

## 서울지역 먹는물공동시설 수질특성 연구 (2016~2018)

먹는물분석팀

윤종철 · 김예슬 · 조혜윤 · 최현숙 · 이지영 · 박진아 · 김현정 · 이목영

## Spring Water Quality Characteristics in Seoul (2016 ~ 2018)

*Drinking Water Analysis Team*

**Jong-cheol Yoon, Yea-seul Kim, Hye-yoon Cho, Hyun-suk Choi,  
Gi-young Lee, Jin-a Park, Hyun-jung Kim and Mok-young Lee**

### Abstract

This study was performed to provide basic data necessary for the management of spring water quality, by investigating water quality characteristics in Seoul during 2016 ~2018. The results are detailed bellow.

In 2016, 2017 and 2018, we surveyed 205, 142, and 183 spring water sources in Seoul, respectively. The noncompliance rates with the Spring Water Quality Standards were 31.7%, 34.5%, and 48.6% in each consecutive year. In 2018, the high noncompliance rate was caused by a large amount of microorganisms and pollutants being introduced into the water by unusually heavy rain during the spring season.

The average and maximum concentrations of As in soil and rock were 0.006 mg/L, and 0.032 mg/L, respectively, and the average and maximum concentrations of uranium in soil and rock were 0.0002 mg/L, and 0.102 mg/L, respectively.

The proportion of source not compliant with Spring Water Quality Standards, for *Escherichia coli*, fecal coliforms, *Yersinia enterocolitica*, and total colonies were 57%, 12%, 7%, and 7%, respectively. Average noncompliance rate for microorganism was 83%, and it is very important to manage microorganisms with ultraviolet sterilization in spring water quality management.

In the summer season, by using data of Soil Groundwater Information System (SGIS) in 2017, the noncompliance rate of Spring Water Quality Standards was 86.7%, 83.3%, and 75.8%. Because of the high noncompliance rate for microorganisms, the use of spring water was restricted.

Regarding of correlation coefficients of compounds in spring water, hardness was highly correlated with  $Cl^{-1}(r=0.806)$ , and,  $SO_4^{-2}(r=0.636)$  and can be inferred from

permanent hardness. Consumption of  $\text{KMnO}_4$  was highly correlated with color( $r=0.536$ ), and,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ( $r=0.491$ ), and turbidity was correlated with Fe( $r=0.513$ ), and, color( $r=0.398$ ).

Thus, the survey of the water quality of spring water sources show that exceedance was highly correlated with precipitation( $r=0.647$ ), and, temperature( $r=0.558$ ), and in particular the correlation with precipitation was slightly stronger than that with temperature.

**Key words** : spring water, Spring Water Quality Standards, SGIS, Noncompliance

## 서 론

각 사찰이나 공원 등으로 야외 활동이 많아짐에 따라 자연적으로 생성된 약수터의 이용이 증가하고 있다. 통계청의 2015년 인구총조사 중 식수사용 형태별 이용률을 보면 수도물 이외의 이용률이 59%로 상당부분을 차지하고 있다. 이중 정수기 이용률이 31.4%로 높았고, 먹는샘물이 15.5%, 지하수, 약수, 샘물 이용률이 11.6%로 나타났다. 특히 지하수, 약수, 샘물 이용연령대를 보면 60대 이상에서 20.5%로 높게 나타났다(1).

이중 흔히 '약수터'로 불리는 먹는물공동시설은 수원이 개방되어있어 접근성은 좋으나, 기상조건에 따라 미생물 등의 오염 가능성이 높아 이를 이용하는 경우 건강한 청장년보다 어르신의 경우 배탈 등 질병 발생가능성이 높아 주의가 필요하다(2).

