

## 영광지역 해수침투 평가를 위한 중성자검층의 적용

황세호 · 신제현 · 길준호\* · 박윤성\* · 이상규 · 송무영\*

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

### <요약문>

연안지역에서 해수침투대의 평가를 위하여 다양한 물리검층을 수행하였다. 특히, 해수침투대의 정량적인 평가에 활용될 수 있는 지층의 공극측정은 매우 어려운 문제중의 하나이다. 연안지역의 경우, 미고결지층에 대한 불교란 시료 채취가 어렵고 대부분의 관측정은 시추공 봉락방지를 위하여 내경 50 mm의 PVC 케이싱을 설치하는 경우가 많기 때문에 공극의 측정은 현실적으로 많은 어려움이 따른다. 본 연구에서는 전남 영광지역에서 각종 조사목적으로 굴착한 시추공에서 다양한 물리검층을 수행하여 공내수의 높은 전기전도도가 기원하는 지층을 확인하고자 하였다. 전자유도검층과 공극검층을 수행한 시추공(YK-4호공)에 대한 해석결과, 공내수의 높은 전기전도도는 물리검층법으로 추정된 사질층 공극수와 비슷한 범위를 보였다. 물리검층법으로 추정된 공극이나 높은 염수를 보이는 구간에 대한 해석결과는 보완해야 할 많은 부분이 있지만 제한된 현장 상황에서 조사결과와 불확실성을 줄이는데 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

**key word:** Saltwater intrusion, thermal neutron log, porewater resistivity

## 1. 서론

연안지역에서 해수침투대의 평가를 위해 수행하는 지표물리탐사 또는 물리검층은 지층평가에 매우 효과적으로 이용될 수 있다(Morin and Urish, 1995; 황세호 등, 2002). 특히, 지층의 공극에 대한 정보는 해수침투대의 정량적인 평가에 활용될 수 있지만 지층의 공극측정은 매우 어려운 문제중의 하나이다. 공극의 측정방법은 코아에 대한 실내시험이나 방사능 또는 음파검층 등을 이용하는 물리검층법으로 구분할 수 있다. 연안지역의 경우, 미고결지층에 대한 불교란 시료 채취가 어렵고 대부분의 관측정은 시추공 봉락방지를 위하여 내경 50 mm의 PVC 케이싱을 설치하는 경우가 많기 때문에 공극의 측정은 현실적으로 많은 어려움이 따른다. 본 연구의 목적은 해수침투대의 정량적인 평가를 위하여 방사능검층을 이용한 지층 공극의 추정과 전자유도검층으로 측정한 지층의 전기비저항과 공극에서 지층수의 전기전도도 추정을 통한 해수침투대의 해석이다.

## 2. 본론

### 2.1 방사능검층을 이용한 공극 측정

물리검층법을 이용한 지층의 공극 측정은 방사능검층(중성자검층, 감마-감마(밀도)검층)이나 음파검층을 이용하며 각각의 방법은 시추공 환경이나 지층의 특성에 따라서 적용성이 달라진다. 소구경의 시추공을 대상으로하는 경우, 실질적으로 적용 가능한 공극검층(공극을 추정하는 물리검층법을 칭함)은 매우 제한되어 있다. 공극검층은 수행하는 경우, 먼저 시추공의 환경에 대한 고찰이 필요하다. 즉, 미고결 지층을 포함하는 지역의 시추공은 붕락방지 목적으로 steel 또는 PVC 등의 재질로 된 케이싱을 설치한다. 일례로, 시추공경이 NX(3인치)인 경우, 대부분 내경 50 mm 의 PVC를 삽입하거나 기반암까지 steel 케이싱을 설치한다. 양수시험 목적으로 대구경 굴착을 하는 경우, 보통 8 또는 6인치의 케이싱을 삽입하기 때문에 공극검층의 적용은 정호구조 등의 시추공 환경과 공극검층 장비의 특성에 대한 사전 검토가 필요하다. 중성자검층은 영국 Robertson Geologging사와 미국 Mount Sopris사의 물리검층 시스템을 이용하였다. 영국 Robertson Geologging사의 물리검층 시스템은 Prologger II 지상제어본체와 dual spacing neutron sonde(DNNS)로 구성되며 sonde의 직경은 63.5 mm, 방사능 선원은  $^{241}\text{Am-Be}$ 이다. 미국 Mount Sopris사의 물리검층 시스템은 MGX II 지상제어 본체와 sonde (LLP)로 구성되며 sonde의 직경은 41mm이다. 2개의 검출기를 이용하는 DNNS는 시추공보상형 sonde호 시추공 환경에 대한 영향을 적게 받는 장점이 있으나 직경이 63.5 mm로 소구경에 대한 적용이 어려운 단점이 있으며 1개의 검출기를 사용하는 LLP는 직경 50 mm인 시추공에도 적용 가능하나 시추공 환경에 대한 영향이 2개의 검출기를 이용한 DNNS보다 많이 받는 단점이 있다.

