한국환경보건학회지, 제44권 제3호(2018)
J Environ Health Sci. 2018; 44(3): 244-249
pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2018.44.3.244
원 저 Original articles

경기북부지역 먹는 물 중 브롬이온 및 브롬산염의 분포특성에 관한 연구

정종필† · 최시림 · 류형렬 · 박경수 · 송희일 · 이현진 · 조미현 · 오조교 · 윤미혜
경기도보건환경연구원 북부지원

A Study on the Distribution Characteristics of Bromide and Bromate in Drinking Water in Northern Gyeonggi Area

Jong-Pil Jung†, Si-Rim Choi, Hyeung-Rial Ryu, Gyoung-Su Park, Hee-Il Song, Hyun-Jin Lee, Mi-Hyun Jo, Jo-Gyo Oh, and Mi-Hye Yoon
Gyeonggi-do Institute of Health & Environment

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study was the investigation of bromide and bromate in drinking water of water supply plants, mineral springs and small water supply system located in northern area of Gyeonggi province.

Methods: Analytical method was based on EPA 326.0 to use Postcolumn reaction (PCR). The instrument was 887 professional UV/VIS detector IC manufactured in Metrohm.

Results: Bromate was detected at 0.5~2.4 μg/L in tap water from 5 water supply plants. These plants were used as disinfection method for sodium hypochlorite and on-site chlorine that causes generate bromate as a by products even if not used ozone.

Conclusions: The bromate was detected up to 2.5 μg/Lin drinking water in northern Gyeonggi area that showed within 10 μg/L for standard of tap water. However, the continuous monitoring of bromate is necessary in drinking water.

Keywords: Bromide (Br^-), Bromate (BrO_3^-), Ozone (O_3), Sodium hypochlorite (NaOCl)

I. 서 론

물의 소독 및 잔류염소를 유지시키기 위하여 보편적으로 염소소독을 하며, 소독제 방식으로는 염소가스(액화염소), 현장제조염소, 차아염소산나트륨 용액 등이 있다. 국내에서는 현재 염소가스, 차아염소산나트륨, 현장제조염소 순으로 널리 사용하고 있으나, 안전에 대한 인식이 높아짐에 따라, 염소가스 시설의 누출사고 및 안전성 우려로 시판 차아염소산염 또는 현장제조염소 사용이 증가하고 있다.[1)]

현장에서 염소를 제조하는 과정에서는 불순물이 생성될 수 있는데, 대표적으로 알려진 유해물질은 브로산염과 염소산염이다. 브롬산염은 현장제조염소의 원료내에 존재하는 소금의 미네랄 성분 중 하나인 브롬이온이 전기적 반응을 통하여 생성될 수 있다. 또한, 브롬산염은 원수에 브롬이온이 존재할 경우 오존을 이용한 고도처리에서 소독부산물로 생성 될 수 있으며, 소독제인 차아염소산나트륨에 불순물로 함유되어 있어 소독과정에서 2차 오염을 유발할 수 있다.[2)]

상수 원수의 오염과 미량 유해물질이 증가하면서

†**Corresponding author:** Gyeonggi-do Institute of Health & Environment, Gyeonggi-do, 16205, Korea
Tel: 82-31-8030-5944, Fax: 82-31-8030-5949, E-mail: jpjung@gg.go.kr
Received: 24 April 2018, Revised: 12 June 2018, Accepted: 18 June 2018

도입된 고도 정수처리는 오존 소독이라는 강력한 소독제를 사용함으로써 맛·냄새물질 외에도 많은 미량 오염물질을 제거하는 장점을 가졌으나 오존의 강력한 산화력으로 인한 또 다른 소독부산물 문제를 일으키고 있다.

