



음용수의 전기분해 소독과정에서의 소독부산물 생성특성

Characteristics of the Disinfection Byproducts Formation in Electrolysis Disinfection of Drinking Water

윤경애¹·박성빈¹·김영관^{2*}

Yun, Kyeong-Ae¹·Park, Sung-Bin¹·Kim, Yeong-Kwan^{2*}

¹강원도 보건환경연구원, ²강원대학교 환경공학과

¹Institute of Health and Environment, Chuncheon, Gangwondo

²Department of Environmental Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwondo

ABSTRACT

This study was conducted to examine the byproducts formation characteristics at the water treatment plants which applying electrolysis as a disinfection process in Gangwondo, Korea. Total of forty plants located in Gangwon Province, Korea were selected for the study. Correlation between dissolved organic carbon(DOC) and SUVA₂₅₄ was not clear. Among the species of the disinfection byproducts(DBPs), chlorate and trihalomethanes(THMs) accounted for 76% and 14% of DBPs, respectively. The effect of DOC or SUVA₂₅₄ on DBPs formation was not clearly demonstrated. The increased amount of THMs due to the raw water bromide content was found primarily in the form of chloroform, and the percent fraction of BDCM(bromodichloromethane) and DBCM(Dibromochloromethane) was relatively insignificant. When the value of SUVA₂₅₄ was greater than 2 L/mg·m, the percent fraction of BDCM and DBCM decreased while percent fraction of CF(chloroform) increased.

Key words: disinfection byproducts, electrolysis, THMS, SUVA₂₅₄, bromate

주제어: 소독부산물, 전기분해, THMs, SUVA₂₅₄, 브로메이트

1. 서 론

정수공정에서의 소독을 위해 염소(Cl₂), 이산화염소(ClO₂), 클로라민(Chloramine), 오존(O₃)과 같은 소독제를 비롯하여 자외선(UV) 조사와 같은 방법들이 사용된다. 이중 대표적인 소독제인 염소는 가격도 저렴할 뿐만 아니라 취급이 용이하며 높은 잔류성으로 인하여 원수내의 암모니아성 질소 및 여러 유기물질들을 산화시키고 수인성 질병의 원인이 되는 병원성미생물

을 사멸시킬 수 있다. 이러한 염소의 우수성으로 인하여 염소보다 산화력이 강한 오존에 비하여 많은 정수장에서 소독제로 염소가 널리 사용하고 있다.

그러나, 염소의 단점으로는 소독과정에서 생성되는 소독부산물의 생성이며 일반적으로 염소처리과정에서 생성되는 소독부산물들로는 Trihalomethanes(THMs), Haloacetic acids(HAAs), Haloketones(HKs), Haloacetonitriles(HANs), Chloral hydrate 및 Chloropicrin 등이 있으며 국내의 경우 소독부산물에 대한 수질항목 추가와 규제는 계속 강화되고 있는 경향이다. 1990년에 THMs 이 수질항목에 추가되었으며 2003년도에는 할로초산 등 5개 항목이 수질항목에 추가되었다. 이러한 규제의

Received 27 September 2016, revised 26 January 2016, accepted 28 January 2016.

*Corresponding author: Kim, Yeong-Kwan (E-mail:yeong@kangwon.ac.kr)

pp. 001-008
pp. 009-017
pp. 019-031
pp. 033-040
pp. 041-049
pp. 051-058
pp. 059-067
pp. 069-075
pp. 077-085
pp. 087-097
pp. 099-104
pp. 105-111

