

## 함안군 강변여과수 범람원 지역의 철·망간 산화-환원 특성 연구

박성민, 김진훈, 서민우, 김형수

한국수자원공사 수자원연구원

e-mail : komandu@hanmail.net

### 요 약 문

강변여과방식의 시험 취수가 진행 중에 있는 범람원지역의 산화-환원 반응을 밝히기 위해 10개의 간이 관측정을 설치하여 수질 모니터링을 수행하였다. 분석 결과 하천수에 인접한 지역에서 강한 환원환경이 생성되는 것을 확인하였으며, 이는 하천수 내 용존 유기 탄소가 인근 범람원 지역에 퇴적·산화되어 나타난 결과였다. 즉 퇴적된 용존 유기 탄소가 감소하면서 용존 산소와 질산성 질소는 감소시키지만, 이러한 환경변화가 수처리 시 문제가 될 수 있는 용존 망간의 농도를 증가시키게 되며, 따라서 향후 이 지역에 대한 추가적인 분석과 함께 집수정으로 통해 유출되는 용존 망간에 대한 대책이 필요한 것으로 조사되었다.

Key word : 충전층 지하수, 강변여과수, 철, 망간, 용존 유기 탄소

### 1. 서론

본 연구 지역은 함안면, 군북면, 범수면, 칠서면 지역에 일일 45,000m<sup>3</sup>의 용수공급을 목적으로 건설되어진 강변여과현장으로서 강변여과수를 공급하기 위해 시험 운전 중에 있다. 하지만 취수정의 원수 수질이 망간 수질 기준치의 10배 이상 초과하고 있으며, 이러한 고농도의 망간은 정수과정에서 주입되는 염소에 의해 용존 망간이 산화됨으로써 색도 및 심미적인 문제를 야기시키는 것으로 알려져 있다. 강변여과수를 이용하기 용이한 범람원이나 선상지, 삼각주 지역은 하천이 사행하다가 쌓인 충전층이며, 최근 탈질 반응이 빈번하게 관찰되는 곳으로 연구 대상으로 주목을 받고 있다<sup>2)</sup>. 이곳에 쌓이는 세립의 퇴적물과 유기물에 의해 탈질 등 다양한 산화-환원 과정이 일어나고, 이 과정은 일반적으로 복잡하고 지역에 따라 큰 차이를 보인다고 알려져 있다. 지하 환경에서 질산염, 망간, 철, 황산염 등은 산화-환원 반응에 매우 민감하게 반응하며, 혐기성 환경에서 빠르게 환원하여 낮은 산화 상태를 유지한다. 지하수 내 용존철과 망간의 농도는 대수층 내 산화 상태의 철-망간 광물이 환원되어 Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> 등으로 용해되면서 증가하게 된다. 그러므로 충전층 지하수의 산화-환원 전위는 산화-환원에 민감한 화학종들(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>)의 거동과 농도 변화에 중요한 역할을 한다<sup>1)</sup>. 결국 범람원과 같이 유기물이 다량으로 퇴적되어 있는 지역에서는 유기물의 산화에 의해 질산염 뿐 아니라 철과 망간을 환원시킬 수 있을 정도의 강한 환원 환경이 조성되어, 질산염의 자연 저감현상이 발생할 뿐 아니라 부가적으로 용존 철과 망간의 농도도 증가하여 상수원의 오염현상이 나타나게 된다<sup>3)</sup>. 본 연구는 설치된 관측정을 이용하여 강변여과방식의 양수로 발생할 수 있는 충전층 지역의 하천수 유입 거동을 장기적으로 관찰하고, 하천수 유입 경로인 범람원 지역의 철, 망간 용출 특성과 범람원 지역 대수층 공극수의 수질 변화를 제어하는 지구화학적 영향인자를 규명하여, 궁극적으로 강변여과수에서 발생 가능한 수질문제를 해결하는데 목적이 있다.

## 2. 본론

### 2.1 지형 및 지질

이 지역은 낙동강 하류부로서 장년 노년기의 지형을 가지는 완만한 구배를 이루어 하상에 충적층이 크게 발달되어 있는 지형적 특성을 갖고 있다. 지질의 경우 제 4기 충적층과 함안층으로 이루어져 있으며, 충적층의 경우 입도가 대부분 세립질로 이루어져 있고, 불투수층의 점토층들이 협재되어 있는 특징을 나타내고 있다. 범람원 지역의 정밀조사를 위한 간이 수위/수질 관측정을 하천으로부터 취수정 사이에 거리에 따라 총 10개공을 설치하였고, 범람원 지역과 그 외 배후지역의 수질을 비교하기 위하여 주변마을의 충적층 및 암반지하수를 추가로 시료를 채취하였다(그림 1). 관측정의 위치 그림 1과 같다. 현장 조건에 민감한 기본적인 물리화학적 인자(온도, pH, DO, EC, ORP)는 채수 즉시 측정하였으며, 주요 이온·DOC·Fe·Mn 채수하여 실험실에서 분석을 수행하였다.