중성자검층으로 측정하는 공극은 석회암 또는 사암 등의 공극에 대한 상대적인 공극으로 중성자검층의 검출기 calibration에 대한 고찰이 필요하다. 연구에 이용한 영국 Robertson Geologging사의 중성자검층 장비는 헝가리 ELGI사에서 검출기 교정을 실시했으며 시추공경이 150 mm와 214 mm, 그리고 다양한 공극으로 구성된 석회암을 이용하여 검출기 교정을 수행하였다. 그림 1은 중성자검출기의 교정곡선을 나타낸 것으로 가로축은 가까운 거리(Near로 표기)와 먼거리(Far로 표기)에 위치한 검출기에 측정된 계수율의 비(ratio)이고 세로축은 공극율이다. 이 검출기에서 측정 가능한 범위는 -15 ~ 45 %이며 이 공극은 석회암 내에서 측정할 경우에만 정확한 공극이라 할 수 있다. 미국 Mount Sopris사의 중성자 sonde에 대한 교정곡선이 없기 때문에 Robertson Geologging사의 중성자검층 결과를 이용하여 간접적으로 두 중성자검출기 사이의 관계식을 유도하여 공극을 추정하였다.

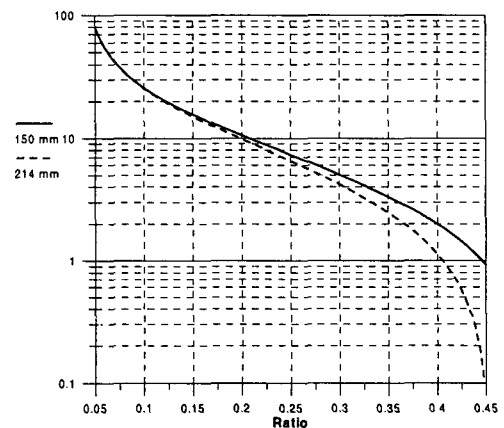


그림 1. 영국 Robertson Geologging사의 중성자검출기 1차 교정곡선.

## 2.2 자료취득 및 처리

그림 2는 시추공이 위치한 전라남도 영광군 백수읍 일대를 나타낸 것으로 ●은 시추공의 위치이다. 방사능검층 중에서 DNNS의 중성자검층이 가능한 3개 시추공(YK-4, YK-8, YK-9)에서 자료를 취득하였고 각종 자료처리 결과 도출된 지층의 공극과 LLP 중성자검층으로 측정된 계수율(CPS)과 감마-감마(밀도)검층에서 추정된 공극의 분포를 그림 3에 나타내었다. YK-4호공은 6인치로 굴착한 후에 4인치 PVC 케이싱을 설치하였고 YK-8과 YK-9호공은 3인치 시추공으로 기반암까지 steel casing를 설치하였다. 3인치 시추공으로 굴착한 시추공의 경우, 내경 50 mm의 PVC 케이싱을 설치하였기 때문에 LLP 중성자검출기를 이용하여 자료를 취득하였고 그림 3의 결과를 이용하여 LLP 중성자검출기의 계수율과

DNNS 중성자검출기로 측정된 Limestone %의 관련성을 분석하여 관계식을 유도하였다. 그림 4는 LLP 중성자검출기의 계수율과 DNNS 중성자검출기 및 감마-감마(밀도) 검출기를 이용하여 측정된 밀도자료에서 추정된 공극과의 관계를 나타낸 것으로 상관성이 높은 것을 알 수 있다. 따라서, 그림 4의 관계를 이용하여 직경 50mm의 소구경에서 취득한 LLP 검출기의 계수율을 공극으로 환산하였다. 시추공 YK-8호공과 YK-9호공에서 중성자검층과 감마-감마(밀도)검층으로 추정된 공극자료의 상관관계를 보면 공극이 높아 질수록 중성자검층으로 추정된 공극이 높게 나타나는 경향을 보이는데 이는 점토층의 영향으로 해석된다.

