

강변여과수 개발지역의 인공함양특성 평가를 위한 동위원소 기술적용에 대한 예비연구

김천수 · 김진영 · 고용권, 김형수*

한국원자력연구소

*한국수자원공사

kingy@kaeri.re.kr

요약문

인공함양 특성평가를 위한 동위원소기술을 적용하기 위한 연구지역으로 영남내륙권의 고령군과 달성군의 경계에 위치한 낙동강변의 강변여과수 개발지역을 선정하였으며, 동위원소기술적용을 위하여 연구지역내에 위치한 강변여과수 개발을 위한 양수정과 주변공들 및 지표수들에 대한 시료채취를 수행하였다. 관측공 중 한 공에 대하여는 다중패커시스템 (Multi-packer system)을 활용하여 심도별 변화를 살펴보았다. 연구지역내 물시료들에 대한 현재까지의 산소와 수소 동위원소 및 삼중수소 함량 분석결과는 다중패커설치공 및 일반 관측공과 지표수들간에 서로 중첩되어 구분이 어렵다. 스트론튬 동위원소비는 양수정 및 그 인접공의 시료들과 강변에서 인접한 공의 시료들간에 차이는 있으나 명확하지는 않다. 질소동위원소 분석결과를 살펴보면 전반적으로 화학비료로나 토양내의 유기물로부터 유래한 것으로 해석할 수 있다. 이처럼 현재까지의 기초분석 결과는 자연수 시료들에 적용된 다양한 동위원소값들이 서로 유사한 값들을 보여서 동위원소 특성을 지하수 유동특성이나 함양특성을 해석하기 위한 추적자로 이용하는데 어려움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 특정한 시기의 강우사건에 대해 강수, 낙동강물, 양수정 및 일련의 주변공과 다중패커시스템이 설치된 공의 심도별 구간 등에 대해 현재보다 보다 집중적이고 체계적인 시료채취가 시도되어지거나 방사성동위원소를 이용한 추적자 시험이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

주요어: 동위원소, 인공함양, 강변여과수, 낙동강, 추적자 시험

1. 서론

유엔 국제인구행동연구소에서는 지난 93년에 우리나라를 이미 물부족 국가군으로 분류해 놓았으며, 현재 추세라면 2006년에는 물 부족량이 4억t에 이를 것으로 전망되고 있다. 이와 관련하여 안정적인 수자원 확보 및 돌발적인 수질오염사고위험이 적은 방법으로서 강변여과수 개발이나 지하댐 건설 등이 활발히 논의되고 있다. 이 중 강변여과수는 원수를 장기간 강변의 대수층에 채류시켜 자체 정화능력을 이용하여 원수중의 오염물질을 상당량 저감후 취수하는 방식으로 하천변에서 깊은 우물물 형식의 집수정을 이용하거나 원수를 인공함양 시킨 후 취수하는 방법이다. 특히 우리나라의 경우 지표 수질 오염이 심한 부산, 마산, 창원, 대구 등 낙동강 하류지역의 안전한 수돗물 공급을 위해 이러한 강변여과수개발이 활발히 추진되고 있다. 본 연구는 인공함양특성을 평가하기 위한 동위원소 기술의 적용 타당성을 검토하기 위한 기초조사로서 현재 강변여과수 개발을 위한 설계조사가 진행중인 대구 달성군과 경북 고령군의 낙동강 유역을 연구대상으로 하여

연구지역의 자연수(장기양수시험공, 시추공, 관측공, 농업용 관정, 지표수 등)의 환경동위원소분석($\delta^{18}\text{O}$, δD , tritium, $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{15}\text{N}$, $^{87/86}\text{Sr}$)을 수행하였다. 또한 이러한 기초적인 동위원소 분석결과를 바탕으로 강변여과수와 같은 지하수의 인공함양특성을 해석하기 위한 동위원소기술의 적용가능성을 검토해 보았다.

2. 연구방법

연구지역의 지질은 주로 신라역암층과 칠곡층 및 진주층으로 이루어져 있다. 다중패커가 설치된 층적층은 지표로부터 약 7m와 16m 구간까지 각각 모래층과 자갈층이며 이하 하부구간은 풍화암 및 기반암으로 구성되어 있다. 다중패커시스템이 설치된 관측공과 농업용 관정을 제외한 모든 시료채취는 open상태에서 수행하였다. 산소 및 수소 안정동위원소 분석은 한국원자력연구소내 안정동위원소 질량분석기 (Model VG SIRA II 및 Micromass Optima)를 이용하였으며, 분석오차는 각각 $\pm 1.5\%$, $\pm 0.1\%$ 이다. 탄소 및 황 동위원소분석은 현장에서 침전과정을 거쳐 탄소 동위원소는 한국원자력연구소내 안정동위원소 질량분석기 (Model VG SIRA II)를 이용하였고 황 동위원소는 기초과학지원연구원에서 안정동위원소 질량분석기 (PRISM)로 분석하였다. 삼중수소는 농축과정을 거친 후 한국원자력연구소내 액체섬광계측기 (Model Packard Tricarb 2770TR/SL)를 이용하여 분석하였으며 분석오차는 ± 0.3 TU이다. 질소 동위원소분석은 서울대 농업과학공동기기센터에서 안정동위원소 질량분석기 (Micromass IsoPrime with Elemental Analyser)를 이용하여 분석하였다. 스트론튬 동위원소비는 기초과학지원연구원의 열이온화질량분석기 (VG Sector 54-30)를 이용하였다.

