

## 녹조류(*Chlamydomonas pulsatilla*)에 의한 염소소독부산물 생성과 그 특성

금희정 · 김준성\* · 정 용†

연세대학교 보건대학원 및 의과대학

\*메사추세츠 주립대학

## Characterization of Disinfection By-Products by *Chlamydomonas pulsatilla*

Heejung Kum · Junsung Kim\* · Yong Chung†

Graduate school of Health Science and Management, College of Medicine, Yonsei University

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

(Received 12 July 2005, Accepted 1 September 2005)

### Abstract

This study was conducted to evaluate the chlorinated disinfection by-products formation potential (DBPFP) produced from the cell and extracellular product (ECP) of *Chlamydomonas pulsatilla* after chlorination. Reaction yields of DBPs produced by *C. pulsatilla* of ECP and the cell were 0.007  $\mu\text{mol}/\text{mg} \cdot \text{C}$  and 0.808  $\mu\text{mol}/\text{mg} \cdot \text{C}$  respectively. Also, SUVA values of ECP and the cell were measured as 0.313 L/mg·m and 1.052 L/mg·m respectively. The DOC of cell was found to be lower than that of ECP, while the SUVA value and reaction yields for the cell were higher than those of ECP. For ECP, most of the DBPFP was composed of trihalomethanes (THM; 47.3%) and haloacetonitriles (HAN; 38.83%). THM and HAN were the major DBPFP produced by the cell. Chloroform was found to be the major THM compound; 98.3% for ECP and 99.98% for the cell. Dichloroacetic acid (DCAA) and dichloroacetonitrile (DCAN) were identified as the major haloacetic acid (HAA) and HAN compounds formed by ECP and the cell as a precursor, respectively. As the chlorine dose was increased, concentrations of DOC, THMs, and HANs were increased. However, the chlorine dose decreased the concentration of chlorophyll-a.

**keywords** : Chlorinated disinfection by-products, Chlorination, Precursor, Algae(*Chlamydomonas pulsatilla*)

## 1. 서론

지금까지 소독부산물 연구에 의하면, 자연수 중에 존재하는 휴믹성분이 염소소독부산물을 생성하는 주요 전구물질로 밝혀졌다. 그러나 이외에 조류, 탄닌산(tannic acid) 그리고 질소를 함유한 화합물과 같이 자연적으로 발생하는 유기물 역시 염소 소독시 trihalomethanes(THMs)과 같은 부산물을 생성한다(Oliver et al., 1980). 한편, 염소소독시 조류에 의해 생성되는 유기물질에 의하여 chloroform(CF)이 생성되는 뚜렷한 결과가 최초로 보고되었으며(Morris et al., 1978), 버지니아의 취수원(Virginia reservoir)에서는 여름철의 THMs 농도와 chlorophyll-a 농도가 높은 상관관계를 보였다. 이와 같은 결과는 조류가 THMs의 주요한 전구물질임을 의미한다(Oliver et al., 1973). 또한 조류는 수중에 전구물질로 작용할 수 있는 세포 외 생성물질(extracellular product: ECP)을 배출하는 것으로 알려져 있다(Singer et al., 1991).

여러 지표수 처리공정에 있어서, ECP와 같이 조류에 의해 발생되는 물질은 자연수 중의 유기물(natural organic

matter: NOM)과 DBPs 전구물질(precursors)의 중요한 원인이 되고 있다(Hoehn et al., 1980, 1984; Edzwald et al., 1985; Goel et al., 1995). 자연수중의 NOM 분포가 계절에 따라 변하고, 수중에 포함되어 있는 조류 또한 계절에 따라 변화하므로 NOM의 구성이 계절에 따른 조류의 종류와 발생정도와 관계가 있을 것으로 추정된다(Bruchet et al., 1995).

조류세포의 생성물질인 ECP는 종종 조류세포에 비해 총 유기탄소(TOC)농도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 조류가 수중의 유기물 농도에 기여하는 정도는 수 환경의 특성에 따라 다르다(Zumstein et al., 1989).

우리 나라의 기후는 북반구 온대지역으로 계절이 뚜렷이 나뉘어져 있고 또한 연중 강수량의 많은 부분이 6, 7월에 집중호우로 내리는 기후 특성을 가지고 있다. 따라서 각 계절마다 조류의 성장환경이 다르며 그 환경에서 최적 성장을 할 수 있는 조류들이 각 계절에서 우점 조류가 되며 조류의 증식율은 계절에 따라 달라진다(박 등, 1992, 1997).

