

## 地下水중 陰이온, 陽이온, 및 金屬의 含量

김형석, 정세영, 최중명

경희대학교부설 유해물질연구소

### Groundwater Contamination by Cation, Anion and Pesticides

Hyung-Suk Kim, Se-Young Chong, Joong-Myong Chae

*Institute of Hazardous Substances, Kyung Hee University*

#### Abstract

According to the increase of population and industrialization, the quality of our drinking water are becoming worse by the contamination of resources, production of THM and other halogenated hydrocarbons during the purifying process, the problem of corroded water supplying pipeline, and the water reservoir tanks. Many people choose groundwater to drink instead of city tap water, but sometimes we get report about groundwater contamination by wastes, swage, septic tank, etc. It is reported that in U.S. over 20% of population are drinking groundwater, but U.S EPA reported the groundwater contamination by pesticides, herbicides, fungicides, fertilizer, and various chemical substances.

Craun, et al announced the groundwater contamination by bacteria which are related with poor installation of septic tank. Johnson and Kross mentioned aboutmethemoglobinemia by  $\text{NO}_3\text{-N}$  originated from human and animal feces, organic chemicals, and fertilizer, and as the results the infant mortality could be risen. Some scientist also reported the high concentration of metals in groundwaters and some cation and anions, and volatile organic compounds.

Authors investigated 80 groundwaters in urban, agricultural, and industrial area during last 3 month(June-August) to check any drinking water quality parameters are exceeding the standards. The results were as follow.

1. The average value of ammonia nitrate were within the standard, but 11.76% of urban area were exceeded the 10 ppm standard, in agricultural area 42.31% were exceeded, and in industrial area 20.2% were exceeded the drinking water standard of 10 ppm. the highest concentration was 29.37 ppm in industrial area.

2. The mean value of metals is not exceeded the standard, but there were some groundwater whose Mn value was 0.424 ppm(standard is 0.3 ppm) in urban area, 0.737 ppm in agricultural area, and 5.188 ppm in industrial area. The highest Zn value was 1.221 ppm(standard is 1.0 ppm)was found in industrial area.

3. The percentage of contamination by general bacteria was 8.82% in urban area, 15.38% in agricultural area, and 15.00% in industrial area. Escherichia coli group was also contaminated by 35.29% in urban area, 30.76% in agricultural area, and 30.00% in industrial area.

4. The pH value was within the standard which means there was no influence by acid or alkali chemicals, nor acid rain.

Through the above results, all the groundwater should be tested to check the safety for drinking water and should make some alternative methods suitable for drink.

## I. 序 論

人口의 증가와 産業의 발달로 인하여 우리가 食水로 마시는 수돗물이 수자원의 오염, 처리과정에서의 약품 및 THM생성, 송수시 송수관의 노후, 저장탱크에서 이물질의 용출등에 의하여 식수의 수질을 오염시키고 있는 실정이다. 이러한 이유로 많은 사람들은 地下水를 식수로 이용하고 있으나 최근 산업폐기물, 쓰레기, 공장폐수, 농약, 산성비 등에 의하여 지하수가 심하게 오염되어 있다는 보고가 발표되고 있다.<sup>1)~4)</sup> 미국에서는 주민의 약 20%는 지하수를 식수로 사용하고 있으며 특별한 처리없이 음료수로 사용되어왔다. 그러나 최근에는 산업활동과 농업

활동에 의하여 유기물의 오염이 크게 문제시되고 있다. 미국에서 地下水라고 하는 것은 25명 이상의 사람들이 마시는 물을 지하수라고하며 약 45,000 곳의 지하수 공급처가 있으며 이 지하수를 이용하는 사람수는 1억 이나 된다고 알려지고 있다.

미국 EPA의 Dowd등<sup>5)</sup>은 농촌지역에 있는 지하수중에 농약이 존재한다고 하였으며 농산물을 보호하기 위한 제초제, 살충제, 살진균제, 비료, 성장촉진제 등과 같은 화학약품들과 지하수오염과의 관계는 매우 중요하다고 하였다.<sup>6)</sup> Craun등<sup>7)</sup>은 지하수가 병원성 세균에 의하여 오염되는 현상은 근처에 열약한 부패조 설비때문이라고 하였고 下水에 포함된 세균, 바이러스, 원생동물, 기생충등

은 토양을 통하여 지나갈때 대부분 흡착된다고 하였으나, 오염된 지하수중에는 염소이온, 황산이온, 나트륨이온들이 많다고 하였고 질산염의 농도가 50~100mg/L의 범위에 있는 지하수도 있었다고 하였고,<sup>8)~10)</sup> Johnson과 Kross<sup>11)</sup>는 축산폐수와 사람의 분뇨, 유기물질의 폐수, 비료등에 의하여 지하수가 오염되어 NO<sub>3</sub>-N에 의한 methemoglobine-mia에 의한 유아 사망이 발생하게 된다고 하였다.

특수 폐기물 매몰지역과 pH가 낮은 지역의 토양과 지하수에는 금속의 농도가 일반적으로 높은 것으로 알려지고 있다. Matthes<sup>12)</sup>는 오염된 지하수중에 비소의 농도가 56 mg/L정도가 검출되었다고 발표하였고 Kakar와 Bhatnagar<sup>13)</sup>는 인도에서 6가 크롬이 12mg/L, 시안농도가 12mg/L까지 검출되었다고 하였고 미국 이리노이주에서 폐코크스 매몰지역의 산성 침출액중에 황산염이 30g/L, 철이 1400mg/L, 아연이 1500mg/L, 카드미움이 20mg/L 검출되었다고 발표하였다.<sup>14)</sup>

지하수중에 유기물의 오염은 주로 토양오염에서 유래하는 곳으로 알려지고 있다.

chloroform, carbontetrachloride, trichloroethylene, dichlorobenzene과같은 염화 탄화수소는 오염지역에서 검출되었다는 보고가 있으며<sup>15)</sup> 네델란드에서는 alkylbenzene이 100~600ug/L, halogenated hydrocarbon이 10~3,000ug/L가 검출되었다고 하였다. 이들 탄화수소는 물에대한 용해도가 대단히 높고 생물학적, 화학적 분해가 잘되지 않아 지하수에 수년동안 존재하게 된다. 일본에서 tetrachloroethylene의 검출지역은 거주지역으로서 91개 우물물을 대상으로 조사한 결과

3지점의 오염원을 밝혔고<sup>16)</sup> Ryon등은<sup>17)</sup> 화학성분인 2, 4, 6-trinitrotoluene(TNT)가 미국 화학공장 부근의 지표수와 지하수에서 검출되었다고 발표하였다.

