

## 부산지역 소규모 수도시설 수질특성 연구

김봉기<sup>†</sup> · 조갑제 · 김시영  
수질보전과

### A Study on the Water Characteristic of Small-Scale Waterworks in Busan

Kim Bong-gi<sup>†</sup>, Cho Gab-je and Kim Si-young  
Water Preservation Division

#### Abstracts

This study was carried out to evaluate water characteristics of 57 drinking water standards and 5 radionuclides of 93 small-scale waterworks in the 11 districts of Busan area.

The main items that did not meet water quality standards were as follows : TC (total coliforms)>Turbidity>TCC (total colony counts)> FC (fecal coliforms)>NO<sub>3</sub>-N> Al, respectively. Health hazardous organic compounds such as diazinon were not detected in all samples. Turbidity was 1.72 NTU maximum in Geumjeong-Gu and were showed in order of 0.76 NTU (Buk-Gu) and 0.48 NTU (Gangseo-Gu), respectively. The concentration of Al was the highest level with 0.203 mg/L in Geumjeong-Gu and was not found in 5 sites (Dong-Gu, etc.) The average concentraion of DBPs (disinfection by-products) were like this : THMs 15 ug/L, chloroform 7 ug/L, BDCM 5 ug/L and DBCM 3 ug/L, respectively. Uranium was analysed to the low concentrations and showed 18.25 pCi/L in Sasang-Gu. Radon and gross- $\alpha$  concentration showed the level of 12.1 % (483 pCi/L) and 13.9 % (2.085 pCi/L), compared to the standards of drinking water in US EPA. Radium and cesium were not detected in all samples.

**Key words** : small-scale waterworks, Turbidity, DBPs

#### 서 론

오늘날 산업화, 도시화 등에 따른 부작용으로 물 사용량 증가와 더불어 다양한 오염요소에 의하여 물의 오염은 나날이 심화되고 있는 실정이다. 오늘날 생활공간에서 우리나라의 경우 매일 음용하는 물은 주로 정수기를 사용하거나 먹는샘물, 약수터 등을 이용하고 있고 낙동강 폐놀오염 등 지난 이십여년간 계속되었던 수질오염사건으로 인한 수돗물에 대한 불신이 증가하였기 때문인 것으로 여겨진다.<sup>1)</sup>

우리나라 마을상수도시설은 전국 농어촌 지역의 급수

공급을 위해 1970년대부터 설치를 시작으로 현재까지 식수공급시설로서 역할을 수행해 오고 있다. 산업의 발전은 또한 수질오염 유발인자들을 증가시키면서 정수처리공정의 고도화를 통한 양질의 수돗물의 제공이 가능토록 하였으나, 비교적 수질상태가 양호한 지하수나 계곡수를 수원으로 하는 마을상수도 수원의 오염정도가 날로 늘어남에 따라 수질개선에 대한 필요성이 대두되고 있다. 더불어 마을상수도의 관리가 제대로 이뤄지지 않는 곳이 많아, 이로써 발생하는 여러 가지 문제점에 대한 해결방안의 모색이 시급한 실정이다.<sup>2)</sup>

마을상수도의 경우는 상수원을 계곡수나 지하수를 주

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail : bonggi56@korea.kr  
Tel : +82-51-757-2933, Fax : +82-51-309-2739

로 사용하고 있으며, 시설이 노후화되어 있을 뿐만 아니라 정수처리가 거의 이루어지지 않고, 정수처리가 있는 마을상수도의 경우도 소독 설비만 갖추어져 있을 뿐이다. 또한 수질검사도 지방상수도에 비해 검사 시기나 항목이 매우 적다. 더욱이 식수 부적합 판정이 검사결과로 도출되어도 대체 수원의 확보가 어려워 기존 마을상수도를 계속 사용해야할 실정에 있다.<sup>3)</sup>

이러한 소규모수도시설은 그 지역의 주민들이 관리함에 따라 체계적인 관리가 이루어지지 않을 뿐만 아니라 급수시설 이상발생시 적절한 대책이 이루어지지 않고 있는 실정이며, 수질저하는 점차 심각해지고 있는 실정이다.<sup>2)</sup> 마을상수도는 지역주민들의 유일한 식수 및 생활용수원으로 사용되기 때문에 관리 및 운영에 문제가 발생하면 해당 지역주민들의 건강이나 생활에 직접적인 영향을 미치게 되어 운영관리에 신중해야한다.

시설 노후화에 의한 빈번한 고장과 겨울철 동파에 의한 운영중단, 갈수기의 수량 부족에 따른 급수 중단, 비위생적인 수원의 이용과 염소소독의 불이행 등으로 인한 수인성 질병의 위험, 지하수를 이용한 가압식 급수시설의 전기료 비용부담 과다한 관리상의 문제점이 발생하고 있다.<sup>5)</sup>

이러한 마을상수도 문제는 2004년 경남 창녕 신구리 마을상수도 수질오염 사고 이후 본격적인

사회문제로 제기 되었는데, 이는 마을상수도 급수인구가 인구상 규모에 있어서는 간과할 수 없는 규모이지만 광범위한 지역에 넓게 분포되어 있어 관리의 어려움이 있고, 또한 지표수에 비하여 비교적 안전한 수질을 유지하는 지하수를 사용하기 때문에 정책적으로 우선되지 못했던 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 우리시에 급수보급율 6.1%를 차지하며, 특별한 정수처리 과정 없이 음용으로 사용하는 부산지역내 마을상수도의 오염정도 및 현황을 파악하고, 지역적 특성 변화를 관찰하여 보다 안전한 물이 관리되도록 하여, 오염예방과 함께 보다 체계적인 상수도관리가 이루어 질 수 있도록 소규모수도시설에 대한 유지관리 및 효율적인 개선방안을 제시하고자 한다.

## 소규모 수도시설 현황

### 일반현황

마을상수도는 지방자치단체가 대통령령으로 정하는 수도시설에 따라 급수인구 100명 이상 2천5백명 이내의 급

수인구에게 정수를 공급하는 일반수도로서 1일 공급량이 20세제곱미터 이상 500세제곱미터 미만인 수도 또는 이와 비슷한 규모의 수도로서 특별시장·광역시장·특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수가 지정하는 수도시설이며, 소규모급수시설은 주민이 공동으로 설치·관리하는 급수인구 100명 미만 또는 1일 공급량 20세제곱미터 미만인 급수시설을 말한다<sup>3)</sup>

설치근거는 1967년부터 1980년까지는 보사부령 사업지침과 시·군공동급수시설 유지관리조례에 근거하였으나 1993년 수도법과 공중위생법을 개정하여 급수시설을 수도법상의 마을상수도에 포함시켰으며 소관부처를 건설교통부로 변경하였다가 1994년 4월 환경부로 업무를 이관하였다.

소규모수도시설은 급수방식과 이용수원으로 분류할 수 있는데 급수방식별 분류는 수원과 급수지역의 표고차이에 따라 자연유하식, 양수식 및 압축식의 3가지 유형으로 구분된다. 그리고 이용수원별 분류는 이용하는 물 흐름의 특성과 존재형태를 기준으로 지하수, 지표수, 용천수, 계곡수, 복류수 등으로 구분된다. 소규모수도시설의 이용수원별 분류의 특징은 다음 Table 1과 같다.

마을상수도 및 소규모급수시설에 대한 수질검사는 먹는물수질기준 및 검사 등에 관한 규칙에 따라 매분기 1회 이상 12항목(일반세균, 총대장균군, 대장균군, 불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 냄새, 맛, 색도, 망간, 탁도, 알루미늄, 및 잔류염소)을 검사하며 Table 2에 표시하였다.

### 시설 설치현황

전국의 소규모수도시설의 현황은 2011년 말 현재 총 19,128개소, 이용자수는 187만명으로 전체 급수인구 4,177만명의 약 7.3%가 이용하고 있다. 부산시내 사용중인 마을상수도 및 소규모급수시설은 동구 2개소, 서구 3개소, 영도구 2개소, 해운대구 8개소, 진구 1개소, 연제구 5개소, 북구 10개소, 사상구 3개소 강서구 2개소 금정구 12개소, 기장군 45개소, 총 93개소로 전국의 0.5%를 차지하고 있다.

전반적으로 총 보급시설의 약 70%정도가 노후시설로 판단된다. 연도별 보급현황은 마을상수도의 경우 1970년대 이전에 설치된 노후시설이 마을상수도 36개소(61.0%), 소규모급수시설이 23개소(39.0%)로 조사되어 소규모 급수시설에 비해 마을상수도의 노후도가 높은 것으로 나타났다.

2011년 말 현재 부산지역 내 소규모수도시설은 총 93개소가 설치 운영 중에 있으며, 이 가운데 마을상수도가

Table 1. Characteristic in source water of small-scale waterworks

구분	특징
지하수	· 땅속 공극속에 고여 있는물 · 보통 지하 30 m를 경계로 하여 위쪽에서 취수하는 경우를 천정, 아래쪽에서 취수하는 경우를 심정으로 구분 · 천정은 오염의 우려가 있으며, 심정은 안전도는 높으나 경수일 우려가 있음
지표수	· 지상을 흐르거나 고여 있는 물로서 대표적인 경우가 하천 및 호수이며, 오염의 우려가 높음
용천수	· 지하수의 일종으로 함수층과 지하암반 또는 토층의 형태에 따라 지하수가 압박을 받아 지상으로 용출되는 물 · 얇은곳에서 용출되는 경우와 깊은곳에서 용출되는 경우로 구분
계곡수	· 지표수와 동일하지만 환경이 계곡이라는 점이 다름 · 수원보호를 위한 감시와 관리가 필요
복류수	· 하천, 호소 또는 이에 준하는 수역의 바닥면 아래 또는 옆면의 사력층을 흐르는 물로 취수과정에서 어느 정도 여과 됨.

