

다중이용시설에서의 먹는물 위해성 평가

백영만^{*,***} · 정 용^{**†} · 박제철^{*} · 김형진^{***}

^{*}금오공과대학교 토목환경공학부
^{**}연세대학교 의과대학 예방의학교실
^{***}한국환경수도연구소

Risk Assessment of Drinking Water Pollutants

Young Maan Beck^{*,***} · Yong Chung^{**†} · Je Chul Park^{*} · Hyung Jin Kim^{***}

^{*}School of Civil and Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Tech.

^{**}Yonsei University College of Medicine

^{***}Korea Environment and Water Works Institute, Korea

(Received 29 September 2006, Accepted 23 November 2006)

Abstract

As expanding municipal and industrial areas since started the economic development plan in earnest in 1970's, the water resource, mainly river surface water has been seriously polluted. Nevertheless, being upgraded in their treatment technologies for the drinking water, the safety has been issued one of crucially social problem in Korea. The water authorities has tried to improve the quality such as amending the drinking water quality standard to be monitored; hazardous chemicals and microorganism have been added and now 55 items, before 47 items, since in 2002. The Water Authorities of Seoul, the capital city of Korea, planned to assess the safety of drinking water quality after amended the standard. This study was conducted to assess the risk due to polluted chemicals including 21 heavy metals, VOCs, pesticides, PAHs, DBPs and organic chemicals among the regulated items. The risk assessment were undertaken hazard identification, exposure assessment, dose-response assessment and risk characterization. For the exposure assessment, tap water, bottled water and purified water were sampled and analyzed in February, 2004. Risk characterization of detected chemicals was categorized into carcinogenicity and noncarcinogenicity, and estimated the excess of carcinogens and compared with the reference dose (RfD) of noncarcinogens. The excess risk of carcinogens from samples were considered comparatively in the acceptable levels; 10^{-6} for cancer risk and hazard quotient (HQ) 1.0 for noncancer risk. The detected levels were estimated in 10^{-5} ~ 10^{-6} of cancer risk and below 1.0 of HQ of noncancer risk. While three kinds of water were determined within the acceptable levels, DBPs were detected in tap water and purified water and some undesirable chemicals such as more fluoride detected rather than the quality standard. For the drinking water safety, it should be continuously monitored, assessed and managed as well risk communication between the authorities and public.

keywords : Drinking water, Risk assessment

1. 서론

과거 먹는 물은 인간이 살아가는데 없어서는 안 될 생리적 필수성에 의하여 그냥 마시는 수준에 불과했었으나, 이후 경제성장과 소득수준의 향상, 수질오염의 심화로 인하여 깨끗하고 안전한 물을 마시기 위한 선택의 수단으로 바뀌게 되었다. 특히, 상수원 주변에서 배출되는 각종 생활하수, 공장폐수, 농축산폐수 등으로부터 유래된 화학물질들은 수돗물에 대한 불신을 초래하는 가장 근원적인 문제가 되고 있다.

현재 우리나라에는 약 3만여종의 화학물질이 등록되어

있고, 이중 약 1만여종이 유통되는 것으로 보고되고 있으나(환경부, 2004), 이에 대한 관리대상은 약 1,000여종(환경오염물질 약 50여종, 식품위생관리물질 약 500여종, 먹는물 관리법 50여종, 유해화학물질 관리 약 500여종 등)으로 거의 관리되고 있지 않다. 이로 인하여 공적 보급물인 수돗물의 불신은 정수기와 먹는 샘물 등의 급격한 대체수단으로서, 그 사용증가를 야기하고 있다. 근래 환경부를 비롯한 여러 기관에서 실시하는 먹는 물에 대한 선호도 조사결과 정수기나 먹는 샘물을 사용하는 비율은 60% 이상에 이르는 반면 수돗물을 그대로 마신다는 비율은 10% 이하로, 수돗물을 그대로 마시는 사람은 거의 없다고 해도 과언이 아니다. 이러한 결과는 먹는 물에 대한 정확한 정보를 제공받지 못하고 있기 때문이며 이로 인해 수질기준에 적합한 물인데도 불구하고 그 안전성을 의심하기 때문으로 추정된

[†]To whom correspondence should be addressed.
ierychung@yumc.yonsei.ac.kr

다. 이와 같이 먹는 물에 대한 소비자의 정보취득상의 제한성, 안전성에 대한 불신감을 해결할 수 있는 과학적인 방법이 바로 위해성평가방법이다. 위해성평가는 예방적 차원에서 1980년 이후 관심의 대상이 되어 왔으나 과거에는 단지 오염도를 측정하고 그에 따라 생태계 및 인체 건강 피해에 대한 잠정적인 추론을 하는데 불과하였으나 최근에는 유해한 특정 환경 및 물질에 노출됨에 따라 발생 가능한 오염의 인체 및 생태계의 영향에 대한 계량적인 정보와 이들 정보를 토대로 안전성을 위한 허용 가능한 오염수준을 규명하는 합리적인 평가수단으로 사용되고 있다.

이미 미국을 비롯한 외국에서는 환경오염물질에 대한 위해성 평가가 정책결정(decision-making) 수단으로 지난 25년 동안 비교적 빠르게 발전되어 왔다.

이에 반해 우리나라에서는 아직까지 먹는 물의 위해성평가와 관련하여 오염도를 측정하고 잠정적인 위해성을 추론하는 기초적인 데이터베이스조차도 충분히 구축되지 못하고 있는 실정이다.

환경오염물질의 건강위해성 평가의 방법론을 정립하기 위한 기초조사는 1993년 G 7 프로젝트로 추진된 ‘수돗물에 대한 조사연구’(연세대학교 환경공해연구소, 1993~1998), 서울시에서 1994년과 2003년에 각각 수행한 ‘수돗물의 안전성 평가연구’(정, 1994; 백 등, 2003)가 있을 정도이다.

따라서 본 연구는 현재 우리나라에서 먹는 물로 이용되고 있는 수돗물, 정수기 및 먹는 샘물 등을 대상으로 시중에 유통되거나 다중이용시설(학교, 병원, 상가 등)에서 사용 중인 상태 그대로 채취, 분석하여 유형별 수질 특성을 파악하고 그 결과를 토대로 건강 위해성 평가를 실시함으로써 안전한 먹는물의 공급과 마실 권리를 위한 위해도 소통(Risk communication) 및 관리 대책안을 제시하고자 하는 것을 목적으로 실시하였다.

2. 재료 및 방법

다중이용시설(Table 1)에 설치된 수돗물과 정수기물, 먹는 샘물에 대한 수질분석을 실시하고 그 결과를 토대로 위험성 확인(Hazard identification), 노출평가(Exposure assessment), 용량-반응평가(Dose-response assessment) 및 위해도 결정(Risk characterization)의 4단계로 구분하여 수질오염물질에 대한 건강위해성을 평가하였다.

2.1. 연구대상의 선정 및 시료수

본 연구는 서울시내를 중심으로 수돗물과 정수기, 먹는 샘물 각각 30개씩 총 90개의 시료에 대해 2004년 2월 10일~2월 25일까지 채취하였다. 정수기의 경우 30개의 시료 가운데 약 43%인 13개의 시료가 역삼투압 방식의 정수기이며 2개는 단체급식용 정수기(필터여과식)이고, 나머지는 증공사막 방식의 정수기였다.

2.2. 시료의 채취방법

먼저 대상지점을 선정된 뒤 정수기와 수돗물의 경우 먹

Table 1. Water samples from public uses

Classification		Tap water	Purified water	Bottled water
Public uses	School	10	-	-
	Hospital	6	6	-
	Market	-	10	-
	Park	7	-	-
	Library	2	-	-
	Movie theater	2	3	-
	Public rest station	3	7	-
Public bath	-	4	-	
Domestic bottled water		-	-	28
Imported bottled water		-	-	2
Total		30	30	30

는물수질공정시험법에 의한 전처리를 하였으며 먹는 샘물의 경우에는 대형 마트 또는 소규모 마트에서 구입하였다.

