

음용수중 Trihalomethane의 오염과 그 위해성에 관한 조사연구 -주요 14개도시를 대상으로 (1988. 9-1989. 2)-

연세대학교 의과대학 예방의학교실 및 환경공해연구소

정 용·신 동 천·이 보 영*·유 승 한* 정 상 혁*

= Abstract =

A study on the concentration and health risk of trihalomethanes in drinking water

Yong Chung, Dong Chun Shin, Bo Young Lee,* Sung Han Yu,* Sang Hyuk Chung*

*Department of Preventive Medicine and Public Health,
College of Medicine, Yonsei University
Institute for Environmental Research, Yonsei University**

This study was conducted as a nationwide survey in Korea to determine the THM (trihalomethane) concentration levels in the drinking water of 14 selected cities.

The survey was undertaken in one city (Kwangju) during September and October of 1988 and 14 cities in January through February of 1989.

The results were as follows :

1. The KMnO₄ consumption was 10.6 mg/l-11.6mg/l in Pusan and Ulsan, exceeding the drinking water standard of 10 mg/l. Pusan, Incheon, Kwangju, Ulsan, Mokpo and Junju areas also exceeded the ammonia nitrate standard of 0.5 mg/l. Other tap waters surveyed were detected below the drinking water standards.
2. The THM concentrations of tap water measured in January and February of 1989 were detected in the range 1.20 µg/l-150.8 µg/l.
3. In the comparative study of the THM concentration of tap water measured in the Kwangju area during September and October of 1988, the average THM concentration of 145.63±70.72 µg/l showed a sixfold increase compared to that of 23.8±8.31 µg/l surveyed in January and February 1989.
4. The proportion of the four THM compounds found in tap water was bromoform, 47% ; chloroform, 30% ; chlorodibromomethane, 13% ; and dichlorobromomethane, 10%.
5. Since the results indicate that the concentration of bromoform was 2-10 times higher than that of chloroform measured in the seaside district of Pusan, Ulsan and Cheju Island, it is reasonable to assume that the raw water was somehow influenced by seawater.
6. The average lifetime cancer rate of the population exposed to chloroform measured in the surveyed

areas was 17 cancer incidences per 1 million population.

From the above results, the existence of THM in the distribution systems seems to be inevitable, since chlorine disinfection is performed in water treatment plants in our country. There seems to be a trend of increasing THM concentrations due to the contamination of raw water. In order to establish any form of regulations, health risk assessment is an imminent subject.

Key Words : drinking water, trihalomethanes, risk assesment

I. 서 론

우리가 매일 마시고 사는 음용수에서 인체건강을 위협하는 유기오염물질이 발견되고 있어 음용수에 대한 안전성이 논란이 되고 있다.

음용수에서 유기오염물질이 발견되는 원인으로는 인구 증가, 산업화 등으로 인한 도시하수 및 공장폐수, 농경지 및 축산폐수 등의 급격한 증가로 생성된 유독성 미량 유기오염물질, 잔류농약 등을 들 수 있으며 이 오염물질들이 우리나라 상수원수의 대부분을 차지하고 있는 지표수에 유입되어 상수원수를 오염시키기 때문이다. 또한 수인성 질병의 살균을 목적으로 정수처리에서 사용되고 있는 염소에 의해 생성되는 트리할로메탄 (trihalomethanes : 이하 THM 이라 함) 등을 포함한 유기염소계 화합물 등을 들 수 있다.

음용수 중의 유독성 미량 유기오염물질의 측정과 이 오염물질들이 인체에 미치는 영향에 대해 선진국 뿐만 아니라 우리나라에서도 많은 연구가 시도되고 있다. 미국 환경보호청 (US EPA)은 1974년에 전국적으로 음용수중 유기오염 물질 검출에 따른 예비조사 (National Organics Reconnaissance Survey)를 실시한 결과, 약 120 여종의 유해성 미량 유기오염물질이 발견되었다고 밝힌 바 있다 (Mckinney 등, 1976). 세계보건기구 (WHO)의 조사에 의하면 음용수 중 600 여가지 이상의 유기오염물질이 존재하며 이에 대한 건강유해성이 논란이 되고 있다고 하였다 (WHO, 1984).

이 수많은 미량 유기오염물질들 중 THM이 인간건강에 미치는 유해성에 대한 문제가 대두되기 시작한 것은 1974년 미국 New Orlean시의 음용수를 마시는 사람과 암발생율과의 높은 상관관계가 있다는 역학조사가 발표되면서 부터라고 할 수 있다 (Page와 Harris, 1976).

음용수중 THM의 전구물질은 천연적으로 존재하는 휴민산 (humic acid)이라고 추정되었으며, (Rook, 1974

: Trussell, 1978 ; Babcock, 1979 ; Schnoor, 1979) 이 휴민산은 도시 및 공장에서 배출된 가정하수, 산업폐수 등에도 다량 존재한다고 보고하고 있다 (浦野純平와 和田洋 1981). 또한 Bellar (1974)는 THM이 휴민산과 정수처리에 사용되고 있는 염소와 반응하여 생성된다고 밝힌 바 있다.

THM은 클로로포름 (chloroform, CHCl_3), 디클로로브로모메탄 (dichlorobromomethane, CHCl_2Br), 클로로디브로모메탄 (chlorodibromomethane, CHClBr_2), 브로모포름 (bromoform, CHBr_3)의 4가지 물질로 구성되어 있다. 이중 클로로포름은 동물실험 결과 발암성이 확인되어 인간에게도 발암물질로서 작용할 가능성이 높고 다른 세가지 물질들도 독성이 강한 것으로 보고 되었다 (Tardiff, 1975). 이에 미국식품의약국 (FDA)에서는 식품 및 약품에 클로로포름의 사용을 전면 금지시켰다 (Weisbunger, 1977).

