

임해지역에서 해수침투 평가를 위한 물리탐사에서 물리검층의 역할 : 사례중심

이상규, 황세호, 박인화, 황학수(한국자원연구소 탐사개발연구부)

1. 서 론

해수침투는 해안과 접하고 있는 모든 지역에서 발생하는 문제로 주로 과다 양수에 의해 발생한다. 해수침투의 양상은 지역마다 매우 다양하게 발생하기 때문에 지구물리, 지구화학 및 수리지질 등 다양한 분야에서 연구를 수행한다. 해수침투 평가를 위한 지구물리탐사는 주로 해수침투 경로나 공간적인 분포 파악, 점토층과 해수침투대의 구분에 이용되며 조석간만의 영향을 파악하기 위한 전기비저항모니터링 등 목적에 따라서 적절한 탐사법을 적용한다. 해수침투 파악을 위한 지구화학 방법과는 측정규모의 크기나 접근법의 차이 (즉, 지구화학탐사가 직접적인 방법임)로 상호 보완적이라 할 수 있다. 물리탐사 방법 중, 물리검층은 시추공내에 센서를 삽입하여 다양한 물성을 원위치에서 연속적으로 측정하는 탐사법으로 지표탐사자료의 정확성 확인과 해석, 공내수의 전기전도도 분포, 수리모델링에 필요한 수리지질학적인 단위 구분 등 다양하게 적용되고 있다(Morin과 Urish, 1995). 본 연구는 해수침투 평가를 위해 지구물리·화학, 수리지질 연구가 수행된 경기도 화성군과 전북 김제시에서의 물리검층에 대한 것이다.

2. 본 론

- 연구지역의 개관

첫 번째 연구지역은 경기도 화성군 우정면 일대(그림 1)로 지형학적으로 평탄한 구릉의

지형으로 노년기에 해당하며, 제일 높은 곳이 30~40m 정도이기 때문에 지하수의 흐름이 매우 느리다고 할 수 있다. 지질은 대체로 선캄브리아대의 편마암과 이를 피복하는 제4기의 층적으로 구성되어 있으며 편마암은 주로 중립질에서 세립질의 흑운모편마암과 호상편마암이며 편암과의 접촉면에서 점진적으로 변한다. 연구 지역의 수위자료와 지형에 의하면 지하수는 연구지역의 중앙에 위치하고 있는 낮은 산지에서 충전된 후 방사상의 형태로 하천과 바다로 빠져나가는 것으로 예상된다. 두 번째 연구 지역은 전라북도 김제시 죽산면 대창리의 김제 평야지역(그림 2)으로 서쪽 지역이 바다와 접한다. 전반적으로 평탄한 지형을 이루고 있어 지하수의 수위 구배가 매우 낮은 특성을 가지고 있다. 두 지역은 해안방향으로 담수의 이동이 매우 느리기 때문에 상대적으로 해수와 담수의 농도차에 의한 확산현상이 지하수의 조성에 큰 변화 요인으로 작용할 수 있다(장호완, 1999).

- 현장자료 취득

각 조사지역에서 각각 3개의 시추공에 대하여 물리검층을 실시하였으며 시추는 NX로 실시하였고 시추공의 붕락을 방지하기 위하여 strainer PVC casing을 삽입하였다. 적용한 물리검층은 전자유도검층, 자연감마선검층, 공내수 전기전도도 및 온도 검층이다. 장비는 영국 Robertson Geologging사의 Pro-logger II와 검출기를 이용하였다. 측정시기는 경기도 화성이 1998년 4월 21~5월 8일 이고 전북 김제시는 1999년 7월 중순과 12월 말이다.

- 경기도 화성지역에서의 물리검층

그림 3은 3개의 시추공에 대한 물리검층 결과로, 그림의 왼쪽으로부터 전자유도검층에 의한 전기비저항과 공내수전기전도도이며 공내수전기전도도는 측정 당시 장비의 이상으로 1m 간격으로 측정된 값이다. 시추공 H1과 H2에서의 전기비저항의 분포는 해안가에 멀리 떨어진 H3호공보다 매우 낮으며 비저항이 10ohm-m 이하인 천부 8~10m까지는 점토에 포함된 해수의 영향으로 전기비저항이 낮은 것으로 해석된다. 공내수의 전기전도도 역시, H3호공에서는 약 220us/cm 정도로 음용수 수준이고 시추공 H1과 H2는 1300~1800us/cm 정도로 전기전도도가 높다. 따라서, 해안과 근접할수록 공내수의 전기전도도가 증가하고 전기비저항이 감소하는 것을 알 수 있다. 물리검층은 이 지역에서 실시된 대규모의 전기비저항탐사자료에 대한 신뢰성을 확인하는데 매우 효과적이다. 그림 4는 시추공 H1에서의 물리검층결과와 지표물리탐사를 비교한 것으로 매우 높은 분해능으로 심도에 따른 전기비저항을 측정하는 물

