

낙동강 수계 및 수돗물에서의 Perchlorate(ClO_4^-) 분석

김화빈 · 오정은[†] · 이승윤* · 조재원* · Shane Snyder**

부산대학교 환경공학과 · *광주과학기술원 환경공학과 · **Southern Nevada Water Authority, USA.

(2006년 7월 18일 접수, 2006년 8월 13일 채택)

The Analysis of Perchlorate in Nakdong River and Tap Water

Hwa Bin Kim · Jeong-Eun Oh[†] · Sung-yun Lee* · Jae-weon Cho* · Shane Snyder**

Department of Environment Engineering, Pusan National University

*Department of Environment Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology · **Southern Nevada Water Authority, USA.

ABSTRACT : Perchlorate ion(ClO_4^-), which is present in the solid propellant for rocket, herbicide and some fertilizers. Perchlorate inhibits iodide uptake by the human thyroid gland. Impairment of thyroid function in expectant mothers may impact the fetus and result in effects including cerebral palsy, give rise to thyroid gland cancer. The US EPA(Environmental Protection Agency) adopted a reference dose(RfD) for perchlorate 0.0007 mg/kg-day, and this guidance lead to a Drinking Water Equivalent Level(DWEL) of 24.5 $\mu\text{g/L}$.

The studies about perchlorate are actively performed in foreign countries, especially in USA but there is no study which surveyed the perchlorate contamination in Korea. Therefore, this study was done to investigate perchlorate contamination in Nak-dong river and tap water. The perchlorate was detected in Nakdong river and ranged from ND to 278.4 $\mu\text{g/L}$. The highest concentration was observed in Kumichon. The perchlorate concentration was decreased with the down stream of Nakdong river. The perchlorate concentration in tap water was varied with the cities and the concentration levels were ND~34.1 ppb. The highest perchlorate concentration was observed in DalsuGoo in Daegu and the similar concentration(9~11 $\mu\text{g/L}$) was detected in most of the districts in Busan. The result of this study suggests that there is a perchlorate source near the Nakdong river and the urgent policy is needed to control perchlorate for the cities which are supplied from Nakdong river as for their tap water.

Key Words : Perchlorate, Ion Chromatography

요약 : 제초제, 로켓 추진제 등에 주로 사용되는 과염소산(perchlorate, ClO_4^-)은 갑상선의 요오드 섭취를 방해하여 갑상선 암을 유발할 수 있으며 임신부가 섭취 시 태아의 뇌 발달을 저해하는 등 인체 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 최근 미국을 중심으로 perchlorate 관련 연구가 활발하게 진행되고 있으며 2006년 US. EPA에서 먹는물에서의 perchlorate 가이드라인을 설정하였다. 그러나 아직 국내에서는 perchlorate에 관한 독성 및 환경 내 오염 정도 등에 관해 구체적으로 조사된 바가 없다. 따라서 본 연구에서 국내 수 환경에서의 Perchlorate 오염 정도 파악을 위해 영남권 지역 주민들의 주 상수원수로 사용되고 있는 낙동강 수계와 낙동강 권역에 위치한 도시들의 수돗물을 대상으로 perchlorate를 분석하였다. 분석 결과 낙동강 수계 중에서는 ND~278.4 $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 perchlorate가 검출되었으며 구미공단천(2차)에서 가장 높게 나타났으며 하류로 내려올수록 perchlorate 농도가 감소하였다. 수돗물의 경우 대상 도시에 따라 다소 편차를 나타냈으며 농도 범위는 ND~34.1 $\mu\text{g/L}$ 이었다. 조사 대상 지역 중 대구 달서 감삼동에서 가장 높게 검출되었고 부산에서는 비슷한 농도(9~11 $\mu\text{g/L}$)로 대부분의 구에서 검출되었다. 본 조사결과는 낙동강 수계에 perchlorate 오염원이 있으며 낙동강을 상수원수로 사용하는 지역은 수돗물에서 perchlorate 관리대책이 필요함을 의미한다.

주제어 : 과염소산, 이온 크로마토 그래피, 낙동강, 수돗물

1. 서론

Perchlorate(ClO_4^-)는 염소 산화물의 일종으로 물에 매우 잘 용해되고 환경적으로 안정한 음이온인 비유기 내분비계저해 물질로 환경호르몬의 일종으로 알려져 있다.^{1,4)} Perchlorate는 환경에서 다양한 염의 형태로 존재하기 때문에 자연적으로 발생할 수 있고,¹⁶⁾ 인위적으로는 제지, 펄프 산업, 제초제 및 살충제, 로켓 추진제 등으로 사용하기 위해 나트륨, 칼륨,

