

부산 지역 미지정 먹는물공동시설의 수질특성 조사연구

박미희, 김현실, 김민경, 윤나나, 구서연, 곽진

물환경연구부 먹는물조사팀

Water Quality Characteristics of Undesignated Drinking Water Communal Facilities in Busan

Park Mi-hee, Kim Hyun-sil, Kim Min-kyung, Yoon Na-na, Gu Seo-yeon, Kwak Jin

Drinking Water Research Team

Abstracts

This study was conducted to understand the water quality of 25 undesignated drinking water communal facilities in Busan. Most of the facilities under investigation were used by less than 50 people per day, and 32% of the facilities did not have signage. In addition, if there is a water tank, it was installed close to the floor, and there were no external pollution blocking facilities, so it was very vulnerable to contamination. As a result of the water quality test, the nonconformity rate in the first half was 96.0% and the nonconformity rate in the second half was 91.7%. Most of the causes of nonconformities were microbial items. This is thought to be the result of the surrounding environment being contaminated or contaminated water flowing in during rainfall. Aluminum did not meet the water quality standards in one facility, and the nonconformity rate for turbidity was 12.0% in the first half and 12.5% in the second half. The average concentration of minerals was in the order of calcium > sodium > magnesium > potassium. This was a concentration distribution similar to that of bottled water. In conclusion, the facilities under investigation were very vulnerable to contamination compared to the designated drinking water communal facilities. Accordingly, facilities with depleted water sources or inadequate water quality need to be closed. In addition, it is judged that continuous management is necessary by designating facilities with suitable water quality and value.

Key words : Undesignated drinking water communal facilities, Microbial items, Rainfall

서 론

물은 지구에 살고 있는 모든 생물에게 있어서 없어서는 안 될 중요한 물질이다. 생물체를 구성하고 있는 여러 물질 중에서도 물은 생물체 중량의 70 ~ 80%를 차지하며, 인간의 신체도 체중의 약 3분의 2가 물로 되어 있다. 인체 내에서의 물은 물질대사에서 생긴 노폐물을 용해시켜서 체외로 배출시키는 역할뿐 아니라, 체내의 갑작스런 온도변화를 막아 주는 등 여러 가지 기능을 해주고 있어 인간은 생리적으로 물을 필요로 하고 있다. 사람은 보통 하루에 1 ~ 2L의 물을 섭취해야 살아갈 수 있으며, 이에 따라 식수로서의 물에 대한 가치는 더욱 중시되고 있다.^{1,2,3)}

그러나 상수도 보급률이 100%인 상황에서도 상수 원수를 거의 하천수에 의존하고 있는 수돗물에 대한 불신이 높아지면서 사람들이 약수와 같은 수돗물 이외의 물을 식수로 사용하는 경우가 증가하고 있다. 또한 생활수준의 향상과 건강에 대한 관심이 증대되면서 약수터를 찾는 사람도 점차 늘어나게 되었다.^{4,5)}

먹는물관리법 상 먹는물공동시설이란 여러 사람에게 먹는물을 공급할 목적으로 개발하거나 저절로 형성된 약수터, 샘터, 우물 등을 말한다. 먹는물공동시설 소재지의 시장·군수·구청장은 시민들에게 양질의 먹는물을 공급하기 위하여 시설을 개선하고, 수질을 정기적으로 검사하며, 수질검사 결과 이용하기에 부적합한 경우에는 사용금지 또는 폐쇄조치를 하는 등의 필요한 조치를 하여야 한다. 먹는물공동시설 관리요령에 따라 먹는물공동시설을 관리대상으로 지정하려면 취수원 주변의 입지환경, 취수원의 지질 및 수질특성, 상시 이용인구 및 이용목적 등을 종합적으로 고려하여야 한다. 상시 이용인구가 50명 이상이거나 상시 이용인구가 50명 미만이지만 시장·군수·구청장이 수질 관리가 특히 필요하다고 인정한 시설에 대해서 관리대상으로 지정하며 먹는물수질공정시험기준에 따라 수질검사를 정기적으로 실시하고, 주변청소 및 시설의 보수 등을 통하여 적절하게 관리하여야 한다.^{6,7,8)}

부산시의 경우 2021년 현재 14개 구, 군에서 총 151개소의 먹는물공동시설을 관리대상으로 지정하여 시설관리를 수행하고 있다. 매년 등급에 따라 3 ~ 8회의 수질검사를 실시하고 수질 부적합시설이나 수량고갈 시설에 대해 폐쇄조치를 하며 미생물 살균시설도 설치하여 수질을 꾸준히 관리하고 있지만 아직까지 부적합률은 2019년 15.7%, 2020년 16.8%로 나타나고 있

다.⁹⁾ 먹는물공동시설의 특성상 관리가 소홀하게 되면 이용 주민이나 주변 환경의 영향으로 쉽게 오염될 수 있으며 제대로 관리가 이루어지지 않는 미지정 먹는물 공동시설의 경우 더욱 오염에 취약할 수밖에 없다.

따라서 본 연구에서는 시민들이 이용하고 있지만 관리 사각지대에 있는 부산 지역 미지정 먹는물공동시설의 현황 및 수질 실태를 파악하여 수질이 적합한 시설은 지정시설로 관리하고 수량이 고갈되었거나 수질이 부적합한 시설은 적극적으로 폐쇄를 유도하는 등 안전한 약수터 이용을 위한 기초자료로 제공하고자 한다. 또한 향후 먹는물공동시설 수질관리 정책 수립의 토대를 마련하여 시민들의 건강보호에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구 대상 및 조사 시기

부산 지역 미지정 먹는물공동시설 7개구 25개소를 주요 연구대상으로 하였다. 미지정 먹는물공동시설의 경우 1차는 2월 ~ 7월까지, 2차는 10 ~ 11월까지 각 지점별로 연 2회 구·군의 협조 및 직접 현장 채수하여 분석하였다. 주요 연구대상인 미지정 먹는물공동시설의 구체적인 위치는 Table 1.에 나타내었다.

2. 연구 방법

2.1 분석항목

먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙에 따라 상반기에 47개 전 항목에 대해 분석을 진행하였고 여시니아균에 대해서는 병원성 유전자 검사를 추가로 실시하였다. 하반기에는 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성질소, 질산성질소, 과망간산칼륨소비량, 탁도 항목에 대해 추가로 검사를 진행하였다. 또한 미네랄 함량 조사를 위해 Na, K, Mg, Ca 성분을 추가로 분석하였다.

