

음용수의 섭취량 및 다경로 노출평가를 위한 노출변수 조사연구

정 용 · 신동천 · 박성은 · 최시내 · 박선미

연세대학교 환경공해연구소

Daily Water Intake and Exposure Parameters Related to the Multi-route Exposure in Drinking Water

Yong Chung, Donh Chun Shin, Seong Eun Park, Shi Nai Choi
and Seon Mee Park

The Institute for Environmental Research, Yonsei University(IERY)

ABSTRACT

Human exposure to volatile compounds in tap water can occur from inhalation and dermal absorption as well as direct ingestion. The relative contribution to total human exposure from these pathways has been considered to be important especially for VOC's (volatile organic compounds). In an attempt to reduce the uncertainty of the risk assessment, it has been suggested that the exposure assessment process could be significantly improved by adopting Monte-Carlo simulation. However, there is no actual data in Korea for each exposure parameter to determine the level of exposure, and the distributional pattern. Therefore, we surveyed water use patterns and behavior related to multi-route exposure to VOC's in household tap water in Korea, and compared these values to the those in western countries. In the first survey, we calculated daily water intake using data from a sample of 1322 persons of several cities in Korea. In the second survey, we obtained questionnaire data on exposure time for showering, bathing and household activities, and tap water intake from 851 households in Korea. In the last survey, we measured the exposure parameters (exposure time, water use rate etc.) related to showers, baths, toilets, dish washing, washing and cooking, and tap water intake was surveyed. Also, the subjects were measured their body weight, height and tidal volume, etc. A diary, a flow meter and a measuring cup were used to measure these values as precisely as possible. Average daily water intake was ranged 0.79~1.71 L/day for adults in three surveys. Tap water intake measured by log-sheet during one week in third survey was 1.26 (average), 1.98 L/day (90 percentile), respectively. These results were comparable with results from EPA (1.4, 2 L/day). The average amount of water used by housewives in the third survey was 515.0 ± 564.6 L/day. In usual activity, the amount of water used in the bathroom, the laundry and the kitchen was 140.0 ± 538.9 , 148.0 ± 174.5 , 229.3 ± 205.4 L/day, respectively. Exposure parameters such as water intake rate, exposure duration, body weight, inhalation rates in surveyed data of Korean

people differed from those published from western countries. This could be attributed to variations in lifestyle, dietary habits and physiological characteristics.

서 론

최근, 날로 심각해지는 환경오염과 이로 인한 건강 피해에 대해 사회적 관심이 기울어 지고 있는 가운데 이를 규명하고자 하는 노력이 다각적으로 시도되고 있다¹⁾.

환경오염으로 인한 인체 영향은 오염물질의 환경중 농도 뿐 아니라 노출을 정량화 하는데 있어서 요구되는 인체 관련 노출변수의 특성에 따라 크게 변화한다. 즉, 환경오염수준에 따른 인체의 노출수준은 기후와 같은 물리적 환경이나 생활양식, 생리적 요인 등 인종과 지역간의 특성에 따라 다양하게 변화하기 때문에 환경오염으로 인한 인체영향을 규명하기 위해서는 정확한 인체 노출량을 아는 것이 중요하며 이를 위해서는 일차적으로 노출 인자들이 정확히 파악되어 있어야 한다.

그러나 우리나라의 경우에는 서구인들과는 크게 다른 신체적 노출특성을 갖고 있음에도 불구하고 아직까지 노출평가지 요구되는 노출변수에 대한 기초적 연구가 거의 되어 있지 않은 실정에 있다. 특히, 수계에 존재하는 오염물질을 살펴보면 이들은 주로 인간이 마시는 물을 통해서 체내로 들어오게 되는데 이때 요구되는 물섭취량과 같은 인체노출변수는 외국과 우리나라에서의 식생활 양식에서 차이가 있어 그 양태가 다를 것으로 예상되지만 이에 대한 자료가 거의 없는 형편이다. 현재 섭취경로에 의한 인체 위해를 평가할 때 일반적으로 이용하는 평균 2 L의 일일 음용수 섭취량과 70 kg의 체중은 US EPA (Environmental Protection Agency), 또는 WHO (World Health Organization)와 같은 기관에서 기준치로 제시하고 있는 값이다^{2),3)}. 반면, 1960년대에 우리 나라 사람의 물섭취량에 대해 보고된 한 연구⁴⁾에 의하면 성인 남자들의 1일 수분 섭취량은 3 L내외로써 서구인에 비해 많으며 이는 섭취식품중에 함유되어 있는 다량의 식염 때문인 것으로 분석하고 있다. 또한, 한국인은 서구인에 비해 노폐축능이 저하되어 있어 이는 노폐출량을 증가시키고 수분섭취의 증가를 유인하게 될 것이라는 것이라는 예측⁵⁾과 한국 성인여성의 노폐출량이 1.6 L

로 조사된 일부연구⁶⁾를 토대로 우리 나라 사람들이 하루에 2 L 이상의 총 수분을 섭취하고 있을 것으로 예상해 볼 수 있다.

한편, 물중에 존재하는 휘발성오염물질은 마시는 것에 의한 것 뿐만 아니라 세탁이나, 샤워를 통해 휘발된 상태로 인체의 호흡기를 통하여 들어오게 되며 이로 인한 실제 인체위해가 더 큰 것으로 보고되고 있다⁷⁾. 이러한 다경로 노출평가는 실제 인체 위해도를 더 가깝게 반영할 수 있고 더불어 불확실성을 감소시킬 수 있다는 측면에서 날로 그 중요성이 대두되고 있으며 이를 위해서는 더 많은 인체노출 변수들이 필요하다. 다중경로 노출평가지 요구되는 인자로는 우리나라 사람들의 평균적인 호흡량, 체중, 체표면적과 같은 생리학적인 요인들이 반영되어야 하며 공간에서의 소비율도 반영되어야 한다. McKone⁸⁾은 휘발성 유기물질의 실내 흡입경로에 관한 연구에서 실내를 샤워실, 목욕실, 기타구역 등의 세구획으로 나누어 실내공간에서의 노출시간과 시간당 물 사용량 등을 여러 요인을 고려한 노출식을 이용하여 다경로 노출에 의한 인체 위해를 평가한 바 있다.