이에 따라 우리나라 먹는물 관리법에서는 전년도 부적합율에 따라 연 4~8회 수질검사를 실시하도록 하고 있으며 특히 2/4분기에는 먹는물 수질 기준 전항목인 47항목 정밀검사를 실시하고, 1/4, 3/4, 4/4분기에는 총대장균군 등 주요항목 위주로 간이검사(6항목)를 실시하도록 하고 있다. 본 연구는 2016~2018년까지 3년간 서울지역 먹는물공동시설을 대상으로 수질검사를 실시하고 이에 기초하여 수질특성을 파악하는 동시에, 기상요인과의 상관성 분석을 실시하여 향후 약수터 수질관리에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상

먹는물공동시설 수질 특성을 조사하기 위하여 서울시내 약 220개소의 먹는물공동시설을 대상으로 2016년 205개소, 2017년 142개소, 2018년 183개소를 2/4분기 47항목을 정밀검사 하였으며, 간이 검사한 결과는 토양지하수종합정보시스템(SGIS)에 게시된 자료를 이용하여 수질특성을 분석하였다. 기상항목으로 기온, 강수량과 부적합율에 대하여 상관성을 분석하였다.

### 2. 분석항목 및 방법

먹는물공동시설 수질검사는 2/4분기 정밀검사로 총대장균군 등 미생물항목 4개, 납 등 건강상 유해 영향 무기물질 12개 항목, 페놀 등 건강상 유해 영향 유기물질 15개 항목, 경도 등 심미적 영향물질 16개 등 총 47항목을 먹는물 수질공정시험기준에 따라 실시하였다.(3) 수질검사결과를 이용하여 항목간 상관성 분석, 부적합항목 특성파악 등 수질특성을 분석하였다. 기타 간이검사로 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 과망간산칼륨소비량, 질산성질소, 아질산성질소 6항목 검사 결과는 토양지하수종합정보시스템(SGIS)에 게시된 자료를 이용하였으며, 기상청 자료를 이용하여 기온, 강수량과 부적합율의 상관성을 분석하였다. 상관성분석은 IBM SPSS Statistics 프로그램을 이용하여 Pearson 분석을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 먹는물공동시설 수질 특성

2016년 205개소, 2017년 142개소, 2018년 183개소의 약수터를 검사하였으며, 그 내용을 표 1에 나타내었다. 3년 평균 177개소의 먹는물공동시설을 검사하여 68개소가 부적합하여 38.3%의 부적합율을 나타내었다. 특히 2018년도에는 이례적인 봄철 장마로 지표오염물질의 유입에 의한 미생물

및 오염물질 증가로 인하여 48.6%의 매우 높은 부적합율을 보였다.

먹는물공동시설 수질분석결과 주요 오염물질을 표 2에 나타내었다. 건강상 유해 영향 무기물질 중 비소는 평균과 최대값이 각각 0.0006 mg/L, 0.032 mg/L로 기준을 초과하는 지점이 있었으며, 2016년부터 검사하기 시작한 우라늄은 평균과 최대값이 각각 0.002 mg/L, 0.102 mg/L로 2016년과 2017년에 기준을 초과하는 지점도 있었다.

**Table 1. Summary of spring water analysis(2016~2018)**

Year	2016	2017	2018	Avg
No. of Sampling Sites	205	142	183	177
No. of Noncompliance site	65	49	89	68
Noncompliance rate(%)	31.7	34.5	48.6	38.3

**Table 2. Summary of spring water quality(2016~2018)**

(unit : mg/L)