오존의 대표적인 부산물로는 알데히드류, 유기산들, 카르복실산 및 브롬산염이 있으며 특히 브롬산염은 1993년 인체 발암가능물질로 분류되어 WHO, US EPA 등에서 음용수의 기준이 제정되었다. 동물실험 결과 과량의 경구 투여시 신장종양, 중피종 등을 유발할 수 있음이 밝혀졌다.[3)]

브롬이온은 지질에 기인하거나 해수의 침입, 인간활동에 의하여 수계로 유입될 수 있다. 메틸브로마이드(methyl bromide)와 에틸렌 디브로마이드(ehtylene dibromide)가 곡물이나 토양 경작에 사용되기도 하고, 유연연료에 혼합되기도 한다. 일단 토양에 함유되면 분해되어 지하수나 지표수로 침출된다. 브롬이온은 겨울철 도로에 살포하는 제설제에 일부 혼합되어 있기도 하며, 브롬이온을 함유하고 있는 물질이 하수나 폐수를 통하여 유입되기도 한다.[4)]

원수 중에 존재하는 브롬이온으로부터 오존 부산물로 생성되는 브롬산염의 농도는 일반적으로 오존 주입비가 높을수록, pH가 높을수록, 총 오존 주입량이 동일할 때 접촉시간이 짧을 경우 증가하는 것으로 알려져 있으며 암모니아성 질소가 존재할 때에는 브롬산염의 생성이 억제되는 것으로 보고되고 있다.[5)]

환경부에서도 2016년 10월 31일 '먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙'을 개정하고, 브롬산염을 추가한 수질기준을 2017년 1월부터 하루 처리용량 5만톤 이상의 정수장부터 적용하고 있으며, 2018년 1월 1일부터는 5만톤 미만의 정수장에서도 브롬산염에 대한 검사를 확대할 예정이다. 따라서 본 연구에서는 경기북부 지역의 5만톤 미만의 정수장, 먹는물 공동시설 및 간이급수시설과 수계별 정수장에서의 브롬이온 및 브롬산염의 분포특성을 조사하여 먹는물의 안전성을 확보하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

2017년 3월부터 11월까지 분기별로 브롬이온 및 브롬산염의 분포특성을 조사하기 위해 Table 1에 나타낸 바와 같이 경기북부 7개 시·군에 소재하고 있는 5만톤이하 정수장은 모두 10개소 이고 이에대한 원·정수 및 급수지역 2개소를 채수하였고, 먹는물공동시설은 2분기에 의뢰된 150개소의 시료를 이용하였으며, 간이급수시설(마을상수도, 전용상수도 및 소규모급수시설)은 3분기에 시·군과 협조하여 222개소의 시료를 채취하여 시험을 수행하였다.

또한, 4분기에는 북한강 1개소, 남한강 1개소, 팔당댐 4개소, 한강 1개소 및 임진강 1개소씩 취수원별로 정수장에 대하여 원수 및 정수에서 브롬이온 및 브롬산염 분포특성을 조사하였다.

2.2. 시험방법

본 연구에서 사용한 분석법은 EPA 326.0법에 기초한 Postcolumn reaction (PCR)을 이용한 방법이며,

Table 1. Water supply plants located in northern Gyeonggi area (Unit: 1,000 m^3/day)

Region	Plant	Source	Capacity
Gapyeong	HR	Ground water	7
	SW	Ground water	2
	GP	Ground water	19
Guri	TP	river	30
Pocheon	GI	river	1.7
	ID	Ground water	1.5
Yeoncheon	YC	river	33
Dongducheon	DD	river	4.
Namyangju	DG	river	16
Uijeongbu	GN	reservoir	6

Table 2. Operation conditions of IC

Parameter	Condition
Column	Metrosep A Supp16-100/4.0
Flow rate	0.8 mL/min
Eluent Solution	100 mM $H2SO_4$+0.0193 mM $(NH_4)6Mo7O_{24}\cdot 4H_2O$
PCR Reagent	0.27 M KI
Detector	UV/VIS Detector (352 nm)

분석장비는 Metrohm사의 887 Professional UV/VIS Detector IC를 사용하였으며 분석조건은 Table 2와 같다. 이 시험법은 PCR 시약으로 요오드화칼륨(KI)을 사용하여 브롬산이온과 반응시켜 I3-(triiodide anion)을 생성시키고 UV detector에서 검출하는 방법이다.[6)]

III. 결과 및 고찰

3.1. 5만톤 미만 정수장 원수에서의 브롬이온 농도 분포

Fig. 1은 정수장 원수의 브롬이온 농도를 나타낸 그래프로, 정수장 10개소 원수의 평균 농도는 14.3 μg/L로 비교적 낮게 검출되었으며, 관인정수장에서 2분기에 49.1 μg/L로 가장 높게 나타났다.

