

고도정수처리 과정에서 퍼클로레이트 이온의 농도 변화

김현구[†] · 김정화 · 이연희 · 이재호^{*} · 김 산^{**}

국립환경과학원 환경진단연구부

^{*}대구광역시 상수도사업본부

^{**}호서대학교 벤처대학원

Perchlorate in Advanced Drinking Water Treatment Process

Hyun-koo Kim[†] · Jung-hwa Kim · Youn-hee Lee · Jae-ho Lee^{*} · San Kim^{**}

Department of Environmental Diagnostics Research, NIER

^{*}Waterworks Headquarters, Daegu Metropolitan City

^{**}Graduate School of Venture, Hoseo University

(Received 19 November 2007, Accepted 1 February 2008)

Abstract

Perchlorate, which is still unregulated, is found in tap water, posing a threat to public health. In and out of Korea, there is no clear standard for drinking water quality or discharge. To make matters worse, Perchlorate study is in its infancy in Korea. This research tracked fresh water and purified water of water purification facility A and B located at the city of D, where Nak-dong River is being utilized as the purified water. And it was found that purified water shows no particular pattern in Perchlorate concentrations but represented a higher level of concentration compared to fresh water. With utilizing the research results, the study sought the impact of activated-carbon treatment process on Perchlorate elimination and found out that Perchlorate concentrations increased 38% after the process. The result proves that conventional water purification process can't eliminate Perchlorate. Therefore, it is reasonable that Perchlorate discharge from sources should be minimized.

keywords : Activated carbon, Drinking water treatment, Perchlorate, Treated water

1. 서론

산업활동의 고도화는 상수원인 하천과 호소에 미규제 유해화학물질의 유입을 초래하고 있으며, 이로인해 수돗물에는 먹는물 수질기준 이외의 미량유해물질이 존재할 가능성이 있어 정기적인 모니터링이 확대 요구되고 있다. 국민의 생활수준 향상으로 먹는물의 안전성과 깨끗하고 맛있는 물에 대한 욕구가 증대되고 있어 우리나라도 수질기준 이외의 항목인 수질감시항목, 선진국 규제항목, 선진국 감시항목 및 미규제 대상물질 등을 매년 조사하고 있다. 그러나 최근 우리나라에서는 미규제 미량유해물질인 퍼클로레이트(ClO_4^-)가 낙동강수계 일부 정수장에서 고 농도로 검출됨에 따라 조사의 필요성이 제기되어, 낙동강 수계를 중심으로 한강, 금강 및 영산강 수계의 원수 및 수돗물을 중심으로 조사되었으나(김현구 등, 2007), 퍼클로레이트에 대한 국내 연구는 초기단계에 머무르고 있는 실정이다. 보고된 연구에서와 같이 미규제 유해화학물질인 퍼클로레이트가 먹는물에서 검출되고 있어 국민의 건강을 위협하고 있으나, 국내·외적으로 먹는물 수질기준이나 배출허용 기준 등이 설

정되어있지 않고 있다.

퍼클로레이트는 물에서의 용해성이 높고, 화학적으로 안정하여 쉽게 분해되지 않는 안정된 물질로서(Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) Perchlorate Team, 2005; Massachusetts Department of Environmental Protection, 2005; The Department of Defense Environmental Data Quality Workgroup, 2006) 이 화합물은 주로 과염소산암모니아(NH_4ClO_4), 과염소산나트륨(NaClO_4), 과염소산칼륨(KClO_4) 및 과염소산(HClO_4) 등과 같이 염의 형태로 존재하고 있다. 퍼클로레이트 화합물은 주로 미사일이나 로켓의 추진체 및 폭죽, 화약, 에어백 인플레이터 등에서 사용되고 있으며(ITRC Perchlorate Team, 2005; Massachusetts Department of Environmental Protection, 2005; The Department of Defense Environmental Data Quality Workgroup, 2006), 국내에서는 화약제조 공정이나 LCD 제조공장에서 제품의 세척공정에 세정제로 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 자연에서의 유래는 칠레의 Atacama 사막에서 사용된 퇴비인 질소산화물에서도 유래되고 있는 것으로 보고되고 있으며(ITRC Perchlorate Team, 2005), 대기중에서도 자연적인 반응에 의해 형성되는 것으로 밝혀져 있다(Dasgupta et al., 2005).

