

공원 음수대의 수질 특성 및 영향인자 연구

권상조^{a,†} · 김은아^b · 조덕희^c · 이호진^d · 정승규^e · 조승연^f

경기도보건환경연구원 물환경연구부

Water Quality Characteristics and Influencing Factors of Park Drinking Fountains

Sang-jo Kwon^{a,†} · Eun-ah Kim^b · Duk-hee Joh^c · Hyo-Jin Lee^d · Seung-gyu Jung^e · Seung-yeon Cho^f

Department of Water Environment Research, Gyeonggi Province Institute of Health and Environment

(Received 17 June 2024, Revised 23 August 2024, Accepted 28 August 2024)

Abstract

This study investigated water quality characteristics and influencing factors of park drinking fountains having directly piped water systems by analyzing stagnation water (first draw) and water after a 10-minute flush (flushed water). First draws exhibited significant variations in residual chlorine, heavy metals, bacteria, and turbidity, which were largely influenced by usage frequency and external environmental contamination. However, water quality stabilized after flushing. A seasonal analysis indicated that the greatest difference in residual chlorine between first draws and flushed water occurred in spring, followed by that in winter when drinking fountains were discontinued, accompanied by increased zinc concentrations in stagnation water. A comparative analysis of water quality variability by faucet type revealed that push-button faucets exhibited greater variabilities in copper, zinc, and nickel levels than screw-down faucets, likely due to corrosive by-products generated from water hammer effects. Additionally, an analysis based on exterior material indicated that metal fountains experienced higher temperature increases and elevated zinc concentrations in first draws than stone fountains. Regarding installation environments, drinking fountains exposed to direct sunlight or partial shade had higher concentrations of copper, zinc, and nickel in first draws than those installed in constant shade. Overall, these findings suggest that frequent use or flushing can help maintain stable water quality with the exception of push-button faucets.

Key words : Drinking fountain, Faucet type, First draws, Heavy metals, Water quality characteristics

^a Corresponding author, 연구사(Researcher), sangjo79@gg.go.kr, <https://orcid.org/0009-0006-7826-3638>

^b 연구관(Senior Researcher), ena0909@gg.go.kr, <https://orcid.org/0009-0003-7982-2815>

^c 연구사(Researcher), deokheec@gg.go.kr, <https://orcid.org/0009-0008-0353-3941>

^d 연구사(Researcher), hjlee02@gg.go.kr, <https://orcid.org/0000-0002-8258-5748>

^e 연구사(Researcher), sinyor359@gg.go.kr, <https://orcid.org/0009-0006-6075-1545>

^f 연구사(Researcher), syc2049@gg.go.kr, <https://orcid.org/0009-0008-8198-289X>

1. Introduction

최근 지구온난화의 영향으로 가뭄, 폭염, 홍수 등 다양한 기상이변 현상이 전례없이 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 현상은 전 세계적으로 수자원 부족을 더욱 악화시키고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해 해외에서는 하수처리된 물을 취수원으로 활용하는 방안이 상용화되고 있다. 반면 국내에서는 국민의 생활수준 향상으로 물 사용량이 증가하고 있으며, 상수도 통계에 따르면 2003년에 1인당 일 평균 물 사용량이 277 L이었던 것이 2022년에는 306 L로 증가하였다 (ME, 2003-2022). 이러한 물 사용량의 증가는 수자원 부족 문제를 더욱 심화시키며 수도물 생산 및 공급 시설의 확장과 생산능력의 증대 등을 필요로 하고 이는 인프라에 더 큰 부담을 주어 악순환을 초래한다. 게다가, 지구온난화로 인한 폭염은 수온 상승을 유발하여 배관 부식과 미생물 번식을 촉진할 가능성이 높으므로 수질 악화의 주요 요인이 될 수 있다. 따라서 막대한 비용을 소요하여 공급인프라를 확충하더라도 적절한 관리대책이 수반되지 않는다면 안정적인 양질의 물 공급에는 한계가 있을 수 밖에 없다.

과거 우리나라는 대도시의 인구 급증으로 인한 주거 문제를 아파트와 연립주택 등 대단위 주거시설의 도입으로 해결하려 하였다. 국내 정수장의 안정적인 수도물 공급능력의 부족으로 저수조는 대도시의 급수 문제 해결을 위한 중요한 시설로 법제화되었다. 그러나 저수조와 긴 옥내 급수관을 통과한 수도물은 관리 미흡 등으로 인해, 배수관 수압을 이용하여 급수하는 직결급수에 비해 수질이 나쁘다는 문제점이 있었고 이는 수도물을 음용수로 잘 이용하지 않는 원인이 되기도 하였다.

여러 연구를 통해 직결급수 방식이 수도물 수질 차원에서 우수함이 밝혀졌고(Joh, 1997; KWWA, 1997) 2014년부터 서울시를 시작으로 옥상 저수조 제거 및 설치를 금지하는 시범사업을 시작하여 주택과 일반 건물의 급수 방식을 직결로 전환하고 있다. 또한 직결급수로의 전환에 필요한 최소 동수압은 1.5~4 kgf/cm²이며, 우리나라 정수장의 기술은 충분한 수질 및 수량을 제공할 수 있는 상태이다.

그럼에도 불구하고, ‘물탱크나 낡은 수도관의 문제’ 등으로 인한 수도물의 불신으로 직접 음용률이 2017년 기준으로 7.2%

에 불과한 실정이었다(NIER, 2018). 이러한 결과는 공공장소에 설치된 음수대 수질에 대한 불신으로 이어졌고 음수대 수질에 대한 부정적 인식이 69.5%에 이르고 있다. 지자체마다 수도물 음용률 제고를 위해 공공장소에 직결급수 방식의 음수대 설치를 제도화하고 일부 지자체는 실시간 수질검사 결과 표시 및 이상 발생 시 자동 차단 시스템을 갖춘 스마트 음수대를 도입하는 등 많은 노력을 기울이고 있으나 음수대 수질에 대한 부정적 인식 해소에는 한계가 있다.

공원 내 음수대는 직결급수 시스템에 연결되어 있어 수질 안정성이 기대되지만, 사용 빈도의 차이로 인해 water age 차이가 크고 야외에 노출된 환경으로 인해 수온 변화가 상대적으로 클 것으로 예상된다. 긴 water age와 높은 수온은 금속배관의 부식에 영향을 미치고(Alshehri, 2008; Song et al., 2016) 잔류염소를 낮추어 미생물 증식으로 이어질 수 있으며(Kim et al., 2013) 이는 수질에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 일부 연구에서는 금속배관 뿐만 아니라 수도용 자재의 부식이 정제수 수질에 영향을 준다는 결과도 제시되었다(Yu, Park, Ahn et al., 2008).

본 연구는 공원 음수대에서 제공되는 수도물의 수질 특성을 조사하고, 수질에 영향을 줄 수 있는 여러 영향인자 중심으로 수질을 비교하여 적합한 설치조건을 검토하는데 목적이 있다. 이를 통해 효과적인 수질 관리 방안을 마련하여 음수대의 수질 안전성을 확보하고, 음수대의 활용을 증진시키는 동시에 미래형 음수대에 필요한 기초 정보를 제공하고자 한다. 이러한 연구는 국민의 수도물에 대한 신뢰를 높이고 공공장소에서의 수도물 사용을 촉진하는데 기여할 것으로 기대된다.

2. Materials and Methods

2.1 연구대상

수도물 공급 과정에서 발생하는 오염인자를 파악하기 위하여 동일한 정수장 수원을 사용하며 설치 년도가 명확한 A시 전체 공원 음수대를 연구 대상으로 선정하여 수질 조사를 실시하였다. 고장이나 철거된 음수대를 제외한 46개소 공원 음수대를 대상으로 공원 설치년도 및 음수대 설치년도 기준으로 Table 1과 같이 분류하였다. 전체 음수대에 대하여 정제

Table 1. Classification of park drinking fountains in city A based on installation and park establishment year

Group	Age of the parks	Installation year of the drinking fountains	Number and locations of drinking fountains	Seasonal variation survey sites
A	Less than 10 years	Less than 5 years	4 (A-1~4)	A-1, A-3, A-4
B		6~10 years	5 (B-1~5)	B-1, B-4
C	10~25 years	Less than 5 years	4 (C-1~4)	-
D		6~10 years	1 (D-1)	-
E		More than 10 years	12 (E-1~12)	E-5, E-6, E-10
F	More than 25 years	Less than 5 years	12 (F-1~12)	F-1, F-3, F-8, F-12, F-13
G		6~10 years	5 (G-1~5)	G-3
H		More than 10 years	3 (H-1~3)	H-4

수(first draw)와 10분 출수 후 채취한 경과수(flushed water)에 대한 수질을 각각 조사하여 비교하였고 계절별 수질 변화를 관찰하기 위하여 조사 결과를 바탕으로 정체수의 수질 변동이 큰 지점을 포함한 15개 지점을 선정하였다. 또한 수도꼭지가 2개 이상인 음수대에서는 채수용량을 다르게 적용하여 개별 수도꼭지에 대한 정체수 수질을 비교하였다. 추가로, 정체수 수질 변화가 큰 지점을 대상으로 출수 용량 및 시간 경과에 따른 수질 변화를 모니터링하였다. 이러한 모니터링 결과를 바탕으로, 일정시간 출수에 따른 중금속류 감소 효과를 경기도내 최근 3년 이내 설치된 음수대를 대상으로 검토하였다.

