

서울시 수돗물(배급수 계통)에서의 소독부산물 분포특성 - 2004년도 -

수질연구부 수질분석과

김창모, 장현성, 이인숙, 이수원, 안국현, 이대교, 박현, 오세종, 박수환

Characteristics of Disinfected Byproducts in Drinking Water Distribution System of Seoul

Water Quality Research Division

Chang Mo Kim, Hyun Seong Chang, In Suk Lee, Su won Lee, Kuk Hyun Ahn,
Dae Kyo Lee, Hyeon Park, Sea Jong Oh, Su Whan Park

ABSTRACT - Total trihalomethanes (TTHMs), dichloroacetic acid (DCAA) and trichloroacetic acid (TCAA) that are the major disinfected byproducts (DBPs) are monitored continuously in drinking water in Seoul. Examination on characteristics of DBPs is crucial to judge the safety of drinking water in Seoul. we carried out from January 2004 to December 2004 in water supply system. This examination shows that DBPs such as TTHMs, HAAs, HANs and Chloral hydrate increase in drinking water distribution system. The concentration of TTHMs was 0.009 mg/L in purified water, 0.013 mg/L in tap water by direct service, and 0.015 mg/L in tap water through water tank, respectively. In summer, the concentration of DBPs was higher than in spring and winter. It might be due to the increasing temperature of water. Proportions of DBPs in water supply system are TTHMs 41.2 %, HAAs 40.4 % , CH 12. 8 %, HANs 6.1 %, respectively. When we were used the modified William H. Glaze's method in analysis of Formaldehyde, It shows that R^2 is 0.996 in the range of warking standards 5 ~ 30 $\mu\text{g/L}$. All samples are not detected in this experiment.

Key words: Disinfected byproducts (DBPs), TTHMs, HAAs, Foraldehyde

서론

2004년 말 현재 서울시에서 관리하고 있는 소독부산물은 총트리할로메탄류(TTHMs) 4 항목, 할로아세토니트릴류(HANs) 4 항목, 클로랄 하이드레이트(CH), 할로아세틱 에시드류(HAAs) 6 항목, 클로로페놀류(CPs) 3 항목 및 포름알데히드 등 약 20 종에 이른다. 그러나, 아직까지 알려지지 않은 소독부산물을 포함하면 약 780여 종에 이르는 것으로 보고되고 있다(최윤희, 1999년). 뿐만 아니라, 최근에 미국에서는 NDMA(*N*-nitrosodimethylamine)라는 물질이 신중 소독부산물로서 대두되고 있다(최정훈, 2004년). 이 물질은 통상적으로 로켓의 추진연료에 사용되고 있는 것으로 알려져 있는데, 식품 중에서도 발효 과정에서 일부 생성된다. 그러나, 이 물질은 극미량으로도 인체에 암을 유발시킬 수 있는 것으로 보고되고 있기 때문에 향후 문제시 될 소지가 큰 것으로 알려져 있다.

따라서, 우리 연구소에서의 소독부산물 관리는 미국, 유럽연합(EU) 및 일본 등과 같은 선진국에서 논의되고 있는 신중 소독부산물, 분석법, 처리방법 및 규제 등에 관한 최신 정보나 동향의 파악이 선행되어야 한다. 아울러, 먹는물수질기준이나 감시항목으로 지정된 항목들은 배급수 계통까지 지속적으로 모니터링함이 필요하다. 또한, 이제는 원수중의 유기물질과 정수장에서 주입한 염소가 반응하여 소독부산물이 생성되므로 원수의 소독부산물 생성능이나 천연유기물질(NOM, natural organic matter)의 특성을 파악하는 일도 이루어져야 할 것이다. 이렇게 수집된 데이터들은 소독부산물 저감을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며 수질 정책을 수립하는 데도 도움이 될 것이다.

본 보고서에서는 2004년 1월 ~ 2004년 12월의 기간 동안 배급수 계통에서의 염소소독부산물을 모니터링한 결과와 2004년 하반기부터 서울시 감시항목으로 지정된 포름알데히드의 분석 결과에 대하여 고찰하였다.

