

서울시내 지하수 중 지역별 질산성질소
농도 분포에 관한 조사 연구
- 강남, 강동, 송파, 서초지역을 중심으로 -

음용수질과

李海植·金泰郎·李相美
權承美·韓基榮·李光國·金珍坤

**Distribution of Nitrate Nitrogen Concentration
in Underground Water in Seoul**
- Focus on the of Kangnam, Kangdong, Songpa and Seocho -

Division of Potable Water

Hae Sik Lee, Tae Rang Kim, Sang Mi Lee, Seung mi Kwon
Ki Young Han, Kwang Kuk Lee and Jin Gon Kim

= Abstract =

Nitrate nitrogen and the other 6 items were analyzed from 308 cases of sealed underground water which were requested to analyze water quality for drinking in 1995.

To compare water quality with other kinds of water, 30 cases of drinking water on the market and 50 cases of Ongdalsam from Kangnam and Seocho area were analyzed.

The results were as follows:

1. The average concentration of nitrate nitrogen in sealed underground water was 7.99 ± 0.43 mg/l. And that of six other items were 6.90 ± 0.03 in pH, 33.99 ± 1.39 mg/l in Cl^- , 1.76 ± 0.03 mg/l in $KMnO_4$ consumption, 128.19 ± 3.77 mg/l in Total Hardness, 21.62 ± 1.24 mg/l in SO_4^{2-} , and 0.17 ± 0.03 mg/l in Zn.
2. The average concentration of nitrate nitrogen in marked drinking water and Ongdalsam were 1.05 ± 0.04 and 1.85 ± 0.04 mg/l, respectively.
3. Total Hardness and Cl^- were showed highly significant ($p < 0.01$) correlation to nitrate nitrogen.
4. The distribution of nitrate nitrogen concentration by underground depth, deeper water had lower concentration.

서 론

지하수는 지표수에 비해 수질이 양호하며 개발이 수월하고 비용이 저렴한 관계로 사용량이 점차 증가하고 있다. 과거에 용수공급이 원활하지 않아 불가피하게 개발된 후 관리소홀로 각종 지표수에 의해 오염된 이래 최근 먹는물에 대한 관심이 높아지면서 양질의 지하수를 개발 이용하려는 욕구가 높아지고 있는 실정이다.

미국의 경우 각 주 대부분이 음용수 50%, 생활용수 80% 이상(US Geology Survey, 1984)을 지하수에 의존하고 있으며 구소련연방(USSR)에서는 전체의 70% 일본에서는 22%를 지하수로 충당하고 있다.¹⁾

현재 서울시 지하수 개발가능량은 약 9천 4백만톤이며 우리나라 총 지하수부존량의 0.5%에 해당하는 것으로 지하수 개발가능량의 32.3%에 해당하는 약 3천 40만톤이 각종 용수로 이용되고 있으나 심층관정을 개발할 수 있는 1980년 이후에 급격히 증가하면서 무분별한 용수 사용량으로 인한 문제점이 발생되었다.

1970년 이전에 개발된 지하수는 432개이었으나 71년에서 80년 사이 1766개로, 81년에서 90년사이에는 8089개로 급격한 증가율을 보여주고 있다. 이런 증가추세의 지하수 개발은 각종 오염물질의 유입으로 지하수의 오염을 초래하였으며 한번 오염된 지하수의 회복기간은 200년에서 1000년 주기로 남아있다는 보고도 있으나 일단 오염된 지하수는 인위적으로 정화시킬 수 없어 반영구적인 상태로 존재한다.^{2,3)}