이러한 유해성과 관련하여 세계보건기구에서는 THM에 관한 음용수 수질권고기준을 설정하여 클로로포름의 농도를 0.03 mg/l로 제한할 것을 권고하고 있다. 또 미국 환경보호청은 1979년에 THM의 최대오염농도를 0.10 mg/l로 정하여 음용수중 THM 농도를 규제하고 있으며 소련은 0.02 mg/l, 일본은 0.10 mg/l로 음용수 수질기준을 제정하고 있으나 점차 강화되어질 전망이다.

우리나라에서도 THM의 생성, 규제 및 대책에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 (권숙표 등, 1983 ; 이범중, 1983 ; 정용 등, 1987 ; 조광명, 1979). 정용 등(1987)은 미국 환경보호청에서 제시하고 있는 건강위해도 평가(health risk assessment)의 개념을 도입하여 개인이 음용수를 하루 약 2리터씩 70년간 마신다고 가정 하였을 때 인구 백만명당 THM 때문에 추가로 13.7명의 암환자가 발생할 확률이 존재한다고 볼 수 있다고 하였다.

이와 같이 최근 우리나라에서 음용수의 THM 오염도에 대한 관심이 높아지고 있으며, 또한 그 심각성이 고려되고 있는 시점에서 THM 농도에 대한 법적인 규제

농도를 제정하기에 앞서 우리나라에서의 오염실태 및 위해도 평가가 충분히 이루어져야 함에도 불구하고 기초 자료나 오염실태 조사가 부족할 뿐더러 우리나라 전역에 걸친 THM 오염현황에 대해 조사된 바 없는 실정이다.

이에 이 조사연구는 우리나라 주요 14개 도시의 상수 원수 및 수도수에 대한 THM 농도를 측정하여 THM의 음용수 수질기준 설정을 위한 기초자료로써 제공하고자 시도되었다.

II. 연구방법

1. 시 료

가. 채취지점 및 조사기간

전국 주요 14개 도시(서울, 인천, 전주, 광주, 목포, 춘천, 강릉, 대전, 청주, 대구, 부산, 울산, 제주, 서귀포)를 대상으로 각 도시의 중심부에서 방사선형으로 일정한 거리를 따라 10개 지점으로 구분하여 1989년 1월과 2월에 수도수를 채취하였다. 또 계절에 따른 THM 생성의 차이를 보기 위하여 1988년 9월과 10월에 광주를 조사 지역으로 하여 도시의 중심부에서 일정한 거리를 따라 방사선형으로 6개점을 구분하여 수도수를 채취하였다.

나. 채취방법

1) 일반수질 분석시료

각 가정의 수도수를 수도수의 흐름과 수온이 일정하게 유지되도록 한 후 3 l 폴리에틸렌 통에 채수하여 즉시 4°C이하에서 운반, 보관하였다.

2) THM 분석시료

정채되어 있는 수도수를 물이 안정되어 흐르게(stady stream)한 다음 수온이 일정해지도록 약 5분간 물을 흘러 보낸 후 물이 넘쳐 흐를때까지 기포가 생기지 않도록 주의하여 용량 15 ml 시료병에 채운다. 이때 잔류염소에 의한 THM 생성반응을 중지시키기 위하여 0.5% 초오황산나트륨 및 황산나트륨(1+9)을 소량 가하고 polytetrafluorethylene (PTEE)으로 된 뚜껑으로 밀전한 다음 4°C이하에서 운반 보관하였다.

2. 측정방법

가. 일반수질항목 측정방법

환경오염공정시험법(환경청, 1983)과 Standards methods

for the examination of water and waster water (APHA-AWWA-WPCF, 1985)에 의거하여 측정하였으며 측정 방법은 Table 1과 같다.

Table 1. Analytical methods of general water quality items

Item	Analytical method
Temp.	Alcohol thermometer
pH	Electrode method (Orion SA720, USA)
KMnO ₄ consumption	acid method
Residual chlorine	Ortho-tolidine method
Hardness	EDTA titration method
Cl ⁻	Argentometric method
NH ₃ -N	Indophenol method
NO ₂ -N	Evral Norris method

나. THM의 정량방법

THM은 富田伴一(1978), 浦野純平과 和田洋(1981)에 의한 head space법으로 측정하였다. 분석은 가스크로마토그래피(gas chromatography: 이하 GC라 함, Shmadzu 7AG, Japan)로 하였으며 이때 GC의 조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Analytical conditions of gas chromatography of THM determination

GC	Conditions
Column Size	200 cm x 0.3 cm
Column packing material	Silicone DC 550 10 on Chromosorb W(AW-DMCS) 80-100 mesh
Injection Temp.	230°C
Column Temp.	80°C (isothermal)
Carrier Gas.	N ₂ 50 ml / min
Detector Temp.	230°C
Sample Injection Volume	0.2 ml
Range	10
Detector current	1.0 mA
Detector	ECD (ECD-9 RI No. 703041)

정량은 THM 혼합 표준용액으로 검량선을 작성한 후 시료중의 각 농도를 측정하였으며 표준용액의 크로마토그램은 Fig. 1과 같다.

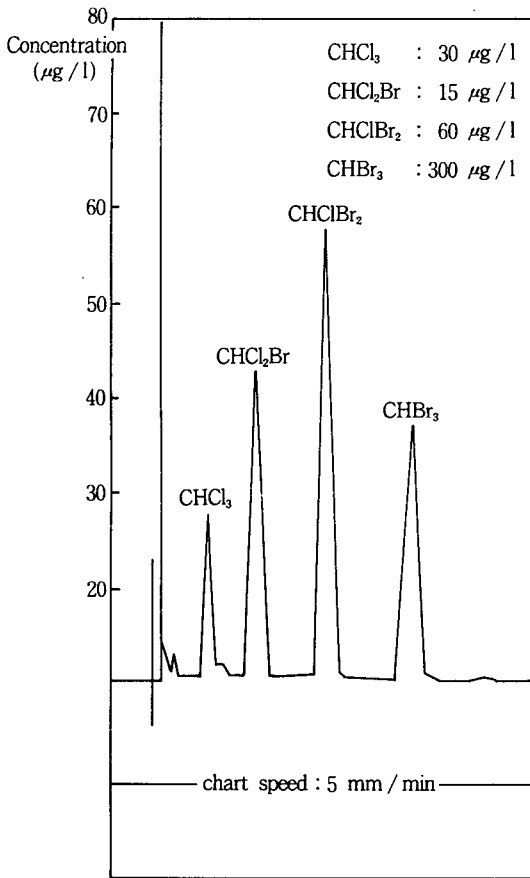


Fig. 1. Chromatogram of THM Standards

III. 연구 결과

1. 일반 수질

조사기간 1월, 2월 중 조사대상 지역의 일반수질 조사 결과 pH는 6.3-8.4로 현 음용수 수질기준인 pH 5.8-8.5 범위에 적합하였다.

