

부천시 지역의 지하수 수질 특성

김소희 · 최무웅

건국대학교 지리학과 대학원 석사 · 건국대학교 지리학과 교수

1. 서론

국민생활 수준의 향상과 도시화 및 산업화로 물의 수요가 급증하고 있다. 산업화는 물의 사용량을 급격히 증가시키는 한편 물을 오염시켜 사용가능한 물의 양을 감소시킨다. 특히, 산업화과정에서 발생한 심각한 수질오염은 지표상수원을 오염시켜 수돗물의 안정성에 대한 국민들의 불신을 증가시키고 있다. 따라서 지표수만의 자원활용은 한계에 도달하게 되어 대체 수자원으로 지하수 개발이 확대되고 있다. 지하수는 수원의 안정적 확보와 손쉽게 저렴하게 공급할 수 있다는 장점으로 인해 무엇보다 상수원으로서의 역할이 중요시되고 있다.

그러나 산업화와 무분별한 지하수 개발은 지하수를 더 이상 청정한 수원으로 나두지 않고 있다. 수많은 화학성분과 맹독성 물질이 토양층을 통과하고 있으며, 무수한 폐공은 오염물질에 무방비상태로 방치되어 있다.

부천시 지역의 지하수 이용은 1970년대 초 경제·산업활동의 확대, 공업화, 신도시 건설 등으로 유입인구 증가 및 시세확장으로 면적은 넓어졌으나 도시기반 시설인 상수도의 보급은 그에 따라가지 못해, 상수도 보급의 미비로 인한 지하수 개발의 필요성에 의해 1988년 이후부터 90년대 초에 집중적인 개발이 이루어졌다. 그중 과반수 이상이 폐공 또는 그대로 방치되어 있는 상태이며, 그 나머지는 현재 생활용수 혹은 공업용수로 활용하고 있다. 따라서 부천시 지역에서 지하수의 보존은 가장 중요한 지역 현안의 하나이다.

본 연구에서는 부천시 지역내 지하수의 수질을 분석하여 지하수의 수질특성과 오염의 정도를 파악하고자 하였다.

2. 시료 채취 및 분석방법

시료 채취는 1999년 3월부터 2000년 12월까지이며 30개지점에서 실시하였다(Fig. 1).

지하수 시료는 생활용 지하수를 주 대상으로 하였으므로 가정용 천부 관정으로부터 약 10분 정도 양수하여 수온이 일정해진 다음 시료를 채취하였다.

실내 분석을 위해 500ml의 시료를 0.45 μ m 멤브레인 여과지로 여과한 후 폴리에틸렌 시료병에 채취하였다. 이때 지하수중의 입자상 물질이 제거된 여액을 수용성 성분의 분석 시료로 사용하였다. 채취된 시료 중 양이온 측정분석 시료는 미량원소의 금속이온 흡착을 막기 위해 채수시에 질산용액(AgNO₃) 0.5N 을 투여하여 100cc 채수병에 채수, pH 2 이하로 보존하였고, 음이온 측정분석을 위한 시료는 1000cc 채수병으로 채취하여 4 $^{\circ}$ C 이하로 24시간 이내에 냉장보관 하였다.

분석항목은 수온, pH, 경도, KMnO₄-C, 중발잔류물, Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻⁻-Ni, Fe, Cu, Zn, Mn, F 등은 ICP(ICP-AES)로 분석하였다.

수온, EC, pH, TDS 등은 취수직후 현장에서 측정하였으며 분석기기는 수온은 Digital Thermometer(check mate 90), pH는 Digital pH meter, EC는 Portable conductivity meter(Model M-1K)로 측정을 했다. F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻은 이온 크로마토그래피(IC: Ion Chromatography, Dionex DX500)를 이용하여, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Si⁺, K⁺ 및 Cu, Zn, Pb, Mn, Fe, Cd는 전략광물자원연구센터의 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectro photometry, Perkin-Elmer OPTIMA 3000XL)를 이용하여 분석하였다. NH₄⁺는 인도페놀법으로 분석하였으며 HCO₃⁻는 페놀프탈레인 용액과

0.05N 염산을 이용한 적정법으로 측정하였다.

3. 지하수 수질 분석결과

3.1 지하수의 수질특성

부천시에서 1999년 3월부터 2000년 12월까지 분기별로 채수한 지하수 30건의 수질을 분석한 분석결과는 표 1에 나타내었다.

표 1에서 보는 바와 같이 각 오염지표들의 평균값은 수질기준치 이하였다. 그러나 일부 시료에서는 트리클로로에틸렌, 과망간산칼륨소비량, 아연, 황산이온, 질산성질소, 염소이온 등에서 먹는 물 수질기준을 다소 초과하였다. 일반적으로 지하수는 암석내의 공극을 통하여 이동하는 동안 암석과 장시간 접촉하게 되므로 지하수의 특성은 암석을 구성하는 성분들과 밀접하게 연관되어 있다.

