

# 지하수 관측망과 다중패커시스템을 이용한 심부지하수 모니터링

유시원, 고용권, 김건영, 박경우, 배대석, 정찬호\*

한국원자력연구소, \*대전대학교 지구시스템과학과 (siwonryu@hanmail.net)

## <요약문>

방사성폐기물 처분 연구의 일환으로 대전 유성북부 화강암 지역내 200~500m 심도를 갖는 9개의 심부 시추공이 착정되었으며, 이중 3개 시추공에 대하여 다중패커시스템이 설치되어 장기적으로 심도별 지하수의 수리특성, 화학특성 및 동위원소 특성이 모니터링 되고 있다. 다중패커시스템이 설치되기 전의 시추공 지하수의 수리 및 지화학 특성은 심도에 따라 별다른 특성이 보이지 않지만, 다중패커시스템 설치 후, 심도에 따라 특징적인 수리 및 지화학특성을 보여주고 있다. 또한, 다중패커시스템이 설치된 시추공의 경우, 최상부 구간을 제외하고 모든 구간 지하수의 수리화학특성은 일정기간이 경과한 후에는 각 구간별로 거의 일정한 값으로 유지되고 있음을 보여준다. 그러나, 지하수의 함양특성이 크게 변하는 우기 동안에는 지하수 수두압이 심도 약350m의 구간까지 변화되는 특성을 보여주고 있다. 동위원소특성 역시 심도구간에 따라 특징적인 값을 보여주며, 장기적으로 일정한 구간별 특정 값을 보여주고 있다.

주제어 : 방사성폐기물처분, 심부지하수, 다중패커시스템, 수리특성, 지화학, 모니터링

## 1. 서론

방사성폐기물 처분연구와 관련하여 국내 지질조건에서의 심부환경에 대한 수리특성 및 지화학 특성연구가 진행중에 있다. 이에 대전시 북부 화강암지역인 한국원자력연구소내 200~500m 심도의 9개 심부 시추공이 시추되었으며, BHTV를 이용하여 모든 시추공에 대하여 단열의 방향성, 빈도, 틈 등 단열특성(김경수 등, 2002)이 정량적으로 조사되었고 추적자시험(박경우 등, 2003), 정압주입시험 등 수리시험이 수행된 바 있다. 또한, 350m심도 시추공 1개소와 500m 심도 시추공 2곳에 다중패커시스템(Multi-packer system)을 설치하여 구간별 펄스시험(Pulse test)이 수행된 바 있으며, 시추공지하수의 심도별 지화학특성(배대석 등, 2002; 최현수 등, 2002)이 제시된 바 있다. 현재 다중패커시스템이 설치된 심부시추공에 대하여는 지속적으로 지하수 수두와 지화학 특성이 모니터링 되고 있다. 본 연구에서는 그간 모니터링된 심도별 지하수 수두분포변화와 수리화학 및 동위원소변화특성을 제시하고자 하였다.

## 2. 본론

### 가. 연구방법

연구지역의 지질은 쥐라기 중립질 복운모화강암이며, 연구지역내에는 200m~500m 심도를 갖는 9개

의 심부시추 조사공이 굴착되었다 (그림 1). Core logging과 Borehole Televiewer로부터 시추공들의 단열분포특성이 확인되었으며, 500m 심도의 YS-01공에는 13개의 패커, 350m 심도의 YS-04공에는 10개의 패커, 그리고 YS-07공에는 8개의 패커가 설치되어 최상부 천부지하수를 포함하여 각각의 시추공지하수를 단열대에 따라 14개 구간, 11개 구간 및 10개 구간으로 격리시켰다. YS-01공의 경우 다중패커 시스템은 2001년 9월에 설치되었으며, 이를 이용하여 시추공 심도구간별 온도와 지하수 수압에 대한 직접측정이 현재까지 40회 수행되었으며, 시료채취는 13회 수행되었다. 또한, 장마기간동안에는 일별 온도과 지하수 수압을 집중적으로 모니터링한 바 있다. 채취된 모든시료에 대하여는 현장측정이 수행되었고, 화학 및 동위원소 분석이 진행되었다. YS-04공과 YS-07공에 다중패커시스템은 2003년 9월과 2004년 6월에 설치하여 수리 및 지화학특성이 모니터링 되고 있다.