경도는 14.0-201.1 mg/l의 범위로 변화폭이 매우 컸으나 음용수 수질기준인 300 mg/l 이하였다. 염소이온도 3.4-123.7 mg/l로 수질기준 150 mg/l 이하였으며 KMnO₄ 소비량 역시 대부분 수질기준 이하였으나 부산

과 울산 지역에서 10.6 mg/l, 11.6 mg/l로 기준치 10 mg/l보다 높게 검출된 경우도 있었다. 암모니아성 질소의 측정결과는 부산, 인천, 광주, 울산, 목포, 전주지역에서 기준치인 0.5 mg/l를 초과하여 검출되었으며 부산지역은 2.27 mg/l로 기준보다 4.5배 높았다. 아질산성 질소의 경우는 0.001-0.087 mg/l의 범위였다. 잔류염소는 0.1-2.0 mg/l의 범위로 춘천지역이 평균 0.8 mg/l로 가장 높았다.

이상의 결과로 보아 조사대상지역 수도수의 일반수질 분석에서 대부분 음용수 수질기준에 적합하였으나 조사대상 14개 지역 중 42.8%가 암모니아성 질소에 오염되어 있음을 알 수 있었다 (Table 3).

2. 수도수중 THM 농도

가. 전국 14개 도시의 THM 농도

전체 262 시료중 THM 농도 21-40 µg/l의 시료가 32.82%로 가장 많은 분포를 보였다. 대개의 시료가 0-60 µg/l의 범위에 있었으며 이때의 누적율이 92.37%였고 미국의 음용수 수질기준을 초과한 시료수는 전체의 2.29%로 낮은 분포를 보이고 있음을 알 수 있었다 (Table 4, Fig 2)

조사기간인 1월과 2월 중 14개 도시에 대한 수도수의 THM 농도를 조사한 결과는 14개 전지역의 평균 THM 농도가 34.4 µg/l이었고 1.2-153.1 µg/l의 범위를 보였다. 평균농도가 가장 높게 검출된 지역은 대전지역이었으며 청주지역에서 최고 153.1 µg/l로 조사결과 중 최고치를 보였다.

이 조사의 결과로 보아 평균 THM 농도가 미국 환경보호청과 일본 후생성에서 규정하고 있는 THM의 음용수 수질기준인 100 µg/l보다 낮게 검출되었지만 대전, 청주, 춘천지역에서 최고 THM농도 136.9 µg/l, 153.1 µg/l, 111.8 µg/l로 초과되어 검출되었다. 또한 세계보건기구에서 규제하고 있는 클로로포름의 음용수 수질기준은 30 µg/l으로써 그 기준치를 초과하는 지역은 청주지역이 평균 39.1 µg/l으로써 가장 높았으며 서울, 대전, 청주, 춘천지역에서 검출된 클로로포름의 최고 농도가 33.4 µg/l, 30.6 µg/l, 30.8 µg/l, 37.5 µg/l로 세계보건기구에서 제시한 기준치를 초과하였다. 브로모포름의 농도가 해안지방인 부산, 울산, 제주지역 등에서 내륙지방보다 높게 검출되었다 (Table 5).

Table 3. Water quality of tap water of 14 cities (Jan., Feb., 1989)