2.2 분석항목 및 방법

공원 조성 및 음수대 설치연도가 가장 오래된 곳과 가장 최근인 공원 음수대 8개 지점을 대상으로 먹는물 수질기준 59개 항목에 대하여 기초조사를 실시하여 배·급수관로 및 위생기구로 인해 공급과정에서 기인한 오염일 가능성이 큰 수질 항목을 선정하였다. 이를 바탕으로 전체 음수대 현황 및 계절별 변화를 조사하였으며 봄철 시료는 2023년 3월말부터 5월까지, 여름철 시료는 6월 말부터 7월 초, 가을철 시료는 9월 중순에 시료를 채취하였다. 11월 말부터 다음 해 3월 중순까지는 겨울철 동파 방지를 위해 음수대에 수도물 공급을 중지하는 기간이므로 조사에서 제외되었다. 시료 채취 기간 동안 기온 및 강수량은 기상청 자료를 활용하였고 Table 2와 같다. 봄철은 일교차가 컸고 여름철은 다른 계절에 비해 강우가 잦았다. 또한 가을은 여름철과 기온 차이가 크지 않았으나 강수량은 적었다.

전체조사 및 계절별 조사는 조사 항목에 맞추어 2 L 이상 채취하였다. 그러나 샘플링 프로토콜(채수방법)은 채수 시점 및 채수 용량에 따라 특정 물질의 농도가 희석되어 결과에 영향을 줄 수 있으므로(Simoni et al., 2021) 추가 연구에서는 수도꼭지를 포함한 음수대 내 정체수 수질 분석 시 음수대 급수관의 평균 관경 및 길이로 용적을 계산하고 분석항목을 고려한 250 mL 용량으로 샘플을 채수하여 분석하였다. 음수대 출수 용량 및 시간 경과별 수질 변화 역시 250 mL씩 채

Table 2. Temperature and precipitation data during sampling periods across different seasons

Season	Spring	Summer	Autumn
Minimum temperature (°C)	10.29	23.24	21.14
Average temperature (°C)	16.12	25.84	24.28
Maximum temperature (°C)	22.03	29.56	28.06
Diurnal range (°C)	11.74	6.32	6.92
Daily average precipitation (mm)	0.82	21.68	3.18

수하였고 누적 출수 시간 20분, 출수 용량 112,500 mL 경과 시까지 중금속(Mn, Fe, Cu, Zn, Ni) 및 일반세균의 변화를 관찰하였다.

분석 항목은 Table 3과 같다. 일반세균은 평판집락법, 총대장균군과 분원성대장균군은 효소기질이용법을 적용한 상용화된 제품으로 측정하였다. 휘발성유기화합물 및 염소소독부산물물은 퍼지·트랩 기체크로마토그래피-질량분석법(Agilent technologies, 5977B)으로 분석하였다. 중금속류는 유도결합플라즈마-질량분석법(PerkinElmer, Nexion 2000)으로 분석하였고 결과는 먹는물수질공정시험기준 정량한계 기준에 따라 표기하였다. 니켈의 경우 먹는물수질공정시험기준에 분석방법이 포함되어있지 않아 수질오염공정시험기준에 준용하여 분석하였다. 유리잔류염소는 DPD-분광법을 적용한 휴대용 잔류염소 측정기(Hach DR300)를, 수소이온농도와 수온은 현장 측정기(Orion A221)를 이용하여 현장에서 즉시 측정하였다.

3. Results and Discussion

3.1 음수대 현황

3.1.1 음수대 설치 현황

A시의 공원 음수대는 모두 직결급수로 연결되어 있었으며 공원 내 설치된 음수대의 수도꼭지 타입, 높이, 외관 재질, 설치 장소를 조사하였고 그 결과는 Table 4와 같았다. 수도꼭지는 전체 스크류다운 타입의 수도꼭지가 65.2%로 가장 많았으며 스크류다운과 누름(push button)타입이 혼재되어 설치된 경우는 28.3%였다. 누름(push button) 타입으로만 설치된 음수대는 6.5%를 차지하였다.

설치된 음수대의 수도꼭지 높이는 0.5 m 이상 1.0 m 미만 이 59.8%로 가장 많았다. 외관 재질은 스테인리스, 철을 포함한 금속 재질이 58.7%를 차지하였다. 또한, 설치 장소는 직사광선에 설치된 음수대가 71.7%로 높은 비율을 나타내었다.

Table 3. Water quality parameters affected by distribution pipes and sanitary fixtures

Classification	Water quality analysis parameters (detection limit)
Microbiological (3)	Total colony counts, Total coliforms, Fecal coliforms
Health-related inorganic substances (4)	Lead (0.001 mg/L), Chromium (0.001 mg/L), Cadmium (0.0005 mg/L), Ammonia nitrogen (0.02 mg/L)
Disinfectants and disinfection by-products (2)	Free residual chlorine (0.02 mg/L), Total trihalomethanes (0.003 mg/L)
Aesthetic parameters (9)	Permanganate consumption (0.3 mg/L), Copper (0.001 mg/L), pH, Zinc (0.001 mg/L), Chloride (0.4 mg/L), Iron (0.003 mg/L), Manganese (0.0005 mg/L), Turbidity (0.02 NTU), Aluminum (0.002 mg/L)
Others (2)	Nickel (0.00044 mg/L), water temperature

Table 4. Characteristics of drinking fountains in city A’s parks: Faucet type, height, exterior material, and installation location

Faucet type (%)		Faucet installation height(%)		External material(%)		Installation location(%)	
All screw-down types	65.2	Less than 0.5 m	15.2	Stone	39.1	Full sun	71.7
All push button types	6.5	0.5 m~1.0 m	59.8	Metals	58.7	Partial shade	26.1
Mixed screw-down and Push button types	28.3	More than 1.0 m	25.0	Others	2.2	Shade	2.2

3.1.2 음수대 연결 관로 현황

관로 재질 및 노후도는 부식으로 인해 수도물 수질에 영향을 줄 수 있다(Yu, Park, Kim et al., 2008). 본 연구에서 음수대에 연결된 수도관로의 설치년도 및 재질 현황을 통해 배수관 및 급수관이 수질에 미치는 영향을 간접적으로 판단할 수 있고 본 연구의 결과를 일반적인 현상으로 적용 가능성을 판단하기 위해 경기도 내 28개 시의 배수관 및 급수관 설치 현황과 연구 대상 음수대 관로 현황을 추가로 비교하였다. 경기도 28개 시의 관로 현황(ME, 2022)은 전체 관로연장 대비 특정 연도(10년 단위) 및 관로 종류를 연장 대비 비율을 백분위로 나타내었고, 연구 대상 관로 현황은 연구 대상 전체에서 관로 종류와 연식(10년 단위)으로 비율을 백분위로 나타내었다(Table 5). A시 음수대 배수관은 20년 이상의 연식이 69.5%로 경기도 전체(28개시)의 노후관 비율인 31.3%에 비해 상대적으로 높았다. 덕타일 주철관은 배수관의 주요 재질로 91.2%를 차지하여 경기도 전체(28개시)의 41.8%보다 2배 정도로 높게 나타났다.

연구대상 음수대의 급수관 연식은 10년 미만 비율이 32.6%로 경기도 시 전체의 23.6%보다 높았으며 급수관 재질은 89.1%가 스테인리스 재질로 전체 82%와 유의미한 차이가 없었다. 연구 대상 음수대의 일부 지점은 관로 설치년도 혹은 재질에 대한 정보를 얻지 못하였고 이는 기타로 분류하였다.

3.2 음수대 수질 현황

3.2.1 수질 기초조사

공원조성 및 음수대 설치년도가 가장 오래된 곳과 가장 최근인 공원 음수대 8개 지점을 대상으로 항목 선정을 위한 기초조사를 실시하였다. 정체수, 경과수 그리고 정수장에서 제공하는 수질 결과와 비교하여 음수대를 포함한 배·급수과정에서 기인한 오염인자를 추정하였다. 조사 결과 모든 지점에서 불검출이거나 변화가 없는 항목을 제외하고, 수질 변화가 있는 항목들을 Table 6에 정리하였고 이를 수질 현황 조사에 활용하였다.

Table 5. Status of distribution and service pipes in Gyeonggi province (28 cities) and study sites (unit: %)

	Total				More than 30 years				30 years~ 20 years				20 years~ 10 years				Less than 10 years			
	Distribution pipe		Service pipe		Distribution pipe		Service pipe		Distribution pipe		Service pipe		Distribution pipe		Service pipe		Distribution pipe		Service pipe	
	G	A	G	A	G	A	G	A	G	A	G	A	G	A	G	A	G	A	G	A
Total	100	100	100	100	9.7	39.1	21.8	10.9	22.5	30.4	21.8	4.4	44.3	8.7	32.8	26.0	23.5	21.8	23.6	32.6
Enamel coated steel Pipe	6.5	-	0.1	-	1.8	-	0.0	-	2.4	-	0.0	-	1.8	-	0.0	-	0.5	-	0.0	-
Liquid epoxy coated steel pipe	5.1	-	0.4	-	0.1	-	0.0	-	0.6	-	0.0	-	2.6	-	0.3	-	1.9	-	0.0	-
Cast iron pipe	6.9	2.2	0.4	2.2	1.5	2.2	0.1	-	2.6	-	0.1	2.2	2.7	-	0.1	-	0.2	-	0.2	-
Ductile iron pipe	41.8	91.2	2.9	2.2	5.1	36.9	1.1	-	13.3	30.4	0.8	-	14.5	8.7	0.5	2.2	8.9	15.2	0.4	-
PVC pipe	7.5	-	4.1	-	0.1	-	0.6	-	1.1	-	0.2	-	5.1	-	2.9	-	1.3	-	0.4	-
Impact-resistant water pipe	22.7	2.2	5.8	-	0.7	-	0.1	-	0.5	-	0.0	-	12.9	-	2.8	-	8.7	2.2	2.8	-
PE pipe	4.3	2.2	0.6	-	0.2	-	0.0	-	1.2	-	0.4	-	1.6	-	0.0	-	1.4	2.2	0.2	-
Galvanized steel pipe		-	0.3	-		-	0.3	-		-	0.0	-		-	0.0	-		-	0.0	-
Copper pipe		-	0.3	-		-	0.3	-		-	0.0	-		-	0.0	-		-	0.0	-
Stainless steel pipe		-	82.0	89.1 (19.6*)		-	17.9	10.9		-	19.1	2.2		-	25.3	23.8		-	19.5	32.6
Others	5.2	-	3.2	6.5**	0.3	-	1.3	-	0.9	-	1.1	-	3.3	-	0.7	-	0.7	2.2	0.0	-

