

# 전구물질의 소수성 및 친수성 특성에 따른 트리할로메탄의 생성과 제거에 관한 연구

전희경 · 김준성\* · 최윤찬\*\* · 최해연\*\*\* · 정 용\*\*\*\*,†

한국과학기술연구원

\*메사추세츠 주립대학교

\*\*부산발전연구원

\*\*\*숙명여자대학교

\*\*\*\*연세대학교 의과대학 예방의학교실

## Formation and Removal of Trihalomethanes based on Characterization of Hydrophobic and Hydrophilic Precursors

Heekyung Jeon · Junsung Kim\* · Yoonchan Choi\*\* · Haeyeon Choi\*\*\* · Yong Chung\*\*\*\*,†

*Korea Institute of Science and Technology*

*\*Department of Civil and Environmental Engineering, University of Massachusetts*

*\*\*Busan Development Institute*

*\*\*\*Department of Food and Nutrition, Sookmyung women's University*

*\*\*\*\*Department of Preventive Medicine and Public Health, Yonsei University College of Medicine*

*(Received 19 November 2007, Accepted 29 January 2008)*

### Abstract

The Dissolved Organic Carbon (DOC) existing in a water includes both hydrophobic and hydrophilic substances however, most of the discussion focuses on hydrophobic substances. The hydrophobic fraction was easily removed by absorption or coagulation more than hydrophilic fraction. Therefore, control of the hydrophilic fraction is very important in water treatment process. This study is to determine the variation of DOC, the removal efficiency of DOC, and Trihalomethane formation potential (THMFP) after each stage of water treatment process by fractionating Natural Organic Matters (NOM) into hydrophobic and hydrophilic substance. DOC from raw water was fractionated at acidic pH (pH<2) using XAD 8 resin column, into two fraction : hydrophobic substance (i.e. humic substance) adsorbed on XAD 8 and hydrophilic substance which represent the organics contained in the final effluent. THMFP was carried out according to the following set condition: Cl<sub>2</sub>/DOC=4 mg/mg, incubation at 25°C in darkness, pH 7 adjust with HCl or NaOH as necessary, and 72hour-contact time. THMs analyzed in this study were chloroform, bromodichloromethane, dibromochloromethan, and bromoform. Sewage was almost evenly split between the hydrophobic (56%) and hydrophilic fraction (44%). But, Aldrich humic substance (AHS) was found to contain less hydrophilics (14%) than hydrophobics (86%). The formation of THMs may depend on the source which is characterized by the composition of organic matters such as AHS and sewage. The THMFP yield of sewage and AHS were assessed as follows. The value of the THMFP reaction yield, AHS 172.65 µg/mg, is much higher than that of sewage 41.68 µg/mg. This illustrates possible significant difference in THMFP according to the component type and the proportion of organic matter existing in water source. Apparently AHS react with chlorine to produce more THMFP than do the smaller molecules found in sewage. Water treatment process may reduce THMFP, nevertheless residual DOC (the more hydrophilic substance) has significant THMFP. Further reduction in organic halide precursors requires application of alternative treatment techniques.

**keywords** : Disinfection by-product, Formation potential, Hydrophilic substance, Hydrophobic substance, Precursor, Trihalomethane

## 1. 서론

상수원수 중에 존재하는 병원성 미생물을 제거하기 위하여 정수처리 시 염소 소독을 실시하고 있다. 그러나 처리 후에도 잔류하는 유기물(dissolved organic matter, DOM)과

소독제(disinfectants)가 반응하여 염소소독부산물을 생성하며, 보건학적으로 위해성을 나타내고 있다. 또한 염소소독부산물 중 일부물질이 동물 실험을 통해 발암성이 입증됨에 따라 이들 부산물이 포함된 음용수의 섭취에 따른 건강피해에 관심이 고조되고 있다(정용 등, 1997). 특히 클로로포름(chloroform)의 경우는 염소처리를 실시한 모든 수도수에서 검출되어 클로로포름의 생성이 염소처리와 관계가 있음이 발견되었으며(Symons, 1975), 1976년 국제 암협회

