

# 지표 물리탐사법을 이용한 염/담수 영역의 고분해능 영상화

박권균, 신제현, 박윤성\*, 황세호

한국지질자원연구원, \*충남대학교 (kgpark@kigam.re.kr)

## <요약문>

High resolution geophysical imaging to delineate costal aquifer and seawater- freshwater interface has been applied in Baesu-eup, Yeonggwang-gun, Jeolla province

Electrical resistivity information from vertical electrical sounding and 2-D electrical resistivity survey is key parameter to map equivalent NaCl concentration map over the survey area. Seismic velocity from refraction tomographic survey, on the other hand, gives more reliable information on the subsurface stratigraphy than electrical resistivity methods which frequently suffer from low resolution due to masking effect.

We imaged high-resolution 3-D structure of costal aquifer by correlating the electrical resistivity with seismic velocity, and mapped equivalent NaCl concentration map using resistivity and hydro-geological information from well logging.

**Keywords:** high resolution geophysical imaging, correlation analysis, equivalent NaCl concentration map

## 1. 정밀조사 지역의 선정 및 조사

그림 1은 정밀조사 지역 주변의 지형과 지역 내에서 수행된 지표 물리탐사의 측정점 및 측정선들을 나타낸다. 지형도 위에 겹쳐 그려진 영상은 전라남도 영광군 일대에 대한 광역 NaCl 등가염분농도 분포도의 일부이다(이상규 등, 2003). 고분해능 염/담수 경계 규명을 위한 정밀조사 지역으로는 그림에서 흰색 점선으로 표현된 사각형 내 약 1 km<sup>2</sup> 지역을 선정하였다. 이 지역은 광역 등가염분농도 분포로 볼 때 염/담수 경계가 형성된 것으로 추정되는 전이대에 해당하며, 행정구역 상 전라남도 영광군 백수읍 양성리 일대이다. 적용된 탐사법은 전기비저항 수직탐사, 2차원 전기비저항탐사, 및 탄성과 굴절법탐사 등이며, 각각의 측정점 및 측정선 구성은 그림에 나타낸 것과 같다.

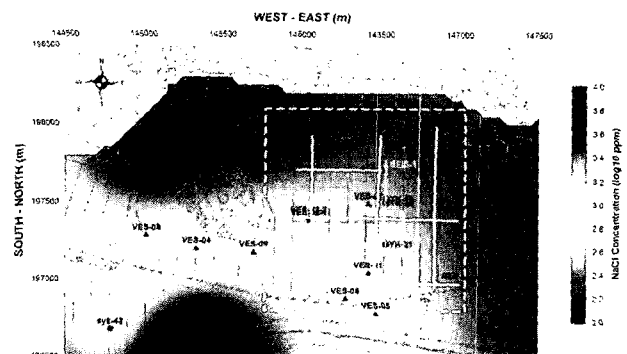


그림 1. 정밀조사 지역 및 물리탐사 측정선.

## 2. 자료처리 및 해석

SoundPro(김정호, 1996a)를 이용한 총 10개의 수직탐사 자료역산 결과 중 일부를 그림 2에 나타내었다. 역산결과 조사지역 내 전반적인 심도에 따른 전기비저항 값은 매우 낮은 편이며 그 변화 범위도 작은 편으로 나타났으나, 수직탐사 곡선의 양상은 3층 구조 모델에 대한 H-형(그림 2.a)과 A-형(그림 2.b)의 두 가지 형태로 구분된다. H-형 양상은 전체 측정점 중 염수 지하수계로 추정되는 조사지역 남서쪽에서 나타나며 A-형 양상은 담수 영역으로 추정되는 북동쪽 측정점에서 관측된다. H-형의 경우 천부 니질층에서 보이는 저비저항 이상은 직접적인 해수 또는 염수의 영향보다는 니질층 내 공극수 및 점토질 성분에 의한 것을 판단된다.

그림 3은 총 6개 측선에서의 2차원 전기비저항 탐사 자료의 역산 결과를 담장형(fence diagram)으로 구성한 그림이다. 탐사 자료의 처리와 역산은 DiproWin(김정호, 1996b)을 이용하였다. 조사지역 내 전기비저항 분포는 수직탐사 결과와 마찬가지로 조사지역의 남서쪽과 북동쪽에서 확연히 구별되는 특징을 보여준다. 조사 지역의 남서쪽에서는 니질층 구간에서 시작하여 깊게는 사질층 구간까지 연장되는 수 십 ohm-m 이하의 낮은 비저항 이상대가 폭넓게 분포한다. 반면, 조사 지역 북쪽의 경우는 천부 비저항도 남쪽에 비해 상대적으로 높고, 기반암으로 판단되는 200 ohm-m 이상의 고비저항대가 비교적 낮은 심도부터 발달한 양상을 보여준다.

