

# 국내 지하수 오염실태 및 치유대책

(대구지역을 대상으로)

한국자원연구소

환경지질연구부

책임연구원 성익환 박사

## 1. 서 언

최근 국제 인구 행동연구소(PAI)가 지난 22일 발표한 『21세기 세계각국의 수 자원 상황』이란 연구보고서에서 밝혀진 것으로 한국이 물부족 국가로 분류, 세계 149개국 중 한국의 연간 활용가능한 수자원 양이 세계 78위이고, 북한은 76위로 집계했다. 북한의 경우 국민 1인당 수자원이 55년도에는 7387m<sup>3</sup>, 90년도에는 3077m<sup>3</sup>으로 급격히 나빠졌으며 2025년도에는 2007m<sup>3</sup>(인구 3천 3백만)내지 1801m<sup>3</sup>(인구 3천 7백만)로 전망되어 물기근 국가(1천m<sup>3</sup>이하/1인당)나 물부족 국가로 분류 되지는 않았지만 남한 보다는 물사정이 좋은 것으로 분류되었으나, 남한의 경우 55년 수자원 배분량이 2941m<sup>3</sup>에서 90년도 1470m<sup>3</sup>으로 2배로 줄어들었다가, 2025년에 가면 최고 1295m<sup>3</sup>, 최저 1100m<sup>3</sup>으로 물부족국가 대열(1700m<sup>3</sup> 이하)에 진입하고, 최악의 경우 물기근 국가 (1000m<sup>3</sup>이하)로 전락할 수 있다는 것이다.

작년 여름 가뭄이후 지금까지 지속중인 겨울 가뭄과 봄가뭄으로 우리는 수자원 관리 상에 많은 문제점이 있음을 알 수 있다. 그동안 안정적인 공급이 약속되었던 지표수자원이 한계에 이르고, 남부지방의 저수지는 이미 바닥을 들어낸지 이미 오래 되었으며, 한해대책을 위해 2000천여억원의 예산이 책정되어 전국적으로 암반 관정의 굴착이 진행 중이나 많은 실패공과 폐공이 양산되고 있다.

현재 국내에서는 지난 20여년동안 지하수 관련법 조차없이 약 200여만개 시추

공이 뚫려있고, 연간 2~3만여개 시추공이 새로이 굴착되고 있으나 이렇게 많은 시추공들이 이번 가뭄에 해갈을 시켜주지 못하고 있다는 것은 시추설계 및 관리의 문제점이거나, 대수층자체의 저류성의 한계점이거나, 개발위주의 시추업계의 관행으로 계약량 만큼의 지하수를 확보할때까지 무분별한 시추를 자행한 결과, 실패공이 결국 폐공으로 버려지고, 이 폐공으로 지하수 수질이 심부까지 오염되어, 많은 경비와 노력을 들여서 개발한 지하수가 어느날 갑자기 음용수가 부적합 판정을 받게되고 그 범위는 날로 확산 되어감에 따라 지하수 자원의 질적 황폐와 양적고갈을 직면하고 있다.

그 간 정부의 수자원정책에 있어서의 문제점, 특히 지하수자원관리상의 문제점을 검토하면서 해마다 일어나는 가뭄을 일회용 한해대책으로 미봉책에 그칠 것이 아니라 장기적인 지하수자원관리 측면에서 연구 검토되어 시정되어야만 할 문제들을 대구지역을 대상으로 집중적으로 검토해 봄으로서 21세기 지구 환경변화에 따른 한반도내 수자원관리상의 항구적인 대책 마련에 정부는 물론 국민들의 관심을 집중시켜야 할 때이다.

## 1.1. 지하수자원의 중요성

미래 과학자들은 21세기에는 '물의 전쟁'이 일어날 것을 예언하고 있는데, 이는 모든 생물체가 물없이는 살 수 없으며, 현대사업발전은 날로 대량의 물을 필요로 하고 있고, 산업경제발달에 따라 인간은 보다 양질의 음용수를 요구하고 있으나, 지구상에 분포하는 물 중에는 해수가 97.2%를 차지하고 그 나머지인 2.8%가 담수로 이루어져 그중 2.14%는 빙하, 0.61%가 지하수, 0.009%가 지표수, 0.005%가 토양층내 수분등으로 구성되어 있어 진정 인간이 마실 수 있는 맑은 물의 양은 빙하를 제외하면 약 0.62%로서 한정되어 있어서 전세계적으로 민족과 국가간에는 이 제한된 물을 확보하기위한 수권싸움이 불가피하게 일어난다는 것을 예고하고 있다. 그러나 지표수 자원은 용도의 다양성에 비해 산성비, 가뭄, 수질오염, 화생방, 핵사고 등에 취약함을, 소련의 체르노빌 핵사고, 낙동강 폐놀사건, 금년가뭄의

저수지고갈 그리고 낙동강 하류에서는 금번 가뭄에 따른 수질 악화로 정수처리조차 하기 힘든 상태까지 도달하게 되었다. 이와 같이, 지표수자원은 앞으로 지구환경변화에 따라 취약성이 언제라도 노출될수 있음을 우리는 항상 염두에 두고 만전의 대비를 하여야 될 것이다.

선진국의 경우, 지표수자원이 풍부하고 수질이 풍부할지라도, 음용수(상수도) 및 비상용수 시설을 지표수이용 시설과 견비하고 있으며, 유럽의 경우 지하수의 음용수 의존도가 70~95%에 까지 달하고 있으며, 이를 위한 지하수개발 및 보전을 국가에서 직접관리 하고 있어 앞으로 닥쳐올지도 모르는 지구환경변화에 따른 비상 용수공급체계를 갖추고 있음을 볼때 지하수자원역할의 중요성과 귀중함을 재인식하여야 할 것이다.

## 1.2. 국내 지하수 부존 특성 및 관리현황

국내 지하수 자원의 부존특성을 분석해 볼것 같으면, 지하수가 부존될수 있는 대수층을 암반대수층과 충적층 및 풍화대 대수층으로 크게 2가지로 구분 할 수 있는데 그 분포면적은 암반층 대수층의 경우 화강암류(31,820km<sup>2</sup>, 32%), 변성암류(36,070m<sup>2</sup>, 37%), 퇴적암류(28,780km<sup>2</sup>, 29%) 및 제주 현무암류(1820km<sup>2</sup>, 2%)로 구성되어 있으며, 충적층 대수층 분포는 약 23,380km<sup>2</sup>의 분포면적을 가지면서 평균두께 10m내의 두께로 분포되어 있다. 일반적으로 충적층 및 풍화대의 평균 공극율은 35~45%임에 비하여 암반층의 평균 공극율은 5%미만의 미약한 공극율을 가진다.

우리나라는 불행히도 대수층이 층리, 절리 및 단층선등의 파쇄대 발달정도에 지배를 받는 암반대수층이 주 대수층을 이루고 있어, 일차공극에 지배를 받는 미고결 및 충적층 대수층과는 부존량과 개발량에 있어 큰 차이점을 보이고 있다. 암반대수층의 특징은 저류성과 지하수의 개발량에서 일차공극대수층(미고결퇴적암층 및 충적층)과는 100~1000배 사이의 차이를 보이고 있어, 개발에 있어서 어려움과 개발량의 제한이 따르게 되며, 오염에 취약하여 한번 오염이 되어 버리면 회생이 거의 불가능하게 되는게 그 특징이다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 과거 20년간 지하수자원을 보전 관리할수 있는 법이나 전담부서 하나 없이 전국 방방곡곡에 60여만개 이상의 시추공이 개발되어 사용되고 있거나 폐공되고 있는 실정이다.

지난 해 여름 영호남지방에선 한해대책용으로 1500여개 이상의암반관정이 착공되었으며 이를 개발하기 위해선 3000여개공 이상의 폐공이 발생했으며, 93년도 현재 농어촌진흥공사에서 개발한 대형관정이 약 9852개공, 소형관정이 313,381개공 도합 325,295개 시추공이 굴착되었으며, 민간착정회사에서 개발한 시추공과 각 계 공공단체 및 공장등에서 개발한 시추공등을 총합하여 볼것 같으면 전국적으로 약 60여만개 이상의 시추공이 될것이라는 추측이 쉽게 나온다.

