

도서지역 지하수 장기관측자료를 이용한 해수침투 사례분석

김진호 · 송성호 · 이규상 · 설민구*

농업기반공사 농어촌연구원, *농업기반공사 지하수사업처

E-mail : kimjinho@karico.co.kr

요 약 문

우리나라 서남해 도서지역의 암반대수층을 통한 해수침투 실태 파악과 합리적인 지하수 이용관리 계획을 수립하기 위하여 농림부와 농업기반공사가 운영중인 해수침투 관측망에 대한 대략적인 소개와 일부 지역의 운영 사례를 제시하였다.

강화도 송뇌지역 운영사례에서는 2002년 1월 1일부터 11월 30일까지의 수위, 전기전도도, 수온 등 세 항목의 지하수 장기관측 결과와 전기전도도 검층, 변형된 단극배열 전기비저항 탐사 및 지하수 시료들의 이온분석 결과를 바탕으로 관측정의 해수유입 실태를 파악하였으며, 소유역에 대한 개략적인 해수침투 유형파악이 가능함을 확인하였다.

key word : 해수침투, 전기전도도, 지하수위, 지하수 장기관측

1. 서론

일반적으로 해안지역에서 지하수의 양수에 의해 해수가 담수 대수층으로 유입되는 현상을 해수침투(seawater intrusion)라고 하는데 (Freeze and Cherry, 1979), 이러한 해수침투 현상은 강우량, 지하수면의 높이 변화, 조석에 의한 해수면 변화, 해수와 담수간의 밀도차 등 자연적인 요인에 의해서도 발생된다. 따라서 해수침투의 원인은 대수층을 포함한 소유역에서 다양한 수리지질학적 특성을 기초로 규명되어야 하지만, 지금까지는 체계적인 분석이 없는 상태에서 수량 위주로 지하수를 개발함으로써, 해수 유입에 의해 방치공 및 폐공이 발생되고 있는 상황이다. 이에 따라서 대수층으로의 해수 유입은 취수정에서 지하수를 과다하게 양수함에 따라 발달되는 양상을 보이고 있으며, 최근에는 임해지역에서의 무분별한 지하수 개발과 과잉 양수 등 인위적인 요인에 의해 내륙으로 확산되고 있어 문제가 커지고 있다.

본 연구에서는 이러한 해수침투 관측망에 대한 대략적인 소개와 더불어 사례로 강화도 송뇌 지역의 해안변 소유역에 대하여 예비적인 조사결과를 토대로 해수침투 관측망 운영 사례를 분석하여 제시하였다.

2. 해수침투 관측망 개요

농림부와 농업기반공사(2002)에서는 1998년 이후 서남해안 도서지역 중 강화, 신안, 진도, 완도, 남해, 거제에 각각 6개소씩 총 36개소의 관측망을 설치하여 지하수에 대한 수위, 전기전도도, 수온의 장기관측을 실시하고 있다. 이러한 해수침투 관측망에서 얻어진 자료는 다양한 수리지질학적 특성을 고려한 분석과정을 통해 지하수개발 이용으로 인한 해수침투 영향을 사전에 파악하고 피해예방을 수립하며 합리적인 지하수이용 관리 계획 수립에 필요한 기초 자료로 활용되는데 매년 단계적으로 적용지역을 넓혀가고 있다.

3. 해수침투 조사 사례

해수침투 조사 사례는 전체 관측망 운영지역 중 해안변 소유역을 대상으로 한 인천광역시 강화군의 송뇌지역에 대하여 관측망 위치 파악을 위한 GPS(Global Positioning System) 측위, 수리지질구조 파악을 위한 2차원 전기비저항 탐사, 각 관측정의 심도별 염수침입 상태 파악을 위한 공내 전기전도도 검층, 공내 지하수의 수질특성 파악을 위한 이온분석 및 장기간의 지하수위 및 전기전도도 변화 모니터링 결과를 체계적으로 분석하였다.

3.1 기초조사

이 지역에서 수리지질 특성을 파악하기 위한 현장 기초조사로 관측정 위치 및 전기비저항 탐사 위치에 대한 정확한 좌표 및 해발고도 측정을 위하여 GPS 측위를 수행하였으며, 염수침입 현상을 규명하기 위하여 변형된 단극배열(modified pole-pole array) 전기비저항 탐사를 수행하여 이 지역에 대한 수리지질 특성에 대한 2차원 영상을 구현하였다 <그림 1>.

전기비저항 탐사 결과 연구지역의 지표하부 약 20~30 m 까지 전기비저항이 5 ohm-m 이하의 매우 낮은 지층과 그 이하로 수십 ohm-m 내외의 상대적으로 높은 비저항 분포가 나타나는데, 전체적인 전기비저항 분포가 해수에 포화된 정도로 나타남에 따라 이 지역이 과거 조간 대였음을 알 수 있다.

