

## 낙동강 강변여과수 개발부지 지하수 수질의 수직분포 특성

현승균 · 우남철 · 신우식\*

연세대학교 지구시스템과학과, \*에코솔루션 (mgodo@ieg.or.kr)

### <요약문>

국내 총적층의 철, 망간 문제는 지속적으로 지적되어오던 수질항목이다. 총적층 지하수 내 철과 망간의 용존 특성을 확인하고자 강변여과수 부지에서 지하수의 수리지화학적 특성을 조사하였다. Fe와 Mn에 의해 오염된 관정은 D-2와 DS-3로 모두 3월에 채취한 시료이며 NO<sub>3</sub>-N는 모두 0 m/L 이다. NO<sub>3</sub>-N에 대해 다른 관정은 2 mg/L NO<sub>3</sub>-N를 넘고 있으며, DS-8와 DS-3에서 11.30과 20.2 mg/L NO<sub>3</sub>-N의 값으로 먹는물 수질기준을 초과하고 있다. Mn에 대해 오염된 관정은 SJ-3이다. 10월에 채취한 시료에서 DS-2+18 m에서 채취한 시료가 1.16 mg/L인 것을 제외하고 대부분의 시료가 2 mg/L를 초과하고 있고, DS-6+13 m과 SJ-3+10 m에서 채취한 시료가 각각 10.71과 10.31 mg/L NO<sub>3</sub>-N로 먹는물 수질기준을 초과하고 있다. DO 검층 자료와 NO<sub>3</sub>-N 농도를 이용하여 Fe와 Mn이 먹는물 수질 기준을 초과하는 D-2와 DS-2 관정의 지하수 체의 혐기성 상태임을 확인하였다. 강변여과수 지역은 전반적으로 NO<sub>3</sub>-N에 대해 인위적인 오염이 발생하고 있으며, 혐기성 상태 구간이 존재함에 따라서 Fe와 Mn이 먹는물 수질 기준을 초과하여 용존 상태로 존재한다.

주요어 : 강변여과수, Fe, Mn, NO<sub>3</sub>-N, DO(Dissolved Oxygen), 혐기성 상태

## 1. 서론

현재 창원시는 안정적인 수자원을 개발하기 위해서 강변 여과수 개발을 시행하여 경남 창원시 북면, 대산면에 정수시설을 설치하여 현재 가동하고 있다. 그러나 김 등(2002)의 연구에서 SW-1과 SW-2번 양수정의 경우, 망간의 함량이 표류수보다도 높게 나타나는 현상이 관찰되었으며, 주변의 조사 대상공에서도 먹는 물 수질 기준을 상회하는 망간 함량이 관찰되었다. 이와 같이 정수시설의 가동에 의해서 채수되는 강변 여과수 중에서 철과 망간의 농도가 자연적인 상태보다 높게 나타나는 것이 관측되어 이에 대한 조사가 요구되어 졌다.

본 연구는 창원시 대산면 강변여과수 부지에서 지하수의 수리지화학적 특성을 조사하여 지하수 내 철과 망간의 용존 특성을 확인하고자 연구를 하였다.

## 2. 지형 및 지질 개요

Fig. 1은 연구지역의 지질분포를 나타내는 지질도이다. 본 연구지역은 경상남도 창원시 대산면 일대로

써 낙동강과 인접한 대규모 충적층 지역이다. 이 지역은 경상도 전역에 분포하는 중생대 백악기의 상부 경상 누층군의 유전층과 이를 관입한 불국사 화강암류와 이들을 부정합으로 피복하고 있는 주 연구 대상인 제4기 충적층으로 구성되어 있다(과학기술부, 1998; 서형기 등, 2002). 함안군 칠서면의 지질은 중생대 백악기 하양층군(역암, 사암, 셰일)과 충적층(자갈, 모래, 실트)으로 구성되어 있다.

