



광주지역 먹는물 공동시설의 미생물 특성 및 분포조사

박주현  · 김선정 · 이윤국 · 김난희 · 강유미 · 배석진 · 김종민[†] 

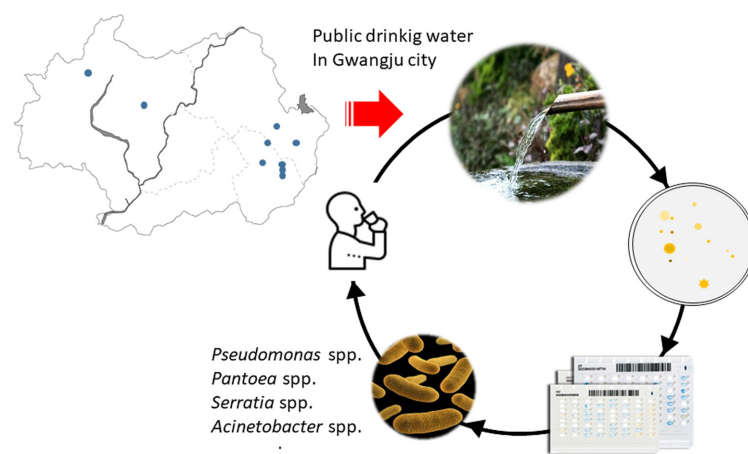
광주광역시보건환경연구원

Evaluation of Characteristics of Microorganisms Isolated from Public Drinking Water Facilities in Gwangju City

Juhyun Park, Seonjung Kim, Youn-gook Lee, Nanhee Kim,
Yumi Kang, Seokjin Bae, and Jongmin Kim[†]

Health and Environment Research Institute of Gwangju

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

Objective: This study was performed to detect indicator bacteria in drinking spring water samples in Gwangju City and to identify their genus using the VITEK-II system.

Methods: The subjects were ten drinking spring water sites in Gwangju. Samples of spring water were taken every month from September 2019 to August 2020. We analyzed for the indicator bacteria *Yersinia* and microorganisms isolated from the spring water.

Result: According to the research results on indicator bacteria, general bacteria in st1-st7 with sterilization facilities in the spring and summer were investigated in the range of 0-2 CFU/mL and 0-12 CFU/mL. In st9, where a sterilization facility was not installed, the most general bacteria were detected (160 CFU/mL). Total coliform and fecal coliform showed unsatisfied rates of 16.7 and 11.1% in spring and 14.7 and 11.8% in summer, respectively. The unsatisfied rates of total coliform for the designated and non-designated spring water facilities were 3.8 and 47.1%, respectively, and for the fecal coliform group they were 2.5 and 35.3%. The difference was

[†]Corresponding author: Health and Environment Research Institute of Gwangju, 584, Mujindea-ro, Seo-gu, Gwangju 61954, Republic of Korea, Tel: +82-62-613-7590, Fax: +82-62-613-7619, E-mail: nepume@korea.kr
Received: 5 March 2021, Revised: 26 March 2021, Accepted: 29 March 2021

confirmed according to the presence of a sterilization facility. *Yersinia* spp. was not detected in all drinking spring water. Forty-one strains in 25 species were isolated from ten sites. The results classified as major dominant species are *Pseudomonas* spp. 14.6%, *Pantoea* spp. 9.8%, *Serratia* spp. 9.8%, *Acinetobacter* spp. 9.8%, *Citrobacter* spp. 7.3%, *Bordetella* spp. 7.3%, *Delftia* spp. 4.9%, and *Enterobacter* spp. 4.9%.

Conclusions: Based on the result that various species derived from fecal pollution and artificial pollutants were detected in the non-specified public spring water facilities that many people use, the facilities need institutional complements such as continuous management or complete shutdowns.

Key words: Drinking spring water, spring water facility, indicator bacteria, sterilization, microorganism

I. 서 론

먹는물은 먹는물관리법에서 수돗물, 지하수, 먹는 샘물, 해양심층수, 샘물 등으로 공급하고 있는데 이중 다수인이 먹는물을 공급할 목적으로 개발하였거나 자연적으로 형성된 약수터, 샘터 및 우물 등의 시설을 '먹는물 공동시설'이라 한다.

이 시설은 다른 먹는물과는 달리 따로 정수처리를 하지 않으므로 가장 자연적인 물이라 할 수 있으나 반면 오염에 노출되었을 때 그만큼 안전성도 떨어지는 점은 피할 수 없다. 따라서 시·도지사가 먹는물관리법에 의거해서 합리적인 수질관리 및 위생관리를 도모하기 위하여 정기적인 수질검사 실시해야 하며, 먹는물 공동시설의 관리를 위하여 필요한 조치를 취하도록 규정하고 있다.

