

서울지역 지하수 오염원인 분석 및 치유개선 대책

성익환

한국자원연구소 지하수환경연구단

I. 서언

서울지역 지하수의 물리, 화학적 특성은 기반암의 종류, 지표수의 유동경로와 유동기간, 지표 오염원의 종류와 크기에 따라 좌우된다. 본역의 지질은 주로 경기편마암복합체, 쥐라기화강암, 관악산화강암 등으로 구성되어 있고 이들 암체와 물과의 상호반응에 의한 화학성분의 영향은 비교적 음용수 기준치에 적합한 것으로 알려져 있다.

1996년 1차 수질조사 결과에서는 상당수의 서울지역 천부지하수가 음용수 기준치에 미달하는 결과를 보였는데 이는 주로 케이싱이나 그라우팅의 부실로 인한 오염으로 해석에 어려움이 따랐다.

서울지역 지하수의 오염방지 및 음용화를 위해서는 먼저 이러한 관리시설의 교체 및 보수가 우선적으로 요구된다. 본 연구에서는 서울지역 지하수의 오염현황 및 개선방안을 강구하기 위하여 주로 비상급수 지하수공 및 일부 민간소유 지하수공을 대상으로 물시료를 채취하여 분석하였다.

II. 시료채취 및 분석

본 연구를 수행키 위해 1996년에 140여개, 1997년도에 150여개 등 2차례에 걸쳐 비상급수 지하수공 및 소수의 민간소유 지하수공에서 물시료를 채취하였다. 이 중에서 상당수의 시료는 부유물질을 함유하고 있어서 핸드펌프를 이용하여 0.45 μ m-pore 크기의 멤브린 필터에 통과시켜 부유물질을 제거하였으며 시간의 경과에 따른 이온물질의 흡착 또는 침전을 방지하기 위해서 시료 1 ℓ 당 농질산 1mg을 주입하였다. 현장에서의 시료채취시에는 수소이온농도, 전기전도도, 산화환원전위도, 온도 등을 TOA사의 HM-12P, CM-14P, RM-12P, SK-1250MC로 측정하였다. 현장에서 아이스박스에 담겨져 실내로 운반된 시료는 분석실의 냉장고에 보관시키고 바로 분석하였다. 양이온은 ICO-AES와 AAS로 분석되었고 음이온은 Ion chromatography Model Dionex 500을 사용하여 분석하였다. Alkalinity 측정은 100m ℓ 삼각플라스크에 담아서 페놀프탈레인 용액 2-3 방울을 첨가하고 피펫을 사용하여 핑크빛을 나타낼 때까지 0.05N 염산을 사용하여 적정하였다.

Ⅲ. 오염원

1. 오염원의 종류

지하수 오염원은 크게 점오염원과 비 점오염원으로 나눌 수 있다. 각종 오염원들이 지하수를 오염시킨 흔적은 특히 소규모 매립지를 복토하고 이를 아파트 단지로 사용하고 있는 곳에서 현저하다. 아주 넓은 면적의 난지도 매립지도 하나의 큰 점오염원으로 작용하고 있다. 하수관로의 누수로 인한 지하수 오염은 정량적으로 파악하기는 어렵지만 도시 전역에 걸쳐 오염원으로 작용할 수 있으며 이런 경우에는 비 점오염원으로 취급해야 할 것이다. 각종 실험실에서 나오는 폐액과 시약, 각종 중소 공장의 폐유, 사진관의 현상 및 인화 후의 잔류물, 세탁소에서 사용하는 물질, 복토 후 재사용되고 있는 매립지 등 도시 지역에서의 오염원은 다양하다.

가. 농지

서울 지역에도 적은 면적이지만 농업 지역이 곳곳에 분포한다. 이런 지역에서는 농약, 비료 등에 의한 수질 오염이 예상되고 과거 농지이었다가 지금은 주택지나 공장 등의 용지로 사용되는 지역에서는 질산염(nitrates)에 의한 오염을 확인할 수 있다.

나. 산업 폐수

1994년 환경부에 의해 조사된 “1993년 폐수 배출업소 명단”을 각 구청에서 수집하여 총 폐수방류량과 유해 폐수량을 조사하였다. 보고서에 따르면 서울시 전체 폐수방류량은 101,078m³/d이며 유해 폐수 방출량도 10,285m³/d로 나타난다.

다. 분뇨 처리

생활 수준의 향상으로 건물을 신축하거나 개축하는 대부분의 경우에 수세식 화장실의 설치가 이루어지고 있다. 1993년 말 서울시의 분뇨 발생량은 5,516k l/day이고 이중 수거식에 의한 수거량은 489k l/day이고 정화조에 의한 수거량은 5,027k l/day이다. 서울시 3,430,528 가구중에 분뇨 발생 인구는 수거식 629,781명이고 수세식이 10,295,683명 정도이다. 전체 서울시의 정화조는 1992년 470,898개이고 이들은 모두 난지 정화조 오니 처리장에서 처리된다. 평상시 한 사람이 하루에 발생시키는 분뇨 배출량은 1.2k l로 추정된다.

서울시에 따르면 시내 정화조의 90%가 생화학적 산소요구량(BOD)을 초과하는 오수를 그대로 하수관으로 내보내는 등 제 기능을 발휘하지 못하고 있는 것으로 드러났다. 또한 1996년 11월부터 1997년 5월 사이 신축된 31인조 이상 규모의 정화조 5천여 개 중 790개를 대상으로 오염도를 조사한 결과, BOD 제거율 항목에서는 기준치의 50%를 초과한 정화조가 90%에 달하는 것으로 나타났다. 구별로 보면 노원구에 설치된 정화조는 92%가 기준치를 초과했으며 송파구는 91%, 광진구는 89%, 강동, 관악구는 각각 88%가 기준치를 넘었다.