3. 연구결과 및 토의

연구지역 자연수 시료들의 분석결과에 대한 $\delta^{18}\text{O}$ 와 δD 의 분포를 살펴보면 모든 시료들이 세계 강우 직선에 평행하게 도시되어 지표수 및 모든 지하수들이 강우 기원임을 나타내고 있다. 현재까지 분석된 산소 및 수소 동위원소 값들은 MP에 의해 심도별로 채취된 시료나 일반 주변 시추공과 관측공 시료 및 지표수 시료에 대해 서로 중첩이 되어 명확한 차이를 보이지 않는다. 또한 시료채취시기에 따라 강변으로부터 양수정 간에 산소, 수소동위원소값들의 체계적인 공간적 분포변화를 보이지 않는다. 따라서 강변여과수 개발을 위한 장기양수에 의해 낙동강물이 양수정으로 함양되는 특성을 추적하기에는 다소 무리가 있다. 연구지역 층적층내 지하수 시추공 및 관측공들의 심도가 각각 25m와 10m이내로서 비교적 얕으며 층적층 자체도 상부로부터 모래층과 자갈층으로 주로 구성되어 있어서 강수에 의한 직접적인 영향을 받기가 쉽다는 점을 감안한다면 현재 보여지는 동위원소 특성은 가장 최근의 강수사건에 의한 평균값들이 층적층 전체에 걸쳐서 나타내지고 있기 때문에 동위원소적으로 거의 동일한 경향을 보이는 것으로 판단된다. 삼중수소함량은 비교적 심도가 깊은 농업용 관정 두 곳이 0TU이며 나머지 시료들은 3.1~8.0의 값을 보인다 (Fig. 2).

스트론튬 동위원소비는 양수정 및 MP설치공을 포함한 주변공의 시료들은 0.714385~0.714589의 값을 보이며 강변에 인접한 관측공의 시료들은 0.714734~0.714870, 양수정에서 층적층을 벗어난 DW-1공의 시료는 0.715092의 값을 보여 구별이 되기는 하지만 명확하지는 않다.

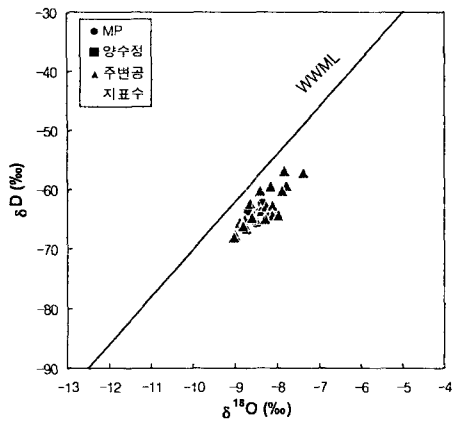


Fig. 1. δD versus $\delta^{18}O$ diagram for the water samples from the study area.

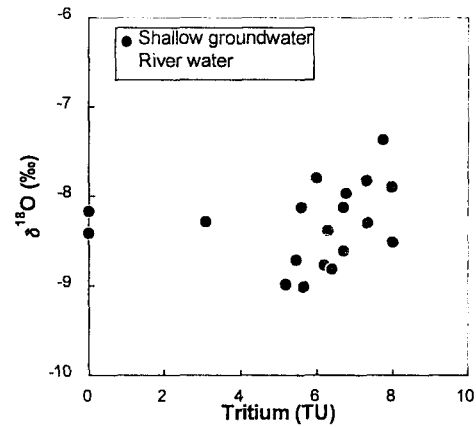


Fig. 2. Plot of tritium versus $\delta^{18}O$ contents for the water samples from the study area.