G: Gyeonggi Province (28 cities), A: study site, * Installation year unknown, ** Type of pipe and installation year unknown

Table 6. Comparison of water quality between first draws and flushed water with water supplied from treatment plant

		Free residual chlorine (mg/L)	pH	Turbidity (NTU)	THMs (mg/L)	Al (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Ni (mg/L)	Total colony counts (CFU/mL)	Permanganate consumption (mg/L)
First draws	Max	0.78	7.42	0.30	0.043	0.02	0.019	0.10	0.014	0.378	0.002	110	2.7
	Min.	0.04	7.15	0.00	0.013	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.003	N.D.	N.D.	1.4
Flushed water	Max	0.78	7.36	0.02	0.024	0.03	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.	N.D.	2.6
	Min.	0.52	7.18	0.00	0.013	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.5
Water quality of the water treatment plant (Reservoir water quality)		0.86~0.88 (0.65~0.79)	7.4~7.6	0.02~0.04 (0.06~0.09)	0.012~0.012	N.D. (0~0.04)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D. (0~0.002)	N.D.	N.D.	1.6~1.7 (1.7~2.1)
Water quality standards		0.1~4	5.8~8.5	0.5	0.100	0.2	0.05	0.3	1	3	0.07 (WHO)	100	10

3.2.2 음수대 수질 현황

A시 내 전체 46개 공원 음수대에 대한 정체수 및 10분 경과 수를 분석한 결과는 Table 7과 같다. 급수관의 사용 경과 연수에 따라 수질이 변화한다는 기존 연구결과(Yu, Park, Kim et al., 2008)를 바탕으로 공원 조성년도 및 음수대 설치년도에 따라 수질 차이가 있을 것이라는 가설을 세웠으나, 정체수와 경과수 모두에서 공원조성 및 음수대 설치년도와의 유의미한 상관성을 확인할 수 없었다.

수돗물의 pH, 염소이온, 과망간산칼륨 소비량은 통상 관의 파손 등으로 인한 오염을 평가할 수 있는 지표이나 본 연구 대상 음수대에서는 그러한 문제는 발견되지 않았다.

수돗물의 잔류염소는 수질 안정성을 위해 꼭 필요한 것으로 정수장에서 수도꼭지까지의 체류시간 및 수요량 변동의 차이와 원수 수질 및 수온 등의 차이로 인해 농도가 달라진다(Choi et al., 2016). Table 7과 같이 연구 대상 음수대 정체수, 경과 수의 잔류염소 농도는 최소 0.04 mg/L에서 최대

0.80 mg/L까지 측정되었으며, 경과수는 최소 0.09 mg/L에서 최대 1.33 mg/L 범위로 나타났다.

공원 설치년도 및 음수대 설치 년도로 그룹을 나누어 (Table 1) 중금속 농도를 비교한 결과, 10년 이내, 음수대 설치 5년 이내인 A 그룹에서 B~H 그룹보다 아연과 철 농도 평균값(Fig. 1(a)) 및 중양값(Fig. 1(b))이 높게 나타났다. 이는 건축물 내 수돗물을 대상으로 연구에서 노후관에서 중금속 농도가 높았다는 기존 연구(NIER, 2016)와 다른 결과로, 음수대는 직결급수이면서 건축물에 비해 관로의 길이가 짧은 특징이 있다는 점과 사용 빈도가 낮은 봄철에 채취가 이루어져 물의 정체 기간이 길어진 점이 원인인 것으로 추측된다. 또한 신규 음수대는 오래된 음수대와는 다른 수도꼭지 타입과 외관 재질로 인해 수질 결과에 영향을 미친 것으로 판단되었다.

음수대의 계절별 모니터링 결과는 Fig. 2, Fig. 3과 같이 사분위수가 표시된 박스 그래프로 나타내었다. 사용 빈도가 낮

Table 7. Water quality analysis of first draws and flushed water from 46 park drinking fountains in city A

		Free residual chlorine (mg/L)	Water Temp. (°C)	pH	Turb. (NTU)	THMs (mg/L)	Cl (mg/L)	KMnO ₄ (mg/L)	B (mg/L)	Al (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Ni (mg/L)
First draws	Mean	0.42	18.3	7.3	0.12	0.025	24.1	1.7	0.012	0.040	0.001	0.019	0.005	0.036	0.000	0.002
	Median	0.46	18.5	7.3	0.00	0.023	23.6	1.7	0.012	0.035	0.001	0.000	0.004	0.013	0.000	0.001
	Min.	0.04	9.4	7.0	0.00	0.013	20.0	1.0	0.009	0.010	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
	Max	0.80	28.3	7.7	3.45	0.043	28.4	2.7	0.015	0.077	0.019	0.114	0.015	0.378	0.003	0.008
	Standard Deviation	0.23	4.5	0.2	0.51	0.007	2.7	0.3	0.001	0.016	0.003	0.033	0.004	0.069	0.001	0.002
Flushed water	Mean	0.66	16.2	7.4	0.01	0.023	24.2	1.6	0.012	0.045	0.001	0.007	0.002	0.003	0.000	0.001
	Median	0.67	15.1	7.4	0.00	0.022	23.2	1.7	0.012	0.040	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001
	Min.	0.09	8.8	7.0	0.00	0.013	19.3	0.5	0.008	0.023	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
	Max	1.33	25.0	7.8	0.09	0.039	28.4	2.6	0.014	0.091	0.002	0.090	0.004	0.017	0.000	0.003
	Standard Deviation	0.19	4.2	0.2	0.02	0.006	2.7	0.4	0.001	0.018	0.001	0.021	0.001	0.004	0.000	0.000

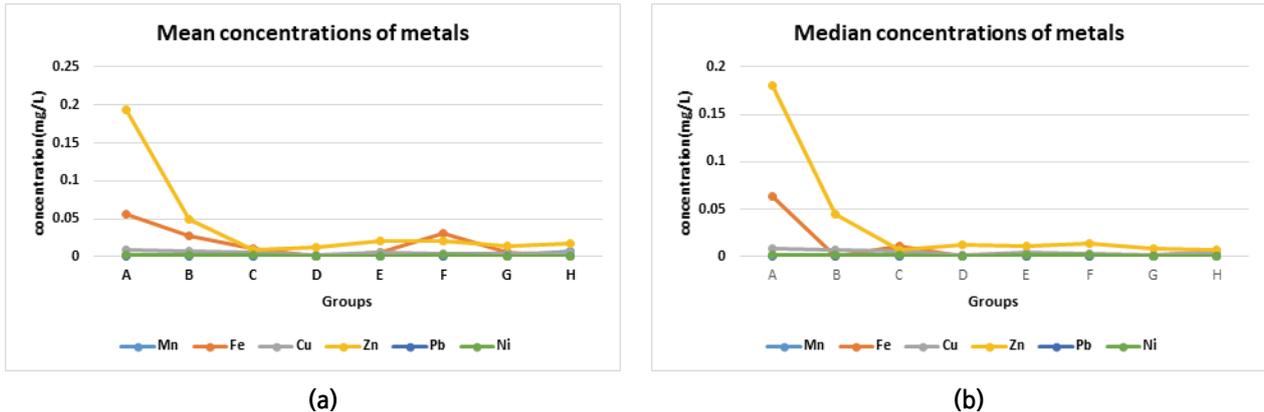


Fig. 1. Heavy metal concentrations in drinking fountains by park and fountain installation year (a) Mean, (b) Median.

은 음수대에서는 정체 기간이 길어짐에 따라 water age가 증가하게 되며 이에 따라 본래의 수돗물인 경과수에 비해 잔류염소 농도가 크게 감소되는 경향을 보였다. 비록 사용빈도를 직접 조사하지는 않았지만, 동일 지점에서 정체수와 경과수의 잔류염소 농도 차이를 분석하여 정체 기간과 사용빈도를 간접적으로 평가할 수 있었으며, 이러한 분석 결과는 계절별 비교에 활용하였다.

Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 봄철의 경우, 정체수 수온이 16.7 °C 로 다른 계절에 비해 낮았음에도 불구하고 정체수와 경과수 간의 잔류염소 농도차(Fig. 2(b))는 평균 0.40 mg/L로 가장 크게 나타났다. 반면 여름철과 가을철의 잔류염소 농도차는 각각 0.20 mg/L와 0.17 mg/L 로, 봄철의 잔류염소 농도차가 월등히 높았다. 이전 연구온도(Noh and Park, 2017)에 따르면, 온도가 20 °C 증가할 때 잔류염소의 분해 속도 계수는 2.2배 증가한다고 보고되었다. 이를 고려했을 때, 봄철의 잔류염소 분해속도가 낮음에도 불구하고 정체수의 잔류염소 농도가 낮고 경과수와 농도차가 크다는 것은 사용빈도가 낮아 정체 기간이 더 길었음을 시사한다.