배급수 계통의 염소소독부산물 분포

1. 조사대상 및 방법

이번 수질조사에서는 총트리할로메탄류(TTHMs) 4 항목, 할로아세토니트릴류(HANs) 4 항목, 클로랄 하이드레이트(CH), 할로아세틱에시드류(HAAs) 6 항목, 총 15 항목을 검사하였다. 검사기간은 2004년 1월 ~ 12월까지 1년간 조사하였고, 검사 주기 및 대상은 매월 2 개 정수장 배급수 계통 수계(정수→직수→탱크수)로 하였다.

트리할로메탄류의 시험방법은 US EPA 524.2, 할로아세토니트릴과 클로랄 하이드레이트는 US EPA 551.1, 할로아세틱에시드류는 US EPA552.2로 채택하였다. 트리할로메탄류는 Tekmar 3000 concentrator Purge & Trap으로 전처리하여 HP 5890 series gas chromatograph에 HP 5972 series mass selective detector가 장착된 장비로 분석하였다. 할로아세토니트릴류와 클로랄 하이드레이트의 분석 기기는 Varian Star 3600CX GC/ECD를 사용하였다. 할로아세틱에시드류는 HP 5890 II GC/ECD 혹은 Varian CP-3800 GC/ECD를 사용하여 분석하였다.

2. 실험결과 및 고찰

2.1 배급수 계통에서의 소독부산물 발생 현황

일반적으로 배급수계통에서 소독부산물은 잔류염소와 잔존 유기물의 지속적인 접촉에 의해 점점 증가되는 것으로 보고되고 있다(서울시 상수도연구소, 2004년). 한 정수장의 배급수 계통 추이가 전 정수장의 추이와 반드시 일치하는 것은 아니지만, 강북 정수장의 2004년도 검사 결과는 위의 사실을 잘 대변하고 있다. Figure 1은 각각의 소독부산물에 대한 배급수계통에서의 분포를 보여주고 있다. TTHMs은 정수 0.009 mg/L, 직수 0.013 mg/L, 수도꼭지수 0.0015 mg/L로 산술적으로 계산할 때 정수에 비해 수도꼭지수가 대략 70 % 정도 증가한 것으로 나타났다. 역시 절대적인 농도는 낮지만, HAA₂, HANs 및 CH도 정수에 비해 관말 수도꼭지수의 농도가 170 % 수준으로 증가하는 경향을 나타내었다.

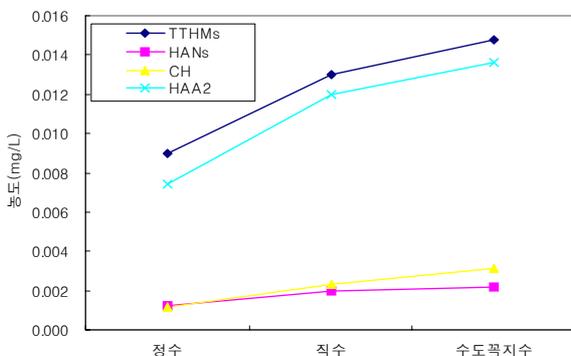


Figure 1. The Distribution of DBPs in water supply system

Figure 2는 DCAN(Dichloroacetoneitrile)에 대한 분해메커니즘에 대한 모식도로서 DCAN의 생성은 대부분의 DBPs와 마찬가지로 반응시간, 염소 투입량, pH 및 이 물질의 근본 물질인 잔류 아미노산과 같은 단백질 계통의 물질과 밀접한 관련이 있다(David A. Reckhow의 3인, 2001). 실험적인 연구에서는 수중 휴믹물질중의 질소량이 DCAN의 생성과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었다. 그 외에도 조류, NOM(천연유기물질)중의 염기 성분과도 관련이 있다. 잔류염소의 존재하에 DCAN은 위와 같은 물질과 함께 몇 시간 혹은 며칠에 걸쳐 서서히 형성이 된다. 그리고, 높은 pH에서 반응속도가 더 빨라지는 것으로 알려져 있다.

반면, DCAN은 Figure 2에서 보는 바와 같이 수산화물의 간섭, 차아염소산염 및 물의 가수분해(hydrolysis)의 3 가지 경로에 의해 분해되는 것으로 알려져 있다. 또한, DCAN이 디클로로아세트아마이드(dichloroacetamide)라는 중간 물질 생성과정을 거쳐 최종적으로 디클로로아세틱에시드(DCAA)로 가수분해되는 과정을 보여주고 있다.