리검층은 주상도상의 기반암 심도와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 지표물리탐사는 지표에서 심도의 변화에 따른 전기비저항의 구조를 파악하기 때문에 심도나 전기비저항에서 오차가 발생할 수 있다. 그림 4에서 오른쪽은 슬립버저 배열을 이용한 전기비저항 수직탐사 결과로, 역산 결과 기반암 심도는 약 10% 정도의 오차 내에서 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

- 전라북도 김제 지역에서의 물리검층

그림 5는 그림 2의 시추공 A, B, C에서 실시한 물리검층으로 해안가 도로에서 각각 280m, 140, 25m 지점에 시추공이 위치한다. 전자유도검층에 의한 전기비저항은 시추공 B와 C에서는 10ohm-m 이하로 매우 낮으며 시추공 A의 경우는 상대적으로 비저항이 높다. 공내수의 전기전도도 역시, 시추공 C의 경우 6000us/cm 이상으로 해수의 직접적인 영향을 받고 있음을 알 수 있으며 해안가에서 멀어 질수록 전기전도도가 감소하는 것이 확인하다. 그림 6은 3개의 시추공에 대한 물리검층자료를 이용하여 전기비저항과 공내수의 전기전도도 분포도를 나타낸 것이다. 그림 6의 위에서 하단의 붉은색은 이 지역의 기반암이며 해안에서 멀어질수록 전기비저항이 전반적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 하단의 전기전도도 분포는 상부보다 아래쪽으로 갈수록 전기전도도가 증가하여 해수가 아래쪽으로 침투하는 양상을 보이거나 이것은 단순한 시추공내에서의 전기전도도분포이다. 이 지역의 대수층 공극수에 대한 전기전도도의 수직적 분포를 측정하면 해수침투가 발생하는 대수층의 파악이 가능하나 중성자검층이나 가탐심도 다른 전기비저항이나 전자유도검층을 실시하지 못해 정량적인 해석은 어렵다. 그림 7의 왼쪽은 모래층과 점토층, 담수와 해수의 혼합에 의한 전기비저항과 자연감마선의 반응을 나타낸 것이다. 즉, 해수로 충전된 모래층은 낮은 비저항과 낮은 자연감마선을 보이기 때문에 해석의 불확실성을 줄일 수 있다. 그림 7의 오른쪽은 시추공 C에 대한 물리검층 결과로 낮은 자연감마선과 낮은 비저항을 해수로 충전된 모래층으로 해석하여 (D), (F), (H)로 표기하였다. 그러나 장식 등이 풍화된 경우, 자연감마선이 높게 나타나기 때문에 지역적인 지질특성을 충분히 파악하여 해석해야 한다.

- 물리검층을 이용한 모니터링

해수침투에 의해 영향을 받는 대수층의 수직적인 분포를 파악하기 위하여 전자유도검층을 이용하여 1시간 간격으로 물리검층을 실시하였다. 자료의 반복성 확인을 위하여 2회 측정하여 측정의 오차정도를 확인하였고 조석간만의 차이가 큰 시점을 중심으로 24시간 측정(1999년 7월과 12월)하였으나 전기비저항의 변화가 측정 오차수준을 벗어나지 못하였다. 이와 같

은 원인은 조석의 영향에 의한 전기비저항의 변화가 작거나 전자유도검층의 가탐심도가 작은 것도 하나의 원인이다.

3. 결론 및 앞으로의 과제

해수침투 지역에서 물리검층은 위에서 설명한 것처럼 다양하게 이용될 수 있으나 정량적으로 활용하기 위해서는 시추공 주변의 공극수의 전기전도도를 파악하는 것이 중요하다. 그리고 물리검층을 이용한 공내수의 전기전도도와 실내분석에 의한 총고용체(TDS)와의 관계, 수직적인 대수층의 특성파악은 수리모델링에도 중요한 입력자료로 활용될 수 있으며 해수침투의 저감 대책에는 필수적이라 할 수 있다.