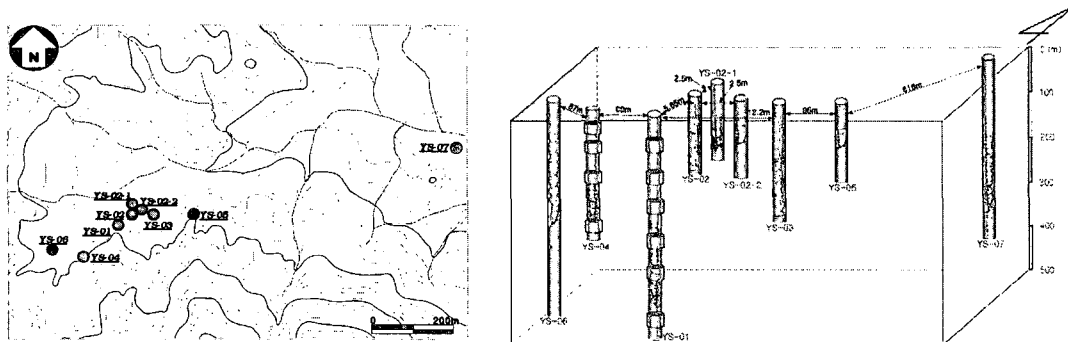


그림 1. 연구지역의 심부시추공 (심도: YS-01, 500m; YS-02, YS-02-1, YS-02-2, 200m, YS-03, 300m; YS-04, 350m; YS-05, 200m, YS-06; 500m, YS-07; 500m)

## 나. 모니터링 결과

YS-01공에 대한 심도별 지하수 수두 (Potential Head) 값의 분포는 그림 2에 도시된 바와 같으며, 심도에 따라 일정하게 증가하지 않고, 심도구간별로 특징적인 값을 보여주고 있다. 특히 최하부 구간인 370m 이하에서 최상부 구간보다도 높은 수두값을 보이는 반면, 약 심도 250m 구간에서 특이하게 가장 낮은 수두 값을 보인다. 이는 심도 250m 구간에 발달한 비교적 큰 단열틈을 가진 단열특성과 관련이 있는 것으로 사료된다. 또한, 시추공 상부보다도 낮은 수두값을 보이는 심도 약 250m 구간에서는 상부 지하수체와의 연결성이 없는 것으로 해석될 수 있다. 최하부구간의 지하수 수두압은 YS-07공 시추시 크게 변화됨이 인지되어, YS-01공과 YS-07공은 하부구간에서 수리적으로 연결되어있을 가능성을 반영해주고 있다.