Table 2. Analysis items and period of test for the small-scale waterworks

구분		주기	검사항목
소규모수도시설	원수	표류수 반기1회 이상	BOD, SS, 총대장균군, 분원성대장균군(4항목) 현장측정항목 : DO, pH
		2년1회 이상	Cd, As, CN, Hg, Pb, Cr <sup>6+</sup> , ABS, 유기인, PCBs(9항목)
	지하수	2년1회	Cd, As, CN, Hg, Pb, Cr <sup>6+</sup> , ABS, 다이아지논, 파라티온, 페니트로티온, 불소(11항목)
	정수	분기 1회	일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 암모니아성질소, 질산성질소, 냄새, 맛, 색도, 탁도, 불소, Mn, Al, 잔류염소(현장측정)(12항목)
연 1회		먹는물(상수도수) 57개 항목	

Table 3. The status of small-scale waterworks in Busan (2011)

구분	시설수 (개소)	시설용량 (m <sup>3</sup> /일)	급수인구(인)	
			세대	인구
계	93	9,499	7,420	34,067
마을상수도	61	8,300	6,452	30,515
소규모급수시설	32	1,199	968	3,552

61개소(65.6%), 소규모급수시설이 32개소(34.4%)로 조사되었다. 이들 소규모수도시설의 시설용량은 총 9,499 m<sup>3</sup>/일로 마을상수도가 8,300 m<sup>3</sup>/일(87.4%), 소규모급수시설이 1,199 m<sup>3</sup>/일(12.6%)로 조사되었으며, 급수 세대수 및 인구수는 마을상수도가 6,452세대로 급수인구는 총 30,515명, 소규모급수시설이 968세대, 급수인구는 3,552명으로 조사되어 총 7,420세대, 34,067명이 급수

를 받고 있는 것으로 조사되었는데 Table 3과 같다. 한편, 부산지역내 총 소규모수도시설의 설치 년도 별 현황을 조사한 결과 1970년도 이전에 설치된 시설이 총 59개소(63.4%), 1980년대에 설치된 시설이 13개소(14.0%)로 나타나, 25년 이상 노후시설이 전체의 77.4%를 차지하였는데 Fig. 1과 같으며 Fig. 2는 현장에 설치되어있는 배수조 및 소독여과시설 사진이다.

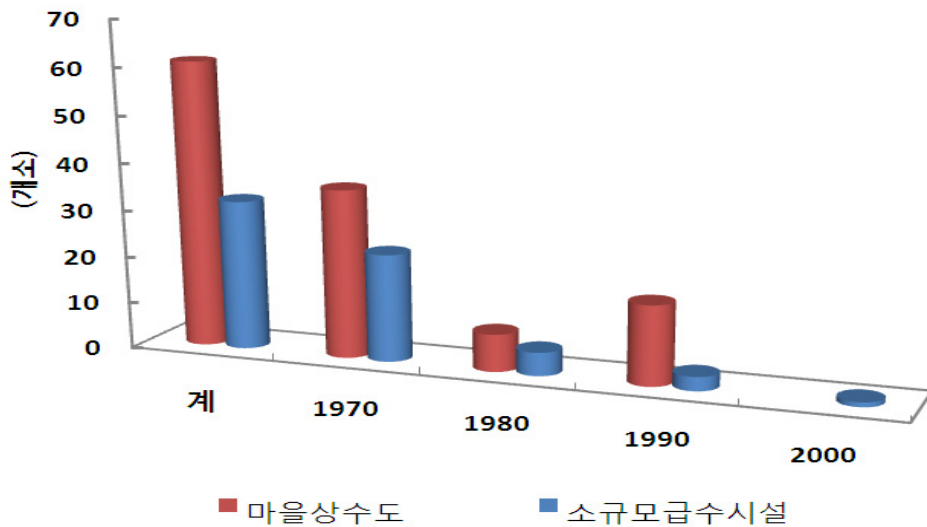


Fig. 1. The status of installation by year of water supply facilities in Busan.



Fig. 2. Drainage tanks and disinfection filtering facilities in small-scale waterworks.

**취수원별 현황**

소규모수도시설의 취수원별 시설수는 계곡수 52개소 (55.9%)를 취수원으로 하는 시설이 대부분을 차지하고 있으며, 지하수 41개소(44.1%)의 순으로 나타났다. 또한 수원별 취수용량에서도 계곡수 5,645 m<sup>3</sup>/일(59.4%), 지하수 3,854 m<sup>3</sup>/일(40.6%)의 순으로 나타나 60%정도의 높은 계곡수 취수원 의존도를 보이고 있다.

부산지역 대부분 지하수와 계곡수를 수원으로 사용하는데, 지하수를 수원으로 하는 경우에는 암반내 함양된 지하수를 대상으로 이용하기 위해 개발대상지역의 지형,

지질, 기상 등을 고려하여 지하수 조사를 시행한 후 개발을 실시하여야 한다. 수원에 대해선 향후 비점 오염원의 확산을 대비한 오염방지를 시행 후 소독약품자동투입기를 설치 운영하고, 지하수 부존량이 희박한 지역에 대해서는 최대한 취수할 수 있는 설비를 설치하고 정수여과기를 통하여 개선시킨다.

지하수는 지형, 지질, 기상의 절대적인 지배를 받는 지하자원으로 함양된 지하수에는 분포암석의 광물이 용해되어 있어 함양부존과정을 인위적으로 조절할 수 없는 자원이다. 그러므로 지하수 관정에는 지하수자원을 음용화 하

기위한 간단한 기계적인 장치와 오염방지시설을 갖추어야 한다.

계곡수를 수원으로 하는 경우에는 상수원이 외부로 노출되어 있기 때문에 상수원의 관리에 특히 많은 주의를 필요로 한다. 계곡수를 수자원으로 활용할 경우에도 계절에 따른 유량변화로 안정적인 수량 확보가 곤란하고 가축이나 동물의 배설물 등에 의해 오염되어 장티푸스나 이질과 같은 수인성 질병을 일으킬 수 있는 병원성미생물과 원생동물 등이 존재할 수 있다.

그러므로 상수원 위치 선정시부터 가축이나 사람 등으로 부터의 접근차단이 용이한 지역을 선정하여야 하고 주변에 울타리와 같은 시설과 안내판을 설치하여 접근을 차단해야 한다.

수원별로는 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 지하수 41개소, 계곡수 52개소로서 대부분이 지하수와 계곡수를 취수원

으로 사용하고 있는 것으로 나타났다.

**정수시설별 현황**

부산지역 소규모수도시설의 소독 및 여과처리 현황은 미처리 6개소(9.7%), 완속여과시설이 5개소(5.4%), 급속여과시설이 3개소(3.2%)로 여과시설의 운영이 미미한 실정이다. 시설별 여과시설은 마을상수도의 경우 3개소에 서만 완속여과를 운영하고 있으며, 소규모급수시설은 완속여과 2개소, 급속여과는 1개도 운영되지 않는 것으로 나타났다. 그냥 소독만 하는곳이 79개소로서 85%를 차지하였는데, 소독시설은 고체염소 자동소독기 및 액체염소 자동소독기가 설치되어 있으나 설치되어져 있더라도 소독시설의 정상적인 운영을 하지 않고 있거나 적절한 양의 염소투입이 되고 있지 않는 등 효율적 유지관리가 미흡한 것으로 나타났다.

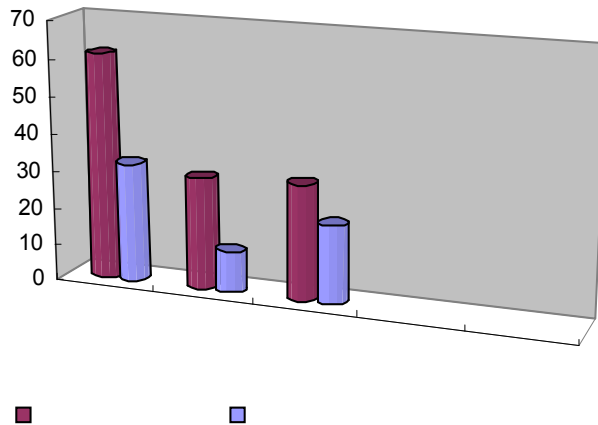


Fig. 3. Distribution of source water on small-scale waterworks.

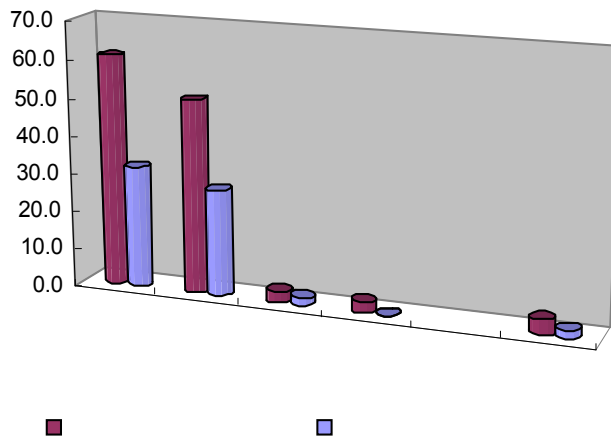


Fig. 4. Distribution of disinfection treatment facilities in small-scale waterworks.

급수방식별 분류는 수원과 급수지역의 표고차이에 따라 자연유하식, 양수식 및 압축식의 3가지 유형으로 구분된다. 자연유하식은 이용수원이 계곡수에 적용되는데 시설의 구성은 수원→취수설비(침전지→여과지)→소독시설→저수탱크→배수관→수도전으로 이루어져 있고, 양수식은 주로 지하수 취수원에 적용되는데 수원→양수기→소독시설→저수탱크→배수관→수도전으로 연결 된다.

## 조사대상 및 방법

### 조사기간 및 대상

2010~2012년 부산지역의 16개 구·군 중 11개지역의 소규모수도시설을 대상으로 하였다.

시료채수 방법은 마을상수도 정수 수질을 대표할 수 있는 지역에서 수돗물을 약 3분 이상 흘러 보낸 다음 채수하였다. 시료는 4 L PE(polyethylene)재질의 무균채수병에 보관 및 운반된 것으로서 채수한 시료는 즉시 아이스 박스에 냉장시켜 실험실로 운반한 후 냉장 보관하면서 분석에 사용하였으며 총 1,347건을 대상으로 하였는데 11개 구·군의 시료 채취 지점은 Table 4와 같다.

### 조사항목 및 방법

#### 조사항목

분석방법은 먹는물 관리법 제5조 관련 환경부령 제 11

호(먹는물 수질기준 및 검사)등에 관한 규칙에 따라 간이상수도의 정수에 대한 수질조사항목은 미생물 관련 3항목, 건강상유해영양유기물질 관련 16항목, 건강상유해영양무기물질 관련 11항목, 심미적영양물질 16항목 등 먹는물 수질기준 57개 항목과 방사성물질 5항목 포함 총 62항목을 분석하였다.

### 조사방법

부산지역의 16개 구·군에서 의뢰 된 지하수, 계곡수 각 지점별 마을상수도에 대한 검사 결과 불소, 비소, 수은, 암모니아성질소, 벤젠 등 먹는물 수질기준 57개 항목은 먹는물관리법 제5조의 2항 규정에 의한 먹는물수질공정시험기준에 따라 분석하였고

소독부산물은 THMs 4종, HANs 3종, HAAs, 그리고 Chloral hydrate를 실험하였다. THMs 4종은 Head space가 장착된 GC/ECD(Agilent 5890) 그 외 항목은 GC/MSD(Agilent 6890, 5793N MSD)로 분석하였다.

