

군산지역 음용지하수중 트리할로메탄(THMs)생성에 관한 연구

황 갑 수[†]
군산대학교 환경공학과

A Study on THMs Formation in Drinking Underground Water at Kunsan

Gap Soo Hwang[†]

Dept. of Environmental Engineering, Kunsan National University
(Received 20 November 2000 ; Accepted 20 December 2000)

ABSTRACT

This study was carried out to survey trihalomethane formation potential(THMFP) levels in drinking underground water and to examine its characteristics in Kunsan area. In drinking underground water, THMFP increased with the lapse of reaction time and 96hr-THMFP was the highest of THMFPs examined. In many cases, 24hr-THMFP, 48hr-THMFP and 96hr-THMFP reflected 2hr-THMFP level due to the largest composition ratio of CHCl_3 among THM individuals. CHCl_3 was mostly formed within early 2hour of reaction time, but CHClBr_2 and CHBr_3 continued their formation until 48 hour. Accordingly, the composition ratio of CHCl_3 decreased with the lapse of reaction time while that of total Br derivatives increased. 96hr-THMFPs of drinking underground water in Kunsan area ranged from N.D.(not detected)-98.80 $\mu\text{g/l}$ and, in general, those of western section of Kunsan area, closer to the coast, showed the higher tendency. But, from their large range of variance, it could be considered that THMFPs differ individually even in the same section depending on such factors as the difference of water stream, circumstances of management and so on. All the parameters for water quality examined(pH, KMnO_4 consumption, UV_{254} , TOC, Cl) showed very week corelation with 96h-THMFP.

Keywords : THMFP, Underground water, Kunsan, THM individuals

I. 서 론

트리할로메탄(THMs)은 자연수중에 존재하는 humic acid 및 fulvic acid 등의 부식질을 전구물질(precursor)로 염소처리시 생성되는 휘발성 할로젠화 탄화수소들로서 1970년대초 Rook에 의해 물의 염소처리시 THMs가 생성됨이 밝혀진 이래 그 유해성과 함께 예민한 공공의 관심대상이 되어왔으며¹⁻⁴⁾ 이를 반영하여 우리나라에서도 1990년부터 음용수 중 THMs의 허용기준을 0.1 mg/l로 규제하고 있다.

THMs중의 주요물질인 chloroform⁵⁻⁸⁾은 간암, 흉부암, 직장암 및 대장암의 발생과 깊은 관련을 갖고 있는 발암성물질(carcinogen)로서 생체내에서 cytochrome P-450 효소활성등과 관련된 phosgen, free radical등의 친전자성 반응대사물을 생성하여 세포독성을 유발하는 것

으로 알려져 있고 THMs의 다른 물질들 역시 여러 동물실험에서 직장, 신장, 방광, 결장등에서 암을 유발함이 확인⁹⁾되어 왔다.

지하수는 식수 및 각종 용수로서 중요한 수자원 보고이며 갈수록 더해가는 수자원의 부족과 함께 그에 대한 보존관리의 중요성이 크게 증가하고 있다. 군산 인근지역에서도 특히 농가를 중심으로 식수 및 용수확보를 위해 많은 지하수개발이 이루어져 왔으나 근래 농업활동과 생활오수의 유입에 의한 오염의 심화에 따른 주민보건증진의 측면에서 상수도의 보급에 대한 정책적 추진에 의해(99년말 현재 군산시 상수도 보급율 : 83%) 음용수로서의 이용이 격감하고 있다. 그럼에도 불구하고 상수도 설치 공사를 위한 농가 등의 경제적 부담 및 위생학적 인식의 부족으로 아직도 상당수의 주민들이 지하수를 식수로 이용하고 있으며 따라서 지역 주민의 보건증진을 위해서는 보다 내실있고 강화된 수질감시노력이 요구되고 있다. 세부적인 THMs문제와 관련하여서도 열악한 시설환경 및 위생처리시설의 미비등으로 지하수의 전구 유기오염물의 혼입이 비교적

[†]Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Kunsan National University
Tel: 063-469-4763, Fax: 063-469-4964
E-mail: gswhang@ks.kunsan.ac.kr

용이할 것으로 판단되며 아울러 근래 이질, 장티프스 등의 수인성 전염병이 빈발하는 상황에서 특히 하절기를 중심으로 소독처리의 필요성이 더욱 제기되고 있다. 이에 따라 소독처리를 위한 염소 tablet 등의 사용시 THMs생성이 유리할 것으로 예상할 수 있어 주민건강과 관련하여 이에 대한 지속적인 감시노력이 있어야 할 것으로 사료되나 지역사회 및 국내에서의 관련연구는 극히 미미한 실정이다.