이렇듯 본 조사는 수중에 존재하는 오염물질에 의한 인체 위해도 평가지 우리나라 사람들의 생활양식이 반영된 실재와 보다 가까운 위해를 구하기 위하여 요구되는 기초적 노출변수 특성을 파악하고자 하는데 목적을 두고 있다. 특히 한국인의 물 섭취량 및 섭취형태를 파악하고자 하였으며 물 사용량과 소비시간 등 흡입과 피부 노출에 관련된 노출변수의 특성을 파악하고자 하였다.

내용 및 방법

1. 전체 조사 내용

이 연구는 1993년부터 1995년까지 3차례에 걸쳐 독립된 연구디자인을 갖고 음용수의 다경로노출에 관련된 노출변수를 조사하였다 (Table 1). 물 사용패턴 및 섭취량은 개인의 생활양식에 따라 다양한 값을 갖기 때문에 실제값의 정확한 양을 안다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 여러 대상자에게서 다양한 방법을 통해 여러번 조사하여 평균값을 얻고자 하였다.

1993년 봄에 처음으로 조사된 제 1차조사¹¹⁾에서는 한국인의 물 섭취량을 대표하기 위해 모든 연령 대상군이 골고루 포함되도록 많은 대상자들을 24시간 기록지를 이용하여 하루동안의 물 섭취량 및 음식을 통해서 섭취될 수 있는 모든 수분 섭취량을 조사하였다.

제 2차조사¹²⁾에서는 20세 이상의 다양한 직업을 갖고 있는 성인만을 대상으로, 정확한 양을 측정하기보다는 이들이 평소에 인지하고 있는 개인의 마시는 물의 양을 조사하는데 목적을 두었으며 제 3차조사¹³⁾에서는 2차조사를 토대로 음용수의 다중경로 노출평가를 위해 물 사용으로 인한 인체노출량이 가장 많을 것으로 예상되는 집단인 가정주부들을 대상으로 1주일간 자가기록지를 기록하게 하여 정확한 물음용량과 사용패턴을 조사하고자 하였다.

2. 1차조사(1993, 봄)

우리나라 사람들의 1일 음용수 섭취량 및 수분섭취량을 알아보고자 전 연령층에 대하여 서울, 인천, 경기, 강원도 등에 거주하는 1322명을 조사대상으로 하였으며 전국을 대표할 수 있도록 전국의 연령 분포를 기초로 하여 연령별 조사대상자수를 조절하였다. 연령 구분은 식품 섭취량에 큰 영향 인자를 가진 성장 단계 및 활동량에 맞추어 FAO/WHO에서의 구분을 근거로 유아(1세 미만, 1세 이상~5세 미만), 아동기(5세 이상~12세 미만, 12세 이상~19세 미만), 성인(19세 이상)으로 나누었다.

하루 중에 섭취한 모든 음식명 및 섭취량을 본인이 직접 기록지에 기입하도록 한 24시간 dietary recall method¹⁴⁾를 이용하여 일일 음용수 섭취량 및 음식을 통해서 섭취할 수 있는 수분함량을 조사하였다. 설문조사시 식품 섭취실태 조사를 위한 책자 및 기준이 되는 크기의 그릇을 이용하여 식품의 목적량에 대한 개인의 인지도 차이를 최대한 줄이고자 하였으며 식품의

크기를 객관적으로 나타내기 위하여 대, 중, 소로 구분 표시토록 하였다. 또한, 섭취량 조사시 필요한 노출자료로서 성별, 연령, 신장, 체중, 직업, 운동 여부, 병력, 음주여부 및 음용수로 사용하는 물의 종류를 질문에 포함시켰다. 회수된 기록지를 통해 직접 음용수의 형태로 마시는 물의 양을 종합하였으며 각 식품에 포함된 수분량은 식품성분표(1991년 제 4개정판)¹⁵⁾에 제시된 평균 수분량을 근거로 산출하였다.

3. 2차조사(1994, 가을)

마시는 물 섭취량 조사에 있어서 1차 조사와는 본인이 인지하고 있는 정도의 섭취량을 알아보기 위하여 조사대상을 주로 본 연구의 의도를 잘 이해할 수 있는 사무직에 종사하는 근로자 및 환경업무 관련 종사자들로 한정하고 일상생활에서의 마시는 물의 형태 및 양을 기입하도록 한 설문지를 우편을 이용하여 전달, 회수하는 방법을 이용하였다. 우편조사의 경우 일반적으로 응답률이 낮아 분석 결과에 대한 해석에 유의하여야 한다는 단점이 제기되고 있지만, 이 조사에서는 비교적 양호한 응답률(51.3%)을 보였다.

4. 3차조사(1995, 봄)

3차조사에서는 1, 2차 조사결과를 토대로 하여 노출량이 가장 많을 것으로 추정되는 가사일을 주로 하는 서울시에 거주하는 가정주부 150명을 대상으로 수도수를 중심으로 한 가정에서의 물 사용량과 섭취량을 조사하였다. 또한, 남녀 섭취량 비교를 위해 조사대상자의 배우자 52명에 대해 수도 물 섭취량을 조사하였다.