강화와 더불어 운전측면에서 볼 때, 고체 또는 액체 형태의 염소소독제를 주입하는 방식은 정량주입이 어렵고 유지관리가 어려워 소독공정의 신뢰도를 확보할 수 없다는 단점을 가지고 있으나 일부 정수시설에서는 소금물을 이용한 전기분해에 의한 소독방식을 채택하고 있다. 소독부산물에 대한 우리나라의 “먹는물관리지침”에서 정한 수질기준을 보면 THMs 0.1 mg/L, Chloroform 0.08 mg/L, Chloral hydrate 0.03 mg/L, Dibromoacetonitrile 0.1 mg/L, Dichloroacetonitrile 0.09 mg/L, Trichloroacetonitrile 0.004 mg/L, Haloacetic acids 0.1 mg/L, Bromodichloromethane 0.03 mg/L, Dibromochloromethane 0.1 mg/L 등 11종의 소독부산물에 대한 기준이 있고, 먹는물 감시항목으로 Etylendibromide 0.4 µg/L, Bromochloroacetonitril 미설정, Bromate 10 µg/L, Bromoform 100 µg/L, Chlorate 700 µg/L 등 5종의 소독부산물에 대하여 권고기준안을 설정하고 있다(Ministry of Environment, 2011c). 지금까지 염소소독 부산물에 대한 연구는 THMs, HAAs, CH 등 천연 유기물과 반응하는 할로젠화 소독 부산물에 대하여 중점적으로 이루어져 왔으며, 실제로 소독부산물의 생성특성은 지역적, 환경적 영향에 따라 다양한 결과를 나타내고 있다(Cho et al., 2009).

소금물을 이용한 전기분해는 고체 또는 액체형태의 염소를 사용하지 않고 소금물의 NaCl을 전해질로서 이용하여 차아염소산이온을 생성시키는 반응으로 장치의 안전성을 장점으로 들 수 있으나 한편으로 발생하는 염소농도가 일정하지 않아 소독효과가 균일하지 않을 수 있으며 전력비를 포함한 높은 유지관리가 단점으로 지적되고 있다. 소금물을 이용한 염소발생은 양극과 음극으로 구성되어 있는 전해반응기에 소금물을 공급하여 전기분해시키는 방식으로 양극에서는 산화반응으로 차아염소산(HOCl)을 비롯하여 염소(Cl₂) 가스, 이산화염소(ClO₂), 오존(O₃) 등이 생성되며 음극에서는 환원반응으로 수산화나트륨(NaOH)과 수소가스(H₂) 등이 생성된다. 전기분해시스템의 특징으로는 염소가스와 유사한 수준의 소독효과(소독력과 잔류성)를 지니며 수중의 알칼리도를 적정하게 유지시켜줌으로써 관로, 기기설비 또는 구조물의 부식을 억제하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

한편, 이러한 장치들 중에는 염소와 함께 여러 산화제가 동시에 생산되어 기존 염소보다 더 높은 소독효과는 물론 수도관에서의 생물막 증식을 억제하고 소독부산물의 생성을 감소시키는 장치들이 있으며 국내

광역상수도에서의 재염소시설을 비롯하여 간이상수도시설에 설치되어 운영되고 있다. 그러나 혼합산화제의 소독능 및 소독부산물의 생성에 대하여 수행된 연구는 많지 않다. Lee et al.(2005)은 전기분해방식에 의해 발생된 혼합산화제의 특성을 *B. subtilis*를 대상으로 하여 소독능, UV 흡수 스펙트럼, 소독제 분해속도, THM 생성정도를 평가하여 염소와 성능을 비교하였다. 혼합산화제에 존재하는 염소 이외의 소독제의 양은 매우 적기 때문에 차아염소산 주입시와 뚜렷한 차이를 나타내지 않는 것으로 보고되고 있다.

먹는물 수질기준에서 염소소독부산물은 크게 THMs, HAAs, HANs, chloral hydrate 4종류로 분류된다. 그런데 전기분해로 생성된 소독수를 실제 투입하였을 경우 생성되는 소독부산물 가운데 위의 4종류의 부산물농도는 먹는물수질기준이하로 나타났으며 현장에서는 희석하여 사용한다는 점을 감안할 때 전기분해방식에 의한 소독과정이 소독부산물의 생성에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다 (Cho, 2013). 소독부산물의 생성은 잔류염소농도가 높을수록 높게 나타났는데, 잔류염소 농도 0.1 ppm ~ 1 ppm 범위에서 THMs 생성량은 검출한계 이하로 나타났다. 그리고 HAAs는 0.004 ppm 이하, chloral hydrate는 0.003 ppm 이하, 그리고 HANs는 0.0013 ppm으로 모두 정수수질기준 이하로 나타났다.

