

LC/MS/MS를 이용한 하천, 토양 및 유제품 중 퍼클로레이트 분석

김민영 · 심원진 · 이응선 · 오정은[†]

부산대학교 환경공학과

Analysis of Perchlorate in River, Soil, and Dairy Products Samples using LC/MS/MS

Min-Young Kim, Won-Jin Sim, Eung-Sun Lee, and Jeong-Eun Oh[†]

Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Levels of perchlorate in 15 river, 24 soil, 10 dairy products samples were quantified using LC/MS/MS. Levels of perchlorate in 15 river samples ranged from N.D.~77.6 µg/L(mean : 6.55 ± 19.9 µg/L). The concentration level of perchlorate in most river samples were below the Waegwan bridge guideline (6 µg/L in a dry season) except two samples. They are sampled collected from Daecheon stream (77.6 µg/L) and, Jukseong stream (13.0 µg/L). The concentration of perchlorate in 24 soil samples ranged from N.D.~18.24 µg/kg. The highest concentration level among soil samples was 18.24 µg/kg. The sample was collected from high traffic downtown area(D-2). In case of milk and yoghurt, the average concentration level of perchlorate were 8.22 ± 1.88 µg/L and 6.33 ± 1.25 µg/L, respectively. These results indicate that the continuous monitoring of perchlorate in river, soil, and dairy products samples are needed along with investigating perchlorate sources.

Key words : Monitoring, Perchlorate, Soil, River, Milk, Yoghurt, LC/MS/MS

1. 서 론

다양한 화학물질의 생산과 사용이 산업화의 발전을 가속화 시켰지만 적절치 못한 제거과정과 오염사고 등으로 인해 환경으로 배출된 일부 화학물질은 환경오염을 야기 시키고 생태계에 농축되어 섭취 및 호흡 등 다양한 경로를 통해 인간에게 노출된다. 위해성이 확인된 대부분의 화학물질은 유해물질로 분류되어 규제 기준을 설정하여 적절하게 관리하고 있지만 일부 유해물질 중에는 인체에 대한 위해가 밝혀졌음에도 불구하고 관리기준이 마련되어 있지 않아 적절한 규제가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이러한 미규제 미량유해물질 중 퍼클로레이트(ClO₄)가 포함되어 있다.

퍼클로레이트는 음이온 무기물질로써 자연적으로 발생하거나 산업 활동의 필요에 의해 인공적으로 제조되어진다. 자연적으로는 칠레 아타카마 사막에서 질산염

에 포함된 형태로 발생하거나 대기에서 자연적인 반응에 의해 생성된다고 보고되고 있다¹⁾. 하지만 퍼클로레이트는 대부분 로켓추진제, 군수용품, 폭약제조, 전기도금, 의약품 및 염료·안료 제조, LCD판 제조 시 세정제, 살균제 등에 첨가제로 사용하기 위해 주로 과염소산암모늄(NH₄ClO₄), 과염소산나트륨(NaClO₄), 과염소산칼륨(KClO₄), 과염소산(HClO₄) 등 다양한 염의 형태로 인공적으로 생산되어진다. 자연·인공적으로 생성되어 환경 중으로 배출된 퍼클로레이트는 쉽게 분해되지 않는 성질과 높은 용해성과 이동성으로 인해 대기, 토양, 지표수, 지하수 등을 오염시킨다. 대기 중으로 방출된 퍼클로레이트는 강우 등의 영향으로 습식 침적되어 토양, 지하수, 지표수를 오염시키며 인간의 호흡활동에 의해 인체 내로 흡입된다. 퍼클로레이트로 오염된 지표수 및 비료를 농업활동에 이용하게 되면 토양이 오염되며 이로 인해 지하수의 오염은 물론 토양에서 재

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 051)510-3513, Fax: 051)582-3965, E-mail : jeoh@pusan.ac.kr

배된 농산물, 축산물, 초지 등에 2차 오염을 야기시킨다. 특히 토양 내 퍼클로레이트는 식물의 뿌리를 통해 흡수되며 화학적으로 안정하여 쉽게 분해되지 않아 일부는 식물조직에 농축된다. 이와 같이 환경 중으로 배출된 퍼클로레이트가 인체에 노출되는 경로는 크게 흡입을 통한 경로와 오염된 농산물, 축산물, 지하수 등의 섭취로 인한 경로가 있는데, 특히 오염된 식품 및 음용수의 섭취로 인한 노출이 대부분을 차지한다²⁾.