라. 제조업체

1994년 서울시 전체 제조업체 9,631개 업체중의 대부분이 구로, 영등포, 성동구 일대에 밀집되어 있으며, 중금속류를 주로 사용하는 업종으로는 인쇄소, 차량 정비업소 등인데 주로 아연, 납, 초산, 불화수소 등이 사용된다.

마. 매립지

난지도 매립장이 제대로 가동되기 이전의 서울시의 쓰레기 매립은 몇 곳에서 작은 규모로 이루어졌다. 그러나 매립 후에 환경오염물질이 제대로 관리되지 않은 상태로 복토되었고 그 위에 아파트 단지나 공공 시설이 건설되었다. 서울시 전역에 대한 몇 차례 방문 조사에서 지하수 오염이 심한 과거 매립지 지역(잠실, 방배동, 장안평, 상계동, 난지도, 송정동, 압구정동, 구의택지 지역)들이 인지되었는데, 특히 이들 매립지는 과거 단순 투기 매립의 형태 이어서 인근 지하수의 오염과 밀접한 관련이 있다.

1978년부터 1993년까지 서울시에서 발생한 생활쓰레기는 모두 난지도에 매립되었다. 난지도 매립장은 지금은 해발 100m에 가까운 쓰레기 산을 형성하였고 인근 지역의 지하수에 심각한 오염을 일으키고 있다. 난지도 매립장의 수두 측정자료와 강우자료로부터 강수의 지하침투량을 계산하고 공간분석과 침투실험을 통하여 얻어진 자료를 사용하여 계산한 매립지의 총 침출수 발생량은 $2,841\text{m}^3/\text{day}$ 이다(김윤영 외 3인, 1996).

매립지의 넓이는 난지도가 가장 큰 $889,792\text{m}^2$ 이고 상계동은 $180,000\text{m}^2$, 구의 택지와 장안동은 $130,000\text{m}^2$ 이다. 이 밖에도 송정동, 잠실, 청담동, 압구정동, 방배동 등의 매립지가 분포하고 있다.

바. 주유소

1991년부터 주유소간의 거리 제한이 기존에 비해 반으로 축소됨에 따라 주유소 증가율이 30%에 이르러 지하유류 저장시설물의 누출로 인한 오염방지에 대한 대책이 시급하다. 외국에서는 과거 대규모 지하유류 저장시설물에 의한 탄화수소 누출로 인한 지하수의 오염 사례가 큰 문제로 대두하고 있다. 1996년 현재 서울시 정밀도로 지도상에 표시된 주유소의 개수는 775개 정도이다.

사. 지하수 폐공

현재 도시 건축물 공사 및 토목공사의 대부분에서 지반조사를 의무화하고 있고 이 때 암반조사를 위해 시추조사를 한다. 보통 $15\text{m} \times 20\text{m}$ 의 공사면적에도 지반상태를 조사하기 위해 4개 정도의 시추를 하게 된다. 그러나 대부분의 경우 공학적인 조사만 끝나면 시추공까지 절토하지 않고 폐공 처리도 하지 않은 채 방치 또는 덮어버리는 경우가 많다. 대부분의 지역에서 상수도가 보급되기 이전에는 우물을 사용하다가 상수도가 보급되면서 기존의 우물에 대해 아무런 처리 없이 폐기하거나 방치하는 경우가 많다. 지하철 건설현장에서조차 지하수의 상태 파악과 배수를 위해 지하수 관정을 뚫지만 공사가 끝나면 훼손된 상태로 방치하여 현재는 지하수 관측공의 위치조차 제대로 파악하지 못하고 있는 실정이다.

지하수 폐공현황 조사를 위해서는 지하수공의 제원에 관한 자료수집이 체계적으로 이루어져야 하고 이 수집된 자료를 기초로 지하수 관측망의 설치와 운영계획이 수립되어야 한다. 실제 각종 공사현장에서 사용한 관측공들은 되메움 처리해야 하지만 중요한 지역에서는 장기적인 모니터링의 목적으로 개조하여 사용하여야 한다. 1995년 말 기준으로 서울지역의 폐공대상 지하수공의 수는 8,653개이다.

아. 지하수 오염현상 및 원인파악

서울지역 지하수의 수질오염과 관계있는 것으로 추정되어 조사되어야 할 몇가지 사항은 다음과 같다.

은평구 지역의 지하수에서는 암모니아성 질소의 함량이 높다. 이는 과거 농경지로서의 사용이 원인이거나 아니면 생활 하수의 영향으로 추측할 수 있다. 그러나 보다 정확한 사후조사가 요구되는 바이다.

주거지나 다른 시설물 하부에 매립물이 있을 경우 그것의 종류, 침출수 발생량, 지하수계로 유입되는 침출수의 양과 경로가 파악되어야 할 것이다.

매립이 종료된 지 20여년이 지난 지금에도 동대문구 장안 2, 3동의 매립지는 인근 지하수를 오염시키고 있는 것으로 파악된다. 중랑천의 오염 또한 인근 지하수를 오염시킬 것으로 본다. 즉, 이 곳에서 지하수를 양수하면 아직도 오렌지색의 지하수가 관찰되고 매립물에 의한 냄새가 나기 때문이다. 구의동과 상계동의 매립장들은 한강변이나 중랑천과 같은 지표수계에 인접해 있으므로 주변의 지하수뿐만 아니라 지표수의 오염원으로 계속 작용할 가능성이 있다.