퍼클로레이트는 미국 EPA, 유럽연합(EU), 세계보건기구

[†] To whom correspondence should be addressed.
khk228@me.go.kr

(WHO) 등에서 발암물질로는 분류하고 있지 않으나, 자극성이 있는 물질로서 호흡기, 피부 등에 자극을 줄 수 있으며 과다 장기 노출시에는 갑상선 기능의 저하를 유발할 수 있는 물질로 알려져 있다(Greer et al., 2002; National Research Council, 2005). 저농도인 0.01~1.0 mg/kg/day 에서는 갑상선에 요오드화합물이 결합하는 것을 막아 호르몬 생성을 방해하고, 물질대사를 교란하며, 이러한 교란으로 인해 요오드의 결핍을 초래하여 유아나 어린이들에서 신경 발달 결핍(neurodevelopment deficit)의 중요 원인으로 작용하고 있는 것으로 보고되고 있다(National Research Council, 2005). 체중 70 kg의 어른이 하루 0.40 mg/kg 이상의 농도를 섭취하면 갑상선 기능 저하증을, 임신부나 유아들에서는 더 낮은 농도에서 기능 저하증을 일으키며, 고농도에서는 신경반사(neurobehavioral)에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(National Research Council, 2005). 따라서, 미국 환경보호청(US EPA)은 가장 민감한 사람에게도 영향이 없는 퍼클로레이트의 RfD(reference dose) 값을 0.7 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ 로 설정하였고, 또한 NAS(National Academy Science)의 보고서를 근거로 수돗물에서의 권고기준값으로 24.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이하로 정하였다(US EPA, 2005a). 미국과 세계보건기구(WHO)는 퍼클로레이트에 대한 MCL(maximum contaminant level) 값과 먹는물수질기준을 설정하고 있지 않지만 주(state) 단위로 그 기준을 1~18 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 설정하여 관리하고 있다(US EPA, 2005b). 미국에서는 메사추세츠주가 2006년 퍼클로레이트의 기준을 2 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로, 캘리포니아주 보건국이 2006년 MCL 값으로 6 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 설정하여 관리하고 있다.

미국의 캘리포니아 보건국에서는 1997년 최초로 이온크로마토그래피법을 이용한 퍼클로레이트의 분석방법으로 캘리포니아에서 먹는물(지하수) 및 콜로라도 강 원수에서 퍼클로레이트를 조사하였다(California Department of Health Services, 2006; Hogue, 2003). 이 조사가 있는 후 미국의 여러 주에서도 환경시료 및 먹는물에서의 퍼클로레이트 조사결과가 보고되었다(Brandhuber and Clark, 2005; Environmental Working Group, 2005; Massachusetts Department of Environmental Protection, 2005; Rajagopalan et al., 2006). 지금까지 퍼클로레이트에 대한 조사연구는 대부분 미국을 중심으로 이루어졌고, 일본에서도 소수의 조사결과가 보고되고 있을 뿐이어서, 국내에서도 퍼클로레이트에 대한 조사 및 연구가 시급히 요구되고 있는 실정이다.

이 연구에서는 산업활동에 따른 부산물로서 미규제 유해물질인 퍼클로레이트가 유입된 원수가 오존 및 입상활성탄과 같은 고도처리 시설을 갖춘 정수장의 처리수에서 퍼클로레이트가 원수보다 높게 검출되고 있어 이의 변화과정 및 활성탄이 퍼클로레이트의 제거에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

2. 연구방법

2.1. 원수 및 처리수

낙동강 수계 상류 산업단지 하수처리장에서 수계로 퍼클

로레이트가 유입되는 원수를 사용하는 D시의 A 및 B 정수장에서 2006년 7월 6일부터 9월 30일까지 매일 원수 및 처리수 시료를 채취하여 퍼클로레이트를 분석하였다. A 및 B 정수장은 오존산화 및 활성탄여과 시설을 갖추고 있는 고도정수처리장이며 낙동강 수계의 동일 원수를 사용하고 있다.