또한, pH 6~8.5에서 차아염소산염(hypochlorite)과 같은 유리 염소의 존재시에 이 물질이 촉매제 역할을 함으로서 분해속도가 빠른 것으로 알려져 있다. HANs 중에는 TCAN(Trichloroacetoneitril)의 분해속도가 DCAN 보다 빠른 것으로 알려져 있는 데, 실제적으로 수도관에서 DCAN이 미량 검출되는 반면 TCAN이 거의 검출되지 않는 것을 보면 위와 같은 이유인 것으로 추정된다.

위의 고찰에서 DBPs는 배급수계통에서 시간이 경과할수록 증가하는 경향이 있고, 배급수계통에서의 미생물적인 안전성을 추구하고자 잔류염소를 일정 농도 이상 유지해야하므로 정수장에서 DBPs 및 TOC 농도를 좀 더 낮추어서 정수를 내보냄이 필요함을 알 수 있다.

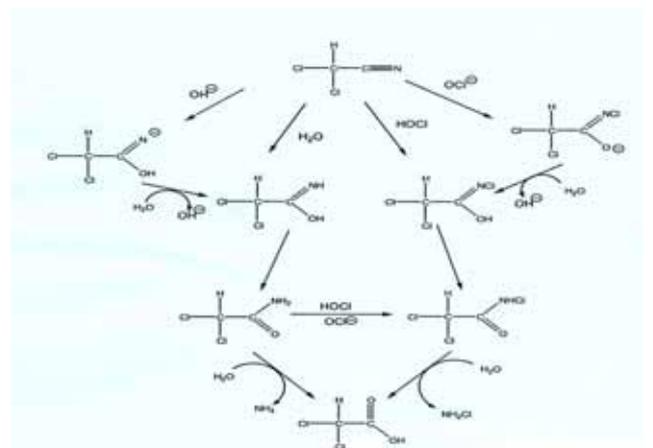


Figure 2. Mechanisms for the degradation of DCAN

2.2 소독부산물의 월별 추이

Figure 3 및 Figure 4에 대표적인 소독부산물인 TTHMs와 HAA₂의 월별 농도 분포를 나타내었다.

TTHMs의 월별 농도 분포를 고찰하기 앞서 이 물질에 대한 메커니즘에 대해 살펴보면 아래 두 가지 메커니즘을 통해 형성되는 것으로 알려져 있다(이병창 외 4인, 2003).

전구물질 → 할로겐화 → 가수분해 → THMs 형성 (1)
 전구물질 → 산화 → 할로겐화 → 가수분해 → THMs 형성 ... (2)

(1)의 반응경로를 통한 천연유기물질과 같은 전구물질(Precursor)의 염소화 과정은 반응속도가 빠르고 보통 1분 이내에 완료되어진다. 그러나, 거대분자인 휴믹산의 THMs 반응속도는 상당히 느리기 때문에 (1)의 반응경로에 의한 생성비율은 적게 나타난다. 그래서, (2)의 반응경로에 의해 거대분자인 휴믹산이 염소에 의해 산화되어 저분자로 산화 분해된 다음 염소화 반응에 의해 THMs을 형성한다.

TTHMs의 경우 주로 수온의 영향으로 7~9월 중에 비교적 높게 검출되는 것으로 조사된 바 있는 데(서울시 상수도연구소, 2004년), 2004년 역시 8월에 최대값 0.036 mg/L, 최소값 0.021 mg/L, 평균 0.027 mg/L로 가장 높게 나타났다.

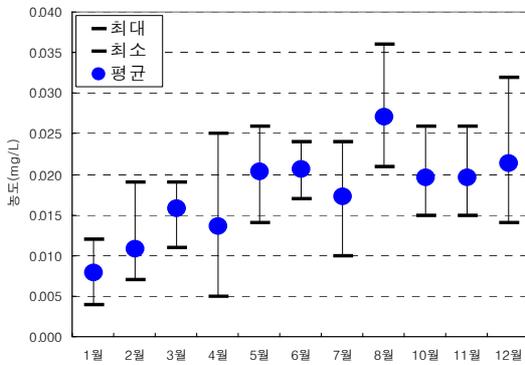


Figure 3. Monthly Variations of TTHMs

HAAs도 TTHMs와 유사한 월별 추이를 보여 8월에 최대값 0.0306 mg/L, 최소값 0.0155 mg/L, 평균 0.0234 mg/L로 가장 높게 검출되었다.

