

가정 수도수에서의 염소소독 부산물에 관한 연구

음용수질과

박 건 용 · 김 경 식 · 홍 인 석 · 김 영 수

A Study on the Chlorination by-Products in the Tap Water.

Division of Drinking Water

Keun Yong Pak, Gyung Sig Kim, In Suck Hong, Young Su Kim

= Abstracts =

In this study distribution of various chlorination by-products were analyzed in tap waters. The results of this study were summarized as follows:

1. Average THMs, HANs and HAAs concentrations were 28.55 $\mu\text{g}/\ell$, 2.74 $\mu\text{g}/\ell$, 13.43 $\mu\text{g}/\ell$ respectively in tap waters.
2. Concentrations of DBPs increased with increasing temperature, and increased rapidly in the initial period of contact time, but rate of increase became slow gradually.
3. The correlation coefficients among THMs, HANs and HAAs were 0.492~0.646 showing not comparatively high values.
4. The correlation coefficients between DBPs and distances distributed were 0.643, 0.267, 0.327 for THMs, HANs and HAAs respectively, therefore those of THMs appeared high in each distributional regions.
5. As surveyed values were suitable based on the standards of Korea, Japan and WHO, it was considered that the effects of those would not harmful to human body. But some values appeared to be over 50% of standard, and special attention were to be called. Items of HAAs might be added on the standard now.

서 론

수돗물의 원수인 하천과 호소는 부영양화 현상으로 인한 암모니아성질소의 증가와 조류의 번식 등으로 인한 수질악화 및 냄새발생 등의 문제가 빈번히 발생하고 있는 실정이다. 이러한 오염에 대처하기 위한 수단으로 염소를 비롯하여 오존 이산화염소 등 여러 가지

소독방법들¹⁾이 있으나 어느 소독공정이든 소독과정에 서 수질 매트릭스에 따라 다양한 유기·무기 부산물들이 발생되고 있다. 소독 부산물은 원수의 수질특성과 처리방식에 따라 생성되는 물질과 농도가 다양하므로 원수의 수질특성이 고려된 소독제의 종류와 양을 선택 하여 사용하여야 한다.

우리 나라의 경우 오존처리가 점차 확대될 전망이지만 아직도 염소소독이 주요처리방식으로 채택되어 실

행되고 있다. 염소소독은 전처리공정으로서의 전염소 처리와 여과공정이후의 후염소처리를 하고 있으며, 이 염소처리는 수인성 전염병을 일으키는 미생물의 살균과 암모니아성 질소의 제거, 조류의 사멸, 철·망간의 제거와 더불어 급수관 내의 세균에 의한 2차 오염의 방지를 위한 강력한 소독효과까지 갖게하여 수도물의 안전한 음용에 일조해왔다. 그러나 이 염소는 수중의 Humin물질들과 반응하여 여러 가지 유해한 물질들²⁾이 생성되어 인체에 영향³⁾⁴⁾을 주거나 심리적인 불안감을 주는 등 사회적으로 문제가 되고 있다.

염소소독시 전구물질과 발생요인들의 작용으로 인해 생성되는 부산물은 어느 한 물질로 끝나는 것이 아니라 반응이 진행되면서 생성된 물질들의 변이가 이루어지고 있어 물질간의 상관성이 클 것으로 예상된다. 진행경로는 Fig. 1 과 같다.²⁾ 일반적인 소독부산물의 변이경로는 I → VII → VIII → V 로 알려졌으며 I → II → V의 경로와 I → II → TCAN → V의 경로로도 진행되어 최종산물인 CHCl₃가 발생되고 있다

우리 나라 먹는물의 수질기준 중 소독부산물에 관한 기준을 우리 나라와 일본 그리고 WHO 권장기준으로 나누어 Table 1 에 나타내었다.⁵⁾ THMs의 경우 모두가 100µg/ℓ 이하로 설정하고 있으나 미국의 경우 기준을 강화하여 현재의 100µg/ℓ 이하에서 80µg/ℓ 이하로 낮추고, HAAs의 기준도 추가하여 60µg/ℓ 이하로 설정할 것을 검토하고 있으며¹⁶⁾ 일본에서도 기준에 대한 검토가 이루어지고 있다고 한다⁷⁾. 따라서 우리 나라에서도 HANs, HAAs들에 대한 기준설정의 검토가 이

루어져야 할 것으로 보인다.