여기다 설상가상으로 국내 온천업계에서 시공된 시추공 또한 전국적으로 3000여개공이상이 될 것이며, 생수개발을 위해 전국방방곡곡 심산유곡에 시추된 것 또한 1000여개 시추공이 산재되어 있다는 추측은 초정리에 만 해도 200여개 시추공

이 이미 뚫어져 있으며, 전국적으로 200여개 불법생수회사 및 앞으로 음용수관리 법이후 광천수를 개발하고자 미리 시추공을 확보해 놓은 것 들을 합치면 엄청난 숫자가 될때까지 시추 굴착에 따른 어떠한 법적 제재나 제약이 없었다.

이런 상황에 농수산부에서는 지난 21일 남부지방 가뭄극복을 위한 암반 관정 개발을 위해 18m이하 소형관정 5천5백93개공, 80~200m깊이 암반관정 928개공등 총 6천5백61공을 개발계획을 발표하였으며, 이중 중앙정부예산(농특세)1235억원을 들여 논용수용 167공, 밭기반용 250공, 생활용수용 320공등 총 737개 공을 개발예정이다.

이와같이 우리나라에선 1년에 한해대책용으로 약 6천여개공을 포함, 줄잡아 2만여개의 시추공이 개발되고 있는 실정이며, 전국적으로 과거에 개발된 60여만개 시추공중 약 절반 가까이가 폐공되고 있다는 놀라운 실정이다.

### 1.3. 외국의 관리현황

미국의 경우 전국토에 음용수를 위한 지하수개발공수가 187,000만개공(국가개발 : 47,000개공 민간개발:140,000개공)을 미국국립지질조사소(USGS)에서 관리 보존하고 있으며 이를 위해 미국국립지질조사소(USGS)내 10,000명 연구원중 4000명의 연구원이 지하수 분야에서 종사하고 있다. 특히 미국에서는 과거 20년 전 까지만해도 지하수자원은 무시되어 왔으나, 지표수자원의 심각한 오염현상과 용수공급의 부족현상이 나타나면서 공업용수, 농업용수 및 도심지의 생활용수 등을 확보 하려는 노력이 경쟁적으로 행해짐에 따라 지하수에 대한 인식이 재고되었으며, 지하수 자원의 관리 및 보존에 관한 새로운 차원의 관심과 노력이 이루어져 현재는 지하수 정화와 개선에 막대한 예산이 오염물질의 제거와 지하수 정화에 투입되고 있어, '93 년도에는 약 6 조억원의 예산을 지하수와 토양을 조사, 평가, 정화하는데 사용하여 지하수자원을 복원하는데 엄청난 대가가 치뤄지고 있음을 볼 수 있으며, 환경보존청 전체예산의 43%와 전직원의 21%가 지하수 오염문제에 종사하고 있으며, 어떤 주에서는 일정한 허용한도 이상의 양수율로 지하수를 취수할 경

우 허가를 받아야 하는데, 인디애나주의 경우 허용한도는 399 m<sup>3</sup>/d, 위스콘신주는 95 m<sup>3</sup>/d, 미네소타주는 38 m<sup>3</sup>/d 등으로 과잉양수로 인한 지하수위 하강을 법으로서 엄하게 규제하고 있다.

불란서의 경우 총 28만개 시추공이 과거 100년간 개발 되어 국가에서(Agency of Basin, BRGM:국립지질광물연구소)관리/보존하고 있으며, 호주의 경우 빅토리아주내에는 현재까지 정부가 조사연구를 위하여 착공한 3만개의 시추공을 포함한 12만개의 관정에 대한 자료가 모두 빅토리아주정부 지질조사소 Computer에 입력 되어 관리되고 있어 현재 지하수의 수질 변화 및 수량변화 등의 자료를 중앙통제 기관(국가전문기관)이 정기적으로 입수 분석함으로 현재 문제점과 앞으로 발생 가능한 문제점을 미리 예견하여 사전 문제점 해결에 주력하고 있다.

#### 1.4. 국내 시추공의 관리상 문제점

위의 사실에서 우리는 놀라운것을 발견하게 되는데, 구미 선진국에서 개발시추공수와 우리나라 국토 전면적에 개발된 시추공수와 비교해보면 구미 선진국의 수십배 이상의 시추공이 국내에서 관련법 제정이전에 이미 뚫어져 있다는 사실과 구미 선진국에서 개발된 시추공은 사전허가를 정부로 부터 득한후 개발되어 모두가 정부관리국 Computer에 입력 관리되고 있는데 반해, 우리의 경우 정부 어느 한 부서에서 조차 정기적인 관측 자료를 갖고 있지 않다는 사실이다. 또한 선진국에선 한번 개발된 시추공은 정부관리하에서 반영구적으로 보수 유지 관리하여 사용하는데 반해, 우리나라의 경우 개발후 폐공까지 기간이 적게는 1년에서 10년사이로 전국적으로 폐공율이 30~40%에 육박하고 있다는 사실, 그리고 이 폐공을 따라 지표오염물이 대수층 심부까지 유입되어, 최근 지하수의 수질이 음용수 수질 기준에서 부적합 판정이 내려지는 일이 날로 증가 하고 있는 실정이며, 우리가 더욱 놀랄 일은 구미 선진국 보다 수십배 이상의 숫자로 시추공이 전국적으로 뚫여 있음에도 불구하고 해마다 격는 한해 대책때에는 속수무책이었으며, 올 겨울 가뭄 또한 이렇게 많이 뚫어져 있는 시추공이 가뭄극복엔 충분치 못하여 농수산부에선

또다른 6천여개공의 또다른 시추공을 개발할 계획이란 사실은 결국 우리나라 국토가 수문지질학적으로 이미 지하수의 부존성이 낮은 암반층대수층임을 학계나, 업계에서도 알고 있음도 불구하고 폐공에 대한 활용 대책 또한 없이 폐공이 늘어나는 만큼 또다른 새로운 시추공이 연간 2만개공 이상 아무런 법적제재도 없이 개발되고 있다고 사실은 지하수자원의 질적황폐와 양적고갈을 엄청난 속도로 앞당기고있으며, 국토를 온통 시추폐공으로 황폐화 시키고 있다는 것이다. 원래 폐공은 지하수법에 의거, 환경오염처리기준에 맞게 원상복구 시키거나 혹은 주변 시추공의 정보및 상태를 파악하기위해 오염방지시설을 수반하여 관측정으로 이용, 지하수의 오염상태 및 수량, 수질, 수위 변화 등을 관측하는데 이용해야 한다. 그러나 지금까지 우리시추업계의 관행은 물이 나와야만 시추비를 받는 열악한 조건에 따라 시추개발후 지하수가 계약량만큼 나오지 않을 경우 폐공시키고 바로 옆에 또다른 시추를 수행하여 계약량 만큼 물을 확보할 때까지 폐공율을 높이고 있는 실정이다. 폐공을 완전하게 폐공처리 시키는데 들어가는 경비 또한 백여만원 이상 들고 보니 들맹이나 가마니로 덮어 약식으로 눈가림식의 폐공처리를 시킨것이 지난 여름 한해 대책때만도 많은 곳에서 발견되곤 했다.

폐공은 잘만 이용하면 비싼 경비를 들여서 굴진해 놓은 시추공을 통해 땅속의 정보를 얻을 수 있으나 그렇지 않고 방치 했을 경우 지하수대수층심부에 까지 지표오염원을 확산 시키는 일종의 “오염고속도로”역할을 한다. 즉 지하수가 자연상태에서 심부로 이동하는 속도는 연간 1~5m 정도로 매우 느린 속도로 움직이나 폐공을 통한 지표수오염물의 오염속도는 순식간에 수백미터까지 대수층을 오염시켜 바로 옆에서 맑은 물을 개발해 쓰고 있는 기존 시추공까지 오염을 확장 시키기도 한다.