암모늄염의 형태로 공업적으로 생산된다.²⁾ 또한 에어백 팽창 시, 성냥 제조, 전자 튜브, 윤활유, 섬유염색, 전기 도금 암모늄 정제, 에나멜 생산, 고무 제조 과정 등에서도 perchlorate salt를 사용한다. 이처럼 다양한 발생원으로부터 환경으로 유출된 perchlorate가 인체에 유입될 경우 갑상선의 요오드 섭취를 방해하여 갑상선 호르몬의 생산을 방해하고 갑상선 암을 유발할 수도 있으며,⁴⁾ 특히 어린이나 태아의 뇌 발달을 저해하는 등 인체 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다.^{13,14)} 따라서 2006년 1월 26일 미국 환경청(US EPA)에서 미국 최고의 과학자문 기관인 NAS(national academy of science)의 보고서 등에 근거하여 인체에 보건의적인 악영향을 미치지 않

[†] Corresponding author
E-mail: jeoh@pusan.ac.kr
Tel: 051-510-3513

Fax: 051-514-9574

는 perchlorate 1일 허용 노출 수준 농도를 하루섭취량 0.0007 mg/kg/day에 근거하여 먹는물에서의 perchlorate 허용 농도를 24.5 µg/L로 규정하였다.²⁰⁾ EPA에서 정하고 있는 perchlorate 가이드라인과는 달리 Table 1에서 나타난 것처럼 각 주에서는 보다 엄격한 가이드라인을 정해 perchlorate를 관리하고 있는데 캘리포니아의 경우 먹는 물에서의 한계농도(Action level)를 4 µg/L로, 공공 건강을 위한 목표치(Draft Public Health Goal)를 6 µg/L로 두고 있다.¹⁶⁾

국외에서는, 특히 미국을 중심으로 최근 몇 년 전부터 본격적으로 perchlorate에 대한 연구가 활발히 일어나기 시작했다. 2003년 US EPA에서 각 주의 지하수, 수처리장, 지표수, 토양 등에서의 perchlorate 오염 정도와 오염원 조사 결과를 발표하였다. 이에 따르면 심각하게 오염된 지역의 지하수의 perchlorate 농도는 10,000 µg/L를 상회하였으며 주요 오염원은 로켓 및 로켓 추진제 관련 산업, perchlorate 제조 산업 등에서 고농도의 perchlorate 오염을 야기시켰으며 공공 상하수도에서도 perchlorate가 검출되었다.²⁰⁾ 특히 미국 내에서도 네바다 주의 콜로라도 강의 경우 로켓 및 미사일 추진제를 만드는 공장에서 배출된 perchlorate로 인해 인근 지역 주민 수백만명이 오염된 물을 마시는 등 환경오염 사건이 보고된 바 있다.¹⁸⁾ 최근에는 perchlorate의 인위적인 발생원 뿐만 아니라 자연적인 발생원을 밝히기 위한 연구¹¹⁾도 수행 중에 있으며 수처리장에서 perchlorate를 제거하기 위한 연구도 활발히 진행 중에 있다.²⁾

국내에서는 아직 perchlorate로 인한 오염사례가 보고된 바 없으며 perchlorate의 위해성이나 이에 관한 연구가 아직 수행된 바가 없다. 최근 멤브레인 및 MBR을 이용한 perchlorate 제거 방안에 관한 연구가 수행 되었으나²⁾ 국내 수 환경 및 먹는 물에서의 perchlorate 농도 분석에 관한 연구는 수행되지 않아 국내 perchlorate 오염 현황 파악이 시급하다.

따라서 본 연구에서는 국내 환경에서의 perchlorate 오염 정도 파악을 위해 영남권 지역 주민들의 주 상수원수로 사용되고 있는 낙동강과 낙동강 권역 주요 도시 수돗물에서 perchlorate를 분석하여 오염 현황을 평가하여 향후 국내 수질 관리에 도움을 주고자 하였다.

Table 1. State drinking water advisory levels for perchlorate²⁰⁾

State	Regulation type	Health guidance(µg/L)
Texas	Residential protective cleanup level	17
Maryland	Advisory level	1
California	Action level	4
	Draft public health goal	6
Arizona	Health-Based guidance level	14
New York	Drinking water planning level	5
	Public notification level	18
Nevada	public notice standard	18
New Mexico	drinking water screening level	1
Mass	Advisory level for children & other at risk populations for the town of Bourne	1

2. 실험

2.1. 분석방법

Dionex사에서 생산한 DX-120 이온 크로마토그래피를 사용하여 REICTM Ion Pac AS 11 컬럼과 AG 11 가드 컬럼을 사용하여 EPA method 314를 modify하여 분석하였다. Perchlorate 표준용액은 Aldrich사의 sodium perchlorate 98%를 사용하여 100 ppm을 만들어 희석시켜 5, 10, 20, 40, 50, 100, 200 ppb의 농도로 사용하였다. Eluent로는 12 mM NaOH를 사용하였으며 유량은 1 mL/min 이며 압력은 989 psi이다. 본 분석조건에서의 perchlorate 검출한계는 4 ppb였다.

