

서울지역의 지하수 수질특성에 관한 연구

김익수^{1*} · 이재영² · 최상일³

¹서울시보건환경연구원 수질부

²서울시립대학교 환경공학부

³광운대학교 환경공학부

A Study on the Charateristic of the Groundwater Quality in Seoul

Ick-Soo Kim^{1*} · Jai-Young Lee² · Sang-Il Choi³

¹Dept. of Water Quality, Seoul Metropolitan Institute of Helth and Environmental

²Dept. of Environmental Engineering, The University of Seoul

³Dept. of Environmental Engineering, The University of Kwangwoon

ABSTRACT

For the purpose of finding out the distributions of groundwater uses, the effect of facilities on the parameter and the correlations among measurements, various statistical analysis were carried out with the data of groundwater quality measurements from January to December in 2002. (1) The rates of groundwater for drinking water were 10.5% in Yangcheon-Gu, 10.2% in Kangdong-Gu, and 9.9% in Eunpyung-Gu. The rates of other uses of groundwater were shown to be 58.1%(786 wells) for civil defense emergency, 22.1%(299 wells) for contamination-concerning, 9.8%(133 wells) for water quality monitoring, consisting of 90% of all groundwater. (2) The 52.6% of groundwater for drinking were demonstrated to be appropriate while 91.9% for other uses-domestic, industrial, agricultural uses- were shown to be proper. (3) For drinking water, the maximum values of colar, turbidity, NH₃-N, F, and Fe were 766.9degree, 69.16NTU, 860.0 mg/l, 5.6 mg/l and 49.87 mg/l respectively. (4) Comparision of skewness and kurtosis for Seoul groundwater, pH was found to be 0.022 and -0.524, but the T.colony, color, turbidity, NH₃-N, NO₃-N, Fe and Mn respectively turned out to be 11.641 and 174.324, 8.501 and 80.260, 5.675 and 32.821, 19.507 and 380.994, 3.323 and 17.436, 10.544 and 134.093 and 5.979 and 39.124. (5) In cases of drinking water wells for emergency, the results of statistical analysis showed that building year of the wells, depth and pumping rate didn't affect on whether it was proper for that use or not. It were shown that there were linear correlations between depth and NO₃-N(-0.171) and F(0.332) while the correlation coefficients were 0.381 and -0.169 between the building year of well and depth and pumping rate respectively.

Key words : Grioundwater quality, Drinking water, Correalation coefficient, Seoul

요 약 문

서울의 지하수는 토양법이나 지하수법이 제정되기 전에 이미 오염물질의 토양 무단투기, 주유소나 유류의 지하저장 탱크 등이 들어서면서 오염에 노출되었으나 최근에 지하수에 관심이 많아지고 지하수 오염방지 계획에 따라 주기적이고 지역적인 검사가 이루어져 지하수 행정에 반영되고 있다. 서울시 소재 지하수 관정 1,352개소의 수질을 분석하여 먹는물중 적합은 52.6%, 부적합은 47.4%로 나타났고 생활·농·공업용수로 적합은 91.9%인 8.1%가 부적합으로 나타났고 pH는 왜도와 첨도가 0.022와 -0.524인데 반하여 일반세균, 색도, 탁도, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 철, 망간이 각각 11.641과 174.324, 8.501과 80.260, 5.675와 32.821, 가 19.507과 380.994, 가 3.323과 17.436, 10.544와 134.093, 5.979와 39.124로 나타났고, 지하수 먹는물 비상급수에서 설치년도, 심도 및 양수량은 수질의 적

*Corresponding author : kiswin@hanmail.net

원고접수일 : 2004. 6. 18 게재승인일 : 2004. 6. 23

질의 및 토의 : 2004. 9. 30 까지

부에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났고 관정 설치 해와 심도, 양수량은 각각 0.381, -0.169로 나타나 시간이 지날수록 지하수 관정의 굴착깊이는 깊어지고 양수량은 적어지는 것으로 나타났으며 심도와 질산성질소, 불소의 상관계수는 -0.171, 0.332로 나타났다.

주제어 : Groundwater quality, drinking water, correlation coefficient, Seoul

1. 서 론

지하수와 지표수의 근원은 강수로써 강수가 지표에 내린 후 일부는 지하로 침투하여 지하수가 되고, 나머지는 지표면을 따라 흘러내려가 하천이나 호수와 같은 지표수를 이룬다. 지하수자원은 지각을 구성하고 있는 지표면 하부에 무진장하게 부존되어 있는 천연자원으로서 이를 합리적으로 이용할 수 있다면 여러 종류의 지하자원 중에서 유일하게 재충전이 될 수 있는 자원이며 인간이 지구상에 생존하는 동안 영원히 재생, 사용 가능한 자원이다. 따라서 이를 잘 관리·운영만 한다면 우리 후손들도 영원히 사용 가능한 자원을 가지는 것이다. 국내에 내리는 연간 강수량은 1,267억 m^3 인데 반해 국내의 지하수부존량은 연간 강수량의 12배에 해당하는 15,440 m^3 에 해당하는 막대한 규모이다. 뿐만 아니라 매년 지하로 침투하여 지하저수지로 함양되는 양은 약 228억 m^3 으로써 이 양은 현 지하수 부존량에 전혀 영향을 주지 않고 연간 안전하게 개발·이용할 수 있는 가용물자원으로 현재 국내에서 사용하고 있는 총지표수량과 거의 대등한 수량이다^{1,2)}. 정부는 이와 같이 막대한 양의 지하수자원을 효율적으로 개발·이용하고 보호하기 위해 1993년 12월에 지하수법을 제정하고 1994년 8월 1일부터 이법을 발효시켰다. 그러나 이법을 관리하는 주관부서가 뚜렷하지 않고 그 구체적인 관리 및 보호 기법이 정립되어 있지 않을 뿐만 아니라 지하수자원의 합리적인 관리와 보호에 어느 정도의 의지를 가지고 있는지 심히 염려되는 바이다. 연간 65%가 비풍수기인 우리나라의 수문특성상 이 시기의 하천수중 그 대부분이 풍수기에 강수가 지하로 침투된 후 지하수로 변했다가 갈수기에 다시 하천을 통해 서서히 지표로 배출되는 지하수임을 감안한다면 지하수자원의 오염은 지표수자원의 오염과 직결되어 있고, 따라서 범정부차원의 오염된 지하수의 정화정책이 얼마나 시급한 명제인가를 우리는 쉽게 알 수 있을 것이다. 1989년도 서울시의 지하수조사 자료에 의하면 서울시내에 부존된 전 지하수중 70%가 오염되었다고 발표한 바 있으며, 10년후인 1999년 3월에 발표에 의하면 서울시내에 부존된 지하수중 94%가 음용수로 사용할 수 없을

