다중패커시스템을 이용한 화강암지역의 심도별 수리적 특성

김 경 수 한국원자력연구소
고 용 권 한국원자력연구소
배 대 석 한국원자력연구소
김 천 수 한국원자력연구소
조 성 일 충남대학교

1. 서론

방사성폐기물처분장으로부터 생태계까지의 핵종이동 시나리오의 핵심은 지하수 유동로이며, 처분장 모암의 지하수 특성은 암반에서의 핵종거동 규명연구와 방사선적 안전성 해석코드에 주요 입력자료로 이용된다. 일반적으로 지하수체계의 변화는 비교적 균질한 매질로 표현되는 암반의 경우 수리지질 단위층, 그리고 단열암반의 경우에는 투수성단열의 수리특성에 따라 변화하게 된다. 예를 들면, 지하수 오염물질이 깊고 넓게 퍼져있을 때 오염물질의 이동을 감시하고 그 거동을 파악하고자 하거나, 시설 주변 암반에서의 공간적인 지하수압을 감시하기 위해서는 감시정의 3차원적 배치가 필요하다. 따라서 지하수체계에 대한 자료는 수평적으로는 적정한 여러 지점에서 얻어져야 하고, 동시에 각 지점에서는 다양한 심도에서 채취되어야 한다.

본 연구는 2개 연구지역에서 이루어진 시추조사, 단열조사 및 수리시험 (김경수외, 2002)의 후속 연구로서, 연구지역별로 각각 500 m 심도의 시추공에 다중패커시스템 (Multi-packer system, Westbay Inc., Canada)을 설치하여 현재까지 수리특성을 계측한 결과이다. 이와 함께 그간 다중패커시스템의 설치는 공급자에 의해 직접 이루어졌으나, 기술이전을 통해서 자체 설치기술을 확보하였다.

다중패커시스템은 지하수체계에 대한 감시체계를 적정한 비용으로 신속하게 구축할 수 있는 장점이 있다. 하나의 지점에서 기존의 standpipes 방식으로 감시정을 설치하게 되면 감시정의 심도와 감시구간이 증가할수록 시추비용이 차지하는 비중이 커지게 되지만, 이 시스템은 단일 공에서 감시하고자 하는 다수의 구간을 완벽하게 장기간 유지해준다 (김경수외, 2000).

2. 계측구간 설계 및 설치

다중패커시스템은 고성과 유성 연구지역에 각각 1개 공씩 설치되도록 계획되었다 (Table 1). 다중패커시스템의 계측구간 설계는 공내 단열 검층을 위하여 수행된 텔레뷰어 검층 결과와 수리시험 결과를 토대로 하여 이루어졌다.

고성지역은 지표 부근과 세립질 aplite에 국한하여 단열이 분포하는 특성을 보인다. 투수성 구간 역시 이들 단열 분포구간과 직접적으로 관련되므로 독립적인 단열분포 구간과 aplite를 중심으로 격리구간을 결정하였다 (Fig. 1a). 총 7개의 패커를 설치하여 8개의 격리구간과 9개의 계측포트 (measurement port)를 확보하도록 설계하였다.

유성지역의 YS-01 공은 GL.-104m 부근에서 단열대가 교차되었으며, 시추작업 후 단열대 교차구간의 붕괴로 인하여 부득이 GL.-103m ~ -127m 구간에 시멘트 그라우트를 실시한 바 있다. YS-01 공 역시 투수성 구간을 위주로 총 13개의 패커를 설치하여 14개의 격리구간을 확보하는 것으로 설계하였다 (Fig. 1b).