2.2. 시료채취

2.2.1. 하천수

본 시료채취 대상 하천인 낙동강은 영남지방 전역을 유역권으로 하여 남해로 유입되며 길이 525.15 km, 유역면적 23,717 km²로 우리나라 전 국토의 24.1%를 차지하고 있다. 낙동강 유역에는 대구, 경북, 경남, 부산 등 8개의 광역시도와 54개의 시·군·구가 위치하고 있어 이들 유역주민 8,609천명에게 식수원을 공급하는 상수원이다.²⁶⁾ 특히 낙동강 하류지역에 위치한 부산의 경우, 낙동강은 식수원으로써 93%를 차지하고 있어 낙동강 수질은 영남권 유역 주민들의 건강과 직결되어 있는 중요한 요소이다. 하지만 낙동강은 수질 오염 및 잦은 환경 사고로 인해 지역 주민들의 수질 개선 대책 요구가 지속되고 있는 곳이다. 특히 낙동강 유역에는 상하류에 걸쳐 92개소의 공단이 있고 perchlorate의 발생원이라고 알려져 있는 군부대와 제지, 펄프 공장 등이 상당수 있어 perchlorate에 의한 오염 가능성이 존재하는 곳이다.

따라서 본 연구에서는 낙동강 수계를 따라 하천수를 2006년 1월과 6월, 총 두 번에 걸쳐 샘플링을 하여 perchlorate 오염 가능성을 조사하였다. 1차 시료채취에는 낙동강 본류를 중심으로 일선교, 구미교, 고령교, 남지교, 하구지점, 낙단교, 삼랑진 교, 박석진 교, 10지점과 산업 폐수 종말 처리장 등에서 시료를 채취하였고, 2차 시료채취에는 달서천, 성서천, 구미공단천 등 낙동강 지천을 중심으로 총 14지점에서 시료채취를 하였다. 자세한 시료채취 지점은 Fig. 1에 나타내었으며 산업 폐수 종말처리장 방류수, 낙동강 본류, 지천 등 총 26곳에서 시료채취를 하였다.

2.2.2. 수돗물

낙동강을 주요 상수원수로 사용하는 부산과 대구지역과 낙동강 유역에 위치한 포항과 밀양, 삼랑진, 양산, 안동에서 수돗물을 채취하였다. 비교를 위해 광주에서도 수돗물을 채취하였다. 부산의 경우 행정구역 총 16개의 구 가운데²³⁾ 해운대구, 북구, 동구, 영도구, 사상구, 서구, 사하구, 연제구(연제동), 연제구(거제리), 금정구, 동래구, 기장읍 총 11개의 구에서 샘플링을 하였다. 대구의 경우 행정구역 8개 구 가운데 총 5구(수성구, 동구, 남구, 북구, 달서구)에서 수돗물을 채취하였다. 부산과 대구를 제외한 낙동강 인근 도시(안동, 포항,

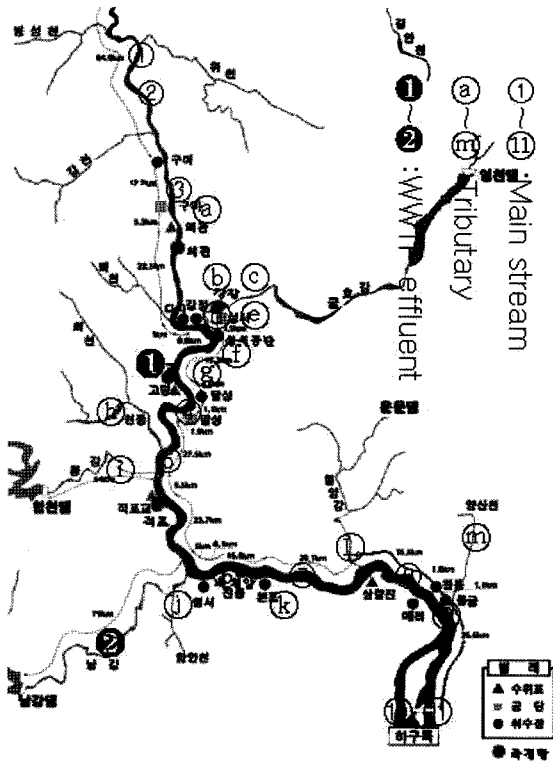


Fig. 1. Location map of sampling stations in the Nakdong River.