계절에 따라 상수원수에서 발생하는 조류의 주기적인 대 발생(algae bloom)은 조류가 배출하는 유기물로 인하여 수중 유기물의 성장과 양에 기여하는 정도가 증가할 것으로 사료된다. 따라서, 정수처리 공정 중 염소소독에 의해 disinfection by-products(DBPs)를 생성시키는 전구물질의

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

양 또한 증가 할 것으로 판단된다. 또한 고농도의 조류가 존재하는 상수원수의 정수처리 공정 중 살균을 위한 염소 소독시에는 염소와 조류세포의 접촉으로 세포가 분해되어 DBPs 전구물질의 양을 증가시키고 DBPs의 생성에도 영향을 미칠 것이다.

이 연구에서는 하절기 때 하천의 우점종 녹조류인 *Chlamydomonas pulsatilla*의 세포 및 세포의 생성물(extracellular product)로 인하여 발생하는 DBPs의 생성 특성을 실험실적 조건하에서 측정하여, DBPs 전구물질로서 조류의 영향을 파악하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

이 연구에서 사용한 조류는 일본 국립환경연구소(NIES)에서 분리되어 국립환경연구원(NIER)에서 배양시킨 녹조류인 *Chlamydomonas pulsatilla* (NIER 10006)를 분양받아 사용하였으며, *C. pulsatilla*의 배양조건은 Table 1에 나타내었다. Figure 1은 광학현미경을 이용하여 조류 형태를 관찰한 그림이다.

실험에 사용된 조제수에는 *C. pulsatilla*가 배양기간 중 증식이 가장 활발한 상태로, chlorophyll-a 농도가 1.1 mg/L

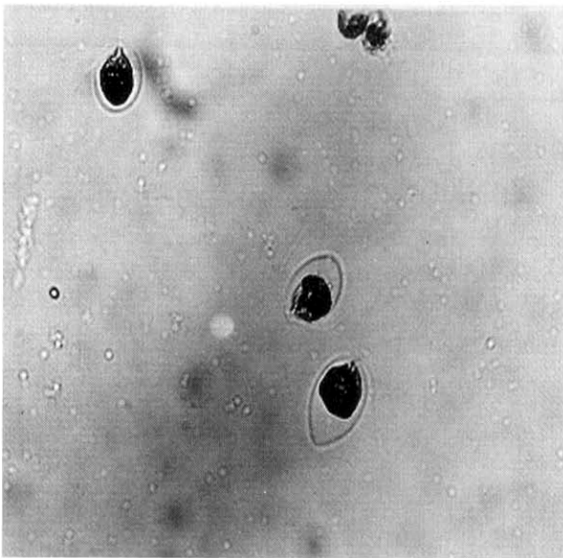


Fig. 1. The microphotograph of *C. pulsatilla*. (Nikon HFX-DX)

Table 1. Culture conditions and isolation source of *C. pulsatilla*

Algae species	Green algae <i>Chlamydomonas pulsatilla</i>
Region of initial separation	Muroran, Hokkaido, Japan
Strain No. (NIES)	NIES-122
Strain No. (NIER)	NIER-10006
Medium	P 35
Culture Temperature	25 °C
Light intensity	2000 Lux
L/D cycle	14 hrs light / 10 hrs dark

이며, 세포수는  $1.1 \times 10^4$  cell/mL였다. 세포수는 Standard method 10200 F 방법으로 Hemacytometer를 사용하여 측정하였으며 chlorophyll-a 농도는 Standard method 10200 H-2. Spectrophotometric determination 방법으로 분석하였다 (APHA, AWWA, WPCF. 19th ed. 1995). 시료를 조제하기 위해 2600 rpm에서 20분 동안 원심분리를 하여 ECP와 세포를 분리하였으며, 세포는 탈이온수에 투입하여 시료를 조제하였다.

### 2.1. 소독부산물 생성능 실험

DBPFP(formation potential)의 차이를 조사하기 위해서 Standard Method 5710 방법을 이용하였다(APHA, AWWA, WPCF. 19th ed., 1995). 염소투여량을 결정하기 위해 시료가 소비할 수 있는 염소량을 구하는 염소요구량(chlorine demand)을 standard method에 의해 구하였다. ECP와 cell 시료에 완충용액을 이용하여 pH 7.0±0.2로 조정 후 조사된 염소요구량에 해당하는 염소를 분리된 시료에 각각 주입하였다. 염소 투여 후 25±2°C에서 7일간 반응시킨 후 DBPs를 측정하였다. 7일 동안 소비된 염소량은 ECP는 단위 DOC 당 11 mg · Cl<sub>2</sub>/L 소비되었고, 세포는 단위 DOC 당 24 mg · Cl<sub>2</sub>/L 소비되었다.

