일 측선에 대해 Reverse Pole-Dipole 측정도 병행하였다. 탐사에 사용된 방수 수중용 전극 및 다중 케이블 채택에 있어 유도분극 효과를 최소화하기 위하여 납 전극을 사용하였으며 접촉면적을 최대화하기 위하여 스프링형으로 여러 번 감아서 전극을 만들었다. 신축성 있는 고무 테이프를 방수하였고 그 위에 다시 절연테이프를 이중으로 덮어 약 50m 이내의 수압에서는 압력을 받을수록 조여져서 방수가 되게하여 통상의 기구적 방수용 O-ring을 대신 하였다. 본 탐사에서는 대개 20mA의 송신전류가 사용되었으며 납은 다소의 산화성질이 있는데 산화 시에는 부도체가 되므로 탐사중간에 접촉의 양호함을 수시로 점검하였다. 실제로는 이 부분에 있어 탐사기간 중 별 문제가 없었다. 모든 측정이 완료된 후에 납의 접촉저항 상태를 점검한 결과 측정 전과 거의 차이가 없이 양호하였다. 한편 탐사계측의 편의를 위해 다중 케이블을 사용하였는데 이로 인한 송신전선 및 수신전선에 있어서 Cross-Coupling의 가능성을 확인하기 위해 세심한 주의를 기울이고 비교 반복 측정하였으나 금번 탐사정도의 수백 미터 전선 구간에서 사용된 전선의 굵기로는 전혀 문제가 없었다. 이는 오실로스코프 상에서 파형 관측으로도 확실히 확인한 바 있다.

Pole-Dipole 배열 전기탐사에 있어서 한 개의 송신전극은 탐사구역에서 전극간격의 최소 10배 이상 원거리에 매설하는 것이 이론적으로 합당한데 본 탐사에서는 모든 측선에 있어서 최소 15배이상 즉 300m이상의 지점에 원거리 고정 전극을 매설하였다. 그리고 호수 물의 전기비저항을 측정하기 위해 전극간격 5cm의 웨너 배열 측정을 호수 내 여러 점에서 수면 가까이 및 바닥에서 수행한 결과 거

의 일정하게 $14.8\Omega\text{-m}$ 의 측정결과를 얻었다. 바닥의 퇴적 전도성 점토질로 인한 저 비저항층이 탐사에 악영향을 미칠 우려를 고심하였으나 금번 탐사현장에서는 문제가 되지 않았다. 웨너 배열 측정은 물론 통상의 지표탐사와는 달리 무한공간 내 측정 공식으로(지표상의 반무한공간에 비해 2배인) 비저항을 계산하였다. $14.8\Omega\text{-m}$ 라는 비저항 수치는 통상의 담수에 비해 낮은 편인데 이는 이 현장의 특성이다.

탐사 호수 내에서 측선은 남북방향 4개, 동서방향 2개에 대해 탐사가 수행되었으며, 거의 모든 측선의 길이는 육상에서 시작하여 호수 쪽으로 550m내지 600m였다. 그림 1은 탐사지역내 호저 전기탐사 측선도이다. 전극 간격은 탐사 심도를 고려하여 20m로 행하였으므로 탐사 심도는 60m 정도이다. 당시 사용 장비는 스웨덴 ABEM사의 Terrameter SAS-300이었고 탐사 정밀도 향상을 위해 매 측정시 최대의 전류를 부스터로 송신 시도하였으나 대개 20mA 였으며 일부 측정점에서는 50mA까지 송신하였다.

3. 전산 처리 및 결과 해석

본 탐사 현장에서의 전기 비저항법 적용의 주된 목적은 수심 10m 내외의 바닥 하부의 지질 경계면 혹은 크고 작은 파쇄대나 암맥을 전기적 물성 차이를 이용하여 탐사하는 것이다. 호수의 면적은 대략 $800\text{m}\times 1200\text{m}$ 였지만 이번 호저 전기탐사의 시도는 그 가능성을 적용하는 것이므로 특징적인 지질 구간으로 예측되는 곳에 측선을 일부 설정하여 탐사를 수행하였다. 바닥에 전극을 매설해야만, 다시 말하면 알고 싶어하는 탐사대상에 되도록 가까이 송신 및 수신 전극을 가져가야 비교적 양호한 전도성의 호수 물의 영향을 최소화하고 보다 정확한 지반 정보를 얻을 수 있다.