이상의 연구배경으로부터 본 연구자는 금번연구를 통해 근산지역의 음용 지하수내 THMF(Potential)를 조사하고 관련특성을 규명하여 이에 대한 관심을 제고함으로써 향후 지역사회의 보건증진에 기여하고자 하였다.

II. 실험방법 및 재료

1. 시료 채취 및 분석항목

시료채취는 1998년 10월부터 1999년 4월에 걸쳐 근산지역의 하천, 해안과의 인접성등의 지리적 관련특성을 고려하여 구분된 4개 지역들로부터 음용 지하수 71개소에 대해 수행하였다(Fig. 1). 채수는 일반항목 분석을 위해서는 1l polyethylene bottle을 사용하여 실시하였고 THMF분석을 위한 정수시료는 2l glass bottle에 만수가 되도록 시료를 채수하였다. 지하수에 있어 THMF관련특성을 파악하기 위해 전체시료중 7개시료들에 대해 2hr-, 24hr-, 48hr- 및 96hr-THMF를 측정하였으며 나머지 시료들에 대해서는 96hr-THMF분석을 공통으로 하고 일부 시료들에 대해 2hr-THMF 또는 24hr-THMF를 분석하였다. 수질 일반항목으로서 pH를 현장에서 측정하였고 $KMnO_4$ 소비량, UV_{254} , TOC등의 유기물오염지표항목들이 CI와 함께 실험실에서 측정되었다.

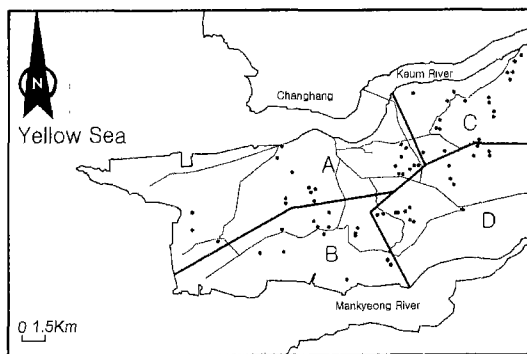


Fig. 1. Sampling sites for drinking underground water.

2. 분석방법

1) THMF의 분석

상수시험 방법¹⁰⁾에 따라 시료 200 ml를 수개의 300 ml 비이커에 취해 2,000 mg/l 차아염소산나트륨용액을 단계적으로 가하고 pH값을 7.0 ± 0.2 로 조정한다. 다음 20°C에서 측정 반응 시간(2시간, 24시간, 48시간, 96시간)에 따라 유리잔류염소가 약 1 mg/l 잔류할 염소 투입량을 각각 구한다. 염소투입량을 구한 시료에 2,000 mg/l 차아염소산나트륨용액 해당량을 가하여 20°C의 반응온도에서 정해진 시간 후 유리잔류염소를 측정하고 유리잔류염소 1~2 mg/l의 시료에 대하여 THMs 분석을 Headspace법에 의해 다음과 같이 수행하였다. 용량 20 ml의 Headspace vial에 시료 10 ml를 정확히 취하여 Teflon-lined silicone septum으로 막고 그 위를 Aluminium cap으로 고정시킨다. Vial을 격렬히 흔들어 혼합한 후 40°C조건으로 오븐내에서 1시간동안 방치하여 시험용액으로 하고 기상 1 ml를 취하여 즉시 G.C(Hewlett Packard 5890 Series Plus II, Detector : ECD)에 주입하였다. 표준용액으로는 Supelco사의 THMs mixture용액을 사용하였으며 분석 column으로는 HP-1 capillary column, 30 m×0.53 mm를 사용하였다. 제시된 본 분석방법에 의한 표준농도의 오차범위는 THMs의 모든 성분들에 대하여 5%이내를 만족하였으며 검출한계는 THMs의 각 성분들에 따라 0.3~1.0 ng/l의 범위의 수준이었다.