## 2. 대구지역 지하수 특성 및 문제점

대구지역 지하수공의 수는 지하수 개발붐이 일어난 1970년대 부터 연평균 1000 공 내외의 시추공이 굴착되어 그 수는 현재 약 1만 5천여개로 추산되고 있다. 그 중 과반수 이상은 폐공 또는 방치되어 있는 상태이고 그 나머지는 현재 생활 혹은 공업용수로만 활용하고 있는 실정이다.

우리나라에는 최근까지도(1993.12 지하수법 제정) 선진국처럼 지하수 관련법이 없었던 관계로, 아무런 제재나 절차도 없이 지하수를 개발 사용할 수 있었다. 이로 인하여 무절제하고 경쟁적으로 지하수를 개발, 사용하여 70년대 말부터는 오염이 심화되어, 지하수가 그 개발목적과는 다르게 허드렛물, 화장실용, 세차장 또는 공업용수(일부에선 원래 목표이었지만)로 전락하게 되었다. 원래 지하수 자원이란 과학적인 방법을 통한 수문지질학적 조사 결과에 의해 대수층의 특성, 분포, 저류능력, 적정개발량 등을 미리 산출하여 이에 맞게 사용해야 한다. 그러나 이를 무시한 상태에서 무절제한 개발 및 과잉양수는 지하수원의 고갈뿐만 아니라 지표오염물을 대수층 깊숙이 유입시키는 결과를 초래하는 불행을 맞게 되었다. 오염된 대수층을 개선, 치유하는데는 오염시키는데 소요되었던 시간보다 몇 십배, 몇 백배의 노력과 경비 및 시간이 요구됨을 외국의 사례에서도 볼 수 있다.

대구시의 경우, 물수지 균형(Water Balance)이 무너져 신천주변과 금호강 주변의 오염된 하천수가 대수층으로 유입되어 대구지역 대수층의 오염 범위가 확장되고 있다. 또한 각 공단, 아파트 단지, 상가등 대단위 지하수 사용에 의해 대구시 전역의 지하수위가 낮아지고 있음을 1984년부터 1986년까지 3년간 실시한 UNDP 지하수원 보전사업 결과 및 본 사업기간인 1994년 부터 2개년간 측정된 자료들에서 볼 수 있었다. 본 연구는 UNDP 사업 결과의 문제점을 대상으로 과기처로부터 특수사업 연구비를 지원받아 1994년 1월부터 1995년 12월까지 2개년간 불란서 국립지질 광물연구소(BRGM & ANTEA)와 공동으로 수행되었다. 특히 BRGM에서 개발된 모델링 프로그램을 본 조사지역에 수정 적용한 것은 앞으로 국내 지하수 자원의 종합적인 평가, Database 구축 및 관리에 많은 도움을 줄 것으로 본다. 또한 본역내에서 조사 연구분석된 지하수 오염실태는 앞으로 지하수 자원의 재활용



측면이나 오염방지 대책수립에 크게 기여할 것으로 본다. 오염원 특성구분은 본역 내 오염지하수를 개선 치유하여 지하수 자원을 음용화 할수 있는 지하수 개선 대책 수립에 크게 기여할 것으로 믿어 의심치 않는다.

## 2.1. 사업의 배경 및 목적

### 2.1.1. 배경

우리나라는 인구 일인당 수자원 배분량이 세계 평균의 1/11 밖에 되지 않는 수자원 빈국임에도 불구하고 급속한 공업화와 생활수준 향상으로 용수수요는 증가 추세에 있다. 그러나 지표수 자원의 한계와 공단폐수 등에 의한 지표수 오염, 오염원의 침투에 의한 지하수 오염 확산, 무분별한 개발에 따른 지하수 자원 고갈 현상이 두드러지게 나타나고 있어 지하수 자원에 대한 올바른 평가와 이를 관리하고 가용 자원화 할 수 있는 기술개발 및 축적이 무엇보다도 시급한 실정에 있다. 따라서 만성적인 물 수요 공급부족에 대처하고 특히 천재지변(가뭄, 홍수), 핵사고 및 비상사태 등으로 인한 지표수원 공급 중단시 양질의 지하수원을 원활히 공급하기 위해서는, 과학적인 방법에 의한 수문지질학적 평가, 개발이용 및 보존 관리 등의 지하수 환경 예측 기술개발이 시급히 이루어져야 한다. 이상과 같은 문제점의 해결을 위해 과기처 특수사업의 일환으로 1994년부터 10개년간 대구권, 서울권, 부산권, 광주권, 제주권 등을 대상으로 각 지역별로 앞에서 언급한 과제 중심으로 한 지역당 2개년씩 연구를 수행중에 있다. 본 보고서는 그 첫번째 조사지역인 대구지역을 대상으로 2개년간 조사 분석한 결과로서 인구밀집 대도시를 대상으로 지하수 자원의 오염과 양적고갈을 미연에 방지하고 이미 오염된 지하수는 오염원 특성에 따라 수질 개선 및 수처리 공정을 통한 지하수 자원을 음용화 할 수 있는 지하수 개선 대책 수립을 위한 것이다.

### 2.1.2. 사업목적

본 사업의 목적은 다음과 같다.

- 조사지역내 지질, 구조지질, 수문 및 기상 특성 규명

- 지형, 수계, 구조 분석
- 지하수 이용실태 및 폐공실태 조사
- 지하수 부존실태 및 개발 가능량 평가
- 조사지역내 대수층 특성 규명
- 지하수 오염실태 및 수질특성 평가
- 지하수 유동 모델링
- 지하수 보전 및 이용 기술개발
- 지하수오염 예측, 개선 기술개발
- 치유기술(Remediation & Reclamation) 개발
- 지하수 자료정보 Data base 설치 및 전국망 연계 설치 운영
- 지하수위, 수질 자동 관측시스템 개발

## 2.2 지하수의 지화학적 특성 및 오염

### 2.2.1. 수질 특성

지하수의 생성근원은 강우의 형태로 지표면에 도달한 물이 토양층을 통해 지하로 스며든 경우와 하천 및 저수지에 저장되어 있던 지표수가 지하로 스며들어 생성된 경우가 있으나 강우에 의한 경우가 대부분이다. 따라서 지하수의 수질은 지표수의 유동경로와 유동기간과 밀접한 관계가 있으며, 기반암의 종류와 지표오염원의 종류 또한 지하수질에 큰 영향을 미치는 요인이 된다. 또한 지하수의 온도 변화는 대수층의 특성에 따라 그 변화도가 다르게 나타나는데, 일반적으로 충전지역(Recharge area)과 배출지역(Discharge area)에서 지하수의 수온 분포가 다르게 나타남을 본 조사지역에서 볼 수 있다.

본역내 분포하는 지하수의 수온변화는 대수층의 특성에 따라, 그 양상을 달리 하며 수온 변화량에 따라 Recharge 분포지역으로 구분됨을 알 수 있다. 수온변화 폭(연간)은 대구지역에서는 3가지 Type의 수온 변화폭에 따른 대수층 구분이

됨을 볼 수 있는데, A지역은 신천 하류지역 및 금호강 연변에 발달된 구하상 발달지역(충적층)으로 신천 및 금호강 하천수가 유입됨으로 인한 영향을 직접적으로 받고 있음을 볼 수 있다. B지역은 신천 상류지역에서 중류지역내에 발달된 구하상 충적층 지역으로서 신천 상류 충적층지역에서는 하천수 유입현상으로 볼 수 있으나 신천 중류지역에서는 구하상내 저류되어 있었던 지하수가 신천으로 배출되는 현상을 볼 수 있다. C지역은 강우에 의한 지표수가 토양층을 통해 대수층으로 유입되어 오랜 지하수유동을 가짐으로서, I,II지역에 비해 평균적으로 2℃ 이상의 높은 온도 분포를 보이고 있다.