인체의 생리적 특성에 관한 인자와 섭취, 흡입, 피부접촉 등 각 노출경로에 의한 인자로 나누어 조사하였는데 개인의 체중과 체표면적, 단위체중당 호흡율, 음용수 섭취량, 각 물 사용형태별 물 사용률, 물 사용형태별 노출시간 등을 조사내용으로 하였다.

Table 1. water use rate and daily water intake survey.

Survey	Subjects	Methods	Periods	Exposure factor
1st	1322 persons by all ages	24hr-dietary recall method	Apr. 1993 (Spring)	Daily water intake
2nd	851 persons	Interview or mailing survey by questionnaire	Sep. 1994 (Autumn)	Daily water intake
3rd	158 housewives and 52 husbands	Self-administered log-sheet for 1 week	Feb. - Apr. 1995 (Spring)	Exposure time, water use rate related to showers, baths, toilets, dish washing

면접설문시에는 일반적 특성과 사용에 관한 전반적인 문항을 포함하도록 하였으며 실제적인 조사는 일일 기록지를 이용하였다. 기록지 기입의 경우 일주일동안 조사하여 개인당 7개의 반복조사가 이루어지도록 하였다. 개인별 인지도의 차이를 최대한 줄이고자 섭취량의 경우 계량컵을 나누어 주어 수량을 기입하도록 하였으며 사용량 조사의 경우는 가정의 수도전 유량을 조사원이 직접 방문, 측정하여 각 가구에서의 주거지 특성으로 인한 차이를 줄이도록 하였다. 일일 기록지를 통한 조사는 섭취량과 사용량(세탁, 주방에서의 물 사용, 욕실에서의 물 사용)을 면접지에서의 설문항목과 동일하게 하여, 응답자가 직접 일주일간 각 이용시마다 사용량과 시간을 표기하도록 하고, 사용 용기의 사용회수와 수도전에서 물사용하는 시간을 기입하도록 하였으며, 조사자가 사용하는 수도꼭지마다의 유량 및 사용하는 용기의 용량을 직접 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 일일 물 섭취량

1) 연령별, 성별 비교

3차례에 걸쳐 조사된 평균 일일 물 섭취량을 물의 형태별로, 연령별로 나누어 Table 2에 제시하였다.

1차조사에서는 전연령대를 조사하여 유아기와 아동기, 청년기, 성인 등으로 나누어 비교하였으며 2, 3차조사에서는 20세 이상의 성인들만을 대상으로 한 결과이다. 또한, 1차 조사에서는 음식을 통해서 흡수될 수 있는 수분량까지도 고려된 물 섭취량이다.

1차 조사시 지하수, 생수, 수도수, 약수 등을 포함한 한 순수 물 평균 섭취량은 연령대별로 각각 0.03, 0.49, 0.71, 0.75, 0.73 L/day로 연령이 증가할수록 증가추세에 있으나 청소년기가 성인에 비해 다소 높았다. 그러나 음료와 음식을 통해 섭취되는 수분량까지 고려한 총 수분량은 성인이 2.26 L/day, 청소년이 2.23 L/day으로 성인이 가장 많은 양을 섭취하는 것으로 조사되었다.

Pennigton¹⁶⁾에 의하면 연령이 증가할수록 물 섭취량이 증가하며 65세 이상에서는 물 섭취량이 감소한다고 한다. 본 조사에서도 50대 이후의 연령에서 총수분 섭취량이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 한편, 음식을 제외한 다른 형태의 음용량을 조사한 2, 3차 조사에서는 음식에 함유되어 있는 수분의 함량까지도 계산된 1차조사에 비해 총수분량에 있어서 더 적은량을 보였으며 특히, 우편을 통해 조사된 자신이 인지하고 있는 물 섭취량(2차 조사)은 계량컵을 갖고 실제 1주일간 조사(3차 조사)된 값보다 평균적으로 적어 이들간에는

Table 2. Average daily water intake rate by all ages.

unit : L/day

Group	Age	drinking water		Water in food			Total	
		Tap water	Bottle	water	Beverage	Water added in cooking		Water in food (calculated)
Infant	<1 (n=202)		0.03				0.23	0.26
	1-5 (n=90)		0.49		include		0.91	1.40
1st Children	6-11 (n=220)		0.71		water in	NS	1.14	1.85
	12-18 (n=319)		0.75		food		1.48	2.23
Adult	19> (n=491)		0.73				1.53	2.26
	20-29 (n=203)	0.42	0.29	0.13	0.11			0.96
2nd Adult	30-39 (n=253)	0.40	0.19	0.08	0.08			0.75
	40-49 (n=209)	0.40	0.23	0.04	0.07		NS	0.74
	50- (n=183)	0.39	0.25	0.04	0.04			0.72
	Mean	0.40	0.24	0.07			0.79	
3rd Adult	20-29 (n=166)	0.10	0.28	0.19	0.19			0.70
	30-39 (n=677)	0.20	0.35	0.33	0.33			1.22
	40-49 (n=566)	0.30	0.26	0.37	0.37		NS	1.35
	50- (n=711)	0.25	0.33	0.33	0.33			1.33
	Mean	0.25	0.30	0.33	0.37			1.26

n=number of subjects

NS=Not surveyed

Table 3. Average daily water intake rate of adults by sex. unit : L/day

sex	drinking water		Water in food			Total
	Tap water	Bottle water	Beverage	Water added in cooking (calculated)	Water in food	
1st	Men(n=611)		0.75		include water in food	2.42
	Women(n=711)		0.71		NS	2.09
2nd	Men(n=422)	0.45	0.28	0.08	0.14	NS
	Women(n=428)	0.36	0.19	0.07	0.02	
3rd	Men(n=52)	0.26	0.36	0.39	0.46	NS
	Women(n=158)	0.24	0.24	0.28	0.29	

n=number of subjects
NS=Not surveyed

큰 차이가 있었으며 3차 조사에서 분석된 평균 일일 물 섭취량은 1.26 L이었다. 또한, 세부 물 형태별로 비교해 보면 음료량과 조리에 첨가되는 물량이 2차 조사시와 3차 조사시에 크게 차이가 나는데 이는 인지 정도와 실제측정량의 차이라고 생각된다.