이러한 퍼클로레이트의 노출경로와 위해성을 인식한 국외의 경우, 현재 미국을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있다.³⁻⁷⁾ 1998년 미국 환경보호청 (U.S. Environmental Protection Agency, EPA)에서는 오염물질 후보 목록(Contaminant Candidate List, CCL)에 퍼클로레이트를 포함시켰으며 퍼클로레이트에 대한 인체 위해성 평가를 실시하기 위해 2003년 10월 1일~2004년 9월 30일까지 각 주에서 수집한 생수, 우유, 채소류, 과일류, 과일음료 등 다양한 식품시료를 대상으로 모니터링을 실시한 결과, 우유 및 채소류(시금치 등)에서의 농도수준은 다른 식품에서 검출된 농도수준에 비해 다소 높은 것으로 보고되었다⁷⁾. 특히, 보건복지부의 국민건강 영양조사에 따르면 우유 및 유제품의 경우, 유아 및 어린이(1~12세) 연령대의 1인 1일 섭취량(613.7 g, 2001년 기준)이 전체 연령대별 섭취량(913.0 g, 2001년 기준)의 68%에 해당 될 만큼 타 식품에 비해 섭취비율이 높은 것으로 조사되었다⁸⁾. 따라서 유해물질의 위해성에 민감하게 반응하는 유아 및 어린이 집단에서의 섭취비율이 높은 것을 고려하여 국내에서도 이에 대한 조사가 실시되어야 할 것으로 판단된다.

국내의 경우, 2006년 낙동강 수계에서 퍼클로레이트가 고농도로 검출되면서 사회적으로 이슈화되었고 그 위해성이 보고된 후⁹⁾ 환경부는 배출저감을 위해 낙동강 왜관대교의 퍼클로레이트 가이드라인을 6 µg/L로 설정한 상태이다¹⁰⁾. 국내의 퍼클로레이트 관련 연구는 크게 퍼클로레이트 처리·제어 기술과 모니터링 연구로 진행되고 있으며 특히 모니터링은 주요하천, 수돗물 등 대부분 물 시료만을 대상으로 수행되고 있으며⁹⁻¹⁶⁾, 토양과 식품시료를 포함한 다양한 시료에 대한 모니터링은 미비한 상태이다. 또한 퍼클로레이트에 오염된 토양으로 인해 발생할 수 있는 지하수 및 농·축산물의 2차 오염 가능성과 인체노출경로 등을 고려할 경우, 현재 수질에 국한되어 있는 퍼클로레이트 모니터링을 향후, 토양 및 식품 등 다양한 시료를 대상으로 확대할 필요성이 있다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 액체크로마토그래피/탠덤질량분석기(Liquid chromatography/tandem mass spectrometry, LC/MS/MS)를 이용하여 국내 하천에서의 퍼클로레이트 모니터링뿐만 아니라 채소류와 지하수 등의 오염정도를 유추할 수 있는 토양에서의 퍼클로레이트 분석을 실시하였다. 또한 유해물질의 위해성에 민감하게 반응하는 유아 및 어린이 연령대에서 섭취비율이 높은 우유 및 요구르트를 대상으로 퍼클로레이트 모니터링을 실시하여 국내의 퍼클로레이트 농도수준을 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료채취

퍼클로레이트 모니터링은 하천과 토양, 시판되고 있는 우유 및 요구르트를 대상으로 실시하였다. 하천 시료의 경우 부산시에 흐르는 4개의 국가하천(낙동강, 서낙동강, 맥도강, 평강천)과 동부산 권역의 4개 하천(좌광천, 일광천, 죽성천, 송정천), 수영강 권역의 4개 하천(수영강, 춘천, 석대천, 온천천), 중부산 권역의 1개 하천(동천), 낙동강 권역의 2개 하천(대천천, 학장천) 등 11개의 지방 2급 하천을 포함하여 총 15지점을 대상으로 각 하천의 하류(2008년 3월 17일~19일)에서 채수하였다. 채취지점 중 대천천과 죽성천은 2008년 4월 26일에 추가 채수를 실시하여 총 2회에 걸쳐 분석하였다.