본 연구는 염소소독을 주로 사용하는 서울시의 정수 처리과정에서 발생될 수 있는 소독부산물(DBPs)의 종류별 발생량의 분포를 알아보고 시간별·온도별 요인들과 발생량간의 상관성을 조사함으로써 이들로 인한 위해성을 저감하기 위한 기초연구로서 수행하였다.

Table 1. The standards of the DBPs in the drinking water.(unit :mg/ ℓ)

	THMs	HANs	HAAs
Korea	0.1 below	-	-
Japan	0.1 below	Dichloroacetonitrile : 0.08 below	Dichloroacetic acid : 0.04 below Trichloroacetic acid : 0.3 below
WHO	0.1 below	Trichloroacetonitrile : 0.01 below	Dichloroacetic acid : 0.05 below Trichloroacetic acid : 0.1 below

재료 및 방법

1. 실험개요 및 대상물질

염소처리 후 소독부산물의 진행상태를 알아보고자 지하수를 채수하여 NaOCl을 3ppm이 되도록 주입하고 발생하는 부산물의 양을 온도와 시간별로 측정하여 그 변화를 보고자 하였다. 서울시내에 있는 9개의 정수사업소에서 공급되는 수도물을 대상으로 하여 각 지역의 가정 수도수 10건에 대한 소독 부산물의 함유량을 조사하여 각 성분의 구성 비율을 조사하고 물질간의 상호관계와 급수되는 거리와의 관련성을 알아보고자 하였다. 연구실험에 필요한 대상물질의 선정을 보면 THMs은 기준이 책정되어 있어 기준에 포함되어 있는 Chloroform, Dichloro-bromomethane, Chlorodibromo methane, Bromoform을 대상으로 하였으며, HANs의 경우는 검출 가능성이 높은 물질로서 Trichloroacetonitrile, Dichloroacetonitrile, Dibromoacetonitrile을 선정하였다. HAAs는 Dichloroacetic acid, Dibromoacetic acid, Trichloroacetic acid, Tribromoacetic acid를 대상 물질로 선정하여 측정하였다.

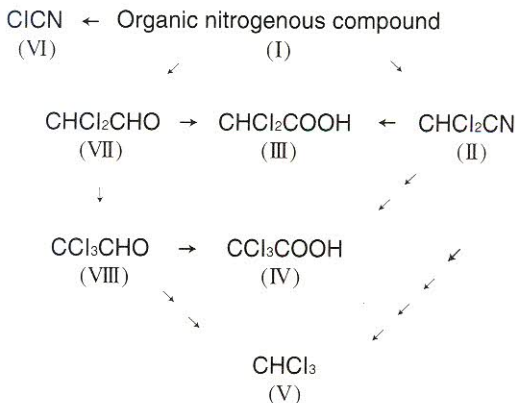


Fig. 1. The mutual change of DBPs.

2. 실험방법 및 기기

실험방법은 먹는물 수질검사법⁸⁾과 EPA method⁹⁾¹⁰⁾에 의해 실험하였으며 사용기와 조건들을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 The methods and instruments for analysis of the DBPs.

본 실험에서 사용된 분석법을 요약하면 다음과 같다.

- 1) THMs : Purge & Trap에 시료 5ml을 넣어 농축후 Gas Chromatograph 에 자동 주입하여 분석한다.
- 2) HANs : 시료100ml에 NaCl 8g, MTBE 5ml를 넣고 강하게 흔들여 추출 한다. 유기용매 층을 분취해 Na₂SO₄로 탈수하여 Gas Chromatograph에 주입하여 분석한다.
- 3) HAAS : 시료 100ml에 H₂SO₄로 pH<2로 맞추고 Na₂SO₄ 2.4g과 MTBE 5ml을 넣고 강하게 흔들여 추출한다. 유기용매 층을 분취해 10% H₂SO₄/CH₃OH 1ml을 넣고 50℃에서 2시간 반응시킨다. NaHCO₃ 포화용액 4ml를 넣는다. 유기용매층을 Na₂SO₄로 탈수하여 Gas Chromatograph에 주입하여 분석한다.