전기탐사가 행해지고 후속 시추결과와 비교되었을 때 다 주파수 sounding이 아닌 단일 DC 적용 방법임에도 불구하고 현장에서 잘 맞는다고 규정지어지는 것은 geometrical 접근방법이기 때문이다. 수년 전까지만 하더라도 지형이 고려되거나 혹은 본 탐사현장과 같이 특수한 상황의 탐사자료에 대해 쉽게 적용할 수 있는 전산분석 소프트웨어가 곤란하였지만 그 동안 전산이론 기법 및 고속 대용량 PC의 저가급속한 발전에 힘입어 임의 지형, 임의 배열 전산 역산이 근래에 가능하여졌다. 본 논문은 현장 측정 당시 겉보기 비저항의 등고선도에 의한 정성적 해석에 머물렀던 자료를 수심 변화 및 물의 고정 비저항을 고려하고 한편 Forward 및 Reverse Pole-Dipole 측정자료를 동시에 Joint Inversion 하는 정량적 역산 분석 해석을 시도하였다. 사용된 소프트웨어는 상용화되어 있는 RES3DINV (www.geoelectrical.com)이다. 이 소프트웨어의 역산 알고리즘은 smoothness-constraint least-square method (deGroot-Hedlin and Constable 1990, Sasaki 1992)에 근거하며 quasi-Newton optimization technique (Loke and Barker 1996a)에 근거한 새로운 최소 자승법을 사용한다. 이 기법은 대용량 자료를 적은 기억용량으로 계산하므로 통상의 방법에 비해 10배 이상 빠르다고 한다.

그림 1은 6개 측선 중에서 층서 지층 내에 파쇄대 구조를 전형적으로 보여주는 N2 측선에 대한 전극 전계별 겉보기 비저항 이상곡선들을 보여준다. 그림에서 보다시피 측정결과는 양호한 연속성을 전구간에 걸쳐 알 수 있다. 한편 전산역산의 검정 및 3차원 효과여부를 검토하기 위해 추정 역산 결과를 거꾸로 측정치로 투입하여 재역산 시도한 결과, 오차가 줄어들고 재추정 역산 단면이 양호하였으므로 사용된 소프트웨어의 역산 알고리즘은 신뢰할 수 있었고 측정자료의 다소 오차는 3차원 효과로 추정된다.

그림 2는 6개 측선에 대한 측정자료의 역산결과 단면도를 보여준다. 위에서부터 측선 도면에서 표시한대로 남북방향 측선 N1, N2, N3, N4 및 동서방향측선 E1, E2의 결과 단면도이다. 본 지역의 호저 지층은 크게 분석 단면상에서 두 가지 형태를 보여준다. 하나는 그야말로 일차원 층서 구조로서 천부

에 저비저항층이 있고 하부 기반암은 고비저항 특성을 보여준다. 또 다른 하나는 이러한 층서 구조 내에 일정한 방향을 가지는 커다란 파쇄대 형태를 보여준다. 탄성과탐사에서는 정확히 경계면을 추정하지만 전기탐사는 기본적으로 포텐셜 방법이므로 탄성과탐사에 비해 정밀한 경계면 정보를 제공하지 못하나 지층의 전기적 물성을 확연하게 보여주는 장점이 있다. 더구나 신속 저렴한 이 방법은 약간의 시추공 지질정보가 주어지면 간단히 지층 경계면을 해석단면상에서 이어 나갈 수 있다. 본 탐사결과 단면은 이러한 특징적 차원에서 매우 양호한 결과를 보여주었으며 후속 시추 결과와도 잘 부합되었다. 이는 모든 지구물리탐사방법에서 그러하듯이 특수 현장에서의 현장자료 계측이 세심하게 이루어졌기 때문이다. 탐사 결과를 요약하면 수 Ω -m의 천부 지층하부에 점이적으로 비저항이 증가하여 수백 Ω -m대의 기반암이 일차원적으로 층서 분포하며 부분적으로 수십 Ω -m대의 급경사 파쇄대가 확연히 존재함을 파악할 수 있었다. 구체적인 위치 정보는 축선도 및 결과분석 단면도에서 알 수 있다.

4. 결론

국내 처음으로 호수 바닥 전기 비저항탐사가 평택 남양호에서 수행되었으며 최근의 역산 소프트웨어를 활용하여 수심변화를 고려하고 Forward-Reverse Pole-Dipole Joint Inversion 역산 분석을 양호하게 수행하였다. 처음 시도이기 때문에 현장 계측시 각별한 주의를 기울였다. 본 연구 결과는 점증하고 있는 호수 및 강 하부의 지반조사에 하나의 사례로서 도움이 될 것이다. 나아가 고효율 송신을 시도한다면 가까운 바다 및 해양에서의 가스 하이드레이트 탐사(탄성과탐사가 취약한 구간에서 최근 선진국에서 전기전자탐사 시도)에도 변형 응용이 가능할 것이 기대된다.

