

ORIGINAL ARTICLE

다양한 조류종들의 세포외 유기물질에서의 염소 소독부산물 생성 특성

손희종* · 박흥기 · 황영도 · 정종문 · 김상구

부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

Characteristics of Formation of Chlorination Disinfection By-Products in Extracellular Organic Matter of Various Algal Species

Hee-Jong Son*, Hong-Ki Park, Young-Do Hwang, Jong-Moon Jung, Sang-Goo Kim

Water Quality Institute, Water authority, Busan 621-813, Korea

Abstract

Formation of disinfection by-products (DBPs) including trihalomethans (THMs) and haloacetic acids (HAAs) from chlorination of six different species (*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus sp.*, *Anabaena cylindrical*, *Microcystis aeruginosa*, *Asterionella formosa* and *Aulacoseira sp.*) of algal extracellular organic matter (EOM). The EOM characteristics evaluation of six algal species reaching at the stationary phase in the growth curve showed most of its SUVA₂₅₄ showed below 1 and this means hydrophilic organic matter is much higher than hydrophobic organic matter. Chloroform formation potential (CFFP), dichloroacetic acid formation potential (DCAAFP) and trichloroacetic acid formation potential (TCAAFP) were mainly composed of THMFP and HAAFP in the EOM of various algal species. In the case of THMFP/DOC and HAAFP/DOC values, EOM of blue-green algae has appeared highest and EOM of green algae and diatom in order. THMFP/DOC was higher than HAAFP/DOC in EOM of blue-green algae. In comparison of formation potential by unit DOC composed of HAAFP in algal species EOM, DCAAFP/DOC was 1.5 times to 7.5 time higher than TCAAFP/DOC in the EOM of blue-green algae, while DCAAFP/DOC was found to be relatively high compared to TCAAFP/DOC in the EOM of green algae and diatom.

Key words : Algae, Disinfection, Disinfection By-Products (DBPs), Extracellular Organic Matter (EOM), Chlorination.

1. 서 론

강이나 호소 같은 상수원에 서식하는 조류는 수중의 조류 개체수가 적을 경우에는 정수처리에 큰 문제를 유발하지 않지만 여러 가지 요인으로 인해 수중의 조류 개체수가 증가하면 정수처리 공정의 운영측면에서 응집약품 사용량 증가, 응집플록의 침전능 저하, 모래 여과지 폐색 유발 및 역세척 주기 단축 등 많은 문제를 유발한다 (Choi 등, 2006; Joh 등, 2011; Jun 등, 2001; Ma 등,

2007). 또한, 처리수질 측면에서는 조류가 분비하는 독소물질과 이취 유발물질이 문제시되어 이에 대한 다양한 연구들이 진행되었다(Ando 등, 1992; Fleming 등, 2002). 최근에는 조류유래 유기물질(algogenic organic matter, AOM)들이 정수처리에서 사용되는 소독제인 염소와 반응하여 인체에 유해한 다양한 소독부산물(disinfection by-products, DBPs)들을 생성시킨다고 보고되었다(Bond 등, 2011; Huang 등, 2008; Plummer와 Edzwald, 2001). 특히, AOM은 대부분이 친수성을

Received 17 February, 2015; Revised 31 March, 2015;

Accepted 2 April, 2015

*Corresponding author: Hee-Jong Son, Water Quality Institute, Water authority, Busan 621-813, Korea

Phone: +82-51-669-4788

E-mail: menuturk@hanmail.net

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

띄는 저분자 유기물질들로 구성되어 있기 때문에 응집-침전-여과와 같은 기존 정수처리 시스템에서는 쉽게 제거되지 않으며(Boyer 등, 2008), 염소와 반응하여 다양한 종류의 DBPs를 생성한다고 알려져 있다(Hua와 Reckhow, 2007).

