예 방 의 학 회 지 : 제 2 1 권 제 2 호
Korean J. of Preventive Medicine
Vol. 21, No. 2, December 1988

수도권 상수중 유기오염물질의 돌연변이원성

연세대학교 의과대학 예방의학교실

신동천 · 장재연 · 조성준 · 정 용

= **Abstract** =

Mutagenic Activity of Organic Pollutans in Drinking Water in Seoul

Dongchun Shin, JaeYeon Jang, Seong Joon Jo, Yong Chung

Department of Preventive Medicine and Public Health,
Yonsei University College of Medicine.

To measure the mutagenic activity of micro-organic pollutants in drinking water, mutagenicity test was conducted using *Salmnella typhimurium* TA 98 strain on the water sample taken from three water supply stations and six tap water in Seoul in July and November 1987.
The results were as follows :

1. The average amounts of organic matters in raw, treated, and tap water sampled in July were 0.38mg/l, 0.28mg/l, and 0.45mg/l, respectively, and sampled in November were 0.34mg/l, 0.24mg/l, and 0.22mg/l, respectively. The amount of organic matters of tap water sampled in November did not increase while that of tap water sampled in July increased compare to those of raw or treated water.
2. The amount of organic matters is the highest in neutral fraction compare to acidic and basic fractions.
3. In the five out of six tap water and raw water of Paldang and Kuui station sampled in July, the mutagenicity ratios were greater then two(both direct and indirect mutagenicity).
4. In the three out of six tap water and raw and treated water of Kuui station sampled in November, the mutagenicity ratios were greater than two.
5. While mutagenic activities were low in acidic and basic fraction, they were high in neutral fraction. The samples which had high mutagenic acitivity in the total amount also showed high mutagenic activity in neutral fraction.
6. While mutagenic acitivity was decreased after the treatement of water, it was increased in tap water as the distance from the water supply station increases.

Ⅰ. 서 론

각종 산업활동에 의한 유독성폐수의 배출과 가정하수의 증가는 수자원(水資源)을 오염시키게 되며 오염된 원수를 사용하여 정수처리를 한 후 음용수로 공급할 겨우 음용수내에는 처리되지 못한 미량오염물질(微量汚染物質)과 염소소독으로 인하여 생성되는 유해성물질등이 존재하게 된다. 이미 수도수중에서 염소소독에 의하여 생성되어 존재하는 trihalomethanes에 대한 조사연구가 국내에서도 보고되었다(권숙표 등 1984).

세계보건기구(World Health Organization)의 보고에 의하면 수중에 2,000가지 이상의 화학물질이 오염될 가능성이 있으며 이중에서 약 750가지의 물질이 음료수에서

※ 이 연구의 일부는 1987년도 연세대학교 보건대학원 및 문교부 연구비에 의해 이루어졌음.

확인되었다 한다. 또한 이중 600가지 이상의 물질이 유기오염물질이고 여기에는 발암성 물질과 많은 돌연변이원성 물질 그리고 독물학적으로 활성을 가지고 있는 물질이 포함된다. 이에 따라 30여개국의 회원국을 중심으로 '양질의 음료수 공급을 위한 지침서'을 발간하고 개발도상국을 포함하는 모든 나라에 대하여 이의 채택을 권고하고 있다. 이 지침서에서는 인체 위해도평가에 근거하여 농약, trihalomethanes등의 발암성 유기물질에 대한 음료수내 기준치를 정하고 있으며 다핵 방향족 탄화수소(Polynuclear aromatic hydrocarbons)를 비롯한 많은 물질에 대하여 항상 측정감시하도록 요구하고 있다(WHO, 1984).

이에 따라 상수중 독성유기오염물질의 측정과 인체영향에 대한 안정성 평가는 근래 선진국에서 큰 관심과 연구의 대상이 되어왔다. 미국 국립환경보건과학연구소(National Institute of Environmental Health Science)에서는, 1973년부터 1974년에 걸쳐 시행한 상수에 대한 안정성연구 결과, 음용수내 오염물질로 인하여 실험동물의 출산력이 저하되고 기형발생이 증가되었다고 보고하였으며 이를 계기로 미국 환경보호청(Environmental Protection Agnecy)에서는 1974년부터 전국 유기오염물질 예비조사(National Organics Reconnaissance Survey, NORS)를 시작하여 음용수 중에서 약 120여종의 독성 미량유기오염물질을 발견해 내었다(Mckinney 등, 1976).

이러한 미량의 독성유기오염물질에는 발암물질로서 확정적이거나 의심되는 것들이 다수 포함되어 있으나 그 농도와 노출기간에 따라 인체에 유해한 정도를 판단하여야 할 것이다. 발암성을 의심하여 볼 수 있는 지표로서 독성물질에 의한 돌연변이원성(nutagenicity)를 측정하여 유해성을 비교하는 방법도 많이 사용되고 있다. Loper등(1978), Glatz등(1978), Nestmann등(1979)은 정수처리된 음용수에서 돌연변이원성을 가지는 화학물질들을 측정하고 그 위해성을 보고하였다.