정도로 저질화되었다고 한다. 서울시의 지하수는 20세기 초반 하더라도 주민의 거의 대다수가 자기집 뜰에 우물샘이나 우물을 파서 두레박으로 퍼서 그냥 마시던 깨끗한 지하수였으나 1세기도 지나지 않은 시점에서 94%에 해당하는 지하수가 음용수로 사용할 수 없을 정도로 오염되었다. 산업이 발전함에 따라 인간은 석유류와 같은 유독성 물질을 보다 많이 사용하게 되고, 이로 인해 인간은 도리어 이들 유독성물질에 무방비상태로 노출되어 위해를 받게 되었다. 지하저장탱크는 여러 가지 액상 유독성화학물질을 저장하고 있으나, 대부분은 석유류 제품의 저장에 이용되고 있다. 이 탱크들은 주로 금속으로 만들어진 제품으로 시간이 지남에 따라 용접부위가 쉽게 부식되어 저장된 물질들이 지하로 누출되어 지하수 자원과 토양을 오염시키고 있다. 실제 이 경우는 지하수오염문제가 발생한 지역중에서 40% 이상이 지하유류저장탱크로부터 기름이 누출되었기 때문이다. 이러한 문제로 미의회는 1984년도에 RCRA수정법을 제정하여 EPA가 지하유류저장탱크를 규제할 수 있도록 하였는데 EPA 조사결과 미국내 석유류나 유해물질의 지하저장탱크는 3백만~5백만 개가 있으며 이중 375,000개가 누출되고 있다고 보고하였다. 아마 우리나라도 토양법이나 지하수법이 제정되기 이전부터 자동차의 증가로 인해 전국곳곳의 한적한 도로변에 이르기까지 주유소가 들어서고 있는 실정이다. 특히 비과학적으로 부실하게 설치된 지하유류저장탱크로부터 유출된 유류에 의해 그 인근 토양과 지하수환경은 물론 주변 수용체에게 미치는 악영향은 매우 심각하다.

서울시 관리대상 지하수 관정은 '99년말 현재 14,906개 소이며, 이 숫자는 민방위 관정이 포함되었고 온천법 등 타법에 의해 개발된 관정은 제외된 것이다. 관정의 71.7%가 신고관정이고 12.5%가 허가관정이며 용도별로는 생활용수가 75.7%로 대다수를 차지하고 있으며 음용수는 880개소 5.9%에 불과하다^{3,4)}. 이렇게 이용되고 있는 먹는물 및 일상생활에 사용하고 있는 지하수에 대한 수질을 파악하여 시민에게 맛있고 안전한 물을 공급하게 하며 지하수 오염예방과 오염확산을 방지하기 위하여 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 조사대상

서울 시내에 소재하는 지하수관정중 먹는물로 사용중인 관정 382개소와 생활용수와 공·농업용수를 1,353개소를 대상으로 2002년 1월부터 12월까지 채수하여 먹는물 관리법과 지하수법, 민방위법 등에 의한 먹는물 기준 및 지하수 수질기준 적부검사로 분석한 지하수를 대상으로 하였다.

2.2. 실험방법

본 실험은 먹는물 공정시험 방법과 수질오염 공정시험법^{10,11)}에 따라 분석하였으며 자료는 spss10.0으로 처리¹²⁾하였다. 분석기기로 휘발성물질은 Gas Chromatography Finnigan 9001와 HP 5890 Series II를, 농약류분석은 M600D를, 중금속은 Atomoc Absorption Spectrophotometer : Hitachi Z-8100를, 질산성질소와 음이온분석은 Ion Chromatography : DIONEX DX-4000i를 사용하였으며 암모니아성질소와 페놀 비소등은 Spectrophotometer : Hewlett Packard 8453를, 수은은 Mercury Analyzer : NIC RA-2A를, 카바릴은 High Performance Liquid Chromatography : Waters 2690을, 색도와 탁도는 Water analyzer 2000을 사용하였다