우리나라 먹는 물 관리법에 의하면 먹는 샘물의 경우 병입 후 12시간 이내에 미생물 검사를 실시하도록 규정하고 있으나, 본 연구에서는 실제 사용 중인 상태하에서의 비교 분석을 위한 목적으로 시료를 확보하였으며 제조일자나 유통기한 등에 대한 부가적인 조사도 병행하였다.

2.3. 수질분석항목 및 방법

분석항목은 우리나라와 WHO, 미국, 일본 등의 수질기준을 고려하여 소독부산물과 무기물질, 유기화합물, 대장균 등의 병원성 미생물을 중심으로 Table 2와 같이 총 108개 항목을 선정, 분석하였다. 분석방법은 우리나라 먹는물공정시험방법(환경부, 2004)과 USEPA Method를 적용하였다.

Table 2. Water quality parameters to be analyzed

Classification	Items
1. DBPs	16 items (Residual Chlorine, THMs et al.)
2. Inorganics (metals)	15 items (Ba, Zn, Al et al.)
3. VOCs and Pesticide	18 items (Dichloromethane, Vinyl chloride et al.)
4. Ionics and Asthetic matter	31 items (Fluoride, Nitrate, Di (2-ethylhexyl) phthalate et al.)
5. Pathogenic microorganisms	8 items (<i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i> et al.)

2.4. 위해성 평가 절차

본 연구에서는 먹는물로 이용되는 수돗물, 정수기 및 먹는 샘물 등 90종의 시료에 대한 수질분석결과를 기초로 하여 건강 위해성 평가를 수행하고자 하였으며 Hazard Identification, Exposure Assessment, Dose-Response Assessment 및 Risk Characterization의 4단계로 구분하여 실시하였다.

2.4.1. 위험성 확인(Hazard identification)

위험성 확인과정은 먼저 우리가 조사하고자 하는 연구

대상 물질이 인체에 유해한 영향을 끼치는지의 유무를 결정하기 위해서 가용한 연구 논문 및 보고서 그리고 각종 데이터베이스를 통해 자료를 수집하였다. 그 다음 수집된 자료들을 중심으로 단계적으로 동물실험 결과 및 역학적 연구결과를 검토한 후 얻어진 증거를 종합하여 Table 3과 미국 EPA의 분류체계에 입각하여 발암성물질을 나타내었다.

Table 3. Classification of carcinogens (USEPA)

Evidence of human carcinogenesis	Evidence of animal carcinogenesis				
	Sufficient	Limited	Insufficient	No materials	No evidence
Sufficient	A	A	A	A	A
Limited	B1	B1	B1	B1	B1
Insufficient	B2	C	D	D	D
No materials	B2	C	D	D	E
No evidence	B2	C	D	D	E

A : Human carcinogen
 B1, B2 : Probable human carcinogen
 C : Possible human carcinogen
 D : Not classifiable as to human carcinogen
 E : Evidence of non-carcinogen for human

2.4.2. 노출평가(Exposure assessment)

노출평가는 현 환경중에 존재하는 원인물질에 대한 인간 또는 인체노출의 강도(magnitude), 빈도(frequency) 및 기간(duration)을 측정 또는 평가하는 과정이며 환경중으로 방출되고 있는 새로운 화학물질들로부터 발생가능한 노출을 평가하는 단계이다. 음용수 섭취를 통한 노출 평균(Lifetime average daily exposure, LADE)량을 추정하면 아래 식과 같이 계상된다.

$$\text{섭취인체노출량 (mg/kg/day)} = \frac{\text{오염물질농도(mg/L)} \times \text{일일 먹는물 섭취량(L/day)}}{\text{체중(kg)}}$$

먹는 물의 직접적인 섭취에 의한 노출량을 산정하기 위해 최대 노출의 경우를 고려하여 평균 섭취량을 90% 상한치 값인 2 L/day로 하였고, 체중은 내국인의 신체 특성을 고려하여 60 kg으로 계산하였다. 또한 EPA에서 권고하는 실제안전용량(Virtually safe dose, VSD) 초과율을 조사하였다(연세대학교 환경공해연구소, 1993-1998).

2.4.3. 용량-반응 평가

용량-반응 평가는 어떤 화학물질에 대해 위험성이 확인되었다면 그 물질이 과연 얼마만큼의 위해도를 나타내느냐를 수량적으로 표현하는 단계로서, NRC(1983)에서는 용량-반응 평가를 주입되거나 노출된 용량과 노출된 인구집단에서의 인체영향의 발생률과의 관계를 결정짓는 과정으로 정의하고 있다.

본 연구에서는 비발암물질의 용량-반응 평가에 있어서 가

장 일반적으로 이용되는 방법인 섭취 참고치(ingestion RfD)방법을 적용하였으며 발암성 물질의 용량-반응 평가에 있어서는 USEPA의 IRIS(<http://www.epa.gov/iris>) 및 발암성 물질의 용량-반응평가 방법이 프로그래밍된 Tox-risk (ver.3.1) package를 사용하여 단위 위해도를 산출하였다(USEPA, 1992a).

2.4.4. 위해도 결정

위해도결정(risk characterization)은 위험성이 확인된 물질에서 노출 평가 결과와 용량-반응 평가를 조합하여 실행하게 된다. 본 연구에서는 발암 물질의 경우 초과위해도를 산출하였고, 비발암물질은 위험값을 산출하였다.

용량-반응 평가를 통해 각 수학적 모델에서 산출된 단위 위해도 추계치중 가장 보수적인(conservative : 동일 용량에서 더 높은 위해도를 나타내는 또는 동일 위해도에서 더 낮은 농도를 추정하는) 모델에서 산출된 값을 이용하여 현 노출수준에서의 초과 발암 위해도를 산정하였고, 또한 초과 발암 위해도가 일반적인 허용 위해도(acceptable risk)로써 무시해도 좋은 10⁻⁶의 위해도를 초과한다면, 허용가능한 수준으로 간주하지 않는다.

초과발암위해도

$$= \text{현 오염도 수준}(\mu\text{g/L}) \times \text{단위위해도추계치}[(\mu\text{g/L})^{-1}]$$

$$\text{또는 인체노출량(mg/kg/day)} \times \text{발암력}[(\text{mg/kg/day})^{-1}]$$

비발암성물질에 대해서는 안전참고치(Reference dose, RfD)와 비교 평가하여 안전상등농도(Drinking water equivalent level, DWEL)를 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질분석결과

3.1.1. 소독부산물

수돗물에서 우리나라 먹는 물 수질기준항목 가운데 총트리할로메탄과 할로아세틱에시드(디클로로아세틱에시드, 트리클로로아세틱에시드), 디클로로아세토니트릴, 클로랄하이드레이트 등이 Table 4와 같이 모든 시료에서 검출되었으며 WHO 및 미국의 수질기준항목 가운데 디브로모아세틱에시드가 5개 시료를 제외한 25개 시료에서 모두 검출되었다.

반면 정수기에서는 모든 시료에서 잔류염소가 검출되지 않았고 총트리할로메탄과 클로로포름은 30개 가운데 약 53%인 16개 시료에서 검출되는 등 7개 물질이 검출되었다.

이러한 결과는 대상 정수기가 현재 사용중으로 필터교환 주기의 부적절함과 같은 유지관리상의 특징 때문인 것으로 판단되나, 일부 불량 활성탄이 사용되었을 가능성도 배제할 수 없다. 특히, 다중이용시설의 물 사용량 및 필터교환주기, 청소주기 등의 설치환경에 관한 종합적인 검토가 없이 대부분 가정용 정수기를 설치하였기 때문으로 추정된다.