지금까지 알려진 돌연변이원성 측정법중에서 Ames에 의하여 개발된 검사법이 가장 널리 쓰여져 왔다. 이 방법은 *Salmonella typhimurium* TA strain을 이용하는 검사법으로 현재까지 약 5,000여종의 화학물질에 대한 돌연변이원성실험결과가 보고되었으며, 화학물질에 의한 체세포(體細胞)의 돌연변이는 발암(發癌)과 밀접한 관계를 갖고있어 발암물질의 약 85%가 돌연변이원성을 가지는 것으로 알려져 있다(Ames, 1981). 또한 실험결과의 비교가 가능하고 자료 해석의 타당성이 높은 점이 장점으로 인정되어 최근에는 단일 화학물질의 돌연변이원성 측정뿐아니라 수질오염물질, 대기오염물질, 그리고 식품등에서의 돌연변이원성평가에도 응용되고 있다.

우리나라에서는 차등(1982)이 한강 주요지천(主要支川)에서 돌연변이원성을 조사한 것 이외에는 수질분야에서 돌연변이원성을 평가한 연구가 없으며 더우기 우리가 직접 마시는 음용수에서는 조사된 바가 없다. 외국의 연구에서도 음용수중 돌연변이원성을 측정한 예는 많으나 음용수에 포함된 유기오염물질 전체의 돌연변이원성을 측정한 것이 대부분이고 유기오염물질의 분획(fraction)을 나누어 각각의 양과 돌연변이원성을 측정한 예는 드물다. 돌연변이원성을 측정하여 상수수질을 평가하게 되면 미량유기오염물질이 인체에 미치는 영향을 좀 더 타당성있게 평가할 수 있으리라 생각된다.

그러므로 이 연구의 목적은 첫째, 서울시 일부 음용수 잔사물의 돌연변이원성을 총유기물 및 유기물질의 분획별로 측정하고 둘째, 상수원수와 처리수 그리고 가정에서의 음용수에 대한 돌연변이원성의 차이가 있는지를 알아보는 것이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

서울시 상수공급체계에서 수원지별로 구분하여 취수원수의 오염도가 다를것이라고 생각되는 정수장 세군데를 선정하였다. 각각의 정수장에서 원수와 처리수를 채취하였으며 정수장에서 공급되는 가정수를 정수장의 수계별로 정수장으로 부터의 거리를 고려하여 근거리(site 1) 및 원거리(site 2)가정에서 채취하여 모두 12지점이 되었다. 정수장으로 부터 근거리는 약 4~7km이었고 원거리는 약 10~14km이었다. 시료는 1987년 7월 11월에 채취하였고, 시료의 양은 20리터로 하였다(Table 1, Fig. 1).

Table 1. Water sampling sites along the water supply line

Water supply station	Site 1	Site 2
1. Paldang	Jamsil	Banpo
2. Kuui	Tapshipri	Mia
3. Bokwang	Hongje	Bulkwang
sampling : raw and treated water	tap water	tap water

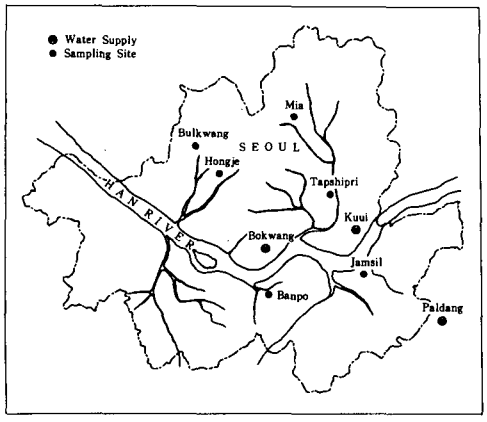

Fig. 1. Sampling sites of drinking and raw water in Seoul

2. 실험방법

1) 유기오염물질의 추출 및 분획

시료수를 XAD-2를 충진시킨 컬럼을 15－25ml/min의 유속으로 통과시킨 후 컬럼에 흡착된 유기물을 diethylether로 용출시켰다. 용출액을 Na_2SO_4로 탈수시킨후 rotary vaccume evaporator로 증발 농축하여 총추출물을 얻었다(Burnham, 1972). 총추출물을 diethylether에 녹이고 2N-H_2SO_4를 가하여 5분간 흔들어 준 다음 수층과 ether층을 분리하였다. 수층에 diethylether와 5N-NaOH를 가하여 흔들어준 다음 ether층을 취하여 Na_2SO_4로 탈수시키고 증발건조하여 염기성분획을 얻었다. 앞에서 2N-H_2SO_4를 가하였을때의 ether층에는 2N-NaOH를 가하고 흔들어준 다음 ether층에 남는 분획을 탈수, 증발건조시켜 중성분획을 얻고 수층은 5N-H_2SO_4를 가하여 흔들어 준 다음 ether층에 남은 분획에서 산성분획을 얻었다(Fig. 2)

2) 돌연변이원성 실정

위의 과정을 거쳐 얻어진 산성분획, 중성분획, 염기성분획 및 분획전의 총 추출물에 대하여 돌연변이원성을 실험하였다. 균주는 *Salmonella typhimurium* TA 98을 사용하였으며 그외 시약의 제조 및 실험방법은 Ames의 방법을 기초로 하여 실시하였다(Maron, 1983).