2.2 분석방법

분석대상 시료 중 일반세균은 미리 멸균시켜 44 ~ 46 °C로 유지시킨 표준한천배지(Plate Count Agar) 10 ~ 12 mL씩을 각 시료 1 mL가 들어있는 페트리접시에 무균적으로 나누어 넣고 잘 혼합한 후 배지가 응고되면 (35±0.5) °C 인큐베이터에서 (48±2) 시간 배양한 후 형성되는 집락수를 계수하였다. 총대장균군은 시편관법에 따라 분석하였으며 추정시험은 상용화된 3배 농후의 락토오스배지(Lactoes broth)가 10 mL 들

어있는 시험관 5개에 시료 20 mL를 접종하여 (35±0.5) °C에서 (24±2) 시간 배양한 후 기체 발생 여부를 확인하였고, 기체가 발생하지 않으면 동일한 조건으로 (48±3) 시간까지 배양하였다. 하나 이상의 시험관에서 기체가 발생하면 확정시험용 배지(BGLB, Brilliant green lactose bile 2%)가 10 mL씩 들어 있는 시험관에 1백금이 씩 취하여 접종한 후 (35±0.5) °C에서 (48±3) 시간 배양하였다. 이때 기체가 발생하지 않으면 총대장균군 음성, 기체가 발생하면 양성으로 판정하였다. 분원성대장균군의 경우 총대장균군 추정시험에서 기체가 발생하였거나 증식이 많은 시험관에 대하여 백금을 사용, 무균조작으로 확정시험용 배지(EC Broth)가 든 시험관에 이식하여 (44.5±0.2) °C에서 (24±2) 시간 배양하였다. 이때 기체가 발생하면 분원성대장균군 양성, 기체 발생이 없으면 음성으로 판정하였다. 여시니아균은 막여과법을 이용하여 시료 1 L를 무균조작이 가능한 여과장치를 이용하여 여과하고 여과한 여과지를 여시니아 선택한천배지와 메콩키 배지(MacConkey agar) 위에 각각 1매씩 올려놓고 1차 배양하였다. 전형적인 집락이 형성되면 혼합물 한천배지(BHI agar)에 옮긴 후 25 ~ 28 °C에서 24 시

간 배양하고 TSI 배지, 요소배지, 운동성 배지에 접종하여 예비동정시험을 실시한 후 API 20E kit를 사용하여 최종 판정하였다.⁸⁾ 검출된 *Y. enterocolitica*의 병원성 여부를 확인하기 위하여 *Yersinia* spp.을 감별할 수 있는 subgenus-specific primer인 Y16S rDNA gene과 chromosome에 위치하고 숙주 특이성과 선택성이 높은 ail, ystA, ystB primer를 사용하여 PCR을 수행하였다.¹⁰⁾ 금속류는 유도결합플라즈마 질량분석기(Agilent, ICP-MS7900), 이온류는 이온크로마토그래프(Dionex, ICS-6000), 암모니아성질소는 자외선 가시선 분광기(Agilent, Cary 60), 시안, 페놀, 세제는 수질자동분석기(Alliance, Futura3), 유기인계 농약류는 기체크로마토그래프(Agilent, GC-7890A), 카바릴은 초고성능액체크로마토그래프(Waters, UPLC-02), 휘발성 유기물질은 퍼지·트랩 기체크로마토그래프 질량분석기(Agilent, GC-MS7890B)를 이용하여 분석하였으며 그 외 항목은 먹는물수질공정시험기준에 의하여 수질검사를 실시하였다. 또한 미네랄 4개 항목에 대해 이온크로마토그래프(Dionex, ICS-5000)를 이용하여 추가로 분석하였다.



Fig. 1. A panoramic view of the undesigned drinking water communal facilities.

Table 1. Location of undesignated drinking water communal facilities in Busan

| 지점 | 약수터명 | 구군 | 주 소 |
|----|-----------|------|----------------|
| 1 | 구포도서관 뒤 | 북구 | 구포동 산48-6 |
| 2 | 노인전문병원 뒤 | 북구 | 만덕동 774-26 |
| 3 | 금정산성 동문 | 금정구 | 금성동 산 5-1 |
| 4 | 사상 | 사상구 | 괘법동 산1 70 |
| 5 | 괘내 | 사상구 | 괘법동 산1 60 |
| 6 | 밤골 | 사상구 | 주례3동 산74-1 |
| 7 | 무명 | 사상구 | 주례3동 산74-1 |
| 8 | 이기대 샘터 | 남구 | 용호동 산28-1 |
| 9 | 수정 | 북구 | 덕천동 산19 |
| 10 | 칠공주 | 부산진구 | 전포3동 산50-4 |
| 11 | 석수 | 부산진구 | 부암1동 산92-1 |
| 12 | 일천 | 부산진구 | 개금2동 임566 |
| 13 | 벚꽃정 | 남구 | 문현동 산18-4 |
| 14 | 봉래산 불로초공원 | 영도구 | 신선동3가 산1-2 |
| 15 | 우복천 | 부산진구 | 초읍동 산98-1 |
| 16 | 백암 | 부산진구 | 초읍동 산124 |
| 17 | 학수천 | 부산진구 | 초읍동 산98-1 |
| 18 | 부처골 | 부산진구 | 개금동 산63 |
| 19 | 백송 | 부산진구 | 초읍동 산98-1 |
| 20 | 녹색정 | 부산진구 | 초읍동 산98-1 |
| 21 | 삼성 | 부산진구 | 초읍동 산98-1 |
| 22 | 석천(2) | 부산진구 | 초읍동 산98-1 |
| 23 | 감로천 | 부산진구 | 초읍동 산98-1 |
| 24 | 일광산 | 기장군 | 일광면 황계리 산 28-1 |
| 25 | 망월산 | 기장군 | 정관읍 용수리 산 139 |

결과 및 고찰

1. 미지정 먹는물공동시설의 관리 실태 및 수질검사 결과

연구대상인 미지정 먹는물공동시설 중 수질검사 결과 수질이 적합한 시설은 25개 시설 중 상반기에 1개 시설, 하반기에 2개 시설이었다. 전체 부적합률은 93.9%로 상반기 부적합률은 96.0 %, 하반기 부적합률은 91.7 %였으며 주요 부적합 항목은 총대장균군, 분원성대장균군, 일반세균, 여시니아균, 탁도, 알루미늄으로 대부분 미생물 항목에서 부적합이 많이 발생하였다. 이는 앞선 연구결과들과 유사한 결과로 주변환경이 오염되거나 강우시 토사나 오염수가 수원에 유입된 영향으로 보인다. 각 항목별 부적합률은 상반기 총대장균군 96.0 %, 분원성대장균군 32.0 %, 일반세균 16.0 %, 여시니아균 12.0 %, 탁도 12.0 %, 알루미늄 4.0 %였고, 하반기에는 총대장균군 91.7 %, 분원성대장균군 45.8 %, 일반세균 12.5 %, 탁도 12.5 % 였다.