† To whom correspondence should be addressed.  
ierychung@yumc.yonsei.ac.kr

(National Cancer Institute)에서는 클로로포름을 발암물질로 규정하였다. 이에 따라 미국환경보호청(US EPA)에서는 1979년에 총트리할로메탄 규정(Total Trihalomethane Rule, TTHMs)을 제정하고 TTHMs의 최대오염허용수준(maximum contamination level)을 0.10 mg/L로 설정하기에 이르렀으며, 현재는 할로아세트익시드(Haloacetic acids, HAAs)와 할로아세토나이트릴(Haloacetonitriles, HANs) 등 10여개 물질에 대하여 규제하고 있다. 우리 나라에서도 권숙표 등(1983, 1984)에 의해 트리할로메탄류(trihalomethanes, THMs)에 관한 연구가 시작되었으며, 1990년에는 미국과 동일한 0.01 mg/L의 THMs 규제치를 음용수 수질기준으로 제정하게 되었다. 또한 2002년 7월부터 먹는물 기준항목을 48개에서 55개로 확대하고, 소독부산물 관리 강화를 위해 유리잔류 염소 기준을 4 mg/L이하로 규정하였다. 2003년에는 HANs 3종과 HAAs 2종 그리고 클로랄하이드레이트에 대한 규제 기준을 마련하였으며, 다른 소독부산물의 발생에 대해서도 지속적인 모니터링 사업을 통하여 감시를 강화하고 있는 추세에 있다.

소독부산물은 상수 원수에 존재하는 기존의 오염물질과는 달리, 정수처리의 마지막단계인 소독과정에서 반응·생성되는 2차 오염물질이라고 할 수 있다. 그러나 일단 생성된 후에 제거하기 위해서는 처리효율 및 경제적인 측면에서 어렵기 때문에, 생성되기 전에 생성인자를 제거하는 것이 소독부산물의 효과적인 제어방안으로 고려되고 있다.

소독부산물의 전구물질인 유기물은 자연수 중에 존재하는 유기복합체로서 소수성(hydrophobic)과 친수성(hydrophilic) 특성에 따라 humic fraction과 non-humic fraction으로 나눌 수 있다. Humic fractions은 소수성 물질(hydrophobic substance)로 물에 녹는 용해도(평형상태를 의미하기 보다는 액상에 균질하게 분포하는 정도를 의미) 정도에 따라서 humic acid, fulvic acid, humin로 세분화될 수 있다. Humic acid는 용해성이지만 pH 2이하의 용액에서는 불용성 형태로 침전하는 fraction이며, fuvic acid는 모든 pH 범위에서 용존상태로 존재하는 fraction이다. 그리고 humin은 어떤 pH에서도 물에 녹지 않는 fraction이라고 보고되고 있다(Malley, 1988). Non-humic fractions은 친수성 물질(hydrophilic substance)로 hydrophilic acid, proteins, amino acids 등으로 구성되어 있다. 그 밖에도 유기물은 pH, 이온강도, 분자의 크기, 음전하 등 다양한 물리화학적 특성을 가지며, 소독부산물의 생성뿐 아니라, 급수시설에서의 미생물 재성장, 수처리시 응집제와 산화제 요구량, 색도 그리고 맛과 냄새에 영향을 준다(Owen et al., 1995).

지금까지 연구 초점의 대부분은 humic fraction에 국한되어 있었다. 그러나 수중에 존재하는 유기물은 humic과 nonhumic fraction 모두를 포함하고 있다. humic fraction은 소수성 유기물로 흡착과 응집에 의해 대부분 제거된다고 알려져 있다(Owen et al., 1993). 반면, nonhumic fraction은 친수성 유기물로 과거에는 음용수 수질 문제에 거의 거론되지 않았으며 연구도 미흡한 실정이다. 그러나 최근 소수성 유기물에 비해 생성량은 적을지라도 친수성 유기물의

소독부산물 생성 가능성들이 제시되고 있다. 또한 친수성 유기물은 배·급수과정에서 박테리아의 재성장과 관련된 생분해성 유기 탄소(biodegradable organic carbon, BDOC) 비율이 더욱 큰 원인이 될 수 있다고 한다(Mogren et al., 1990). 따라서 친수성 유기물의 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다(Leenheer, 1985).

Croue 등(1993)의 연구에 의하면 소수성 및 친수성 유기물이 유사한 비율로 구성되어 있다고 하였으며, Singer and Harrington(1993)의 연구에 의하면 유기물 중 소수성 구획이 친수성 구획보다 응집에 의한 제거율이 높다고 보고한 바 있다. 따라서 응집을 포함하고 있는 수처리 공정에 유입되는 원수의 유기물 비율은 중요하다고 할 수 있다.