성인 남녀간의 물 섭취량의 차이를 비교하여 Table 3에 제시하였다. 1, 2, 3차 조사에서 총량에는 차이가 있으나 남자는 여자에 비해 많은 물을 섭취하는 것으로 조사되었으며 이는 통계적으로도 유의하였다 ($p < 0.05$). 각 음용형태별로도 남자는 조금씩 더 섭취하는 것으로 나타났다.

위와 같은 조사결과를 생리학적으로 추정된 성인이 필요한 일일 물 섭취량과 비교해 보면 다음과 같다. 성인의 하루 평균 배출노폐물량은 30~40 g이며, 1g 당 최소 15 ml의 물이 필요하고 이에 0.45~0.6 ml의 수분을 사용한다고 한다. 또한 피부나 폐에서 0.7 L의 수분을 상실하며 뉘외에 분으로 0.1 L 정도를 상실하기 때문에 이로서 총 1.25~1.4 L의 수분을 상실하며 인체내에서 음식이 산화되면서 수분이 0.2 L 정도 생성되므로 인간이 1일 섭취해야할 양은 최소 1.05~1.35 L이다⁷⁾. 그러므로 하루에 필요한 수분량은 성인 남자 체중 1 kg당 0.03 L, 여자 0.025 L이라고 산출해 볼 수가 있다. 즉, 60 kg의 남성의 경우 하루 약 1.8 L의 물이 최소한 필요하다고 할수 있는 것이다. 이렇게 인체에 생리적으로 필요한 물은 음식을 통해 1 L, 유동물에 의해 1.2 L, 체내산화시 물생성에 의해 0.3 L로서 총 2.5 L이 생리학적으로 공급되며 배출량은 뇨 1.4 L, 간 0.6 L, 호기 0.3 L, 분뇨 0.2 L로서 총 2.5 L를 배출하여 평형을 유지한다고 한다.

본 연구에서는 유동물 즉, 식품자체 수분을 제외하

고 액상의 수분만을 조사한 결과 1.26 L의 물을 섭취한다는 결과를 얻었으며 유동물을 고려해서는 2.26 L의 수분을 섭취하는 것으로 조사되어 생리학적으로 요구되는 량과 유사한 량을 마시는 것으로 판단해 볼 수 있다.

2) 외국 자료들과의 비교

위와 같이 한국인의 음용수 섭취량은 연령별로, 성별로 차이가 있으며 조사방법에 따라라도 차이가 있어 개인이 인지하고 있는 정도와 실제 물 섭취량에는 차이가 있음을 알 수 있었다. 따라서 이후에는 실제로 개인당 1주일간 조사한 3차 결과를 본 연구의 대표치로 하여 외국의 물 섭취량 조사 결과와 비교해 보았다 (Table 4).

WHO를 비롯한 US EPA 등 외국의 기관에서는 성인의 일일 물 섭취량을 2 L로 규정하여 이용하고 있는데 이러한 값은 대부분이 여러 연구결과들을 종합하여 제시한 수치이다. NAS¹⁸⁾에서 조사된 물섭취량은 평균 1.63 L/day이나 안전한계 (margin of safety)를 고려하여 2 L/day를 채택, 적용하고 있으며 육체노동의 수준과 온도와 습도의 변화에 따라 물소비량이 달라져 노동수준이 강해질수록, 온도가 높을수록, 습도가 낮을수록 물소비량이 증가한다고 한다. US EPA¹⁹⁾에서는 NAS¹⁸⁾의 연구결과를 비롯하여 Table 4에 제시한 ICRP (International Commission on Radiological Protection)²⁰⁾, Gillies and Paulin²¹⁾, Cantor²²⁾ 등의 연구결과들을 종합하여 조사치들의 평균섭취량으로 1.4 L/day을 산출해 내었으며 최고 노출경우 (reasonable worst-case)를 고려하여 90th percentile값인 2.0 L/day를 제시하고 있

다. 이는 성인의 경우이고 유아(체중 10 kg 미만)의 경우에는 1 L/day를 기준량으로 제시하고 있으며, 제시된 섭취량은 식품자체내의 수분은 제외시키고 있다. 따라서 정책적인 기준결정을 위해서는 2.0 L/day의 값을 이용하며 학문적인 접근을 요할 때는 1.4 L/day의 수치를 이용하도록 하고 있다. WHO³⁾에서 권고하는 일일 음용수 섭취량은 하루 성인 수분섭취량 (2 L/day ~ 3 L/day)에 근거한 2 L/day이다.

본 조사결과는 물 섭취량이 평균 1.26 L, 90 percentile값이 1.98 L로써, 서구인에 비해 많은 양을 섭취할 것이라고 예상했던 것과는 달리 평균적으로는 유사하거나 약간 적은 양을 마시고 있으며 90percentile 값으로는 거의 유사한 값을 보이는 것으로 조사되었다. 이는 외국의 연구결과와 마찬가지로 음식속에 함유되어 있는 수분량은 포함되지 않은 값이다. 한편, 우유를 포함한 물 섭취량을 계산한 NAS¹⁴⁾의 조사결과(평균 1.63 L/day)와 비교해보기 위하여 본 연구에서도 우유를 포함하여 계산할 결과 평균 1.35 L/day으로 더 적은 섭취율을 보였다. 이러한 결과는 우리나라 사람의 우유섭취량이 서구인에 비해 적기 때문인 것을 판단된다.

