

## 민방위 비상급수(음용) 수질개선 방안에 관한 연구

윤나나\*, 이유정, 정유나, 박미희, 김유라, 김지원, 이정규

먹는물조사팀

### A Study on Plans for Water Quality Improvement of Emergency Water Supplies(Drinking Water)

Yoon Na-na\*, Lee Yoo-jeong, Jeong Yu-na, Park Mi-hee, Kim Yu-ra, Kim Ji-won, Lee Jung-gyu

*Drinking Water Research Team*

#### Abstract

This study was carried out to suggest an efficient water quality improvement strategy for emergency water supply (drinking water) in Busan.

In this study, facilities with more than three times of exceeding the standard were determined as intensive management facilities, based on the results of water quality analysis for emergency water supply in 2021. Either significantly reduced turbidity arising from cleaning water tank or efficiently removed microorganism from operating UV sterilization system could be obtained from the water quality managements conducted in 2022. In order to efficiently improve the water quality of the intensive management facilities, the water quality of the raw water (pumping well water) and the water supply stand was investigated. It has shown that air surging was efficient when raw water exceeds the standard, while cleaning water tank, chlorine disinfection, and install UV sterilization system seems to be efficient when water supply stand exceeds the standard.

As a result of investigating the proper operation method for chlorine disinfection, it has been investigated that one tablet containing 70 % calcium hypochlorite (about 5 g) was an appropriate amount for management of water quality in water tank of 5 tonnes. Duration time of sterilization was about 15 days and 10 days, at no use of emergency water and at daily 10 % usages, respectively. These results may provide operators with efficiency way for water quality improvement of emergency water supply.

Finally, the evaluation checklist for the efficient management of emergency water supply facilities was proposed.

**Key words** : *Emergency Water Supply, Intensive Management Facilities, Chlorine Disinfection, Evaluation Checklist*

## 서론

최근 수돗물 유출 사태와 낙동강을 취수원으로 하는 수돗물에서 독성물질인 마이크로시스틴 검출 논란 등으로 수돗물에 대한 우려가 커지고 있다. 환경부가 조사한 「2021 수돗물 먹는 실태 조사 결과 보고서」에 따르면 ‘수돗물을 그대로 먹거나 끓여서 먹는다’는 시도별 응답은 인천(17.6%), 경기(20.0%), 부산(21.6%) 순으로 가장 낮았고, 낙동강을 주된 상수원으로 이용하는 부산은 78.4%의 가구가 먹는물로 정수기나 먹는샘물, 우물물, 지하수 등을 이용하는 것으로 조사되었다<sup>1)</sup>. 지표수의 오염과 수돗물의 불신이 커질수록 대체 자원으로 지하수의 활용 가치는 커진다. 특히 상수원의 93%를 낙동강에 의존하는 부산은 낙동강 수질오염사고와 같은 비상사태 발생시 지하수는 대체 비상용수로 매우 중요한 수자원이다.

지하수란 지하의 지층이나 암석 사이의 빈틈을 채우고 있거나 흐르는 물로 대부분의 지하수는 강수 기원이며, 지표에 떨어진 빗물의 일부가 토양층을 침투하여 중력에 의해 위치에너지가 높은 곳에서 낮은 곳으로 암석의 공극이나 균열을 따라 이동한다<sup>2,3)</sup>. 지하수는 지층의 정화작용으로 정화되지만, 오염물질이 한계를 초과하여 한번 오염이 되면 정화하는데 많은 시간과 비용이 들어가므로 사전에 오염을 방지하도록 철저한 관리가 요구된다.

지하수를 이용하는 민방위 비상급수시설은 전쟁, 풍수해, 수원지 파괴 등과 같은 민방위 사태 발생으로 상수도 공급 중단 시 주민들에게 음용수 및 생활용수를 안정적으로 공급하기 위하여 관리하고 있는 시설이다. 비상급수시설은 비상사태시 용수 제공을 목적으로 하고 평시에는 시민에게 개방되어 운영되고 있다. 시설 종류는 정부지원시설, 지자체시설, 공공용시설로 정부지원시설은 정부지원금으로 설치한 시설이며, 지자체 시설은 지방자치단체가 설치한 시설, 공공용시설은 민간 및 정부·공공기관 등의 양수시설 중 시설주의 동의

를 얻어 지정한 시설을 말한다<sup>4)</sup>. 민방위 비상급수는 읍단위 이상 인구 1인당 1일 25 L(음용수 9 L, 생활용수 16 L)를 기준으로 지정하도록 되어있으며<sup>4)</sup>, 부산시는 2021년 12월 기준 비상급수시설 확보율이 96.7%로 전국 96.1%와 유사한 수준이다<sup>5)</sup>. 지정된 비상급수시설은 음용수는 분기별, 생활용수는 3년 1회 정기적으로 수질검사는 실시하고 있으나, 부적합이 발생해도 적절한 수질개선이 이루어지지 않아 지속적으로 부적합률이 높은 실정이다. 우리원 민방위 비상급수시설 조사결과에 따르면 최근 5년간 부산지역 비상급수(음용) 부적합률이 34.3~44.9%로 수질개선이 시급한 실정이며, 2021년 주요 부적합 항목은 미생물 91%, 탁도 5% 순으로 미생물 오염에 취약한 것으로 조사되었다<sup>6)</sup>. 이는 비상급수시설의 수질보다는 시설 확보율에 치중하여 수질관리가 소홀한 것으로 판단되며, 양적인 공급능력도 중요하지만 질적으로 만족하지 못한다면 비상급수의 목적에 부합되는 것이다. 비상급수시설의 목적에 맞게 비상시 안전하게 이용할 수 있도록 평상시 철저한 수질관리가 요구된다.

그간 비상급수에 대한 수질분석, 개선방안에 관한 연구가 있었으며, 이번 연구에서는 이와 연계하여 수질개선이 시급한 중점관리시설 선정 및 수질개선사업 시행에 따른 수질 변화를 조사함으로써 효율적인 관리방안에 대하여 고찰하고자 한다. 또한 민방위 비상급수시설의 평가표를 산출하여 비상급수시설 관리시 유용한 관리지침도 마련하고자 한다. 이를 통해 최종적으로 제도개선 제안 및 구체적인 관리요령 제시로 비상급수시설의 부적합률 저감하여 시민들에게 안전한 비상급수를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상 및 기간

부산지역 민방위 비상급수시설(음용)은 2022년 11월 기준 339개소이며, 시설종류에 따라 정부지원시설

Table 1. 민방위 비상급수시설(음용) 현황

구분	2022년 11월				2021년			
	합계	시설종류			합계	시설종류		
		정부지원	지자체	공공용		정부지원	지자체	공공용
비상급수시설수	339	33	76	230	347	33	76	238
자외선 살균시설수	79	25	53	1	73	22	49	0
살균시설 설치율(%)	23.3	75.8	69.7	0.4	21.5	66.7	64.5	0.0

33개소, 지하체시설 76개소, 공공용시설 230개소로 분류된다. 이 중 공공용시설이 전체 시설의 67.8 %로 가장 많이 차지하였다. 자외선 살균시설은 2022년 11월 기준 79개소로 설치율 23.3 %이며, 2022년 신규 설치된 1개 시설을 제외하고 모두 정부지원시설과 지하체시설에 설치되어 있다. 본 연구에서는 2021년 수질검사 결과를 이용하여 중점관리시설 선정하고 2022년 수질개선사업 시행에 따른 개선 효과 및 수질관리 방안을 조사하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 중점관리시설 선정과 현장조사

2021년 연 4회 실시한 수질검사 결과를 이용하여 연간 부적합 횟수에 따라 비상급수시설의 각 시설별 수질 등급을 분류하였다. 수질 등급은 총 4단계로 1년에 부적합 횟수가 0회 안심, 1회 양호, 2회 주의, 3회 이상 우려 등급으로 하였으며 이는 먹는물공동시설(약수터) 관리 등급을 차용하였다. 이 중 연간 부적합 횟수가 3회 이상인 우려 등급 시설을 중점관리시설로 선정하였다. 선정된 중점관리시설에 대하여 비상급수시설 관리카드를 이용하여 기본적인 사항을 파악하고, 현장 점검을 실시하여 각 시설의 현황 및 문제점을 조사하였다.

### 2.2 중점관리시설 수질개선사업 시행 및 개선안 제시

수질개선사업으로 관정 청소, 저수조 청소, 자외선 살균시설 설치(수리)가 있으며, 개선사업은 예산이 수반되어야 해 구군과 협의하여 예산 투입 가능한 시설에 수질개선사업을 시행하였다. 중점관리시설의 수질 개선 전후 수질 변화를 조사하여 실제 수질개선 효과를 조사하고, 효율적인 수질개선안 제시를 위해 비상급수(지하수) 원수와 음수대의 수도꼭지수 수질을 비교 조사하였다. 조사항목은 주요 부적합 항목인 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 탁도로 먹는물공정시험기준7)에 따라 분석하였다. 최종적으로 시설별 문제점을 파악하여 유형별 수질개선안을 제시하였다.