Kjublarian<sup>18)</sup>은 소련의 공업지역과 농촌지역에서 화학약품을 사용함으로써 이들이 지하수를 오염시키고 오염된 지하수를 식수로 사용하였을때 사람의 건강에 미치는 영향에 대하여 연구 발표하였다.

地下水汚染을 연구하는 많은 연구가들에 의하면 토양오염이 지하수를 오염시키는주된 원인이라는것이 차츰 인식되어지고 있다. 미국에서는 지하수오염중 병원균의 오염이 시설미비와 부패조에 기인한다는 보고가 있으며 흙의 여과능력 때문에 일반 병원성 미생물은 제거되기도하나 virus는 지하수에 혼입되어 이 물을 식수로 사용하는 사람들의 건강에 위협을 주고있다. 한편 오염된 지하수에는 chloride ion, sulfate ion, sodium ion, nitrate ion, ammonia ion등이 고농도로 함유되어 있음이 밝혀지고있다.<sup>19)</sup>

우리나라에서는 아직 地下水汚染에 대한 연구가 별로 수행되지 않고 있는 실정이며 상수도의 오염이 크게 대두되어 많은 국민들이 지하수를 식수로 사용하고있는 상황에서 이에대한 조사연구와 대책이 시급하므로 본연구를 수행하였다.

## II. 實驗方法

### 1. 시료채취

5대도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주)를 선정한후 다시 도시지역(34개소), 공업지역(20개소), 농촌지역(26개소)으로 분류하여

지하수를 음용수로 사용하는 우물만을 선장하여 물을 10 liter씩 시료로 채수한후 Ice Box에 넣고 실험실로 운반하여 24시간내에 분석하였다.

## 2. 분석방법

일반수질항목은 환경오염 공정시험법과 미국의 Standard Method에 의하여 측정하였고 이온은 Ion Chromatograph로 금속은 Atomic Absorption Spectrophotometer로 농약은 Gas Chromatograph로 각각 실험하였다.

## 3. 실험기구

- 1) Gas Chromatograph, Varian Vista 4800  
 Column : 30 m long  $\times$  10.25 mm I.D.  
 DB-5 bonded fused silica column, 0.25  $\mu$ m film thickness(J & W Scientific)  
 Oven Temperature : 60°C to 300°C at 4 C/min  
 Injector Temperature : 250 C  
 Detector Temperature : 300C  
 Carrier Gas : N<sub>2</sub> 30ml/min  
 Injection Volumn : 2ul  
 Detector : TSD(nitrogen-phosphorus)
- 2) Ion Chromatograph, Dionex 45001  
 Cation  
 Eluent : 30mM HCl : 6mM DAP-HCl=80 : 20  
 Reagent : 50mM Ba(OH)<sub>2</sub>  
 Column : CG3, CS3, CMMS  
 Flow Rate : 0.8ml/min

## Anion

- Eluent : 1.8mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> : 1.7mM NaHCO<sub>3</sub>=80 : 20  
 Reagent : 25mN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 Column : AS4A, AG \$ A, AMMS  
 Flow Rate : 1.5ml/min  
 Detector : Conductivity, 30uS  
 Sample Volumn : 50ul

## 4. SPE법에 의한 시료의 추출

- 1) Column : 8 mm I.D.  $\times$  152 mm Reusable Glass Column(Pierce, U.S.A.) 밑 부분에 glass wool(silane treated, Applied Science Lab. Inc., U.S.A.) 을 약간 넣고 그 위에 Bondesil(Varian, C-18) 100 mg을 넣은후 다시 glass wool을 다시 놓는다.
- 2) Conditioning : 2  $\times$  6 ml : ethylether(1 : 1)  
 6ml methanol  
 6ml deionized water(물이 5 mm정도 남게 한다)
- 3) Sample : 250ml의 시료를 통과시킨다 (10ml/min)
- 4) Drying : 5~10 분간 공기를 통과시켜 column을 건조시킨다.
- 5) Elution : 2  $\times$  1.5ml hexane : ethylether (1 : 1)

## 5. 有機溶媒 分析

미국 EPA 504방법<sup>20</sup>에 따라 시료 35ml를 vial에 넣은후 NaCl 1g을 넣고 용해시킨후 2ml hexane을 넣어 1분간 격렬히 흔들어 추출하였다.

6. 金屬測定

미국 Instrumentation Laboratory사 Atomic Absorption Spectrophotometer, model 551을 이용하였다.

III. 實驗結果

地下水중 금속의 함량을 알아보기 위하여 都市地域, 農業地域, 工業地域으로 분류하여 우리나라의 음용수기준에 항목으로 나오는 Fe, Zn, Mn, Cd, Pb, Cu를 대상으로 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer)로 측정한 결과 Table 1과 같은 성적을 얻었다.

실험결과 음용수 수질기준치중 6가지 금속 가운데 4가지인 Fe, Cd, Pb, Cu등은 기준치 이내이었으나 Mn은 住居地域에서 최고 0.424 ppm(기준 0.3 ppm)이었고 農業地域에서 최고 0.737 ppm이었으며 工業地域에서는 최고 5.188 ppm이었다. 평균치를 보면 주거지역과 농업지역에서는 기준치인 0.3 ppm이하였으나 공업지역에서는 0.522 ppm으로서 기준치보다 높았다. 한편 Zn은 공업지역에서 최고 1.221 ppm으로 기준치인 1.0

ppm을 초과 하였다. 3지역간에 금속농도를 그림으로보면 다음과 같다(Fig. 1).

지역적으로 서로다른 시료가운데 산, 알칼리등 화학약품에 의한 오염여부를 알아보기 위하여 pH 및 KMnO<sub>4</sub> 소비량을 측정한 결과 pH는 도시지역의 평균치가 6.7, 농촌지역이 6.5, 공업지역이 6.5로서 3지역간에 차이는 별로 없었다.

KMnO<sub>4</sub> 소비량은 도시지역에서의 평균치가 1.34 ppm, 공업지역이 1.35ppm으로 비슷하였으나 농촌지역에서는 1.77 ppm으로 3지역가운데 가장 높았으며 최고치는 농촌지역에서 7.54 ppm 이었다.