3. 실험재료

본 실험에서 사용된 시약들은 다음과 같다.

- Chloroform, Dichlorobromomethane, Chlorodibromomethane, Bromoform, Dichloroacetonitrile(Standard solution 1000 μ g/ml, Wako chemicals, Japan)
- Trichloroacetonitrile, Dibromoacetonitrile (Standard solution 10 μ g /ml, Dr. Ehrenstorfer GmbH, Dutch)
- Dichloroacetic acid, Dibromoacetic acid, Trichloroacetic acid, Tribromoacetic acid(Standard solution 1000 μ g /ml, Supelco, USA)
- tert-Butyl methyl ether(HPLC용, Aldrich, USA)
- Sodium sulfate anhydrous(GR, Shinyo chemicals co., Japan)
- Sodium chloride(GR, Shinyo chemicals co., Japan)
- Sodium hydrogen carbonate(GR, Sarahai chemicals co., India)
- Sulfuric acid(GR, Junsei chemicals co., Japan)
- Methanol(GR, Hayman limited, England)

결과 및 고찰

1. 소독부산물의 생성

지하수에 NaClO를 주입하여 소독부산물의 시간과 온도별 변화량을 조사해 본 결과를 그림 2에 나타내었

Table 2. The methods and instruments for analysis of the DBPs.

Method		THMs	HANs	HAAs
Name		Test method of drinking water	EPA method 551	EPA method 552
Instrument	Name	Gas chromatograph (HP5890 II)	Gas chromatograph (HP6890)	Gas chromatograph (HP6890)
	Column	VOC/MS (90m×0.32mm×1.8 μ m)	Ultra-2 (25m×0.2mm×0.33 μ m)	Ultra-2 (25m×0.2mm×0.33 μ m)
	Detector	ECD	ECD	ECD
	Carrier gas	N ₂ at 1.0ml/min	N ₂ at 1.0ml/min	N ₂ at 1.0ml/min
Pre-treatment system		Purge & Trap (teckmar 3000)	LLE	LLE(methylation)

다. Fig. 2에서 실온에서의 시간별 변화를 보면 염소를 투입한 후 27시간까지 THMs와 HAAs가 급속히 증가하였으며 그후에는 완만한 증가를 보였다. 14-22시간 내에 급속히 생성된다는 보고¹¹⁾가 있었으나 그림 2에서 보면 염소주입후 6시간내에 THMs의 경우 50-60%의 생성이 이루어 졌음을 알 수 있었다. 또한 급수되는 거리가 길면 지체시간이 길어져 부산물의 생성이 많아지므로 급수관망의 체계도 중요한 역할을 하고 있을 것으로 판단된다. 온도와와의 관계인 Fig. 3을 보면 온도가 증가할수록 THMs와 HAAs의 양이 증가되다가 80-90℃를 지나면서 각각 감소 또는 일정하게 되는 경향을 보였다. 이는 온도가 반응속도에 영향을 주어 생성이 급속히 증가하는 것이며 물이 끓으면 부산물의 증발로 인해 감소되어 그 양이 변하는 것이다. 물을 끓여 마실 경우를 고려하여 끓이는 시간에 따라 제거량을 측정해 본 결과를 보면 2분시 50%, 10분시 90% 이상의 제거율을 보였으며 20분 이상을 끓여야 완전히 제거가 되는 것으로 나타났다. 가정에서 물을 끓여 마실 때 끓이는 시간이 보통 1-2분에 지나지 않아 좀더 오랜 시간을 끓여야 부산물의 함량이 적은 물을 마실 수 있을 것이다. 또한 온도와와의 이러한 상관관계를 볼 때 본 실험이 봄과 가을에 진행되어 겨울철과 여름철의 부산물 함유량은 온도의 차이로 인해 다른 실험결과를 얻을 것으로 예상된다. 그리고 정수처리시 원수의 상태에 따라 염소의 양을 다르게 투입하고 있어 주입 양에 따라 발생하는 부산물의 양도 많은 영향을 받을 것이다. 원인적인 측면에서 볼 때 하천의

