

국내 주요 정수장 수돗물의 퍼클로레이트 검출현황

김현구[†] · 김정화 · 이연희

국립환경과학원 환경진단연구부

Occurrence of Perchlorate in Drinking Water in Korea

Hyun-koo Kim[†] · Joung-hwa Kim · Youn-hee Lee

Department of Environmental Diagnostics Research, National Institute of Environmental Research

(Received 28 September 2007, Accepted 29 October 2007)

Abstract

Perchlorate is an unregulated contaminant but recently many cases of perchlorate contamination have been reported in the US. In Japan, also, a couple of contamination incidents caused by perchlorate occurred. Against this backdrop, investigation on perchlorate was urgent for Korea. Accordingly, perchlorate investigation in tap water and river water was conducted one time a week for seven consecutive weeks at major water sources of Korea including Han River, Guem River, Yeong-san River, and Nak-dong River. Perchlorate was not found at Han River, Guem River, and Yeong-san River. However, all the 4 tap water samples in Nak-dong River recorded high level of perchlorate. Among others, NT1 located at Daegu posted the highest value of 22.3 $\mu\text{g/L}$. This level is lower than 24.5 $\mu\text{g/L}$, the threshold recommended by US EPA. Still, perchlorate contamination in drinking water can deal a heavy blow to nerve development of infants and children by causing iodine deficiency. At the 1st and 2nd investigations, perchlorate concentration reached 18.7~95.6 $\mu\text{g/L}$ and 4.0~25.6 $\mu\text{g/L}$ respectively, both of which are relatively higher. The high perchlorate concentration in Nak-dong River was possible because of the waste water discharged from LCD manufacturing factory which was located at NS3 in Gumi, Korea. Perchlorate concentration of waste water from the factory was 730~1,858 $\mu\text{g/L}$.

keywords : Perchlorate, River water, Tap 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 제기되었다.

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(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/day에서도 갑상선에 요오드화합물이 결합하는 것을 막아 호르몬 생성을 방해하고, 물질대사를 교란하며, 이러한 교란으로

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

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, 임산부나 유아들에게서는 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 µg/kg/day로 설정하였고, 또한 NAS(National Academy Science)의 보고서를 근거로 수돗물에서의 권고기준값으로 24.5 µg/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 µg/L로 설정하여 관리하고 있다(US EPA, 2005b). 미국에서는 메사츨세츠주가 2006년 퍼클로레이트의 기준을 2 µg/L로, 캘리포니아주 보건국이 2006년 MCL(maximum contaminant level) 값으로 6 µg/L로 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 et al., 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 조사가 시급히 요구되고 있는 실정이다.

이 연구에서는 산업활동에 따른 부산물로 유해물질이 상수원수에 유입되는 낙동강 수계를 중심으로 한강, 금강, 영산강 수계의 상수원수 및 주요 정수장 수돗물을 중심으로 퍼클로레이트의 검출현황을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 샘플링

국내 수계에서 퍼클로레이트의 검출현황을 조사하기 위하여 Table 1과 같이 한강, 금강, 영산강 및 낙동강 수계에서 정수장 수돗물, 상수 원수, 하천수 및 하수처리장 시료를 채취하였다. 시료는 2006년 6월 28일부터 8월 9일까지 주 1회씩 7차에 걸쳐 채취하였다. 수계별 시료 채취는 정수장 수돗물이 한강수계 단월과 이천 2곳, 금강수계 연기, 공주, 부여 3곳, 영산강수계 광주 2곳, 낙동강수계 대구 2곳 및 부산 2곳이었고, 상수원수 시료 수는 정수장 수돗물 시료와 동일하게 한강 2곳, 금강 3곳, 영산강 1곳, 낙동강

4곳이었으며, 하천수는 한강이 단월, 이천 2곳, 금강이 연기, 공주 2곳, 영산강 1, 낙동강수계 본류에서는 구미 상류 지역인 구미대교, 우삼교, 대구지역인 왜관, 성주, 강정, 현풍 및 부산 지역의 물금 7곳에서 채취하였다. 낙동강 수계에서는 예비조사에서 하천수 및 정수장 수돗물에서 퍼클로레이트가 고농도로 배출되어 1차 조사에서부터 타 수계보다 시료 수를 증가시켰으며, 배출원 조사를 위하여 본류가 아닌 대구지역의 지천 3곳(경호천, 반지천, 백천)과 퍼클로레이트의 고농도 배출이 의심되는 구미 및 대구지역의 하수처리장 2곳(구미하수처리장 및 서부하수처리장)을 추가하여 시료를 채취하였다.