2.2. 정수처리 공정별 샘플링

A 및 B 정수장의 정수처리 공정은 원수, 침사지, 응집·침전, 모래여과, 오존산화, 활성탄여과, 염소처리 공정으로 구성되어 있으며, 공정별 시료는 원수, 모래여과, 오존산화, 활성탄여과, 염소처리 공정에서 각각 2차례에 걸쳐 채취하였다. 원수의 유입시간을 기준으로 각 공정별 체류시간을 고려하여 동일시료의 흐름에 맞추어 시료를 채취하였다.

2.3. 입상활성탄 용출

정수장에서 사용중인 입상활성탄으로부터 퍼클로레이트가 용출되는 정도를 조사하기 위해 A 정수장의 신탄지에서 표층, 중층(1 m), 하층(2 m)에서 활성탄을 채취하였다. 신탄은 활성탄 여과지에 투입하기 위해 약 1개월 정도 원수로 컨디셔닝을 시킨 후 투입되었다. 또한, B 정수장에서는 활성탄을 처리공정에서 2년 이상 사용한 포화탄지에서 표층, 중층(1 m), 하층(2 m)에서 활성탄을 채취하였다. 채취된 활성탄은 105°C 건조기에서 3시간 이상 건조시켜 수분을 제거한 후, 각 층별로 10 g씩을 취하여 증류수 500 mL를 채운 후 진탕기에서 1시간 진탕하여 여과액을 취하였다. 컨디셔닝을 하지 않은 새로 구입된 활성탄을 같은 방법으로 추출하여 공시험 결과로 하였다. A 및 B 정수장에 사용된 입상활성탄은 야자계 활성탄(신광화학)으로 수돗물 정수용으로서 먹는물관리법 “수처리제의 기준과 규격 및 표시기준(KS M 1421)”에 따라 적합한 활성탄으로서 규정항목에 대한 시험결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of granular activated carbon

Parameter	Standards of KS M 1421	GAC characteristics
pH	4.0~11.0	9.01
Drying loss	below 5%	2.8
Particle size distribution	above 95%	96.5
bulk density	below 0.20 mg/L	0.42
Chlorine	below 0.5%	0.05
Hardness	above 90%	97.0
As	below 2 mg/L	ND
Pb	below 10 mg/L	ND
Cd	below 1 mg/L	ND
Zn	below 50 mg/L	ND
Phenol number	below 25 mg/L	23
ABS number	below 50 mg/L	44
Iodine number	above 1,100 mg/g	1,032
Methylene blue adsorption	above 170 mg/g	180

ND : not detected

2.4. Pilot plant에서 입상활성탄 용출

Pilot plant를 이용하여 입상활성탄의 사용 경과에 따른 퍼클로레이트의 농도변화를 조사하기 위해 낙동강 수계의 원수, 정수장 활성탄지에서 2년 이상 경과된 포화탄, 500~850°C에서 약 24시간 동안 재생과정을 거친 재생활성탄, 원수로 컨디셔닝 시키지 않은 신규활성탄으로 구분하여 활성탄 통과 후 퍼클로레이트의 농도변화를 34일 동안 매일 조사하였다. 원수는 2006년 8월 1일부터 9월 5일까지 A 정수장에서 사용된 원수와 동일하였고, Pilot plant에 사용된 칼럼의 용량은 지름 350 mm, 높이 5,250 mm인 칼럼을 사용하였다.

