

충적층 지하수의 철, 망간 기작 및 효율적 처리 방안 연구 -강변여과수 개발 현장을 중심으로-

김형수, 김충환, 김병균, 백건하, 최현숙
한국수자원공사 수자원연구소
e-mail : hskim@kowaco.or.kr

요약문

강변 여과 취수 방식을 활용한 국내 충적층 지하수의 이용을 위해서는 망간에 대한 수처리가 주요 사항인 것으로 나타났다. 강변 여과 방식 취수 원수의 망간 함량은 먹는 물 수질 기준을 부분적으로 상회하지만, 이러한 망간에 대한 저감 처리는 기존의 지표수를 취수하여 처리하는 수처리 공정에 비해서는 상대적으로 효율적인 것으로 판단된다. 실제로, 국내 최초의 강변 여과 방식 취수를 활용하는 창원시 대신 지구 원수는 공기 포기, 급속 여과, 활성탄 여과를 통해, 먹는 물 수질 기준을 상회하는 망간을 효과적으로 처리하고 있는 것으로 평가되었다. 특히, 활성탄 여과가 망간 제거 효과를 보이는 점은 특이한 현상으로, 활성탄 내에서도 철 관련 박테리아에 의한 망간 처리 가능성을 시사하고 있다. 또한 망간과 함께 나타나는 철 성분은 망간의 침전 처리에 긍정적인 면으로 작용하는 것으로 판단된다. 한편, 고령군 다산면에서의 실증 플랜트 실험은 전염소처리와 망간접촉여과를 통해 먹는 물 기준 이하의 망간 함량을 확보하는 데는 성공하였으나, 이러한 처리 기작이 안정화되는데까지는 약 3개월 내외의 시간이 요구되는 것으로 나타났다.

key word : 강변여과수, 수처리, 망간, 철, IRB 박테리아, 충적층 지하수

1. 서론

본 발표는, 새로운 취수원 확보 방안의 일환인 강변 여과수의 수질 특성 중, 특히, 원수의 수질이 먹는 물 수질 기준에 근접하거나 초과하고 있는 철, 망간에 대한 현황을 파악하고 이에 대한 적절한 수처리 방법을 고안하기 위한 목적으로 수행되고 있는 연구의 일환이다. 국내 충적층의 철, 망간 문제는 과거로부터 강변여과수 활용 여부를 검토한 기존의 조사 및 연구에서 지속적으로 지적되어오던 수질 항목으로(한국수자원공사, 1996; 환경부 등 1996), 특히 망간의 경우는 먹는 물 수질 기준인 0.3ppm을 상회하는 경우가 많은 것으로 알려져 있다. 이러한 현상은 국내의 충적층 지하수에 국한되는 문제는 아니며, 외국의 경우에도 퇴적암류 내의 지하수 및 모래와 자갈 충적층 내의 지하수에서 특히, 망간의 함량이 높게 나타나는 것으로 보고되어있다(Hem, 1985). 국내 충적층 지하수의 경우, 철과 망간, 질산성 질소 및 암모니아성 질소를 제외한 대부분의 항목은 먹는 물 수질 기준에 적합한 것으로 나타나므로, 철과 망간의 처리는 앞으로 국내 충적층 지하수를 개발 이용하고자 할 때, 가장 중요한 수처리 대상이 될 것으로 판단된다.

2. 지하수 배경 수질 조사

창원시 대신면을 대상으로 조사한 기존 지하수 수질 자료는 이 지역 충적층 지하수 중, 먹는 물 수질 기준을 초과하는 항목은 질산성 질소 및 망간이 대표적이며, 이중 질산성 질소는 우기에 그 초과 비율이 높고, 망간은 건기에 그 초과 비율이 높은 특징을 보여주었다. 특히, 대신 지구의 충적층 지하수 중 시범 운영되고 있던 강변 여과 취수정의 물이, 주변에서 농업용 또는 생활용으

로 사용되는 지하수와 표류수에 비해서도 현저히 높은 망간 함량을 보이는 반면, 질산성 질소의 경우는 그 반대 현상을 보여주고 있어, 주로 기반암 상부의 자갈 모래층을 대상으로 취수가 수행되는 강변 여과 취수정의 수질은 충적층내의 천부 지하수 수질 및 표류수의 수질 특성과는 구분되는 특이한 현상을 보여주었다. 철의 경우는 농업 관계용으로 사용되는 충적층 지하수를 제외하고는 모두 0.1 ppm 내외의 낮은 농도를 보여 주었다(한국수자원공사, 2000).

