

하수 염소 소독시 소독부산물 발생 특성

백영석[†] · 송민형 · 정경훈 · 권동식 · 이기공

(재)한국환경수도연구소

Formation Characteristics of Disinfection By-Products using Chlorine Disinfection in Sewage Effluent

Young-Seog Beck[†] · Min-Hyung Song · Kyung-Hun Jung · Dong-Sik Kwon · Gi-Gong Lee

Korea Environment & Water Works Institute

(Received 12 March 2004, Accepted 26 March 2004)

Abstract : This study was performed to investigate the disinfection efficiency and the formation characteristics of disinfection by-products(DBPs) by chlorination in the sewage effluent. The effluent was sampled from the sewage treatment plants operated in the activated sludge process and the advanced sewage process. The type of DBPs investigated were Trihalomethanes(THMs), Dichloroacetonitrile(DCAN), Chloral hydrate(CH), Dichloroacetic acid(DCAA), Trichloroacetic acid(TCAA). Major findings are as follows.

First, the optimum injection concentration for chlorination in sewage effluent were found to be in the range 0.5 ~ 1.0 mg Cl₂/L. Also, It was found that the chlorine dosage in the effluent of activated sludge process was higher than in the effluent of advanced sewage process.

Second, the maximum formation concentration of THMs were 12.7 µg/L. The THMs formation reaction was finished in a short time of several seconds and chloroform was mainly formed. Also, it was found that the concentration of ammonium nitrogen is higher, the concentration of THMs is lower.

Third, it was found that DCAA and TCAA were mainly formed as DBPs by disinfection.

keywords : Sewage effluent, Chlorination, DBPs, THMs, DCAA, TCAA

1. 서 론

오늘날 눈부신 경제 발전은 급격한 인구증가, 도시의 인구 집중, 각 가정의 생활 수준 향상을 가져오게 하였다. 그러나 이로 인하여 생활 하수 및 오염 물질 발생량도 급격히 증가하였으며 인근 하천이나 호수의 수질은 크게 악화되었다. 이에 따라 우리나라에서는 1970년대에 들어서 수질오염방지를 위한 각종 법규의 제·개정이 이루어 졌으며 초기에는 분뇨관리와 산업폐수가, 1980년대 이후로는 도시 하수와 오수처리에 대한 관심이 집중되기 시작하였다.

하수 및 오수 처리 방식에 있어 초기에는 깨끗한 하수처리에 목적을 두었으나 하수내의 질소, 인이 하천 및 호수 부영양화의 주요 원인으로 밝혀지면서 공공 수역의 수질보전에 목적을 두게 되었다. 경제적 소독 향상과 더불어 수상 레저 활동 증가, 수돗물중의 바이러스 검출 가능성 등은 이러한 목적의 필요성을 더욱 증대시키고 있다.

이에 따라 우리나라에서는 하수도법에 의해 2003년부터 하수 방류수의 대장균수를 3,000 개/mL로 규정, 관리하고 있다. 그러나 2002년도 환경부 통계에 따르면 운영중인 전

체 처리장의 약 20%이상이 이러한 법적 기준을 만족하지 못하고 있으며 하수 방류수에 의한 공공 수역의 바이러스 등과 같은 병원성 미생물에 의한 오염이 예상되어 모든 하수 처리장이 방류수 기준을 충족시키기 위해서는 처리장내에 염소, 자외선, 오존등의 소독 공정 설치 및 가동이 요구되고 있다.

이러한 소독 공정중 하나인 염소 소독은 1879년 이후로 영국에서 살균을 목적으로 처음 하수처리에 사용되어 왔다. 이 방식은 소량 주입만으로 높은 살균효과가 나타나고 사용이 간편하다는 장점이 있는 반면 트리할로메탄(Trihalomethane, 이하 THMs)과 같은 생명체에 해로운 소독 부산물의 형성 가능성을 지니고 있다.