지하수에는 여러가지 성분이 용해되어 있으나, 주 구성성분은 칼륨( $K^+$ ), 나트륨( $Na^+$ ), 칼슘( $Ca^{++}$ ), 마그네슘( $Mg^{++}$ )의 양이온과 염소( $Cl^-$ ), 황산염( $SO_4^{-2}$ ), 중탄산염( $HCO_3^-$ ), 탄산염( $CO_3^{-2}$ )의 음이온으로 이들을 8대 성분이라고 한다. 그 나머지 성분들은 전체 용존량에서 차지하는 비중이 미미하여 미량원소라 한다. 이들 주원소들만을 대상으로 대구지역내 채집된 지하수(1985.4)를 대상으로 Piper diagram 을 그려보면 지역적인 특성을 일목요연하게 구분할 수 있다. 이 그림에서 볼 수 있는 상황은 대구지역내 Recharge area는 앞산 산록 부근과 도시중앙부 산록지에서 Local로 존재함을 볼 수 있다. 지역적으로는 서부지역과 동부지역에서 Mineralization이 많이 일어나고 있으며 대구시 중심지역 역시 같은 양상을 보이나 이는 신천 하천수의 영향과 관련이 있을 가능성을 갖고 있다.

수성구 일원, 원대동, 성서 일원, 비산염색 공단 일원 및 검단동 일원에서 높은 값을 나타내는 양상이 비슷하나, 94년도 값에서는 국부적인 오염도 증가 현상이 두드러지게 나타남을 볼 수 있다.

1994년도의 Cl 값을 나타낸 것이다. 전반적인 분포 형태는 서로 비슷하나 Local로 Cl 값이 약 50~100ppm 증가됨을 볼 수 있는데 이는 지속적인 pumping에 의한 대수층내 지하수원의 storage의 변화로 분석될 수 있거나, 지역적인 오염원의 증가로 해석될 수 있어 앞으로 본 지역 연구수행에 있어 중요한 관점이 될 것이다.

$SO_4$  값의 전체적인 분포형태는 비슷한 양상을 나타내나, Local로 높은 값이 나타나고 있는데 그 이유 또한 Cl 이온과 같은 측면에서 해석함이 타당하다고 본다.

본 조사지역내 지하수의 수질오염 상태를 파악할 수 있는 자료는 Table 2-1과 같다. 표에서 보는 바와 같이 총 283개 시료(대구시청 1994)를 대상으로 분석한 결과 44.5%가 음용수 기준적으로 나타나며, 55.5%가 기준부적으로 나타나고 있다. 물론 이 55.5%에는 오염에 의한 것이 아닌 암석자체에 의한 원인도 포함되어 있다. 즉 조사지역의 중심부는 퇴적암으로 되어 있어 TDS, Hardness, SO<sub>4</sub> 등이 높게 나타나기도 하기 때문이다.

각 구청별 부적합률은 도심지인 중구와 공단지역이 분포하고 있는 서구와 북구에서 55%를 넘는다.

Table 2-1. 대구지역 지하수수질 분석결과 음용수 적, 부 실태표

구 명	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	KMnO <sub>4</sub>	일반 세균	Fe	Mn	F	Zn	HARD	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	pH	TDS	기 준 적	기 준 부 적	총 계
	최소	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"			
	최대	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"			
중 구	0.00	0.0	5	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0.00	11	2	6.3	112	7	18	25
	0.15	14.5	67	4.5	11000	0.51	0.13	0.6	1.28	949	364	7.7	1490			
동 구	0.00	0.0	9	0.5	0	0.00	0.00	0.0	0.01	18	3	5.9	14	14	9	23
	0.00	4.8	142	3.2	1200	2.12	0.26	0.8	0.47	465	257	7.4	1012			
서 구	0.00	0.0	4	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0.00	35	5	6.1	20	22	27	49
	0.42	6.1	287	18.0	6500	1.19	2.38	0.7	1.44	1011	290	7.9	2112			
북 구	0.00	0.0	5	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0.00	17	0	6.0	54	33	47	80
	9.40	13.2	283	17.7	5900	3.72	3.06	0.9	3.60	902	377	8.1	1856			
남 구	0.00	0.4	21	0.3	0	0.00	0.00	0.0	0.03	42	33	6.6	182	8	10	18
	0.12	8.6	92	8.2	3200	1.70	0.05	0.4	1.17	336	188	7.7	762			
수성 구	0.00	0.0	6	0	0	0.00	0.00	0.0	0.02	9	3	6.2	36	29	29	58
	0.42	9.6	210	4.7	4800	2.61	0.28	1.8	1.25	641	344	8.3	1448			
달서 구	0.00	0.0	26	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0.00	15	31	6.1	40	13	15	28
	0.07	2.9	57	4.9	600	0.62	0.65	0.7	1.14	297	91	7.1	590			

## 2.2.2. 지화학적 특성

### 2.2.2.1 시료채취

시료채취 대상은 신천과 금호강의 지표수, 민방위공 지하수, 신천 하수처리장 및 시민운동장의 시험시추공이었다. 이중에 지하수는 강수기 이전인 1995년 6월과 이후인 10월경에 2회에 걸쳐 시료를 채취하였다. 현장에서 채취된 물은 0.45 마이크로 멤브린 여과지로 불순물을 제거시키기 위한 여과를 실시하였으며 동시에 pH, 산화환원전위(Eh), 전기전도도(EC), 온도, 총용존물질량(TDS), 용존산소량(DO), HCO<sub>3</sub>(titration)값을 측정하였다. 양이온 측정을 위한 시료는 포리에틴렌비닐 병에 넣어 실험실로 운반하였으며, 음이온 분석을 위한 시료는 유리관 튜브에 넣어 휴대용 아이스박스에 실험실로 운반하였다. 본 연구를 위해 총 150 여개 시료를 채취하였다. 각 시료의 ID번호는 부록 3의 정기조사공의 index 번호와 동일하다.

### 2.2.2.2 분석

채취된 시료는 실내 실험실에서 양이온 분석 및 음이온 분석을 실시한 바 양이온(Na, Ca, K, Mg, SiO<sub>2</sub>, Al, Fe, Sr, Zn, Mn, Cd, As)은 한국자원연구소가 보유한 ICP 및 AAS를 이용하고 음이온(F, Cl, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>)은 IC(DX100)분석기를 이용하였으며 분석결과는 Table 2-2에 표시되었다.

### 2.2.2.3 결과해석

지하수는 강수나 지표수가 충전층이나 지하의 대수층에 모여 형성된 것이므로 지하수의 수질은 기상학적 요인과 지질학적 요인에 의한 영향을 둘 다 받게 된다. 특히 지하수가 배태되어 있는 암석의 종류, 암질(광물학적 그리고 화학적 조성과 조직), 지질구조의 지배를 강하게 받게 된다. 그러므로 지하수는 대수층에 체류하는 기간이 길수록 기상학적 영향은 적어지는 반면 대수층의 지질학적 영향이 커지게 되므로 지하수의 수질은 해당지역의 지질환경에 따른 특징적인 성질을 가지게 되는 것이다. 대구지역의 공단지대처럼 대기와 토양이 오염되어 있다던지

금호강 유역처럼 산업, 생활 폐하수가 유입될 경우는 지표수가 지하로 침투되는 과정에서 다소 여과 된다고 하여도 지하수는 이러한 인위적인 요인에 의하여 오염된다. 따라서 지하수의 오염을 논할 때는 지하수가 오염되기 전의 수질에 대한 기초자료가 필요하며 기존자료가 없을 경우는 지질조건이 같고 오염되지 않은 지역의 지하수를 대상으로 하여 그 수질의 배경치를 설정할 필요가 있다.

대구지역 지하수의 분석치를 이용하여 Piper diagram에 도시해 보면 대부분이 Ca-HCO<sub>3</sub>형태임을 알 수 있다. 이는 대구지역에 분포하는 대부분의 지층이 방해석(CaCO<sub>3</sub>)이 많이 함유되었거나 절리면에 방해석광물이 많이 채워 있음을 말해 준다. 각 원소에 고찰은 다음과 같다.

- 칼륨(K)

칼륨은 주로 알카리 장석류나 운모광물의 풍화작용에 의하여 지하수에 농집이 되며 빗물에는 0.1-5 mg/l 정도 함유되어 있다. 본 조사지역 지하수의 범위는 0.5-14.5 mg/l, 평균치는 3.0mg/l 이다. 음용수기준은 아직 설정되지 않았으나 약간 높은 함량을 보이는 곳은 대구 서편의 남북단이다.

