

지표/시추공 물리탐사를 이용한 연안지역 해수침투대의 평가

황세호^{*1)} · 신제현²⁾ · 박인화¹⁾ · 이상규¹⁾ · 양승진²⁾

1. 서론

연안지역에서 발생하는 해수침투의 예측이나 저감 등을 위해서는 해수침투 경로나 범위 등을 정확하게 파악해야만 한다. 전기탐사나 전자탐사법은 공간적인 전기비저항 분포나 조석 영향에 의한 전기비저항 변화의 측정을 통하여 해수침투대의 파악 (황학수 등, 2001)은 가능하지만 미고결층이나 암반내 불연속면 내에 존재하는 해수 또는 혼합수의 전기전도도를 파악해야 보다 정량적으로 해수침투의 정도나 경계를 파악할 수가 있다. 본 연구는 전남 영광군 백수읍 일대에서 수행한 지표 및 시추공 물리탐사 (물리검층)를 이용하여 정량적인 해수침투의 평가와 활용에 대한 것이다.

2. 지표 물리탐사 및 물리검층

가. 지표 물리탐사 : 지표 물리탐사는 이 지역을 구성하고 있는 3개의 주층, 즉 점토층, 사질층과 기반암인 화강암 심도의 공간적인 파악을 위하여 수행하였다. 적용한 물리탐사법은 Schlumberger 배열을 이용한 전기비저항 수직탐사이며 총 43개 측정점에서 자료를 취득하였다. 43개 측정점에 대한 탐사자료 중에서 자료의 신뢰성이 작은 자료를 삭제하였으며 역산 결과 도출된 각 지층의 경계면을 그림 1에 나타내었다. 이 지역에서 주요 해수침투대는 사질층으로 가장 낮은 전기비저항을 갖는다.

나. 물리검층 : 물리검층은 NX 크기 또는 8인치로 굴착한 시추공에서 자료를 취득하였으며 대부분의 시추공은 붕락 방지를 위하여 strainer를 설치한 PVC 케이싱이 삽입되어 있다. 물리검층은 온도/전기전도도검층, 전자유도검층, 자연감마선검층, 감마-감마 (밀도)검층 및 중성자검층 등의 자료에서 지층평가와 수리적인 특성을 파악하고자 하였으며 특히, 주요 대수층인 사질층의 공극을 파악하고자 하였다.

다. 전기비저항의 등가염분농도 환산 : 물리탐사 주요 목적 중의 하나는 해수침투 범위의 파악이며 이는 주요 대수층 역할을 하는 사질층 전기비저항 분포도에서 추정이 가능하다. 그러나 사질층의 전기비저항은 공극의 크기와 공극수의 전기전도도에 따라서 변하기 때문에 공극수의 전기전도도 분포를 정량적으로 파악해야 해수침투의 범위나 정도를 정확하게 평가하기 위해서는 수 있다. 사질층 공극수의 전기전도도는 공극과 완전 포화된 사질층의 전기비저항을 측정하면 계산이 가능하다. 사질층 공극은 실내시험이나 중성자검층 등을 이용하여 측정하는데 본 연구에서는 중성자검층을 이용하여 사질층의 공극을 산출했으며 측정된 공극은 석회석 공극 (Limestone porosity)에 대한 상대적인 공극이다. 이 지역의 수위는 수 m 정도이고 점토층과 사질층의 경계부가 대부분 수위보다 낮기 때문에 전기비저항 수직탐사 자료에 대한 역산 결과, 도출된 사질층의 전기비저항을 완전 포화된 사질층의 전기비저항으로 가정하였다. 사질층의 전기비저항과 공극이 결정되면 다음과 같은 지층계수(F)를 이용하여 공극수의 전기전도도를 계산할 수 있다 (Key, 1997).

$$F = \frac{R_o}{R_w} = \frac{1}{\phi^m} \quad (1)$$

주요어: 해수침투, 지표물리탐사, 물리검층, 등가염분농도

1) 한국지질자원연구원 탐사개발연구부(hwangse@kigam.re.kr)

2) 한양대학교 지구시스템공학과

(1)식에서 R_o 는 완전 포화된 지층의 전기비저항 (ohm-m)이고, R_w 는 공극수의 전기비저항 (ohm-m), ϕ 는 공극이고 m 은 고결계수 (cementation factor)로서 사질층이 미고결지층이기 때문으로 1.3으로 가정하였다. (1)식을 이용하여 추정된 조사 지역 사질층의 전기전도도는 온도검층 결과를 이용하여 25℃에서의 전기전도도로 환산한다.