() : range

Area	Item No. of Sample	Temp (°C)	Residual	pH	Hardness (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	KMnO ₄ consumption (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)
			Chlorine (mg/l)						
Seoul	20	8.2±0.9	0.2±0.1	7.3±0.3	78.4±3.0	16.6± 4.1	1.8±0.4	0.07±0.01	0.002±0.000
		(3.0-20.0)	(0.1-0.5)	(7.0-8.4)	(50.0-201.1)	(8.3-83.9)	(0.8-7.6)	(0.03-0.30)	(0.001-0.004)
Pusan	20	9.3±0.7	0.3±0.1	7.2±0.2	96.8±15.8	49.8±0.0	6.5±2.1	2.27±1.70	0.017±0.011
		(6.0-14.0)	(0.1-0.5)	(7.0-7.6)	(81.5-119.0)	(38.3-58.2)	(3.9-10.6)	(0.26-10.60)	(0.002-0.058)
Taegu	20	9.0±1.2	0.3±0.1	7.3±0.1	82.8±1.4	14.0±0.0	2.2±1.6	0.34±0.03	0.008±0.001
		(5.5-13.0)	(0.1-0.5)	(7.1-7.4)	(63.9-96.0)	(11.6-15.6)	(0.6-7.9)	(0.11-0.40)	(0.001-0.043)
Inchon	20	8.2±0.2	0.4±0.1	7.3±0.2	81.4±1.3	23.8±3.7	3.8±0.4	1.38±0.45	0.013±0.000
		(6.0-19.0)	(0.2-2.0)	(7.0-7.7)	(39.5-171.5)	(10.8-37.2)	(1.7-5.9)	(0.03-2.83)	(0.001-0.043)
Kwangju	20	8.2±3.1	0.1±0.0	7.2±0.1	42.1±4.2	10.1± 2.0	1.4±0.4	0.17±0.10	0.003±0.001
		(4.0-15.0)	(0.1-0.3)	(6.9-7.6)	(29.0-145.0)	(4.8-49.5)	(0.3-1.9)	(0.03-2.83)	(0.001-0.047)
Taejon	20	7.4±0.9	0.3±0.1	0.1±0.1	45.8±4.2	7.6± 0.6	1.0±0.7	0.07±0.02	0.001±0.000
		(5.5- 9.0)	(0.1-0.6)	(6.9-7.1)	(41.1-51.5)	(6.0- 9.4)	(0.3-1.9)	(0.04-0.15)	(0.001-0.002)
Chungju	20	6.7±0.2	0.3±0.0	7.2±0.0	54.7±6.1	11.0± 0.4	0.8±0.3	0.07±0.01	0.002±0.001
		(4.0-12.0)	(0.1-0.7)	(7.0-7.5)	(42.4-68.8)	(7.2-14.1)	(0.3-1.6)	(0.03-0.12)	(0.001-0.009)
Chunchon	20	6.4±0.6	0.8±0.2	7.3±0.1	46.2±1.8	4.9± 0.2	1.2±0.7	0.05±0.00	0.001±0.000
		(1.0- 8.0)	(0.2-1.0)	(6.8-7.4)	(24.5-51.5)	(3.4- 5.4)	(0.5-2.4)	(0.03-0.11)	(0.000-0.001)
Kangnung	20	8.4±0.9	0.4±0.0	7.2±0.0	43.9±5.9	10.2± 0.4	1.2±1.0	0.05±0.03	0.001±0.000
		(5.0-15.0)	(0.0-0.6)	(6.3-7.6)	(14.0-91.2)	(4.4-41.5)	(0.2-3.0)	(0.03-0.14)	(0.000-0.002)
Ulsan	20	8.8±0.4	0.2±0.0	7.5±0.1	79.9±3.2	29.2±3.2	6.4±0.9	0.59±0.54	0.010±0.000
		(1.5-13.0)	(0.0-0.3)	(7.3-7.6)	(62.4-96.5)	(21.6-41.4)	(1.8-11.6)	(0.04-2.51)	(0.001-0.023)
Mokpo	20	9.9±1.6	0.2±0.0	7.1±0.0	75.6±6.2	62.1±21.8	3.4±0.9	1.50±0.74	0.026±0.024
		(9.0-23.0)	(0.0-0.5)	(6.8-7.4)	(26.6-110.7)	(5.9-123.7)	(1.1-6.4)	(0.04-4.99)	(0.002-0.087)
Chunju	20	10.4±1.5	0.4±0.3	7.3±0.1	72.1±2.2	29.9±0.8	2.5±1.1	1.49±1.71	0.006±0.001
		(4.0-22.0)	(0.1-1.0)	(6.9-7.6)	(32.5-178.0)	(8.4-85.3)	(0.3-7.0)	(0.00-5.10)	(0.001-0.022)
Cheju	16	13.9±1.3	0.3±0.2	7.4±0.4	49.1±0.7	47.7±14.9	0.8±0.5	0.04±0.01	0.001±0.000
		(10.0-16.0)	(0.1-1.2)	(7.0-7.9)	(25.5-68.5)	(12.8-119.3)	(0.3-2.8)	(0.03-0.01)	(0.001-0.003)
Sokwipo	6	14.2±1.6	0.2±0.0	7.3±0.2	25.0±7.4	21.4±2.2	3.4±4.0	0.04±0.00	0.001±0.000
		(13.0-13.0)	(0.1-0.2)	(7.0-0.2)	(23.0-43.5)	(5.5-57.3)	(0.3-1.0)	(0.03-0.05)	(0.001-0.001)

나. 채수시기에 따른 수도수 중 THM 농도
 채수시기에 따른 THM 농도의 차이를 보기 위하여 1988년 9월, 10월과 1989년 1월, 2월에 광주시 수도수를 대상으로 THM 농도를 측정해 본 결과 9월, 10월이 평균 145.63 µg/l, 1월, 2월이 평균 23.8 µg/l로 9월, 10월이 6배 높게 검출 되었으며 미국과 일본의 THM 음

용수 수질기준 보다 1.46배 높았고 세계보건기구에서 제 시한 클로로포름 기준보다 2.41배 높았다.
 위의 결과로써 수온이 높을 때 THM 생성능이 높아 지는 것을 알 수 있었으며 수온상승과 더불어 상수원수의 오염도가 높아지고 조류 등이 다량 번식함에 따라 염소투여량이 많아져 9월과 10월에 측정된 THM 농도

Table 4. Percentage distribution of THM concentration of tap water in surveyed areas

Concentration ($\mu\text{g}/\text{l}$)	sample	percentage	cumulative percentage
0-20	81	30.92	30.92
21-40	86	32.82	63.74
41-60	75	28.63	92.37
61-80	9	3.44	95.81
81-100	5	1.90	97.71
>101	6	2.29	100
total	262	100	

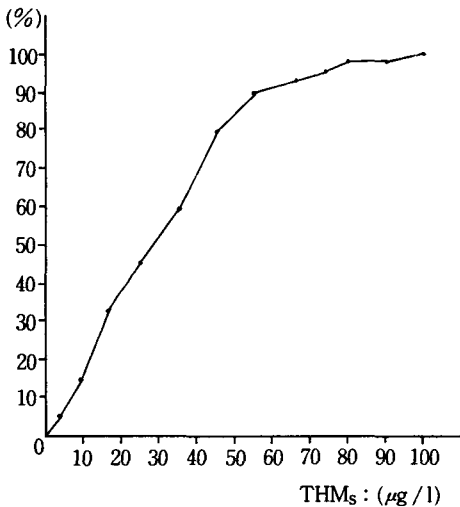


Fig. 2. Cumulative percentage of THM of tap water (Jan, Feb, 1989)

가 1월과 2월에 측정된 THM 농도보다 높은 것을 알 수 있었다 (Table 6).

다. THM 성분에 따른 구성 분포

조사기간 동안 전국 14개 도시의 수도수 중 THM 성분 분포는 클로로포름(CHCl_3)이 30%, 디클로로브로모메탄 (CHCl_2Br)이 10%, 클로로디브로모메탄 (CHClBr_2)이 13%, 브로모포름 (CHBr_3)이 47%로 THM의 구성비율은 브로모포름, 클로로포름, 클로로디브로모메탄, 디클로로브로모메탄 순으로 많았다 (Fig 3).