미지정 먹는물공동시설의 일평균 이용자수는 대부

분 50인 미만으로 32.0 %는 음용금지 안내판이 부착되어 있지 않았다. 먹는물공동시설에 저류조가 있는 경우 바닥에 가깝게 설치된 곳이 많아 오염된 지표수가 유입되기 쉬운 구조로 설치되어 있었다. 또 외부 오염물을 차단하기 위한 차단시설이 별도로 구비되어 있지 않아 오염에 더욱 취약해 보였다. 미지정 먹는물공동시설의 현장사진은 Fig. 1.에 나타내었다.

2. 항목별 검사 결과

2.1 미생물 항목

일반세균은 자연환경에서 일반적으로 분포하며 하수나 폐수 등에서 환경 중으로 배출된다. 먹는물에서는 영양분이 많을수록 높은 농도로 검출되며 세균 자체는 인체 내에서 직접적으로 병을 일으키는 경우가 거의 없으나, 지나치게 많으면 배탈과 설사를 유발시킨다.¹¹⁾ 검사결과 상반기에는 일반세균이 3 ~ 5100 CFU/mL의 범위로 수질기준인 100 CFU/mL를 초과한 지점이 16.0 %였다. 하반기에는 4 ~ 1500

CFU/mL의 범위로 검출되었으며 부적합률은 12.5 %로 상반기에 비해 다소 감소하였다.

총대장균군은 그람음성, 무아포성의 간균으로 유당을 분해하여 기체나 산을 발생하는 모든 호기성 또는 통성 혐기성균 혹은 베타 갈락토스 분해효소의 활성을 가진 세균을 말하며 환경 중 가장 많이 검출되어 먹는 물에서 중요한 지표세균으로 사용된다. 사람이나 동물의 분변에서 유래하는 것이 대부분이나 영양이 풍부한 물, 토양, 부패한 식물 등에 존재하는 경우도 있다.¹¹⁾ 소독되지 않은 환경에서는 상시 존재 가능하며 대부분 비병원성이나 병원성대장균 등 일부는 병원성을 나타낼 수 있다. 검사결과 상반기 1개 시설, 하반기 2개 시설을 제외하고 모든 시설에서 총대장균군이 양성으로 검출되어 약품 소독이나 다른 살균 처리 없이는 모두 음용이 불가능한 상태였다.

병원성대장균군은 온혈동물의 배설물에서 발견되는 그람음성, 무아포성의 간균으로 44.5°C에서 유당을 분해하여 기체 또는 산을 발생하는 모든 호기성 또는 통성 혐기성균을 말하며 사람이나 포유동물, 조류의 분변에 많이 존재하고 분변 오염된 물이나 토양에서 주로 발견된다. 검사결과 상반기에 25개 시설 중 8개 시설에서 양성으로 검출되어 32.0 %의 부적합률을 나타냈고, 하반기에 24개 시설 중 11개 시설에서 검출되어 45.8 %의 부적합률을 나타냈다. 이는 부적합률이 상반기보다 하반기에 다소 증가한 상태로 원수에 분변으로 오염된 물이 유입된 것으로 보이며 시설 주변의 청소나 외부 오염원 차단 등의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

여시니아균은 유럽, 아시아 등지에서 동물과 사람에게 주로 설사를 일으키는 인수공통전염병의 원인균으로 알려져 있으며 냉장 온도에서도 증식 가능한 저온성 장내병원성 세균이다. 이 균에 오염된 식품이나 음료 섭취 시 일반적으로 설사와 구토 증세가 나타나며 열과 복통을 유발한다. 검사결과 전체 시설 중 3개 시설에서 여시니아균이 검출되었으며 이는 야생동물의 분변에 의한 오염으로 추정된다. 자연계에 널리 분포하는 *Y. enterocolitica*는 생태학적, 지리학적, 생화학적, 항원 특성 및 염색체와 플라스미드에 존재하는 유전자의 상호작용에 따라 병원성의 차이가 난다. 모든 *Y. enterocolitica*가 병원성을 지니고 있는 것은 아니며 오히려 비병원성인 것이 더 많으므로 이 균의 병원성 확인은 매우 중요하다. 이번 검사에 사용한 표적유전자인 ail(attachment invasion locus)은 숙주세포

안으로 침습하는 첫번째 역할을 하는 유전자이며, yst(heat-stable enterotoxin) gene은 *Y. enterocolitica*가 유발하는 여러 증상 중 설사에 관계하는 유전자로 알려져 있다.^{10,22,23,24)} 분리균주들에 대한 PCR 실험결과 Y16S rDNA는 모두 검출되었으며 침입 유전자인 ail과 독소 유전자인 ystB의 검출율은 66.7%를 나타냈으나, 내열성 유전자인 ystA는 검출되지 않았다. 이는 전 등이 조사한 서울지역 먹는물공동시설의 연구결과와 유사한 결과로 그대로 음용 시 질병을 유발할 가능성을 나타내었다.¹⁰⁾

2.2 건강상 유해영향 무기물질 항목

불소는 자연에서 형석, 빙정석 등의 광물질에서 유래하여 지하수로 유입되며 물속에서 불화물 상태로 존재한다. 사람에게 필요한 물질로 하루 1.0 mg/L로 총치예방효과가 있는 것으로 알려져 있으나 과다복용 시에는 반상치 등의 부작용이 유발된다. 1개 지점에서 0.38 mg/L 검출되었지만 먹는물 기준인 1.5 mg/L 이내로 적합하였다.

비소는 농약, 살충제 등에서 환경 중으로 배출되며 수계에서 난분해성 물질로 지하수에서는 주로 독성이 높은 3가 비소 형태로 존재한다. 급성장해로는 메스꺼움, 설사, 심장박동 이상, 혈관 손상 등이 나타날 수 있다. 1개 지점에서 0.005 mg/L, 다른 지점에서 0.007 mg/L 검출되었으나 수질기준 이내였고 나머지 지점에서는 검출되지 않았다.

붕소는 해수 중에 비교적 높은 농도로 존재하며 목재, 피혁의 방부제, 조류제거제, 살충제 등에서 환경 중으로 배출된다. 섭취 시 중추신경계에 영향을 줄 수 있으며 급성장해로는 조울증, 경련 등의 증세가 있고 만성장해로는 위장관 장애, 식욕부진, 구토, 말미 등의 증세가 있을 수 있다. 검사결과 전 지점 0.01 mg/L 이하로 먹는물 수질기준에 적합하였다.

질산성질소는 질소화합물이 부패, 발효, 산화 과정에서 생성되는 최종산물로 물의 오염지표로 사용된다. 비료나 생활하수, 폐수 등에서 환경 중으로 배출되며 토양에 흡착되지 않고 수용성이므로 지하수에 존재할 가능성이 크다. 농도가 10mg/L 이상일 경우 유아에게 청색증을 유발하는 것으로 알려져 있다. 상반기에는 0.4 ~ 4.6 mg/L의 범위로 평균 2.1 mg/L이었으며, 하반기에는 0.0 ~ 5.8 mg/L의 범위로 평균 1.8 mg/L로 시기에 따른 큰 변화는 나타나지 않았다.

