

지하수 - 하천수 상호작용 특성 연구

성현정¹⁾ · 오준호 · 김태희 · 김구영 · 김용제

1. 서론

최근 물소비량의 증가와 지표수자원의 오염 및 용수 공급의 한계로 인하여 전체적으로 지하수자원의 이용량이 급증하고 있으며 인간의 활동에 의해 오염물질이 지표상으로 유출되고 유출된 오염물질은 지하수 및 지표수에 영향을 준다. 이와 같은 수자원에 미치는 영향을 명확히 평가하기 위해서는 지하수와 지표수 시스템을 상호 연계하여 지하수/순환 유동을 해석하는 것이 필요하다. 지하수와 지표수 시스템은 끊임없이 상호 작용하므로 이 체계를 올바르게 이해하기 위해서는 각 체계의 중요한 특성들이 연구되어야 한다(Constanz, 1998).

국내에서는 지하수-하천수의 연계 물 순환 해석을 위한 모델 개발이 부분적으로 진행되어 왔으나(한국지질자원연구원, 2003) 지표수 수문 성분 해석을 위한 보조적 개념으로 지하수에 대한 수치 모형을 고려하고 있어 전반적인 지하수 시스템을 고려하기에는 한계가 있다. 일반적인 지표수 순환 모델에서는 지하수 조건을 고려한다 하더라도 지하에서 포화 정도의 다양한 차이나, 지질학적 구조의 복잡함에 대해 충분히 고려할 수 있는 모델이 개발되어 있지 않다. 지하수 모델의 경우 지표에서의 다양한 동역학적 특성(지표 유출, 하천, 습지의 분포 특성 등) 및 지표수의 수질 변이를 무시하는 것이 일반적이며, 추후 통합 수자원 관리의 효율화를 위해서는 앞서 언급한 문제점들에 대해 보완된 모델이 절실히 요구 된다. 이 연구의 목적은 하상 인공구조물 (댐, 보, 인위적 하상 정리 등)에 의한 지하수-하천수 상호 작용 및 수문 단위내 수지 변화를 분석한 자료를 통해 지하수-하천수 상호작용을 연계 해석할 수 있는 수치모델에 대한 검증자료로 이용하는 것이며, 검증된 수치모델을 통해 도시 지역 물순환 해석 연구에 활용할 것이다.

2. 연구방법

연구지역은 행정구역상 충청남도 금산군 남이면 남이자연휴양림 일대로 균열암반 매질에서의 지하수 유동 특성화 연구를 위해 조성된 지역으로 140m 심도 시험시추공 5개와 90m의 암반관정 3개 및 지하수와 인근 하천의 물리화학적 상호작용을 관측하기 위하여 30~45m의 관정 7개를 굴착하였다(Fig. 1). 연구지역 내 설치된 하천인공구조물은 관측공 BH-14와 BH-15사이에 위치하며, BH-14의 경우 최초의 설치 목적 자체가 지역에 설치된 하천보에 의한 영향을 관측하기 위한 것이며, BH-15의 경우 BH-14와의 차별성을 검토하기 위한 것이었다. 따라서 본 연구에서는 하천 보에 도달하기 이전의 하천 유량 및 주요 이온농도 (BH-5 직상류), Fig. 2에 보여 지는 보, 그리고 보로부터 약 50m 하류부에서의 주요 이온농도 및 유출량을 관측하고, BH-9, -13, -14, -15에서 지하수 수위 변화 및 주요이온 농도

주요어 : 물순환, 하천인공구조물, 지하수-지표수 상호작용

1)한국지질자원연구원 지하수자원연구실 (shjs@nate.com)

변화를 지속적으로 관측하기 위해 수위/유출량에 대한 모니터링 이외 주 1회 지하수 및 하천수에 대해 주요 이온 농도 변화를 함께 분석하고 있다.