모든 정수장에서 3분기에는 농도가 낮아지는 경향을 보였는데 강우로 인한 희석효과로 볼 수 있다.

3.2. 5만톤 미만 정수장 정수에서의 브롬이온 농도 분포

Fig. 2는 정수장 정수의 브롬이온 농도를 나타낸 그래프로, 정수장 10개소 정수의 평균 농도는 55.5 μg/L로 원수보다는 높게 검출되었다.

원수보다 정수에서 높게 검출된 것은 살균소독제로 사용하는 차아염소산나트륨에 포함된 브롬산염으로 인해 정수에서 높은 농도를 나타냈다.

특히 가평 정수장의 경우 평균 230.9 μg/L로 높게 검출되었으며, 2분기에는 최대 373.9 μg/L가 검출되었다. 이는 차아염소산나트륨을 생성하기 위해 소금을 사용하는데 성분검사가 되지 않은 중국산 소금에 브롬산염의 농도가 높을 것으로 판단된다.

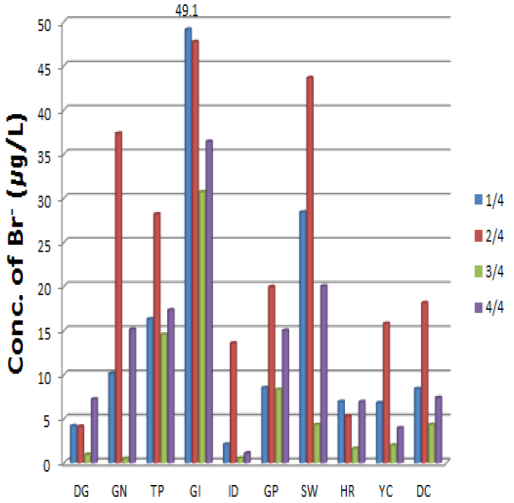


Fig. 1. The concentration of bromide in source water in water supply plants

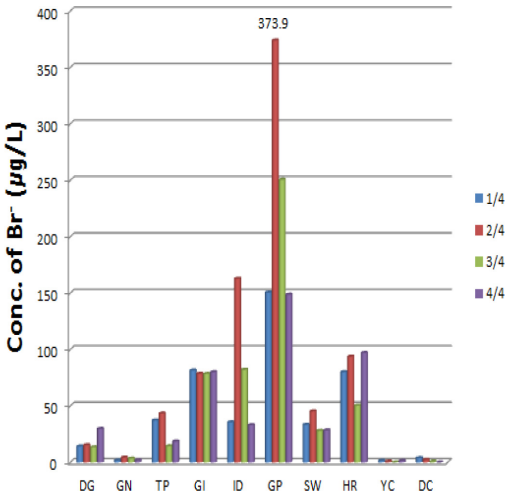
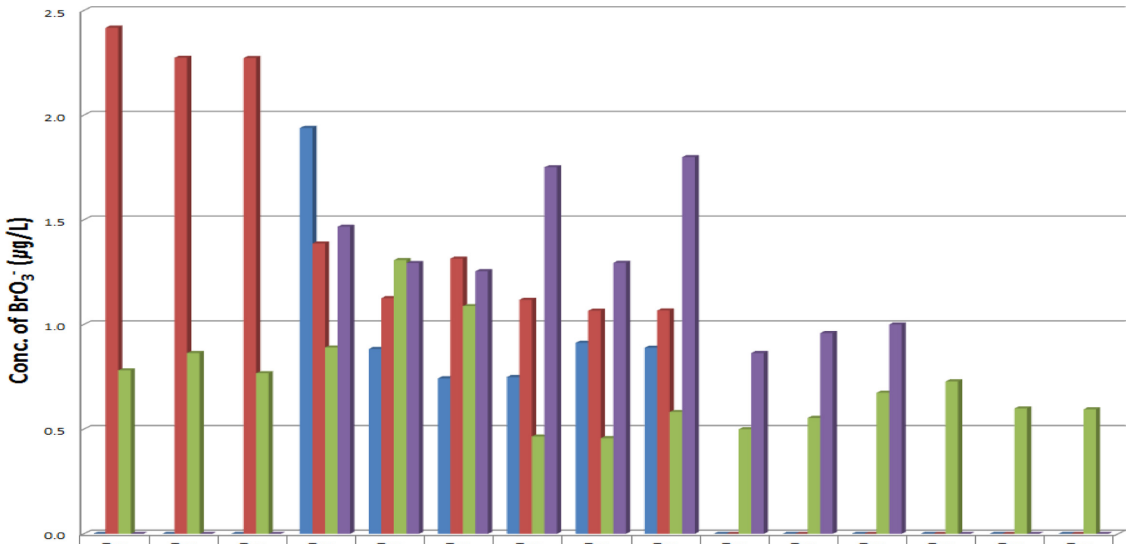