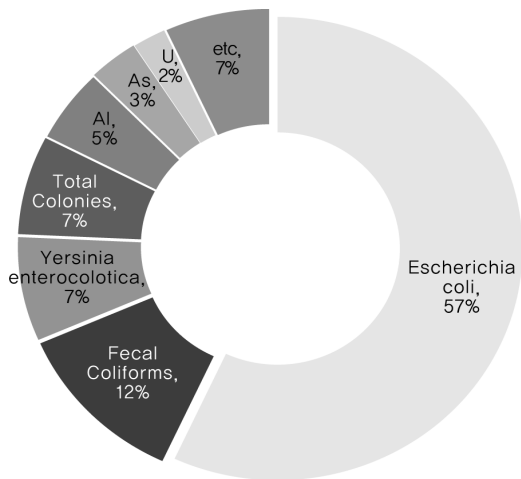
Year	Standards	2016		2017		2018		Total	
		Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max
F	≤1.5	0.31	1.15	0.22	1.45	0.14	1.02	0.18	1.45
As	≤0.01	0.003	0.018	0.0011	0.032	0.0005	0.023	0.0006	0.032
NH <sub>3</sub> -N	≤0.5	0.02	0.03	0.00	0.04	0.02	2.25	0.009	2.25
NO <sub>3</sub> -N	≤10	3.4	10.9	2.6	7.8	2.9	10.7	2.96	10.9
U	≤0.03	0.003	0.047	0.003	0.102	0.001	0.018	0.002	0.102
Hardness	≤1,000	60	339	70	751	62	473	63	753
KMnO <sub>4</sub>	≤10	1.0	5.8	0.5	1.4	0.6	12.9	0.72	12.9
Al	≤0.2	0.014	0.31	0.01	0.46	0.04	0.74	0.022	0.74
Mn	≤0.3	0.02	0.26	0.00	0.18	0.01	0.33	0.005	0.33
Color	≤5	2	5	0	3	0	10	0.3	10
pH	4.5~9.5	6.5	8.5	6.7	8.2	6.4	8.2	6.5	8.5
Fe	≤0.3	0	0	0.003	0.092	0.009	0.142	0.004	0.142
Turbidity	≤1NTU	0.1	2.8	0.1	3.5	0.2	2.7	0.12	3.5
Cl <sup>-</sup>	≤250	15	344	18	587	15	376	15.6	587
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	≤250	14.4	84.0	16.8	128.0	15.6	240.1	15.4	240.1
Total Colonies	≤100 CFU/mL	11	270	40	1100	27	1400	24	1400

\* Standards : Spring Water Quality Standards

심미적 영향물질인 경도는 평균과 최대값이 각각 63 mg/L, 753 mg/L이었으며, 과망간산칼륨소비량은 평균과 최대값이 각각 0.72 mg/L, 12.9 mg/L이었다. 알루미늄은 평균과 최대값이 각각 0.022 mg/L, 0.74 mg/L로 기준을 초과하는 지점이 매년 나타났다.

미생물인 일반세균은 평균과 최대값이 각각 24 mg/L, 1,400 mg/L으로 기준초과가 많음을 짐작할 수 있다.

이외에 건강상 유해 영향 유기물질인 휘발성화합물, 농약성분 및 기타 항목은 검출되지 않았거나, 기준농도보다 매우 낮은 농도로 검출되었다.



**Fig. 1.** Proportion of noncompliance with Spring Water Quality Standards.

그림 1은 2016~2018년까지 3년간 2/4분기 정밀검사결과 부적합 항목별 백분율을 나타내었다. 가장 많은 부적합항목은 총대장균군으로 57%를 차지하였으며, 다음으로 분원성대장균군(12%), 여시니아(7%), 일반세균(7%)로 미생물항목이 전체 부적합율의 83%를 차지하였다. 이는 약수터의 수원 자체가 지표수나 천층 지하수에 가깝고 심층 지하수보다는 외부로부터의 미생물 오염원이 산재되어 있어 유입되기 쉽기 때문이다(4). 따라서 약수터 수질관리에서 자외선 살균기 설치 등 미생물 관리가 매우 중요하다.

기타 토양 및 암반에서 기인한 알루미늄, 비소, 우라늄 등의 중금속이 다음으로 높은 부적합율을

차지하였다.

## 2. 연도별 수질 특성

먹는물공동시설 수질분석결과를 연도별로 비교하면, 건강상 유해 영향 무기물질 중 토양 및 암석에 비교적 높은 농도로 존재하는 비소의 경우 2016년도에 최대값이 0.018 mg/L, 평균이 0.003 mg/L이었으며, 2017년도에는 0.032 mg/L, 0.0011 mg/L, 2018년도에는 0.023 mg/L, 0.0005 mg/L으로 나타났다. 2017년도 비소농도가 가장 높았던 지역에서 2018년도에 비소제거장치를 설치하여 비소를 저감하였으며, 지속적으로 관리를 하고 있다. 2016년도부터 검사를 시작한 우라늄은 최대값이 0.047 mg/L, 평균이 0.003 mg/L이었으며, 2017년도에는 0.102 mg/L, 0.003 mg/L, 2018년도에는 0.018 mg/L, 0.0001 mg/L으로 나타났다. 2017년도에 고농도의 우라늄이 검출된 약수터의 경우 사용중지, 폐쇄조치를 실시하여 2018년도에는 기준초과시설이 없었다.

