

# 연안지역 해수침투대에서 균열암반을 통한 담수주입시험

신제현<sup>1)\*</sup> · 황세호<sup>1)</sup> · 박권규<sup>1)</sup> · 오하연<sup>2)</sup>

## 1. 서 론

연안지역에서 발생하는 해수침투 연구의 주요목적 중 하나는 해수침투의 확산을 최소화 하면서 지속적인 연안 지하수를 확보하는데 있다. 해수침투 피해를 저감하기 위해서는 연안 지역에서 염/담수 영역을 고려하여 적정양수량을 최적화 하는 방법과 인공적으로 담수를 대수층에 주입시켜서 지하수위를 높이고 수리적으로 해수의 이동을 제어하는 방법 등이 있다. 이 중 담수주입법은 대상 지역의 지질, 수리지질, 주입수의 물리·화학적 특성에 대한 정보가 중요하며, 균열암반에 대한 담수주입은 정확한 주입구간의 선정이 가장 중요한 사안이다. 균열 암반내에 담수 주입을 통한 염수화 피해 저감을 위해서는 대상 지역의 균열특성을 파악하고 투수성 파쇄대의 규모, 심도, 방향, 특히 연장성에 대한 특성화가 필수적이다. 시추공과 교차하는 암반의 균열특성은 기본적으로 시추코어, 공벽영상화검층 자료에서 파악할 수 있고, 많은 균열 중에서 투수성 균열을 확인해야 하는데 이는 패커시험, 유향·유속검층, 공내수치환 전기전도도검층법 등이 가장 많이 이용되고 있다(황세호 등, 2004, Paillet *et al.*, 1993). 본 연구는 연안지역에 해수침투 피해개선 효과의 확인을 목적으로 균열암반을 통한 담수주입시험을 수행하고 그 효과를 모니터링하였다.

## 2. 본 론

연구지역인 전남 영광군 백수읍 일대는 다양한 조사와 연구를 통해 개발된 해수침투대 등가염분농도 추정기술을 이용하여 해수/담수의 분포를 해석한 바 있어 염/담수 경계가 형성된 것으로 추정되는 전이대 지역이다. 장기양수 중에 시행한 다채널 전기전도도 모니터링(신제현 등, 2005) 및 공내수치환 전기전도도검층(황세호 등, 2006)의 결과, 본 지역은 다수의 투수성 파쇄대가 존재하며, 염도가 낮지만 수리전도도가 큰 것으로 판단되는 사질층과 염도가 높으나 수리전도도가 사질층에 비하여 작은 것으로 판단되는 암반층의 균열이 확인되었다. 이에 담수주입 및 모니터링을 위한 시추공은 충적층을 통한 담수주입과 균열암반을 통한 담수주입이 가능하도록 각각 설계·굴착되었다.

담수주입은 패커(packer)를 이용하였으며 기존의 패커를 보완하여 각 부품을 모듈화하여 현장시험 준비, 이동 및 장비의 유지보수가 간단하도록 설계·제작하였다. 패커 모듈의 최대 직경은 약 130 mm, 최대 압력은 10 kbar이며, 담수주입 구간은 파쇄대의 특성에 따라서 최소 1 m에서 최대 10 m까지 구간설정이 간편하도록 제작하였다. 각 모듈의 연결은 착탈식으로 제작하여 단위 부분의 고장 시 교환이 쉽도록 되어있다. 최대 시험 가능한 심도는 최대 100 m이며 적용 대상 시추공의 공경은 3인치에서 6인치까지 적용 가능하다.

