

## 경기도 용인시 일대 천부 지하수의 수질특성 연구

# A Groundwater Quality Assessment of the Shallow Aquifers in the Rural Area of Yongin

우남칠(Nam-C. Woo)\* · 최미정(Mi-J. Choi)\* · 정성욱(Sung-W. Cheong)\*  
· 이승구(Seng-G. Lee)\*\*

**요 약 :** 본 연구는 수도권 인근에 위치하며 잠재오염원이 비교적 많이 분포하는 용인시 인근지역에서 생활용수로 사용되는 천부 지하수의 수질과 오염특성, 그리고 이들의 계절적 변화를 규명하고자, 봄(4월 말)과 가을(9월 말)의 2차에 걸친 지하수조사에서 각각 19개의 관정으로부터 지하수 시료를 채취하고, 잠재오염원 근처의 지표수 시료 6개를 채취하여 분석하였다. 천부 지하수의 주 양이온은 Ca, Mg이고, 주 음이온은 1차 조사시에는 Cl의 영향이 크게 나타났으며, 2차 조사에서는 HCO<sub>3</sub>이었다. 전기전도도 및 질산성 질소의 농도는 1차조사시에 비하여 2차 조사시 크게 낮아졌다. 주성분에 의한 지하수 유형의 변화, 전기전도도 및 질산성 질소의 농도변화 등은 천부 지하수의 수질에서 계절적 변화가 나타남을 보여준다. 지하수에서 지속적으로 방간이 먹는물 기준치의 약 10배에 해당하는 농도로 나타남은, 하천 인근에 위치하여 하상퇴적물과 지하수의 대수층이 연결되어 있는 경우, 퇴적물에 흡착, 침전되어 있는 중금속원소들이 지하수로 유입될 수 있음을 의미한다. 지표 오염물질은 봄철의 spring melt 현상이 일어날 때 지하수의 충전과 함께 유입되는 특성을 보인다.

**Abstract :** This study was carried out evaluate to identify water quality and contamination characteristics of the shallow groundwater, and their seasonal variation in the rural area of the Yongin city. Groundwater samples were collected two times (in April and September) from a total of 19 wells for domestic water supply, and surface-water samples from six locations. For cations, Ca and Mg predominated. In anion composition, the influence of Cl was obvious in the april samples. However, HCO<sub>3</sub> was a major component in the september samples. Electric conductivities and the concentrations of NO<sub>3</sub>-N in groundwater samples significantly decreased from the april samples to the september samples. This indicates a significant seasonal variation in the shallow groundwater composition. When the shallow aquifer is connected to the surface water, then metals sorbed on the stream sediments could occur at nearby wells through the induced recharge. Contaminants at ground surface appeared to be transported to the groundwater system by infiltration during the spring melt.

### 연구 배경

오늘날 환경오염문제는 유엔환경개발회의 등 범세계적 중요 이슈가 되고 있으며, 국내에서도 매립지 등의 오염원으로부터 누출된 침출수에 의한 지표수·지하수의 오염이 가시화 되면서, 대체용수원으로서의 지하수자원에 대한 관심이 급증되고 있다. 이러한 지하수에 대한 관심과 우려는 지하수법, 먹는물관리법 등에 의한 지하수 수질평가 기준의 강화로 나타나게 되었다. 특히 수도권 인근 지역에서는 공장과 골프장 등이 밀집되어 있어 지하수의 잠재오염원으로 작용하고 있으며, 주변의 도시에서 흘러나오는 생활폐수와 인근 농촌 지역의 축사에서 유입되는 축산폐수 등은 지하수 내에 질산성 질소의 농도를 증가시켜, 유아들에게 청색증을 유발할 수도 있다(Maxcy, 1950). 이러한 질산성 질소는 일반적으로 축산폐수, 농가의 생활 하폐

수, 질소비료 등으로부터 생성되어 지하로 충전되는 지표수를 따라 지하수환경으로 유입되며(윤정수, 박상은, 1994), 이 과정에서 비반응성 용질로 토양 매질에 흡착하지 않아 그 이동성이 크다(Freeze and Cherry 1979). 그러므로 일단 질산성 질소에 의하여 오염된 지하수는 지하수 자체의 유동에 따라서 이 오염물질의 확산이 우려된다. 따라서, 본 연구는 수도권 인근에 위치하는 지역에서 주로 생활용수로 사용되는 천부 지하수의 수질과 오염특성, 그리고 이들의 계절적 변화를 규명하고자 수행되었다.