AOM은 조체(algal cell)를 구성하는 물질들(intracellular organic matter, IOM)과 조류가 성장하면서 수중으로 방출하는 다양한 대사산물들(metabolic substances)로 구성된 extracellular organic matter (EOM)으로 나뉜다(Huang 등, 2009). IOM은 조류의 세포벽과 세포벽 내의 다양한 유기성 세포 구성성분들(algal biomolecules)로 탄수화물(carbohydrate), 지질(lipid) 및 단백질(protein)로 구성되며, 조류 종류에 따라 구성비율에 많은 차이를 나타내는 것으로 보고되고 있다(Becker, 2007; Brown 등, 1997). 특히, 조류의 세포벽은 N-acetylglucosamine, N-acetylmuramic acid 및 다양한 유기질소 화합물들로 구성되어 있고(Huang 등, 2009), 조류 세포구성 물질들은 fatty acid, polysaccharide와 같은 탄수화물 및 다양한 단백질들로 구성되어 있다고 알려져 있다(Crane 등, 1980; Fang 등, 2010; Myklestad, 1995). 조류종에 따라서는 일반적으로 남조류는 단백질 함량이 규조류(diatom) 보다 높은 반면, 지질의 함량은 규조류가 남조류(blue-green algae)와 녹조류(green algae) 보다 높다고 알려져 있다(Hong 등, 2008). 또한, 조류가 성장하면서 수중으로 방출하는 EOM의 경우 지수 성장기(exponential growth phase)의 조류들은 glycolic acid와 amino acid와 같은 저분자 물질들을 수중으로 방출하며, 노화기에 접어든 조류들에서는 polysaccharide와 같은 고분자 물질들이 수중으로 방출된다고 알려져 있다

(Huang 등, 2009). 따라서 조류 종 및 성장기(growth phase)에 따라 다양한 형태의 AOM들이 수중에 잔존하기 때문에 염소처리시 다양한 종류의 DBPs가 생성된다(Huang 등, 2009).

본 연구에서는 녹조류, 규조류 및 남조류를 대표하는 조류종을 각각 2종씩 선택하여 배양하면서 이들의 성장이 정체기(stationary growth phase)에 도달하였을 때, 이들 종들이 수중으로 배출하는 EOM에서의 염소 소독부산물 생성능을 trihalomethanes 생성능(THMs formation potential, THMF) 및 haloacetic acids 생성능(HAAFP) 위주로 평가하여 조류의 수화(water bloom)시에 정수처리 시설 운영의 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 조류 배양 및 전처리

본 연구에 사용된 6종의 조류는 녹조류 *Chlorella vulgaris*와 *Scenedesmus* sp., 남조류 *Anabaena cylindrical*와 *Microcystis aeruginosa* 그리고 규조류 *Asterionella formosa*와 *Aulacoseira* sp.이었다. 각각의 조류들은 먼저 100 mL 삼각 플라스크에서 전배양(pre-culture)한 후 10 L 용량의 원통 유리조로 옮겨 혼화기를 이용하여 약한 강도로 진탕시키면서 각각 대량 배양하였으며, 배양조건은 Table 1에 나타내었다(NIES of Japan, 1994).

2.2. EOM 분리 및 농도 측정

6종의 조류종들에서 유래되는 EOM의 분리는 먼저 조류와 EOM이 혼합된 배양조에서 채수한 시료수를 원심분리기(Avanti J-25, Beckman, USA)를 사용하여 농축한 후 0.45 μm 여지로 여과시킨 여액을 EOM으로 사

Table 1. Cultivation conditions of various algae species

	Algal species	Media	Temp. (°C)	Illumination (lx)	Cultivation period (month)	Light/dark cycle (hr)
Green	<i>Chlorella vulgaris</i> EOM	C(S)	20	500	2	12/12
	<i>Scenedesmus</i> sp. EOM	CT	20	1000	2	12/12
Diatoms	<i>Asterionella formosa</i> EOM	f/2	10	2000	1	12/12
	<i>Aulacoseira</i> sp. EOM	CSi	15	1000	1	12/12
Blue-green	<i>Anabaena cylindrical</i> EOM	CB	25	1500	1	12/12
	<i>Microcystis aeruginosa</i> EOM	CB	25	1500	1	12/12

용하였다. EOM 농도는 용존유기탄소(dissolved organic carbon, DOC) 농도와 UV-254 흡광도를 TOC 측정기 (Sievers 5310C, Sievers, USA)와 UV-VIS spectrometer (UV-2401PC, Shimadzu, Japan)를 사용하여 측정하였고, 측정된 DOC 농도와 UV-254 흡광도를 이용하여 SUVA₂₅₄ (specific UV 254 nm absorbance)값을 구하였다.