Fig. 2. The concentration of bromide in tap water in water supply plants



	Tap water	Tap water 1	Tap water 2	Tap water	Tap water 1	Tap water 2	Tap water	Tap water 1	Tap water 2	Tap water	Tap water 1	Tap water 2	Tap water	Tap water 1	Tap water 2
		ID			GI			TP			GP			SW	
1/4	0.0	0.0	0.0	1.9	0.9	0.7	0.7	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2/4	2.4	2.3	2.3	1.4	1.1	1.3	1.1	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4	0.8	0.9	0.8	0.9	1.3	1.1	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6
4/4	0.0	0.0	0.0	1.5	1.3	1.3	1.8	1.3	1.8	0.9	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0

Fig. 3. The concentration of bromate in tap water in water supply plants.

3.3. 5만톤 미만 정수장 정수에서의 브롬산염 농도 분포

Fig. 3은 정수장 정수에서 브롬산염이 검출된 정수장 및 농도를 나타낸 그래프로, 5개 정수장에서 검출되었으며 농도는 0.5~2.4 μg/L이었다.

정수장별 소독방법을 살펴보면 다음과 같다.차아염소산나트륨을 사용하는 정수장은 관인, 이동이고, 현장제조염소를 사용하는 정수장은 토평, 가평 및 설악이다.

이와 같이 차아염소산나트륨 및 현장제조염소를 사용하는 정수장에서도 브롬산염이 검출된 것은 차아염소산나트륨에 포함된 브롬산염으로 인해 검출되는 것으로 판단된다.

특히 차아염소산나트륨 규격기준은 브롬산염 함량에 따라서 1종은 12 mg BrO3-/kg 이고 2종은 100 mg BrO3-/kg으로 구분된다.

오존처리를 하는 도곡 정수장은 원수에서의 브롬이온이 농도(평균 4.1 μg/L) 가 높지 않아 브롬산염이 검출되지 않았다. 이는 브롬산염의 발생에는 정수에서 브롬이온의 농도, 오존 투여량, pH, 알칼리도 및 용존유기탄소량 등에 따라서 다르기 때문이다.

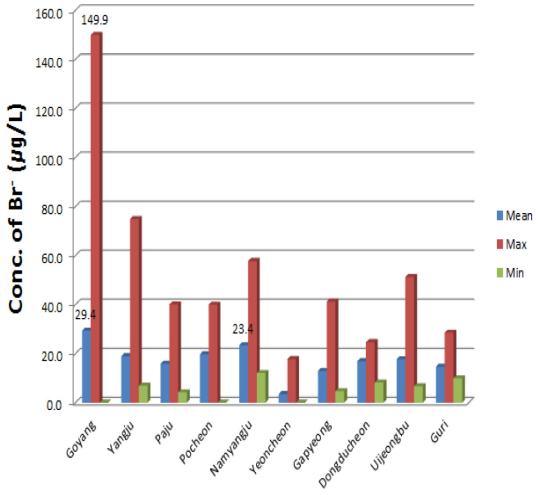


Fig. 4. The concentration of bromide in mineral springs

3.4. 먹는물공동시설에서의 브롬이온 농도 분포

Fig. 4는 먹는물공동시설의 브롬이온 농도를 나타낸 그래프로, 150개의 먹는물공동시설에 대한 브롬이온의 농도를 조사한 결과 불검출~149.9 μg/L(평균 17.3 μg/L)의 범위로 나타났다. 고양과 남양주의 경