경도는 $14.0 \sim 1283.0 \text{mg/l}$ 의 범위로 시료에 따라 함량의 차이가 심했다. 경도는 주로 물과 접촉하는 지질성분 중 석회암의 함량이 높거나 해수의 침투, 콘크리트구조물의 침식 및 정수처리과정에서 사용하는 석회 등에 기인될 수 있다.

증발잔류물은 $23.0 \sim 1050 \text{mg/l}$ 의 범위로 경도와 마찬가지로 시료에 따라 함량의 차이가 심했는데 시료가 지하수인 것을 감안하면 주성분은 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 등의 무기질일 것으로 생각된다.

질산성질소의 함량은 지하수에 따라서 상당히 높게 나타난 경우도 있으나 암모니아성질소(NH_4^+-N)의 경우에는 전체적으로 함량이 매우 낮았다. 토양 속의 질소화합물은 수분층의 존재, 빗물의 양, 유기물질의 존재 및 다른 물리화학적 속성에 따라 자연계에서 순환하게 되는 최종산화물로서 호기성조건에서는 탈질화 작용이 적기 때문에 많은 양이 물과 함께 지하부로 스며들어가며, 혐기성 조건에서는 분해와 탈질화 작용에 의해 대기로 휘산된다. 암모니아성질소는 생물의 사체 혹은 동물의 배설물 중 유기물의 분해과정에서 생성되는 초기 무기태질소이며, 암모니아성질소 자체는 크게 유해한 것은 아니지만 오염원이 생물의 사체, 동물의 배설물 및 비료의 유입을 나타내는 지표가 되므로 중요하게 여겨지고 있다. 과망간산칼륨 소비량, 색도 및 탁도 등이 일부 시료에서 높게 나타났는데, 이는 지하수가 각종 유기성 및 무기성 폐수에 의해 오염되었음을 의미하는 것이다.

3.2 지하수공 깊이별 지하수질 특성

채수한 시료 30건에 대하여 지하수의 깊이에 따른 수질오염지표들의 평균값을 조사한 결과는 표 2와 같다.

경도와 증발잔류물은 지하수가 깊을수록 높게 나타났는데 이는 물이 장시간 암반과 토양을 통과하는 동안 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 등의 무기물이 다량 용해되어 지하수에 유입되었기 때문이다. 결정질암으로 되어 있는 대수층에서는 심도가 증가함에 따라 수소이온농도가 뚜렷하게 증가한다고 하였다. 한편 질산성질소, 염소이온, 색도, 탁도 및 일반세균 수 등은 지표면에 가까울수록 높게 나타났다. 이는 이들 성분이 인위적 오염의 영향을 크게 받기 때문이라 생각된다.

3. 토지 이용별 지하수 수질 특성

부천시를 토지이용별로 나누어 지하수질의 특성을 알아본 결과는 표 3과 같다.

과망간산칼륨 소비량, 증발잔류물, 염소이온 및 황산이온은 공업지역과 상업지역에서 높게 나타났는데, 이는 이들 지역이 주거지역이나 녹지지역보다 오염원에 더 많이 노출되어 있음을 의미한다.

분뇨, 비료 또는 가정하수 유입에 의한 오염과 크게 관련이 있는 질산성질소의 농도는 녹지지역과 주거지역에서 매우 높게 나타났다. 환경부의 1997년도 우리나라 지하수 오염실태조사 결과에서도 도시 주거지역 지하수에서 질산성질소가 높게 나타났는데 환경부는 이 원인을 정확히, 가정하수, 축산폐기물

및 쓰레기에 의한 오염 영향으로 보았다. 녹지지역에서 질산성질소의 농도가 높게 나타난 것은 녹지지역이 과거 대부분 농업지역이었던 것과 깊이 연관되어 있을 것이다. 한편 암모니아성 질소는 녹지지역에서, 일반세균 수는 녹지지역과 상업지역에서 높게 나타났다.

4. 결론

급속한 인구증가와 도시지역의 외연적 확대는 지표공간을 집약화하고 우수의 침투기능이 큰 농지나 산림지역을 택지나 공업용지, 도로 등과 같은 인공구조물로 대체함으로써 불투수성 지역으로 변형시켜왔다. 특히, 부천시지역은 신도시건설과 주거공간 확대로 환경이 급속도로 변해가고 있으며, 많은 생활폐기물과 폐수의 유출로 인근 하천이나 지하수에 영향을 주고 있다.