2.5. 분석방법

퍼클로레이트 분석에 사용된 표준시약은 Sodium perchlorate anhydrous (NaClO₄, Wako), 용리액은 Sodium hydroxide(NaOH 50%, w/w, Fisher) 였고, 증류수는 18.2 Mohm 이상에서 증류된 물로 입자는 0.2 μm 이하의 것을 사용하였다. 퍼클로레이트의 분석은 이온크로마토그래피(Dionex, DX500)를 사용하였고 사용된 칼럼은 Dionex사의 AS20과 가드칼럼 AG20을 연결하여 분석하였다. 시료중의 간섭이온의 방해작용을 받는 시료는 전기전도도를 측정 한 후, 염소이온, 황산이온, 탄산이온 제거에 필요한 OnGuard 카트리지를 -Ba > -Ag > -H 카트리지를 순서대로 여과하여 간섭이온을 제거하였다. 분석시료는 시료 약 10 mL를 공극이 0.45 μm인 여지를 사용하여 여과한 후 이온크로마토그래피를 이용하여 Table 2와 같이 조사를 수행하였고, 퍼클로레이트의 검출한계 및 정량한계 등은 선행 연구를 참고할 수 있다(김현구 등, 2007).

Table 2. Analytical condition of perchlorate by Ion chromatography

Parameter	Analytical condition	Parameter	Analytical condition
Equipment	DX500	Column	AS20 (4 mm) AG20 (4 mm)
Injection volumn	1.2 mL	Suppressor	ULTRA II ASRS 4 mm (300 mA)
Eluent	25, 50 mL NaOH	Detector	CD20 Suppressed Conductivity Detector
Flow rate	1.2 mL/min	Retention time	15~20 min

3. 결과 및 고찰

3.1. 원수 및 처리수에서의 퍼클로레이트

낙동강 수계의 동일한 원수를 사용하고 있는 D시의 A 및 B 정수장에서 원수 및 처리수인 정수를 매일 채취하여 분석한 결과는 Fig. 1과 같이 나타났다. A 및 B 정수장 원수 및 처리수 모두 7월에 높은 퍼클로레이트 농도를 보이고 있으나, 8월에는 7월에 비해 급격히 감소하다가 9월 6일 이후부터는 거의 검출이 되지 않는 것으로 조사되었다. 원수의 퍼클로레이트 농도는 조사 초기인 7월 초에는 A

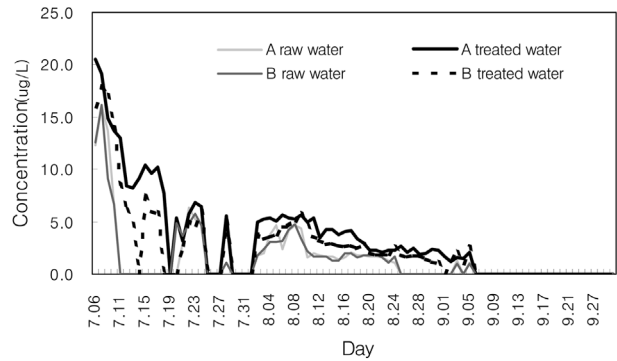


Fig. 1. Perchlorate concentration in raw and treated water.

및 B 정수장 모두 12~16 μg/L로 높게 나타났으며, 7월 11일부터 19일까지는 강우의 희석에 의해 일시적으로 검출되지 않았다. 7월 20일 이후부터는 원수의 퍼클로레이트 농도가 최고 5 μg/L 전후로 검출되었으나, 8월 25일 이후부터는 검출되지 않았다.

처리수의 퍼클로레이트 농도는 일정한 패턴을 보이고 있지는 않으나 지속적으로 원수보다 높은 농도를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 처리수에서 퍼클로레이트의 최고 농도는 7월 초 A 정수장 20.5 μg/L 및 B 정수장 17.9 μg/L로 조사되었으며, 7월 11일부터 19일까지 원수에서 퍼클로레이트의 농도가 불검출이었으나 정수에서는 A 정수장은 7.7~13.0 μg/L, B 정수장은 4.8~8.5 μg/L로 나타나 정수에서 높게 나타나는 원인 조사의 필요성이 제기되었다. 원수에서와 같은 패턴으로 7월 20일 이후부터는 처리수의 퍼클로레이트 농도가 최고 8 μg/L 전후로 검출되었으나, 9월 6일 이후부터는 검출되지 않았다. 그러나 이 검출 농도는 타 수계에서의 검출농도 ND~2.1 μg/L과 비교하여 월등히 높은 농도를 보이고 있다(김현구 등, 2007).