地下水중 양이온 Na, K, Mg, Ca, 및 NH<sub>4</sub>, 그리고 경도를 측정 비교한 결과 Table 2와 같았다. 즉 Na는 도시지역과 농촌지역에서 11.33 ppm 및 11.66 ppm 이었고 공업지역에서는 9.77 ppm이 검출되었다. K 이온은 도시지역에서 3.16 ppm, 공업지역에서 2.52 ppm 이었으나 농업지역에서는 5.78 ppm이 검출되었다. Mg은 도시, 농촌, 공업지역에서 각각 9.98 ppm, 11.61 ppm, 및 8.49 ppm 이 검출되어 비슷한 농도를 보였다.

Ca은 도시지역에서 47.77 ppm, 농촌지역

Table 1. Comparison of Metals in Groundwater Among Urban, Agricultural, and Industrial Area.

(unit : ppm)

Area	Urban Area				Agricultural Area				Industrial Area			
	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D
Fe	0.005	0.021	0.011	0.005	0.003	0.089	0.015	0.024	0.004	0.077	0.016	0.021
Zn	0.000	0.399	0.069	0.101	0.001	0.118	0.032	0.034	0.006	1.221	0.251	0.390
Mn	0.009	0.424	0.053	0.101	0.010	0.737	0.145	0.253	0.010	5.188	0.522	1.478
Cd	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000
Pb	0.003	0.065	0.035	0.017	0.018	0.072	0.037	0.017	0.001	0.064	0.026	0.021
Cu	0.001	0.008	0.004	0.002	0.000	0.017	0.004	0.004	0.001	0.012	0.004	0.003

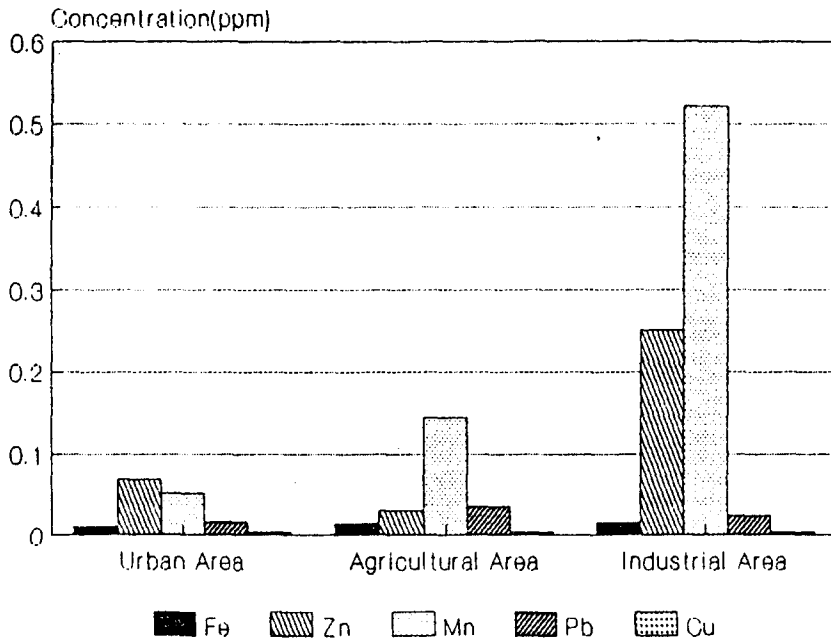


Fig. 1. Metal Concentration in 3 Area

Table 2. The pH Value and KMnO<sub>4</sub> Consumption in Urban, Agricultural, and Industrial Area Groundwater. (unit : ppm)

Area Cation	Urban				Agricultural				Industrial			
	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D
Na	4.6	17.3	11.33	2.96	7.13	17.28	11.66	2.62	3.04	15.34	9.77	3.51
K	0	12.9	3.16	3.48	1.00	28.05	5.78	7.00	0.8	16.36	2.52	3.29
Mg	1.0	23.09	9.98	6.93	3.22	21.63	11.61	5.29	2.0	22.03	9.49	6.17
Ca	4.4	106.55	47.77	29.95	10.65	94.09	48.61	22.63	10.06	85.98	41.34	23.17
NH <sub>4</sub>	0	5.97	0.37	1.44	0	0.78	0.07	0.22	0	0.09	0.01	0.02
Hardness	16.03	361.53	161.3	100.91	10.32	318.8	165.8	82.36	33.08	307.21	134.1	85.9

에서 48.61 ppm, 공업지역에서 41.34 ppm으로 지역간에 차이가 별로 없었다. NH<sub>4</sub> 이온은 도시지역의 평균치가 0.37 ppm으로 가장 높았고 다음이 농촌지역으로 0.07 ppm, 공업지역은 0.01 ppm으로 가장 낮았다. 경도는 3지역의 각각의 평균치가 134~165 ppm 사이로서 거의 비슷하였다.

음이는 가운데 불소의 3지역 평균치를 살펴보면 도시지역과 공업지역에는 0.16 ppm 및 0.15 ppm 이였고 농촌지역에서는 0.08 ppm 이였다. 염소이온은 3지역의 평균치가 각각 25.65 ppm, 29.32 ppm, 29.03 ppm으로 나타났으며 NO<sub>2</sub>-N는 도시지역에서 0.07 ppm, 농촌지역에서 0.06 ppm, 그리고 공업

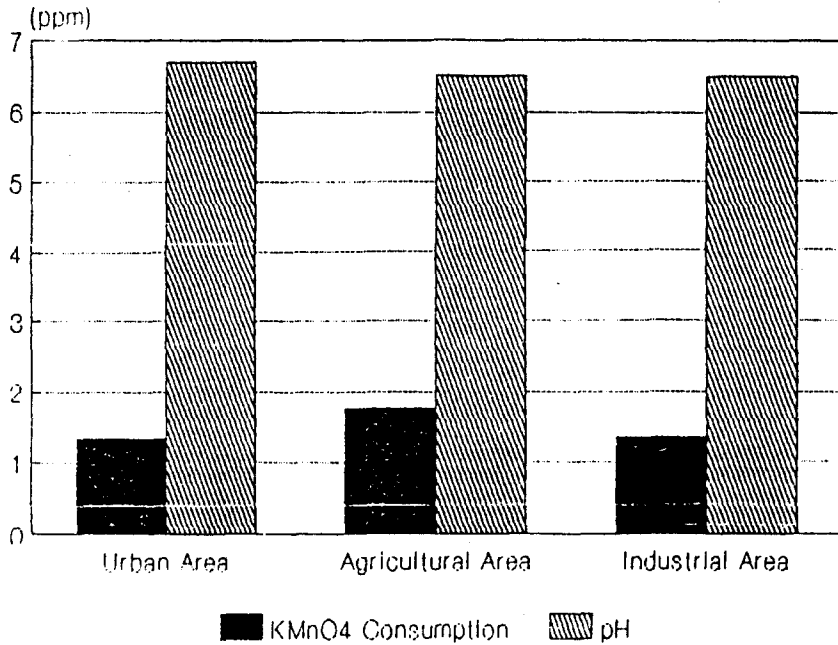


Fig. 2. Mean Value of pH and KMnO<sub>4</sub> Con

Table 3. Concentration of Cations and Hardness in Urban, Agricultural, and Industrial Area Groundwater. (unit : ppm)