우리나라의 경우, 금강수계를 사용하고 있는 부여정수장 원수의 소수성 유기물은 2.56 mg/L, 친수성 유기물은 2.11 mg/L이며, 낙동강 수계를 사용하는 선암정수장 원수는 소수성이 1.17 mg/L, 친수성이 2.19 mg/L로 상수원에 따라 유기물 형태가 다를 수 있을 것으로 예상된다(한국수자원공사, 1997).

따라서 소독부산물의 주요한 전구물질인 유기물의 제거 효율을 높이기 위하여 유기물을 소수성과 친수성 fraction으로 나누어 그 특성과 제거율을 비교하여 그에 따른 소독부산물의 생성능을 파악하는 연구가 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 소독부산물의 전구물질 관리를 위하여 유기물의 화학적 분류특성에 따른 처리공정별 제거율을 비교하고 그에 따른 염소소독부산물 생성 특성을 알고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상

유기물의 오염원과 성분에 따른 응집·침전처리 효율을 비교하고, 그에 따른 소독부산물 생성능을 조사하기 위하여 소독부산물의 주요 전구물질로 알려진 휴믹물질과 우리나라의 주요 수질 오염원인 생활하수를 대상으로 실험하였다.

휴믹물질은 Aldrich Chemical사의 humic acid를 사용하였으며, 적당량을 0.05 M NaHCO<sub>3</sub> 용액에 녹여, 약 4.5 ppm 농도로 증류수에 희석·조제하여 사용하였다. 하수는 중랑구 하수처리장의 유입수를 채수하여 사용하였다. 일반적으로 상수원수의 DOC 농도는 약 2~3 ppm의 범위를 보이고 있다. 그러므로 본 연구에서는 DOC를 기준으로 이보다 높은 농도인 약 4.5 ppm으로 증류수를 사용하여 희석·조제하여 사용하였다.

### 2.2. 응집·침전처리

대상원수는 실험실적 규모(laboratory scale)로 응집제 PAC (Poly Aluminium Chloride)를 사용하여 실온상태의 원수를 급속교반 200 rpm에서 3분, 완속교반 30 rpm에서 15분 동안 Jar test를 실시하여 최적 응집제 투여량을 선정하였다. 본 실험에서 조제한 휴믹물질, 생활하수의 최적 응집제 투여량은 각각 4, 3.5 mg/L로 결정되었다. 모든 시료는 같은

조건으로 응집제 PAC를 이용하여 응집시킨 후 1시간동안 침전시켰으며, 상등수의 50~60%를 분리하여 사용하였다.

### 2.3. 유기물 fractionation 방법

본 실험에서 사용된 XAD resin(Rohm and Haas)은 입자 크기가 20~40 mesh이고 비표면적이 450 m<sup>2</sup>/g이며 공극의 평균직경이 250 Å인 메틸메타크리레이트 공중합물 재질로 된 것을 사용하였다. XAD resin은 내경 1 cm, 높이 25 cm의 칼럼에 15 cm로 충전하여 실험하였으며, 초기 수지자체의 유기물농도가 높아 시료를 통과하기 전에 standard method 5510을 이용하여 유기물과 기타 불순물들을 세척·제거하였다. 유기물 분류방법은 Croue 등(1993)의 방법에 따라서 시료를 입경 0.2 μm 크기의 membrane filter로 여과한 후 1 N HCl을 사용하여 pH 2 이하로 조절하였다. XAD-8 resin이 충전된 유리관을 통과하는 시료의 유출속도는 1 mL/min으로 유지시켰다. XAD-8 resin의 유출수 중 처음 100 mL는 버리고, 이후 약 500 mL의 유출액을 용기에 받아 분석용으로 시약병에 보관하였다. resin을 통과한 유기물의 분류는 아래와 같은 수식으로 계산되었다.

$$\text{Hydrophobic Substances} = \text{DOC of raw water} - \text{DOC of XAD8 effluent} \quad (1)$$

$$\text{Hydrophilic Substance} = \text{DOC of XAD8 effluent} \quad (2)$$

### 2.4. 유기물 측정지표

DOC는 Sievers사의 800 potable total organic carbon analyzer를 이용하였으며, UV-254는 미리 증류수에 세척된 0.2 μm 여과지에 시료를 여과시킨 후, Shimadzu UV-1601 UV-Visible spectrophotometer를 사용하여 254 nm에서 측정하였다. SUVA(specific ultraviolet absorbance) 값은 USEPA의 National primary drinking water regulation에 제시된 방법을 사용하여  $\text{SUVA}(\text{L}/\text{mg} \cdot \text{m}) = 100(\text{cm}/\text{m}) \times [\text{UV}_{254\text{nm}}(\text{cm}^{-1}) \div \text{DOC}(\text{mg}/\text{L})]$ 으로 계산하였다(USEPA, 1997).