따라서, 미량유해물질에 해당되는 소독부산물의 저감 측면에서만 고려할 때 연중 안정되고 좀 더 안전한 수돗물을 지속적으로 공급하기 위해서는 탁도 등 원수 수질의 급격한 변동, 고수온 및 정수장에서의 높은 잔류염소 유지 등의 하절기에 나타나는 불리한 현실에도 불구하고 소독부산물의 저감 노력이 필요하다고 생각된다.

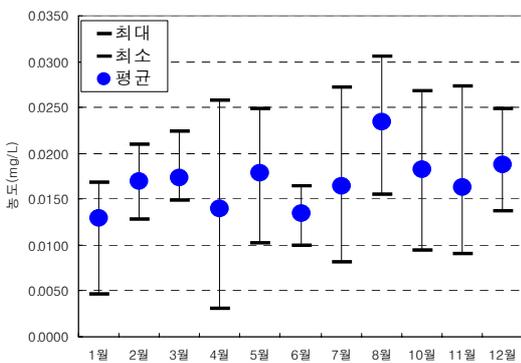


Figure 4. Monthly Variations of HAAs

2.3 소독부산물의 구성 비율

Figure 5는 배급수계통(정수, 직수, 수도꼭지수 포함)에서의 DBPs 구성 비율을 나타낸 것이다. 아래의 각 항목별 백분율은 정수, 직수 및 수도꼭지수에 대한 1년간 데이터를 평균하여 산출한 값이다.

검사 결과, TTHMs 0.017 mg/L, HAA₂ 0.0167 mg/L, CH 0.0051 mg/L 및 HANs 0.0025 mg/L 순으로 전체 소독부산물중 TTHMs 41.2 %, HAA₂ 40.4 %로 두 종이 약 82 %를 차지하였다. 물론, 이 외에도 미지의 수많은 DBPs가 존재할 수 있겠지만, 현재 법상으로 규제하고 있는 소독부산물 중 위의 2 종이 주종을 이룬다고 할 수 있다.

HAA₂에서 DCAA와 TCAA의 비율은 각각 48 %와 52 %를 차지하였으며, TTHMs중 클로로포름은 약 78 %를 점유하는 것으로 나타났다. 이는 2003년도의 조사와 거의 비슷한 수치로 크게 다르지 않았다(서울시 상수도연구소, 2004년). 한편, 수돗물을 가열할 경우 TCAA와 클로로포름은 DCAA에 비해 수중에서 비교적 쉽게 제거되는 것으로 보고된 바 있다(서울시 상수도연구소, 2002년).

그 외 물질군중에는 CH가 12.3 %로 HANs 6.1 %에 비해 높게 나타났다. 이는 CH(Chloral hydrate)가 알데히드 계통의 화합물로 수중의 염소가 과다할 때는 HANs가 높게 나타나고 염소가 제한적일 때는 알데히드가 높게 나타난다는 보고가 있어, 이와 관련이 있을 것으로 사료된다. 서울시 수돗물의 경우 통상적으로 CH가 DCAN에 비해 높게 검출되는데, 수돗물이나 배급수계통에서의 잔류염소량 및 DCAN이 유리잔류염소에 분해가 되는 점과 관련이 있을 것으로 추정된다.

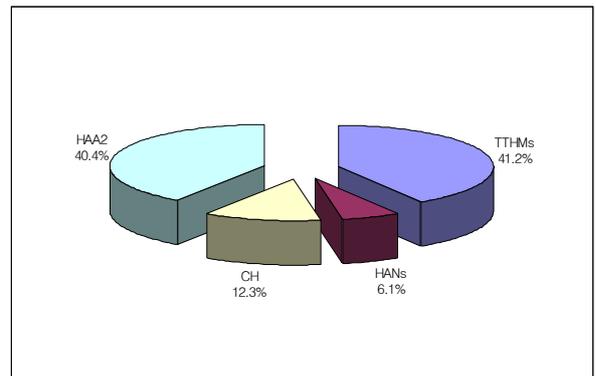


Figure 5. Portions of DBPs in Water Supply System

고도정수처리에 대한 준비

1. 오존소독부산물 분석에 대한 필요성

취수원인 잠실수중보~팔당댐까지의 원수의 수질이 급격하게 악화되고 있지는 않으나, 원수의 수질 개선 상태가 담보 상태를 유지하고 있다. 또한, 노후관 교체 등 서울시의 많은 노력에도 불구하고 서울 시민들의 수도물 수질에 대한 인식과 불만은 개선되지 않고 있다.