연구지역은 경기도 용인시, 기흥읍, 남사면, 평택시, 오산시, 화성군 일대로 서쪽의 오산천에서 동쪽과 남쪽은 용인시를 좌측으로 끼고 흐르는 진위천까지의 영역이다(Figure 1). 본 지역의 지질은 크게 선캠브리아기의 변성암류와 이를 관입한 화강편마암, 그리고 이보다 후기인 화성관입암류로 대별되는데 선캠브리아기의 변성암체가 본 지역의 대부분을 점유한다. 선캠브리아기의 변성암체는 높은 변성도를 야기한 장기간의 광역 변성 작용을 받고 지질구조가 심히 교란되어 있으며 또한 화성활동 역시 몇 차례 가해져 암석 성분상으로도 많은 변화를

\* 연세대학교 이과대학 지구시스템과학과(Department of Earth System Sciences, College of Sciences, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea)

\*\* 한국자원연구소 지구환경연구부(Earth Environmental Division, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Taejon 305-350, Korea)

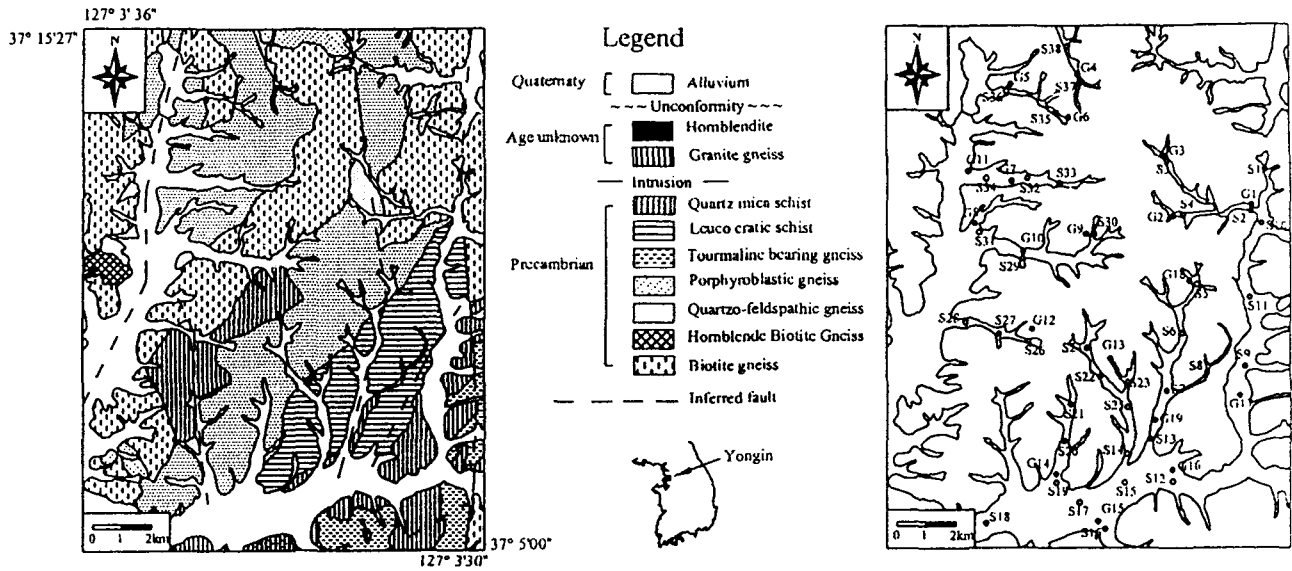


Figure 1. Geologic map of the study area and the sampling locations for groundwater and surface water.

가져온 것으로 보인다(오인섭, 박석환, 1973; 오인섭, 윤운영, 1972). 주로 나타나는 암상은 흑운모 편마암, 반상변정편마암, 규장편마암, 우백색편암, 석영운모편암, 화강편마암 등이다. 본 지역은 남측과 서측의 경계부에 광범위한 충적층이 발달되어 있고, 수도권 지역으로 많은 골프장이 개발되어 있으며, 축사 및 공장 등의 지하수 잠재오염이 비교적 많이 분포한다.