2) 일반항목 분석

pH는 채수 현장에서 Orion 250A pH meter로 즉시 측정하였고 $KMnO_4$ 소비량은 상수시험법¹⁰⁾에 따라 분석하였다. TOC는 Ionic 1505 TOC analyzer, UV_{254} 는 Shimadzu 1601 UV/visible spectrophotometer를 각각 사용하여 측정하였으며 CI는 수질공정법¹¹⁾상의 질산은 적정법에 따라 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 지하수에 있어 THMF 관련특성

THMF는 대상수에 있어 염소처리시의 THMs생성수준을 예측함으로써 시료의 수질특성을 파악하고 THMs의 유해성과 관련하여 이를 보건위생학적으로도 유용하게 활용할 수 있는 수질지표로서 인식되고 있다.

지하수 시료에 대해 반응시간에 따른 THMF의 변화를 알아보고자 수행한 실험결과는 Fig. 2와 같이 7개소 대상시료들 모두에서 96시간까지의 반응시간에 따른 THMF의 증가를 나타내었고 S-1지점과 S-2지점을 제외한 5개소 시료들에 있어서는 특히 2시간이내의

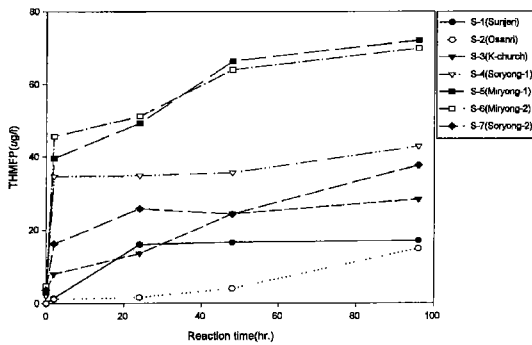


Fig. 2. Time course change of THMFP in drinking underground water.

THMFP 증가가 가장 크게 나타났으며 이후의 THMFP 증가는 이에 비해 미약하였다. 이들 5개소 시료들에 있어 2hr-THMFP의 수준은 이후의 24hr-, 48hr- 및 96hr-THMFP의 수준에 반영되어 2hr-THMFP수준이 높을수록 이후의 THMFP의 수준이 높게 나타났다. 반면 S-1 시료에 있어서는 2시간에서 24시간 사이의 THMFP의 증가가 가장 크게 나타났고 S-2 시료에 있어서는 48시간에서 96사이의 THMFP의 증가가 가장 크게 나타났다. Fig. 3에서는 7개소 시료들에 있어 THMFP의 반응시간에 따른 성분별 생성능변화를 제시

하였다.

CHCl₃의 경우 모든 시료들에 있어 2시간내의 증가가 매우 컸으며 S-7 시료를 제외하고는 이후 24시간, 48시간, 96시간 사이의 증가는 매우 미미하여 2hr-생성능 수준이 그대로 유지되었고 S-7 시료의 경우도 48시간에서 96시간사이에 다소 큰 증가가 있었으나 48시간까지는 2hr-생성능 수준이 대체로 유지되었다. 또한 일반적으로 자연수들의 경우 THMs생성에 있어서는 CHCl₃의 조성비가 가장 크므로 본 실험결과에서도 CHCl₃의 생성능은 전체 THMFP의 변화에 크게 반영되고 있음을 알 수 있었다. CHCl₂Br의 경우에 있어서는 S-4 시료를 제외하면 2시간이내의 증가양상이 대체적으로 CHCl₃의 경우나 전체 THMFP의 경우와 비슷하였으나 이후의 생성능변화에 있어 CHCl₃ 생성능 변화와는 달리 약간의 증가경향을 나타내었다.

CHClBr₂의 경우는 모든 시료들에 있어 48시간까지 전반적으로 시간경과에 따른 생성능의 증가를 나타내었고 48hr-생성능과 96hr-생성능 간에서는 S-2시료와 S-3시료를 제외하고는 거의 동일한 생성능 수준을 나타내었으며 CHBr₂의 경우는 S-7시료를 제외하고는 2~48시간 사이에 비교적 큰 생성능 변화를 보였다. 이상의 성분별 생성능의 변화로부터 THMFP에 있어 CHCl₃는 생성속도가 빨라 반응 초기에 대부분이 생성

