

도봉산 인접지역의 지하수 오염도 조사 연구

생활용수과

신 풍 식 · 이 승 주 · 김 익 수 · 오 석 루
김 정 영 · 이 순 희 · 엄 석 원

Survey on the Groundwater Contamination Near the Mt. Do Bong in Seoul

Division of Municipal Water

Pung-Shik Shin, Sung-Joo Lee, Ick-Soo Kim, Seok-Lyul Oh
Jeong-Young Kim, Soon-Hee Lee and Seog-Won Eom

= Abstract =

In order to investigate the groundwater quality near the Mt. Do Bong 32 samples were analysed, Oct. 1995.

The results are summerized as follows;

1. About the $\text{NO}_3\text{-N}$
 - 1) The percent of suitable for drinking water standard was 50%.
 - 2) Arithmetic mean concentration is 10.4 mg/l and residential area (11.0 mg/l) is higher than industrial area (9.3 mg/l).
2. About the TCE
 - 1) The percent of suitable for drinking water standard was 27%.
 - 2) Arithmetic mean concentration is 0.04 mg/l and industrial area (0.113 mg/l) is higher than residential area (0.008 mg/l).
3. There were highly significant item by depth, conductivity ($r=0.298$, $p<0.10$) and $\text{NO}_3\text{-N}$ ($r=-0.336$, $p<0.10$).

서 론

경제개발로 인한 급속한 산업발달과 인구증가 및 도시 집중화, 국민생활 수준 향상으로 인하여 물 사용량의 급증과 수자원개발의 한계, 수질환경 오염으로 인하여 오늘날 수자원의 양과 질에 있어 큰 문제로 대두되고 있다.

이를 해결하기 위하여 물의 양적인 면에 있어서는 저

수지개발, 댐의 건설을 지속적으로 추진하고 있으나, 우리나라의 지형학적인 여건상 한계에 이르러 지하수의 개발, 해수의 담수화 등 새로운 수자원개발에 역점을 두어야 할 때이다. 이에 경제적이고 실용성이 큰 지하수개발은 중요한 수자원이 되었다.^{1,2)}

그러나, 지금까지 지하수 개발이 아무런 규제없이 무분별하게 추진되어 왔으며 환경오염에 따른 지표오염원이 지하로 침투되는 것을 무방비상태로 방치하여 왔기 때문

에 지하수자원의 고갈과 오염문제가 현안문제로 대두되고 있다.^{2,3,4)}

지하수의 오염상황을 고찰해 보면, 도시지역의 경우, 1990년 서울시내 지하수 406건 중 283건인 69.7%가 먹는물 수질기준에 부적합하다고 조사되었고,⁵⁾ 지하수법 시행에 따른 1995년 서울시 보건환경연구원에 의뢰된 수질검사서에서 먹는물 680건 중 580건인 85.3%가 먹는물에 부적합하였으며, 생활용수는 6,379건 중 862건인 13.5%가 생활용수에 부적합하였으며, 부적요인은 질산성 질소, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 수소이온농도, 대장균군 등이었으며, 카드뮴, 시안, 유기인, 육가크롬 등도 부적요인으로 나타났다.⁶⁾

또한, 농촌지역에서는 1993년, 1994년 2차에 걸친 농어촌 진흥공사의 지하수 수질조사 따르면 전국의 농어촌 지역 소규모 자연부락 중 168부락을 임의 추출하여 간이 급수시설에 대한 시료를 채취하여 수질검사한 결과 총검사시료 65%가 먹는물에 부적합하여, 농어촌지역 지하수의 상당히 진행되어 있음을 보여준다.⁷⁾ 주부적요인은 일반세균, 대장균오염, 질산성 질소이었다.

상기와 같이 지하수개발 및 보존에 대하여 무방비 상태로 관리를 하여, 도시지역과 농촌지역의 지하수가 오염되어 있다. 이에 1993년 지하수법을 제정하여 이를 해결하기위하여 정부에서 지하수를 관리하기 시작하였다.⁸⁾ 그러나, 아직도 지하수 관련 수질자료가 부족하며 Case stady한 예가 없어, 따라서, 본 연구조사에서는 서울 도봉산 인접지역의 지하수를 대상으로 우리나라 지하수의 주요오염인자인 질산성 질소와 트리클로로에틸렌을 중심으로 오염도를 조사하여 지역 지하수개발 및 보존에 기본자료로 삼고자 한다.

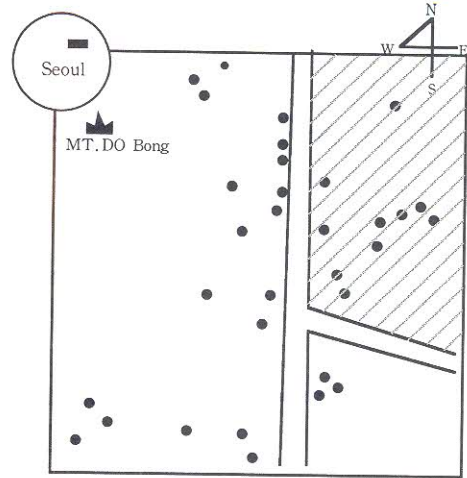
조사대상 및 분석방법

1. 시료채취

서울시내 도봉산 인접지역 지하수범으로 관리되고 있는 32개의 지하수를 대상으로 하였으며, 지역은 주거지역이 22개소, 공업지역이 10개소이다. 그 지점과 위치는 Fig. 1과 같다.