일반적으로 소독에 사용되는 염소 농도는 1 mg/L로 낮고 보편적으로 하수에 포함된 암모니아성 질소와 반응하여 결합잔류염소를 형성시킴으로써 생성되는 THMs 농도는 저농도가 된다. 그러나 우리나라에서는 국내 하수의 염소 소독에 대한 자료가 극히 부족하여 하수처리장 운영자들은 염소 소독 시 생성될 수 있는 소독 부산물을 우려하고 있다.

따라서 본 연구에서는 표준활성슬러지공법과 고도처리공법으로 처리된 방류수를 이용하여 염소 소독에 의한 하수 방류수의 소독 효율과 THMs 및 기타 소독부산물에 대한 발생 특성을 비교, 검토하여 보았다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
bys01@kewi.re.kr

2. 재료 및 방법

2.1. 염소 주입농도 및 접촉 시간 결정

하수 방류수에 대한 염소주입농도를 선정하기 위하여 하수 방류수에 대하여 여러 개의 100 mL 용기에 표준활성슬러지 공정으로 처리된 하수 방류수를 넣고 유효염소농도가 점차적으로 증가되도록 국내 D사의 차아염소산나트륨 발생장치에서 생산된 차아염소산나트륨을 각 시료에 주입하였다. 각 주입염소농도에 대한 총잔류염소와 대장균군수, THMs 농도를 분석하였다. 또한 하수 방류수에 대하여 주입염소농도 0.5 mg/L, 1.0 mg/L, 1.5mg/L에 대한 단위 시간 별 대장균군수 변화를 분석하였다.

2.2. 염소주입농도에 따른 대장균군 소독효과 및 THMs 발생 특성

하수처리공정별 염소 소독 효과를 비교하기 위하여 소독 시설을 갖추지 않은 표준활성슬러지공정으로 운전되는 하수처리장과 고도처리시설을 갖춘 하수처리장을 각 1곳씩 선정하였다. 이후 각 처리장에서 방류되는 방류수를 채취하여 여러 개의 300 mL 삼각 플라스크에 250 mL씩 넣고 유효염소농도가 각 0.5 mg/L, 1.0 mg/L, 1.5 mg/L, 2.0 mg/L가 되도록 차아염소산나트륨 용액을 주입한 다음 각 방류수에 대한 농도별 총잔류염소, 대장균군수 및 THMs 농도 변화를 분석하였으며 유효염소농도 1mg/L에 대하여 단위 시간별로 형성되는 THMs 농도를 분석하였다.

본 연구에 이용된 각 하수처리장 방류수의 성상은 Table 1과 같다.

또한 THMs외의 소독 부산물 생성 특성을 살펴보기 위하여 각 처리장 방류수에 대하여 주입염소 1 mg Cl₂/L가 되도록 주입한 다음 DCAN(Dichloroacetonitrile), DCAA(Dichloroacetic acid), TCAA(Trichloroacetic acid), CH(Chloral hydrate)등을 분석하였다.

2.3. 분석 방법

본 연구에서는 방류수 수질이 THMs 등 소독부산물 생성에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 pH, TSS, COD_{Mn}, BOD₅, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, 대장균군수 등을 수질오염 공정실험법에 따라 분석하였으며 총잔류염소분석에는 DPD 방법을 이용하여 Pocket colorimeterTM(HACH Co., US)로

분석하였다. 또한, THMs 분석은 EPA 524.2 방법에 따라 실험하였으며 기타 소독부산물(TCAA, DCAA, CH, DCAN) 분석은 EPA 551.1(CH, DCAN)과 EPA 552(TCAA,DCAA) 방법에 따라 실험하였다. THMs 분석에는 GC-ECD(HP5890 Series II, Hewlett Packard, USA)를, 기타 소독부산물 분석에는 GC-MSD(HP6890/HP5973 MSD, Hewlett Packard, USA)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 염소주입농도 및 접촉 시간

3.1.1. 접촉시간에 따른 대장균군수 변화

하수 방류수에 주입염소농도 0.5 mg/L, 1.0 mg/L, 1.5 mg/L를 주입하였을 때 접촉시간별 대장균군수 변화는 Fig. 1과 같다.