본 연구에서는 강원도내의 정수장 중에서 전기분해시 발생하는 소독제를 사용하는 40개 정수시설을 대상으로 THMs, chlorate, bromate의 생성 현황을 조사하였으며 전기분해 시설별 소독부산물의 생성특성은 본 연구의 범위에서 제외되었다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 원수 시료 및 분석

연구에 필요한 시료는 강원도내 정수장 중에서 전기분해를 사용하여 소독하는 정수장 40개소에서 현장을 방문하여 시료를 채취하였다. 수질분석은 먹는물 수질공정 시험방법(Ministry of Environment, 2011b)과 수질오염공정시험법(Ministry of Environment, 2011a), EPA Method(US EPA, 2000) 등에 따라 분석하였다. DOC를 비롯한 일반 이화학적 성분과 무기이온류 성분 분석을 위한 시료는 무균 폴리에틸렌 채수병을 이용하였고, DBPs 분석용 시료채취는 유리병을 이용하였다.



원수는 pH, DOC(Dissolved Organic Carbon), UV254, bromide를 분석하였다. Bromide 측정은 IC(Ion chromatography 5000)를 이용하였고 SUVA₂₅₄(Specific Ultraviolet Absorbance)는 US EPA의 National Primary Drinking Water Regulation(2009)에 따라 DOC와 UV₂₅₄ 값으로부터 아래와 같은 식을 이용하여 계산하였다.

$$SUVA_{254}(L/mg \cdot m) = 100(cm/m) \times \{UV_{254} \text{ nm}(cm^{-1}) / DOC(mg/L)\}$$

잔류염소 측정은 시료채취 시 현장에서 측정하였고 (HACH Chlorine Pocket Colorimeter II), 수소이온 농도는 pH meter로 측정하였다. DOC 농도는 0.45 μm membrane filter(Whatman)로 여과후 TOC analyzer (Multi N/C 3000)를 이용하였으며 UV₂₅₄는 DU 800 Spectrophotometer(Beckman)로 측정하였다.

2.2 소독부산물 분석

소독부산물로서 분석한 항목은 Trihalomethanes (THMs), Chloroform(CF), Bromodichloromethane(BDCM), Dibromochloromethane (DBCM), Bromoform(BF), Haloacetic acids(HAAs), Dibromoacetonitril, Dichloroacetonitril, Choral Hydrate(CH), Trichloroacetic acid 이었다. 분석항목 중 chlorate, bromate는 IC(Ion chromatography 5000)로 측정하였으며 나머지 부산물들은 GC (Gas chromatography)로 측정하였다.

Table 1. Source water and treatment process of the 40 water treatment facilities(Yun, 2012).

Treatment process and capacity	Source water		
	Underground water (each)	Riverbed water (each)	River or Lake (each)
Prechlorination	1	3	3
Coagulation	-	5	3
Rapid filtration	4	13	3
Slow filtration	-	20	-
Capacity-min.(ton/d)	500	450	1,000
Capacity-max.(ton/d)	1,000	21,000 (under 5,000: n=25)	70,000 (over 50,000: n=1)

Table 2. Raw water quality at the plants applying electrolysis(Yun, 2012).

Parameter	Range	Average	Std.Dev.
pH	6.1 ~ 8.3	7.3	
DOC (mg/L)	0.081 ~ 1.244	0.7733	0.2594
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.0036 ~ 0.0396	0.017	
SUVA ₂₅₄ (L/mg·m)	0.48 ~ 7.53	2.24	
Bromide (μg/L)	4.2 ~ 32.3	12.55	6.146

3. 연구결과 및 고찰

3.1 정수시설 현황

Table 1은 본 연구에서의 조사대상 정수시설에서의 수처리공정과 수원을 보여주고 있는데 원수의 수원으로서의 하천복류수가 79%를 차지하고 있다.