심미적 영향물질인 과망간산칼륨소비량은 2016년도에 최대값이 5.8 mg/L, 평균이 1.0 mg/L이었으며, 2017년도에는 1.4 mg/L, 0.5 mg/L로 각각 감소하였으며, 2018년도에는 12.9 mg/L, 0.6 mg/L으로 다시 증가하였다. 또한 암석의 주요성분인 알루미늄은 2016년도에 최대값이 0.31 mg/L, 평균이 0.014 mg/L이었으며, 2017년도에는 0.46 mg/L, 0.01 mg/L, 2018년도에는 0.74 mg/L, 0.04 mg/L으로 증가하였다. 이는 2018년도에 관악지역의 약수터에서 알루미늄 농도가 매우 높았고, 약수터 지점수도 증가하였기 때문이다.

일반세균은 2016년도에 최대값이 270 CFU/mL, 평균이 11 CFU/mL이었으며, 2017년도에는 1,100 CFU/mL, 40 CFU/mL, 2018년도에는 1,400 CFU/mL, 27 CFU/mL로 나타났다. 분변오염의 지표인 총대장균군은 2016년 49개소(23.9%), 2017년 37개소(26.1%), 2018년 71개소(38.8%)에서 검출되었다.

## 3. 지점별 수질 특성

최근 3년간 정밀검사결과 주요 부적합항목인 총대장균군 등 7항목에 대하여 2회 이상 부적합

지점을 조사하였다. 그 결과는 그림 2와 같으며, 총대장균군은 21개 지점에서 초과하였고, 알루미늄은 관악구 3개 지점에서 초과하여 알루미늄성분

의 암반지역임을 알 수 있다(5). 기타 일반세균 등은 1~2개 지점에서 초과하였고, 비소는 동작구와 강동구 각 1개 지점에서 초과하였으며, 우라늄은 2회 이상 초과지점은 없었다.



\* *Escherichia coli* ○ Fecal Coli ▲ *Yersinia* ◆ Total Colonies ■ Al ● As

**Fig. 2.** Sites of over twice noncompliance with Spring Water Quality Standards by each parameter.

#### 4. 간이검사결과 분석

2/4분기 정밀검사 외에 간이검사 결과를 토양지하수종합정보시스템(SGIS)에서 살펴보면, 2017년 7월, 8월, 9월 부적합율이 86.7%, 83.3%, 75.8%로 대부분 총대장균군 등 미생물오염으로, 여름철 약수터 미생물오염이 매우 심각하여, 시민들의 약수터 이용을 자제하거나 끓여 드시는 등 매우 주의가 필요한 것으로 나타났다(6, 7).

#### 5. 상관성 분석

약수터 수질검사결과를 토대로 각 항목 간의 상관성 분석결과는 표 3과 같다. 경도는 염소이온( $r=0.806$ ), 황산염이온( $r=0.636$ )과 매우 상관성