이러한 오염물질의 종류는 먹는물 수질기준의 43개 항목으로 분류되어 있으나 최근 인위적인 오염으로 인해 먹는물에 문제시 되고 있는 질산성 질소 농도는 점차 오염의 농도가 증가되면서 국내 뿐만 아니라 외국에서도 심각한 것으로 나타났다. 미국의 Nebraska의 질산성 질소 오염상황이나 Pennsylvania주의 비료사용 증가 및 정화조 파손으로 인한 대수층 오염으로 우물이 오염되는 문제점이^{4,5)} 있으며 국내에서도 환경처⁶⁾ 및 서울시,⁷⁾ 목장용수⁸⁾ 농촌지역의⁹⁾ 음용수 등에서도 질산성 질소 오염을 제시한 바 있다. 현재 서울시에서 사용하고 있는 지하수의 용도는 먹는물 4.1%, 생활용수 84.2%, 농업용수 0.1%, 공업용수 11.6%의 분포로 먹는물 이용률은 4.1%에 불과하다. 하지만 그나마 질산성 질소를 비롯한 각종 물질에 오염됨으로서 시민의 건강과 직결되어 보건학적으로 많은 문제점을 제시하고 있다.

본 조사에서는 지하수 중 먹는물의 오염문제에 관련하

여 최근 서울시의 중심권으로 부각되고 있는 강남지역(강남, 서초, 송파, 강동)권의 질산성 질소 분포현황과 관련항목의 상관성을 분석하고 시중에 유통되는 먹는샘물 및 강남, 서초지역의 웅달샘 등과 비교하여 오염 실태를 조사하고자 한다.

연구 방법

1. 조사대상지역

먹는물 수질기준에서 최근 문제시 되고 있는 질산성 질소의 분포 현황을 조사하기 위하여 강남지역 308개소를 95년 1월부터 12월까지 채취된 봉인 지하수를 대상으로 하였으며 시중에 유통되는 먹는샘물 30건과 강남, 서초지역의 웅달샘 50개소의 시료를 분석 비교하였다.

2. 시험항목 및 방법

질산성 질소를 중심으로 경도, 과망간산칼륨 소비량, 염소이온, 황산이온, 수소이온농도, 아연 등을 대상으로 하였으며 질산성질소, 염소이온, 황산이온 등은 Ion Chromatograph(Dx 500, Dionex)로 경도, 과망간산칼륨 소비량은 적정법으로 아연은 Atomic Absorption Spectrophotometer(Model Z-8100, HITACHI)으로 pH는 pH meter(Model 520A, Orion)로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 질산성 질소와 항목간의 관계

질산성 질소를 비롯한 조사항목의 분석결과는 Table 1과 같다

질산성 질소는 각종 질소화합물이 산화되어 최종 생성된 분해 산물로 생활하수, 산업폐수 및 농경지에서 사용되는 질소비료가 원인이 되며 과거의 오염을 의미한다. 100 mg/l 이상에서 쓴맛과 생리 이상을 유발하며 질산성 질소로 11, 29 mg/l 이상의 농도를 유아가 섭취할 경우, 위액이 pH 4로 아질산성질소로 환원되면서 혈액 중에 유입, 적혈구와 결합되어 혈액산소 운반능력을 감소 Methemoglobinemia를 일으켜 blue baby가 발생된다고 하였다.^{10,11)}

질산성 질소의 평균농도는 7.99±0.43 mg/l로 먹는물 기준인 10 mg/l 보다 낮았으나 어,¹²⁾ 이⁷⁾ 등의 결과 보다는 높았으며 박⁸⁾ 등의 성적과는 유사한 것으로 나타났다.

(unit : mg/l)

Table 1. Mean and Standard Error in each Item.

Item	Regions	Standard	Kangnam	Kangdong	Songpa	Seocho	Average
NO ₃ -N		bellow 10 mg/l	3.90±0.90	9.69±0.65	4.96±1.05	6.73±0.65	7.99±0.43
pH		5.8~8.6	6.88±0.13	6.91±0.04	7.07±0.06	6.84±0.06	6.90±0.03
Cl ⁻		bellow 150 mg/l	33.42±4.42	39.06±1.99	34.40±3.93	24.51±2.19	33.99±1.39
KMnO ₄		bellow 10 mg/l	1.53±0.18	1.65±0.06	1.59±0.17	2.03±0.17	1.74±0.06
T.H		bellow 300 mg/l	123.21±13.06	138.78±5.40	132.44±14.48	108.46±5.46	128.19±3.77
SO ₄ ²⁻		bellow 200 mg/l	25.37±4.02	21.37±1.57	26.68±6.27	19.68±2.31	21.62±1.24
Zn		bellow 1 mg/l	0.19±0.08	0.17±0.04	0.18±0.06	0.17±0.05	0.17±0.03

* Mean S.E.