2. 시료분석방법

수질검사항목은 질산성 질소, 트리클로로에틸렌, 수소이온농도, 전기전도도, 염소이온이며, 각 항목의 정량은 환경오염공정시험법(수질편)에 의거하여 분석하며,⁹⁾ standard method, 먹는물 분석법 및 위생시험법 주해



□: Residential Area ▨: Industrial Area, ●: Well

Fig 1. Sampling Sites of Groundwater Near the Mt. Do Bong in Seoul.

를 참고하였다.^{10,11,12)} 질산성 질소와 염소이온은 분리 column (Dionex社; IonPac AS9 ϕ 4 mm), 보호 column (Dionex社; column AG ϕ 4 mm) 및 화학적 suppressor (Dionex社; AMMS) 이용하여 분리하고, 검출기로서 Dionex社의 전기전도도 검출기를 갖춘 Dionex社의 LCM₃ system를 사용하여 분석하였다. 트리클로로에틸렌은 분리 column은 Hewlett Packard社의 Vocal를 사용하였고, 검출기는 전자포획형 검출기를 갖춘 Hewlett Packard社의 Model No. 5890II 가스크로마토그래피를 사용하였다. 전기전도도와 pH의 분석은 각각 TOA Electronics社의 CM-20S와 Orion社의 Model 920A를 사용하였다.

3. 통계분석방법

자료통계처리는 SAS를 이용하여 지하수의 우물 깊이가 질산성 질소와 트리클로로에틸렌과의 농도에 미치는 영향과 오염인자상호 간에 상관분석을 하였다.¹³⁾

4. 오염도 평가방법

도봉산 인접지역의 기존 지하수를 채취하여 토지 이용도에 따라 주거지역과 공업지역으로 나누어 지역별로 지하수의 질산성 질소와 트리클로로에틸렌의 오염도를 비교 조사하였고, 이를 주변약수와 하천수질과도 비교 분석하였다. 또한, Window용 Program인 Sigma plots를 이용 및 질산성 질소 및 트리클로로에틸렌의 등농도선을 작

성하고, 각 각의 오염원을 분석하였고, 우물 깊이가 질산성 질소와 트리클로로에틸렌농도에 미치는 영향과 오염 인자상호간의 관계를 상관분석하였다.

결과 및 고찰

1. 기초자료조사

조사 대상지역의 수문인자를 보면, 기온은 1980년~1993년 연평균 12°C이며, 연중 기온변화차는 28.4°C이다.

강우량은 1990~1993년 사이의 서울시 연평균강수량은 1346.7 mm로 우리나라 평균 1,274 mm보다 다소 크며, 증발산은 년 평균 1032.5 mm로 우기가 전기보다 11배 높았다.¹⁴⁾

지질은 granite (화강암)으로 투수성 및 대수성이 매우 불량하여 외국에서는 이를 일명 비대수층, 불투수층이라 하여 암반지하수 상태가 매우 불량한 암석으로 명명 분류되고 있으나, 이지역에 분포된 암류는 외국에 비해 상당량 소질구조대인 이차공극이 본암대 지하심부까지 형성되어, 대수층이 잘 발달되어 있으며, 화강암으로 형성된 대수층의 일반적인 수리특성은 투수계수가 0.01~1.0 m/d, 투수량계수는 5~50 m²/d이며, 산출량은 50~1500 m³/d이다.^{15,16)}

지형은 도봉산 인접지역으로 북서쪽이 경사 높고 반대 방향으로 중랑천이 흐르고 있어 중랑천 주변에 지하수 함수량이 큰 것으로 예측된다.

서울시 시정개발연구원의 연구자료에 의하면, 서울시의 연간 지하수 개발가능량은 9천4백만 m³이며 이는 우리나라 총 지하수의 부존량에 0.5%이며, 도봉구의 지하수 개발가능량은 3,234.4×10³ m³으로 추정하였다.¹⁷⁾

또한, 서울시 자료에 따르면, 서울시의 전체 관정수는 1995년 현재 17,624개로 이용량 및 양수능력은 각각 30,410,411 m³/년, 741,074,100 m³/년이며, 도봉구의 경우 관정수가 1,139개로 이용량 및 양수능력은 각각 1,477,111 m³/년, 158,062,520 m³/년이다.¹⁸⁾

지하수의 이용현황을 보면 서울시의 경우 먹는물이 1,241,936 m³/년으로 4.1%, 생활용수가 25,599,522 m³/년으로 84.2%, 농업용수가 0.1%, 공업용수가 11.6%이었다. 도봉구의 경우는 먹는물이 14,892 m³/년으로 1.0%, 생활용수가 812,074 m³/년으로 55%, 농업용수가 1,069 m³/년 0.1%, 공업용수가 649,076 m³/년 43.9%, 총 1,477,111 m³/년이었으며, 다른 지역보다 공업용수의 비중이 높았다.¹⁸⁾

또한, 서울시 지하수관정의 심도별 현황을보면 전체 17,624개 중 천층(30 m 이하)이 10,225개공으로 58%, 중층(31~90 m)이 2,796개공으로 15.9%, 심층(90 m 이상)이 1,611개공으로 9.1%이었고, 미확인 우물도 2,992개공으로 17.0%이었으며, 도봉구의 경우 1,139개 중 천층(0~30m)이 494개공으로 43.4%, 중층(31~90 m)이 76개공으로 6.7%, 심층(90 m 이상)이 29개공으로 2.5%이었고, 미확인 우물도 540개공으로 47.4%이었다.¹⁸⁾

2. 토지이용도에 따른 오염도조사

토지이용도에 따라 지역구분을 도시계획법상 주거지역과 공업지역으로 나누어지는데 조사지역의 토지이용도에 따라 지하수 수질오염도를 비교하고, 이를 주변의 약수와 하천수질과 비교분석을 하면은 Table 1에서와 같이 지하수의 깊이는 일반적으로 공업지역이 공업용수로 대량 사용하기 때문에 용수 사용량과 양질의 수질을 요구하기 때문에 지하수의 깊이가 평균 73 m로 주거지역의 37 m보다 깊었으며, 조사지역 평균은 48 m이었다.