### 2.2. 염소 주입량에 따른 소독부산물 생성

염소 투여량의 변화에 따라 *C. pulsatilla* 세포로부터 배출되는 유기물량과 그에 따른 DBPs의 생성을 조사하기 위하여 다음과 같은 조건으로 실험하였다.

중류수에 조제하여 사용된 시료의 *C. pulsatilla* 농도는  $3 \times 10^4$  cell/mL이었으며 클로로필-a농도가 1.9 mg/L인 시료를 사용하였다. 염소는 0.5, 1, 3, 5, 10 mg/L 단계별로 주입하였고, 온도는 25±2°C에서 6시간 방치시킨 후 생성된 염소소독부산물을 측정하였다.

### 2.3. 소독부산물의 분석

DBPs의 대상항목은 US EPA Drinking Water Standards and Health Advisories에 규정하고 있는 THMs(4종), HAAs(6종), HANs(4종), HKs(2종), CH(chloral hydrate) 및 CP(chloropicrine) 등을 선정하였다(US EPA, 1997).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. EPC와 세포에 의한 염소소독 부산물 생성능

*C. pulsatilla*의 ECP 및 세포가 전구물질로서 염소와 반응하여 DBPs를 생성할 수 있는 정도를 설명하기 위하여 DOC 농도, UV<sub>254</sub>, SUVA 및 반응비(reaction yields)를 Table 3에 나타내었다. Reaction yields는 DOC 농도 당 생성되는 DBPs의 몰수로 나타내었다.

Table 3을 보면, ECP와 세포의 총DBPs reaction yields는 각각 0.0068 μmol/mg·C, 0.808 μmol/mg·C였다. 또한, SUVA 값은 ECP와 세포에서 각각 0.313 L/mg·m과 1.052 L/mg·m로 조사되었다.

**Table 2.** Species and analysis method of DBPs

species	compounds	abb.	method
THMs	chloroform	CF	EPA
	bromodichloromethane	BDCM	524.2
	dibromochloromethane	DBCM	
	bromoform	BF	
HAAs	chloroacetic acid	MCAA	EPA
	dichloroacetic acid	DCAA	552.1
	trichloroacetic acid	TCAA	
	bromoacetic acid	MBAA	
	bromochloroacetic acid	BCAA	
	dibromochloroacetic acid	DBAA	
HANs	trichloroacetonitrile	TCAN	EPA 551
	dichloroacetonitrile	DCAN	
	bromochloroacetonitrile	BCAN	
	dibromoacetonitrile	DBAN	
HKs	1,1-dichloropropanone	DCP	EPA 551
	1,1,1-trichloropropanone	TCP	
	chloropocrine	CP	EPA 551
	chloralhydrate	CH	

ECP의 DOC 농도가 세포에 의한 농도보다 높은 값을 나타낸 반면에 SUVA값과 각 DBPs의 reaction yields는 세포에서 모두 높은 값을 나타내었다. 조사된 염소소독부산물의

**Table 3.** Concentration of organic matter and chlorinated DBPs reaction yields

items	ECP	Cell
DOC (mg/L)	52.08	14.17
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.163	0.149
SUVA (L/mg·m)	0.313	1.052
THMFP yields (μmol/mg·C)*	0.0033	0.177
HAAFP yields (μmol/mg·C)*	0.0002	0.003
HANFP yields (μmol/mg·C)*	0.0033	0.628
DBPFP yields (μmol/mg·C)*	0.0068	0.808