총트리할로메탄은 물속의 천연유기물과 염소 소독제의 반응으로 형성되므로 천연유기물 양, 수소이온농도, 수온, 염소 투입량의 영향을 받는다(Chang et al., 2006). A시 공원 음수대의 조사 결과 총트리할로메탄(Fig. 3(e)) 범위는 정체수가 0.016~0.043 mg/L로 경과수 0.014~0.042 mg/L보다 약간 높았다. 직전 음수대 사용이 있던 지점은 정체수 채수 후 경과수가 10분 출수 되었음에도 불구하고 잔류염소와 총트리할로메탄 수치가 각각 0.68 mg/L, 0.021 mg/L과 0.68 mg/L, 0.022 mg/L로 거의 동일했다. 가을에는 기온이 높아 경과수의 총트리할로메탄이 농도범위가 0.024~0.042 mg/L로 약간 높았는데 기온이 높을 때 소독부산물의 농도가 증가한다는 타 연구 결과(Chang et al., 2006)와 경향이 일치하였다.

정체수의 탁도(Fig. 3(d))는 대부분 기준치 이내였지만 F-1 지점의 정체수는 3.45 NTU로 기준치를 초과했다. 반면 해당 지점의 철(Fig. 3(i)), 망간(Fig. 3(h)) 농도는 불검출, 유기물의 농도는 1.8 mg/L로 일반적인 수돗물과 비슷한 농도를 보였다. 10분 출수 후 채수한 경과수에서의 탁도는 0.03 NTU로 정상적인 수치로 낮아졌다. 이를 통해 수도꼭지의 비정상적인 사용으로 인한 흙 등 외부 오염이 원인으로 판단되었다.

염소이온, 과망간산칼륨 소비량의 농도변화는 정체수와 경과수가 비슷한 양상을 보였다. 봄과 가을에 과망간산칼륨 소비량(Fig. 3(f))의 평균값은 각각 1.8 mg/L와 1.6 mg/L였다. 반면 채수 전후로 강우가 잦았던 여름에는 정체수와 경과수 모두 2.6 mg/L로 약간 증가하였는데 이는 상수원수의 영향을 받은 것으로 평가되었다(Yu, Park, Ahn et al., 2008).

중금속의 경우 먹는물수질기준을 초과한 적은 없었으나 일부 중금속 항목은 정체기간에 따라 정체수, 경과수 간 농도변화가 컸다. 정수장 응집제로 사용하는 알루미늄 농도는 기온이 상대적으로 높은 여름, 가을이 봄철보다 높았다. 경과수 평균값은 여름과 가을에 각각 0.063 mg/L, 0.061 mg/L였으며 정체수는 0.061 mg/L와 0.054 mg/L로 비슷하거나 약간 높았다. 이는 응집제 투여량에 영향을 받은 것으로 보여졌다.

기존 수돗물 관련 연구들에 따르면 사용 빈도가 낮아 정체기간이 긴 조건에서, 저수조와 수도꼭지에서 아연 농도가 크게 증가하는 경향이 관찰되었다(Lee et al., 2014, Yu, Park, Kim et al., 2008). 음수대 수질을 조사한 본 연구에서는 봄, 여름, 가을의 정체수 농도는 각각 0.003~0.378 mg/L, 0.003~0.065 mg/L, 0.003~0.070 mg/L 로 여름철 높은 수온으로 인해 아연의 농도가 증가했다고 보고된(Seo et al., 1998) 것과 달리, 본 연구에서는 겨울 동안 장기간 사용 되지 않은 후 봄철에 가장 높은 아연 농도가 관찰되었다. 중금속 중에서도 아연의 농도 변화가 가장 두드러졌다. 경과수의 계절별 아연 농도는 0.000~0.010 mg/L(봄), 0.000~0.011 mg/L(여름), 0.000~0.008 mg/L(가을)로 전 지점에서 아연 농도가 낮았고 변화도 거의 없었다. 기존 연구에서는 수돗물의 아연은 아연도강관에서 주로 유래된 것으로 보고되었으나, 건축물 내 수도관에 아연도강관 사용이 1994년부터 법적으로 금지되었고 배·급수관의 경우 법적 금지는 없었으나 아연도강관을 설치를 자제하여 차지하는 비율이 꾸준히 감소하고 있다. A시의 경우 아연도강관이 음수대 연결 배수관 및 급수관의 2.2%에 불과했다(Table 5). 아연은 스테인리스 이음관을 포함한 도금 및 합금의 형태로 수도용품에 많이 사용되며, 이로 인해 용출되는 것으로 판단된다(Lee et al., 2017).

철의 경우(Fig. 3(i)), 여름철에는 모든 지점에서 정체수, 경과수가 검출한계 미만이었고 가을철에는 정체수 0.000~0.075 mg/L, 경과수 0.000~0.004 mg/L로 검출한계 부근의

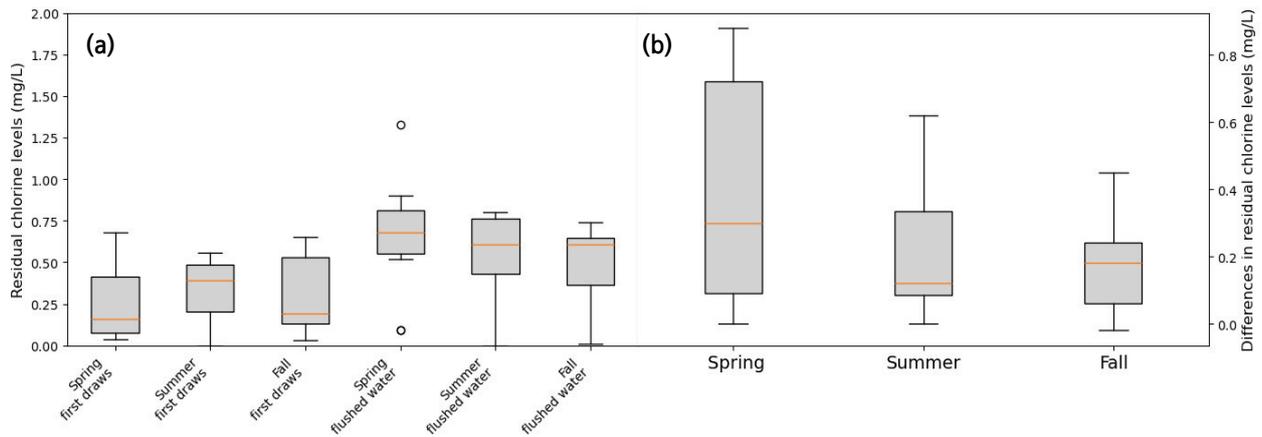


Fig. 2. Seasonal variations in (a) residual chlorine levels and (b) differences in residual chlorine levels: first draws and flushed water

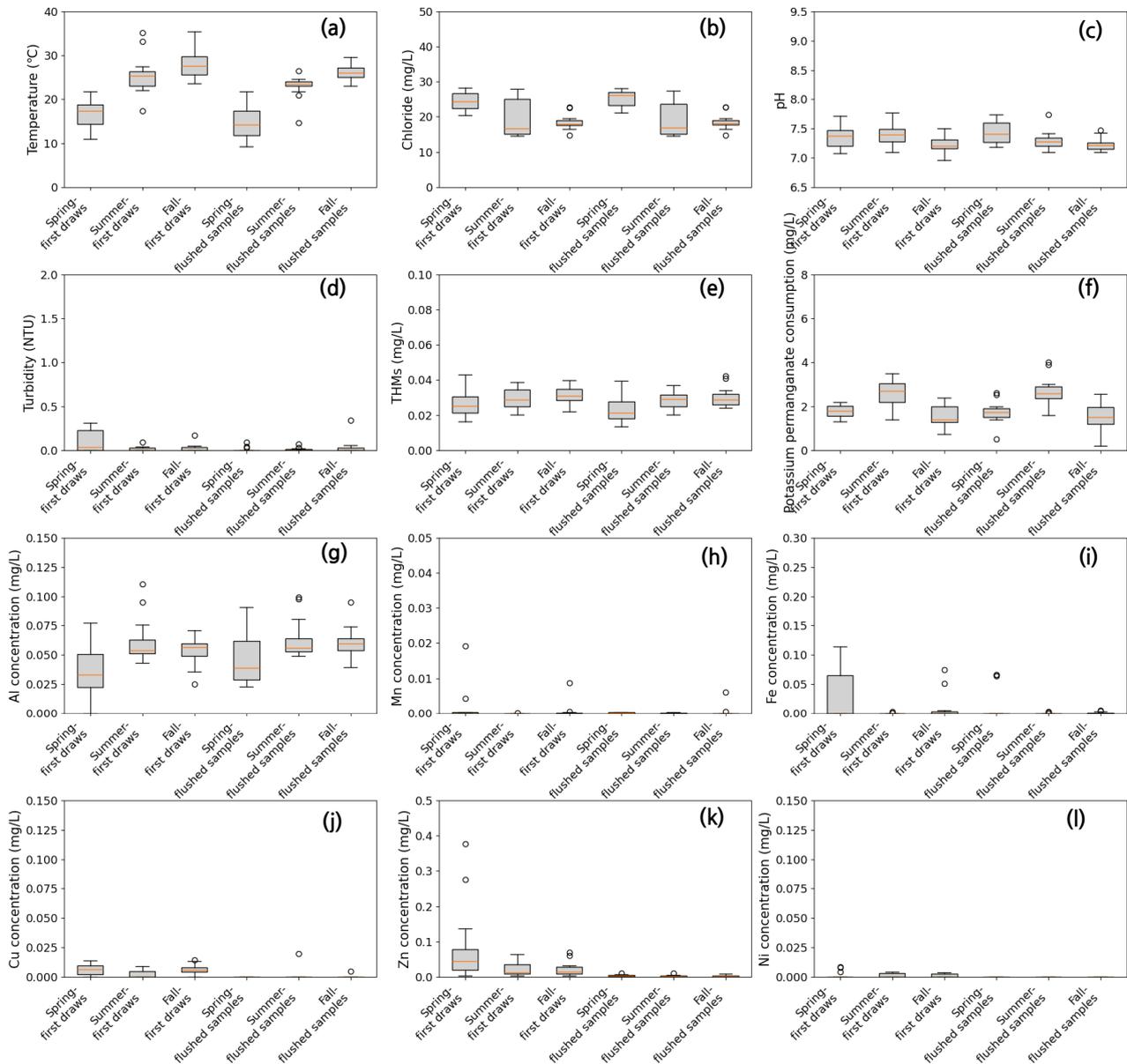


Fig. 3. Seasonal variations in (a) Temperature, (b) Chloride, (c) pH, (d) Turbidity, (e) THMs, (f) Potassium permanganate consumption, (g) Al, (h) Mn, (i) Fe, (j) Cu, (k) Zn, and (l) Ni concentrations in first draws and flushed water.