Fig. 4는 각 도시별 THM 성분에 대한 농도분포를 표시한 것이다.

라. 수도수중 클로로포름에 의한 인체 위해도

미국환경보호청과 국립과학연구소에서 산출한 클로로포름의 건강위해도는 즉, 단위위험도 추계치는 1 ppb당 1.7×10^{-6} 의 발암 위해도로써 이 수치의 의미는 어떤 개인이 $1 \mu\text{g}/\text{l}$ 의 클로로포름이 함유된 음용수를 하루 2리터씩 70년간 마셨을 때 암이 발생할 개인위험 (individual risk) 확률이다 (NAS, 1977). 또한 이 수치를 인구집단에 적용하여 해석할 수도 있는데, 즉 $1 \mu\text{g}/\text{l}$ 의 클로로포름이 함유된 음용수를 100만명이 마셨을 때 초과암발생율(excess rate)이 100만명당 1.7명이 되며 이것을 인구집단의 위험도 (population risk)라고 한다. 이 조사에서 14개 지역의 클로로포름 평균농도는 $9.9 \mu\text{g}/\text{l}$ 이었으며 미국환경보호청에서 제시한 방법으로 계산하였을 때 100만명당 16.9명의 위해도를 갖게 된다. 청주지역이 클로로포름 농도가 평균 $39.1 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 가장 높았으며 100만명당 66.5 명으로 가장 많은 위해도를 나타냈고 강릉과 제주지역이 100만명당 5.4 명으로 가장 낮은 위해도를 보였다.

IV. 고 찰

음용수중 THM은 humic substance와 같은 유기물질을 전구물질로 하여 정수장에서의 염소소독과정에 의해 생성된다 (Babcock, 1979; Schnoor, 1979).

THM은 동물 실험결과 발암성으로 밝혀졌으며 인간에게도 발암을 일으킬 가능성이 높아 세계보건기구 및 외국 여러 나라에서 음용수에서의 THM 농도를 수질기준으로 정하여 규제하고 있다.

THM의 위해성과 관련하여 1974년 미국 환경보호청에서 80개 도시를 대상으로 조사한 결과 대부분의 정수중에 THM이 검출되어 클로로포름의 경우는 평균 $21 \mu\text{g}/\text{l}$, 최대치 $311 \mu\text{g}/\text{l}$ 가 검출되었으며 원수 중 THM 농도는 대부분 $1 \mu\text{g}/\text{l}$ 이하였다고 보고 하였다 (Symons 등, 1975). 이번 조사연구에서 14개 조사대상 지역의 클로로포름 평균농도는 $9.9 \mu\text{g}/\text{l}$ 였으며 청주지역에서 최대치 $150.8 \mu\text{g}/\text{l}$ 가 검출되어 1974년 미국 80개 지역을 대상으로 조사한 클로로포름의 농도보다 낮은 결과를 보였는데 이것은 본 연구에서의 측정시점이 겨울철이었기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 서울지역의 경우는 전체 THM중 클로로포름이 40.9% 브로모포름이 36.6%

Table 5. Concentrations of THM of tap water of 14 cities (Jan., Feb., 1989)unit : $\mu\text{g} / \text{l}$, () : range

Item Area	No. of Sample	CHCl_3	CHCl_2Br	CHClBr_2	CHBr_3	TTHM
Seoul	20	11.3 \pm 1.5 (0.0-33.4)	4.1 \pm 0.1 (0.4-10.7)	2.2 \pm 2.3 (0.0-8.0)	10.1 \pm 3.7 (0.0-41.6)	27.6 \pm 2.8 (7.5-57.3)
Pusan	20	4.0 \pm 2.8 (1.43-4.43)	7.2 \pm 1.4 (0.8-2.7)	5.5 \pm 2.2 (0.0-14.1)	27.7 \pm 0.0 (0.0-66.5)	44.4 \pm 20.4 (5.6-84.4)
Taegu	20	8.9 \pm 9.2 (0.5-27.7)	1.6 \pm 0.3 (0.0-2.3)	3.3 \pm 0.5 (0.0-10.6)	14.8 \pm 7.0 (0.0-39.5)	28.1 \pm 1.4 (4.3-50.5)
Inchon	20	7.7 \pm 2.2 (2.2-16.7)	2.2 \pm 0.6 (1.0-5.4)	1.8 \pm 1.3 (0.0-5.6)	12.4 \pm 1.4 (0.0-33.7)	24.0 \pm 5.6 (7.3-51.2)
Kwangju	20	6.8 \pm 4.7 (0.0-23.6)	1.5 \pm 0.1 (0.0-4.6)	1.9 \pm 1.0 (0.0-4.5)	15.6 \pm 1.8 (0.0-34.1)	23.8 \pm 8.3 (1.2-50.0)
Taejon	20	11.4 \pm 7.6 (0.0-30.6)	4.1 \pm 1.2 (1.0-10.5)	7.4 \pm 5.1 (0.0-22.5)	31.7 \pm 32.1 (0.0-134.8)	54.6 \pm 30.5 (21.3-136.9)
Chungju	20	39.1 \pm 27.6 (11.6-150.8)	4.6 \pm 3.3 (0.0-7.9)	0.6 \pm 0.4 (0.0-2.4)	N. D (N. D)	44.3 \pm 31.3 (17.5-153.1)
Chunchon	20	17.2 \pm 11.7 (3.2-37.5)	5.1 \pm 2.3 (1.9-9.8)	9.2 \pm 3.9 (4.9-66.7)	20.1 \pm 10.6 (0.0-39.5)	51.6 \pm 9.4 (10.9-111.3)
Kangnung	20	9.5 \pm 1.4 (0.9-17.6)	3.2 \pm 0.1 (0.5-7.8)	3.8 \pm 1.6 (0.0-6.8)	28.3 \pm 14.6 (0.0-71.1)	44.9 \pm 14.6 (6.5-85.1)
Ulsan	20	3.2 \pm 0.6 (0.0-18.8)	1.6 \pm 0.2 (1.4-20.6)	3.9 \pm 22.3 (0.0-14.5)	31.3 \pm 15.5 (0.0-67.1)	39.9 \pm 17.35 (7.4-76.4)
Mokpo	20	6.7 \pm 3.6 (0.5-19.6)	2.3 \pm 0.4 (0.0-8.7)	5.3 \pm 4.5 (0.0-14.3)	12.8 \pm 11.2 (0.0-35.4)	26.9 \pm 3.49 (6.8-52.4)
Chunju	20	6.1 \pm 3.5 (0.0-27.2)	3.0 \pm 0.2 (0.1-4.9)	7.4 \pm 7.6 (0.0-14.4)	11.4 \pm 8.1 (0.0-28.6)	27.9 \pm 4.0 (5.1-45.7)
Cheju	16	3.2 \pm 1.4 (0.4-7.1)	2.3 \pm 2.1 (0.8-4.2)	5.8 \pm 1.5 (0.0-10.3)	14.9 \pm 15.9 (0.0-35.9)	26.0 \pm 18.5 (5.1-51.5)
Sowkwipo	6	4.0 \pm 2.5 (0.0-7.1)	2.6 \pm 2.0 (0.5-4.4)	5.3 \pm 2.5 (0.8-8.9)	7.8 \pm 5.5 (0.0-23.3)	17.7 \pm 14.0 (1.3-39.4)