고령군 다산면 강변 여과 연구지역의 배경 수질과 양수에 따른 수질 변화의 조사는, 강변 여과 방식 취수원 확보를 위해 한국수자원공사에서 수행된 『영남 내륙권 광역 상수도 사업』의 실시 설계 조사 자료와 본 연구를 통해 직접 획득된 자료를 토대로 검토되었다. 조사를 위해서 시료가 채수된 대표 지점은, 표류수, SW-1번 양수정, SW-2번 양수정, DW-1번 양수정으로, 간이 수질 조사(pH, DO, EC, 수온)는 12월 초순부터 6월말까지 매일 단위로, 먹는 물 기준에 준하는 수질 분석은 조사 기간 중 필요시 수시로 수행되었다. 강변 여과 취수 원수는 표류수에 비해, 뚜렷하게 일정한 수온 유지, 상대적으로 낮은 유기물 농도, 탁도를 보여주어 표류수에 비해 이후의 수처리 공정에 있어 월등한 우월성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 그러나 SW-1번 및 SW-2번 양수정의 경우, 망간의 함량이 표류수보다도 높게 나타나는 현상이 관찰되었으며, 주변의 조사 대상공에서도 먹는 물 수질 기준을 상회하는 망간 함량이 관측되었다. 한편, 다중 심도 패커에서 획득된 자료는 심도 6m 하부에서는 시기에 상관없이 질산성 질소가 전혀 검출되지 않아, 충적층 지하수의 질산성 질소 오염은 대부분이 지표의 비료 및 오물로부터 야기되며, 대수층의 하부로 이동시, 뚜렷한 저감 효과를 보여주는 것으로 판단된다.

3. 강변 여과수 수처리

가. 창원시 강변 여과수 수처리

창원시 대산면에서 강변 여과 방식으로 취수된 물은 표류수와 비교하여, 양호한 수질 기준을 보이고 있지만, 일부 항목이 먹는 물 기준을 초과하므로, 수처리는 필수적이다. 특히, 망간의 경우는 원수의 함량이 먹는 물 기준을 많이 상회하므로, 이에 대한 처리가 수처리의 주요 대상이다. 창원시의 수처리 공정은, 취수후 포기 반응, 급속 여과, 활성탄 여과를 거친 후 염소 소독 후 공급하는 단계를 거친다. 이러한 수처리 과정은 표류수를 취수하여 처리하는 공정에 비해 현저히 단순하며, 특히 넓은 부지가 요구되는 침전지 및 완속 여과지의 확보가 불필요하므로, 토지 점유 측면에서도 월등히 유리하다. 창원시 대산 및 북면 정수장 시험 통수 자료에 의하면, 평균 0.89 ppm이었던 원수의 망간 함량이, 포기 처리 후 0.86ppm, 급속 여과 후 0.35ppm, 최종 활성탄 여과 후 0.037 ppm으로 처리되었다고 보고되어있다. 또한 2002년 5월 2일, 7월 4일, 7월 19일에 채수된 최종 처리수의 철과 망간의 함량은 모두 불검출을 보여 현재의 수처리 공정이 강변 여과수를 효과적으로 처리하고 있는 것으로 판단된다. 그러나, 일반적으로 망간의 경우는 단순 공기 접촉 포기로 쉽게 산화되지 않고 활성탄 여과는 주로 유기물질만을 제거하는 것으로 알려져 있는데 반해 창원시 강변 여과수의 경우, 망간이 활성탄 여과후에 현저히 감소하는 특징을 보이고 있어 활성탄 여과가 망간 저감에 어떠한 역할을 하는지의 기작 규명이 분명하지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 창원시 강변 여과수의 수처리에 활용되는 여과사 및 활성탄의 SEM 촬영을 통한 분석을 수행하였다. 사진 1은 북면 여과사 SEM 촬영 결과를 보여주며, 사진 2는 대산면 활성탄의 SEM 촬영 결과를 보여준다.