상수원의 오염과 건강관리에 대한 관심이 높아지면서 자연 생수를 마시고자 하는 움직임이 늘고 있지만, 실제 도시주변에 있는 대부분의 약수터의 물은 주변 오염물질 유입, 애원·야생동물의 분변 영향, 관리소홀 등에 의해 오염되는 경우가 많다. 특히 장마철에 초기강우의 유입과 등산객 증가로 오염물질이 증가하며, 1일 강수 15 mm 이상에서는 직접적인 영향을 받는다고 하였다.¹⁾

환경부가 공개한 자료에 따르면 2019년 말 현재 약수터 등 전국 시·군·구에서 지정된 먹는물 공동시설은 1,554개소이며, 이용인구는 1일 22만여 명에 이르고 있고, 대부분이 지표수와 유사한 시설로서 오염원에 쉽게 노출됨에 따라 시설주변의 청결상태 불량과 관리소홀로 나타나는 미생물(일반세균, 총대장균군 등)에 의한 기준초과 등이 90% 이상인 것으로 나타났다.²⁾ 광주광역시에서도 2017~2019년까지 3년간 먹는물 공동시설 7개소 254건 검사결과, 부적합이 50건(19.7%)으로 대부분 미생물 항목이 부적합

한 것으로 나타났다. 먹는물 공동시설의 미생물 검사항목 중 여시니아균은 장내세균과에 속하는 그람 음성세균으로 사람, 동물, 환경(물이나 토양)에서 주로 검출되어왔다³⁾. 일반적으로 약수터로 알고 있는 먹는물 공동시설은 야산이나 인적이 드문 곳에 위치해 있는 경우가 많아 애원견이나 야생동물의 분변에 노출될 가능성이 매우 높다.

현재 7개의 광주시내 지정 먹는물 공동시설의 경우 수질개선사업 등을 목적으로 광촉매살균장치를 설치하여 주기적인 관리하고 있다. 광촉매살균시설은 태양광 및 전기로 전원공급하여 자외선살균으로 안전한 수질을 확보하고자 설치되었다. 최근 논문에 따르면 자외선 10,000±20 μW/cm²에서는 급격히 살균작용이 이루어졌으나 완전 불활성화가 이루어질 때까지는 다소간의 접촉시간이 필요하며 안전한 수질을 확보하기 위해서는 10,000 μW/cm² 이상의 강도로 최소 3초 이상의 접촉시간이 유지되어야 하고, 5,000 μW/cm² 이하의 접촉시간으로는 미생물에 의한 약수터 안전성을 확보하기 어렵다는 결과가 보고되었다⁴⁾. 이에 따라 본 연구에서는 미생물항목을 검사함으로써 광촉매시설로 적정한 살균이 이루어지고 있는지 파악하고자 한다.

또한 먹는물 공동시설의 법적 검사항목인 *Yersinia enterocolitica*는 세계 여러 나라에서 세균성 장염의 원인으로 *Shigella*보다 많이 발생하며 *Salmonella*, *Campylobacter* 만큼 발생되고 있다고 보고되고 있다.⁵⁾ 식품뿐만 아니라 물은 *Y. enterocolitica*균의 주요한 서식지로서 국민 보건위생상 매우 중요한 의미가 있다. 미국에서는 음용수로 인한 장염사례가 보고되었으며,⁶⁾ 터키에서는 먹는물 공동시설 및 상업용 물 등에서의 *Y. enterocolitica* 오염사례가 있었고, 그 중 먹는물 공동시설에서 가장 많이 분리되었음이 보고되었다.⁷⁾

이에 따라 본 연구에서는 광주지역 먹는물 공동시설 10개소를 대상으로 시설의 유형에 따라 미생물 부적합항목인 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군의 분포특성을 조사하고 아직까지 연구가 미흡한 여시니아균과 미생물분포를 조사하여, 미생물에 의한 오염방지 등 효율적인 수질관리방안을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상 및 기간

음용수로 이용되고 있는 광주광역시 먹는물 공동시설 10개소를 대상으로 2019년 9월부터 2020년 8월까지 총 96건 검사를 진행하였다. 주기적인 검사로 관리되고 있는 10개소에 대하여 먹는물 공동시설 관리요령⁸⁾에 따라 수질검사를 실시하여 지표세균인 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군을 정량 및 정성분석을 하였으며, *Yersinia* spp. 검출여부 및 미생물분포와 병원성 미생물 유무를 조사하였다.