### 시료 채취 및 분석

본 지역의 지하수 수질과 오염도 조사를 위해 봄(4월 말)과 가을(9월 말)의 2차에 걸쳐 현장조사를 실시하였으며, 19개의 가정용 천부 관정으로부터 지하수 시료를 채취하였고, 지하수와 인접한 지표수 및 공장 내지 축사 등의 잠재오염원 근처의 지표수 시료 6개를 채취하여 분석하였다. 또한 이와는 별개로 2차 조사시 지표수의 현장 수질변화를 파악하기 위해 하천을 따라 일정 간격으로 31개의 지점에서 수온, pH, 전기전도도(EC), 산화환원전위(ORP) 등의 현장 수질요소를 측정하였다. 지하수 시료는 생활용 지하수를 주 대상으로 하였으므로 가정용 천부 관정으로부터 약 10분 정도 양수하여 수온이 일정해진 다음 시료를 채취하였다.

채취된 시료는 현장에서 다중요소 검침을 장착한 Hydrolab Mini Sonde를 이용하여 수온, pH, EC, ORP를 측정하였고, 0.01N-HCl을 이용한 적정법으로 알칼리도를 측정하였다. 실내 분석을 위해 500 ml의 시료를 0.45 µm 멤브레인 여과지로 여과한 후 폴리에틸렌 시료병에 채취하였다. 채취된 시료 중 양이온 분석을 위한 시료는 농질산을 첨가하여 pH 2 이하로 보존하였고, 음이온 분석을 위한 시료는 4°C 이하로 냉장보관 하였다. 주 음이온(F, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>)은 연세대학교에서 이온 크로마토그래피를 이용하여, 주 양이온(Na, Ca, Mg, Si, K) 및 미량 중금속(Cu, Zn, Pb, Mn, Fe)은 전략광물자원연구센터의 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spec-

trometry)를 이용하여 분석하였다. 화학분석 결과는 수질변화를 해석하기 위하여 Piper diagram으로 도시하였고, 수중 이온종의 분포를 해석하기 위하여 평형상태에서의 이온종 분포계산 프로그램인 PHREEQC(Parkhurst, 1995)를 사용하였다.

### 지하수질의 특성과 변화

전반적인 지표수와 지하수의 현장 수질요소는 Table 1과 같다. 1차 조사시의 자료와 2차 조사시의 자료를 각각 비교해 보면 2차 조사 결과가 전반적으로 온도는 평균 14°C에서 19.2°C로, pH는 평균 5.99에서 6.58로 각각 높게 나타났는데 이는 시료채취 시기의 차이로 인한 결과이다. 또한 지표수 시료보다 지하수 시료에서 EC 값이 크게 나타나는데 이는 지하수의 이동 경로 상에서 물과 지질매체와의 지하화학적 반응에 의해 용존 이온이 증가 때문이다. 또한 지하수의 경우는 전 시료에서 2차 조사시에 1차 조사시보다 EC 값이 낮게 나타났으며, 양적으로는 평균 144 µS/cm 감소하였다(Figure 2). 이는 계절적으

Table 1. Field water quality parameters of the surface- and groundwater samples

		T (°C)	pH	EC (µS/cm)	ORP (mv)
April groundwater	Min.	11.94	5.27	188	365
	Max.	16.00	6.79	958	436
	Avg.	14.06	5.99	329	399
September groundwater	Min.	15.71	5.80	78	326
	Max.	23.52	7.65	255	437
	Avg.	19.22	6.58	146	390
Stream water	Min.	15.71	6.51	36	234
	Max.	24.76	8.43	584	399
	Avg.	21.35	7.32	152	337

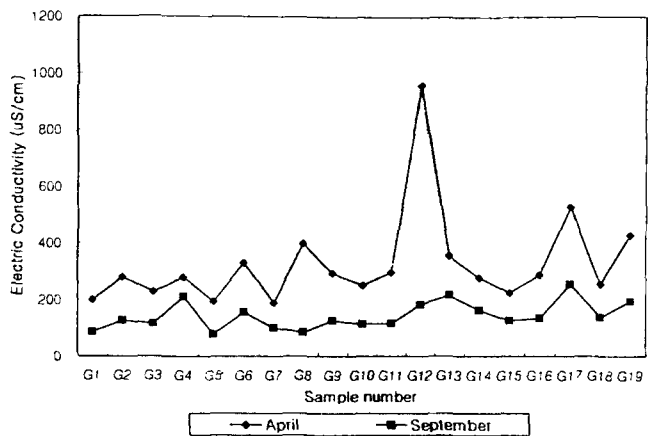


Figure 2. Variations in electrical conductivities in the april and the september survey.