3. 결과 및 고찰

지하수 관정 중 먹는물로 사용하는 382개소의 분포는 Fig. 1과 같이 민방위 비상급수가 46.6%인 178개소로 가

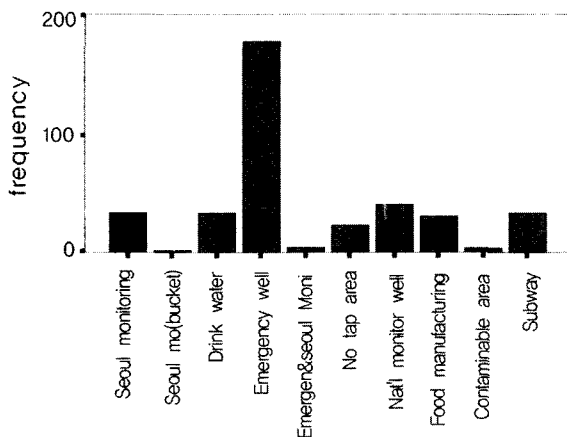


Fig. 1. The requested analysis frequency as the purpose of drinking groundwater.

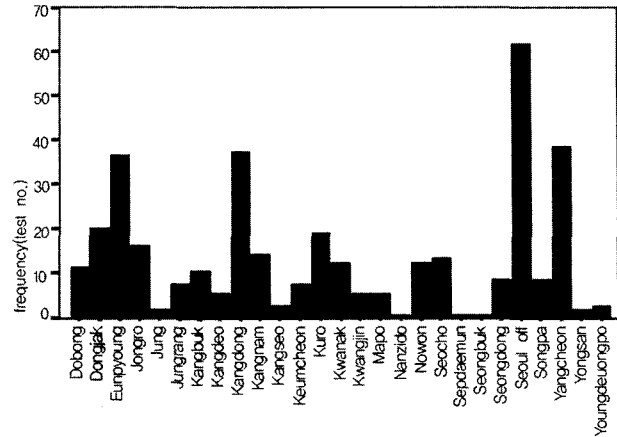


Fig. 2. The frequency distribution as the area of drinking groundwater.

장 많았고, 환경부 수질측정망 10.7%, 서울시 지하수 관측시설 8.9%, 기타 먹는물 8.9%, 지하철 역사내 지하수 8.6%, 상수도 미 급수지역에서 식수로 사용하는 물이 5.8%인 22개소로 나타났으며, 식품제조 지하수 31개소 8.6%, 민방위 비상급수 과 관측시설로 사용되는 관정이 5개소 1.3%로 나타났다. 관측시설 중 우물관정은 한 곳이 있었다.

채수지점의 지역별 분포는 Fig. 2와 같이 나타났다. 서울시 소재 지하수 관정 중 총 382개소의 먹는물로 서울시 자체에서 의뢰 분석한 지하수가 64개소, 16.8%로 가장 많았으며 양천, 강동, 은평 지역에서 각각 10.5%, 10.2%, 9.9%로 약 10% 내외인 38~40개소가 의뢰되어 이들 4개 지역소재 관정이 47.4%로 나타났고 가장 적은 지역은 성북과 서대문으로 각각 1개소가 의뢰되었다.

Fig. 3과 같이 먹는물로 용도의 관정 총 382개소 중 먹는물 기준 적합은 52.6%인 201개소이고 부적합은 47.4%인 181개소로 나타났다. 생활·농·공업용수 관정으로 분류된 1353개소 중 적합은 91.9%인 1243개소이고 8.1%인 110개소가 부적합으로 나타났다. 전체 1735개소 중 먹는물이 22.0%, 생활·농·공업용수가 78%로 나타나 대부분 먹는물 이외의 용도로 사용하고 있어 서울시는 지하수에 대한 좀 더 치밀하고 적극적인 관리로 먹는물 수질 기준을 만족하는 수질로 개선하여 수자원 부족에 대비하여야 할 것이다.

Fig. 4에 나타난 것과 같이 의뢰지역에 따라 살펴보면 10개소 이상 분석한 지역 중 부적합률이 높은 지역은 서울시, 송파, 구로, 동작, 도봉 순으로 79.7, 66.7, 65.0, 52.4, 41.7% 순으로 나타났고 적합률이 높은 지역은 노원,

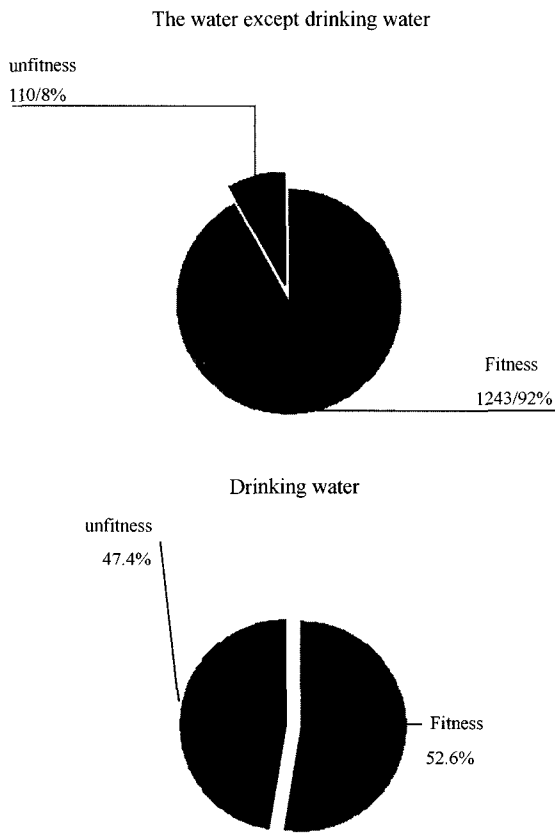


Fig. 3. The ratios of fitness status of the groundwater in Seoul.