염수 지하수계로 추정되는 부분에 나타나는 니질층 내 천부 저비저항 이상은 끌어내림 효과(push-down effect)로 인해 하부 기반암을 깊게 평가하게 하는 요인이 되며 또한 니질층과 염수로 포화된 사질층의 구분을 어렵게 한다. 따라서 전기비저항탐사에 의한 대수층 분포 규명의 분해능을 떨어질 수밖에 없으며, 저비저항 이상 자체를 직접적인 해수침투에 의한 영향으로 판단하기도 어렵다. 다만 이러한 저비저항이 사질층까지 연장됨을 감안하면 개략적인 염/담수 경계 파악을 위한 간접적 지시자는 될 수 있을 것으로 판단된다. 이런 점에서 조사지역 내 전반적인 전기비저항 분포를 고려하면 염/담수 경계는 조사 지역 중단에 걸쳐 형성되어 있을 것으로 추정 가능하다.

그림 3은 굴절법 토모그래피 역산 자료와, 인접한 전기비저항 측선에서의 역산 결과를 비교한 그림이다. 굴절법 토모그래피 역산에 의한 탄성과 속도 구조는 지층 경계의 수평적 기록이 그리 심하지 않은 수평 층서 구조의 형태를 보이며, 조사지역 전반을 대변하는 니질층과 사질층 및 하부 화강암 기반암 등의 3층 구조를 비교적 잘 분해해 내고 있다. 이는 대수층 규명을 위한 층서 분해에 있어 탄성과 탐사가 천부 저비저항 이상 등의 영향을 받는 전기비저항탐사에 비해 유리함을 보여준다. 물의 속도에 해당하는 1500 m/s의 등속도면(contour)이 비교적 천부에 발달하고 표토층의 탄성과 속도가 비교적 높

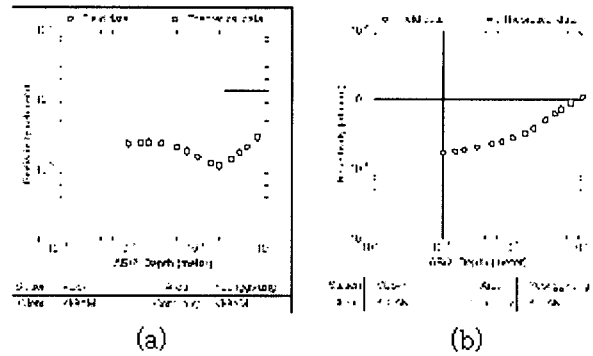


그림 2. 전기비저항 수직탐사 곡선 및 역산 결과 예. (a) 측정점 VES-1, (b) 측정점 VES-7.

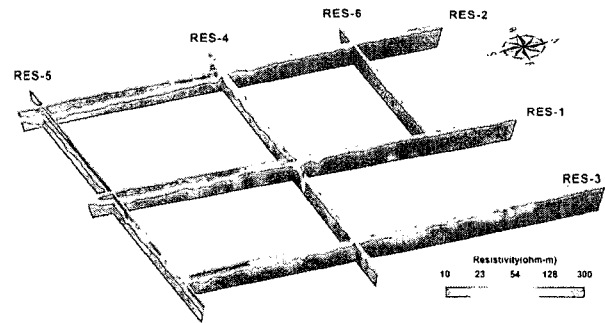


그림 3. 3차원 담장형그림(fence diagram)으로 표현된 전기비저항 분포.