2.3. 염소 소독부산물 생성능 실험 및 분석

조류 혼합액의 염소 처리는 10,000 mg/L의 차아염소산 나트륨(Junsei chemical, Japan)을 조제하여 초기 염소농도가 10 mg/L가 되도록 조류 혼합액에 차아염소산 나트륨을 주입하였으며, 차아염소산 나트륨 주입 후 10% NaOH와 (1+10) H₃PO₄를 사용하여 pH를 7.0±0.2 범위로 조절한 후 20℃ 항온배양기에서 7일간 염소 접촉을 시킨 다음 잔류염소를 고정한 후 염소 소독부산물들을 분석하였다. 염소 소독부산물 종류는 THMs와 HAAs를 분석하였다. THMs는 headspace autosampler가 부착된 GC/μECD (6890N, Agilent, USA)를 사용하여 분석하였으며, HAAs의 전처리 및 분석은 US EPA Method 552.3 (2003)에 근거하여 GC/μECD (6890N, Agilent, USA)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. EOM 특성

성장곡선이 정체기(stationary phase)에 도달한 6종의 조류종별 EOM의 특성을 Table 2에 나타내었다. 수중의 EOM 농도를 나타내는 DOC는 규조류인 *Aulacoseira* sp.의 EOM에서 0.96 mg/L의 농도를 나타낸 반면, 녹조

류인 *Scenedesmus* sp.의 EOM의 경우는 2.86 mg/L의 농도를 나타내어 조류종별로 다소 차이를 보였다. 또한, 수중의 용존 유기물질들의 친/소수도(hydrophilicity/hydrophobicity)의 지표로 사용되는 SUVA₂₅₄의 경우는 녹조류인 *Scenedesmus* sp.의 EOM의 1.18 m⁻¹·L/mg을 제외하면 다른 5종의 조류종들의 EOM에서의 SUVA₂₅₄는 0.48~0.58 m⁻¹·L/mg의 범위로 비교적 낮은 값을 나타내었다. 일반적으로 SUVA₂₅₄ 값이 2 이하일 경우는 친수성 물질의 함량이 높은 것으로 평가하고 있다. Fang 등(2010)은 조체에서 수중으로 용출된 EOM의 SUVA 값이 1.38 L/mg·m 정도로 매우 낮은 것으로 보고하고 있으며, Her 등의 연구결과(2004)에서도 조류를 구성하는 유기물질(AOM)들은 수중의 천연유기물질(NOM)에 비해 높은 친수성 물질의 함량, 낮은 방향족 탄소 함량 및 낮은 SUVA 값을 나타내는 것으로 보고하고 있다. Nguyen 등의 연구결과(2005)에서도 실험에 사용된 녹조류인 *Scenedesmus quadricauda*, 남조류인 *Oscillatoria proliferata* 및 규조류인 *Chaetoceros mulleri* 중에서 *Scenedesmus quadricauda*의 EOM의 SUVA 값이 1.5 ±0.5 L/mg·m으로 가장 높은 것으로 지적하고 있으며, 나머지 2종의 경우는 각각 0.8±0.1 L/mg·m 및 1.0±0.4 L/mg·m 정도로 보고하고 있다.

6종의 조류종들의 EOM에서의 THMFP와 HAAFP 생성농도를 조사한 것을 Fig. 1에 나타내었다. THMFP의 경우는 95% 이상이 chloroform 생성능(CFFP)이었으며, 나머지는 bromodichloromethane 생성능으로 나타났고 다른 2종은 생성되지 않았다. 또한, HAAFP의 경우는 dichloroacetic acid 생성능(DCAAFP)과 trichloroacetic acid 생성능(TCAAFP)이 대부분을 차지하였으며, 나머

Table 2. Characterization of EOMs from each algal species in the stationary growth phase

	Algal species	DOC (mg/L)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	SUVA ₂₅₄ (L/mg·m)	Growth phase
Green Algae	<i>Chlorella vulgaris</i> EOM	1.51	0.0081	0.54	stationary growth phase
	<i>Scenedesmus</i> sp. EOM	2.86	0.0337	1.18	stationary growth phase
Diatoms	<i>Asterionella formosa</i> EOM	1.19	0.0064	0.54	stationary growth phase
	<i>Aulacoseira</i> sp. EOM	0.96	0.0056	0.58	stationary growth phase
Blue-green Algae	<i>Anabaena cylindrical</i> EOM	1.68	0.0087	0.52	stationary growth phase
	<i>Microcystis aeruginosa</i> EOM	1.34	0.0064	0.48	stationary growth phase

지는 monochloroacetic acid 생성능(MCAAFP)이 일부 생성되어 이들의 합으로 나타내었다.