### 2.3 약품소독의 적정 운영방법 조사

약품소독의 경우 염소소독이 가장 대표적인 소독방법으로 염소소독은 트리할로메탄 등 유기염소화합물을 생성하며 특정물질과 반응하여 냄새를 일으키기도 하지만 소독효과가 우수하고 잔류성이 커 가장 현실적이고 우수한 소독방법으로 오랫동안 이용되어 왔다8).

민방위 비상급수시설은 주로 고체염소 소독제인 차아염소산칼슘(클로로칼키, Calcium Hypochlorite)을 일선 담당자나 시설 관리자들이 직접 투입하고 있는 실정이다. 하지만 적절한 염소처리가 되지 않을 경우 잔류염소가 거의 없어 미생물 관리가 취약해지거나 지나치게 높은 농도의 잔류염소는 냄새가 발생되어 거부감을 주기도 한다9). 또한 과다 투입시 먹는물(지하수) 수질기준 적용을 받지 않는 유리잔류염소와 소독부산물에 고농도로 검출되기도 한다. 이에 고체염소 소독시 적정 투입량과 살균지속시간을 조사하여 비상급수시설 담당자들이 효과적으로 미생물을 제거할 수 있도록 약품소독의 적정 운영방법을 제시하고자 한다.

이론적인 고체염소 투여량10, 11)은 아래와 같은 식으로, 이 식을 적용하여 예비실험을 실시하였다. 예비실험은 실험실 내 수조에 비상급수(지하수) 70 L를 채우고 고체염소 소독제(70 % 차아염소산칼슘)를 이용하여 실험하였으며, 실험하는 동안 비상급수 미사용을 전제로 추가되는 용수는 없었다. 예비실험을 통해 이론적인 고체염소 투여량이 실제 적절한 수준인지 조사하고 최종적으로 적절한 고체염소 투여량을 산정하였다.

$$\text{고체염소 투여량(g)} = A(L) \times B(\text{mg/L}) \times \frac{100}{C(\%)} \times \frac{1g}{1,000\text{mg}}$$

A 물사용량 : 소독할 물의 양(L)

B 기준염소량(mg/L) : 원하는 잔류염소 농도

C 유효염소량(%) : 염소 알약에 표시된 염소 함량(보통 70%)

예비실험을 거쳐 도출된 고체염소 소독제의 적정 투입량을 비상급수시설에 현장 적용하여 비상급수 사용과 미사용시 구분하여 살균지속시간을 조사하였다. 현장 적용시설은 5톤 저수조를 갖춘 동래구의 D비상급수시설로, 약품소독만의 처리효과를 알아보기 위해 자외선 살균시설은 미설치된 시설로 선정하였다. 수질조사 항목은 미생물 항목과 염소소독의 적정 여부를 살펴보기 위해 유리잔류염소와 소독부산물 5종을 추가하였으며 먹는물수질공정시험기준7)에 따라 분석하였다. 유리잔류염소는 먹는물수질공정시험기준7) ES 05310.3a(DPD 분광법), 소독부산물 5종(총트리할로메탄(THMs), 클로로포름(CF), 브로모디클로로메탄(BDCM), 디브로모클로로메탄(DBCM), 브로모포름

(BF)은 먹는물수질공정시험기준7) ES 05601.1d(퍼지.트랩-기체크로마토그래피-질량분석법)에 따랐다.

### 2.4 시료채취 방법에 따른 수질 변화 조사

시료채취시 요령으로 고인물을 빼도록 안내하고 있으나 실제로 고인물 빼는 시간에 따른 수질 변화를 조사하여 일선 담당자들이 시료채취시 적정한 방안을 도출하고자 한다. 수질조사 대상시설은 12개소로 선정하였고, 수질조사 항목은 미생물, 탁도로 먹는물수질공정시험기준7)에 따라 분석하였다.

### 2.5 민방위 비상급수시설의 평가표 제안

앞에 살펴본 비상급수시설의 시설관리와 수질관리 등 관련 주요 인자들을 고려하여 평가인자를 선정하였고, 각 인자별 평가기준을 3단계(양호, 보통, 미흡)로 분류하여 최종적으로 민방위 비상급수시설의 평가표를 제안하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 중점관리시설 선정 및 현장조사 결과

#### 1.1 중점관리시설 선정

부산지역의 음용수로 지정된 비상급수시설은 2021년 기준 347개소로 시설당 연 4회 수질검사를 실시하여 부적합 횟수에 따라 수질등급을 분류하였다. 수질등급은 총 4단계로 1년에 부적합 횟수가 0회 안심, 1회 양호, 2회 주의, 3~4회 우려 등급으로 하였다. 2021년 수질검사 결과 연 4회 모두 적합한 안심 등급 시설은 182개소로 전체 시설의 52.4 % 차지하였으며, 양호 등급 91개소(26.2 %), 주의 등급 49개소(14.1 %), 우려 등급 25개소(7.2 %)로 조사되었다(Fig. 1.).

2021년 비상급수시설 구군별 수질등급은 Fig. 2.와 같으며 대체로 비상급수시설이 많은 구군일수록 주의, 우려등급 시설이 많았다. 이는 각 구군별 비상급수시설 담당공무원은 대체로 1명으로 시설수가 많은 구군일수록 관리가 쉽지 않음을 알 수 있었다. 2021년 우려등급 시설은 금정구 6개소, 영도구 5개소, 동래구 4개소, 해운대구와 북구 각 3개소, 연제구와 부산진구 각 2개소 순으로 총 25개소였다. 우려등급 25개소 중 2022년 지정 해제된 5개소 제외하고 20개소를 최종적으로 중점관리시설로 선정하고, 중점관리시설별 현황 및 문제점을 파악하여 맞춤 개선안을 제시하고자 한다.

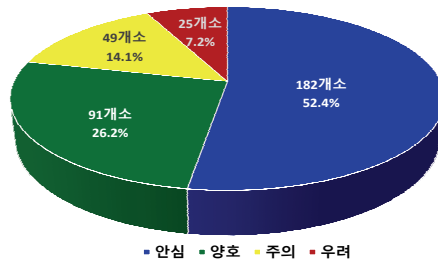


Fig. 1. 2021년 비상급수시설 수질등급 분류

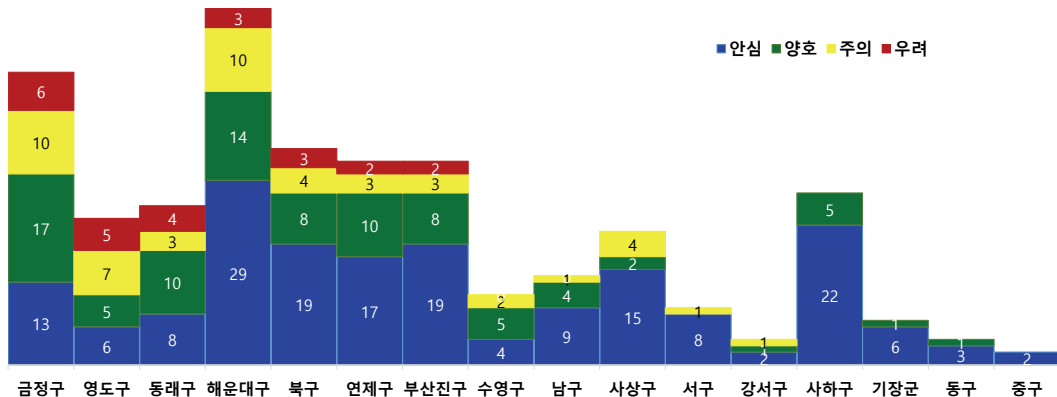


Fig. 2. 2021년 비상급수시설 구군별 수질등급 분류

1.2 중점관리시설 현장조사 결과

중점관리시설로 선정된 7개구 20개 시설에 대해 민방위 비상급수시설 관리카드를 이용하여 심도, 설치년도 등 기본적인 사항을 파악하고, 현장 점검하여 관정, 저수조, 살균시설 등 전반적인 시설 상태를 조사하였다. 선정된 중점관리시설의 현황은 Table 2에 나타내었다.

중점관리시설의 현장조사 결과 부적합 주요 요인은 관정, 저수조, 음수대의 관리 부실 및 주변 환경 부적절한 것으로 판단되었다.