방배동 매립지를 제외한 나머지 매립지는 대부분 한강과 인접하여 있고 또한 중랑천과도 인접한 지역에 과거 대규모의 매립이 진행되었다.

서울의 역사가 오래되었기 때문에 밝혀지지 않은 소규모의 매립이 많이 있을 것으로 생각되기 때문에 지하수 수질의 지속적인 관찰이 필요하다.

2. 오염 현황

서울지역 지하수의 오염현황은 1995년 6월부터 1996년 말까지 농어촌진흥공사에 의해 조사된 서울시 지하수조사 보고서에 따르면, 서울 지역에서 분석된 280개 지하수공의 원수 중 88.5%인 248개소의 물이 식수 부적합 판정을 받았다. 이는 5m당 한군데 꼴로 파손된 하수관에서 오, 폐수가 새어나가기도 하며 곳곳에서 진행되는 땅파기 공사로 인해 오염된 물이 지하로 유입되기 때문이라는 분석이다. 또 전체의 74.2%인 208개 지하수공이 일반세균과 대장균 등의 미생물로 오염됐으며, 분뇨 등 유기물질이 원인인 암모니아성 질소나 질산성 질소도 125공(44.6%)에서 음용수 기준치를 넘어섰다.

지하수를 청소, 세차 등 허드렛물(생활용수)의 용도로 사용하기 위하여 수질조사를 의뢰한 경우도 8,485건에 달했으나, 그 중 16.0%인 1,359건이 허드렛물로도 쓸 수 없는 판정을 받았다. 특히 세탁이나 금속용품의 세척용제로 사용되는 유해 물질인 테트라클로로에틸렌(TCE)의 농도는 중구와 강동구를 제외한 23개구 지하수가 기준치(0.03mg/ℓ)를 초과했다. 강북구, 도봉구, 금천구 등에서는 기준치의 150배 이상인 5mg/ℓ의 농도가 검출되기도 했다. 이에 서울시는 지하수의 수질을 오염시킬 수 있는 잠재 오염원으로 주유소 등 15개 항목을 선정, 중점 관리해 나가고 있다. 지하수 잠재 오염원으로 선정된 항목은 주유소를 비롯 세차장, 유해 화학물질 제조업소, 유해 화학물질 취급업소, 유해 화학물질 판매업소, 위생처리장, 쓰레기 매립장, 공동묘지, 도축장, 농경지, 폐수방류 업체, 수거식 화장실, 골프장, 광산 등이다.

농업, 공업용수로 이용되는 지하수는 검사된 225곳 중 21곳에서 산도(pH), 화학적 산소요구량(COD) 등이 기준치를 벗어난 것으로 나타났다.

잘 파악되지 않은 수 많은 오염원들은 도시 지역의 지하수 오염을 분석하고 해석하는데 상당한 어려움을 준다. 즉, 각종 소규모의 공장이나 가정 등에서 오랜 시간에 걸친 간헐적인 양수에 의해서도 오염이 더욱 가중될 것이다. 특히 여름에 강수가 집중될 시의 유출 특성은 배수관로의 용량을 초과하는 경우도 있다. 그래서 배수구의 오염물질들이 직접 하천을 통해 흐르고 한강으로 유입된다. 서울시의 강수 특성은 일정기간에 집중적인 호우가 내

리므로 한강과 주변 하천들이 범람하기도 한다. 심지어 저지대는 침수피해를 일으키며 이때 도시의 오염물, 공장의 폐수 등이 지하수계에 영향을 준다.

IV. 분석결과에 대한 고찰

지하수의 오염은 대수층의 특성에 따라 다른 형태로 나타난다. 광범위한 수질분석은 대상지역의 지하수 오염원 추정과 정화계획 수립에 중요한 단서가 된다. 그래서 서울지역 지하수의 수질에 대해서 정성적인 해석을 위해서 한국자원연구소에서 1996년과 1997년의 2회에 걸쳐서 지하수공의 보존이 비교적 잘 되어 있는 비상급수시설을 주 대상으로 하여 수질 분석을 실시하였다.

1차 분석과 2차 분석 자료를 비교 검토하면 2차 분석 결과가 1차에서 분석된 수질보다 더욱 오염된 양상을 보여준다. 음용수 기준에 적합한 비상급수시설이 가장 많은 구는 강동구이고 강남구, 금천구가 그 뒤를 따른다. 서울시 비상급수 지하수공에 대한 수질분석 결과 총 240개 중 188개(78.3%)가 먹는물로서 불합격 판정을 받았고 52개(21.7%)만이 음용 가능 판정을 받았다. 특징적인 것은 강동구 지역의 지하수공은 대부분 합격 판정을 받은 이유는 본 지역내 비상급수 지하수공은 녹지가 많고 인구밀도가 낮은 산 주변이나 강남, 강동, 동작구에 밀집되어 있음을 알 수 있다.