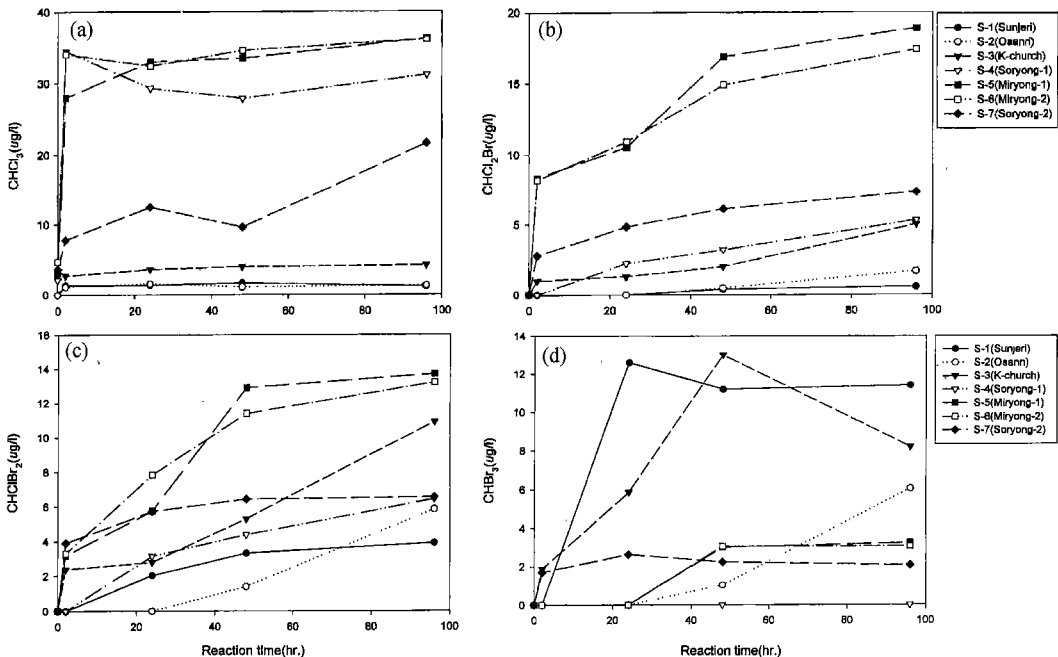


Fig. 3. Time course change of formation potential for a) CHCl₃, b) CHCl₂Br c) CHClBr₂ and d) CHBr₃.

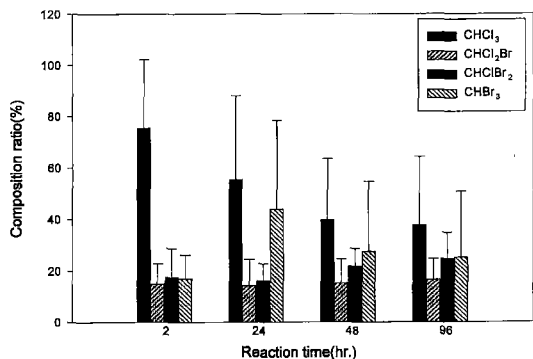


Fig. 4. Distribution of individual THMs for THMFp of drinking underground water.

되는 반면 CHClBr_2 및 CHBr_3 등의 Br치환물들은 보다 반응시간이 경과된 후 생성됨을 알 수 있었으며 상기에 언급된 S-1시료와 S-2시료에 있어서의 THMFp변화는 S-1의 경우 CHBr_3 의 생성능 변화, S-2의 경우 CHClBr_2 및 CHBr_3 의 생성능 변화를 크게 반영하는 것으로 이에 대해서는 반응시간의 경과에 따라 이들 Br유도체의 생성능이 증가함과 관련하여 원수의 수질특성등과 관련된 앞으로의 면밀한 검토가 필요할 것으로 사료된다. 또한 이러한 성분별 생성능의 변화 특성을 반영하여 7개시료들의 THMFp에 있어 성분별 조성비의 변화(Fig. 4)에 있어서도 반응시간이 길수록 CHCl_3 의 조성비는 감소하는 경향을 나타낸 반면 CHBr_3 와 CHCl_2Br 등 Br유도체들의 조성비는 증가하는 경향을 나타내었다. 윤 등¹²⁾은 수원시 정수장에서 염소처리에 의해 생성된 총 THMs중 CHCl_3 의 생성비중이 76%, CHCl_2Br 의 생성비중이 16~18%, CHClBr_2 의 생성비중이 3~5%의 수준으로 브롬 치환된 THMs농도는 전체 THMs농도의 1/5미만으로 분포하며 이는 국내 THMs 관련 연구 결과들^{13,14)}과 일치한다고 보고하였다. 본 연구에서 군산지역 7개 음용지하수중의 CHCl_3 평균 생성비중은 2hr-THMFp에 있어 75%로 윤등이 보고한 수원시 정수장에서의 CHCl_3 의 생성비중과 동일한 수준이었으나 이후 Br유도체들의 생성증가에 기인되어 24hr-THMFp, 48hr-THMFp, 96hr-THMFp에서는 38%~55%수준으로 평균생성비중이 시간의 경과에 따라 감