물은 관측공 BH-14와 BH-15사이에 위치하며, BH-14의 경우 최초의 설치 목적 자체가 이 지역에 설치된 하천보에 의한 영향을 관측하기 위한 것이며, BH-15의 경우 BH-14와의 차별성을 검토하기 위한 것이었다. 따라서 본 연구에서는 하천 보에 도달하기 이전의 하천 유량 및 주요 이온농도 (BH-5 직상류), Fig. 2에 보여 지는 보, 그리고 보로부터 약 50m 하류부에서의 주요 이온 농도 및 유출량을 관측하고, BH-9, -13, -14, -15에서 지하수 수위 변화 및 주요이온 농도 변화를 지속적으로 관측하기 위해 수위/유출량에 대한 모니터링 이외 주 1회 지하수 및 하천수에 대해 주요 이온 농도 변화를 함께 분석하고 있다. 수위 모니터링의 경우 2004년 10월 이후 지속적으로 수행 중이며, 지하수 및 하천수의 주요이온 농도는 2004년 9월 이후 계속 시료채취 및 분석을 통해 관측하며, 현재까지 수행 중에 있다. 이 연구는 인공구조물에 의해 유도되는 지하수-하천수 상호작용 특성에 관한 것으로, 15개의 관측공 중, BH-9, -13, -14, -15와 인근 지역 3지점의 하천에 대해 지속적으로 모니터링을 수행 중이다. 이 때, 모니터링 항목은 하천 및 지하수위(30분 간격)와 주요 이온 농도(1주일 간격, 총 7개 지점 : 하천 3개, 지하수 4개)이다.

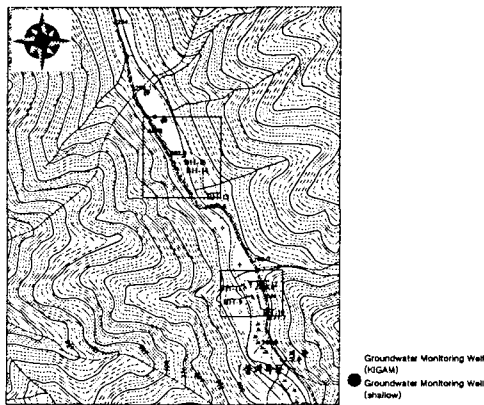


Fig. 1. Topography and Well location of the study area.

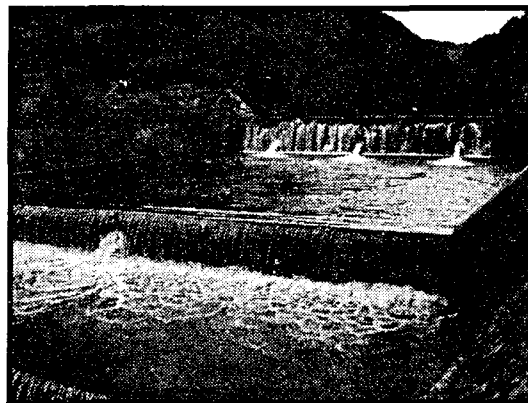


Fig. 2. Artificial weir in study area.

3. 결과 및 해석

지하수-하천수 상호작용 특성을 연계 해석하기 위한 연구는 크게 두 가지 주안점을 두고 진행하고 있다. 첫 번째는 자연 상태에서 지하수-하천수의 물리화학적 상호작용에 대한 부분이며, 두 번째는 인공구조물에 의해 유도되는 지하수-하천수 상호작용에 대한 부분이다. 실제 국내에서는 대부분의 중소규모 하천에도 상당수의 보가 설치되어 있으며, 하상과의 접촉부에서의 처리가 부적절하여 보의 하부에서 지하수와 하천수가 직접적으로 혼합되는 양상을 보여 주고 있는 경우가 많다. 금산 남이 자연 휴양림의 경우도 이러한 예이다. 이 연구 지역의 경우 최상부 지하수 유로는 투수성이 뛰어나(10^{-4} - 10^{-5} m/min 내외) BH-3이나, BH-5에서 반영되는 지구조석의 영향이 다른 관점으로까지 확산되는 양상을 나타낸다. 전반적인 지하수위 변화는 강수 발생시 상승하여 이후 단일 퇴행양상(single recession pattern)을 보여주는 것이 일반적인 변화이나, 모니터링 시작 이후 58,000분 내외의 경과 시간(2004년 12월 5일)에서의 수위

변화 양상은 이중 퇴행양상(double recession pattern)을 보여 주고 있다는 점에서 명확한 차이 점이 나타난다. 즉, 약 58,000분 내외의 경과 시간에서 급격히 상승하기 시작한 지하수위는 최고 정점을 지나 약 60,000분의 경과 시간에 이르기까지 급격하게 감소하는 패턴을 보여 주고 있으며, 해당 시기에는 앞서 언급한 지구조석에 의한 단주기 지하수위 변화 양상도 나타나지 않는다(Fig. 3).