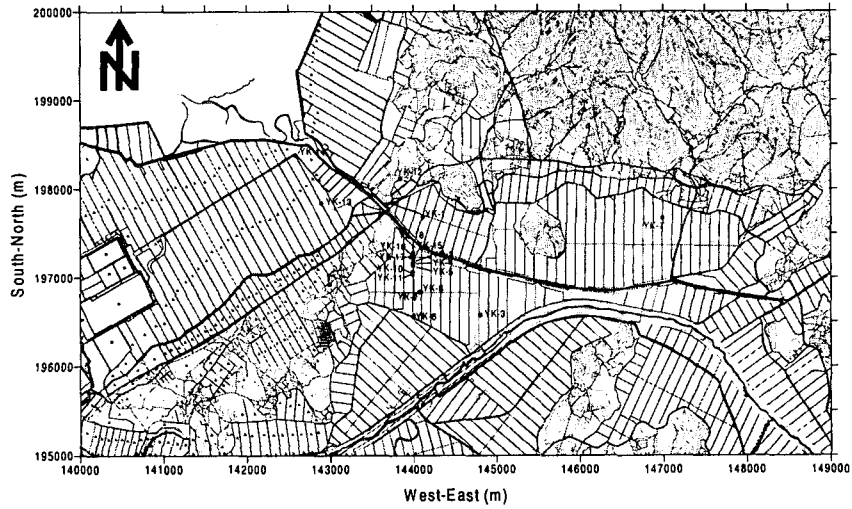


그림 2. 연구 지역인 전남 영광군 백수읍 일대의 시추공 위치도.

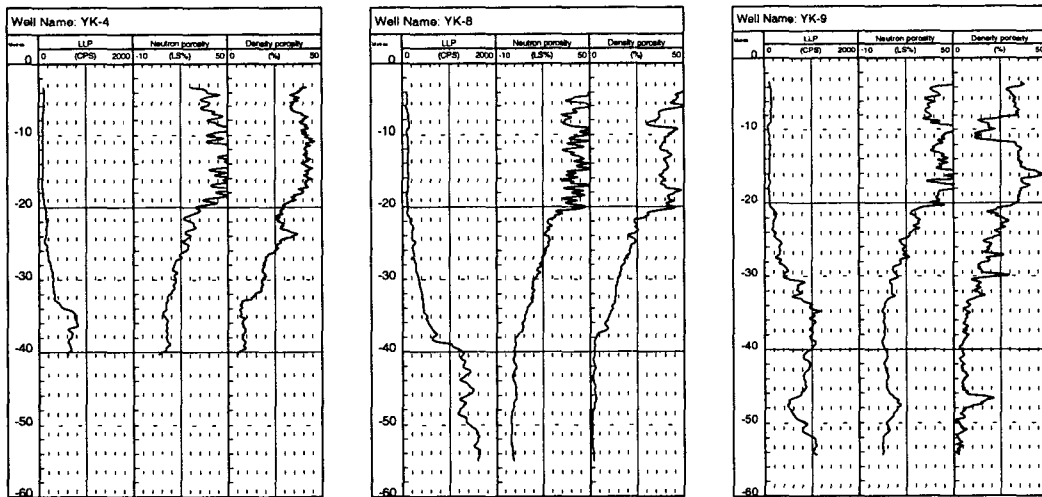


그림 3. YK-4, YK-8 및 YK-9호공에 대한 공극검층 결과.

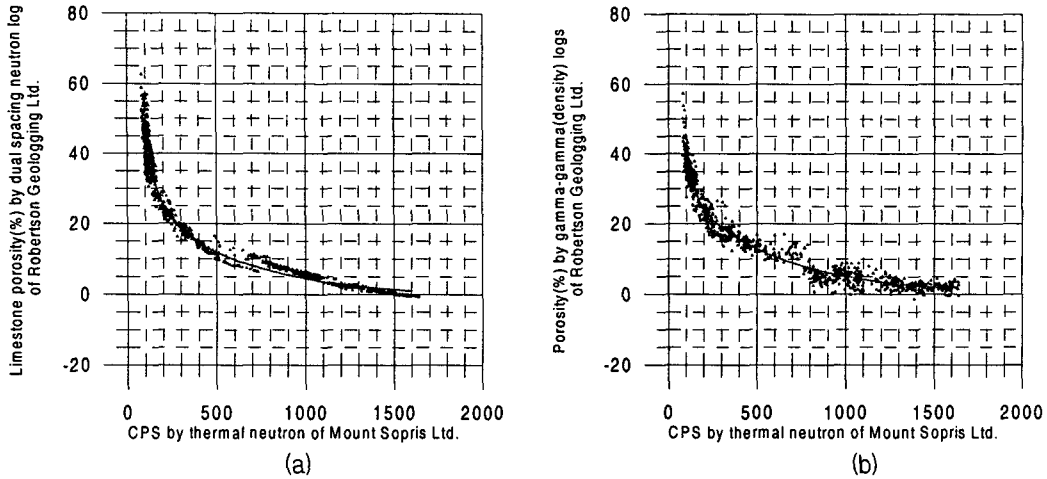


그림 4. (a) DNNS와 LLP(CPS)와의 관계 (b) 밀도검층으로 추정된 공극과 LLP(CPS)와의 관계.