분석 결과, 염소 주입 후 7분이 지난 후 대장균군수는 주입농도별로 3,500 개/mL, 1,450 개/mL, 150 개/mL를 나타내었으며 15분이 지나자 모든 시료에서 하수 방류수 기준인 3,000 개/mL를 만족하였고 이후 주입염소농도 0.5 mg/L를 제외한 나머지 시료에서는 안정적인 대장균군수를 나타내었다. 이 결과에서 초기 대장균군수는 급격히 감소하였고 점차 감소폭이 낮아졌는데 이는 주입 초기에는 주입된 유리잔류염소에 의하여 짧은 시간안에 급격히 감소하였으나 점차 암모니아성 질소와 반응하여 살균력이 낮은 결합잔류염소를 형성시킴으로써 감소폭이 낮아지는 것으로 판단된다. 따라서 주입 염소 농도를 고려할 경우 방류수의 대장균군 기준을 만족시키기 위해서는 최대 15분 이상의 접촉 시간이 요구되며 주입염소농도가 증가할수록 그 시간은 더욱 감소되는 것으로 나타났다.

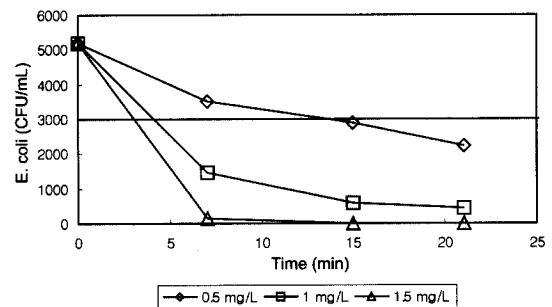


Fig. 1. Variation of E. coli. with reaction time.

Table 1. Effluent characteristic of each sewage treatment plant

(unit : mg/L)

| | Activated sludge process | Advanced sewage process |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| pH | 7.2 ~ 7.8 (7.6)* | 6.8 ~ 7.1 (6.9) |
| TSS | 2.4 ~ 11.6 (6.2) | 3.0 ~ 5.5 (4.2) |
| COD _{Mn} | 9.4 ~ 12.8 (11.0) | 5.6 ~ 11.0 (8.8) |
| BOD ₅ | 6.0 ~ 9.3 (7.8) | 3.2 ~ 7.0 (5.0) |
| NH ₄ -N | 9.2 ~ 24.9 (16.5) | 0.02 ~ 3.3 (1.1) |
| NO ₂ -N | - | - |
| NO ₃ -N | - | 6.13 ~ 7.8 (7.25) |
| E. Coli(CFU/mL) | 4,200 ~ 7,000 (5,500) | 1,860 ~ 6,500 (4,100) |

() : average conc.

3.1.2. 염소주입농도 결정

본 연구에 이용된 시료는 표준활성슬러지공정으로 운전된 경기도 소재의 A 하수종말처리장의 방류수를 이용하였으며 방류수의 pH는 7.6, 암모니아성 질소 농도는 22.5 mg/L를 나타내었다.

각 주입염소농도로 15분간 접촉한 결과 하수 방류수의 총잔류염소농도, 대장균군수, THMs 농도 변화는 Table 2와 같으며 염소 농도가 증가할수록 대장균수는 감소하여 주입염소농도 2.0 mg/L이상에서 완전히 사멸하였다. 이때 소독부산물인 THMs 농도는 주입염소농도에 비례하여 증가하였으며 대장균군이 완전히 사멸된 2 mg/L에서의 THMs 발생 농도는 1.6 µg/L로 상당히 낮게 나타났다. 이는 주입 후 염소와 암모니아성 질소가 빠르게 반응하여 결합잔류염소를 형성시켜 이 후의 THMs 생성을 억제시켰기 때문으로 판단된다. 이에 대하여 White(1992)는 차아염소산과 암모니아성 질소의 비가 1:5이고 pH가 7일 경우 결합잔류염소인 모노클로라민으로 99% 전환하는데 0.2초가 소요된다고 하였다.

