

[단 보]

광주광역시 비지정약수터 수질특성

이윤국[†] · 윤상훈 · 조광운 · 위환 · 김난희 · 강영주 · 김은선 · 서광엽

광주광역시보건환경연구원

Water Quality of Non-Designated Spring In Gwangju

Youn-goog Lee[†], Sang-hoon Yoon, Gwang-woon Jo, Whan Wi, Nan-hee Kim, Yeong-ju Kang,
Eun-sun Kim, and Gwang-yeob Seo

Health and Environment Research Institute of Gwangju, Gwangju, 502-837, Korea

Received April 4, 2013/Revised May 21, 2013/Accepted June 27, 2013

This study was performed to investigate the water quality of non-designated spring in Gwangju. Samples were collected at 9 sites from April 2012 to March 2013. The average concentrations of physicochemical items at each sites satisfied with drinking water guideline except microorganisms. The concentrations of main minerals including Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} and Na^{+} showed generally similar and higher than those of bottled minerals water in some sites. Total coliforms and fecal coliforms were detected in some sample collected except S1 and S4 site. The microorganisms isolated in the natural mineral water found out *E. coli* (62%), *Raoultella planticola* (10%), *Citrobacter freundii* (9%) and so on. Detection of these microorganisms showed that the environment around the spring had been exposed to fecal contamination. For the efficient control, the government office needs to designate the S1 and S4 site found out the acceptance for drinking water standard as the management spring water.

Key words: Gwangju, Non-designated spring, Microorganism, Minerals

1. 서 론

'94년 낙동강 페놀사건 등 수질오염사고로 인한 수도 물 안전성에 대한 불신이 증가하면서 먹는샘물 시장의 급격한 증가와 더불어 많은 사람들이 건강에 유익하고 좋은 물을 찾아 등산로, 공원 등에 위치한 약수를 이용하는 인구가 늘어나고 있다.

약수란 바위틈이나 땅속으로 스며든 빗물에 각종 광물질이 용해되어 있는 암반대수층의 지하수 또는 모세관 작용으로 지표로 다시 솟아나는 물을 말한다.¹⁾ 이런 약수와 관련된 연구를 보면 지역별 약수의 수질특성, 강우영향에 대한 수질변동, 약수터의 물 맛 평가, 약수의 건강성분 조사, 지화학 특성에 따른 수질조사, 주변 환경에 따른 약수터 오염조사, 수질의 미생물학적 분포 등 다양하게 진행되었다.^{1-5,7,9,10,12-15)} 하지만 약수의 행

정적 명칭은 먹는물공동시설이다. 먹는물관리법에 의하면 먹는물공동시설은 여러 사람에게 먹는물을 공급할 목적으로 개발하였거나, 저절로 형성된 약수터, 샘터, 우물 등을 말하며, 상시 이용인구가 50인 이상이거나, 50인 미만이라도 수질관리가 필요하다고 인정하여 시장, 군수, 구청장이 지정한 시설을 말한다. 하지만 이와 같은 먹는물공동시설은 대부분 주변 야산, 등산로, 공원지역에 위치하고 있어 쉽게 이용함에 따라 위생적인 관리가 필요하며, 특히 약수터 관리소홀과 주변 환경의 불량 등 각종 미생물 오염에 노출가능성이 높다.^{1,2,7)} 따라서 먹는물공동시설에 대한 관리와 수질검사의 필요성이 더욱 증가하고 있는 실정이다.

광주광역시에는 전체 13개소의 지정 약수터가 있다. 지정된 먹는물공동시설에 대하여 년 6회 이상 정기수질검사를 실시하게 되어 있으며, 강우 직후 또는 갈수

[†]To whom correspondence should be addressed.

기 등 미생물의 오염이 우려되거나 이용자들의 요청이 있을 때 수시 수질검사를 하고 있다. 하지만 1일 이용자의 수가 50인 미만으로 먹는물공동시설 지정요건에 해당되지 않지만, 실제로 이용하는 시설들이 존재할 것으로 판단된다. 따라서 이런 비지정약수터의 수질 안정성 확보가 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히 하절기, 강우 등 취약시기에 질병유발 병원균이 존재할 잠재적인 위험성이 있는 분변오염 여부 조사 등 미생물학적 안전성에 대한 정보제공이 절실히 필요한 실정이다.

본 연구에서는 광주광역시에 분포되어 있는 이용자 수가 1일 50인 미만으로 관리대상에 포함되지 않지만, 수질관리가 필요한 약수터를 대상으로 수질 평가, 미네랄 함량 평가, 미생물 분리·동정을 통한 미생물 유형·유래 등 균종 (species)을 조사하였다.

이를 통하여 비지정 약수터 수질에 대한 올바른 정보를 제공하고, 먹는물 수질기준에 적합한 약수터는 지정약수터로 추가 지정하여 이용하는 시민들의 건강에 기여하고, 지속적인 관리를 통해 적절한 수질관리방안을 모색하고자 한다.

2. 조사대상 및 방법

2.1. 조사지점 및 기간

조사대상은 광주광역시에 분포된 이용인구가 50인/일 미만인 비지정 먹는물공동시설로, 수질관리가 필요한 약수터 9곳을 대상으로 하였다. 조사지점은 Fig. 1에 나타내었다. 약수터의 수원 공급형태를 보면 S3 지점, S4 지점 그리고 S9 지점은 지하수를 개발하여 펌핑을 통해 물을 공급하는 형태이며, S1 지점과 S5 지점은 집수정을 통해 공급되는 형태이며, 나머지는 자연샘 형태이다. 조사기간은 2012년 4월~2013년 3월까지 1년 동안 매월 1~2회 조사하였다. 조사지점의 위치, 수원



Fig. 1. Sampling site of non-designated spring in Gwangju.

종류, 이용자 수, 공급형태는 Table 1에 나타내었다.

2.2. 조사항목 및 조사방법

먹는물수질기준 적합여부를 파악하기 위해 미생물(일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군), 건강상유해영향 무기물질(납 등 중금속, 암모니아성질소, 질산성질소), 건강상유해영향유기물질(페놀, 벤젠 등 휘발성유기화학물질, 다이아진은 등 농약류), 심미적 영향물질(pH, $KMnO_4$ 소비량 등) 등 46개 전 항목을 조사하였다. 또한 생체조질 작용에 필수적인 것으로 알려진 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ 등 미네랄을 측정하였다. pH는 현장에서 측정하였으며, 무균 채수병을 이용하여 채취한 후 시료는 4°C 이하로 냉장 운반하였다. 먹는물수질공정시험기준에 따라 분석하였으며,⁸⁾ 분석방법 및 분석기기는 Table 2와 같다.