이에 서울시에서는 질적으로 좀 더 고급화된 수도물을 시민에게 공급하기 위하여 수 년 전부터 우리 한강 수질에 적합한 고도정수처리 시스템 도입을 준비하여 왔다. 이에 발맞추어 2004년도에는 영등포 정수장의 1, 2 공장에 고도정수처리 도입을 위해 기본 설계를 실시하였다. 그리고, 2005년도에는 광암 정수장에 대하여 기본 설계를 실시할 예정이다.

이러한 고도정수처리 방법 중 하나인 오존 소독의 경우, 여러 가지 장점에도 불구하고 그 사용에 따른 부산물을 갖고 있으며, 또한, 처리수 수도물에서 미량 생성됨에도 불구하고 유해성을 띠는 것으로 알려져 있다. 오존 소독부산물로는 대표적으로 포름알데히드와 브롬산 이온 등이 알려져 있는데, 환경부에서는 KIST에서 수행한 “2003년도 수도물의 미량유해물질 조사결과” 보고서를 바탕으로 2004년에 포름알데히드를 수질감시항목으로 추가하였다. 우리 연구소에서도 2004년 하반기부터 수질 감시항목으로 지정하여 관리하고 있다.

일반적으로 포름알데히드는 GC나 HPLC를 이용하여 분석하고 있는데, 이번 조사에서는 전자의 기기분석법을 통한 포름알데히드의 분석법을 정립하고, 원수나 후염소 처리 수도물에 대해서도 이의 발생 가능성을 조사하여 향후 있을 고도정수처리(오존 처리) 도입에 대비하고자 한다.

2. 포름알데히드의 특성 및 검출 현황

오존소독이나 염소소독과정에서 유기물이 산화되어 생성되는 부산물로 잘 알려져 있는 포름알데히드(Formaldehyde)는 분자식이 HCHO, 분자량이 30이며 수용성으로 물에 잘 녹으며 끓는점이 19.5 °C로 대기중에서 탄화수소의 광분해로 생성되나, 수시간 이내 광분해되어 쉽게 휘발되는 물질로 알려져 있다.

또한, 살균력이 있어 소독제로 많이 사용되고 화장품, 비료, 제조제 화합물 제조 또는 포름알데히드를 물에 용해시켜 35 %의 농도로 제조한 포르말린의 형태로 사용하고 있다. 2003년 11월에는 포르말린 폐액을 한강 수계에 방류한 사실이 언론에 보도되어 문제가 된 바 있다(2003년 11월 2일, 방송 3사 뉴스 및 각 신문사 등).

흡연자의 경우 하루 0.3 mg 정도를 흡입한다는 포름알데히드는 농도가 10 mg/L 이하에서는 인체가 느끼는 정도이며 30 mg/L 정도에서는 질병 증상을 유발할 수 있으며 100 mg/L에서 1분 이상 노출시 심각한 영향을 초래

하는 것으로 보고되고 있다. 포름알데히드의 노출에 대한 증상으로는 정서적 불안정, 기억력 상실, 정신집중 곤란 등을 들 수 있다. 또한, 포름알데히드가 수중에 존재할 때는 인체에 유해하지 않으나, 대기로 전파되어 호흡에 의해 노출된 경우 발암 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 현재 IARC에서는 포름알데히드를 2A 등급, EPA에서는 B1 등급의 발암성 물질로 분류하고 있다.

국내의 경우 포름알데히드는 먹는물수질기준으로 지정되어 있지는 않으나, 환경부(2004년) 및 서울시 감시항목(2004년 9월)으로 지정하여 모니터링하고 있다. 세계보건기구(WHO)에서는 0.9 mg/L 이하의 권장치로 설정되어 있고, 미국은 발암물질로 규정하고는 있으나, 수질기준은 아직 지정되지 않았으며, 일본은 2004년 4월부터 수질기준 항목으로 지정하여 0.08 mg/L 이하로 규제하고 있다.