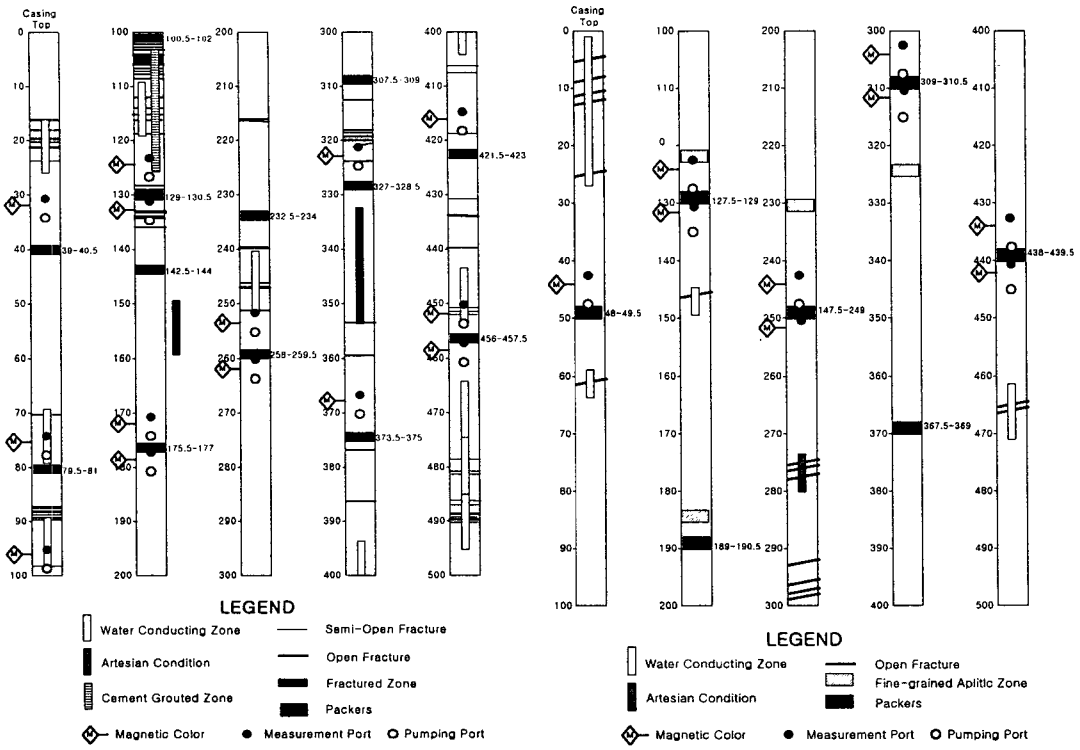
설계된 다중패커시스템은 YS-01 공은 2001년 9월 18일부터 21일까지, GS-01 공은 동년 12월 17일부터 29일까지의 기간에 설치되었다.

Table 1. Borehole specifications for installation of the Multi-packer system.

Study Site	Borehole No.	Size	Inclination	Depth (m)	Elevation (m)
Goseong	GS-01	NX(3″)	vertical	500	105
Yuseong	YS-01	NX(3″)	vertical	500	82

3. 지하수압 분포

다중패커시스템 설치 전 고성지역 GS-01 공의 지하수위는 지표부근에 형성되었다. MP38 케이싱의 투입에 따라 해당 부피만큼의 공내 지하수 혹은 시추수가 지표로 배출되었다. 설치 직후 (01년 12월 27일) 계측된 지하수두의 분포를 보면, 최대 지하수압을 갖는 7번 구간과 최소값을 갖는 3번 구간과는 약 7 m의 수두차를 보인다 (Fig. 2). 지하수유동 방향은 전체적으로 하향 내지 준수평 방향의 특성을 갖는 것으로 해석된다. 격리구간 1, 4, 6, 7, 8번 구간에 대하여 공내 청소를 위한 구간별 양수 후의 변화 (02년 1월 9일)를 보면, 최하부 1번 구간을 비롯하여 6, 7, 8번 구간은 초기의 수두에 근접하는 양호한 회복 속도를 보이는 반면, 4번 구간은 지속적으로 하강하는 경향을 보이고 있다. 한편, 7번 구간은 수두는 높으나 유량이 적은 것으로 판단되며, 기타 구간은 초기 수두에 근접하는 수준으로 회복되고 있다.



(a) Borehole GS-01 (a) Borehole GS-01

Fig. 1. Design layout for the Multi-packer system in boreholes.