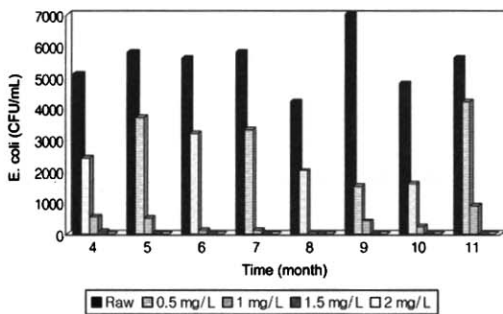
한편 총 잔류염소농도는 결합잔류염소 형성으로 인하여 주입염소의 60% 이상이 잔류하였다.

Table 2. Variation of total residual chlorine, THMs, E. coli with chlorine injection concentrations

| chlorine injection (mg/L) | total residual chlorine (mg/L) | THMs(µg/L) | E. coli (CFU/mL) |
|---------------------------|--------------------------------|------------|------------------|
| 0.0 | 0 | 0 | 2,200 |
| 0.5 | 0.28 | 1.5 | 550 |
| 1.0 | 0.57 | 1.6 | 50 |
| 1.5 | 0.88 | 1.6 | 20 |
| 2.0 | 1.40 | 1.6 | 0 |
| 25 | 17 | 23 | 0 |
| 50 | 33 | 51 | 0 |
| 75 | 64 | 65 | 0 |
| 100 | 82 | 75 | 0 |

3.2. 염소주입농도에 따른 하수의 소독효과 및 THMs 발생 특성

3.2.1. 하수 방류수의 소독 효과



(a) Activated sludge process

본 연구에서 이용된 표준활성슬러지 방류수는 A 하수종말처리장 방류수를 그대로 매월 채취하여 이용하였으며 고도처리공정으로 처리된 방류수는 충청남도 소재한 C 하수종말처리장에서 매월 채취하여 이용하였다.

월별 각 처리장에서 채취한 방류수와 주입염소농도에 따른 대장균군 농도변화는 Fig. 2와 같다.

각 공정에서 방류된 처리수의 대장균군수는 표준활성슬러지 방류수에서 4,200~7,000 개/mL로 1,860 ~6,500 개/mL의 농도를 나타낸 고도처리 방류수에 비하여 높은 값을 보였다. 따라서 이를 현재 대장균군에 대한 방류수 기준인 3,000 개/mL 이하와 비교할 경우, 표준활성슬러지 방류수는 년중 대부분 방류수 허용 기준 이상으로 방류되고 있으며 고도처리 방류수내에도 대부분 허용기준보다 높은 값을 보여 방류수 허용 기준에 적합하도록 유지하기 위해서는 소독과정이 필요한 것으로 나타났다.