Table 2. Distribution rates of NO₃-N in ground water.

Conc.	Regions	Kangdong	Kangnam	Songpa	Seocho	Total
0~5.0 mg/l		64(37.9%)	18(75.0%)	16(64.0%)	37(41.1%)	135(43.8%)
5.1~10.0 mg/l		41(24.3%)	4(16.7%)	6(24.0%)	37(41.1%)	88(28.6%)
10.1~15.0 mg/l		29(17.2%)	1(4.2%)	2(8.0%)	10(11.1%)	42(13.6%)
15.1~20.0 mg/l		13(7.7%)	1(4.2%)	0(0%)	5(5.6%)	19(6.2%)
20.1 mg/l<		22(13.0%)	0(0%)	1(4.0%)	1(1.1%)	24(7.8%)
Total		169	24	25	90	308

Table 3. Correlation Coefficient (r) and probability value in Each Item.

	NO ₃ -N	pH	Cl ⁻	KMnO ₄	T.H.	SO ₄ ²⁻	Zinc
NO ₃ -N	1.0000						
pH	-0.2435**	1.0000					
Cl ⁻	0.4851**	-0.0379	1.0000				
KMnO ₄ ***	-0.0667	-0.0865	0.0743	1.0000			
T.H*	0.3231**	0.0707	0.7399**	0.1006	1.0000		
SO ₄ ²⁻	0.0938	0.0219	0.3483**	0.0747	0.5617**	1.0000	
Zn	0.0709	0.0720	0.0338	-0.0180	0.0617	0.0526	1.0000

* T.H. : Total Hardness **p<0.01

*** KMnO₄ : KMnO₄ consumption

이는 강동지역 (9.69±0.15 mg/l)과 강남지역 (3.90±0.90 mg/l)에서 많은 차이를 나타냈으며 강동지역의 경우 서울지역에서 먹는물 년간 사용량이 452,606 m³ (서울시 전체지역의 36.4%)으로 가장 많이 사용하는 지역인 반면 Table 2에서는 먹는물 기준인 10 mg/l 이상인 시료가 64건 (37.9%), 22건 (13%)이 20 mg/l 이상으로 지역적인 오염과 먹는물 지하수관리의 소홀함이 심각한 것으로 나타났다.

그러나 서초지역은 10 mg/l 이상이 6건으로 일부지역이 오염을 보였으며 송파 및 생활용수사용량이 많은 (서울지역 사용량의 17.5%) 강남지역은 비교적 양호한 편을 보이고 있었으며 항목간의 상관관계는 Table 3에서 나타난 바와 같이 염소이온 r=0.4852, 경도 r=

0.3232로 고도의 유의성을 보여 주었으며 수소이온농도 r=-0.2435, 과망간산칼륨소비량 r=-0.0667과는 역상관을 나타내고 있다.

수소이온농도는 수중의 탄산염과 탄산농도의 차이에 의해 결정되며 오염도 측정의 지표로 본 조사결과 총 평균농도는 6.90±0.03이었으며 지역별로는 서초지역이 가장 높은 7.84±0.06이었으며 강남지역이 (6.88±0.13) 가장 낮은 것으로 나타났으며 질산성 질소와는 r=-0.2435로 강한 역상관을 나타냈다.

염소이온은 지각의 영향을 받으며 소멸되지않는 특성 때문에 염소이온 농도로 지질도를 작성하기도 한다. 인간 및 동물의 배설물, 가정하수 등이 오염원으로 평균농도는 33.99±1.39 mg/l로 기준인 150 mg/l에 비해

낮은농도로 나타났으며 경도 $r=0.7399$, 황산이온 $r=0.3483$ 의 항목에서 높은 유의성을 보여주었다.

과망간산칼륨소비량은 수중의 산화유기물질에 의해 소비되는 과망간산칼륨소비량을 말하며 소비량이 많다는 것은 그만큼 오염가능성이 많다는 것을 의미한다.