한편 먹는 샘물에서는 소독부산물이 검출되지 않았다.

Table 4. DBPs detected from various drinking waters

Unit : mg/L

Classification	Tap water		Purified water		Bottled water	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
Residual Chlorine	0.87	0	0	0	0	0
THMs	0.0334	0.0165	0.0254	0	0	0
Chloroform	0.0256	0.0120	0.0219	0	0	0
Dibromochloro-methane	0.0021	0.0005	0.0012	0	0	0
Bromodichloro-methane	0.0097	0.0031	0.0086	0	0	0
Dichloroacetic acid	0.0144	0.0046	0.0045	0	0	0
Trichloroacetic acid	0.0159	0.0060	0.0109	0	0	0
Chloral hydrate	0.0078	0.0021	0	0	0	0
Dichloroaceto-nitrile	0.0038	0.0015	0	0	0	0
Haloacetic acid	0.0282	0.0109	0.0118	0	0	0
Dibromoacetic acid	0.0006	0	0	0	0	0

* Max. : Maximum detected level concentration
 * Min. : Minimum detected level concentration

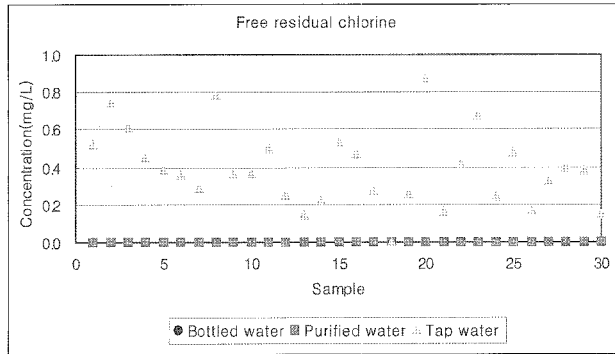


Fig. 1. Detected level of Residual Cl.

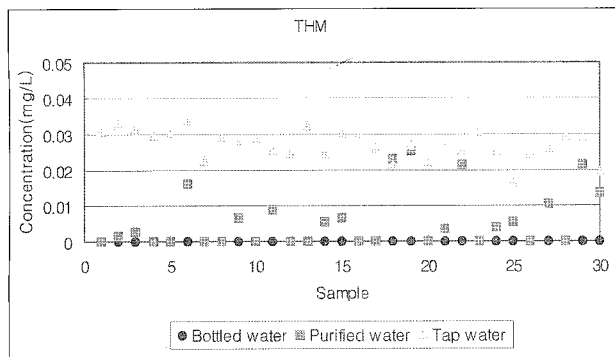


Fig. 2. Detected level of THMs.

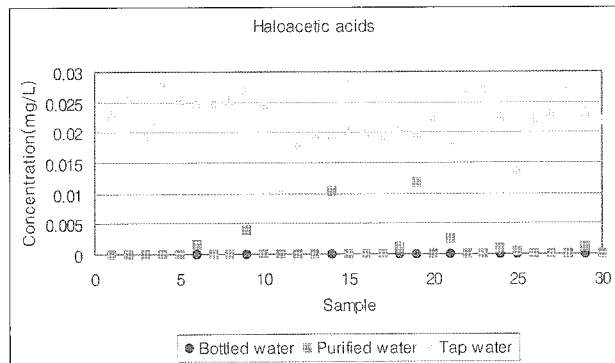


Fig. 3. Detected level of HAA.

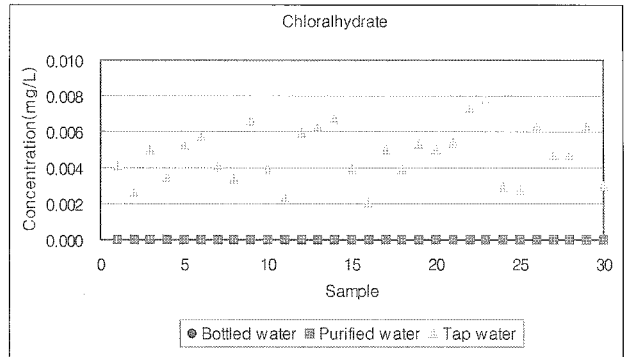


Fig. 4. Detected level of Chloral hydrate.

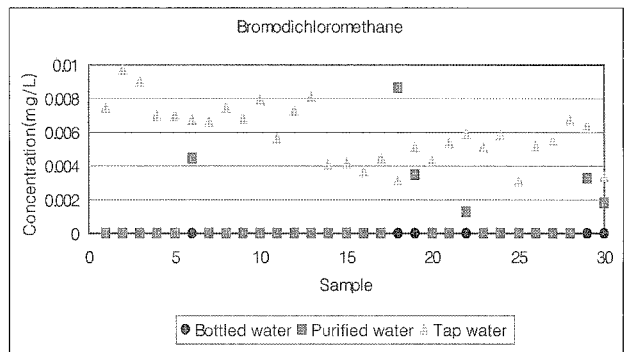


Fig. 5. Detected level of Bromo dichloromethane.

3.1.2. 무기물질

수돗물의 경우 알루미늄이 2개 시료를 제외한 28개 시료에서 0.02~0.08 mg/L가 검출되었으며 구리는 18개 시료에서 0.009~0.260 mg/L, 철은 10개 시료에서 0.02~ 0.21 mg/L, 아연은 3개 시료를 제외한 27개 시료에서 0.002~ 0.297 mg/L가 검출되었으나 모두 먹는 물 수질기준 이하였는데 이들 물질은 급수관으로 사용된 동관 또는 아연도강관의 부식으로 인하여 검출된 것으로 판단된다. 또한 우리나라 먹는 물 수질기준항목은 아니지만 지표수와 지하수에 보편적으로 포함되어 있는 바륨은 모든 시료에서 0.010~ 0.025 mg/L 검출되었으며 니켈은 2개 지점에서 미량 검출되었다. 칼슘은 14.02~24.50 mg/L, 나트륨은 4.97~9.40 mg/L, 칼륨은 1.69~2.46 mg/L, 마그네슘은 2.82~4.58 mg/L로 나타났다.

한편 정수기의 경우 2개 시료에서 Ag이 각각 0.032 mg/L와 0.121 mg/L가 검출되었는데 0.121 mg/L가 검출된 시료는 미국의 2차수질기준 권고치인 0.1 mg/L를 초과한 것으로 정수기에 내장된 은활성탄필터에 침착된 은이 용출되었기 때문으로 추정된다. 또한 아연은 21개 시료에서, 알루미늄과 구리는 7개 시료에서, 철은 5개 시료에서 검출되었다.

특히, 아연은 1개 시료에서 먹는물 수질기준인 1.0 mg/L를 초과한 것으로 나타났는데 이는 필터수명이 소진되었거나 용출되었을 가능성, 유입원수인 수돗물 급수배관의 부식 물질을 제거하지 못하였기 때문으로 추정된다. 또한 바륨은 역삼투압방식이나 미세여과, 이온교환수지에 의해 제거가능한 물질로 알려져 있으나 조사대상중 19개 시료에서 0.011~

0.021 mg/L가 검출되어 수돗물의 함유농도와 유사한 분포를 보였으며 대부분 필터여과방식 또는 증공사막 방식 정수기인 것으로 확인되었다. 또한 칼슘은 0.05~25.71 mg/L, 나트륨은 0.27~14.1 mg/L, 칼륨은 0.03~9.35 mg/L, 마그네슘은 4개 시료를 제외한 26개 시료에서 0.11~ 4.81 mg/L로 나타났다.