로 비교적 지하수의 사용이 적은 겨울동안에 물의 사용량이 증가하는 다른 계절보다는 상대적으로 지하수의 물-암석간의 반응기간이 길어지고, 결과적으로 지하수내 용존 이온의 함량이 증가되어 나타난 것으로 평가된다.

주 양이온과 음이온의 성분을 이용하여 지하수의 전반적인 배경수질을 파악하고자 도시한 Piper diagram에서는, 2차 조사시에 비교하여 1차 조사시 상대적으로 다양한 성분구성을 보인다(Figure 3). 주 양이온은 (Ca+Mg)로 1, 2차조사의 결과가 유사하나, 음이온의 구성에서 1차 조사에서는 지표 물질의 유입을 의미하는 Cl의 영향이 비교적 강하게 나타나며, 2차 조사에서는 상대적으로 HCO<sub>3</sub>가 강하게 나타난다. 이는 겨울철 동안 지표에 쌓였던 눈이 녹아 지하수로 충전되면서 지표의 다양한 물질들이 함께 지하수로 침투되어 나타나는 현상으로 해석된다. 여름 장마와 가뭄이 지난 후에 채취된 2차 조사의 시료에서는, 지하수의 지속적인 사용과 더불어 대수층으로 충전

되는 물이 관정 주변의 지표에서 충전되기 보다는 대수층을 통하여 함양지역으로부터 이동되어 유출되는 물로서, 지표의 영향을 비교적 배제될 수 있었던 것으로 생각된다.

이와 같은 배경수질의 변화양상은 각각의 수질분석 결과를 SAS 통계프로그램(version 6.12)을 사용하여 주성분분석(Principle Component Analysis)하였을 때 더욱 명확히 나타났다. 1차 및 2차 수질분석 결과에서 각기 3개의 주요 원소조합을 추출한 결과를 Table 2(a), (b)에 표시하였다. 1차 시료에서는 3개 원소조합들이 전체의 약 82%를 설명하고 있으며, 2차 시료에서는 약 76%를 설명하고 있다. 구체적으로, 1차 조사에서는 첫 번째 주요한 원소조합으로 양이온의 (Na, K, Ca) 군집과 음이온의 (F, Cl, SO<sub>4</sub>) 군집이 조합을 이루어 전체의 약 50%를 차지하며, 두 번째 조합으로는 양이온의 Mg와 음이온의 HCO<sub>3</sub>가 조합을 이루어 약 24.4%의 자료에서 주 구성원소로 표현된다. 세 번째 조합에서는 질산성질소가 독립적으로 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 2차 조사에서는, 첫 번째 주요한 원소조합으로 양이온의 (Ca, Mg) 군집과 음이온의 HCO<sub>3</sub>가 조합을 이루어 전체의 35.2%를 설명하며, 두 번째 조합으로는 양이온의 (Na, K) 조합과 음이온의 Cl이 조합을 이루어 28.4%의 자료에서 주 구성원소로 표현된다. 1차 조사시와는 달리 질산성질소가 두 번째 조합에서 영향을 미치는 것으로 나타났다. 세 번째 조합에서는 양이온의 Ca와 음이온의 (F, SO<sub>4</sub>) 조합이 약 12%의 자료에서 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 주성분분석의 결과는 1차와 2차 조사시기의 지하수의 배경수질에서 주요 원소조합이 변화하였음을 보여주며, 결과적으로 계절적인 지하수 수질의 변화를 의미하는 것으로 사료된다.

지하수에서 주로 일어나는 반응은 반응결과로 나타나는 그 구성원소로부터 추정할 수 있다. Hounslow(1995)는 용존이온 중의 중탄산이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)과 규산(SiO<sub>2</sub>)의 함량비가 10 이상일 때에는 주로 탄산염암의 풍화가 주된 반응이고, 5 이하인 경