토양시료는 토지 용도별 퍼클로레이트의 농도 수준을 평가하기 위해 2008년 3월 17일·18일 양일간에 걸쳐 군부대 5지점, 교통량이 많은 도심지역 9지점, 공단 지역(신평·장림공단, 녹산공단, 사상공단) 6지점, 농지 4지점 등 총 24개 지점을 선정하여 시료채취를 실시하였고, 우유 및 요구르트의 시료 수집은 국내우유 시장 점유율과 판매율을 바탕으로 선정한 우유 6개와 요구르트 4개 제품을 직접 구매(2008년 3월 19일)하여 분석을 실시하였다.

2.2 분석방법

하천시료의 전처리는 0.45 µm 필터로 여과한 다음 Dionex사의 On Guard Ag 카트리지(염소 제거)와 H 카트리지(전이금속 제거) 순으로 연결하여 시료 중의 간섭이온을 제거 한 후 기기분석을 실시하였다. 토양시료는 건조하여 0.2 mm 체에 걸러 10 g을 준비한 다음 증류수 30 mL와 함께 50 mL polypropylene conical

Table 1. LC/MS/MS conditions for perchlorate analysis.

Conditions	
Column	ZORBAX 300 SB - C18 (5 μ m, 4.6 \times 150 mm)
Mobile phase	0.1% Formic acid in Water(100%)
Flow Rate	250 μ L/min
Ionization Mode	Electrospray ionization(ESI) negative mode
Curtain gas	10 psig
Collisionally activated dissociation gas	7 psig
Ionspray voltage	-4500 V
Gas temperature	450 $^{\circ}$ C
Declustering potential	-50 V
Entrance potential	-10 V
Collision energy	-30 eV
Precursor & product ion mass	Q1: 99(ClO ₄ ⁻) \rightarrow Q3: 83(ClO ₃ ⁻)

tube에 넣어 250 rpm으로 24시간동안 충분히 교반한다. 교반되어진 시료는 2000 rpm으로 135분간 원심분리시켜 수용액을 분리한 다음 0.22 μ m 나일론 멤브레인 필터(Whatman, England)로 거른 후 기기분석을 실행하였다¹⁵⁾. 우유 및 요구르트의 경우 50 mL polypropylene conical tube에 우유(또는 요구르트) 5 mL와 증류수 5 mL 및 20 mL Acetonitrile을 넣고 2분간 교반한 후 2000 rpm으로 135분간 원심 분리시켜 단백질과 수용액을 분리하였다. 분리된 상층액은 0.22 μ m 나일론 멤브레인 필터(Whatman, England)로 여과한 후 기기분석을 실시하였다³⁾.

기기분석은 U.S. EPA method 331.0을 바탕으로¹⁷⁾ Agilent사의 1100 HPLC와 Applied Biosystems사의 API 2000 LC/MS/MS를 이용하여 실시하였고 분석조건은 Table 1에 나타내었다. 검량선 작성은 Sigma Aldrich사의 과염소산나트륨(NaClO₄)으로 표준원액 1,000 mg/L를 조제한 후 0.01~100 μ g/L의 농도범위로 희석한 검량선 작성용 표준용액을 이용하였으며 검량선의 상관계수(R²)는 0.99 이상이었다. 표준물질 및 실제 시료에서의 크로마토그램은 Fig. 1과 같으며 각 시료의 방법검출한계(Method detection limit, MDL)는 하천 0.003 μ g/L, 토양 0.01 μ g/kg, 우유 및 요구르트는 0.2 μ g/L로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수계

부산광역시 내에 흐르는 국가하천과 지방 2급 하천을 포함한 총 15지점의 하천을 대상으로 퍼클로레이트

를 분석한 결과, 7지점에서 퍼클로레이트가 검출되었으며 검출범위는 1.02~77.6 μ g/L(mean : 6.55 \pm 19.9 μ g/L)로 하천에 따라 검출농도가 크게 차이를 보였으며 Table 2에 분석 결과를 나타내었다.