중점관리시설의 관정을 살펴보면 모두 10년 이상 되었으며 이 중 20년 이상 된 관정이 15개소로 대부분 노후되었다. 현장조사 결과 특히 공공용시설의 관정은 상부보호공 덮개를 열 수 없을 만큼 방치되어 있는 시설도 있었다. 지하수 개발·이용시 지하수법 시행규칙 제28조(오염방지시설의 설치기준)에 따라 외부 오염물질 유입을 차단하기 위해 적절한 상부보호공 덮개 설치와 지표하부보호벽(케이싱)의 윗부분은 지표면에서 최소 30cm 이상 방지력을 유지해야 한다. 하지만 현

장조사 결과 관정 주변 상부보호공의 덮개가 부실하거나, 케이싱의 높이가 바닥과 유사하여 외부 오염에 취약한 상황이었다(Fig. 3(a)). 따라서 방지턱 높이 확보는 물론 관정 상부를 보호하여 관정 내에 주변 오염물질이 유입되지 않도록 해야 한다.

저수조의 경우 노후화 및 파손으로 인한 균열로 오염에 노출된 상태였으며, 저수조 청소도 주기적으로 실시하지 않아 내부에 입자상 오염물질이 침전되어 탁도가 높은 상태였다(Fig. 3(b)). 특히 지상에 노출된 콘크리트 저수조는 외관상 균열이 심해 보수가 시급한 상황이었다. 콘크리트 저수조는 박리현상이 있어 청소시 주의해야 하며, 꼼꼼히 세척하지 않으면 틈새 미생물이 쉽게 번식하기 때문에 저수조 청소 후에도 미생물이 부적합하는 경우가 많았다. 지상 FRP 저수조는 외부 노출로 인한 물탱크 변형 및 외부오염 유입 방지를 위해 물탱크 보호시설을 갖추는 것이 효과적이다. 현장조사시 저수조 관리가 부실한 시설이 가장 많았으며, 1년에 2회 정기적인 청소 실시 및 청소시 균열이 난 곳이 있으며 수리하는 등 철저한 관리가 요구된다.

Table 2. 중점관리시설 현황

해당구	시설명	시설 종류	설치 년도	심도	저수조 유무	저수조 위치	저수조 재질	살균시설 설치년도	부적합 항목	부적합 요인
금정구 (6)	국청사뒤	지자체	1995	200	○	지상	콘크리트	2022	미생물	저수조, 음수대 부적절
	1통지앞	지자체	1998	150	○	지상	콘크리트	X	미생물	저수조, 음수대 부적절
	2통지앞	지자체	1997	170	○	지상	스테인리스	X	미생물, 탁도	저수조, 음수대 부적절
	태평양아파트	공공용	1992	130	○	지상	FRP	X	미생물	관정, 저수조 부적절
	선경1,2차APT 8동	공공용	1990	100	X	-	-	X	미생물	관정, 음수대 부적절
	선경3차APT 311동	공공용	1992	150	○	지상	콘크리트	X	미생물	저수조 오염
영도구 (5)	조양아파트	지자체	1988	100	○	지상	콘크리트	X	미생물	저수조 균열
	도개공영구임대	공공용	1992	150	○	지하	콘크리트	X	미생물	관정 부적절
	문화예술회관2	지자체	2009	100	X	-	-	X	미생물, 탁도	관정 부적절
	경동빌라	공공용	1996	150	○	지하	콘크리트	X	미생물	저수조, 음수대 부적절
해운대 (3)	동삼그린힐아파트	공공용	1990	140	○	지상	FRP	2022	미생물	저수조, 음수대 부적절
	해월정사	정부지원	2005	130	○	지하	콘크리트	2016	미생물	관정, 살균시설 부적절
	해림사	공공용	2007	160	○	지상	FRP	X	미생물	관정 부적절
동래구 (2)	금호아파트	공공용	1993	60	X	-	-	X	미생물	관정, 음수대 부적절
	체육시설관리소	지자체	1995	100	○	지상	FRP	X	미생물, 탁도	저수조 균열
연제구 (2)	삼정그린코아아파트	공공용	2011	150	X	-	-	X	미생물	관정 부적절
	한일유엔아이아파트	공공용	2006	200	○	지상	FRP	X	미생물, 탁도	저수조 오염
북구(1)	연산중학교	공공용	1981	100	○	지상	FRP	X	미생물	저수조 균열
	유림1차아파트	공공용	1990	100	X	-	-	X	미생물	관정, 음수대 부적절
부산진(1)	고원아파트	공공용	1994	100	○	지상	FRP	X	미생물	음수대 부적절

음수대의 경우 노후화된 수도꼭지와 수도꼭지에 장착된 호스 등으로 인해 오염될 수 있어 수도꼭지 교체 및 시료채취시 호스 제거하고 멸균한 후 시료채취하도록 한다. 음수대가 쓰레기 분리장 내 위치한 곳도 3개 시설로 외부 오염물질로 인한 오염을 차단하도록 쓰레기 분리장과 분리하여 주변관리를 청결히 해야 한다 (Fig. 3(c)).

2. 중점관리시설 수질개선사업 시행 및 개선안 제시

2.1 중점관리시설 수질개선사업 시행 결과

중점관리시설 20개소 중 10개소에 수질개선사업이 실시되었으며, 정부지원시설 1개소, 지자체시설 5개소 (지정해제 예정 1개소 제외) 모두 수질개선을 실시하

였다. 공공용시설은 구군에서 예산투입이 쉽지 않은 시설로 13개소 중 4개소(영도구 3개소, 연제구 1개소)에 수질개선 실시하였다. 중점관리시설 10개소 수질개선사업 시행 전후 수질결과는 Table 3에 나타내었다.

국청사뒤 시설은 총 3번의 수질개선을 순차적으로 시행하였는데 3월 자외선 살균시설 설치로 미생물만 개선효과가 있었으며, 5월 관정 청소 후 여전히 탁도가 부적합하였고, 6월 저수조 청소 후 탁도까지 모두 적합하였다. 탁도가 부적합한 다른 2개 시설(1통지암, 연산중학교)도 저수조 청소 후 최종적으로 수질이 개선되어 저수조 청소는 탁도 제거에 효과적인 관리방법임을 알 수 있었다.

미생물이 부적합하여 저수조 청소를 실시한 5개소



<주변환경 부적절>



<상부보호공 상실>  
(a) 관정부



<케이싱 부적절>



<지상저수조 균열>



<지하저수조 위치 부적절>  
(b) 저수조



<저수조 오염>



<주변환경 부적절>



<수도꼭지 노후화>  
(c) 음수대



<음수대 부적절>

Fig. 3. 중점관리시설 현장조사 미흡 사례

중 2개소(2통지앞, 조양아파트) 적합, 3개소(도개공영구임대, 해월정사, 체육시설관리소) 부적합하였다. 하지만 적합으로 개선된 2개소(2통지앞, 조양아파트)의 유리잔류염소가 각각 1.5 mg/L, 1.0 mg/L 검출되어 약품소독으로 인한 효과임을 알 수 있었다. 저수조 청소는 청소업체에서 청소 마무리시 약품소독을 실시하는데 잔류염소가 잔존하면 미생물 적합, 잔류염소가 없어지면 미생물 부적합한 경우가 많아 저수조 청소로 인한 미생물 개선효과는 매우 낮고, 약품소독을 병행 실시하여야 미생물 개선 효과가 있음을 알 수 있었다. 따라서 이들 시설은 저수조 청소와 주기적인 약품소독 실시가 요구된다.

체육시설관리소 시설은 3월 관정 청소, 11월 저수조 청소 후에도 미생물이 부적합하였는데, 11월 저수조 청소시 미세한 균열이 발견되어 우선 저수조 수리가 필요하며 이후 약품소독을 주기적으로 실시하도록 한다. 해월정사 시설은 유일하게 자외선 살균시설이 설치된 시설임에도 불구하고 지속적으로 미생물이 부적합하였으며, 현장조사 결과 자외선 살균시설이 고장난 상태로 방치되어 있었고 이번 수질개선시 반영되지 않아 우선적으로 자외선 살균시설 수리가 시급하다. 동삼그린힐아파트는 5월에 관정 청소와 자외선 살균시

설 설치를 동시에 실시한 후 11월 조사까지 지속적으로 적합하여 수질개선 효과가 가장 좋은 것으로 나타났다. 동삼그린힐아파트는 공공용시설임에도 불구하고 주민들의 민원을 적극 수용하여 예산 투입함으로써 수질개선이 된 좋은 사례이다.