2.2. 분석방법

퍼클로레이트 분석에 사용된 표준시약은 Sodiumperchlorate Anhydrous (NaClO₄, Wako), 용리액은 Sodiumhydroxide(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 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 여과 후, 이온크로마토그래피를 이용하여 크로마토그램의 피크면적과 농도와의 관계로 퍼클로레이트를 분석하였으며, 분석조건은 Table 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 퍼클로레이트의 검출한계 및 정량한계

퍼클로레이트 분석을 위해 사용한 이동상의 용리액은 NaOH 25 mM 및 50 mM을 사용하여 분석하였고, 50 mM의 경우 25 mM NaOH에 비해 분석시간이 짧고 감도가 좋은 장점이 있으나 방해이온 존재 시 피크의 겹침현상이 나타나는 단점이 나타났다. 따라서 수질이 깨끗한 시료는 50 mM, 피크분리가 어려운 시료는 25 mM의 용리액을 사용하여 분석하였다(Fig. 1).

퍼클로레이트의 검출한계는 미국 EPA Method 314.0 및 314.1의 시험방법을 근거로 표준용액 2 µg/L와 4 µg/L를 조제하여 각각 7회 분석한 결과 Table 3과 같이 나타났고, 검출한계는 2 µg/L에서 0.3 µg/L, 4 µg/L에서 0.2 µg/L였으며, 검출한계의 10배를 적용한 퍼클로레이트의 정량한계는 각각 3 µg/L와 2 µg/L로 조사되었다. 본 연구에서는 2 µg/L의 정량한계를 이용하여 상수 원수 및 정수의 퍼클로레이트 결과를 표기하였으며, 국내에서 퍼클로레이트의 정량한계 값을 설정하는데 기초자료로 사용할 수 있도록 하였다. 퍼클로레이트의 회수율, 재현성 및 편차를 측정하기 위하여 표준용액 2 µg/L와 4 µg/L를 수돗물에 첨가하여 각각

Table 1. Sampling locations and its information

Sample No.	River	Location	Sample type	Sampling date	
HT1	Han river	Danweol	Tap water	Every Wednesday for 6weeks from June 28, 2006 to August 9, 2006,	
HT2		Icheon			
HR1		Danweol	Raw water		
HR2		Icheon			
HS1		Danweol	Stream water		June 28 for NR3, NR4, NT3, NT4
HS2		Icheon			
KT1	Keum river	Yeonki	Tap water		
KT2		Kongju			
KT3		Buyeo	Raw water		
KR1		Yeonki			
KR2		Kongju	Stream water		
KR3		Buyeo			
KS1	Yeonki	Stream water			
KS2	Kongju				
YT1	Youngsan river	Kwangju	Tap water		
YT2			Raw water		
YR1			Raw water		
YR2			Stream water		
YS1			Stream water		
NT1		Nakdong river	Daegu		
NT2					
NT3	Busan				
NT4					
NR1	Daegu		Raw water		
NR2					
NR3	Busan				
NR4					
NS1	Nakdong river	Kumidaekyo	Stream water	Every Wednesday for 2weeks from June 28, 2006 to July 5, 2006	
NS2		Usabkyo			
NS3		Kumi sewage treatment plant			
NS4		Kyoungho cheon			
NS5		Banji cheon			
NS6		Woekwan			
NS7		Seongju			
NS8		Bakcheon			
NS9		Kangjeong			
NS10		Seobu sewage treatment plant			
NS11		Hyunpoong			
NS12		Mulgeum			

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

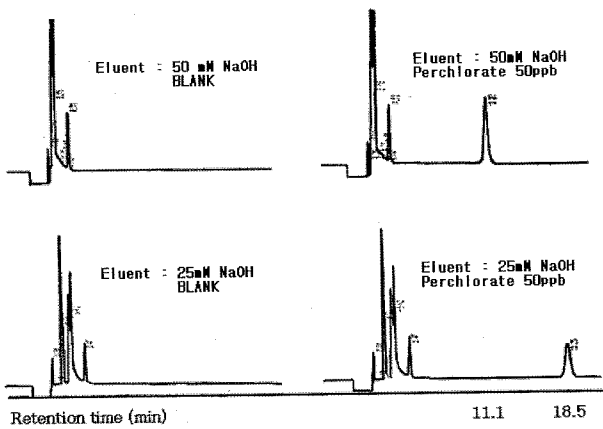


Fig. 1. Chromatogram of perchlorate.