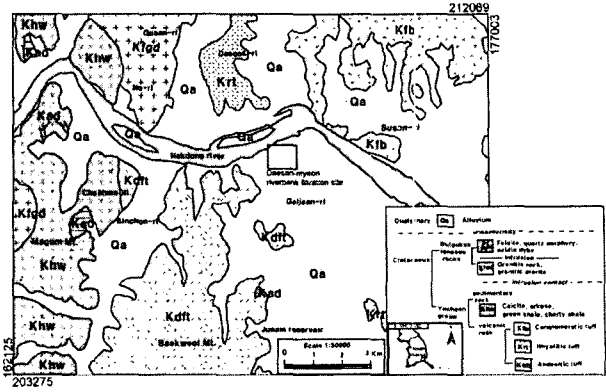


Fig. 1. Geologic map of Daesan-myun area(modified from Pusan Univ., 2004)

### 3. 시료 채취 및 실험방법

연구지역에 대한 시료의 채취 및 OTD 조사는 2003년 3월과 10월 두 번에 걸쳐서 실시하였다. 첫 번째 조사(2003년 3월)에서는 8개 관측공에 대해 조사하였다. 조사된 관측공은 AA'측선에서 4개 공(DS-2, D-2, DS-8, SJ-1)이고, BB'측에서 4개 공(DS-3, DS-6, DS-7, SJ-3)이 었다. 두 번째(2003년 10월) 조사에는 일부 조사공의 유실로 5개 공(<DS-2, DS-8; AA'>과 <DS-6, DS-7, SJ-3; BB'>에 대해 조사하였다. Fig. 2는 연구지역에서 조사 관측공의 위치를 나타내고 있으며 각각의 축선의 방향을 보여 준다.

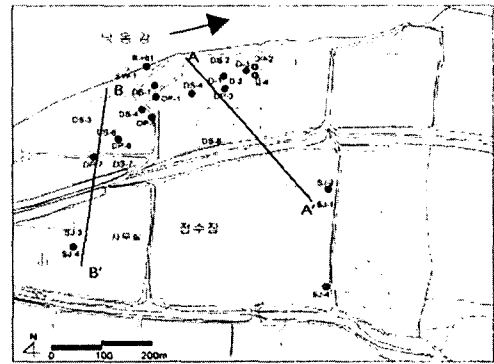


Fig. 2. Distribution of wells at study area(SJ and DS series)(modified from Hyun et al.(2003).

두 번의 조사 중 3월에는 지표 하 1개 지점에 대해서 시료를 채취하였고, 10월에는 OTD를 이용하여 지하수의 층구분이 명확하다고 생각되는 지점을 선정하여 시료를 채취하였다. 3월과 10월 두 번에 걸쳐서 Diver-OTD를 이용하여 관측공 내 지하수의 DO 같은 화학적 변화를 측정하였다.

채취된 시료는 EC, pH 및 온도에 대해 Hydrolab Mini-sonde를 사용하여 채수와 동시에 현장에서 직접 측정하였다. 분석을 위한 시료는 채취 후 0.45 μm 멤브레인 필터를 이용하여 부유물을 제거하였으며, 음이온 분석 시료는 4 °C로 보관하여 실험실로 이동하여 IC(DIONEX, DX-80, AS14A anion column)을 이용하여 F-, Cl-, Br-, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>를 분석하였고, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 적정법을 이용하였다. 양이온 분석 시료는 pH를 2이하로 유지하여 한국기초과학지원연구소 서울분소의 ICP-AES(Jobin Yvon 138 Ultrace)를 이용하여 주요 양이온(K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Si)과 미량 중금속(Fe, Mn, Al)을 분석하였다.

### 4. 결과 및 고찰

Table 1은 3월과 10월에 채취된 시료에 대한 측정시기와 심도에 따라 분석된 주요 이온과 미량 금속에 대한 분석 결과를 나타내고 있다.