1. 스티프 다이어그램(Stiff Diagrams)

지하수의 화학성분 중 Ca, Na, Mg, K, HCO₃, SO₄, Cl, NO₃, CO₃는 용존물질의 대부분을 차지하여 이들을 주원소라고 한다. 채수가 용이한 유역의 지하수를 분석하여 각 유역별로 수질분석표를 작성하였다. 이들 분석된 화학성분의 총량과 상대적인 비를 가지고 도식적으로 나타내는 방법에는 자료의 수, 목적에 따라 여러 가지가 있다. 여기서는 밀리 당량 단위로 이온 성분의 농도를 2차원으로 나타내는 Stiff Diagrams으로 지하수의 화학적 상태를 묘사하기로 하였다. 이 Stiff Diagrams은 도시지역과 같은 다양한 오염원의 존재와 원인 파악에 효과적인 방법이 될 수 있고 매립지 주변 지하수의 오염 범위 추적에도 유용하다.

오염이 되지 않은 지하수의 Stiff Diagrams의 모양은 화강암과 편마암에 부존된 지하수의 경우 양이온의 농도가 다른 원소에 비해 많으므로 중간부분이 상하보다 큰 형태를 보인다. 음이온의 경우에는 HCO₃⁻의 값이 다른 음이온들 보다 많은 것이 오염이 되지 않은 자연 상태에서의 모양이다. 난지도 매립지 주변의 수질분석 결과를 Stiff Diagrams에 나타내면 침출수의 영향으로 인근 지하수가 오염이 심하게 진행되고 있음을 볼 수 있다. 즉, 상류구배의 지하수가 침출수와 혼합되어 하류구배의 지하수를 오염시키는 양상을 보여준다.

인위적인 오염원에 영향을 받는 지하수의 Stiff Diagram 형태는 변화를 갖게 되는데 일정한 오염원일 경우 지하수의 흐름과 오염정도에 따라 일관된 양상을 보인다. 서울지역 지하수의 잠재 오염원을 살펴보면 가정용 정화조, 주유소를 포함한 각종 지하 저장탱크, 병원, 도축장, 세차장, 인쇄소, 각종 실험실, 세탁소 등이 있다. 이 외에도 쓰레기 매립장, 네 곳의 하수 처리장, 폐공, 하수관 등과 일부 경작지가 남아 있는 강동, 강남, 강서구의 잔류농약 등도 오염원이 될 수 있다. 이 밖에 과거에 농경지였던 곳이 도시의 확산으로 인해 지금은 주택가 또는 공업 지역으로 변한 지역들도 많다. 이러한 다양한 오염원에서 나오는 오염물질이 지하수의 화학성분 변화를 어떠한 양상으로 변화시키느냐를 파악한다면 오염원 추적도 가능하다고 본다.

2. 전기전도도(Electrical Conductivity)

전기전도도는 용액이 전기를 전달할 수 있는 능력을 뜻하고 전기저항의 역수로 나타낸다. 즉 전기전도도는 물 속에 용해되어 있는 전해질의 차이에 의해 결정되기 때문에 용액 중의 이온 세기를 신속하게 평가할 수 있다. 일반적으로 총 고용물은 전기전도도의 약 65%이고 오염되지 않은 지하수의 전기전도도의 값은 모암과 지하수의 반응시간 등에 따라 다르나 대략 100-150 μ mhos/cm 정도이다. 총고용물의 음용기준치는 500mg/l 이기 때문에 전기전도도는 약 750 μ mhos/cm이하가 음용가능치라고 볼 수 있다.

측정된 전기전도도를 보면 양천구와 도봉구의 지하수에서는 비교적 낮은 전기전도도를 보이고 영등포구, 은평구, 동대문구, 마포구 등에서는 높게 나타났다. 각 정기 관측공에서의 전기전도도(EC) 값을 보면 강동구의 하일동 사무소는 530 μ mhos/cm이고, 서초구의 어린이 공원은 310 μ mhos/cm, 관악구의 삼성초등학교는 600 μ mhos/cm, 영등포구의 문래공원은 1,646 μ mhos/cm, 영남중학교는 702 μ mhos/cm, 구로구의 효봉공원은 495 μ mhos/cm, 독산 APT는 792 μ mhos/cm, 강서구 해촌 APT는 362 μ mhos/cm, 양천구 파리공원은 276 μ mhos/cm, 신안 약수 APT는 179 μ mhos/cm, 서대문의 북가좌동 어린이 공원에서는 553 μ mhos/cm, 인왕초등학교는 796 μ mhos/cm, 은평구 대조동 공원에는 485 μ mhos/cm, 노원구 한신공영 APT는 414 μ mhos/cm, 도봉구 창 2동의 어린이 공원은 353 μ mhos/cm, 중랑구 면목 4동 시영 APT는 577 μ mhos/cm, 동대문의 장안 근린공원은 788 μ mhos/cm, 성동구의 옥정초등학교는 458 μ mhos/cm, 종로구의 삼청공원은 527 μ mhos/cm로 분포한다. 위의 EC 값의 분포는 각 지역의 지형, 토지이용, 공장, 매립지 등의 분포를 어느 정도 반영하여 주고 있다.

Software BADGE에 입력되어 있는 170개 전기전도도 자료에 대해서 간단한 통계분석을 한 결과는 측정된 170 개의 서울지역 지하수의 전기전도도의 평균값은 473 μ mhos/cm으로 상당히 높은 편이다. 이는 위에서 언급된 지하수의 일반적인 수치인 100-150 μ mhos/cm의 약 2-3배에 해당되어 상당히 오염되어 있다고 볼 수 있다. 그리고 최소값은 70 μ mhos/cm 이고 최대값은 1,235 μ mhos/cm이다. 최대값인 1,235 μ mhos/cm는 영등포구의 문래공원으로서 위의 1,646 μ mhos/cm보다 낮은데 이는 인위적인 영향에 의해서 계절적인 변화가 있음을 말한다.