방사성물질은 미국 EPA methods에 준하여 분석하였는데, 방사성 물질 측정을 위해서는 알파선과 베타선에 의한 펄스를 분리할 수 있는 파형분석(PSA) 기능을 가진 액체섬광계수기(PerkinElmer, Quantulus 1220)를 사용하였으며, 우라늄 측정을 위해서는 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP/MS, Agilent 7500)를 사용하였다.<sup>11)</sup> 본 연구는 자연수중에 존재하며 인간건강에 대한 영향으로 문제시 되고 있는 방사성 물질인 라돈, 전알파, 라듐, 우

Table 4. Sampling sites of the small-scale waterworks

City	No.	District	
Busan city	S1	서구	Seo-gu
	S2	동구	Dong-gu
	S3	영도구	Youngdo-gu
	S4	진구	Busanjin-gu
	S5	북구	Buk-gu
	S6	해운대구	Haeundae-gu
	S7	금정구	Gumjung-gu
	S8	강서구	Gangseo-gu
	S9	연제구	Yonje-gu
	S10	사상구	Sasang-gu
	S11	기장군	Gijang-gun

라늄, 세슘의 함량을 분석하였다.

## 결과 및 고찰

<sup>222</sup>Rn 표준시료 제조를 위해서는 <sup>226</sup>Ra 표준선원(0.5 uCi, Isotope Products Laboratory, USA)을 사용하였으며, 우라늄 농도 측정을 위해서는 우라늄 표준용액(Accustandard, USA, 1,000mg/L)을 사용하였다. 섬광액은 High Efficiency Mineral oil(Perkin-Elmer, USA)을 사용하였다.

### 가. 우라늄 분석

우라늄 측정을 위해 시료는 0.45 μm 여지를 사용하여 탁질을 제거한 후 pH 2.0으로 산 처리하였다. 제조한 우라늄 표준용액과 분석시료에 Internal STD 10 μg/L를 혼합하여 검량선을 작성한 후 ICP/MS에 주입하여 측정하였다.

### 나. 라돈 분석

라돈의 계측은 수용액 10 mL를 전처리 없이 곧 바로 자이렌계열 섬광용액 12 mL와 혼합한 뒤 라돈의 알파선 딸핵종과의 방사평형을 위해 3시간 동안 방치한 후 분석하였다. 계측된 라돈 농도는 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$Rn = (cpm_s - cpm_b) \times \exp^{\lambda \cdot 4t} / V \times E \times 60$$

여기서, cpm<sub>s</sub>, cpm<sub>b</sub> : 시료, 백그라운드 측정수  
 λ : 붕괴상수(0.182/d)  
 t : 시료채취후 측정개시 시점까지의 경과시간(day)  
 V : 시료량(L)  
 E : Rn 측정효율

### 다. 전알파 분석

100 mL 시료를 먼저 0.45 μm 여지에 거른 후 Teflon beaker에 넣어 가열판에서 끓였다. 증발 농축된 시료에 1N HCl 1 mL 첨가하여 scintillation vial에 옮긴 후 19 mL HiSafe III 첨가하여 측정하였다. 계측된 전알파 방사능은 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$Gross \alpha = 1000 \times A / 2.22 \times E_{\alpha} \times V$$

여기서, A : 알파 계수율(cpm)  
 E<sub>α</sub> : 알파 계측효율  
 V : 시료부피(mL)  
 2.22 : 방사능 환산계수

2010년부터 2012년 까지 최근 3년간 부산지역 소규모 수도시설 1,347건에 대한 지역별 수질특성 항목별 수질 현황 등을 조사한 결과는 다음과 같다.

### 미생물

일반세균은 물의 오염상태나 음용수의 안전성 판정을 위한 지표항목으로 오염원은 대부분 오수, 폐수, 생활하수 유입, 강우에 의한 지표수 유출로 발생하며, 하수, 토양 등에 생육하고 있는 세균류가 많고 일반적으로 무해한 잡균인데, 때로는 병원균이 혼재할 수도 있다. 청정한 물에는 적고, 혼탁한 물에 많아 물의 오염도나 음용수의 안전성을 판정하는데는 유효한 지표종의 하나이다. 자연수 중의 세균의 대부분은 수중의 유기물을 이용해서 생활하는 중속영양 생물로서 각각 발육에 적합한 영양조건, 온도 등이 다르기 때문에 일반세균의 수가 수중의 생균의 총수를 나타내는 것은 아니다. 일반적으로 자연수중의 일반세균의 증식은 이러한 오염 및 강우, 수중동식물의 증식 등의 영향에 크게 변동해서 1 mL중 수십개에서 수십만개까지 증식을 한다. 지하수는 깊이 등의 요인에 의해 영향을 받으며 지층의 정화작용에 의해 오염이 감소된다.<sup>3)</sup>

대장균 (*Escherichia coli*)은 단일종의 세균으로 인간이나 온혈동물의 장내 우점을 이루는 통성혐기성세균이다. 사람의 분원에 10<sup>9</sup>/g 가량 분포하며, 대장균군, 분원성 대장균군보다 분원성 오염에 대한 특이성이 가장 높아 가장 신뢰할 수 있는 분원성 오염지표이다. 사람, 사육동물, 혹은 야생동물이나 조류 등 어디에서 배출되었건 간에 하수, 처리유출수, 자연수, 최근 분변에 오염된 토양 등에서 다양하게 발견되며, 물속에 대장균이 존재한다는 것은 항상 잠재적으로 위험한 오염을 나타내므로 즉각적인 주의가 요구된다.

총대장균군(total coliforms)은 먹는물에서의 검출과 계수가 용이하므로 오랜 기간동안 적절한 먹는물 수질의 지표로서 인식되어 왔다. 세균분류상 *Enterobacteriaceae*에 속하는 세균으로서 담즙염(bile salt)이나 이와 비슷한 성장억제 표면활성제의 존재 하에서 36~37℃에서 유당을 분해하여 산과 가스를 생성하는 그람 음성, 비아포성 간균으로 oxidase음성인 세균을 총칭한다.

분원성 대장균군(fecal coliforms or thermotolerant coliforms)은 대장균군과 같은 정의에서 배양온도가 4

4℃로 높기 때문에 열저항성 대장균군이라고도 한다. 이들은 *Escherichia*속과 그보다 낮은 범위로 존재하는 *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*의 종들로 구성되어 있다. 이 미생물 중 오로지 대장균만이 분원성이며, 인간이나 다른 포유동물, 조류의 분변에는 많은 수가 항상 존재하고, 분변으로 오염되지 않은 물이나 토양에서는 거의 발견되지 않는다. 대장균 이외의 내열성 대장균군은 산업폐수 혹은 부패한 식물 찌꺼기나 유기물이 풍부한 토양의 물에서 기원한다. 먹은물에서 분원성 대장균군이 검출, 동정되거나 추정시험에서 대장균이 검출되었다는 것은 최근에 분변 오염이 되었다는 증거이므로 즉각적인 조사가 필요하다.<sup>3)</sup>

부산시내 대상시설 총 93개소 소규모수도시설에 대한 최근 3년간의 분기별 수질 검사 결과(12개 항목 및 57개 항목) 수질기준을 초과하는 항목은 탁도와 대장균군, 알루미늄, 질산성질소 등이었으며 이 가운데 탁도, 대장균군 및 질산성질소 항목이 대부분을 차지 하였다. 부산지역의 수질초과 현상은 일반세균, 대장균군, 질산성질소 등 분원성 오염원과 관련된 항목이 초과항목의 75%를 차지하고 있고, 그 중 총대장균군이 41.4%로 소독미흡이 주요원인으로 파악되었다. 이들 지표미생물의 높은 기준 초과율은 병원성미생물이 직접적인 오염가능성이 높다는 것을 의미하기도 한다.

따라서, 소규모수도시설의 관리에 있어서 지표성이 넓은 범위를 나타내는 총대장균군 항목의 관리가 더욱 철저히 요구될 필요가 있는 것으로 나타났다.

탁도는 22.7%, 알루미늄의 경우 0.2 mg/L을 초과하는 지역도 1.8%인 것으로 조사되었다.

부산지역 소규모수도시설 수질기준 초과 건수는 총

1,347건 중 331건으로 약 24.6% 정도이었고, 수질기준 초과 정도는 총대장균군(137건) > 탁도(75건) > 일반세균(57건) > 분원성대장균군(38건) > 질산성질소(18건) > 알루미늄(6건) 순이었는데 Fig. 5에 나타난 것과 같다.

일반세균이나 대장균군의 경우는 소독공정으로 제거가 가능한데 고체염소 사용시설 및 소독시설 미설치의 경우는 액체염소 투입시설을 도입함으로써 보다 안전한 수돗물 공급이 가능하다. 이러한 정수시설의 운영에는 어느 정도 전문성이 요구되므로 전문기관을 통한 위탁운영이나 소규모수도시설의 통합관리 시스템 구축이 병행되어야 한다. 염소소독방법에는 클로로칼키 등 고체염소를 저수조에 투입하는 방식이 대부분이며 최근에 점차적으로 액체염소를 적용하는 방식이 늘어나고 있는 실정이다. 액체염소투입방식도 유량에 따라 액체염소의 투입량이 결정되는 방식과 유량과는 상관없이 시간에 따라 일정한 시간 간격으로 액체염소가 투입되는 방식이 있는데 고체염소투입방식의 경우 저수조 및 관말에서 잔류염소 농도를 원하는 농도만큼 일정하게 유지하는 것은 매우 힘들다.

따라서 고체염소투입방식은 액체염소투입방식으로 개량화 하는 것이 필요하다.<sup>5)</sup>

현재 마을상수도 정수의 경우 구·군으로부터 염소소독약품(클로로칼키)을 지급 받아 원수를 저장하는 저류조에 일정량 직접 투입하거나, 망사에 일정량 넣어 저류조에 매달아 놓는 방식으로 소독을 실시하고 있다. 마을상수도의 안정적인 유지 관리를 위해서는 오염원 유입을 차단하고 반드시 끓여서 먹거나 적절한 소독을 거친 후 음용수로 사용해야 한다. 소독은 일반적으로 액화염소, 차아염소산나트륨, 오존, 이산화염소, 자외선 등의 소독법이 있으며, 마을상수도의 경우는 차아염소산칼륨 일명 클로로

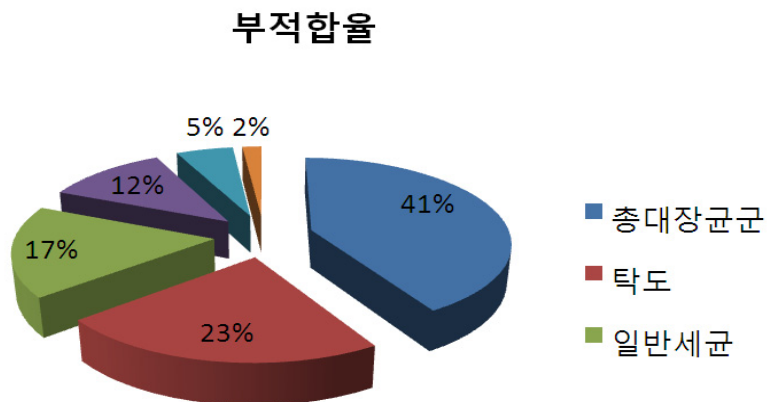


Fig. 5. Distribution of unfit items in water quality standard.