2022년 자외선 살균시설 신규 설치된 2개시설(국청사뒤, 동삼그린힐아파트)은 개선사업 실시 후 미생물 항목은 지속적으로 적합으로 조사되어 미생물 개선에 가장 효과적인 관리방법임을 알 수 있었다. 자외선 소독은 물의 탁도가 높을 경우 소독 효과를 저하시키기 때문에 평상시 램프 관리(12)는 물론 주기적으로 저수조 청소도 실시하여야 한다. 자외선 살균시설 설치시에는 수조형태보다는 관로형이 좀 더 효과적이며, 음수대까지 이격거리가 짧을수록 살균효과가 좋은 것으로 조사(13)되어 향후 신규 설치시 이런 점을 고려하여 설치한다면 미생물 제거에 효과적일 것이다.

2022년 예산 투입된 수질개선사업을 살펴보면 비상급수시설(음용) 339개소 중 관정 청소 45개소, 저수조 청소 71개소(38개소 상하반기 실시) 109회, 자외선 살균시설 설치(수리) 25개소 실시하였다. 이 중 공공용시설은 단 8개소(영도구 7개소, 연제구 1개소)만 개선사업이 시행되었다. 대부분의 지자체가 정부지원시설과

Table 3. 중점관리시설의 수질개선사업 전후 수질 변화

해당구	시설명	시설종류	개선방법	개선시기	개선효과	수질개선사업 전				수질개선사업 후			
						일반세균(CFU/mL)	총대장균군(/100mL)	분원성대장균군(/100mL)	탁도(NTU)	일반세균(CFU/mL)	총대장균군(/100mL)	분원성대장균군(/100mL)	탁도(NTU)
금정구	국청사뒤	지자체	자외선	3월	미생물	23	D	ND	3.24	1	ND	ND	3.05
			관정	5월	-	1	ND	ND	3.05	12	ND	ND	2.17
			저수조	6월	탁도	12	ND	ND	2.17	2	ND	ND	0.40
	1통지앞	지자체	관정	5월	-	1	ND	ND	3.87	8	ND	ND	4.41
			저수조	10월	탁도	3	ND	ND	1.74	4	ND	ND	0.38
	2통지앞	지자체	저수조	6월	미생물	290	D	D	0.42	1	ND	ND	0.14
영도구	조양아파트	지자체	저수조	4월	미생물	67	D	ND	0.19	0	ND	ND	0.09
	도개공영구임대	공공용	저수조	9월	-	93	D	ND	0.20	120	D	ND	0.16
	경동빌라	공공용	관정	10월	-	12	D	ND	0.07	10	D	ND	0.13
	동삼그린힐아파트	공공용	관정/자외선	5월	미생물	16	D	ND	0.11	0	ND	ND	0.17
해운대	해월정사	정부지원	저수조	11월	-	170	D	ND	0.18	92	D	ND	0.09
동래구	체육시설관리소	지자체	관정	3월	-	460	ND	ND	0.15	520	ND	ND	0.18
			저수조	11월	-	150	D	ND	0.40	970	ND	ND	0.23
연제구	연산중학교	공공용	저수조	3월	탁도	10	ND	ND	8.92	7	ND	ND	0.20

※ D: Detected, ND: Not Detected

지자체시설에 일률적으로 수질개선사업을 실시하고 있는데, 부적합이 잦은 중점관리시설에 우선적으로 수질개선사업을 실시한다면 비상급수시설 부적합률 저감에 효과적일 것으로 판단된다.

2.2 중점관리시설 유형별 수질개선안 제시

중점관리시설의 부적합 원인 파악 및 효율적인 수질개선안 제시를 위해 관정 내 출수장치에서 채수한 비상급수(지하수) 원수와 음수대의 수도꼭지수를 각각 채수하여 수질을 비교하였다. 중점관리시설의 비상급수 원수와 수도꼭지수 비교한 수질검사 결과는 Table 4에 나타내었다. 수질조사 결과 총 4개 유형으로 구분되었으며, 각 유형별 수질개선을 아래와 같이 제시하였다.

첫째 원수와 수도꼭지수가 모두 부적합한 경우로, 이 경우 원수 개선을 위해 관정 청소 실시하고 저수조가 있는 시설은 저수조 청소 및 약품소독을 병행 실시하는 것이 가장 효과적이다. 관정만 청소한 경우 저수조 오염으로 인해 수질개선 효과가 미비하였고, 저수조 청소만 실시하는 경우 소독약품의 지속시간이 끝나면 미생물이 부적합하였다. 따라서 이 경우 우선 관정과 저수조를 동시에 청소하고, 약품소독을 주기적으로

실시하도록 한다. 또한 미생물 제거 목적으로는 예산 투입이 가능하다면 자외선 살균시설 설치가 미생물 제거에 가장 효과적이다.

둘째 원수는 적합하나 수도꼭지수가 부적합한 경우로 2개 시설이 해당되며, 이들 시설은 저수조 관리부실로 부적합한 것으로 판단된다. 현장조사 결과 1개 시설은 지하저수조가 건물 외부 노천 지하에 설치되어 지표면의 오염물질에 노출되어 있었으며, 또 다른 시설은 지상저수조로 저수조 균열 및 내부에 오염물질이 퇴적되어 탁도가 매우 높은 상태였다. 이런 유형의 시설은 저수조의 노후화 및 오염여부, 관로의 노후화 및 파손 여부를 우선 점검하고 개선토록 해야 한다. 그리고 수도꼭지수만 부적합한 경우는 시료 채취시 오염될 가능성도 있어 시료채취시 주의가 요구된다.

셋째 음수대 미설치로 수도꼭지수는 없고 원수가 부적합한 경우다. 이에 해당되는 시설은 3개소로 공통적으로 탁도가 부적합한 것으로 조사되었다. 금정구 2개 시설(1통지앞, 2통지앞)은 마을상수도과 동일한 시설로 공동음수대가 갖춰지지 않았고, 영도구 1개 시설(문화예술회관2)은 음수대가 미설치된 시설로 평상시 물사용량이 없어 오랜 시간 정체되어 탁도가 매우 높았다. 이런 유형의 시설은 원수 개선을 위해 관정 청소

Table 4. 중점관리시설의 비상급수 원수와 수도꼭지수 수질 비교

해당구	시설명	원수				수도꼭지수			
		일반세균 (CFU/mL)	총대장균군 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	탁도 (NTU)	일반세균 (CFU/mL)	총대장균군 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	탁도 (NTU)
금정구 (6)	국청사뒤	12	D	ND	2.31	23	D	D	3.24
	1통지앞	1	ND	ND	3.87	공동 음수대 미설치			
	2통지앞	11	ND	ND	1.62	공동 음수대 미설치			
	태평양아파트	채수 불가				460	D	ND	0.25
	선경1.2차APT 8동	채수 불가				62	D	ND	0.13
	선경3차APT 311동	8	D	ND	0.18	13	D	ND	0.22
영도구 (5)	조양아파트	57	D	ND	0.15	91	D	ND	0.10
	도개공영구임대	채수 불가				170	D	ND	0.24
	문화예술회관2	35	D	ND	8.92	음수대 미설치			
	경동빌라	5	ND	ND	0.13	34	D	ND	0.14
	동삼그린힐아파트	36	D	ND	0.11	28	D	ND	0.17
해운대구 (3)	해일정사	160	D	ND	0.17	280	D	ND	0.10
	해립사	채수 불가				39	D	ND	0.24
	금호아파트	채수 불가				93	D	ND	0.15
동래구 (2)	체육시설관리소	0	ND	ND	0.13	150	D	ND	0.40
	삼정그린코아아파트 101동	채수 불가				33	D	ND	0.14
연제구 (2)	한일유엔아이아파트	42	D	ND	1.69	150	D	ND	0.36
	연산중학교	16	D	ND	0.15	16	D	ND	0.20
북구(1)	유림1차아파트	채수 불가				570	D	ND	0.24
부산진구(1)	고원아파트	채수 불가				52	D	ND	0.37



를 실시하고 평상시 주기적으로 물을 펌핑하여 지하수가 순환되도록 관리해야 한다.

넷째 원수 시료채취 불가로 수도꼭지수만 부적합한 경우이다. 관정 주변 출수장치 미설치 6개소, 상부보호공 고장 2개소로 원수 검사가 불가한 시설은 8개 시설이었다. 이들 시설 모두 공공용시설로 소유주들의 시설 방치로 관리가 부실한 것으로 조사되었으며, 지하수법 시행규칙 제10조에 따른 출수장치도 없어 이에 대한 시설보완이 필요하다. 이런 유형은 저수조를 갖

춘 시설은 저수조 청소와 약품소독을 실시하고, 저수조가 없는 시설은 자외선 살균시설 설치를 권고한다.