또한 해안변과 상대적으로 인접한 well 2 지역의 경우는 과거 갯골로 의심되는 매우 낮은 전기비저항대가 수십 m 이하까지 발달되는데, 이러한 결과는 전기전도도 검층에서 나타난 바와 같이

well 1과 well 2에서 5,000~10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 매우 높은 전기전도도의 발달과 일치된다 <그림 2(a)(b)>. 이에 비하여 해안선으로부터 상대적으로 멀리 떨어진 well 3 관측정의 경우는 전기전도도가 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 정도로 상대적으로 낮게 나타났다 <그림 2(c)>.

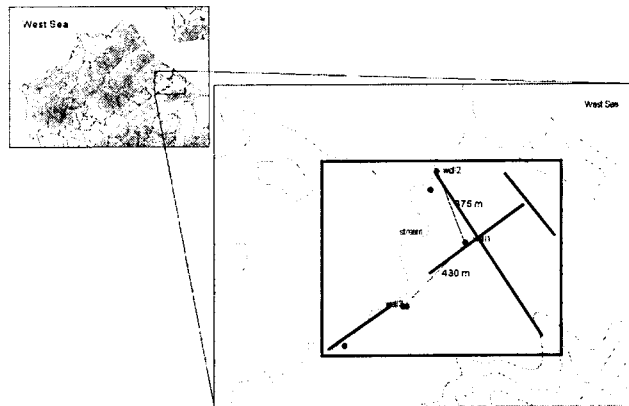


그림 1. 송뇌지역 해수침투 관측망 위치도 및 탐사축선

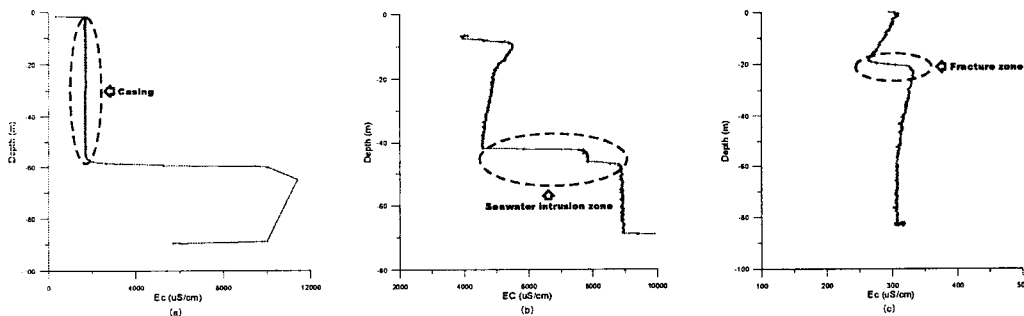


그림 2. 송뇌지역 각 관측정에 대한 심도별 전기전도도 검층 결과도 (a) well 1, (b) well 2, (c) well 3

이 연구에서는 해수유입에 의해 전기전도도가 약 4,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 9,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 급격한 증가가 나타난 well 2 관측정의 42~52 m 구간의 네 지점에 대하여 조석변화에 의한 전기전도도 변화를 측정하기 위하여 24시간 동안의 전기전도도 변화를 모니터링 하였다. 분석 결과 네 지점에서 시간 경과에 따른 전기전도도의 변화 양상은 나타나지 않았으며, 지하수위 변화가 조위변화

와 무관한 장주기의 변화를 나타내는 것으로 보아 향후 추가로 정밀한 조사가 필요한 것으로 판단된다.

3.2. 수질특성조사

이 연구에서는 각 관측정 지하수에 대한 지구화학적 분석을 위하여 장기 양수 후 시료를 채취하여 이온 분석하였다. 자료 해석은 해수 침입의 영향을 효과적으로 판단할 수 있는 방법으로 Revelle(1941)이 제시한 Cl/HCO_3 몰비를 이용하였는데, well 1과 well 2의 경우는 3~11 정도의 범위로 상대적으로 해수침입에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 분석 결과를 이용하여 piper diagram상에 도시한 결과 well 1과 well 2 관측정의 지하수질은 Na-Cl 유형에 해당되는 지점에 도시됨에 따라 본 지하수가 해수에 의한 영향을 크게 받고 있는 것으로 나타났으며, well 3의 경우는 상대적으로 해수에 의한 영향은 적게 받는 것으로 나타났다 (표1).

표 3. Cl/HCO_3 비에 따른 해수침입 영향범위 (Revelle, 1941)

Cl/HCO_3 비	Interpretation
0.4 이하	None of Seawater Intrusion
0.5~1.3	A little Problem
1.3~2.8	A little Impact
2.8~6.6	Serious Impact
6.7 이상	Very Serious Impact

3.3. 장기관측 결과

승뇌지역 관측정 3곳에 대하여 2002년 1년 동안 장기관측자료를 분석하였는데, 이때 수문자료는 강화기상대의 관측 자료를 이용하였다. 강수 자료를 분석한 결과 2~4월에는 상대적으로 강수량이 적었지만, 5월 초에서 중순까지 그리고 6월 중순 이후부터 강수량이 집중되었으며 8월 경에는 태풍 루사 등으로 인해 특히 많은 강수량을 보였다 <그림 3(a)>.