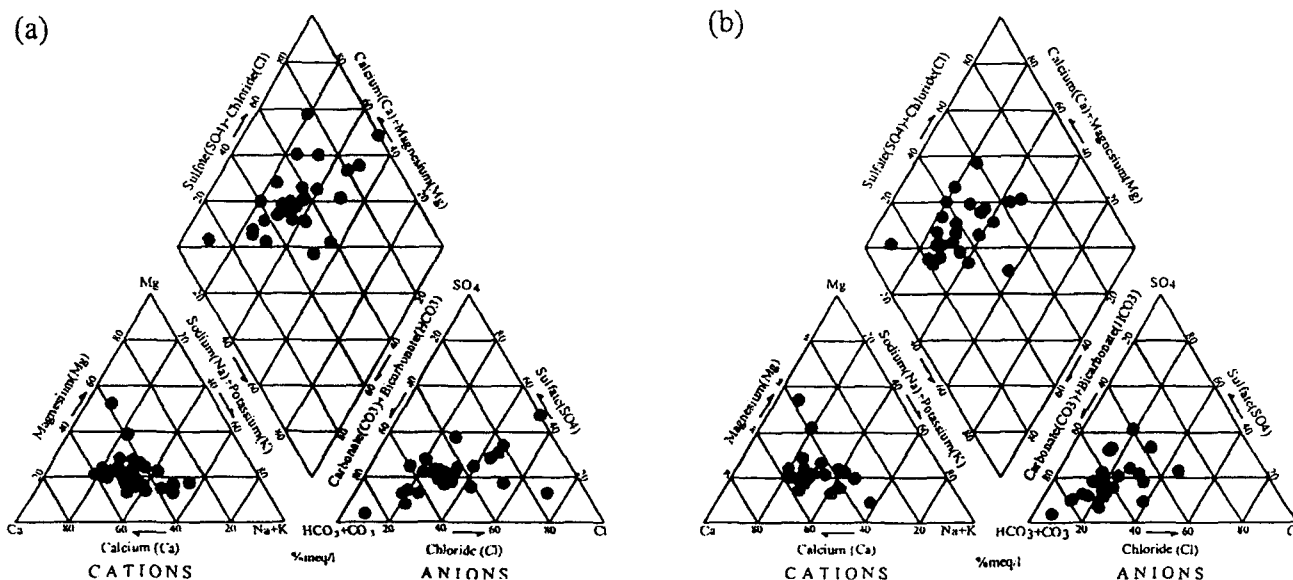


Figure 3. Piper diagram for the groundwater samples in (a) the april, and (b) the september survey.

**Table 2.** PCA results for the april samples

(a)

Eigenvalues of the Correlation Matrix				
Component	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
PRIN1	6.46189	3.28382	0.497068	0.497068
PRIN2	3.17806	2.11048	0.244466	0.741535
PRIN3	1.06758	-	0.082122	0.823656

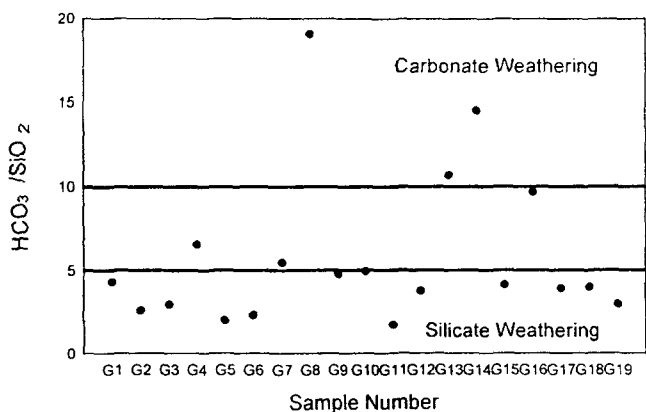
Eigenvectors			
Element	PRIN1	PRIN2	PRIN3
Na	0.364532	-0.143629	-0.159815
Mg	0.215351	0.413307	0.040938
Ca	0.345146	0.085800	-0.266684
K	0.308735	-0.143112	0.189942
F	0.342592	-0.100565	-0.057088
Cl	0.369813	-0.105582	-0.083802
SO <sub>4</sub>	0.307972	-0.182554	-0.224992
HCO <sub>3</sub>	0.071277	0.524436	-0.173492
NO <sub>3</sub> -N	0.196854	-0.274335	0.583986

(b)

Eigenvalues of the Correlation Matrix				
Component	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
PRIN1	4.58010	0.89040	0.352351	0.352351
PRIN2	3.68970	2.13712	0.283823	0.636139
PRIN3	1.55258	-	0.119430	0.755568

Eigenvectors			
Element	PRIN1	PRIN2	PRIN3
Na	0.277267	0.380288	0.026139
Mg	0.329593	-0.285249	-0.002697
Ca	0.388221	-0.043635	0.355498
K	0.190232	0.394312	-0.095875
F	0.195511	-0.259980	0.377174
Cl	0.276276	0.305611	-0.112141
SO <sub>4</sub>	0.163731	0.331131	0.381806
HCO <sub>3</sub>	0.313218	-0.324057	0.031826
NO <sub>3</sub> -N	0.081994	0.286472	-0.052231