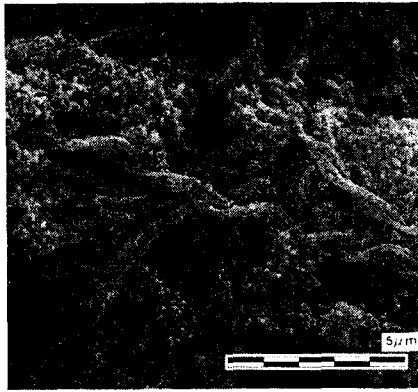


사진1. 창원시 북면 여과사 SEM 촬영도

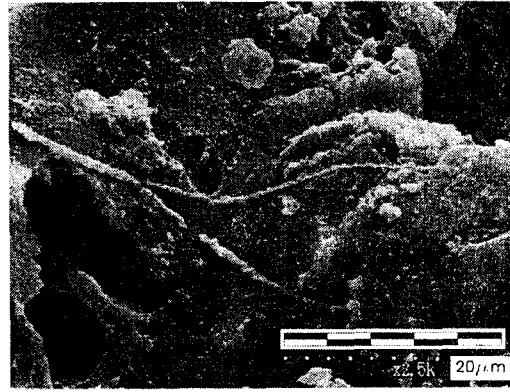


사진 2. 창원시 대산면 활성탄 SEM 촬영도

이들 사진에서 볼 수 있듯이, 여과사 및 활성탄에 사상체 모양의 미생물이 관찰된다. 특히, 활성탄에서 관찰되는 미생물이 활성탄 여과 후, 망간이 저감되는 현상과 연관될 것으로 추측된다. SEM에서 관찰된 형태상으로 볼 때, 이 박테리아는 철 관련 박테리아 (iron related bacteria)의 일종인 *Gallionella ferruginea*인 것으로 추정되며, 이 박테리아가 철 또는 망간의 산화를 일으키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Ferris et al., 2000). 또한 사상체 주변의 0.1 μ m 크기의 작은 포도송이 형태의 입자들은 철 또는 망간 산화 침전물인 것으로 추정된다. 창원의 강변 여과수 수처리 공정은 일반적인 망간 처리 공정의 형태인 염소 투입 산화, 여과사의 공정이 아님에도 불구하고 효과적으로 망간이 저감되는 현상이 이러한 미생물들의 기작과 일부 관련되어 있을 것으로 사료된다. 또한 망간 이온이 철 산화물과 함께 침전되는 현상이 공기 접촉 방식에 의해 쉽게 산화되지 않는 망간을 제거하는데 영향을 끼치는 것으로 판단되므로, 철과 망간이 함께 포함된 강변 여과원수의 경우, 창원에서 처리하는 수처리 공정이 충분히 효과적일 수 있는 것으로 판단된다. 실제로 망간만 포함된 원수에 비해 철과 망간이 함께 포함된 원수가 더 쉽게 망간이 제거되는 현상은 Ellis et al.(2000) 및 Stumm and Morgan(1996) 등의 연구에서도 잘 알려져 있다.

나. 고령군 다산면 강변 여과수 수처리 실증 플랜트 실험

고령군 다산면 강변 여과수의 효과적인 수처리 방안을 위해 강변 여과 원수에 대한 실증 실험 및 분석이 수행되었다. 실제 본 실험은 한국수자원공사의 영남 내륙권 광역 상수도 사업의 일환으로 본 사업을 통해 획득된 실험 자료에 근거하여 연구가 수행되었다. 실증 실험에 적용된 수처리 공정은 다음 그림 1과 같으며, 주요 처리 대상 물질은 철과 망간이다. 각 공정별 자료는 2002년 4월 이후 특별한 현장 사고가 없는 경우, 일별로 획득 분석되고 있다. 이 중, 현재까지 가장 적합하다고 판단되는 공정은 2-1 및 2-2 공정으로 8월 현재, 평균 망간 함량이 1.93ppm이던 강변 여과 원수가 2-1 공정을 거친 후, 0.07ppm으로, 2-2 공정을 거친 후, 0.1ppm으로 분석되어, 먹는 물 수질 기준인 0.3ppm을 모두 만족하는 것으로 평가되었다. 특히, 2-1 공정은 6월부터, 2-2는 8월부터 망간이 먹는 물 수질 기준 이하로 처리되는 것으로 관찰되어 망간사 여과가 효과를 나타내기 위해서는 어느 정도의 기간이 요구되는 것으로 나타났다. 한편, 이들 여과사에 대한 SEM 촬영에서는 특이한 미생물을 발견할 수 없었다. 실제로 이러한 현상은 전염소 처리가 원수 내의 IRB 관련 박테리아의 생성을 억제하기 때문일 것으로 추정된다. 현재 실증 실험에서는 모든 공정이 망간의 산화를 위하여, 염소 처리하는 것으로 설계되어 있어, 염소 처리가 없는 경우의 망간 제거 효과를 비교하기 어려운 문제를 가지고 있어 추후 이에 대한 검토 및 보완 연구가 필요할 것으로 판단된다.