현재 먹는물 공동시설은 살균시설인 광촉매장치를 설치하여 주기적으로 관리되고 있는 지정약수터 7개소와 살균시설이 없는 비지정 약수터 3개소가 있으며 약수터의 조사지점에 따른 위치, 수원종류, 살균

시설 설치 및 전원공급형태는 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

2. 시료채취 및 시험방법

먹는물 공동시설의 수질시료 채수는 먹는물 시료채취방법 및 기준에 준하여 실시하였다.⁹⁾ 각 시료는 4 L 채수하여 먹는물 공동시설 수계에서 검출되는 미생물 및 지표세균을 검사하였으며 먹는물 지표세균인 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군 및 여시니아는 모두 먹는물수질공정시험기준에 준하여 실험하였다.¹⁰⁾

총대장균군 및 분원성대장균군은 먹는물수질공정시험기준의 시험관법에 따라 3배 농후의 락토오스배지 10 mL를 담은 증시험관 5개에 시료 20 mL씩 접종하여 35.0±0.5°C에서 24±2시간 배양 후 시험관을 확인하여 추정시험 양성일 경우, 확정시험을 진행하여 총대장균군은 BGLB (Difco, USA) 배지에 48±2시간, 분원성대장균군은 EC broth (Oxoid, UK)를 사용하여 44.5±0.2°C 24±2시간 배양 후 결과를 판정하였다.

일반세균 정량은 Plate count agar (Difco, USA) 배지를 사용하여 시료 1 mL를 접종하여 35.0±0.5°C에서 48±2시간 배양하여 30~300개의 집락을 형성

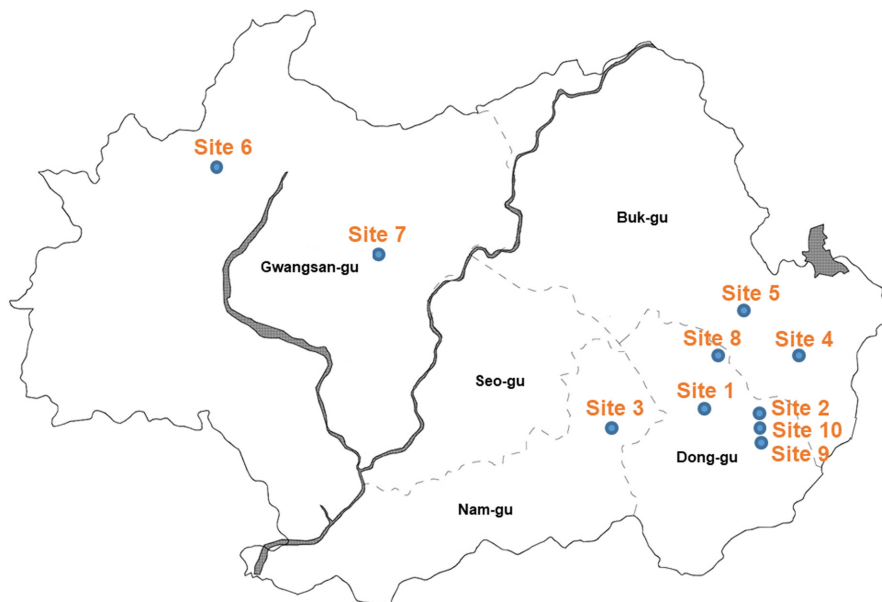


Fig. 1. Sampling sites of Spring water in Gwangju city

Table 1. Sampling sites and properties of the public drinking spring water facilities in Gwangju city

Sampling site			Number of users per day	Fountain head type	Type of sterilization
Sites	Name	Location			
st1	Jeungsimsa	Dong-gu	100	Ground water	Electric
st2	Neodeolgeong	Dong-gu	250	Surface water	Solar
st3	Daegaksa	Nam-gu	120	Surface water	Electric
st4	Sanjang	Buk-gu	200	Surface water	Electric
st5	Cheongpung	Buk-gu	70	Ground water	Electric
st6	Yongjin	Gwangsan-gu	100	Ground water	Electric
st7	Sanjeong	Gwangsan-gu	200	Surface water	Electric
st8	Jisan	Dong-gu	N/A	Surface water	N/A
st9	Baek-unam	Dong-gu	N/A	Surface water	N/A
st10	Dolsaem	Dong-gu	N/A	Surface water	N/A

N/A: Not available

한 평판의 콜로니를 계수하였다. 여시니아 시험은 채취한 시료 2 L를 막 여과장치(Millopore Microfil system, USA)을 이용하여 여과지(membrane filter, 0.45 µm pore size)로 여과한 후 연속하여 0.288% 수산화칼륨용액 20~30 mL를 20초 내에 완전히 여과시켜 알칼리 처리하고, 이 여과지를 *Yersinia* Selective Cefsulodin-Irgasan-Novobiocin (CIN) agar (Difco, USA) 배지 및 MacConkey agar (Oxoid, USA) 배지에 올려 놓고 25~28°C에서 48시간 배양하였다. 전형적인 집락(지름 1~2 mm의 편평한 무색 혹은 옅은 핑크색 집락)을 선별하여 Brain Heart infusion agar (Difco, USA)에 25~28°C 24시간 배양한 후 확인시험을 실시하였다. 배양시 *Yersinia* spp. 전형적인 생화학적 반응은 Triple sugar Iron (TSI) agar (Difco, USA)에 접종 후 37°C 24시간 배양하였을 때 sucrose를 분해하여 밑면과 사면이 황색으로 변하고 기체 및 황화수소는 발생하지 않는다. 또한 Urea gar 접종 후 25°C 24시간 배양시 붉은색으로 나타나고, 37°C에서는 운동성이 없고 25°C에서는 운동성을 나타낸다.