TTHM : Total trihalomethanes

Table 6. Average concentrations of THM of tap water of Kwangju by sampling periodunit : $\mu\text{g} / \text{l}$

period	No. of Sample	CHCl_3	CHCl_2Br	CHClBr_2	CHBr_3	TTHM
1988, Sept.-	42	72.32	38.54	27.00	7.77	145.63
Oct.		\pm 43.2	\pm 22.7	\pm 14.38	\pm 2.43	\pm 70.72
1989, Jan.-	20	6.80	1.50	1.90	15.60	23.80
Feb.		\pm 4.7	\pm 0.1	\pm 1.0	\pm 1.8	\pm 8.3

TTHM : total trihalomethanes

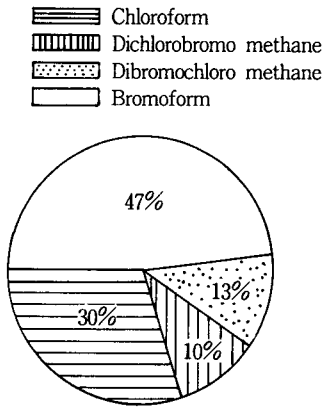


Fig. 3. Constitutional percentage of THM of tap water (Jan, Feb, 1989)

의 구성비를 보였다.

그러나 연세대학교 환경공해연구소 (1982)의 과거 조사 연구에 의하면 서울지역의 175개 수도수중 THM 농

도는 $11.7 \mu\text{g}/\text{l}$ 이었는데 비해 이번 조사에서는 $27.6 \mu\text{g}/\text{l}$ 로서 약 2.4배 높게 검출되었다. 이 증가원인은 산업발달 등으로 원수의 수질 오염으로 인한 THM 전구물질의 증가 때문이라 볼 수 있으며, 또한 이에 비례하여 염소사용량도 증가하였기 때문이라 생각된다.

이번 조사에서 THM의 구성비율 중 다른 THM의 양에 비해 브로모포름이 47%로 가장 많았다.

Lange 등 (1978)은 한 정수장에 대한 THM 농도조사 결과 정상시에는 주로 클로로포름의 오염이 대부분이나 갈수시에는 해수의 혼입에 의하여 브로모포름이 다량 생성되며 해수혼입의 지표인 염소이온 농도와 THM 생성량 사이에는 밀접한 관계가 있음을 보고한 바 있다.

THM의 계절적 농도변화에 대해서는 Argullo 등(1979)이 수온 및 전구물질의 영향으로 겨울철에는 THM 농도가 감소하며 THM 농도는 1년중 변화가 매우 심하여 여러번 측정할 것을 강조하였다. 또 Veensra 등 (1980)이 실시한 조사에 의하면 THM 농도가 $50 \mu\text{g}/\text{l}$ 에서

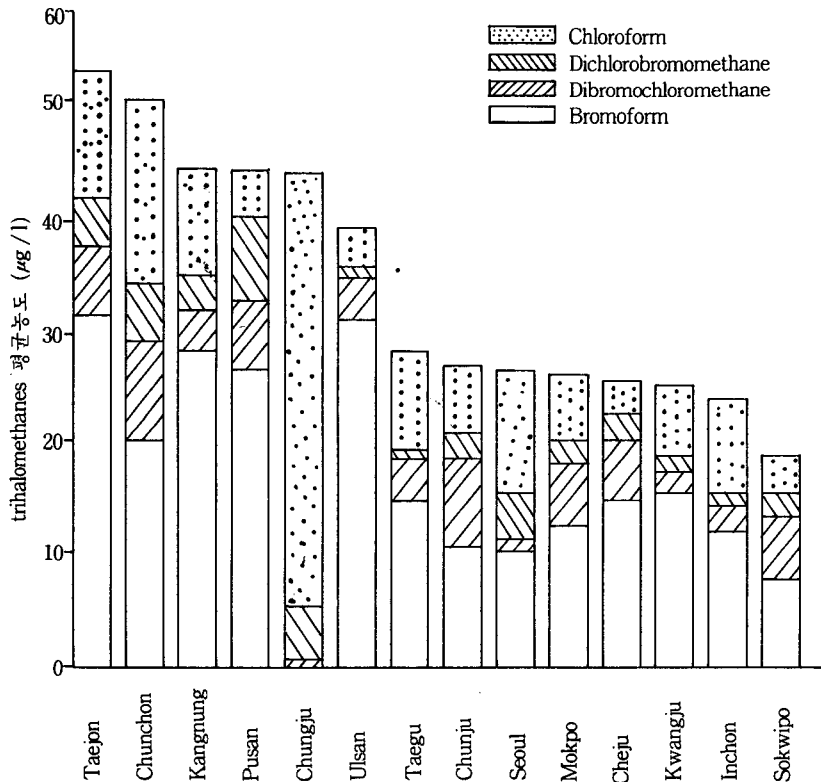


Fig. 4. Distribution of concentration of each THM's substance of tap water (Jan, Feb, 1989)