일반세균은 시료 1 mL를 펠트리접시에 넣고 멸균시킨 표준천배지(Plate count agar, Difco, USA) 10~12 mL를 넣어 잘 혼합한 후 배지가 응고되면 (35±0.5)°C에서 (48±2)시간 배양한 후 형성된 집락을 계수하였다. 총대장균군 추정시험은 상용화된 3배 농후의

Table 1. Sampling sites and the status of non-designated springs in Gwangju

No.	Name	Location	Latitude	Longitude	Fountain head type	Population (user/day)
S1	Jisanyuwonji Golfjang	Donggu	355°51'3" N	12656°21'6" E	surface	40
S2	Jisanyuwonji Chultop	Donggu	358°40'3" N	12656°36'5" E	surface	10
S3	Jungang Park	Seogu	358°19'9" N	12651°56'7" E	groundwater	40
S4	Geumdangsan Entrance	Seogu	357°33'76" N	12652°12'9" E	groundwater	40
S5	Okchunsa	Namgu	356°57'1" N	12653°43'3" E	surface	1~2
S6	Back hill of ex-Gwahakgo	Namgu	357°29'78" N	12653°34'3" E	surface	10
S7	Back hill of Deaju 1st apartment	Namgu	355°51'9" N	12656°21'12" E	surface	10
S8	Samgaksan trail	Bukgu	3511°31'3" N	12653°56'7" E	surface	10
S9	Gwangju lake eco-garden	Bukgu	3511°7'36" N	1270°1'31" E	groundwater	40

Table 2. Analytical methods and instruments for each item

Items	Methods and Instruments
pH	pH meter (ORION 250A, USA)
NH ₃ -N	UV-VIS Spectrophotometer (SHIMADZU UV-1201, JAPAN)
NO ₃ -N, F, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	Ion chromatography (Metrohm 850 Profic IC, Swiss)
KMnO ₄ Consumption	Titration method
Turbidity	Turbidity Method (HACH model 2100AN, USA)
TDS	TDS meter (IQ 170, USA)
Pb, As, Hg, Cr, Cu, Zn, Fe, Mn, Al, B, Se, Cd	ICP-MS (Agilent 7500A, USA)
Na, K, Mg, Ca	ICP-MS (Agilent 7500A, USA)
Total colony	Plate count method
Microbiological	
Total coliforms	Tube method
Fecal coliforms	Tube method

락토오스배지(Lactoes broth, Oxoid, UK)가 10 mL씩 들어있는 시험관 (다람시험관이 들어 있는 시험관) 5개에 시료 20 mL씩을 접종하여 (35±0.5)°C에서 (24±2) 시간 배양한 후 기체 발생여부를 확인하였고 기체가 발생하지 않았으면 동일한 조건으로 (48±3)시간까지 배양하였다. 하나 이상의 시험관에서 기체가 발생하면 확정 시험용 배지(BGLB, Brillant green lactose bile 2%, Oxoid, UK)가 10 mL씩 들어있는 시험관(다람시험관이 들어있는 시험관)에 1 백금이씩 취하여 접종한 후 (35±0.5)°C에서 (48±3)시간 배양하였다. 기체가 발생하지 않으면 총대장균군 음성, 기체가 발생하면 양성으로 판정하였다. 분원성대장균군의 경우 총대장균군 추정시험에서 기체가 발생하였거나 증식이 많은 시험관 또는 산을 생성한 모든 시험관에 대하여 백금을 사용, 무균조작으로 확정시험용 배지(EC Broth, Oxoid, UK)가 든 시험관에 이식하여 (44.5±0.2)°C에서 (24±2)시간 배양하였다. 이 때 기체가 발생하면 분원성대장균군 양성, 기체 발생이 없으면 음성으로 판정하였다.

대장균군 균종분리는 감염병실험실진단(질병관리본부 국립보건연구원, 2005)에 준하여 시험하였다. BGLB 양성 집락에 대해 EMB(Eosin Methylene Blue, Oxoid, UK)와 KIA(Klingler Iron Agar, Oxoid, UK) 사면배지 시험을 거쳐 Vitek GN(Biomerieux, France)으로 생화학적 동정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 먹는물수질기준 항목

본 연구에서는 먹는물수질기준인 46항목을 조사하였으며, 총대장균군 등 미생물학적 결과는 별도로 고찰하였다. 9개 지점을 계절별로 구분하여 평균값을 이용하

였으며, 또한 최대값, 최소값 및 표준편차를 나타내었다(Table 3).

심미적 영향물질로 구분되는 수소이온농도, 경도, KMnO₄ 소비량, 탁도 검사결과는 다음과 같다. 수소이온농도(pH)는 6.0~7.8의 범위로 먹는물 수질기준인 5.8~8.5에 만족하였다. S1 지점은 7.2~7.8로 나타나 다른 지점과 달리 약알칼리성을 나타내었다.

물 맛에 영향을 나타내는 경도(Hardness)는 미네랄 성분인 Ca²⁺, Mg²⁺의 양을 CaCO₃로 환산한 값으로서, 농도범위는 29~167 mg/L (수질기준 1,000 mg/L)였다. 특히 S4 지점과 S9 지점은 다른 지점에 비해 높은 농도를 나타냈다. S4 지점과 S9 지점은 각각 112~129 mg/L, 144~167 mg/L의 범위로 조사되어, S8 지점과 S6 지점에 비해 2~3배 정도 높은 값을 보였다. 이런 원인은 두 지점의 수원이 지하수이기 때문이다. 일반적으로 약수의 화학적 조성은 기후, 지형, 지질 등의 복합적 요인에 따라 결정된다. 특히 지질 요인중 물-암석간의 반응시간, 기반암의 종류 및 양이 가장 중요하다.¹³⁾ 또한 경도는 총용존고형물질(Total Dissolved Solid, TDS)과 비례 관계를 나타낸다. 총용존고형물질의 농도 범위는 51~191 mg/L였으며, 경도의 결과값과 마찬가지로 S9 지점과 S4 지점이 높은 것을 알 수 있다. 이는 암석과 물의 반응이 장기간 진행된 깊은 지하수에서 Ca²⁺, Mg²⁺ 등 미네랄 성분의 용출로 증가하며, 다량의 용존물질과 염류가 유입되어 높아질 가능성이 있다. 이 등(2011)이 조사한 무등산 약수터의 강우전후 수질특성에 의하면 6개 지점의 무등산 소재 약수의 총용존고형물질의 농도는 15~34 mg/L의 범위였으며,¹⁵⁾ 본 연구 결과와 비교하면 상당히 낮은 것을 알 수 있다. 이는 강우에 따른 수질변화를 파악하기 위한 목적으로 연구가 진행된 것으로 토양과의 접촉시간이 큰 영향을 미

Table 3. The results of water quality on physicochemical items at sampling sites

unit: mg/L except turbidity (NTU)