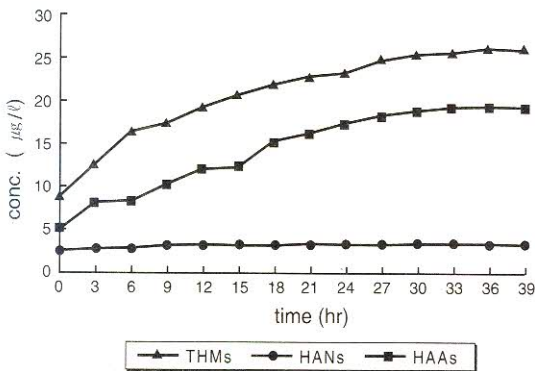


Fig. 2. The variation of the DBPs by time. (at normal temperature)

부영양화로 인한 조류증식의 영향으로 전구물질의 공급이 활성화되면서 THMs의 생성요인이 증가되고 있어서¹²⁾ 원수의 수질관리도 THMs의 생성에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

2. 소독부산물의 분포

서울시내 9개 정수사업소에서 처리된 수돗물이 공급되는 각 지역의 가정에서 시료를 채수하여 조사한 소독부산물의 각 성분별 평균 함유량을 정수장별로 분류하여 Table 3과 같이 나타내었다.

그 결과를 보면 전체 THMs의 평균은 28.55µg/l로 나타났으며, 각 정수장별 THMs의 평균범위는 9.93~39.81로 이들 값은 모두 먹는물 수질기준인 100µg/l 이하에 적합한 결과를 보이고 있었다. 성분별 분포를 보면 chloroform이 전체 THMs의 67.60%를 차지하고 있었으며 bromoform은 0.21%의 양으로 거의 검출되지 않았다.

dichlorobromomethane과 chlorodibromomethane, bromoform의 Br함유 화합물의 양이 32.39%로서 나타나 우리 나라 하천에서도 Br이 어느 정도 내포되어 있는 것을 알 수 있었다. 총 THM의량은 7~65µg/l로 분포되어 있었으며 수질기준의 50%가 넘는 곳도 있었는데, 이는 기준을 80µg/l 이하로 낮추려는 미국의 수질기준에 상당히 육박하는 수치로 좀더 신중한 처리가 요구된다.

HANs의 경우를 보면 THMs의 결과치에 비해 훨씬 적은 양이 함유되어 있었으나 이중 Dichloroacetonitrile

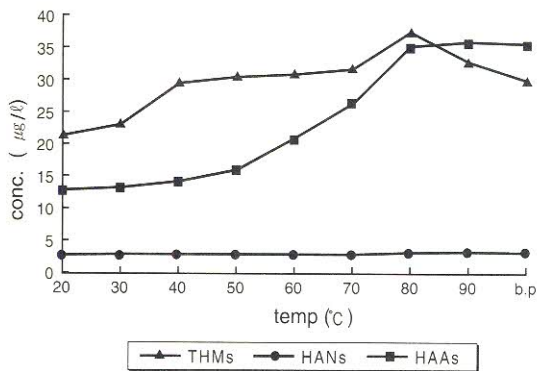


Fig. 3. The variation of the DBPs by temperature. (time : at once)

은 모든 시료에서 검출되었다.

Dichloroacetonitrile는 1~5 $\mu\text{g}/\ell$ 의 분포로 그 양이 적어 무시할 수도 있겠으나 주요 전구물질이 유기질소 화합물들 이어서 증가하는 수질오염의 현실을 감안할 때 발생량이 더욱 증가할 것으로 예상된다. 보통 HANs이 THMs농도의 5%정도가 발생하는 것으로 나타났으나¹³⁾ 본 실험에서는 9%정도로 높은 비율이 측정되었으며 이들 측정치는 94년도 환경부 조사결과¹⁰⁾가 평균 2.07 $\mu\text{g}/\ell$ 인데 비해 다소 높게 측정되었다. 이들 중 Dichloroacetonitrile는 다른 부산물들에 비해 변이원성 활성도가 높은 것으로 발표되기도 해²⁾ 관심을 갖게 하고 있다.

