

수문분리 연구에 영향을 주는 지표저장고의 예

이광식^{1)*}·박영윤¹⁾·봉연식¹⁾·김용제²⁾·신형선¹⁾·신우진¹⁾·채윤주¹⁾·박승기³⁾·정재훈³⁾

1. 서론

어떤 수계에서 강우에 의하여 하천수의 유출량이 증가하는 경우에 하천수를 구성하고 있는 성분들인 강우, 지하수 또는 토양수의 상호구성비율을 산정하는 것을 수문분리(hydrograph separation)라 한다. 자연추적자 또는 인공추적자를 이용한 수문분리 연구는 1970년대 후반부터 시작되었으며 1990년대 들어서 발표 논문수가 크게 증가하였다. 초창기에 수행된 수문분리 연구에서는 강우에 의하여 하천수의 유출량이 증가할 때 하천수가 강우(new water)와 지하수(old water)로 구성되어 있다는 2성분계 모델을 바탕으로 수행되었다. 그러나 1990년대에 들어서 2성분계 모델에 한계가 있음이 알려지게 되었고, 카르스트 지역에서는 토양수가 무시할 수 없는 또 하나의 중요한 성분임이 밝혀졌다(Lakey and Krothe, 1996; Clark and Fritz, 1997).

국내에서는 2000년대 들어서야 수문분리 연구결과가 처음 발표되었을 만큼 수문분리에 대한 연구가 활성화되지 못하였다(조성현 외, 2003, 2004; 이광식 외, 2006). 외국의 카르스트 지역에서 수문분리 기법으로 얻어진 연구 결과가 최근에 지질학회지 지면을 통하여 국내 연구자들에게 소개되었을 정도로(이용석, 2004) 국내에서의 수문분리 연구는 초창기라 할 수 있다. 수문분리 기법을 이용하면 하천수의 기저유출량 산정, 하천에 영향을 주는 비포화대 토양수에 대한 정량적 평가, 강우의 지하수 함양 특성 등에 대한 종합적인 정보를 얻을 수 있다. 따라서 국내에서도 강우-토양수-지하수-하천수가 함께 연계된 수문분리 연구가 시급히 활성화되어, 수자원의 종합적이고 체계적인 관리를 앞당길 필요성이 크다.

어떤 유역에서 성공적인 수문분리 결과를 얻기 위해서는 여러 가지 전제조건이 필요한데 연구 지역에 존재하는 지표저장고(예, 연못, 늪지, channel storage 등)의 영향이 무시할 수 있을 만큼 적어야 한다는 전제조건도 이중 하나이다(Sklash and Farvolden, 1982). 연구지역인 예산의 소유역은 논농사가 주로 행해지는 농촌이며, 농번기에 논에 가두어진 물이 지표저장고의 역할을 할 수 있기 때문에 이를 검증해보기 위하여 수행되었다. 하천수에서 수문분리 시료를 채취하는 경우에 비가 오기 전부터 논에 가두어져 있던 논물이 하천수로 유입되는 경우에는 하천수의 추적자 조성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 지역에서 농번기에 수문분리 연구를 수행할 때에는 지표저장고에 의한 영향을 반드시 고려해야 한다.

2. 연구방법

추적자를 이용한 수문분리 연구를 하기 위해서는 하천수의 정확한 유량측정이 필수적이

주요어 : 수문분리, 추적자, 비반응물질, 3성분계, 지표저장고

- 1) 한국기초과학지원연구원 (kslee@kbsi.re.kr), (pyy@kbsi.re.kr), (bong_geo@kbsi.re.kr), (sirms4@kbsi.re.kr), (cyj@kbsi.re.kr)
- 2) 한국지질자원연구원 (yjkim@kigam.re.kr)
- 3) 공주대학교 (skpark@kongju.ac.kr), (sixdream@kongju.ac.kr)