수소이온농도의 경우 주거지역과 공업지역과 농도는 각각 6.3, 6.6으로 지역적차이는 거의 없었으며, 주변의 약수 경우는 5.7, 하천은 7.6으로 가장 높았다.

전기전도도의 경우 공업지역이 650±246 ms/cm으로 주거지역의 340±144 ms/cm 보다 높았으며, 전지역 평균 농도는 437±235 ms/cm이었고, 주변의 약수는 187 ms/cm이었으며, 주변의 하천의 경우 1,387 ms/cm로 가장 높았다.

염소이온의 경우 공업지역이 65.4±24.0 mg/l로 주거지역의 37.3±21.8 mg/l 보다 높았으며, 전지역의 평균 농도는 46.1±25.8 mg/l이었고, 주변의 약수는 16.4 mg/l로 가장 낮았으며, 주변의 하천의 경우 65.9 mg/l로 가장 높았다.

질산성 질소의 경우 공업지역이 9.2±6.4 mg/l로 주거지역의 11.6±6.3 mg/l 보다 낮았으며, 전지역의 평균 농도는 10.4±6.3 mg/l이었다. 주변의 약수는 2.9 mg/l이었으며, 하천의 경우 1.6 mg/l로 가장 낮았다. 약수 및 하천수의 경우, 미국의 토지이용도에 따른 자료와 비교해 보면 약수(숲)의 경우는 높게, 하천(도시지역)의 경우는 낮았다.¹⁹⁾

질산성 질소의 오염도는 우리나라의 경우 청정지역 3.22 mg/l, 주요 공단지역 5.92 mg/l, 오염의심 하천 지역 7.72 mg/l, 도시주거지역 6.96 mg/l이었으며,²⁰⁾ 1995년 서울시내 지하수 중의 질산성 질소의 농도는 평

Table 1. Chemical Analysis in Groundwater Near the Mt. Do Bong.

Items	Groundwater									Spring water	Streams water
	Residential (n=22)			Industrial (n=10)			Total (n=32)				
	Range	Mean	SD	Range	Mean	SD	Range	Mean	SD		
Depth	10~100	37	20	20~130	73	37	10~130	48	31	-	-
pH	5.5~6.8	6.3	0.3	6.3~7.2	6.6	0.4	5.5~7.2	6.4	0.4	5.7	7.6
Cond.	110~690	340	155	151~902	650	246	110~902	437	235	187	1382
TCE	0~0.100	0.008	0.023	0~0.479	0.113	0.152	0~0.479	0.04	0.097	0	0
Cl	4.0~77.0	37.3	21.8	21.5~100.4	65.4	24.0	4.0~100.4	46.1	25.8	6.4	65.9
NO ₃ -N	0.5~27.8	11.6	6.3	1.9~18.0	9.2	6.4	0.5~27.8	10.4	6.3	2.9	1.6

Units: mg/l, (Conductivity=ms/cm)

균 8.46±8.63 mg/l였으며, 먹는물 860건 중 460건, 생활용수중 6,379건 중 377건, 공업용수 266건 중 6건, 농업용수 42건 중 7건, 각 수질기준에 부적합한 것으로 나타나 서울시내 지하수오염의 주 오염원인 것으로 나타났다.⁶⁾ 일본 愛知縣의 경우 1990년 조사에 의하면 농경지에서 465우물을 대상으로 조사한 결과 질산성 질소농도가 평균5.47 mg/l이었고,²¹⁾ 일본 환경청의 1990년 조사에 의하면, 질산성 질소의 먹는물 수질기준 초과율은 5% 수준인 것으로 보고되었다.²²⁾ 미국의 경우 Pixie A. Hamilton에 의하여 5개 농촌지역에 대하여 질산성 질소 오염도 조사되었는데 Delmarva Peninsula 지역에서는 평균 8.2 mg/l이며, 33%가 먹는물 수질기준에 부적합하였으며, Central and Western Connecticut, Long Island New York, Nebrask, South-Central Kansas High Plain에서는 평균농도가 각각 2.9 mg/l, 7.5 mg/l, 9.2 mg/l, 6.7 mg/l이며, 먹는물 수질기준에 각각 12%, 27%, 46%, 17%가 부적합하였다.²³⁾ 독일의 라인, 헥센 등 포도 재배지역과 산악지역의 지하수 질산성 농도는 50 mg/l가 초과되는 지역이 13%이었다.²⁴⁾ 따라서, 전지역의 평균농도는 우리나라 서울지역의 평균농도, 일본, 미국의 농촌지역 보다 질산성 질소농도가 높은 것으로 나타났다. 먹는물 수질기준에 적용할 때 전체적으로 50% 부적합하였고, 공업지역이 40%, 주거지역이 55% 부적합하였다.

트리클로로에틸렌의 경우 공업지역이 0.113±0.152 mg/l으로 주거지역의 0.008±0.023 mg/l보다 높았으며, 전조사지역 평균 농도는 0.040±0.097 mg/l이었고, 주변의 약수 및 하천 경우 불검출되었다.