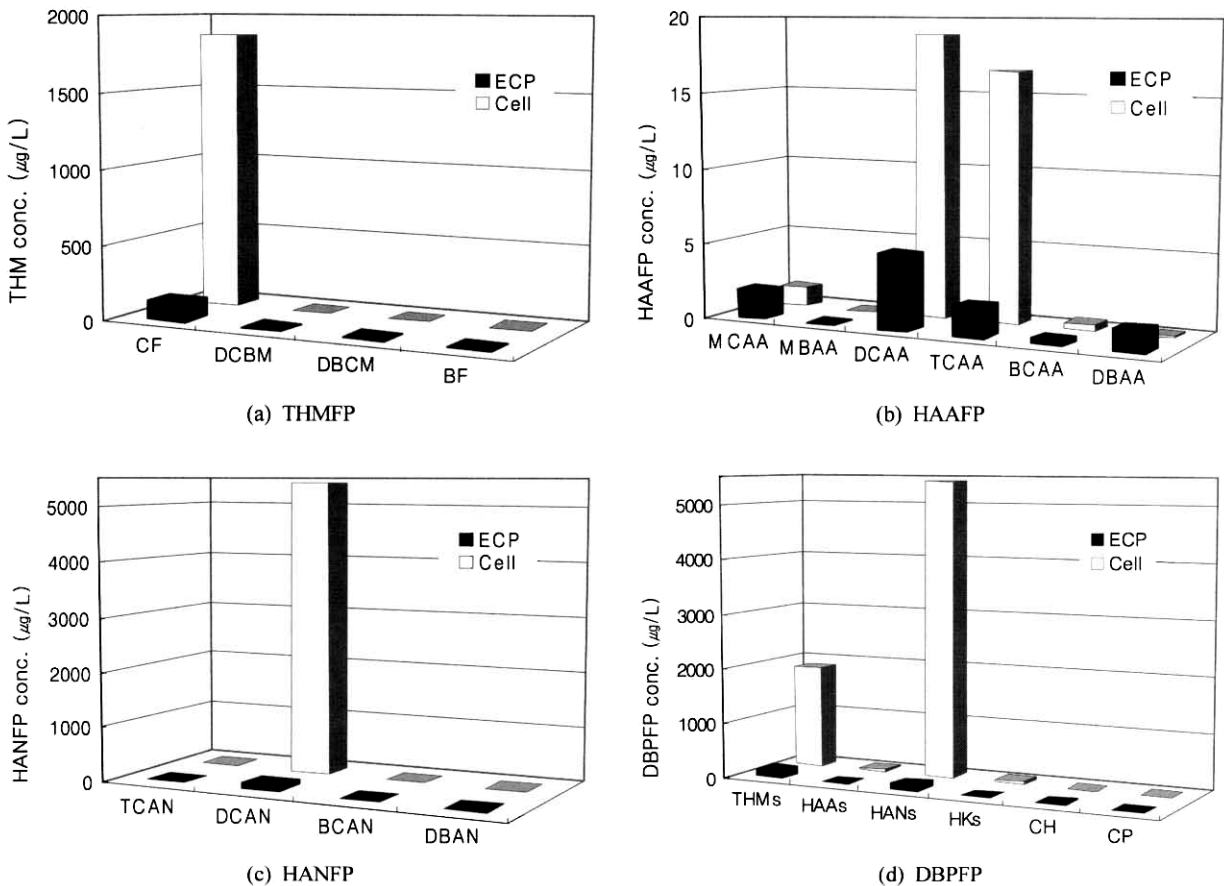
※ Algae: chlorophyll-a = 1.1 mg/L, 1.1×10<sup>4</sup> cell/mL

\*reaction yields = μmol-DBPFP / mg·C

reaction yield 또한 세포에 의한 것이 높은 농도를 나타내었다.

Figure 2는 각각의 염소소독부산물의 생성량의 결과를 나타내었다. DBPFP는 ECP가 270.16 μg/L였으며, 세포의 DBPFP가 7,372 μg/L로 ECP보다 상당히 높은 차이를 나타내었다.

ECP의 DBPFP 중에서 THMFP와 HANFP농도가 각각 127.82 μg/L와 104.78 μg/L로 생성되었고, ECP의 HAAFP는 10.42 μg/L로 낮은 농도로 생성되었다. 한편, 세포의 DBPFP 중에서는 HANFP 농도가 5,207 μg/L로 가장 많이 생성되었으며, THMFP 농도는 세포에서 1,864.6 μg/L으로



**Fig. 2.** DBPFP concentration of *C. pulsatilla* ECP and cell for 7-days reaction time

생성되었고 HAAFP는 37.15  $\mu\text{g/L}$ 로 낮았다. 이외에 측정된 DBPs에는 HKs, CP, 그리고 CH가 있으며 HKFP 농도는 ECP와 cell에 의한 생성량은 각각 2.82  $\mu\text{g/L}$ 와 47.43  $\mu\text{g/L}$ 로 측정되었다. ECP와 cell에 의한 CPFP는 각각 3.3  $\mu\text{g/L}$ 와 16.2  $\mu\text{g/L}$ 로 생성되었으며, CHFP는 ECP에서만 21.03  $\mu\text{g/L}$ 이 생성되었다.

본 연구결과에 의하면 조류가 성장하게 됨에 따라 생성된 DOC 농도는 ECP가 세포보다 높은 결과를 나타내고 있으나 염소 투여후 소독부산물 생성량은 ECP보다 세포가 상당히 높게 생성되었다.