밀양, 양산, 삼랑진) 및 광주에서도 몇몇 대표 지점에서 수돗물을 채취하였다.

이외에도 정수처리장에서의 perchlorate 제거율을 파악하기 위해 3곳의 정수처리장에서 원수와 정수를 채취하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 낙동강 수계에서 perchlorate 분석

낙동강 수계에서 채취된 시료 perchlorate 분석 결과 값을 본류와 지류, 그리고 상·중·하류로 분류해 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타나듯이, 대부분의 낙동강 본류 시료에서 perchlorate가 검출되었다. 이 수치는 미국의 EPA의 가이드라인인 24.6 ppb보다는 낮지만 보다 엄격한 가이드라인을 채택하고 있는 뉴욕과 뉴 멕시코의 음용수 perchlorate 기준(5 µg/L) 이상의 농도가 검출되어 향후 대책이 요구된다. 2003년 환경오염 사례로 문제가 되었던 미국내 중서부 지역 콜로라도 강의 경우⁵⁾ perchlorate에 의한 오염으로 인해 콜로라도 강의 하류에 위치한 캘리포니아와 멕시코, 아리조나, 네바다에까지 큰 피해를 주었으며 네바다 주에서 캘리포니아 주로 흐르는 콜로라도 강의 perchlorate 오염 수준은 6-9 µg/L로 보고되었는데¹⁸⁾ 이는 본 조사 대상인 낙동강 수계의 하류 지역에서 검출된 수준과 비슷하다.

낙동강 본류 시료 중 상류 지역에서 채취된 낙단교, 일선교, 구미교 샘플에서는 perchlorate가 검출되지 않았으나 구미와 대구를 거쳐 이어지는 박석진교, 고령교 지점인 낙동

Table 2. The perchlorate concentration in Nakdong river

	NO	Site	sampling date	Conc.(µg/L)	
main stream	1	Nakdankyo	06.06.16	ND	upper stream
	2	Ilsunkyo	06.01.26	ND	
	3	Kumikyo	06.01.26	ND	
	4	Baksukjinkyo	06.06.17	18.7	mid stream
	5	Goryeongkyo	06.01.26	16.6	
	6	Namjikyo	06.01.26	10.4	down stream
	7	Susankyo	06.01.26	13.0	
	8	Samnangjinkyo	06.06.17	4.9	
	9	Estuary1	06.01.26	6.1	
	10	Estuary2	06.01.26	8.0	
	11	Estuary3	06.01.26	8.0	
tributaries	a	Kumi gongdanchun 1 st	06.03.09	24.9	upper stream
	a'	Kumi gongdanchun 2 nd	06.06.16	278.4	
	b	Kumho river	06.06.16	ND	mid stream
	c	Dalsung gongdan	06.06.17	ND	
	d	Dalsuchun	06.03.09	63.9	
	e	Sungsuchun	06.03.09	ND	
	f	Sungsu gongdanchun	06.06.16	6.0	
	g	Dasan gongdan	06.06.17	ND	
	h	Gaejin gongdan	06.06.17	ND	
	i	Hwang river	06.06.17	ND	down stream
	j	Nam river	06.06.17	ND	
	k	Chilsu gongdan	06.06.17	ND	
	l	Milyang river	06.06.17	ND	
m	Ukok/Yangsan	06.06.16	ND		
waste water	1	Dalsung	06.03.09	49.4	
	2	Sangpyung	06.03.09	ND	

강 중류에서는 perchlorate(18.7 µg/L, 16.6 µg/L)가 검출이 되었으며 하류로 내려갈수록 perchlorate농도가 지속적으로 감소되어 낙동강 하구에서는 10 µg/L 미만의 perchlorate가 검출되었다. 이 결과는 구미교와 박석진교 사이에 perchlorate 발생원이 존재하며 발생원에서 배출된 perchlorate가 낙동강을 지나면서 농도가 감소됨을 유추할 수 있으며 이는 본 낙동강 지천 조사 결과에서 확인하였다. 조사된 13개의 지천 중 3개 지천에서 perchlorate가 검출 되었으며 특히, 조사된 지천 중 구미교와 박석진교 사이에 위치한 구미 공단천에서 고농도의 perchlorate(286 µg/L)가 검출되었다(Fig. 2). 구미 공단천에서 2회 시료채취가 이루어졌으나 채수 지점이 상이하며 1월과 6월, 두 번에 걸쳐 채취하여 시기적 원인 및 시료채취 장소의 불일치 등으로 인해 수치 차이는 있으나 2회 모두 고농도의 perchlorate가 검출된 점을 고려할 때 구미 공단천 주위에 perchlorate 발생원이 존재할 가능성이 크다. 특히 본 구미공단천 시료는 구미지역에서 낙동강 본류로 흘러 들어가는 3개의 지류 중 본류의 오른쪽에 위치한 구미 제 2공단과 구미 제 3공단 사이를 가로질러 흐르는 이계천에서 취수하였는데 이계천 근처에 전자, 그리고 직물, 제지, 펄프