**Table 3.** Correlation coefficient of parameter in spring water

Variables	Hardness	KMnO <sub>4</sub>	Mn	F	As	Color	pH	Al	NH <sub>3</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	U	NO <sub>3</sub> -N	Fe	Turbidity
Hardness	1													
KMnO <sub>4</sub>	-0.023	1												
Mn	0.083	0.186**	1											
F	-0.064	-0.033	0.048	1										
As	0.243**	-0.023	0.032	0.110*	1									
Color	-0.030	<b>0.536**</b>	0.144**	-0.082	-0.034	1								
pH	0.377**	-0.059	-0.081	-0.045	<b>0.382**</b>	-0.0098*	1							
Al	-0.178**	0.291**	0.172**	0.352**	-0.026	<b>0.338**</b>	<b>-0.366**</b>	1						
NH <sub>3</sub> -N	0.006	<b>0.491**</b>	0.010	-0.025	0.002	0.114**	0.065	0.024	1					
Cl <sup>-</sup>	<b>0.806**</b>	0.091*	0.067	-0.051	0.045	0.085	0.084	-0.067	0.007	1				
U	0.461**	0.014	0.025	0.211**	0.074	-0.009	0.192**	-0.064	-0.022	<b>0.529**</b>	1			
NO <sub>3</sub> -N	0.271**	0.043	0.141**	-0.140**	-0.144**	-0.011	-0.154**	-0.071	-0.036	0.269**	0.146**	1		
Fe	0.106*	-0.011	0.030	-0.077	0.119**	<b>0.299**</b>	0.009	0.231**	0.040	0.109*	-0.039	-0.029	1	
Turbidity	0.061	0.070	0.001	-0.091*	0.108*	<b>0.398**</b>	0.090*	0.117**	0.055	0.059	-0.037	-0.057	<b>0.513**</b>	1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>0.636**</b>	-0.036	0.104*	0.098*	0.281**	-0.075	0.243**	-0.057	-0.002	0.293**	0.132**	0.138**	0.016	0.005

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

**Table 4.** Correlation coefficient of meteorological element and noncompliance rate of Spring Water Quality Standards

	Temperature	Rainfall	Unconformity
Temperature	1		
Rainfall	0.670	1	
Unconformity	0.558	0.647	1

이 높게 나타났다. 경도는 칼슘과 마그네슘이 일 시경도인  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ 와 결합한 일시경도와  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ 와 결합한 영구경도로 나누는데 약수터 수질의 경우 영구경도로 특히  $\text{Cl}^-$ 과 결합일 가능성이 높게 나타났다(5). 과망간산칼륨소비량은 색도( $r=0.536$ ), 암모니아성질소( $r=0.491$ )과 높은 상관성을 나타냈다. 이는 과망간산칼륨소비량은 유기물질을 분해하는데 소비되는 양이므로 유기물과 관련이 깊은 두 항목과 상관성이 높은 것은 쉽게 판단할 수 있다. 비소는 pH( $r=0.382$ )와 상관성이 있었으며, 알루미늄은 pH( $r=-0.386$ )와 음의 상관성을 나타내었다.

탁도는 철( $r=0.513$ ), 색도( $r=0.398$ )의 상관성을 나타내었으며, 특히 우라늄은 염소이온( $r=0.529$ )과 높은 상관성을 나타내었다.

2/4분기 정밀검사결과 및 자치구검사결과 부적합율과 기온, 강수량과의 상관성을 분석한 결과는 표 4과 같다. 약수터 수질검사결과 부적합율은 강수량( $r=0.647$ ), 기온( $r=0.558$ )과 매우 높은 상관성을 나타내었으며, 특히 강수량과의 상관성이 기온보다 약간 높게 나타났다(8).

## 결 론

본 연구는 2016~2018년까지 3년간 서울시내 약수터 수질에 대한 특성을 조사하여 약수터 수질 관리에 필요한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 수행하였으며, 연구 결과는 다음과 같다.

1. 2016년 205개소, 2017년 142개소, 2018년 183개소의 약수터를 47항목 정밀검사결과 부적합율은 16년 31.7%, 17년 34.5%, 18년 48.6%로 나타났으며, 특히 18년도는 이례적인

봄철 장마로 지표오염물질의 유입에 의한 미생물 및 오염물질 증가로 인하여 부적합율이 매우 높게 나타났다.