- 칼슘(Ca)

칼슘은 Ca를 함유한 광물이 많은 곳, 즉 석회질 퇴적암 분포지나 인위적인 오염을 받은 지역에서 고함량을 보인다. 또한 대구지역의 균열대내에는 방해석 광물이 많이 충전되어 있기 때문에 이들이 지하수와 반응하여 칼슘함량이 높아지게 된다. 본역의 평균치는 85.6 mg/l이며 범위는 11.8-446 mg/l 으로서 변화가 심한 편이다. 1985년 때의 평균함량이 50mg/l 에 비해볼 때 1.7배 증가한 셈이다. 함량이 대략 250 mg/l 이상이면 경도(hardness)항목에서 음용수 기준을 넘어서게 된다. 본역에서의 고함량분포는 주로 금호강 주변에서 나타난다.

- 나트륨(Na)

나트륨 성분은 토양과 암석내의 알바이트계열의 사장석의 화학적 풍화산물에

서 주로 공급된다. 일반적으로 지하수의 Na 함량은 1-20mg/ℓ이며 본역에서는 4.4-139 mg/ℓ, 평균이 32.4 mg/ℓ 으로서 아주 높은 편이다. 이는 대구 지하수가 생활오수에 의한 나트륨의 오염이 다소 있었음을 말해준다.

#### 마그네슘(Mg)

마그네슘 성분은 석회질 퇴적암에서는 0.4-4.7% 함유된 것으로 알려져 있으며 (Rosler and Lange, 1972) 칼슘성분과 밀접하게 수반되는 특성이 있다. 대구의 함안층과 반야월층내에는 광물 입간물질로 녹니석이 약 0.2-2.6% 까지 함유되었다고 보고된 논문(김종건, 1990)을 참고로 하면 대구지역의 지하수내에는 마그네슘 성분이 다소 높아야 하나 1.61-87.7 mg/ℓ 의 범위로 비교적 낮은 분포를 보인다. 평균은 25mg/ℓ 으로서 본역에서는 마그네슘 성분은 음용수가 부 결정에 영향이 적다고 볼수 있다.

#### 철(Fe)

수계에서 철은 2가와 3가 상태로 존재하지만 2가철은 대기와 접하면 3가철로 변한다. 철의 분석치는 시료 처리방법 즉 여과하는 방법과 하지않은 방법에 따라 다르며 여과한 시료가 낮은 함량을 보이며 또한 분석방법에 따라 다른 결과를 나타낸다. 또한 지하수를 양수하는 시설과 배관의 노후에 의해 철성분이 첨가됨으로 어떻게 시료를 채취했는가 등에 따라 그 함량변화가 달라지므로 정확한 함량분석과 해석에는 어려운 문제가 따른다. 대구지역에서 철성분의 주 공급원인 황철석을 많이 함유한 지층은 본역 남동부와 북서부 일대에 분포하며, 이번 조사시 철함량 범위는 0.01-1.07mg/ℓ, 평균 0.1mg/ℓ 이며 5개소에서 음용수 기준을 넘어서는 값을 보인다.

#### 질산이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

질산이온함량은 생활하수나 생물분비물의 유입여부를 말해주며 오염정도를 잘 반영하는 원소이다. 대구지역 지하수에는 0.45-94.5mg/ℓ 의 범위와, 평균 19.1mg/ℓ 의 함량을 보이는데 음용수기준은 50mg/ℓ 미만이다. 조사대상중 4

개 시료가 음용수기준치를 넘어서며 6개 시료가 기준치에 접근하고 있다. 94년도 대구시 검사결과 중구와 북구에서만 음용수기준치를 초과했지만 본조사에서는 비교적 오염에 있어서 안전한 남구에까지 음용수기준을 넘고 있어 질산이온 오염이 확대되고 있음을 말해준다.

#### 염소이온( $\text{Cl}^-$ )

대구지역의 지하수내 함유된 염소이온양은  $10\text{mg}/\ell$  -  $114\text{mg}/\ell$  범위이며 평균  $53.1\text{mg}/\ell$  으로서 음용수기준치( $150\text{mg}/\ell$ )를 넘어서는 것은 다행히 한 곳도 존재하지 않는다.

#### 황산이온( $\text{SO}_4^-$ )

황산이온은 일차적으로 황화광물의 산화 또는 용해에 의해서 공급되므로 sulfide 광화작용의 유무에 따라서 지하수내 황산이온 함량은 달라지게 된다. 대구지역의 지하수내 함유된 황산이온 함량은  $10\text{mg}/\ell$  -  $1280\text{mg}/\ell$  으로서 변화 폭이 아주 크며 평균  $122.6\text{mg}/\ell$  으로서 음용수기준치를 넘어서는 곳은 총 50개 시료중 5개이다. 음용수 기준치를 초과하는 곳은 대부분 금호강 유역인데 이의 원인은 퇴적층 자체에 함유된 황산이온과 과거 오염되었을 때 유입된 황산이온들에 의한 것으로 생각된다.

#### 불소이온( $\text{F}^-$ )

조사지역의 불소이온 함유량 범위는  $0.05$  -  $1.4\text{mg}/\ell$  이며 평균  $0.19\text{mg}/\ell$  으로서 비교적 낮다. 음용수기준치를 넘어서는 곳은 2개소로 화강암 분포지역에 위치한다. 다행히 대구지역은 퇴적암 지역이므로 불소이온에 대해서는 크게 염려하지 않아도 될 것으로 본다.

#### 전기전도도(EC)

전기전도도는 지하수의 개략적인 수질을 평가할수 있는 척도로서 중요하게 사용될 수 있다. 수질분석된 조사공들의 전기전도도 범위는  $196\ \mu\text{S}/\text{cm}$  -  $2430\ \mu\text{S}/$



cm이며 평균  $759.7 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로서 비교적 높은 편이다. 이는 조사지역이 퇴적암인 점과 지하수의 오염에 의한 것으로 보인다. 다른 원인으로는 암층내의 세립의 황철석과 균열대에 충전한 방해석광물과 지하수가 상호반응한 결과로 전해질 물질이 많이 용해되었기 때문으로 본다. 전기전도도가 높은 곳은 퇴적암 분포 지역인 도심지이다. 안산암이 분포하는 앞산 이남지역과 화강암이 분포하는 금호강 이북지역에서는  $300 \mu\text{S}/\text{cm}$  미만의 낮은 값을 보인다.

#### - 수소이온농도(pH)

본역의 수소이온농도는 6.3에서 8.1로 모두 음용수 기준치내에 들어감으로 아무런 문제가 없다. 조사지역내에서 약간 산성에 가까운 값을 나타내는 곳은 신천하수처리장과 산격주공 아파트단지이다. 다행히 대구지역은 균열대내에 방해석광물이 충전되어 있으므로 세립의 황철석이 존재하더라도 지하수가 이들 성분과 서로 반응하여 대부분의 수소이온농도가 중성을 나타낸다.

#### 2.2.2.4 결론

전반적으로 보아 대구지역의 지하수 수질은 구성암석에 지배를 받고 있으나 인구밀집지역에서는 인위적인 오염의 영향도 받고 있는 것으로 나타났다.

1994년도 수질분석표에 의하면 음용수 부적합율이 높은 지역 즉, 지하수의 오염지역은 주로 인구밀집지역 및 공단지역으로 밝혀졌다. 1995년 수질조사에 의하면 대구지역의 지하수의 화학성분은 일부지역 즉 달성공원, 이현동, 산격동일대는 지질구성물질에 의해 주로 지배되고, 금호강 주변지대의 지하수는 공업폐수, 생활폐수 등에 의해 지하수가 오염되고 있는 것으로 나타났다.

즉 금호강과 앞산 사이의 도심지역은 구성암석인 경상계 퇴적암과 오염에 의한 영향이 동시에 나타나고 있다. 대구시 지하수를 음용화 하기 위해서는 오염방지 와 더불어 총고용물을 낮추는 방안이 검토되어야 할 것이다. 이는 대구지역의 지하수는 다른 대도시의 지하수에 비해서 불리하다는 말이 된다. 따라서 대구지역에서 인구 밀집도도 낮고 퇴적암 지대가 아닌 금호강 이북지대에서 대체용수원을 기대하는 것도 하나의 방법이 될 수 있을 것이다.

