

산업단지 대기 중 6가 크롬 농도 특성에 관한 연구 Concentration Characteristics of Airborne Hexavalent Chromium in the Industrial Area

강병욱 · 한진석¹⁾ · 이민도¹⁾ · 이학성²⁾ · 김종호³⁾ · 손은성⁴⁾ · 백성옥⁴⁾*
충주대학교 환경공학부, ¹⁾국립환경과학원, ²⁾서원대학교 환경건설정보학과,
³⁾한서대학교 환경공학과, ⁴⁾영남대학교 환경공학과
(2008년 12월 22일 접수, 2009년 6월 9일 채택)

Byung-Wook Kang, Jin-Seok Han¹⁾, Min-Do Lee¹⁾, Hak Sung Lee²⁾,
Jong-Ho Kim³⁾, Eun-Seong Son⁴⁾ and Sung-Ok Baek⁴⁾*
Division of Environmental Engineering, Chungju National University
¹⁾*National Institute of Environmental Research*
²⁾*Department of Environmental, Civil and Information System, Seowon University*
³⁾*Department of Environmental Engineering, Hanseo University*
⁴⁾*Department of Environmental Engineering, Yeungnam University*
(Received 22 December 2008, accepted 9 June 2009)

Abstract

This paper describes the field evaluation of a sampling and analytical method for the quantity of airborne hexavalent chromium (Cr^{6+}) in the industrial areas, such as Sihwa and Banwol. Ambient measurements were performed by using the cellulose filter during the four seasons (October 2006 to June 2007). The determination of hexavalent chromium was carried out by ion chromatography. Performance validations, including method detection limit, relative standard deviation, and recovery percent, were also investigated.

The mean concentrations of Cr^{6+} in Sihwa and Banwol were 0.767 and 0.796 ng/m^3 , respectively, which are similar to those of other foreign industrial areas. The seasonal variations of Cr^{6+} levels were not quite different, which implies that the chromium was continuously emitted from the industrial sources throughout the year. The concentration variations between total chromium and Cr^{6+} have also shown the similar pattern, suggesting that these components originate from the same sources. The concentration of Cr^{6+} was found to be 0.7 to 2.4% of the total chromium. From these results, the approach using the cellulose filter may be suitable to collect Cr^{6+} in the ambient air.

Key words : Hexavalent chromium, Cellulose filter, Ion chromatography, Industrial area, Sihwa, Banwol

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)53-810-2544, E-mail : sobaek@yu.ac.kr

1. 서 론

크롬은 토양, 물, 공기 및 생체구성물질 (biological material) 중에 어느 정도 농도로 존재하는 자연적인 금속원소이다. 대기 중 크롬은 대부분 3가 크롬과 6가 크롬의 두 가지 산화상태로 존재한다 (Kotas and Stasicka, 2000). 3가 크롬은 인체에 필요한 기본 영양소이며 독성이 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 반면에, 6가 크롬은 거의 대부분이 인위적인 배출원에 기인하며 현재 미국 EPA에서는 발암물질 (Group A inhalation carcinogen)로 분류하고 있다 (U.S. EPA, 1995). 6가 크롬은 대부분 호흡을 통해서 인체에 유입되며 동물실험결과에 의하면 호흡기를 통해서 유입된 6가 크롬의 53~85% 정도가 폐에서 흡수되는 것으로 나타나고 있다 (Agency for Toxic Substances and Disease Control, 1997).

대기 중에 존재하는 6가 크롬의 대부분은 해당지역에 위치한 6가 크롬 배출시설에 기인하며, 6가 크롬을 배출하는 시설로는 금속도금, 염료 및 안료제조, 자동차 부품세정산업, 제철 산업, 용접공정, 연료의 연소 등으로 알려져 있다. 위와 같은 배출시설들은 산업단지는 물론이고 도시지역에서도 흔히 볼 수 있는 시설이라 할 수 있으며, 그러므로 일반 시민도 6가 크롬에 노출될 수 있다.

자연적인 대기 조건하에서 6가 크롬은 3가 크롬보다 덜 안정적이고, 6가 크롬은 무기 또는 유기성 환원제나 산 등에 의해서 쉽게 3가 크롬으로 전환된다 (Research Triangle Institute, 1988). 따라서 대기 중에서 6가 크롬을 분석하고자 할 때 대기 중 크롬의 산화상태를 유지하는 것이 가장 중요한 고려사항 중 하나이다. 또한 6가 크롬은 환경대기 중에서의 반감기 (half-life)가 24시간 이하로 매우 불안정하기 때문에 작업환경이 아닌 일반적인 도시대기에서는 농도가 아주 낮고 검출이 어렵다 (Research Triangle Institute, 1988).

지금까지 여러 연구에서 이용하고 있는 대기 중 6가 크롬의 시료채취방법으로는 크게 흡수액을 이용하는 방법과 여과지를 이용하는 방법으로 대별할 수 있으며, 환경대기 중 6가 크롬에 관한 외국의 연구를 살펴보면 일부 지역에서 흡수액을 이용한 연구가 수행된 바 있으나 (Talebi, 2003; Li *et al.*, 2002; Bell and

Hipfner, 1997; ASTM, 1992; Sheehan *et al.*, 1992), 이와 같은 방법은 야외측정의 어려움과 회수율이 낮다는 점이 단점으로 지적되고 있다 (Howe, 2003). 여과지를 이용한 시료채취방법은 산업위생 분야에서 널리 이용되고 있으며, 시료채취에 PVC (polyvinyl chloride) 여과지를 사용하고 있다 (Shin and Paik, 2000; NIOSH, 1994a, b). 그러나 PVC 여과지를 사용하는 방법은 대기 중 6가 크롬의 농도수준과 대기 중에서 6가 크롬의 불안정성을 고려할 때, 고유량 시료채취가 어려우며 또한 필터 상에서 6가 크롬의 불안정성을 해소하기 위한 필터의 전처리가 불가능하기 때문에 대기 중 6가 크롬의 시료채취방법으로 부적합하다.