3.2 원수의 수질

본 연구 대상인 소금물 전기분해를 이용하는 40개 정수시설에서의 원수의 수질분석결과는 Table 2에서와 같이 원수의 pH는 6.1~8.3의 분포로 나타났고, DOC의 범위는 0.081~1.244 mg/L 이었다. UV₂₅₄ 범위는 0.0036~0.0396 cm⁻¹, SUVA₂₅₄ 범위는 0.48~7.53 L/mg·m이었으며, bromide 는 4.2~32.3 μg/L 범위로 나타났다.

SUVA₂₅₄ 값이 클수록 염소 소독 시 소독부산물을 생성할 가능성이 증대되는 것으로 알려져 있는데 SUVA₂₅₄ 값이 3 이하이면 상대적으로 유기물질 중에서 휴믹물질의 농도가 낮고 유기물의 특성으로는 친수성이 강하고 방향족 유기물이 적다고 할 수 있다(U.S. EPA, 2009). SUVA₂₅₄ 값은 DOC 값으로부터 계산되었으나 DOC와 SUVA₂₅₄ 값과의 상관관계는 Fig. 1에서와 같이 분명한 상관관계를 보여주지 않았으며 이 결과는 문헌(Son et al., 2004)에서와 같은 결과이다.

pp. 001-008

pp. 009-017

pp. 019-031

pp. 033-040

pp. 041-049

pp. 051-058

pp. 059-067

pp. 069-075

pp. 077-085

pp. 087-097

pp. 099-104

pp. 105-111

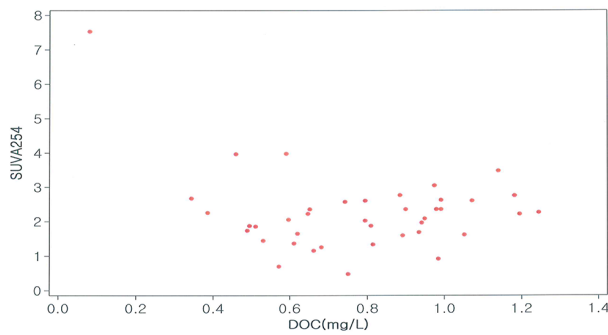


Fig. 1. Correlation between DOC and SUVA₂₅₄.

3.3 정수의 수질

정수의 수질분석은 소독부산물 14개 항목에 대하여 측정하였다. HAAs (Haloacetic acid)는 trichloroacetic acid, bromodichloroacetic acid, dibromoacetic acid의 합으로 나타냈으며, HANs(haloacetonitrile)는 dibromoacetonitrile, dichloroacetonitrile, trichloroacetonitrile의 합으로 나타냈다.

각 소독부산물의 분석결과는 Table 3에 한국, 일본, WHO의 규제치와 함께 요약되어 있으며 chlorate 0~157.0 µg/L, bromate 0~22.6 µg/L, THMs 0~22 µg/L로 나타났으며 일부 정수시설에서 산화성 부산물인 chlorate 와 bromate가 검출되었고 발암유발물질로 알려진 bromate는 먹는물감시항목 기준 (BrO₃ 10 µg/L)을

초과하는 경우도 있었다. 문헌에 의하면(von Gunten, 2003), 원수에 bromide가 포함되어 있을 경우 오존처리를 하면 부산물로서 bromate가 생성될 수 있다. 본 연구에서 원수에 없던 bromate가 정수에서 검출된 것을 볼 때, 소금을 이용한 전기분해과정에서 bromate가 생성되었을 것으로 판단되며 bromate의 생성을 방지하기 위해서는 bromide의 전처리 또는 전기분해 인가 전압의 조절과 같은 대책이 필요할 것이다.