소하는 경향을 나타내었다. 이러한 THMFp에 있어 개별 THMs성분비의 변화는 각 성분들의 생체독성 수준과 결부되어 염소소독후 지하수 음용시의 위해성 평가에 반영되어질 수 있을 것으로 판단된다.

2. 군산지역 음용 지하수의 THMFp현황 및 그 특성

군산지역내 상수도보급율은 1999년말 현재 83%로 인근 농촌지역등에서는 상수도 설치에 대한 경제적 부담, 수질에 대한 심적인 신뢰감등에 의해 아직도 지하수를 식수로 음용하는 가정이 적지 않으며 이에 따라 수질감시 및 주민보건상의 측면에서 군산지역 71개 음용 지하수를 대상으로 THMFp현황을 조사하고자 하였다.

(1) 음용지하수의 수질분석

조사대상이 된 음용지하수들에 대한 수질분석결과는 Table 1과 같다. 전체 조사 음용지하수들의 평균 pH는 6.29 ± 0.39 로 전반적으로 약산성을 나타내었으며 KMnO_4 소비량은 $1.42 \pm 1.17 \text{ mg/l}$, UV_{254} 는 0.0134 ± 0.0126 , Cl⁻는 $37.65 \pm 36.44 \text{ mg/l}$, TOC는 $1.19 \pm 0.92 \text{ mg/l}$ 의 평균치를 각각 나타내었다. pH는 먹는물 수질기준과 비교할 때 일부시료들에서 기준치인 5.8이하로 나타났는데 이는 상대적으로 높은 CO_2 용해에 기인하는 것으로 볼 수 있으며 KMnO_4 소비량은 1개시료에서 특이하게 높은 수치(8.22 mg/l)를 나타내었으나 나머지 시료들에 있어서는 4 mg/l 이하였으며 모든 경우에 있어 먹는물 수질기준인 10 mg/l 를 만족하는 것으로 조사되었다. 염소이온은 대부분의 조사시료들에서 40 mg/l 이하였으나 전체 조사시료들중 10개 시료들에서 $80 \sim 160 \text{ mg/l}$ 로 비교적 높은 수치를 나타내었는데 이는 지역적으로 해안 인접 지역등에서 해수의 영향을 받는 데 기인하는 것으로 사료되며 먹는물 수질기준치인 250 mg/l 과 비교할 때는 모든 경우에 있어 기준치를 만족하였다.

(2) 음용지하수의 THMFp현황

상기 3.1의 THMFp 관련특성에 관한 실험결과로부터 지하수에 있어 THMFp는 조사된 반응시간중 역시 96시간후의 생성능(96hr-THMFp)에 의해 가장 종합적으로 반영이 됨을 알 수 있어 군산지역 음용지하수중의 THMFp현황을 조사하기 위한 본 연구에 있어서도 모

Table 1. Water quality of drinking underground water in Kunsan(N=71)

	pH	KMnO_4 Consumption(mg/l)	UV_{254}	Cl ⁻ (mg/l)	TOC(mg/l)
Average \pm S.D	6.29 ± 0.39	1.42 ± 1.17	0.0134 ± 0.0126	37.65 ± 34.44	1.19 ± 0.92
Min. ~ Max.	5.35 ~ 7.14	0.16 ~ 8.22	0.001 ~ 0.070	2.09 ~ 158.11	0.05 ~ 3.50