연구지역내 물시료들에 대한 질소동위원소 분석결과를 살펴보면 전반적으로 NO_3 의 $\delta^{15}N$ 값은 $-2 \sim +5$ ‰의 값을 보여주며 한 시료에 대해 $+12.8$ ‰의 비교적 높은 값을 나타낸다 (Fig. 3). 일반적으로 질소 동위원소 조성은 질소오염원으로 알려진 화학비료 (0 ± 4 ‰, Kendall, 1998), 축산 분뇨 ($+15 \pm 5$ ‰, Kreitler, 1979), 토양유기물 ($+2.7 \pm 3.4$ ‰, Broadbent et al., 1980)에 대하여 각각 고유한 값을 갖고 있기 때문에 연구지역의 충적층 지하수에 용존된 질소는 화학비료나 토양내의 유기물로부터 유래한 것으로 해석할 수 있으며 이는 연구지역의 충적층 및 주변지역이 비닐하우스단지나 일반 농업지역으로서 농약이나 화학비료가 많이 사용된다는 점과 비교적 일치한다. 12.3 ‰로서 다른 시료들에 비해 약간 높게 나타나고 있는 SB-12 시추공 시료는 유기질 질소에 의해 다소 영향받은 것으로 해석할 수도 있으나 주위에 축사 등과 같이 유기질 질소의 원인이 될 만한 곳이 없기 때문에 NO_3 의 탈질산화반응에 의하여 $\delta^{15}N$ 값이 증가되었다고 생각할 수 있다. 그러나 NO_3 의 농도가 낮은 시료에 대한 분석이 이루어지지 않았으며 용존유기탄소 (DOC)와의 관계가 명확하지 않기 때문에 (Fig. 4) 이에 대하여는 보다 체계적인 연구가 필요하다.

이처럼 다양한 동위원소들의 기초분석을 수행한 결과 강변여과수 개발을 위한 장기양수시험공과 주변 관측공들의 심도가 낙동강변의 광범위한 충적층 내에 속해 있기 때문에 서로 유사한 값들을 보여서 특정한 지하수 유동특성을 유추하거나 함양특성을 해석하기 위한 추적자로 이용하는 데 상당한 어려움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 특정한 시기의 강우사건에 대해 강수, 낙동강물, 양수정 및 일련의 주변공과 MP가 설치된 공의 심도별 구간 등에 대해 현재와는 달리 좀더 집중적이고 체계적인 시료채취가 시도되어지거나 방사성 동위원소를 이용한 추적자 시험이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

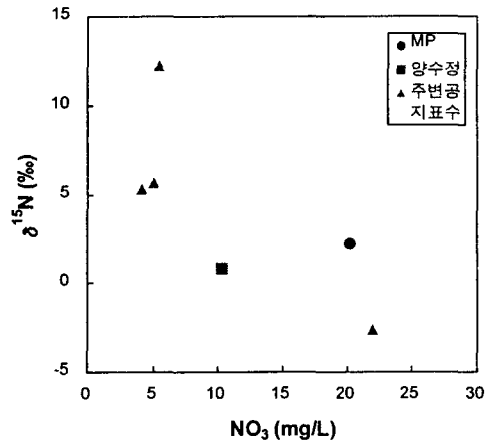


Fig. 3. Plot of NO₃ contents versus δ¹⁵N for the water samples from the study area.

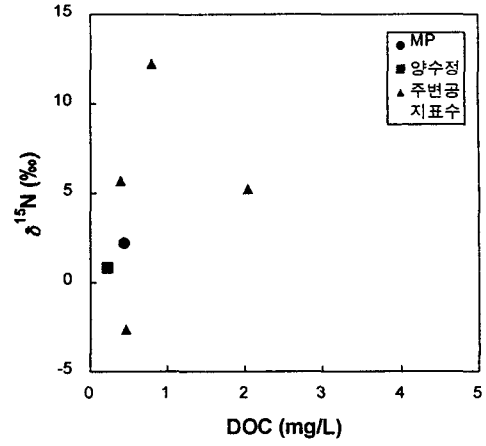


Fig. 4. Plot of DOC versus NO₃ contents for the water samples from the study area.

4. 사사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었으며, 부분적으로는 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발과제에 의하여 수행되었다.

5. 참고문헌

- Broadbent, F. E., Rauschkolb, R. S., Lewis, K. A. and Chang, G. Y., 1980, Spatial variability in Nitrogen-15 and total nitrogen in some virgin and cultivated soils, Soil Sci. Soc. Amer. Jour., 44, p. 524-527.
- Kendall, C., 1998, Tracing Nitrogen Sources and Cycling in Catchments. In : Kendall, C and McDonnell, J. J.(Eds), Isotope Tracers in Catchment Hydrogeology, Elsevier Science, Amsterdam, p. 519-576.
- Kreitler, C. W. and Browning, L. A., 1983, Nitrogen-isotope analysis of groundwater nitrate in carbonate aquifers: natural sources versus human pollution, Jour. Hydrology, 61, p. 285-301.