HAAs를 보면 6~32 $\mu\text{g}/\ell$ 의 양으로 그 평균이

13.43 $\mu\text{g}/\ell$ 이었고 Dichloroacetic acid와 Trichloroacetic acid는 모든 시료에서 검출되었다. 보통 THMs의 50%가 발생된다고 알려졌으며¹⁴⁾ 본 실험의 결과에서도 THMs의 50%정도가 측정되었다. Dichloroacetic acid는 6.94 $\mu\text{g}/\ell$ 가 검출되어 일본의 기준치인 40 $\mu\text{g}/\ell$ 에 비해 훨씬 적었으나 20 $\mu\text{g}/\ell$ 이 넘는 곳도 있어 보다 고도의 정수처리가 요구된다. 96년도의 환경부 조사결과¹⁰⁾와 비교시 Dichloroacetic acid는 3.71 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 6.94 $\mu\text{g}/\ell$ 로 2배 가까이 증가되었으나 Trichloroacetic acid는 8.05 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 6.49 $\mu\text{g}/\ell$ 로 오히려 줄어든 것으로 나타났다. 또한 환경부 조사시 대상시료 중 21%가 불검출 되었으나 본 실험에서는 모든 시료에서 검출되었으며 총 HAAs의

Table 3. The distribution of the DBPs in tap water supplied in Seoul. (unit : $\mu\text{g}/\ell$)

Item		Treatment plant									Total mean values
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
THMs	Chloroform	26.20 ±5.55	28.65 ±3.76	17.35 ±5.55	10.33 ±3.01	7.02 ±0.70	21.80 ±5.19	17.77 ±8.30	18.91 ±5.32	19.1 ±4.79	19.30 (67.60%)
	Dichlorobromo methane	11.55 ±4.30	10.38 ±1.66	6.63 ±1.92	5.49 ±1.69	2.29 ±1.03	9.45 ±1.53	9.35 ±3.30	5.97 ±2.74	9.99 ±1.29	8.20 (28.72%)
	Chlorodibromo methane	1.28 ±0.50	1.09 ±0.25	0.93 ±0.13	0.85 ±0.13	0.58 ±0.17	1.20 ±0.17	1.51 ±0.38	0.75 ±0.24	1.33 ±0.19	0.99 (3.47%)
	Bromoform	0.05 ±0.03	0.06 ±0.01	0.06 ±0.01	0.06 ±0.08	0.04 ±0.01	0.05 ±0.02	0.09 ±0.08	0.04 ±0.01	0.08 ±0.09	0.058 (0.21%)
	Total	38.79 ±8.92	39.81 ±6.08	25.35 ±6.69	16.57 ±4.62	9.93 ±1.74	32.51 ±6.82	28.68 ±11.33	25.68 ±8.18	30.51 ±6.16	28.55 (100%)
	HANs	Trichloro -acetonitrile	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dichloro -acetonitrile		3.26 ±0.84	1.95 ±0.72	2.89 ±0.30	3.35 ±0.43	2.12 ±0.52	2.71 0.78	3.24 ±0.55	1.96 ±0.33	2.87 ±0.48	2.70 (98.54%)
Dibromo -acetonitrile		ND	ND	ND	0.08 ±0.21	ND	0.13 ±0.11	0.16 ±0.20	ND	ND	0.04 (1.46%)
Total		3.26 ±0.84	1.95 ±0.72	2.89 ±0.30	3.43 ±0.44	2.12 ±0.52	2.84 ±0.66	3.40 ±0.80	1.96 ±0.33	2.87 ±0.48	2.74 (100%)
HAAs	Dichloro -acetic acid	6.14 ±5.09	4.16 ±3.57	6.82 ±0.66	7.79 ±3.90	5.52 ±1.10	10.55 ±4.08	6.88 ±4.90	6.87 ±3.65	7.72 ±2.30	6.94 (51.68%)
	Dibromo -acetic acid	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
	Trichloro -acetic acid	7.78 ±4.10	5.87 ±1.41	6.43 ±1.00	6.58 ±2.74	4.14 ±0.72	9.92 ±4.41	6.19 ±3.23	5.86 ±3.24	5.66 ±1.54	6.49 (48.32%)
	Tribromo -acetic acid	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
	Total	13.92 ±9.47	10.03 ±5.67	13.25 ±1.61	14.37 ±6.13	9.66 ±1.81	20.47 ±8.39	13.07 ±8.07	12.73 ±6.87	13.38 ±2.73	13.43 (100%)

평균치도 조금 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과와 함께 하천의 오염이 갈수록 심화되는 현실에 비추어 볼 때, 우리 나라도 HAAs의 기준설정이 조속히 이루어져야 할 것으로 보인다.