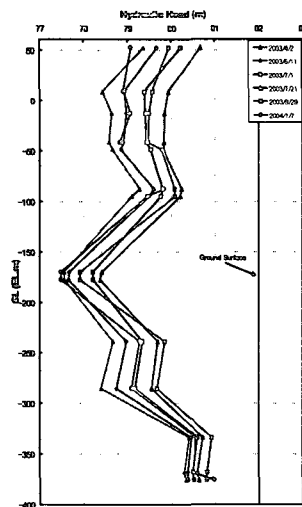


그림 2. YS-01공의 심도구간에 따른 지하수 수두분포

지하수의 함양변화가 비교적 크게 일어나는 우기동안 YS-01공에 대한 심도에 따른 지하수 수압변화를 집중적으로 모니터링 하였으며, 대표적인 심도에 대한 변화특성을 강수량과 함께 그림 3에 도시하였다. 나공상태 (open borehole)에서 지하수위에 상응하는 최상부구간(-30m GL)에서의 지하수두 값은 강수량이 직접적으로 반영되어 변화됨을 보여주고 있다. 또한 심도 170m, 250m, 350m 구간에서도 지하수두 값은 강수량의 변화, 즉, 지하수 함양변화에 의해서 변화됨을 보여준다. 그러나, 심도 30m와 170m 구간과는 달리 심도 250m 이하의 구간에서는 지하수 함양 변화에 따라 변화되는 시기가 다소 차이가 나며, 변화 폭도 감소됨을 알 수 있다. 즉, 지하수 함양에 대한 지하수두의 영향은 심도가 깊어질수록 지연 및 감소함을 보여준다. 심도 375m 이하의 구간에서는 상부의 지하수 함양 변화에 무관하게 거의 일정한 지하수 수두 값을 보여준다.

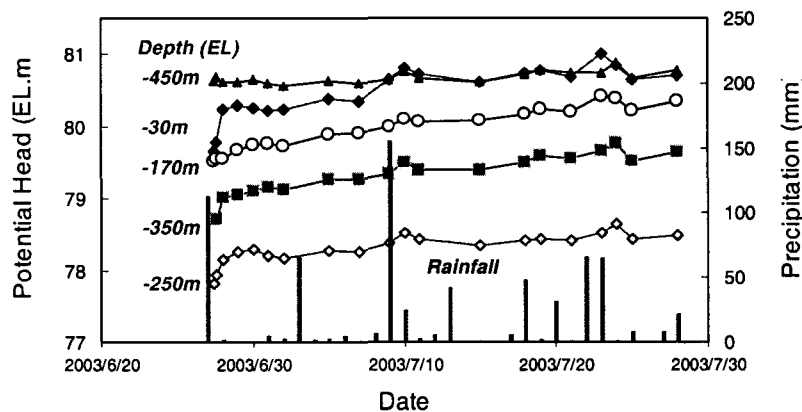


그림 3. YS-01공의 시기에 따른 각 심도의 수두 변화

YS-01공의 심도별 대표적인 수리화학특성이 그림 4.에 도시되었다. 온도는 심도에 따라 일정하게 증가하며 최고 25°C를 보이고, pH는 그라우팅 구간에서는 약13까지 높은 값을 보이며, 200m이하 심도에서는 pH가 약10으로 일정한 값을 보여준다. 지하수의 산화-환원전위는 대체로 심부구간에서 낮은 값을 나타낸다. 그라우팅으로 처리된 구간을 제외하고 200m 이하의 심도에서는 주요이온 함량이 거의 일정한 값을 보여주나, F함량의 경우 심도에 따라 증가하는 경향을 보여주며 최대 12.7mg/L 함량을 값을 갖는다. 250m이하의 지하수 화학조성은 거의 일정한 특성을 보여준다. 이러한 지하수의 화학특성은 시기별로 거의 변화되지 않고 일정한 값들을 나타낸다.

심도별 동위원소특성은 그림 5와 같으며, 모든 시추공지하수는 천수기원임을 보여준다. 심부구간 지하수의 동위원소조성은 천부구간 지하수에 비하여 낮은 동위원소조성을 갖는다. 특히 단열이 크게 발달된 그라우팅 구간의 동위원소조성은 천부구간 지하수와 유사한 값을 보여준다. 대부분 심부구간의 지하수에는 삼중수소가 거의 없음을 보여주어, 체류시간이 50년이상임을 지시하며, 방사성탄소동위원소(C-14)에 의한 체류시간은 약 5000년 이상인 것으로 평가되었으며, 추가 분석이 수행중에 있다. 반면에 단열이 발달한 그라우팅 구간 (심도 약110m)의 지하수의 체류시간은 매우 짧음을 나타내고 있다.