Area Cation	Urban				Agricultural				Industrial			
	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D
Na	4.6	17.3	11.33	2.96	7.13	17.28	11.6	2.62	3.04	15.34	9.77	3.51
K	0	12.9	3.16	3.48	1.00	28.05	5.78	7.00	0.8	16.36	2.52	3.29
Mg	1.0	23.09	9.98	6.93	3.22	21.63	11.61	5.29	2.0	22.03	8.49	6.17
Ca	4.4	106.55	47.77	29.95	10.65	94.09	48.61	22.63	10.06	85.98	41.34	23.17
NH <sub>4</sub>	0	5.97	0.37	1.44	0	0.78	0.07	0.22	0	0.09	0.01	0.02
Hardness	16.03	361.53	161.3	100.91	10.32	318.8	165.8	82.36	33.08	307.21	134.1	85.9

지역에서는 0.01 ppm으로 가장 낮았다.

NO<sub>3</sub>-N는 평균치가 도시지역에서 4.73 ppm, 농촌지역에서 9.84 ppm, 공업지역에서 4.18 ppm으로 농촌지역이 다른지역 보다도 2배가량 높게 검출되었다. 한가지 특이한점은 질산성 질소가 영아에게 methemoglobinemia를 일으키므로 이성분의 최대치를 관

찰하여보면 도시 지역에서는 최고 16.65 ppm, 농촌지역에서는 29.37 ppm, 공업지역에서는 22.14 ppm이 검출되어 있음이 특이하였다. Br의 함량은 0.22~0.57 ppm 범위에 있었으며 SO<sub>4</sub> 이온은 33.57~40.02 ppm 사이에 있었으며 PO<sub>4</sub> 이온은 도시지역에서 0.03 ppm, 농촌지역에서 0.97 ppm, 그리고 공업

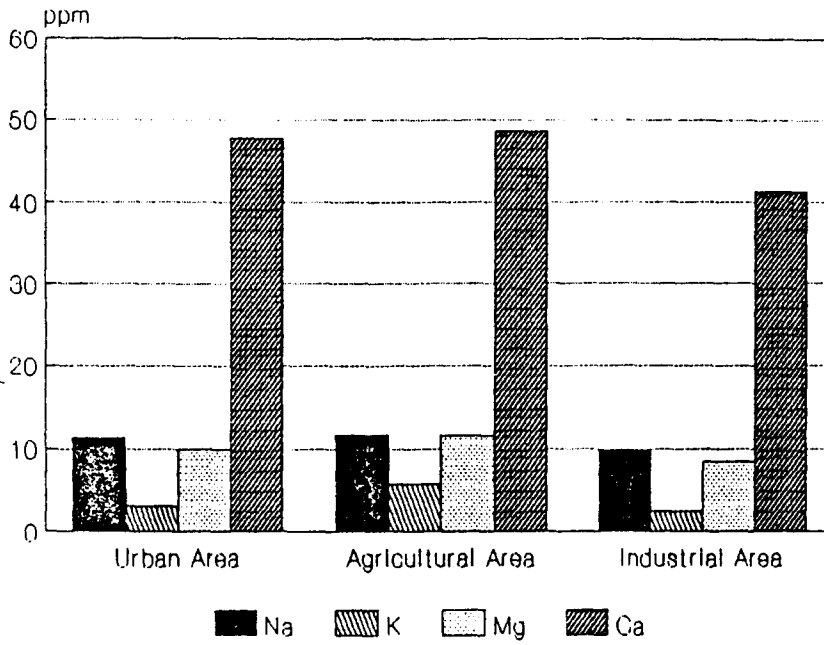


Fig. 3. Concentration of Cations

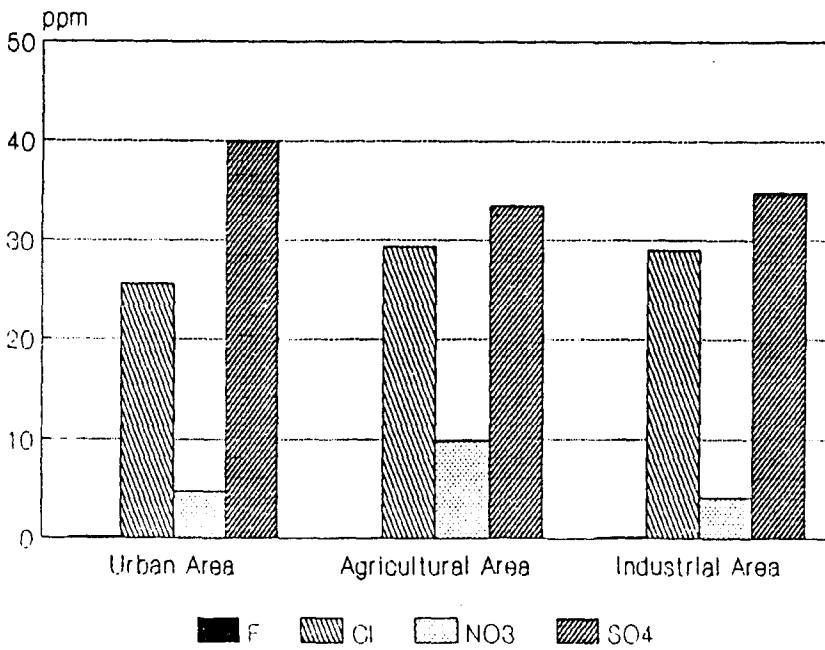


Fig. 4. Anion Concentration



Table 4. Comparison of Anion Concentrations in the Urban, Agricultural, and Industrial Area Groundwater

Area Anion	Urban				Agricultural				Industrial			
	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D
F	0	0.61	0.16	0.03	0	0.38	0.08	0.08	0	0.67	0.15	0.18
Cl	3.55	43.79	25.65	11.89	6.31	65.76	29.32	12.65	7.83	60.04	29.03	14.65
NO <sub>2</sub>	0	1.49	0.07	0.30	0	1.80	0.06	0.34	0	0.19	0.01	0.04
NO <sub>3</sub>	0	16.65	4.73	4.64	0	29.37	9.84	9.28	0	22.14	4.18	5.29
Br	0	0.82	0.31	0.52	0	0.57	0.06	0.11	0	0.22	0.09	0.08
SO <sub>4</sub>	2.12	115.81	40.02	44.22	0	97.50	33.57	25.97	3.13	111.5	34.95	36.94
PO <sub>4</sub>	0	1.22	0.03	0.21	0	0.97	0.03	0.18	0	07	0	0

Table 5. Level of the General Bacteria and E. coli Group in Groundwater.