**Figure 4.** HCO<sub>3</sub> vs. SiO<sub>2</sub> plots of the groundwater samples.

우에는 규산염광물의 풍화가 주된 반응임을 제시하였다. 본 연구시료의 분석결과, 총 19개 시료 중 13개(68.4%) 시료에서 규산염광물의 풍화가 중요한 것으로 나타났으며, 3개(15.8%) 시료에서 탄산염 광물의 풍화가 중요한 반응으로 나타났다(Figure 4). 따라서 본 지역 천부 지하수의 용존이온을 생성하고 배경수질을 결정하는 주된 물-지질매체간의 반응은 주로 규산염광물의 풍화임을 알 수 있다. G8, G13, G14 지점 등 부분적으로는 탄산염의 풍화가 우세한 것으로 나타나는데, 이는 기반암 내에 국부적으로 존재하는 방해석 세맥이 용해된 결과로 해석된다.

### 지하수의 오염특성

본 연구에서는 지하수 오염에 관련된 요소로 지하수에 흔히 함유되는 중금속원소인 Fe, Mn, Cu, Zn, Pb와 음이온 NO<sub>3</sub>를 분석하여, 현재 국내의 먹는물 수질기준과 비교하였다(Table 3). 이들 원소들의 먹는 물로서의 수질기준은 각각 0.30, 0.30, 0.30, 1.00, 0.05 및 10.00(NO<sub>3</sub>-N 기준) mg/l 이다. 상기한 중금속원소들에 대한 오염도평가에서는 거의 모든 지료가 수질기준치 이하의 농도로서 특별한 오염현상을 보이지 않는다.

다만, 1차 조사시 G15 지점에서 Mn이 2.89 mg/l로 기준치에 비하여 약 10배 높게 나타났으며, 2차 조사에서도 역시 같은 지점에서 2.76 mg/l로 약 9배 높게 나타났다. 망간은 지하수에서 철(Fe)과 함께 대표적인 산화-환원반응에 의하여 조절되는 원소이다(Forstner and Wittmann, 1983). 지하수 중의 Mn 농도가 1.0 mg/l 이상의 농도로 산출된 경우는, 하상퇴적물이 산화망간이 피복된 사력질 매질을 포함하고 있을 때, 이러한 하천에 인접한 관정에서 지하수를 채수하는 경우에 나타나날 수 있음이 보고된 바 있다(Hem, 1992). 본 연구에서도 G15 지점은 진위천의 하류지역에 충적층이 넓게 분포하고 있는 지역에 위치하고 있으므로, 상기한 바와 같이 지하수 채수 시 충적층을 통하여 하천수가 지하수계로 유입되면서 Mn도 함께 유입되어 부화된 것으로 사료된다. PHREEQC 프로그램을 사용한 용존이온의 분포에서는 Hausmannite(Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), Manganite(MnOOH), Pyrochroite(Mn(OH)<sub>2</sub>), Pyrolusite(MnO<sub>2</sub>), Rhodochrosite(MnCO<sub>3</sub>) 등의 광물상에 대하여 Mn이 불포화상태로 존재함을 알 수 있다.

철 성분은 2차 조사시에 추가된 지표수 시료 S26, S28, S34에서 0.63, 0.31, 0.38 mg/l의 농도로 수질기준의 1에서 2배 정도로 높게 나타난다. 대체로 철 농도가 0.2 mg/l 이상이 되면 그러한 물은 음용수나 대부분의 산업용수로도 사용이 적합하지 않다(Leeden et al., 1990). 이들 철 성분은, 인근 지하수 시료인 G7, G11, G12 시료에서는 그 농도가 0.04 mg/l 이하인 것으로 보아, 상류지역에 위치하는 공장들에서 배출되는 폐수가 하천에 유입되어 나타나는 것으로 사료된다.

본 연구에서 나타난 주요 지하수 오염물질은 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)였다. 천부 지하수에서 흔히 나타나는 오염물질인 질산성 질소는, 1차 조사에서 총 19개 시료 중 8개(42%) 시료에서 먹는물 기준치인 10 mg/l를 초과하였으며, 2차 조사에서는 3개(16%) 시료만이 초과한 것으로 나타났다. 또한 Madison et

Table 3. Concentrations of metal ions and NO<sub>3</sub>-N of the april and the september samples.