낮은 농도를 보였다. 그러나 봄철에는 정체수 0.000~0.114 mg/L로 가장 높은 농도를 기록했으며 10분 뒤 출수 후에는 경과수 0.000~0.066 mg/L로 수질을 회복하였다. 음수대 사용 빈도가 낮을수록 정체시간이 길어져 철 농도가 증가하는 경향이 있음을 시사한다.

망간(Fig. 3(h))은 먹는물수질기준에 0.3 mg/L로 설정되어 있으나 수도물의 경우는 0.05 mg/L로 엄격하게 설정되어 있다. 원수에도 함유되어 있고 대부분 정수 처리 공정에서 제거된다(Bae et al., 2014). 대부분 불검출이거나 검출한계 부근의 농도였으나 봄철 H-4 지점 정체수에서는 망간이 0.019 mg/L로 이상치를 보였다. H-4 지점은 다른 지점 대부분의 급수관 재질이 스테인리스였던 것과 달리 급수관 재질이 덕타일 주철관을 사용하고 있었으며 겨울철 사용중지 기간동안 주철관에서 망간이 미량 용출된 것으로 판단된다. 그러나 이 지점의 경과수에서는 망간이 불검출되었다.

계절별 모니터링에서 니켈(Fig. 3(l))은 봄철 보다 온도가 높은 여름, 가을철 정체수에서 0.000~0.008 mg/L로 측정되었고, 경과수에서는 모두 불검출되었다. 납, 크롬, 카드뮴은 전체조사 및 계절별 조사에서 정체수와 경과수 모두에서 검출되지 않았다.

전체조사 및 계절별 조사에서 총대장균군, 분원성 대장균군은 정체수와 경과수 모두에서 불검출되었다. A-4 지점의 정체수에서는 일반세균이 120 CFU/mL로 기준치 100

CFU/mL를 약간 초과했다. 이때 잔류염소는 불검출이었고 두 번째 샘플링한 경과수에는 일반세균은 불검출, 잔류염소는 0.16 mg/L로 증가하였다. 이는 외기가 높은 온도로 인한 수온이 27.6 °C로 잔류염소가 빠른 속도로 감소하였고 외부 오염도 고려되었다. 보다 명확한 원인을 찾기 위해 수도꼭지별 비교 연구에서 시간대별 농도변화를 추가로 조사하였다. 이 외 다른 지점에서는 정체수와 경과수 모두에서 일반세균이 불검출되었다.

3.3 음수대 수질 영향인자

3.3.1 수도꼭지 타입 영향

수도꼭지를 포함한 밸브 개폐 방식은 관을 비롯한 설치 기구의 수격작용에 영향을 줄 수 있다(Lahlou, 2003). 스크류다운(screw down) 타입은 서서히 압력을 줄여 잠그는 방식으로 수격작용 방지를 위해 고안된 방식이다(Hall, 1970). 반면, 푸쉬 버튼(push-button) 방식은 물 절약을 위해 개발되었으나 스크류다운 방식에 비해 물을 사용하는 데 있어 버튼에 비교적 큰 힘이 가해지고 물의 흐름이 급격히 개시·차단되어 배관 내 충격압과 진동이 커지는 단점이 있다. 이러한 수격현상은 정수압이 낮거나 유속이 낮은 상태에서도 발생하며(Lee and Choi, 2002) 자주 발생하면 관 부식에도 영향을 줄 수도 있다(Farh et al., 2023).

A시에는 주로 스크류다운 방식과 푸쉬버튼 방식의 두 가

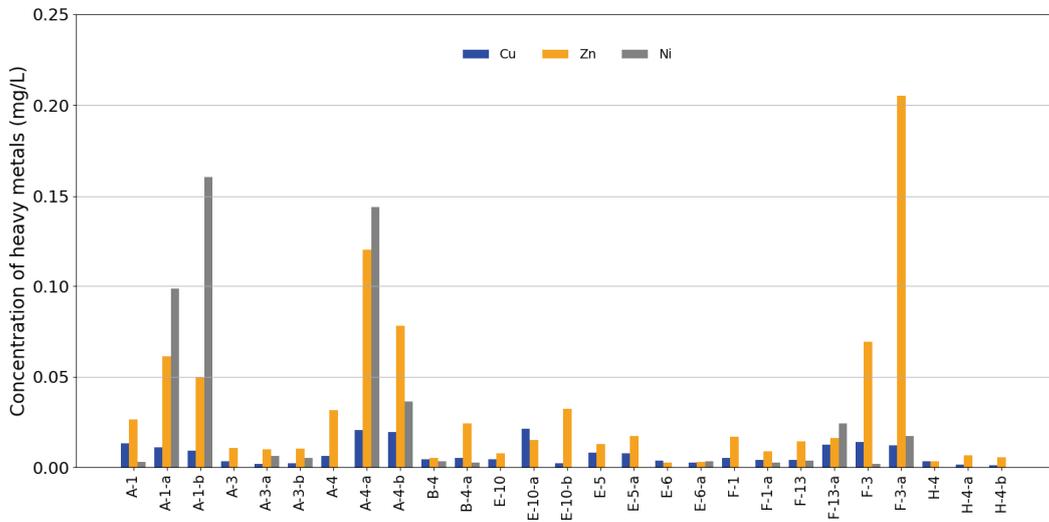


Fig. 4. Comparison of heavy metal concentrations in first draws by sample volume including extra faucets.

Table 8. Zinc and nickel concentrations in first draws by sampling protocols, analyzed by faucet type

Site	Zn(mg/L)	Ni(mg/L)	Extra faucets	Zn(mg/L)	Ni(mg/L)
	Sampling volume- 2 L			Sampling volume - 250 mL	
A-1	0.027	0.003	A-1-a	0.061	0.098
			A-1-b	0.050	0.160
A-4	0.031	0.000	A-4-a	0.121	0.144
			A-4-b	0.078	0.036
F-3	0.070	0.002	F-3-a	0.205	0.017

지 타입이 설치되어 있었다. 수도꼭지의 영향을 분석하기 위해 계절별 모니터링을 실시한 15개 지점에 대해 동일 음수대 내에서 정체수의 채수량을 기존 2L 이상과 달리 새롭게 산정한 250 mL로 하여 중금속을 분석하였고 이를 음수대 정체수 분석 결과와 비교해 보았다(Fig. 4).

Fig. 4에서 높은 중금속 농도의 차이를 보이는 A-1, A-4, F-3 지점은 모두 푸쉬타입 수도꼭지라는 공통점을 가지고 있었고 세 지점 채수 프로토콜에 따른 아연과 니켈 농도를 비교하였는데(Table 8) 아연은 농도는 기존 0.027~0.070 mg/L 농도에서 250 mL 채수했을 때 0.050~0.205 mg/L로 2.3~3.8배 높게 나타났다. 또한 니켈은 불검출~0.003 mg/L이었던 것이 새로운 프로토콜에서 0.017~0.160 mg/L 농도로 큰 차이가 났다. 이는 위생기구가 수질에 영향을 미친다(Yu, Park, Ahn et al., 2008)는 기존 연구와 결과가 같았고 음수대의 수도꼭지 종류가 정체수 수질에 큰 영향을 미친다고 평가되었다.

수도꼭지 타입이 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해 계절별 모니터링 15개 지점을 대상으로 수도꼭지 타입과 수질을 조사하였다. 수도꼭지별로 2 L, 250 mL 채수량을 다르게 하여 음수대 정체수의 구리, 아연, 니켈 농도를 비교하였다(Table 9). 수도꼭지 외 다른 영향인자를 배제하기 위해 설치 환경이나 외관 재질은 같은 조건에서 비교하였다. 2L 채수량에서는 구리, 니켈은 큰 차이가 없었으나 아연 평균값 기준 푸쉬타입이 0.1061 mg/L로 스크류다운 타입 0.0183 mg/L보다 5.8배 높게 나타났다. 250 mL 채수량에서는 푸쉬타입이 스크류다운 타입보다 구리 평균농도가 0.0115 mg/L로 4.7배 높았고 아연은 0.0821 mg/L로 7.3배, 니켈은 0.0414 mg/L로 34.1배 높았다.