3. *Yersinia* 및 공동시설내 미생물의 분리 및 동정

Yersinia 및 미생물 동정을 위해 VITEK-II system을 이용하여 확인시험을 진행하였다. 분리된 균주를 TSA 한천배지에서 35°C 24시간 배양한 후 단일 집락을 취하여 멸균된 0.45% NaCl 3 mL에 부유시킨 뒤에 VITEK colorimeter에서 최종 탁도를 0.6

McFarland barium sulfate turbidity standard 로 맞추고 이 부유액을 VITEKII GN card (BioMerieux, USA)로 먹는물 공동시설에서 발견되는 그람음성세균을 동정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 먹는물 공동시설 지표세균 현황

광주광역시 지정 및 비지정약수터로 관리되고 있는 10개소를 대상으로 1년동안 총 96건에 대하여 지표세균을 조사하였다. 지표세균은 먹는물수질공정시험기준에서 제시한 방법을 사용하여 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군 3항목과 여시니아균에 대하여 정량 및 정성시험을 실시하여 약수터의 오염정도를 파악하였다.

각 지점당 계절별 일반세균의 검출범위를 나타내었다(Table 2). 지표세균 조사결과 살균시설이 설치된 지점 st1~st7에서는 봄에는 일반세균은 0~2 CFU/mL 범위, 여름에는 일반세균은 0~12 CFU/mL 범위로 나타났다. 살균시설이 설치되지 않은 st7~st9 지점 중에서는 봄철 st9 지점에서 일반세균이 가장 높게(160 CFU/mL) 검출되어 먹는물 수질기준(100 CFU/mL)을 초과하였다. st9 지점은 무등산 등산로에 위치한 곳으로 이용자의 통행량이 약수터 수질에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 기타 계절적인 요인이 크게 작용한 것으로 보인다.

지점에 따른 총대장균군과 분원성대장균군의 검출

Table 2. Counts of general bacteria from sampling sites in seasons

Sampling sites (number of specimens)	Bacterial counts (CFU/mL)			
	Spring	Summer	Fall	Winter
st1 (n=10)				
st2 (n=14)	0~2	3~5		
st3 (n=11)		0~12		
st4 (n=12)				
st5 (n=10)	1~2		0~21	
st6 (n=11)	0~1			
st7 (n=11)		0~1		
st8 (n=9)		0~2	0~1	
st9 (n=4)	4~160	0~33		
st10 (n=4)	0~53	35~41		

Not detected in Winter

Table 3. Detection number of Total coliform and Fecal coliform at the sample sites

Sites	Detection number of total coliform and fecal coliform	
	Spring	Summer
st1 (n=10)		
st2 (n=14)		TC (2)+FC (2)
st3 (n=11)		
st4 (n=12)		TC (1)
st5 (n=10)		
st6 (n=11)		
st7 (n=11)		
st8 (n=9)	TC (1)+FC (1)	
st9 (n=4)	TC (3)+FC (2)	TC (1)+FC (1)
st10 (n=4)	TC (2)+FC (1)	TC (1)+FC (1)

*TC: Total coliforms, FC: Fecal Coliforms; Number of detected cases are shown in parentheses.

횃수는 Table 3에 나타내었다. 검출된 지점은 st2, st4, st8, st9, st10 총 5개 지점으로 이 중 지정약수터 7개 지점에 대한 총대장균군의 부적합률은 3.8%, 비지정약수터 3개 지점의 부적합률은 47.1%이고, 분원성대장균군의 부적합률은 지정약수터는 2.5%, 비지정약수터는 35.3%로 나타났다. 지정약수터와 비지정약수터의 부적합률 차이로 살균시설의 설치유무에 따른 살균효과를 확인할 수 있다. 지정약수터 중에서 총대장균군과 분원성대장균군이 검출된 지점은 지표수를 수원으로 이용하는 시설로 st2 지점과 st4 지점으로 나타났다. 지표수는 지하수보다 약수터 주변 오염원에 대한 영향이 크고 강수량과도 밀접한 관련이 있어서 부적합률이 더 높아질 수 있다. st2

및 st4와 같이 등산객의 이용이 많은 지점에서 검출이 되어 이곳을 이용하는 이용객들에게 사용금지 또는 시설폐쇄 등의 조치를 하고, 건강상 위해성을 공지하는 것이 필요하다.