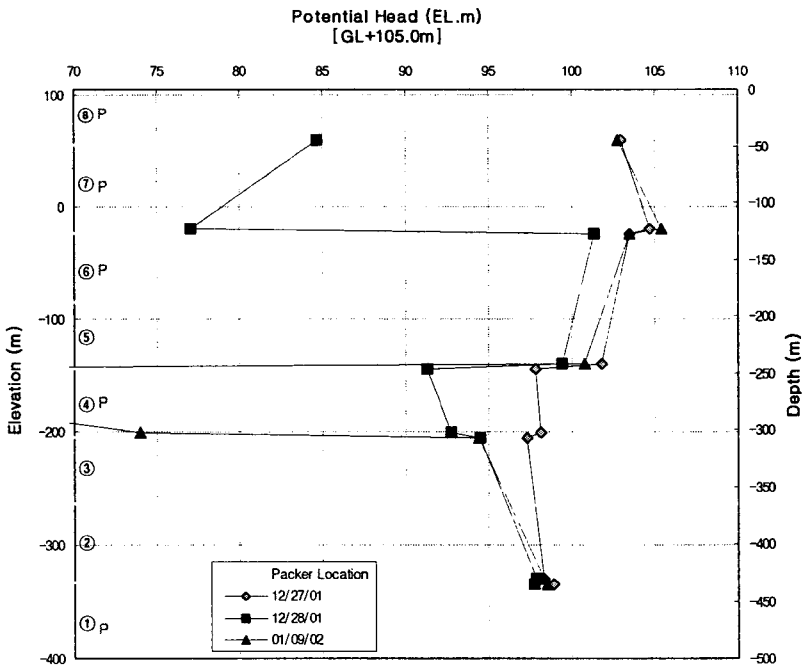


Fig. 2. Variation of the potential head distribution of borehole GS-01 (P:purging).

유성지역의 YS-01 공은 설치 직후 최하부 1번 구간에서 피압 현상을 보였다 (Fig. 3). 이후 계속적인 공내청소와 지하수시료 채취작업으로 현재는 비교적 정수두에 가까운 분포를 형성하고 있으나 1번 구간은 향후 수두가 높아질 가능성이 있다. 지하수유동 방향은 전체적으로 준상향 내지 수평방향의 특성을 보인다. 최소 수두값을 보이는 구간은 7번 구간으로서 지표면을 기준으로 약 3.7m의 수두차를 보일 정도로 전 구간에 걸쳐 큰 차이를 보이지 않는다. 7번 구간은 01년 12월 12일 현재 72.5m의 수두로 가장 낮게 강하되어 있으며, 회복속도도 상대적으로 느린 특성을 보인다. 지표 부근의 13번 구간 역시 양수후 수위회복 속도가 낮은 구간에 해당된다. 한편, 1번 구간에 대하여는 그간 집중적인 지하수시료 채취가 이루어 졌는데, 양수량에 관계없이 약 80m의 수두를 꾸준히 유지하고 있다.