Site		analytical items									
		pH	Hardness	KMnO ₄ consumption	color	Turbidity	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ -N	F ⁻	TDS
S1	spring (n ²)=5	7.6	63	0.8	1	0.09	5	9	1.2	0.0	88
	summer (n=4)	7.6	55	0.8	1	0.03	4	10	0.6	0.0	89
	fall (n=4)	7.2	73	0.7	1	0.02	5	10	0.8	0.0	86
	winter (n=4)	7.8	74	0.7	1	0.14	6	9	0.9	0.0	88
S2	spring (n=5)	7.0	61	0.8	1	0.38	7	5	3.7	0.0	79
	summer (n=4)	6.7	54	0.7	1	0.16	8	4	4.9	0.0	81
	fall (n=4)	6.2	54	0.7	1	0.23	9	6	4.5	0.0	80
	winter (n=4)	6.7	58	0.8	1	0.21	9	6	3.5	0.0	77
S3	spring (n=4)	6.6	44	0.9	1	0.16	10	4	1.9	0.0	68
	summer (n=3)	6.5	53	0.8	1	0.02	12	5	3.7	0.0	66
	fall (n=4)	6.3	52	0.7	1	0.08	12	7	4.0	0.0	69
	winter (n=2)	6.0	46	0.8	1	0.04	13	6	1.2	0.0	64
S4	spring (n=5)	6.9	119	0.6	1	0.03	18	11	2.8	0.0	143
	summer (n=4)	6.6	112	0.8	1	0.02	20	12	2.9	0.0	149
	fall (n=4)	6.6	129	0.6	1	0.04	27	13	3.2	0.0	148
	winter (n=4)	6.8	114	0.7	1	0.02	23	13	3.2	0.0	143
S5	spring (n=5)	6.7	44	0.8	3	0.85	7	7	1.2	0.0	52
	summer (n=3)	6.4	59	0.8	3	0.88	5	8	1.2	0.0	56
	fall (n=4)	6.1	70	0.9	2	0.73	6	8	0.8	0.0	54
	winter (n=4)	6.4	42	1.2	2	0.72	6	8	0.7	0.0	53
S6	spring (n=5)	6.8	53	1.1	1	0.38	6	6	2.4	0.0	67
	summer (n=4)	6.5	31	1.0	1	0.38	4	6	2.0	0.0	66
	fall (n=4)	6.3	56	0.9	1	0.43	6	6	2.6	0.0	69
	winter (n=4)	7.2	51	1.2	1	0.27	6	6	2.8	0.0	65
S7	spring (n=5)	7.1	91	0.7	1	0.20	8	11	3.0	0.0	106
	summer (n=4)	7.4	74	0.8	1	0.06	7	8	3.6	0.0	104
	fall (n=4)	6.7	83	0.8	1	0.26	9	9	2.9	0.0	106
	winter (n=4)	7.0	91	0.7	1	0.06	9	9	3.5	0.0	105
S8	spring (n=5)	6.4	29	0.9	1	0.44	6	3	3.9	0.0	54
	summer (n=4)	6.0	30	0.9	1	0.20	3	3	4.9	0.0	51
	fall (n=4)	6.0	47	1.0	1	0.30	4	3	4.6	0.0	53
	winter (n=4)	6.0	39	1.3	1	0.21	5	3	4.4	0.0	52
S9	spring (n=2)	6.7	159	0.7	1	0.05	28	15	4.6	0.0	188
	summer (n=4)	6.2	144	0.7	1	0.03	32	18	5.6	0.0	191
	fall (n=4)	6.6	167	0.8	1	0.05	33	19	5.6	0.0	186
	winter (n=2)	7.3	159	0.7	1	0.03	34	20	6.2	0.0	183
	maximum	7.8	167	1.3	3	0.88	34	20	6.2	0.0	191
	minimum	6.0	29	0.6	1	0.02	3	3	0.6	0.0	51
	S.D	0.5	29	0.2	0.5	0.24	9.1	4.4	1.6	0.0	44

치는 것을 알 수 있어, 총용존 고형물질의 농도가 지점 별로 큰 차이가 나는 것은 지질적인 영향이라 할 수 있다.

수중에 존재하는 유기물 양의 간접지표인 KMnO₄ 소비량은 물 속의 산화되기 쉬운 물질에 의하여 소비되는

과망간산칼륨의 양으로, 값이 높을 경우 냄새와 맛을 유발하고 수인성질병을 일으킬 가능성이 있다. KMnO₄ 소비량의 범위는 0.6~1.3 mg/L (수질기준 10 mg/L)로 나타나, 외적 요인에 의한 오염 등에 영향이 크지 않는 것을 알 수 있다.

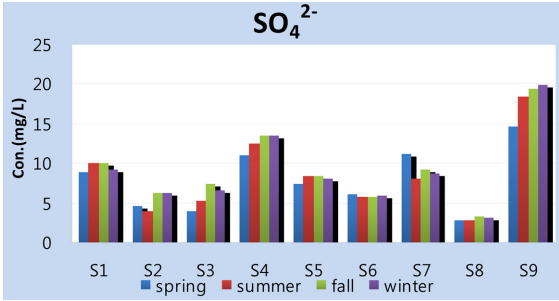


Fig. 2. The average concentration of SO₄²⁻ at sampling sites.

탁도는 점토, 미사(silt), 콜로이드 입자 및 미생물 등 미세 입자들의 존재로 발생하며, 빛의 흡수와 산란에 영향을 미친다. S4 지점이 0.02 NTU로 가장 낮았으며, S5 지점이 0.88 NTU로 가장 높았으며, 6월 27일 채수한 시료에서 1.94 NTU로 기준을 초과하였다. 탁도는 강우의 영향을 가장 크게 받으므로, 강우 후 수질의 안정화 시간을 고려하여 음용하여야 한다.

다량 존재 시 맛에 영향을 미치는 물질로 알려진 황산이온(SO₄²⁻)의 농도는 3~20 mg/L (수질기준 200 mg/L)범위였다(Fig. 2). 황산이온은 인간을 포함한 동물의 대·소변 등에 의해 영향을 받으며, 주로 지질에서 기인된다.