사사 : 본 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방지 기술개발사업으로 수행된 것입니다.

참 고 문 헌

- 김양수, 1999, 해수침투 지역에서 지구물리탐사에 의한 오염분포 및 침투경로 파악 연구, 석사학위논문, 충남대학교.
- 장호완, 1999, 해수·담수·지질매체의 상호반응에 관한 수리지질학적-수리화학적 연구, 서울대학교 기초과학연구원, 한국자원연구소 위탁연구.
- Morin, R.H., Urish, D. W., 1995, Hydrostratigraphic characterization of a coastal aquifer by geophysical log analysis, Cape cod national seashore, Massachusetts, The log analyst, 35, 27-37.

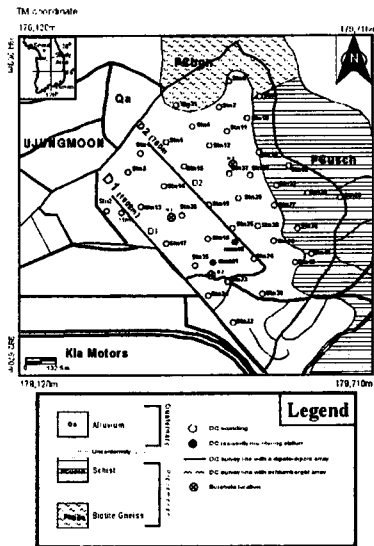
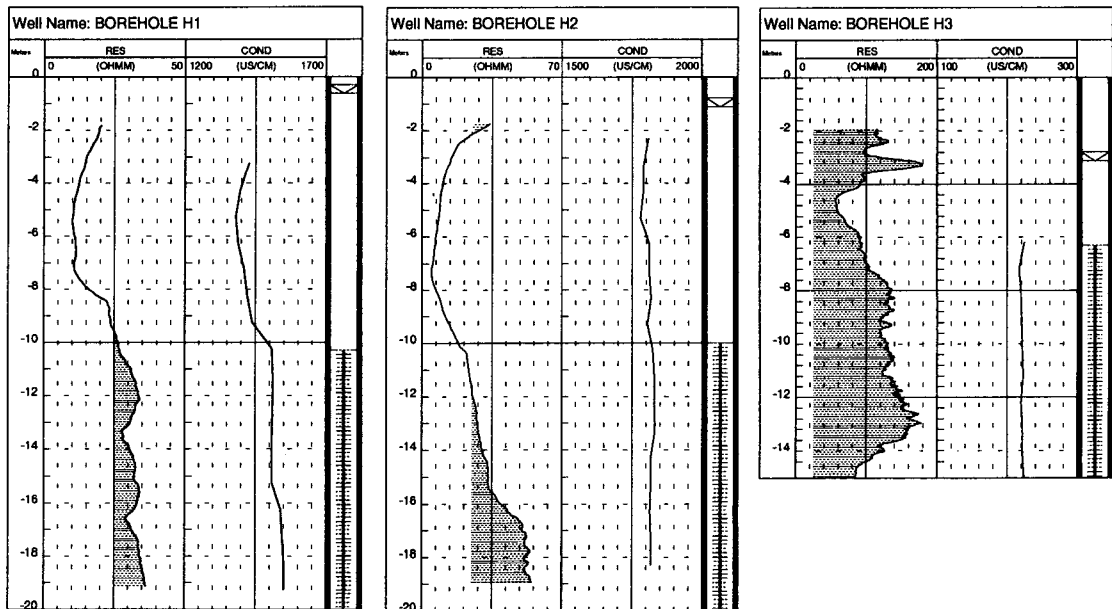


그림 1. 경기도 화성군 우정면의 조사 지역으로 ⊗ 는 물리검층을 수행한 시추공임.

그림 2. 전라북도 김제시 죽산면 대창리 일대로 해수 침투 파악을 위한 4개의 시추공을 시추하였다.