검출현황을 살펴보면 미국에서는 오존 소독시 30 ug/L 생성되며, 지표수에서 12 ug/L, 빗물에서도 110 ug/L 정도 검출되었다는 보고가 있다. 국내의 경우 한국과학기술연구원(KIST)에서 1998년~2000년도에 전국 정수장 정수를 대상으로 조사한 자료를 보면 총 시료 419 점 중 173 점이 검출되어 41 %의 검출율을 보였고, 5.4~101.9 ug/L의 범위로 검출된 것으로 조사되었다. 우리 연구소와 연세대의 공동 연구 검사 자료에서는 구의 원수가 5.9 ug/L, 구의 정수가 5.4 ug/L, 임상활성탄 고도처리수가 4.1 ug/L로 WHO 기준의 1/100 이하수준으로 미량 검출된 것으로 조사되었다.

3. 포름알데히드 시험법의 적용

3.1 시험방법의 고찰 및 선정

작용기로 Carbonyl기(-CO-)가 작용하는 화합물을 카보닐 화합물이라고 하는데, 여기에는 포름알데히드를 포함하여 Acetaldehyde, Propanal, Butanal 및 Pentanal 등이 포함된다. 일반적으로 수질시료 중의 포름알데히드는 단독으로 분석하지 않고 다른 카보닐 화합물까지 포함하여 동시분석을 하여 시험하게 된다.

이번 조사에서는 포름알데히드의 대표적 시험방법인 EPA 방법 554(유도체화고체상추출법의 일종)와 EPA 방법 556(유도체화 액액추출법의 일종)을 검토하였다. EPA 방법 554는 상수원수나 처리수 중에 포함되는 카보닐 화합물을 DNPH(2,4-dinitrophenylhydrazine)라는 물질로 유도체화시켜 파장 360 nm에서 방출하는 UV 검출기가 부착된 액체크로마토그래프(HPLC)를 이용하는 방법이다. 반면, EPA 방법 556은 PFBHA(O-(2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl)-hydroxylamine hydrochloride)를 이용하여 옥심(oxime)이라는 알데하이드-PFBHA 유도체로 만들어 전자포획형 검출기(ECD)가 장착된 기체크로마토그래프(GC)를 이용하여 측정하는 방법이다.

포름알데히드 분석시 HPLC를 사용하는 방법은 검출한계가 6 ug/L, GC/ECD를 사용하는 방법은 검출한계가 1 ug/L로 후자가 더 좋다는 자료가 있고, 현재 검사 대상이 오존 처리수가 아닌 염소 처리된 수도물인 점을 감안하여 좀 더 검출한계가 낮은 GC/ECD법을 본 조사에서는 검토하고자 하였다.

3.2 포름알데히드의 채취, 전처리 및 분석조건 설정

본 시험은 EPA 방법 556에 비해 필요한 시료량이 5 mL로 적고 상대적으로 간략한 전처리를 거치는 William H. Glaze(1989년)의 방법을 토대로 이루어졌다.

먼저 VOC용 40 mL 용량의 투명한 바이알에 시료를 채취하였다. 원수를 채취할 때는 시료 40 mL에 황산동(CuSO₄ · 5H₂O) 20 mg을 미리 첨가하였다. 이것은 미생물의 증식에 의해 유기물이 분해되어 포름알데히드가 시료 보존 기간 동안 증가하는 것을 방지해 준다(EPA 방법 556, 1998). 정수의 경우에는 유리잔류염소를 없애기 위해 염화암모늄 20 mg을 첨가하였다. 첨가된 염화암모늄은 유리잔류염소와 결합하여 모노클로라민을 형성하며, 형성된 모노클로라민이 카르보닐 화합물의 생성을 억제하는 작용기작을 갖고 있다.

포름알데히드의 전처리 과정을 설명하면, 상온 상태에서 시료 5 mL에 pH를 4로 조절하기 위하여 KHP(Potassium hydrogen phthalate) 50 mg을 주입하고 15 mg/mL 농도의 PFBHA 0.25 mL를 첨가한 후 35 ± 2 °C 에서 2 시간 동안 유도체화 시켰다. 그 후 18 N 황산 0.05 mL를 적가하고 헥산 1 mL를 가하여 추출하였다. 이렇게 추출된 용매는 다시 5 mL의 0.1N H₂SO₄을 가한 산 세척 과정 및 탈수과정을 거쳐 전처리 과정이 마무리된다.