본 조사결과에서는 평균농도가 1.74 ± 0.06 mg/l로 먹는물 수질기준인 10 mg/l에 크게 못미치는 것으로 가장 높은 서초지역 (2.03 ± 0.17 mg/l)과 가장 낮은 강남지역 (1.53 ± 0.18 mg/l)과는 차이를 보이지 않았다. 항목중 경도 $r=0.1006$ 의 상관성을 보여 주었을 뿐 타 항목과는 별다른 유의성을 보이지 않았다.

경도는 수중의 Ca 및 Mg의 량을 이것에 대응하는 $CaCO_3$ 의 mg/l로 환산한 것으로 50 mg/l 이하에서 음용할때 좋은 것으로 200 mg/l에서는 연수화시켜 이용하는 것이 좋다. 본 조사결과에서는 평균농도가 128.19 ± 3.77 mg/l로 기준인 300 mg/l 보다는 낮으나 맛에 영향을 미치는 50 mg/l 보다는 높은 것으로 지역별로는 서초 108.46 ± 5.46 , 강남 123.21 ± 13.06 mg/l로 큰 차이를 보이지 않았으며 황산이온 $r=0.5617$ 과 고도의 유의성을 나타냈다.

황산이온은 지질의 영향과 비료나 폐수, 분뇨 등에 오염되며 산성우에서도 증가의 원인이 되는 것으로 평균농도는 21.62 ± 1.24 mg/l이며 송파지역이 26.68 ± 6.28 mg/l로 가장 높았으며 서초지역이 19.08 ± 2.31 mg/l로 가장 낮았고 염소이온과 경도에서 고도의 유의성을 나타냈다.

아연은 가공성이 양호하고 이온화 경향이 크고 수중에 쉽게 용출되는 특징이 있으며 오염시 백탁침전의 원인이 된다. 평균농도는 0.17 ± 0.03 mg/l로 기준인 1 mg/l에는 못미치는 것으로 지역별 차이 또는 항목간 상관성에서도 별다른 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

3. 수질간의 질산성질소 농도비교

먹는물의 질산성 질소 평균농도는 Table 1에서 나타난 바와 같이 7.99 ± 0.43 mg/l로 타 수질과는 커다란 차이를 보이고 있었다. 95년 서울지역 수도전에서는 평균 1.8 mg/l이었으며 시중에 유통되는 먹는샘물의 경우 채,¹³⁾ 한국식품연구소¹⁴⁾에서 각각 1.23 mg/l, 1.75 mg/l의 농도를 보였으며 자체 30건을 분석한 결과 Table 4에서와 같이 평균 1.05 ± 0.04 mg/l로 나타났으며 또한 강남 서초 지역을 중심으로 산간지역 응달샘을 분석한 결과 (Table 5) 평균 1.85 ± 0.04 mg/l로 비교적 먹는물 지하수 보다는 낮은 결과를 보였다 (Fig. 1).

이는 주거지역의 지하수가 주변환경의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

Table 4. NO_3-N Concentration in Mineral Water. (unit : mg/l)

site No.	concentration	site No.	concentration
1	0.7	16	0.0
2	1.3	17	0.2
3	3.5	18	2.1
4	1.7	19	1.3
5	0.0	20	0.0
6	0.7	21	0.0
7	0.9	22	0.6
8	0.6	23	3.1
9	1.5	24	1.1
10	0.0	25	0.7
11	0.5	26	0.3
12	1.3	27	2.4
13	0.0	28	0.0
14	4.7	29	0.5
15	1.5	30	0.2
Mean \pm SE	1.047 \pm 0.038		
Minimum	0.0	Maximum	4.7