은평, 양천, 강동, 강북지역으로 각각 76.9, 65.8, 65.0, 64.1, 63.6%로 나타났다.

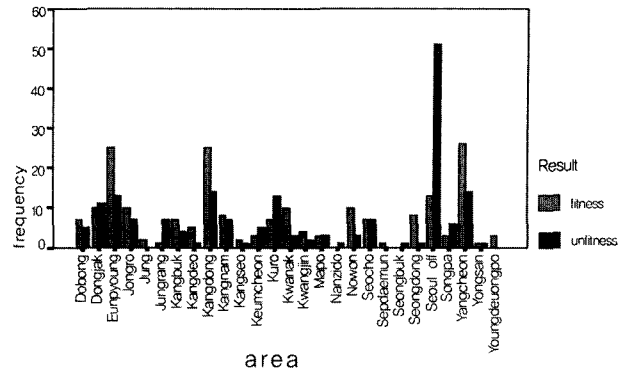


Fig. 4. The result comparison of the drinking groundwater as the area.

3.1. 색도

Table 1은 먹는물 기준을 적용한 관정 중 색도, 탁도 등 17개 항목에 대한 기술통계량이다. 색도는 휴민물질(humics)과 같은 착색된 유기물과 철 망간과 같은 금속의 존재에서 기인하는 것^{5,7)}으로 물을 공급하는 관으로부터 용출될 가능성이 있다. 색도가 가장 높게 나타난 곳은 766.9도로 구로구에 소재한 관측시설로 먹는물 수질기준 5도를 153배를 넘게 초과하였으며 분류에서 지하철 역사 내 지하수 중 가장 높게 나타난 곳은 동대문에 소재한 역으로 67도로 기준치를 13배를 넘게 초과하였다. 그러나 수질측정망, 비상급수, 상수도 미 급수지역, 식품제조 지하수, 오염우려지역의 지하수는 모두 기준 이내로 나타났다.

Table 1. The description statistics according to the use purpose in drinking groundwater (mg/l)

Item	Statistics	Test No.	Maximum	Minimum	Mean	Variance
T. Coliforms		382	15000	0	216.910	55029.154
Color		382	766.9	0	11.216	4248.903
Turbidity		382	69.16	0	2.138	84.350
NH ₃ -N		382	860.0	0	2.457	1937.728
NO ₃ -N		382	48.4	0	5.009	33.205
pH		382	2.8	5.9	7.2	0.275
Chloride ion		382	250	1	38.280	918.088
KMnO ₄		382	37.0	0	1.434	8.541
T. Hardness		382	777	2	138.520	6462.266
SO ₄ ⁻		382	206	0	30.840	908.381
E. Residual		382	1204	5	276.880	22859.789
Fluoride ion		382	5.6	0	0.212	0.233
Fe		382	49.870	0	0.507	11.249
Mn		382	4.826	0	0.129	0.305
Zn		382	14.350	0	0.120	0.607
TCE		382	0.003	0	7.853E-6	2.356E-8
Al		382	1.300	0	4.264E-2	1.979E-2

3.2. 탁도

탁도는 먹는물 중 농도가 높으면 물맛이 나쁘고 설사를 일으킬 수 있고 물속의 부유물질과 관련하여 박테리아 등 성장미생물을 보호하는 역할을 하여 처리비용을 높일 수 있어서 Table 1에 나타난 것과 같이 가장 높게 나타난 곳은 강동구의 한 관정으로 69.16NTU으로 수질기준 INTU를 69배나 초과하였고 관측시설, 지하철, 비상급수지하수에서 가장 높은 지점은 각각 66.12, 23.94, 59.83NTU로 나타났다.

3.3. 암모니아성 질소

또한 암모니아성 질소는 분뇨, 하수 등의 질소화합물에 의하여 오염이 된 것을 나타내는 것으로 냄새를 유발하고 체중 1kg당 200mg 이상을 섭취할 때 독성이 나타나는 것으로 가장 높게 나타난 지점은 도봉의 한 관측시설로 860mg/l로 나타나 기준 0.5mg/l를 1,720배를 초과하였으나 또한 관측시설을 제외하고는 모두 기준치 이내로 나타났다.

3.4. 불소

불소는 지질 중 형석, 수정석으로 자연계에 널리 분포하며 화강암, 화산암, 충적층지대의 수중에 많이 함유되어 있고 녹차, 어패류, 해산물 그리고 온천, 해수 등에 함유되어 있고 강한 산화력을 가지며 반응성이 크며 자연수 중에는 이온 상태로 존재하고 발생원은 인산비료제조, 유리제조공장의 불화물 함유가스의 습식 집진기폐수, 도료공장, 반도체공장에서 배출등에 기인하는 것으로 충치예방에 유용하나 농도는 비타민, 지방, 효소, 미네랄 대상에 방해작용을 한다^{5,6,7}). 이러한 불소는 모두 기준 이내로 나타났다며 평균농도가 0.212mg/l로 나타났으며 먹는물에서 0.509mg/l로 가장 높게 나타났다.