3. 수소이온농도(pH) 및 산화환원전위(Eh)

현장측정의 중요한 항목인 수소이온농도의 음용기준치는 5.8-8.5이다. 1996년 이전 및 1996년도에 서울지역 지하수에서 측정된 pH 자료를 보면 음용수 기준치(5.8-8.5)를 넘는 시료는 없었다. 1997년도 측정치에서는 안산어린이 놀이터에서 5.0, 광희중학교에 서의 8.63 등 3개소에서 기준치를 넘었다.

지하수의 수질에 영향을 주는 서울지역 토양의 산성도는 김포공항 주변에서 연세대에 이르는 지역이 4.4-4.6으로 가장 높았으며 나머지 지역에서도 4.6-5.0의 범위를 보여 주었다. 연도별 서울지역 지하수의 평균 수소이온농도를 보면 1995년에 7.07, 1996년에 6.65, 1997년도는 6.67로서 중성에서 약산성의 값을 보인다. 그 밖에 약산성을 보여주는 곳은 2개소로서, 서울북부(도봉구)와 남동부(서초구 동단)에서 5.9-6.0의 값을 보여준다. 그리고 알칼리성(pH:8-8.4)을 나타내는 곳은 시내 중심부로서 용산구와 동대문구에 각각 위치한다. Software BADGE에 입력되어 있는 1996년, 1997년의 pH 자료의 통계분석 결과에 의하면 169개 지하수공의 평균 수소이온농도 값은 6.71이고 최소와 최대값은

각각 6.0, 8.69로 나타난다.

현장조사에서 지하수의 오염에 실제적으로 관련된 인자중의 하나로 Eh를 들 수 있다. Eh는 지하수의 자연 상태에서의 환경을 지시한다. 만약 매립지와 같은 오염원이 주변에 있거나 하수도에서의 누수로 인해 지하수가 오염된 지역 또는 인근 하천에 의해 오염된 지역 등은 부유생물이나 하저생물의 신진대사에 기인한 오염이 크다고 보아도 된다. 탄천유역과 동대문의 중랑천유역, 난지도 인근과 각종 매립지와 하수관로가 많이 누수하고 있는 곳에서는 환원환경을 나타내는 음의 값을 갖는다.

4. 염소와 황산염

염소의 함량은 1995년 이전 자료에서는 함량범위가 0-151mg/l, 평균 53.7mg/l 이고 1996년도에서는 0-58.65mg/l, 31.8mg/l, 1997년도에는 0-64.79mg/l, 31.0mg/l 으로서 연도별로 큰 차이는 보이지 않는다. 한편 문래 근린공원의 경우에는 1996년 농어촌진흥공사에서 측정한 자료에 의하면 151mg/l 으로 음용수 기준치를 초과하였으나, 본 조사에서는 58.4mg/l (1996), 34.5mg/l (1997)으로 감소하였는데 이의 원인으로서는 분석상의 오차와 측정시기를 예상할 수 있다.

황산염의 함량분포를 보면 1995년 분석치에서는 함량범위가 6-1,354mg/l 이고 평균은 39.0mg/l 이다. 가장 높은 함량을 보인 곳은 역시 문래 근린공원이었다. 1996년도의 분석결과에 의하면 함량범위와 평균값은 각각 0-116.32mg/l, 34.3mg/l 이고 1997년도는 0-363.38mg/l, 39.5mg/l 을 보였다. 연도별 함량변화는 질산염이온 함량과 더불어 일부지역을 제외하고는 평균 5mg/l 정도로 대부분 증가하는 경향을 보인다.

5. 질산염

질산염은 크게 보아 암모니아성 질소와 질산성질소로 구분된다. 암모니아성 질소는 주로 과거 농경지인 곳에서 높게 나타나며 음용기준치는 0.5mg/l이다. 질산성질소는 사람이나 가축의 분뇨 등의 인위적인 오염에 의한 것으로서 음용기준치는 10mg/l이다.

서울지역의 암모니아성 질소의 분포는 과거 농업지대와 일치한다. 예를 들어, 은평구는 다른 지역보다 높게 검출됨을 볼 수 있다.

서울지역 지하수의 음용불가를 가져온 중요한 항목인 질산성질소의 함량은 1995년 자료는 0-20.1mg/l 의 함량범위, 평균 7.0mg/l 이며 87개소 중 22개소가 음용수기준치 이상을 보였다. 1996년도 분석에서는 0-31.59mg/l 의 함량범위, 평균 5.98mg/l 의 값을 보여주며 74개소 중 15개소에서 10mg/l 이상으로서 기준치를 초과하고 있다. 1997년도에는 0-30.39mg/l 의 함량범위를 보이며 127개소 중 24개소에서 역시 기준치를 넘어서는 이상치를 나타내었다. 서울지역의 신개발지 즉 강남구, 송파구, 강동구, 서초구 등을 제외한 거의 모든 구에서 질산염 이상치를 나타내는 것은 생활폐수나 정화조 등의 오염물질이 서울지역의 지하수계로 유입되었음을 지시한다.

6. 불소

우리나라에서의 불소는 주로 화성암 계통의 암석에서 높은 함량을 보이며 심도가 깊어질 수록 즉, 지하수의 정체 기간이 길수록 그 함량은 높게 나타난다. 불소의 음용 기준치는 1997년 이전에는 1mg/l 이었으나 현재에는 WHO의 기준과 비슷한 1.5mg/l 이

다. 분석된 서울지역의 불소 함량치에 의하면 음용수 기준치를 넘어서는 곳은 주로 관악산 화강암체가 분포되는 관악구 일대와 변성퇴적암이 분포되는 광진구 일대이다. 가장 높게 검출된 지점은 관악구 봉천 11동 군인 아파트의 3.17mg/ℓ로서 지하수 유동속도가 느린 지역 또는 인위적인 오염에 의한 것이다.