칼키를 흔히 사용한다.

**유기물질**

건강상 유해 유기물질인 다이아지논(Diazinon), 파라티온(Parathion), 페니트로티온(Fenitrothion), 카바릴(Carbaryl), 페놀(Phenol), 디클로로메탄(Dichloromethane), 1,1,1-트리클로로에탄(1,1,1-TCE), 벤젠(Benzene), 트리클로로에틸렌(TCE), 톨루엔(Toluene), 테트라클로로에틸렌(PCE), 에틸벤젠(Ethyle benzene), 크실렌

(Xylene), 사염화탄소(Carbon tetrachloride), 1,1-디클로로에틸렌(1,1-DCE) 등의 16개 항목을 11개 지점에 대해, 조사한 결과 모든 지점에서 전혀 검출되지 않아 원수의 유해유기물 오염은 없는 것으로 나타났다.

**무기물질**

건강상 유해 무기물질인 질산성질소, 암모니아성질소, 불소, 시안, 보론, 비소, 크롬, 납, 카드뮴, 수은, 셀레늄 등 11개 항목에 대한 수질조사 결과를 Table 5에 나타내

Table 5. Concentration of inorganic materials in samples (mg/L)

Sampling site	inorganic material							
	NO <sub>3</sub> -N	F	B	CN	Cr	Pb	Cd	Hg
S1	2.9	0.06	0.02	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S2	4.4	0.23	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S3	2.5	0.25	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S4	2.9	0.03	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S5	0.7	0.06	0.02	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S6	5.1	0.04	0.01	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S7	5.9	0.08	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S8	3.2	0.10	0.02	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S9	3.8	0.13	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S10	1.3	1.08	0.01	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
S11	2.1	0.10	0.01	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
Avg(S1~S11)	3.2	0.20	0.01	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
Max	5.9	1.08	0.02	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
Min	0.7	0.03	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000

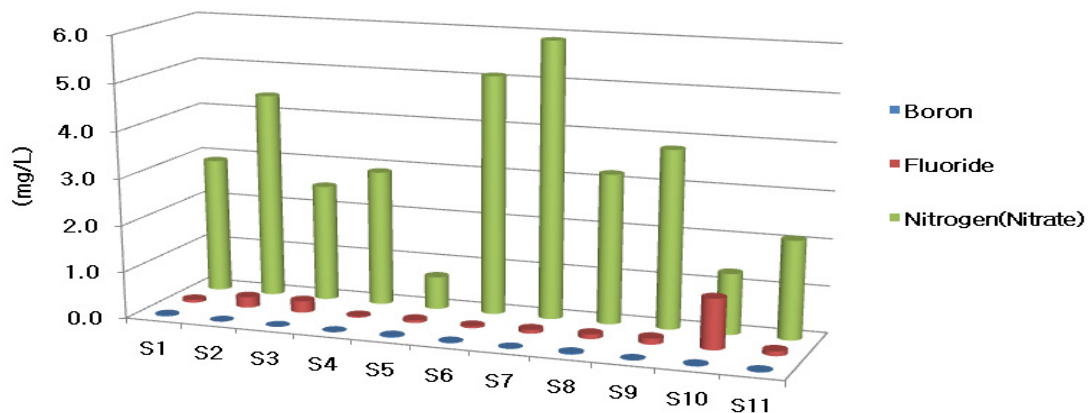


Fig. 6. Distribution of the inorganic materials.

었다.

11개 지점에 대해 검사한 결과 암모니아성질소, 비소, 시안, 크롬, 납, 카드뮴, 수은, 셀레늄 등 8개항목은 전지점에서 검출되지 않았고, 질산성질소, 불소, 보론성분은 지점별로 검출되었다.

질산성질소는 금정구 지점이 5.9 mg/L로 타지점과 비교시 다소 높게 검출되었고, 북구지점이 0.7 mg/L검출로서 가장 낮았다. 원수가 계곡수인 서, 북, 사상지점은 0.7~2.9 mg/L 나타났으며 11개구 평균치는 3.2 mg/L이하로 조사되었다. 질산성질소가 먹는물수질기준 10 mg/L보다 높게 나타난 곳은 없었으나, 지하수를 사용하는 금정구는 5.9 mg/L로 나타나, 적절한 정수처리를 하여 공급해야 할 것으로 사료되었다. 주요 오염원으로는 농업용 질소비료, 분뇨, 생활하수, 축산폐수, 공장폐수 등이며 타지역과는 달리 질산성질소 초과율이 높지 않은 것은 부산의 지역적인 특성이라 하겠다.

음용수에 존재하는 질산성질소 성분은 사육되는 동물이나 인체에 여러 가지 형태로서 건강을 해치게 된다. 먹는물 중의 질산성질소는 각종 질소화합물이 산화되어 발생하는 최종 생성물이며 보통의 수처리와 염소처리에서 변화되지 않기 때문에 처리수 농도는 원수와 거의 같게 나타나며, 질산성질소 독성은 거의 무시해도 좋으나 2차, 3차적인 영향을 미칠 수 있다는 점에서 주목된다. 2차적인 독성은 미생물에 의해서 질산성질소가 아질산성 질소로 환원됨으로써 초래된다. 환원된 아질산성질소는 혈류내로 흡수되며, 헤모그로빈과 반응하여 혈액의 산소전달계 기능을 부분적으로 상실시킨다. 이러한 작용은 특히 유아에게 메트헤모글로빈혈증을 일으킬 가능성이 있다.<sup>3)</sup>

일반적으로 질산성질소는 토양, 물 및 식물 중에 상당량 존재하며 지하수에서는 얇은 지하수에 많이 용존되어 있으나 깊은 지하수에는 미량 존재한다. 질산성질소 제거 방법은 이온교환법, 역삼투법 및 전기투석법이 있다.

암모니아성질소 성분은 전지점에서 불검출, 먹는물수질기준 0.5 mg/L이하로 수질기준에 적합한 것으로 나타났다.

불소성분은 사상구지점이 1.08 mg/L범위로 지속적으로 검출되었다. 수원이 계곡수로서 주변에 특별한 오염원이 발견되지 않았고, 따라서 불소는 자연 지질에 함유된 것이 검출된 것으로 사료된다. 이러한 불소는 할로젠원소로서 가장 반응성이 높은 원소이므로 자연계에서 불소화물( $F^-$ ), 규불화물( $SiF_6^{2-}$ ) 등의 화합물 형태로 존재하며 주요 광석은 형석( $CaF_2$ ), 빙정석( $Na_2AlF_6$ ), 불소인회석( $[Ca_{10}F_2PO_4]_6$ )으로 자연계에 널리 분포되어 있으며, 수중

의 불소는 주로 지질에 의해 발생하는 경우가 많다. 지각에 약 0.3 g/kg 정도로 토양 중에 널리 분포하기 때문에 자연수에도 함유되어 있다.<sup>(1)</sup> 불소의 제거방법은 활성탄이나 여과법의 일반 정수방법으로는 제거되지 않으며, 역삼투압법, 활성알루미나법, 연수화장치로 제거할 수 있다.

보론성분은 서, 북, 강서구지점에서 0.02 mg/L검출되었는데, 먹는물수질기준은 0.3 mg/L이하이며, 5개지점에서 불검출로 나타났다. 보론은 지하수, 온천, 자연수계 등에 미량함유 되어있으며 살균제, 세척제, 비료, 조류제거제 등에 사용되며, 만성중독시 식욕부진 및 멀미, 구토, 피부홍반 등을 유발한다. 처리법으로는 활성탄흡착 및 여과처리법이 있다.<sup>3)</sup>

### 심미적영향물질

심미적 영향물질 16개 항목에 대한 조사결과를 물질별로 다음과 같이 분류하였다.

#### 탁도, 색도 등 물질

심미적영향물질 16개 항목 중 맛, 냄새, 탁도, 색도, 수소이온농도, 과망간산칼륨소비량, 경도, 6항목을 조사하였다. 순수한 물질에 대한 이물질의 유입을 의미하는 맛과 냄새의 검사결과는 조사지점 모두 먹는물 수질기준에 적합하게 나타났다. 음용수 중 물맛은 단맛, 신맛, 쓴맛, 짠맛의 4종류가 있으며, 취기와 밀접한 관련이 있으며, 특히 유기물에 의한 맛은 냄새를 동반한 것이 많다. 맛을 느끼게 되는 원인물질로는 당류, 다가 알코올, 황산염, 염소이온, 철, 망간, 아연, 구리 등 이온성 무기물질의 잔존에 의해 맛에 영향을 나타내며, 냄새의 직접적인 원인물질로서는 유기물의 존재, 조류의 번식, 지질화적인 요인, 생활하수 및 폐수의 유입으로 발생한다. 물속에 부유하는 부유입자의 양을 나타내는 탁도는 금정구지점이 1.72 NTU로 높게 나타났으며, 서구 및 북구지점에서 0.76 NTU로 나타났다. 탁도의 초과율이 높게 조사되었는데 탁도 제거를 위해서는 보통침전과 완속여과 또는 약품침전과 급속여과 방식이 가장 널리 적용되고 있다. 또한 일반적인 여과로 제거가 불가능한 철, 망간 등이 용해성 금속과 질산성질소의 제거를 위해서는 막여과(membrane filtration) 공법의 적용이 바람직하다.<sup>2)</sup> 심미적영향물질 6항목에 대한 검사결과를 Table 6에 표시하였고, 지점별 탁도 결과는 Fig. 7에 나타내었다.