(unit : mg/L)

Sample name	Fe		Mn		Cu		Zn		Pb		NO <sub>3</sub> -N	
Drinking water standard	0.300		0.300		0.300		1.000		0.050		10.000	
sample	April	September	April	September	April	September	April	September	April	September	April	September
G1	0.019	0.300	-	0.006	0.004	0.001	0.009	0.007	-	0.001	5.354	2.972
G2	0.004	-	-	0.015	0.006	0.000	0.040	0.063	-	0.001	16.186	6.449
G3	0.008	0.025	0.003	0.005	0.006	0.005	0.049	0.019	-	0.000	5.702	6.813
G4	0.003	0.009	-	0.008	0.010	0.002	0.131	0.193	-	0.001	3.511	0.849
G5	0.011	0.051	-	0.014	0.006	0.003	0.054	0.020	-	0.004	11.256	5.559
G6	0.016	0.002	-	0.005	0.005	-	0.040	0.046	-	0.003	20.187	14.257
G7	0.001	-	-	0.009	0.004	0.000	0.063	0.087	-	-	9.608	3.523
G8	0.020	-	-	0.005	0.004	-	0.036	0.013	-	-	14.429	1.224
G9	0.002	-	-	0.007	0.006	-	0.009	0.009	-	-	2.739	1.434
G10	0.006	-	-	0.008	0.006	0.000	0.007	0.004	-	-	7.689	4.051
G11	0.015	0.045	-	0.005	0.003	0.002	0.014	0.001	-	-	21.542	8.971
G12	0.008	0.013	-	-	-	0.007	0.028	0.029	0.006	0.003	22.106	2.506
G13	0.004	-	0.002	0.076	-	0.004	0.034	0.118	0.002	0.000	0.481	0.000
G14	0.044	0.052	-	0.003	-	0.005	0.075	0.075	-	0.000	1.242	2.245
G15	0.117	0.117	2.886	2.762	0.003	0.004	0.130	0.062	-	-	0.745	0.273
G16	0.017	0.004	0.006	-	0.004	0.007	0.017	-	-	-	4.832	1.301
G17	0.015	0.003	-	0.002	0.004	0.005	0.018	-	-	-	12.329	12.799
G18	0.003	-	-	-	0.004	0.007	0.044	0.066	-	-	9.868	7.844
G19	0.012	0.001	-	-	0.003	0.005	0.011	-	-	0.000	14.623	10.148
S11												0.443
S16												0.948
S23		0.017		0.077		0.005		0.011		-		2.572
S25		0.023		0.119		0.005		-		-		0.625
S26		0.627		0.397		0.004		-		-		0.152
S28		0.305		0.150		0.007		0.034		-		1.222
S32		0.017		0.004		0.009		-		-		0.431
S34		0.381		0.004		0.163		-		0.001		0.470

-: Below Detection Limit

al.(1985)이 제시한 인위적 오염물질의 유입가능성을 지시하는 농도인 3 mg/l를 초과하는 시료는 1차 시료에서는 79%인 15개 시료에서 초과하였으며, 2차 시료에서는 53%인 10개 시료에서 초과하였다. 즉 이들 지역에서는 지표로부터 질산성 질소를 생성할 수 있는 오염물질이 지속적으로 지하수로 유입되고 있음을 보여준다.

이 연구에서는 주로 지하수 시료가 채취된 관정들이 농촌지역의 생활용으로 사용되는 소형관정으로 대부분이 농가의 마당 한 구석에 설치되어 있었기 때문에, 질산성 질소에 의한 지하수의 오염은 축산폐수나 질소비료에 의한 영향보다는 농가의 생활 하폐수가 주 오염원으로 사료된다.

또한 채취된 총 19개 시료 중 16개(84%) 시료에서 1차 조사보다 2차 조사에서 질산성 질소의 농도가 감소하였으며, 농도가 상승한 지점은 단지 3개에 불과하였다(Figure 5). 감소한 평균농도는 약 4.9 mg/l 였다. 이와 같은 질산성 질소 농도의 감소는, i) 지하수 사용량의 증가로 기존에 유입된 오염물질이 배출되어 잔류 오염물질이 감소하였거나, ii) 더 이상 오염물질의 지하수로의 유입이 감소 또는 정지하였거나, 또는 iii) 대수층을 통하여 다른 지역에서 유동되어 온 오염되지 않은 지하수에 의하여 오염원 주변지역에서 유입된 부분이 희석되었거나,