그림 1. 관측정 및 시료채취 위치도

### 2.2 수리 지구화학 유형

함안 강변여과수 지역의 수질 분석결과를 살펴보면 주요 이온 성분 중  $\text{Ca}^{2+}$ 와  $\text{HCO}_3^-$ 가 주성분을 이루고 있음을 알 수 있었다. 그림-2는 주요 양이온과 음이온의 지하수중 당량 기준 비율을 나타낸 것으로 범람원 지역과 배후지 시료는  $\text{Ca}^{2+}$ 와  $\text{HCO}_3^-$ 가 지배적인 특징을 보이고 있으나 낙동강 하천수의 경우  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 의 함량이 높은 것을 볼 수 있다. 이러한 특징은 파이퍼 다이어그램에서도 알 수 있었다(그림 3). 지하수의 수질 유형은  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{HCO}_3^-$  유형으로부터  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Cl}^-$  유형에 이르기까지 매우 다양하게 변화한다. 특히 주요 양이온의 경우  $\text{Ca}^{2+}$ 의 농도가 높은 상태에서 큰 변화가 없지만, 음이온의 조성은  $\text{Cl}^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$  쪽으로 점차 변화하는 경향을 나타낸다(그림 3).  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Cl}^-$  유형의 지하수는 대체적으로 TDS 함량이 높아 용존 이온의 절대 함량을 증가시키는 작용들이 중요하게 작용함을 보여준다. 전기전도는 양이온 중에는  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ 가 큰 기여를 하는 것으로 분석되었으며, 음이온 중에는  $\text{Cl}^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 가 밀접한 관계를 보이고 있음을 알 수 있었다(그림 4, 5).

$\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 와 같이 전기전도도와 밀접한 상관관계를 보이는 이온들은 농업 활동에 따른 비료에 의한 오염에 상관성이 있다고 알려져 있다. 이러한 이온들은 하천과 인접한 대수층의 공극수와 하천수가 혼합되는 지역에서는 하천과 유사하거나 우수에 침투에 의해 하천보다 작게 농도를 보인 반면, 농업활동이 활발한 지역에서는 높은 값을 보이는 것이 이를 잘 뒷받침 할 수 있다(그림 6). 총유기탄소의 공간적 분포를 살펴보면 하천수보다는 내륙으로 갈수록 농도가 저하되는 경향을 볼 수 있었다(그림 9). 하지만 마을 주변 충적층에서 높은 농도를 보이는 이유는 인간의 인위적인 활동에 의해 유입된 오염물로 판단된다. 망간의 경우는 하천에 인접한 범람원 지역과 암반관정이 존재하는 지역에서 높은 농도를 보이고 있으며 음용수 기준(0.3mg/L)을 최대 10배 이상 초과하는 시료도 존재하였다. 이는 하천 범람지에 퇴적된 유기물의 산화로 형성된 환원환경에서, 산화상태의 망간광물이  $\text{Mn}^{2+}$ 이온으로 용출되어 나타난 것으로 판단된다(그림 7).