최고 농도를 보인 7월 초에는 퍼클로레이트의 배출원이 밝혀지지 않은 상태에서 조사된 결과였기에 저감 노력없이 배출된 결과였고, 8월에는 상류지역의 배출원을 추적 조사하는 과정에 있었기 때문에 배출원으로 추정되는 곳에서 배출 저감을 위한 노력의 결과였다. 또한, 9월에 퍼클로레이트의 농도가 불검출로 나타난 것은 배출원으로 밝혀진 LCD 제조공정에서 퍼클로레이트의 농도를 최소화시켜 수계에 배출한 결과인 것으로 조사되었다(김현구 등, 2007).

3.2. 처리 공정별 퍼클로레이트

오존 및 입상활성탄 공정을 포함하고 있는 A 및 B 정수장의 조사결과(Fig. 1)에서 정수에서의 퍼클로레이트 농도가 원수보다 지속적으로 높게 검출된 원인을 조사하기 위하여, A 및 B 정수장에서 공정별로 퍼클로레이트의 농도변화를 조사한 결과는 Table 3과 같이 나타났다. A 정수장에서 2회(A1, A2) 및 B정수장에서 2회(B1, B2)의 시료채취 간격은 2시간 간격으로 채수를 하였으며, 각 정수장에서 공정별 시료채취는 원수 채수 후 모래 여과수는 5시간, 오존 처리수는 6시간, 활성탄 여과수는 7시간, 염소 처리수는 7시간 15분 후에 각각 시료를 채취하여 원수에 유입된 시료의 흐름을 유지하였다.

Table 3. Perchlorate concentration in advanced drinking water treatment process (unit : $\mu\text{g/L}$)

Water treatment plant	Raw water	Sand filtered	Ozone treated	Activated carbon filtered	Chlorine treated
A1	13.9	10.6	12.7	19.2	20.1
A2	14.7	13.4	14.4	21.3	21.9
B1	12.6	12.9	12.8	16.1	17.1
B2	13.8	12.8	13.2	18.6	19.3

Table 3의 조사결과에서와 같이 조사대상 정수장 모두 물리적 처리공정인 모래여과수와 화학적 처리공정인 오존 처리수에서는 원수보다 약간씩 낮은 농도를 보이고 있으나, 활성탄 여과 후에 퍼클로레이트의 농도가 증가하는 것으로 조사되었다. 일반적으로 활성탄의 흡착기능에 의해 ClO_4^- 나 BrO_3^- 와 같은 무기성 이온류가 제거되고 있으나(Bao et al., 1999; Sorlini and Collivignarelli, 2005), 활성탄의 흡착능력을 초과하면 흡착되었던 무기 이온류가 용출되는 것으로 보고되고 있다.

3.3. 활성탄별 퍼클로레이트의 용출

정수처리 공정에서 활성탄 여과지를 거친 후의 퍼클로레이트의 농도가 원수의 농도보다 약 38% 정도 증가한 것으로 조사되었다(Table 3). 활성탄여과 후에 퍼클로레이트가 증가하는 원인을 조사하기 위하여 A 및 B 정수장의 활성탄 여과지에서 활성탄을 표층, 표층에서 1 m, 표층에서 2 m 깊이 별로 활성탄을 채취하여 활성탄에 흡착가능성이 있는 퍼클로레이트를 조사한 결과 Table 4와 같이 나타났다.