(가)

(나)

(다)

그림 3. (가) 시추공 H1에 대한 물리검층 결과
 (나) 시추공 H2에 대한 물리검층 결과
 (다) 시추공 H3에 대한 물리검층 결과

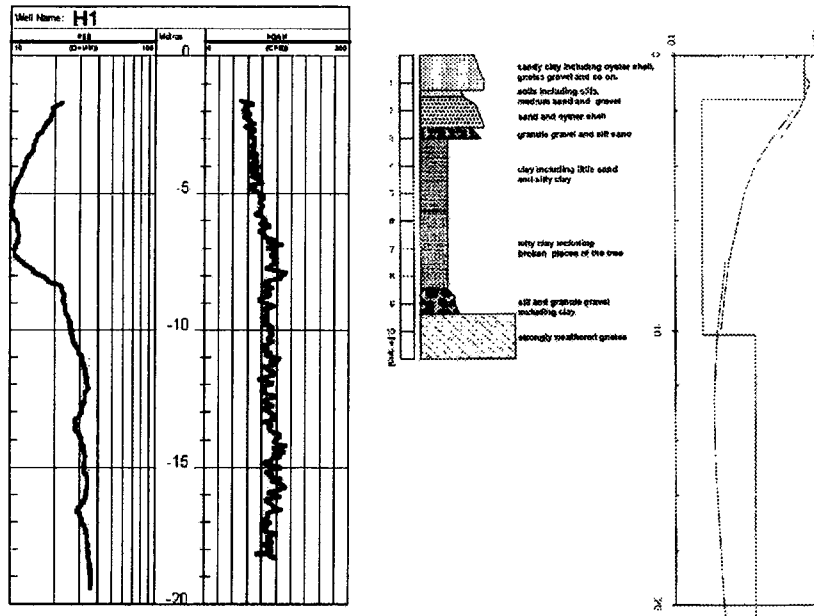


그림 4. 시추공 H1에서 전자유도검층에 의한 전기비저항과 전기비저항 수직탐사(김양수, 1999)와의 비교. 기반암의 심도가 약 10% 이내의 오차로 대상 지역의 실시한 지표탐사의 신뢰성을 뒷받침한다.