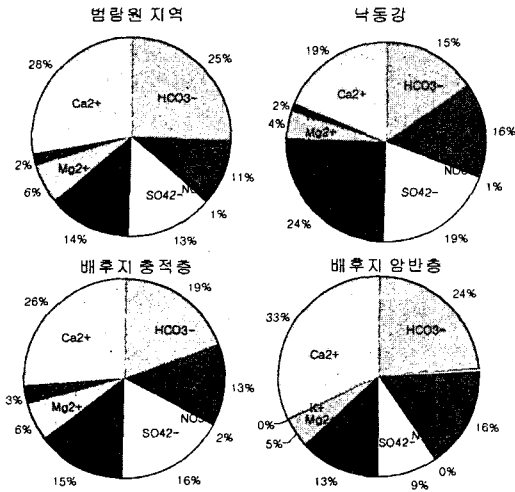


그림 2. 당량비에 따른 지하수의 파이 다이어그램

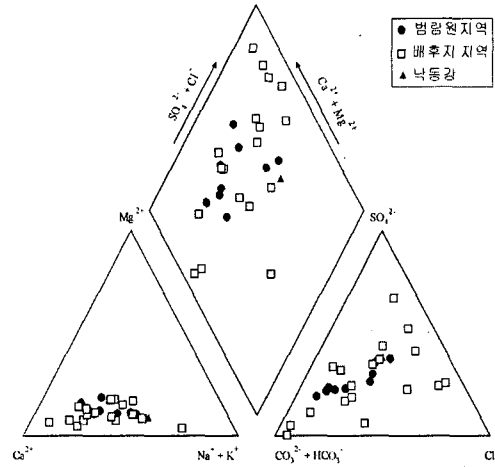


그림 3. 연구지역 지하수에 대한 파이퍼 다이어그램

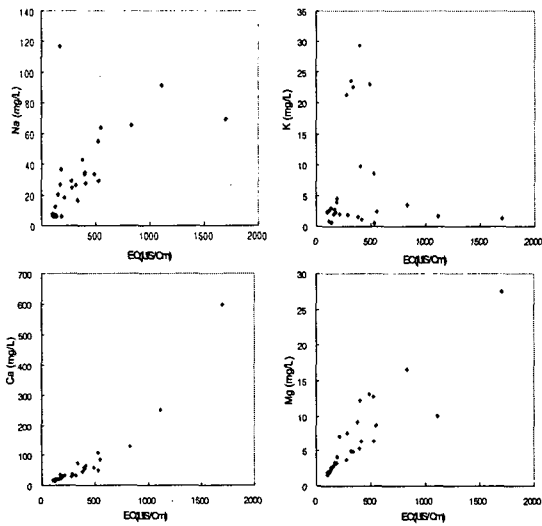


그림 4. 전기전도도에 대한 양이온 분포

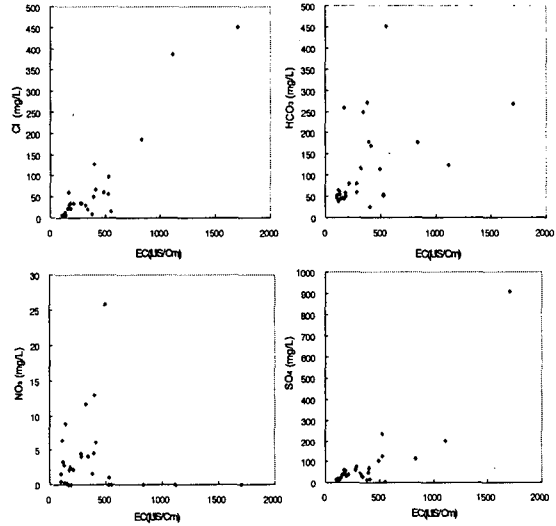


그림 5. 전기전도도에 대한 음이온 분포



그림 6. EC의 공간 분포도



그림 7. Mn의 공간 분포도



그림 8. Fe의 공간 분포도



그림 9. DOC의 공간 분포도

### 2.3 범람원 지역의 산화-환원 반응

범람원 지역의 주요 양이온의 농도를 살펴보면 하천수보다 대체적으로 높은 값을 보여주고 있으며 하천에 가장 인접한 부분의 농도가 가장 높은 것으로 조사되었다(그림 10). 이는 Calcium carbonate, Magnesium carbonate의 풍화와 Silica 등 용해 작용에 의한 것으로 사료된다<sup>3)</sup>. 이 지역의 질산성 질소의 농도를 살펴보면 특별한 농업활동이나 인위적인 오염원이 존재하지 않기 때문에 매우 적은 농도를 나타내었다. 특히 하천수에 2.5ppm정도 존재하던 질산성질소가 Reduction Zone에서 검출농도 이하의 값을 보여 주고 있다(그림 10). 하지만 망간의 농도를 살펴보면 총 10개의 시료 중 4개의 시료가 음용수 수질기준을 초과한 것으로 조사되었고 이는 연구 대상지역이 질산염 뿐 아니라 철과 망간을 환원시킬 수 있는 정도의 강한 환원 환경에 놓여 있음을 알 수 있다. 이에 따라 하천과 가장 인접한 지역의 Mn 농도는 대수층 물질로부터 전자를 받아 환원되면서 매우 높은 농도(2.3mg/L)까지 증가하였다. 한편 용존산소와 용존유기물은 유기물의 산화에 의해 하천수보다 감소하는 경향을 보이고 있고 중탄산염의 경우 유기물의 산화에 의해 농도가 증가하는 양상을 보이고 있었다(그림 10). 이는 망간의 지하수 내 용출반응에서는 일반적으로 유기탄소를 전자 공여자로 사용하는데 이때 유기물이 산화되면서 특히 pH가 중성환경일 때 중탄산염의 농도는 증가하게 되기 때문이다<sup>3)</sup>.