### 2.5. THMs 분석방법

분석대상물질인 THMs은 chloroform, bromodichloromethane, dibromo-chloromethane, bromoform 4종을 선정하여 정량하였다. 표준시약은 Supelco사 제품인 EPA 524.2 VOC Mix 표준시약(200 μg/mL in methanol)을 사용하였다.

분석방법은 US EPA Method 524.2을 사용하였으며, 이는 불활성 기체로 purge하여 추출된 것을 흡착제에 흡착시키

고 적당한 온도로 가열하여 탈착시켜 GC/MSD로 확인 및 정량하는 방법이다(USEPA, 1992). 분석기기는 Tekmar LSC-2000 Purge and Trap을 HP 6890 Series Gas Chromatograph와 HP 5972A Mass Selective Detector에 연결하여 사용하였으며 Table 1의 분석조건에 따라 분석하였다.

소독부산물 생성능은 Croue 등(1993)의 방법을 이용하여 실험하였다. 시료는 완충용액을 이용하여 pH 7.0±0.2로 조정된 후, Cl<sub>2</sub>와 DOC를 4 : 1로 하여 Chlorine Dose를 결정하였다. 염소를 시료에 투여하고 25±2°C가 유지되는 항온실의 암 조건에서 3일(72 hr)간 반응시킨 후 생성된 소독부산물을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

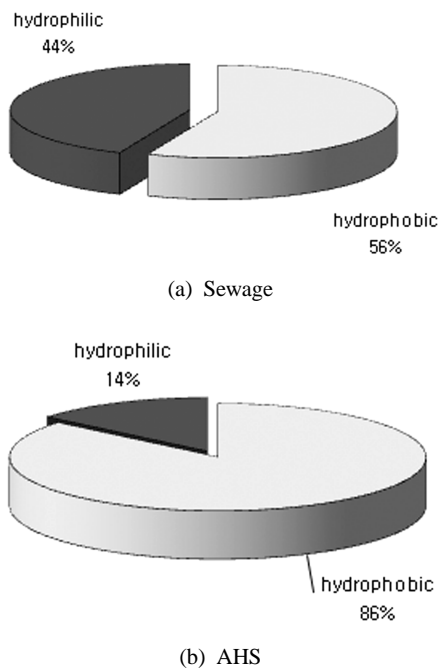
### 3.1. 휴믹물질과 하수의 유기물 분포

수중의 휴믹물질은 일반적으로 하천수의 총 유기물질(TOC) 중 40~50%를 차지하며, 식물의 사체 또는 동물의 배설물 등을 미생물이 분해하여 형성된다고 알려져 있다. 또한, 이들은 유기토양, 하천수, 해양 외에 분뇨처리수에도 존재하며, 상수원에 오염된 휴믹물질은 염소 소독 시에 소독부산물의 주요한 전구물질이 된다(Ranald, 1982). 한편, 자연수에는 휴믹물질 이외에도 여러 가지 다른 형태의 유기물이 포함되어 있으며, 이러한 유기물의 형태에 따라 소독부산물의 생성이 달라질 수 있다. 우리 나라의 경우는 대부분의 상수원이 하천수이며 하수성분이 유입될 가능성이 크다고 할 수 있다. 또한, 오염원의 약 90%가 생활하수임을 고려해 볼 때 이에 대한 영향은 매우 클 것으로 사료된다. 따라서 소독부산물의 전구물질인 유기물의 주요 오염원을 휴믹물질과 하수로 선정하고 이들의 유기물 분포를 조사하였다. 유기물의 특성을 구별하기 위한 측정지표로는 DOC, UV<sub>254</sub>, SUVA값이 사용되었다.

하수의 경우는 소수성과 친수성 유기물이 각각 56%와 44%로 소수성유기물이 약간 높은 비율을 보였으나 거의 유사한 비율을 차지하였다. 이상윤(2002)의 연구에 따르면 울산광역시 상수원인 사연댐과 회야댐 원수에서 소수성 유기물과 친수성 유기물이 실험기간동안 약 55:45의 분포비를 보여 본 실험과 유사한 경향을 나타내었다. 반면, 휴믹물질은 소수성 유기물 86%, 친수성 유기물 14%로 소수성유기물이 친수성유기물에 비해 매우 많은 부분을 차지하고 있어 대상원수에 따라 유기물의 분포 특성에 차이가 있음을 알 수 있었다(Fig. 1).