트리클로로에틸렌의 오염도에서는, 우리나라의 경우, 청정지역, 오염의심 하천지역, 도시 주거지역에서는 불검출되었으며, 공단지역에서 2.63 mg/l으로 먹는물 수질기준에 부적합하였으며,²⁰⁾ 1995년 서울시 지하수 수질조

사를 보면 검사시료 총 7,547건 중 162 (2.1%)건이 부적합하였으며, 오염지역도 공업지역 뿐만 아니라, 주거지역까지 오염되고 있다.⁶⁾ 일본 환경청의 조사에 의하면 평생 4년 4,762개의 지하수 중 18개 곳 0.4%가 먹는물 수질기준에 부적합하였으며,²²⁾ 오염물질 사례 재판건수도 26건으로 전사례건수 중 8.9%이었다.²⁵⁾

Westrick에 조사에 의하면, 1990년 미국의 지하수 중 10,000인 이하 사용하는 Small system에서 280개소를 임의추출 조사한 결과 47개소, 17%가 휘발성 유기물질이 검출되었으며, 10,000인 이상 사용하는 Large system에서 186개소를 임의추출 조사한 결과 52개소, 28%가 휘발성 유기물질이 검출되었으며,²⁶⁾ 1990년 California주에서 지하수 모니터링 한 결과 5,286 지하수 중 548개 지하수에서 검출되었으며, 350개소 6.6%가 먹는물 수질기준에 부적합하였다.²⁷⁾ 조사대상지역의 먹는물 수질기준 부적합율은 전체적으로 25%, 주거지역이 9.1%, 공업지역은 60%가 부적합하여 서울 전체지역과 일본, 미국 지역의 지하수 보다 부적합률이 높은 것으로 나타났다. 토지이용에 따른 질산성 질소 및 트리클로로에틸렌의 농도분포를 보면, Table 2, 3과 같다.

Table 2에서와 같이 토지이용도에 따른 질산성 질소의 농도분포를 보면, 주거지역의 경우 0~5.0 mg/l에 18.2%, 5.0~10.0 mg/l에 31.8%이였으며, 10.0 mg/l 이상은 11개소로 50%이였고, 공업지역의 경우 0~5.0 mg/l에 30.0%, 5.0~10.0 mg/l에 20.0%이였으며, 10.0 mg/l 이상은 5개소로 50%이였으며, 조사 전지역 전체의 경우 0~5.0mg/l에 21.9%, 5.0~10.0 mg/l에 28.1%이였으며, 10.0 mg/l 이상은 50%이였다.

Table 3에서와 같이 토지이용에 따른 트리클로로에틸렌의 농도분포를 보면, 주거지역의 경우 불검출된 곳이 72.6%, 0.001~0.030 mg/l이 18.2%이였으며, 0.030 mg/l 이상은 9.1%이였고, 공업지역의 경우 불검출된 곳

Table 2. Frequency Distribution of NO₃-N Concentration in Groundwater by to Land Use.

Area NO ₃ -N Concentration	Residential N=22	Industrial N=10	Total N=32
0~5.0 mg/l	18.2%(4)	30.0%(3)	21.9%(7)
5.0~10.0 mg/l	31.8%(7)	20.0%(2)	28.1%(9)
10.0 mg/l Over	50.0%(11)	50.0%(5)	50%(16)

():well number

Table 3. Frequency Distribution of TCE Concentration in Groundwater by Land Use.

Area TCE Concentration	Residential N=22	Industrial N=10	Total N=32
Non Detected	72.7%(16)	10.0%(1)	53.1%(17)
0.001~0.030 mg/l	18.2%(4)	30.0%(3)	21.9%(7)
0.03 mg/l Over	9.1%(2)	60.0%(6)	25%(8)

():well number

이 10.0%, 0.001~0.030 mg/l이 30.0%이었으며, 0.030 mg/l 이상은 60.0%이었고, 조사지역 전체의 경우 불검출된 곳이 53.1%, 0.001~0.030 mg/l이 21.9%이었으며, 0.030 mg/l 이상은 25.0%이었다.

3. 오염원에 따른 지하수오염 조사

지하수의 잠재오염원은 1985년 미국의 국회기술평가국은 6군 33종으로 분류하였으며 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분하는데 점오염원은 한곳으로 모아 처리 후 방류할 수 있는 것으로 하수처리, 공장폐수 등을 말하며, 비점오염원은 오염원이 분산된 것으로 도시, 도로, 산림지역에서 유출수 등을 말한다.²⁹⁾

이에 서울시의 대표적인 오염인자인 질산성 질소와 트리클로로에틸렌의 오염원 분석과 고찰은 다음과 같다.

1) 질산성 질소

질산성 질소는 식물의 부식물, 동물의 배설물과 사체, 질소비료 등에 의하여 토양으로 질산염이 유입된다. 지하수에 질산염이 다량으로 있는 경우는 지하수에 지표수가 유입되었거나 우물상부의 토양속에 농축된 질산염이 대수층으로 침투하여 지하수가 오염된 것으로 주요오염원은 가정하수, 공장폐수, 화학비료, 퇴비, 축산, 지질 등으로 그 오염원이 다양하다.