1차 시료 채취 결과 지하수 시료 중 4개의 공(D-2, DS-2, DS-3, SJ-3)에서 Fe 또는 Mn이 음용수 기준(0.3 mg/L) 이상으로 높게 나타나고 있으며, NO<sub>3</sub>-N에 대해 먹는 물 수질 기준을 초과하는 관정은

DS-3와 DS-8에서 나타나고 있다. 또한 AA'축에 존재하는 관정에서 SJ-1에서 DS-3로 접근할수록 NO<sub>3</sub>-N이 5.36에서 20.2 mg/L로 증가하는 경향을 보인다. 이와는 달리 BB'축에서는 SJ-3와 DS-8가 각각 5.36과 11.30 mg/L을 나타내지만 강에 가깝게 존재하는 D-2와 DS-2는 NO<sub>3</sub>-N이 0 mg/L를 보이고 있다. ORP 역시 D-2와 DS-2는 각각 0.302와 0.312 V를 보이는데 반하여 다른 관정들은 0.381~0.403 V 범위의 값에 존재하고 있다. 이것은 D-2와 DS-2개의 공이 상대적으로 다른 관정에 비해서 환원환경에 가깝다는 것을 보여준다.

Michael et al.(2002)은 지화학과 질산염의 발생 사이의 강한 상관성을 관찰한 후 지화학적 정보에 기초한 대수층 민감도 방법을 개발하였다 여기서 이들은 세 개의 그룹으로 시료를 분류하였다. 현장 시료에 대한 DO 측정은 없었으나 D-2와 DS-2에서 Fe와 Mn의 농도가 각각 13.30, 11.50 mg/L Fe와 1.71, 2.76 mg/L Mn이고 NO<sub>3</sub>-N이 0 mg/L이라는 사실에서 D-2와 DS-2 내부가 혐기성 상태로 존재하여 탈질이 일어난다는 것을 유추할 수 있다.

채 등(2002)의 연구에서도 HCO<sub>3</sub> 농도가 높고, NO<sub>3</sub>-이온이 낮으며 상대적으로 Eh가 낮은 곳에서 탈질화 현상이 발생하고, 이에 따라서 철의 환원 반응도 이어져 용존 Fe(2+)의 함량이 증간된다하였다.

2차 시료 채취 결과에서 Fe, Mn는 먹는 물 수질 기준 이하로 나타나고 있다. 반면에 NO<sub>3</sub>-N 농도는 DS-6+13과 SJ-3+10에서 10.71과 10.31 mg/L로 음용수 기준을 초과하고 있다. 또한 DS-2+18m를 제외한 다른 조사 관정에서 NO<sub>3</sub>-N의 농도는 2 mg/L를 넘고 있다는 것을 알 수 있다. Mueller and Helsel(1996)은 일반적으로 인간 활동에 의해 오염되지 않은 자연 상태의 지하수는 2 mg/L보다 적은 질산성 질소의 농도를 가진다고하였다. 이것은 대산면 강변여과수 시설 부지가 인간 활동에 의해 질산성 질소에 의해 오염되었다는 것을 보여준다.

Eh는 3월에 D-2와 DS-2가 다른 관정에서 측정한 값보다 상대적으로 낮은 값을 보였으나, 10월에 측정한 전체 관정에서 0.390~0.413 V로 전체적으로 일정한 값을 보인다.

3월과 10월에 측정한 모니터링 관정에서 DO의 수직적인 경향을 나타낸 것은 Fig. 3이다.