전체 소독부산물의 발생비율을 알아보기 위해 THMs, HANs, HAAs의 총량을 100으로 하여 각 성분별 함량 분포도와 각 부류별 함량 분포도를 Fig. 4, 5에 나타내었다. 이를 보면 THMs가 63.84%이며 HAAs는 30.03%, HANs는 6.13%으로 구성되어 있었다. THMs 중 Chloroform이 43.16%로 전체의 절반에 가까운 양을 차지하고 있었는데, 이는 염소소독 부산물들이 한 물질에 머물지 않고 상호변이가 발생하여 이러한 변이의 최종 부산물이 Chloroform이기 때문에²⁾ 그 양이 많은 것으로 추측되며, 이러한 조성은 지역과 계절에 따라 온도와 급수되는 시간의 차이로 달라질 수 있을 것으로 보여진다.

물질간의 상관관계를 살펴보면 THMs과 HAAs는 상관관계수가 0.4915, THMs와 HANs는 0.5747이었으며, HAAs와 HAN의 상관관계수는 0.6461으로 가장 높게 나타났다. 소독부산물들은 상호변이가 이루어지며²⁾ 특히 THMs과 HANs는 상호 비례적인 관계에 있는 것으로 알려져¹³⁾ 상관성이 어느 정도 있는 것으로 예상되었으나 결과를 볼 때 매우 높은 상관성은 보이지 않았다. 이는 기인되는 주요 전구물질이 각각 다르고 발생요인이나 기작들이 서로 달라 상호변이에 의한 관계성을 상쇄시켜 연관성이 크지 않게 나타난 것으로 추측된다.

그리고 각 정수장에서의 급수되는 거리와 측정된 부산물들 간의 상관관계를 table 4에 나타내었다. 급수

거리는 정수장과의 직선거리를 사용하였으며 조사대상 지역의 평균 급수거리는 5.9km 이었다. 이를 보면 THMs에서 급수거리와의 양의 상관관계가 0.643으로 다소 높게 나왔고, HANs와 HAAs는 0.2~0.3정도로 낮게 나와 THMs는 급수거리가 길어질수록 발생량이 증가하게 되는 것을 추정할 수 있었다.

각 정수장별로 측정된 결과치들을 보면 그 발생량에 있어서 차이를 나타냈는데 THMs의 경우는 9.93~39.81 $\mu\text{g}/\ell$ 로 4배 이상의 차이가 측정되었다. 이는 원수의 수질과 정수장마다의 처리방식이나 염소투입량이 조금씩 다르기 때문인 것으로 추측된다. 또한 정수장에서 각 가정에 급수되는 거리와도 깊은 관계가 있어 급수되는 시간을 줄이는 것도 소독 부산물을 줄이는 역할을 하기 때문에 복잡하게 얽힌 급수시스템의 정비도 소독부산물의 저감에 많은 도움을 줄 것으로 보인다. 현재 실시하는 정수장에서의 염소투입을 정수장이 아닌 배수장에서 투입한다면 염소주입 후의 급수시간이 단축되어 부산물의 생성을 줄일 수 있으리라 사료된다.

Table 4. The correlations between the occurrence of DBPs(C) and distances from each filtration plants(X).

(unit: C($\mu\text{g}/\ell$), X(km))		
Class	Regression equation	Correlation coefficient(r)
THMs	$C = 2.258X + 12.530$	0.643
HANs	$C = 0.126X + 2.975$	0.267
HAAs	$C = 3.172X + 7.865$	0.327

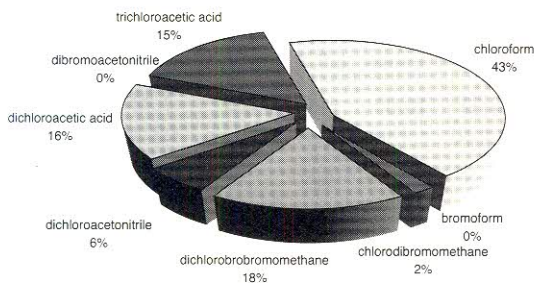


Fig. 4. The composition of DBPs in tap water supplied in Seoul.