Table 2. THMFP levels in drinking underground water at Kunsan

	A	B	C	D
2h-THMFP	12.52 ± 16.01	9.51 ± 1.52	-	-
No. of samples	15	16	-	-
Min. ~ Max.	N.D ~ 45.59	N.D ~ 43.34	-	-
24h-THMFP	18.44 ± 19.00	-	2.80 ± 3.02	2.64 ± 3.21
No. of samples	11	-	15	15
Min. ~ Max.	N.D ~ 51.13	-	N.D ~ 10.29	N.D ~ 12.21
96h-THMFP	19.94 ± 22.08	26.04 ± 24.77	8.14 ± 6.39	4.55 ± 5.20
No. of samples	21	16	19	15
Min. ~ Max.	N.D ~ 72.03	2.03 ~ 98.8	N.D ~ 23.87	N.D ~ 19.70

A, B, C and D represent the designated sections in Fig. 1.

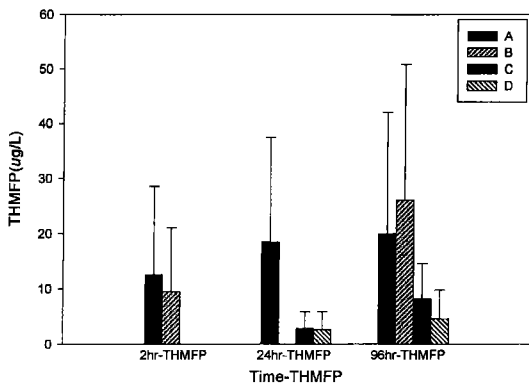


Fig. 5. THMFP levels in drinking underground water at Kunsan. A, B, C and D represent the designated sections in Fig. 1.

든 시료에 대한 96hr-THMFP를 측정비교 하였으며 아울러 가정에서 염소처리후 시간경과에 따른 THMs생성과 관련된 음용영향을 파악하기 위해 지역에 따라 2hr-THMFP 또는 24hr-THMFP를 측정하였다(Table 2, Fig. 5). 군산지역 71개소의 96hr-THMFP는 N.D.(불검출)~98.80 µg/l로 시료에 따른 큰 분포범위를 나타내었으며 30 µg/l이하가 대부분이었으나 10개 정도는 그 이상의 수치를 나타내었으며 간접적으로 THMs에 대한 음용수 수질기준인 100 µg/l과 비교할 때 일부지역에서는 이에 근접하는 수준으로 나타났다. 군산지역의 지역적 특성을 고려한 지역별 비교에 있어서는 군산시 서부의 A 및 B지역의 평균 96hr-THMFP가 19.94 µg/l와 26.04 µg/l로 각각 나타나 동부의 C 및 D지역의 8.14 µg/l와 4.55 µg/l에 비해 높은 수준으로 나타났으며 이에 대해서는 해수유입의 영향에 대한 규명과 함께 지질학적 성상 특성 및 주변 생활오수의 유입에 기인하는 유기물오염등과 연관하여 면밀한 검토가 필요할 것으로 사료된다. A지역에 있어서는 2hr-THMFP와

24hr-THMFP의 평균이 각각 12.52 µg/l와 18.44 µg/l로 나타나 2hr-THMFP는 96hr-THMFP에 비해 다소 낮은 수준이었고 24hr-THMFP는 96hr-THMFP와 큰 차이가 없었으며 B지역에서는 평균 2hr-THMFP가 9.51 µg/l로 96hr-THMFP에 비해 상당히 낮은 수준이었다. C와 D 지역에서는 평균 24hr-THMFP가 각각 2.80 µg/l, 2.64 µg/l로 96hr-THMFP에 있어서와 같이 A지역에 비해 매우 낮은 수준으로 나타났다.