## 2.3. 대구시 지하수 오염현황

### 2.3.1 지하수 오염 특징

지하수 오염조사는 지하수의 흐름을 눈으로 관찰할 수 없기 때문에 대부분의 경우 오염원의 흐름방향을 명확하게 확인하기 어렵다. 또한 조사가 기존의 관측정을 통해 가능하기 때문에 충분한 조사를 실시하기 어렵고, 오염물질에 의한 지하수 오염행위에 대한 예측이 어렵다. 그리고, 대수층에 따라 오염정도가 다르고, 한 관측정에 대해서조차도 각 대수층의 구간별 오염을 명확히 하기 어렵다.

따라서 대구시 지하수를 오염시킬수 있는 여러가지 요인들은 크게 나누어 하수관거의 부적절한 연결부위에서 생활하수가 지하로 유입, 금호강, 신천수의 오염된 지표수가 지하대수층으로 유입, 공단폐수의 유입, 지하유류와 저장탱크에서의 기름유출, 재래식 화장실 등으로 나눌수 있다.

이와같은 지하수 오염의 특성 때문에 지하수의 오염분포를 파악하기 위해서는 음용수 기준에 의해 지하수 분석자료를 통계법에 의해 해석하였다. 본 해석법에 의한 지하수의 실태파악은 대책의 필요성을 판단하는 것과 대책의 방법 및 범위를 결정하는데 도움을 주며, 주된 오염원을 파악하기 위한 방법으로 반드시 필요하다.

2.3.2 지하수 오염현황.

본 통계법을 위한 지하수 수질 분석자료는 기존의 먹는샘물의 수질을 기준으로 하였다(Table 2.2).

Table 2.2 먹는샘물 수질기준

검 사 항 목	기 준	검 사 항 목	기 준
1. 납 (Pb)	0.05 mg/ℓ 이하	23. 톨루엔 (Toluene)	0.7 mg/ℓ 이하
2. 불소 (F)	1 mg/ℓ 이하	24. 에틸벤젠	0.3 mg/ℓ 이하
3. 비소 (As)	0.05 mg/ℓ 이하	25. 크실렌(Xylene)	0.5 mg/ℓ 이하
4. 세레늄 (Se)	0.01 mg/ℓ 이하	26. 경도 (Hardness)	300 mg/ℓ 이하
5. 수은 (Hg)	검출되어서는안됨	27. 과망간산칼륨 소비량	10 mg/ℓ 이하
6. 시안 (CN)	//	28. 냄새	이취없을것
7. 6가 크롬(Cr <sup>16</sup> )	0.05 mg/ℓ 이하	29. 맛	이미없을것
8. 암모니아질소(NH <sub>4</sub> )	0.5 mg/ℓ 이하	30. 동 (Cu)	1 mg/ℓ 이하
9. 질산성질소(NO <sub>3</sub> )	10 mg/ℓ 이하	31. 색도	5도 이하
10. 카드뮴 (Cd)	0.01 mg/ℓ 이하	32. 세제 (ABS)	0.5 mg/ℓ 이하
11. 페놀 (Phenol)	0.005mg/ℓ 이하	33. 수소이온농도 (pH)	5.8 ~ 8.5
12. 총트리할로메탄	0.1 mg/ℓ 이하	34. 아연 (Zn)	1 mg/ℓ 이하
13. 다이아지논	0.02 mg/ℓ 이하	35. 염소이온 (Cl <sup>-</sup> )	150 mg/ℓ 이하
14. 파라티온	0.06 mg/ℓ 이하	36. 증발잔류량 (TDS)	500 mg/ℓ 이하
15. 말라티온	0.25 mg/ℓ 이하	37. 철 (Fe)	0.3 mg/ℓ 이하
16. 페니트로티온	0.04 mg/ℓ 이하	38. 망간 (Mn)	0.3 mg/ℓ 이하
17. 카바릴(Varbaryl)	0.07 mg/ℓ 이하	39. 탁도	2도 이하
18.1-1-1-트리클로로에탄	0.1 mg/ℓ 이하	40. 황산이온 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	200 mg/ℓ 이하
19. 테트라클로로에틸렌	0.01 mg/ℓ 이하	41. 알루미늄 (Al)	0.2 mg/ℓ 이하
20. 트리클로로에틸렌	0.03 mg/ℓ 이하	42. 일반세균	100 /ml이하
21. 디클로로메탄	0.02 mg/ℓ 이하	43. 대장균군	음성/50ml
22. 벤젠 (Benzene)	0.01 mg/ℓ 이하		

위의 기준에 의해 총 271건의 수질분석결과를 비교하여 7개 구청별로 구분하였는 바 그 결과는 Table 2.3과 같다. 조사결과는 총 271건의 지하수 중 46%에 해당하는 124개의 지하수가 적합하였으며, 54%에 해당하는 147개의 지하수가 부적합한 것으로 나타났다.

각 구별 지하수의 적합·부적합 여부를 살펴보면, 동구가 총 21건의 지하수 시료중 57%에 해당하는 12개의 지하수가 적합하였으며, 43%에 해당하는 9개의 지

하수가 부적합으로 판정되어 7개구 중 상대적으로 가장 상태가 양호하며, 중구가 총 25개의 지하수 시료중 32%에 해당하는 8개의 지하수가 음용수로 적합하고, 68%에 해당하는 17개의 지하수가 부적합함으로 판정되어 상대적으로 지하수의 음용불가 상대분포가 높은 것으로 나타나 중구의 지하수오염의 정도가 다른 구에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

Table 2.3 대구시 각 구별 지하수 오염현황.

항목별 구별	총지하수 수질조사 건 수 (건)	합 격		불합격		항목별 부적합 건수							부적합 요인 중복 건수			
		건 수 (건)	구 성 비 (%)	건 수 (건)	구 성 비 (%)	NO <sub>3</sub> (건)	Cl <sup>-</sup> (건)	KMnO <sub>4</sub> (건)	경 도 (건)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (건)	T D S (건)	기 타 (건)	1 가 지	2 가 지	3 가 지	4 가 지
중 구	25	8	32	17	68	1	1	0	5	3	6	9	4	6	3	0
동 구	21	12	57	9	43	0	0	0	4	1	5	3	1	5	0	0
서 구	49	22	45	27	55	0	3	1	14	2	15	11	3	8	2	2
남 구	18	8	44	10	56	0	0	0	1	0	3	7	2	2	0	0
북 구	76	33	43	43	57	1	1	2	17	3	23	13	17	8	4	0
수성구	56	28	50	28	50	0	1	0	10	5	17	10	7	8	2	1
달서구	26	13	50	13	50	0	0	0	6	0	6	7	0	6	0	0
총 계	271	124	46	147	54	2	6	3	57	14	78	60	34	43	11	3

Table 2.3에서는 지하수의 오염원으로서 질산성질소(NO<sub>3</sub>), 염소(Cl<sup>-</sup>), 과망간산 칼륨(KMnO<sub>4</sub>), 경도, 황산이온(SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), 증발잔류량(TDS)의 항목들로 적합·부적합을 판정하여 통계처리에 이용하였으며, 그밖의 암모니아성질소(NH<sub>4</sub>), 수소이온농도(pH), 철(Fe), 망간(Mn)등의 항목을 기타항목으로 하나로 묶어서 통계처리 하였다.

주된 불합격의 요인은 전체 147건의 음용 부적합 지하수 중에서 78건의 뚝수분포를 갖는 TDS에 의한 부적합 판정의 비율이 가장 높게 나타나고 있다. 구별 오염원으로는 중구, 남구, 달서구에서 기타항목이 다수를 모이며, 나머지 동구, 서구, 북구, 수성구에서 TDS항목이 다수를 보이고 있다. 이는 금호강 유입의 영향도 있으나 본지역내 지하수 유동흐름의 특성상 상류지인 남구에서 하류지인 북구쪽으로 가면서 지하수 총고용물질들이 광물화 작용에 의해 점점 증가됨을 나타내는 특성을 보이고 있다.