담수주입시험 수행에 앞서, 시추공과 교차하는 파쇄대와 시추공 사이에 수리적으로 연결

---

주요어 : 해수침투, 담수주입, 공벽영상화검층, 투수성 파쇄대

- 1) 한국지질자원연구원 지하수지열연구부 (jehyun@kigam.re.kr)
- 2) 충남대학교 지질환경과학과

된 파쇄대를 파악하기 위하여 공벽영상화검층과 소량의 주입시험을 수행하였다. 공벽영상화검층은 케이싱 하부인 22 m에서 50 m 구간까지 초음파 및 광학 텔레뷰어검층을 수행하였으며 절리에 대한 분해능이 높은 초음파텔레뷰어검층 자료를 이용하여 균열특성을 파악하였다. 관측정인 YK-23호공은 구간 30 ~ 40 m에 북서 방향의 절리와 파쇄대가 분포하며, 40 m 이하에는 서쪽 방향의 많은 절리들이 발달하고 있다. 특히, 심도 35 m 부근에 폭 1 m 규모의 큰 파쇄대들이 분포해 있으며 북서 방향의 주향과 30° 이내의 경사를 보이고 있다. 주입정인 YK-25호공의 절리 및 파쇄대는 전체적으로 낮은 경사각을 보이는데, 구간 32 ~ 35 m에 큰 파쇄대가 발달하고 있으며 구간 39 ~ 42 m 및 44 ~ 47 m 사이의 절리가 시추공간 연결성이 있을 것으로 추정되었다. 공벽영상화검층 자료를 이용하여 선정된 예비 주입구간에서 담수를 소량 주입하면서 관측정 YK-23호공에서 연속적인 전기전도도/온도검층을 수행하였다. 담수주입 전, 공내수의 초기 전기전도도는 심도 30 m까지 약 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 35 m 하부는 약 3,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이며, 구간 44 ~ 47 m에서 주입 시, YK-23호공의 약 46 m의 심도에서 담수가 유입되기 시작하여 시간이 경과함에 따라 상부 구간의 전기전도도도 점진적으로 감소함을 보였다. 심도 32 ~ 35 m에서 주입할 때 YK-23호공의 심도 34 m 부근의 파쇄대를 따라 담수가 유입되었으며 담수주입 시작 1시간 40분경과 후 1,250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 까지의 전기전도도가 감소하였다. 한편 심도 39 ~ 42 m에서의 담수주입 결과는 YK-23호공과 수리적인 연결성이 없는 것으로 나타났다. 구간별 담수주입 결과, YK-25호공의 2개 주입구간인 32 ~ 35 m 및 44 ~ 47 m 중에서 경사와 주입효과의 지속성을 고려하여 44 ~ 47 m 구간을 최종적으로 담수주입 구간으로 선정하였다.

YK-25호공에서 담수주입하면서 북쪽으로 10 m 거리에 위치한 YK-23호공에서 전기전도도/온도 변화를 모니터링 하였다. 주입수는 북쪽으로 약 313 m 거리의 YK-19호공의 지하수를 이용하였으며 주입수의 전기전도도는 18.3°C에서 264  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 주입 및 관측공의 전기전도도와 비교할 때 약 1/10 수준이다. 담수주입 구간은 소량 담수주입으로 결정한 구간 44 ~ 47 m이고 담수주입은 약 17시간 동안 진행되었다. 총 주입량은 15.4 ton으로 평균주입량은 15  $\ell/\text{min}$ 이다. Fig. 1은 YK-23호공에서 수행한 모니터링 결과로, 주입 초기 시간대에 심도 34 m 상부에서 전기전도도값이 2,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도까지 증가하다가 점차 감소한다. 이는 하부에서 담수가 주입되면서 높은 전기전도도의 공내수가 시추공 상부로 이동했기 때문이다. 담수주입 시작 30분경과 시점부터 하부를 시작으로 전기전도도값이 감소함을 보이며, 특히 46.7 m의 심도에서 담수가 유입되어 시추공 상부까지 점진적으로 치환되는 것을 알 수 있다. 이는 YK-23호공의 시추공 영상화검층의 결과, 암반의 균열을 통하여 유입되는 것을 확인 할 수 있었다. 이후 담수주입이 계속됨에 따라서 변화의 폭이 작아지기는 하지만 전기전도도값이 계속 감소함을 확인하였으며, 약 17시간 동안 담수주입 후 시추공 하부의 전기전도도값은 약 560  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 초기 배경치보다 2,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도 감소하였다.