### 3. 약품소독의 적정 운영방법 조사

문헌조사 및 예비실험을 통해 고체염소 소독시 적정 투입량을 정한 다음, 이를 비상급수시설에 현장 적용하여 비상급수 사용과 미사용시 구분하여 살균지속시간을 조사하였다.

Table 5. 예비실험시 염소소독 전후 수질조사 결과

경과시간	1차 실험				2차 실험				3차 실험			
	일반세균 (CFU/mL)	총대장균군 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	유리잔류 염소 (mg/L)	일반세균 (CFU/mL)	총대장균군 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	유리잔류 염소 (mg/L)	일반세균 (CFU/mL)	총대장균군 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	유리잔류 염소 (mg/L)
소독 전	75	D	ND	0.00	260	D	ND	0.00	570	D	ND	0.00
소독 1시간 후	11	ND	ND	0.01	0	ND	ND	0.01	0	ND	ND	0.07
소독 2시간 후~지속시간 종료	0	ND	ND	0.01~0.23	0	ND	ND	0.01~0.69	0	ND	ND	0.01~3.17

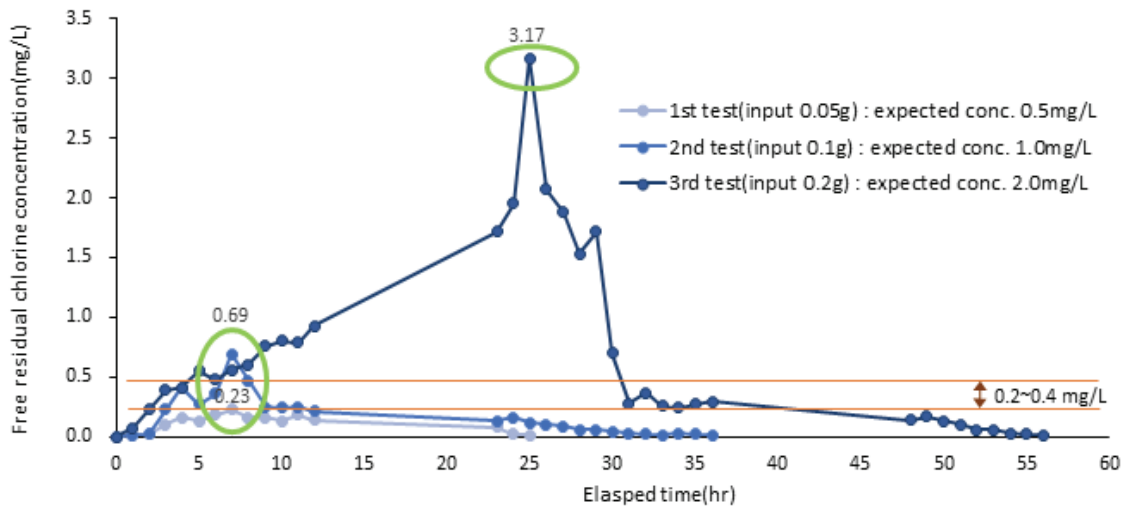


Fig. 4. 고체염소 투입량에 따른 유리잔류염소 농도 변화



Fig. 5. 염소소독 실험

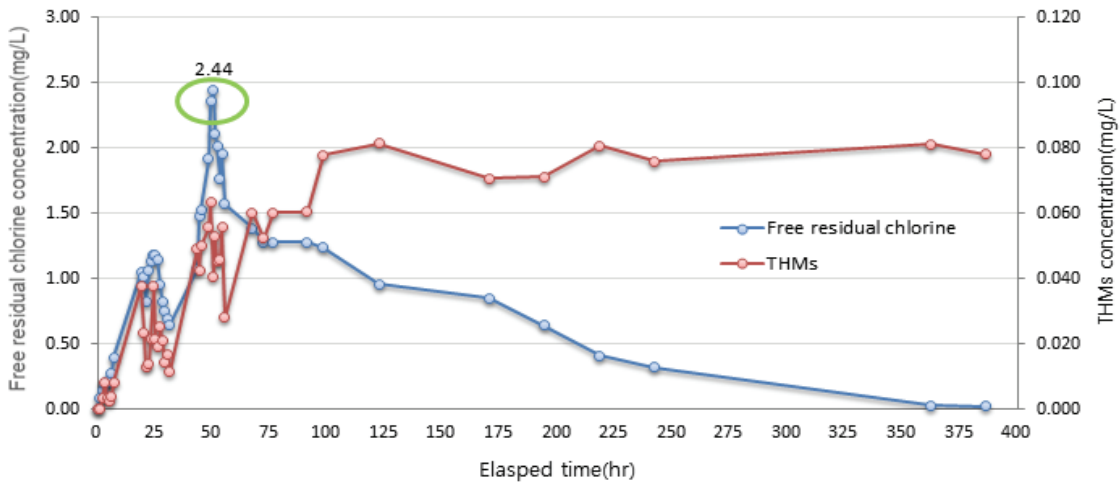
3.1 예비실험을 통한 고체염소 적정 투입량 선정

염소소독시 살균력을 가지는 적정농도는 0.2~0.4 mg/L이며 식중독 발생시 기준염소 농도를 0.5 mg/L 이상으로 처리하도록 되어있다(10). 이에 기준염소량을 0.5 mg/L로 선정하고 1차 예비실험을 실시하였다. 문헌조사에 따른 고체염소 투입량 계산식(10,11)에 따라 1차 실험시 비상급수 70 L에 70 % 차아염소산칼슘 0.05 g 투입하였다. 그 결과 유리잔류염소 최대 농도는 소독 후 7시간 뒤 0.23 mg/L로 예상농도(0.5 mg/L)보다 낮게 검출되었고 지속시간은 25시간이었다.

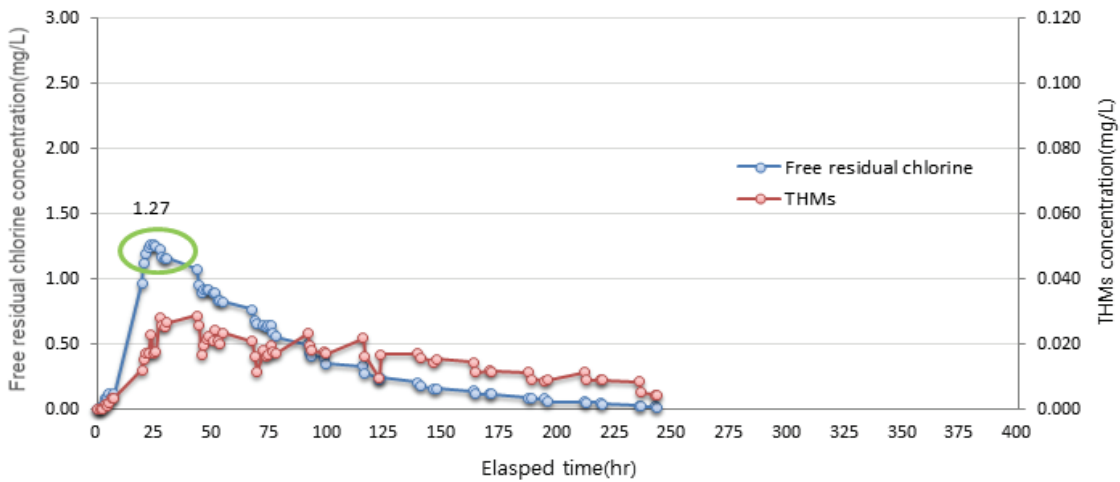
2~3차 실험은 기준염소량을 상향하여 1 mg/L, 2 mg/L로 재선정하고 비상급수 70 L에 70 % 차아염소산칼슘 0.1 g, 0.2 g 각각 투입하였다. 2차 실험은 유

리잔류염소 최대 농도가 소독 후 7시간 뒤 0.69 mg/L로 예상농도(1 mg/L)보다 낮았고, 지속시간은 36시간으로 조사되었다. 3차 실험은 유리잔류염소 최대농도가 3.17 mg/L로 1, 2차 실험과 달리 예상농도(2 mg/L)보다 높게 나타났고 지속시간은 56시간으로 조사되었다. 1~3차 실험시 유리잔류염소 농도 변화는 Fig. 4와 같으며 최대농도 검출 이후 급격하게 잔류염소 농도가 감소한 다음 지속됨을 알 수 있다.