플레이트당 시료 5l에 해당하는 유기물질을 실험하여 복귀 군락수를(revertant colony) 측정하였으며 대조실험인 DMSO에 의한 자발성 복귀군락수(spontaneous revertant colony)와의 비인 돌연변이원성 비(mutagenicity ratio)를 구하였다.

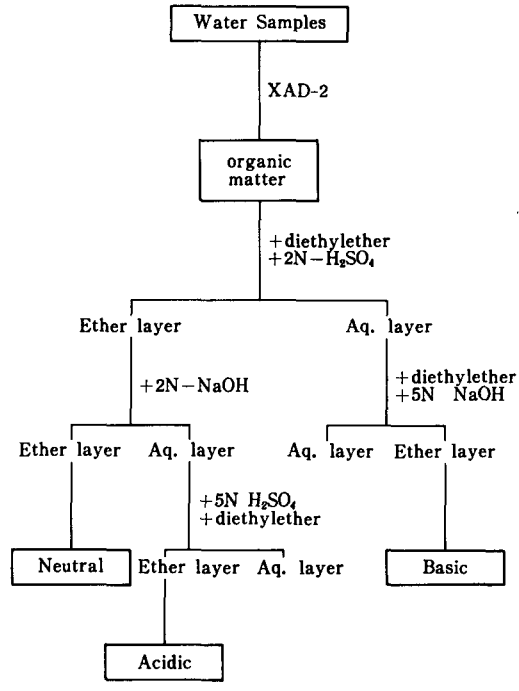

Fig. 2. Flow diagram of separation of organic matters in water samples.

III. 연구결과

1. 일반수질

1987. 7월에 채취한 시료의 일반수질 중 화학적 지표는 Table 2와 같다. $KMnO_4$소모량, 경도 암모니아성질소가 원수, 처리수, 가정수의 순으로 그 농도가 낮아져 상수처리에 의한 감소효과를 알 수 있으며 아질산성 질소는 처리수와 가정수에서 검출되지 않았다.

1987. 11월 시료의 일반수질 역시 가정수의 경도가 74.1 ppm으로서 원수나 처리수보다 높은 것을 제외하고는 $KMnO_4$소모량, 암모니아성질소의 농도가 원수, 처리수, 가정수로 갈수록 감소하였고, 아질산성질소도 처리수와 가정수에서 검출되지 않았다(Table 3).

그러므로 7월과 11월시료 모두 일반 화학적 지표로서의 수질상태는 현재 수질기준에 적합하였다.

2. 유기물의 양

7월의 정수장 시료에서 총 유기물질의 양은 리터당 평균값으로 원수에서 0.38mg/l, 처리수에서 0.28mg/l이

Table 2. Water quality of raw, treated, and tap water sampled in Seoul(July, 1987).

Samples	pH	Hardness (ppm)	$KMnO_4$ value (ppm)	NH_3-N (ppm)	NO_2-N (ppm)
Raw water					
range	5.9−6.1	58.3−71.2	4.2−5.3	0.03−0.05	N.D.*−0.03
mean	6.0	66.5	4.5	0.04	0.01
Treated water					
range	6.0−6.2	51.0−67.3	3.1−3.8	N.D.−0.04	N.D.
mean	6.1	58.5	3.3	0.02	N.D.
Tap water					
range	5.9−6.1	40.8−73.4	2.6−3.2	N.D.−0.04	N.D.
mean	6.0	53.0	3.0	N.D.	N.D.

*N.D. : not detected

Table 3. Water quality of raw, treated, and tap water sampled in Seoul(November, 1987).

Samples	pH	Hardness (ppm)	$KMnO_4$ value (ppm)	NH_3-N (ppm)	NO_2-N (ppm)
Raw water					
range	5.8−6.1	60.4−67.3	4.4−5.4	N.D.*−0.13	N.D.−0.02
mean	6.0	64.3	4.8	0.06	0.01
Treated water					
range	6.0−6.2	55.1−61.2	3.5−4.1	N.D.−0.05	N.D.
mean	6.1	58.6	3.8	0.02	N.D.
Tap water					
range	5.9−6.1	59.2−93.8	2.8−4.1	N.D	N.D.
mean	6.0	74.1	3.5	N.D.	N.D.

*N.D. : not detected

Table 4. Amount of organic matters in raw and treated water at water supply sites in Seoul(July, 1987).