수도꼭지에서 수질 변화를 관찰하기 위해 아연 농도가 높게 관찰된 4개 지점과 대조군으로 사용이 거의 없는 B시의 스크류다운 타입 수도꼭지가 설치된 음수대 1개 지점(Fig. 5(a), Screw down 1)을 선정하였다. 스크류다운 1지점은 관찰지역으로, 모니터링 동안 잔류염소가 검출되지 않았다. 각

지점에서 250 mL 채수량으로 출수 용량별로 샘플링하여 잔류염소, 철, 구리, 아연, 니켈 및 일반세균을 분석하였다.

스크류다운 1지점에서 초기 정체수 농도는 구리 0.118 mg/L, 아연 0.419 mg/L, 니켈 0.009 mg/L이었다. 이 농도는 누적 배출량이 750 mL에 이르렀을 때 구리 0.010 mg/L 아연 0.057 mg/L, 철, 니켈은 불검출로 현저히 낮아졌다. 스크류다운 2지점(Fig. 5(b))의 초기 정체수 농도는 구리 0.003 mg/L, 아연 0.021 mg/L, 니켈 0.002 mg/L였으며 누적 배출량 500 mL에서 구리 0.001 mg/L, 아연 0.007 mg/L 니켈은 불검출로 나타나 스크류다운 1지점과 마찬가지로 지수함수적으로 농도가 감소하였다.

반면, 푸쉬버튼 1, 2, 3지점은 초기 정체수 이후 일시적으로 농도가 증가하는 지점이 생기면서 수질 변동성(fluctuations)이 나타났다. 푸쉬버튼 1지점(Fig. 5(c))은 초기 구리 0.034 mg/L, 아연 0.316 mg/L 농도에서 누적 배출량 500 mL 지점에서 구리 0.036 mg/L, 아연 0.406 mg/L로 증가했다가 다시 감소하였고 2지점(Fig. 5(c))은 철 0.013 mg/L, 구리 0.008 mg/L, 아연 0.044 mg/L, 니켈 0.104 mg/L에서 점점 낮아지다가 누적 배출량 3,500 mL 지점에서 구리 0.012 mg/L, 아연 0.049 mg/L로 증가했고, 누적 배출량 9,750 mL에서 철이 0.030 mg/L로 증가하였다가 다시 감소하였다.

푸쉬버튼 3지점(Fig. 5(e))은 경우 철 0.07 mg/L, 구리 0.031, 아연 0.280, 니켈 0.102 mg/L 초기농도에서 점차 감소세를 보이다가 누적 출수량 9,750 mL에서 철 0.10 mg/L, 구리 0.023 mg/L, 아연 0.402 mg/L로 급증하는 구간이 나타났다.

이와 같이, 푸쉬버튼 타입은 스크류다운 타입에 비해 수질이 안정적이지 않으며 변동성이 생기는 구간이 공통적으로 나타났다. 이는 푸쉬버튼 수도꼭지로 인한 수적현상으로 인해 수도관내 정체로 발생된 부식성 부산물이 배출된 것으로 판단되었다.

Fig. 5(f)의 일반세균의 경우, 정체수에서 잔류염소가 검출되지 않는 조건에서 스크류다운 타입의 초기 일반세균은

Table 9. Copper, zinc, and nickel concentrations in stagnation water by faucet type and sampling volume

2L volume (unit : mg/L)	Screw down type			Push button type		
	Cu	Zn	Ni	Cu	Zn	Ni
Mean	0.0049	0.0183	0.0018	0.0064	0.1061	0.0011
Median	0.0034	0.0082	0.0012	0.0062	0.0315	0.0016
Max	0.0148	0.0842	0.0082	0.0130	0.2760	0.0017
Min.	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000	0.0107	0.0000
Standard deviation	0.0040	0.0232	0.0020	0.0065	0.1476	0.0010
250mL volume (unit : mg/L)	Screw down type			Push button type		
	Cu	Zn	Ni	Cu	Zn	Ni
Mean	0.0024	0.0113	0.0012	0.0115	0.0821	0.0414
Median	0.0024	0.0066	0.0000	0.0116	0.0369	0.0119
Max	0.0041	0.0323	0.0034	0.0213	0.3777	0.1605
Min.	0.0013	0.0030	0.0000	0.0020	0.0101	0.0000
Standard deviation	0.0009	0.0053	0.0008	0.0066	0.1097	0.0587

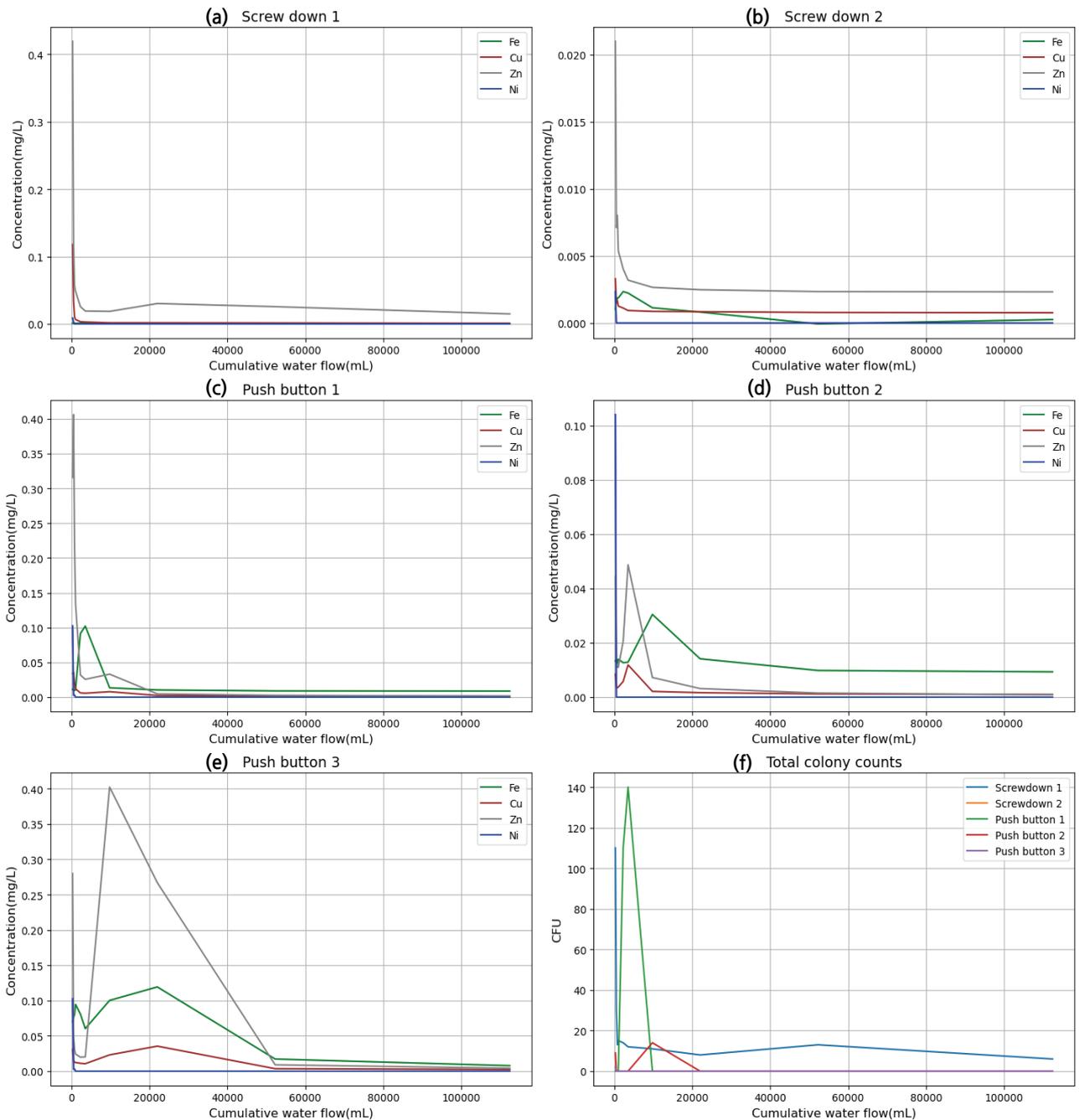


Fig. 5. Concentration change by cumulative flow and faucet type (a) Screw down 1, (b) Screw down 2, (c) Push button 1, (d) Push button 2, (e) Push button 3, (f) Total colony counts.

110 CFU로 다소 높았으나 스크류다운 타입의 경우 250 mL 출수 후 30 CFU로 72%까지 감소하였고 이후에도 낮은 상태를 유지하였다. 푸쉬버튼 타입은 초기 불검출이었으나 누적 배출량 2,250~9,750 mL 범위에서 일반세균이 110, 140 CFU 수치가 나타나 수질이 안정적이지 못하였다.

음수대의 모니터링 결과, 직전에 사용된 음수대는 250 mL 출수만으로도 정체수의 수질이 회복되었으나, 장시간 사용되지 않은 음수대의 경우 출수량 9,750 mL(출수시간 약 1분 30초) 출수 이후 중금속과 일반세균 농도가 현저히 낮아졌다. 이러한 출수 시점을 기준으로 설치 경과 연수가 짧은 관

에서 아연의 농도가 높았던 기존 연구 결과(Yu, Park, Kim et al., 2008)와 A시 음수대 조사 결과 신규 음수대의 정체수 수질이 나빴던 점을 고려하여, 설치 3년 이내인 경기도 내 신규 음수대를 대상으로 1분 30초 출수 이후 정체수와 경과수 수질을 비교하였다(Table 10).