연중 지하수위의 변화는 강수량이 집중된 5월 초와 7월 이후에 세 관측정 모두에서 증가하고 있으며, 양수가 직접 이루어지는 well 1에서는 20 m 이상 수위가 연중 변화했다. 특히 용수 수요가 많은 6월 중순까지는 지속적으로 수위가 낮아지는 경향이 나타나지만, 그이후에는 수위가 회복되는 결과가 나타났다 <그림 3(b)>. 연간 지하수위 변화량은 well 1 이 25 m로 가장 크며, well 2는 약 9 m, well 3이 7 m 정도다. 또한 well 1의 양수에 의해 다른 관측정들도 영향을 받는 것으로 판단된다. well 1 관측정의 경우는 전기전도도 측정 센서위치가 지표하부 65 m 지점으로 수중모터 위치보다 5 m 깊이 때문에 양수와 상관없이 연 11,000~12,000 $\mu S/cm$ 정도로 일정하게 유지되고 있어 해수에 의한 영향이 상시 지속되는 것으로 판단되지만, 해안에서 가장 먼 거리에 위치한 well 3 관측정의 경우 약 300 $\mu S/cm$ 정도를 유지하고 있어 해수침투의 영향이 크지 않음을 보여주고 있는데 이러한 결과들은 전기전도도 검층 결과와 일치한 것으로 나타나고 있다 <그림 3(c)>.

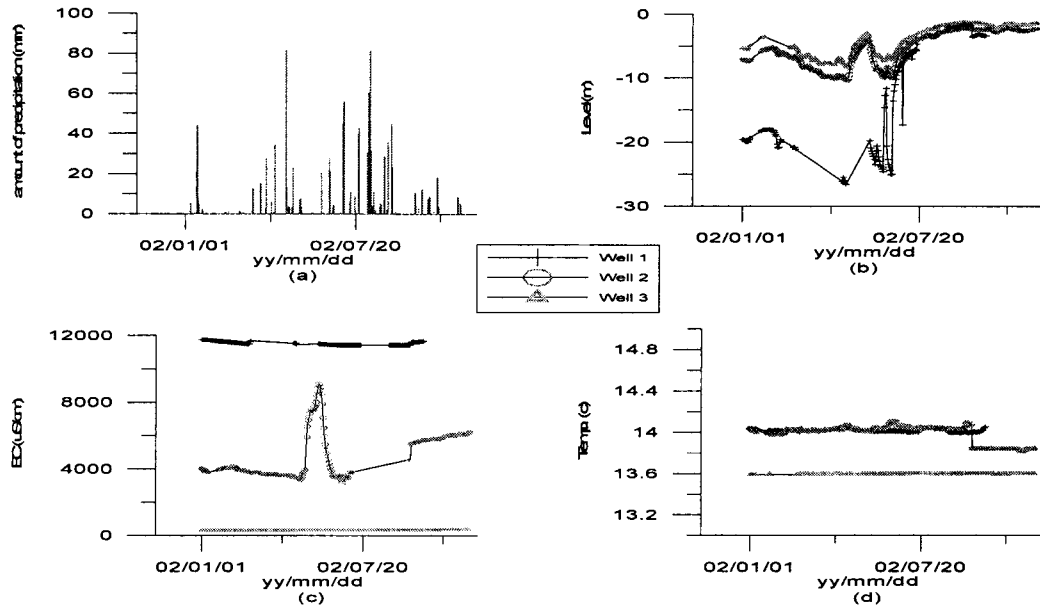


그림 3. 승뇌지역 각 관측점에 대한 장기관측 결과도 (a)연간 강수량, (b)수위, (c)전기전도도, (d)수온

4. 토의 및 결과

우리나라 서남해 도서지역에 해수침투 조사용으로 설치된 36개소의 지하수 장기관측망 중 강화도 승뇌지역에 설치된 3개소의 관측망 사례로 해수침투 유형을 알아보았다.

이 지역에서는 해수에 의해 오염된 well 1 관측점의 양수가 인근의 well 2 관측점까지 영향을 미쳐 수위를 강하시키고 그에 따른 전기전도도의 변화도 수반되어 나타난 것으로 볼 때 이 지역에서의 해수침투의 유형은 양수에 의한 직접적인 영향이 나타나는 것으로 파악되었다.

5. 사사

본 연구는 농림부와 농업기반공사에서 수행 중인 해수침투 조사사업과 21세기 프론티어연구 개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-3-1)에 의해 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- 1) 과학기술부, 한국자원연구소, 해수침투 평가, 예측 및 방지기술 개발, 2000.
- 2) 농림부, 농업기반공사, 제주도 '96 장기 관측망 설치 및 조사 실적보고서, 1996.
- 3) 농림부, 농업기반공사, 2002해수침투조사 보고서, 2002.
- 4) Freeze, R.A. and Cherry, J.A., Groundwater. Prentice-Hall, 375p., 1979.
- 5) Revelle, R., Criteria for recognition of seawater in groundwaters: Trans. Amer. Geophysical Union, 22, 593p., 1941.
- 6) Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., Applied geophysics. 2nd ed. Cambridge University Press. Cambridge. 285p., 1990.