약수터 미생물항목의 부적합률은 온도가 따뜻해지는 봄에 총대장균군 16.7%, 분원성대장균군 11.1%로 가장 높았고, 강우가 집중된 여름에도 각각 14.7%, 11.8%으로 나타났다. 광촉매시설이 설치된 st1~st7에서는 미생물 검출이 되지 않았고, 설치되지 않은 st8~st10 지점에서만 검출되었다. 여름철에는 시설의 설치 유무에 상관없이 총대장균군, 분원성 대장균군이 모두 검출되어 먹는물 관리기준을 초과하였다 (Table 4). 광촉매시설을 통한 살균효과는 봄철 효과

Table 4. Level of indicator bacteria for drinking spring water at the sample sites

Parameters	Detection rate by season			
	Spring (n=36)	Summer (n=34)	Fall (n=17)	Winter (n=9)
Total coliform	16.7%	14.7%	ND	ND
Fecal coliform	11.1%	11.8%	ND	ND
<i>Yersinia</i> spp.	ND	ND	ND	ND

ND: Not detected

All microbial parameters should not be detected

적인 것으로 나타났다. 봄에는 광촉매살균시설의 살균작용이 충분한 효과가 있지만, 기온이 상승하고 강우량이 많아지는 여름철에는 미생물이 활발하게 번식할 수 있는 환경이 조성되어, 수질오염의 가능성이 높아지고 광촉매살균시설의 효과 또한 감소되었다. 특히 분원성대장균군이 봄철에 비해 여름철에 검출빈도 및 농도가 증가하는 경향이 뚜렷하게 높아지는 것이 확인된 바 있어¹¹⁾ 각별한 주의가 요구된다.

비지정 먹는물 공동시설 st7~st9를 분석한 결과, 무등산 등산로 주변에 위치에 있는 st9 지점과 st10 지점이 유원지 내에 위치에 있는 st8 지점보다 총대장균군과 분원성대장균군의 부적합률이 더 높게 나타났다. 원인으로서는 주변 환경에서 야생동물의 배설물 유입과 이용객의 비위생적 이용 등 인위적 요인이 높게 나타났음을 알 수 있었다. 현재 이들의 비지정 먹는물 공동시설의 경우에는 안내판이 설치되어있지 않고 정기적인 수질검사도 시행되지 않아 이용객들의 주의를 요하고 있지만, 아직 시설물이 폐쇄되지 않아 대책마련이 강구되어야 할 것으로 보인다. 그리고 여시니아균 검출여부를 조사한 결과에서는 모든 지점에서 검출되지 않았다(Table 4).

2. 먹는물 공동시설에서 검출된 미생물 종류 및 특성

미생물 배양 및 VITEK-II system을 이용하여 2019년부터 2020년까지 수거 검사한 시료 94건에 대하여 *Yersinia* spp. 확인시험과 미생물 검출시험을 실시하였다. 지정 및 비지정약수터로 운영 및 관리하고 있는 먹는물 공동시설 10곳에서 총 25종 41주의 균의 분리 검출되었으며 *Yersinia* spp.는 검출되지 않았다. 각 지점당 분리동정 결과는 Table 5에 나타내었다.

주요 우점종으로 분류한 결과는 *Pseudomonas* spp. 14.6%, *Pantoea* spp. 9.8%, *Serratia* spp. 9.8%,

Acinetobacter spp. 9.8%, *Citrobacter* spp. 7.3%, *Bordetella* spp. 7.3%, *Delftia* spp. 4.9%, *Enterobacter* spp. 4.9%, 그 외 균으로 동정되었다(Fig. 2). 가장 높은 빈도로 검출된 *Pseudomonas fluorescens*는 st2, 3, 5, 8에서 공통적으로 나타났고, *Pantoea agglomerans*는 st2, st4, st8에서 나타났다. *Serratia* spp. 9.8%로 *Serratia fonticola*는 st5, st8에서 *Serratia marcescens*는 st8, st9에서 나타났다. *Citrobacter freundii*와 *Bordetella bronchiseptica*는 각각 st1, st5, st10과 st3, st6, st7에서 나타났다.

Lee 등(2011)에서는 광주 무등산 소재 6곳을 대상으로 16균종이 확인되었고 *Escherichia coli*균이 70주(32.7%), *Citrobacter freundii*균이 57주(27.6%)로 나타났다¹²⁾. 2013년 연구에서는 무등산에 소제한 약수터 9곳을 대상으로 대장균 양성 판정 후 분리한 세균에 대한 분리 동정결과로 9종 127주가 확인되었다. 균종별로는 *Escherichia coli* 균이 79주(62.2%)로 가장 많이 존재하였으며, *Raoultella planticola*균이 13주(10.2%), *Citrobacter freundii*균이 8.6%로 분리된 결과가 있다¹³⁾. 본 연구와 비교하였을 때 균의 종류가 유사한 것으로 보아 기존의 결과와 마찬가지로 식물, 토양 등 자연계에 존재하는 균과 사람, 동물 등 분변에 존재하는 균등 인위적 요인에 의해 나타나는 균이 복합적으로 존재하는 것으로 볼 수 있다.