(unit : mg/l)

Sampling site	total	acidic	basic	neutral
Bokwang				
raw water	0.30	0.06(20.0)	0.03(10.0	0.20(66.7)
treated water	0.25	0.05(20.0)	0.03(12.0)	0.14(56.0)
Kuui				
raw water	0.41	0.04(9.8)	0.02(4.9)	0.06(14.6)
treated water	0.19	0.02(10.5)	0.01(5.3)	0.08(42.1)
Paldang				
raw water	0.42	0.05(11.9)	0.01(2.4)	0.28(66.7)
treated water	0.41	0.04(9.8)	0.01(2.4)	0.11(26.8)
Mean ± SD				
raw water	0.38± 0.07	0.05± 0.01	0.02± 0.01	0.18± 0.11
treated water	0.28± 0.11	0.04± 0.02	0.01± 0.01	0.11± 0.03

( ) : proportion of each fraction to total

었고, 중성분획이 0.18mg/l로 가장 많이 포함되어 있었다 (Table 4). 하류인 보광이 상류보다 원수에서 유기물의 양이 낮은 것은 보광의 원수는 염소와 활성탄으로 1차 정수처리한 때문이라고 생각된다,

가정수는 유기화합물의 평균값이 총 추출물에서 0.45 mg/l로 원수나 처리수보다 높았고 중성분획이 가장 높아

0.27mg/l이었으며 그 다음 산성분획, 염기성분획의 순이었다. 각 분획이 차지하는 백분율도 일정한 범위내에 분포되어 있어서 중성분획이 41~48%, 산성분획이 11~25%, 염기성 분획이 3~25%이었다. 여기에서 총 추출물의 양과 각 분획의 합이 약간의 차이가 나는 것은 추출과정에서 미추출부분이 있기 때문이다. 총 추출물의 양은 불광과 미아에서 각각 0.74mg/l, 0.81mg/l로 높았다(Table 5).

11월 시료중 원수에서의 총추출물은 0.34mg/l, 처리수는 0.24mg/l로 7월보다 0.04mg/l씩 낮은 정도이었으나

Table 5. Amount of organic matters in tap water sampled in Seoul(July, 1987).

(unit : mg/l)

Sampling site	total	acidic	basic	neutral
Hongje	0.24	0.06(25.0)	0.06(25.0)	0.10(41.7)
Bulkwang	0.74	0.18(24.3)	0.08(10.8)	0.47(63.5)
Tapshipri	0.33	0.05(15.2)	0.01(3.0)	0.17(51.5)
Mia	0.81	0.09(11.1)	0.01(1.2)	0.55(67.9)
Jamsil	0.36	0.06(16.7)	0.02(5.6)	0.22(61.1)
Banpo	0.21	0.03(14.3)	0.01(4.8)	0.10(47.6)
Mean± SD	0.45± 0.26	0.08± 0.05	0.03± 0.03	0.27± 0.19

( ) : proportion of each fraction to total

Table 6. Amount of organic matters in raw and treated water at water supply sites in Seoul(November, 1987).

(unit : mg/l)

Sampling site	total	acidic	basic	neutral
Bokwang				
raw water	0.32	0.05(15.6)	0.01(3.1)	0.19(59.4)
treated water	0.24	0.01(4.2)	0.01(4.2)	0.10(41.7)
Kuui				
raw water	0.39	0.08(20.5)	0.01(2.6)	0.24(61.5)
treated water	0.24	0.02(8.3)	0.10(4.2)	0.15(62.5)
Paldang				
raw water	0.30	0.04(13.3)	0.03(10.0)	0.20(66.7)
treated water	0.24	0.02(8.3)	0.04(16.7)	0.17(70.1)
Mean ± SD				
raw water	0.34± 0.05	0.06± 0.02	0.02± 0.01	0.21± 0.03
treated water	0.24± 0.00	0.02± 0.01	0.05± 0.05	0.14± 0.04

( ) : proportion of each fraction to total

Table 7. Amount of organic matters in tap water sampled in Seoul(Novermber, 1987).

(unit : mg/l)

Sampling site	total	acidic	basic	neutral
Hongje	0.24	0.03(12.5)	0.01(4.2)	0.19(79.2)
Bulkwang	0.21	0.03(14.3)	0.01(4.8)	0.14(66.7)
Tapshipri	0.16	0.02(12.5)	0.01(6.3)	0.08(50.0)
Mia	0.16	0.02(12.5)	0.01(6.3)	0.09(56.3)
Jamsil	0.31	0.04(12.9)	0.01(3.2)	0.22(71.0)
Banpo	0.24	0.04(16.7)	0.04(16.7)	0.15(62.5)
Mean± SD	0.22± 0.06	0.03± 0.01	0.02± 0.01	0.15± 0.05

( ) : proportion of each fraction to total

가정수는 불광, 미아, 답십리의 시료에서 7월보다 크게 감소하였다. 또한 가정수에서의 총추출물의 지역적인 차이가 7월에 비하여 적었다. 11월 시료도 7월과 마찬가지로 분획중에서는 중성분획의 양이 가장 많아 원수, 처리수 및 가정수에서 각각 0.21mg/l, 0.14mg/l 및 0.15mg/l이었다 (Table 6, 7).

Table 8. Mutagenic activities of extracts of raw and treated water supply sites in Seoul(July, 1987).

(unit : revertnat colonies/5l of sample)

Sampling site	total		acidic		basic		neutral	
	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9
Bokwang								
raw water	56	43	35	30	28	32	54	42
treated water	76	37	31	28	42	26	61	36
Kuui								
raw water	93	41	51	33	57	26	75	49
treated water	38	34	29	25	26	28	44	26
Paldang								
raw water	91	65	44	30	41	32	69	44
treated water	31	29	32	33	27	21	45	30
DMSO	34	21						
B(a)P	301	24						

Table 9. Mutagenic activities of extracts of tap water sampled in Seoul(July, 1987).