Table 1은 포름알데히드의 분석 조건을 나타낸 것이다. 사용 기기는 ECD가 장착된 HP 5890 II GC이다. 주요한 분석 조건에 대하여 살펴보면 포름알데히드의 끓는점이 낮음에도 불구하고 다른 동시 분석항목 및 내부표준용액(1,2-dibromopropane)의 끓는점이 140 °C 정도인 점을 감안하여 Injector 유입부의 온도를 190 °C로 높게 설정하여 충분한 기화를 유도하였으며 Detector의 온도는 265 °C로 설정하였다.

Table 1. Analytical Conditions of Formaldehyde

Item	Ccondition		
	Column	DB-1701(30m×0.25mm i.d.×0.25um film thickness)	
Carrier gas	99.999 % N ₂		
Injection port	Splitless Mode, 1 min split delay		
Inlet Temp.	190 °C		
Oven Temp. Program (52 min)	Rate, °C/min	Temp., (°C)	Hold, (min)
		50	1
	4	210	
	20	240	10
Detector temperature	ECD at 265 °C		
Injection Vol.	1 um		

3.3 분석법에 의한 표준시료의 분석

포름알데히드 표준용액을 내부표준법으로 하여 나타낸 결과는 Figure 6과 같다.

먼저 내부표준용액의 크로마토그램은 5.8 분에 나타났으며 포름알데히드는 약 10 분경에 나타났다. 또한, 포름알데히드 작업 표준용액 농도 5 ~ 30 ug/L의 범위에서 검량선을 작성하였을 때 r² 값이 0.996으로 양호한 직선성을 얻을 수 있었다.

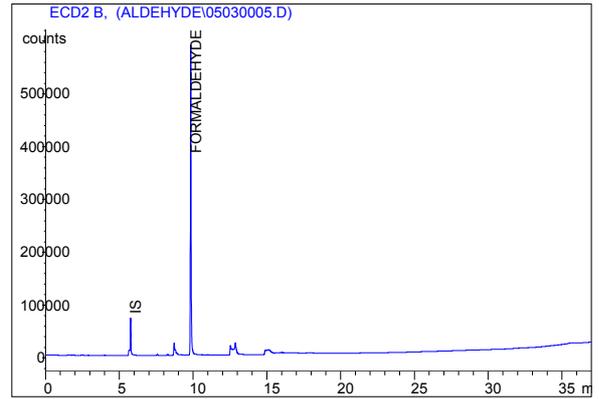


Figure 6. The Chromatogram of Formaldehyde

3.4 향후 분석법 과제

본 시험에서 염소 처리한 수돗물에서 포름알데히드의 피크가 뜨는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 일부 공시료에서는 포름알데히드 피크가 뜨기도 하였다. 이는 포름알데히드의 오염원이 실험실 대기나 전처리 과정에서 많이 존재함을 의미하는 데, 시험시 좀 더 주의해야 할 것으로 사료된다.

포름알데히드의 정량한계는 10 ug/L로 ECD를 사용함에도 불구하고 비교적 높게 나타났는데, 향후 추출할 시료량을 증가시켜 농축 배수를 올리는 점, 추출용매(헥산)의 사용량을 증가시키는 점 등을 검토해야 할 것으로 판단된다.

아울러 기기 분석 조건을 좀 더 적정하게 조정하여 포름알데히드 외에 동시에 분석되는 항목도 검사할 수 있도록 해야 할 것이다

4. 시험결과 및 고찰

2004년 하반기부터 분기 당 1회 주기로 원수(취수원수로 전처리하지 않음) 6점, 정수 6점 및 수도꼭지수 6점을 대상으로 분석을 실시하였다.

검사 결과 일부 수도꼭지수에서 정량한계 10 ug/L 이하의 미량 검출된 것을 제외하고는 모든 시료에서 검출되지 않았다.

이번 검사 결과는 한강 원수 및 염소처리 수돗물을 대상으로 한 것으로 앞으로는 오존처리수에 대해서도 검사해야 할 것으로 사료된다.

종합요약

1. 배급수계통의 염소소독부산물 분포

- 대표적 소독부산물인 TTHMs의 경우 정수 0.009 mg/L, 직수 0.013 mg/L, 수도꼭지수 0.0015 mg/L로 관말로 갈수록 증가하였다.
- HAA₂, HANs 및 CH도 TTHMs의 경향과 유사하게 정수에 비해 관말 수도꼭지수의 농도가 170 % 수준으로 증가하는 경향을 나타내었다.
- 소독부산물의 월별 추이를 조사한 결과 TTHMs 및 HAA₂의 평균 농도가 각각 0.027 mg/L, 0.0234

mg/L로 8월에 가장 높게 나타났다.