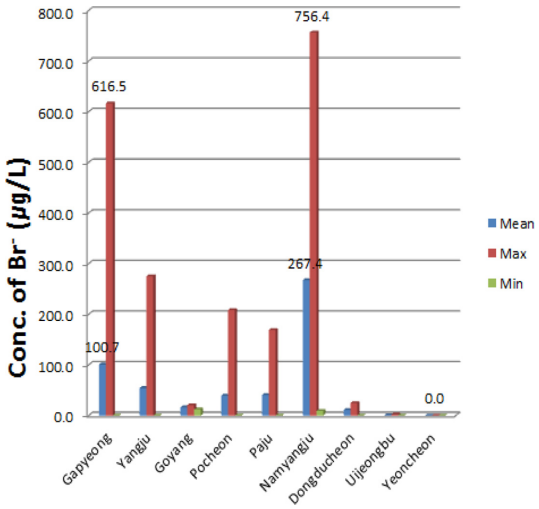


Fig. 5. The concentration of bromide in small water supply system

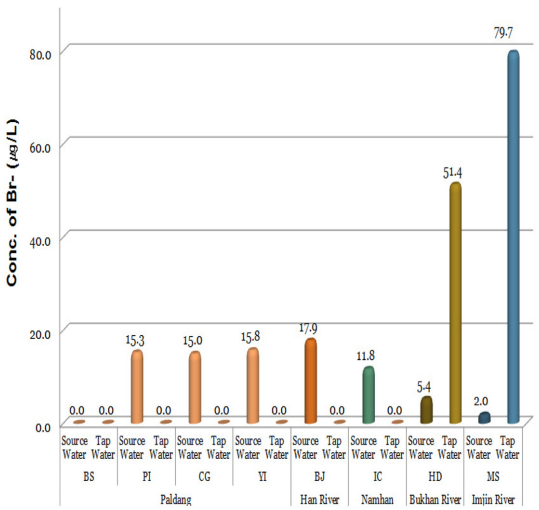


Fig. 6. The concentration of bromide in water supply plants over the river basin

우 평균 29.4 μg/L 및 23.4 μg/L로 비교적 높게 검출되었으며 나머지 지역은 19.8 μg/L이하로 검출되었다. 브롬산염은 모든 시설에서 검출되지 않았다.

특히 경기북부지역 먹는물공동시설의 부적합의 주요 요인은 미생물인데 이를 해결하기 위해 소독시설(오존, 차아염소산나트륨)을 도입할 경우 브롬산염이 발생할 수 있을 것이다.

3.5. 간이급수시설에서의 브롬이온 농도 분포

Fig. 5는 간이급수시설의 브롬이온 농도를 나타낸 그래프로, 222개의 간이급수시설에 대한 브롬이온의 농도를 조사한 결과 불검출~756.4 μg/L (평균 50.3 μg/L)의 범위로 나타났다. 가평과 남양주의 경우 평균 100.7 μg/L 및 267.4 μg/L로 높게 검출되었다. 간이급수시설의 소독방법은 차아염소산나트륨을 이용하고 있으며, 브롬산염은 222개의 간이급수시설 중 49개소에서 검출되었고 농도는 0.5~2.5 μg/L의 범위로 나타났다. 특히 남양주의 경우는 6개의 시설 중 5개의 시설에서 브롬산염이 검출되었는데 이는 브롬산염의 함량이 높은 차아염소산나트륨을 사용하는 것으로 판단된다.

3.6. 수계별 정수장에서의 브롬이온 농도 분포

Fig. 6.은 수계별 정수장에 대한 브롬이온의 농도를 나타낸 그래프로, 수계별 정수장 원수에서의 브롬이온 농도는 불검출~15.3 μg/L로 낮게 검출되었으며 정수에서의 농도는 불검출~79.7 μg/L로 검출되었다. 소독방법은 화도와 문산은 오존처리이고, 나머지는 차아염소산나트륨을 이용하고 있다. 브롬산염은 문산 정수장에서만 1.2 μg/L가 검출되었는데 이는 정수에서 브롬이온의 농도가 79.7 μg/L로 높게 검출되었기 때문이다.