7. 기타

분석된 비상 급수시설 중에서 특히 1980년 이전에 개발된 천부지하수(심도 20m 이하)의 대부분은 일반세균(음용기준 100CFU)과 대장균으로 오염되어 음용수 기준치를 넘어서고 있는 실정이다. 이는 케이싱과 그라우팅등의 부실로 인한 비상급수시설 자체의 문제와 상, 하수도의 누수의 간접적인 영향으로 보인다. 한편 철성분 및 아연을 제외한 중금속(Cu, Pb, Cd, As, Hg, Mn등)에 대해서는 거의 오염되지 않은 상태로서, 향후 서울지역 지하수는 간단한 수처리를 통해서 음용화 할 수 있음을 잘 나타내주고 있다.

V. 수질불량 지하수에 대한 치유·개선대책

1. 물리·화학적 방법

지하수 자원의 낭비를 막기 위한 보다 근본적인 치유대책으로서는 이미 오염된 토양 및 대수층을 치유개선하는 것이 무엇보다도 중요한 사항이며, 선결과제라 할 수 있다.

오염토양 및 대수층의 치유개선은 그동안 오염으로부터 무방비 상태로 버려졌던 지하수 부존 대상인 토양과 암반층을 대상으로 오염부위를 고착시키거나 오염확산을 저지하거나, 미생물학적으로 분해시키거나, 깨끗한 물로 Clean up 시켜 향후 깨끗한 지표수가 유입된 후 깨끗한 지하수로 배출시킬 수 있는 환경으로 인위적으로 치유개선 하는 방법으로서 그 동안 선진국에서 연구 검토된 방법으로는 다음과 같은 기술들이 개발되어 있어 향후 기술적용 여부를 위한 연구가 지속적으로 수행되어 져야 할 것이다(표 1).

표 1. 오염지하수 정화 기술의 종류(정하익, 1995)

재래식양수 및 처리	표준적 물리/화학적 기술 (예 : 활성탄 흡착, 공기추출, 화학적 침전, 이온교환, 역삼투등)
	표준 생물학적 처리
	자외선 산화(Ozonative)
현 장	air purging
	생물학적 정화
	진공추출이나 Viobenting에 의한 배수
	화학적 산화
추출능력 향상	활성재 첨가 세척
	증기 추출

표 1의 기술을 적용시키기 위해선 우선적으로 수행되어야 할 사항들은

- ① 관측망 설치운영
- ② 관측공을 활용한 지하수 탐사 및 지반 침하 측정
- ③ 지하수 정보관리 시스템의 연계
- ④ 지하수 유동 모델링

등을 통하여 구체적이고, 현실적인 지하수환경의 변화를 관측하고, 이들의 유동 및 변화를 예측할수 있는 예측 모델링 결과에 따라 치유, 개선 공법이 수행되어야 할 것이며, 이들을 합리적이고, 효율적으로 수행하기 위해선 우선적으로 방치된 폐공을 활용한 관측설치가 이루어져야 할 것이며, 수질불량한 지하수는 그림에서보는바와 같은위생적인 양수시설 개선이 시급히 이루어져야할 것이다. 상기 방법에 의한 위생시설개선을 통한 물리적인 치유·개선효과 만으로도 대도시 지하수는 80%이상 복원이 가능할 것이다.