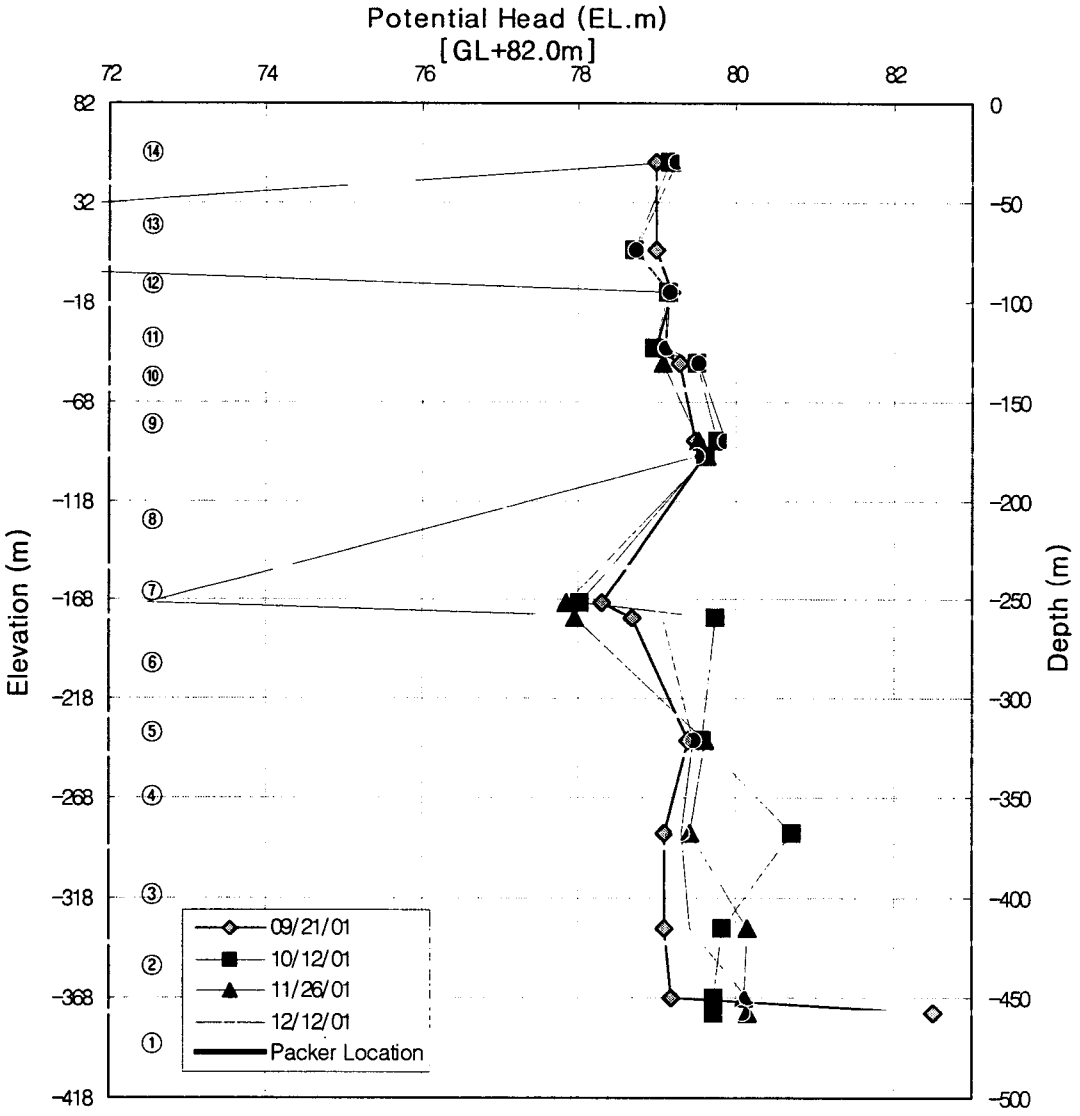


Fig. 3. Variation of the potential head distribution of borehole YS-01.

4. 지화학 특성

유성지역 YS-01 공에 다중패커시스템 설치 후 심부지하수의 구간별 지화학특성조사를 위하여 01년 10월과 02년 1월에 2차례에 걸쳐 시료채취가 이루어졌다. 시료채취는 현장에서 진공처리한 전용 스테인레스 샘플병을 이용하여 구간별로 수행되었다. 각 시료는 현장에서 pH, EC, Eh, DO 및 알칼리도가 측정되었으며, 온도와 수압은 구간별 계측포트에서 직접 측정되었다.

지화학 자료를 살펴보면, Fig. 4에 보여지는 바와 같이 크게 시기별로 차이가 나는 구간이 있음을 알 수 있다. 이는 1차 시료의 경우는 다중패커시스템 설치 후 곧바로 시료채취가 이루어졌기 때문에 시추수의 영향에 의한 것으로 사료된다. 2차 시료채취 시에는 상기 구간도 다른 구간과 유사한 지화학 특성을 보인다. 즉, 이들 구간은 1차 시료채취 당시에 시추수에 의해 지하수가 교란을 받았으며, 다른 구간에 비해 지하수가 안정화되는데 상당한 시간이 걸린 것을 지시한다. 이는 지하수의 유동로인 상기 구간의 단열분포특성과 밀접한 관계를 보이고 있다.