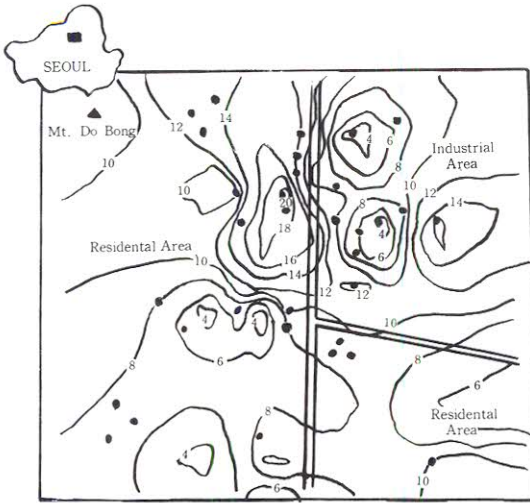
인체에 미치는 영향은 질산염을 경구 투여하면, 작용 기전으로 보아 본질적으로 불변형태로서의 질산염, 아질

산염으로 환원, 아질산염화합물 등 세가지 범위로 나타나는데 불변형태로서의 질산염의 경우는 환원되지 아니한 범위에서 고유의 독성범위가 좁다. 이 범위는 보통 병원체가 적거나 아질산염으로 생분해하는 세균이 없기 때문에 유해하지 않다. 아질산염으로 환원하는 경우 질산염이 여러 가지 조건하에서 출현하는 Clostridium속 Bacillus속의 질산염환원세균과 질산환원효소의 도움으로 생후 3개월 미만의 영아 위장관에서 환원되어 아질산염이 산소운반 능력을 감소시켜 저산소 증인 methemoglobin 혈증을 일으킨다 할 수 있다. 이는 인간이 음료를 포함한 식품에서 매일 섭취되는 질산염은 평균하여 야채로부터 60~80%, 음료수로부터 30%까지 유고기 및 육고기 제품으로부터 5~15% 발생한다. 나머지 5~10%는 곡류, 과일, 우유제품 등에서 섭취되는 것을 볼 때 유아에게 있어서는 음용수가 전체 질소섭취량 중 가장 많은 부분을 차지하기 때문이다. 아질산염화합물의 경우는 발암여부의 논쟁이었다.³⁰⁾

조사대상지역의 질산성 질소 농도는 Table 1에서 같이 전지역에서 10.4±6.3 mg/l, 공업지역에서 9.2±6.4 mg/l, 주거지역에서 11.0±6.3 mg/l로 지역구분 없이 평균농도와 표준편차의 변화폭이 심하지 않은 것으로 나타나 비점오염원이었으며, Fig. 2에서 같이 등농도선을 보면, 오염원의 Peak가 주거지역과 공업지역의 경계에 위치하여 각지역으로 확산되어 가는 것을 알 수 있고 공업지역 외곽에 Peak가 있어 공업지역의 등농도선은 Valley를 형성하고 있다. 일반적으로 질산성 질소 오염원은 가정하수, 공장폐수, 화학비료, 퇴비, 축산, 지질 등으로 그 오염원이 다양한데, 축산이나 인변에 의한 오염은 대장균과 질산성 질소가 동시에 존재하며, 비료, 지질에 의하면 질산성 질소는 존재하나 대장균은 존재하지 않는다. 이 지역은 서울시 시정개발연구원의 조사에 의하면 축산이나 인변에 의한 오염이 아닌 것으로 사료된다.³¹⁾ 제거방법은 이온교환법이 역사적으로 확립되어져 있으며 역삼투법이 실제적으로 사용되고 있다.

2) 트리클로로에틸렌

트리클로로에틸렌은 합성화학 물질로서 자연계는 존재하지 않으며, 용도는 금속부품의 탈지세척용, 공업용 용매 등이다. 트리클로로에틸렌의 환경으로 방출은 주로 금속의 탈지세척제로 사용하기 때문이며, 대기 중에 방출된 트리클로로에틸렌은 주로 광산화에 의하여 수일내 분해된다. 지표수의 경우는 수 일부터 수 주사이에 대기 중에 휘산되어 분해한다. 지상의 경우에는 분해가 느리

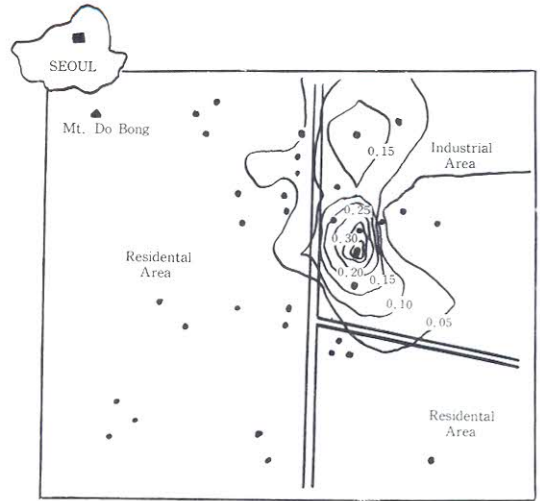


number: concentration units: mg/l ●:well

Fig. 2. Iso $\text{NO}_3\text{-N}$ Map of Groundwater Near the Mt. Do Bong.

고 쉽게 지하수로 이동한다. 지하수에서 트리클로로에틸렌은 수 개월부터 수 년간 잔류한다. 또한, 지하수에서 트리클로로에틸렌은 테트라클로로에틸렌의 분해에 의하여 생성되기도 한다.³²⁾ 건강에 미치는 영향은 중추신경억제작용으로 구토, 복통을 일으키고, 의식불명에 이르기까지도 하며 발암성 물질로 알려져 있다.