해수침투대의 경계부나 염분농도의 공간적인 파악을 위해서는 공극수의 전기전도도를 등가염분농도 (electrically equivalent NaCl solution)로 환산해야 한다. 등가염분농도의 환산은 주요 석유회사에서 제안한 관계식 (Dresser Atlas, 1982)을 이용하거나 대상 지역에 존재하는 지하수 관정에서 채취한 지하수의 성분 분석 결과를 이용한다 (Key, 1997). 그림 2는 등가염분농도 환산에 대한 것으로 ○는 연구지역 내에 위치하는 관정 지하수의 전기전도도와 성분 분석 결과를 등가염분농도로 환산하여 나타낸 것이다. 지하수 시료는 10 m 심도에서 채취하였고 전기전도도는 25℃에서의 전기전도도이며 그림 2에서 가로축인 전기비저항은 전기전도도의 역수이다. 그림 2에서 공극수의 전기비저항 (R_w)과 등가염분농도의 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$NaCl\ solution\ (ppm) = 4690.5073 \times R_w^{-1.0213},\ R^2 = 0.97 \quad (2)$$

(2)식에 (1)식의 R_w 를 대입하면 (3)식으로 표현되며 지표물리탐사에 의한 전기비저항과 물리검층 또는 실내시험으로 공극을 측정하면 등가염분농도를 파악할 수 있다.

$$NaCl\ solution\ (ppm) = 4690.5073 \times (\phi^m \times R_o)^{-1.0213} \quad (3)$$

그림 3은 (3)식을 이용하여 연구 대상 지역 사질층의 등가염분농도를 나타낸 것이다.

3. 물리탐사 결과의 활용 및 향후 과제

연구 대상 지역에서 수행한 지표 및 물리검층 결과는 해수침투대의 평가에 일차적으로 활용이 가능하지만 지하수 유동 수치모델링의 입력자료로 활용이 가능하다. 의미 있는 수치모델링 결과를 얻기 위해서는 신뢰성 높은 입력자료나 초기 또는 경계조건 등이 필요하다. 지하수 유동 수치모델링에 이용한 물리탐사 결과는 다음과 같다.

- 지표 물리탐사 : 점토층, 사질층 및 기반암 분포의 입력자료
- 물리검층 : 밀도와 공극의 입력자료
- 지표 물리탐사/물리검층 : 주요 해수침투대의 등가염분농도는 초기조건으로 활용

앞으로 매우 작은 전기비저항을 갖는 연안지역 미고결지층에 대한 전기·전자탐사의 복합적인 적용과 기반암 mapping을 위한 탄성과 탐사, 정확한 공극 측정을 위한 물리검층 기술 개발이 필요하다.

참고문헌

황학수, 문창규, 이상규, 이태섭, 2001, TEM 감쇠곡선을 이용한 해수의 지하 유동현상 파악, 대한자원환경지질, 34, 499-506

Dresser Atlas, 1982, Well logging and interpretation techniques, Dresser Industries Inc.

Key, S. W., 1997, A practical guide to borehole geophysics in environmental investigation, Lewis publishers, 176.

사 사 : 본 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방재 개발사업으로 수행된 것입니다.