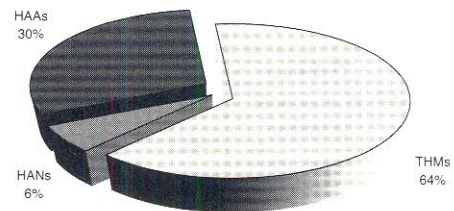


Fig. 5. The distribution of THMs, HANs and HAAs in DBPs.

결 론

염소소독 부산물의 생성정도와 수도수에서의 농도분포를 조사하여 실험한 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수도수에서의 염소소독 부산물의 평균 함유량은 THMs : 28.55 $\mu\text{g}/\ell$, HANs : 2.74 $\mu\text{g}/\ell$, HAAs : 13.43 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다.
2. 온도가 증가하면 부산물 발생도 급속히 증가하며, 염소 주입후 경과시간에 따라 발생하는 양도 초기에 급속히 증가한 후 완만한 증가를 보였다.
3. 이들 물질간의 상관계수는 0.492~0.646으로 발생기작 및 발생요인들이 달라 상관성은 크지 않은 것으로 나타났다.
4. 급수되는 거리와의 상관계수는 THMs 0.643, HANs 0.267, HAAs 0.327로써 THMs가 일률적으로 높게 나타났다.
5. 수도수에서의 염소소독 부산물의 농도는 먹는물 수질기준 및 일본의 수질기준, WHO권장기준에 적합한 것으로 인체에는 큰 영향이 없을 것으로 추측되나, 기준의 50%가 넘는 곳도 있어 좀더 신중한 처리가 요구되며 특히 HAAs는 먹는물 수질기준에 추가하여 관리해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 강준원 : 음용수에서의 안전성 관리를 위한 소독 및 부산물 관리. 제21회 보건학종합학술대회. (1996)
2. Hitoshi Heno, Katsuhiko Nakamuro, Toshiaki Moto and Yasuyoshi Sayato : Disinfection by-products in the chlorination of organic nitrogen compounds : possible pathways for the formation of disinfection by-products. Water Supply. v13:3/4. (1995)
3. 세계보건기구 먹는물 수질관리 지침서. 환경부 (1998)
4. 권숙표 : 물이 인체에 미치는 영향. 21세기 물자원 정책 심포지움. 한국자원연구소. (1996)
5. 박석기, 안승구, 엄석원 : 먹는물의 수질관리. 동화기술. (1996)
6. Michael J. McGuire, Marshall K. Davis, Carol H. Tate, E. Marco Aieta, Elaine W. Howe and C. Crittenden : Evaluating GAC for trihalomethane control. Journal AWWA. v83(1). (1991)
7. 小川眞佐子 : 水道水と 有害物質. 水環境學會誌. v19(7). (1996)
8. 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙. 환경부령 제11호(1995)
9. EPA method. Revision 2.1 EMSL. US EPA Cincinnati. OH. p169. (1990)
10. 환경부 : 수도물에서의 미량유해물질 분석법 연구 및 함유실태 조사. (1997)
11. Bart Koch, Stuart W. Krasner, Michael J. Solimanti and Warren K. Schimpff : Predicting the formation of DBPs by the simulated distribution system. Journal AWWA. v83: oct. (1991)
12. 조덕희, 안승구 : 정수처리 공정의 THMs생성과 농도변화에 관한 연구. 한국환경위생학회지. v23(2). (1997)
13. Ruud J. B. Peters, Ed W. B. de Leer and Leo de Galan : Dihalo-acetonitriles in Dutch drinking waters. Water Research. v24(6). (1990)
14. L. Heller-Grossman, J. Manka, B. Limoni-Relis and M. Rebhun : Formation and distribution of haloacetic acids, THM and TOX in chlorination of bromide-rich lake water. Water Research. v27(8). (1993)