심도별 지화학 특성은 상부구간들과 하부구간이 크게 구분됨을 보여준다. 이는 자연적인 지하수의 심도별 특성을 보여주는 것이 아니라, 시추 후 약 104 m 심도에 발달된 단열대의 붕괴로 말미암아 그라우팅에 기인한다. 비록 104 m 구간에서 모든 지화학 자료가 이상치를 보이지만, 하부구간으로 점이적이고 완만하게 변화되지 않고, 구간별로 뚜렷히 구별되어 화강암지역에서 지하수의 유동은 단열분포특성에 영향을 받고 있음을 확인할 수 있다. 지화학 자료를 상세히 살펴보면, 우선 pH는 상부구간에서 약 12인 매우 높은 값을 보여주는데, 이는 그라우팅재에 함유되어 있는 방해석과 지하수의 반응에 기인하며, 전기전도도 역시 매우 높은 값을 보여준다. 2차 시료의 경우 104 m 하부구간에서의 pH는 약 9-10범위를 보이며, 그라우팅의 영향을 받은 구간보다는 낮은 값이지만, 천부나 지표수에 비해서는 높은 pH를 보이고 있다. 이는 화강암을 구성하고 있는 규산염광물과의 반응인 수소소모반응에 기인한다. 상부구간은 예상되는 바와 같이 높은 Ca 함량을 보이는 반면, 하부구간에서는 심도별로 뚜렷한 변화양상을 보이지 않고 Na가 주를 이루고 있으며, Na-HCO_3형의 지화학 특성을 보인다. 화학조성 중 심도의 증가에 따라 F 함량이 증가하는 경향을 보여준다. 국내 화강암지역 지하수는 높은 F를 함유하는 것으로 알려졌으며, 심도별 F 함량의 증가는 물-암석반응 정도를 지시하는 것으로, 대체로 심도별로 F 함량는 지하수의 체류시간과 밀접한 관계가 있는 것을 시사한다. 현재 진행중인 각종 환경동위원소와 열역학적 연구가 뒷받침된다면 보다 명료한 심도별 지하수의 지화학특성이 밝혀질 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 시도하는 구간별 수리특성 자료와 지화학 자료의 비교해석 결과는 지하수와 관련되어 다양하게 수행되고 있는 국내 화강암지역에서 지하수유동 특성 연구에 매우 귀중한 기초자료로

활용될 수 있을 것이다.