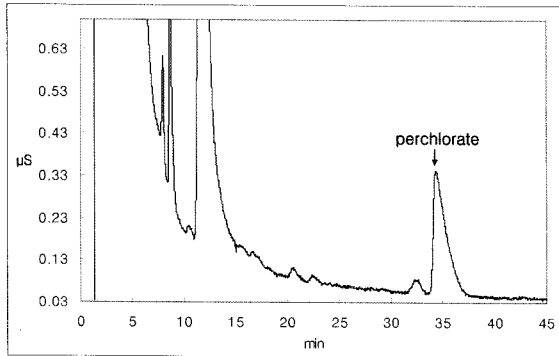


Fig. 2. Perchlorate chromatogram for Gumikongdan-chon.

공장들이 밀집한 구미 제 3산업단지가 위치해 있어 perchlorate 발생원이 존재할 가능성이 크다. 조사된 지천 중 중 구미공단천 다음으로 perchlorate가 높게 검출된 달서천(63.9 µg/L)의 경우 역시, 서대구 산업단지와 대구 제 3산업단지, 그리고 큰 규모의 염색지방 산업단지가 달서천을 중심으로 밀집돼 있어 perchlorate 발생원이 존재할 가능성이 있다.

낙동강 유역의 달성산업폐수처리장과 상평 산업폐수처리장 방류수를 분석한 결과 제지/기계금속 업체의 수가 전체의 55% 정도를 차지하는 달성산업폐수처리장의 경우 고농도의 perchlorate(49.4 µg/L)가 검출되었으나 제지 업체의 수가 전체의 86%를 차지하는 상평 산업폐수 처리장에서는 perchlorate가 검출되지 않아 향후 달성폐수처리장 주위 perchlorate 발생원 조사가 필요하다.

3.2. 수돗물에서의 perchlorate 분석

낙동강 중·하류가 perchlorate에 오염이 되어있음을 확인 후 낙동강 유역에 위치한 도시에서 수돗물을 채취하여 perchlorate 오염 유무를 조사하였다. 낙동강을 상수원수로 사

용하는 대구와 부산, 양산의 수돗물과 낙동강을 상수원수로 하지 않는 밀양, 포항, 삼랑진 및 광주의 수돗물을 분석하여 농도를 비교하였다(Table 3).

부산의 총 16개 구 11지점에서 샘플링 해 분석한 결과 평균 약 10 µg/L에 해당하는 perchlorate가 검출되었다. 이는 미국에서 발표한 가이드라인인 24.5 µg/L에는 미치지 않으나, 보다 엄격한 가이드라인을 채택하고 있는 California와 New York 등의 가이드라인인 5 µg/L를 상회하였다. 부산시의 수돗물 생산은 62.1%가 덕산정수장에서 이루어지며 화명정수장에서 24.1%, 명장 정수장 11.0%, 기타 범어사와 기장군 정수장에서 생산된다.²²⁾ 부산시 수돗물 공급의 대부분을 차지하는 덕산과 화명 정수장의 수원이 낙동강이므로 perchlorate에 오염된 낙동강 원수가 정수장에서 제거되지 않고 각 가정에 공급되어 부산의 대부분의 조사지점 수돗물에서 perchlorate가 검출된 것으로 판단된다.

대구의 경우 조사 지점 중 3지점에서 perchlorate가 검출되었으며 특히 남구와 달서구 지역은 30 µg/L를 상회하는 perchlorate가 검출되었다. 시료채취 5개 지점 중 4개지점은 낙동강을 취수원으로 하고 있는 두류정수장에서 생산 공급되는 지점이며 나머지 한곳인 수성구 지산동은 운문댐 원수로 사용하여 고산정수장에서 생산 공급되는 지점이다.²⁴⁾ 이를 고려할 때 낙동강을 취수원수로 사용하는 동구와 북구에서 perchlorate가 검출되지 않고 운문댐을 취수원수로 사용하는 수성구에서 perchlorate가 검출되어 상관관계를 규명하기가 어렵다. 그러나 대구의 경우, 강우량과 정수장의 용량에 따라 취수하는 정수장 및 취수원수원이 달라져 본 시료채취가 이루어진 시점에서의 원수를 정확히 파악하는 것이 불가능하여 더 자세하고 명확한 급수 시스템과 데이터가 필요한 실정이다. 다만 본 결과는 대구의 경우 낙동강 중류에 위치해 있어 perchlorate로 오염된 낙동강 물을 상수원수로 사용할