6종의 조류종별 EOM에서의 단위 DOC당 THMFP (THMFP/DOC)를 살펴보면 녹조류인 *Chlorella*와 *Scenedesmus*는 각각 26 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 및 16 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 이었으며, 규조류인 *Asterionella*와 *Aulacoseira*의 경우는 16 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 및 17 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 이었다. 반면 남조류인 *Anabaena*와 *Microcystis*의 경우는 각각 25 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 및 34 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 의 THMFP/DOC가 생성되는 것으로 나타났다. 따라서 남조류가 가장 높은 THMFP/DOC를 나타내었으며, 다음으로 녹조류와 규조류 순으로 나타났다. 녹조류인 *Scenedesmus quadricauda*, 규조류인 *Chaetoceros mulleri* 및 남조류인 *Oscillatoria prolifera*의 EOM에서의 THMFP/DOC 특성을 조사한 Nguyen 등의 연구결과(2005)에서는 녹조류인 *Scenedesmus*의 EOM에서의 THMFP/DOC가 0.40 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ 으로 가장 높은 것으로 보고하고 있으며, 다음으로 남조류인 *Oscillatoria* (0.25 $\mu\text{mol}/\text{mg}$)와 규조류 *Chaetoceros* (0.24 $\mu\text{mol}/\text{mg}$) 순으로 보고하고 있어 본 연구결과와는 다소 차이가 있으나 이는 실험에 사용된 조류종의 차이에서 유발된 결과로 판단되며, 본 연구에 사용된 규조류 2종과 남조류의 경우는 낙동강에 주로 우점하는 조류종들을 실험에 채택하였다(Son, 2013).

또한, Fig. 1에 나타낸 6종의 조류종별 EOM에서의 단위 DOC당 HAAFP (HAAFP/DOC)를 살펴보면 녹조류인 *Chlorella*와 *Scenedesmus*의 경우 각각 14 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 및 37 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 나타났고, 규조류인 *Asterionella*와

*Aulacoseira*의 경우는 각각 24 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 및 12 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 이었으며, 남조류인 *Anabaena*와 *Microcystis*의 경우는 각각 21 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 및 28 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 의 HAAFP/DOC가 수중의 EOM에서 생성되는 것으로 나타났다. 녹조류인 *Scenedesmus*에서의 월등히 높은 생성능(37 $\mu\text{g}/\text{mg}$)을 제외하면, THMFP/DOC의 경우와 유사하게 남조류의 EOM에서 비교적 생성능이 높았으며, 다음으로 녹조류와 규조류 순으로 나타났다. Fig. 1의 막대그래프 위에 숫자로 나타낸 THMFP/DOC와 HAAFP/DOC의 농도를 합한 DBPFP/DOC의 경우도 남조류의 EOM에서 비교적 생성능(46~62 $\mu\text{g}/\text{mg}$)이 높았으며, 다음으로 녹조류(40~53 $\mu\text{g}/\text{mg}$)와 규조류(29~40 $\mu\text{g}/\text{mg}$) 순으로 나타났다.

조류종별 EOM에서의 THMFP/DOC와 HAAFP/DOC를 비교해 보면 남조류 2종에서는 모두 HAAFP/DOC보다는 THMFP/DOC가 높게 나타나고 있으며, 녹조류와 규조류의 경우는 *Chlororella*와 *Aulacoseira*에서만 HAAFP/DOC보다는 THMFP/DOC가 높게 나타났다.

6종의 조류종들의 EOM에서의 HAAFP의 구성종인 단위 DOC당 DCAA 생성능과 TCAA 생성능의 생성능도와 생성비(ratio)를 Fig. 2에 나타내었다. 녹조류 2종의 경우는 DCAAFP/DOC와 TCAAFP/DOC의 비가 1 : 0.76 ~ 1 : 0.90 정도로 나타나 녹조류의 EOM에서는 HAAs 구성종들 중 TCAA 보다 DCAA의 생성이 유리한 것으로 나타났다. 그러나 2종의 남조류의 경우는 DCAAFP/DOC와 TCAAFP/DOC의 비가 1 : 1.46 ~ 1 : 7.54의 범위로 나타나 녹조류의 경우와는 반대로 DCAA