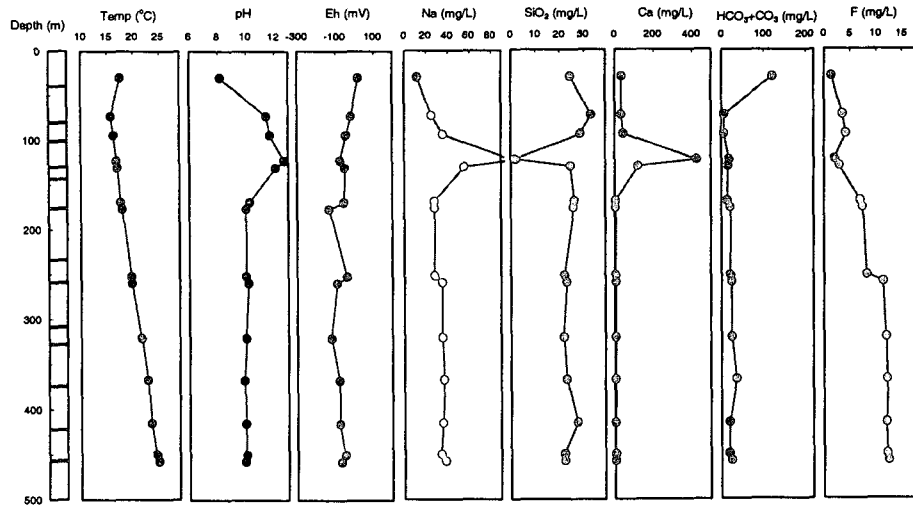


그림 4. YS-01공 지하수의 심도별 주요화학특성

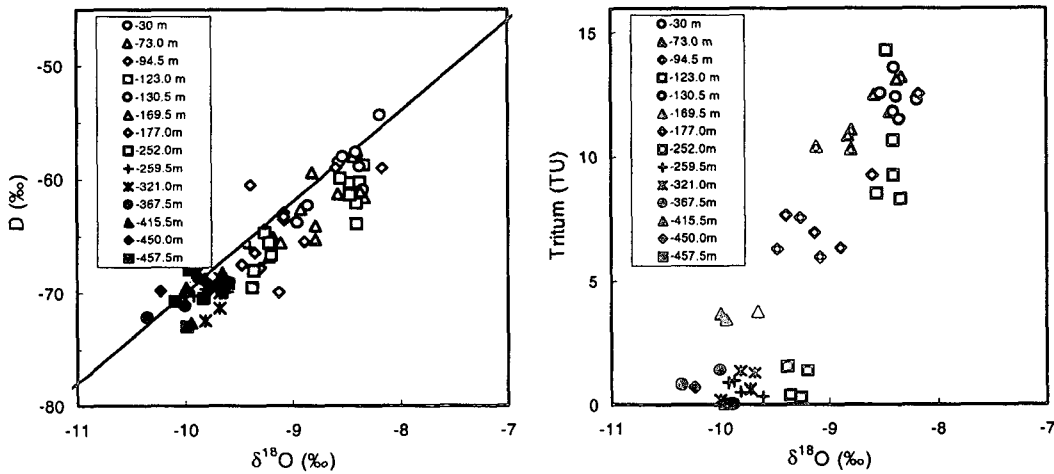


그림 5. YS-01공 지하수의 동위원소 특성

#### 4. 참고문헌

김경수, 김천수, 배대석, 2002, 등연속체매질로서의 화강암지역의 유효수리전도도 산출, 지질공학, 12권, 319-332p.

박경우, 김경수, 배대석, 김천수, 2003, 비흡착성 추적자시험에 의한 단열대의 수리파라미터 해석, 지질공학회 춘계학술발표회 논문집, 139-145p.

배대석, 고용권, 김건영, 김천수, 김경수, 2002, 방사성폐기물 처분연구를 위한 심부 시추공지하수의 지화학특성, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, 335-338p.

최현수, 고용권, 김경수, 배대석, 김천수, 2002, 심부시추공 지하수의 심도별 지화학 특성, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, 229-232p.