Table 3. MRL and MDL of perchlorate

	Standard reagent	STD	
		2 $\mu\text{g/L}$	4 $\mu\text{g/L}$
Method reporting limit		4.0	3.0
Method detection limit		0.30	0.20
Level of ClO_4^-		1.94	3.90
SD		0.11	0.09
RSD (%)		5.92	2.27
Accuracy (%)		-7.5	9.5
Significant number (mg/L)		0.0000	0.0000
Recovery (%)		97.6	98.5
Precision (%)		2.6	2.3
Accuracy (%)		97.9	98.5

7회 측정된 결과 Table 3에서와 같이 회수율은 각각 97.6%, 98.5%를 보였으며, 재현성을 나타내는 상대표준편차인 정밀도는 각각 2.6%, 2.3%로 우수한 정밀도를 보였으며, 정확도는 각각 97.9%와 98.5%로 참값에 대하여 낮은 편차를 나타냈다.

3.2. 수돗물에서의 퍼클로레이트

국내의 주요 수계인 한강, 금강, 영산강, 낙동강 수계의

수돗물에서 주 1회씩 7주 연속 조사한 결과 퍼클로레이트의 검출농도는 Table 4와 같이 나타났다. 한강, 금강, 영산강 수계에서의 퍼클로레이트 검출농도는 금강 및 영산강 수계에서 정량한계 이상의 농도는 한차례도 검출되지 않았으며, 한강 수계에서는 정수장 HT1에서 한차례에 2.1 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었다.

그러나, 조사된 낙동강 수계의 정수장 4곳 모두에서 퍼클로레이트가 타 수계에 비해 월등히 높은 농도로 검출되었다. 1차 조사 시의 퍼클로레이트 농도는 NT1 22.3 $\mu\text{g/L}$, NT2 20.5 $\mu\text{g/L}$, NT3 9.6 $\mu\text{g/L}$, NT4 14.8 $\mu\text{g/L}$ 였고, 2차는 NT1 19.1 $\mu\text{g/L}$, NT2 17.9 $\mu\text{g/L}$, NT3 5.0 $\mu\text{g/L}$, NT4 6.8 $\mu\text{g/L}$ 였다. 낙동강 수계에서 1차(6월 28일) 및 2차(7월 5일)의 조사에서 퍼클로레이트의 농도가 3~7차 보다 월등히 높게 나타났으며(Table 4), 그 원인은 1차와 2차 조사시기에는 퍼클로레이트의 배출원이 밝혀지지 않은 상태에서 조사된 결과였기에 저감 노력없이 배출된 결과였고, 3~7차의 조사시기는 상류지역의 배출원을 추적 조사하는 과정에 있었기 때문에 배출원으로 추정되는 곳에서 배출 저감을 위한 노력의 결과인 것으로 조사되었다.

낙동강 수계에서도 상류인 대구지역에 속한 정수장 NT1, NT2에서의 퍼클로레이트 농도가 하류의 부산지역에 위치한 정수장 NT3, NT4에서의 농도보다 높은 것으로 나타나 퍼클로레이트의 발생원이 부산지역보다 상류에 위치하고 있음을 시사하고 있다.

낙동강 수계 수돗물에서 퍼클로레이트의 최고 농도는 22.3 $\mu\text{g/L}$ 로 미국 환경보호청(US EPA)이 수돗물에서 권고 기준값으로 정한 24.5 $\mu\text{g/L}$ 보다 낮은 농도를 보이고 있으며(US EPA, 2004), 다행히도 3차 이후부터는 ND~8.6 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되어 미국의 1~18 $\mu\text{g/L}$ 와 비교하여도 농도가 높지 않은 것으로 조사되었다. 미국 및 일본에서 보고된 연구결과와 비교해 보면, 국내 수계에서의 퍼클로레이트 검출 농도는 미국 환경보호청(US EPA, 2004)에서 발표한 먹는물 중 최고 농도 811 $\mu\text{g/L}$ 및 일본 토네강 원수를 사용하는 27건의 수돗물에서의 조사결과 중 8건이 20~40 $\mu\text{g/L}$, 5건이 10~20 $\mu\text{g/L}$, 3건이 5~10 $\mu\text{g/L}$ 의 농도 분포인 것과 비