3.5. 철과 망간

수중 철은 주로 지질에 원인이 있으나 공장폐수 등의 혼입, 철관 등으로부터 기인하기도 하며 인체에 필수물질이나 다량 존재하면 색이나 맛을 유발한다. 철은 구로구의 한 관측시설에서 49.87mg/l로 나타나 기준 0.3mg/l를 166배를 초과하여 가장 높게 나타났고 민방위 비상급수관정 중에서도 2개 지점에서 각각 15.61, 5.381mg/l로 높게 나타났고 지하철 역사내 지하수도 강남에 소재하는 역에서 3.822mg/l로 가장 높게 나타났다. 망간은 지층의 성질에 기인하며 주로 철과 함께 존재한다. 인체에 필수물질이나 다량존재하면 물을 착색시키고 빈혈, 심장혈관계

질환을 유발하는 것으로 지하철역사내 지하수가 0.610mg/l로 기준을 2배 이상 초과하여 가장 높게 나타났고 관측시설 지하수가 0.513mg/l로 높게 나타났다.

3.6. 아연과 알루미늄

아연은 광산폐수, 공장폐수의 혼입 또는 아연관으로부터의 용출에 기인하며 아연이 부족하면 성장이 나빠지고 발육이 불완전하나 높은 농도에서는 구토, 위통, 탈수, 무기력증을 유발할 수 있는 것으로 평균이 0.120mg/l로 모두 기준 이내로 나타났다. 구로의 한 민방위비상급수관측시설에서 최대값이 1.148mg/l로 가장 높게 나타났다. 알루미늄은 자연(지질, 토양, 식물)에 널리 분포되어 있으며 동물신체조직 구성성분의 하나이며 물로부터 섭취되는 알루미늄량은 식품으로 섭취되는 량보다 적으며 과잉 섭취된 알루미늄은 체외로 배출되기 때문에 인간에게 아무런 악영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있으나 일부 연구에서는 알츠하이머병과 관련이 있다는 보고^{8,9})도 있다. 이러한 알루미늄은 전체 농도는 0.043mg/l로 기준치 0.2mg/l 보다는 매우 낮게 나타났으며 구로구의 한 민방위비상급수에서 1.29mg/l로 가장 높게 나타났다.

그러나 Table 1에서 각 항목의 평균농도를 비교하면 기준을 높게 초과하지만 Fig. 5에 나타난 것과 같이 대부분 불검출 이거나 저농도에서 넓은 분포를 보이고 있다. 분석값의 편중성을 알아보고자 왜도와 첨도량을 살펴보았다.

$$S_k = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^3}{S^3}$$

왜도 $S_k=0$ 이면 좌우대칭, $S_k<0$ 이면 왼쪽으로 긴꼬리(음수), $S_k>0$ 이면 오른쪽으로 긴꼬리(양수)를 나타내므로 왜도가 0에 가까운 값을 가질수록 정규분포와 비슷하다고 할 수 있다. 그리고 첨도는

$$K = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^4}{S^4} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

과 같이 나타내는데 $K=0$ 이면 정규분포와 뾰족함이 동일하고 $K<0$ 이면 정규분포보다 납작하게 나타나며 $K>0$ 이면 정규분포보다 뾰족하게 나타난다. 정규분포의 왜도와 첨도는 0이다. pH는 정규분포에 가장 가까운 분포를 이루어 왜도와 첨도가 0.022와 -0.524의 값을 가지지만 일 반세균은 왜도와 첨도가 11.641과 174.324로 나타났다. 그리고 평균값이 기준을 초과한 항목의 왜도와 첨도는 색도가 8.501과 80.260, 탁도가 5.675와 32.821, 암모니아성 질소가 19.507과 380.994, 질산성질소가 3.323과

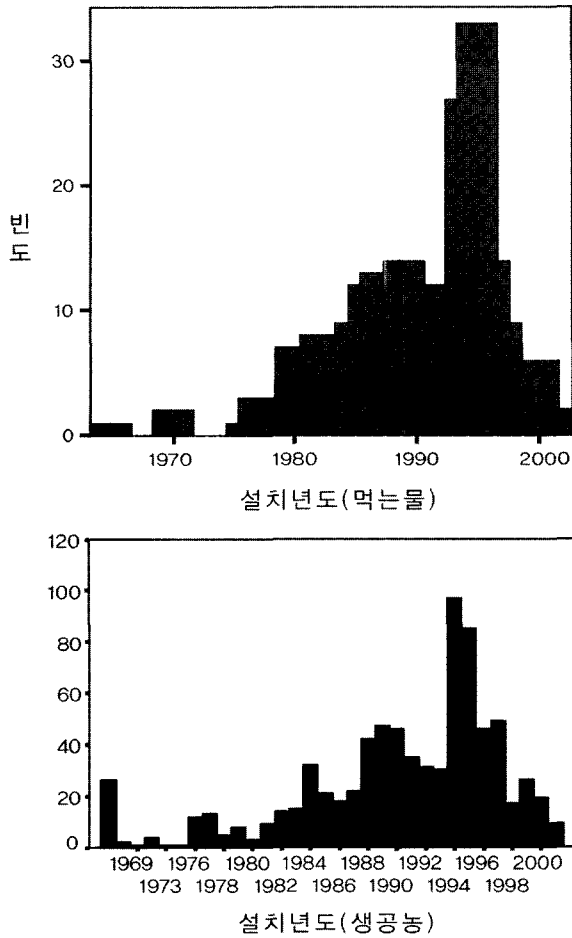


Fig. 6. The frequency comparison of the well foundation in the emergency water.