5. 참고문헌

- www.geoelectrical.com
 김철민, 박근필 외, 1991, 남양호지역 수상탄성과 탐사 최종보고서, 선경건설-한국자원연구소.
 이형원 외, 2000, 평택 LPG 지하저장기지, 터널 기술, Vol. 2, No. 3, 65-73.
 신은우 외, 2000, 저수지 하상의 상태조사를 위한 초음파 탐사기법, 시설안전진단 2000 여름호 31-37.
 deGroot-Hedlin, C. and Constable, S., 1990, Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, **38**, 1613-1624.
 Loke, M. H. and Barker, R.D, 1996a, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, **44**, 131-152.
 Sasaki, Y. 1992, Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, **40**, 450-464.

주요어 : 전기탐사, Pole-Dipole 비저항탐사, 호저탐사, 역산해석

- 1) 한국지질자원연구원
- 2) 강원대학교 지구물리학과
- 3) SK 건설

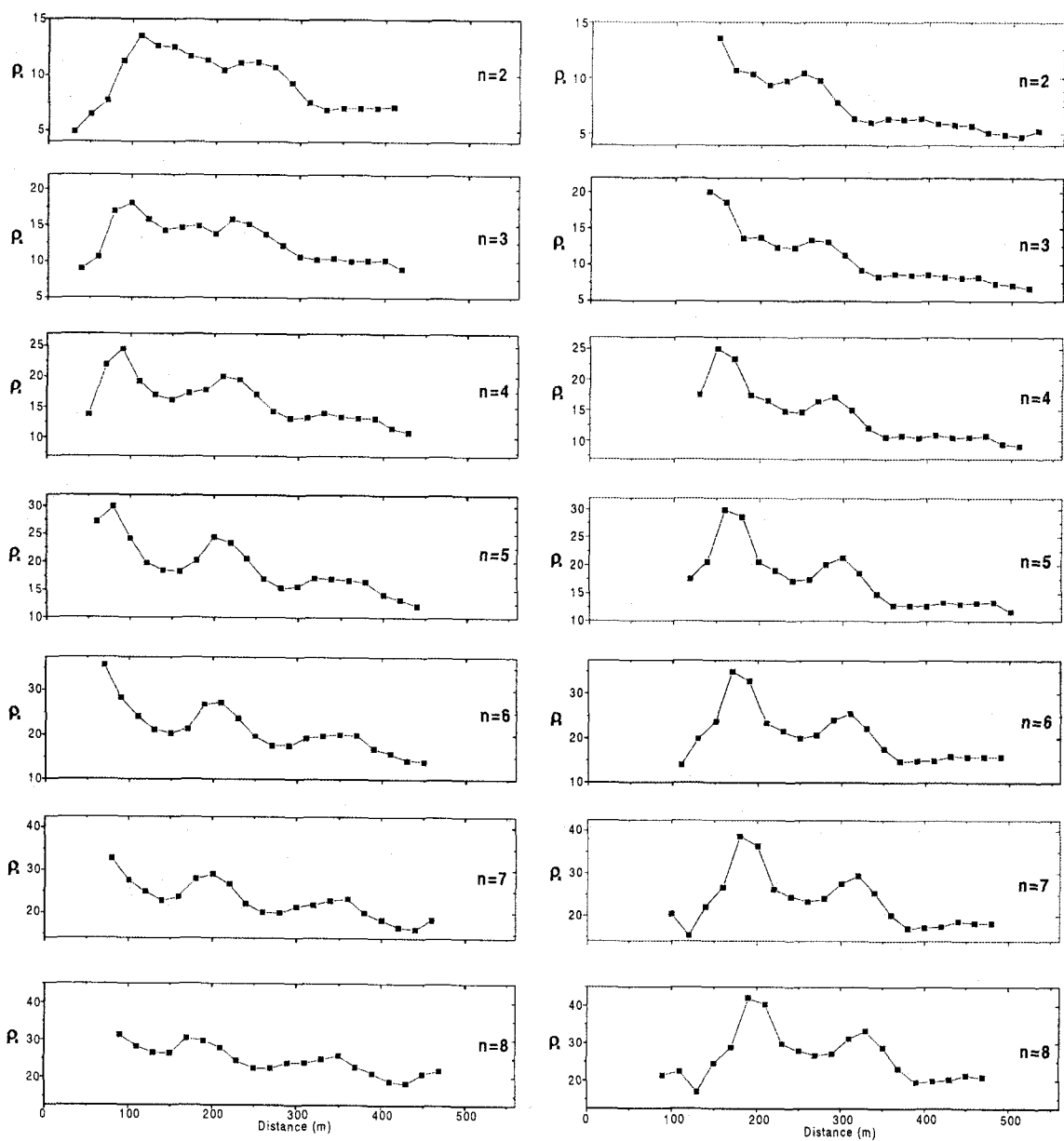


그림 1. N2 축선에 대한 Pole-Dipole 측정자료의 전극 전개별 결과기 비저항 이상곡선 (좌: Forward 탐사, 우: Reverse 탐사). 전체 자료가 연속성 있게 매우 양호하게 측정되었음을 알 수 있음.