대천천(R-7)과 죽성천(R-10)을 제외한 13개 하천의 경우 퍼클로레이트의 검출농도는 불검출(Not Detected, N.D.)~1.91 μ g/L로 환경부가 퍼클로레이트의 배출저감을 위해 2006년 7월 왜관대교 지점에서 설정한 가이드라인 6 μ g/L(갈수기 기준)보다 낮은 수준으로 조사되었다. 이와는 달리 낙동강 권역에 속하는 대천천(R-7)과 동부산 권역에 속하는 죽성천(R-10)에서의 농도는 각각 77.6 μ g/L, 13.0 μ g/L로 환경부의 가이드라인(갈수기 기준 : 6 μ g/L)을 초과하는 수준으로 검출되어 보다 정확한 농도수준을 파악하기 위해 두 지점을 대상으로 추가 조사를 실시하였다. 그 결과 대천천(R-7)과 죽성천(R-10)에서의 검출농도는 각각 22.6 μ g/L와 N.D.로 1차 모니터링에서 검출되었던 수준보다 낮게 검출되었지만 대천천의 경우 여전히 다른 하천의 검출농도에 비해 높은 수준이었으며 환경부 가이드라인을 상회하는 것으로 나타났다(Table 2).

일본의 경우 대도시에 흐르는 4개의 하천(Tone, Azuma, Usui, Karasu river)을 대상으로 총 36 지점에서 퍼클로레이트 모니터링을 실시하였다. 그 결과 검출농도 0.08~2300 μ g/L로 보고되었으며 Tone 강(Maximum : 340 μ g/L, n=11)과 Usui 강(Maximum : 2300 μ g/L, n=14)의 일부 지점에서 퍼클로레이트가 상당히 높게 검출된 이유를 산업폐수의 유입에 의한 것으로 추측하고 있었다¹⁾. 하지만 본 연구에서 비교적 높게 검출된 대천천(R-7)과 죽성천(R-10)이 위치한 주변