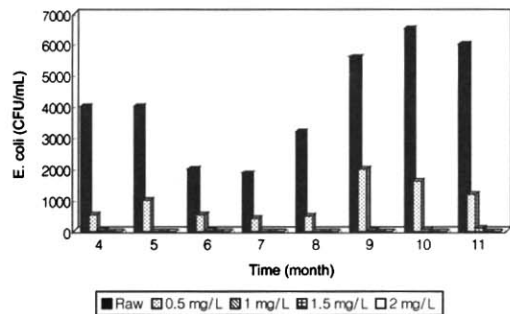
소독을 위하여 염소를 주입한 결과 각 방류수에 대하여 0.5 mg/L의 염소를 주입한 경우 허용기준 이하를 나타내었으나 표준활성슬러지 방류수는 방류수 기준과 비슷하거나 다소 높은 대장균군수를 나타내어 안정적인 소독을 위해서는 주입염소농도를 0.5~1.0 mg/L 범위로 주입할 필요가 있는 것으로 나타났다. 이는 표준활성슬러지 방류수의 대장균군수와 pH가 고도처리된 방류수에 비하여 높아 차아염소산나트륨의 살균력이 낮아졌고 여기에 고농도로 존재하는 암모니아성 질소는 염소 주입 시 살균력이 낮은 결합잔류염소를 형성시킴으로써 더욱 살균 효율을 낮아지게 하였기 때문으로 판단된다.

3.2.2. 염소소독에 따른 하수 방류수내 THMs 발생 특성

3.2.2.1. 접촉 시간에 따른 THMs 발생 특성

각 처리장 방류수에 대한 염소 소독시 접촉 시간에 따른 THMs 농도 변화를 알아본 결과 Fig. 3과 같이 주입 초기 대부분의 THMs가 생성되었으며 이 후 접촉 시간에 따른 THMs 증가는 거의 없었다.

이는 주입된 염소 농도가 1 mg/L로 낮고 암모니아성 질소와 반응하여 빠른 속도로 결합잔류염소를 형성시킴으로써 추가적인 THMs 발생에 필요한 유리잔류염소가 존재하



(b) Advanced sewage process

Fig. 2. Survival of E. coli by chlorination.

Fig. 3. Variation of THMs with reaction time.

지 않기 때문에 판단된다.

또한 주입 초기에 THMs 생성이 완료된 것은 THMs 생성 반응 중 할로포름 반응(Haloform reaction)보다 휴믹과 같은 전구물질에 의한 산화반응이 우점적으로 작용하였기 때문으로 Peters 등(1979)은 전구물질에 의한 THMs 생성 반응이 할로포름 반응에 비하여 반응시간이 매우 빠르고 수 분내 완료되어진다고 하였는데 이는 생성 반응 중 엔올화 반응(Enolization)이 없기 때문이라고 하였다.

3.2.2.2. 주입염소농도에 대한 THMs 발생 특성

각 방류수에서의 암모니아성 질소와 주입염소농도비와 발생되는 THMs 농도는 다음 Fig. 4와 같다.

각 방류수에 대한 염소 주입 결과, 수중의 암모니아성 질소에 대한 주입염소농도비는 표준활성슬러지 방류수에서는 평균 약 1:0.2내외로 낮게 나타났으며 고도처리 방류수는 평균 1:10내외로 높게 나타났으며 최고 1:100이상도 나타내었다. 또한 이때 발생하는 THMs 평균농도는 주입염소농도에 따라 표준활성슬러지에서 평균 약 1~4 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났으며 고도처리된 방류수에서는 평균 약 2.0~6.8 $\mu\text{g/L}$ 로 표준활성슬러지에 비하여 높게 나타났다.

THMs 생성은 pH가 높을수록 염기에 의한 촉매작용으로 농도가 높아 진다는 Stevens(1977)의 연구 결과와는 달리 본 연구에서는 표준활성슬러지 방류수의 pH가 고도처리 방류수에 비하여 높음에도 THMs 생성 농도가 낮게 나타났다. 이는 방류수내의 암모니아성 질소가 높아 암모니아성 질소와 주입염소농도비가 평균 1:0.2 내외로 주입염소의 상당량이 암모니아성 질소와 반응하여 클로라민(Chloramine)과 같은 결합잔류염소를 형성시켰고 극히 일부분만이 전구물질과 반응하여 THMs를 형성시켰기 때문으로 판단된다. 그러나 고도처리 방류수는 낮은 pH 상태임에도 불구하고 암모니아성 질소와 주입염소농도비가 평균 1:10 내외로 상당히 높고 특히 봄, 여름철에는 높은 질산화율에 의하여 암모니아성 질소와 주입염소비가 최대 1:100로 높아져 암모니아성 질소와의 반응은 감소한 반면 수중의 전구물질과 반응하는 염소의 량이 증가되면서 생성되는 THMs 농도가 높아진 것으로 판단된다. 따라서 고도처리 방류수의 THMs