다. 이를 위하여 예산의 소규모 하천에 유량자동측정기를 설치하여 10분 간격으로 유량을 측정하였다. 토양수채수기를 설치하여 15cm, 30cm, 60cm, 90cm 깊이의 토양수를 채취하였다. 비가 오기 전에 하천수와 토양수를 먼저 채취하여 수문분리 시에 지하수와 토양수의 대푯값으로 이용하였다. 빗물은 총강우를 채취하여 동위원소 및 원소 분석을 실시하였다. 시료들의 주성분 이온 분석은 ICP-MS, ICP-AES, IC등을 이용하여 측정하였으며 모든 분석은 한국기초과학지원 연구원의 장비를 이용하여 실시되었다. 산소 동위원소는 CO₂-H₂O 평형법을 이용하여 한국기초과학지원연구원의 안정동위원소 질량분석기(영국 Micromass사의 Optima 모델)로 동위원소비를 측정하였다.

3. 본 론

수문분리 연구에서 추적자로 이용되기 위해서는 물의 이동과정에서 보존적이어야 하는 것이 가장 중요한 요소이다. 물을 직접 구성하는 성분인 산소와 수소 동위원소는 80℃ 이하의 저온에서는 물-암석 반응에 의하여 영향을 거의 받지 않기 때문에 증발현상에 의해 큰 영향을 받지 않는 경우에는 천부환경에서 보존적으로 알려져 왔다 (Clark and Fritz, 1997). 즉 천부 환경에서 물은 이동과정 중에 다른 물과의 혼합에 의해서만 산소와 수소의 동위원소 조성이 달라진다고 할 수 있다. 이런 이유로 이성분계 수문분리에는 수소 동위원소 보다 분석이 상대적으로 용이한 산소 동위원소($\delta^{18}\text{O}$)가 추적자로서 가장 많이 이용되어 왔다. 동위원소가 2성분계 추적자로 수문분리에 이용되기 위해서는 앞에서 언급한 보존적 이동성 문제 말고도 다음과 같이 5가지 전제를 만족시켜야 한다 (Sklash and Farvolden, 1982).

1. 수문분리 기간 중에 지하수(old water)의 동위원소 조성이 일정하거나 변화 범위를 알 수 있어야 한다.
2. 수문분리 기간 중에 내리는 강수(new water)의 동위원소 조성이 일정하거나 변화 범위를 알 수 있어야 한다.
3. 지하수와 강수의 동위원소 조성이 서로 상당히 차이가 있어야 한다.
4. 비가 올 때 통기대의 물(vadose water)이 하천수에 주는 영향이 미미하거나 영향의 정도를 예상할 수 있어야 한다.
5. 비가 오는 중에 하천수에 영향을 주는 지표저장고 (연못, 늪지, channel storage 등)의 영향이 무시할 수 있어야 한다.

2006년 6월 10~12일(두 번째 강우)과 2006년 6월 14~15일(세 번째 강우)에 내린 단일 강우에 대하여 수문분리 시료를 채취하여 분석하였다. 두 번째 강우가 오기 전에 약45일 정도 이렇다 할 강우가 오지 않았다. 그림 1과 그림 2에서 볼 수 있듯이 연구 지역에서 채취한 수문분리 시료는 강수-지하수-토양수의 3성분으로 구성된 영역에서 벗어나서 도시되는 것을 볼 수 있다. 비가 오기 시작해서 어느 시간까지는 3성분내에서 강수 방향을 향해서 하천수의 조성이 변해가지만 어느 시간이 지나면 3성분계를 뚜렷이 벗어났다가 비가 그치면 기저 유출수 방향으로 다시 회복되는 것이 관찰된다. 이 점은 벼농사를 위하여 논에 가두어져 있던 논물이 지표저장고의 역할을 해서 비가 많이 오면 비와 함께 하천수로 유입되어 나타나는 결과로 해석된다. 이러한 점은 그림 1에서 산소동위원소 조성이 강우와 정반대 방향으로 움직이는 것에서 확인된다. 즉 논에 가둬둔 물은 장기간 증발을 받아서 산소 동위원소 조성이 부화되었을 것이며, 하천에 유입되는 물은 이러한 점들을 잘 반영하고 있다. 비료나 농약 등에서 유래될 수 있는 Mg 성분도 같은 경향을 보여준다. 그런데 두 번째 비가오고 나서 3일 후에 내린 세 번째 강우에서는 이러한 경향이 두 번째 것보다 약하다. 이것은 논에 가둬진 물이 증