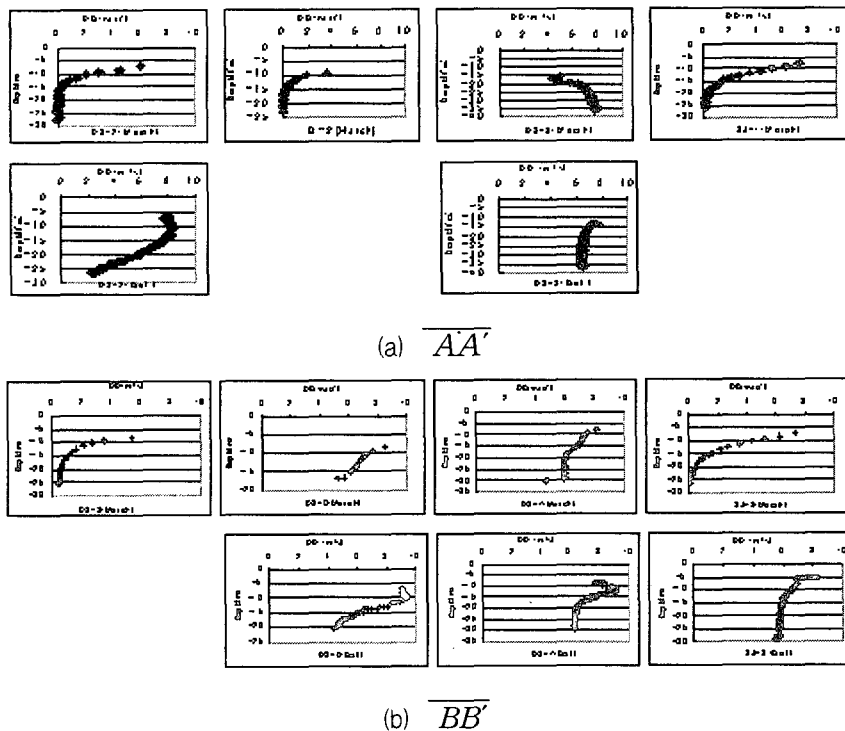


Fig. 3. The vertical and seasonal water quality variation of groundwater in wells. AA' line(DS-2, D-2, DS-3 and SJ-1) and BB' line(DS-3, DS-6, DS-7 and SJ-3)(March and Oct., 2003).

DO 검층 결과에서 보면 3월에 DO 농도가 1 mg/L이하를 유지하는 것은  $\overline{AA}$ 에서 DS-2, D-2 그리고 SJ-1에서 존재하고,  $\overline{BB}$ 에서는 DS-3와 SJ-3에서 나타나고 있다. 이온 분석 자료를 비교하면 Fe와 Mn이 먹는물 수질 기준을 초과하는 시료는 D-2+17 m와 DS-2+16m에서 나타나고 있다. 각각의 시료채취 지점의 DO 농도는 0.1 mg/L와 0.17 mg/L이다. 이 채취 지점의 NO<sub>3</sub>-N 농도는 모두 0 mg/L 이었다.

이러한 결과는 김 등(2003)의 연구에서 다중패커를 이용하여 심도별 분석 결과는 NO<sub>3</sub>-N이 0 mg/L인 상태에서 Mn의 농도가 먹는물 수질 기준을 초과하여 나타난다고 하였다. Michael et al.(2002)의 기준을 역으로 적용하면 DO<1.0 mg/L이고 NO<sub>3</sub>-N이 0 mg/L인 경우 total iron이 0.7 mg/L보다 많이 나올 수 있다. 채 등(2002)의 연구에서도 total Fe 및 Fe(2+)가 다량 존재하는 지하수의 경우 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 감소하며, 낮은 DO 및 Eh 값과 함께 높은 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 DOC 함량을 보인다하였다. 이와 같은 조건에서 유기탄소의 산화에 수반되어 탈질 반응이 특징적으로 발생하고 있음을 알 수 있다.

10월에 측정된 DO는 전체 구간에서 2 mg/L 이상으로 호기성 조건을 유지하고 있으며 Michael et al.(2002)의 기준에서 살펴보면 total iron이 0.7 mg/L보다 적은 값으로 존재함을 알 수 있다.

위와 같은 사실로부터 3월에 채취된 D-2와 DS-2의 시료에서 Fe와 Mn이 먹는물 수질 기준을 초과하여 검출된 것은 대수층 내에 혐기성 지역이 존재하고, 탈질화가 진행됨에 의해서 Fe와 Mn이 용존 상태를 유지한다고 할 수 있다.

## 4. 결 론

국내 충적층의 철, 망간 문제는 강변여과수의 활용 여부를 결정하는 과정에서 항상 지적되어온 것이다. 이런 문제를 야기하는 Fe와 Mn의 충적층 지하수 내 용존 특성을 조사하기 위하여 창원시 대산면 강변여과수 부지에서 수리지화학적 조사와 DO검층을 실시하였다.