Fig. 4. The relation of THMs formation & $\text{NH}_3\text{-N/Cl(W/W\%)}$ ratio.
(a : activated sludge process, b : advanced sewage process)

농도는 암모니아성 질소와 주입염소농도비가 가장 낮은 5월, 8월, 10월경에 높게 나타났다. 이는 암모니아성 질소가 높을수록 THMs 발생이 낮아진다는 한(1999)의 연구 결과와 같았다.

또한 염소 주입에 따라 발생한 THMs의 구성 성분과 그 농도변화는 Table 3과 같이 염소 주입에 따라 각 방류수내에 소량의 THMs가 발생하는 것으로 나타났으며 그 구성에 있어서 대부분이 클로로포름(Chloroform) 형태로 존재하였다.

표준활성슬러지 방류수의 경우 클로로포름 이외의 물질은 검출되지 않았으나 고도처리 방류수에서는 클로로포름 외에도 낮은 농도의 브로모디클로로메탄(Bromodichloromethane)이 검출되었다.

소독부산물이 공공수역으로 유출될 경우 수중 생태계에 독성을 줄 수 있는데 본 연구 결과에 따라 염소 소독에 의하여 하수방류수내 형성된 클로로포름 농도는 최대 12.7 µg/L로 기존의 독성실험결과와 비교할 경우 수중생태계에 미치는 영향은 없을 것으로 판단된다. 이러한 수중생태계에 대한 클로로포름의 독성에 대하여 Anderson 등(1980)은 수중의 단세포 식물이나 다른 미생물에 영향을 미칠 수 있는 LC50 농도가 보편적으로 125 mg/L에서 3,200 mg/L 이상이었다고 하였으며 EPA에서는 클로로포름과 브로모디클로로메탄에 대한 수계생물의 위험농도를 각각 4,700 µg/L와 220 µg/L로 지정하여 이를 관리하도록 권장하고 있다. 또한 Zok 등(1998)은 10개체의 조류, 17개체의 수중 무척추동물, 23개체의 어류에 대한 클로로포름의 급성 및 만성 독성 연구에서 50배의 안전계수를 고려하여 예상되는 영향이 없는 농도(Predicted No-effect concentration)는 72 µg/L라고 하였으며 이 농도는 Table 2에서와 같이 하수방류수에 대한 주입염소농도 100 mg/L이하에서 발생할 수

있다. 그러나 실제 하수소독에 필요한 염소 농도는 0.5~1.0 mg/L 정도이므로 생성된 THMs 농도가 수중 생태계에 미치는 영향은 없을 것으로 판단된다.

3.3. 염소 주입에 따른 기타 소독부산물 발생 특성

하수 방류수에 염소 주입 시 형성되는 기타 소독부산물에 대한 분석 결과 다음 Table 4와 같이 DCAA(Dichloroacetic acid)와 TCAA(Trichloroacetic acid) 등과 같은 HAAs(Haloacetic acids)가 주로 발생되었으며 그 외의 소독부산물은 검출되지 않았다.