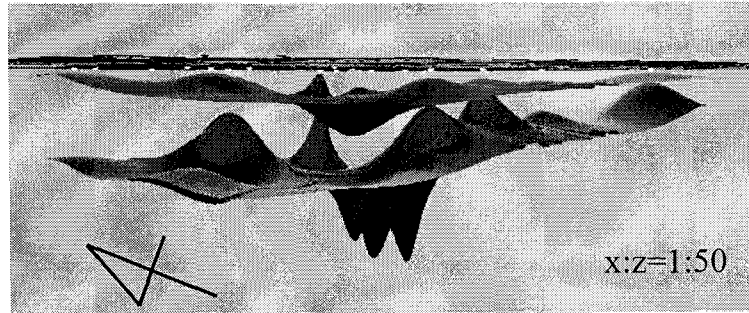


그림 1. 전기비저항 수직탐사 결과로서 연구 대상지역의 점토층 및 사질층의 심도 분포를 나타낸 것이다 (심도는 50배 확대하여 나타낸 것임).

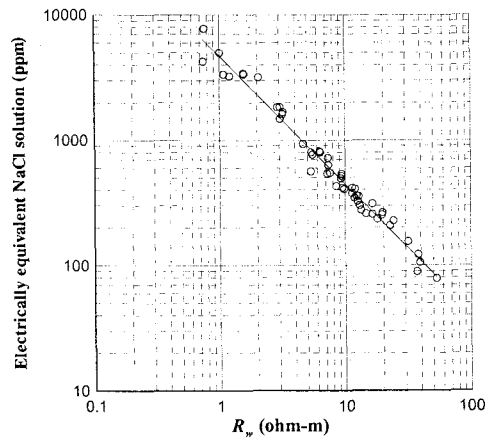


그림 2. 공극수의 전기비저항과 등가염분농도와의 관계로 ○는 연구 대상 지역 지하수의 전기전도도와 성분 분석 결과 (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2})를 등가염분농도로 환산하여 나타낸 것이다.

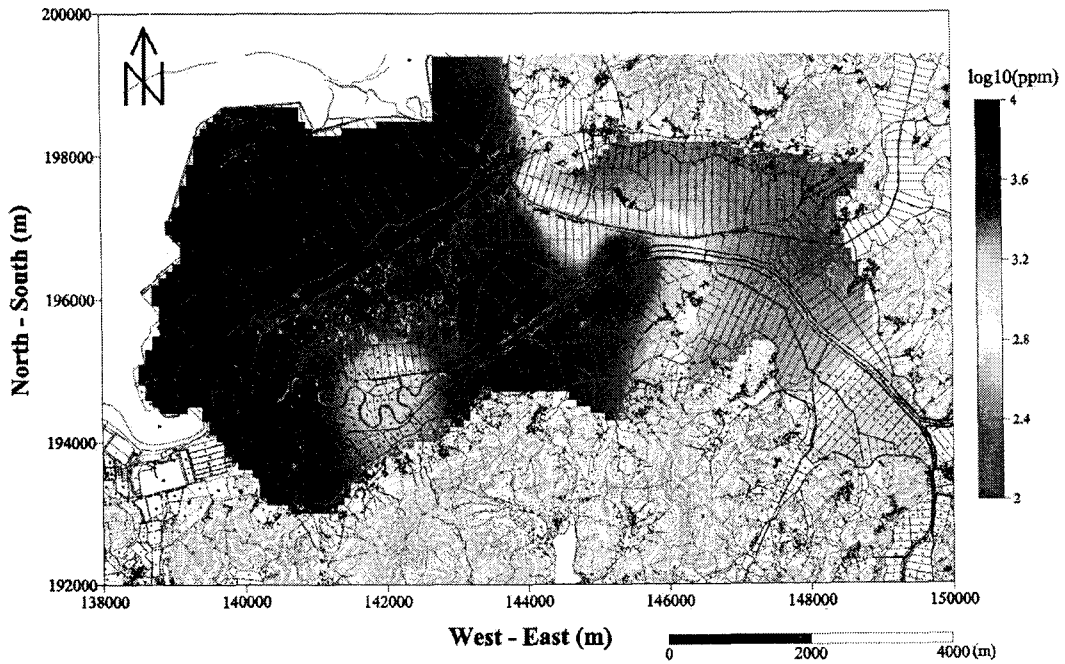


그림 3. 지표/시추공 물리탐사법을 이용하여 도출한 주요 해수침투대인 사질층의 등가염분농도 분포도.