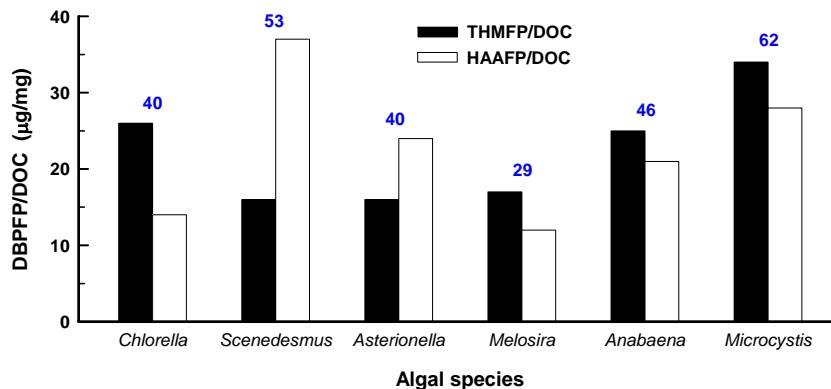


Fig. 1. Variations of THMFP/DOC and HAAFP/DOC formed by chlorination of various algal EOM (numerical is sum of THMFP/DOC and HAAFP/DOC).

Table 3. Comparison of DBP formation of various algal EOMs

Algal species	THMFP/DOC	DCAAFP/DOC	TCAAFP/DOC	DCAA : TCAA	Ref	
	($\mu\text{g}/\text{mg}$)	($\mu\text{g}/\text{mg}$)	($\mu\text{g}/\text{mg}$)	ratio		
Green	<i>Chlorella vulgaris</i>	26	7.2	6.5	1 : 0.90	this study
	<i>Scenedesmus</i> sp.	26	20.2	15.4	1 : 0.76	this study
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0.53 ^a	0.27 ^a	0.14 ^a	1 : 0.52	Nguyen 등
Diatoms	<i>Asterionella formosa</i>	16	15.2	7.3	1 : 0.48	this study
	<i>Melosira</i> sp.	17	2.3	8.5	1 : 3.70	this study
	<i>Cyclotella</i> sp.	7		12 ^b	-	Plummer와 Edzwald, 2001
Blue-green	<i>Anabaena cylindrical</i>	25	2.4	18.1	1 : 7.54	this study
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	34	11.2	16.4	1 : 1.46	this study
	<i>Anabaena flos-aquae</i>	26	26	49	1 : 1.88	Huang 등, 2009
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	28	42	24	1 : 0.57	Huang 등, 2009
	<i>Microcystis</i> sp.	26.8~30.4 ^c		32.4~47.6 ^{bc}	-	Son 등, 2012

^a $\mu\text{mol}/\text{mg}$, ^b HAAFP/DOC ($\mu\text{g}/\text{mg}$), ^c Algal cells were decomposed

생성 보다는 TCAA 생성이 유리하였으며, *Anabaena*의 경우는 월등한 TCAA 생성비율(1 : 7.54)을 나타내었다. 규조류의 경우는 *Asterionella*와 *Aulacoseira*에서 DCAA : TCAA 생성비율이 각각 1 : 0.48 및 1 : 3.70으로 나타나 서로 상반되는 결과를 나타내었다.

Fig. 1과 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 다양한 조류종들의 EOM에서 소독부산물 생성량과 생성비율에 많은 차이를 유발하는 이유는 조류종에 따라 조체를 구성하는 유기물질의 종류와 함량에 많은 차이가 있기 때문이며, 이들이 성장하면서 수중으로 방출하는 EOM의 경우도 조

류종 및 성장기(growth phase)에 따라 다양한 종류의 AOM들이 수중으로 방출되기 때문이다(Huang 등, 2009, Son 등, 2012).