Table 4. Perchlorate concentration of tap water

(unit : $\mu\text{g/L}$)

River	Sampling site	Sampling date						
		6.28	7.5	7.12	7.19	7.26	8.2	8.9
Han river	HT1	-	ND	2.1	N.D	ND	ND	ND
	HT2	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Keum river	KT1	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	KT2	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	KT3	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Youngsan river	YT1	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	YT2	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nakdong river	NT1	22.3	19.1	6.2	ND	8.6	5.0	5.7
	NT2	20.5	17.9	8.4	ND	8.3	3.9	5.8
	NT3	9.6	5.0	ND	ND	ND	ND	ND
	NT4	14.8	6.8	ND	ND	ND	ND	ND

ND : Not Detected

교할 때 비교적 낮은 농도임을 알 수 있었다(Koji Kosaka et al., 2007). 그러나, 퍼클로레이트에 장기간 노출되면 갑상선에 요오드화합물이 결합하는 것을 막아 요오드의 결핍을 초래하여 유아나 어린이들에서 신경발달 결핍을 일으킬 수 있어 수돗물에서의 그 농도는 매우 중요한 의미를 지니고 있다(Greer et al., 2002; National Research Council, 2005). 또한, 지하수 중 퍼클로레이트의 최고 농도가 3,700 mg/L인 것으로 보고되고 있으며(US EPA, 2004), 국내에서도 지하수를 먹는물로 사용하고 있는 인구가 10%를 상회하고 있어 퍼클로레이트를 배출하고 있는 지역의 지하수를 조사할 필요성이 있음을 보여주고 있다(환경부, 2006).

3.3. 상수 원수 및 하천수에서의 퍼클로레이트

상수 원수에서의 퍼클로레이트는 금강, 영산강 수계에서 조사기간 동안 정량한계 이상으로 검출된 시료는 한건도 없었으나, 한강 수계에서는 3차와 5차 조사결과에서 각각 2.3 $\mu\text{g/L}$ 및 2.6 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다.

그러나, 낙동강수계의 상수원수에서 조사된 4개 지점의 검출 결과 Table 5에서와 같이 대구지역 NR1 지점에서 7회 조사중 5회에 걸쳐 2.0~20.1 $\mu\text{g/L}$ 였고, NR2 지점에서도 7회 조사중 5회에 걸쳐 2.0~18.6 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다. NR2 지점은 NR1 지점의 하류에 위치하고 있으나 그 거리가 수 km에 불과하여 비슷한 결과를 보이고 있다. 낙동강 최 하류인 부산근교에 위치한 NR3 및 NR4 지점은 1차 조사시기에만 각각 19.5 $\mu\text{g/L}$ 및 17.8 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되었고, 2차에는 각각 4.2 $\mu\text{g/L}$ 및 3.8 $\mu\text{g/L}$ 였으나, 3~7차 조사에서는 두 지점 모두 불검출로 조사되었다.

한강, 금강, 영산강 수계 하천수에서의 퍼클로레이트 검출 패턴은 상수원수와 유사한 패턴을 보이고 있으나, 낙동강 수계의 하천수에서는 1차와 2차에 각각 18.7~95.6 $\mu\text{g/L}$ 및 4.0~25.6 $\mu\text{g/L}$ 로 3~7차보다 높은 농도를 보이고 있다.

3.4. 수돗물에 영향을 미치는 퍼클로레이트의 발생원

미규제 미량유해물질인 퍼클로레이트 화합물의 발생원은 주로 로켓 추진제, 폭죽, 화약제조 공정이나 LCD 제조공정인 것으로 나타나 수계상류 지역에 이들을 제조하는 시설의 유무를 중심으로 조사하였다.

Table 5 및 Table 6에서와 같이 한강수계에서의 퍼클로레이트는 6회 조사중 2회에 걸쳐 정량한계 부근의 농도인 2.3~2.6 $\mu\text{g/L}$ 로 조사되어 낮은 농도이기는 하나 미량 검출되고 있어 발생원의 추적이 필요한 것으로 사료되어 조사한 결과 수계 상류지역에 소규모 LCD 제조공장이 있는 것으로 조사되었다. 금강수계에서는 정량한계 이상의 농도로 검출된 건수는 없으나 정량한계 미만으로 수회 검출되었으며, 그 배출원은 수계 상류지역의 화약제조 공장에서 소량씩 배출되는 것으로 조사되었다. 영산강수계는 조사기간 동안 정량한계 미만으로도 검출된 건수가 한건도 없어 배출원 조사는 실시하지 않았다.