이것은 소독부산물 생성량 실험과정에서 과량의 염소주입으로 조류의 세포가 파괴되고, 이로 인해서 DBPs를 생성시킬 수 있는 유기물이 세포 안에서 다량 배출되고 이것이 염소와 반응하여 고농도의 DBPs가 생성된 것으로 판단된다. 실제로 상수원수중에 조류가 발생하였을 경우, 이를 사멸시키고 맛, 냄새 등의 조류로 인한 문제를 해결하기 위하여 정수처리과정에서 전오존이나 전염소 처리 그리고 소독제 투입량을 증가시키는 방법 등을 주로 사용하고 있다. 고농도의 조류가 존재하는 원수에 과다한 오존을 주입하였을 때 조류의 세포 내의 유기물질 즉, ECP와 intracellular 생산물질이 방출되어 이들 물질에 의하여 수중의 유기물 양이 증가하는 것으로 보고되고 있다(김 등, 1996).

세포 자체는 응집이나 침전 및 여과와 같은 기존 정수처리에 의한 제거 될 수 있다. 또한 전염소나 전오존 처리를 할 경우 조류 세포 자체는 제거되거나 사멸 될 수 있지만 세포의 사멸에 의해 발생될 수 있는 유기물은 수중에 용존되어 DBPs의 전구물질을 증가시킬 수 있는 가능성이 매우 클 것으로 판단된다.

오존처리로 인한 수중의 TOC 변화에 대한 조사에 따르면, 클로로필-a 농도가 24  $\mu\text{g/L}$ 인 경우 TOC 농도의 감소율이 2.2~8.3%인 반면, 클로로필-a 농도가 40  $\mu\text{g/L}$ 이상인 경우에는 감소율이 5.8~12.1%로 다소 증가하는 경향을 보였다(김 등, 1996). 이는 오존 주입으로 인하여 조류 세포의 ECP와 ICP(intercellula product)가 방출되기 쉽고 또한 고분자 유기물질의 저분자 유기물화 혹은 산성 기능성 물질(acidic functional group)로 변화되어 입자성 조류들이 산화 분해되어 TOC의 증가를 초래한 것으로 사료된다.

수중에 존재하는 농도가 동일하다 하더라도 유기물질을 구성하는 성분이 염소와 반응하는 정도가 다르기 때문에 이들의 구성성분 비율에 따라 생성되는 총소독부산물의 생성량과 구성성분 비율도 서로 다르게 나타난다고 사료된다. 따라서 SUVA나 DBPs의 reaction yields를 통하여 유기물 특성에 따른 DBPs의 생성 특성에 대한 차이를 살펴볼 수 있다. 우리 나라 상수원수는 하수성분에 포함된 질소와 인 등 인위적인 오염원의 유입으로 인해 조류의 발생이 빈번하여 HANs의 농도가 다른 나라에 비해 많은 비율을 차지하는 등 DBPs의 생성 특성 차이를 나타낼 것이다.

### 3.2. 염소 주입농도에 따른 소독부산물 생성능

*C. pulsatilla*에 있어서 염소 주입농도에 따른 DBPFP의

조사에 사용된 *C. pulsatilla*는 클로로필-a 농도가 1.9  $\text{mg/L}$ 이며,  $3 \times 10^4$  cell/mL로 조제한 시료를 사용하였고, 이때 DOC 농도는 1.91  $\mu\text{g}/10^4\text{cell}$ 이었다. 이것을 염소와 반응시켜 염소의 주입량에 따른 DBPs의 생성능을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

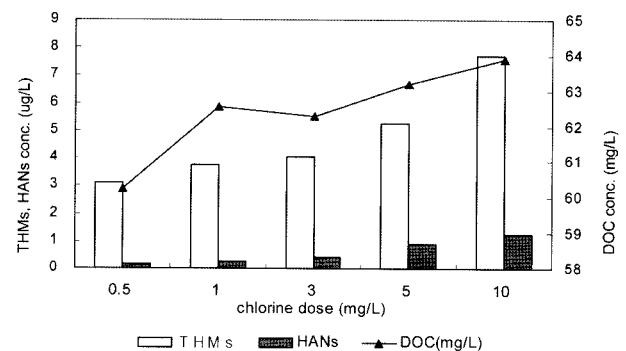
**Table 4.** Concentration of organic matter and chlorinated DBPs from *C. pulsatilla*

Chlorine dose (mg/L)	0.5	1	3	5	10
DOC ( $\mu\text{g}/10^4\text{cell}$ )	20.09	20.77	20.77	21.07	21.30
UVA (abs/cm)	0.058	0.062	0.058	0.059	0.059
SUVA (L/mg-cm)	0.096	0.100	0.093	0.093	0.092
chlorophyll a (mg/L)	1.765	1.591	1.593	1.365	1.311
THM yields ( $\mu\text{mol/g}$ )*	0.21	0.24	0.26	0.32	0.49
HAN yields ( $\mu\text{mol/g}$ )*	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10
THMs ( $\mu\text{g/L}$ )	3.088	3.765	4.069	5.232	7.706
HANs ( $\mu\text{g/L}$ )	0.159	0.258	0.445	0.911	1.231