3.4 소독부산물 생성 특성

소금물로부터 소독제를 생산하는 전기화학적 소독 공정은 운전의 편의성과 관리의 용이성 때문에 국내 광역 상수도 재염소시설 및 소규모 정수시설에 적용되고 있으며, 강원도 소규모정수장에서도 이 방법을 주로 사용하고 있는데 본 연구에서 조사결과 전체 소독부산물 구성 비율을 보면, chlorate 76%, THMs 14%, bromate 6%, HAAs 4%, HANs 1%, CHD 1%로서 chlorate 구성 비율이 가장 높았고 bromate 구성 비율이 할로아세틱보다 높은 것으로 나타났다. 전기화학적 소독공정에서 소독장치에 따라 소독부산물의 생성에 차이가 있으나 본 연구는 강원도내 정수장에서의 일반적인 특성을 분석하기 위한 목적에서 진행된 연구로서 각 정수장별 소독장치의 차이에 대한 부산물

Table 3. Treated water quality at the plant using saltwater electrolysis (unit : µg/L)

Item	Regulation of DBPs			Concentration		
	Korea	WHO	Japan	Min.	Max.	Avg.
Chlorate	700 ^c	700	600	0.0	157.0	41.7
Bromate	10 ^c	10	10	0.0	22.6	3.6
THMs	100	^a	100	0.0	22.0	6.4
Chloroform	80	300	60	0.0	20.0	4.5
Bromodichloromethane	30	60	30	0.0	4.0	1.4
Dibromochloromethane	100	100	100	0.0	2.0	0.4
Bromoform	100 ^c	100	90	0.0	0.0	0.0
Dibromoacetonitrile	100	70	60	0.0	0.8	0.04
Dichloroacetonitrile	90	20 ^b	-	0.0	2.0	0.4
Trichloroacetonitrile	4	-	-	0.0	0.0	0.0
Haloacetonitrile	-	-	-	0.0	2.0	0.5
Chloral hydrate	30	-	-	0.0	3.1	0.3
Haloacetic acid	100	-	-	0.0	10.7	2.4
Trichloroacetic acid	-	200	200	0.0	9.2	1.7

a : The sum of the ratios of the four THMs to their respective guideline values is less than 1.

b : provisional guideline value because of uncertainties in the health database

c : Guideline value of monitoring

* source: Yun(2012).



생성 특성보다는 소금물로부터 소독제를 생산하는 전기화학적 소독공정을 사용하는 정수시설은 산화성부산물에 생성될 수 있다는 것을 보여주고 있으며, 이와 같은 결과는 문헌(Siddiqui, 1996)에 보고된 바 있다.

3.4.1 DBPs 생성에 미치는 원수의 DOC 영향

Fig. 2는 THMs 생성에 미치는 원수의 DOC의 영향을 나타낸 그림으로 DOC의 상관관계가 뚜렷하게 나타나고 있지 않아 THMs 생성에 DOC 외의 다른 영향들이 있음을 알 수 있다. 그리고 원수에 존재하는 bromide로 인하여 THMs 생성이 증가하였는데 이러한 증가는 THMs 구성 성분 중에서 BDCM과 DBCM의 증가로 인한 결과인 것으로 나타났다. THMs 성분 중에서 농도측면에서 BDCM과 DBCM이 차지하는 비중은 현저히 작게 나타났으며 원수의 bromide 존재로 인한 THMs의 실질적 증가는 CF의 증가로 인한 것으로 나타났다.

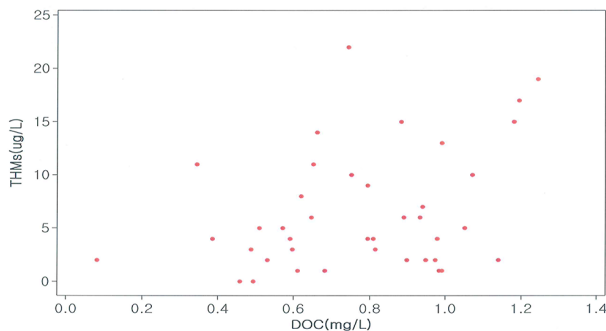


Fig. 2. Effect of raw water DOC on THMs formation.