Area Bacteria	Urban	Agricultural	Industrial	Average
General Bacteria	8.82 % (3/34)	15.38 % (4/26)	25.00 % (5/20)	15.00 % (12/80)
E. coli Group	35.29 % (12/34)	30.76 % (8/26)	30.00 % (6/20)	32.50 % (26/80)

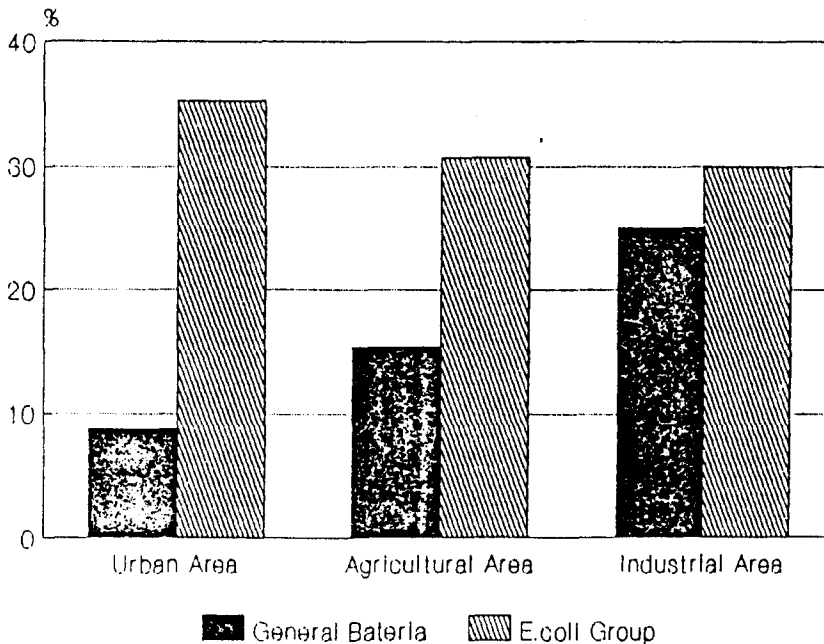


Fig. 5. Exceeded % of Bacteria Standed

지역에서는 검출되지 않았다.  
조사대상 80곳의 우물가운데 일반세균이

음용수 기준치를 넘는곳은 12군데로 부적합  
한 곳이 15%이었는데 이중에서 도시지역에

서는 8.82%, 농촌지역에서는 15.38%, 공업 지역에서는 25.00%로 나타났다. 대장균군에 의한 오염상태는 도시지역이 35.29%, 농촌 지역이 30.76%, 공업지역이 30.00%로 평균 32.50%가 기준을 초과하였다.

#### IV. 考 察

1979년 미국 캘리포니아주에서 우물물(drinking water well)에서 농약성분인 DBCP가 검출되었고 Long Island에서는 역시 우물물에서 aldicarb라는 농약이 잔존함을 알아낸 이후에 농약이 토양을 지나서 지하수에 침투 한다는것을 밝혔다.<sup>21),22)</sup> 이 검사가 있기 이전에는 농업용 화학약품(Agricultural Chemicals)이 지하수에 존재하리라고는 예측하지 못하였으며 이에대한 연구가 수행되지 않았었다. 이를 계기로하여 여러곳의 지하수에대한 감시체계, 실험실적 조사, 현장조사연구, 컴퓨터 모델링등이 수행되어졌다.

지하수중 농업용 화학약품은 오염원을 다음과 같이 2가지로 분류한다. 첫째는 간접오염원(non-point source, 非點汚染)으로서 이것은 농경지에 농업용 화학약품을 정상적으로 살포하였을때 잔유량이 토양을 통하여

지하수로 침투하는것이고 직접오염원(point source, 點汚染)는 농업용 화학약품을 부적절히 저장, 취급, 혼합, 기구세척, 직접 우물물에 침투등이다. 대부분의 경우 지하수중 농업용 화학약품의 존재는 간접오염에 의하지만 때때로 고농도인 경우에는 직접오염에 의하는 경우가 많다.

미국의 Jones<sup>25)</sup>는 직접오염의 원인은 우물 근처에서 흘리는 경우로서 이를 방지하기 위하여는 혼합시 농경지에서 실시할것과 우물 근처에서 시행할 경우에는 콩크리트된 장소에서 혼합하고 흘린약품은 곧 제거할 수 있도록 하여야한다고 하였다. 분무에 사용한 기구들은 3회세척한후 농경지에 뿌릴것을 강조하였다. Jones는 지하수 오염을 방지하기 위하여 농업용 화학약품의 분해율 예측에대한 연구와 토양중 틸, 벌래구멍, 거칠은 모래등에 대한 조사와 흡착과 용출에 대한 연구가 진행되어야 한다고 밝혔다.

스웨덴의 Hans Falk는 지하수의 산성화에 대한 심각성을 발표한 가운데 pH가 4.3이하의 산성비가 지하수를 산성화 시킨다고 하였다. 이같은 산성비가 토양과 바위를 통과하는 과정에서 중화하기 위하여는 석회(lime)질이나 중화제가 있어야 되는데 유럽 중부에 limestone, chalk등이 많으나 스칸디

Table 6. 地下水의 直接汚染源(點汚染源, Point sources of groundwater contamination)

汚 染 源 (Source of Contamination)	例 (Example)
하수 처리장	하수 저장소, 부패조, 축산지, 오물구덩이
지상 폐기물 방치	매물, 부엌쓰레기, 일반쓰레기 방치소
지하 폐기물 처리	저장탱크, 동굴, 지하저장소
누출, 세척, 침투	기름, 가스누출, 자동차 세척, 실험실 폐수 해수 침투
광업	산성액 유출, 가스 누출, 광물질 매물
천연미네랄	해수 연못, 온천

Table 7. 地下水의 間接汚染源(非點汚染源, Distributed sources of contamination)

汚染源 (Source of Contamination)	例 (Example)
농업	농토, 산림, 축산지
임학	생산품 저장, 목재, 도로건설
건설	농촌개발, 고속도로 건설
광업	지상, 지하
토지	매물, 투기
시설유지	고속도로, 거리
웅축	비, 눈
기타	자연산림

나비아에는 얇은 흙이 덮혀있고 바위가 깔려있어서 중부유럽보다 1/10정도로만 중화작용이 일어난다고 하였다(26). 그러나 본 연구에서는 pH의 범위가 최저 5.6에서 8.1로 스웨덴의 pH 4.3과는 관계없이 지하수의 산성화 현상은 없는것으로 나타났다.