A 정수장의 활성탄지는 신규 구입된 활성탄을 원수로 약 30일 이상 컨디셔닝을 시키고 활성탄지에 투입하여 사용 중인 비교적 신규의 활성탄이며, B 정수장의 활성탄지(포화탄지)는 사용 년수가 2년 이상이 경과된 활성탄지에서 사용 중인 활성탄이다. 신탄지인 A 정수장 활성탄에서의 퍼클로레이트 농도는 표층 9.5 $\mu\text{g/L}$, 1 m 깊이 10.5 $\mu\text{g/L}$, 2 m 깊이 9.1 $\mu\text{g/L}$ 였으며, 포화탄지인 B 정수장 활성탄에서의 퍼클로레이트 농도는 표층 24.8 $\mu\text{g/L}$, 1 m 깊이 22.7 $\mu\text{g/L}$, 2 m 깊이 19.6 $\mu\text{g/L}$ 였다. 공시험에서 사용된 활성탄은 원수로 컨디셔닝을 시키지 않은 것으로 퍼클로레이트가 검출되지 않아, 신탄지에서 사용 중인 활성탄은 오염된 낙동강 수계의 원수에서 퍼클로레이트가 흡착된 것임을 증명

Table 4. Perchlorate concentration in activated carbon used in drinking water treatment (unit : $\mu\text{g/L}$)

Depth	Virgin activated carbon ¹	Used activated carbon ²
Blank ³	0	0
Surface layer	9.5	24.8
1 m ⁴	10.5	22.7
2 m ⁵	9.1	19.6

¹ : Virgin activated carbon is conditioned by raw water for 30 days.
² : Used activated carbon is used for 2 years in water treatment.
³ : Blank is new activated carbon which is not conditioned by raw water.
⁴ : 1 m is the depth from the surface.
⁵ : 2 m is the depth from the surface.

하였다. 또한 활성탄의 사용일수가 증가할수록 퍼클로레이트의 흡착량도 증가함을 알 수 있었으며, 활성탄 층의 깊이와는 관계없이 전층에서 흡착되는 것으로 나타나 활성탄의 사용경과에 따른 부분교체의 필요성이 없는 것으로 조사되었다.

3.4. Pilot plant에서 활성탄별 퍼클로레이트의 농도변화

낙동강 수계에서 정수처리에 사용되고 있는 원수, 원수로 컨디셔닝시키지 않은 신규활성탄, 2년 이상 정수장에서 사용 중인 활성탄, 재생공정을 거친 재생활성탄을 이용하여 pilot plant에서 장기간 퍼클로레이트의 농도변화를 조사한 결과는 Fig. 2와 같이 나타났다.

원수는 앞의 3.1의 원수 및 처리수 조사의 일부분으로서 7월 1일부터 9월 5일 사이의 퍼클로레이트의 검출 농도는 약 2~7 $\mu\text{g/L}$ 정도이나, 사용중인 활성탄에서는 퍼클로레이트의 검출 농도가 원수보다 2~3 $\mu\text{g/L}$ 가 높게 검출되는 경향을 보이는 것으로 조사되었다. 그러나 신규활성탄에서는 약 33일 정도까지는 활성탄의 흡착능력이 유지되어 퍼클로레이트가 검출되지 않았으나, 그 이후부터는 검출 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 재생활성탄의 흡착능력도 신규활성탄과 비슷한 경향으로 보이며 32일째부터 퍼클로레이트의 농도가 증가하기 시작하였다. 신규 입상활성탄에 대한 퍼클로레이트의 처리용량은 1,438 m^3 BV (bed volume) 였고, 재생활성탄은 1,242 m^3 BV 이었다. 입상활성탄을 사용한 퍼클로레이트의 흡착능 연구(손희중과 정철우, 2007)에 따르면, 석탄계 신탄(coal-virgin)은 BV 2,300 정도에서 파과(breakthrough)에 도달하였고, 야자계 신탄(coconut-virgin)과 목탄계 신탄(wood-virgin)의 경우는 BV 720과 290 정도에서 파과에 도달하여 3가지 재질의 활성탄 모두 운전초기에 퍼클로레이트에 대한 활성탄의 흡착능이 소진되는 것으로 본 연구와 유사한 경향을 보이고 있다. 또한, 야자계 입상활성탄에서 Freundlich 등온흡착식($X/M = k \cdot C_e^{1/n}$)을 이용한 퍼클로레이트의 흡착능은 $X/M = 102.52 \cdot C_e^{0.2266}$ 으로 조사되었다.