중반이후 개발이 증가하였고 비상급수는 1990년대 중반을 정점으로 개발이 줄어들고 있는 것으로 나타났다. 먹는물 비상급수는 1990년 이후 개발된 것이 전체 58.2%로 나타났고 1994년과 1995년에 개발된 것이 26.9%로 나타났으며, 생활용수 등 비상급수는 1990년 이후 개발된 것이 전체 62.2%로 나타났고 1994년과 1995년에 개발된 것이 23%로 나타났으며 1996년부터 2001년까지 먹는물과 생활용수는 각각 18.2, 21%로 줄어들었다. 이는 용수에 대한 관심이 증가하면서 지하수 개발이 활발하게 진행되었으나 1993년 12월에 제정된 지하수법시행으로 적극적인 관리와 규제로 1990년대 중반이후는 개발이 줄어들고 있다고 생각된다

Fig. 7과 Table 2는 먹는물 비상급수에서 시설설치 현황과 항목등을 상관분석한 결과 설치년도, 심도 및 양수량은 관정과는 관계가 없는 것으로 나타났으며 시설 설치해에 따라서 심도는 0.381로 뚜렷한 양적 관계가 있는 것

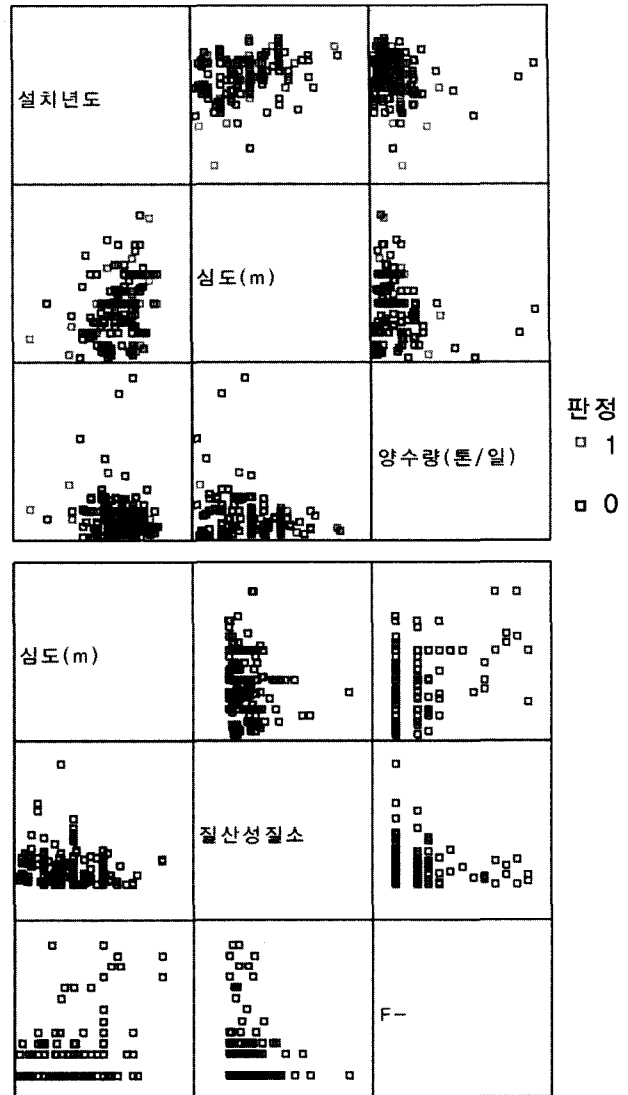


Fig. 7. The correlation of the facility status, result and item in the emergency groundwater.

으로 나타나 수질이 관정 깊이가 깊어짐에 따라서 양호할 것으로 기대하는 경향이 있음을 나타내고 있다. 그러나 관정 설치년도는 양수량과는 -0.169로 약한 음적 선형관계가 있는 것으로 나타나 해가 갈수록 양수량이 적어지는 것으로 나타나고 있다. 또한 심도에 따라서 질산성질소와 상관관계수가 -0.171로 나타나 심도가 깊어짐에 따라 약한 음적 선형관계가 있어 농도가 낮게 나타나고 있으며 불소는 0.332로 뚜렷한 선형관계로 나타나 관정의 깊이가 깊어지면 농도가 증가하는 것으로 나타나고 있다.

Table 2와 Fig. 8에 나타난 바와 같이 지하수의 수질 기준적부에 영향을 주는 항목으로 약한 양적 선형관계를 보이는 것은 증발잔류물 질산성질소 경도 일반세균, 아연

Table 2. The correlation coefficients of the well foundations and test items in the drinking groundwater