주요 균의 특성을 보면 *Pseudomonas fluorescens*는 그람음성, 막대모양의 간균으로 편모를 이용한 운동성이 있는 균이다. 녹농균과 같이 ‘Pyocyanin’이라는 형광안료를 생산하고 바이오플름을 생산하는 특성이 있고, 25~30°C에서 최적성장을 보이는 자연 환경에서 발견되는 균이다.¹⁴⁾ *Pantoea agglomerans*는 식물, 토양에서 분리될 수 있으며, 가시가 있는 식물의 가시로 인해 외상이 발생했을 때 감염되어 연조직 또는 뼈나 관절감염으로 연결될 수 있다. 기회

Table 5. Classified genus isolated spring water

Strains	Numbers of isolates										Total
	st1	st2	st3	st4	st5	st6	st7	st8	st9	st10	
<i>Citrobacter freundii</i>	1				1					1	3
<i>Delftia acidovorans</i>	1						1				2
<i>Pantoea agglomerans</i>		1		1				2			4
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		1	2		1			1			5
<i>Enterobacter aerogenes</i>		1							1		2
<i>Rahnella aquatilis</i>		1									1
<i>Bordetella bronchiseptica</i>			1			1	1				3
<i>Paracoccus yeei</i>				1							1
<i>Buttiauxella agrestis</i>				1							1
<i>Serratia fonticola</i>					1			1			2
<i>Cupriavidus pauculus</i>						1					1
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>						1					1
<i>Acinetobacter junii</i>						1		1			2
<i>Burkholderia gladioli</i>							1				1
<i>Pseudomonas putida</i>							1				1
<i>Kluyvera intermedia</i>									1		1
<i>Serratia marcescens</i>								1	1		2
<i>Raoultella ornithinoytica</i>										1	1
<i>Ewingella americana</i>								1			1
<i>Acinetobacter baumannii</i>								1			1
<i>Achromobacter denitrificans</i>					1						1
<i>Shewanella putrefaciens</i>					1						1
<i>Leclercia adecarboxylata</i>				1							1
<i>Acinetobacter lowffii</i>		1									1
<i>Alcaligenes faecalis subsp.</i>							1				1
Total	2	5	3	4	5	4	5	8	3	2	41

성병원균(opportunistic infections)에 속하지만 건강한 신체를 가진 일반인이 감염될 가능성은 적고, 주로 병원에서 면역 결핍환자가 오염된 의료장비에 노출될 경우에 오염되거나 감염이 이루어진다.¹⁵⁾

*Serratia marcescens*는 물, 토양 및 하수를 포함한 다양한 환경에서 발견된다. *S.marcescens*는 물, 토양, 동물, 곤충, 식물 등 다양한 곳에서 서식할 수 있고, *S.fonticola*는 주로 물에서 서식하여 발견된다¹⁶⁾. 특히 *S.marcescens*는 사람 뿐 아니라 동물, 곤충에게도 병원체로 작용되며 Enterobacteria 계통 *Yersinia* family에 속한다. 막대 모양의 통성 혐기성 박테리아로 운동성이 있으며, 붉은색 색조를 띄는 유

기체로 성장하여 ‘Prodigiosin’이라는 붉은색 색소를 생성하여 욕실의 세면대 및 실리콘에 분홍색 색조를 띄게 한다. 주로 요로감염, 폐렴 등 임상질환 유발 가능한 병원체로서 기회성 병원균이다.¹⁷⁾

st6, st8에서 발견된 *Acinetobacter* spp.는 토양이나 물속에 존재하며 사람이나 동물에서도 분리되는 균으로써 병원성이 있는 *Acinetobacter baumannii*의 경우 물, 토양 등 자연환경에 서식하며 부상으로 노출된 피부나 점막에서도 확인될 수 있다. 의료시설 환경에서 주로 발생하며 면역력이 약한 환자에게 감염된다. *A.junii*는 병원성이 크지 않은 것으로 알려져 있지만 신생아 및 소아 중양 환자의 균혈증 및 폐

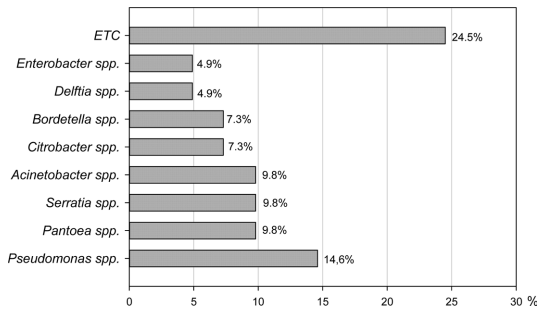


Fig. 2. Genus identification of gram negative bacillus in spring water samples using VITEK-II system

혈증과 연관이 있다는 연구가 있으며,¹⁸⁾ *A. hwoffii* 또한 급성위장염, 균혈증, 간 농양, 폐혈증, 심내막염 등과 관련되어 있는 것으로 알려졌다.¹⁹⁾ *Acinetobacter* 중 대표적인 병원균 중 하나인 *A. baumannii*는 폐렴, 심내막염, 혈류감염, 요로감염, 복막염을 포함한 다양한 감염증을 일으키는 기회성 병원균에 속한다.²⁰⁾ 하지만 자연에 출현할 수 있는 균 중 하나로 섭취를 통해서 병원성이 발현될 수 있는 가능성은 적다.