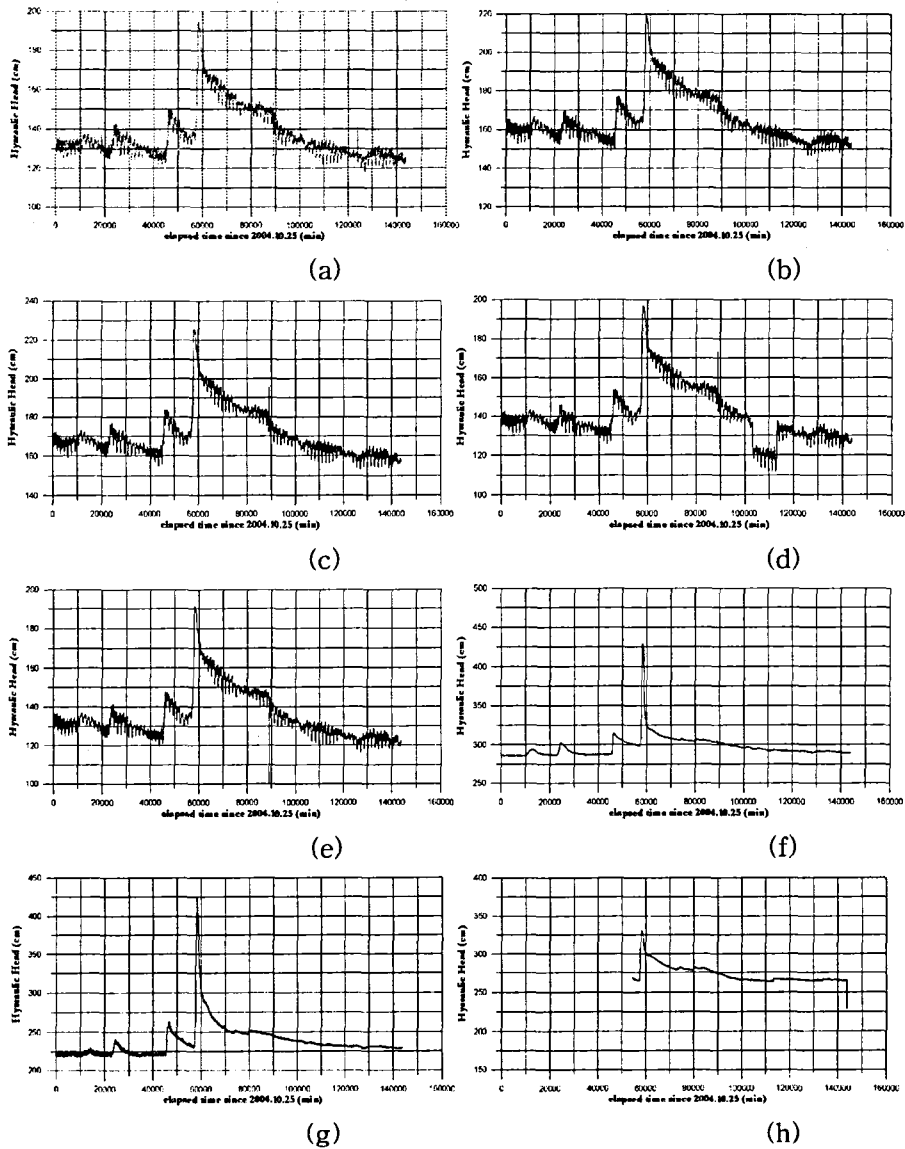


Fig. 3. Hydraulic head fluctuations in monitored wells : (a) BH-3, (b) BH-5, (c) BH-6, (d) BH-9, (e) BH-10, (f) BH-13, (g) BH-14, (h) BH-15.