자연계에서 NaCl 등 염화물 형태로 존재하는 염소이온(Cl⁻)의 농도범위는 3~34 mg/L (수질기준 250 mg/L)로 나타났다(Fig. 3). 황산이온과 마찬가지로 고농도로 존재 시 맛을 유발하는 물질로 알려진 염소이온은 가정하수, 분뇨 등 인위적인 요인에 의해 나타난다. 이 등(2011)이 조사한 무등산 약수터의 수질검사 결과에서 황산이온은 1.4~4.4 mg/L, 염소이온은 2.4~4.1 mg/L인 것과 비교하면¹⁵⁾ 본 연구에서는 상당히 높게 나타났다. 이런 차이는 토양구성요소 및 지질의 차이, 등산로와 약수터와의 근접거리 및 월별 또는 계절적 요인으로 볼

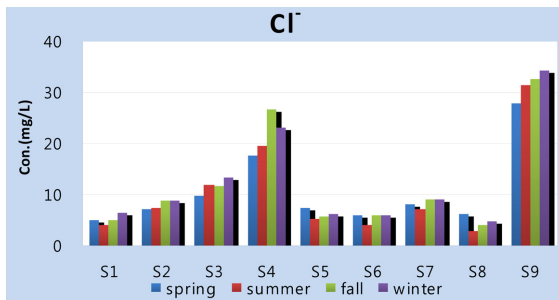


Fig. 3. The average concentration of Cl⁻ at sampling sites.

수 있다. 황산이온과 염소이온의 농도는 상대적으로 지하수를 수원으로 하는 S4 지점과 S9 지점이 다른 지점에 비해 높은 값을 보였는데, 이는 물이 지하를 이동하면서 암석이나 토양내 무기성분과의 반응이 원인으로 생각된다.

건강상 유해영향 무기물질로 분류된 불소이온(F⁻), 암모니아성 질소(NH₄-N), 질산성 질소(NO₃-N)의 기준은 각각 1.5 mg/L, 0.5 mg/L, 10 mg/L 이하이다. 형석 등 광물질속에 불소염 형태로 존재하는 불소이온은 9세 이하의 어린이가 1.5 mg/L 이상 함유한 물을 마시면 반상치를 유발할 수 있으며, 1 mg/L 정도 함유한 물을 마시면 충치예방 효과가 있는 것으로 알려져 있다.¹⁶⁾ 불소이온은 모든 지점에서 검출되지 않았다. 토양내 유기물이나 비료, 분뇨 등 원인에 의해 발생하는 무기물질이며, 급성오염의 지표인 암모니아성 질소(NH₄-N)는 모든 지점에서 검출되지 않았다.

질산성 질소(NO₃-N)는 약수터 주변 토양의 유기 질소화합물이 미생물에 의한 질산화 작용에 의해 분해되어 생성되는 최종 분해산물로서, 비료 사용, 동·식물 부패, 하수 유입 등 유기물 오염정도를 나타낸다. 각 지점에서 검출되는 질산성 질소의 농도는 0.6~6.2 mg/L의 범위를 나타냈다(Fig. 4). S1 지점이 0.6~1.2 mg/L로 가장 낮았으며, S9 지점이 4.6~6.2 mg/L의 범위를 보여 높은 경향을 보였다. 이 등(2011)에 의하면 무등산 소재 약수의 경우 0.4~2.0 mg/L의 범위를 나타내, 이번 연구결과에 비해 다소 낮은 농도를 보였다.¹⁵⁾ 질산성 질소는 헤모글로빈과 결합하여 산소전달을 방해하므로, 기준을 초과한 물을 마시는 6개월 미만의 유아들은 청색증과 호흡곤란 등을 유발한다.

질산성 질소를 제외한 납, 비소 등 건강상 유해영향 무기물질과 페놀, 다이아지논 등 건강상 유해영향 유기물질은 모든 지점에서 정량한계 이하 또는 전혀 검출

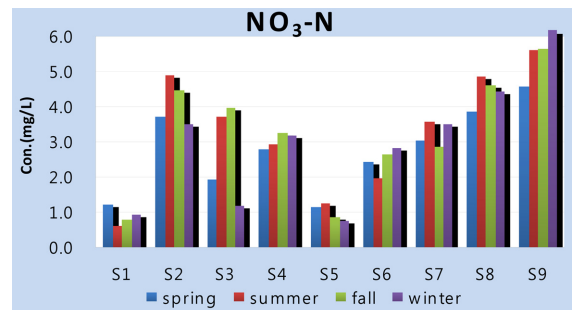


Fig. 4. The average concentration of NO₃-N at sampling sites.

되지 않았다. 따라서 미생물을 제외한 건강상 유해영향 무기물질(중금속 등), 건강상 유해영향 유기물질(농약류 등), 심미적 영향물질(pH 등) 등 먹는물 수질기준에서 규정한 43항목을 조사한 결과 S5 지점을 제외하고, 조사기간 동안 모든 지점에서 먹는물 수질기준에 적합한 것으로 나타났다.

3.2. 미네랄 성분

미네랄(mineral)이란 생물체의 주요 구성성분으로 비타민과 더불어 생명유지와 건강을 위해서 생체조절작용을 하는 필수 영양소이다. Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ 등 1일 필요량이 100 mg 이상인 다량원소⁶⁾를 대상으로 조사하였다.

Table 4. The results of water quality on minerals at sampling sites

Site		analytical items			
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
S1	spring (n ²)=5)	16.4	2.4	1.2	8.7
	summer (n=4)	19.8	3.8	2.3	8.5
	fall (n=4)	21.8	1.9	0.2	8.4
	winter (n=4)	25.1	2.1	0.4	11.1
S2	spring (n=5)	9.8	3.1	1.0	9.0
	summer (n=4)	17.0	3.5	0.4	9.9
	fall (n=4)	12.4	3.2	0.2	10.8
	winter (n=4)	15.0	4.2	0.2	12.0
S3	spring (n=4)	11.1	2.9	0.2	10.6
	summer (n=3)	15.9	3.9	0.7	12.7
	fall (n=4)	12.5	3.0	0.6	11.9
	winter (n=2)	12.8	3.1	0.9	12.1
S4	spring (n=5)	22.0	5.5	0.5	13.9
	summer (n=4)	27.3	6.5	0.7	14.6
	fall (n=4)	34.6	8.4	0.4	16.6
	winter (n=4)	33.1	8.0	0.5	16.2
S5	spring (n=5)	10.2	3.0	0.4	11.2
	summer (n=3)	15.7	3.9	0.4	11.1
	fall (n=4)	7.8	2.1	0.3	9.8
	winter (n=4)	8.1	2.5	0.3	9.8
S6	spring (n=5)	13.1	4.3	0.3	12.0
	summer (n=4)	8.3	3.0	0.4	9.7
	fall (n=4)	9.6	3.6	0.2	11.1
	winter (n=4)	10.9	4.1	0.2	11.0
S7	spring (n=5)	20.2	4.6	0.3	10.1
	summer (n=4)	21.6	4.8	0.4	10.0
	fall (n=4)	22.7	4.8	0.2	10.5
	winter (n=4)	27.7	5.5	0.4	10.1
S8	spring (n=5)	16.0	3.8	0.8	10.6
	summer (n=4)	13.2	3.3	0.7	9.9
	fall (n=4)	6.6	2.2	0.5	9.6
	winter (n=4)	7.8	2.9	0.7	10.3
S9	spring (n=2)	17.8	6.6	0.7	13.9
	summer (n=4)	30.1	11.4	1.0	16.0
	fall (n=4)	38.8	14.5	0.8	18.1
	winter (n=2)	39.1	15.0	1.0	18.2
maximum		39.1	15.0	2.3	18.2
minimum		6.6	1.9	0.2	8.4
S.D		9.0	3.2	0.4	2.6