그 외에 발암성 물질인 납, 셀레늄, 수은, 크롬, 카드

Table 2. Microbial item inspection results for each facility

| 지점 | 상반기 | | | | 하반기 | | |
|----|---------------|----------------|-------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| | 일반세균 (CFU/mL) | 총대장균군 (/100mL) | 여시니아균 (/2L) | 분원성대장균군 (/100mL) | 일반세균 (CFU/mL) | 총대장균군 (/100mL) | 분원성대장균군 (/100mL) |
| 1 | 45 | D | ND | ND | 21 | D | ND |
| 2 | 13 | D | D | ND | 35 | D | D |
| 3 | 320 | D | ND | ND | 37 | D | D |
| 4 | 12 | ND | ND | ND | 4 | ND | ND |
| 5 | 97 | D | ND | ND | 27 | D | ND |
| 6 | 51 | D | ND | D | 32 | D | D |
| 7 | 26 | D | ND | ND | 15 | D | ND |
| 8 | 83 | D | ND | ND | 60 | D | ND |
| 9 | 6 | D | D | ND | 7 | D | ND |
| 10 | 12 | D | ND | ND | 23 | D | ND |
| 11 | 92 | D | ND | ND | 5 | D | ND |
| 12 | 8 | D | ND | D | 수량고갈로 미채수 | | |
| 13 | 400 | D | ND | ND | 330 | D | ND |
| 14 | 1300 | D | ND | D | 240 | D | ND |
| 15 | 26 | D | ND | D | 20 | ND | ND |
| 16 | 5100 | D | ND | D | 1500 | D | D |
| 17 | 6 | D | D | D | 31 | D | D |
| 18 | 73 | D | ND | ND | 60 | D | D |
| 19 | 3 | D | ND | ND | 30 | D | D |
| 20 | 10 | D | ND | ND | 34 | D | D |
| 21 | 23 | D | ND | D | 17 | D | D |
| 22 | 12 | D | ND | ND | 38 | D | D |
| 23 | 19 | D | ND | D | 43 | D | D |
| 24 | 55 | D | ND | ND | 6 | D | ND |
| 25 | 26 | D | ND | ND | 5 | D | ND |

※ D: Detected, ND: Not Detected

몹, 우라늄은 검출되지 않았고 시안과 암모니아성 질소도 전 지점에서 검출되지 않았다.

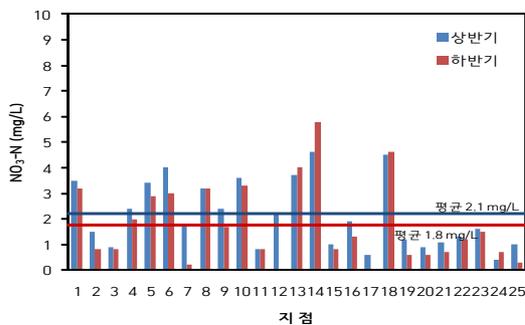


Fig. 2. Distribution of nitrate nitrogen in undesignated drinking water communal facilities.

2.3 건강상 유해영향 유기물질 항목

페놀은 주로 소독제, 방부제로 많이 이용되며 의약품, 농약 등의 제조원료로 폐수 중에 유입되어 수계로

유출된다. 자체 독성보다 염소 소독 시 염소와 결합하여 특유의 냄새를 유발하는데 이번 조사결과 전 지점에서 검출되지 않았다. 유기인계 농약 및 카바릴은 방제용 살충제 및 농약으로 사용되며 농경지 및 토양 유출수로부터 배출되는 물질로 전 지점에서 검출되지 않았다. 휘발성 유기물질의 경우 대부분 인체에 노출 시 발암가능성이 있으며 표류수에 혼입될 경우 쉽게 휘발되어 제거될 수 있지만 지하수에 혼입될 경우 잘 휘발하지 않고 수개월에서 수년간 잔류하며 장기적인 오염을 유발할 수 있는 물질로 조사대상 지점에서는 검출되지 않았다.

2.4 심미적 영향물질 항목

심미적 영향물질은 인체에 대한 위험성은 없으나, 물의 맛과 냄새 등에 영향을 주는 항목으로 전체 조사 결과는 Table 3.에 나타내었다.

경도는 물의 세기 정도를 말하며 물에 용해되어 있는 2가 양이온 금속(Ca²⁺, Mg²⁺ 등)의 함량을 이에 대

응하는 탄산칼슘(CaCO_3)으로 환산한 값을 말한다. 비누거품이 잘 일어나는 물은 연수, 잘 일어나지 않는 물은 경수라 하며 WHO 음용수 수질지침에 의해 분류하면 연수는 0 ~ 60, 중연수는 60 ~ 120, 경수는 120 ~ 180, 강경수는 180 mg/L 이상으로 나뉜다. 경도는 인체의 건강에 크게 위해를 주지는 않으나 맛에 관계되며, 경도가 높으면 비누의 소비량을 증가시킨다. 조사대상 지점의 경도는 10 ~ 121 mg/L의 범위로 평균 값은 38.4 mg/L였다. WHO 음용수 수질지침에 따라 분류해보면 1개 지점만 121 mg/L 중연수로 나타났고 나머지 지점들은 모두 60 mg/L 미만의 값을 나타내어 연수로 분류되었다.

수소이온농도는 물의 산과 염기의 평형에 대한 척도로 이산화탄소, 중탄산염, 탄산염의 평형에 의해 조절되며 이산화탄소 농도가 증가하면 pH값은 낮아지고 반대로 감소하면 pH값이 높아진다. 지표수는 CO_2 함량이 비교적 적고 중탄산이온(HCO_3^-)과 탄산이온(CO_3^{2-}) 등 알칼리도를 유발하는 물질들에 의해 pH 7.0 ~ 7.2 정도를 나타내며 지하수는 미생물에 의해 발생된 CO_2 때문에 pH 6.0 ~ 6.8의 약산성을 띠게 된다.¹¹⁾ 인체와 pH와의 직접적인 연관성은 확인되지 않았으나 pH 11 이상 또는 pH 4 이하의 경우 눈이나 피부, 점막 등에 자극을 초래한다고 알려져 있다. 조사대상 지점의 pH는 5.6 ~ 6.8의 범위로 모두 약산성을 나타내었다.