Table 6. Analytical results for the aesthetic effect materials

Sampling site	Aesthetic effect materials					
	Odor	Taste	Turbidity	pH	KMnO <sub>4</sub>	Total Hardness
S1	적합	적합	0.76	7.4	0.4	48
S2	적합	적합	0.43	7.9	0.4	43
S3	적합	적합	0.47	7.7	0.5	32
S4	적합	적합	0.39	7.8	0.4	81
S5	적합	적합	0.76	8.1	0.4	2
S6	적합	적합	0.25	7.9	0.3	64
S7	적합	적합	1.72	7.3	0.3	59
S8	적합	적합	0.48	7.7	0.4	4
S9	적합	적합	0.17	7.8	0.4	41
S10	적합	적합	0.19	8.1	0.3	19
S11	적합	적합	0.32	7.7	0.4	61
Avg(S1~S11)	적합	적합	0.54	7.7	0.4	41
Max	적합	적합	1.72	8.1	0.5	81
Min	적합	적합	0.17	7.3	0.3	2

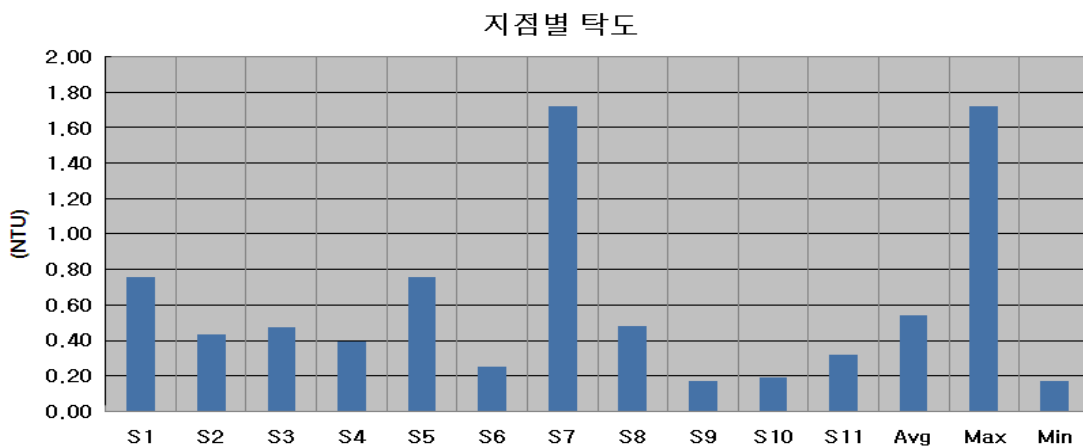


Fig. 7. Analytical results for turbidity by region.

물의 산성 또는 알칼리성을 나타내는 수소이온농도의 검출범위가 7.3~8.1로 수질기준 5.8~8.5의 범위에 모두 들어 전 지점 모두 수질기준에 적합한 것으로 나타났다.

과망간산칼륨소비량은 11개 전지점은 0.3~0.5 mg/L로 나타나, 수질기준 10.0 mg/L이하로 검출 되었다.

또한 경도는 진구지점이 81 mg/L으로 타지점 보다 다소 높게 나타났지만 수질기준 경도 300 mg/L이하로 나타

났다.

**염소이온, 황산이온 등 물질**

심미적영향물질 16항목 중 구리, 염소이온, 황산이온, 철, 망간, 알루미늄, 아연 등 7개 항목의 검사결과를 Table 7에 나타내었으며 그 중 염소이온, 황산이온, 철, 아연농도 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

Table 7. Analytical results for the aesthetic effect materials

Sampling site	Aesthetic effect materials						
	Cu	Cl	SO <sub>4</sub>	Fe	Mn	Al	Zn
S1	0.001	17	10	0.04	0.000	0.009	0.030
S2	0.000	12	8	0.07	0.000	0.000	0.000
S3	0.000	14	9	0.03	0.050	0.000	5.500
S4	0.000	10	11	0.00	0.000	0.000	0.007
S5	0.002	10	13	0.00	0.000	0.000	0.013
S6	0.000	27	24	0.07	0.000	0.009	0.012
S7	0.001	19	15	0.14	0.000	0.033	0.016
S8	0.000	6	24	0.07	0.000	0.203	0.008
S9	0.000	9	18	0.05	0.000	0.000	0.000
S10	0.003	38	12	0.05	0.005	0.007	0.010
S11	0.000	10	26	0.10	0.000	0.035	0.016
Avg(S1~S11)	0.001	16	15	0.06	0.001	0.027	0.510
Max	0.003	38	26	0.14	0.050	0.203	5.500
Min	0.000	6	8	0.000	0.000	0.000	0.000

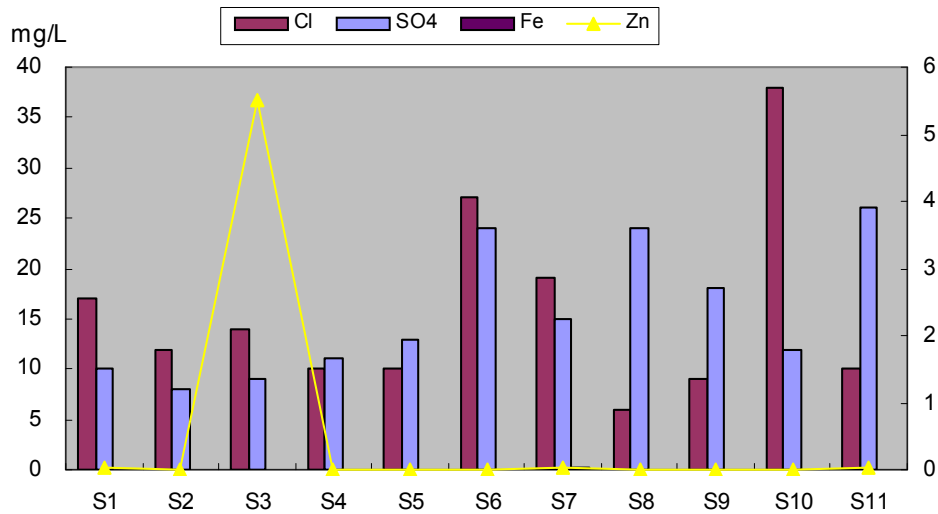


Fig. 8. Distribution of aesthetic effect materials concentration.

전 지점에서 염소이온은 6~38 mg/L, 황산이온은 8~26 mg/L의 범위로 검출되어 수질기준 염소이온 250 mg/L, 황산이온 200 mg/L보다 낮게 조사되었다. 고대 지질환경이 해양지역인 경우의 지하수에서 염소이온이 높게 나타날 수 있으며, 염소함유 광물의 제설용 염화칼슘 등의 사용으로 지하수내 염소이온의 농도가 높아지기도 한다.<sup>2)</sup>

염소이온은 수중에 용존하고 있는 염화물 중에 함유된 염소를 말하며, 자연상에 널리 분포되어 있다. 수중 침투 경로는 해수, 지질의 영향, 산업장 폐수 유입 등을 들 수 있다. 철성분은 금정구지점 0.14 mg/L, 동, 해운대구지점 0.07 mg/L, 기장군지점 0.10 mg/L 검출되었고 진, 북구지점은 검출되지 않았으며, 모두 수질기준 0.3 mg/L에 적합

하였다. 철은 지각에서 가장 풍부하게 존재하는 금속중의 하나이다. 자연상의 담수에서는 0.5~50 mg/L 정도의 농도로 존재한다. 응집제로서 사용되었을 때 또는 배수계통에서 강관과 주철관의 부식의 결과로 음용수 내에 존재할 수도 있다. 망간성분은 조사에서 영도구지점에서 0.050 mg/L로서 최대치를 나타내었고 사상구지점에서 0.005 mg/L로서 미량 검출되었으나, 타지점은 검출되지 않았으며, 모두 수질기준 0.3 mg/L에 적합한 것으로 나타났다.

알루미늄성분은 서구지점 등 6개지점에서 검출되었는데 금정구지점에서 0.203 mg/L로서 최대치를 나타내었는데, 이는 전체 구군의 평균값 0.027 mg/L의 10배를 초과하여 조사되었다. 알루미늄은 자연에 널리 분포되어 있으며 탁도물질을 제거하기 위해 상수처리공정에서 많이 사용한다.

아연성분은 자연계에 흔히 존재하는 물질로 자연수 중에는 0.01 mg/L 이하로 존재하고 있으며 영도지점에서만 5.500 mg/L로서 수질기준 3.0 mg/L에 훨씬 높게 검출되었는데 배관에서 아연의 용출이 원인이 된 것으로 보인다. 아연은 염 또는 유기 착화합물의 형태로 거의 대부분의 음식과 음용수에 존재하는 필수 미량원소이다. 아연의 주요 섭취원은 보통 음식물이며 표류수나 지하수에서 농도는 보통 각각 0.01, 0.05 mg/L를 초과하지 않지만 수돗물에서의 농도는 배관에서 아연의 용출이 원인이 되어 높을 수도 있다. 낮은 pH 상태에서 납과 철의 황화물과 함께 주로 광석중에 황화아연(ZnS)의 형태로 존재하는 것으로 알려지고 있다.

### 소독부산물

가정 및 공공시설 등에 공급되는 수돗물은 수인성 질병을 예방할 목적으로 소독을 실시하고 있다. 염소는 소독 효과가 뛰어나며, 경제적이거나 잔류성이 뛰어나 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있다. 소독부산물은 미생물의 불활성화를 위해서 사용된 소독제가 물속의 유기, 무기물질과 반응하여 생성된다. 이들 소독부산물의 위해성은 주로 만성적으로 나타나지만 발암성이나 돌연변이원성을 가지고 있어 소비자들에게 위험을 줄 수 있다. 미생물의 생성 및 증식을 억제할 목적으로 주입하는 소독은 점차 강화되고 있다. 염소는 소독효과가 뛰어나고 경제적이기 때문에 가장 일반적으로 사용하고 있는 소독제이나 천연유기물질(Natural Organic Matter : NOM)과 같은 전구물질과 반응하여 소독부산물을 생성한다. 소독부산물 전구물질은 천연유기물질과 브롬 등을 포함하고 있다. 그러나 물속에 있는 유기물질과 반응하여 클로로포름과 디

클로로아세트산 등은 발암성물질로 분류되어 있어 소독부산물에 대한 분포 특성 조사 연구는 수돗물의 안전성을 파악하기 위해서는 매우 중요하다.<sup>6)</sup>

DBPs의 종류는 Trihalomethanes(THMs), chloroform, bromodichloromethane(BDCM), dibromochloromethane(DBCM), bromoform, Haloacetic acids(HAAs), dichloroacetic acid(DCAA), trichloroacetic acid(TCAA), Haloacetonitriles(HANs), dichloroacetonitrile(DCAN), trichloroacetonitrile(TCAN), dibromoacetonitrile(DBAN), Chloralhydrate(CH) 등이 있다.