3) 단위체중당 물 섭취량

EPA에서 보고하고 있는 총 평균 물 섭취량(우유제외)이 1.4 L인 반면, 본 조사결과는 그보다 약간 적은 1.26 L로 우리나라 사람은 서구인에 비해 체중이 적기

때문에 절대 섭취량이 적은 것으로 생각된다.

이에 US EPA의 단위체중당 물 섭취량과 본 연구에서 설문조사된 개인의 체중을 이용하여 단위체중당 섭취량을 구해 비교해 보면 Table 5와 같다. 체중으로 인한 절대 섭취량은 서구인에 비해 약간 적은 것으로 조사되었지만, 단위 체중당 물섭취량의 평균량은 거의 유사하였으며, 90th percentile의 경우는 오히려 더 많은 것으로 나타났다. 이와 같이 단위체중당 물 섭취량의 90th percentile값이 서구인에 비하여 더 높기 때문에 유해물질이 동일한 오염농도라고 가정할 때 추정되는 인체노출량은 우리나라 사람에서 더 높다고 할 수 있다.

또한, 남녀간 단위체중당 물섭취량에 있어서는 남자의 경우 0.22 L/kg-day, 여자는 0.19 L/kg-day로 조사되어 남자가 여자에 비해 단위체중당 약 3 mL를 더 섭취하는 것으로 조사되었다. 그러나 이러한 값은 통계적으로는 유의한 차이를 보이지는 않았다.

Table 5. Daily water intake per body weight.

	In this study		US EPA	
	mean	90th percentile	mean	90th percentile
Men	0.22	0.36	0.20	0.29
Woman	0.19	0.31	0.20	0.33
mean	0.20	0.34	0.20	0.31

Table 4. Comparison of daily water intake rate (adults).

Average	water ingestion (L/day)		Agency	Remarks
	90th percentile	Range		
1.26	1.98		In this 3rd survey, 1994	Include tap water and water based drinks
1.63	-	-	NAS, 1977 ¹⁴⁾	Literature review (Include milk)
1.40	2.0	-	U.S. EPA, 1980 ¹⁴⁾	Includes drinking water consumed in the form of juices and other beverages containing tap water.
-	-	0.40 ~ 2.20	ICRP, 1981 ³⁰⁾	Includes tap water and water-based drinks (normal condition)
1.25	1.90	0.26 ~ 2.80	Gillies & Paulin, 1983 ²¹⁾	New Zealand
1.53	1.9	1.24 ~ 1.73	U.S. EPA, 1984 ²³⁾	Includes tap water, water-based drinks, alcoholic drinks
1.39	2.0	0.80 ~ 1.96	NCI, 1987	Case-control study: between bladder cancer (Cantor, 1987) ²²⁾ and drinking water

2. 물 사용량 및 노출시간

1) 물 사용량

가정에서의 물 사용량을 실내공간별로 나누어 Table 6에 비교하였다. 실내공간을 부엌과 욕실, 세탁장으로 나눈 이유는 이곳이 가정에서의 주된 물 사용처인 것을 감안한 것이다.

물 사용에 영향을 미치는 여러 요인 가운데 주거형태별 물사용량은 한옥, 아파트, 양옥, 연립주택순으로 평균 물사용량이 높은 경향을 보였으나, 집단간의 유의한 차이는 없었다. 연령별로도 총 물사용량의 유의한 차이는 없었으며 이외에 물사용량에 영향을 미칠 것으로 예상되는 여러 요인 가운데 교육수준이 높을수록 평균값은 증가하는 경향이 있었으나 표준편차가 커서 통계학적으로 집단간의 유의한 차이는 없었다.

반면, 주중과 주말간의 물사용량에 차이가 있어 주중의 평균 총 물사용량 529.9 L/day이 주말의 481.4 L/day보다 높았다 ($p < 0.05$). 각각의 물사용 형태별로 보면 욕실에서의 물사용량의 경우 주말의 경우 더 많았으며 이는 95%신뢰구간에서 유의하였다. 주방에서의 물이용과 세탁시의 물 이용은 주중이 더 높았으나 유의한 차이를 보이지는 않았다.

2) 물 사용 형태별 사용량과 소요시간

기록지를 통한 각 물사용형태별 물 사용량과 이에 소요되는 시간은 다음 Table 7과 같다. 물 사용량은

세탁시 세탁기 사용에 의해 124.3 L/day, 손빨래에 의해 22.8 L/day 소비되는 것으로 조사되었으며, 욕실에서 세안시에 28.5 L/day, 샤워시에 28.5 L/day, 목욕시에 79.4 L/day에 사용되었다.

주방에서는 설거이에 의해 125.7 L/day, 다른 조리시에 96.1 L/day를 사용하는 것으로 조사되었다.

이에 소요되는 노출시간은 세탁기 이용시 34.5 min/day였으며, 손세탁시는 9.2 min/day이었다. 노출시간의 경우 욕실에서의 이용은 총 욕실 체류시간과 소요시간을 구분하여 조사하였으며 세안시 11.4 min/day, 샤워시 5.4 min/day, 목욕시 2.2 min/day이었다. 설거이는 29.5min/day, 조리는 35.3 min/day으로 조사되었다. 노출횟수는 세탁기는 하루 0.56 time/day, 손빨래는 0.5 time/day, 세안은 1.20 time/day, 샤워는 0.31 time/day, 목욕은 0.05 time/day, 설거이 1.67 time/day, 조리 1.17 time/day이었다.

따라서 하루에 소비되는 물 사용량은 515.8 L이며, 이에 노출되는 시간은 하루에 120.5 min인 것으로 조사되었다.