335 $\mu\text{g}/\text{l}$ 까지 계절적인 변화를 보였는데, 이는 pH, 온도 등의 환경요인 보다는 원수중 전구물질의 변화에 기인한다고 하였다. 이번 광주지역에 대한 조사결과를 볼 때 1월과 2월의 THM 평균농도는 23.8 $\mu\text{g}/\text{l}$, 9월과 10월은 평균 145.63 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 겨울에 측정된 THM 농도가 약 6배 낮게 검출된 점으로 보아 위의 연구결과와 일치하고 있는 것을 알 수 있었다.

미국 환경보호청은 1979년 안전한 음용수법에 의해 THM의 최대오염농도를 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 규정하였으며 이것은 미국국립과학연구소에서 실시한 음용수중의 발암물질에 대한 동물실험결과와 수처리기술의 가능성 및 경제성 등과의 균형을 고려하여 결정하였다. 이 조사연구의 결과 많은 지역의 THM 최대농도가 미국의 THM 허용기준치에 근접 혹은 초과하고 있었다.

세계보건기구에서는 인간건강과 암발생 사이의 연관성에 중점을 두어 음용수중 발암성 유기오염물질에 대해 위해도 평가를 실시하고 있다.

미국환경보호청과 국립과학연구소에서 제시하고 있는 THM 중 클로로포름의 평생발암률 (life time risk)은 1.7×10^{-6} 으로써 즉 클로로포름 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ 가 함유된 물을 하루 약 2리터씩 70년간 마신다고 가정하였을 때 암 발생율은 100 만명중 1.7명이 된다 (NAS, 1977). 또한 클로로포름의 최대 평균농도는 30.2 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이므로 10만명 중 최대 약 51.3 명의 암환자가 추가로 발생할 수 있다고 볼 수 있다.

이렇듯 THM이 인체에 미치는 건강유해도가 큰 만큼 우리나라에서도 THM 농도가 음용수 수질기준으로 제정되어 규제되어야 하며 THM을 제거, 감소시키는 방안이 제시되어야 할 것이다.

먼저 THM의 전구물질을 제거 또는 감소시키는 방법으로 응집침전, 흡착, Ultrafiltration, 역삼투, 화학적 산화 등이 있다 (Glaze 등, 1982; Brett, 1979). 흡착에 의한 THM 저감방안으로 가장 많이 사용되는 흡착제는 입상 활성탄으로 THM 자체를 제거하는 것 보다는 전구물질인 humic substance를 제거하는데 더 효과적이다. 활성탄 흡착은 활성탄의 흡착능력이 저하된 경우 재생시키거나 교환해야 되는 단점이 있지만 전처리로써 응집처리나 오존처리를 하여 기타 유기물 및 분자량이 큰 humic substance를 제거하여 활성탄처리 효과를 높이는 방법이 Brett (1978)에 의해 보고된 바 있다.

THM 전구물질을 파괴시킬 수 있는 산화제로는 KMnO_4 , 오존, 이산화염소(ClO_2) 등이 사용되고 있으며 이미 생성된 THM을 제거하는 방법으로는 폭기, 산화, 흡착에 의한 방법을 들 수 있다 (Kavanaugh, 1980; Benjamin과 Mark, 1986). 물중에 공기를 불어 넣어 폭기를 해줌으로써 THM을 날려보내는 방법은 대규모 정수장에서 실현성이 없을 뿐 아니라 대기중으로의 2차 오염이 생성될 우려가 있고 폭기시 유리염소의 손실로 THM 재생성이 우려된다.

또 입상활성탄을 이용하여 생성된 THM을 흡착제거시키는 방법은 대규모 정수장에 비경제적이며 잔류염소의 유지를 위하여 재염소처리를 해야 하는 단점이 있다. 강산화제인 이산화염소나 오존은 염소처리에 의해 생성된 THM을 제거하고 미쳐 반응하지 못하고 남아 있는 전구물질까지 산화시켜서 THM 생성을 억제하므로 대체 소독제로써 근래 미국, 유럽 등에서 많이 권장되고 있다 (정 용, 1987).

이 조사연구는 1월과 2월, 9월과 10월의 계절적으로 가을과 겨울에 조사되었으나 THM 농도는 계절에 따른 차이 및 연중 농도차이가 크므로 앞으로 계절에 따른 연중조사가 더 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 음용수에 대해 염소소독을 많이 하고 수온이 높아 THM의 발생이 많을 것으로 예상되는 여름철에 조사를 하지 못하여 THM 농도가 과소평가 되었을 가능성을 배제치 못하며 이에 따른 인체위해도 역시 과소평가 되었으리라 생각된다. 호소수의 부영양화에 의한 조류번식이 THM 생성의 전구물질로서 다량의 THM 생성을 촉진시킨다는 보고 (Crane 등, 1980)와 더불어 우리나라에서의 호소의 부영양화와 상수원수의 오염이 심각해지고 있는 만큼 이에 대해 더욱 많은 연구가 요구된다.

이상의 결과로 보아 수도수중 THM은 정수처리에서 대부분 염소소독을 실시하고 있는 우리나라에서 불가피하게 생성되며 상수원의 오염으로 더욱 그 농도가 증가될 추세에 있다. 그러므로 THM의 기준조차 마련되어 있지 않은 우리 현실로서 THM에 대한 규제대책과 인체 건강위해도 평가체계의 확립이 시급한 과제이다.