먹는물에서의 소독부산물은 소독제, 소독제 주입량, 소독제와의 접촉시간, 정수처리 공정의 효율성 등 여러 가지 공정의 요소를 포함하고 있다.<sup>7)</sup>

우리 나라의 DBPs에 대한 관리는 1990년 처음으로 THMs을 수질기준 100 µg/L로 선정하여 규제하기 시작하였고, 1998년에는 6개 항목의 DBPs를 감시항목으로 지정하여 본격적으로 관리하기 시작하였다. 1999년에는 클로로포름을 80 µg/L로 신설하였으며, 2003년 1월부터는 클로랄하이드레이트(Chloral hydrate, 30 µg/L), 디브로모아세트니트릴(Dibromoacetonitrile, 100 µg/L), 디클로로아세트니트릴(Dichloroacetonitrile, 90 µg/L), 트리클로로아세트니트릴(Trichloroacetonitrile, 4 µg/L), 할로초산류(Dichloroacetic acid + Trichloroacetic acid, 100 µg/L) 등 5항목을 먹는물 수질기준에 포함하였다. 또한 지속적인 모니터링사업으로 많이 발생하는 항목에 대하여는 지속적으로 먹는물 수질기준에 추가할 예정에 있다.

먹는물에서 다량 검출되어 문제가 되거나 규제 대상이 되고 있는 물질 및 DBPs 분석결과 THMs, HAAs, HANs, C.H의 평균농도를 Table 8에 나타내었다. 4종류의 15항목 정도로 분류할 수 있다. THMs는 4항목이 모두 먹는물 수질기준이 설정된 항목이고, HANs는 4항목 중 3항목이, HAAs는 6항목 중 먹는물 수질기준이 설정된 항목은 디클로로아세트에시드, 트리클로로아세트에시드, 디브로모아세트에시드 3항목으로서 수질기준은 3물질을 합한 농도로서 100 µg/L이다. DBPs의 규제는 점차 증가하고 있는 추세에 있다.

11개지점에서 채취하여 조사한 결과 소독부산물 평균농도는 THMs는 15 µg/L, chloroform 7 µg/L, BDCM 5 µg/L, DBCM 3 µg/L로 대부분 먹는물 수질기준보다 낮게 나타났다.

THMs 계열의 최대, 평균, 최소값은 Fig. 9에 나타내었다. THMs의 검출특성은 CHCl<sub>3</sub>이 4항목 중에서 가장

Table 8. Analytical results for disinfection by-products (DBPs) in Busan

(Unit :  $\mu\text{g/L}$ )

	Items	structural formular	Average	Maximum	Guideline
THMs	Chloroform	$\text{CHCl}_3$	7	23	80
	Bromodichloromethane	$\text{CHCl}_2\text{Br}$	5	10	30
	Dibromochloromethane	$\text{CHClBr}_2$	3	14	100
	Bromoform	$\text{CHBr}_3$	—	—	—
	Total				100
HANs	Dichloroacetonitrile	$\text{C}_2\text{HCl}_2\text{N}$	0	2	90
	Trichloroacetonitrile	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{N}$	—	—	4
	Bromochloroacetonitrile	$\text{C}_2\text{HBrClN}$	—	—	—
	Dibromoacetonitrile	$\text{C}_2\text{HBr}_2\text{N}$	—	—	100
HAAs	Monochloroaceticacid	$\text{ClCH}_2\text{COOH}$	—	—	—
	Monobromoaceticacid	$\text{BrCH}_2\text{COOH}$	—	—	—
	Dichloroaceticacid	$\text{Cl}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	—	—	—
	Trichloroaceticacid	$\text{Cl}_3\text{chloroaceticacid}$	—	—	—
	Bromochloroaceticacid	$\text{BrClCH}_2\text{COOH}$	—	—	—
	Dibromoaceticacid	$\text{Br}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	—	—	—
	Chloral hydrate	$\text{Cl}_3\text{CCH}(\text{OH})_3$	0	3	30

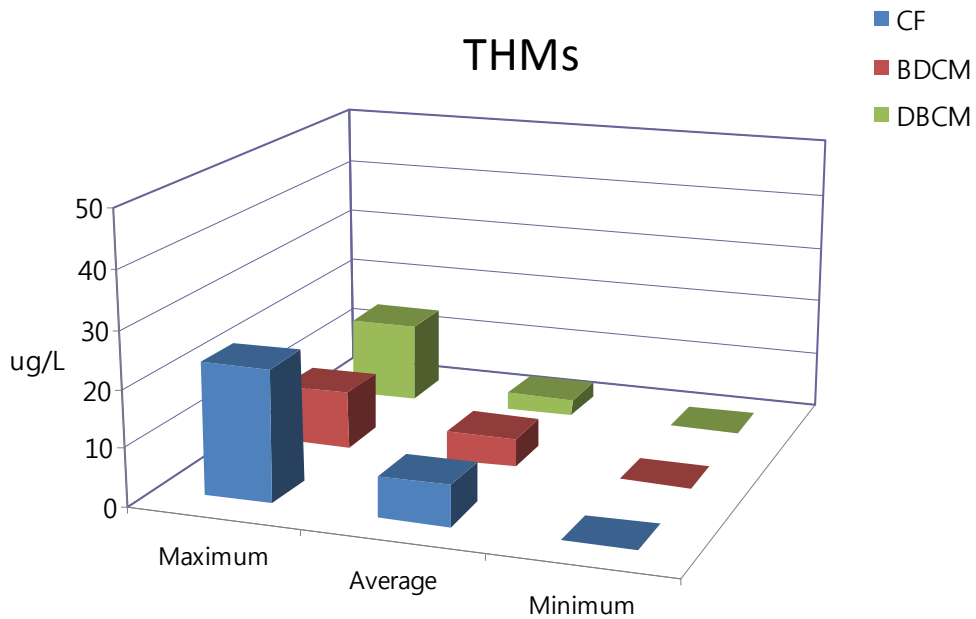


Fig. 9. Analytical results for THMs in samples.

많이 검출 되었으며, 최대 23 ug/L가 검출되어 수질기준 80 ug/L의 29%정도까지 검출되고 있었다. 그러나 평균 검출농도는 수질기준의 8.8%인 7 ug/L로 비교적 안전한 것으로 나타났다. 또한  $\text{CHCl}_3$  이외 항목에서의 평균농도는  $\text{CHCl}_2\text{Br}$ 은 5 ug/L,  $\text{CHClBr}_2$ 은 3 ug/L의 순서로 검출되어 염소계가 브롬계보다 더 많이 생성되는 것으로 나타났다. 이들 지점에 대해서는 THMs 생성 저감을 위해서는 보다 체계적인 연구와 관리에 대한 노력이 필요하다고 여겨진다.

HANs 계열은 1개지점에서 검출되었는데 HANs는 수돗물 염소소독시 생성, 물에서 가수분해되어 비휘발성물질을 생성하며 음수용 소독과정에서 유기전구체로부터 생성된다.

C,H는 사람과 가축에 대한 진정제 또는 수변제로 사용되며 산업폐수 유입과 수돗물의 염소 처리과정 중에 생성된다. C,H는 trichloroacetaldehyde가 물에서 분해되어 생성되는 물질로서 사람과 개에게 급속히 흡수되어 trichloroacetic acid로 산화되거나 trichloroethanol로 환원된다. 대부분이 trichloroethanol glucuronide로 변하여 소변으로 배출되고 소량의 trichloroethanol이 함께 배출된다. 농축된 용액은 위벽을 자극하며, 희석되지 않은 제제를 섭취하였을 경우 구역, 구토를 일으킨다.<sup>9)</sup> 금정구지점이 BDCM이 10 ug/L로 최대치를 나타내었고, 강서구가 8 ug/L로 조사되었다. 동구지점은 chloroform이 23 ug/L로 최대치를, CH가 3 ug/L로 나타났다. 영도구지점은 THMs이 30 ug/L, DBCM 14 ug/L로서 최대치를 나타내었다.

따라서 부산시내 마을상수도에 존재하는 유기물의 경우 염소와의 반응에 있어 생성되는 HAAs와 같은 할로아세트산류 소독부산물 보다 THMs과 같은 염소계 소독부산물 생성에 유리한 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다. HAAs의 경우 검출이 되지 않음을 알 수 있다. 반면 THMs의 경우 모든 경우에 0~30 ug/L정도인 현행 수질기준 이하의 낮은 농도로 검출되었다.

발암물질인 Chloroform, DCAA 등을 비롯한 소독부산물들은 여름철(7~9월)에 높은 농도로 검출 될 수 있기 때문에 이에 대한 모니터링은 매우 중요하다. 따라서 향후 계속적으로 소독부산물에 대한 모니터링은 계속되어야 하고, 이들의 제어를 위한 정수처리공정에 대한 연구도 함께 수행되어야 한다. 한편, 소독부산물의 경우 물속에 존재하는 용존 유기물과 염소와의 반응으로 생성되는 물질이므로 일반적으로 물속에 존재하는 용존 유기물의 양이 많을 경우 소독부산물의 생성량이 높아진다.<sup>7)</sup>

## 방사성물질

최근 일부 지역에서 지하수 중의 자연방사성물질에 대한 문제가 부각되면서 실태조사 결과에 따라 국민의 건강과 관련하여 관심이 점점 높아지고 있다.

지하수중 자연방사성물질은 인위적인 요소에 의한 것이 아니라 자연적으로 존재해오고 있으며 인간에게 피폭되는 연간 방사성량의 82%는 지질기원으로 라돈과 우라늄 등 자연방사성 핵종에 의한 것으로 장기간 노출되면 폐암, 골수암, 면역체계 감퇴 등의 질병을 유발할 가능성이 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>10)</sup>

본 연구는 부산지역 마을상수도시설 11개구, 22개지점을 대상으로 2012년 상반기(3월), 하반기(9월) 각 1회에 걸쳐 방사성물질을 조사하여 2회 평균치 농도를 Table 9에 나타내었다.

우라늄은 자연적으로 존재하는 방사성동위원소 중 가장 무거운 원소로 대부분 U-238 형태로 존재한다. 평균농도가 1.95 ug/L이었으며 사상구지점이 18.25 ug/L로 가장 높게 나타났다.

라돈은  $\alpha$  방사체이며 비활성 기체이다. 분석결과 전지점에서 미량 검출되었는데, 평균 20~483 pCi/L범위로 나타났으며 지하수에서 상대적으로 높은 농도(50~483 pCi/L)로 검출되었고 지표수에서는 거의 background 수준을 보였다. 이러한 수치는 미국에서 조사한 53,000 pCi/L, 캐나다에서 조사한 81,000 pCi/L보다는 상당히 낮은 농도임을 알 수 있었다. 미국 EPA 먹는물 제안치는 4,000 pCi/L이다.