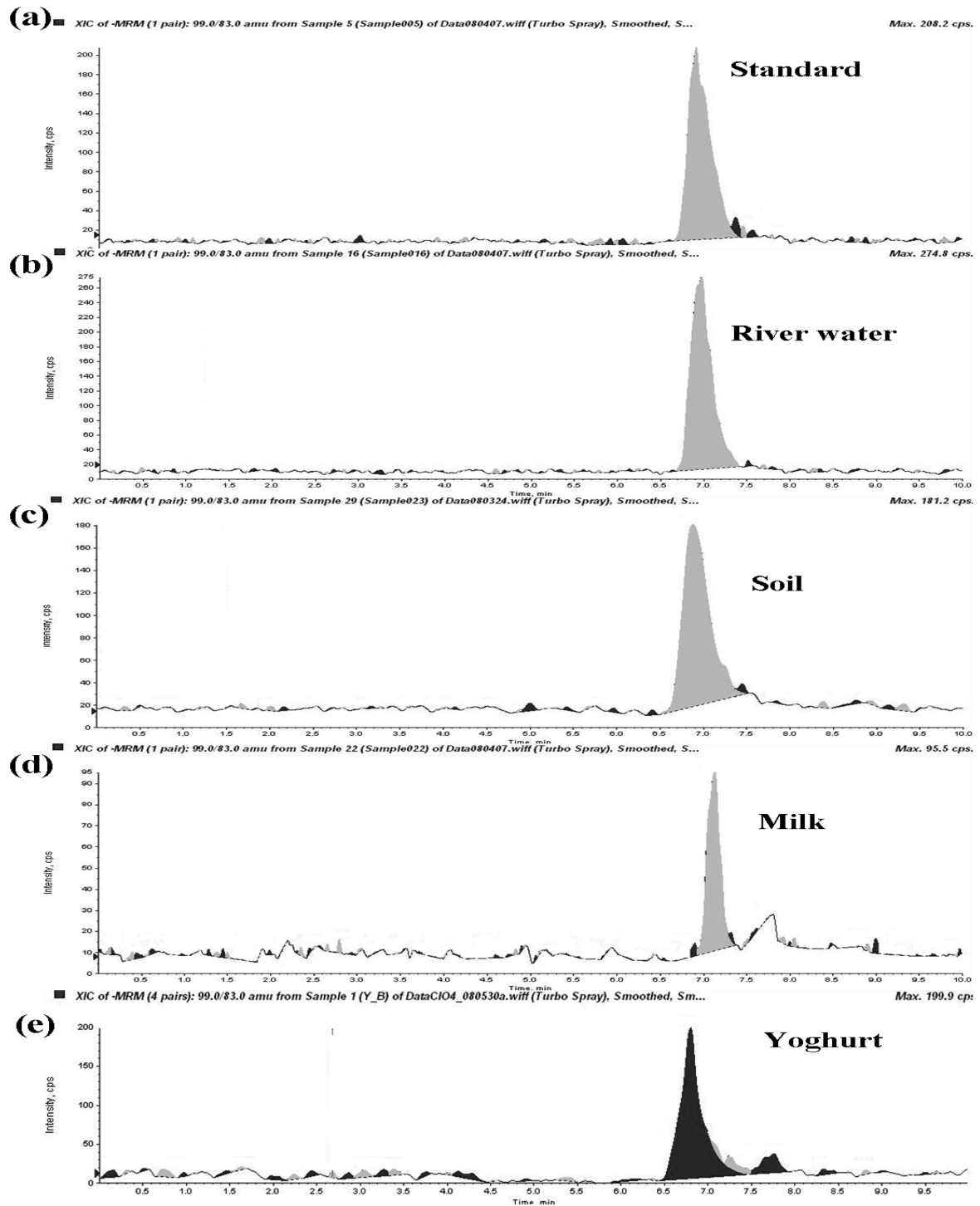


Fig. 1. Chromatograms of perchlorate in standard and real samples: (a) standard (10 µg/L), (b) river water (R-10), (c) soil (D-2), (d) milk (M-6). (e) yoghurt (Y-1).

Table 2. Perchlorate levels of river samples.

Sample Site	Sampling label	Concentration	
		μg/L	
		1st	(2nd)
National River	Meakdo	N-1	N.D.
	Nakdong	N-2	1.57
	SeoNakdong	N-3	1.91
	Pyeonggang	N-4	1.58
JungBusan	Dong stream	R-1	N.D.
Suyoung River	Seokdae stream	R-2	1.02
	Chun stream	R-3	N.D.
	Oncheon stream	R-4	N.D.
	Suyoung stream	R-5	N.D.
Regional 2nd Class river	Hakjang stream	R-6	1.72
	Daecheon stream	R-7	77.6 (22.6)
DongBusan	Jwagwang stream	R-8	N.D.
	Songjeong stream	R-9	N.D.
	Jukseong stream	R-10	13.0 (N.D.)
	Ilgwang stream	R-11	N.D.

N.D.(Not Detected)

Table 3. Perchlorate levels of soil samples.

Land Use	Sample Site	Concentration
		μg/kg
Army area	A-1	5.69
	A-2	1.18
	A-3	5.55
	A-4	2.71
	A-5	N.D.
Farmland	F-1	1.47
	F-2	N.D.
	F-3	N.D.
	F-4	N.D.
Industrial complex	I-1	1.57
	I-2	2.98
	I-3	1.71
	I-4	3.03
	I-5	N.D.
	I-6	2.33
Downtown area	D-1	2.48
	D-2	18.24
	D-3	4.94
	D-4	0.70
	D-5	N.D.
	D-6	N.D.
	D-7	N.D.
	D-8	N.D.
	D-9	2.86

N.D.(Not Detected)

에서는 산업폐수, 군부대 등과 같은 퍼클로레이트의 오염원을 파악하기가 어려웠으며 다만, 1차 조사와 2차 조사 사이에서 발생한 시간적인 간격으로 인한 농도의 오차라고 생각된다. 따라서 본 연구 결과는 단기간의 모니터링 결과로써 추후 대천천과 죽성천을 포함한 하천에서의 지속적인 퍼클로레이트 모니터링과 함께 주위 배출원 조사도 같이 수행되어야만 국내 하천의 퍼클로레이트 농도수준 및 배출원을 정확히 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 토양