Egboka등에 의하면 지하수를 오염시키는 근원과 노출된 근원은 다음 Table 6과 같다.

직접오염원에서 방출된 오염물질은 토양과 지하적인 여러 인자 및 비와 눈등에 의하여 지하수에 도달한다. 예를들면 매몰된 폐기물이나 음식 찌꺼기는 토양중에서 생물학적 분해를일으킨다. 그결과 생긴 침출액은 지하수로 흘러 들어간다. 동물의 분뇨나 폐수도 분해 침출되어 지표수와 지하수를 오염시킨다. 여러 개발도상국에서 산업폐수와 가정하수가 무분별하게 강, 호수, 하천, 계곡으로 버려진다. 이와같은 현상으로 지표수가 먼저 오염되고 있다라 지하수가 오염되게되며 광산폐수도 환경을 황폐화 시킨다.<sup>30), 31)</sup>

간접오염원에서 배출되는 오염물질은 상당히 넓은 지역으로 확산하는데 바람, 강우, 강설등에 의하여 촉진되며 비료, 축산폐수, 농업배수등은 간접오염을 더욱 증가 시킨다.

酸性비는 선진국가에서 크게 문제시 되는데 미국, 캐나다, 독일, 스칸디나비아등지에서는 산성비로 인하여 지하수의 오염이 문제시되고 있다.

소련 Volga지역의 지하수면은 2~10m로서 염도는 0.2~15g/L로서 황산염과 염화물, 그리고 나트륨화합물은 이지역의 지하수에 전형적으로 포함되어 있다.<sup>32)</sup> 지하수의 깊이에 따라서 이온의 농도가 증가하는데 5~7m깊이에서 염소이온의농도는 8g/L인데 비하여 10~14m의 깊이에서 염소이온의 농도는 9g/L이었다. 한편 나트륨의 농도는 3~5m에서는 1.6g/L이었으나 5~7m의 깊이에서는 3.0~3.5g/L로서 지하수의 깊이에 비례하여 농도가 증가함을 알 수 있었는데 이 같은 현상은 Ca, Mg과같은 이온들도 비슷한 경향을 보였다. 한편 지하수의 염도는 바다와의 거리와 관련이 있다고 발표하였다.<sup>33)</sup>

미국환경청(US EPA)의 보고에 의하면 현재 사용되고있는 지하수의 1%는 오염되었다고하며 Lehr<sup>34)</sup>는 2% 이상이 오염되었다고 발표하고 있다. 우리가 지하수오염 상태를 잘 모르고 있는것은 지하수의 움직임이 대단히 느리다는것과 복잡하다는 것이다.

Patrick<sup>35)</sup>는 지하수 오염물질을 2가지로 분류하는데 그중 하나는 病을 일으키는 세균, 바이러스, 원생동물, 벌레, 곰팡이등과 같은 生物體이고 다들 한가지는 화학물질이다. 이들가운데 흔히 발표되는 오염물질은 유기물질, 생물체, 그리고 질산염이다.

Gibson과 Suflita는<sup>36)</sup> 혐기성 환경에서 haloaromatic chemical과같은 화합물들은 분해되어 메탄과 같은 저급 탄화수소가 된다고 하였다. Savannah라고하는 강에서는 700 feet 깊이에 2,000여종의 생리적으로 서로다른 미생물들이 있다고 하는데 이들은 여러 종류의 화학물질을 분해하는 역할을 하고있다는것을 암시한다.

지하수오염의 결과로 미치는 영향은 사람에게 미치는 영향과 환경에 미치는 영향을 들 수 있다. 미래를 생각해볼때 人口는 계속 증가되므로 地下水를 이용하는 사람의 숫자는 차츰 더 많아지므로 이에대한 대책을 마련하여야 되겠다.

축산배수, 사람의 분뇨, 화학비료, 기타 유기물질에서 유래되는 질산염에 의한 지하수의 오염은 계속적인 환경오염의 문제점이가고 Johnson등<sup>36)</sup>은 발표하였다. 질산염의 독성은 통계적으로 유아사망율을 높이는데 미국 미네소타에서 30개월중에 144건의 methemoglobinemia환자 가운데 14명이 사망하였고<sup>37)</sup> 많은 경우에 이 질병이 단순한 협심증이나 갑작스러운 영아사망군으로 발표된다고 하였다.<sup>38)</sup> 질산염에 의한 식수의 오염은 3가지 수질문제중에 한가지로서 세균, 독성 화학물질등이 이에 속한다.

누구든지 충분한 아질산염을 먹는 사람은 피부가 푸르게 변화되거나 cyanotic하게 된

다. 이같은 현상은 hemoglobin분자의 10%만 ferric state에서 ferrous state로 변하면 산소를 조직에 보내지 못하게 된다.<sup>40)</sup> methemoglobin은 보통 혈액중에 약 1%만큼 존재한다. 영아에게 methemoglobinemia가 발생하는 원인으로서는 질산염이 다량 함유된 물로 식품이나 약을만들어 먹일때 일어난다. 질산염은 직접 hemoglobin을 methemoglobin으로 변화시키지는 않으나 腸内미생물에 의하여 아질산염으로 변화된다.<sup>41)</sup>

Comly<sup>38)</sup>가 최초로 우물물에 질산염에 의한 영아의 methemoglobinemia에대한 보고가 있었고 비슷한 보고가 Canada, Belgium<sup>42)-45)</sup>에서 발표되었으며 전세계적으로 축산지근처, 부패조부근, 비료살포지부근의 우물물이 영아의 methemoglobinemia에 의한 사망의 원인이 된다고하며 경우에 따라서는 질산성 질소의 농도가 100~150 mg/L로 고농도인 경우도 있다고 하였다. Craun등<sup>46)</sup>에 의하면 질산성질소의 함량이 23~204 mg/L범위로 소련에서 검출되었다고 하였고 이같이 고농도의 질산염으로부터 methemoglobinemia를 예방하기 위하여는 ascorbic acid(Vitamin C)가 치료에 효과가 있는것으로 알려지고 있으므로<sup>47)</sup> 식사와함께 복용함이 좋겠다. 질산염의 오염은 우물의 구조가 허술하거나 적당치 않은 위치에 설치되어 있어서 질산염으로 오염된 지표수와 화학약품, 및 세균이 침투하게된다. 1981년에 미국 Big Sioux River Basin지역의 1,000개의 우물중 27%는 10ppm이상의 질산염을 함유하고 있었고 30% 이상은 대장균에 의하여 오염되었다고 하였다.