- 건강상 유해 영향 무기물질 중 비소는 평균과 최대값이 각각 0.0006 mg/L, 0.032 mg/L로 기준을 초과하는 지점이 있었으며, 2016년부터 검사하기 시작한 우라늄은 평균과 최대값이 각각 0.002 mg/L, 0.102 mg/L로 2016년과 2017년에 기준을 초과하는 지점도 있었다.
- 전체 부적합항목 중 총대장균군이 57%를 차지하고 있으며, 다음으로 분원성대장균군(12%), 여시니아(7%), 일반세균(7%)로 미생물항목이 전체 부적합율의 83%를 차지하였다. 따라서 약수터 수질관리에 자외선살균기 설치 등 미생물 관리가 매우 중요한 것으로 나타났다.
- 토양 및 암석에 비교적 높은 농도로 존재하는 비소의 경우 2016년도에 최댓값이 0.018 mg/L, 평균이 0.003 mg/L 이었으며, 2017년도에는 0.032 mg/L, 0.0011 mg/L, 2018년도에는 0.023 mg/L, 0.0005 mg/L으로 나타났다. 2017년도 비소농도가 높았던 지역을 대상으로 2018년도에 비소제거장치를 설치하여 비소를 저감하였으며, 지속적으로 관리를 하고 있다.
- 우라늄은 2016년 최대값이 0.047 mg/L, 평균이 0.003 mg/L이었으며, 2017년도에는 0.102 mg/L, 0.003 mg/L, 2018년도에는 0.018 mg/L, 0.0001 mg/L으로 나타났다. 2017년도에 고농도의 우라늄이 검출된 약수터의 경우 사용중지, 폐쇄조치를 실시하여 2018년도에는 기준 초과시설이 없었다.
- 총대장균군 등 7항목에 대하여 2회 이상 부적합 지점을 살펴보면, 총대장균군은 21개 지점

- 에서 초과하였고, 알루미늄은 관악구 3개 지점에서 초과하였으며, 비소는 동작구와 강동구 각 1개 지점에서 초과하였다.
7. 기타 6항목 검사결과를 토양지하수종합정보시스템(SGIS) 자료를 이용하여 살펴보면, 2017년 7월, 8월, 9월 부적합율이 각각 86.7%, 83.3%, 75.8%로 여름철 약수터 미생물오염이 매우 심각하여, 약수터 이용을 자제하거나 끓여먹는 등 매우 주의가 필요하다.
  8. 경도는 염소이온( $r=0.806$ ), 황산염이온( $r=0.636$ )과 매우 상관성이 높았으며, 과망간산칼륨소비량은 색도( $r=0.536$ ), 암모니아성질소( $r=0.491$ )와 탁도는 철( $r=0.513$ ), 색도( $r=0.398$ )의 상관성을 나타냈다. 특히 우라늄은 염소이온( $r=0.529$ )와 높은 상관성을 나타내어 추가적인 연구가 필요하다.
  9. 약수터 수질검사결과 부적합율은 강수량( $r=0.647$ ), 기온( $r=0.558$ )과 매우 높은 상관성이 있고, 특히 강수량과의 상관성이 기온보다 약간 높게 나타났다.
  2. 남승우, 조경덕 : 국내 먹는물공동시설 오염 발생 특성 및 수질관리 감시 대상 물질 연구. 보건학논문집, 51(1):55~64, 2014.
  3. 먹는물수질공정시험기준, 환경부, 2015
  4. 김경애, 이병욱, 김오목, 허명제, 김경태, 노재일, 최춘석, 고종명, 김용희 : 인천 지역 약수터의 오염에 대한 연구. 대한위생학회지, 22(3):38~49, 2007.
  5. 김광래, 길혜경, 김현국, 김은숙, 노방식, 홍주희, 이진, 김정연, 이만호, 엄석원, 이재영 : 서울지역 약수터의 수질특성에 관한 연구. 한국지하수토양학회지, 15(6):135~146, 2010.
  6. Kim, MC, Han, YJ and Heo, MS : Microbiological Pollution Investigation of Lowland Spring Water at the Jeju City Waterfront. Jeju Island, J Life Sci. R. Dubl. S. 22:324~331, 2012.
  7. 김현실, 김익성, 윤철중, 박청길 : 부산지역 일부 약수터의 수질특성에 관한 연구. 대한환경공학회지, 24(5):545~547, 2002.
  8. 최필권, 이경희, 허평, 경지영, 조덕희, 김극태, 김태영, 김창규 : 경기도내 먹는물공동시설의 수질개선 방안 조사. 한국물환경학회·대한상하수도학회 2018년 공동학술발표회, p.397~398, 2018.

## 참고문헌

1. 통계청, 인구총조사 식수의 사용형태별 가구, 2015