(unit : revertant colonies/5l of sample)

Sampling site	total		acidic		basic		neutral	
	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9
Hongje	72	59	36	32	44	47	68	48
Bulkwang	100	93	39	75	39	38	71	57
Tapshipri	58	31	27	21	42	26	51	23
Mia	71	51	25	25	48	32	68	59
Jamsil	79	48	31	29	33	22	74	51
Banpo	81	58	61	32	25	32	82	56
DMSO	34	21						
B(a)P	301	24						

Table 10. Mutagenic activities of extracts of raw and treated water at water supply sites in Seoul(November, 1987).

(unit : revertant colonies/5l of sample)

Sampling site	total		acidic		basic		neutral	
	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9
Bokwang								
raw water	55	45	30	27	72	25	69	34
treated water	46	30	31	26	38	32	42	24
Kuui								
raw water	65	40	40	29	42	25	68	57
treated water	69	50	27	21	38	25	58	57
Paldang								
raw water	50	32	39	31	34	16	62	33
treated water	50	39	26	26	42	16	44	35
DMSO	33	21						
B(a)P	424	21						

Table 11. Mutagenic activities of extracts of tap water sampled in Seoul(November, 1987).

(unit : revertant colonies/5l of sample)

Sampling site	total		acidic		basic		neutral	
	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9
Hongje	78	72	30	27	29	13	56	43
Bulkwang	66	38	39	23	61	15	50	43
Tapshipri	68	43	18	27	22	19	71	38
Mia	77	47	37	25	31	22	29	21
Jamsil	58	40	39	18	32	23	37	38
Banpo	66	38	79	38	61	33	39	35
DMSO	33	21						
B(a)P	424	21						

3. 돌연변이원성

Table 8에서 11은 7월과 11월 시료의 돌연변이원성 활성도를 나타낸 것이다.

Table 12와 13은 돌연변이원성 비(mutagenicity ratio)로 환산한 값을 나타낸 것으로 7월시료의 총추출물에서 대사활성에 관계없이 홍제, 불광, 미아, 잠실, 반포의 가정수에서 그리고 구의원수, 팔당원수에서 돌연변이원성 비가 2이상이었다. 11월 시료의 총추출물에서도 홍제, 답십리, 미아 그리고 구의정수장에서 돌연변이원성 비가 2이상이었다.

산성분획과 염기성분획의 유기물은 돌연변이 활성도가 낮아서 돌연변이원성 비가 대부분 2이하 이었다. 중성분획은 상대적으로 돌연변이 활성도가 높아 총추출물의 돌연변이 활성이 높은 지역에서는 중성분획의 돌연변이 활성도 높았다. 또한 이러한 경우 중성분획에서는 대사활성을 시키지 않은 경우(−S9)가 시킨 경우 (+S9)보다 돌연변이원성 비가 높은 경향이 있었다.

정수장의 원수와 처리수 그리고 가정수의 돌연변이 활성도를 각 수계별로 살펴보면 7월 시료에서의 대사활성을 시킨 불광 시료를 제외하고는 모든 수계의 시료에서 대사활성 여부에 관계없이 처리수가 원수보다 돌연변이 활성도가 낮아졌다가 가정수에서 다시 높아지며 원거리 가정수가 더 높아졌다(Fig. 3)

그러나 11월 시료에서는 구의, 팔당수계에서는 이러한 양상을 나타내지 않았고 다만 보광수계의 가정수에서

Table 12. Mutagenicity ratio of raw, treated, and tap water according to water supply lines in Seoul(July, 1987).

Water supply line	total		acidic		basic		neutral	
	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9
Bokwang								
raw water	1.7	2.1	1.0	1.4	0.8	1.5	1.6	2.0
treated water	2.2	1.8	0.9	1.3	1.2	1.2	1.8	1.7
Hongje	2.1	2.8	1.1	1.5	1.3	2.2	2.0	2.3
Bulkwang	2.9	4.4	1.2	3.8	1.2	1.8	2.1	2.7
Kuui								
raw water	2.7	2.0	1.5	1.6	1.7	1.2	2.2	2.3
treated water	1.1	1.6	0.9	1.2	0.8	1.3	1.3	1.2
Tapshipri	1.7	1.5	0.8	1.0	1.2	1.2	1.5	1.1
Mia	2.1	2.4	0.7	1.2	1.4	1.5	2.0	2.8
Paldang								
raw water	2.7	3.1	1.3	1.4	1.2	1.5	2.0	2.1
treated water	0.9	1.4	0.9	1.6	0.8	1.0	1.3	1.4
Jamsil	2.3	2.3	0.9	1.4	1.0	1.1	2.1	2.4
Banpo	2.4	2.8	1.8	1.5	0.7	1.5	2.4	2.7

* mutagenicity ratio=Number of revertant colonies of smaple/Number of spontaneous revertant colonies

Table 13. Mutagenicity ratio of raw, treated, and tap water according to water supply lines in Seoul(November, 1987).