본 조사결과는 Table 1에서와 같이 트리클로로에틸렌의 농도를 보면, 공업지역이 0.113 ± 0.152 mg/l로 주거지역의 0.008 ± 0.023 mg/l 보다 높았으며, 조사지역 전체 평균은 0.040 ± 0.097 mg/l이었고, 공업지역과 주거지역의 농도차이가 크고, 공업지역에 편중되어 있고, Fig. 3에서와 같이 트리클로로에틸렌의 등농도선을 보면, 공업지역의 한점을 정점으로하여 주거지역쪽은 농도경사가 완만한 형태를 나타냈으며, 공업지역으로는 농도경사가 급하게 나타났으며 등농도선이 공업지역에 편중되어 있다. 이는 공업지역의 섬유, 도금공장의 점오염원에 오염되어 있는 것을 알 수 있으며 지하수가 주거지역으로 확산되고 있음을 예측할 수 있다. 또한 간접적으로 농도경사가 동에서 서로 급경사를 이루어 지하수의 흐름이 동에서 서로 흐르고 있음을 예측할 수 있으며 이는 하천이 있는 방향과 일치한다. 그 제거방법은 활성탄처리 휘산처리 등이 사용되고 있다.



number: concentration units: mg/l ●:well

Fig. 3. Iso TEC Map of Groundwater Near the Mt. Do Bong.

4. 우물의 깊이 및 오염인자간의 오염 특성 조사

낮은 우물 (30 m 이하)에서 오염물질의 농도와 지하수의 농도는 일반적으로 지표면에서부터 일정 깊이가 될 때까지 오염물질의 농도와 지하수의 오염농도는 증가하다가 감소한다. 지하수의 질산성 질소의 경우 지표면에서 지하 10 m까지 증가하다가 그 이후로는 감소하여 거의 존재하지 않으며, 토양의 경우에도 그 형태는 유사하나 지하수보다 낮은 깊이에서 농도의 피크가 나타나는 것으로 알려졌다.³³⁾ 우물의 깊이와 관련하여 질산성 질소 농도의 분포를 보면 Table 4에서와 같이 질산성 질소 10 mg/l 이상인 경우 지하수 깊이 0~30 m에서는 76.5% (13/17), 30~50 m에서는 28.6% (2/7), 50 m 이상의 우물에서는 12.5% (1/8) 분포하였으며, 우물의 깊이가 낮을수록 먹는물 수질기준의 10 mg/l 이상 분포가 높아 역상관성을 나타냈다.

이는 일본의 애지현 (愛知縣)과 유사하였다.²¹⁾

지하수의 깊이와 관련 트리클로로에틸렌의 농도분포를 보면 Table 5에서와 같이 트리클로로에틸렌 0.030 mg/l 이상인 경우 지하수 깊이 0~30 m에서는 17.6% (3/17), 30~50 m에서는 14.3% (1/7), 50 m 이상의 우물에서는 37.5% (3/8) 분포하였으며, 우물의 깊이와

(3/17), 30~50 m에서는 14.3% (1/7), 50 m 이상의 우물에서는 37.5% (3/8) 분포하였으며, 우물의 깊이와 먹는물 수질기준의 0.030 mg/l 이상 분포와는 상관성이 없었다.

지하수의 깊이 및 지하수 오염인자 간의 관계를 상관 분석하였다.

주거지역에서 우물의 깊이와 수질오염인자와의 상관관계는 Table 6과 같이 염소이온($r=0.613$, $p<0.05$)와 질산성 질소($r=-0.52$, $p<0.10$)는 유의성이 있었으나, 그 외 항목인 수소이온농도와 트리클로로에틸렌, 전기전도도는 유의성이 없었다.

공업지역에서 우물의 깊이와 수질오염인자와의 상관관계는 Table 7과 같이 질산성 질소($r=-0.620$, $p<0.10$)는 유의성이 있었으나, 그 외 항목인 수소이온농도

와 트리클로로에틸렌, 전기전도도 등은 유의성이 없었다.

전지역에서 우물의 깊이와 수질오염인자와의 상관관계는 Table 8과 같이 전기전도도($r=0.298$, $p<0.05$)와 질산성 질소($r=-0.337$, $p<0.10$)는 유의성이 있었으나, 그 외 항목인 수소이온농도와 트리클로로에틸렌, 염소이온은 유의성이 없었다.

또한, 수질인자간의 상관관계를 분석하였다.

Table 6에서와 같이 주거지역에서는 수소이온농도와 염소이온($r=0.379$, $p<0.05$), 전기전도도와 염소이온($r=0.726$, $p<0.10$) 및 염소이온과 질산성 질소($r=-0.696$, $p<0.10$)는 유의성이 있었으나, 그 외 항목간에는 유의성이 없었다.

Table 7에서와 같이 공업지역에서는 수소이온농도와 질산성 질소($r=-0.640$, $p<0.05$) 및 전기전도도와 염소이온($r=0.955$, $p<0.10$)는 유의성이 있었으나 그 외 항목간에는 유의성이 없었다.

Table 8에서와 같이 전지역에서는 전기전도도와 질산성 질소($r=0.192$, $p<0.05$), 전기전도도와 염소이온($r=0.738$, $p<0.05$) 및 염소이온과 질산성 질소($r=-0.186$, $p<0.10$)는 유의성이 있었으나, 그 외 항목간에는 유의성이 없었다.

Table 4. Frequency Distribution of NO₃-N Concentration in Groundwater by Well Depth.

NO ₃ -N Concentration	Well Depth		
	0~30 m N=17	30~50 m N=7	over 50 m N=8
0~5.0 mg/l	5.9%(1)	14.3%(1)	62.5%(5)
5.0~10.0 mg/l	17.6%(3)	57.1%(4)	25.0%(2)
Over 10.0 mg/l	76.5%(13)	28.6%(2)	12.5%(1)

():well number

Table 5. Frequency Distribution of TCE Concentration in Groundwater by Well Depth.