발할 충분한 시간적 여유 없이 3번째 강우가 내려서 나타나는 결과로 해석된다. 연구지역에서 는 Sklash and Farvolden (1982)이 제시한 “비가 오는 중에 하천수에 영향을 주는 지표저장 고(연못, 늪지 등)의 영향이 무시할 수 있어야 한다”의 가정을 만족하지 못하기 때문에 여름철 에 추적자를 이용한 수문분리가 어렵다고 판단된다.

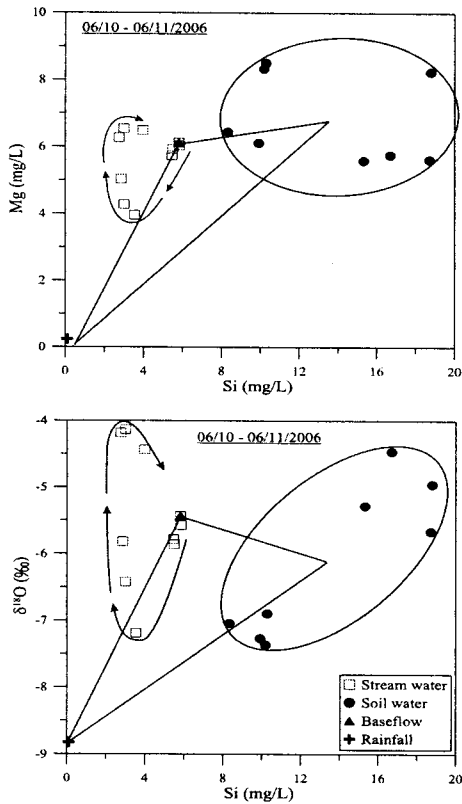


Fig. 1. Graphical presentation of the three-component hydrograph separation using ^{18}O and Si for the 2nd rainfall event.

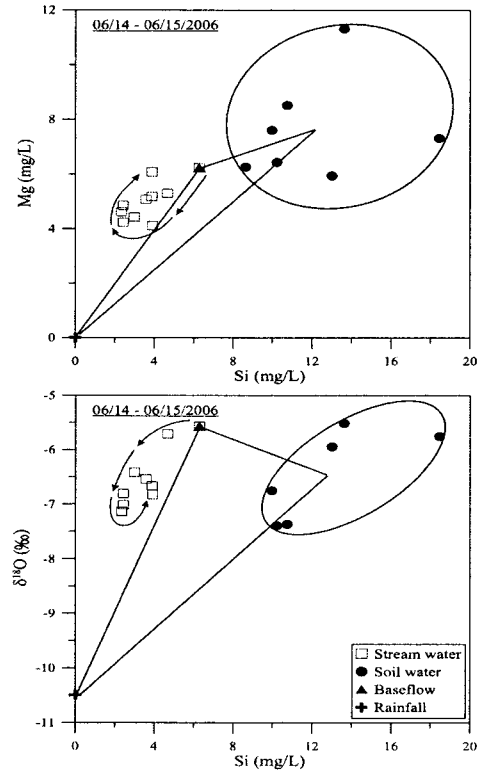


Fig. 2. Graphical presentation of the three-component hydrograph separation using ^{18}O and Si for the 3rd rainfall event.

감사의 글

이 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-2-2)에 의해 수행되었다.