Water supply line	total		acidic		basic		neutral	
	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9	+S9	−S9
Bokwang								
raw water	1.7	2.1	0.9	1.3	2.2	1.2	2.1	1.6
treated water	1.4	1.4	0.9	1.2	1.2	1.5	1.3	1.1
Hongje	2.4	3.4	0.9	1.3	0.9	0.6	1.7	2.1
Bulkwang	2.0	1.8	1.2	1.1	1.8	0.7	1.5	2.1
Kuui								
raw water	2.0	1.9	1.2	1.4	1.3	1.2	2.1	2.7
treated water	2.1	2.4	0.8	1.0	1.2	1.2	1.8	2.7
Tapshipri	2.1	2.1	0.6	1.3	0.7	0.9	2.2	1.8
Mia	2.3	2.2	1.1	1.2	0.9	1.1	0.9	1.0
Paldang								
raw water	1.5	1.5	1.2	1.5	1.0	0.8	1.9	1.6
treated water	1.5	1.9	0.8	1.2	1.3	0.8	1.3	1.7
Jamsil	1.8	1.9	1.2	0.9	1.0	1.1	1.1	1.8
Banpo	2.0	1.8	2.4	1.8	1.9	1.6	1.2	1.7

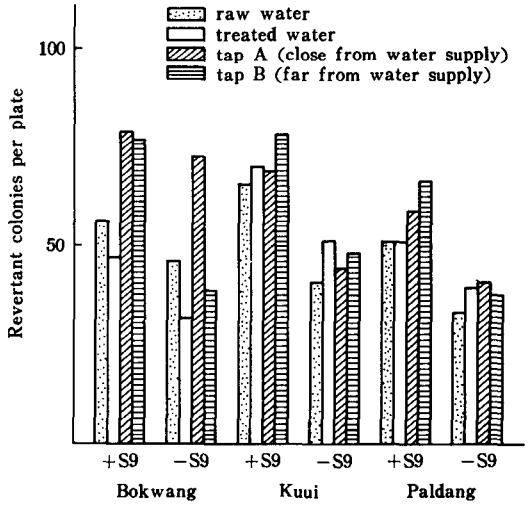

Fig. 3. Mutagenic activity of drinking water(July, 1987). (extract of 5 litter samples were tested on one plate)

돌연변이원성 활성도의 증가를 보였다.

Ⅳ. 고 찰

최근 수중의 유기오염물질 및 미량발암물질에 대한 관심이 높아지면서 발달된 화학분석기법을 이용하여 이러한 물질들을 찾아내고 있다. 그러나 이러한 물질들의 모든 종류와 농도를 정확히 측정하고 평가하여 인구집

질이 TA 100에 독성용량이 되어 돌연변이원성 반응을 일으키지 않고 TA 98에서 돌연변이원성이 잘 검출된 예도 있으며(Schwartz등, 1979)일반적으로 이 연구에서 사용한 균주인 TA 98이 TA 100보다 재현성이 높다고 인정되고 있다.

그와 같은 하나의 대안으로 Ames검사를 이용한 수질 모니터링 방법이 쓰여질수 있으며, 돌연변이원성을 나타내는 분획에 대하여 화학적으로 물질을 분리동정하게 된다. 수중에서 미량유기물질을 추출하기 위한 방법은 여러가지가 시도되고 있어서 XAD resin, liquid-liquid extraction, 역삼투, 동결건조, gas-purging 등의 방법이 있는데 본 연구에서 사용한 XAD-2를 이용한 방법은 Burnham(1972)이 ppb단위까지 물질을 추출하였다고 보고한 이래 많이 사용되고 있다.

Ames검사에는 TA 1537, TA 1538, TA 98등 frameshift mutation을 일으키는 것과 TA 1535, TA 100과 같이 base-pair substitution을 일으키는 균주가 사용되고 있다 (Meier 등, 1983). Bull등(1982)은 이중에서 TA 98과 TA 100만이 적합하게 수중 돌연변이원성 물질에 반응하였다고 하였다. 또한 농축된 시료에서는 돌연변이원성 물질에 어떠한 영향을 줄 것인가를 판단하기란 대단히 어려울 뿐아니라 많은 시간과 노력을 필요로 하므로 상시 측정체계로 활용하기에는 제한점이 많다. 따라서 상수중의 오염물질의 유독성을 포괄적으로 미리 측정할 수 있는

민감한 방법이 모색되고 있다.

본 연구결과에서 정수장의 원수에 비하여 처리수에서 돌연변이원성이 낮아지고 가정수에서 다시 높아지는 현상은 원수를 정수하면 돌연변이원성 물질이 어느정도 제거되었다가 염소소독후 일정시간이 경과함에 따라서 이차적으로 돌연변이원성 물질이 생성됨을 말해준다. Vartiainen과 Liimatainen(1986) 의 연구에서도 오염이 심한지역의 염소소독된 음용수가 원수보다 TA 98균주에서 돌연변이원성이 4~8배 높음을 보고하였고 Schwartz등(1979)도 가정수에서 원수에 비하여 TA 98균주의 돌연변이 원성이 5배 높음을 보고하였다. 남아프리카의 Parys에서 음용수의 돌연변이원성을 측정한 연구에서 소독수에서 돌연변이원성 비가 2이상인 경우가 여럿 있어 본 연구와 비슷한 오염상황임을 보였으며 또한 중성분획의 돌연변이 비가 산성분획과 염기성 분획보다 높은 것도 본 연구의 결과와 비슷하였다(Grabow 등, 1981).