**Table 1.** Operating condition of GC/MSD for Trihalomethanes

Item	Condition
Injection port	Purge & Trap transfer line linked to Splitless Injection port
Carrier gas	He (99.999%)
Column	J & W Scientific DB-5 (50 m × 0.2 mm × 0.33 μm)
Column flow rate	Purge & Trap External Regulator 20psi
Detector temperature	280°C
Oven temperature program	35°C (7 min, hold) → 1.5°C/min to 50°C → 5°C/min to 80°C → 10°C/min to 230°C (5 min, hold)



**Fig. 1.** Distribution of dissolved organic carbon in sewage (a) and aldric humic substance (AHS) (b).

대상원수인 하수와 휴믹물질 조제수는 DOC를 기준으로 동일하게 약 4.5 ppm으로 조제하였으나, 그에 따라 측정된 UV<sub>254</sub>값은 하수에 비해 휴믹물질이 약 5배 높은 값을 보였다. SUVA 값은 유기물의 aromatic carbon 함량의 지표로 이용할 수 있는데 하수(2.8 L/mg·m)에 비해 휴믹물질(13.59 L/mg·m)이 매우 높게 나타났다(Table 2). 이는 동일한 농도의 유기물일지라도 휴믹물질이 하수보다 DOC 성분 내에 높은 비율의 aromatic carbon 함유하고 있음을 알 수 있다.

**3.2. 유기물 분포에 따른 처리 효율**

유기물 분포에 따른 처리효율을 평가하기 위하여 하수와

휴믹물질의 원수를 응집처리를 한 후에 처리수를 다시 친수성과 소수성유기물로 분리하여 실험하였다. Table 3은 하수와 휴믹물질의 유기물 분포에 따른 응집·침전처리 후의 유기물 제거율을 나타내었다. 휴믹물질의 경우는 원수 4.42 mg/L에서 처리 후에 1.07 mg/L로 75.8%의 제거율을 보였다. 반면, 하수는 응집·침전처리 후에 DOC를 기준으로 8.5%의 제거율을 보여 하수는 휴믹물질에 비해 응집의 처리효율이 매우 떨어짐을 알 수 있었다. UV<sub>254</sub>의 제거율은 하수 14.7%, 휴믹물질 83.8%로 DOC 제거율에 비해 두 가지 대상원수 모두가 약간 높은 제거율을 보였으나, DOC와 동일하게 하수에 비해 휴믹물질의 처리효율이 높게 나타났다. SUVA 값은 하수의 경우는 처리 전·후에 거의 변화가 없으나, 휴믹물질은 약 30%가 감소하여, DOC 성분 내에 높은 비율의 aromatic carbon을 함유하고있는 휴믹물질이 응집·침전 처리 시 더 잘 제거되는 것으로 사료된다.

따라서, 휴믹물질과 하수의 이러한 처리효율 차이는 수중에 존재하는 유기물이 다르기 때문에 발생하는 결과로 사료되어 유기물 특성에 따라 응집·침전 후의 처리효율을 비교하였다. 하수의 경우 소수성 유기물은 12.7%가 감소했고 친수성 유기물은 겨우 3%의 감소에 그쳐 거의 제거되고 있지 않음을 알 수 있었다. 휴믹물질은 처리 후에 소수성 유기물의 85.8%가 제거되어 좋은 처리효율을 보였으며, 친수성 유기물은 16.1% 제거되었다. 전체적으로 응집·침전에 의하여 소수성 유기물이 친수성 유기물에 비해 높은 처리효율을 보이고 있으며, 주목할 만한 사실은 동일한 소수성 유기물일지라도 오염원에 따라서 응집·침전 처리율에 차이가 있음이 나타났다. 즉, 동일한 소수성 유기물이라 하더라도 하수의 소수성 유기물이 휴믹물질의 소수성 유기물에 비하여 응집·침전처리에 의하여 제거가 효율적으로 되지 않고 원수 중에 잔존하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 하수에 의한 오염이 많은 원수의 경우에 응집·침전 처리 후에도 제거되지 않고 잔존하는 소수성 유기물이 소