다양한 조류종들에서의 소독부산물 생성능에 대해 연구한 이전의 결과들과 본 연구의 결과를 종합하여 Table 3에 나타내었다. 남조류의 경우는 전세계적으로 정수처리 공정에서 많은 문제를 야기하는 조류종이기 때문에 Table 3에서 볼 수 있듯이 다양한 연구결과들이 보고되고 있다. 특히, *Anabaena*와 *Microcystis*의 경우 본 연구와 Huang 등(2009)의 연구에 사용된 조류의 종(species)

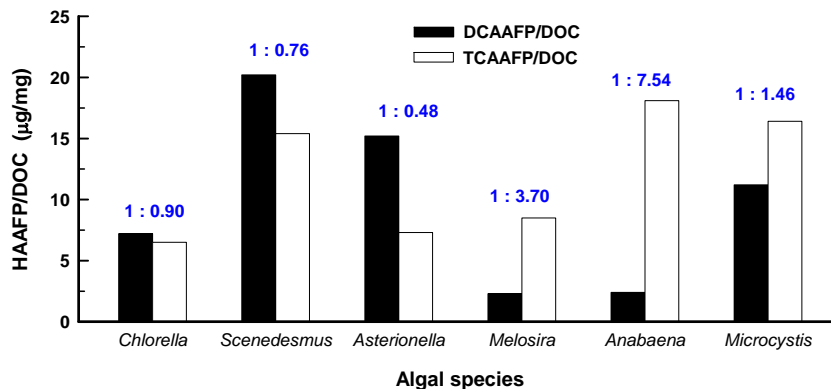


Fig. 2. Variations of DCAAFP/DOC and TCAAFP/DOC formed by chlorination of various algal EOM (ratios given above columns).

에 차이는 있으나 DCAAFP/DOC와 TCAAFP/DOC에 1.5~10.8배 정도의 차이를 나타내었으며, 특히, *Anabaena*의 DCAAFP/DOC에서 가장 큰 차이(10.8배)를 유발하였다. 또한, 동일한 *Microcystis aeruginosa*종일지라도 DCAA와 TCAA 생성비율(DCAA : TCAA)의 경우 본 연구에서는 1 : 1.46인 반면 Huang 등(2009)의 연구결과에서는 1 : 0.57로 나타나 많은 차이를 보이고 있다. 이는 앞에서도 언급하였듯이 조류가 성장하면서 각각의 성장구간에 따라 수증으로 방출하는 EOM의 농도와 유기물질의 조성에 많은 차이가 있어 나타난 결과로 판단된다.

4. 결론

녹조류, 규조류 및 남조류를 대표하는 조류종들의 성장이 정제기에 도달하였을 때, 이들의 EOM의 특성 및 EOM에서의 염소 소독부산물 생성특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 성장곡선이 정제기에 도달한 6종의 조류종들의 EOM 특성평가에서 이들의 SUVA₂₅₄가 대부분 1 이하로 나타나 소수성 유기물질에 비해 친수성 물질의 함량이 월등히 높았다.

2. 다양한 조류종들의 EOM에서 THMFP 및 HAAFP의 구성중은 각각 chloroform 생성능 및 DCAA 생성능과 TCAA 생성능이 대부분을 차지하였다.

3. 조류종별 EOM에서의 THMFP/DOC 및 HAAFP/DOC의 경우는 남조류에서 가장 높게 나타났으며, 다음으로 녹조류와 규조류 순이었고, 남조류에서는 THMFP/DOC가 HAAFP/DOC 보다 높게 나타났다.

4. 조류종별 EOM에서의 HAAFP 구성종별 단위 DOC 당 생성능 비교에서 남조류의 경우는 DCAAFP/DOC 보다 TCAAFP/DOC가 1.5배~7.5배 정도 높게 나타난 반면, 녹조류와 규조류에서는 TCAAFP/DOC에 비해 DCAAFP/DOC가 비교적 높은 것으로 나타났다.

REFERENCE

Ando, A., Miwa, M., Kajino, M., Tatsumi, S., 1992, Removal of musty-odorous compounds in water and retained in algal cells through water purification processes, *Water Sci. Technol.*, 25(2), 299-306.

Becker, E. W., 2007, Micro-algae as a source of protein, *Biotechnology Advances*, 25(2), 207-210.

Bond, T., Huang, J., Templeton, M. R., Graham, N., 2011, Occurrence and control of nitrogenous disinfection by-products in drinking water - a review, *Water Res.*, 45, 4341-4354.

Brown, M. R., Jeffrey, S. W., Volkman, J. K., Dunstan, G. A., 1997, Nutritional properties of microalgae for mariculture, *Aquaculture*, 151(1-4), 315-331.

Boyer, T. H., Singer, P. C., Aiken, G. R., 2008, Removal of dissolved organic matter by anion exchange: effect of dissolved organic matter properties, *Environ. Sci. Technol.*, 42(19), 7431-7437.