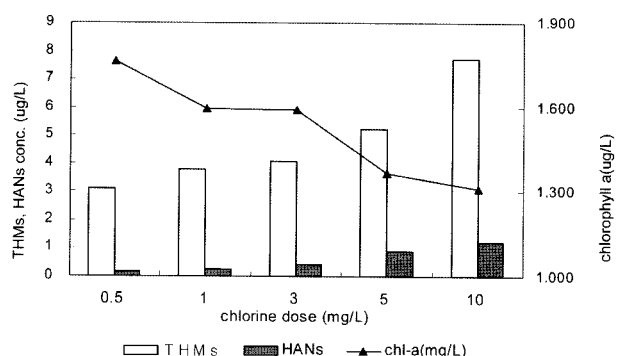
\*: reaction yields =  $\mu\text{mol-DBPFP}/\text{mgC}$

Figure 3과 Figure 4는 염소주입량에 따라 DOC 농도와 클로로필-a에 대한 THMs과 HANs의 농도 변화를 나타낸 결과이다.

DOC 농도는 염소투여 전보다 투여후, 그리고 염소주입량이 증가함에 따라서 증가하였고, 이에 따라 THMs과 HANs이 증가하였다. 반면 클로로필-a의 농도는 *C. pulsatilla* 세포의 파괴로 인하여 염소투여전보다 염소주입 후, 그리고



**Fig. 3.** Variation of THMs and HANs concentration from *C. pulsatilla* for DOC concentration.



**Fig. 4.** Variation of THMs and HANs concentration of *C. pulsatilla* for chlorophyll-a concentration.

염소주입량이 증가함에 따라 감소하였다.

광학현미경(Crleiss사의 Axioplan 2)을 이용하여 세포가 파괴된 정도를 관찰한 결과 모든 염소주입농도에서 *C. pulsatilla* 세포의 편모가 끊어지거나 엽록소의 양이 줄어들고 세포의 형태가 변형되는 등의 변화를 관찰 할 수 있었다.

Ezward 등(1992)도 다음과 같은 유사한 연구를 수행하였다. 즉, *Scenedesmus*(녹조류), *Cyclotella*(규조류), *Chlorella*(녹조류) 그리고 *Synura*(갈색조류)를 대상으로, 오존을 각각 1, 3, 8 mg/L으로 주입 후 SEM's(Scanning electron micrographs)을 사용하여 조류세포를 관찰한 결과 모든 오존 주입량에서 세포가 손상되거나 편모가 끊어지는 등 변화를 나타내었다.

조류는 성장하는 동안에 대사산물로서 다당류(polysaccharides)와 그 외의 중합물질을 배출한다. 세포의 표면에 있는 ECP의 구조와 양은 조류종과 그들의 성장기에 따라 다르다. 수중에 존재하는 ECP는 주로 다당류(polysaccharides), 단백질(proteins), 리포단백질(lipoproteins) 및 복합아미노산(polyamino acid)등으로 구성되어 있다. (Hoehn et al., 1980). 특히 아미노산(amino acid)은 HANs을 생성하는 주요 전구물질로 알려져 있으며, 이외에 조류의 대사산물 등 가장 많이 생성되는 단백질류(protein과 lipoproteins)등도 HANs 및 그 외의 DBPs를 생성하는 전구물질로 알려져 있다(Takeo, 1987).

이 결과를 통하여, 조류 대발생시 상수원수에 존재하는 조류를 제거하기 위하여 실제 정수처리과정에서 주로 사용되고 있는 염소나 오존과 같은 소독제를 사용한다. 소독제는 대부분의 조류 세포를 손상시켜서 제거 할 수는 있겠지만, 세포내에 존재하는 유기물에 수중에 배출되어 DBP의 전구물질로 작용할 수 있을 것이다.

정 등(1997)에 의한 수도수중 염소소독부산물로 인한 건강위해성 평가에 관한 연구에 의하면 이미 HANs중 DCAN과 DBAN은 인체에 발암 가능성이 있는 물질로도 조사되었다. 비발암물질의 위해성평가 방법을 통해 산정된 HANs의 RfD(Reference dose : 참고치) 값은 0.0023 mg/kg/day로 조사되었다. 서울시의 일부 가정수에서 측정된 HANs의 환경노출평가 결과로 하여 산출된 HANs에 대한 총 위험값은  $9.39 \times 10^{-4}$ 를 나타내었다.