이는 하수에서의 THMs가 주로 전구물질에 의한 반응으로 생성되기 때문으로 Rook(1977)은 전구물질에 의하여 THMs이 생성될 경우 최종적으로 THMs 외에도 DCAA와 TCAA가 발생한다고 하였다. 또한 표준활성슬러지 방류수에 비하여도 DCAA와 TCAA가 발생한다고 하였다. 한편 표준활성슬러지 방류수에 비하여 고도처리 방류수에서 소독부산물 농도가 보다 높게 나타났는데 이는 표준활성슬러지 방류수에 비하여 고도처리 방류수의 pH가 6.5내외로 낮고 생성된 THMs 농도도 높기 때문으로 판단된다. 이 결과는 소독부산물이 온도, 반응시간, 주입염소농도에 비례하나

Table 4. DBPs formation of sewage effluents by chlorination (unit : µg/L)

| Disinfection By-products | Activated sludge process | Advanced sewage process |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| DCAN(Dichloroacetoneitrile) | ND* | ND |
| DCAA(Dichloroacetic acid) | > 2.4 (1.4) | 1.6 ~ 2.7 (2.2) |
| TCAA(Trichloroacetic acid) | > 3.3 (1.9) | 0.5 ~ 5.4 (2.7) |
| CH(Chloral hydrate) | ND | ND |

() : average conc.,

* : > 0.5 µg/L

Table 3. THMs formation of sewage effluents

(unit : µg/L)

| | | 0 mg Cl ₂ /L | | 0.5mg Cl ₂ /L | | 1.0mg Cl ₂ /L | | 1.5mg Cl ₂ /L | | 2.0mg Cl ₂ /L | |
|--------------------------|------|-------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
| | | CHCl ₃ | CHCl ₂ Br | CHCl ₃ | CHCl ₂ Br | CHCl ₃ | CHCl ₂ Br | CHCl ₃ | CHCl ₂ Br | CHCl ₃ | CHCl ₂ Br |
| Activated sludge process | Apr. | 1.9 | - | 1.9 | - | 2.1 | - | 2.7 | - | 3.4 | - |
| | May. | 2.0 | - | 2.0 | - | 2.7 | - | 2.9 | - | 3.6 | - |
| | Jun. | 1.2 | - | 4.8 | - | 7.6 | - | 11.0 | - | 12.2 | - |
| | Jul. | 1.1 | - | 3.5 | - | 5.6 | - | 7.2 | - | 9.3 | - |
| | Aug. | 0.8 | - | 0.8 | - | 0.9 | - | 1.1 | - | 1.1 | - |
| | Sep. | 2.1 | - | 3.4 | - | 3.6 | - | 3.7 | - | 3.9 | - |
| | Oct. | 1.3 | - | 1.3 | - | 1.6 | - | 2.0 | - | 2.3 | - |
| | Nov. | 2.1 | - | 2.7 | - | 3.5 | - | 4.4 | - | 6.3 | - |
| Advanced sewage process | Apr. | 0.8 | - | 3.1 | - | 3.5 | 0.2 | 4.5 | 0.4 | 5.6 | 0.5 |
| | May. | 0.8 | - | 2.7 | 0.5 | 4.8 | 1.0 | 7.7 | 2.1 | 9.2 | 3.5 |
| | Jun. | 0.9 | - | 2.3 | 0.2 | 3.1 | 0.4 | 4.1 | 0.4 | 5.5 | 0.4 |
| | Jul. | 0.7 | - | 2.5 | 0.2 | 2.8 | 0.3 | 3.5 | 0.4 | 4.6 | 0.4 |
| | Aug. | - | - | 1.9 | - | 4.4 | 0.7 | 6.7 | 1.3 | 8.0 | 1.2 |
| | Sep. | 0.8 | - | 1.4 | 0.3 | 2.1 | 0.5 | 2.9 | 0.8 | 4.1 | 1.4 |
| | Oct. | - | - | 1.7 | 0.4 | 2.0 | 0.4 | 3.1 | 1.0 | 6.1 | 3.2 |
| | Nov. | 0.7 | - | 2.1 | - | 3.3 | - | 3.9 | - | 4.8 | - |

pH가 5에서 7로 증가할 경우 오히려 HAAs 생성 반응은 저해를 받는다는 Pourmoghaddas 등(1995)의 연구 결과와 일치하였다.