염소이온은 물속에 녹아있는 염화물로서 염소이온이 약 250 mg/L 이상이면 물에서 소금 맛을 느낄 수 있다. 생활하수나 분뇨의 유입에 따라 함유량이 높아 지므로 수질오염의 척도이다. 인간에게 미치는 염소이온의 독성은 보고된 바 없으나 염소이온이 4,000 mg/L 이상에서는 심장병 환자에게 유해하다고 한다. 검사결과 염소이온 농도는 6.1 ~ 22.2 mg/L의 범위로 모든 지점에서 수질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

황산이온은 수중에 용해되어 있는 황산염을 말하며 주로 지질에서 기인한다. 물에 황산염이 존재 시 쓴 맛을 내며 고농도의 황산이온 존재 시 금속관의 부식을 초래한다. 인체에 미치는 독성은 적으나 과량 섭취 시 설사, 탈수, 위장장애 등의 증상이 발생한다. 조사지점의 수질검사 결과 2 ~ 14 mg/L의 범위로 수질기준인 250 mg/L 이내를 만족하였다.

구리는 생체를 구성하는 필수영양소의 하나로 인체 발달에 중요한 역할을 하는 원소이나 먹는물에서는 색을 띠게 하고 5 mg/L 농도에서는 불쾌한 냄새와 맛을 유발한다. 섭취 시 땀이나 소변으로 배설되어 인체에

축적되지 않으므로 만성중독은 적으나 단기간에 과잉 섭취 시 구토, 복통, 위경련 및 설사 등을 유발할 수 있다. 조사대상 지점의 구리 농도는 전체 시설 중 20개소인 80 %는 결과표시한계 미만이었으며 나머지 지점들은 0.004 ~ 0.078 mg/L의 범위로 모두 수질기준인 1 mg/L를 넘지 않았다.

아연은 체내 단백질 대사에 관여하는 체내 필수원소이지만 물에서 좋지 않은 떫은맛을 내며 5 mg/L에서 흰 우유 빛을 나타내고 끓이면 유막을 형성한다. 인체 독성은 매우 낮으나 과도하게 섭취하게 되면 구토, 설사, 현기증 등을 일으키고 신장에 영향을 줄 수 있다. 조사대상 지점의 아연 농도는 0.000 ~ 0.370 mg/L로 수질기준인 3 mg/L 이내의 양호한 수질을 나타내었다.

철은 인체에 필수원소로서 지표수에는 함량이 적고 지하수에 비교적 많다. 하수나 폐수 주변의 토양에 유기 오염물이 유입되면 토양 속이 혐기성 상태가 되어 철 함량이 높아진다. 인체에 큰 해는 없으나 과다 섭취 시 혈색증을 유발한다. 조사대상 지점 중 1개소에서 수질기준 이내이지만 0.21 mg/L 검출되었고 나머지 지점에서는 결과표시한계 미만이거나 검출되지 않았다.

망간은 자연수 중에서 철과 공존하며 화강암 지대에 많이 존재한다. 미량으로도 물에 색깔을 띠게 할 수 있으며 관내에 축적되어 흑수의 원인이 된다. 급성장해로는 두통, 복통, 급성 심부전 등이 발생할 수 있고 만성성장해로는 무기력, 떨림, 의식장애 증상이 나타나며 장기간 반복적으로 노출되면 파킨슨병 등이 발생할 수 있다. 조사대상 지점 중 1개 지점에서 0.005 mg/L 검출되었으나 수질기준인 0.3 mg/L 이내로 음용 시 건강상 유해성은 없는 것으로 나타났다.

알루미늄은 지질 내 가장 풍부한 원소이며 토양, 식물, 동물의 구성성분이다. 자연수 중에도 함유되어 있으나 용해도가 작아 그 양은 적으며 인체에 미칠 수 있는 유해한 독성에 대해서는 알려진 것이 없다. 전체 조사대상 지점 중 14개소인 56 %는 결과표시한계 미만이거나 불검출이었으나 나머지 11개 지점의 알루미늄 농도는 0.02 ~ 0.57 mg/L의 범위로 1개 지점에서 0.57 mg/L 검출되어 먹는물 수질기준인 0.2 mg/L를 초과하였다. 이는 강우의 영향으로 토양에 함유되어 있던 성분이 용출되어 수원에 유입된 결과로 판단된다.

과망간산칼륨소비량은 수중의 산화 가능물질인 유

기물, 제일철염, 아질산염, 황화물 등에 의해 소비되는 과망간산칼륨의 양으로 수질 판정의 중요지표로 사용된다. 일반적으로 집중호우에 의해 유출수가 많아지면 탁도와 함께 과망간산칼륨소비량도 증가한다. 음용수의 색깔, 맛, 냄새 등과 관계있으나 인체에 대한 유해성에 대해서는 알려진 바가 없다. 조사대상 지점의 검사결과 상반기에는 0.3 ~ 0.7 mg/L의 범위로 평균은 0.44 mg/L, 하반기에는 0.2 ~ 0.4 mg/L의 범위로 평

균값은 0.34 mg/L이었다. 상반기 평균농도가 하반기의 농도보다 약간 높게 나타났지만 모든 지점에서 10 mg/L 을 넘지 않아 수질기준을 만족하였다.

탁도는 물의 혼탁정도를 나타내며 물속의 부유물질과 관련해 수질오염을 나타내는 지표이다. 인체에 직접적 유해성은 없으나 심미적 불쾌감을 주며 농도가 높으면 맛에 영향을 줄 수 있고 설사를 일으킬 수 있다.¹¹⁾ 조사지점의 상반기 검사결과는 0.08 ~ 4.58

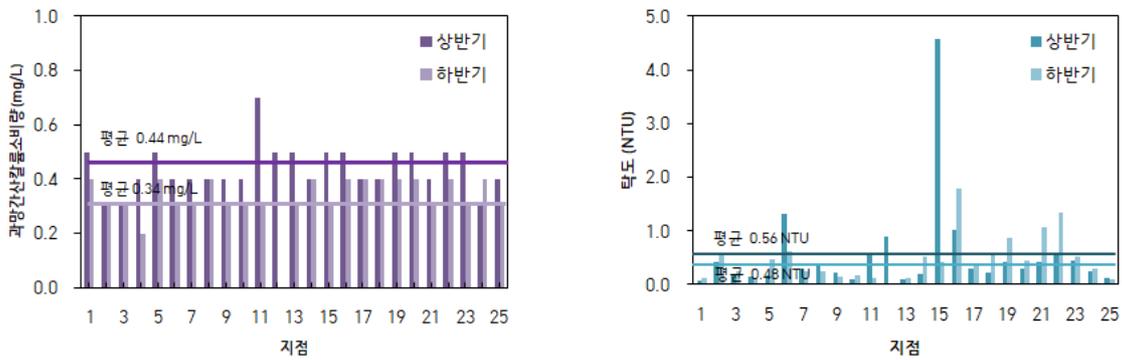


Fig. 3. Potassium permanganate consumption and turbidity distribution.