먹는 샘물의 경우 알루미늄은 4개 시료에서 0.02~ 0.06 mg/L, 아연은 6개 시료에서 0.002~0.016 mg/L가 검출되었는데 이는 자연 암석층에 포함되어 있는 미량성분이 용해된 것으로 판단된다.

또한 바륨은 6개 시료를 제외한 모든 시료에서 0.003~0.105 mg/L가 검출되었는데 바륨은 WHO에서 0.7 mg/L, 미국에서는 2 mg/L를 수질기준으로 정하고 있어 수돗물과 마찬가지로 외국의 수질기준에 모두 적합하였다.

한편 먹는 샘물의 제품수 용기에 표시하도록 규정된 미

네랄의 경우 먹는 샘물이 수돗물이나 정수기보다 다소 높게 나타났는데 칼슘은 2.15~79.57 mg/L, 나트륨은 1.47~18.09 mg/L, 칼륨은 0.36~5.89 mg/L, 마그네슘은 0.62~21.90 mg/L였다.

3.1.3. 휘발성유기화합물 및 농약류

우리나라 및 외국의 수질기준에서 규정하고 있는 휘발성 유기화합물(Cabon tetrachloride et al.), 살충제 및 농약류(Cabaryl et al.) 28개 항목은 모든 시료에서 검출되지 않았다.

3.1.4. 이온 및 기타물질

이온 및 기타물질의 경우 수돗물에서 질산성질소는 1.7~2.2 mg/L를 나타내었으며 황산이온과 염소이온은 각각 9.8~18.4 mg/L, 10.8~19 mg/L로 나타났고 pH는 7.1~7.6을 나타내었다.

정수기의 경우 질산성질소, 황산이온 및 염소이온은 증공사막 방식 정수기의 경우 수돗물의 함유농도와 유사한 분포를 보인 반면 역삼투압방식 정수기는 검출되지 않거나 낮은 농도를 나타내었다. pH는 6.2~7.6을 나타내었으며 역삼투압 방식 정수기의 pH가 7보다 낮은 약산성을 띤 것으로 나타났다.

한편 먹는 샘물은 불소농도가 0~1.4 mg/L로 검출되었고 질산성질소는 0~4.4 mg/L를 나타내었으며 황산이온과 염소이온은 각각 1.4~35 mg/L, 1.9~18.9 mg/L로 나타났다.

또한 pH는 1개 시료를 제외하고는 정수기나 수돗물에 비해 약알칼리성을 나타내는 7.1~8.1을 나타내었다.

한편 환경호르몬물질로 추정 또는 의심되는 디(2-에틸헥

Table 5. Inorganics in water samples Unis : mg/L

Classification	Tap water		Purified water		Bottled water	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
Ba	0.025	0.010	0.021	0	0.105	0
Ca	23.50	14.02	25.71	0.05	79.57	2.15
Mg	4.58	2.82	4.81	0	21.9	0.62
Na	9.40	4.97	14.10	0.27	49.48	1.47
K	2.46	1.69	9.35	0.03	5.89	0.36
Zn	0.297	0	1.84	0	0.016	0
Al	0.08	0	0.05	0	0.06	0
Cu	0.26	0	0.177	0	0	0
Fe	0.21	0	0.05	0	0	0

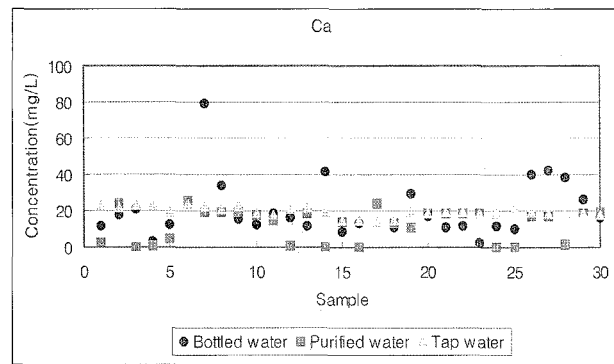


Fig. 6. Detected level of Ca.

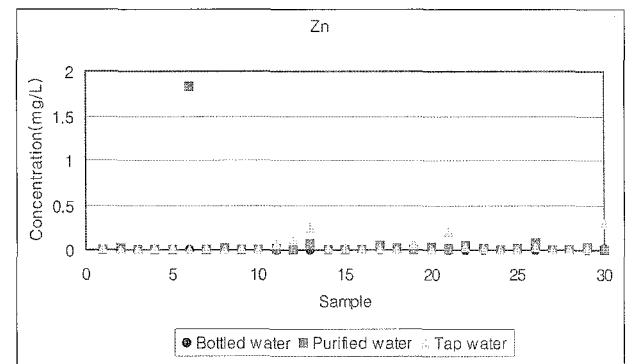


Fig. 8. Detected level of Zn.

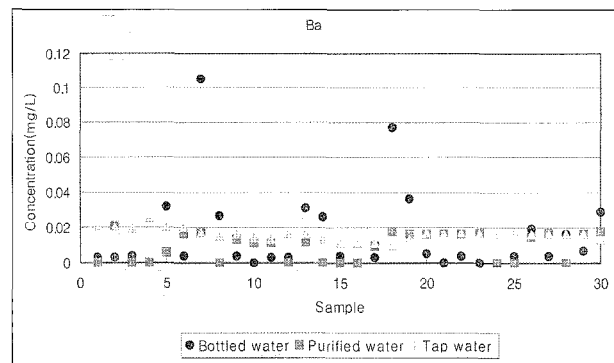


Fig. 7. Detected level of Ba.

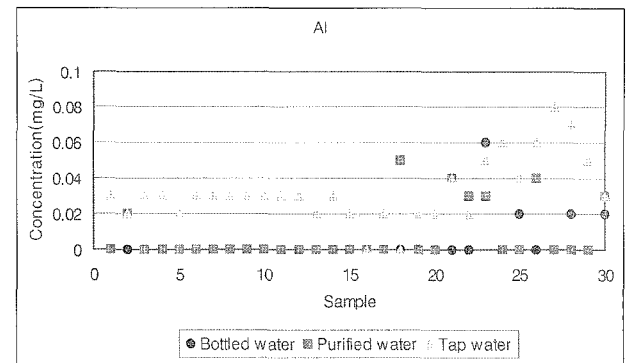


Fig. 9. Detected level of Al.

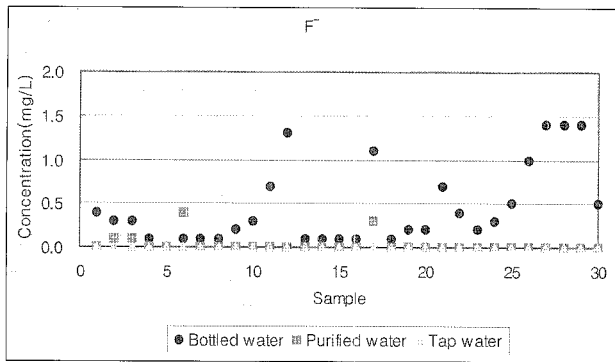


Fig. 10. Detected level of F⁻.

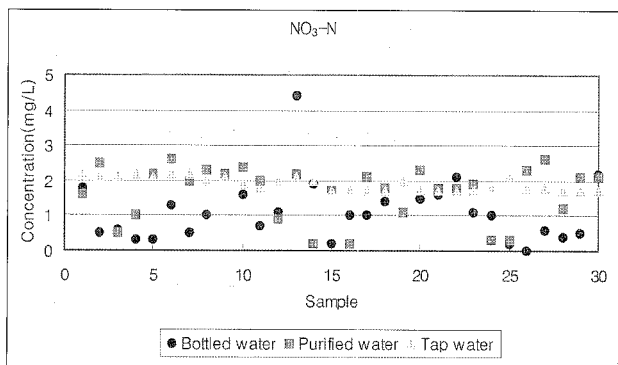


Fig. 11. Detected level of NO₃-N.