본 연구에서는 질산성 질소의 평균농도가

도시에서 4.73 ppm, 농촌에서 9.84 ppm, 공업지역에서 4.18 ppm이 검출되었는데 최고 농도는 도시지역에서 16.65 ppm, 농촌지역에서 29.37 ppm, 공업지역에서 22.1 ppm이 검출되어 기준치인 10 ppm을 넘는 지역이 여러곳 있었다.

우리나라의 농어촌진흥공사의 보고에 의하면 1989년도에 155개 관정을 조사한 결과 28.4%가 海水에 의하여 오염되었다고 하였고 일반세균이나 대장균에 의하여 오염상태도 1982년도에 46%에서 1990년에는 63%로 증가하였다고 보고되었다. 이같은 현상의 원인은 해수가 지반이 약해진 틈으로 흘러들어 지하수를 오염시키기도하고 파손된 지하수관을 통하여 각종하수가 유입되기 때문으로 본다. 한편 한국자원연구소의 보고에 의하면 대구의 공단지역인 침산동 노원동 일대에는 지하수오염이 심각한것으로 보고되었는데 이는 금호강 상류지역의 각종폐수가 지하로 유입되기 때문으로 밝혀졌다.

## V. 結 論

지하수 오염실태를 알아보기 위하여 현재 食水로 사용하고 있는 우물물만을 대상으로 金屬含量과 陰이온, 陽이온, 및 농약에 의한 오염도를 실험 연구한 결과 다음과같은 결론을 얻었다.

1. 질산성 질소의 평균치는 우리나라의 음용수 기준 이내에 들었으나 지하수별로 최고치는 10 ppm을 넘는곳이 도시지역에서 4개소(34개소중 11.76%), 농촌지역에서 11개소(26개소중, 42.31%), 공업지역에서 4개소(20개소중, 20.2%) 이었으며 최고치는 농업

지역에서 29.37 ppm 이었다.

2. 금속의 평균치는 음용수 기준치보다 높지 않았으나 개별적으로 기준치를 넘는 지하수는 Mn이 도시지역에서 최고 0.424 ppm(기준 0.3 ppm), 농촌지역에서 최고 0.737 ppm, 공업지역에서 최고 5.188 ppm이 검출되었다. Zn은 공업지역에서만 최고 1.221 ppm(기준 1.0 ppm)이 검출되어 기준치를 초과 하였다.

3. 일반세균에 오염된 도시지역 우물은 8.82% (3/34개소), 농촌지역이 15.38% (4/26개소), 공업지역이 25.00% (5/20개소)로서 평균 15.00%가 음용수기준을 초과하였다. 한편 대장균군은 도시지역이 35.29% (12/34개소), 농촌지역이 30.76% (8/26개소), 공업지역이 30.00% (6/20개소)로서 평균 32.50%가 대장균군에 오염되었다.

4. 3지역의 pH평균치는 6.5-6.7 이었고 최저치는 5.6, 최고치는 8.1로서 모두 음용수 기준치 이내에 들어 있어서 화공약품이나 산성비의 영향은 없었다.

5. 우리나라의 전체적인 지하수의 수질을 순차적으로 또는 용역제도를 이용하여 모두 조사하여 음용수로 사용불가능한 것을 선별하고 우물의 깊이, 오염원제거, 환경개선등의 적절한 대책을 세워야한다.

## References

- 1) Saint-Fort, R. : Ground water contamination by anthropogenic organic compounds from waste disposal sites : Transformations and behaviour. J. Environ. Sci. Health, A26(1), 13-62, 19

- 91.
- 2) Zelibor, J.L., M.W. Coughten, and R.R. Colwell. : Testing for bacterial resistance to arsenic in monitoring well water by the direct viable counting method. *App. Environ. Microbiol.*, 53(12), p 2929-34, 1987.
- 3) Mose, J.R., G. Wilfinger, and R. Zeichem : Pollution of drinking water by tetrachloroethylene. *Zentral. Bakteriolog. Mikrobiol. Hyg.* 181(1-2), p 111-20, 1985.
- 4) Lichtenberg, E. and D. Zilberman, D. : Efficient regulation of environmental health risks : the case of groundwater contamination in California. *Sci. Total Environ* : 15, Nov.p 111-9, 1986.
- 5) Dowd, T.M., Anderson, M.P., and Johnson, M.L. : Proceedings of the Second National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods ; National Water Well Association, Dublin, OH, pp. 1365-79, 1988.
- 6) Council for Agricultural Science & Technology, Technical Report No. 103 : Agriculture and Groundwater Quality ; Iowa State University, Ames, IA, May 1985.
- 7) Craun, G.F., McCabe, L.J., and Hughes, J. M. Waterborne disease outbreaks in the U.S. 1971-1974. *J. Am. Water Works Assoc.* 68 : 420-424, 1976.
- 8) Csaki, F. and Endredi, I. Nitrate contamination of underground waters in Hungary. In : W. van Duijvenbooden, P. Glasbergen, and H. van Lelyveld (Eds.), *Quality of Groundwater*. Elsevier, Amsterdam, pp. 89-94, 1981.
- 9) Zoeteman, B.C.J., de Greef, E., and Brinkman, F.J.J. Persistency of organic contaminants in groundwater, lessons from soil pollution incidents in The Netherlands. In : W. van Duijvenbooden, P. Glasbergen, and H. van Lelyveld (Eds.), *Quality of Groundwater*. Elsevier, Amsterdam, pp. 465-476, 1981.
- 10) Kooper, W.F., van Duijvenbooden, W., and Peeters, A.A. : Internal Report of the National Institute for Water Supply, The Netherlands, No. HyH, 81-13 : 11, 1981.
- 11) Johnson, C.J. and Kross, B.C. : Continuing importance of nitrate contamination of groundwater and wells in rural areas. *Am. J. Ind. Med.*, 18, 4, p 449-56, 1990.
- 12) Matthes, G. : In-site treatment of arsenic contaminated groundwater. In : W. van Duijvenbooden, P. Glasbergen, and H. van Lelyveld (Eds.), *Quality of Groundwater*. Elsevier, Amsterdam, pp 291-296, 1981.
- 13) Kakar, Y.P. and Bhatnagar, N.C. : Groundwater pollution due to industrial effluents in Ludhiana, India. In :