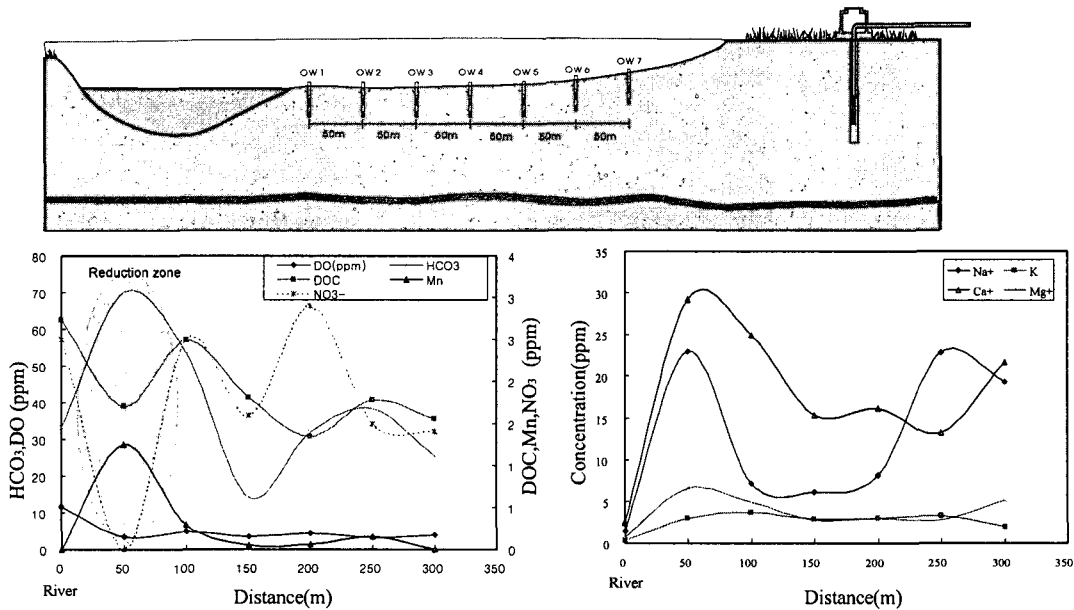


그림 10. 하천으로부터 거리에 따른 주요 이온들의 농도 분포

### 3. 결론 및 향후 계획

범람원 지역의 정밀조사 결과 하천에 가장 인접한 지역에서 강한 환원상태 지역, 즉 Reduction Zone이 형성되어 수처리 시 문제가 되는 용존 망간의 농도를 상승시키는 것으로 조사되었다. 하지만 이와 같이 용존 망간 증가에 대한 정확한 메카니즘을 밝히기 위해서는 보다 정확한 산화환원전위(Eh), 용존산소(DO) 자료를 통한 Mn 광물의 열역학적 해석이 이루어져야 할 것이다. 또한 범람원 지역의 토양을 채취하여 실험실 실험을 통해 반응 용액의 화학적 특성 및 풍화 정도에 따른 산화-환원 반응에 민감한 원소들의 정확한 분석이 이루어진다면 현장에 대한 보다 상세한 해석이 가능할 수 있을 것으로 사료된다.

### 4. 사사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제 번호 3-4-2)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 사업단 측에 감사드립니다.

### 5. 참고 문헌

- 1) 김경호, 윤성택, 채기탁, 최병영, 김순오, 김강주, 김형수, 이철우, 2002, 금강 권역 충적층 지하수의 질산염 오염: 질산성 질소의 기원과 거동 고찰 및 안전한 용수 공급을 위한 제언. The Journal of Engineering Geology, Vol.12, No.4, pp.471-484
- 2) 한국수자원공사, 2002, 지질공학회지, 금강권역 광역 지하수 조사 연구보고서
- 3) Bourg, A.C.M. and Bertin, C., 1993. Biogeochemical Processes during the Infiltration of River Water into an Alluvial Aquifer. Environ. Sci. Technol. Vol.27, pp.661-666