Table 3. The perchlorate concentration in tap water

Site	date	Conc. (µg/L)	Site	date	Conc. (µg/L)		
Busan	Haewoondaegu	06.06.09	8.7	Pohang	Hyojadong	06.06.19	ND
	Bukgu	06.06.09	10.5		Ochundong	06.06.19	ND
	Donggu	06.06.09	11.0		Haksandong	06.06.19	ND
	Yeongdogu	06.06.09	10.8		Shinkwangdong	06.06.19	ND
	Sasangu	06.06.09	12.0	Milyang	Nae 2 dong	06.06.17	ND
	Seogu	06.06.09	11.8		Sangnammyun	06.06.17	ND
	Sahagu	06.06.09	10.3		Moondong	06.06.17	ND
	Yeonjegu(yeonje)	06.06.09	10.9	Yangsan	Joongbumyun	06.06.13	ND
	Yeonjegu(geoge)	06.06.08	9.1		Dongmyun	06.06.13	ND
	Kumjunggu	06.06.10	10.6		Mulgum	06.06.13	ND
Dongnaegu	06.06.09	9.2	Andong	Seobudong	06.06.20	ND	
Gijangup	06.06.18	ND ^{a)}		Okyadong	06.06.20	ND	
Daegu	Shinchun 4 dong	06.06.15		ND	Junghadong	06.06.20	ND
	Daemyung 9 dong	06.06.15		32.0	Okdong	06.06.20	ND
	Sankyuk 3 dong	06.06.15		ND	Songchundong	06.06.20	ND
	Gamsamdong	06.06.15		34.1	Bubsangdong	06.06.20	ND
	Jisandong	06.06.15	12.4	Gwangju	Oryongdong	06.06.12	ND
Samnangjin	Hwyang	06.06.17	ND		purified water	06.06.12	ND

^{a)}ND : Not-detected, Detection limit : 4 µg/L

경우 하류에 있는 도시보다 더 심각한 영향을 받을 수 있다는 것을 의미한다.

낙동강을 상수원으로 사용하지 않는 지역인 포항과 안동, 삼랑진, 광주, 밀양에서는 perchlorate가 검출되지 않았다. 포항에서는 행정구역 총 2개구에서 각각 2개의 지점에서 샘플링 하였고 안동에서는 총 행정구역 10개 동 중 5개 동에서, 밀양에서는 총 16개 동 중 3지점, 삼랑진과 광주에서는 각각 1지점에서 샘플링 해 분석하였다. 양산의 경우 시료채취 3지점 모두 범어 정수장에서 물을 취수하는데 범어 정수장의 수원은 낙동강으로²⁵⁾ 알려져 있음에도 불구하고 perchlorate가 검출되지 않아 명확한 취수원수 확인 및 향후 연구가 필요한 부분이다.

3.3. 제거방안

Perchlorate의 처리에는 전기 분해 및 이온 교환과 같은 물리·화학적 처리가 널리 사용되었으나 최근에는 생물학적 환원을 통한 처리가 연구되고 있다.²⁾ North Western University의 Bruce Rittmann 그룹에 의해 발표된 처리 방법에 의하면 hollow-fiber membrane biofilm을 사용해 perchlorate를 chloride로 전환시키는데, 전형적인 생화학적 산화 환원 반응을 도입하여 처리하는 방법이며 membrane을 도입한 정수처리 시스템은 perchlorate를 처리하는데 적합하다고 추천되는 방법 중의 하나이다. 국내에서는 최근 perchlorate를 membrane bioreactor로 처리 하는 방법에 관해 연구를 수행하였고 부하별로 99.9%까지의 처리율을 보였다.²⁾ 그러나 아직 국내에서의 수 처리장 내 perchlorate 제거에 관한 연구는 수행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 현 정수처리장에서의 perchlorate 제거율을 파악하기 위해 낙동강을 취수원으로 사용하는 3곳의 정수처리장에서 원수와 정수를 채취하여 분석하여 Table 4에 나타내었으며 이 3곳의 정수시설은 침전지, 여과지, 오존 접촉지, 생물활성탄 접촉지 및 살균처리 공정 등이 정수처리 과정에 사용되고 있다.

분석결과 perchlorate가 대상 정수처리장 원수 및 정수에서 모두 검출되었으며 오히려 원수보다 정수처리 된 정수의 perchlorate 값이 A 정수장의 경우 0.6 µg/L, B 정수장은 0.7 µg/L, C 정수장은 1.7 µg/L 높게 나타났다. 외국 선행 연구에서도 perchlorate가 일반적인 수처리 공정에 의해 전혀 제거되거나 감소되지 않는 것으로⁹⁾ 보고되었는데 수처리 공정 소독 과정에서 투입되는 염소나 NaOCl²⁶⁾에 의한 perchlorate의 생성 가능성에 관해 더 자세한 연구가 필요한 부분이다. 본 결과는 현 정수 처리 시스템에서 perchlorate 제거 효과는 없으며 이의 제거를 위해선 다른 처리 방법이 도입이 되어야 함을 의미한다.