### 2.3 지층수의 전기전도도 추정

물리검층법을 이용하여 지층의 공극과 전기비저항을 측정하는 경우, Archie(1942)이 제안한 관계식인  $R_o = a \cdot \phi^{-m} \cdot R_w$  을 이용하여 지층수의 전기비저항(또는 역수인 전기전도도)을 추정할 수 있다. 위 식에서  $R_o$ 는 지층의 체적비저항(ohm-m),  $a$ 는 암상에 따른 상수로 범위는 0.6~2.0,  $\phi$ 는 공극(%),  $m$ 은 고결지수로 1.3~2.2의 범위이며  $R_w$ 는 지층수의 전기비저항(ohm-m)이다. 위식에서  $a=1$ ,  $m=1.4$ 로 가정하여 YK-4호공에 대한 지층수의 전기비저항을 추정하여 공내수의 전기전도도와 비교하였다. 그림 5는 전자유도검층으로 측정된 지층의 전기비저항( $R_o$ )과 DNNS의 중성자검층으로 측정된 지층의 공극( $\phi$ )을 이용하여 지층수의 전기비저항( $R_w$ )을 계산하여 공내수의 전기전도도검층 자료( $\blacktriangle$ )와 비교한 것이다. 그림에서 물리검층으로 추정된 지층수의 전기전도도(전기비저항의 역수로  $\bullet$ 로 표기함)가 높은 구간은 주로 니질층 구간이며 낮은 구간은 기반암 구간이다(사질층 구간은 17~25m 임). 사질층 구간에서 추정된 지층수의 전기전도도는 공내수의 전기전도도와 비슷한 범위를 보이고 있다. 사질층 하부인 화강암 구간에서 공내수의 전기전도도가 높게 추정된 것은 풍화대 구간으로 낮은 전기비저항과 기반암 하부보다 상대적으로 높은 공극 때문인 것으로 해석된다. 공극검층에서 측정하는 공극은 1차 공극이기 때문에 기반암 내에 존재하는 파쇄대를 통한 염수의 영향을 배제할 수는 없지만 YK-4호공의 경우, 공내수의 높은 전기전도도검층 자료는 주로 사질층 내의 높은 전기전도도를 갖는 지층수의 영향으로 해석된다.

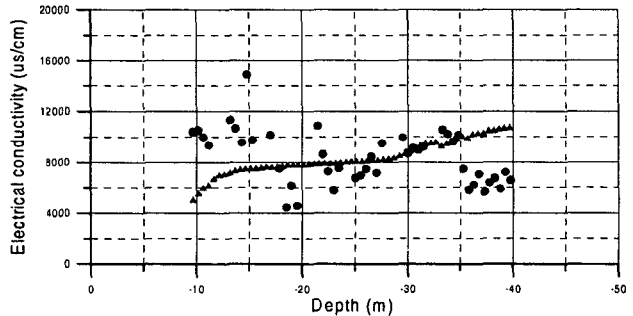


그림 5. 물리검층법으로 추정된 지층수의 전기전도도 분포와 공내수 전기전도도검층 자료와의 비교.

## 3. 결론

영광지역에서 해수침투대의 정량적인 평가를 위하여 각종 조사목적으로 굴착한 시추공에서 다양한 물리검층을 수행하였다. 특히, 방사능검층의 적용성을 검토하여 공내수의 높은 전기전도도가 기원하는 지

층을 확인하고자 하였다. 조사 시추공에 대한 측정환경이 매우 제한적이기 때문에 다양한 방사능검층을 수행하였으며 50mm PVC 케이싱을 삽입한 시추공에 대한 공극 측정을 시도하였다. 전자유도검층과 공극검층을 수행한 시추공(YK-4호공)에 대한 해석결과, 공내수의 높은 전기전도도는 물리검층법으로 추정된 사질층 공극수와 비슷한 범위를 보였다. 물리검층법으로 추정한 공극이나 높은 높은 염수를 보이는 구간에 대한 해석결과는 보완해야할 많은 부분이 있지만 제한된 현장 상황에서 조사결과의 불확실성을 줄이는데 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

#### 4. 참고문헌

- 황세호, 신제현, 박인화, 이상규, 양승진, 2002, 시추공/지표 물리탐사를 이용한 연안지역 해수침투대의 평가, 한국자원공학회 · 대한자원환경지질학회 · 한국지구물리탐사학회 · 대한지질학회 공동 춘계학술발표회 논문집, 185-187.
- Archie, G.E., 1942, The electrical resistivity logs as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. AIME, 146, 54-62.
- Morin, R.H., and Urish, D.W., 1995, Hydrostratigraphic characterization of a coastal aquifer by geophysical log analysis, Cape cod national seashore, Massachusetts, The Log Analyst, 36, 27-37.