- W.van Duijvenbooden, P. Glasbergen, and H.van Lelyveld(Eds.), Quality of Groundwater. Elsevier, Amsterdam, pp265-272, 1981.
- 14) Schubert, J.P. and Prodan, P.F. : Groundwater pollution resulting from disposal of pyritic coal wastes. In : W. van Duijvenbooden Glasbergen, and H. van Lelyveld(Eds.), Quality of Groundwater. Elsevier, Amsterdam, pp 319-327, 1981.
  - 15) Zoeteman, B.C., et al : Persistent organic pollutants in river water and groundwater of the Netherlands. *Chemosphere* 9,231-249, 1980.
  - 16) Kido, K., Magara, Y., Furuichi, T., Ikeda, M. : Statistical approach towards point sources of groundwater pollution with tetrachloroethylene : a field study. *Tohoku J. Exp.Med.*, 157, 3, p 229-39, 1989.
  - 17) Ryon, M.D. and Ross, R.H. : Water quality criteria for 2, 4, 6-trinitrotoluene. *Regul.Toxicol.Pharmacol.*, 11,2, p 104-13, 1990.
  - 18) Khublarian, M.G. : Chemical substance transport in soils and its effect on groundwater quality. *Eniron.Health Perspect.*, 83,Nov p 31-7, 1989.
  - 19) Meyer, M. : "A summary of groundwater pollution problems in South Dakota." State/EPA task 2, 3, 1-111 B.pierre, SD : Office of Water Quality and Natural Resources, 1986.
  - 20) US EPA Method 504 : 1,2-dibromomethane(EDB) and 1, 2-dibromo-3-chloropropane(DBCP) in water by microextraction and Gas Chromatography, 1989.
  - 21) Cohen, D.B. : In evaluation of pesticides in ground water, Barner, W.Y., Honeycutt, T.C., Nigg, H.N., Eds. : ACS Wypm. Ser. 315 ; American Chemical Society : Washington, DC, pp 499-529, 1986.
  - 22) Zaki, M.H., Moran, D., Harris, D. : *Am. J. Public Health*, 72,1391-1395, 1982.
  - 23) Hoden, P.W. : Pesticides and groundwater quality, Issues and problems in four States ; National Academy Press : Washington, DC, 1986.
  - 24) Ritter, W.F. : *J.Environ.Sci.Health B* 25(1),1-29,1990.
  - 25) Jones, R.L., Norris, F.A., Kirkland, S. D., and Marquardt, T.E. : Techniques for collecting soil samples in field research studies. *Groundwater Residue Sampling Design*, ACS, pp349, 1991.
  - 26) Falk, H. : Acidified groundwater a serious problem. *Acid Magazine*, N0.6 Mar., 1988.
  - 28) Egboka, B.C.E. : Nitrate contamination of shallow groundwaters in Ontario, Canada *Sci. Total Environ.* 35, 53, 1984.
  - 29) Feenstra, S. : Subsurface contamination from spills of dense nonaqueous

- phase liquid chemicals. In : Proc. Second Annual Tech. Seminar on Chemical Spills. Sponsored by Environment Canada, Montreal, P 5, Feb. 5-7, 1982.
- 30) Cherry, J.A. : Occurrence and migration of contaminants in groundwater at municipal landfills on sand aquifers. In : Environment and Solid Wastes, Butterworths, Boston, 1983, p 127-147, 1983.
- 31) Canter, L.W., and Know, R.C. : Septic tank system effects on groundwater quality. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, 1985.
- 32) Faibishenko, B.A. : Water and salinity region of soils in irrigation (in Russian). Moscow, 1986.
- 33) Kozlovskiy, E.A. : Hydrogeological phase of Ggroundwater protection (in Russian). Moscow, 1984.
- 34) Patrick, R. : What should be done to mitigate groundwater contamination ? : Environ. Health Perspect., 86, 239-243, 1990.
- 35) Gilson, S.A. and Sufliita, J.M. : Extrapolation of biodegradation results to groundwater aquifers : reductive dehalogenation of aromatic compounds. Appl. Environ. Microbiol. 52, 681-688, 1986.
- 36) Johnson, C.J., et al : Fatal outcome of methemoglobinemia in an infant. JAMA 257, 2796-2797, 1987.
- 37) Rosenfield, A.B., Huston, R. : Infant methemoglobinemia in Minnesota due to nitrates in well water. Bull. Univ. Minn. Med. Found., 21, 315-338, 1950.
- 38) Comly, H.H. : Cyanosis in infants caused by nitrates in well water. JAMA, 129-112, 1945.
- 39) Johnson, C.J. and Krooss, B.C. : Continuing importance of nitrate contamination of groundwater and wells in rural areas. Amer. J. of Ind. Med., 18, 449-456, 1990.
- 40) Charache, S. : Methemoglobinemia : Something for a new cause. N. Engl. J. Med., 20, 776-778, 1986.
- 41) Cecil, R. : In Wyngaarden, J.B., Smith, L.H. Jr(eds) : "Testbook of Medicine," ed. 16. Philadelphia : W.B. Saunders Co., 1982.
- 42) Donahoe, W.E. : Cyanosis in infants with nitrates and drinking water as cause. Pediatrics 3, 308-311, 1949.
- 43) Medovy, H., Guest, W.C., Victor, M. : Cyanosis in infants in rural areas. Can. Med. Assoc. J., 56, 505-508, 1949.
- 44) Faucett, R.L., Miller, H.C. : Methemoglobinemia occurring in infants fed milk diluted with well water of high nitrate content. J. Pediatr., 29, 593, 1946.
- 45) Ferrant, M. : Methemoglobinemia : Two cases in newborn infants caused by nitrates in well water. J. Pediatr.,



- 29, 585-592, 1946.
- 46) Craun, G.F., Greathouse, D.G., Gunderson, D.H. : Methemoglobin levels in young children consuming high nitrate well water in the U.S. *Int. J. Epidemiol.*, 10, 309-17, 1981.
- 47) Blanco, O., Meade, T. : Effect of dietary ascorbic acid on the susceptibility of steelhead trout to nitrate toxicity. *Rev. Biol. Trop.*, 28, 91-107, 1980.