Table 3. Aesthetic influencing substance item inspection results

| 지점 | 경도 (mg/L) | pH | Cl ⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) | Cu (mg/L) | Zn (mg/L) | Fe (mg/L) | Mn (mg/L) | Al (mg/L) | 세제 (mg/L) | 색도 (도) | 과망간산칼륨 소비량 (mg/L) | 탁도 (NTU) |
|----|-----------|-----|------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|-------------------|----------|
| 1 | 37 | 6.7 | 9.6 | 13 | 0.005 | 0.009 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.5 | 0.08 |
| 2 | 23 | 5.9 | 7.4 | 6 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.3 | 0.42 |
| 3 | 10 | 5.7 | 6.1 | 4 | ND | 0.002 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.3 | 0.20 |
| 4 | 24 | 5.1 | 7.7 | 9 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.4 | 0.14 |
| 5 | 37 | 5.9 | 8.2 | 8 | ND | 0.002 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.5 | 0.17 |
| 6 | 34 | 6.6 | 8.6 | 5 | ND | ND | ND | ND | 0.03 | ND | 1 | 0.4 | 1.32 |
| 7 | 36 | 6.0 | 9.7 | 10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.4 | 0.29 |
| 8 | 46 | 6.2 | 22.2 | 9 | ND | 0.002 | ND | ND | 0.02 | ND | 1 | 0.4 | 0.34 |
| 9 | 38 | 6.5 | 7.4 | 14 | ND | 0.007 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.4 | 0.22 |
| 10 | 49 | 6.3 | 9.2 | 11 | ND | 0.005 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.4 | 0.11 |
| 11 | 71 | 6.8 | 8.4 | 13 | ND | 0.002 | ND | ND | 0.07 | ND | 1 | 0.7 | 0.56 |
| 12 | 27 | 6.2 | 7.5 | 6 | ND | 0.002 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.5 | 0.89 |
| 13 | 121 | 6.8 | 11.3 | 13 | ND | 0.017 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.5 | 0.11 |
| 14 | 33 | 6.8 | 15.2 | 10 | ND | 0.002 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.4 | 0.21 |
| 15 | 49 | 5.9 | 12.9 | 10 | ND | 0.002 | 0.21 | ND | 0.57 | ND | 1 | 0.5 | 4.58 |
| 16 | 17 | 6.3 | 7.4 | 5 | 0.078 | 0.370 | ND | 0.005 | 0.10 | ND | 1 | 0.5 | 1.03 |
| 17 | 14 | 6.0 | 8.1 | 7 | 0.024 | 0.007 | ND | ND | 0.02 | ND | 1 | 0.4 | 0.29 |
| 18 | 42 | 6.5 | 7.3 | 4 | 0.010 | 0.002 | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.4 | 0.23 |
| 19 | 18 | 6.1 | 8.1 | 7 | ND | 0.002 | ND | ND | 0.03 | ND | 1 | 0.5 | 0.41 |
| 20 | 31 | 6.4 | 7 | 4 | 0.004 | 0.002 | ND | ND | 0.03 | ND | 1 | 0.5 | 0.3 |
| 21 | 58 | 6.1 | 7.6 | 4 | ND | ND | ND | ND | 0.03 | ND | 1 | 0.4 | 0.42 |
| 22 | 18 | 6.2 | 8.0 | 6 | ND | ND | ND | ND | 0.05 | ND | 1 | 0.5 | 0.59 |
| 23 | 41 | 5.6 | 8.7 | 4 | ND | ND | ND | ND | 0.02 | ND | 1 | 0.5 | 0.44 |
| 24 | 43 | 6.1 | 7.1 | 2 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.3 | 0.25 |
| 25 | 20 | 5.6 | 10.0 | 7 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 1 | 0.4 | 0.13 |

* ND: Not Detected

NTU의 범위로 평균값은 0.56 NTU였고, 하반기 검사 결과는 0.09 ~ 1.78 NTU의 범위로 평균값은 0.48 NTU 였다. 각 시기별 부적합률은 상반기 12.0 %, 하반기 12.5 %로 비슷하게 나타났지만 조사기간 동안 강수량이 비교적 많았던 상반기 평균농도 값이 하반기에 비해 다소 높게 나타났다.

3. 미네랄 항목 검사 결과

미네랄 성분은 인체에 미량 필요하지만 생명을 유지하는 데 필수적인 물질로서, 신체조직의 형성, 체액의 산-염기 밸런스와 수분 조절에 관여하며, 신경자극 전달물질, 호르몬의 구성요소 등으로 쓰인다.¹²⁾ 미지정 먹는물공동시설의 미네랄 4종 함량 분포를 시중에 유통중인 먹는샘물 17종과 비교하기 위하여 Table 4.와 Fig. 4.에 나타내었다.

나트륨은 지구상에 널리 다량으로 존재하며 조장석,

빙정석 등의 암석에 분포하며 바닷물 속에는 NaCl로서 약 3% 함유되어 있다. 생물체 내에서는 체액의 삼투압을 유지하고 pH를 일정하게 유지하는 등의 주요 생리기능을 수행한다. 부족 시 신경계 장애, 장기기능 저하, 항상성 조절 불능 등의 증상을 일으키며 과잉 섭취 시 고혈압을 유발할 수 있다.¹²⁾ 조사대상 지점의 나트륨 검사결과 0.06 ~ 13.52 mg/L의 범위로 평균값은 6.48 mg/L이었다. 이는 유통중인 먹는샘물의 나트륨 평균함량인 7.0 mg/L와 비슷한 값으로 권 등이 연구한 부산지역 먹는물공동시설의 나트륨 평균함량인 11.4 mg/L보다는 낮아진 편이었다.¹³⁾ 나트륨의 먹는물 중 미네랄 섭취 권고 수준(안)인 0.5 ~ 10 mg/L와 비교해보면 1개 지점은 권고 수준에 미달되었고 4개 지점은 초과하였으며 나머지 지점은 모두 권고 수준에 적합하였다.