물 사용 형태에 따른 사용량과 노출행태는 외국자료와 비교해 볼 때 본 조사가 비록 적은 수를 대상으로 한 것이기는 하나 너무나 큰 차이가 있어 이들 요인들은 생활양식에 매우 크게 좌우되고 있음을 알 수 있다. Tarshis²⁴⁾의 조사결과를 예로 보면 미국의 인구중 90%가 매일 목욕을 하고 5%는 1일 1회 이상 목욕하는

Table 6. Water use rate in three compartment (3rd survey). unit : (L/day)

	In kitchen	In bathroom	In laundry	Total
House characteristics				
Korean style	275.7 ± 304.2	44.1 ± 51.5	92.4 ± 104.9	694.3 ± 276.9
Western style	231.8 ± 209.5	97.6 ± 393.9	193.7 ± 178.9	542.0 ± 519.3
Town house	167.3 ± 135.7	73.1 ± 318.3	119.1 ± 157.4	373.7 ± 449.6
Apartment	234.9 ± 206.3	239.2 ± 757.8	146.9 ± 184.0	588.9 ± 668.4
Age				
20 ~ 29	161.9 ± 141.2	149.6 ± 325.4	110.9 ± 168.8	466.3 ± 476.2
30 ~ 39	251.9 ± 223.0	177.6 ± 698.4	171.9 ± 198.8	433.6 ± 314.9
40 ~ 49	230.6 ± 204.9	87.5 ± 304.2	148.9 ± 154.1	491.2 ± 456.1
50 ~	155.3 ± 187.1	117.0 ± 473.0	103.3 ± 117.4	387.7 ± 604.9
Week*				
Weekday	222.7 ± 200.4	123.9 ± 453.5	149.3 ± 179.9	529.9 ± 594.4
Weekend	221.8 ± 220.5	179.3 ± 706.4	144.6 ± 160.5	481.4 ± 486.3
Mean	229.3 ± 205.4	140.0 ± 588.9	148.0 ± 174.5	515.8 ± 546.6

* $p < 0.05$

Table 7. Exposure time of water consumption by log-sheet.

	Water consumption (L/day)	Exposure time (hr/day)
In kitchen		
washing	125.7 ± 131.9	29.5 ± 25.1
cooking	96.1 ± 120.4	35.3 ± 34.9
mean	229.3 ± 205.4	66.2 ± 48.5
In bathroom		
face washing	28.5 ± 37.8	11.4 ± 10.4
showering	28.5 ± 60.3	5.4 ± 10.9
bathing	79.4 ± 50.9	2.2 ± 11.8
mean	140.0 ± 538.9	18.6 ± 16.7
In laundry		
washing machine	124.3 ± 165.1	34.5 ± 43.5
by hand	22.8 ± 48.2	9.2 ± 15.7
mean	148.0 ± 174.5	44.4 ± 45.2

것으로 조사하였으며, 이들 중 남성의 70%, 여성의 50%가 목욕의 수단으로서 샤워를 행하는 것으로 나타났다. US EPA에서 샤워를 통한 노출량의 근거로서 제시하는 James 등²³⁾의 연구에서는 2500가구를 대상으로 조사하였는데 그 결과 1회 샤워시 평균소요시간은 7분이며, 90th percentile 값은 12분으로 조사되었다. 사용량은 40gallon으로 약 120 L를 사용하는 것으로 추정되었다. 샤워 횟수는 하루 1회 이상이 50~75%로서 우리나라 사람의 평균 샤워횟수가 0.3회임에 비하여 약 2배 이상 더 많았고 1회 샤워시 소모수량은 본 조사 결과치가 약 155 L를 적게 소비하는 것으로 추정되었다. 반면, 샤워 시간은 본 조사의 결과치가 2.5배 정도 더 길었다. 그러므로 우리나라 사람들의 경우 샤워횟수는 적은 반면, 짧으나를 고려하더라도 노출시간은 서구인의 샤워행태와 비슷할 것으로 추정된다 (Table 8).

3. 인체의 생리적 노출인자 조사

1) 기대수명 및 체중

Table 8. Comparison of exposure pattern in showering.

	Average water use amount at one time (L.)	Shower duration(min)		Shower number in day
		mean	90th percentile	
US EPA ²³⁾	151.42	7	12	1
Korean	91.93	18.6	30	0.3

사람의 기대수명과 체중과 같은 생리적 인자들은 인종별로 큰 차이가 있기 때문에 위해성평가에 일반적으로 이용되는 이러한 노출인자들은 우리나라 사람에 맞게 이용되어야 할 것이다. 통계청²⁶⁾자료에 의하면 우리나라 사람의 기대수명은 1990년 현재 남녀 평균 71.27세로 1970년대 이후로 계속 증가 추세에 있다. 의학기술의 발달, 충분한 영양 섭취 등 여러요인으로 인해 인간의 기대 수명은 Fig. 1과 같이 계속 증가하고 있는 실정인데 US EPA²⁷⁾의 자료에 의하면 미국에 거주하는 백인의 기대 수명은 1985년 현재 75.3세, 흑인의 경우 69.5세이다. 따라서 현재 US EPA 또는 WHO에서는 위해성평가지 인간의 기대 수명을 70년으로 가정하고 있으나 앞으로 75세로 사용할 것을 권장하고 있는 실정이다. 우리나라 사람들의 기대수명을 1985년까지만 비교해 보면 다른 인종에 비해 가장 적은편에 해당하며 현재 이용하고 있는 70세를 당분간 계속 이용하여도 무방할 것 같다.