3.4.2 원수의 SUVA₂₅₄ 값에 따른 부산물 생성특성

SUVA₂₅₄ 값에 따른 부산물 생성특성은 SUVA₂₅₄ 값 2 L/mg·m 미만(n=17)과 2 L/mg·m 이상(n=23)으로 분류하여 각 소독부산물의 전체 구성비를 비교하였는데 Fig. 3과 같이 SUVA₂₅₄ 값이 2 L/mg·m 이상일 경우 THMs과 bromate의 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 각 물질별 발생량을 보여주기 위해서 Fig. 4에 SUVA₂₅₄ 값에 따른 각 소독부산물의 생성농도를 나타내었다.

한편, SUVA₂₅₄ 값에 따른 THMs 구성성분을 보면 Fig. 5와 같이 2 L/mg·m 이상에서 BDCM과 DBCM이 차지하는 비율은 감소한 반면 CF가 차지하는 비율은 증가하였다.

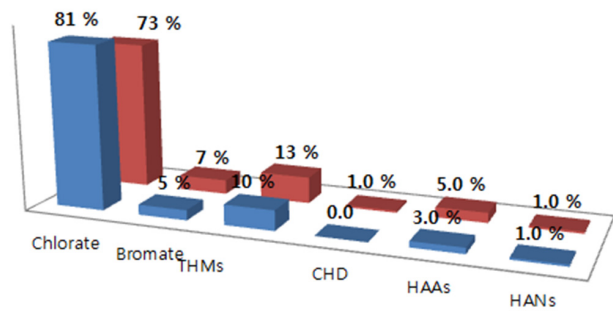


Fig. 3. Composition of DBPs for different SUVA values(front: under 2 L/mg·m, back: over 2 L/mg·m).

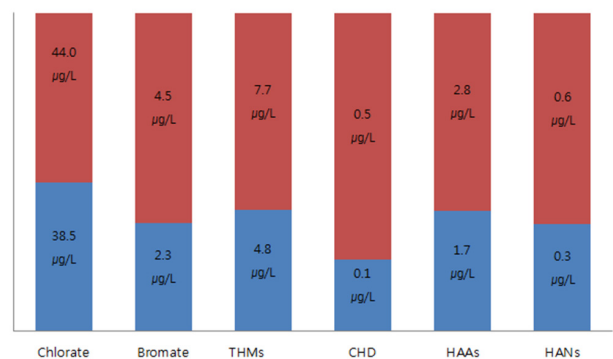


Fig. 4. Concentrations of DBPs for different SUVA values (bottom: under 2 L/mg·m, top: over 2 L/mg·m).

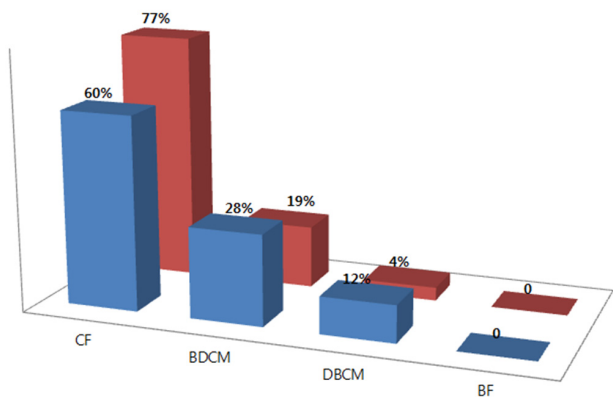


Fig. 5. Composition of THMs for different SUVA₂₅₄ values (front: under 2 L/mg·m, back: over 2 L/mg·m)