Choi, S. K., Lee, J. Y., Kwon, D. Y., Cho, K. J., 2006, Settling characteristics of problem algae in the water treatment process, *Water Sci. Technol.*, 53(7), 73-119.

Crane, A. M., Kovacic, P., Kovacic, E. D., 1980, Volatile halocarbon production from the chlorination of marine algal byproducts, including D-mannitol, *Environ. Sci. Technol.*, 14(11), 1371-1374.

Fang, J., Ma, J., Yang, X., Shang, C., 2010, Formation of carbonaceous and nitrogenous disinfection by-products from the chlorination of *Microcystis aeruginosa*, *Water Res.*, 44, 1934-1940.

Fleming, L. E., Rivero, C., Burns, J., Williams, C., Bean, J. A., Shea, K. A., Stinn, J., 2002, Blue green algal (cyanobacterial) toxins, surface drinking water, and liver cancer in Florida, *Harmful Algae*, 1, 157-168.

Her, N., Amy, G. L., Park, H. R., Song, M., 2004, Characterizing algogenic organic matter (AOM) and evaluating associated NF membrane fouling, *Water Res.*, 38, 1427-1438.

Hong, H. C., Mazumder, A., Wong, M. H., Liang, Y., 2008, Yield of trihalomethanes and haloacetic acids upon chlorinating algal cells, and its prediction via algal cellular biochemical composition, *Water Res.*, 42, 4941-4949.

Hua, G., Reckhow, D. A., 2007, Characterization of disinfection byproduct precursors based on hydrophobicity and molecular size, *Environ. Sci. Technol.*, 42(19), 3309-3315.

Huang, J., Graham, N. J. D., Templeton, M. R., Zhang, Y., Collins, C., Nieuwenhuijsen, M., 2008, Evaluation of *Anabaena flos-aquae* as a precursor for trihalomethane and haloacetic acid formation, *Water Sci. Technol. Water Suppl.*, 8(6), 653-662.

- Huang, J., Graham, N. J. D., Templeton, M. R., Zhang, Y., Collins, C., Nieuwenhuijsen, M., 2009, A comparison of the role of two blue-green algae in THM and HAA formation, *Water Res.*, 43, 3009-3018.
- Joh, G., Choi, Y. S., Shin, J. K., Lee, J., 2011, Problematic algae in the sedimentation and filtration process of water treatment plants, *J. Water Suppl. Res. Technol.-Aqua*, 60(4), 219-230.
- Jun, H. B., Lee, Y. J., Lee, B. D., Knappe, D. R. U., 2001, Effectiveness of coagulants and coagulant aids for the removal of filter-clogging *Synedra*, *J. Water Suppl. Res. Technol.-Aqua*, 50(3), 135-148.
- Ma, J., Lei, G., Fang, J., 2007, Effect of algae species population structure on their removal by coagulation and filtration processes - a case study, *J. Water Suppl. Res. Technol.-Aqua*, 56(1), 41-54.
- Myklestad, S. M., 1995, Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides, *Sci. Total Environ.*, 165, 155-164.
- NIES of Japan, 1994, List of Strain : Microalgae and Protozoa, 4th Edition.
- Nguyen, M. L., Westerhoff, P., Baker, L., Hu, Q., Esparza-Soto, M., Sommerfeld, M., 2005, Characteristics and reactivity of algae-produced dissolved organic carbon, *J. Environ. Eng.*, 131(11), 1574-1582.
- Plummer, J. D., Edzwald, J. K., 2001, Effect of ozone on algae as precursors for trihalomethane and haloacetic acid production, *Environ. Sci. Technol.*, 35(18), 3661-3668.
- Son, H. J., 2013, Changes of dominant phytoplankton community in downstream of the Nakdong River: from 2002 to 2012, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 35(4), 289-293.
- Son, H. J., Yeom, H. S., Jung, J. M., Choi, J. T., 2012, Decomposition of *Microcystis* sp. cell and formation of chlorination disinfection by-products, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 34(5), 351-358.
- U.S. EPA, 2003, Method 552.3: Determination of Haloacetic Acids and Dalapon in Drinking Water by Liquid-Liquid Microextraction, Derivatization and Gas Chromatography with Electron Capture Detection. EPA 815-B-03-002, Cincinnati, Ohio.