1~3차 실험시 사용한 비상급수(지하수) 수질조사 결과 염소소독 전 일반세균이 75~570 CFU/mL, 총대장균군 검출로 부적합하였으나 염소소독 실시 1시간 후부터 잔류염소가 지속될 때까지 모두 수질기준 이내로 조사되었다(Table 5). 예비실험 결과 고체염소 소독제의 직접 투입방법은 확실한 소독효과는 얻을 수 있으



(a) 비상급수 미사용시



(b) 비상급수 사용시

Fig. 6. 비상급수 사용 유무에 따른 유리잔류염소와 THMs 농도 변화

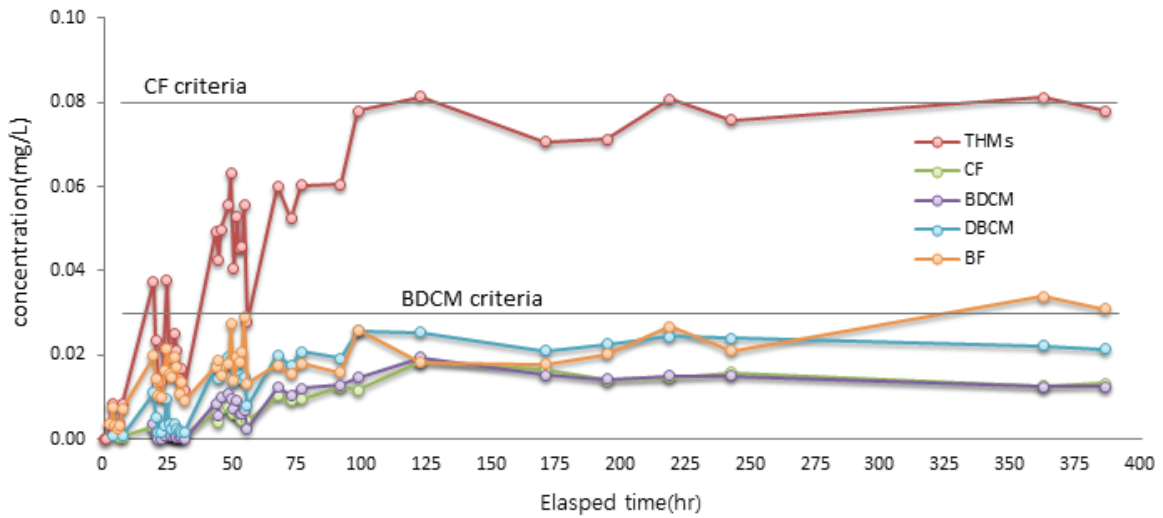
나 수조 내에서 확산이 균질하게 이뤄지지 않아 안정적인 잔류염소농도를 유지하기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

예비실험 결과 기준염소농도 0.5~1 mg/L시 실제 잔류염소농도는 0.23~0.69 mg/L로 나타났으며, 살균 적정농도가 0.2~0.4 mg/L임을 고려하여 적정한 기준 염소농도로 0.75 mg/L로 선정하였다. 고체염소 적정 투입량은 선정된 기준염소농도(0.75 mg/L)를 고체염소 투여량 계산식에 산입하고, 각 비상급수시설의 저수조 용량에 맞춰 산정하면 된다. 고체염소 투여량은 원수 수질에 따라 잔류염소 농도조정이 필요하나 지하수의 경우 유기물질 농도가 대부분 낮아 이 변수에서

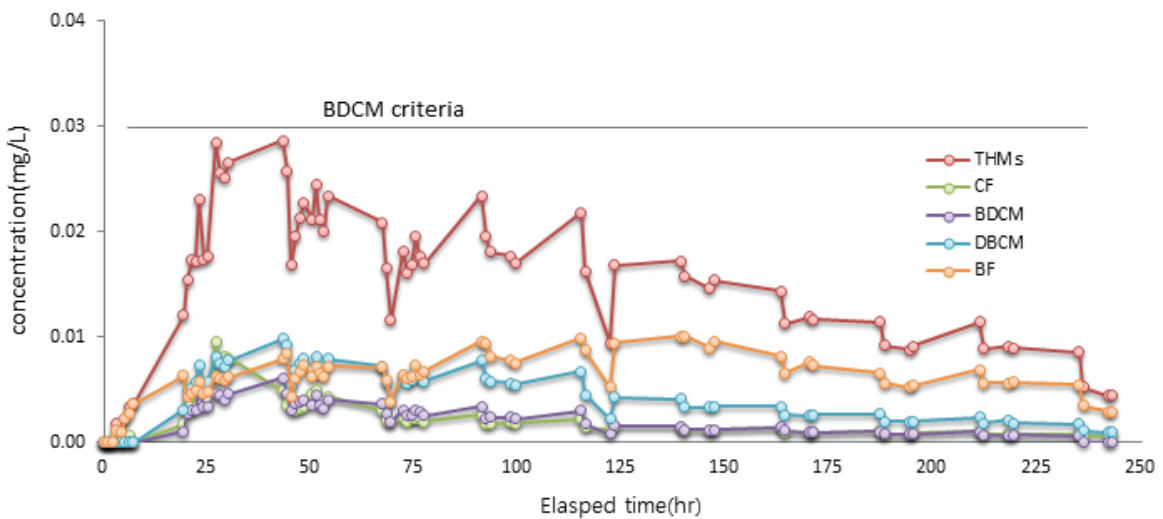
제외시켰다. 또한 일선 담당자들이 쉽게 관리하도록 수온, pH 등 변수들도 제외시켰다.

### 3.2 고체염소 소독 현장 적용 결과

문헌조사와 예비실험을 통해 고체염소 소독시 적정 투입량을 선정하였고, 이를 비상급수시설에 현장 적용하여 비상급수 사용과 미사용시 구분하여 살균 지속시간을 살펴보았다. 대상 시설은 자외선 살균시설이 미설치된 동래구 D비상급수시설로 선정하였다. 선정된 비상급수시설 5톤 저수조에 기준염소량 0.75 mg/L로 고체염소 투여량 계산한 결과 70 % 차아염소산칼슘 투입량은 5.35 g으로 시판되는 차아염소산칼슘 1정(약



(a) 비상급수 미사용시



(b) 비상급수 사용시

Fig. 7. 비상급수 사용 유무에 따른 소독부산물 농도 변화

5 g)을 사용하였다.

먼저 비상급수를 사용하지 않는 조건으로 펌프 작동을 멈춘 다음 5톤 저수조에 차아염소산칼슘 1정(약 5 g)을 투입하였다. 그 결과 최대 유리잔류염소농도는 소독 후 약 50시간 후 2.44 mg/L 검출되었고, 살균지속시간은 386시간(약 16일) 동안 지속되었다(Fig. 6(a)). 유리잔류염소는 최고 농도 검출된 이후 시간이 지날수록 감소한 반면 THMs는 100시간 이후부터 살균지속시간 끝나는 16일까지 지속적으로 높은 농도로 검출되었다. THMs 최대 0.0815 mg/L로 상수도 먹는물 수질기준(0.1 mg/L)의 약 80% 수준으로 높게 검출되었다. 예비실험시 예상잔류염소 0.5~1 mg/L 구간에서는 예상 농도보다 낮게 검출되었는데 현장 적용 결과 최대 유리잔류염소농도 2.44 mg/L로 예상잔류염소농도 0.75 mg/L 보다 약 3배나 높게 나타났다. 이는 예비실험보다 약 70배 큰 저수조에 투입된 약품이 저수조 내에서 잘 혼합되지 못하고 바닥에 가라앉은 상태로 천천히 용해되고 유출구가 바닥면과 가까워 예상보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

비상급수를 사용하는 조건은 개방시간이 있는 비상급수시설의 경우 일반적으로 오전(6시~10시)과 오후(4시~8시) 1일 2회 개방하는 것을 고려하여 오전 9시와 오후 4시 비상급수 사용하고 펌프를 가동하여 용수를 자동으로 공급하였다. 매일 5톤 저수조의 10% 비상급수를 사용하는 조건에서 잔류염소와 소독부산물 농도 변화를 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 6(b)와 같다. 비상급수 사용시 최대 유리잔류염소농도는 소독 후 23시간 뒤 1.27 mg/L로 검출되었으며, 지속시간은 243시간으로 약 10일간 지속되었다. 비상급수 미사용시보

다 유리잔류염소 최대농도가 2.44 mg/L에서 1.27 mg/L으로 약 50% 낮은 수준으로 27시간이나 빨리 검출되었다. 이는 유출된 양만큼 용수가 유입되는 과정에서 교란으로 인한 확산과 희석으로 인해 비상급수 미사용시보다 낮은 농도로 빠른 시간 내에 도달한 것으로 판단된다<sup>14)</sup>.

소독부산물 5종 수질검사 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 비상급수 미사용시에는 최대 농도가 THMs 0.0815 mg/L(기준 0.1 mg/L), CF 0.0185 mg/L(기준 0.08 mg/L), BDCM 0.0194 mg/L(기준 0.03 mg/L), DBCM 0.0258 mg/L(기준 0.1 mg/L)로 먹는물(상수도) 수질기준 이내였으나 전반적으로 높은 농도로 검출되었다.