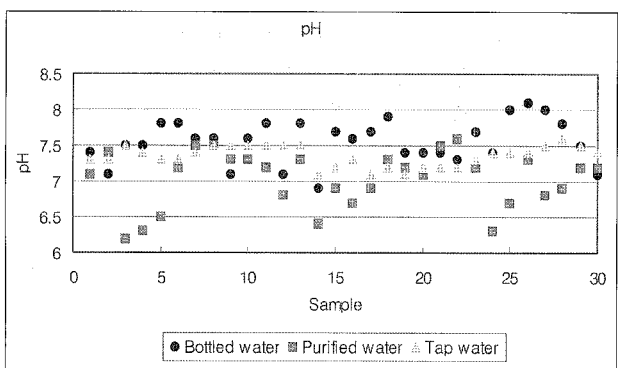


Fig. 12. Detected level of pH.

Table 6. Ionics and the other material in water samples

Unit : mg/L

Class.	Tap water		Purified water		Bottled water	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
F ⁻	0	0	0.4	0	1.4	0
NO ₃ -N	2.2	1.7	2.6	0.2	4.4	0
Cl ⁻	19.0	10.8	22.2	0	18.9	1.9
SO ₄ ²⁻	18.4	9.8	21.0	0	35.0	1.4
Total hardness	86	49	94	0	295	8
pH	7.6	7.1	7.6	6.2	8.1	6.9

실)아디페이트와 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 파라티온 등 7개 항목과 병원성 미생물은 모두 검출되지 않았다.

3.2. 위해성 평가

수돗물, 정수기 및 먹는 샘물 등 다중이용시설의 먹는 물

에 대한 건강 위해성을 미국 EPA의 IRIS자료를 참조하여 평가한 결과는 다음과 같다.

3.2.1. 위험성 확인

본 연구에서 각 조사 대상물질을 미국 EPA의 IRIS의 자료를 참고하여 발암위험성이 Table 7과 같이 구분되었다.

3.2.2. 노출평가

1) 환경노출평가

수돗물, 정수기 및 먹는 샘물을 각각 30개씩 채취하여 분석한 화학물질은 총 100종이었으며, 이중 검출된 화학물질은 총 21종이었다. 소독부산물과 무기물질, 음이온인 불소 등에 대한 검출결과와 평균농도, 최대, 최소값은 Table 8과 같다.

2) 인체노출평가

수돗물에서는 chloroform, dibromo chloromethane, dichloroacetic acid, trichloroacetic acid 등 7개 항목이 모든 시료에서 검출되었으며, 실제안전용량(VSD ; Virtually safe dose)도 모두 초과하는 것으로 나타났다. 반면 정수기는 chloroform, dibromochloromethane, dichloroacetic acid, bromodichloromethane이 검출되었다. Table 9는 분석항목중 발암물질과 비발암물질로 구분하여 인체노출량을 산출한 결과를 나타낸 것이며 Table 10은 발암물질의 실제 안전용량과 검출을 및 안전용량 초과율을 나타낸 것이다.

3.2.3. 용량-반응 평가

1) 발암물질

본 연구에서 단위 위해도는 Table 11과 같이 미국 EPA의 IRIS 자료(USEPA, IRIS)를 이용하여 산출하였다.

2) 비발암물질

비발암물질의 경우도 허용가능 인체노출량을 산정하기 위해 필요한 NOAEL or LOAEL과, UF, RfD들을 미국 EPA의 IRIS자료를 활용하였는데 Table 12와 같이 참고치를 먹는 물에 상응하는 농도(Drinking Water Equivalent Level, DWEL)로 환산한 뒤 먹는 물로 인한 기여율을 고려하여 평생 마셔도 인체에 유해영향이 발생하지 않을 것으로 기대되는 평생건강권고치를 구하였다.

$$DWEL(mg/L) = \frac{\text{참고치}(mg/kg/day) \times \text{평균체중}(kg)}{\text{일일 먹는 물 섭취량}(L/day)}$$

$$\text{평생건강권고치}(mg/L) = DWEL(mg/L) \times \text{오염원 상대기여도}$$

오염원 상대 기여도(Relative Source Contribution : RSC)란 대기, 먹는 물, 식품, 토양 등과 같은 다양한 환경 매체 중에서 어떤 물질의 총 오염도에 각각의 매체가 기여하는 비율로써 먹는 물에 의한 기여도는 실측치가 없는 경우, 일반적으로 유기화합물은 20%, 무기화합물은 10%로 가정한다.

Table 7. The carcinogenic categorization of detected chemicals in drinking water

Categories	A	B1/B2	C	D	E	No materials
I : VOC	Vinyl chloride Benzene	Carbon tetrachloride Dichloromethane 1,2-Dichloroethane Trichloroethylene Tetrachloroethylene 1,4-dichlorobenzene Formaldehyde(1)	1,1,2-trichloroethane	1,1,1-trichloroethane 1,2-dichloroethylene Toluene Xylene Ethylbenzene 1,2-dichlorobenzene Trichlorobenzene 1,1-dichloroethylene		Monochlorobenzene Tetrachloromethane Tetrachloroethane o-dichlorobenzene p-dichlorobenzene
II : DBPs		Chloroform Bromodichloromethane Dichloroacetic acid Bromoform	Trichloroacetic acid Chloral hydrate Dichloroacetonitrile Dibromoacetonitrile Dibromochloromethane			Dibromoacetic acid Trichloroacetonitrile Monobromoacetic acid Monochloroacetic acid
III : PAHs		Di(2-ethylhexyl)phthalate Benzo(a)anthracene Benzo(b)fluorancene Chrycene Dibenzo(a,h)anthracene Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	Di(2-ethylhexyl)adipate Hexachlorobutadiene	2-chlorophenol 2,4-dichlorophenol Phenol		
IV : Pesticides			Parathion	Cabaryl	Diazinon	Fenitrothion
Inorganics	Arsenic	Lead Beryllium		Barium, Zinc Aluminium, Copper Nickel, Silver Antimony, Boron Cadmium Chromium ⁺⁶ Mercury, Selenium		Ca, Na, Mg K, Fe, Mn Mo, Tl Tin fluoride

* Weight of evidence, US EPA

Table 8. Detected level of chemicals

Unit : mg/L

Chemicals	Tap water		Purified water		Bottled water		Detection limit
	Conc.	(Min., Max.)	Conc.	(Min., Max.)	Conc.	(Min., Max.)	
Carbon tetrachloride	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Dichloromethane	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002
1,2-Dichloroethane	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
1,1,1-trichloroethane	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Vinyl chloride	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
1,2-dichloroethylene	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
Trichloroethylene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Tetrachloroethylene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Benzene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Toluene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Xylene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Ethyl benzene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Monochlorobenzene	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
1,2-dichlorobenzene	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
1,4-dichlorobenzene	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
Trichlorobenzene	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
1,1,2-trichloroethane	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001