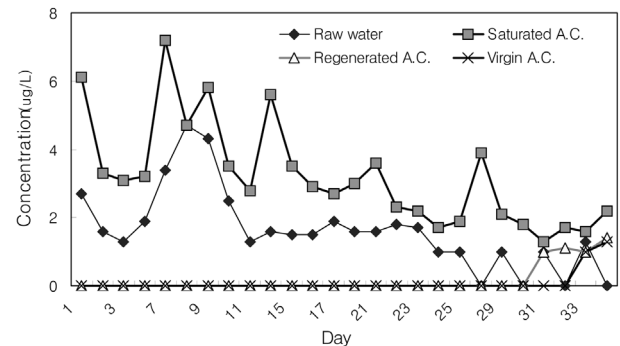


Fig. 2. Perchlorate concentration after activated carbon filtered in pilot plant (1. Virgin activated carbon is not conditioned by raw water. 2. Saturated activated carbon is used for 2 years in water treatment. 3. Regenerated activated carbon is regenerated for 24 hours at 500~850°C.).

일반적으로 활성탄을 이용한 오염물질 제거는 용해도가 낮은 휘발성 오염물질과 같은 비극성 오염물질로 오염된 수처리에 효과적인 것으로 알려져 있으며, 퍼클로레이트와 같은 무기 오염물질 제거에는 비효율적인 기술로 간주되어 왔다(신경희 등, 2007). 본 연구의 결과도 앞선 연구에서와 같이 신규활성탄을 사용한 퍼클로레이트의 제거는 약 30일 정도로 그 처리 용량이 매우 낮은 것으로 조사되었으며, 일반적으로 오존처리 후에 사용하고 있는 입상활성탄의 교체주기는 BV 약 90,000에서 약 3년과는 큰 차이를 보이고 있다(손희종과 정철우, 2007). 이 연구의 결과는 기존의 고도정수처리공정에서 사용하고 있는 입상활성탄에 의해서는 퍼클로레이트의 제거에 어려움이 있음을 보여주고 있어 배출원에서 그 양을 최소화하여 배출시키는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났다. 또한, 이와 같은 고도정수처리공정의 처리효율 및 유지관리에 문제점이 노출되면서, 막여과공정을 이용한 고도정수처리공정의 관심이 집중되고 있는 점을 감안한다면(오희경, 2007), 막분리기술을 이용한 퍼클로레이트의 처리는 기존 공정과의 결합이 용이할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

낙동강 수계의 원수를 사용하고 있는 D시의 A 및 B 정수장에서 원수 및 수도수인 처리수를 약 80일간의 조사에서 처리수의 퍼클로레이트 농도는 일정한 패턴을 보이고 있지는 않으나 지속적으로 원수보다 높은 농도를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

오존 및 입상활성탄 공정을 포함하고 있는 정수장의 공정별 퍼클로레이트의 농도변화 조사에서 조사대상 정수장 모두 물리적 처리공정인 모래여과수와 화학적 처리공정인 오존처리수에서는 퍼클로레이트의 농도가 원수보다 약간씩 낮은 농도를 보이고 있으나, 활성탄 여과 후에는 약 38% 증가하였다.

활성탄여과 후에 퍼클로레이트가 증가하는 원인은 활성탄의 사용일수가 증가할수록 퍼클로레이트의 흡착능을 초과하여 흡착된 무기이온의 용출에 그 원인이 있었고, 활성탄지에서 활성탄층의 깊이와는 관계없이 전층에서 퍼클로레이트가 흡착되는 것으로 밝혀져 활성탄의 사용경과에 따른 깊이별 부분교체의 필요성은 없는 것으로 조사되었다.