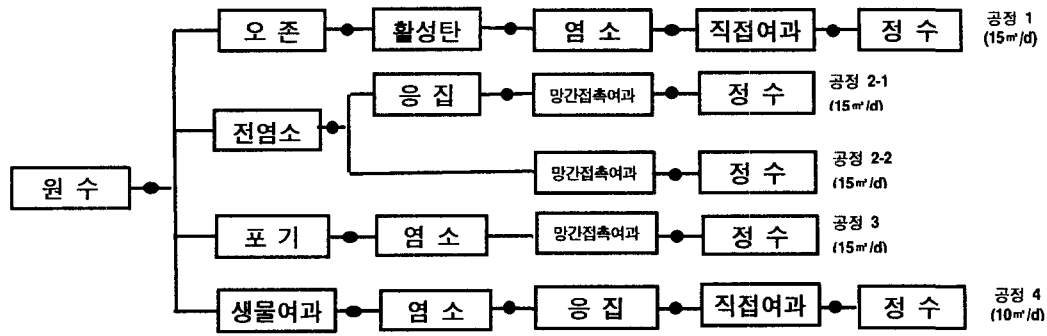


그림1. 고령군 다산면 강변 여과수 수처리 실증 실험 공정개요

4. 결론 및 의견

강변 여과 취수 방식을 활용한 국내 충적층 지하수의 이용을 위해서는 망간에 대한 수처리가 가장 큰 문제 사항인 것으로 나타났다. 그러나 이러한 망간에 대한 저감 처리는 기존의 지표수를 취수하여 처리하는 수처리 공정에 비해서는 상대적으로 단순하고 좁은 부지 내에서 가능하다는 장점을 가지고 있는 것으로 평가된다. 실제로, 국내 최초의 강변 여과 방식 취수를 활용하는 창원시의 대산면 지구의 원수는 공기 포기, 급속 여과, 활성탄 여과를 통해, 먹는 물 수질 기준을 상회하는 망간을 효과적으로 처리하고 있는 것으로 평가되었다. 특히, 활성탄 여과가 망간 제거 효과를 보이는 점은 특이한 현상으로 활성탄 내에서도 철 관련 박테리아에 의한 망간 처리 가능성을 시사하고 있다. 또한 망간과 함께 나타나는 0.1ppm 내외의 철 성분 함량은 망간의 침전 처리에 긍정적인 면으로 작용하는 것으로 판단된다. 한편, 고령군 다산면에서의 실증 플랜트 실험은 전염소처리와 망간접촉여과를 통해 먹는 물 기준 이하의 망간 함량을 확보하는 데는 성공하였으나, 이러한 처리 기작이 안정화되는데까지는 약 3개월 내외의 시간이 요구되는 것으로 나타났다.

5. 사사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 사업단 측에 감사드린다.

6. 참고문헌

한국수자원공사, 1996, 하상퇴적층 여과 방식에 의한 금강수도 취수개선방안 조사 연구.
 한국수자원공사, 2000, 낙동강권역 광역 지하수 조사 연구.
 환경부, 부산광역시, 경상남도, 1996, 부산·경남지역 복류수 및 강변 여과수 개발 타당성 조사 보고서
 Ellis, D. Bouchard, C., Lantagne, G., 2000, Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration, Desalination 130, p. 255-264.
 Ferris, F. G., Hallberg, R. O., Lyven, B., Pedersen, K., 2000, Retention of strontium, cesium, lead and uranium by bacterial iron oxides from a subterranean environment, Applied Geochemistry, 15, p. 1035-1042.
 Stumm, W. and Morgan, J. J., Aquatic Chemistry, 3rd ed., Wiley-Interscience, New York, 1996.