세계보건기구에서는 안전한 수도수의 공급을 위하여 음용수 수질기준의 개정 작업이 진행되고 있으며 THM 농도에 대하여 좀 더 강화된 기준치를 설정하기 위해 이에 따른 검토 및 위해도평가 계획이 본격적으로 추진

되고 있는 실정이다. 우리 나라에서도 법적인 규제와 적절한 제어대책을 검토하여 THM 생성을 저감 또는 생성하지 않는 소독방법을 확립하기 위해 노력하여야 할 것이다.

V. 결 론

이 연구는 우리나라 수도수중 THM 농도의 오염현황을 조사하고자 14개 도시를 대상으로 1989년 1월과 2월에, 광주지역을 대상으로 1988년 9월과 10월에 정수장 도입수와 수도수의 THM 농도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 조사대상지역 수도수의 일반수질 중 KMnO_4 소비량이 부산과 울산에서 10.6 mg/l, 11.6 mg/l로 음용수 수질기준인 10 mg/l를 초과하였다. 그리고 부산, 인천, 광주, 울산, 목포, 전주지역에서 암모니아성 질소의 기준치인 0.5 mg/l을 초과한 것으로 측정되었다.

2. 1989년 1월과 2월 중에 측정한 THM 농도는 1.20 $\mu\text{g/l}$ ~150.8 $\mu\text{g/l}$ 의 범위였다.

3. 조사기간중 광주지역의 THM 농도를 비교한 결과 1989년 1월, 2월의 THM 평균농도인 $23.8 \pm 8.31 \mu\text{g/l}$ 보다 1988년 9월과 10월의 THM 평균농도가 $145.63 \pm 70.72 \mu\text{g/l}$ 로 약 6배 높았다.

4. THM의 구성비율은 bromoform이 47%, chloroform이 30%, chlorodibromomethane이 13%, dichlorobromomethane이 10%순이었다.

5. 해안지역인 부산, 울산, 제주지역에서 bromoform이 chloroform 농도보다 2~10배 높게 검출되어 상수원에 다소 해수의 영향이 있는 것을 알 수 있었다.

6. 클로로포름에 대한 평생발암율로써 조사대상 지역의 위해도를 산정하였을 때 암발생율은 100만명당 약 17명이었다.

참 고 문 헌

권숙표, 정용, 조희재. 서울지역 수도수중의 Trihalomethane 조사 연구. 수도, 1984; 31: 2-10
 권숙표, 정용, 조희재. 상수중 Trihalomethane 생성에 관한 연구. 수도, 1984; 31: 11-18
 권숙표, 정용, 조희재. 상수중 Trihalomethane 제거에 관한

연구. 수도, 1984; 31: 19-27
 신동천. 음용수중 발암성 유기오염물질. 수도, 1988; 44: 14-16
 이법중. 음용수중의 Trihalomethanes 규제. 수도, 1983; 29: 48-51
 정 용. 이산화염소에 의한 상수소독 효과. 수도, 1987; 40: 1-11
 정 용외 8인. 음용수중의 미량유기오염물질의 측정과 그 위생학적 연구. 환경공학연구소, 1987
 정 용, 이보영. 이산화염소의 상수정수 처리효과에 관하여. 수도, 1988; 44: 1-7
 조광명. 상수의 살균과 Trihalomethane 제거. 수도, 1979; 18: 31
 Arguello M D, Chriswell C D et al. *Trihalomethanes in Water ; A report on occurrence, seasonal variation in concentrations and precursors of Trihalomethanes. J AWWA 1979; 71: 504*
 Babcock D B, Singo P C. *Chlorination and coagulation of humic and fulvic acid. J AWWA, 1979; 71: 149*
 Benjamin W L, Mark, H G. *Using Chlorine Dioxide for Trihalomethane control. J. AWWA 1986; 88-93*
 Brett R W, Calberley R A. *A one-year survey of Trihalomethane concentration changes within a distribution system. J AWWA 1979; 71: 516*
 Crane A M, Kovacic P, Kovacic E D. *Volatile halocarbon production from the chlorination of marine algal by products including D-manitol, Environmental Science Technology, 1980; 14: 1371*
 Glaze W H, Rawley R A. *A preliminary survey of Trihalomethane levels in selected East Texas water supplies. J AWWA, 1979; 71: 509*
 Lange A L, Kawczynski E. *Controlling Organics ; The Contra Costa Country water district experience. J AWWA, 1978; 70: 653*
 Mckinney J D, Mauer R R, Thoman R O. *Identification and analysis of organic pollutants in water. Ann Arbor Science, 1976: 417-432*
 National Academy of Science, *Drinking water and health, NAS, Washington D. C., 1977: 789-795*
 Page T, Harris R H, Epstein S S. *Drinking water and cancer mortality in Louisiana. Science, 1976; 193: 55*
 Rook J J. *Formation of haloforms during chlorination of natural water. Water Treatment and Examination, 1974; 23: 234*
 Schnoor T T, Nitzschke J L, Veenstra N J. *Trihalomethane yields as a function of precursor molecular weight. Environment Science Technology, 1979; 13: 1134*
 Symons T M, Bellar T A, Carswell J K. et al. *National organics reconnaissance survey for halogenated organics. J AWWA,*

- 1975; 67: 634
- Tardiff R G. *Preliminary assessment of suspected carcinogens in drinking water-Interim report to congress. Appendix VII, Washington DC, 1975*
- Trussell R R, Umphres M D, *The formation of Trihalomethanes. J. AWWA, 1978; 70: 604*
- Veenstra J N, Schnoor J L. *Seasonal variation in Trihalomethane levels in an Zowa River Water supply. J AWWA, 1980*
- ; 72: 583
- Weisburger E K, *Carcinogenicity studies on halogenated hydrocarbons. Environ Health Persp. 1977; 21: 7*
- WHO, *Guidelines for drinking water quality, Vol. 1, 2, 1984*
- 浦野純平, 和田洋. 水中のトリハロメタン-(II) 生成反応-, 水處里技術, 1982; 28: 10
- 富田伴一, 大沼章子, 莊加泰司等. Head space 法れる 飲料水中の ケロロホルの 正量方法, 衛生化學, 1978; 24(4): 187