그러나 이 시점을 지나면서, 지하수위의 하강 정도가 급격히 둔화되고, 이와 함께 BH-3, -5, -6, -9, -10의 관측공에서는 다시 지구조석의 영향이 나타나는 패턴을 보여 준다. 하천 및 BH-14 그리고 다른 지하수 관정에서의 수질 변화 양상을 살펴보면 비교적 많은 강수량이 기

록된 9월 이후 하천 및 BH-14에서 지속적인 전기전도도 및 염소 이온의 농도 상승이 관측되다가 11월 말 강수 발생 시점(약 46,500분)에서 12월 초(약 60,000분)까지 전기전도도가 낮아지는 경향을 보인다는 점은 앞서 언급한 지하수위 변화 양상과 어느 정도 잘 부합되는 경향을 보여 주고 있다. 전기전도도와 염소 이온 양자 모두 지하수와 하천수 사이에서 일정한 차이를 나타내는데 Fig. 4에서 보면 지하수가 높은 경향을 보여주고 있다. BH-14의 경우 하천수에서의 이온 분포와 거의 동일한 변화 양상을 보여 주고 있다.

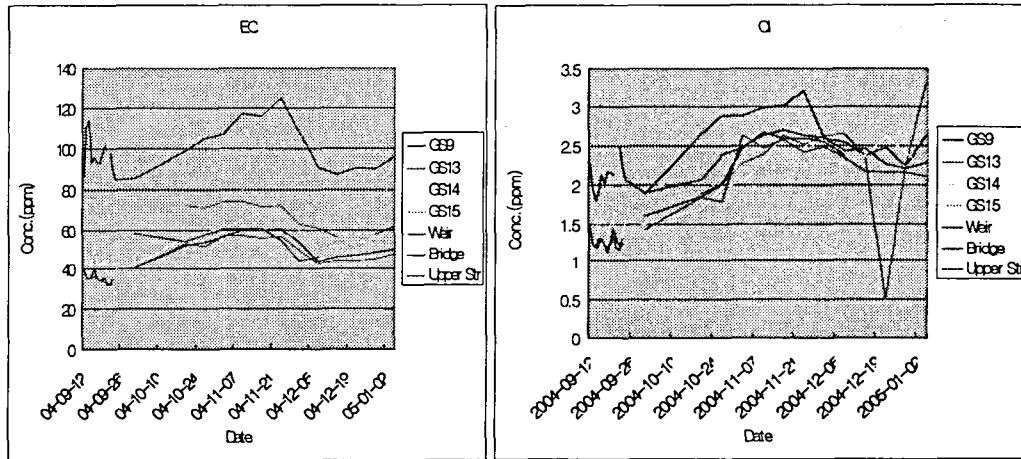


Fig. 4. Temporal fluctuation of EC and Chloride.

4. 결론

지구 조석의 영향을 제외하면 퇴행양상은 모든 관정에서 나타나는데, 초기 퇴행 양상에서의 지하수위 상승 및 하강 폭의 측면에서 보면 다시 두 그룹으로 구분할 수 있다. 즉, BH-13과 BH-14 관측정의 경우 초기 퇴행에서 지하수위의 상승 및 하강 폭이 1m 이상(BH-14는 약 1.2m, BH-13은 약 1m)의 변화 폭을 보이는 반면, 나머지 관정에서는 20cm 내외의 초기 수위 변화폭을 보인다. 이러한 변화 양상은 하천을 통한 지표 유출량 및 하천 보에 의한 수위 상승과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되나, 아직은 이에 대한 직접적인 증거자료를 제시하기에는 누적 자료의 양이 부족하여 명확한 결론을 내릴 수는 없으며, 적어도 1년 이상의 누적자료가 필요할 것으로 판단된다. 수위 모니터링은 2004년 10월 25일 15시 30분 이후 지속적으로 수행 중이며, 지하수 및 하천수의 주요이온 농도 변화는 2004년 9월 이후 계속 시료채취 및 분석을 수행하고 있다. 하천 유출량의 경우 현재까지 7차례 직접 관측하였으나, 그 편차가 커 수위-유량 곡선의 정확한 산정을 위해서는 추후 고수위 시 하천 유출량에 대한 직접 관측이 필요하다. 지하수위 모니터링은 BH-3, -5, -6, -9, -10, -13, -14, -15에서 수행 중이며, 하천수위는 BH-5 직상류부, 하천 보(BH-14 직상류부), 보 하류부(보로부터 약 50m 지점)에서 수행 중이다.

5. 사 사

이 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-2-2)에 의해 수행되었습니다.

6. 참고문헌

한국지질자원연구원, (2003) 지하수-하천수 연계 순환/유동 시스템 개발

Constanz, J. (1998) Interaction between stream temperature, streamflow, and ground-water exchanges in apline streams. *Water Resour. Res.*, v. 34(7), p.1609-1615.