칼슘은 생물 내에서 가장 많이 존재하는 원소로서

Table 4. Distribution of mineral content in bottled water

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q |
|-------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Na ⁺ (mg/L) | 8.0 | 5.6 | 2.2 | 4.4 | 4.1 | 7.8 | 9.6 | 4.4 | 6.4 | 9.3 | 6.1 | 5.7 | 11.8 | 10.3 | 13.0 | 5.9 | 5.0 |
| Ca ²⁺ (mg/L) | 4.4 | 3.3 | 18.3 | 24.6 | 17.3 | 15.4 | 42.7 | 9.8 | 15.7 | 13.3 | 22.9 | 10.8 | 12.0 | 41.9 | 5.0 | 9.9 | 29.0 |
| Mg ²⁺ (mg/L) | 3.8 | 2.6 | 6.6 | 5.9 | 2.0 | 2.2 | 5.8 | 1.4 | 2.4 | 1.5 | 1.5 | 1.2 | 2.0 | 8.8 | 2.0 | 1.3 | 3.7 |
| K ⁺ (mg/L) | 3.4 | 2.5 | 1.0 | 1.4 | 1.3 | 0.6 | 2.0 | 1.0 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 1.5 | 1.7 | 0.4 | 0.6 | 1.7 |

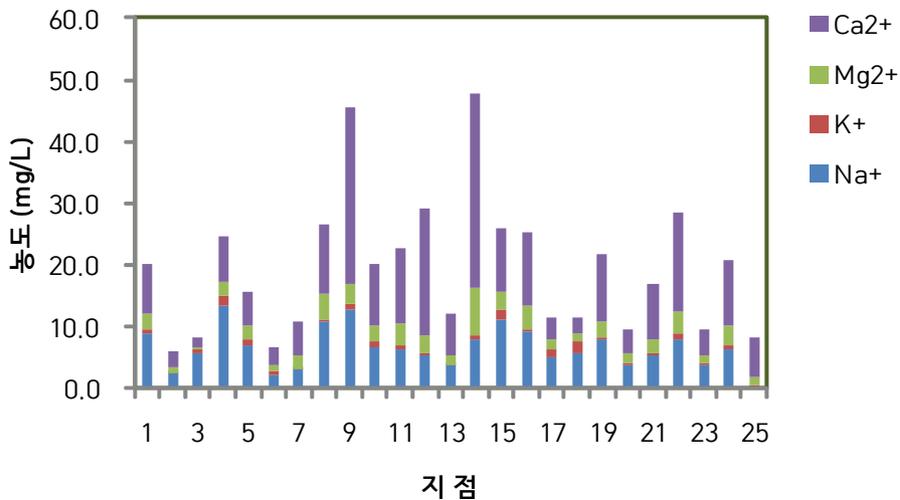


Fig. 4. Distribution of mineral content in undesignated drinking water communal facilities.

반응성이 커서 자연계에 단일로 존재하지 않고 탄산염 등의 화합물로 존재한다. 생물에는 주로 인산과 결합하여 치아나 골조직 등에 함유되어 있으며 생리작용에 관여한다. 조사대상 지점의 칼슘 농도는 1.54 ~ 31.56 mg/L의 범위에 표준편차가 7.6 mg/L로 4종의 미네랄 성분 중 가장 넓은 범위의 농도로 분포하고 있었다. 평균농도는 9.71 mg/L로 유통중인 먹는샘물의 평균값인 17.4 mg/L보다 낮았으며 먹는물 중 미네랄 섭취 권고 수준(안)인 10 ~ 85 mg/L와 비교해보면 전체 시설 중 15개 지점은 권고 수준에 미치지 못했고 10개 지점만 권고 수준을 만족하였다.

마그네슘은 지각을 구성하는 원소 중 하나로 자연 상태에서 원자상태로 존재하지 않고 황산, 탄산 등과 결합한 염의 형태로 많이 존재한다. 인체 내에서 칼슘, 인과 함께 뼈의 대사에 중요한 기능을 하며 아미노산의 활성화와 ATP의 합성, 단백질의 합성에 필수적인 역할을 수행한다.¹²⁾ 조사대상 지점의 마그네슘 농도는 0.44 ~ 7.81 mg/L로 평균값은 2.52 mg/L였으며 이는 유통중인 먹는샘물의 평균농도 3.2 mg/L보다 낮았다. 마그네슘의 먹는물 중 미네랄 섭취 권고 수준(안) 3 ~ 20 mg/L과 비교하면 조사지점 중 36%인 9개 지점만 권고 수준을 충족하고 나머지 지점들의 농도는 권고 수준 미만으로 검출되었다.

칼륨은 지구상에서 두 번째로 많이 존재하는 원소로 바닷물이나 광물에 화합물의 형태로 널리 분포한다. 인체의 주요 전해질로서 이온으로 존재하며 나트륨이온, 염소이온과 함께 혈액과 산·염기의 평형에 관여한다. 칼륨의 검사결과 0.25 ~ 1.81 mg/L의 범위로 평균농도는 0.72 mg/L였으며 유통중인 먹는샘물의 평

균농도 1.2 mg/L보다 낮았으나 권 등이 조사한 부산 지역 먹는물공동시설의 칼륨 함량 0.76 mg/L과는 비슷한 결과를 나타내었다.¹³⁾ 칼륨의 먹는물 중 미네랄 섭취 권고 수준(안)은 1 ~ 90 mg/L로 조사대상 지점 중 20%인 5개 지점을 제외하고 나머지 지점들은 권고 수준에 미치지 못했다.

조사한 미네랄 4종의 평균농도는 칼슘 > 나트륨 > 마그네슘 > 칼륨의 순서로 높았으며 이는 시중에 유통중인 먹는샘물의 평균농도 분포와도 일치하는 경향을 보였다. 미네랄 4종의 총 함량 평균을 비교해보면 먹는샘물이 28.9 mg/L, 미지정 먹는물공동시설이 19.4 mg/L로 조사대상의 미네랄 함량은 유통중인 먹는샘물에 비해 대체로 낮아서 음용으로 인한 건강상의 효과는 크지 않은 것으로 나타났다.

결론

부산 지역 미지정 먹는물공동시설 7개구 25개소를 대상으로 먹는물 수질기준 47개 전 항목과 미네랄 4개 항목에 대하여 조사한 연구결과는 다음과 같다.

1. 미지정 먹는물공동시설은 대부분 일평균 이용자가 50인 미만으로 32.0%는 안내판이 부착되어 있지 않았다. 또한 저류조가 있는 경우 지면과 가깝게 설치되어 있어 오염물질이 유입되기 쉬운 구조였으며 외부 오염원을 차단하는 지붕이나 보호시설이 별도로 구비되지 않은 경우가 대부분이었다. 이는 주변 오염에 매우 취약한 상태로 현재 시설을 이용하는 시민들의 건강보호를 위해서 별도의 관리나 조치가 필요할 것으로 보였다.

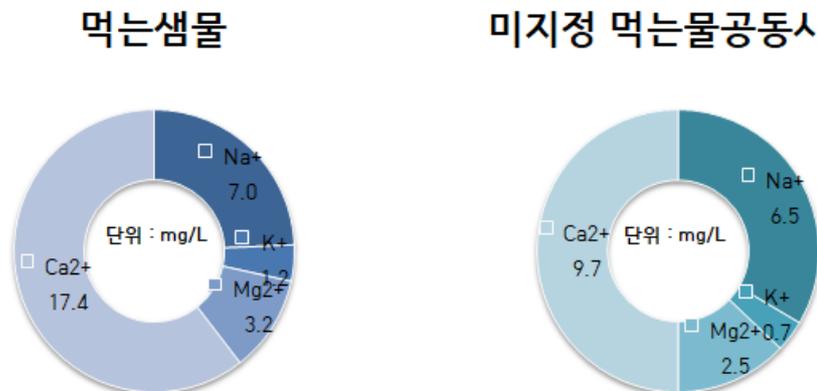


Fig. 5. Comparison of average mineral content.