정체수와 경과수를 비교하기 위해 분석을 위해 채수한 용량은 250 mL로 하였으며 그 결과는 Table 10과 같다. 1분 30초 출수 후, 망간과 철은 100% 제거되었으며, 구리는 0.001~0.120 mg/L의 정체수가 0.000~0.028 mg/L로 최소 42.5에서 최대 100% 감소되었다. 또한, 아연의 경우 0.013~

Table 10. Water quality of first draws and flushed water from drinking fountains installed within the last 3 years in Gyeonggi province

	Mn			Fe			Cu			Zn			Ni		
	First flows (mg/L)	Flushed water (mg/L)	Reduction rate (%)	First flows (mg/L)	Flushed water (mg/L)	Reduction rate (%)	First flows (mg/L)	Flushed water (mg/L)	Reduction rate (%)	First flows (mg/L)	Flushed water (mg/L)	Reduction rate (%)	First flows (mg/L)	Flushed water (mg/L)	Reduction rate (%)
Max.	0.007	0.000	100	0.031	0.000	100	0.120	0.028	100	0.841	0.090	97.6	0.373	0.007	100
Mean	0.002			0.006			0.032	0.006	76.3	0.192	0.019	85.8	0.040	0.000	94.8
Min.	0.000			0.000			0.001	0.000	42.5	0.013	0.001	47.9	0.000	0.000	41.6

0.841 mg/L 농도가 0.001~0.090 mg/L 로 47.9에서 97.6%까지 감소되었고, 니켈은 0.000~0.373 mg/L 농도에서 0.000~0.007 mg/L로 최소 41.6에서 최대 100% 감소되었다. 이는 장시간 사용되지 않은 음수대라도 1분 30초 정도 출수만으로도 수질이 크게 개선됨을 보여주었다.

3.3.2 음수대 설치조건 및 온도 영향

일반적으로 금속 재질인 스테인리스의 비열은 0.50 J/g℃로 석재재질의 하나인 화강암 0.84 J/g℃ 보다 높다. 음수대가 고온의 환경에 노출되어 있는 경우 외관 재질의 비열 차이에 따라 내부에 있는 수온에 영향을 줄 수 있으므로 음수대의 외관 재질과 설치 장소에 따른 수질을 비교하였다.

Fig. 6은 직사광선에 직접 노출된 곳에 설치된 석재재질과 금속재질 음수대의 정체수와 경과 수의 온도 차에 대한 그래프이다. 음수대 외관이 금속 재질이면 정체수와 경과수의 수온 차이는 평균 3.42℃로 석재재질 1.79℃보다 약 2배로 높았다. 수도물이 음수대에 머무르면서 온도가 어느 정도로 상승했는지 간접적으로 알 수 있었다.

또한 다른 영향인자를 배제하고 음수대 외관 재질 차이에 따른 영향을 분석하기 위해 직사광선에 직접 노출되는 음수대를 수도꼭지 타입별로 스크류다운과 푸쉬버튼으로 나누어 비교하였다(Table 11). 스크류다운 타입 음수대에 대하여 정

체수의 구리, 아연, 니켈 농도를 비교한 결과, 구리와 니켈은 농도가 큰 차이가 없었으나 아연 농도는 금속 재질에서 0.0262 mg/L로 석재재질 0.0183 mg/L보다 1.4배 정도 높았고 중간값도 각각 0.0082, 0.0152 mg/L로 금속재질 음수대에서 농도가 더 높게 나타났다.

푸쉬버튼 타입의 경우, 석재재질과 금속 재질 음수대의 정체수를 비교한 결과, 평균값 기준으로 금속 재질 음수대의 구리, 아연, 니켈 농도가 각각 석재재질보다 1.4배, 1.3배, 2.7배 높게 나타났다.

설치 장소에 따른 영향을 평가하기 위해 직사광선에 직접 노출되는 곳, 직사광선과 그늘이 교차하는 곳, 항상 그늘인 곳으로 분류하여 정체수의 구리, 아연, 니켈 농도를 비교하였다(Fig. 7). 직사광선에 설치된 곳과 그늘이 교차하는 곳의 정체수는 구리, 아연, 니켈 평균 농도는 각각 0.0053 mg/L, 0.0324 mg/L, 0.0017 mg/L와 0.0066 mg/L, 0.0452 mg/L, 0.0016 mg/L로 그늘이 교차하는 곳이 구리와 아연 농도가 약간 높았다. 그러나 항상 그늘인 곳과 그늘이 교차하는 곳의 정체수 농도를 비교했을 때는 각각 0.0029 mg/L, 0.0030 mg/L, 0.0009 mg/L로 구리가 2.3배, 아연 14.9배, 니켈이 1.8배 더 높았다.

수온은 관 부식에 영향을 미치는 중요한 인자 중 하나이다 (Kim et al., 2017). 음수대는 음용을 위해 소량의 물을 취수

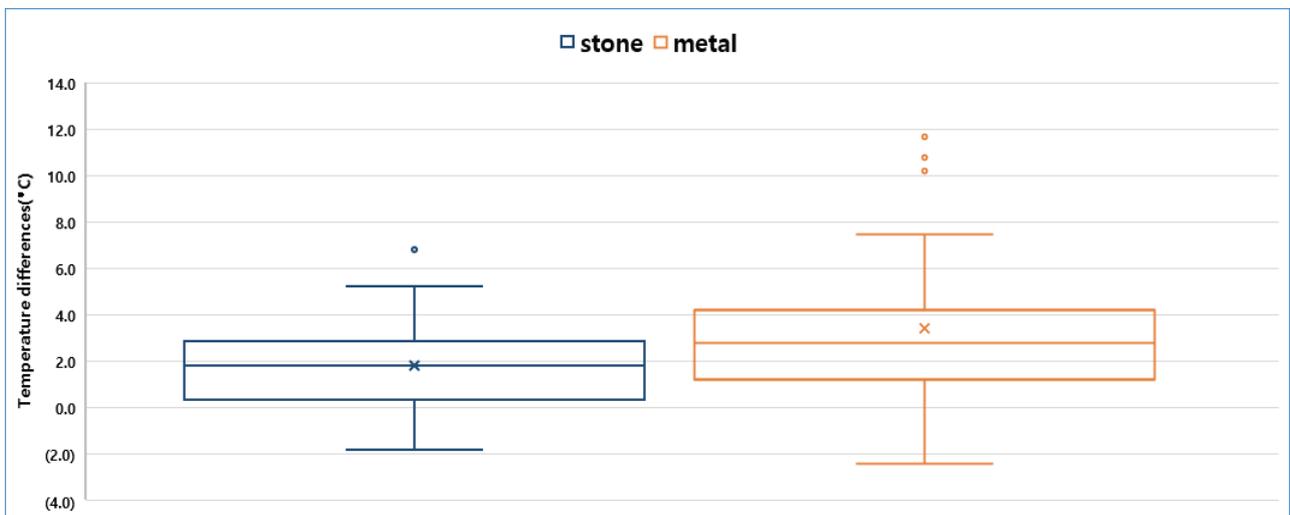


Fig. 6. Temperature difference between stagnation and flushed water in drinking fountains with metal and stone exteriors exposed to direct sunlight.

Table 11. Water quality by exterior material and faucet type in drinking fountains exposed to direct sunlight (a) Screw down (b) Push button

Screw-down	Stone material			Metal material		
	Cu	Zn	Ni	Cu	Zn	Ni
Mean (mg/L)	0.0049	0.0183	0.0018	0.0051	0.0262	0.0016
Median (mg/L)	0.0034	0.0082	0.0012	0.0048	0.0152	0.0012
Max (mg/L)	0.0148	0.0842	0.0082	0.0104	0.1360	0.0041
Min. (mg/L)	0.0000	0.0014	0.0000	0.0015	0.0033	0.0000
Standard deviation	0.0040	0.0232	0.0020	0.0023	0.0264	0.0011
Push button	Stone material			Metal material		
	Cu	Zn	Ni	Cu	Zn	Ni
Mean (mg/L)	0.0064	0.1061	0.0011	0.0090	0.1430	0.0030
Median (mg/L)	0.0062	0.0315	0.0016	0.0134	0.0266	0.0031
Max (mg/L)	0.0130	0.2760	0.0017	0.0137	0.3777	0.0041
Min. (mg/L)	0.0000	0.0107	0.0000	0.0000	0.0246	0.0018
Standard deviation	0.0065	0.1476	0.0010	0.0078	0.2033	0.0012

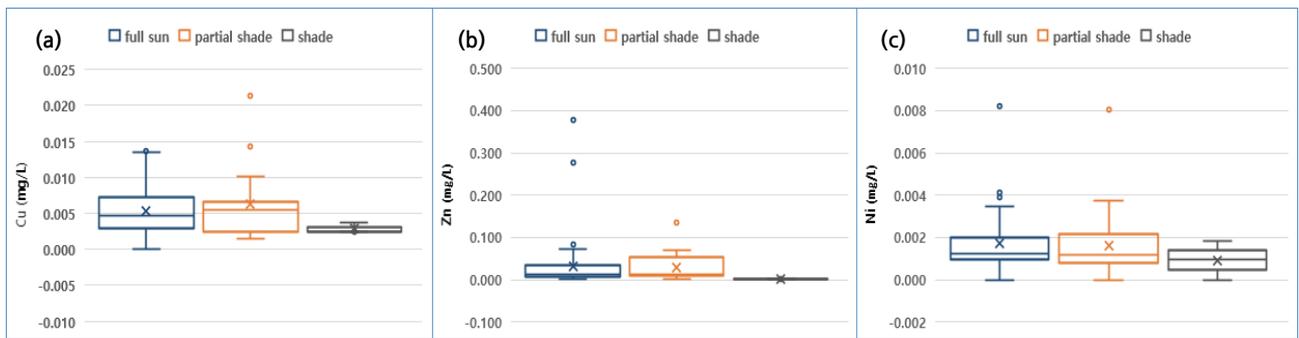


Fig. 7. Comparison of (a) copper, (b) zinc, and (c) nickel in first draws by installation location and sunlight exposure.