전알파의 미국 EPA 먹는물 수질기준은 15 pCi/L 이하이며, 분석결과 5개지점에서 검출되었는데 평균 0.417 pCi/L로 나타났으며, 강서구지점이 2.085 pCi/L로서 최대치를 나타내었다.

라듐은 알칼리토류족에 속하는 방사성동위원소이며 지각중에 광범위하게 분포한다. 동위원소로 Ra-223(U-235 series), Ra-226(U-238 series), Ra-224와 Ra-228(Th series)가 있으며,  $\text{BaSO}_4$  공침원리를 이용하여 측정하였다. 측정결과 모든 시료에서 검출한계 이하로 불검출되었다.

조사한 결과 방사성 물질농도는 최대 검출농도를 기준으로 하였을 때 라돈은 483 pCi/L로서 미국 EPA 먹는물 제안치의 12.1% 수준, 전알파는 2.085 pCi/L로서 미국 EPA 먹는물 수질기준의 13.9% 수준으로 나타났으며, 라듐 및 세슘은 모든 시료에서 불검출되었다. 따라서 미국 EPA 수질기준과 제안치 보다 훨씬 낮은 분포를 나타냄을 알 수 있었다(Table 9).

Table 9. Average concentration of radionuclides

Sampling site	Radionuclides				
	U ( $\mu\text{g/L}$ )	Rn (pCi/L)	Gross- $\alpha$ (pCi/L)	Radium (pCi/L)	Cesium (pCi/L)
S1	0.00	31	0.260	0.000	0.000
S2	0.05	25	0.000	0.000	0.000
S3	0.28	186	0.200	0.000	0.000
S4	0.13	26	0.610	0.000	0.000
S5	0.80	20	0.000	0.000	0.000
S6	0.00	42	0.000	0.000	0.000
S7	1.52	135	0.000	0.000	0.000
S8	0.00	483	2.085	0.000	0.000
S9	0.08	50	0.000	0.000	0.000
S10	18.25	297	1.435	0.000	0.000
S11	0.34	96	0.000	0.000	0.000
Avg(S1~S11)	1.95	126	0.417	0.000	0.000
Max	18.25	483	2.085	0.000	0.000
Min	0.00	20	0.000	0.000	0.000

### 방사성 물질 농도와 지질학적 영향

부산지역은 한반도 동남부 경상분지의 밀양지괴내 남동단부에 해당하며, 중생대 백악기의 경상누층군의 퇴적암이 분포하고 이를 관입 분출한 화산암류인 안산암질과 백악기 최후기에 있었던 심성관입작용에 의한 심성암인 불국사화강암류, 마산암류 및 맥암류 그리고 제4기의 퇴적암층등이 주요 지질구성원이 된다.<sup>4)</sup> 부산지역의 지질은 주로 퇴적암류가 발달하는 남서단부의 다대포지역, 화산암류가 발달하는 남, 동부지역인 구덕산-황령산-장산지역, 그리고 화강암류가 발달하는 북부의 금정산 지역으로 크게 삼대분 할 수 있다.

2006년 국립환경과학원에서 지하수원별 방사성물질의 함유농도를 조사한 결과 화강암 > 퇴적암 > 변성암 > 화산암 순으로 높게 나타났으며, 화강암 중 방사성 물질 농도가 높은 지질은 주로 대보 화강암(라돈 평균 2,000 pCi/L), 홍제사 화강암(라돈 평균 1,500 pCi/L) 순으로 조사되었다.<sup>11)</sup> 지질별 함량조사 결과 우라늄은 화강암지역에서, 라돈은 화강암과 변성암지역에서 높게 나타나는 데 화강암으로 이루어진 사상구, 금정구 오륜동, 북구 지

역이 전반적으로 타지역 보다 우라늄 함량이 높았다. 화산암의 일종인 안산암 및 안산암질응회암 지질이 분포하고 있는 서구지점, 유문암 및 유문암질응회암지질의 해운대구지점의 우라늄은 낮은 농도로 검출 되었다.

주로 화산암류인 중성화산암류인 부산진구지점도 우라늄 함량분포가 낮았다.

조사지점인 기장군 정관면 지점은 농도가 상대적으로 낮은 불국사 화강암의 일종인 각섬석화강암으로 지질의 구성 성분이 방사성 물질의 농도에 미치는 영향은 낮은 것으로 나타났다.

라돈 역시 화강암으로 이루어진 강서구, 사상구 지점이 비교적 높게 나타났으며, 안산암 및 안산암질응회암이 관입된 지층인 서구지점이 낮은 농도로 검출 되었다.

전알파 함량은 옥천계변성암>화강암>퇴적암>변성암>화산암 순으로 감소하는데 라돈함량과 유사하게 강서, 사상 구지점의 함량농도가 높게 나타났으나, 대부분지점에서 검출이 되지 않았다.

지질별 함량조사 결과 우라늄, 라돈, 전알파는 모두 미국 먹는물 수질기준 이하였고, 라듐, 세슘은 검출되지 않



았다.

우리나라는 아직 자연방사성물질에 대한 먹는물 수질 기준은 없으나 우리나라는 먹는물의 안전성 확보를 위하여 감시항목(30  $\mu\text{g/L}$ )으로 지정(07.10)되었으며, 주요국가의 지하수 중 자연방사성물질 규제 동향을 보면 우리나라에서 미국(30  $\mu\text{g/L}$ , 먹는물 기준)만 규제기준이 설정되어 있으며 라돈은 미국(4,000 pCi/L, 가이드라인), 노르웨이(13,500 pCi/L, 가이드라인)등 설정되어 있다.

환경부가 2011년 전국 104개 시군구 314개 마을상수도 원수의 자연방사성물질 함유 실태를 조사한 결과 우리나라가 미국의 먹는물 기준치를 넘은 곳은 전체의 5.1%인

16개 지점, 라돈은 전체의 17.8%인 56개 지점이었다. 강원 철원군 서면에서는 우리나라가 미국 기준치의 24배에 달하는 양이 검출되었고, 충남 아산시 음봉면에서는 L당 563  $\mu\text{g}$ 의 우라늄과 1만1천612pCi의 라돈이 각각 검출된 것으로 집계됐다. 자연방사성물질이 비록 자연적으로 함유된 물질이라 하더라도 장기간 음용시 국민 건강상 위해가 우려되므로, 시설개선과 병행하여 자연방사성물질의 먹는물 수질 기준 설정 등 중장기 대책 마련 필요성이 제기된다.

Fig. 10은 국립환경과학원에서 조사한 타지역 지하수 중 우라늄의 함량 분포와 본 연구 조사결과를 비교하여

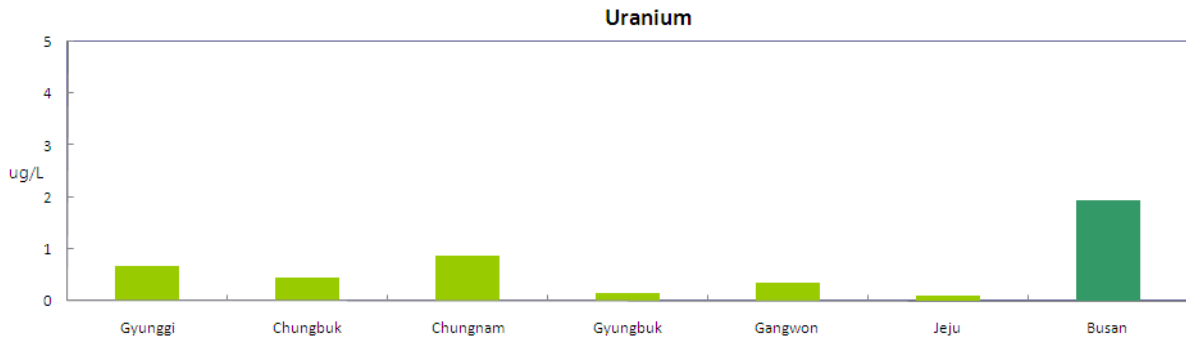


Fig. 10. Comparison with other region in uranium concentration.

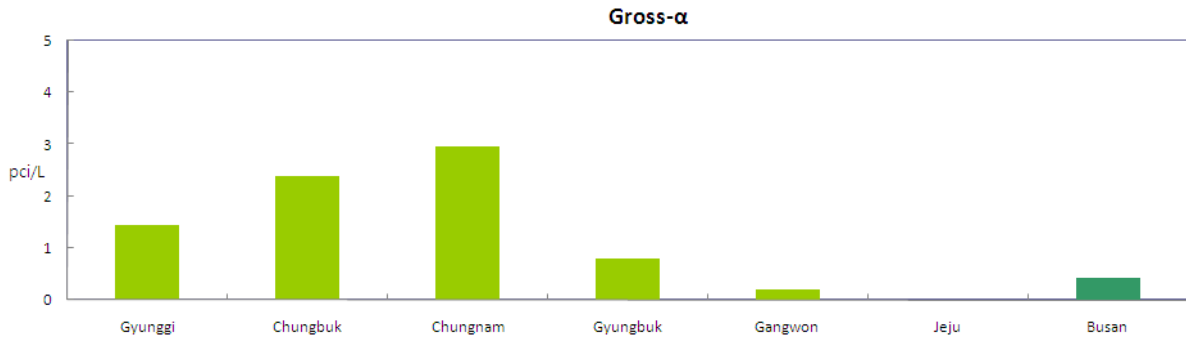


Fig. 11. Comparison with other region in gross- $\alpha$  concentration.

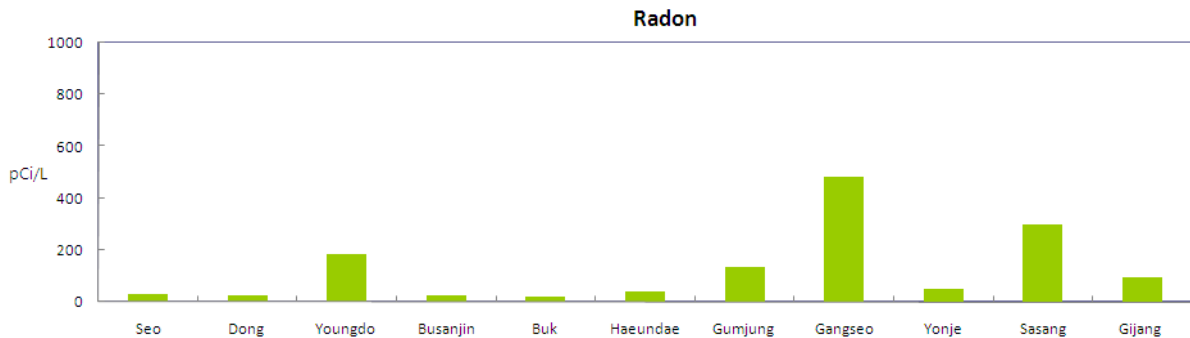


Fig. 12. Distribution of radon of small water-supply facilities by region.