3.4.3 DBPs 생성에 미치는 원수의 Bromide 영향

Bromide는 bromate의 전구물질이며, bromide의 존재는 브롬화된 종 구성에 영향을 준다. 원수의 bromide 농도를 3단계(under 10(n=11), 10~15(n=19), over 20(n=10) µg/L)로 나누어 bromide 농도별로 소독부산물에 대한 영향을 분석하였다.

pp. 001-008

pp. 009-017

pp. 019-031

pp. 033-040

pp. 041-049

pp. 051-058

pp. 059-067

pp. 069-075

pp. 077-085

pp. 087-097

pp. 099-104

pp. 105-111

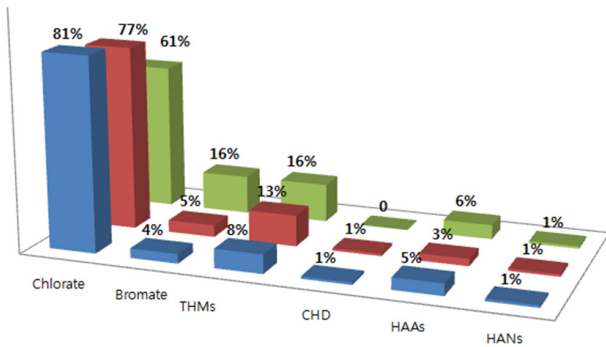


Fig. 6. Effect of bromide level on the composition of DBPs. (front: under 10 µg/L, middle: 10~15 µg/L, back: over 15 µg/L)

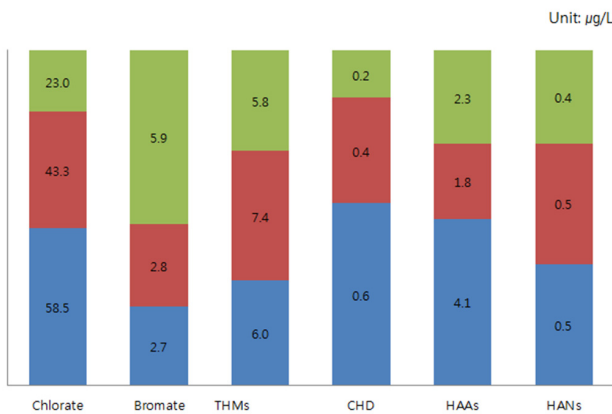


Fig. 7. Effect of bromide level on the concentrations of DBPs. (bottom: under 10 µg/L, middle: 10~15 µg/L, top: over 15 µg/L)

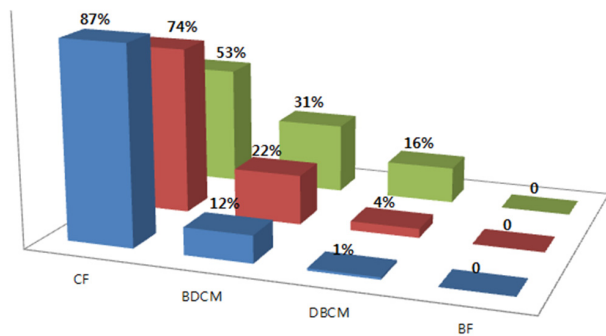


Fig. 8. Effect of bromide level on the composition of THMs. (front: under 10 µg/L, middle: 10~15 µg/L, back: over 15 µg/L)

전체 부산물 구성비로 분석한 결과는 Fig. 6과 같으며 bromate의 생성은 bromide 15 µg/L 이상에서 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 각 물질별 발생량을 보여주기 위해서 Fig. 7에 bromide 농도에 따른 각 소

독부산물의 생성농도를 나타내었다.

그리고 bromide의 존재로 인하여 THMs 중 구성에 영향이 있을 것으로 예상하여 bromide 함량에 따른 THMs 중 구성을 조사하였다. Bromide의 THMs 중 구성에 대한 영향은 Fig. 8과 같이 bromide 함량이 높을수록 THMs 구성 성분 중 BDCM과 DBCM의 구성비율이 높아지는 것으로 나타났다.