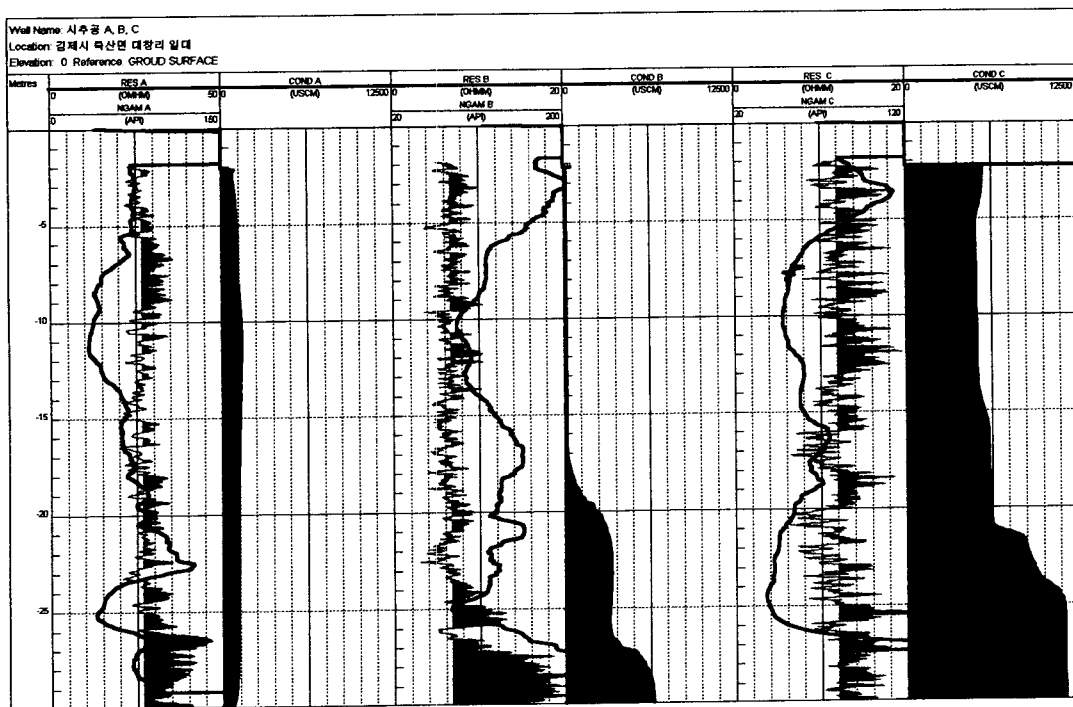


그림 5. 시추공 A, B, C에서의 물리검층 결과

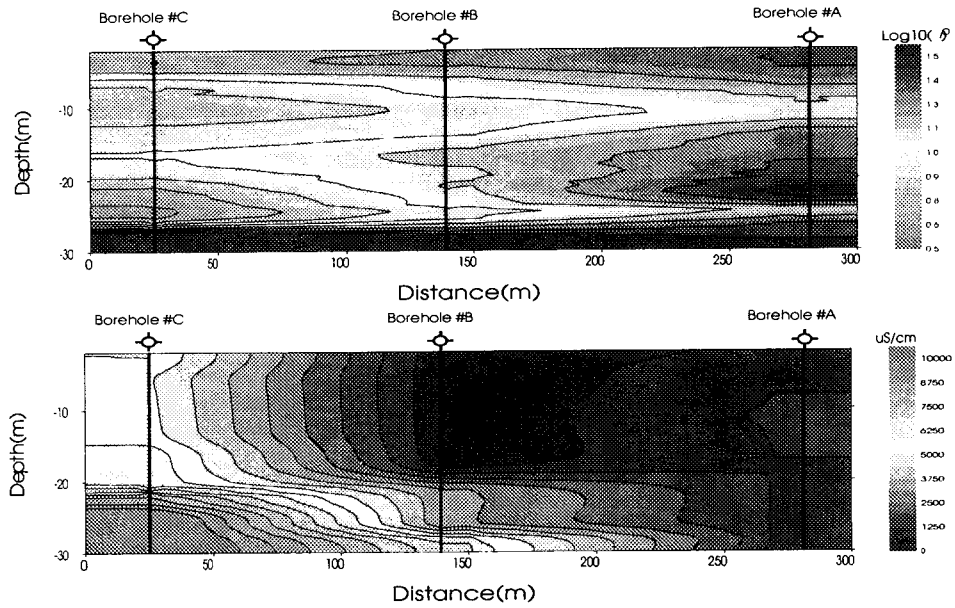


그림 6. 그림 5의 물리검층자료를 이용하여 작성한 전기비저항과 공내수전기전도도의 분포도.

Application of Geophysical Well Logging in Coastal Saline Zones

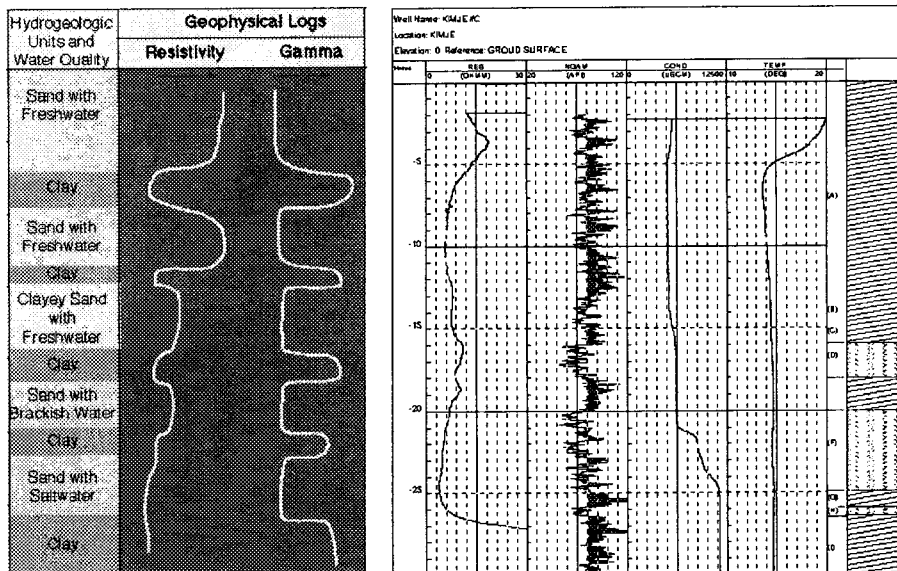


그림 7. 자연감마선과 전기비저항을 이용한 해수침투대의 해석.