unit: mg/L

조사지점에 대한 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 등 미네랄 함량과 분포는 Table 4에 나타내었다. Ca^{2+} 은 미네랄 중 가장 중요한 성분으로 약 99%가 $Ca(PO_4)_2$ 로 세포간 질에 존재한다. 칼슘은 골격, 치아형성, 심장수축조절, 혈액응고 작용을 하며, 생리적 및 생화학적 과정에 필수적인 역할을 하며, 체내에 가장 풍부한 양이온이다.^{6, 14, 16} Ca^{2+} 의 평균농도는 6.6~39.1 mg/L의 범위였으며, S9 지점과 S4 지점이 높은 농도를 보였다(Fig. 5).

Mg^{2+} 은 골격을 구성하는 성분으로 근육중에서 수축에 관여하고, 신경중에서 뇌나 신경흥분을 억제하는 역할을 하고 있으며, Ca^{2+} 의 체내흡수와 이용에 영향을 끼친다. 그리고 세포내의 삼투압이나 산·알카리 균형, 체온 조절, 근육의 자극 감수성을 높이는 작용을 한다. 또한 단백질, 지질, 당질을 분해하거나 몸속에서 필요한 성분으로 변화시킬 때의 효소에 대해서도 그 활성을 유지하기 위해 중요한 역할을 한다.⁶ Mg^{2+} 의 농도는 1.9~15.0 mg/L의 범위였으며(Fig. 6), Ca^{2+} 농도와 마찬가지로 S9 지점과 S1 지점이 높았다.

K^+ 은 Na과 같이 체조직에 이온형태로 존재하고, 신경조직과 세포질 내에 특히 많이 함유되어 있다. K^+ 은

많은 생물학적 반응의 촉매제로 이용되는데, 에너지 발생과 글리코젠 및 단백질의 합성에 관여하며, 세포내에서 삼투압 조절, 염분 조절 및 근육이나 신경의 작용을 조절하며, 심장기능의 활성화 작용을 한다.^{6, 14} 평균농도는 0.2~2.3 mg/L를 보였으며, Ca^{2+} , Mg^{2+} 등 미네랄의 분포와는 달리 S1 지점이 높은 농도를 나타냈다(Fig. 7).

Na^+ 은 자연에 널리 분포되어진 가장 풍부한 알칼리 원소로서 용해성이 크므로 침전되거나 토양에 흡착되지 않는다. 인체에 미치는 영향은 체액의 pH, 체액량 조절 및 근육이나 신경의 흥분작용을 조정하는 역할을 하는 물질이다.^{6, 14} 조사대상 약수터의 Na^+ 의 농도는 8.4~18.2 mg/L의 범위였다(Fig. 8).

이 등 (2011)의 연구결과에 의하면 무등산 약수터 6개 지점의 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 의 농도범위는 각각 1.3~3.9 mg/L, 0.9~1.1 mg/L, 0.1~0.5 mg/L, 3.1~7.0 mg/L였다.¹⁵ 본 연구결과와 비교하면 모든 지점에서 무등산 소재 약수의 미네랄 함량보다 상당히 높은 농도를 보였다. 이러한 원인은 지층을 구성하는 기반암이나 토양을 구성하는 암석의 종류 및 물과 토양과의 반응 정도나 접촉시간 등 차이에 의한 것으로 생각된다. 즉

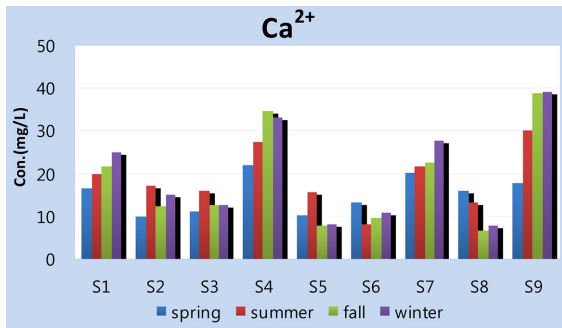


Fig. 5. The average concentration of Ca^{2+} at sampling sites.

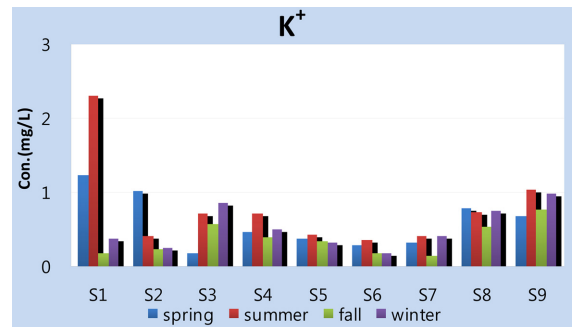


Fig. 7. The average concentration of K^+ at sampling sites.

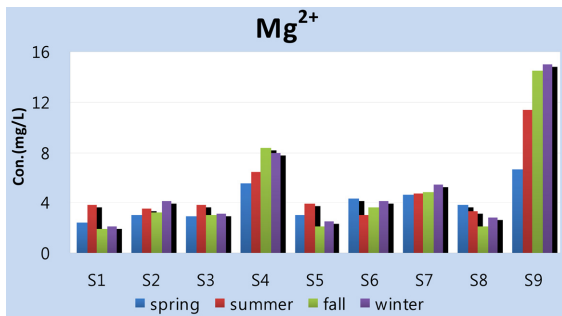


Fig. 6. The average concentration of Mg^{2+} at sampling sites.

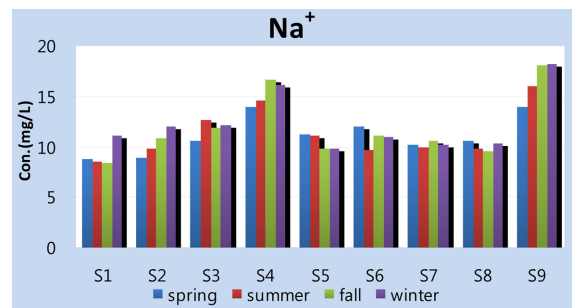


Fig. 8. The average concentration of Na^+ at sampling sites.