3월에 채취된 시료로부터 얻어진 이온 분석결과를 살펴보면 Fe와 Mn 모두가 먹는물 수질 기준을 초과하는 관정은 D-2와 DS-2이다. 이들의 농도는 Fe에 대해서 각각 13.30과 11.50 mg/L이며 Mn에 대해서 1.71와 2.76 mg/L이다. 10월에 채취된 시료중 Fe와 Mn 중 먹는물 수질 기준을 초과하는 것은 없다.

3월 시료에서 NO<sub>3</sub>-N의 경우 D-2와 DS-2 공에서 0 mg/L를 보이는 반면에 대부분이 2 mg/L를 넘으면 DS-8과 DS-3의 경우 11.30과 20.2 mg/L로 먹는물 수질 기준을 초과하고 있다. 10월 시료에서 NO<sub>3</sub>-N은 DS-2+18 m에서 1.16 mg/L인 것을 제외하고 대부분의 관정에서 심도에 따라 농도의 차가 존재하나 전체적으로 2 mg/L를 넘으며, DS-6+13 m와 SJ-3+10 m가 10.71와 10.31 mg/L 먹는물 수질 기준을 초과하고 있다.

검층자료를 이용하여 지하수 체의 수직적인 특성을 분석하였고, DO 검층과 이온 분석 자료 중 NO<sub>3</sub>-N, Fe 및 Mn와 관련성을 이용하여, Michael et al.(2002)의 기준과 채 등(2002)의 연구에서 나타난 상관성을 바탕으로 Fe와 Mn의 이온상 존재를 규명하였다.

Mueller and Helsel(1996)의 기준과 NO<sub>3</sub>-N 농도가 먹는물 수질 기준 10 mg/L가 넘는 관정(3월 DS-3와 DS-8; 10월 DS-6+13 m와 SJ-3+10 m)이 존재하는 상황에서 현재 개발 중인 강변여과수 취수정이 위치한 부지에서는, 지표오염원에 대한 철저한 관리가 필요하다. 딸기재배를 위한 비닐하우스나 감나무 밭, 밀 밭, 채소 재배 등은 모두 비료와 농약 등 인위적인 오염물질을 사용하고 있으므로, 이들로부터 지하수의 오염을 예방하기 위해서라도 농업활동에 대한 철저한 관리와 규제는 필수적이다.

## 참고 문헌

1. 과학기술부, 1998, 1:25000 부산지질도폭 설명서.
2. 서형기, 김형수, 김진삼, 2002, 창원시 강변 여과수 취수에 관한 수리지질학적 특성 기초 연구. 한국지하수토양환경학회 춘계학술 발표회, 2002년 9월 13일~14일, 부산대학교, 261-264.
3. 부산대학교, 2004, 낙동강 중하류 강변여과수 개발지역 수리지질 특성 평가-지속가능한 지하수 개발 및 함양기술 개발-. 부산대학교, 170 p.
4. 현승규, 우남철, 신우식, 함세영, 2003, 강변여과수 개발부지 지하수의 수리지화학적 특성 -Preliminary results-. 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, 2003년 9월26일~27일, 제주대학교, 579-582.
5. Michael D. Trojan, Moira E. Campion, Jennifer S. Maloney, James M. Stockinger, and Erin P. Eid, 2002, Estimating aquifer sensitivity to nitrate contamination using geochemical information. Ground Water Monitoring & Remediation, 22(4), 100-108.
6. 채기탁, 윤성택, 김경호, 김형수, 김강주, 이철우, 2002, 부여지역 충적층 지하수의 수리지구화학 특성에 관한 예비 연구: 수리환경 변화와 환원대(reducing zone)의 이동. 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회, 2002년 4월 12~13일, 서울시립대학교, 176-178.
7. Muller, D.K., and Hesel, D.R., 1996, Nutrients in the nation's water-Too much of a good thing?. U.S Geological Survey Circular, 1136 p.