IV. 결 론

2017년 경기북부지역 먹는물 중 브롬이온 및 브롬산염에 대한 분포특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 나타냈다.

1. 5만톤 미만의 정수장 원수에서의 브롬이온은 불검출~49.1 μg/L로 비교적 낮게 검출되었으나 정수에서는 불검출~373.9 μg/L로 높게 검출되었다. 이는 살균소독제로 사용하는 차아염소산나트륨에 포함된 브롬산염 때문이다.

2. 브롬산염은 5개 정수장에서 검출되었으며 농도는 0.5~2.4 μg/L이었다. 오존소독을 하는 정수장에서는 브롬산염이 검출되지 않았으나, 차아염소산나트륨 및 현장제조염소를 사용하는 정수장에서는 브롬산염이 검출되었다.

3. 먹는물공동시설에 대한 브롬이온의 농도는 불검출~149.9 μg/L이며, 브롬산염은 검출되지 않았다.

4. 간이급수시설에 대한 브롬이온의 농도는 불검출

~756.4 μg/L로 검출되었으며, 브롬산염은 222개소 중 49개소에서 검출되었으며 농도는 0.5~2.5 μg/L이었다.

5. 수계별 정수장 원수에서의 브롬이온 농도는 불검출~15.3 μg/L로 낮게 검출되었으며 정수에서의 농도는 불검출~79.7 μg/L로 검출되었다. 브롬산염은 오존처리를 하는 문산 정수장에서만 1.2 μg/L가 검출되었다.

6. 위와 같이 브롬이온과 브롬산염의 발생분포 특성을 조사한 결과 브롬이온의 농도가 높지 않더라도 브롬산염은 생성가능 하였으며, 브롬이온의 농도, pH, 알칼리도 및 용존유기탄소량 등에 따라서 그 농도는 다를 수도 있을 것으로 예측된다.

7. 경기북부지역 먹는물 중 소독부산물에서 생성된 브롬산염의 농도는 최대 2.5 μg/L로 검출되었는데 수돗물 기준 10 μg/L보다 낮아 염려할 수준은 아니다.

그러나 브롬산염은 오존에 의해 생성되기도 하지만, 차아염소산나트륨에 포함된 브롬산염 때문에 정수에서 검출될 수 있다. 따라서 브롬산염에 대한 지속적인 모니터링이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 시·도보건환경연구원 국고보조사업의 일환으로 진행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. National Institute of Environmental Research. A Study on Management of Unregulated Trace Hazardous compounds in Drinking Water(?). 2013.
2. Min BD, Chung HM, Kim TW, Park JH. Study on disinfection by-products formation according to kind of salt in on-site production. *J. of Korean Society of Water and Wastewater.* 2012; 29(5): 575-581.
3. US EPA. Toxicological review of bromate(CAS No. 15541-45-4), In support of Summary Information on the Integrated Risk Information System(IRIS). 2001; ERA/635/R-01/002
4. Ministry of Environment. A study on the management method of disinfection by-products by ozone and chlorine dioxide. 2004.
5. Kim EK, Lee YJ, Lee SY, Shin SH, Jang SH. Investigation of the trend and characteristics of Bromide and Bromate at water in Daegu. Report of Waterworks Headquarters Daegu Metropolitan City. 2010.
6. Ministry of Environment. Water quality test standard for drinking water. 2015.
7. Ro JI, Heo JG, Jo YS, Kim OR, Lee JS, Hwang SY et al., Investigation of major parameters and modeling by artificial neural networks methods of bromate formation by ozonation. *Report of Incheon Institute of Health and Environment*. 2012; 13: 226-236.
8. Hong JH, Kim HY, Um JH, Kil HK, Kim ES, No BS et al. Distributions of the bromide(Br-)and bromate(BrO3-)concentrations in natural spring waters within the Seoul area. *Report of S.H.I.E.* 2010; 46: 144-152.
9. Lee HS, Park HS, Jo HW, Lee PS, Noh JS, Bin JS. Study on formation and control characteristics of bromate ion in water treatment process. *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference*. 2011; 20: 315-316.