수중 유기물질과 염소가 반응하여 생성되는 미량유기오염물질은 온도, 반응시간, pH의 영향을 받게된다(권숙표 등 1984). 이번 연구의 결과 근거리의 가정수보다 원거리의 가정수가 돌연변이원성이 높았으며 이러한 현상은 11월까지 음용수가 공급되는 시간이 길 수록 돌연변이원성 물질이 많이 생성되고 겨울철 보다는 여름철에 온도가 높아 돌연변이원성물질 생성이 많아지기 때문인 것으로 생각된다.

Douglas등(1986)은 *Salmonella typhimurium* TA 98과 TA 100을 이용한 음용수중 유기오염물질의 돌연변이원성 검사에서 두 균주 모두에 있어서 대사활성 물질을 첨가하지 않은 경우 (S9 negative)돌연변이 활성도가 높게 나타났다고 하여 본 연구와 차이를 보였으나 Schwatz등(1979)은 농축되지 않은 시료에서는 TA 100의 반응성이 좋았고 농축된 시료에서는 TA 98이 더 잘 반응하였으며 이때에 대사활성을 필요로 하였다고 보고하였다. 본 연구에서는 TA 98을 이용한 돌연변이원성 실험시 대사활성물질을 첨가시킨 경우와 첨가시키지 않은 경우 모두에서 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

7월과 11월 시료 모두 일반수질 기준인 현재의 상수도 수질기준을 만족시키고 있다. 그러나 이 상수도 수질기준에는 간접적인 화학적 지표로만 판정하도록 되어있고 수중에 존재하는 미량유기오염물질에 대한 사항은 전혀 없다. 따라서 현재의 상수 수질기준에 적합한 음용수라 하더라도 이 연구의 결과로 보아 알 수 있듯이 돌연변이원성을 가지고 있는 미량유기오염물질들이 문제가 되어

Table 14. WHO guidline of drinking water quality

Substances	Guide-line(mcg)	Remark
aldrin and dieldrin	0.03	
benzene	10	
benzo(a)pyrene	0.01	
carbon tetrachloride	3	tentative
chlordane	0.3	
chlorofrom	30	
2, 4−D	100	
DDT	1	
1, 2−dichloroethane	10	
1, 1−dichloroethane	0.3	
heptachlor and heptachlor epoxide	0.1	
hexachlorobenzene	0.01	
gamma-HCH(lindane)	3	
methoxychlor	30	
pentachlorophenol	10	
tetrachloroethene	10	tentative
trichloroethene	30	tentative
2, 4, 6−trichlorophenol	10	
trihalomethane	no guideline set	see chloroform

장기간 음용할 경우 비가시적인 인체효과가 만성적으로 작용하여 인체에 유해한 결과를 가져올 수도 있다. 그러므로 세계보건기구에서는 발암성 유기오염물질에 대하여 Table 14와 같이 음용수내 수질기준을 정하고 있다(WHO, 1984).

미량유기오염물질에 대한 수질기준 제정의 이론적 근거는 현재까지 실험동물을 이용한 모든 독성연구의 결과를 기본으로 하고 있으며 실험동물에서 독성을 유발시키는 경우는 단기간, 고농도 노출에 의한 것으로 장기간, 저농도에 인체가 노출되는 경우에 적합하도록 이러한 독성자료의 외삽(外插, extrapolation)이 필요하다.

이러한 과정을 거쳐 어떤 위해물질에 노출된 결과로 개인 혹은 인구집단에 야기될 수 있는 위해도의 확률을 추산하는 과학적인 과정인 위해도평가(Alm, 1985)가 가능하여진다. 세계보건기구에서 정한 수질기준은 위해도 평가에 근거를 두었으며 아직 독성자료가 충분치 않아 위해도평가의 타당성이 낮다고 여겨지는 물질에 대하여는 잠정적기준(tentative guideline)을 설정하였다. 물론 기존의 기준들도 해당물질의 독성자료가 더 추가되어 좀 더 타당성 있는 위해도평가가 가능하여 진다면 이에 근거하여 수질기준을 새롭게 정할 수있다고 하였다.

이번 연구의 제한점은 두 차례에 걸친 시료채취가 해당지역의 수질을 타당성있게 설명하여 줄 수 있는 자료를 제공하기에 부족하였다는 점이며 이번 연구에 그치지 않고 앞으로 계속 측정하는 일이 필요하다. 또한 돌연변이원성을 나타내는 분획에 포함된 물질을 규명하여 해당물질의 생성원인과 처리대책에 관한 연구를 병행하므로써 수질개선을 위한 종합적 접근이 가능하리라 생각된다.