더욱이 부천시지역은 다른 지역보다 지하수의 사용이 많고 도시화에 따른 불투수층의 증가, 지하수 장해를 유발하고 있어 지하수의 체계적이고, 합리적인 관리가 필수적이다. 이러한 점을 고려하여 부천시지역을 연구대상으로 하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

부천시지역의 지하수는 약산성 내지 중성의 특징을 보이며 심도가 깊어질수록 중성에 가까워짐을 알 수 있었으며 EC나 TDS 등이 일부지역에서 높게 나타나고 있어 기반암 내에 포함되어 있는 용해성 광물의 영향을 받았음을 시사하고 있다.

부천시의 수질을 알아보기 위하여 1999년 3월부터 2000년 12월까지 먹는 물 기준으로 분석한 30개 지점의 자료를 분석한 결과 52.5%가 먹는 물로 이용 가능했으며 그중 오염정도가 높은 항목은 일반세균, 질산성질소, 대장균군, 아연, 트리클로로에틸렌 등이었다. 생활용수의 경우 오염원으로 질산성질소와 트리클로로에틸렌이었다.

부천시 지하수 주요 오염물질은 질산성질소, 트리클로로에틸렌, 아연 등 이었다. 질산성질소는 조사되어진 총 자료를 분석한 결과 약 20%가 먹는 물 기준을 초과하고 있으며, 계절변화를 검토한 30개 지점 중 일부지점에서는 질산성질소의 농도가 증가하고 있다. 질산성질소는 주로 분뇨 또는 하수 등의 질소화합물을 함유하는 오염물에 의하여 오염되나 부천시의 경우는 생활하수의유입 인한 영향으로 사료된다. 트리클로로 에틸렌의 경우 먹는물 기준 부적합율이 다른 대도시보다 높으며, 일부지역에서는 음용수 기준의 수십배까지 검출되었다.

질산성질소, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 아연, 대장균, 등 인간활동에 의해 배출되는 성분을 이용하여 부천시지역의 지하수 오염지구를 분류해 본 결과 총 8개의 오염지구로 대별된다. 이 중에서 일부 오염 지역은 지하수위가 높아서 하류로 점점 확대되어 질 것이다. 따라서 지하수위의 변화를 관찰하는 것이 중요하다고 본다.

부천시는 도시발달로 많은 면적이 도로포장, 건물 불투수층으로 피복되어 있으며 하천이 오염되어 있기 때문에 자연상태에서는 강우나 양질의 지표수가 침투하여 지하수를 함양시키기 어려운 관계로 장기적인 지하수위 변동과 수질을 체크하여 차후 개선 대책을 보완 시행할 수 있어야 할 것이다.

참고문헌

- 고병련, 1998, 「지하수 수질 및 오염예측 모델에 관한 연구」, 영남대대학원 박사학위논문.
- 김형돈·우남철·최미정, 1998, "충북 괴산군 덕평리 일대의 지하수 수질과 오염", *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment* 5(3), pp.141-148.
- 남기창 외, 1992, "주요원소를 이용한 석회암지대의 수질특성에 관한 연구", 「지하수」 2, pp.1~13.
- 안중기·최무웅, 1993, "경기도 여주군 가남지역의 지하수 수질의 공간적 패턴에 관한 연구", 「지하수」 3, pp.50~61.
- 남철·최미정, 1998, "구봉 금광산의 광미 인근지역의 천부지하수 수질특성", *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment* 5(3), pp.148-154.
- 우남철·최미정, 1999, "경기도 용인시 일대 천부지하수의 수질특성 연구", *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment* 6(2), pp.53-58.

- 이길철·김종택, 1985, "지하수 수질현황에 관한 조사 연구", 『국립환경연구소보』 7, pp.253-265.
- 이두호·전효택, 1997, "국내 먹는 샘물 개발지역의 토양오염 평가 및 수리지구 화학적 특성," 『대한지하수환경학회』.
- 이종운·전효택·전용원, 1997, "국내 화강암질암 내 심부 지하수의 지구화학적 특성", *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment* 4(4), pp.199-211.
- 정상용, 심병완, 김규범, 강동환, 박희영, 2000, 지구통계 기법을 이용한 영산강·섬진강 유역의 지하수 수질특성 연구, 『지하수환경』 7(3), pp.125-132.
- 최무웅·임종호, 1991, "서울시 주변 약수에 대한 인식도", 『지하수』, 1, pp.1~25.
- 최무웅, 1992, "지하수 유동에 따른 수질특성의 수치적 해석", 『지하수학회』 2, pp.1-58.
- 최무웅, 1992, 주요원소를 이용한 석회암지대의 수질특성에 관한 연구, 『지하수학회』 2, pp.86-99.
- 최무웅, 1995, "재래식 화장실 주변의 수질오염에 대한 연구", 『지하수』 4, pp.1~9.
- 최무웅, 1996, "우리나라 지하수 정책의 문제점과 향후방안", 『한국수자원학회지』 29(6), pp.55-57.
- 최무웅, 1999, "지속 가능한 지하수개발의 기본 방향", 『한국수자원학회지』 32(6), pp.22-29.