또한 정수처리장에서의 처리 방법 외 가정에서 흔히 사용하는 방법인 정수기 사용과 물을 끓였을 때 perchlorate의 제거율을 조사하였다. 부산 금정구 시료를 멤브레인 필터를 사용하는 정수기와 멤브레인 필터 중에서도 가장 작은 불순물까지 걸러내는 RO 멤브레인 필터를 사용하는 정수기를 통

Table 4. The perchlorate concentration in drinking water treatment plants(DWTPs) and its removal efficiency

	Sample	date	Perchlorate(µg/L)
1	A DWTP influent	06.06.14	8.9
2	A DWTP effluent	06.06.14	9.5
3	B DWTP influent	06.06.14	8.0
4	B DWTP effluent	06.06.14	8.7
5	C DWTP influent	06.06.14	10.0
6	C DWTP effluent	06.06.14	11.7
7	Kumjunggu(purified water 1)	06.06.10	ND
7'	Kumjunggu(purified water 2)	06.06.11	ND
8	Boiled water(Sasanggu)	06.06.09	12.7

해 각각 분석한 결과 10.6 µg/L인 수돗물이 정수기를 거친 후에는 두 차례 모두 perchlorate가 검출되지 않았다. 또한 멤브레인 필터가 perchlorate 처리를 위한 효율적 방법으로 보고되고 있어^{2,5)} 향후 멤브레인을 통한 perchlorate 제거 방안을 수처리 공정에 도입해 상수 원수 중의 perchlorate 제거 효율을 높이는 것에 관한 더 자세한 연구가 필요하겠다.

이의 가정에서 흔히 사용하는 물을 끓였을 경우 perchlorate 제거 정도를 평가하기 위해 12.0 µg/L로 perchlorate가 검출됐던 사상구의 시료로 100°C로 10분 끓인 후 분석하였다. 분석 결과 그 농도가 12.7 µg/L로 거의 감소되지 않은 것으로 나타났으며 끓이는 과정을 통해서서는 이온성 물질인 perchlorate의 제거가 전혀 이루어지지 않는다는 것을 보여주었다.

4. 결론

영남권 지역 주민들의 상수원으로 사용되고 있는 낙동강 수계와 낙동강 유역 도시 수돗물에서의 perchlorate를 분석하여 국내 환경에서의 perchlorate 오염 현황을 파악하고자 하였다. 낙동강 본류 시료 중 상류 3지점을 제외한 중류 지점(구미교 아래)부터 perchlorate가 검출이 되었으며 하류로 내려갈수록 perchlorate 농도가 감소하는 경향을 보여 낙동강 수계 중 하류가 perchlorate로 오염되어 있음을 확인할 수 있었다. 낙동강 지천의 경우 구미 공단천에서 1차 분석시 24.9 µg/L, 2차 분석시 278.4 µg/L가, 달서천에서 63.9 µg/L가 각각 검출되어 구미공단천주위에 위치한 구미 제 2,3공단과 달서천 주위 3공단 312개소에 perchlorate 발생원이 존재할 가능성이 큰 것으로 추정되었다.

낙동강 유역 도시 중 8 곳의 수돗물을 대상으로 분석한 결과 부산²²⁾의 경우 각 구에서 평균 약 10.0 µg/L의 perchlorate가 검출이 되었다. 상수원수의 77%를 낙동강 물을 사용하는 대구²⁴⁾의 경우 일부 지역의 수돗물에서는 perchlorate가 검출되지 않았으나 남구와 달서구에서 부산보다 높은 perchlorate(32.0 µg/L, 34.1 µg/L)가 검출되었다. 이는 perchlorate 발생원으로 추정되는 구미공단 및 달서 공단과 대구가 지리적으로 가까이 위치해 있기 때문으로 판단된다. 반면 낙동강을

상수원수로 사용하지 않는 밀양, 포항, 안동, 삼랑진, 광주의 경우 perchlorate가 검출되지 않았다. 또한 정수처리장 원수와 정수에서의 perchlorate 분석 결과 정수처리 과정에서 perchlorate가 제거되지 않고 오히려 약간 증가하는 것으로 나타나 낙동강을 상수원수로 사용하는 지역의 수돗물에서 perchlorate의 제거 대책 마련이 시급하다 하겠다.