TCE Concentration	Well Depth		
	0~30 m N=17	30~50 m N=7	over 50 m N=8
N.D	64.8%(11)	71.4%(5)	25%(2)
0.001~0.030 mg/l	17.6%(3)	14.3%(1)	37.5%(3)
Over 0.030 mg/l	17.6%(3)	14.3%(1)	37.5%(3)

():well number

Table 6. Correlation Coefficient between Groundwater Pollutants at Residential Area.

	Depth	pH	Cond.	TCE	Cl	NO ₃ -N
Depth	1.000					
pH	-0.056	1.000				
Cond.	-0.376	0.265	1.000			
TCE	-0.124	-0.170	0.141	1.000		
Cl	-0.613*	0.379*	0.726**	0.313	1.000	
NO ₃ -N	-0.528**	-0.362	0.365	0.302	-0.690**	1.000

* : $p<0.05$, ** $p<0.10$

Table 7. Correlation Coefficient between Groundwater Pollutants at Industrial Area.

	Depth	pH	Cond.	TCE	Cl	NO ₃ -N
Depth	1.000					
pH	0.070	1.000				
Cond.	0.119	-0.256	1.000			
TCE	0.102	0.499	0.354	1.000		
Cl	0.274	-0.169	0.955**	0.375	1.000	
NO ₃ -N	-0.620*	-0.640*	0.084	-0.302	-0.253	1.000

* : $p<0.05$, ** $p<0.10$

Table 8. Correlation Coefficient between Groundwater Pollutants at Total Area.

	Depth	pH	Cond.	TCE	Cl	NO ₃ -N
Depth	1.000					
pH	0.081	1.000				
Cond.	0.298*	0.322	1.000			
TCE	0.346	0.455	0.485	1.000		
Cl	0.209	0.392	0.738**	0.462	1.000	
NO ₃ -N	-0.337**	-0.166	0.192**	-0.144	-0.186**	1.000

* : $p<0.05$, ** $p<0.10$

요약 및 결론

서울 1995년 시내 도봉산 인접지역 기존 지하수를 기존 지하수 32건을 시료 채취하여 질산성 질소, 트리클로로에틸렌, 수소이온농도, 염소이온, 전기전도도를 측정하고 이중 서울시내 지하수의 주요오염인자인 질산성 질소와 트리클로로에틸렌을 중심으로 오염도를 조사 평가하였다. 조사 평가법은 토지이용도에 따라 주거지역과 공업지역으로 나누어 지역별로 지하수 오염도를 비교 조사하였고, 이를 주변약수와 하천수질과도 비교 분석하였으며, Window용 Program인 Sigma plots를 이용하여 질산성 질소 및 트리클로로에틸렌의 등농도선을 작성하여, 각각의 오염원특성 파악하였고, 지하수의 우물깊이가 질산성 질소와 트리클로로에틸렌농도에 미치는 영향과 오염인자 간의 상관관계를 분석하였다. 분석 조사한 결과 다음과 같았다.

1. 토지이용에 따른 지역별 지하수 오염도 비교조사와 이를 주변약수와 하천수질과 비교한 결과, 질산성 질소의 경우 공업지역이 9.2 ± 6.4 mg/l로 주거지역의 11.6 ± 6.3 mg/l 보다 낮았으며, 조사지역 전체 평균은 10.4 ± 6.3 mg/l이었고, 주변의 약수는 2.9 mg/l였으며, 주변의 하천 경우 1.6 mg/l로 가장 낮았다. 먹는물 수질기준에 적용할 때 전체적으로 50%가 부적합하였고, 공업지역 40%, 주거지역 55%가 부적합하였다.

트리클로로에틸렌의 경우 공업지역이 0.113 ± 0.152 mg/l로 주거지역의 0.008 ± 0.023 mg/l보다 높았으며, 조사지역 전체 평균은 0.040 ± 0.097 mg/l이었고, 주변의 약수 및 하천 경우 불검출되었으며, 먹는물 수질기준 부적합율은 전체적으로 25%, 주거지역이 9.1%, 공업지역이 60%이었다.

2. Window용 Program인 Sigma plots 이용하여 질산성 질소 및 트리클로로에틸렌의 등농도선 작성하여, 각각의 오염원 특성을 파악한 결과 질산성 질소는 등농도선에 나타난 것과 같이 지역구분 없이 농도의 변화폭이 심하지 않은 것으로 나타나 비점오염원 의한 오염으로 추측되며, 트리클로로에틸렌은 공업지역과 주거지역의 농도차이가 뚜렷하게 나타나 점오염원에 의한 오염이었고, 등농도선을 보면, 공업지역의 한점을 정점으로하여 주거지역쪽은 농도경사가 완만한 형태를 나타냈으며, 공업지역으로는 농도경사가 급하게

나타났다.

3. 지하수의 깊이에 따른 질산성 질소와 트리클로로에틸렌의 농도분포는 질산성 질소의 경우 10 mg/l 이상인 경우 지하수 깊이 30 m 이하에서는 76.5%, 30~50 m에서는 28.6%, 50 m 이상의 우물에서는 12.5% 분포하여 우물의 깊이가 낮을 수록 먹는물 수질기준의 10 mg/l 이상 분포가 높아 역상관성을 나타냈으며 트리클로로에틸렌 경우 0.030 mg/l 이상인 경우 우물의 깊이 30 m 이하에서는 17.6%, 30~50 m에서는 14.3%, 50 m 이상의 우물에서는 37.5% 분포하여 우물의 깊이와 먹는물 수질기준의 0.030 mg/l 이상 분포와는 상관성이 없었다.