Table 5. NO_3-N Concentration in Ongdalsam. (unit : mg/l)

site No.	concentration	site No.	concentration
1	1.7	26	0.7
2	1.4	27	1.8
3	0.1	28	0.7
4	0.5	29	1.7
5	8.3	30	0.2
6	0.2	31	5.2
7	0.5	32	1.5
8	2.4	33	0.4
9	1.7	34	1.4
10	6.4	35	0.7
11	2.6	36	0.2
12	3.2	37	1.7
13	1.7	38	0.8
14	3.4	39	0.4
15	2.3	40	0.2
16	1.3	41	6.6
17	0.7	42	0.9
18	0.9	43	1.1
19	0.5	44	3.5
20	0.2	45	4.8
21	1.2	46	5.1
22	0.2	47	0.4
23	1.5	48	2.0
24	2.8	49	1.6
25	1.5	50	1.6
Mean \pm SE	1.848 \pm 0.036		
Minimum	0.1	Maximum	8.3

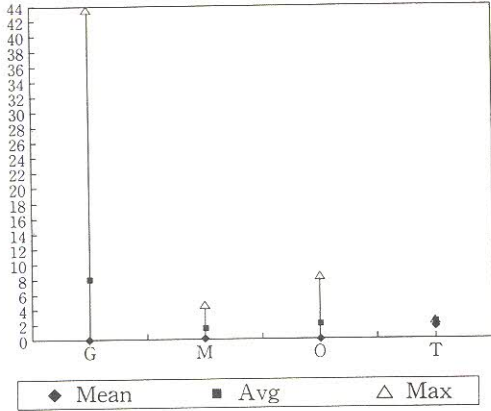


Fig. 1. Distribution of Mean., Avg. and Max. of Potable water.
G: Ground water M: Mineral water
O: Ongdalsam T: Tap water

4. 심도에 따른 질산성 질소 분포현황

대상지역 308건 중 76건을 임의 선정하여 심도별 농도 분포 현황을 조사한 결과 Table 6과 같다.

Table 6. Distribution of under NO₂-N concentration according to the well depths.

Depth	< 30 m (n=20)	31-90 m (n=21)	91m< (n=19)
Conc.			
0~5.0 mg/l	8 (40.0)	12 (57.1)	12 (63.2)
5.1~10.0 mg/l	6 (30.0)	4 (19.0)	4 (21.1)
10.1 mg/l<	6 (30.0)	5 (23.8)	3 (15.8)

Table 6에서 나타난 바와 같이 천층 (30 m 이내)에서는 저농도인 5 mg/l이내가 8건 (40%)이었으며 고농도인 10 mg/l 이상에서도 6건 (30%)으로 나타났고 중층 (31~90 m)의 경우 21건 중 저농도인 5 mg/l이내가 12건 (57.3%)으로 심층 (90 m 이상)에서는 19건 중 12건 (63.2%)으로 점차 증가하는 추세를 보였으며 반대로 고농도인 10 mg/l 이상에서는 천층 6건 (30%), 중층 5건 (23.8%), 심층 3건 (15.8%)로 점차 감소 (Fig. 2)하는 것으로 보아 심도의 깊이에 따라 즉, 외부의 각종 오염원에 의해 토양이 오염될 경우 직 간접으로 지하수오염에 영향이 미치는 것으로 나타났으며 조사지역의 오염물질 발생량은 Table 7과 같다.

Table 7. Outputs of the Pollution products.

Regions	Production of industrial waste waters (m ³)	Production of harmful waste waters (m ³)	Feces (m ³)	Sludge of septic tank (m ³)	Agricultural areas (km ²)	Forest areas (km ²)
Kangnam	1354	160	3.3	573.2	4.58	7.21
Kangdong	644	291	11.3	205.4	3.53	3.44
Songpa	2180	184	10.3	382.2	3.53	2.14
Seocho	375	208	5.3	481.9	6.15	18.57