칼슘은 주로 방해석, 석회석, 백운석, 각섬석 등의 용해로 공급되며, 마그네슘은 각섬석, 휘석, 백운석, 방해석에 기인하며, 칼슘의 거동과 밀접하게 관계가 있다. 또한 나트륨은 사장석의 용해에 의해 공급된다.¹³⁾ 또한 안 등(2009)이 광주광역시의 300지점을 대상으로 조사한 음용 지하수중 미네랄 분포에 대한 연구결과에서도 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 의 평균농도는 28.0 mg/L, 10.5 mg/L, 2.7 mg/L, 33.8 mg/L로 나타났으며, 광주광역시에서 시판되는 22개의 먹는샘물의 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 의 평균농도가 12.4 mg/L, 6.1 mg/L, 2.6 mg/L, 11.6 mg/L로 조사되었다.¹¹⁾ 특히 S1 지점, S4 지점, S7 지점 및 S9 지점은 시중에 유통되는 먹는샘물과 비교해도 미네랄 함량은 비슷하거나 오히려 높은 농도를 보였다. S1 지점과 S7 지점의 경우 수원이 지표수라는 특성에도 불구하고, 미네랄 함량이 상당히 높은 것으로 나타났다.

Ca^{2+} 등 4종에 대한 미네랄의 분포는 Ca^{2+} 가 가장 높으며, Na^+ , Mg^{2+} , K^+ 의 순서로 나타났다. 이는 안 등(2009)이 조사 결과에서는 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ 의 순서를 보여,¹¹⁾ 본 연구와는 다른 결과를 보였다.

3.3. 미생물

먹는물 수질기준상 일반세균은 표준한천배지에서 $35 \pm 1^\circ C$ 에서 48 ± 2 시간 배양할 때 집락을 형성하는 호기성, 통성 혐기성 등 중속영양세균을 말한다. 즉 인간이나 온혈동물의 분변 오염과 관계없이 자연적으로 물 속에 존재하는 세균을 평가하는데 사용된다.¹⁶⁾

먹는물에서 일반세균이 검출되어도 인체에는 큰 영향이 없는 것으로 알려져 있으며, 멸균 및 소독 잔류성 판단의 척도로 이용되고 있다. 하지만 먹는물 수질기준인 100 CFU/mL를 초과한 경우 병원균이 존재할 가능성이 있으므로 어린이, 노약자 등은 면역성이 약한 사람들은 주의해야 한다.

Table 5은 각 지점에 대해 계절별로 구분하여 일반세균의 검출범위로 나타낸 것이다. 연구 결과에 따르면 S3 지점, S5 지점, S6 지점 그리고 S9 지점에서 계절적, 강수 등 기후적 요인에 의해 1~2회 정도 먹는물 수질기준을 초과하였다. 특히 S6 지점은 (구)과학교 뒤편 등산로에 위치한 곳으로 최고 2,000 CFU/mL가 검출되어 기준을 200배 초과하였다.

이들 약수터 시설은 등산로를 따라 위치한 자연샘 형태의 지표수이다. 따라서 약수터 위쪽의 통로나 등산로를 이용하는 이용자의 통행량이 약수터 수질에 큰 영

향을 미칠 수 있으며, 강우량이나 계절적인 요인이 크게 작용할 것으로 생각된다. 즉 지표면에 오염물질이 존재한다면 강우와 함께 쉽게 유입될 가능성이 크며, 여름철 기온상승에 따라 활발한 미생물 활동으로 수질이 악화될 가능성이 크기 때문이다.^{2,7,15)}

총대장균군은 대장균(*E. coli*)과 분원성대장균군 그리고 기타세균을 총칭하는 세균으로 가장 큰 의미를 갖는다. 총대장균군은 그람음성, 막대형 세균이며 무아포성 간균으로 $36 \sim 37^\circ C$ 에서 유당을 분해하여 산과 가스를 생성하는 균을 말한다. 총대장균군 자체는 인체에 유해하지 않지만, 인간 또는 온혈동물 등 분변오염의 지표로서 소화기계 병원균에 의한 오염가능성을 추정할 수 있으며, 세균분류상 *Enterobacteriaceae*에 속한다.¹⁶⁻¹⁸⁾

조사결과를 보면 총대장균군이 검출된 곳은 7지점이었다. 가장 빈번하게 검출된 지점은 S5 지점으로 부적률이 93.7%로 나타났다. 또한 S6 지점도 88.2%의 부적률을 보였다. S3 지점, S2 지점, S9 지점이 부적률이 50% 이상이었다. 특히 여름철 즉 기온이 상승하는 6월 이후에 검출된 다른 지점과는 달리, S5 지점과 S6 지점은 월별 또는 계절별에 상관없이 지속적으로 총대장균군이 검출되었다.

부적률이 높은 이유는 약수터의 위치와 공급형태가 관련이 큰 것으로 생각된다. 약수터 주변에 운동시설, 의자 등 쉼터가 있으며, 등산로가 형성되어 있어, 이용자의 통행량이 많고 대부분 주변청소 등 관리가 되지 않는 시설들이다. 또한 관 내부에 부착된 토사나 낙엽 등 오염물질이 미생물의 성장이나 증식에 영향을 미칠 가능성이 있고, 호스에 계속적으로 사람이 접촉하므로 미생물에 노출될 위험성이 큰 것으로 생각된다.¹⁵⁾ 부적률이 높은 또 다른 가능성은 집수정이다. 집수정이란 물을 일시적으로 모아 약수의 수량을 일정하게 유지시키는 시설이다. 따라서 집수정 소독이나 청소가 필요하지만, 대부분 집수정의 위치 및 존재 유무에 대한 자료도 없는 상태이다.¹⁰⁾

본 연구에서 특이한 점은 S1 지점과 S4 지점은 총대장균군이 검출되지 않았다. 수원의 형태가 지표수인 S1 지점은 집수정 거쳐 공급되는 형태이며, 특히 수질이 양호한 것으로 알려져 많은 시민들이 자주 이용한다. 또한 수원이 지하수인 S4 지점은 펌핑하여 공급되는 형태이다. 민방위비상급수 시설로 지정되어 매년 4회씩 수질검사를 실시하고 있으며, 이전에 실시한 수질검사에서도 모두 먹는물수질기준에 적합한 지점이다.