V. 결 론

음용수중에 포함되어 있는 미량유기오염물질에 의한 돌연변이원성을 측정하기 위하여 1987년 7월과 11월 두 차례에 걸쳐 서울시 소재 정수장 세곳과 가정수 6개지점에서 각기 시료를 채취하여 *Salmonella typhimurium* TA 98을 사용하여 실험하였으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 정수장의 처리수와 가정수의 모든 음용수가 현행 음료수 수질기준에 적합하였다.

둘째, 음용수에 포함된 유기물질의 양은 7월 시료에서 원수 0.38mg/l, 처리수 0.28mg/l, 그리고 가정수는 이보다 높아 0.45mg/l이었다. 11월 시료에서는 원수 0.34mg/l, 처리수 0.24mg/l, 그리고 가정수 0.22mg/l로서 가정수에서 유기물질의 양이 증가하지 않았다. 유기물질의 산성, 염기성, 중성분획중 중성분획에 포함된 유기물질의 양이 가장 많았다.

셋째, 7월 시료에서 대사활성에 관계없이 6개의 가정수중 5개의 가정수에서 돌연변이원성 비가 2이상이었다. 또한 구의원수, 팔당원수의 돌연변이원성 비가 2이상이었다.

넷째, 11월 시료에서 6개의 가정수중 3개의 가정수와 구의정수장에서 돌연변이원성 비가 2이상이었다.

다섯째, 산성분획과 염기성 분획의 돌연변이 활성은 낮았으며 중성분획은 상대적으로 높아 총추출물의 돌연변이 활성도가 높은 시료의 중성분획의 돌연변이 활성도 역시 높았다.

여섯째, 7월 시료에서 처리수가 원수보다 돌연변이 활성도가 낮아 졌다가 가정수에서 다시 높아지며 원거리 가정수가 더 근거리 가정수보다 더 높았다.

참 고 문 헌

권숙표, 정용, 조희재. 상수중 trihalomethanes생성에 관한 연구. 수도 *1984 ; 31 : 11-18*

차철환, 배은상, 김영환, 장종상. *Salmonella typhimurium* system을 이용한 한강 주요지천의 돌연변이원성 조사. 환경보전협회지 *1982 ; 3(12) : 1-13*

Alm AL. *Introductory remarks of the health risk assessment symposium. Toxicology and Industrial Health 1985 ; 1 : 1-5*

Ames BN, McCann J. *Validation of the Salmonella test : A reply to Rinkus and Legator. Cancer Res 1981 ; 41 : 4192-4196*

Anderson EL. *The use of risk assessment to evaluate health risk from exposure to toxic substances. US Environmental Protection Agency, 1984*

Burnham AK. *Identification and estimation of neutral organic contaminants in portable water.* Anal Chem 1972 ; 43 : 139

Bull RJ, Robinson M, Meier JR, Stober J. *The use of biological assay systems to assess the relative carcinogenic hazards of disinfection byproducts. Environ Health Prospect 1982 ; 46 : 215-227*

Doulgas GR, Nestmann ER, Lebel G. *Contribution of chlorination to the mutagenic activity of drinking water extracts*

in salmonella chinese hamster ovary cells. Environ Health Perspect 1986 ; 69 : 81−87

Glatz BA, Chriswell CD, Arguello MD, Svee HJ, Fritz JS, Grimm SM, Thompson MA. *Examination of drinking water for mutagenic activity. J Am Wat Wks Ass 1978 ; 70 : 465−468*

Grabow WOK, Van Rossum PG, Grabow NA. Denkhaus R. *Relationship of the raw water quality to mutagens detectable by the Ames salmonella/microsome assay in a drinking water supply. Water Res 1981 ; 15 : 1037−1043*

Loper JC, Lang DR, Schoeny RS, Richmond BB, Galhagher PM, Smith CC. *Residual organic mixtures from drinking water shown in vitro mutagenic and transfroming activity. J Toxicol Environ Health 1978 ; 4 : 919−938*

Maron DM, Ames BN. *Revised methods for the Salmonella mutagenicity test. Mutation Res 1983 ; 113 : 173−215*

Mckinney JD, Mauer RR, Hass JR, Thomas RO. *Identification and analysis of organic pollutants in water. Ann Arbor Science, 1976, pp 417−432*

Meier JR, Ligg RD, Bull RJ. *Formation of mutagens following chlorination of humic acid. A model for mutagen formation during drinking water treatment. Mutation Res 1983 ; 118 : 25−41*

Nestmann ER, LeBel GL, Williams DT, Kowbel DJ. *Mutagenicity of organic extract from Canadian drinking water in the Salmonella/mammalian microsome assay. Environ Mutagen 1979 ; 1 : 337−345*

Schwartz DJ, Saxena J, Kopfler FC. *Water distribution system, a new source of mutagens in drinking water. J Environ Sci Technol 1979 ; 13 : 1138−1141*

Vartiainen T, Liimatainen A. *High Levels of mutagenic activity in chlorinated drinking water in Finland. Mutation Res 1986 ; 169 : 29−34*

WHO. *Guidelines for drinking water quality, Vol. 1. Recommendations. World Health Organization, 1984, pp. 58−60, 2−16*