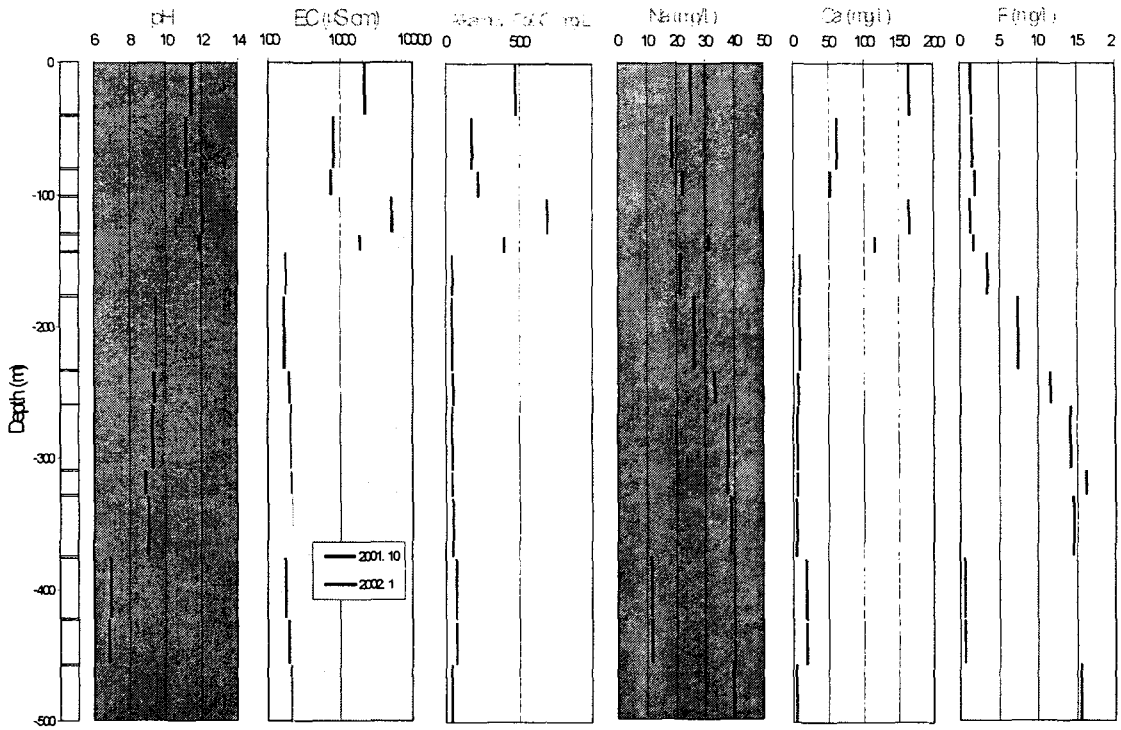


Fig. 4. Vertical variation of the hydrogeochmical properties in borehole YS-01.

5. 결론

방사성폐기물처분을 위한 심부지질환경특성 연구의 일환으로 고성과 유성 연구지역에 조사공을 설치하였고, 심도에 따른 지하수압과 지하수질 변화특성을 장기간 연구하기 위하여 500 m 시추공에 대하여 다중패커시스템을 설치하였다.

고성지역의 지하수유동 방향은 전체적으로 하향 내지 준수평 방향인 반면에 유성지역은 준상향 내지 수평방향의 특성을 보인다. 지하수두차는 고성지역의 경우 약 7 m, 유성지역은 약 3.7 m이다.

유성 연구지역의 지하수질은 지하수유동로인 투수성단열의 분포와 밀접한 관계를 보이고 있다. 상부구간은 높은 Ca 함량을 보이는 반면, 하부구간에서는 Na-HCO_3형의 지화학 특성을 보인다. 특징적으로 심도의 증가에 따라 F 함량이 증가하는 경향을 보여주는데, 이것은 물-암석반응 정도를 지시하는 것으로, 대체로 심도별로 F 함량는 지하수의 체류시간과 밀접한 관계가 있는 것을 시사한다. 현재 진행중인 각종 환경동위원소와 열역학적 연구결과를 통하여 보다 명료한 심도별 지하수의 지화학특성이 밝혀질 수 있을 것으로 기대되며, 본 연구에서 시도하는 구간별 수리특성 자료와 지화학 자료의 비교해석 결과는 지하수와 관련되

어 다양하게 수행되고 있는 국내 지하수유동 특성 연구에 매우 귀중한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

김경수, 김천수, 배대석, 고용권, 2002, 화강암지역 암반블록규모의 단열체계특성과 유효수리전도도 해석, 2002 대한지질공학회 학술발표회 논문집, 대한지질공학회.

김경수, 고용권, 김천수, 배대석, 2000, MP 시스템을 이용한 지하수체계의 장기 모니터링, 2000 대한지질공학회 학술발표회 논문집, 대한지질공학회. p.63-76.

김경수	kskim@kaeri.re.kr	042-868-2365	
고용권	nykkoh@kaeri.re.kr	042-868-8159	대전광역시 유성구 덕진동 150
배대석	ndsbae@kaeri.re.kr	042-868-2030	한국원자력연구소 심부지질환경특성연구
김천수	ncskim1@kaeri.re.kr	042-868-2063	
조성일	chosi@kaeri.re.kr	042-868-2064	연구생 (충남대학교대학원 박사과정)