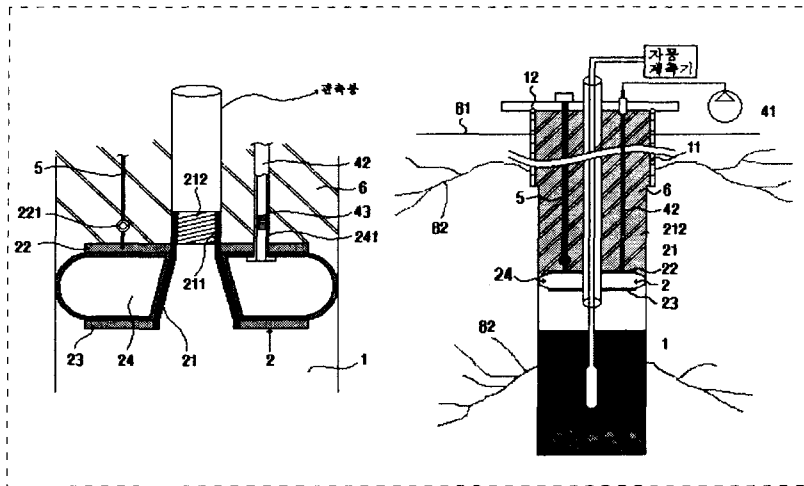


그림 1a. 관측공으로의 전환시 시추공내 설치할 차폐판

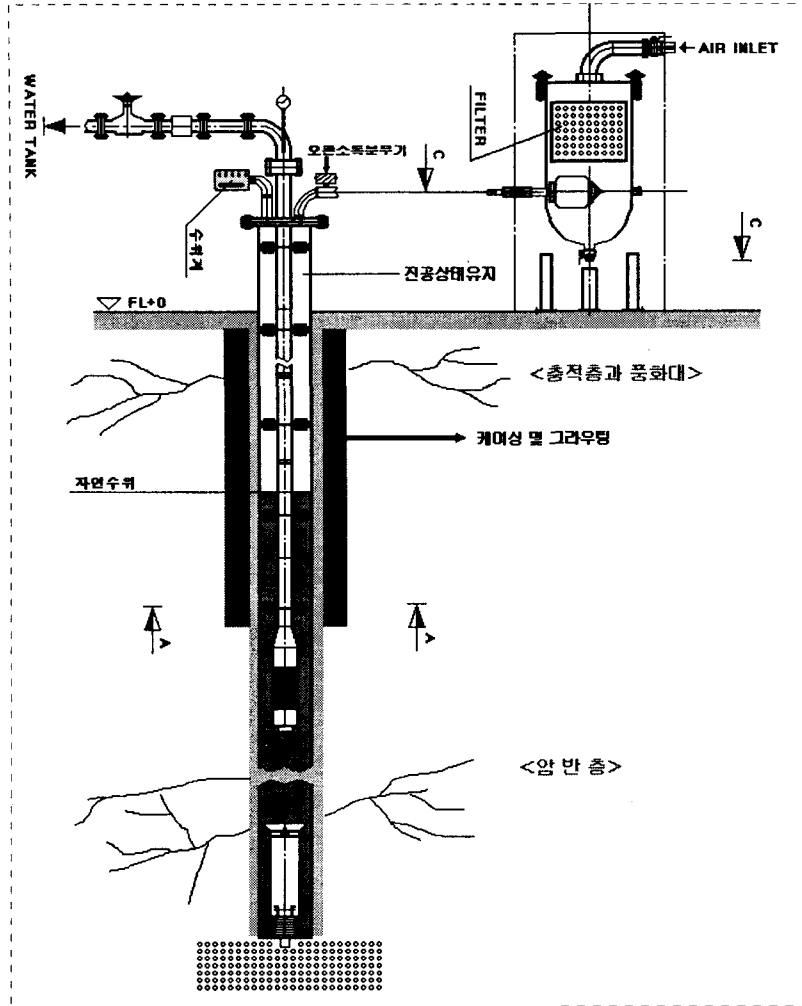


그림 1b. 불량 지하수 치유, 개선을 위한 양수시설

VI. 제 언

1. 전국 지하수 오염방지 및 치유·개선을 위한 정책 건의

- 가. 지하수는 지표수의 대체용수자원이나, 비상용수개념에서 탈피, 앞으로 지구환경변화, 비상사태, 핵사고, 천재지변 등에 대비한 상시 음용화 할 수 있는 상용수로서 공급체계의 구축이 필요.
- 나. 따라서 지표수에만 투자해온 연구, 보존 관리비 및 수질개선비를 지하수에도 일정비율 이상 지속적인 투자를 통해 현재 허드렛물수준의 지하수를 먹는물로 전환 시킬수 있는 관리 체계 구축, 치유·개선대책이 필요.
- 다. 이를 위해선 지하수 관리체계를 일원화하고 이를 수행할수 있는 담당직제의 신설이 필요(: 중앙 담당 부처내 지하수국 내지 심의관 신설)
- 라. 환경부에서 수납하고 있는 먹는샘물의 수질개선 부담금은 필히 목적세로 전환하여 지하수를 치유·개선 할수 있는 분야 혹은 폐공을 관측공으로 재활용하여 수질관측망을

설치운영하는 분야에만 사용토록 법개정이 필요하고, 지하수법 내에도 국고 보존지원을 할수 있는 법개정이 필요

- 마. 지하수법내에서 시추개발신고시 폐공을 원상복구하기 위한 “이행예치금”을 폐공을 관측정으로 재활용시 예치금을 활용 할수 있는 단서조항을 위한 법개정 필요.
- 바. IMF 실직자 구제 차원에서 미취업 또는 실직한 환경관련전문가 및 환경관련공무원의 취업목적으로 가칭 「지하수환경 기술지원단」을 구성, 전국 지하수 오염방지 및 치유 개선을 위한 공공연구 지원활동을 하여 전국의 폐공 및 방치공을 전문기관의 관리감독하에 수질관측공으로 전환하여 환경부에서 전문연구기관을 통해 전국 지하수 수질 관측을 측정, 분석 예측관리 할 수 있는 「지하수환경 기술지원단」 설치 운영 방안강구 요망.

2. 지하수환경 기술지원단 운용방안

가. 가칭 「지하수환경 기술지원단」 이란?

「지하수환경 기술지원단」은 지하수 환경보존 및 지하수 자원 보존관리를 위해 일정한 급여를 받고, 현지에 파견되어 지하수 이용실태조사, 지하수 보존 실태조사, 폐공찾기, 폐공을 활용한 관측공 전환작업 감독지시, 폐공 오염방지 시설작업 감독지시 등의 공공연구 지원 활동을 벌이기 위해 현재 미취업 또는 실직 환경관련 전문가 및 퇴직환경공무원의 취업을 목적으로 「지하수환경 기술지원단」을 구성, 전국 지하수 오염방지 및 치유·개선을 위한 공공연구 지원활동을 한다.