고, 얇게 추정되는 것으로 보아 조사 지역 하부는 비교적 천부까지 상당 부분 포화된 것으로 생각된다. 니질층은 1200 m/s를 기준으로 3 ~ 5m 정도 두께의 표토층과 구분되며, 대체로 1900 m/s 정도의 속도를 보이는 10 ~ 15 m 깊이에서 하부 사질층과 구분된다. 사질층은 대체로 2900 m/s 정도의 속도를 보이는 15 ~ 25m 정도의 깊이에서 화강암 기반암과 구분되는 것으로 해석된다. 한편, 그림에서 YK-19, YK-20, YK-21은 지표 물리탐사의 결과의 확인 및 각종 시추공 시험을 위해 굴착한 시추공의 위치를 나타낸다. 탄성파탐사에 의한 층서 구분이나, 전기비저항탐사에 의한 염/담수 경계는 시추조사 결과와 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

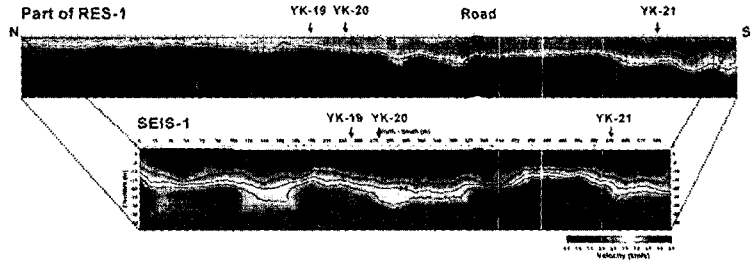


그림 4. 인접한 두 축선에서의 탄성과 속도 구조와 전기비저항 구조의 비교

### 3. 대수층의 3차원 영상화 및 등가염분농도 분포도 작성

대수층에서의 전기비저항 분포 등가염분농도분포도 작성의 기초가 된다. 그러나 전기비저항탐사에 의한 대수층 경계 정보는 천부에 저비저항 이상대가 존재하는 경우 끌어내림 효과 (push-down effect) 등으로 인해 분해능이 떨어져 직접적인 이용에 어려움이 있다. 따라서 이번 연구에서는 전기비저항탐사에 비해 높은 층서분해능을 보여주는 탄성과 속도구조와 전기비저항탐사 결과를 상관분석하고 이를 토대로 사질층의 공간적 분포를 영상화 하고자 하였다. 이러한 상관 분석 과정은 다음과 같이 요약된다.

- (1) 속도단면 상의 사질층 구간선정 및 해당 구간 내 평균속도 구간(window) 결정
  - (2) 속도-전기비저항 상관분석을 통해 사질층 평균속도 구간에 대한 평균 전기비저항 구간(window) 결정
  - (3) 결정된 전기비저항 구간(window)을 이용한 축선별 전기비저항 단면으로부터 사질층 분포 심도 추출
- 상관 분석 결과를 이용하여 각 축선 하부의 전기비저항 구조로부터 추출된 사질층의 상·부 경계는 그림 5와 같다. 3차원 공간적 분포는 격자형으로 구성된 축선들에서 추출된 사질층 정보를 크리깅(krigging)을 이용한 공간 내삽을 통해 구하였으며 각 그림은 남서쪽(a), 남동쪽(b), 북동쪽(c), 북서쪽(d)에서 바라본 형태를 표현한다. 사질층의 상부 경계면의 고도는 최저 -19 m에서 최고 9.8 m로 남서단에서 북동쪽으로 갈수록 높아지는 양상을 보인다. 하부 경계면은 최저 -21 m, 최고 -12 m의 고도를 보이며 상대적으로 높은 북서단과 남동단 구릉을 끼고 남서-북동 방향 따라 골이 지나는 형태를 보인다.

그림 6은 지표 물리탐사를 통해 추정된 대수층 구조와 물리점층을 이용하여 측정된 대수층의 물리적, 수리지질

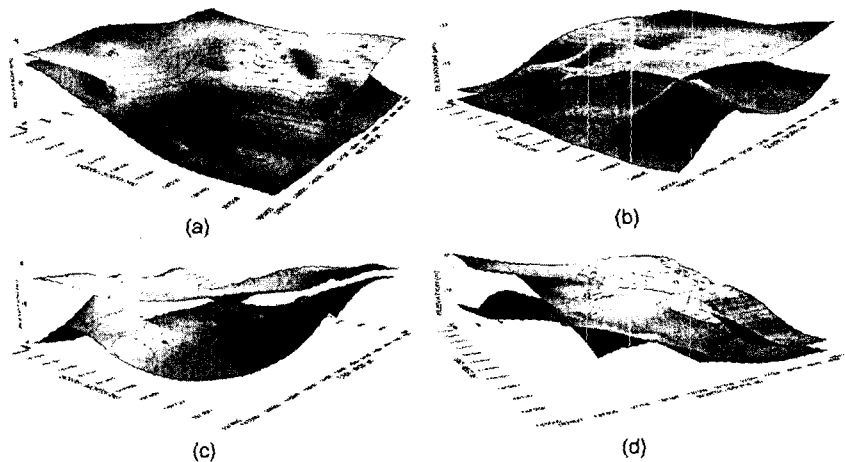


그림 5. 지표 물리탐사에 의한 사질층의 3차원적 경계.