토양 용도별 퍼클로레이트 농도 수준을 평가하기 위해 농지(5지점), 공단지역(6지점), 도심지역(9지점), 군부대 지역(4지점)으로 포함한 총 24지점의 토양 시료를 채취하여 분석하였다. 분석 결과는 Table 3에 나타내었으며, 토지 용도별 각각의 검출농도는 농지 N.D.~1.47 μg/kg(mean : 0.37 ± 0.73 μg/kg), 공단지역 N.D.~3.03 μg/kg(mean : 1.94 ± 1.13 μg/kg), 군부대 인근 지점 N.D.~5.69 μg/kg(mean : 3.02 ± 2.55 μg/kg), 도심지역 N.D.~18.24 μg/kg(mean : 3.25 ± 5.88 μg/kg)로 검출되었다. 총 24지점 중 교통량이 많은 도심지역인 D-2지점에서 18.24 μg/kg으로 가장 높은 농도수준을 나타내었다.

2004년 미국의 네바다 주에서 호소수, 야채, 토양을

Table 4. Perchlorate levels of milk and dairy products samples.

Sample	Concentration	
		$\mu\text{g/L}$
Milk	M-1	11.3
	M-2	6.92
	M-3	6.15
	M-4	9.03
	M-5	8.88
	M-6	7.06
Yoghurt	Y-1	7.43
	Y-2	4.64
	Y-3	6.17
	Y-4	7.09

대상으로 퍼클로레이트 모니터링 연구가 진행되었는데 특히 51개 지점을 대상으로 한 토양 모니터링의 평균 농도는 $24.7 \mu\text{g/g}(\text{ppm})$ 로 매우 높게 검출된 것으로 보고되었다¹⁸⁾. 미국에서 수행된 연구의 결과와 본 연구에서 선정된 토양에서의 농도수준을 비교 할 경우, 상당히 낮은 수준인 것으로 판단되지만 미국 네바다주의 모니터링 지점은 퍼클로레이트로 오염된 지역을 대상으로 실시한 결과 이므로 본 연구에서 실시한 토지 용도별 농도수준을 평가하기 위해 선정된 지점들의 검출농도와의 직접적인 비교는 무리가 있다고 생각된다. 또한 국내·외 어디에도 토양 가이드라인이 설정되어 있지 않아 국내 토양의 퍼클로레이트 농도 수준을 객관적으로 평가하기가 어려운 실정이다.

퍼클로레이트 오염원인 폭약류 등이 배출되는 군부대 지역은 농지, 공단지역, 도심지역에 비해 검출 수준이 높을 것이라 예상하였지만, 분석결과 도심지역과 비슷한 농도 수준을 보였다. 이는 사격훈련이 이루어지고 있는 실제 군부대 내의 접근이 용이하지 않아 일반적인 훈련 및 소집만 이뤄지고 있는 예비군 훈련장이나 군부대 인근에서 토양 채취가 이루어져 시료의 대표성이 다소 떨어졌기 때문으로 판단된다. 따라서 향후 실제 사격이 이루어지고 있는 군부대에서의 퍼클로레이트 분석을 실시하여 보다 정확한 오염 수준이 평가되어야 할 것으로 사료된다.

3.3 우유 및 유제품

현재 시판되고 있는 우유 및 요구르트 중 판매량이 높은 우유 6개 제품과 요구르트 4개를 선정하여 퍼클로레이트 분석을 실시한 결과 우유의 검출농도는

$6.15\sim 11.3 \mu\text{g/L}(\text{mean} : 8.22 \pm 1.88 \mu\text{g/L})$, 요구르트의 검출농도는 $4.64\sim 7.43 \mu\text{g/L}(\text{mean} : 6.33 \pm 1.25 \mu\text{g/L})$ 로 나타났으며 우유의 검출농도와 요구르트의 검출농도는 서로 비슷한 수준인 것으로 보인다(Table 4).