공업진흥청²⁸⁾에서 조사한 우리나라의 20~50세의 성인남자의 평균체중은 66.1 kg, 90th percentile 값이 76.2 kg이며, 20~50세 성인여자는 평균체중 55.4 kg, 90th percentile 값이 63.2kg이다. 남녀 평균체중은 60.8 kg로써 본 조사대상자에게서 조사된 체중은 이와 유사한 수준이었다. 한편, 미국의 통계조사국에서 조사된 미국인의 평균체중은 이에 비해 훨씬 높은 수준인 71.8 kg이다. 현재 US EPA에서는 70 kg을, WHO에서는 60kg을 평균체중으로 이용하여 위해도를 평가하고 있는데 우리나라의 경우는 60 kg을 평균체중으로 이용하는 것이 타당할 듯 하다.

2) 호흡률

조사대상자의 호흡률을 조사하기 위하여 폐기능 검

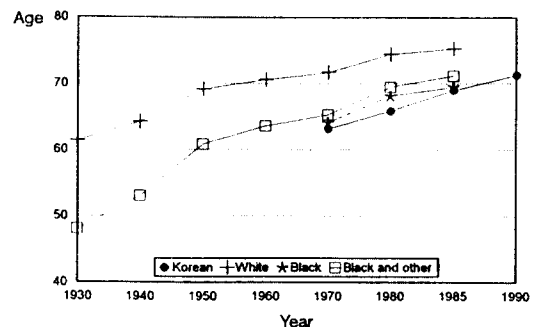
**Fig. 1.** Expectancy of life at birth by race Source. US Bureau of the Census²⁷⁾.

Table 10. Comparison of body weight (kg) and surface area.

	Women			Men		
	In this study	Korean's std. ³⁸⁾	US EPA ²⁷⁾	In this study	Korean's std	US EPA
Body weight(kg)						
20~29	52.4±5.8	53.0±6.2	60.6	61	64.4±7.5	73.7
30~39	52.3±5.2	55.3±6.4	64.2	71.1±8.6	67.0±7.9	78.7
40~49	57.5±7.5	58.0±6.5	67.1	64.8±8.1	66.9±7.7	80.8
50~	56.9±7.3	-	67.9	69.3±5.3	-	78.8
mean	55.0±6.9	55.4±6.4	65.4	68.4±6.8	66.1±7.7	78.1
Surface area(m²)*						
	1.57	1.57	1.69	-	1.77	1.94

*Surface area²⁷⁾=0.029H^{0.417}W^{0.517}

사기기 (HI-601 micro spirometry, Chest M.I. Inc, Japan)를 이용하여 1회 호흡량 (Tidal Volume, TV)과 분당 호흡수를 측정하였다 (Table 11). 연령별로 조사된 1회 호흡량은 평균 0.89 L였으며 분당 1회 호흡수는 평균 18.18회로 조사되었으며 생리학적으로 일반적으로 알려져 있는 바에 의하면 보통 안정시 성인의 경우 1분에 약 16회의 호흡운동을 하며 1회 호흡량 (TV)이 0.5 L이다. 호흡을 통한 오염물질의 인체 노출량 산정시 이용하는 호흡률은 일반적으로 20 m³/day를 적용하는데 본 조사 결과를 단위 시간당 또는 일일 호흡률로 환산한 조사값은 0.97 m³/hr, 23.3 m³/day로서 US EPA²⁹⁾에서 제시된 경작업 (0.5 m³/hr)와 중작업 (1.6 m³/hr)의 중간값에 해당된다. 이는 조사대상자가 가정주부로서 대부분의 가사노동이 포함되는 주로 경노동에 속하는 노동수준이 부하되고 있기 때문으로 판단된다.

Table 11. Tidal volume, inhalation rate of housewives.

Age groups	Tidal volume (L/time)	Inhalation rate (time/min)
20~29	0.91±0.33	18.52±3.77
30~39	0.85±0.32	18.11±4.67
40~49	0.83±0.27	19.82±7.61
50~	0.99±0.37	16.85±4.67
mean	0.89±0.33	18.18±5.41

결 론

현재 음용수의 위해성평가시 일반적으로 이용하고 있는 인체 노출변수는 하루 성인의 물섭취량이 2 L,

70 kg의 체중과 같이 US EPA, WHO 등에서 권고하고 있는 수준을 따르고 있는 형편이다.

그러나 이는 서구인과는 음식문화 및 신체조건이 다른 우리나라 사람들에 있어서 적합하지 않으며 이에 우리나라에 적합한 음용수 수질기준을 설정할 수 있도록 인체 노출 평가에 필요한 기초조사가 요구된다. 본 연구에서는 1993년부터 1995년까지 3회에 걸쳐 우리나라 사람들의 음용수에 대한 섭취 및 흡입, 피부노출에서의 노출변수와 노출상태를 파악하고, 생리학적 특성에 따른 차이를 파악하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 섭취경로에 의한 인체노출량 산정시 요구되는 물섭취량은 개인이 인지하고 있는 량과 실제 조사량에 있어서 큰 차이가 나며, 계량컵을 이용하여 실제로 일주일간 측정된 바에 의하면 남녀 평균 일일 1.26 L, 90th percentile값으로는 1.98 L을 마시고 있는 것으로 조사되었다. 음식속에 함유된 수분까지도 고려된 총 수분섭취량은 그보다 많은 평균 2.26 L/day였으며 남자는 여자에 비해 많은 량을 섭취하고 있었다. 절대 물 섭취량은 외국의 조사결과와 비교해 보았을 때 비슷하거나 약간 적은 수준이었으나 단위체중당으로 환산한 90th percentile값은 우리나라 사람이 서구인에 비해 더 많은 량의 물을 섭취하는 것을 알 수 있었다. 이는 마시는 물속에 유해물질이 같은 농도로 존재할 경우 우리나라 사람에서 서구인보다 더 높은 위해를 갖게되는 것이라고 볼 수 있다. 한편, 일주일간의 물 사용량을 조사한 결과 하루 평균 물 사용량은 515.8±564.6 L/day였으며, 물 사용에 있어 가장 큰 비중을 차지하는 것은 주방에서의 물사용으로서 229.3±205.4 L을 차지하였다. 세탁의 경우 세탁기 이용의