**Table 2.** Hydrophobic/hydrophilic fraction distribution of sewage and aldric humic substance (AHS)

Water source	Raw water			Hydrophobic substance			Hydrophilic substance		
	DOC (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (L/mg·m)	DOC (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (L/mg·m)	DOC (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (L/mg·m)
Sewage	4.60±0.12	0.129	2.80	2.59±0.10	0.054	2.08	2.01±0.10	0.075	3.74
AHS	4.42±0.09	0.600	13.59	3.80±0.01	0.522	13.74	0.62±0.01	0.078	12.65

**Table 3.** Hydrophobic/hydrophilic fraction distribution of the untreated and corresponding treated water

Water source	Treatment	Raw water			Hydrophobic substance			Hydrophilic substance		
		DOC (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (L/mg·m)	DOC (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (L/mg·m)	DOC (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (L/mg·m)
Sewage	Untreated water	4.60	0.129	2.80	2.59	0.054	2.08	2.01	0.075	3.74
	After coagulation & sedimentation	4.21	0.115	2.74	2.26	0.044	1.94	1.95	0.072	3.66
	Removal (%)	(8.5)	(14.7)		(12.7)	(18.5)		(3.0)	(4.0)	
AHS	Untreated water	4.42	0.600	13.59	3.80	0.522	13.74	0.62	0.078	12.65
	After coagulation & sedimentation	1.07	0.100	9.57	0.54	0.046	8.52	0.52	0.056	10.67
	Removal (%)	(75.8)	(83.3)		(85.8)	(91.2)		(16.1)	(28.2)	

독부산물의 생성에 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

3.3. 유기물의 분포에 따른 THMs의 생성능

하수와 휴믹물질은 각각 41.68, 763.13 µg/L의 THMs 생성능을 보여 하수에 비해 휴믹물질의 THMs 생성능이 약 18배 이상 높음을 알 수 있었다. 또한, 유기물에 따라 THMs 생성능이 차지하는 비율은 하수의 경우 소수성유기물 25.61 µg/L, 친수성유기물 16.07 µg/L의 생성능을 보여 소수성과 친수성 유기물의 생성능 비가 6 : 4 정도로 나타났다. 휴믹물질은 소수성유기물 666.67 µg/L, 친수성유기물 96.46 µg/L로 휴믹물질 THMs 생성능의 약 87%가 소수성 유기물에 기인하는 것으로 나타났다.

THMRY(Reaction Yield : µg/mg) 값은 THMFP/DOC로 계산되며, 이는 단위 DOC 즉, 1 mg의 DOC에서 생성할 수 있는 THMs의 양을 나타낸다. 하수의 THMRY 값은 9.05 µg/mg을 보였으며, 휴믹물질은 172.65 µg/mg로 나타나 동일한 양의 유기물이 존재할 때 휴믹물질의 유기물에서 더 많은 THMs를 생성함을 알 수 있었다. 최윤호(1999)의 연구에 의하면 우리나라 전국 6대 도시의 원수 중에서 THMRY를 조사한 결과 35.56~57.16 µg/mg의 범위로 나타나, 본 실험 결과로 제시된 휴믹물질의 THMRY 172.65 µg/mg는 상당히 높은 수준임을 알 수 있었다. 한편, 하수 중에서도 소수성유기물과 친수성유기물의 THMRY값은 9.88과 7.99 µg/mg으로 소수성유기물이 THMs를 생성하는 능력이 높게 나타났다. 휴믹물질에서는 소수성과 친수성 유기물의 THMRY가 175.37과 156.59 µg/mg로 나타나 휴믹물질도 소수성유기물이 THMs를 생성할 수 있는 능력이 높음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 동일한 양의 유기물이 존재할 때 휴믹물질의 소수성유기물이 가장 THMs의 생성능이 높으며, 반대로 하수의 친수성유기물이 가장 낮음을 알 수 있었다. 이는 수중에 동일한 농도의 DOC가 존재하더라도 유기물의 구성성분과 오염원에 따라서 생성되는 THMs의 발생량이 다르게 나타난다는 것을 알 수 있다.