퍼클로레이트가 고농도로 검출된 낙동강수계에서의 배출원 추적 조사는 수계에서 고농도로 검출되는 지점의 상류지역에 화약제조 혹은 LCD 제조 시설이 있는지를 판단하여 관련 공단에서 배출되는 하수처리장을 중심으로 퍼클로레이트 농도를 조사하였다. Table 6에서와 같이 수계내의 조사에서는 낙동강 본류의 조사지점 NS1, NS2 및 지천인 NS4, NS5, NS8 지점에서 모두 불검출로 나타났고 NS3 하수처리장 하류의 본류 NS6 및 NS7에서 퍼클로레이트의 농도가 강물에 의한 희석으로 급격히 낮아진 것으로 조사되었기 때문에, 퍼클로레이트의 배출원을 NS2 하류 지점의 하수처리장으로 범위를 좁힐 수 있게 되었다. 구미지역에 위치한 하수처리장인 NS3에서 퍼클로레이트의 농도가 730~1,858 $\mu\text{g/L}$ 와 대구지역의 하수처리장인 NS10에서 2.6~120.5 $\mu\text{g/L}$ 의 고농도로 나타났다. 이들 하수처리장에 하수를 주로 배출시키고 있는 공장을 추적한 결과 NS3 하수처리장에 LCD 제조공장의 폐수가 고농도로 대량 배출되고 있는 것으로 조사되었으나, NS10은 특별한 발생원을 추적하기 어려워 추후 세부조사가 필요한 것으로 나타났다.

4. 결론

국내의 주요 수계인 한강, 금강, 영산강, 낙동강 수계의 수돗물에서 매주 1회씩 7주 연속 조사한 결과, 한강, 금강, 영산강 수계의 수돗물에서 퍼클로레이트 검출은 한강 수계 정수장 HT1에서 1회 2.1 $\mu\text{g/L}$ 였으나, 낙동강 수계의 조사 정수장 4곳 모두에서 퍼클로레이트가 타 수계에 비해 월등

Table 5. Perchlorate concentration of raw water for drinking

(unit : $\mu\text{g/L}$)

River	Sampling site	Sampling date						
		6.28	7.5	7.12	7.19	7.26	8.2	8.9
Han river	HR1	-	ND	2.3	ND	2.6	ND	ND
	HR2	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Keum river	KR1	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	KR2	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	KR3	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Youngsan river	YR1	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NR1	20.1	16.1	ND	ND	7.2	2.0	4.4
Nakdong river	NR2	18.6	16.2	ND	ND	7.4	2.0	3.4
	NR3	19.5	4.2	ND	ND	ND	ND	ND
	NR4	17.8	3.8	ND	ND	ND	ND	ND

Table 6. Perchlorate concentration of main river and sewerage water (unit : $\mu\text{g/L}$)

River	Sampling site	Sampling date						
		6.28	7.5	7.12	7.19	7.26	8.2	8.9
Han river	HS1	-	ND	ND	ND	ND	2.3	ND
	HS2	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Keum river	KS1	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	KS2	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	KS3	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Youngsan river	YS1	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	YS2	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nakdong river ¹	NS1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NS2	-	ND	-	-	-	-	-
	NS3 ²	1,858	820.3	730.0	-	1255.6	-	-
	NS4 ³	-	ND	-	-	-	-	-
	NS5 ³	-	ND	-	-	-	-	-
	NS6	95.6	25.6	5.4	6.3	17.7	7.6	13.5
	NS7	76.1	18.9	ND	ND	9.5	3.6	6.2
	NS8 ³	-	ND	-	-	-	-	-
	NS9	60.5	16.8	ND	ND	8.2	2.5	4.6
	NS10 ²	35.6	120.5	-	-	2.6	-	-
	NS11	25.6	15.7	ND	ND	7.0	2.3	3.5
	NS12	18.7	4.0	ND	ND	ND	ND	ND

¹ : To investigate the emission source of high level of perchlorate in upstream of Nak-dong river, samples of sewage treatment plant⁽²⁾ and branch stream⁽³⁾ were collected.