3. 지점별 균종 분포

약수터별로 균종 분포를 보면 st2에서는 *Pantoea agglomerans*, *Pseudomonas fluorescens*, *Enterobacter aerogenes*, *Rahnella aguatis*이 동정되었다. 식물이나 토양 등의 자연환경에서 발견될 수 있는 균종이었고, 여름철 분변 등 인위적인 요인에 의해 나타나는 균도 복합적으로 동시에 존재하였다. 이용 인구가 가장 많고 수원이 지표수이며 살균시설의 전원 공급장치로 태양광을 이용하고 있어 전원공급이 불안정하므로 수질오염 가능성이 높을 것으로 판단되고 현재 관리 등급은 4로 가장 주의가 필요한 것으로 나타난다(Table 6).

st5는 5가지 종이 분리되었는데, *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia fonticola*, *Achromobacter denitrificans*, *Shewanella putrefaciens*으로, 이용인구수는 가장 적었고, 수원은 지하수로 관리등급은 1로 비교적 깨끗한 물로 등급이 매겨져 있었다. 주로 발견되는 균은 토양 및 수계에서 발견되는 균으로 자연적인 오염원으로 대부분 이루어진 것으로 판단되고 먹는물로 이용함에서는 문제가 없다고 판단된다. st4은 *Delftia acidovorans*, *Bordetella*

Table 6. Conformity of drinking spring water at the test sites

Sites	Sampling sites	Conformity level
	Name	
st1	Jeungsimsa	2
st2	Neodeolgeong	4
st3	Daegaksa	1
st4	Sanjang	3
st5	Cheongpung	1
st6	Youngjin	1
st7	Sanjeong	1
st8	Jisan	-
st9	Baek-unam	-
st10	Dolsaem	-

1: No failure in annual test; 2: single failure in annual test; 3: Twice failure in annual test; 4: More than three times in annual test

bronchiseptica, *Burkholderia gladioli*, *Pseudomonas putida*, *Alcaligenes faecalis* subsp. 5가지 종이 발견되었는데 st5와 마찬가지로 물, 토양, 식물 등에서 발견될 수 있는 자연적으로 나타날 수 있는 균이다. 현재 관리등급은 3으로 광촉매시설이 전기로 공급하는 방식이어서 태양광 타입보다는 안정적인 전기공급이 이루어졌지만, 이용인구가 많고 지표수를 수원으로 하는 곳이기 때문에 쉽게 오염될 수 있는 장소이다.

비지정약수터인 st8은 가장 이용에 유의해야 하는 장소로 보인다. 발견된 균종은 *Pantoea agglomerans* 2회, *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia fonticola*, *Acinetobacter junii*, *Serratia marcescens*, *Ewingella americana*, *Acinetobacter baumannii* 으로 7종을 확인하였으며, 비지정약수터로 살균시설이 설치되어 있지 않고 유동인구가 파악되지 않은 상태이다. 현장 조사 진행시 7개의 지정약수터와 마찬가지로 이용객수가 많은 지점이기 때문에 보건위생학적으로 취약한 시설로 보인다. 해당 약수터는 기회성 병원균이 포함된 인위적 및 자연적 오염원이 복합적으로 이루어져 약수터의 이용자체 및 시설폐쇄를 권고하고 비지정 먹는물 공동시설인 st8과 st9에서 *S.marcescens* 및 *A.baumannii*가 검출되어 추가적인 수계 미생물에 대한 조사가 이루어져야 할 것으로 보인다.

IV. 결 론

광주지역 먹는물 공동시설 10개소를 대상으로 지표세균인 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군 및 여여시니아균 그리고 수계에서 발견되는 균의 분포를 조사하였다.

1. 지표세균 조사결과, 살균시설이 설치된 지점 st1~st7에서 봄에는 일반세균이 0~2 CFU/mL, 여름에는 일반세균은 0~12 CFU/mL로 나타났고, st9 지점에서 일반세균이 가장 높게(160 CFU/mL) 검출되었다.

2. 총대장균군과 분원성대장균군의 부적합률은 봄에는 16.7, 11.1%, 여름에는 14.7, 11.8%로 나타났다. 지정약수터 및 비지정약수터 7개 지점에 대한 총대장균군의 부적합률은 각각 3.8, 47.1%였고, 분원성대장균군의 부적합률은 2.5, 35.3%로 나타나 살균시설의 설치유무에 따른 차이를 확인하였다.