물사용량이 큰 비중을 차지하였다. 샤워시 물 사용량에 있어서는 그 사용량과 노출회수에 대해서는 서구인에 비해 더 적은 수치를 나타내었으나 1회 샤워시간이 길어 전체적인 노출시간은 비슷한 것으로 추정되었다. 또한, 통계자료 및 실험치를 통해 살펴본 우리나라 사람들의 체중과 기대수명, 호흡률 등은 서구인과는 차이가 있어 환경중의 오염물질의 오염도가 같다고 할 때 이로 인한 인체위해도는 서구인과는 다른 양상을 보일 것으로 예상된다.

본 연구는 일부 대상자만으로 한정된 설문 및 기록지 기입 조사로 진행된 연구로써 개인간의 차이와 조사대상의 적극적 협조가 이번 연구의 가장 큰 어려움이었으며 개인간의 인지 정도와 실제조사와는 큰 차이가 있었다. 또한, 본 조사시기가 전 계절을 대표하지는 못하였기 때문에 다른 계절까지도 고려하였을 경우 물질섭취량과 사용량의 실태는 달라질 것이다. 앞으로 이와 같은 같은 기초적 연구를 토대로 보다 우리나라의 특성을 잘 반영할 수 있는 대규모의 지속적인 노출 특성 조사연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- National Research Council, Issues in risk assessment: executive summary, National Academy Press, Washington D.C.(1993)
- US Environmental Protection Agency, Exposure factors handbook, Office of Health and Environmental Assessment, EPA/600/8-89/043 (1989)
- World Health Organization, Guidelines for drinking water quality vol. 2, Geneva(1984)
- 김준규, 한국인의 수분대사 및 신장기능에 관한 연구, *중앙의학* 4(6), 1-10(1963).
- 이수홍, 정상 한국인의 신장기능, *생리학회지* 5(9), 62-69(1962)
- 최홍교, 한국 성인여성의 수분 및 전해질 대사, *대한생리학회지* 16(2), 187-193(1982).
- Andelman J.B., Inhalation exposure in the home to volatile organic compounds of drinking water, *The Science of Total Environment*, 47(1985)
- 정 용, 신동천, 김종만, 양지연, 박성은, 음용수중 휘발성 유기오염물질의 노출경로에 따른 위해도 추정치 비교 연구, *환경독성학회지*, 10(1-2), 21-36(1995).
- Finley B.L., Scott P., Paustenbach D.J., Evaluating the adequacy of maximum contaminant levels of health-protective cleanup goals: Analysis based on Monte Carlo techniques, *Regu. Toxicol. Pharmacol.* 18, 438-455(1993).
- McKone T.E., Human Exposure to Volatile Organic Compounds in Household Tap Water: the Indoor Inhalation Pathway, *Environ. Sci. Technol.* 21, 1194-1201(1987).
- 박선미, 한국인의 음용수 섭취실태에 관한 조사연구, 연세대학교 보건대학원 석사학위 논문 (1993).
- 연세대 환경공해연구소, 물문제에 대한 사회적 인식 및 태도(1995).
- 최시내, 음용수의 건강위해성평가를 위한 다중 경로 인체노출변수의 조사연구, 연세대학교 보건대학원 석사학위 논문(1995).
- 한성숙, 한국 노인의 식사내용이 골격밀도에 미치는 영향에 관한 조사연구, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문(1988).
- 농업진흥청, 제4개정판 식품분석표(1991).
- Pennington J.A.T, Revision of the total diet study food list and diets, *J. Am. Dietetic Assoc.* 82, 166-173(1983).
- 차영선, 인체 생리학, 성문각, 131-136(1986).
- National Academy of Sciences-National Research Council, Drinking water and health, vol. 1, Washington, D.C.(1977).
- US Environmental Protection Agency, Water quality criteria documents: availability, Fed. Regst. November 28, 45(231), 79318-79379 (1980).
- International Commission on Radiological Protection, Report of the task group on reference man, New York, Pergammon Press(1981).
- Gillies M.E., Paulin H.V., Variability of mineral intakes from drinking water : A possible explanation for the controversy over the relationship of water quality to cardiovascular disease, *International J. Epidemiology* 12(1), 45-50(1983).
- Cantor K.P., Hoover R., Hartge P., Bladder cancer, drinking water source, and tap water consumption : A case-control study, *J. National Cancer Institute* 79(6), 1269-1279(1987).
- US Environmental Protection Agency, An estimation of the daily food intake based on data from the 1977-1978, Office of Radiation Prog USDA National Food Consumption Survey, Washington DC EPA-520/11-84-021(1984).

24. Tarshis B., The "Average American" book, New York, NY : New American Library, p. 191(1981).
25. James I.R., Knuihan M.W., An application of bayes methodology to the analysis of diary records from a water use study, *J. of the American Statistical Assoc.* **82**(399), 705-711 (1987)
26. 통계청, 각국의 수명현황(1991).
27. US Bureau of Cencus, Stastical sbstract of the United States : 107th ed. Washington DC(1986).
28. 공업진흥청, 국민표준체위 조사보고서(1992).
29. US Environmental Protection Agency, Identification and evaluation of waterborne routes of exposure from other than food and drinking Water, Office of Water Planing and Standards, EPA 440/4-79-016(1987).