4. 결 론

본 실험은 각 하수처리공정의 방류수에 대한 염소 소독 시 소독부산물 발생 특성에 대하여 살펴보았으며 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 하수 방류수에 대한 염소 소독 결과, 대장균군 방류수 기준에 적합하도록 유지하기 위한 최적주입농도는 0.5~1.0 mg/L의 범위에서 나타났으며 pH와 암모니아성 질소 농도가 높은 표준활성슬러지공정이 고도처리공정에 의한 방류수보다 다소 높은 농도의 염소 주입이 요구되는 것으로 나타났다.
- 2) 염소 소독 부산물로 발생한 THMs는 대부분 클로로포름의 형태이며 그 농도는 최대 12 µg/L로 상당히 낮게 나타났다. 또한 처리공정에 따른 THMs 발생 특성을 비교한 결과 암모니아성 질소가 높은 표준활성슬러지 공정 방류수가 고도처리 방류수에 비하여 THMs 농도가 낮아 암모니아성 질소 농도의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.
- 3) 기타 소독부산물을 분석한 결과, HAA류에 속하는 DCAA와 TCAA이 검출되었으며 그 농도는 상당히 낮게 나타났다. 또한 하수처리공정에 따른 발생 특성을 살펴본 결과, 일반 표준활성슬러지 방류수에 비하여 고도처리 방류수가 높게 나타났다.
- 4) 하수의 염소 소독에 의해 생성된 THMs등과 같은 소독 부산물이 수중생태계에 미치는 영향에 대하여 기존의 독성 연구결과와 비교, 분석한 결과 수중생태계에 대한 영향은 없을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 환경부, 환경부통계자료 (2003).

2. Geo. Clifford White, *Handbook of chlorination and alternative disinfectants - Third Edition*, pp 479-482 (1992).
3. 환경부, 수질오염공정시험법 (2003).
4. EPA Method - 551.1, *Determination of Chlorination Disinfection By-products, Chlorinated solvents, and Halogenated pesticides/herbicides in drinking water by Liquid-Liquid Extraction and Gas Chromatography with Electron-Capture Detection* (1990).
5. EPA Method - 524.2, *Measurement of Purgeable Organic Compounds in water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry* (1992).
6. EPA Method - 552, *Determination of Haloacetic Acids in drinking water by Liquid-Liquid Extraction, Derivatization, and Gas Chromatography with Electron-Capture Detection* (1990).
7. Christopher J. Peters, Robert J. Young and Roger Perry, Factors Influencing the Formation of Haloforms in the Chlorination of Humic Materials, *Envir. Sci. & Tech.*, **14**(11), pp 1391-1395 (1979).
8. 한기복, 염소소독에 따른 오수·분뇨 처리시설의 THM 발생실태 조사 연구, 창원대학교 산업대학원 석사 논문 (1999).
9. Anderson DR & Lusty EW., *Acute toxicity and bioaccumulation of chloroform to 4 species of freshwater fish*. Richland, WA, Battelle Pacific North West Laboratory (NUREG/CR-0893) (1980).
10. EPA, *National Toxics Rule Criteria* (2000).
11. Zok S., J.C. Boutonnet, C. de Rooij, V. Grany, A. Lecoloux, R. Papp, R.S. Thompson, D. van Wijk, Euro Chlorine risk assessment for the marine environment OSPARCOM Region:North Sea - Chloroform, *Env. Mon. and Assessment*, **52**, pp 401-424 (1998).
12. Rook J.J., Chlorination Reaction of Fulvic Acids in Natural Water, *Envir. Sci. & Tech.*, **11**(5), pp 478-482 (1977).
13. Pourmoghaddas H., and Stevens A.A., Relationship between Trihalomethanes and Haloacetic acids with Total Organic Halogen during Chlorination, *Wat. Res.*, **29**(9), pp 2059-2063 (1995).