Chemicals	Tap water		Purified water		Bottled water		Detection limit
	Conc.	(Min., Max.)	Conc.	(Min., Max.)	Conc.	(Min., Max.)	
Tetrachloromethane	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Tetrachloroethane	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
o-dichlorobenzene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
p-dichlorobenzene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
1,1-dichloroethylene	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Formaldehyde	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Chloroform	0.0199	0.0256, 0.0120	0.005	(<0.0001, 0.0219)	<0.0001	<0.0001	0.0001
Dibromochloromethane	0.0013	0.0005, 0.0013	0.0003	(0.0003, 0.0012)	<0.0005	<0.0005	0.0005
Bromodichloromethane	0.0059	0.0031, 0.0097	0.00097	<0.0005, 0.0086	<0.0005	<0.0005	0.0005
Dichloroacetic acid	0.0097	0.0046, 0.0144	0.00057	<0.0005, 0.0045	<0.0005	<0.0005	0.0005
Trichloroacetic acid	0.0122	0.006, 0.0159	0.00095	<0.0005, 0.0109	<0.0005	<0.0005	0.0005
Chloral hydrate	0.0047	0.0021, 0.0078	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Dichloroacetonitrile	0.00258	0.0015, 0.0038	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Dibromoacetic acid	0.00029	<0.0001, 0.0006	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
Bromoform	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Dibromoacetonitrile	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Trichloroacetonitrile	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Monobromoacetic acid	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Monochloroacetic acid	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
2-chlorophenol	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
2,4-dichlorophenol	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Phenol	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
Di(2-ethylhexyl)adipate	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Di(2-ethylhexyl)phthalate	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Hexachlorobutadiene	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Benzo(a)anthracene	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0002
Benzo(b)fluorancene	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0002
Chrycene	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0002
Dibenzo(a,h)anthracene	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0002
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0002
Diazinon	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Parathion	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Fenitrothion	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Cabaryl	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Barium	0.0159	0.01, 0.025	0.00995	<0.003, 0.021	0.0154	<0.003, 0.105	0.003
Calcium	19.4196	14.02, 23.5	12.571	0.05, 25.71	20.9793	2.15, 79.57	0.03
Sodium	7.2613	4.97, 9.4	5.5603	0.27, 14.1	9.005	1.47, 49.48	0.03
Magnesium	3.7593	2.82, 4.58	2.537	ND, 4.81	3.9183	0.4, 21.9	0.03
Potasium	2.1493	1.69, 2.46	1.7167	0.03, 9.35	1.2907	0.36, 5.89	0.03
Zinc	0.04077	<0.002, 0.297	0.07647	<0.002, 1.838	0.0019	<0.002, 0.016	0.002
Aluminium	0.033	<0.02, 0.08	0.01567	<0.02, 0.05	0.01267	<0.02, 0.06	0.02
Copper	0.044	<0.008, 0.26	0.0154	<0.008, 0.177	<0.008	<0.008	0.008
Nickel	0.00273	<0.005, 0.007	0.0026	<0.005, 0.006	<0.005	<0.005	0.005
Iron	0.034	<0.02, 0.21	0.014	<0.02, 0.05	<0.02	<0.02	0.02
Maganese	<0.005	<0.005	0.0036	<0.005, 0.035	<0.005	<0.005	0.005
Silver	<0.007	<0.007	0.0084	<0.007, 0.121	<0.007	<0.007	0.007
Antimony	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
Arsenic	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
Boron	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Cadmium	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002
Chromium(+6)	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.006
Lead	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.04
Mercury	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005

Chemicals	Tap water		Purified water		Bottled water		Detection limit
	Conc.	(Min., Max.)	Conc.	(Min., Max.)	Conc.	(Min., Max.)	
Molybdenum	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Selenium	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
Beryllium	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
Talium	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.04
Tin	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03
Fluoride	<0.1	<0.1	0.073	<0.1, 0.4	0.458	<0.1, 1.4	0.1

Table 9. LADE (Lifetime average daily exposure) of detected chemicals unit : mg/kg/day

Classification	Chemicals	Tap water	Purified water	Bottled water
Carcinogenic chemicals	Chloroform	0.0007	0.00017	ND
	Dibromochloromethane	0.00004	0.00001	ND
	Bromodichloromethane	0.0002	0.00003	ND
	Dichloroacetic acid	0.0003	0.00002	ND
	Trichloroacetic acid	0.0004	0.00003	ND
	Chloral hydrate	0.0002	ND	ND
	Dichloroacetonitrile	0.00009	ND	ND
Non carcinogenic chemicals	Dibromoacetic acid	0.00001	ND	ND
	Barium	0.0005	0.0003	0.0005
	Calcium	0.6473	0.4190	0.6993
	Sodium	0.2420	0.1853	0.30
	Magnesium	0.1253	0.0846	0.1306
	Potassium	0.0716	0.057	0.043
	Zinc	0.0014	0.0025	0.0001
	Aluminium	0.0011	0.0005	0.0004
	Copper	0.1467	0.0005	ND
	Nickel	0.0667	0.0001	ND
	Iron	0.0011	0.0005	ND
Silver	ND	0.0003	ND	

Table 10. Virtual safety dose (VSD) and the excess rate of VSD

Carcinogenic matters	VSD* (µg/L)	Tap water (n=30)		Purified water (n=30)		Bottled water (n=30)	
		Det. Rate (%)	Excess rate (%)	Det. Rate (%)	Excess rate (%)	Det. Rate (%)	Excess rate (%)
Chloroform	1.041	100	100	53	53	0	0
Dibromochloromethane	0.357	100	100	3	3	0	0
Bromodichloromethane	0.241	100	100	20	20	0	0
Dichloroacetic acid	0.7	100	100	17	13	0	0
Trichloroacetic acid	-	100	-	30	-	0	0
Chloral hydrate	-	100	-	0	0	0	0
Dichloroacetonitrile	-	100	-	0	0	0	0

- : No materials

* : virtually safe dose, VSD(USEPA Guideline)

3.2.4. 위해도 결정

1) 발암물질

초과 발암 위해도 산출에 이용된 오염도의 대표값은 중앙값(50th percentile)과 산술평균값을 이용하였으며 단위 위해도치는 미국 EPA자료를 인용하였다. 이렇게 해서 산출된 초과 발암 위해도는 오염도의 중앙값을 이용할 경우 오염도의 농도가 불검출되었거나 낮기 때문에 백만명당 1명의 초과 발암위해도인 10⁶을 넘는 물질은 없었다.

그러나 산술평균값을 이용하였을 때는 다소 높아 10⁵대

의 위해도를 보인 물질이 Table 13과 같이 수돗물에서 bromodichloromethane, chloroform, dichloroacetic acid으로 조사되었으며 정수기에서는 10⁶대의 위해도를 보인 물질이 chloroform, bromodichloromethane으로 조사되었다.

2) 비발암 물질

비발암성 물질의 노출에 따른 위해도 결정은 용량-반응 평가를 통해 산출된 참고치 또는 평생건강 권고치와의 비교를 통해 실행하였다. 현 오염수준을 평생동안의 일일허용가능량(참고치) 또는 허용가능농도(평생 건강 권고치)와 비

Table 11. Unit Risk of Carcinogens

Carcinogenic chemicals	Unit risk*
Chloroform	9.6×10^{-7}
Dibromochloromethane	2.4×10^{-6}
1,2-Dichloroethane	2.6×10^{-6}
Vinyl chloride	7.4×10^{-5}
Trichloroethylene	6.2×10^{-7}
Tetrachloroethylene	8.1×10^{-7}
Benzene	4.4×10^{-4}
Bromodichloromethane	1.8×10^{-6}
Dichloroacetic acid	1.4×10^{-6}
Bromoform	2.3×10^{-7}
Di(2-ethylhexyl)adipate	3.4×10^{-8}
Di(2-ethylhexyl)phthalate	4.0×10^{-7}
Hexachlorobutadiene	2.2×10^{-6}
1,1,2-trichloroethane	1.6×10^{-6}
Arsenic	5.0×10^{-5}
Lead	1.3×10^{-6}
Beryllium	4.3×10^{-4}

* : Rate for excess cancer in case of taking 1 μ g/L of chemicals through lifetime

교하여 산출되는 위험값(Hazard Quotient : HQ)이 '1'을 초과하는 경우에는 유해영향(독성)이 발생할 가능성(likelihood)이 있음을 제시해 주며, '1'이하인 경우에는 발생할 가능성이 없음을 제시해 준다.