	Foundation	Depth (m)	Pump (t/d)	Result	T.colony	Color	Turbidity	NH ₃ -N	NO ₃ -N	pH	Chloride	KMnO ₄	
Foundation	Pearson	1											
	p-value	.											
Depth(m)	Pearson	0.381**	1										
	p-value	0.00											
Pump(t/d)	Pearson	-.169*	-.227**	1									
	p-value	0.011	.001										
Result	Pearson	-.048	.032	0.011	1								
	p-value	.471	.637	.868									
T.colony	Pearson	-.068	-.021	.044	.256**	1							
	p-value	.336	.768	.538	.000								
Color	Pearson	-.082	-.025	.011	.165*	.002	1						
	p-value	.276	.738	.879	.025	.982							
Turb	Pearson	-.061	-.006	.005	.183*	-.001	.983**	1					
	p-value	.421	.932	.944	.013	.991	.000						
NH ₃ -N	Pearson	-.122	-.065	.019	.107	.006	.820**	.710**	1				
	p-value	.084	.360	.784	.122	.932	.000	.000					
NO ₃ -N	Pearson	-.054	-.171*	.058	.264**	.254*	-.082	-.082	-.074	1			
	p-value	.446	.016	.418	.000	.000	.278	.275	.293				
pH	Pearson	.060	.115	-.033	.111	-.046	.134	.142	.078	-.136	1		
	p-value	.434	.128	.663	.133	.534	.071	.056	.296	.070			
Chloride	Pearson	-.060	-.115	-.035	.180*	.452*	-.008	-.016	.022	.544**	.022	1	
	p-value	.432	.128	.641	.015	.000	.917	.827	.767	.000	.772		
KMnO ₄	Pearson	-.081	-.082	.034	.182**	.203*	.093	.073	.116	-.040	.117	-.013	1
	p-value	.249	.246	.628	.008	.003	.209	.324	.093	.567	.115	.860	
T.H.	Pearson	-.044	.008	-.006	.261**	.153*	.062	.061	.071	.409**	.313**	.621**	.065
	p-value	.562	.967	.942	.000	.039	.403	.411	.336	.000	.000	.000	.385
SO ₄ ²⁻	Pearson	-.005	-.047	-.033	.051	-.014	-.022	-.022	-.009	.112	.081	.348**	-.036
	p-value	.943	.542	.665	.494	.855	.769	.773	.902	.136	.275	.000	.629
R.S.	Pearson	-.154*	-.099	-.008	.279**	.247*	.030	.024	.051	.512**	.159*	.768**	.154*
	p-value	.028	.159	.914	.000	.000	.682	.743	.461	.000	.032	.000	.025
F	Pearson	-.009	.332**	-.060	.006	-.006	-.020	-.027	.007	-.115	.152*	.007	-.064
	p-value	.908	.000	.427	.935	.937	.788	.716	.923	.124	.040	.922	.391
Fe	Pearson	-.010	.030	-.028	.185*	-.016	.787**	.872**	.315**	-.133	.162*	-.021	.016
	p-value	.896	.696	.711	.012	.833	.000	.000	.000	.076	.029	.775	.831
Mn	Pearson	-.065	.011	-.005	.182*	.119	.703**	.623**	.803**	-.067	.173*	.077	.129
	p-value	.388	.886	.947	.013	.108	.000	.000	.000	.370	.019	.302	.082
Zn	Pearson	.082	.071	-.040	.235**	.222*	.237**	.213**	.292**	.147*	.113	.217**	.130
	p-value	.279	.353	.600	.001	.003	.001	.004	.000	.049	.128	.003	.080
Cu	Pearson	-.078	-.065	.117	.100	-.025	-.009	-.012	-.010	-.035	-.041	-.029	.051
	p-value	.304	.390	.122	.176	.733	.905	.867	.898	.640	.579	.696	.496
Al	Pearson	.102	.035	.013	.228**	.124	-.008	-.001	-.018	.161*	.076	.119	.086
	p-value	.177	.641	.867	.002	.094	.910	.989	.810	.031	.309	.108	.247

Table 2. Continued

		TH	SO ₄	RS	F-	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
T.H.	Pearson	1								
	p-value									
SO ₄ ⁼	Pearson	.445**	1							
	p-value	.000								
R.S.	Pearson	.815**	.540**	1						
	p-value	.000	.000							
F ⁻	Pearson	.038	.022	-.001	1					
	p-value	.609	.773	.992						
Fe	Pearson	.064	-.024	.008	-.056	1				
	p-value	.388	.752	.919	.452					
Mn	Pearson	.143	-.016	.108	.155*	.325**	1			
	p-value	.054	.828	.145	.037	.000				
Zn	Pearson	.305**	.140	.243**	.013	.125	.228**	1		
	p-value	.000	.059	.001	.857	.093	.002			
Cu	Pearson	-.092	-.033	-.087	-.031	-.016	-.018	-.018	1	
	p-value	.217	.663	.242	.680	.827	.812	.810		
Al	Pearson	.196**	.092	.121	-.015	.025	-.032	.765**	.228**	1
	p-value	.008	.215	.104	.844	.735	.670	.000	.000	

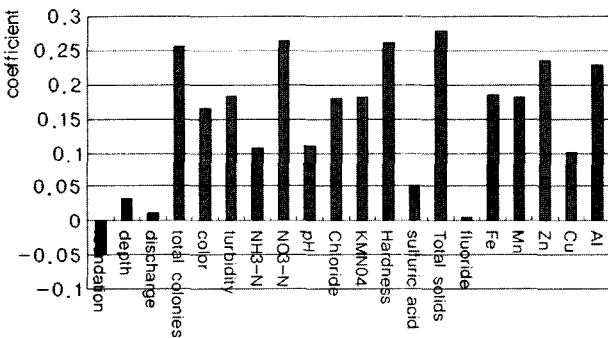


Fig. 8. The coffelation between result effects and test items.

알루미늄 철 탁도 망간 과망간산칼륨소비량 염소이온 색도로 나타났으며 이들은 각각 0.279, 0.264, 0.261, 0.256, 0.235, 0.228, 0.185, 0.183, 0.182, 0.182, 0.180, 0.165 순으로 증발잔류물이 가장 영향을 많이 주는 것으로 나타났다.