자료: 환경부 '93 폐수배출업소 명단

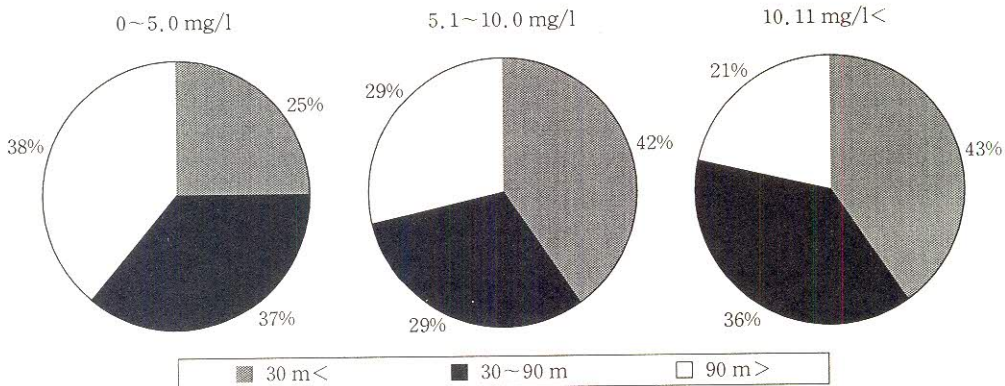


Fig. 2. Distribution of the underground water according to the concentration.

결 론

1995년 1월부터 12월까지 본 연구원에 의뢰된 봉인 먹는물 지하수 308건을 대상으로 질산성 질소 외 6개 항목을 분석하였으며 양질의 먹는물과 비교하기 위하여 시중 유통되는 먹는샘물 30건과 강남 서초지역의 웅달샘 50개소의 질산성 질소를 분석한 결과 다음과 같았다.

1. 봉인지하수의 검사항목 평균농도는 질산성 질소 7.99 ± 0.43 mg/l, 수소이온농도 6.90 ± 0.03 , 염소이온 33.99 ± 1.39 mg/l, 과망간산칼륨소비량 1.74 ± 0.06 mg/l, 경도 128.19 ± 3.77 mg/l, 황산이온 21.62 ± 1.24 mg/l, 아연 0.17 ± 0.03 mg/l이었다.
2. 먹는샘물 및 강남 서초지역의 웅달샘 질산성 질소 농도는 각각 1.05 ± 0.04 mg/l, 1.85 ± 0.04 mg/l이었다.
3. 질산성 질소와 고도의 상관관계를 나타낸 것은 경도 및 염소이온 ($p < 0.01$)이었다.
4. 심도별로는 천층(낮은층)에서 고농도의 비율이 많았으며 중층 및 심층으로 내려갈수록 고농도의 비율이 낮아졌다.

참 고 문 헌

1. 한국환경과학협회 : 지하수 환경기준 및 지하수오염 판단기준 설정에 관한 연구, p.15(1993).
2. 과학교재편집위원회 : 환경과 공해, 동화기술, p.11 (1989).
3. 시정개발연구원 : 서울시 지하수 오염방지 및 관리방안 연구, p.29(1995).
4. Mary E. Exner and Roy F. spa lding. " Ground-water Contamination and well Construction.in Southest Nebraska", Ground water, 23(1):26 (1985).
5. James M. Gerhart, " Ground-water Recharge and its Effect on Nitrate Concentration beneath a Manured Field Site in Pennsylvania", Ground-water, 24(4):483(1988).
6. 농어촌 진흥공사 : 지하수 개발과 농어촌용수, p.75 (1994).
7. 이해식 : 서울시내 지하수의 이화학적 특성에 관한 연구, 서울시립대학교 도시행정대학원, 석사학위논문 (1992).
8. 박석기, 이강문, 김성원, 임봉택, 박성배, 이용욱 : 목장지역 음용수의 위생학적 조사연구, 한국환경위생학회, 19:44(1993).
9. 이진현, 이인숙 : 농촌지역 개인소유 음용수와 간이상수도의 수질에 대한 비교 연구, 한국환경위생학회지 20:54(1994).
10. 일본약학협회 : 위생시험법 주해, 금원출판주식회사, 동경 p.921(1990).
11. 한정상 : 지하수학개론, 박영사, 서울 p.355(1982).
12. 어수미, 오수경, 박성배 : 서울지역 지하수의 오염도와 성분별 상관성 검토, 한국환경위생학회지, 15:51 (1989).
13. 채영주, 오수경, 박성배 : 시판 생수의 성분에 관한 조사, 한국환경위생학회지, 15(1):81(1989).
14. 한국식품공업협회 식품연구소 : 광천수의 성분분석 및 규격기준안에 관한 연구(II), p.28(1989).