비상급수 사용시 소독부산물 수질검사 결과 최대 농도가 THMs 0.0287 mg/L, CF 0.0095 mg/L, BDCM 0.0061 mg/L, DBCM 0.0098 mg/L로 비상급수 미사용시보다 50% 이상 낮은 농도로 검출되었다. 또한 시간이 지날수록 소독부산물의 농도도 감소하였는데 이는 매일 10%씩 유출되는 양만큼 용수가 유입되면서 희석과 확산으로 인한 것으로 판단된다.

비상급수시설에 염소소독 실시 전후 수질조사 결과는 Table 6과 같다. 비상급수 미사용시는 염소소독 전 수질이 일반세균 94 CFU/mL, 총대장균군 검출로 부적합하였으나, 소독 2시간 후부터 소독지속시간(386시간) 종료까지 수질이 적합하였다. 비상급수 사용시는 염소소독 전 수질이 일반세균 132 CFU/mL, 총대장균군 검출로 부적합하였으나, 소독 2시간 후부터 소

Table 6. 비상급수의 염소소독 경과시간에 따른 수질조사 결과

경과시간	비상급수 미사용시				비상급수 사용시			
	일반세균 (CFU/mL)	총대장균군 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	유리 잔류염소 (mg/L)	일반세균 (CFU/mL)	총대장균군 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	유리 잔류염소 (mg/L)
소독 전	94	D	ND	0.00	132	D	ND	0.00
소독 1시간 후	95	D	ND	0.08	125	D	ND	0.00
소독 2시간 후	19	ND	ND	0.14	80	ND	ND	0.02
소독 3시간 후~ 소독지속시간 종료 2일 전	0~4	ND	ND	0.03~2.44	0~15	ND	ND	0.05~1.27
소독지속시간 종료 6시간 전	-	-	-	-	9	ND	ND	0.02
소독지속시간 종료 1시간 전	-	-	-	-	41	D	ND	0.02
소독지속시간 종료	80	ND	ND	0.02	55	D	ND	0.01
소독지속시간 종료 1일 후	230	D	ND	0.00	150	D	ND	0.00

독지속시간(243시간) 종료 6시간 전까지 수질이 적합하였다. 비상급수 미사용시와 사용시 공통적으로 소독 2시간 후부터 소독지속시간 종료 6시간 전까지 미생물 소독효과가 있는 것으로 나타났다.

이에 일선 담당자들이 소독제 투입 후 적어도 2시간 지난 후 시료채취하고, 안정적인 미생물 제거 효과를 보기 위해서는 유리잔류염소가 최대농도로 검출된 시간인 소독 후 약 1일~2일 사이에 시료채취하도록 권고한다.

기준염소량 0.75 mg/L로 설정하고 비상급수시설 현장 적용 결과 최대 유리잔류염소농도는 예상농도 (0.75 mg/L)보다 비상급수 미사용시(2.44 mg/L) 약 3배, 비상급수 사용시(1.27 mg/L) 약 2배 정도 높게 검출되었지만 먹는물(상수도) 수질기준인 4 mg/L 미만으로 적합하였다. 살균지속시간은 비상급수 미사용시 16일, 비상급수 사용시(매일 용수 10 % 사용) 10일로 예비실험(2~3일)보다 길게 지속되었는데, 이는 고체염소 소독제가 큰 알약의 형태로 적은 양이 투입된 예비실험에 비해 용해되는 시간은 느리지만 길게 지속된 것으로 판단된다. 직접 약품 투입시 투입 주기가 너무 짧으면 담당자들이 관리하기 힘들므로 잔류염소농도와 지속시간을 모두 고려하여 적절한 수준인 것으로 판단된다.

따라서 일선 담당자들이 직접 고체염소 소독시 기준염소량을 0.75 mg/L로 정하고 저수조 용량에 맞춰 고

체염소 투입량 계산하여 약품 투입하도록 한다. 또는 담당자들이 계산하기 쉽도록 저수조 용량이 5톤의 경우 70 % 차아염소산칼슘 1정(5g)이 적정 투입량인 것을 감안하여, 저수조 용량에 맞춰 약품 투입량을 조정하도록 한다. 살균지속시간은 비상급수를 장기간 사용하지 않는 경우 약 15일, 비상급수 매일 10 % 사용시 약 10일로 조사되어 이를 기준으로 각 비상급수시설의 비상급수 사용량에 맞춰 약품 투입 주기를 조정하도록 한다.

4. 시료채취 방법에 따른 수질 변화 조사 결과

시료채취시 고인물을 빼도록 안내하고 있으나 실제로 고인물 빼는 시간에 따른 수질 변화를 조사하여 일선 담당자들이 시료채취시 적절한 방안을 도출하고자 한다. 대상시설은 12개 시설로 고인물 빼는 시간 10초, 1분, 5분 후 수질을 조사하였다.

고인물 빼는 시간에 따른 미생물 수질 변화 조사 결과 10초 후에 일반세균 7회, 총대장균군 8회, 분원성대장균군 2회 부적합하였으나, 1분 후 일반세균 4회, 총대장균군 8회, 분원성대장균군 1회, 5분 후 일반세균 3회, 총대장균군 7회, 분원성대장균군 0회로 조사되었다(Table 7). 시료채취시 고인물을 오래 뺄수록 일반세균이 가장 효과적이었다. 일반세균은 공기 중 부유세균과의 접촉 등으로도 쉽게 번식하기 때문에 수도꼭지에 고인 물을 충분히 빼주는 것만으로도 효과가 있었다. 탁도의 경우 고인물 빼는 시간에 따라 대체로

Table 7. 시료채취시 고인물 빼는 시간에 따른 수질 변화

시설명	10초 후				1분 후				5분 후			
	일반세균 (CFU/mL)	총대장균 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	탁도 (NTU)	일반세균 (CFU/mL)	총대장균 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	탁도 (NTU)	일반세균 (CFU/mL)	총대장균 (/100mL)	분원성 대장균군 (/100mL)	탁도 (NTU)
서1동 행정복지센터	127	D	D	0.38	76	D	D	0.81	83	D	ND	0.83
시영아파트 120동	3	ND	ND	0.10	0	ND	ND	0.09	0	ND	ND	0.10
금양중학교	24	ND	ND	0.16	3	ND	ND	0.09	2	ND	ND	0.06
국민주택	300	ND	ND	0.13	119	ND	ND	0.09	105	ND	ND	0.11
경동빌라	26	D	D	0.08	14	D	ND	0.10	14	D	ND	0.07
태종대초등학교	450	ND	ND	0.22	15	ND	ND	0.15	0	ND	ND	0.16
해월정사	340	D	ND	0.14	290	D	ND	0.08	170	D	ND	0.08
해림사	39	D	ND	0.56	39	D	ND	0.18	79	D	ND	0.11
금호아파트	3800	D	ND	0.13	93	D	ND	0.16	94	D	ND	0.13
선경1,2차	29	D	ND	0.21	5	D	ND	0.22	5	D	ND	0.21
선경3차	910	D	ND	0.34	860	D	ND	0.19	800	D	ND	0.17
유림아파트	510	D	ND	0.09	160	D	ND	0.08	66	ND	ND	0.08

감소하나, 오히려 크게 증가하는 시설도 있었는데 이는 저수조 오염으로 인해 탁도가 증가한 것으로 판단된다.