사 사

본 연구를 위해 시료채취를 도와주신 경북대학교 신원식 교수님, 안동대학교 이태호 교수님, 포항공과대학교 김영모 박사과정에게 감사드리고 본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의해 연구되었습니다.

참고문헌

- Jackson, E., John, J., "Determination of perchlorate at parts-per-billion levels in plants by ion chromatography," *J. Chromatography A*, **898**(2), 193~199(2000).
- 홍재화, 장명수, 이일수, 배재호, "MBR을 이용한 perchlorate 및 nitrate의 제거," 2004년 대한환경공학회 학술연구발표회 논문집, 경성대학교, pp. 1116~1122(2004).
- Jason, V. D., Andrea, B. K., Purnendu, K. D., "Sample processing method for the determination of perchlorate milk," *Analytical Chimica Acta*, **567**(1), 73~78(2006).
- Philip, N. S., Lu Yu., Scott T., McMurry., Todd, A. A., "Perchlorate in water, soil, vegetation and redents collected from the Las Vegas Wash, Nevada, USA," *Environ Pollution*, **132**(1), 121~127(2004).
- 윤재경, Gary Amy, 윤여민, 김충환, 안효원, "RO, NF 멤브레인을 이용한 perchlorate 이온제거 및 운전조건에 따른 스케일 형성에 관한 연구," 2005년 대한환경공학회 학술연구발표회 논문집, 수원, pp. 1111~1112(2005).
- Kang Tian., Purnendu, K. D., Todd, A. A., "Determination of trace perchlorate in high-salinity water samples by Ion Chromatography with On-Line preconcentration and preelution," *Anal Chem.*, **75**, 701~706(2003).
- Johnson, M., Jay, G., Joe, H., "Trace level perchlorate analysis by ion chromatography- mass spectrometry," *J. Chromatography A*, **1085**(1), 54~59(2005).
- Peter, E. J., "Determination of inorganic ions in drinking water by ion chromatography," *Trends in Analytical Chemistry*, **20**(1), 320~329(2001).
- Susan, D. R., "Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water," *Trends in Analytical Chemistry*, **22**(10), 666~684(2003).
- Leon B., Brett, P., "Determination of haloacetic acids in drinking water using suppressed micro-bore ion chromatography with solid phase extraction," *Analytica Chimica Acta*, **522**(2), 153~161(2004).
- Kang, N. G., Todd, A. A., W. Andrew Jackson., "Photochemical formation of perchlorate from aqueous oxychlorine anion," *Analytica Chimica Acta*, **567**(1), 48~56(2006).
- Shane, A. S., Brett, J. V., David, J. R., "Trace analysis of bromate, chlorate, iodate, and perchlorate in natural and bottled waters," *Environ. Sci Technol.*, **39**(12), 4586~4593(2005).
- Andrea B. Kirk, "Environment perchlorate: why it matters," *Analytical Chimica Acta*, **567**(1), 4~12(2006).
- Cal Baier-Anderson, "Risk assessment, remedial decisions and the challenge to protect public health: The perchlorate case study," *Analytical Chimica Acta*, **567**(1) 13~19(2006).
- Sarah, J. S., Richard, B. W., Dennis, R. H., Stephen, J. K., Donald, L. M., "Stability of low levels of perchlorate in drinking water and natural water samples," *Analytical Chimica Acta*, **567**(1), 108~113(2006).
- Maria W. Tikkanen, "Development of a drinking water regulation for perchlorate in California," *Analytical Chimica Acta*, **567**(1), 20~25(2006).
- Rong, L., Brian De Borja, Kannan Srinivasan, Andy Woodruff, Chris Pohl, "Matrix diversion methods for improved analysis of perchlorate by suppressed ion chromatography and conductivity detection," *Analytical Chimica Acta*, **567**(1), 135~142(2006).
- Cheryl Hogue, C&EN, "Rocket-Fueled River," *Chemical Engineering Magazine*, Washington, **81**(33), pp.37~46.
- Council on water quality Home Page, <http://www.councilonwaterquality.org>(2006).
- U.S. Environmental Protection Agency Home Page, <http://www.epa.gov>(2006).
- 한국 다이오넥스, <http://dionexkorea.com>(2006).
- 부산광역시 상수도 사업본부, <http://www.waterworks.busan.kr>(2006).
- 부산광역시청, <http://www.busan.go.kr>(2006).
- 대구광역시 상수도 사업본부, <http://www.dgwater.go.kr>(2006).
- 양산시청, <http://yangsan.go.kr/kor>(2006).
- 국립환경과학원 낙동강 물환경연구소 "산업폐수의 미량 유해물질 최적관리 방안에 관한 연구," 낙동강수계 2005년도 환경기초 조사사업, pp. 15~27(2005).