윤 등¹²⁾은 표준식 정수처리공정을 운영하는 수원시 K정수장에서 염소주입율에 따라 처리수의 24hr-THMFP가 13~17 µg/l의 범위인 것으로 보고한 바 본 연구결과에서 C와 D지역에 있어서는 24hr-THMFP의 평균치와 농도분포범위가 K정수장 처리수에 비해 전반적으로 낮은 수준을 나타내었고 A지역의 경우는 K정수장 처리수에 비해 평균치는 약간 높은 수준이었으나 농도분포에 있어 일부 조사지점에서 그에 비해 현저히 높은 수준을 나타내었다. 또한 비교적 높게 나타난 A지역의 THMFP수준은 황¹⁵⁾이 보고한 1999년중 군산시 가정수돗물에서 염소소독에 의한 THMs 생성의 연중변화와 간접적으로 비교할 때 군산시 C정수장 처리공급수의 THMs 생성수준과는 전반적으로 큰 차이가 없으며 금강광역상수도 공급수의 THMs 생성수준보다는 낮은 것으로 판단된다. 본 실험의 결과들로부터 군산지역에서 THM생성능과 관련하여서는 C와 D지역의 음용 지하수가 전반적으로 A 및 B지역의 음용지하수에 비해 양호한 것으로 평가할 수 있으며 이에 대해서는 A와 B지역이 해안에 가까운 지역적 특성을 고려할 때 해수유입의 영향등에 대한 향후의 면밀한 검토가 필요할 것으로 제기될 수 있으나 자료들의 큰 편차범위로부터 추정될 수 있듯이 개별적인 THMFP는 지하수맥의 상이에 따른 지질특성 및 가별별 지하수 관리실태등의 복합적요인에 따라 크게 좌우되는 것으로 판단되며 아울러 지하수를 실제 염소처리후의 음용시에는 보존방법에 따른

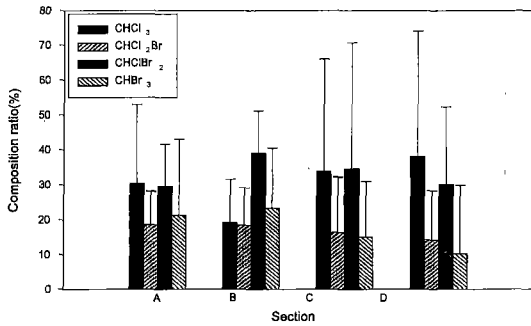


Fig. 6. Distribution of individual THMs for 96hr-THMFP of drinking underground water(71 samples).

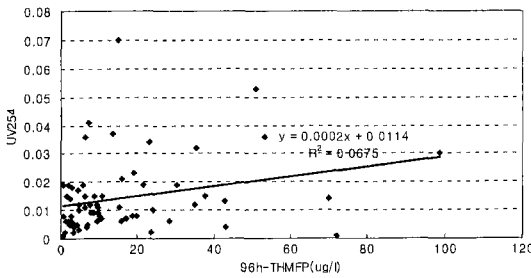


Fig. 7. Corelation between UV₂₅₄ and 96h-THMFP in drinking underground water.

반응온도, 반응시간등의 차이에 의해 THMFP의 수준이 달라짐도 위해성 평가를 위해 고려해야 할 것으로 사료된다. Fig. 6은 THMFP의 성분별 조성비를 도시한 결과로 CHCl₃의 평균 조성비는 18%~38%의 범위에서 지역별에 따른 차이를 보였으며 B지역에서 가장 낮은 수준을 나타내었고 상기 1항(지하수에 있어 THMFP 관련특성)의 7개시료들에 대한 경우에 있어서의 CHCl₃의 평균 조성비 38%와 비교할 때 전체 조사시료들에 있어 전반적으로 낮은 조성비 수준을 보였다. Br치환체들에 있어서는 7개시료들에 대한 경우와 비교할때 CHCl₂Br의 조성비수준이 높은 경향을 나타낸 반면 CHBr₃의 조성비수준이 낮은 경향을 나타내었다.

(3) 음용지하수의 수질특성과 THMFP의 상관성

본 연구에서 71개소의 음용지하수 시료들에 대해 수질특성과 THMFP의 상관성을 파악한 결과 대상 수질항목들(pH, KMnO₄ 소비량, UV₂₅₄, TOC, Cl) 모두에 있어서 96hr-THMFP와의 상관성이 R²<0.1로서 매우 미미한 것으로 나타났다. 유기물 지표들과 관련하여 Suffet등¹⁶⁾은 음용수에 있어 비특이적인 유기물 측정지표들이 실제 THMs생성과의 높은 상관성을 보여주지 못한 것으로 지적한바 본 연구에서도 이를 반영하는 결과를 보였다.

IV. 결 론

군산지역 음용지하수에 있어 THMFP는 반응시간에 따른 증가를 나타내어 96hr-THMFP가 2hr-, 24hr- 및 48hr-THMFP에 비해 높은 수준을 나타내었으며 CHCl₃의 높은 조성비중에 기인하여 대부분의 경우 2hr-THMFP의 수준이 크게 반영되었다.