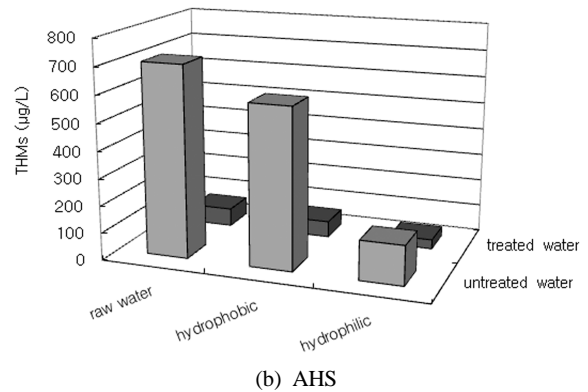
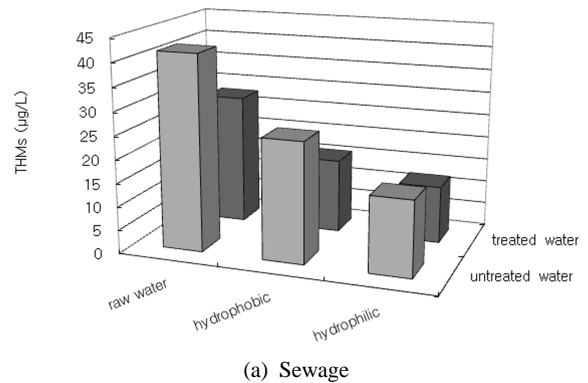


Fig. 2. THMFP removal of the hydrophobic and hydrophilic fraction in sewage (a) and AHS (b).

3.4. 유기물의 분포에 따른 THMs의 제거 효율

응집·침전처리에 의한 THMFP의 제거율을 보면, 휴믹물질은 91%로서 대부분이 제거되는 것에 반해 하수는 33%의 미비한 제거율을 보였다. 이를 유기물 분포에 따라 좀더 세부적으로 살펴보면, 하수의 THMFP 제거율은 소수성 38.4%, 친수성 24.3%로 소수성유기물의 제거율이 높음을 알 수 있었다. 또한 휴믹물질의 경우는 소수성유기물의 THMFP가 91%로 거의 대부분이 응집·침전처리를 통하여 제거됨을 알 수 있었고, 친수성유기물은 64.4%가 감소하였

Table 4. THMFP and THMRY of the hydrophobic and hydrophilic fraction in sewage and AHS

Water source	Treatment	Raw water		Hydrophobic substance		Hydrophilic substance	
		THMFP (µg/L)	THMRY (µg/mg)	THMFP (µg/L)	THMRY (µg/mg)	THMFP (µg/L)	THMRY (µg/mg)
Sewage	Untreated water	41.68	9.05	25.61	9.88	16.07	7.99
AHS	Untreated water	763.13	172.65	666.67	175.37	96.46	156.59

Table 5. THMFP removal of the hydrophobic and hydrophilic fraction in sewage and AHS

Water source	Treatment	Raw water	Hydrophobic substance	Hydrophilic substance
		THMFP (µg/L)	THMFP (µg/L)	THMFP (µg/L)
Sewage	Untreated water	41.68	25.61	16.07
	After coagulation & sedimentaion	27.96	15.78	12.17
	Decrease (%)	32.9	38.4	24.3
AHS	Untreated water	763.13	666.67	96.46
	After coagulation & sedimentaion	66.24	59.23	34.30
	Decrease (%)	91.3	91.1	64.4

다. 이는 기존의 응집·침전처리를 통해서 휴믹물질의 소수성유기물로 인한 THMs은 제거시킬 수 있으나, 그 외 유기물에 의한 THMs의 발생은 효율적으로 저감시키지 못하고 있음을 보여준다. 따라서, 정수처리 후에 발생하는 THMs은 친수성유기물이 많은 기여를 하고 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