그리고, 항목별 기준에 의해 부적합으로 판정된 경우에 대부분 2가지 이상의 항목에서 부적합으로 판정된 것이 다수이다. 단 Table 2.4에서는 기타항목을 제외하였다. 중구의 경우는 기타항목을 제외한 13가지 부적합 건수에 대하여, 1가지 항목의 부적합은 4건, 2가지 중복항목의 경우 6건, 3가지 중복항목의 경우 3건을 보이고 있다. 이와 같은 분포는 TDS와 경도의 부적합 요인이 가장 크며, 또한 3가지 이상의 항목에 중복되는 경우는 TDS와 경도에 황산이온과 염소이온이 각각 중복요인이 되고있다.

## 2.4 오염 지하수 치유 대책 및 관리방안

2.3절에서 언급한 바와 같이 대구지역 지하수 오염원인은 주로 하수도 관거 파손, 오염지표수, 공단폐수, 지하유류탱크, 재래식 화장실 등으로 구분된다. 또한 수질분석결과에 의한 지하수의 오염원으로서 질산성질소( $\text{NO}_3$ ), 염소( $\text{Cl}^-$ ), 과망산칼륨( $\text{KMnO}_4$ ), 경도, 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 증발잔류량(TDS) 등이 주원인이 되나, 그밖의 원인으로 암모니아성질소( $\text{NH}_4$ ), 수소이온농도(pH), 철(Fe), 망간(Mn)등의 항목들이 있으며, 중금속 및 농약류 등에 의한 오염은 극히 적은것으로 나타나고 있다. 분석결과에 의할 것 같으며, 대구지역 오염지하수(음용수 부적합 판정)를 치유 개선하여 음용화 하기 위해선, 공단지역 및 금호강, 신천주변을 제외한 지역에서는 공내 세척 및 소독과 고도 수처리 기술에 의해서 음용화가 가능함을 알수 있다. 이들 수처리 기술은 현재 오염지표수를 다단계 고도 정수처리를 하는 수돗물에 비하면 시설 규모나 경비면에서 경제적임을 알 수 있다. 따라서 지하수 자원을

음용화 하기 위해선 지금까지 연구결과를 토대로 하여 먼저 다음과 같은 조사사항이 선행 되어져야 한다.

- i) 대구지역 대수층의 분포 및 특성규명
- ii) 지하수의 유동경로 및 지표수의 유입, 유출지역 규명
- iii) 총량적인 의미에서 물수지균형(Water Balance) 산출
- iv) 현재 지하수 이용량 조사 및 지하수위, 수질, 정기관측자료 해석
- v) 지하수 오염원, 오염실태, 오염심도 규명
- vi) 현재 지하수 오염정도 및 음용 부적합 원인규명

등을 정밀 평가 분석한 후 오염별로 수처리 기술적용 범위를 각각 달리한 수처리 기술방법에 의해 일차 오염된 지하수 자원을 음용화 할 수 있는 제도적 장치 및 시설을 갖추어 현재 허드렛물을 사용하고 있는 대구지역 지하수 자원의 낭비를 막아야 할 것이다. 이를 위한 오염 지하수 정화 방법으로는 다음과 같은 방법이 있다(Table 2.5)

Table 2.4 오염지하수 정화 기술의 종류(정하익, 1995)

재래식 양수 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

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 버려졌

던 지하수 부존 대상인 토양과 암반층을 대상으로 오염부위를 고착시키거나 오염 확산을 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(Table 2.5)

Table 2.5 오염토양 암반 정화 기술의 종류(정하익, 1995)

실내	파괴 독소제거	소각
		탈염
		생물학적 정화
	분리회수	열적 탈착
흡세척		
용매추출		
부동화	고형화/안정화	
현장	파괴	생물학적 정화
		유리화
	분리	진공추출
		증기추출
		흡세척
	부동화	고형화/안정화
유리화		

## 2.5 결 론

### 가. 대수층의 특성 및 수문지질학적 해석

본역은 인구 250만의 공업도시로 경상계 퇴적분지의 중앙부에 위치하며 퇴적암 자체 공극률은 평균 2% 미만으로 미약한 투수계수를 나타내고 있으며, 부분적으로 발달된 충적층과 절리대, 파쇄대 및 단층대 등의 2차 공극을 통한 지하수 흐름의 특성을 나타내고 있다. 본역의 지하수위 변화율, 수위변화량-대기압 변화량과의 관계에서 크게 3가지의 대수층 분포( 피압면 대수층, 반피압면 대수층, 자유면 대수층)를 나타내고, B.E 값에서 유도된 저류계수는 양수시험 결과 얻어낸 저류계수와 비슷하여, 양수시험 이전의 경제적인 대수층 평가방법이 되고 있다. 본역내 실시된 양수시험 결과로 투수량계수(T), 저류계수(S)를, 수압시험 결과 투수계수(K)와 실유속( $V_x$ ), joint width, 유효공극률 등을 얻을 수 있었다.

측정 및 산출된 Hydrodynamic parameters에 의한 수리역학적 모델링 결과에 의하면 향후 20년 이후, 대수층 두께를 150m로 가정할때 하천수 오염원의 침투는 대구시 중심지역을 포함한 신천주변과 비산염색공단 전역의 오염이 불가피함을 보여주는데 이는 화학분석, 안정동위원소 분석결과에서 하천수 유입상태를 보다 구체적으로 볼 수 있다.

1994년 11월의 지하수 수질분석 결과에서는 1986년의 결과보다 지역적으로 오염현상이 증가됨을 볼 수 있는데( $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{KMnO}_4$ 등) 이는 수질오염의 증가와 대수층 Storage 변화에 따른 현상으로 예측된다. 각 분야별 연구분석 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

- 본 역은 금호강 하류와 신천유역에 위치하며 지형상 분지를 형성하고 있다.
- 지하수의 유동은 비교적 얇게 발달된 충적층과 퇴적암사이에 발달된 균열대와 구조대 및 석회질 퇴적암의 용해공극을 통해 흐른다.
- 대수층의 특성은 leakage 현상이 나타나며 평균투수계수는  $K=1.16 \times 10^{-6} \sim 10^{-8}$  cm/sec 정도이고, 평균 투수량계수는 15~44m'/day이며, 평균저류계수는 자유면대수층에는 0.01정도이고, 피압대수층에서는  $1 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-4}$  정도이다.
- 계절적 수위변화는 깊이 15~65m이며 본 역내 지하수 충전원은 강수와 하천



수 유입으로 대분되며, 강수에 의한 충전은 지하의 파쇄대의 분포상태와 구조적 연결상태에 따라 다르다.

0.3      0.7

- 본역내 지하수유동은 약  $\frac{0.3}{100} \sim \frac{0.7}{100}$  의 동수구배를 갖고 구조발달 방향과 수

계를 경계로 그 흐름의 방향을 달리한다.

- 지역내 지하수 수질성분은 Carbonate hardness의 Ca-(HCO<sub>3</sub>)형과, non-carbonate hardness의 Cl형의 성분을 보여주고 있어 담수에 의한 성인적 특성을 나타내고 있다. 용존성분당량(epm)의 대소관계는 양이온에서는 Ca<sup>++</sup>>Mg<sup>++</sup>>Na<sup>+</sup>>K<sup>+</sup>과 음이온은 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>Cl<sup>-</sup>로 나타나고 있다.
- 본 역내 지하수에서 Cl양이 70~196ppm으로 높은 것은 본역의 지하수가 고지하수체로서 비교적 유동기간이 오랜 것에 기인됨을 알 수 있고, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 양이 300~447ppm 정도로 높은 이유는 경상계퇴적암의 특성인 암회질 성분의 함량이 많은 이유 때문이다.
- 본 역내 지하수 충전지역에서의 Ca<sup>++</sup>: Mg<sup>++</sup>비는 6.2:1로서 Ca<sup>++</sup>이온이 우세하나 금호강 쪽 하부로 내려가면서 2.3:1의 비로 낮아짐은 Ca<sup>++</sup>이온의 감소에 비해 Mg<sup>++</sup>함량이 증가됨을 말해준다.
- 수리전도도는 상류지역에서는 270~420μmohs/cm 정도로 낮은편이나 하부로 갈수록 증가하여 600~2000μmohs/cm 이상 증가되었음을 알 수 있다.
- pH값은 77년도 측정치가 7.0~7.7정도이고 84년도는 7.1~8.4로서 77년도에 비해 상승하고 있으며, 본역 남부에서는 8.0~8.6의 알칼리성을 보이거나 중앙부와 북부쪽으로 하류로 내려가면서 7.2~7.9의 약 알카리성을 띠는데 이는 생활폐수 및 공장폐수의 오염물에서 생성된 탄산가스의 용해에 의한 것으로 볼 수 있다.