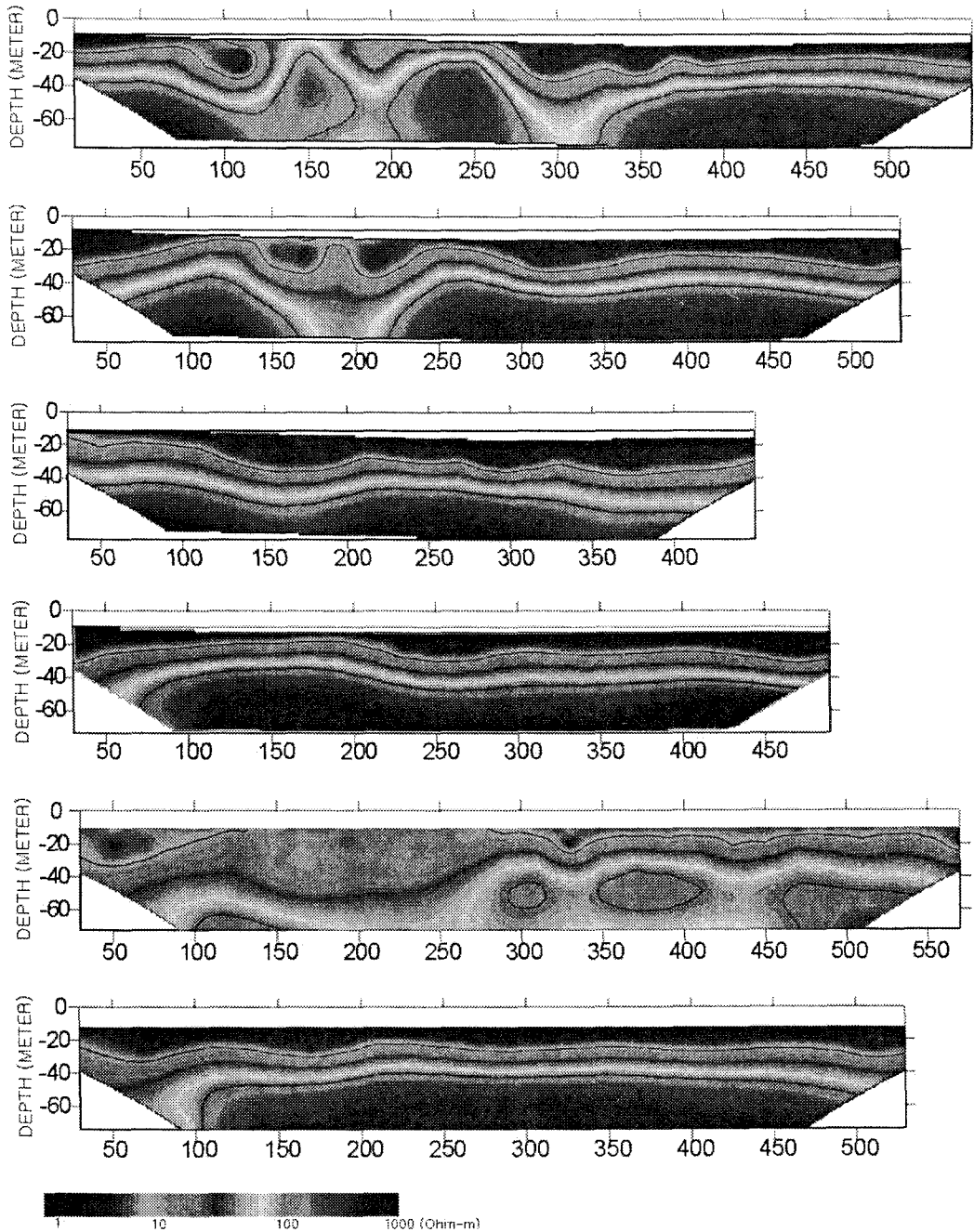


그림 2. 6개 측선에 대한 측정 자료의 역산 결과 분석. 위에서부터 남북방향 측선 N1, N2, N3, N4 및 동서방향 측선 E1, E2의 결과 단면도임. 전형적인 1차원 층서구조 및 그 사이에 파쇄대가 존재하는 단면의 두가지 양상을 잘 보여줌.