일반적으로, 정수처리시 상수원수중에 조류가 대발생 하였을 경우 이를 제어하기 위하여 전염소나 전오존처리 그리고 최종 염소주입농도를 증가시키는 방법을 주로 사용하고 있다. 그러나 이것은 조류자체나 조류가 발생시키는 유기물이 DBPs의 생성에 미치는 영향을 간과한 것으로, 효과적인 정수처리 방안을 모색하여야 할 것이다.

DBPs의 발생을 제어하기 위한 방안으로서 상수원관리(source control), 전구물질제어(precursor control), 대체소독제 적용(alternative disinfectant), 탈기(air stripping) 기술 등이 제안되고 있다(Singer, 1994). 이들 저감방안은 DBPs의 생성반응의 원리에 근거하여 응용된 반응이다. 상수원에 유입되는 영양물질을 제어하여 조류의 성장을 억제하거나, 염소를 주소독제(primary disinfectant)로 하고 보조소독제

(secondary disinfectant)로서 대체소독제(alternative disinfectant)를 주로 사용하기도 한다. 또한 USEPA에서는 DBPs와 이의 전구물질을 제어하기 위해서 다양한 최적화 기법(best available technology; 이하 BAT)을 개발해 적용해 나가고 있다(USEPA, 1997). 이렇게 제안된 최적처리공정 중 용존 공기부상법(dissolved air flotation; 이하 DAF)에 의한 정수처리 효과에 대한 연구에 의하면, 응집과 미세 부상(microflotation)에 의해 조류와 같이 부유성이 있는 물질을 제거하는데 탁월한 효과가 있음이 증명되었으며(Edzwald, 1992; 손 등, 2003), THMs이나 전구물질의 제거효율이 기존정수공정보다 우수한 것으로 조사된바 있다(Edzwald, 1992). 상수원에 조류가 대발생 하였을 경우 DAF를 전처리 공정으로 적용한다면, 우선 조류가 물리적으로 제거되고 난 후에 소독제를 사용하므로 조류의 효율적인 제거와 동시에 전염소처리 등에 의한 조류에 의해 배출되는 전구물질의 증가를 감소시킴으로서 DBPs의 발생 또한 감소시킬 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

*C. pulsatilla*를 배양하여 ECP와 세포를 분리한 후 각각에 의한 DBPs의 생성량과 구성성분의 특성을 조사하였다. DBPs 전구물질로서 조류의 영향과 특성을 평가하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) *C. pulsatilla*의 ECP와 세포의 용존유기물에 대한 DBPs의 생성비는 각각 0.0068  $\mu\text{mol}/\text{mg} \cdot \text{C}$ , 0.808  $\mu\text{mol}/\text{mg} \cdot \text{C}$ 였다. 또한, SUVA 값은 ECP와 세포에서 각각 0.313 L/mg·m과 1.052 L/mg·m로 조사되었다.
- 2) ECP의 DOC 농도가 세포에 의한 농도보다 높은 값을 나타낸 반면에 SUVA값과 각 DBPs의 DOC 농도에 대한 반응비는 세포에서 모두 높은 값을 나타내었다.
- 3) *C. pulsatilla*가 생성할 수 있는 염소소독부산물의 농도는 ECP가 270.16  $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 측정되었으며, 세포의 DBPFP는 7,372  $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 ECP에 의한 것보다 높은 소독부산물 생성능을 나타내었다.
- 4) 특히, ECP에 의한 DBPs 중에서 THMs과 HANs이 각각 127.82  $\mu\text{g}/\text{L}$ 와 104.78  $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 생성되었으며, 세포의 DBPs 생성능 중에서는 HANs이 5,207  $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 가장 많이 생성되었으며, THMs 농도는 1,864  $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 생성되었다.
- 5) 염소주입량이 증가함에 따라서 용존유기물 농도가 증가하였고 이에 따라 생성되는 THMs과 HANs이 증가되었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 조류 자체나 조류에 의해 생성되는 유기물에 의해 DBPs이 생성됨을 확인하였다. 특히, DBPs의 종류 중 HANs이 전체 DBPs 중에서 차지하는 비율이 지금까지 조사되어온 휴믹성분과 같은 DBPs 전구물질에 의해 생성되는 HANs의 구성비보다 많은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 우리 나라 상수원수와 같이 주기적인 조류 대발생(algae bloom)에 의한 영향이 큰 경우 유기물의 특성과 더불어 DBPs의 생성특성이 달라