또한 일반세균은 염소이온과 상관계수가 0.452로 뚜렷한 양적 선형관계가 있는 것으로 나타났으며 질산성질소 증발잔류물 과망간산칼륨소비량 등 유기성오염을 뜻하는 항목과 관련이 있으며 아연 경도와도 약한 양적 선형관계가 있는 것으로 나타났다. 색도는 탁도와 상관계수가 0.983으로 나타나 거의 직선적으로 비례하는 것으로 나타

났고 암모니아성질소 철 망간과 0.820, 0.787, 0.703으로 관계가 밀접한 것으로 나타났으며 아연과도 약한 양적 선형관계가 있는 것으로 나타났다. 그리고 탁도는 철 암모니아성질소, 망간과 각각 0.872, 0.710, 0.623으로 거의 비례하게 나타나고 있으며 아연도 0.213으로 약한 선형관계가 있는 것으로 나타났다. 암모니아성 질소는 망간과 0.803으로 매우 밀접한 관련이 있으며 철 아연과도 0.315, 0.292로 관련이 있는 것으로 나타났다. 질산성질소는 염소이온과 경도 증발잔류물과 0.544, 0.409, 0.512로 밀접한 관련이 있으며 수소이온농도는 경도가 영향을 가장 많은 영향을 미치며 망간, 증발잔류물, 철, 불소등이 약한 양적 선형관계가 있는 것으로 나타났다. 염소이온은 증발잔류물 0.768, 경도 0.621, 황산이온 0.348, 아연 0.217의 상관계수를 나타내었고, 과망간산칼륨소비량은 증발잔류물과 0.154의 약한 양적 선형 관계를 나타내었으며 경도는 증발잔류물과 0.815의 높은 선형관계를 나타냈고 황산이온 아연 알루미늄과 각각 0.445, 0.305, 0.196로 나타났다. 황산이온은 증발잔류물과 0.540의 상관성이 있으며 증발잔류물은 아연과 0.243, 불소이온은 망간과 0.155, 철은 망간과 0.325, 망간은 아연과 0.228의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 아연은 알루미늄과 0.765로 매우 높은 관련이 있으며 구리는 알루미늄과 0.288의 선형성이 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

서울 시내에 소재하는 지하수 관정중 현재 사용중인 먹는물로 사용중인 관정과 민방위비상급수, 관측시설 지하철 역사내 지하수 식품제조지하수등과 지하수중 생활용수 공업용수 농업용수등을 대상으로 지역별 시기별 사용목적별로 이용목적과 시설현황, 각 항목이 관정에 미치는 영향과 각 항목간의 상관성을 알아보기 위하여 2001년 12월부터 2002년 12월까지 각 자치구별로 우리 연구원에 먹는물 관리법과 지하수법, 민방위법등에 의한 먹는물과 지하수를 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 먹는물 지하수 관정수의 분포는 양천, 강동, 은평지역에서 각각 10.5%, 10.2%, 9.9%로 높게 나타났고 먹는 물을 제외한 지하수는 민방위비상급수, 오염우려지역, 수질측정망으로 각각 786개소 58.1%, 299개소 22.1%, 133개소 9.8%로 전체의 90%로 나타났다.

2) 먹는물중 적합은 52.6%, 부적합은 47.4%로 나타났고 생활·농·공업용수로 적합은 91.9% 인 8.1%가 부적합으로 나타났다. 먹는물중 부적합률이 높은 지역은 송파, 구로, 동작, 도봉순으로 66.7, 65.0, 52.4, 41.7%개소 순으로 나타났다.

3) 먹는물 중 색도 탁도 암모니아성질소 불소 철은 평균값이 각각 11.216도, 2.138NTU, 2.458 mg/l, 0.212 mg/l 과 0.507 mg/l로 나타났다.

4) pH는 왜도와 침도가 0.022와 -0.524인데 반하여 일 반세균, 색도, 탁도, 암모니아성 질소, 질산성질소, 철, 망간 이 각각 11.641과 174.324, 8.501과 80.260, 5.675와

32.821, 가 19.507과 380.994, 가 3.323과 17.436, 10.544 와 134.093, 5.979와 39.124로 나타났다.

5) 지하수 먹는물 비상급수에서 설치년도, 심도 및 양 수량은 수질의 적부에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났고 관정 설치 해와 심도, 양수량은 각각 0.381, -0.169로 나타났고 심도와 질산성질소, 불소의 상관계수는 각각 -0.171, 0.332로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 한정상, 지하수환경과 오염, 박영사, 2 (2000).
2. 한정상, 한규상, 오염지하수·토양의 자연정화와 위해성 평가, p. 298 (1999).
3. 김윤중, 원종석, 이석민, 서울시 지하수 관리 통합시스템구 축방안, p. 13 (2000).
4. 김익수, 오석률, 김영두, 이순희, 이지영, 엄석원, 김주형, 서울시내 지하수개발이용현황 및 오염도 조사연구, 서울시보 건환경연구원보, 32, p. 286 (1996).
5. Steven, S.B., Peter, N., and Raj, A., Groundwater Contamination, 36 (1993).
6. Philip, B.B., Handadi, S.R., and Charles, J.N., Groundwater Contamination Transport and Remediation, p. 81 (1994).
7. 박석기, 안승구, 엄석원, 먹는물의 수질관리, 동화기술, 49 (1998).
8. <http://uiryeong.go.kr/4/water/3-5.htm> (2002).
9. <http://water.taebaek.go.kr/5316.htm> (2002).
10. 환경부, 먹는물 공정시험법 (2001).
11. 환경부, 수질오염공정시험법 (2001).
12. 원태연, 정성원, 통계조사분석, 데이터솔루션 (2002).