이번 조사에서 수돗물, 정수기 및 먹는 샘물에서 공통으로 검출된 비발암물질은 바륨과 아연, 니켈로 이들의 위험

값을 산출한 결과 '1'보다 낮은 수준으로 이는 유해영향이 발생할 가능성이 거의 희박함을 의미한다(Table 14).

$$\text{위험값} = \frac{\text{현오염도 수준에서의 인체노출량(mg/kg/day)}}{\frac{\text{참고치(mg/kg/day)} \times \text{오염원 상대기여도}}{\text{현 오염도 수준(mg/L)}}} \times \frac{\text{평생건강권고치(mg/L)}}{\text{참고치(mg/kg/day)}} \times \text{오염원 상대기여도}$$

3.3. 향후 추진 방향

우리나라의 먹는 물 수질기준은 수돗물의 경우 55개 항목, 지하수의 경우 46개 항목, 먹는 샘물 제품수의 경우 51개 항목을 규정하고 있으나 이는 미국 EPA의 113종이나 WHO의 122종, 일본 등의 먹는 물 및 먹는 샘물 수질기준 항목과 비교할 때 매우 적은 편이므로 수질기준항목의 추가설정이 반드시 필요할 것으로 판단된다. 이는 소비자들이 먹는 물 수질기준에 적합하다고 해서 반드시 안전한 것이라고 생각하지 않으며 실제 위해성 측면에서 볼 때에도 안전하다고 장담할 수 없다는 점을 상쇄하기 위해 반드시 필요하다. 특히, 미국이나 WHO의 경우 위해성 평가(Risk assessment)결과에 따라 먹는 물 수질기준을 설정하고 있어 기준농도에 있어서도 우리나라의 수질기준보다 낮게 규정하고 있다. 예를 들어 납의 경우 우리나라 수질기준은 0.05 mg/L인데 반해 WHO는 0.01 mg/L, 미국은 0.015 mg/L로 규정하고 있으며 비소의 경우에도 WHO나 미국은 0.01 mg/L인데 우리나라는 0.05 mg/L로 규정하고 있다.

Table 12. Lifetime health advisories of non carcinogens

Chemicals	NOAEL or LOAEL (mg/kg/day)	Uncertainty factor, UF	Reference dose, RfD	DWEL	RSC	Lifetime health advisories
1,2-dichloroethylene	17	1000	0.02	0.6	20	0.12
Toluene	223	1000	0.2	6	20	1.2
Xylene	179	1000	0.2	6	20	1.2
Ethyl benzene	97.1	1000	0.1	3	20	0.6
1,2-dichlorobenzene	85.7	1000	0.09	2.7	20	0.54
1,1-dichloroethylene	9	1000	0.009	0.315	20	0.063
2-chlorophenol	5	1000	0.005	0.15	20	0.03
2,4-dichlorophenol	0.3	100	0.003	0.09	20	0.018
Phenol	93 (BMDL*)	300	0.3	9	20	1.8
Diazinon	0.009	100	0.00009	0.0027	20	0.00054
Cabaryl	9.6	100	0.1	3	20	0.6
Barium	0.21	3	0.07	2.1	10	0.21
Zinc	1.0(L)	3	0.3	9	10	0.9
Nickel	5	300	0.02	0.6	10	0.06
Silver	1.6E-6	-			10	
Antimony	0.35	1000	0.0004	0.012	10	0.0012
Boron	8.8	100	0.09	2.7	10	0.27
Cadmium	0.005	10	0.0005	0.015	10	0.0015
Chromium(+6)	2.5	300	0.003	0.09	10	0.009
Mercury	0.05 mg/kg/inj	1000	0.000158	0.00474	10	0.000474
Selenium	0.015	3	0.005	0.15	10	0.015

* BMDL = 95% lower confidence limit on the maximum likelihood estimate of the dose corresponding to a one standard deviation change in the mean. The RfD is based on the BMDL because, unlike the NOAEL, the BMDL is not limited to one of the experimental doses.

Table 13. Excess cancer risk

Chemicals	Unit risk	Excess cancer risk						Det. limit
		Tap water (n=30)		Purified water (n=30)		Bottled water (n=30)		
		Median	Arithmetic mean	Median	Arithmetic mean	Median	Arithmetic mean	
Chloroform	9.6×10^{-7}		1.9×10^{-5}	2.0×10^{-6}	4.9×10^{-6}			-
Dibromochloromethane	2.4×10^{-6}	-	3.65×10^{-6}	-	7.89×10^{-7}			-
1,2-Dichloroethane	2.6×10^{-6}	-	-	-	-	-	-	1.28×10^{-7}
Vinyl chloride	7.4×10^{-5}	-	-	-	-	-	-	7.36×10^{-6}
Trichloroethylene	6.2×10^{-7}	-	-	-	-	-	-	6.15×10^{-7}
Tetrachloroethylene	8.1×10^{-7}	-	-	-	-	-	-	8.09×10^{-7}
Benzene	4.4×10^{-4}	-	-	-	-	-	-	9.67×10^{-7}
Bromodichloromethane	1.8×10^{-6}	-	1.23×10^{-5}	5.17×10^{-7}	2.00×10^{-6}	-	-	-
Dichloroacetic acid	1.4×10^{-6}	-	1.61×10^{-5}	4.17×10^{-7}	9.53×10^{-7}			-
Bromoform	2.3×10^{-7}	-	-	-	-	-	-	4.15×10^{-7}
Di(2-ethylhexyl)adipate	3.4×10^{-8}	-	-	-	-	-	-	3.40×10^{-8}
Di(2-ethylhexyl)phthalate	4.0×10^{-7}	-	-	-	-	-	-	4.00×10^{-7}
Hexachlorobutadiene	2.2×10^{-6}	-	-	-	-	-	-	1.10×10^{-6}
1,1,2-trichloroethane	1.6×10^{-6}	-	-	-	-	-	-	1.60×10^{-6}
Arsenic	5.0×10^{-5}	-	-	-	-	-	-	2.92×10^{-4}
Lead	1.3×10^{-6}	-	-	-	-	-	-	5.20×10^{-4}
Beryllium	4.3×10^{-4}	-	-	-	-	-	-	2.14×10^{-3}

Table 14. Hazard Quotient (HQ) of non carcinogens

chemicals	HQ					
	Tap water (n=30)		Purified water (n=30)		Bottled water (n=30)	
	Median	Arithmetic mean	Median	Arithmetic mean	Median	Arithmetic mean
Ba	0.0762	0.0757	0.0547	0.0457	0.019	0.073
Zn	0.011	0.045	0.0061	0.085	0.0011	0.0021
Ni	0.042	0.046	0.416	0.0436	-	-

현재 우리나라의 수질기준은 수질기준치와 정량한계를 표시하고 있으며 검사결과에 대해 유효숫자 등을 물질별로 규정하고 있다(환경부, 2004).

그러나 미국과 WHO에서는 발암물질의 경우 최대 허용농도 목표치(Maximum Contaminant Level Goals : MCLGs)는 '0'으로 정하고 있는 반면, 실제 수질기준치라고 할 수 있는 최대 허용 농도(Maximum Contaminant Levels : MCLs)는 위해성 평가를 통해 10^{-6} 의 위해도에 해당하는 농도에 가능한 근접할 수 있도록 설정하고 있으며, 일반적으로 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 의 위해도 범위에서 설정하고 있다. 그러나 MCLs은 현실성을 고려한 기준치이므로 일부 물질(예. vinyl chloride)의 경우는 분석적으로 공학적 처리기술 문제 때문에 10^{-5} 위해도 이상에서 설정하기도 한다.