4. 지하수의 깊이 및 지하수 오염인자간 상관분석한 결과, 주거지역에서는 염소이온 ($r=0.613$, $p<0.05$), 질산성 질소 ($r=-0.52$, $p<0.10$), 공업지역에서 질산성 질소 ($r=-0.620$, $p<0.10$)가 조사 전지역에서는 전기전도도 ($r=0.298$, $p<0.05$)와 질산성 질소 ($r=-0.337$, $p<0.10$)는 유의성이 있었으나, 그 외 항목인 수소이온농도, 트리클로로에틸렌, 염소이온은 유의성이 없었다.

5. 지하수 수질오염 인자간 상관분석한 결과, 주거지역에서는 수소이온농도와 염소이온 ($r=0.379$, $p<0.05$), 전기전도도와 염소이온 ($r=0.726$, $p<0.10$), 염소이온과 질산성 질소 ($r=-0.696$, $p<0.10$)간에 유의성이 있었고 공업지역에서는 수소이온농도와 질산성 질소 ($r=-0.640$, $p<0.05$), 전기전도도와 염소이온 ($r=0.955$, $p<0.10$)간에 유의성이 있었으며 전지역에서는 전기전도도와 질산성 질소 ($r=0.192$, $p<0.05$), 전기전도도와 염소이온 ($r=0.738$, $p<0.05$) 및 염소이온과 질산성 질소 ($r=-0.186$, $p<0.10$)간에 유의성이 있었으나, 그 외 항목간에는 유의성이 없었다.

참 고 문 헌

1. 농림수산부 : 농어촌 용수개발 10개년 계획안, 1994.
2. 김태철 : 가뭄극복을 위한 수자원의 환경보전적 개발과 관리, 물부족, 어떻게 해결할 것인가? 한국물학단 체연합회, 한국수자원공사, pp.13-68, 1996.
3. 정종대 : 지하수 수질보전과 오염방지대책, 지하수 개발과 농어촌용수 농어촌 진흥공사, pp.19-20, 1994.
4. 이천복 : 한국의 지하수자원과 개발 방향, 지하수개발과 농어촌용수농어 진흥공사, pp.133-164, 1994.
5. 어수미, 오수경, 박성배 : 서울지역 지하수 오염도와

- 성분별 유의성 검토, 환경위생학회지, 15(1), 1989.
6. 서울특별시 보건환경연구원 : 1995년도 지하수 수질조사 결과, 1996.
 7. 농어촌진흥공사 : 농어촌용수의 개발시대, 1993.
 8. 건설교통부 : 지하법 업무 수행 지침서, 1995.
 9. 환경부 : 환경오염공정시험법 (수질편), 동화기술, p. 169, 1991.
 10. 日本藥學協會 : 衛生試驗法註解, 金和出版株式会社, 東京, pp.921-1019, 1990.
 11. APHA-AWWA-WPCF : Standard method for the examination of water and wastewater, 18 th ed., 1992.
 12. 환경부 : 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규. 환경부령, 제11호, 1994.
 13. 홍종선 : 통계자료분석-SAS의 사용방법과 그 결과 중심으로, 탐진출판사, 1992.
 14. 기상청 : 기상년보, 1980-1993.
 15. 한국수자원개발공사 : 지하수자원 기본조사 보고서, 1993.
 16. 한정상 : 지하수학개론, 박영사, p.342, 1983.
 17. 서울시 시정개발연구원 : 서울시 지하수 오염방지 및 관리방안 연구, 1996.
 18. 서울특별시 : 서울시 지하수개발 및 이용 현황, 1995.
 19. Omernik, J.M. : Non point source-stream nutrient relationships, a national study, U.S. Government printing office, EPA-600/3-77-105, 1977.
 20. 한국환경과학협회의회, 지하수 오염조사에 관한 연구, 1992.
 21. 糟谷眞宏, 小竹美恵子, 寺井久慈, 松尾敬子, 豊田一郎 : 愛の知縣 農耕地および農村における 集落地下水 中 窒酸性 窒素 濃度とその 支配因子, 資源環境對策, 17:9, 1994.
 22. 中彬修身 : 土壤·地下水汚染の實態と對策技術 動向, 資源環境對策, 30:9, 1994.
 23. Pixie A.H., Dennis R.H. : Effects of agriculture on groundwater quality in five regions of united states, groundwater, 33:2, 1995.
 24. 임경택, 정명규, 정현욱 공역 : 환경보건학, 지구문화사, p.210, 1995.
 25. 澤村良二 : 地盤凝固劑 訴訟事件と 地下水質, 衛生化學, 37:2, 1991.
 26. Westrick, J.J. : National surveys of volatile organic compounds in groundwater and surface waters, Lewis Publishers, pp.103-138, 1990.
 27. California State Water Resources Control Board : Well investigation program, Volatile organic compounds in public water supply wells, 1990.
 29. Joseph L. Pavoni : Handbook of water quality management planning, Van nostrand reinhold company, p.48.
 30. 임경택, 정명규, 정현욱 공역 : 환경보건학, 지구문화사, pp.212-220, 1995.
 31. 서울시 시정개발연구원 : 서울시 지하수 오염방지 및 관리방안 연구, pp.199-200, 1996.
 32. Vogel, T.M., P.L. McCarty : Biotransformation of tetrachloroethylene to trichloroethylene under methanogenic conditons, Applied and environment microbiology, 49:5, 1987.
 33. Back, W., Baedecker, M.J. : Chemical hydrogeology in natural and contaminated environment, Hydrogeology, 28:1, 1989.