본 연구에서 검출된 농도수준은 미국 내 14개 주에서 시판되고 있는 우유 104개 제품의 검출농도 $\text{N.D.} \sim 11.3 \mu\text{g/L}(\text{mean} : 5.9 \pm 1.8 \mu\text{g/L})$ ⁸⁾, 일본 내에 시판되고 있는 우유 54개 제품의 검출농도 $5.47\sim 16.40 \mu\text{g/L}(\text{mean} : 9.39 \pm 2.71 \mu\text{g/L})$ ¹⁹⁾, 중국 내에서 시판되고 있는 우유 17개 제품의 검출농도 $0.34\sim 9.10 \mu\text{g/L}(\text{mean} : 4.1 \pm 3.1 \mu\text{g/L})$ ²⁰⁾와 비교하였을 때 비슷한 수준인 것으로 나타났다.

선행연구 중 우유의 퍼클로레이트 평균농도가 $4.1 \pm 3.1 \mu\text{g/L}$ 로 검출된 중국의 경우, 퍼클로레이트로 오염된 젖소 사료와 식수의 사용으로 인해 우유 역시 오염된 것으로 추측하고 있었다²⁰⁾. 또한 대부분의 사료를 미국에서 수입하고 있는 일본의 경우, 평균농도가 $9.4 \pm 2.7 \mu\text{g/L}$ 로 미국의 평균 농도 $5.9 \pm 1.8 \mu\text{g/L}$ 에 비해 다소 높게 검출되었다. Dyke et al.(2007)는 그러한 원인을 미국에 비례하여 단위면적당 비행장이 많이 존재하는 것과 폭발물 사용 등으로 인해 퍼클로레이트가 환경 중으로 배출되고 강우 등의 자연적인 침적 및 흡착현상으로 인하여 우유 및 유제품이 오염된 것으로 추측하고 있었다¹⁹⁾. 따라서 본 연구에서 선정된 우유 및 유제품에서의 퍼클로레이트 오염원을 파악하기 위해서는 낙농업이 이루어지고 있는 토양과 주변 오염원에 대한 조사와 젖소의 사료와 식수 등 우유 및 유제품의 생산 과정에 대한 조사를 실시하여 보다 정확한 발생원 추적이 필요하다고 사료 된다. 뿐만 아니라 우유 및 유제품은 퍼클로레이트의 유해성에 민감하게 반응하는 유아와 어린이들이 많이 이용하는 식품으로, 섭취를 통한 직접적인 위해성을 고려한다면 향후 지속적인 우유 및 유제품에 대한 모니터링을 실시하여 적절한 가이드라인을 설정해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

국내의 환경과 식품에서의 퍼클로레이트 농도수준을 평가하기 위해 하천 15지점, 토양 24지점, 우유 6개, 요구르트 4개를 대상으로 LC/MS/MS를 이용하여 모니터링을 수행하였다. 부산시 하천(15지점)의 퍼클로레이트 검출농도는 $\text{N.D.} \sim 77.6 \mu\text{g/L}(\text{mean} : 6.55 \pm 19.91 \mu\text{g/L})$ 로 하천에 따라 검출농도의 차이가 크게 나타났