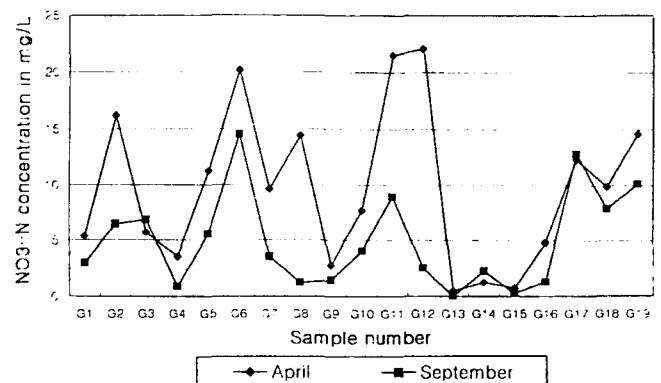


Figure 5. Variation in NO<sub>3</sub>-N concentrations in the april and the september survey.

나, iv) 이러한 현상들이 복합적으로 발생하였을 가능성이 있다. 결과적으로 1차 조사시에는 주로 관정 주변의 지표면으로부터 지하로 수직적인 침투와 충전현상이 관정에서 공급되는 지하수질에 영향을 미쳤으나, 2차 조사에서는 상대적으로 대수층을 따라서 횡적인 지하수의 유동이 주로 취수정의 지하수질

에 영향을 미치고 있음을 의미한다.

### 결론 및 제언

연구지역 천부 지하수의 수질은 주 양이온이 Ca, Mg이고, 1차 조사시에는 음이온에서 지표물질의 유입가능성을 지시하는 Cl의 영향이 비교적 크게 나타나며, 2차 조사에서는 주음이온이 HCO<sub>3</sub>로 구성된다. 이러한 지하수의 주성분에 의한 유형의 변화, 전기전도도 및 질산성 질소의 농도변화 등은 천부 지하수의 수질에서 계절적 변화가 나타남을 보여준다.

지하수에서 지속적으로 땅간이 먹는물 기준치의 약 10배에 해당하는 농도로 나타남은, 하천 인근에 위치하여 하상퇴적물과 지하수의 대수층이 연결되어 있는 경우, 퇴적물에 흡착, 침전되어 있는 중금속원소들이 지하수로 유입될 수 있음을 의미한다. 이는 현재 국내 몇 지역에서 타당성 조사를 진행하고 있는 상수원으로서의 강변여과수의 개발에서도 그 위치와 하상퇴적물의 오염도, 그리고 퇴적물에 고착되어 있던 중금속원소들의 유입가능성에 대한 정밀조사가 필요함을 지시한다.

천부 지하수에서 지표 오염물질은 봄철의 spring melt 현상이 일어날 때 지하수의 충전현상과 함께 유입된다. 따라서 천부 관정으로부터 취수하는 지하수에 음용수와 생활용수를 의존하는 우리 나라의 수많은 농어촌 지역의 관정들에서는 이러한 계절적인 특성을 인식하고 봄철에는 특히 관정 주변의 오염물질 유입에 주의하여야 할 것이다.

### 사 사

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가 연구개발사업

의 하나인 자연재해방재기술 개발사업으로 수행된 것이다.

### 참고문헌

- 오인섭, 박석환. 1973. 국립지질광물연구소-오산 지질도(1:50,000).  
 오인섭, 윤운영. 1972. 국립지질조사소-수원 지질도(1:50,000).  
 윤정수, 박상운. 1994. 제주도 지하수의 개발현황과 지역별 수위 및 수질변화 특성, 제주도연구, 11, p.175-232.  
 Forstner, U. and Wittmann, G. T. W., 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, New York, 486p.  
 Freeze, R. A. and Cherry J. A., 1979. Groundwater. Prentice Hall, 413p.  
 Hem, J. D., 1992. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. USGS Water-Supply Paper 2254, 3rd ed., 263p.  
 Hounslow, A. W., 1995. Water Quality Data-Analysis and Interpretation. Lewis Publishers, New York, 397p.  
 van der Leeden F., Troise F. L. and Todd, D. K., 1990, The Water Encyclopedia. (2nd ed.) Lewis Publisher, Chelsea, Michigan.  
 Madison, R. J. and Brunett, J. O., 1985. Overview of the Occurrences of Nitrate in Groundwater of the United States. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2275, p.93-105.  
 Maxcy, K. F., 1950, Report on Relation of Nitrate Nitrogen Concentration in Well Waters to the Occurrence of Methemoglobinemia in Infants. Acad. Sci.-Research Council Sanit. Eng. and Environment Bull. 264p.  
 Parkhurst, D. L., 1995. A computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 95-4227.