신규활성탄으로 퍼클로레이트를 제거할 경우 그 처리 용량이 1,438 m³ bed volume 으로 약 30일 정도로 매우 낮은 것으로 조사되었으며, 기존의 고도정수처리공정에서 사용하는 입상활성탄으로는 퍼클로레이트의 제거에 어려움이 있어 배출원에서 그 양을 최소화하여 배출시키는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

참고문헌

김현구, 김정화, 이연희(2007). 국내 주요 정수장 수돗물의 퍼클로레이트 검출현황. *한국물환경학회지*, **23**(6), pp.

- 812-818.
- 손희종, 정철우(2007). 낙동강 수계에서의 Perchlorate 검출 및 활성탄 공정에 의한 제거 특성. *대한환경공학회지*, **29**(4), pp. 438-443.
- 신경희, 손아정, Daniel K. Cha, 김경웅(2007). 페클로레이트의 위해성과 저감기술 소개. *대한환경공학회지*, **29**, pp. 1060-1068.
- 오희경(2007). 국내정수처리현황과 막여과 공정의 도입. *대우건설기술연구원 기술동향브리핑*, 제553호.
- Bao, M. L., Griffini, O., Santianni, D., Barbieri, K., Burrini, D. and Pantani, F. (1999). Removal of bromate ion from water using granular activated carbon. *Water Research*, **33**(13), pp. 2956-2970.
- Brandhuber, P. and Clark, S. (2005). Perchlorate Occurrence Mapping. American Water Works Association. <http://www.awwa.org/advocacy/perchlorateoccurrencereportfinalb02092005.pdf>.
- California Department of Health Services (2006). <http://www.dhs.ca.gov/ps/ddwem/chemicals/perchl/earlyfindings/default.htm>.
- Dasgupta, P. K., Martinelango, P. K., Jackson, W. A., Anderson, T. A., Tian, K., Tock, R. W., and Rajagopalan, S. (2005). The origin of naturally occurring perchlorate: the role of atmospheric processes. *Environ. Sci. Technol.*, **39**, pp. 1569-1575.
- Environmental Working Group (2005). National tap water quality database. <http://www.ewg.org/tapwater/contaminants/contaminant.php?contamcode=A031>.
- Greer, M. A., Goodman, G., Pleuss, R. C., and Greer, S. E. (2002). Health effect assessment for environmental perchlorate contamination: the dose response for inhibition of thyroidal radioiodide uptake in humans. *Environ. Health Perspect*, **110**, pp. 927-937.
- Hogue, C. (2003). Rocket-fueled river. *Chem. Eng. News*, **81**(33), pp. 37-46.
- Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) Perchlorate Team (2005). Perchlorate: overview of issues, status, and remedial options.
- Massachusetts Department of Environmental Protection (2005). The occurrence and sources of perchlorate in Massachusetts. Draft Report.
- National Research Council (2005). Health Implications of Perchlorate Ingestion. National Academies Press.
- Rajagopalan, S., Anderson, T. A., Fahlquist, L., Rainwater, K. A., Ridley, M. and Jackson, W. A. (2006). Widespread presence of naturally occurring perchlorate in high plains of Texas and New Mexico. *Environ. Sci. Technol.*, **40**(10), pp. 3156-3162.
- Sorlini, S. and Collivignarelli, C. (2005). Chlorite removal with granular activated carbon. *Desalination*, **176**, pp. 255-265.
- The Department of Defense Environmental Data Quality Workgroup (2006). DoD Perchlorate Handbook.
- US EPA (2005a). http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/b1ab9f485b098972852562e7004d_c686/c1a57d2077c4b6fda85256fac005b8b32!opendocument.
- US EPA (2005b). <http://www.epa.gov/fedfac/pdf/stateadvisorylevels.pdf>.