본 조사연구중 수돗물에 대해서는 1994년과 2003년에 서울시에서 실시한 수돗물의 안전성 조사연구와 유사한 결과를 나타내었는데 대체로 수질기준에는 적합하나 소독부산물에 대한 위해성 등에 주목해야 할 것이다.

따라서 본 연구는 아직까지 우리나라에서 정착되지 않은 위해성 평가에 대해 기초적인 자료로 많은 도움이 될 수 있으리라 판단되며, 향후 수질기준 항목의 추가 설정과 함께 수질기준의 강화가 필요하고 이를 위해 위해성 평가가

수반되는 시스템의 구축과 함께 보다 폭넓은 위해성 평가가 이루어져야 할 것이다.

특히, 본 연구에서 검출된 바롬이나 니켈, 소독부산물중에서 검출되는 일부 항목 들을 중심으로 하여 위해성 평가를 거친 후 수질기준항목으로의 설정을 심각하게 고려해야 하며, 기존 항목의 기준농도도 보다 강화하는 방향으로 나아가야 할 것이다.

4. 결론

수돗물, 정수기 및 먹는 샘물 등 다중이용시설의 먹는 물에 대한 수질분석 및 건강 위해성 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 수질분석결과 소독부산물의 경우 수돗물에서는 총트리할로메탄과 할로아세틱에시드(디클로로아세틱에시드, 트리클로로아세틱에시드), 디클로로아세토니트릴, 클로랄하이드레이트 등이 모든 시료에서 검출되었고 디브로모아세틱에시드가 5개 시료를 제외한 25개 시료에서 검출된 반면 정수기에서는 모든 시료에서 잔류염소가 검출되지 않았고 총트리할로메탄과 클로로포름은 30개 가운데 약 53%인 16개 시료에서 검출되었으며 할로아세틱에시드

는 9개 시료에서 검출되는 등 7개 물질이 검출되었다. 먹는 샘물에서는 소독부산물이 검출되지 않았다.

- 2) 무기물질의 경우 수돗물에서는 시료에 따라 다소 상이하나, 알루미늄과 구리, 철, 아연 등이 검출되었는데 모두 먹는 물 수질기준에 적합하였고, 그 외의 바륨과 니켈이 미량 검출되었다.
- 정수기는 2개 시료에서 Ag이 각각 0.032 mg/L와 0.121 mg/L가 검출되었는데 이는 정수기에 내장된 은활성탄필터에 침착된 은이 용출되었기 때문으로 추정되며 아연, 알루미늄, 구리, 철 및 바륨이 검출되었다.
- 먹는 샘물의 경우 알루미늄, 아연, 바륨 등이 검출되었으며 칼슘, 나트륨, 칼륨, 마그네슘 등 먹는 샘물의 제품수 용기에 표시하도록 규정되어 있는 미네랄의 경우 먹는 샘물이 수돗물이나 정수기보다 다소 높게 나타났다.
 - 3) 휘발성 유기화합물, 살충제 및 농약류 28개 항목을 검사한 결과 모두 검출되지 않았다.
 - 4) 환경호르몬물질로 추정 또는 의심되는 디(2-에틸헥실)아디페이트와 디(2-에틸헥실)프탈레이트, 파라티온, 카바릴, 카드뮴, 납, 수은 등 7개 항목과 병원성 미생물은 모두 검출되지 않았다.
 - 5) 수돗물에서는 유력한 인체 발암물질로 분류되는 bromodichloromethane(B1), chloroform(B2), Dichloroacetic acid 등의 소독부산물에 10^{-5} 수준의 초과발암위해도를 보였다.
 - 6) 정수기는 수돗물속의 소독부산물을 제거할 수 있어야 함에도 불구하고 본 조사결과에서는 약 53%에서 유력한 인체 발암물질로 분류되고 있는 chloroform, bromodichloromethane, Dichloroacetic acid 등의 소독부산물(DBPs)이 10^{-6} 수준의 초과발암위해도를 나타내었다.
 - 7) 먹는 샘물은 소독부산물에 의한 초과발암위해도는 측정되지 않았다.
 - 8) 비발암물질의 경우 바륨, 아연, 니켈 등에서 위험값(HQ)이 1보다 낮은 수준으로 나타나 수돗물, 정수기 및 먹는 샘물 모두 유해영향이 거의 없을 것으로 판단된다.

이상으로 보아 앞으로 본 조사에서 측정된 수질오염물질 이외에도 비규제물질(농약, 환경호르몬 등)에 대한 보다 폭넓고 정밀한 조사를 통하여 위해성 평가나 관리기술의 타당성을 높일 수 있도록 해야 할 것이며 수질기준 항목의 추가설정과 기준농도의 강화를 위해 위해성 평가과정을 실시할 것을 권고한다.

또한 안전한 먹는 물의 공급과 마실 권리를 위한 위해도 관리 대책안 제시를 통해서 수질기준 권고안을 제시하고 안전성을 확보하여 소비자들에게 충분한 정보를 제공하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2006. 9. ISEA/ISEE Paris에서 발표되었음

참고문헌

- 백영석(한국환경수도연구소) 등, 서울시 수질검사항목의 위해성 평가 (2003).
- 연세대학교 환경공해연구소, 환경오염물질의 위해성 평가 및 관리기술, G7 환경위해성평가 및 관리기술 제1, 2단계 연차보고서, 환경부 (1993-1998).
- 정 용(연세대학교 환경공해연구소) 등, 수돗물의 안전성 평가연구, 서울특별시, 11 (1994).
- 정 용, 한국에서의 환경오염에 의한 위해성관리의 종합적 접근방법, *한국환경독성학회지*, 4(1-2), pp. 55-65 (1989).
- 정 용, 환경오염물질의 위해성 평가 및 관리방안, *예방의학회지*, 28(2), pp. 259-281 (1995).
- 한국화학연구소, 환경오염물질의 위험성 확인 및 독성평가, (3/3), p. 842 (1992-1994).
- 환경부, 먹는물수질공정시험방법, pp. 127-128 (2004).
- Mehlman, M. A., Health Hazard and Risks from Exposure to Complex Mixtures and Air Toxic Chemicals, *Princeton Scientific Publishing Co.*, New Jersey, 14, pp. (1991)
- National Research Council., Human Exposure Assessment for Airborne Pollutant Washington DC., USA (1991).
- National Research Council., Risk Assessment in the Federal Government Managing the Process, *National Academy Press*, Washington DC. (1983).
- Office of Science and Technology Policy(OSTP), Executive office of the President, Chemical Carcinogens : *A review of the science and its associated principles*, Washington DC. 3. 50FR, 10372 (1985).
- US Environmental Protection(US EPA), User's guide for the Industrial Source Complex(ISC2) Dispersion Models, Volume I, EPA/450/4-92/ 008a (1992b).
- US Environmental Protection Agency, Guideline on Risk Characterization for Risk Managers and Risk Assessors, Office of the Administrator, memorandum from F. Henry Habicht II, Deputy Administrator (1992a).
- US Environmental Protection Agency, Guideline for Carcinogen Risk Assessment, Carcinogen Assessment Group, Office of Health and Environmental Assessment, Washington DC., September 24, 51 FR, 33992 (1986).
- Yong Chung, Dong chun Shin, Seong Eun Park, Yeong Wook Lim, Yoon Ho Choi, Seong Joon Cho, Jee Yeon Yang, Man Sik Hwang, Yeo Sin Park, Hyun Lee, Risk Assessment and management of Drinking Water Pollutants in Korea, *Water Science and Technology*, 36, 309, p. 233 (1997).