- 배급수계통에서의 DBPs 구성 비율은 TTHMs 0.017 mg/L, HAA₂ 0.0167 mg/L, CH 0.0051 mg/L 및 HANs 0.0025 mg/L 순으로 전체 소독부산물중 TTHMs 41.2 %, HAA₂ 40.4 %로 두 종이 약 82 %를 차지하였다

2. 오존소독부산물의 분석법 적용 및 검사결과

- William H. Glaze(1989년)의 방법을 적용한 결과 포름알데히드 검정범위 5 ~ 30 ug/L의 농도 사이에서 r² 값이 0.996으로 양호한 검량선을 얻을 수 있었으며, 모든 시료에서 검출되지 않았다.

국 문 요 약

염소소독부산물은 정수처리과정 중 염소소독 단계에서 염소와 수중 유기물이 반응하여 생성되며 주요 소독부산물인 Total Trihalomethanes(TTHMs), Haloacetic acids(HAAs) 중 Dichloroacetic acid(DCAA)와 Trichloroacetic acid(TCAA), 일부 Haloacetonitriles(HANs) 및 Chloral hydrate는 지속적으로 수돗물 중에서 검출되고 있다. 따라서, 서울시 수돗물의 안전성을 확보하기 위하여 이들 부산물에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 이번 조사는 2004년 1월부터 2004년 12월까지 1년 동안 이루어 졌으며 염소소독부산물에 대해서는 배급수 계통에서의 분포를 대상으로 실시하였으며 오존소독부산물에 대해서는 분석법 적용에 주안점을 두었다. 조사 결과 관말로 갈수록 TTHMs, HAA₂, HANs 및 CH 등이 증가하는 경향을 보였으며, 이들 부산물의 농도는 수온 및 염소주입량의 영향으로 여름철인 8월에 가장 높게 나타났다. 배급수계통에서의 DBPs 구성 비율은 TTHMs 0.017 mg/L, HAA₂ 0.0167 mg/L, CH 0.0051 mg/L 및 HANs 0.0025 mg/L 순으로 전체 소독부산물중 TTHMs 41.2 %, HAA₂ 40.4 %로 두 종이 약 82 %를 차지하였다. 오존소독부산물 분석법 적용 분야에서는 William H. Glaze(1989년)의 방법을 적용한 결과 포름알데히드 검정범위 5 ~ 30 ug/L의 농도 사이에서 r² 값이 0.996으로 양호한 검량선을 얻을 수 있었으며, 서울시 감시항목 채수 지점을 대상으로 조사한 결과 모든 시료에서 검출되지 않았다.

참 고 문 헌

1. 서울시 상수도연구소, 2004, 서울시 수돗물(배급수계통)에서의 소독부산물 분포 특성 조사, 2003년도 수질조사 분석보고서, pp. 560~565.
2. 서울시 상수도연구소, 2002, 수돗물 가열시 소독부산물 수질변화.
3. 이병창 외 4인, 2003, 수돗물 중 염소소독부산물 발생과 제거방안, 대한환경공학회 2003 추계학술연구발표회 논문집.
4. 최윤호, 1999, 상수중 염소 소독부산물의 생성인자와 발생특성에 관한 연구, p. 25.
5. 최정훈, 물환경학회-고도산화분과 국제워크샵, 2004, New DBP Issue and Research Update.
6. David A. Reckhow 외 3인, 2001, Formation and degradation of dichloroacetonitrile in drinking waters, journal of Water Supply:Research and Technology-AQUA.
7. EPA method 556, 1998, determination of carbonyl compounds in drinking water by pentafluorobenzylhydroxylamine derivatization and capillary gas chromatography with electron capture detection.
8. WHO, 2004, Chloral hydrate in drinking-water Summary statement.
9. William H. Glaze, Minoru Koga and Devon Cancilla, 1989, Improvement of an aqueous-phase derivatization method for detection of formaldehyde and other carbonyl compounds formed by the ozonat

-ion of drinking water, Environmental Science & Technology, Vol.23, pp. 838~847.