- 본 역내 지하수충진 요인은 대체로 3가지의 잠재 충전요소가 있는데 그중 하나는 강수에 의한 국부적인 침투와 신천, 금호강으로 부터의 지표수 침투 및 남부 산록지역으로 부터 유출되는 빗물에 의한 침투등으로 구분된다.

#### 나. 문제점

본 연구의 결론적인 문제점은 지하수원의 오염문제로 비싼 경비로 개발된 지하수원이 양질의 식수원으로 사용되기 보다는 세척용, 세차용, 공업용수 기타 등으로 사용되고 그 정량적인 평가가 이루어지지 않은 상태에서 무절제한 지하수원이 채수되고 있어 그 오염 확장이 촉진되고 있다는게 실정이다.

대구시는 하천수 오염방지 대책으로 신천 오수격리 시설을 신천 주변에다 이미 건설했으며, 신천바닥을 준설, 유속을 보다 빨리 배출시켜서 신천수의 정화에 공헌한 바 있다. 그러나 이 건설사업 결과에서 일어난 지하수위 강하는 신천 유입수의 감소로 인해 현재 지하철 공사현장 지질조사 시추공에서 나타나는 지하수위 심도는 5-10m이상 수위 강하폭을 보이고 있다. 이 지하수위 강하에 따라 주택지 내 분포하는 하수 및 생활폐수가 파손된 하수관거를 통해 대수층으로 스며들어 오염의 깊이가 날로 더해지고 있음을 알수 있다. 이는 지하수의 요구는 계속 증가하고 있으나, 자연적인 빗물의 대수층으로 유입되는 양은 도로포장, 건물확장 등의 이유로, 많은 강우량이 하천으로 직접 유출되어 결국 지하수로 유입되는 양은 감소되고, 그동안 신천 혹은 금호강으로부터 유입되었던 하천수(비록 오염되어 있으나)의 유입 또한 감소됨에 따라 대구시 전역의 지하수위가 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 이러한 지하수 환경변화의 급변에 따른 21세기 지하수 관리상의 문제점으로는

- 첫째, 2000년대 인류는 삶의 질이 높아지고 주거환경의 개선으로 보다 맑은 물을 기대하고 건강한 삶을 유지하기 위해 천연자원에 대한 기대가 선진국 수준(지하수 음용화 의존도 60~90%)에 올라가 지하수에 대한 의존도가 급증할 것임.
- 둘째, 천재지변, 비상사태, 핵사고(예:체르노빌 핵사고), 낙동강 페놀사건 등으로 인해 지표 상수원의 오염이 2~3개월간 지속되고 지구온난화 현상으로 예상될 지속적인 가뭄 및 홍수시에 250만 대구시민에게 공급할 비상식수대책에 많은

문제점이 있다. 현재 오염예상지점에 분포하고 있는 비상급수시설은 비상사태시 그 역할을 제대로 할 수 있는지?

셋째, 지하수위의 지속적인 하강은 지반침하(예:방콕, 베니스, 영국 국회의사당)를 야기하여 기존 건물에 영향을 줄 수 있다. 또한 대수층의 특성상 남부지역에 분포하는 반야월층내에 발달된 Calcareous 한 지층의 용해공극이 지층 압력의 영향으로 수축 또는 미세한 침하현상을 일으키면 대수층의 저수능력이 격감되어 앞으로 시도될 인공 빗물함양에 의해서도 대수층의 수위 회복이 불가능하게 됨.

위와 같은 예에서도 보는 바와 같이, 현재 대구지역 지하수 문제는 심각한 상태에 놓여 있음에도 불구하고, 전문적인 수문지질학적 환경영향평가 없이 각종 공사가 이루어지고 있다. 일례로 신천유지수 확보를 위해 대구지역 남쪽(가창일대)에 다 10개 시추공을 굴착하여 1일에 8,000~10,000톤 지하수를 개발, 신천상류로 방류한다는 계획(92. 2월 동아일보기사)은 지하수 자원의 보존 측면에서 뿐만 아니라 활용 측면으로도 지하수 자원의 원천적인 가치와 상반된 문제점을 안고 있다.

#### 다. 치유 및 보존대책

본조사 결과에서 밝힌 바와 같이 지하수원의 오염으로 인한 황폐화가 예상밖으로 상당부분 대구시 중심부까지 진행되어 있고, 이에 따른 양질의 지하수원 공급은 기대에 전혀 미치지 못할 만큼 질적, 양적으로 퇴보하고 있다. 불과 10 수년 전 까지만 해도 음용 가능지역이 현재에 와서는 화장실용으로 사용되거나 세차용으로 사용되어 엄청난 개발비와 지하수원의 원천적인 값어치에 비해 그 사용도나 사용 효과면에서 기대밖에 있는 실정이며, 그 양조차 제한되어 있는 현실이다. 이런 제반 문제점 해결을 위해서는 보다 지속적이고 정기적인 관측이 병행된 과학적이고 체계적인 수문지질학적 조사 평가가 이루어져야 하며, 이를 총괄, 관리할 수 있는 자료전산망을 국가연구기간, 대학 등에 설치해야 한다. 정량적인 3차원적 오염원 침투경로를 규명하고 오염지하수의 치유 및 개선을 위해선 다음과 같은 사업수행 및 개선대책을 제시한다.

- 1) 지하수 유동 모델링을 위한 정기적인 지하수 관측(지하수위, 사용량, pH, 전기전도도, 온도측정...)
- 2) 적정양수량과 지하수원 부존량 평가를 위한 기존 시추공 제원의 전산화
- 3) 본 연구에서 평가 분석된 각 지역에 대한 보다 정확하고 실제적인 수리상수를 얻기위한 양수시험 및 수압시험 실시.
- 4) 본 역 대수층의 수직 및 수평적 오염확산 상태 규명을 위한 심도별 시료채취 분석, 물리화학적 조사, 지구물리검층(Logging)등의 실시.
- 5) 지하수의 음료가능 여부 판단을 위한 생물학적 (박테리아), 생태학적 연구.
- 6) 3차원 수리역학 모델링을 위해 대수층별(multi-layer) 수리역학적 특성연구
- 7) 대수층내에서 확산되는 오염원의 이동상태 시뮬레이션 결과에 의한 지하수 오염 경보 시스템 운영.
- 8) 지하수 개발 및 사용을 단순한 용수로서 취급할 것이 아니라 미래 국민들의 건강과 생명을 지키는 비상 식수원, 전략자원 차원에서 지하수원을 개발 보존 할 수 있는 지하수 보존대책 수립.
- 9) 오염원별, 오염상태별 지하수의 수처리 시설 설치와 오염토양 및 오염암반을 정화 및 치유할 수 있는 선진기술 도입 추진
- 10) 지하수원의 효율적인 개발 보존 및 평가를 위해 지하수법에 의거, 일괄적인 자료분석 처리 및 지하수 관계자료 전산화 시스템(Database) 구축.
- 11) 인구 밀집지역, 공업지역 지하수 자원에 대해 식수원으로 사용가능한지의 판단을 위한 총체적인 조사 평가를 국가 연구기관에서 지속적으로 연구, 관리한다.
- 12) 효율적인 지하수원 관리를 위해 정부 각 부처 즉, 내무부, 건설교통부, 환경부, 통산산업부, 과학기술처, 보건복지부등의 관련 부서간의 상호협력하에 지하수 자료를 일괄 처리 할 수 있는 시스템을 국가연구기관에 설치, 운영한다.