할 수 있으므로 수온은 관 부식뿐만 아니라 수도꼭지와 같은 위생기구에도 영향을 미칠 수 있다. 따라서 수질 관리 관점에서 음수대 설치 장소는 항상 그늘에 설치하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4. Conclusion

본 연구를 위한 음수대 수질 기초 조사시 위생기구를 포함한 배·급수과정에서 잔류염소, 수소이온농도, 탁도, 총트리할로메탄류, 알루미늄, 망간, 철, 구리, 아연, 니켈, 일반세균, 과망간산칼륨 소비량 항목에서 수질 변화를 관찰할 수 있었고 이를 수질 특성 조사에 활용하였다. 또한 정체수와 10분 출수 뒤 경과수를 비교분석하여 직결급수 방식이지만 외부에 노출된 공원 음수대의 수질 특성 및 영향인자를 파악할 수 있었고 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 음수대 수질 현황조사에서 음수대 설치년도와 공원 조성년도는 정체수 및 경과수 수질에 유의미한 상관성을 보이지 않았다. 그러나 음수대 사용 빈도와 사용 방식에 따라 정체수는 잔류염소, 중금속류, 일반세균, 탁도 등

- 의 항목에서 수질 변동이 나타났으나 10분 출수 후에는 수질이 안정적으로 회복되는 경향을 보였다.
2. 계절별 조사에서는 봄철에 정체수와 경과 수의 잔류염소 차이가 가장 컸으며 이것은 정체기간을 간접적으로 판단 수 있었고 정체수에서 아연, 철 농도가 크게 증가하였다.
 3. 수도꼭지의 타입에 따른 정체수 수질을 비교 결과, 스크류다운 타입에 비해 푸쉬버튼 타입의 수도꼭지에서 구리, 아연, 니켈의 수질 변동성이 크게 나타났다. 이러한 경향은 채수 용량을 250 mL로 달리한 경우와 출수 용량별 수질 모니터링 실험에서 뚜렷하게 나타났다. 이는 수격현상으로 인한 급수관의 부식성 부산물 배출과 관련된 것으로 판단된다.
 4. 도내 신규 음수대를 대상으로 1분 30초 출수 이후 정체수와 경과수 수질을 비교한 결과 정체수에 비해 경과수의 중금속 농도가 현저히 감소하여 수질이 크게 개선됨을 확인할 수 있었다.
 5. 음수대 외관 재질에 관련해서는 석재재질보다 금속재질 음수대에서 정체수의 온도 상승이 더 컸고 아연 농도가 더 높게 나타났다.

6. 설치 환경에 따라서는 직사광선과 부분 그늘에 설치된 음수대의 정체수에서 구리, 아연, 니켈 농도가 항상 그늘에 설치된 음수대보다 높았다.

본 연구를 통해 공원 음수대의 안전한 수돗물 수질 관리를 위해 다음과 같은 사항이 필요함을 확인할 수 있었다. 음수대가 유지 보수 등으로 장기간 사용되지 않았다면 잔류염소가 안정화될 때까지 정체수를 충분히 배출해야 한다. 공원 음수대를 설치할 때는 스크류다운 타입의 수도꼭지를 사용하고, 외관 재질로는 석재를 선택하며, 설치 환경은 항상 그늘진 곳으로 설치하는 것이 좋다. 출수 용량별 모니터링 결과를 고려했을 때 수도꼭지 타입이 푸쉬버튼 타입이 아니라면 다른 설치 환경 요건을 완벽하게 갖추지 못하더라도 자주 사용 혹은 출수를 통해 안정적인 음용수로서의 역할을 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 장시간 사용이 되지 않는 음수대를 이용할 경우 1분 30초 정도 출수한 후에 음용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 국립환경과학원의 시도보건환경연구원 국고보조사업의 일환으로 진행되었습니다 (NIER-2023-01-03-002).

References

- Alshehri, A. (2008). *Impact of corrosion inhibitor blended orthophosphate on water quality in water distribution systems*, Ph.D. Dissertation, University of Central Florida, Orlando, Florida, USA, 22-49.
- Bae, C. H., Choi, D. Y., Lee, D. J., and Kim, D. H. (2014). A study of physical and chemical properties of internal accumulated material in water mains, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 28(5), 589-600. [Korean Literature] <https://doi.org/10.11001/jksww.2014.28.5.589>
- Chang, H. S., Lee, D. W., Kim, C. M., Lee, I. S., Lee, S. W., and Park, H. (2006). Characteristics of disinfection byproducts in tap water of Seoul, *Korean Chemistry Engineering Research*, 44(2), 216-226. [Korean Literature]
- Choi, T. H., Lee, D. J., Bae, C. H., and Moon, J. Y. (2016). Analyzing the effect of residual chlorine equalization for water quality improvement in water distribution system, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 30(5), 587-596. [Korean Literature] <https://doi.org/10.11001/jksww.2016.30.5.587>
- Farh, H. M. H., Ben Seghier, M. E. A., Taiwo, R., and Zayed, T. (2023). Analysis and ranking of corrosion causes for water pipelines: A critical review, *npj Clean Water*, 6(1), 65 <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00275-5>
- Hall, F. (1970). *Screw down taps and Valves*, In: Plumbing, Basic Building Series, Palgrave, London, 51-52. https://doi.org/10.1007/978-1-349-00867-4_25
- Joh, Y. M. (1997). A study on direct connection of water distribution system, *Journal of Korean Water Works Association*, 24(3), 112-123. [Korean Literature]
- Kim, G. S., Min, B. D., Park, S. J., Oh, J. H., Cho, I. H., Jang, S. J., Kim, J. H., Park, S. M., Park, J. H., Chung, H. M., Ahn, T. Y., and Jheong, W. (2013). Comparison of biofilm formed on stainless steel and copper pipe through the each process of water treatment plant, *Korean Journal of Microbiology*, 49(4), 313-320. [Korean Literature] <http://dx.doi.org/10.7845/kjm.2013.3083>
- Kim, M. H., Hyun, S. G., Lee, W. S., and Li, L. Y. (2017). The regulations and guidelines for management of corrosive water and pipe corrosion in drinking water distribution system in North America, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 33(3), 359-369. [Korean Literature] <https://doi.org/10.15681/KSWE.2017.33.3.359>
- Korean Water Works Association (KWWA). (1997). A study on water distribution system by direct connection to mains, *Journal of Korean Water Works Association*, 24(3), 4-102. [Korean Literature]
- Lahlou, Z. M. (2003). Water hammer, *Tech Brief: A National Drinking Water Clearinghouse Fact Sheet*.
- Lee, H. S., Woo, D. S., Park, H. B., Chae, S. K., and Yum, K. T. (2014). A study on the variation of heavy metals in water distribution pipeline systems, *Journal of Water Treatment*, 22(5), 85-91. [Korean Literature]
- Lee, J. W., Noh, Y. R., and Park, J. H. (2017). Influences of pH on heavy metal leaching in water supply pipelines, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 37(1), 73-82. [Korean Literature] <https://doi.org/10.12652/Ksce.2017.37.1.0073>
- Lee, Y. H. and Choi, G. G. (2002). The effect of air chamber placed in water supply piping system, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 14(12), 1047-1055. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2003-2022). *Water supply statistics*, 11-1480000-000181-10, 40-343. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2016). *Effect on water quality and corrosion control of distribution systems using chemical inhibitors in WTPs(I)*, NIER-Rpp. 2016-307, 22-26. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2018). *Research on introducing lifetime health advisory for tap water*, NIER-SP2018-210, 1-62. [Korean Literature]
- Noh, Y. R. and Park, J. P. (2017). Mathematical model simulations assessing the effects of temperature on residual chlorine concentrations in water storage tanks, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 33(2), 187-196. [Korean Literature] <https://doi.org/10.15681/KSWE.2017.33.2.187>
- Seo, G. T., Jung, H. R., Lee, H. D., Chung, W. S., and Gee, C. S. (1998). Characteristics of water quality parameters on enhancing and inhibiting corrosion in water distribution system, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 20(8), 1151-1160. [Korean Literature]
- Simoni, T., Bellinger, J., Tredoux, J., Cuthbertson, K., DeLashmutt, M., Larson, D., and Schock, M. (2021).

- Variability and sampling of lead (Pb) in drinking water: Assessing potential human exposure depends on the sampling protocol, *Environment International*, 146, 106259. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106259>
- Song, Y. I., Ann, S. N., Ann, S. Y., Seo, D. G., Cho, H. J., Lee, J. S., Choi, I. W., Shin, C. S., and Lee, H. S. (2016). Variation of disinfection-by-product in distribution system and evaluation of correlation between disinfection-by-product and physico-chemical parameters, *Journal of Korean Society of Environmental Engineering*, 38(2), 63-70. [Korean Literature] <https://doi.org/10.4491/KSEE.2016.38.2.63>
- Yu, S. J., Park, S. J., Ahn, K. H., Kim, H. G., Kim, C. S., Jung, I. R., and Park, Y. B. (2008). The corrosion effect of the water pipelines in buildings according to drinking water quality, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 24(6), 701-708. [Korean Literature]
- Yu, S. J., Park, S. J., Kim, H. K., Ahn, K. H., Lee, Y. H., and Kim, C. S. (2008). *Study of the secondary contamination in the water distribution pipeline*, National Institute of Environmental Research, NIER, NO. 2008-86-1036, 19-53. [Korean Literature]