학적 특성을 이용하여 구해진 정밀조사 지역에 대한 등가염분농도 분포로서 정밀탐사 지역에 대한 NaCl 등가염분농도 분포를 기존의 광역적 등가염분농도 분포 위에 겹쳐 나타낸 그림이다. 등가염분농도로의 환산은 이상규 등(2003)이 제시한 얻어진 관계식들과 환산과정을 따랐다.

정밀탐사 결과는 매우 좋은 염/담수 경계의 연장성과 분해능으로 측정 부족에 의해 전체적으로 분해능이 떨어졌던 부분을 잘 보완하고 있음을 확인할 수 있다. 정밀조사 결과를 고려할 때, 광역 등가염분농도분포도의 동남단에 대한 추가 정밀탐사가 이루어질 경우, 염/담수 경계는 이 부분까지 연장될 것으로 추정된다.

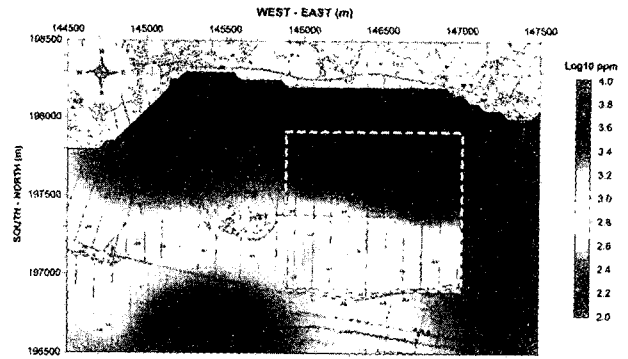


그림 6. 영광군 백수읍 일대의 등가염분농도 분포도. 정밀탐사 지역에 대한 고분해능 분포도 (점선 안)를 기존의 광역적 분포도 위에 겹쳐 나타낸 결과.

#### 4. 결론

본 연구에서는 정밀물리탐사를 수행하고, 이를 상관 분석하여 연안 대수층의 3차원적 구조를 영상화하는 한편, 등가염분농도분포도 작성, 염/담수 경계를 규명하였다.

탄성파탐사를 병용한 탄성파속도-전기비저항의 상관 분석을 통해 정성적 분포 규명에 그칠 수밖에 없는 전기비저항탐사에 의한 대수층 분포 규명의 한계를 보완함으로써 대수층에 대한 3차원적으로 영상화 할 수 있었다. 이러한 연안 대수층의 3차원 분포 규명은 지하수 유동 모델링을 위한 보다 현실적인 입력 자료로 활용될 수 있을 뿐 아니라, 등가염분농도의 3차원적 분포 파악을 단초로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 사사

이 연구는 과학기술부 국책연구개발사업인 자연재해방재기술개발(M1-0324-00-0006)의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

#### 참고문헌

- 김정호, 1996a, 전기비저항 수직탐사 자료처리 프로그램: SoundPro, (주) 희송지오택.
- 김정호, 1996b, 전기비저항탐사 자료처리 프로그램: DiproWin, (주) 희송지오택.
- 이상규, 김세준, 김용욱, 김인기, 김통권, 김현태, 박인화, 신제현, 신현모, 이명중, 이원석, 이태섭, 지세정, 진재화, 허대기, 황세호, 황인걸, 황학수, 장호완, 윤성택, 2003, 해수침투 평가, 예측 및 방지기술개발, 한국지질자원연구원, 00-J-ND-01-B-14, p233.
- 황세호, 박권규, 신제현, 이원석, 박인화, 지세정, 성낙훈, 이봉주, 윤욱, 황인걸, 허대기, 성원모, 윤왕중, 2004, 해수침투 확산 저지 및 피해개선기술 개발, 한국지질자원연구원, M1-0324-00-0006-03-B31-00-002-00, p130.