시료채취시 물을 오래 빼고 채수하는 것이 좋으나,

Table 8. 민방위 비상급수시설 평가표

평가인자		구분	세부사항	평가기준	결과		
시설관리	①관정부	㉓상부보호시설	위치	지표면 위	○		
			지표면 아래	X			
			재질	스테인레스	○		
		콘크리트	△				
		기타(판넬)	X				
		㉔케이싱 (지표하부보호벽)	높이	지표면 30 cm 이상	○		
	지표면 30 cm 미만		X				
	상단덮개		적정(밀폐)	○			
			부적정(노출)	X			
	②저수조	㉕위치	지상 저수조	물탱크 보호시설 유	○		
			물탱크 보호시설 무	X			
			지하 저수조	건물 내	○		
				건물 외(지상 노출)	X		
		㉕재질	저수조 없음(직수)		○		
			스테인레스		○		
			FRP, PE		△		
		㉖균열여부	콘크리트		X		
			없음		○		
			있음		X		
		③음수대	㉗위생관리	양호			○
불량					X		
㉘이용현황	많음		50인 이상/1일	○			
	보통		20인~50인/1일	△			
	적음		20인 미만/1일	X			
㉙주변 환경	양호			○			
	불량		X				
④살균시설	㉚작동 여부	작동 중		○			
		작동 중지		X			
	㉚살균수조	관로형		○			
		수조형		△			
	㉛이격거리	음수대까지 10m 이내		○			
		음수대까지 10m 밖		△			
수질관리	①관정 청소 (에어써징)	청소(2년 이내)		○			
		청소(4년 이내)		△			
		미실시		X			
	②저수조 청소	청소(6개월)/직수		○			
		청소(1년)		△			
		미실시		X			
	③저수조 약품소독	자동 약품 투입		○			
		수동(직접) 약품 투입		△			
		약품소독 미실시		X			
	④살균램프 교체	2년 이내		○			
		2년 이상		X			
	기타	①관리주체	공공용시설	지자체, 소유주 공동 관리		○	
소유주 관리				X			
정부지원시설, 지자체시설			지자체, 지역주민 공동 관리	○			
			지자체 관리	△			
②비상급수시설 점검주기		월 1회(개방시설)	분기 1회(미개방시설)	○			
	분기 1회(개방시설)	반기 1회(미개방시설)	△				

※ 평가기준 : ○(양호), △(보통), X(미흡)

담당자가 여러 시설을 채수해야 하므로 5분 정도 고인 물을 흘려보내고 채수하는 것을 권장한다. 단, 탁질이 있는 비상급수의 경우 육안으로 깨끗해질 때까지 충분한 시간 동안 흘려보내고 채수하도록 한다.

## 5. 민방위 비상급수시설의 평가표 제안

본 연구를 통해 살펴본 비상급수시설의 시설관리와 수질관리 등 관련 인자들을 고려하여 최종적으로 비상급수시설의 평가표를 아래와 같이 도출하였다(13)(Table 8). 각 인자마다 평가결과가 미흡한 부분을 우선적으로 개선해 나간다면 비상급수시설 부적합률 저감에 도움이 될 것이다.

## 결 론

본 연구는 부산지역 민방위 비상급수(음용)의 수질을 개선하기 위한 효율적인 관리 방안을 제시하고자 실시하였으며, 2021년~ 2022년 11월까지 비상급수(음용) 수질검사 결과를 이용하여 수질개선이 시급한 중점관리시설 선정 및 수질관리 방법에 따른 개선 효과를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 2021년 연 4회 실시한 수질조사 결과를 이용하여 부적합 횟수가 3회 이상인 시설을 중점관리시설로 선정된 결과 25개소가 해당되었으며, 이 중 2022년 비상급수시설에서 지정 해제된 5개소 제외하고 20개소를 최종적으로 중점관리시설로 선정하였다.
2. 중점관리시설의 현장조사 결과 부적합 주요 요인은 관정, 저수조, 음수대의 관리 부실 및 주변 환경 부적절한 것으로 판단되었다. 관정은 상부보호공 덮개가 부실하거나, 케이싱의 높이가 지표면과 유사하여 외부 오염에 취약한 상황이었다. 저수조는 균열과 청소 미 실시, 음수대는 노후화된 수도꼭지 및 주변환경이 불량한 상태로 오염에 노출되어 있었다.
3. 중점관리시설 수질개선 결과 저수조 청소는 탁도 제거, 자외선 살균시설 설치(수리)는 미생물 개선에 가장 효과적인 관리방법으로 조사되었으며, 저수조 청소는 약품소독과 병행 실시하여야만 미생물 제거에 효과적인 것으로 나타났다. 중점관리시설의 효율적인 수질 개선안 제시를 위해 비상급수(지하수) 원수와 수도꼭지수 수질을 조사한 결과 원수 부적합시 관정 청소를

실시하고 수도꼭지수 부적합시 저수조 갖춘 시설은 저수조 청소와 약품소독 병행 실시, 저수조가 없는 시설은 관로 점검과 자외선 살균시설(관로형) 설치가 요구된다.

4. 비상급수시설은 주로 고체염소 소독제(차아염소산칼슘)를 담당자가 직접 투입하고 있는 실정으로, 부적절한 투입으로 인한 문제점을 개선하고자 소독시 적정 운영방법을 조사하였다.

① 고체염소 소독제의 적정 투입량은 저수조 용량 5톤의 경우 70 % 차아염소산칼슘 1정(약 5 g)으로 산정되었으며, 각 비상급수시설의 저수조 용량에 맞춰 차아염소산칼슘 투입량을 조정하도록 한다.

② 살균지속시간은 비상급수를 장기간 사용하지 않는 경우 약 15일, 비상급수 매일 10 % 사용시 약 10일로 조사되어 이를 기준으로 각 비상급수시설의 비상급수 사용량에 맞춰 약품 투입 주기를 조정하도록 한다.

5. 시료채취시 고인물 빼는 시간에 따른 수질 변화를 조사하여 적정시간 살펴본 결과 5분간 고인물을 흘려보내고 채수하는 것을 권장한다. 특히 일반세균은 고인물을 충분히 빼주는 걸로 가장 효과가 있었다. 단, 탁질이 있는 비상급수는 육안으로 깨끗해질 때까지 충분한 시간 동안 흘려보내고 채수하도록 한다.

6. 최종적으로 비상급수시설의 시설관리와 수질관리에 있어 주요 인자들을 고려하여 비상급수시설의 평가표를 제시하였다. 앞으로 이 평가표를 활용하여 미흡한 부분을 우선적으로 개선해 나간다면 비상급수시설 부적합률 저감에 도움이 될 것이다.

이번 연구를 통해 민방위 비상급수(음용) 수질개선을 위해 아래와 같이 제안하고자 한다.

첫째, 부적합이 잦은 중점관리시설에 수질개선사업을 우선적으로 시행할 것을 제안한다. 공공용시설의 경우 예산투입이 어려워 부적합한 상태로 방치되어 있거나, 지정해제가 많은 실정이다. 이에 정부지원시설과 지자체시설 뿐만 아니라 공공용시설에도 적절하게 예산 투입하여 수질개선사업이 이뤄진다면 질적인 면은 물론 양적인 시설 확보에도 도움이 될 것이다.

둘째, 비상급수시설(음용)의 분기별 시행하는 수질

검사 중 연 1회는 비상급수 원수 분석하는 것을 제안한다. 비상급수시설의 수질개선을 위해 비상급수 원수와 음수대의 수도꼭지수를 비교 분석하여 부적합 발생 원인을 파악하는 것이 필요하다. 이를 통해 각 비상급수시설별 맞춤 수질관리방법이 적용된다면 보다 효과적으로 수질개선이 이뤄질 것으로 판단된다.

셋째, 약품소독시 소독제 과다 투입으로 인한 부작용을 방지하기 위해 유리잔류염소를 비상급수 수질검사 항목으로 추가하는 것을 제안한다. 미생물 제거를 위해 소독제 과다 투입이 빈번하게 발생하고 있어 주의가 요구된다. 이에 직접(수동) 약품 투입시는 이번 연구에서 제안한 약품 적정 투입량과 주기를 잘 활용하도록 안내하고, 향후 자동 약품 투입시설 설치 확대하여 안정적으로 약품소독할 수 있는 방향으로 나가도록 예산 지원이 요구된다.

### 참고문헌

1. 환경부, “2021 수도물 먹는 실태조사 결과 보고서”, (2021)
2. 조덕희 외 5명, “경기 남부지역 민방위 비상급수의 수질특성”, 한국환경분석학회지, 22(1), pp.33~39(2019)
3. 김민경 외 5명, “부산지역 지하수 수질의 통계적 분석(민방위 비상급수를 중심으로)”, 부산광역시 보건환경연구원보, (2010)
4. 행정안전부, 2022년도 민방위 업무지침(2022)
5. 행정안전부, 2022년 민방위 비상급수시설 통계(2002)
6. 김민경, “2021년 민방위 비상급수시설 수질조사 결과 보고”, 부산광역시 보건환경연구원보, (2022)
7. 환경부, 먹는물수질공정시험기준(2021)
8. 국립환경과학원, 정수처리기준 해설서(2013)
9. 국립환경과학원, “소규모 수도시설 등 급수취약지역 먹는물 수질개선 방안 연구”, (2013)
10. 국립환경과학원, 지하수 중 노로바이러스 관리 자료집(2016)
11. 부산광역시 시민안전실.보건환경연구원 공동, 민방위비상급수시설 수질관리 안내서(2021)
12. 환경부, 상수도 설계기준(2017)
13. 김주인 외 5명, “부산지역 먹는물공동시설(약수터)의 미생물살균시설 성능평가에 관한 연구”, 부산광역시 보건환경연구원보, (2015)
14. 김용철 외 3명, “고상염소 소독장치의 잔류염소 농도 변화에 관한 연구”, 한국수처리학회지, 24(4), pp.47~55(2016)