분원성대장균군은 $44 \sim 45^\circ C$ 에서 유당을 발효할 수 있

Table 5. The positive of microorganism at sampling sites

Site	Permitted limit ¹⁾	Microorganisms			
		Total colony	Total coliforms	Fecal coliforms	
		100 CFU/mL	ND/100 mL	ND/100 mL	
S1	spring (n ²⁾ =5)	0~4 ³⁾	0 ⁴⁾	0 ⁴⁾	
	summer (n=4)	0~12	0	0	(0%)
	fall (n=4)	0~10	0	0	(0%)
	winter (n=4)	0	0	0	
S2	spring (n=5)	0~4	1	0	
	summer (n=4)	0~38	3	0	(29.4%)
	fall (n=4)	2~25	4	3	(58.8%)
	winter (n=4)	0~2	2	2	
S3	spring (n=4)	0~2	0	0	
	summer (n=3)	2~11	3	1	(30.8%)
	fall (n=4)	0~120	4	1	(61.5%)
	winter (n=2)	0~4	1	2	
S4	spring (n=5)	0	0	0	
	summer (n=4)	0~2	0	0	(0%)
	fall (n=4)	0	0	0	(0%)
	winter (n=4)	0	0	0	
S5	spring (n=5)	2~11	4	4	
	summer (n=3)	10~120	3	1	(62.5%)
	fall (n=4)	5~54	4	4	(93.7%)
	winter (n=4)	0~14	4	1	
S6	spring (n=5)	4~19	4	3	
	summer (n=4)	9~2000	4	2	(58.8%)
	fall (n=4)	3~400	4	3	(88.2%)
	winter (n=4)	0~10	3	2	
S7	spring (n=5)	0~15	0	0	
	summer (n=4)	2~31	3	0	(5.9%)
	fall (n=4)	0~20	3	1	(35.3%)
	winter (n=4)	0~3	0	0	
S8	spring (n=5)	0~3	1	1	
	summer (n=4)	7~82	4	0	(5.9%)
	fall (n=4)	2~80	3	0	(47.0%)
	winter (n=4)	0~1	0	0	
S9	spring (n=2)	0	1	1	
	summer (n=4)	3~82	2	0	(8.3%)
	fall (n=4)	5~200	3	0	(58.3%)
	winter (n=2)	0~2	1	0	

¹⁾means the standard for drinking water, ²⁾means the number of survey, ³⁾means the range of CFU (colony forming units), ⁴⁾means the number of positive.

는 세균으로, *Escherichia* 속과 그보다 낮은 범위로 존재하는 *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* 등 종으로 구성되어 있다. 이 미생물들중에 오로지 대장균만이 분원성이며, 인간이나 다른 포유동물, 조류의 분변에 많은 수가 존재하고, 분변으로 오염되지 않은 물이나 토양에서는 거의 발견되지 않는다.¹⁶⁾ 건강에 미치는 영향은 설사, 경련, 구역질 또는 두통 등 단기간의 영향을 줄 수

있고 면역체계가 약한 사람에게는 특별히 위험을 일으킬 수 있으며, 먹는물 수질기준은 “불검출/100mL”이다.

분원성대장균군은 S1 지점과 S4 지점을 제외한 7개 지점에서 검출되었다. 총대장균군과 마찬가지로 S5 지점, S6 지점, S2 지점, S3 지점에서 부적률이 30%가 넘었다. 특히 S3 지점과 S9 지점은 접근성이 좋아 주말이나 휴일에 어린이나 노약자들이 음용 또는 손씻기,

과일 세척 등 다양한 용도로 사용할 가능성이 큰 곳이다. 음용할 경우 건강상 위해가 나타날 수 있어, 그대로 방치하는 것은 부적절하다. 따라서 주변 오염원 제거, 시설의 보강 또는 소독 등을 실시하거나, 사용금지 또는 시설폐쇄 등 적절한 조치를 하고, 건강상 위해성을 공지 또는 홍보하는 것이 절실히 필요하다.

3.4. 균종 분리 및 분포

총대장균군은 분변오염의 지표로 항상 오염원과 함께 분포하지만, 자연계에는 대장균군과 유사하게 유당을 분해할 수 있는 세균들이 존재하므로 실제보다 수질을 나쁘게 평가하게 된다.¹⁸⁾ 대장균군에 속하는 세균 중에는 *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* 균은 분변 유래형(사람, 동물 등 분뇨에 존재)이지만, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii*, *Ent. cloacae* 균은 분변 및 자연계에 모두 존재하는 중간형이고, *Erwinia carotovora*, *Citrobacter freundii* 균은 식물, 토양, 물 등에서 유래하는 자연계에 존재하는 균이다. 또한 *Serratia marcescens*, *Rahnella agnatis*, *Buttiauxella agresti* 균은 분변에서는 거의 발견되지 않고 상대적으로 양질의 먹는물에서 증식할 수 있는 균종들이다.^{2,7,15,17)}

대장균군 양성판정 후 분리한 세균에 대한 분리 동정 결과는 Table 6과 같다. 연구 결과를 살펴보면 세균 127주에서 9종이 동종 확인되었다. 균종별로 *Escherichia coli* 균이 79주(62.2%)로 가장 많이 존재하였으며, *Raoultella planticola*균이 13주(10.2%), *Citrobacter freundii* 균이 8.6%인 11종이 분리되었다. 이는 오염형태가 식물, 토양 등에서 유래하는 자연계에 존재하는 균보다는 대부분 사람, 동물 등 분뇨에 존재하는 분변 유래형임을 알 수가 있다.¹⁷⁾ 이 등 (2011)이 무등산에 소재한 약수터 6곳을 대상으로 미생물 유형 및 유래 등 균종

조사에 의하면 총 16균종이 확인되었다. 연구 결과에 따르면 *Escherichia coli* 균이 70주(32.7%)로 가장 많았으며, *Citrobater freundii*균이 57주(27.6%)로 나타났다. 따라서 무등산 약수중에서 발견되는 총대장균군의 유래는 식물, 토양 등 자연환경에서 유래된 균과 분변 등 인위적인 요인에 의해 나타나는 균이 복합적으로 동시에 존재하는 것을 알 수 있었다.¹⁵⁾ 본 연구와 비교하면 분리동정 균의 종류와 분리동정 경향이 상당히 유사한 것으로 나타났다.

지점별로 균종분포를 보면, S6 지점이 39주가 분리되어 가장 많은 것으로 나타났다. *Escherichia coli* 균이 33주로 가장 많이 존재하였으며, *Citrobacter freundii* 균, *Klebsiella oxytoca* 균 순서로 분리되었다. 분변오염과 관련이 많은 *Escherichia coli* 균뿐만 아니라 자연계에서 흔히 발견되는 *Citrobacter freundii*가 많이 존재하였다. S8 지점은 다른 지점과 달리 다양한 균주가 분리되었다. *Escherichia coli*균, *Raoultella planticola*균 등 전체 23주가 분리되었다. 따라서 S8 지점은 분변 및 자연에 모두 존재하는 중간형태로 생각된다. 그리고 S2 지점에서 20종이 분리되었으며, 분변 유래형 균종이 우세하였다. 이 지점들이 공통적인 특징은 수원이 지표수이며, 약수터 바로 옆으로 등산로가 형성되어 있으며, 또한 의자 등편의시설이나 체육시설이 설치되어 있어 휴식을 위해 머무를 가능성이 큰 지점들이다. 따라서 과자, 과일껍질 등 음식을 버릴 가능성이 많아 산짐승이나 새들의 서식처 등 인위적인 오염가능성이 큰 것으로 생각된다.