질 것이다. 그러므로 상수원수중에 조류가 발생하였을 때 유기물특성의 변화를 파악하여 DBPs의 전구물질로서의 평가에 대한 연구가 진행되어야 할 것이며, 적절한 정수처리 방안을 검토함으로써 조류를 효과적으로 제거함과 동시에 간과되어 왔던 조류로 인한 DBPs의 전구물질의 양이 증가 되는 것을 최소화할 수 있는 방안을 제안 할 수 있어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 김상구, 류동춘, 박은주, 류상원, 박흥기, 김누보, 정철원, 류재익, 물금 원수의 정수처리시 전오존의 영향, *상수도 연구보*, **2**, pp. 3-16 (1996).
- 박혜경, 류재근, 정원화, 박수용, 변명섭, 구연봉, 윤승모, 국내 주요 상수원에서의 조류발생 추이에 관한 연구, *한국수질보전학회 추계 학술논문발표회 논문초록집*, pp. 53-56, (1997).
- 박혜경, 천세억, 박승익, 이문호, 유재근, 국내 주요 댐호에 있어서의 계절별 조류종 천이, *한국수질보전학회지*, **8**(3), pp. 150-157 (1992).
- 손기수, 유정희, 광동희, DAF 공정에 의한 남조류와 소독부산물 제거, *2003 대한상하수도학회, 한국물환경학회 공동추계 학술발표회 논문집*, pp. A71-A74 (2003).
- 정 용, 신동천, 양지연, 박연신, 김준성, 수도수중 염소소독 부산물로 인한 건강 위해성 평가에 관한 연구, *한국환경독성학회*, **12**(3), pp. 31-41 (1997).
- APHA, AWWA, WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed. APHA, U.S.A., (1995).
- Bruchet, A., Cotsaris, E., Mallevalle, J. and Bursill, D. B., The Identification of Odorous Metabolites Produced from Algal Monocultures, *Wat. Sci. & Tech.*, **31**(11), pp 251-258 (1995).
- Edzwald, J. K., Becker, W. C. and Wattier, K. L., Surrogate Parameter for Monitoring Organic Matter and THM Precursors, *J AWWA*, **4**, pp. 122-132 (1985).
- Edzwald, J. K., Paralkar, Algae, Coagulation, and Ozonation, *Chemical Water and Wastewater Treatment II, Proceedings of the 5th Gothenburg symposium 1992*, Nice, France pp. 263-279 (1992).
- Geol, S., Hozalski, R. M. and Bouwer, E. J., Biodegradation of NOM : Effect of NOM Source and Ozone Dose, *J AWWA*, **1**, pp. 90-105 (1995).
- Hoehn, R. C., Barnes, D. B., Thompson, B. C., Randall, C. W., Grizzard, T. and Shaffer, PTB, Algae as Sources of Trihalomethane Precursors, *J AWWA*, **6**, pp. 344-350 (1980).
- Hoehn, R. C., Dixon, K. L., Malone, J. K., Novak, J. T. and Randall, C. W., Biologically Induced Variation in the Nature and Removability of THM Precursors by Alum Treatment. *J AWWA*, **4**, pp. 134-141 (1984).
- Morris, J. C. and Baum, B., Water Chlorination, *Environ. Impact Health Eff., Proc. Conf.*, **2**(29), (1978).
- Oliver, B. G., Dihaloacetonitriles in Drinking Water : Algae and Fulvic Acid as Precursors, *Environ. Sci. Technol.*, **17**(2) pp. 80-83 (1978).
- Oliver, B. G. and Shindier, D. B., Trihalomethanes from the Chlorination of Aquatic Algae, *Environ. Sci. Technol.*, **14**(12), pp. 1502-1505 (1980).
- Singer, P. C. and Karimi, A. A., Trihalomethane Formation in Open Reservoirs, *J AWWA*, **3**, pp. 84-88 (1991).
- Singer, P. C., Control of Disinfection By-products in Drinking Water, *J. Environ. Eng.*, **120**(4), pp. 727-744 (1994).
- Takeo, H. and Nobuhiko, H., Pattern of Organic Matter Production by Natural Phytoplankton Population in a Eutrophic Lake : 2. Extracellular products, *Arch. Hydrobiol.*, **109**(2), pp. 227-243 (1987).
- USEPA, *National Primary Drinking Water Regulation: Disinfectants and Disinfection By-products: Notice of Data Availability: Proposed Rule*, **62**(212), pp. 59387-59484 (1997).
- Zumstein, J. and Buffle, J., Circulation of Pedogenic and Aquagenic Organic Matter in an Eutrophic Lake, *Water Research*, **23**(2), pp. 229-239 (1989).