소독부산물의 전구물질인 유기물을 소수성 유기물과 친수성 유기물로 분리하여 각각의 처리에 따른 제거정도와 THMs의 생성경향을 파악하기 위하여 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 휴믹물질과 하수의 유기물을 분리한 결과 하수는 소수성과 친수성 유기물이 각각 56%와 44%로 거의 유사한 비율을 보였으며, 휴믹물질은 소수성 유기물 86%, 친수성 유기물 14%로 소수성이 친수성에 비해 훨씬 많은 부분을 차지하였다.
- 2) 응집·침전처리 후의 변화를 조사한 결과, 휴믹물질은 75.8%가 제거되었으나, 하수는 8.5%의 제거율에 그쳐 농도가 같을지라도 유기물의 특성에 따라 제거율에 차이가 있는 것으로 판단된다.
- 3) 유기물 특성에 따라, 소수성 유기물은 휴믹물질과 하수에서 85.8%와 12.7%의 제거율을 나타냈으며, 친수성 유기물은 16.1%, 3.0%로 소수성 유기물이 응집·침전을 통해 효과적으로 제거되었다.
- 4) 휴믹물질과 하수의 THMFPP는 각각 763.13  $\mu\text{g/L}$ , 41.68  $\mu\text{g/L}$ 로 하수에 비해 휴믹물질이 약 18배 이상 높은 생성능을 보였다. 또한 THMR<sub>Y</sub> 값은 하수가 9.05  $\mu\text{g/mg}$ , 휴믹물질은 172.65  $\mu\text{g/mg}$ 로 나타나 동일한 양의 유기물이 존재할 때 휴믹물질의 유기물에서 더 많은 THMs을 생성하는 것으로 나타났다.
- 5) 유기물에 따른 THMs 생성능은 하수의 소수성유기물 25.61  $\mu\text{g/L}$ , 친수성유기물 16.07  $\mu\text{g/L}$ 로 측정되었으며, 휴믹물질은 소수성유기물 666.67  $\mu\text{g/L}$ , 친수성유기물 96.46  $\mu\text{g/L}$ 로 나타나 소수성 유기물에 의해 더 많은 THMs이 생성되는 것으로 조사되었다.
- 6) 응집·침전처리에 의한 THMFPP의 제거율은 휴믹물질 91%, 하수 33%로 나타났다. 유기물 분포에 따라 살펴보면, 하수의 THMFPP 제거율은 소수성 38.4%, 친수성 24.3%, 휴믹물질의 경우는 소수성 91%, 친수성 64.4%로 소수성 유기물의 THMFPP 제거율이 높게 나타났다.

#### 참고문헌

- 권속표, 정 용, 조희재(1984). 상수 중 Trihalomethane생성에 관한 연구. 수도, **31**, pp. 11-18.
- 권속표(1983). 상수중의 유독염소계 화합물의 생성과 독성에 관한 연구, 연세대학교 환경공해연구소.
- 이상윤(2002). 정수공정에서 고도응집에 의한 유기물 제거 연구. 박사학위논문, 울산대학교.
- 정용, 신동천, 양지연, 박연신, 김준성(1997). 수도수중 염소 소독부산물로 인한 건강 위해성 평가에 관한 연구. 한국 독성학회지, **12**(3~4), pp. 31-41.
- 최윤호(1999). 상수중 염소 소독부산물의 생성인자와 발생 특성에 관한 연구. 박사학위논문, 연세대학교.
- 한국수자원공사(1997). 기존 정수장 효율향상 기술.
- Croue, J. P., Lefebvre, E., Martin, B. and Legube, B. (1993). Removal of dissolved hydrophobic and hydrophilic organic substances during coagulation/ flocculation of surface water. *Wat Sci Tech.*, **27**, pp. 143-152.
- Leenheer, J. (1985). Fractionation techniques for aquatic humic substance. *Humic substance in soil, sediment, and water*, Wiley-Interscience, New York.
- Malley Jr., J. P. (1988). A fundamental study of dissolved air flotation for treatment of low turbidity waters containing natural organic matter. Dissertation for Ph.D., Department of Civil Engineering, University of Massachusetts, Amherst.
- Mogren, R. M., Scarpino, P. and Summers, R. S. (1990). Measurement of biodegradable dissolved organic carbon in drinking water. *Proceeding of the Annual AWWA*, Cincinnati, USA.
- Owen, D. M., Amy, G. L. and Chowdhury, Z. K. (1993). Characterization of Natural Organic Matter and its relationship to treatability. *AWWARF*, Denver, Colorado, USA.
- Owen, D. M., Amy, G. L., Chowdhury, Z. K., Paode, R., McCoy, G. and Viscosil, K. (1995). NOM characterization and treatability. *J AWWA*, **87**(1), pp. 46-63.
- Renolds, C. S. (1982). Phytoplankton periodicity : its motivation mechanisms and manipulation. 50th Ann. Rep. *Freshwat. Bio. Assn.* pp. 60-75.
- Singer, P. C. and Harrington, G. W. (1993). Coagulation of DBP precursors : theoretical and practical considerations. *Proc Water quality technol conf AWWA*, Denver, Colo. pp. 1-19.
- Symons, J. M. (1975). National organics reconnaissance survey halogenated organics. *J AWWA*, **67**, pp. 634-647.
- U. S. Environmental Protection Agency (1992). Methodes for the determination of organic compounds in drinking water supplement II Method 524.2.
- U. S. Environmental Protection Agency (1997). National primary drinking water regulation: Disinfectants and disinfection by-products; Notice of data availability; proposed rule, **62**(212), pp. 59387-59484.