4. 결 론

강원도내 소금물 전기분해에 의한 소독을 실시하는 40개 정수장을 대상으로 조사한 결과 SUVA₂₅₄ 값과 DOC 농도와의 상관관계는 뚜렷하지 않았다. 전체 소독부산물 구성 비율을 보면, chlorate 76%, THMs 14%, bromate 6%, HAAs 4%, HANs 1%, CHD 1%로서 chlorate 구성 비율이 가장 높았다. Bromide의 영향은 THMs 중 구성 성분 중 원수의 bromide 함량이 높아질수록 정수에서는 브롬치환성분인 BDCM과 DBCM 구성비율이 높아졌으나 원수의 bromide 존재로 인한 THMs의 실질적 증가는 BDCM 또는 DBCM 보다는 Chloroform(CF)의 증가로 인한 것으로 나타났다.

THMs 조성에 미치는 SUVA₂₅₄값의 영향은 SUVA₂₅₄ 2 L/mg·m을 기준으로 비교하였을때 2 L/mg·m 이상에서 2 L/mg·m 미만일 경우에 비하여 BDCM과 DBCM 비율은 감소한 반면 CF 비율은 증가하였다. 이러한 현상은 원수의 bromide 농도에 따라서는 bromide 함량이 높을수록 BDCM과 DBCM 비율은 감소한 반면 CF 비율은 증가하는 유사한 경향을 나타냈다. chlorate와 bromate의 생성 특성은 전기분해과정에서의 운전조건에 따라 차이가 있으므로 이에 대한 추가적인 연구는 현재 진행 중에 있다.

사 사

본 연구는 “2014년도 강원대학교 학술연구조성비”로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

Cho, S.J., Paeng, J.I., Cheong, K.Y., Ahn, D.H., Sim, M.J. (2009) Evaluation of THMs Formation Potential in Raw Water,



- J. EM. 15(1), pp. 7-15.
- Cho, Y.M. (2011) Disinfection Effect and Formation Characteristics of Disinfection by-product at the Electrolyzed Water, J. KSWW, 27(5), pp. 547-554.
- Lee, K.H., Lim, J.L., Lee, D.J., Kim, S.S., Ahn, H.W. (2005) Evaluation of Disinfection Characteristics for Mixed Oxidants Produced by Electro-Chemical Method, J. KSWW, 19(5), pp. 625-631.
- Ministry of Environment (2011a) Water Quality Pollution Analysis Standards.
- Ministry of Environment (2011b) Drinking Water Quality Analysis Standards.
- Ministry of Environment (2011c), "Drinking Water Quality Management Guideline(2011)".
- Siddiqui, M. S. (1996) Chlorine-Ozone interactions : Formation of Chlorate, Water Research. 30, pp. 2160-2170.
- Son, H.J., Jeong, C.W., Kang, L.S. (2004) The Relationship between Disinfection By-Product Formation and Characteristics of Natural Organic Matter in the Raw Water for Drinking Water, J. KSEE, 26(4), pp. 457-466.
- U. S. E.P.A. (2000) "U.S. EPA Method 317.0".
- U. S. E.P.A. (2009) "Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA 822-R-09-011.
- von Gunten, U. (2003) Ozonation of drinking water : part II., Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. Water Research. 37, pp. 1469-1487.
- Yun, K.A. (2012) Characteristics of DBPs Formation in Disinfection Using Liquid Chlorine or Saltwater Electrolysis, Ph.D. Thesis, Dept. Environmental Engineering, Kangwon National University.

pp. 001-008

pp. 009-017

pp. 019-031

pp. 033-040

pp. 041-049

pp. 051-058

pp. 059-067

pp. 069-075

pp. 077-085

pp. 087-097

pp. 099-104

pp. 105-111