### 3. 결 론

염/담수 혼합대의 균열암반에서 해수침투 저감을 위한 담수주입 설계 및 현장시험을 수행하였다. 균열암반 구간을 통한 담수주입이 가능하도록 시추공을 설계·굴착하였으며, 담수주입을 위한 주입시스템을 설계·제작하여 현장에 적용하였다. 균열특성화를 위한 공벽영상화검층과 수리적 연결성 파악 목적으로 소량의 담수 주입을 수행하여 주입구간을 선정하였다. 균열암반을 통한 담수주입시험 결과, YK-23호공의 약 46.7 m의 심도에서 담수가 유입되며 시간이 경과함에 따라 관측정의 전기전도도가 점진적으로 감소하였으며 담수주입 중단 후, 또

는 주입정의 패커를 해지한 후에도 담수가 주입된 구간에서는 시간에 따라 점진적으로 전기 전도도값이 증가하지만 변화폭이 전체적으로 작아 균열암반을 통한 담수주입도 효과적임을 확인하였다. 이는 담수주입의 지속효과가 대수층의 특성, 주변 지역에서의 지하수개발 및 이용 여부 등에 따라 달라질 것임에도 불구하고 담수주입에 의해 일정정도의 해수침투 피해에 대한 개선효과를 기대할 수 있음을 시사한다고 판단되어진다.

### 참고문헌

- 신제현, 황세호, 박권규, 박윤성, 변중무, 2005, 다채널 전기전도도 모니터링 시스템의 개발과 연안지역 공내수 모니터링에 적용 사례, 물리탐사, 8, 156-162.
- 황세호, 김용재, 염병우, 고진석, 이상규, 2004, 물리검층을 이용한 균열암반의 지하수 유동특성 해석, 한국지구시스템공학회 춘계학술발표회 논문집, 한국지구시스템공학회, 167-171.
- 황세호, 박윤성, 신제현, 박권규, 2006, 공내수 치환 전기전도도검층을 이용한 연안지역 대수층의 탐지, 물리탐사, 9, 225-230.
- Paillet, F. L., Kay, R. T., Yeskis, D., and Pedler, W., 1993, Integrating well logs into a multiple-scale investigation of a fractured sedimentary aquifer, *The Log Analyst*, 35, 24-40.

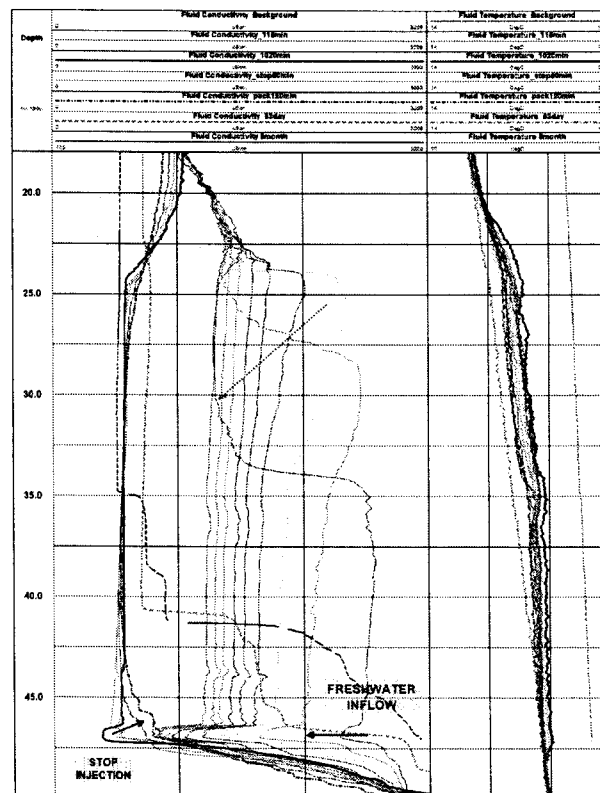


Fig. 1. Monitoring results for the freshwater injection through fractured bedrock. The logs indicate that freshwater inflows the well at a depth of about 46.7 meters and displaces the more conductive water above it. Bold arrow denotes the depth of freshwater inflow.