나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 부산지역은 다른 지역에 비하여 우라늄 농도가 매우 높음을 알 수 있다. 이는 지하수의 우라늄 함량은 화강암 지하수에서 높게 검출되며<sup>1)</sup>, 암석 자체의 우라늄 함량이 높기 때문인 것으로 보인다. 지하수중 우라늄 함량은 화강암지대에서 가장 높고, 화산암지대인 제주도에서 가장 낮아 향후 전국적인 지하수중 방사성물질 조사에는 화강암류 위주의 조사가 필요하다고 생각된다.

Fig. 11은 국립환경과학원에서 조사한 타 지역 지하수중 전알파의 함량 분포와 본 연구 조사결과를 비교하여 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 부산지역은 강원도와 제주도를 제외하고는 다른 지역에 비하여 전알파 농도가 낮음을 알 수 있다.

Fig. 12는 라돈의 구·군별 농도를 나타내었는데, 강서구와 사상구에서 높게 나타났으며, 그외 영도구, 금정구에서 평균 농도 이상을 나타내었다. 낮은 농도를 나타낸 진구, 연제구 지역의 지질은 안산암 지질로 형성되어 있고, 강서구 지사동, 녹산동 일원의 북동부와 남부에서는 화강암류가 분포한다. 따라서 이들 암질의 영향 때문인 것으로 사료된다.

## 결론

부산지역 소규모수도시설의 수질 특성을 평가하기 위하여 2010년부터 2012년까지 간이상수도 93개지점을 대상으로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 부산지역 소규모수도시설의 취수원별 시설수는 계곡수 52개소(55.9%)를 취수원으로 하는 시설이 대부분을 차지하고 있으며, 지하수 41개소(44.1%)로 나타났다. 여과처리 현황은 미처리 6개소(9.7%), 완속여과시설이 5개소(5.4%), 급속여과시설이 3개소(3.2%)로 여과시설의 운영이 미미한 실정으로서, 적절한 수처리시설을 도입하는것이 바람직하다.
2. 수질기준 초과 정도는 총대장균군(137건) > 탁도(75건) > 일반세균(57건) > 분원성대장균군(38건) > 질산성질소(18건) > 알루미늄(6건) 순이었다.
3. 건강상 유해 유기물질인 다이아진논(Diazinon) 등 16개 항목을 조사한 결과 모든 지점에서 전혀 검출되지 않아, 유해유기물 오염은 없는 것으로 나타났다. 질산성질소는 금정구 지점이 5.9 mg/L로 타지점과 비교시 다소 높게 검출되었고, 북구지점이 0.7 mg/L 검출로서 가장 낮았다.

4. 탁도는 금정구지점이 1.72 NTU로 높게 나타났으며, 서구 및 북구지점에서 0.76 NTU로 나타났으며, 알루미늄성분은 동구 등 5개지점은 검출되지 않았고, 서구지점 등 6개지점에서 검출되었는데 금정구지점에서 0.203 mg/L로서 최대치를 나타내었다. 금정구지점이 질산성질소, 탁도, 알루미늄성분이 높게 검출되어 적절한 정수처리를 하여 공급해야 할 것으로 사료된다.
5. 소독부산물은 할로아세트산류 보다 THMs과 같은 염소계 소독부산물 생성에 유리한 특성을 가지고 있는 것으로 판단되며 평균농도는 THMs는 15 ug/L, chloroform 7 ug/L로 대부분 먹는물 수질기준보다 낮게 나타났다. THMs의 검출특성은 CHCl<sub>3</sub>이 4항목중에서 가장 많이 검출되었으며, 최대 23 ug/L가 검출되어 수질기준 80 ug/L의 29%정도까지 검출되고 있었다. 또한 CHCl<sub>3</sub> 이외 항목에서의 평균농도는 CHCl<sub>2</sub>Br은 5 ug/L, CHClBr<sub>2</sub>은 3 ug/L의 순서로 검출되어 염소계가 브롬계보다 더 많이 생성되는 것으로 나타났다.
6. 우라늄은 전지점에서 미량 검출되었는데, 평균농도가 1.95 ug/L이었으며 사상구지점이 18.25 ug/L로 나타났다. 라돈은 483 pCi/L로서 미국 EPA 먹는 물 제한치의 12.1% 수준, 전알파는 2,085 pCi/L로서 미국 EPA 먹는 물 수질기준의 13.9% 수준으로 나타났으며, 라듐 및 세슘은 모든 시료에서 불검출되어 미국 EPA 수질기준과 제한치 보다 훨씬 낮은 분포를 나타낼 수 있었다. 지질별 함량조사 결과 우라늄은 화강암지역에서, 라돈은 화강암과 변성암지역에서 높게 나타나는데 화강암으로 이루어진 사상구, 금정구 오륙동, 북구 지역이 전반적으로 타지역 보다 우라늄 함량이 높았다. 화산암의 일종인 안산암 및 안산암질응회암 지질이 분포하고 있는 서구지점, 유문암 및 유문암질응회암지질의 해운대구지점의 우라늄은 낮은 농도로 검출되었다. 자연방사성물질은 장기간 음용시 국민 건강상 위해가 우려되므로, 시설개선과 병행하여 자연방사성물질의 먹는물 수질 기준 설정 등 중장기 대책 마련 필요성이 제기된다.
7. 소규모수도시설의 합리적인 관리방안으로서는 대부분 시설이 노후되고 관리가 소홀하며, 수질오염과 수량부족 등으로 주민들의 생활에 불편을 초래할 뿐만 아니라 건강을 크게 위협하고 있는 현실이다. 소규모수도시설의 안정적인 운영관리를 위해서는 지자체의 여건에 따라서 전문인력을 대체할 만한 새로운 시스템의 도입이 필요할 것으로 판단된다. 마을상수도의 지속적

인 유지관리를 위하여는 특정지역의 지하수 잠재오염 원인 등을 조속히 파악하여 오염방지대책수립 및 오염된 토양 정화기술의 개발, 지하수원 개발로 인한 폐공의 유지관리, 등의 장기적인 수질보존대책이 동시에 요구된다.

8. 소규모수도시설의 개선목표는 보다 안전하고 맛있는 물을 공급하는 것으로 시설의 정비와 효율적인 운영 및 관리시스템을 구축하는데 역점을 두어야 한다. 궁극적으로는 지역내 산재해 있는 소규모 수도시설을 통합하거나 단계적으로 광역 및 지방상수도로 급수구역을 전환하는 것이 필요하다.

### 참고문헌

1. 이춘식, 박현건, 이치엽, 홍성철, 경남지역 간이상수도 시설특성별 관리개선방안에 관한 연구 대한환경공학회 2006춘계학술발표회 논문집, pp.1101~1108(2006).
2. 김지은, 오정우, 강금배, 국내 마을 상수도 운영 및 수질 현황 분석, 대한환경공학회지 pp.353~357(2006).
3. 조정호, 윤혜정, 강대신, 김균희, 박정신, 간이상수도 원수의 안전성에 관한 조사, 울산광역시 보건환경연구원보 2, pp.131~173(2003).
4. 전대영, 최유정, 김시영, 이승민, 이경심, 부산지역 지하수의 방사성물질 조사연구, 부산광역시보건환경연구원보 2, pp.1~18(2008).
5. 박상정, 전원화, 오정환, 장석재, 김근수, 소규모수도시설 수질관리방안 연구, 국립환경과학원 2(2010).
6. 장현성, 이도원, 김창모, 이인숙, 박현, 서울시 수돗물에서의 소독부산물 분포특성, 서울특별시 상수도연구소, pp.97~102(2004).
7. 염철민, 최유식, 변석중, 조순행, 윤제용, 국내 주요 상수원수와 처리수에서 HAAs 생성 특성, 상수도학회지, pp.169~176(2002).
8. 최정학, 남광현, 마을상수도 지하수오염 원인 및 개선방안 연구, 대구경북연구원보(2007).
9. 이덕안, 김경수, 김양기, 이정일, 이해훈, 수돗물 중 염소소독부산물 최소화 방안, 전남보건환경연구원보(2006).
10. 이명희, 박민우, 차수길, 지하수 중 자연방사성물질 실태 조사, 경남연구원보, pp.131~151(2008).
11. 박홍기, 수계중의 방사성물질 분포실태조사, 부산광역시 상수도사업본부 수질연구소(2007).
12. 국립환경연구원, 지하수중 방사성물질 함유실태에 관한 조사연구(3), pp.66~119(2001).
13. 구자용, 소규모 수도시설의 현황 및 개선방안, 서울시립대학교(2009).
14. 김경미, 정선선, 박현건, 서부경남지역 간이상수도의 수질특성에 관한 연구, 대한상수도학회2008추계학술발표회, pp.734~735(2008).
15. 김홍태, 김경호, 소규모 수도시설의 효율적 개선방안에 관한 연구, 한국수처리학회지 pp.65~76(2007).
16. 이진, 김은숙, 김광래, 정숙녀, 이만호, 서울시 수돗물의 소독부산물 발생 특성, 대한상수도학회지, pp.483~484(2009).
17. 류문현, 마을상수도의 합리적인 관리방안에 관한 연구, 한국수자원공사 경제연구소(2008).
18. 염수빈, 소규모수도시설 관리방안, 대전발전연구원(2006).
19. 정문호, 일부 농촌지역의 간이상수도 수질 및 관리 개선방안에 관한 조사연구, Kor.J.Env.Hith.Soc.Vol.17 No. 1, pp.57~66(1991).
20. 박석기, 안승구, 엄석원, 먹는물 수질관리해설, 동화기술사, pp.87~98(1998).
21. 심재진, 경상북도 소규모수도시설 개선대책, 경상북도, pp.54~80.
22. 김익수, 서울지역의 지하수 수질특성에 관한 연구, 한국 지하수도양환경학회지, pp.54~63(2004).
23. 대전지역 지하수에 함유된 우라늄 및 라돈의 함량, Econ. Environ. Geol., 29(5), pp.589~595(1996).
24. 한국지질자원연구소, 지하수 중 방사성물질 함유실태 조사결과, 국립환경연구원 보도자료(2002).
25. 환경부, 먹는물 수질감시항목 운영지침(2009).
26. 한정희 외 1인, 대전지역 지하수에 함유된 우라늄 및 라돈의 함량, Econ. Environ. Geol., 29(5), pp.589~595(1996).
27. 이병창 외 9명, 충청남도내 수돗물 중 염소소독 부산물 발생 현황, 충청남도보건환경연구원보(2003).