3. 지정·비지정약수터로 운영 및 관리되고 있는 먹는물 공동시설 모두 *Yersinia* spp.는 검출되지 않았으며, 10곳에서 총 25종 41주의 균이 분리 검출되었다. 주요 우점종으로 분류한 결과에서는 *Pseudomonas* spp. 14.6%, *Pantoea* spp. 9.8%, *Serratia* spp. 9.8%, *Acinetobacter* spp. 9.8%, *Citrobacter* spp. 7.3%, *Bordetella* spp. 7.3%, *Delftia* spp. 4.9%, *Enterobacter* spp. 4.9%, 그 외 균으로 동정되었으며, 인위적 및 자연적 오염원이 복합적으로 이루어져 기회성 병원균이 검출된 지산약수터(st8), 백운암터(st9)의 이용자제 및 시설관리의 개선이 필요하다.

4. 비지정약수터 중 시설이 개방되어 시민들이 자주 이용하는 곳에서는 분변 및 인위적 오염원에서 유래된 다양한 균종이 검출되는 것으로 보아 이용중지 및 완전한 시설폐쇄 등의 제도적 보완이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 환경부 “환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축” 사업과 광주광역시보건환경연구원 “연구지원 및 역량강화” 사업 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Kim KA, Lee BO, Kim, OM, Hur MJ, Kim KT, Ro JI, et al. A study on pollution of spring in Incheon area. *Journal of Environmental and Sanitary Engineering*. 2007; 22(3): 35-50.
2. Korea Ministry of Environment, White paper of Environment; 2020. p. 238.
3. Krieg NR and Holt JG. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Williams and Wilkins, Baltimore; 1984. 498-506.
4. Choi PK, Huh P, Lee KH, Cho DH, Kim CG, Kim TH. Study on water quality improvement in public drinking water facilities in Gyeonggi-do. *Journal of Korean Society for Environmental Analysis*. 2018; 21(3), 148-153.
5. Cover Timothy L, ABER Robert C. *Yersinia enterocolitica*. *New England Journal of Medicine*, 1989; 321(1): 16-24.
6. Gonul Şahika Aktuğ, Karapinar Mehmet. The microbiological quality of drinking water supplies of Izmir City: the incidence of *Yersinia enterocolitica*. *International Journal of Food Microbiology*, 1991; 13(1): 69-73.
7. Highsmith AK, Feeley JC, Skaliy P, Wells JG, Wood BT, Isolation of *Yersinia enterocolitica* from well water and growth in distilled water. *Appl. Environ. Microbiol*, 1977; 34: 745-748.
8. Korea Ministry of Environment, Instruction of the Ministry of Environment 1374, Article4
9. Korea Ministry of Environment, Standard Method for water Quality Pollution (ES 04130.1d); 2018.
10. Korea Ministry of Environment, Standard Method for Drinking water quality (ES 05702.1b~05711.1c); 2018.
11. Yoon TH, Lee HL, Choi SJ, Lee MY, EO SM. Occurrence of Indicator bacteria and Identification of total coliforms using 16s rRNA gene in Drinking spring water in Seoul. *Journal of Environ Health Sci*. 2013; 39(6): 513-521.
12. Lee YG, et al. Quality of spring water influenced by rainfall in mudeung mountain. *J. of the Korea Society for Environmental Analysis*. 2011; 14(3): 146-157.
13. Lee YG, et al. Water quality of non-designated spring in Gwangju. *J. of the Korea Society for Environmental Analysis*. 2013; 16(2): 152-162.
14. Scales, Brittan S, et al. Microbiology, genomics, and clinical significance of the *Pseudomonas fluorescens* species complex, an unappreciated colo-

- nizer of humans. *Clinical Microbiology Reviews*. 2014; 27(4): 927-948.
15. Cruz, Andrea T, Andreea C. Cazacu, and Coburn H. Allen. Pantoea agglomerans, a plant pathogen causing human disease. *Journal of Clinical Microbiology*. 2007; 45(6): 1989-1992.
 16. Aljorayid, Abdullah, et al. Serratia fonticola, pathogen or bystander? A case series and review of the literature. *IDCases* 2016; 5: 6-8.
 17. Mahlen, Steven D. Serratia infections: from military experiments to current practice. *Clinical Microbiology Reviews*. 2011; 24(4): 755-791.
 18. Linde, Hans-Jörg, et al. Septicemia due to Acinetobacter junii. *Journal of Clinical Microbiology*. 2002; 40(7): 2696-2697.
 19. Ku SC, et al. Clinical and microbiological characteristics of bacteremia caused by Acinetobacter lwoffii. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*. 2000; 19(7): 501-505.
 20. Howard, Aoife, et al. Acinetobacter baumannii: an emerging opportunistic pathogen. *Virulence*. 2012; 3(3): 243-250.

<저자정보>

박주현(환경연구사), 김선정(환경연구사),
 이윤국(환경연구사), 김난희(환경연구사),
 강유미(공무직), 배석진(환경연구관),
 김종민(환경연구관)