이 높은 농도로 검출되었으며 최고 농도는 대구지역 정수장인 NT1에서 22.3 $\mu\text{g/L}$ 였다.

낙동강수계의 수돗물 중에서 퍼클로레이트의 최고 농도는 22.3 $\mu\text{g/L}$ 로 미국 환경보호청(US EPA)의 권고기준값인 24.5 $\mu\text{g/L}$ 보다 낮은 농도를 보이고 있으나, 퍼클로레이트에 장기간 노출되면 갑상선에 요오드화합물이 결합하는 것을 막아 요오드의 결핍을 초래하여 유아나 어린이들에서 신경 발달 결핍을 일으킬 수 있어 수돗물에서의 그 농도는 매우 중요한 의미를 지니고 있다.

한강, 금강, 영산강 수계 하천수에서의 퍼클로레이트는 거의 불검출 수준이었으나, 낙동강 수계의 하천수에서는 1차와 2차 조사에서 각각 18.7~95.6 $\mu\text{g/L}$ 및 4.0~25.6 $\mu\text{g/L}$ 로 높은 농도를 나타냈다.

미규제 미량유해물질인 퍼클로레이트 화합물의 발생원은 주로 로켓 추진체, 폭죽, 화학제조 공정이나 LCD 제조공정인 것으로 조사되어 수계상류 지역에 이들을 제조하는 시설의 유무를 중심으로 조사하였다. 구미지역에 위치한 하수처리장인 NS3에서 퍼클로레이트의 농도가 730~1,858 $\mu\text{g/L}$ 로 나타나, 이 하수처리장에 하수를 주로 배출시키고 있는 공장을 추적한 결과 LCD 제조공장의 폐수에서 퍼클로레이트가 고농도로 다량 배출되고 있어 저감화 기술개발이 요구되고 있다.

참고문헌

환경부, 2005 상수도통계 (2006).

Brandhuber, P. and Clark, S., Perchlorate Occurrence Mapping. American Water Works Association, <http://www.awwa.org/advocacy/>

perchlorateoccurrencefinalb02092005.pdf (2005).

California Department of Health Services, <http://www.dhs.ca.gov/ps/ddwem/chemicals/perchl/earlyfindings/default.htm> (2006).

Dasgupta, P. K., Martinelango, P. K., Jackson, W. A., Anderson, T. A., Tian, K., Tock, R. W. and Rajagopalan, S., The origin of naturally occurring perchlorate: the role of atmospheric processes, *Environ. Sci. Technol.*, **39**, pp. 1569-1575 (2005).

Environmental Working Group, National tap water quality database, <http://www.ewg.org/tapwater/contaminants/contaminant.php?contamcode=A031> (2005).

Greer, M. A., Goodman, G., Pleuss, R. C. and Greer, S. E., 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 (2002).

Hogue, C., Rocket-fueled river, *Chem. Eng. News*, **81**(33), pp. 37-46 (2003).

Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) Perchlorate Team, Perchlorate: overview of issues, status, and remedial options (2005).

Koji Kosaka, Mari Asami, Yukiko Matsuoka, Masahiro Kamoshita, and Shoichi Kunikane, Occurrence of perchlorate in drinking water sources of metropolitan area in Japan, *WATER RESEARCH*, **41**, pp. 3474-3482 (2007).

Massachusetts Department of Environmental Protection, *The occurrence and sources of perchlorate in Massachusetts*, Draft Report (2005).

National Research Council, Health Implications of Perchlorate Ingestion. National Academies Press (2005).

Rajagopalan, S., Anderson, T. A., Fahlquist, L., Rainwater, K. A., Ridley, M. and Jackson, W. A., Widespread presence

- of naturally occurring perchlorate in high plains of Texas and New Mexico, *Environ. Sci. Technol.*, **40**(10), pp. 3156-3162 (2006).
- The Department of Defense Environmental Data Quality Workgroup. DoD Perchlorate Handbook (2006).
- US EPA, http://www.epa.gov/fedfac/documents/perchlorate_map/nationalmap.htm (2004).
- US EPA, http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/b1ab9f485b098972852562e7004d_c686/c1a57d2077c4bfda85256fac005b8b32!opendocument (2005a).
- US EPA, <http://www.epa.gov/fedfac/pdf/stateadvisorylevels.pdf> (2005b).