2. 미지정 먹는물공동시설의 수질검사 결과 수질이 적합한 시설은 25개 시설 중 상반기에 1개 시설, 하반기에 2개 시설이었다. 상반기 부적합률은 96.0 %, 하반기 부적합률은 91.7 %로 주요 부적합 항목은 총대장균군, 분원성대장균군, 일반세균, 여시니아균, 탁도, 알루미늄이었으며 대부분 미생물 항목에서 부적합이 많이 발생하였다. 이는 시설 주변이 오염되었거나 강우 시 토사나 오염수가 원수에 유입된 영향으로 판단된다.
3. 미생물항목 검사 결과 부적합률은 상반기 총대장균군 96.0 %, 분원성대장균군 32.0 %, 일반세균 16.0 %, 여시니아균 12.0 %였고, 하반기에는 총대장균군 91.7 %, 분원성대장균군 45.8 %, 일반세균 12.5 %였다. 또한 검출된 여시니아균의 병원성 여부 확인 결과 ail, ystB 유전자가 66.7% 검출되어 그대로 음용 시 질병을 유발할 수 있음을 확인하였다. 따라서 전체 시설 중 1개 지점을 제외하고는 약품 소독이나 다른 살균처리 없이는 음용이 불가능한 상태였다.
4. 건강상 유해영향 유기물질 항목은 모두 먹는물 수질기준 이내로 나타났으며 심미적 영향물질 항목은 대부분 수질기준 이내였으나 1개 지점에서 알루미늄이 0.57 mg/L 검출되어 먹는물 수질기준을 초과하였다. 이는 토양에 함유되어 있던 성분이 용출되어 수원에 유입된 결과로 생각된다. 또한 탁도의 경우 부적합률이 상반기 12.0 %, 하반기 12.5 %로 비슷하게 나타났는데 조사기간 강수량이 많았던 상반기 평균값이 하반기에 비해 다소 높게 나타났다.
5. 미네랄 항목 검사 결과 평균농도는 칼슘 > 나트륨 > 마그네슘 > 칼륨의 순서로 높았으며 이는 먹는샘물의 평균농도 분포와도 일치하는 경향을 보였다. 조사대상의 미네랄 4종의 총 함량 평균은 먹는샘물의 미네랄 함량보다 낮았으며 먹는물 중 미네랄 섭취 권고 수준(안)을 만족하는 지점도 일부 시설로 음용으로 인한 건강상의 효과는 기대하기 힘든 것으로 보였다.
6. 조사대상의 전체 부적합률은 93.9%로 2020년 지정 먹는물공동시설의 부적합률 16.8 % 대비 매우 높으며, 이는 미생물 살균시설의 설치나 수질개선 조치 없이는 계속해서 주변 오염에 노출될 수 있음을 의미한다. 따라서 수질부적합 시설은 모두 폐쇄하거나 수질이 적합한 4번 지점을 비롯한 보존가치가 있는 시설은 지정시설로 정하여 지속적 관리가 필

요해 보인다.

참고문헌

1. 송진호 외 10인, 경기남부지역 약수터의 미네랄함량에 따른 수질 조사 연구, 경기도보건환경연구원보, 33, pp.289-297(2020)
2. 이건호 외 7인, 강원도 약수(광천수)의 수질특, 강원도보건환경연구원보, 25, pp.117-125(2014)
3. 송희일 외 7인, “경기북부지역 정수장 및 약수터의 미네랄 성분 분포 연구”, 한국환경보건학회지, 45(3), pp.238-246(2019)
4. 환경부, 2019 상수도통계, pp.5-7(2020)
5. 이윤국 외 7인, “광주광역시 비지정약수터 수질특성”, 한국환경분석학회지, 16(2), pp.152-162(2013)
6. 환경부, 먹는물관리법(2021)
7. 환경부, 먹는물공동시설 관리요령(2018)
8. 환경부, 먹는물수질공정시험기준(2021)
9. 윤나나, 먹는물공동시설(약수터) 수질조사, 부산광역시보건환경연구원보, 30, pp.207-209(2021)
10. 전수진 외 7인, 서울지역 먹는물 공동시설에서 분리한 *Yersinia Enterocolitica*의 특성, 서울특별시 보건환경연구원보, 52, pp.280-290(2016)
11. 환경부·국립환경과학원, 먹는물 수질기준 해설서, pp.3-119(2017)
12. 한국수자원공사, 수돗물의 건강 증진 방안 심층 연구, pp.312-397(2017)
13. 권동민 외 4인, 부산지역 약수터수의 미네랄 특성 연구, 부산광역시보건환경연구원보, 19(1), pp.133-141(2009)
14. 김경애 외 8인(2007), “인천 지역 약수터의 오염에 대한 연구”, 대한위생학회지, 22(3), pp.152-168(2007)
15. 박현구 외 8인, 먹는물 공동시설의 수질조사 및 음용방법에 관한 연구, 경기도보건환경연구원보, 25, pp.271-275(2012)
16. 이윤국 외 7인, “무등산 약수터의 강우 전·후 수질특성”, 한국환경분석학회지, 14(3),(2011)
17. 서성녀 외 7인, 인천지역 약수터 수질특성 평가 및 건강지도 작성, 인천보건환경연구원보, 15, pp.315-331(2016)
18. 최필권 외 5인, “경기도내 먹는물공동시설의 수질 개선방안 조사”, 한국환경분석학회지, 21(3),

- pp.148-153(2018)
19. 김광례 외 10인, “서울지역 약수터의 수질특성에 관한 연구”, 한국지하수토양환경학회지, 15(6), pp.99-106(2010)
 20. 신성교, 부산지역 약수터 수질개선 방안, 부산발전연구원(BDI) 정책포커스, 제281호(2015)
 21. 김주인 외 5인, 부산지역 먹는물공동시설의 미생물살균시설 성능 평가에 관한 연구, 부산광역시보건환경연구원보, 25(2), p.370(2015)
 22. Bercovier, H, Brenner, DJ, Ursing, J, Steigerwalt, AG, Fanning, GR, Alonso JM, et al, Characterization of *Yersinia enterocolitica sensu stricto*, *Curr. Microbiol*, 4, pp.201-206 (1980)
 23. Cornelis, GR, *Yersinia* pathogenicity factors, *Curr. Top. Microbiol. Immunol*, 192, pp.243-263(1994)
 24. Cornelis, GR, Boland, A, Boyd, AP, Genuijen, C, Iriarte, M, et al, The virulence plasmid of *Yersinia*: an antihost genome, *Micro Mol Biol Rev*, 62, pp.1315-1352(1998)