나. 사업배경

- 지하수자원은 앞으로 다가올 지구환경변화, 핵사고 및 비상사태 등에 대비한 전략자원이므로, 21세기에는 기름값보다 비싼 경제재로서 제 3의 자원이다.
- 현재 국내 지하수 오염실태는 대도시의 경우 60~85%이상 음용이 부적합하고, 최적개발 수량조차 파악키 어려운 상태이며,
- 현재 전국적으로 약 200만개공 이상의 폐공이 난립하여 지하수 수질을 악화시키고 있으나
- 이에 대처한 지하수 오염방지 및 수질개선, 치유 대책은 현재로서 전무한 상태에 있어
- 이를 해결키 위한 방안으로 IMF로 인해 실직한 환경 관련전문가 인력을 활용하여
- 전국에 방치되어 있는 폐공들의 탐사 및 폐공을 재활용한 관측망 설치 및 오염방지 시설에 전문인력을 투입
- 전국 지하수의 수질 관측망을 구축 전문연구기관으로하여금 지하수 환경변화 예측 시스템을 구축 운영케 하여
- 다가오는 21세기 지하수 자원을 오염으로부터 방지하고, 이를 치유, 개선하여 음용화 할 수 있는 항구적인 대책 마련에 있다.

다. 사업내용

- 폐공탐사
- 폐공을 재활용한 관측망 설치 운영
- 폐공의 오염방지 시설
- 관측망을 활용한 지하수 환경변화 예측 시스템 설치운영

- 불량 지하수 치유·개선 대책 강구

라. 폐공현황 및 발생 원인

(1) 폐공현황

- 지하수 개발 신고공수 : 총 786,921공
- 폐공처리된 신고공수 : 15,724공(1996년 현재, 지하수조사연보)
- 추정 폐공수 : 보통 지하수 개발시 성공공수를 약 30%이내로 추정 할때 약 200만개 이상의 폐공이 방치되어 있을 것으로 추정

(2) 폐공발생 원인

- 과학적인 기초조사없이 무분별한 지하수 개발로 실패공방치
- 지반조사후 되메움없이 시추공 방치
- 개발 성공량(보통 150m³/d) 기준에 미달된 실패공 방치
- 공장폐쇄나 이전 등으로 인한 기존 지하수 활용공의 방치

마. 사업내역

(1) 폐공 탐사

(가) 탐사·조사

- ① 폐공 발생 위치도 대체적으로 착정 장비의 진입이 용이한 평활지, 농토 간이도로가 형성되어 있는 장소에 존재하게되며 단위 필지별로 위치한다.
- ② 폐공 탐사는 각 행정구역별 “리”단위로 탐문, 탐사가 가장 효과적이며 전국에 산재되어 있는 지하수 개발업체로 하여금 녹색신고를 유도케 하는 방안도 모색될 수 있다(업체명, 설문 답변자명 비밀, 면책 여부)
- ③ 탐사결과에 따라 인센티브 부여

(보상금, 상품 etc) → 추후 폐공 시공업체에서 부담 유도.

- ④ 탐문조사결과 폐공 위치(존재) 가능 장소에 대한 정밀조사

- 금속탐지기 활용
- 동절기 육안 검사

(나) 소요인력

108,142명

- ① 현장답지 탐문조사 및 위치 확인

(공무원 활용 지양하고 환경기술지원요원 활용)

- ㉠ 농어촌지역-(각 리별 조사) 35,407리×1명×1일 = 연인원 35,407명
- ㉡ 중소 도시지역(시·군·구) 1,425×1명×2일 = 연인원 2,850명
- ㉢ 대도시 지역(동별) 62,835동×1명×1일 = 연인원 62,835명

- ② 지하수 개발업체 방문 설문조사 및 현장확인

62,835동×1명×1일 = 연인원 62,835명

- ③ 조사결과 집계정리 : 연인원 50명

(다) 소요장비

- ① 금속탐지기

- 각 지역 군부대 협조 요청
- 별도 구입, 활용

- ② 사진기

- ③ 탐사표식도면 - 1:5,000

④ 차량

(2) 폐공을 재활용한 관측망 설치 및 오염방지 시설

(가) 폐공 오염방지 시설 설치 개요

- ① 수중 카메라 촬영으로 심정 내부 상태 확인
- ② 강관 outcasing 인발
- ③ 차폐판 설치
- ④ 속경성 시멘트 타설
- ⑤ Con'c 타설

※ 현장여건에 따라 ① 수중 카메라 촬영 생략 가능.

※ 최소 시공 심도 30m 이상 유지 하되, 지속적인 수질 check와 감시를 위해 관측공으로 설치.

※ 심도별 수질 check 하여 지표수 유입 여부 확인하여 암반선 이하 깊이에 차폐판 설치

(나) 폐공확인 예상개소수

자치단체별	폐공예상 개소수
서울특별시(1)	2,500
광역시(6)	6,000
도 (9)	4,500
시 (72)	7,200
군(91) 읍(195)	9,750
면(1,230)	24,600
합 계	54,550

※ 폐공 예상 개소수로 예산 투입후 탐문조사 과정에서 확인 가능한 수를 추정하여 산출하였으며 조사결과 및 신고에 따라 변동 될 수 있는 수치임.

(3) 지하수 환경변화 예측 및 정보관리 시스템 설치 운영

(가) 지하수 관측망 설치 유지관리

- 자동계측기 설치 : pH, 전기전도도, 수온, 수위, 수량 자동관측

(나) 자동 및 수동 계측자료 DB 구축 및 정보관리

- 자동계측자료 온라인 체계 구축 및 DB 구축
- 수동계측자료 DB 구축
- 자동 및 수동 계측자료 분석 및 정보관리
- 지하수 수질정보 체계 구축

(다) 지하수 모델링 및 환경변화 예측 체계 구축

- 지하수 치유·개선 대책 강구