4. 결 론

우리 지역에 분포되어 있는 이용자 수가 1일 50인 미만으로 먹는물공동시설의 지정요건에 해당되지 않지만,

Table 6. Classification coliforms isolated from sampling sites

Strains	Numbers of Isolates									total
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	
<i>E. coli</i>		8	8		10	33	8	12		79
<i>Klebsiella pneumoniae</i>								1	1	2
<i>Klebsiella oxytoca</i>		4	2			1		2		9
<i>Citrobacter freundii</i>		1	2		2	3	1	1	1	11
<i>Raoultella planticola</i>		5			2			4	2	13
<i>Raoultella ornithinolytica</i>								1		1
<i>Serratia marcescens</i>					1		4	1		6
<i>Enterobacter aerogenes</i>			1							1
Unidentified		2				2		1		5
total		20	13		15	39	13	23	4	127

실제로 이용되고 있어 수질관리가 필요한 약수터 9지점을 대상으로 2012년 4월부터 2013년 3월까지 수질평가, 미네랄 함량, 미생물 오염여부 및 균종 분리 동정을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

미생물 항목을 제외한 납 등 건강상 유해영향 무기물질, 페놀 등 건강상 유해영향 유기물질, pH 등 심미적 영향물질은 S5 지점을 제외한 모든 지점에서 먹는물 수질기준에 적합하였다. 또한 납, 비소 등 중금속과 벤젠, TCE 등 휘발성 유기물질, 다이아지논 등 농약류 등 건강상유해영향유기물질은 모든 지점에서 검출되지 않았다.

Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺의 미네랄 함량은 각각 6.6~39.1 mg/L, 1.9~15.0 mg/L, 0.2~2.3 mg/L, 8.4~18.2 mg/L의 범위로 시중에 유통되는 먹는샘물의 함량과 비슷하거나 높은 농도를 나타냈다.

일반세균은 S4 지점과 S5 지점은 최고 2,000 CFU/ml가 검출되어 기준을 200배 초과하였다. 분변성 오염지표인 총대장균군은 7지점이 검출되었으며, S5 지점, S6 지점, S3 지점, S2 지점, S9 지점의 부적률이 50%가 넘어 먹는물로 부적합한 것으로 나타났다. 분원성대장균군은 5개 지점에서 검출되었다. 따라서 주변 오염원 제거, 시설 보강 또는 소독 등 실시하거나, 사용금지 또는 시설폐쇄 등 적절한 조치를 하고, 위해성을 공지 또는 홍보하는 것이 필요하다.

대장균군 양성판정 후 균 분리 동정한 결과 127균주에서 9종이 동종 확인되었다. *Escherichia coli* 균이 62.2%인 79주로 가장 많았으며, *Raoultella planticola* 균이 13주(10.2%), *Citrobacter freundii* 균이 8.6%인 11종이 분리되었다.

본 연구를 통해 S1 지점과 S4 지점은 조사기간 동안 미생물을 포함하여 모든 항목에서 먹는물수질기준에 적합하였으며, Ca²⁺ 등 미네랄 함량도 높은 것으로 나타났다. 따라서 이 2지점을 지정약수터로 추가 지정하여 정기 수질검사 실시, 시설 정비 및 청소 등 관리할 것을 제안한다.

참고문헌

1. 김현실, 김익성, 윤철중, 박청길, 부산지역 일부 약수터의 수질특성에 관한 연구, *대한환경공학회지*, 2002, 24(5), 939-953.
2. 이성호, 송희봉, 조찬래, 이영주, 이선영, 전현숙, 정동숙, 장우석, 화학적·미생물학적 수질에 대한 강우영향의 특성 (대구지역 약수), 2002, *대한환경공학회지*, 24(12), 2213-2225.
3. 김성석, 이진호, 정재연, 김남성, 김순래, 김종철, 최규열, 정의호, 강원도에서 음용되는 지하수의 수질특성에 관한 조사 연구, 1995, *J. KSWO Sep*, 247-256.
4. 박현구, 오조교, 변주형, 박경수, 김재광, 임윤정, 경기북부지역 약수터의 물 맛 평가에 관한 조사연구, 2006, 경기도보건환경연구원보 제19권, 195-206.
5. 이영, 민왕기, 이정자, 김오목, 이병옥, 민성은, 정유진, 약수의 건강성분에 관한 조사연구, 2006, *인천광역시보* *건강연구원보* 제10권, 212-226.
6. 서정숙, 서광희, 이승교, 최미숙, *최신 고급영양학*, 2007, 지구문화사.
7. 김경애, 이병옥, 김오목, 허명제, 김경태, 노재일, 최춘석, 고종명, 김용희, 인천지역 약수터의 오염에 대한 연구, 2007, *대한위생학회지*, 제22권 3호, 152-168.
8. 먹는물공정시험기준, 2011, 환경부.
9. 김난희, 이대행, 송형명, 이윤국, 서희정, 백계진, 강영주, 광주지역 약수의 수질특성 연구, 2007, *광주광역시보건환경연구원보*.
10. 광영주, 성동모, 허흥덕, 김현주, 강희규, 박진영, 최춘석, 약수터 주변환경 및 수질조사, 2003, *인천광역시보건환경연구원보* 제9권, 253-271.
11. 안상수, 강영주, 위환, 김종민, 이윤국, 박옥현, 박종태, 백계진, 광주지역 음용 지하수 중 미네랄성분의 분포, 2009, *한국환경분석학회지*, 12(3), 185-191.
12. 김종근, 이재영, 대구지역에 분포하는 약수의 지구화학적 특성, 1997, *한국환경위생학회지*, 23(3), 56-64.
13. 양혜근, 무등산 자연샘의 지화학적 특성, 2004, *한국지형학회지*, 11(1), 29-40.
14. 이남래, 김영만, 최범석, 먹는샘물 중의 건강과 영향을 미치는 화학성분의 분석, 1997, *Analytical science & Technology*, 10(6), 459-467.
15. 이윤국, 박옥현, 안상수, 김연희, 김종민, 배석진, 백계진, 문용운, 무등산 약수터의 강우 전후 수질특성, 2011, *한국환경분석학회지*, 14(3), 146-157.
16. 세계보건기구(WHO) 먹는물 수질관리 지침서, 1998, 환경부.
17. 정현미, 먹는물의 수질강화를 위한 대장균과 총대장균군 기준 및 분석방법 연구, 2001, 국립환경연구원.
18. 박석기, 엄석원, *위생미생물 시험법 해설*, 1998, 60-70, 미래문화.

1. 김현실, 김익성, 윤철중, 박청길, 부산지역 일부 약수터의