다. 환경부에서 설정한 가이드라인 6 $\mu\text{g/L}$ (갈수기 기준)와 비교할 경우, 두 지점(R-7, R-10)을 제외한 대부분 하천(13개 지점)의 퍼클로레이트 농도수준은 가이드라인보다 낮은 수준이었지만 대천천(R-7)과 죽성천(R-10)의 퍼클로레이트 농도는 각각 77.6 $\mu\text{g/L}$, 13.0 $\mu\text{g/L}$ 로 검출되어, 추가 조사를 실시한 결과 죽성천(R-10)에서는 불검출 되었으나 대천천(R-7)에서는 22.63 $\mu\text{g/L}$ 로 여전히 환경부 가이드라인을 초과하였다. 따라서 향후 대천천을 포함한 하천에서의 지속적인 모니터링을 통해 노출 정도 및 배출원 조사가 실시되어야 할 것으로 판단된다. 토양 용도별 퍼클로레이트 농도수준을 평가하기 위해 실시한 모니터링 결과, 농도 수준은 농지 < 산업지역 < 군부대 인근 < 도심지역 순이었으며 군부대 토양의 경우 실제 사격이 실시되는 지점에서의 추가 조사가 수행되어야 할 것으로 보인다. 또한 보다 많은 지점을 대상으로 모니터링을 실시하여 국내 토양에서의 퍼클로레이트 농도 수준을 평가하고 적합한 관리 방안을 설정해야 할 것으로 생각된다. 본 연구에서 조사한 우유와 요구르트에서의 퍼클로레이트 평균농도는 각각 $8.22 \pm 1.88 \mu\text{g/L}$, $6.33 \pm 1.25 \mu\text{g/L}$ 로 외국의 경우와 비슷하게 검출되었다. 우유 및 요구르트는 유해물질의 위해성에 대한 민감도가 높은 유아와 어린이들이 많이 섭취한다는 점을 고려할 경우, 그 위해성이 다소 우려되는 상황이며 향후 지속적인 모니터링을 통해 농도수준 파악 및 위해성평가, 가이드라인 마련이 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. K. Kosaka, M. Asami, Y. Matsuoka, M. Kamoshita and S. Kunikane, *Water Research*, **2007**, 41, 3474-3482.
2. 허남국, 윤여민, 정진욱, *한국지반환경공학회*, **2007**, 8(1), 57-62.
3. H.E. Aribi, Y.J.C. Blanc, S. Antonsen and T. Sakuma, *Analytica Chimica Acta*, **2006**, 567, 39-47.
4. Q. Cheng, F. Liu, J.E. Canas and T.A. Anderson, *Talanta*, **2006**, 68, 1457-1462.
5. A.B. Kirk, P.K. Martinelango, K. Tian, A. Dutta, E.E. Smith and P.K. Dasgupta, *Environ. Sci. Technol.*, **2005**, 39(7), 2011-2017.
6. P.K. Martinelango, K. Tian and P.K. Dasgupta, *Analytica Chimica Acta*, **2006**, 567, 100-107.
7. U.S. Food and Drug Administration. CFSAN(Center for Food Safety and Applied Nutrition)/Office of Plant & Dairy Foods, Perchlorate Values in Milk Samples. <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/clo4data.html>, **2004**
8. 보건복지부, 국민건강 영양조사, **2001**.
9. 김화빈, 오정은, 이승윤, 조재원, *대한환경공학회지*, **2006**, 28(7), 776-781.
10. 환경부, 대구지방환경청, **2006**.
11. 윤재경, G. Amy, 윤여민, 김충환, 안효원, *대한환경공학회 춘계학술연구발표회*, **2005**, 1111-1112.
12. 홍재화, 장명수, 이일수, 배재호, *대한환경공학회 춘계학술연구발표회*, **2004**, 1116-1122.
13. O. Quinones, J.E. Oh, B. Vanderford, H.A. Kim, J.W. Cho and S.A. Snyder, *Environmental Toxicology and Chemistry*, **2007**, 26(7), 1349-1354.
14. 김현구, 김정화, 이연희, *한국물환경학회지*, **2007**, 23(6), 822-828.
15. 김화빈, 심원진, 김민영, 오정은, *대한환경공학회지*, **2008**, 30(1), 37-44.
16. 신경희, 손아정, D.K. Cha, 김경웅, *대한환경공학회지*, **2007**, 29(9), 1060-1068.
17. U.S. EPA method 331.0 : Determination of Perchlorate in Drinking Water By Liquid Chromatography Electrospray Ionization Mass Spectrometry (LC/ESI/MS)
18. P.N. Smith, L. Yu, S.T. McMurry and T.A. Anderson, *Environmental Pollution*, **2004**, 132, 121-127.
19. J.V. Dyke, K. Ito, T. Obitsu, P.K. Dasgupta and B.C. Blount, *Environ. Sci. Technol.*, **2007**, 41, 88-92.
20. Y. Shi, P. Zhang, Y. Wang, J. Shi, Y. Cai, S. Mou and G. Jiang, *Environment International*, **2007**, 33, 955-962.