반응시간에 따른 THMFP의 성분별 생성능변화에 있어 CHCl₃은 대부분 초기 2시간 이내에 생성이 되는 반면 CHCl₂Br, CHBr₃등은 48시간까지 생성능의 증가를 나타내었으며 이에 따라 CHCl₃의 조성비는 시간의 경과에 따라 감소하는 반면 브롬치환체들의 조성비는 시간의 경과에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 군산 지역 음용지하수(71samples)의 96hr-THMFP는 N.D.(불검출)~98.80 μg/l로 시료에 따른 큰 분포범위를 나타내었으며 전반적으로 군산 동부지역의 음용 지하수가 서부지역의 음용지하수에 비해 THM생성능과 관련하여서는 양호한 수질로 평가되나 해수유입의 영향에 대한 규명과 함께 결과치들의 큰 편차로부터 개별적인 THMFP는 같은 지역일지라도 지하수맥의 상이에 따른 지질성상 특성 및 가정별 지하수 관리실태등에 따라 크게 좌우되는 것으로 판단됨을 고려해야 할 것이다. 음용지하수에 있어 pH, KMnO₄ 소비량, UV₂₅₄, TOC, Cl등의 수질항목들과 96hr-THMFP과의 상관성은 매우 미미하였다.

참고문헌

- 1) Sontheimer, H.: Drinking water and its treatment, *Environ. Sci., Tech.*, **14**(1), 510-514, 1980.
- 2) Hileman, B.: The chlorination question, *Environ. Sci. Tech.*, **16**(1), 15A-18A, 1982.
- 3) 오정우, 윤재홍 : 상수도 관로내에서의 THMs생성특성, 한국 물환경학회지, **14**(2), 223-228, 1998.
- 4) 오상은, 왕창근 : 파과점 염소주입에 의한 NH₃-N 제거 및 THM생성의 최소화를 위한 dechlorination, 한국 수질보전학회지, **13**(2), 137-144, 1997.
- 5) Doull, J., Klassen C. D., and Amdur, M. O.: Toxicology, Macmillan Publishing Co., New York, 1997.
- 6) Jorgenson, T. A., Meierhenry, E. F., and Robinson, M.: Carcinogenicity of chloroform in drinking water to male Osborne Mendel rats and female B6C3F1 mice, *Fundam. Appl. Toxicol.*, **5**, 760-769, 1985.
- 7) Testai, E., Marzio, S. D., and Vittozzi L.: Multiple activation of chloroform in hepatic microsomes from uninduced B6C3F1 mice, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **104**, 496-503, 1990.
- 8) Kanarek M. S. and Young, T. B.: Drinking water treatment and risk of cancerdeath in Wisconsin, *Health Perspective*, **46**, 179-186, 1982.

- 9) Hume, A. S. and Ho, I. K.: Toxicity of solvents, In Cockerham, L. G. and Shane, B. S., Basic environmental toxicology, CRC Press Inc., 173-174, 1994.
- 10) 김남천, 이진하譯 : 상수시험법, 동화기술, 1997.
- 11) 환경부 : 수질 공정시험법, 동화기술, 2000.
- 12) 윤제용, 송명석 : 기존 정수처리 공정에서 트리할로메탄 생성 및 제거 특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, **12**(2), 159-166, 1996.
- 13) 권숙표, 조희제, 정 용 : 서울지역 수도수 중의 Trihalomethane 조사연구, 연세대학교환경공해 연구소, 환경과 공해, **2**, 77-85, 1991.
- 14) 정 용, 신동천, 장재연, 이보영, 조성준 : 음용수중 유독성 미량 유기오염물질의 오염 도와 위해성, 연세대학교 환경공해 연구소, 환경과 공해, **1**, 377-388, 1991.
- 15) 황갑수 : 군산시 가정 수도물 및 실내 풀장수에 있어 THMs생성에 관한 연구, 한국환경위생학회지, **26**(1), 78-84, 2000.
- 16) Suffet, I. H., Brenner, L., Coyle, G. T., and Cairo, P. R.: Evaluation of the capability of GAC and XAD-2 resin to remove trace organics from treated drinking water, *Environ. Sci. Technol.*, **12**(12), 1315-1322, 1978.