현재까지 국내에서 대기 중 6가 크롬 측정법은 NIOSH 방법과 OSHA 방법을 이용하여 산업위생 분야에서 제한된 연구가 수행되어졌으며 (신용철 등, 2002; 신용철과 백남원, 1999; OSHA, 1998; NIOSH, 1994a, b), 대기 중 6가 크롬의 측정에 관한 연구는 전무한 상태이다. 본 연구에서는 PVC 여과지의 단점을 보완하기 위하여 최근 미국 EPA에서 제안된 침적시킨 셀룰로오스 필터를 이용한 대기 중 6가 크롬 시료채취 및 분석 방법의 이용가능성에 대하여 평가하고 (U.S. EPA, 2006), 국내 산업단지 대기 중 6가 크롬의 계절별 농도특성에 대한 기초적인 연구를 수행하였다.

2. 연구 방법

2.1 시료채취

본 연구의 조사대상지역은 수도권 인근에 위치한 시화·반월지역이다. 시화·반월지역에는 다양한 업종의 중소기업이 모여 형성된 시화·반월공단이 위치하고 있으며 이 지역의 대기오염문제는 오래 동안 사회적 이슈로 대두된 바 있다. 6가 크롬 시료채취를 위한 지점은 시화공단과 반월공단의 대표적인 지점을 선정하였다. 시화공단의 대표적인 지점으로는 정왕2동에 위치한 지원상가 건물의 옥상 (지상 약 10m) 으로 부근에 공단이 인접해 있으며, 건물에 인접해서 6차선 도로가 지나고 있다. 반월공단의 대표적인 지점으로는 원시동에 위치한 건물옥상 (지상 약 10m) 으로 기존에 안산지역 환경측정지점이며 주변지역이 공단지역이며 건물 앞 편이 왕복 8차선 도로가 지나

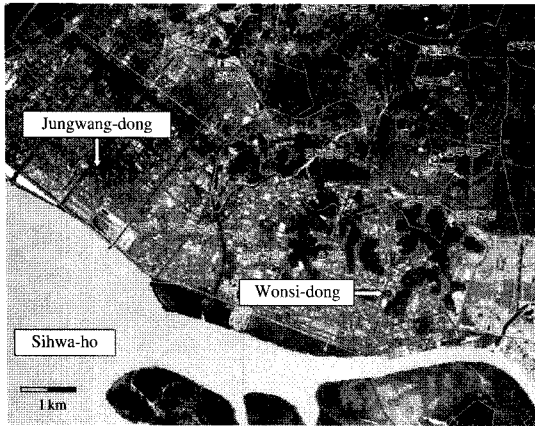


Fig. 1. Location of the sampling sites.

Table 1. Meteorological conditions during the sampling periods.

Sampling period	No. of samples	Average sampling time (hr)	Average temperature (°C)	Wind speed (m/s)
2006. 10. 21~10. 30	9	24	15.1~16.8	1.3~1.4
2007. 1. 20~1. 29	9	24	1.2~2.9	1.3~1.4
2007. 4. 21~4. 30	10	24	14.2~15.9	1.8~2.0
2007. 6. 17~6. 26	10	24	23.7~24.4	1.3~1.5

고 있다. 측정지점의 개략도는 그림 1과 같다.

시료의 채취는 4계절로 구분하여 계절별로 11일간 연속으로 측정하였다. 계절별 시료채취기간은 계절 특성을 대표할 수 있는 기간을 선정하였으며, 시료채취기간 중 일부 기간에는 강수일이 포함되었다. 계절별 시료채취기간과 기상조건은 표 1과 같다.

대기 중 6가 크롬 분석을 위한 먼지시료의 채취는 37 mm 여과지(Cellulose, Whatman No. 41)와 필터팩을 사용하여 채취하였다. 이 때 시료채취용 여과지는 불순물을 제거하기 위하여 10% 질산용액에 2시간 담근 후, 초순수로 3~4회 세척하였다. 여과지의 세척여부는 pH 시험지를 사용하여 확인하였다.

초순수로 세척한 시료채취용 여과지는 밀폐상자(glove box)에서 3~5시간 동안 질소가스(99.999%)를 흘려주면서 완전하게 건조하고, 20 mM NaHCO₃ 알칼리용액에 12시간 이상 담근 후 다시 동일한 방법으로 질소 분위기에서 건조하였다. 건조된 여과지는 시료채취 전까지 페트리디쉬에 넣어 밀봉한 후 지

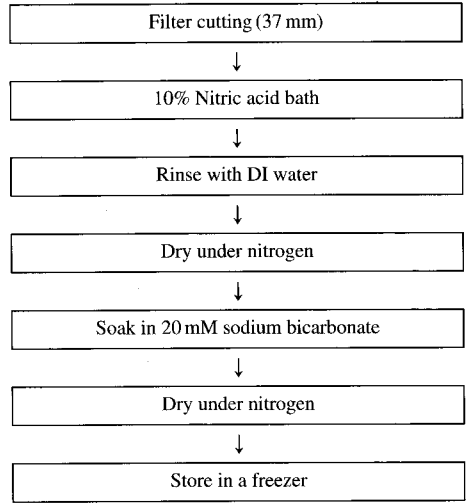


Fig. 2. Pre-treatment of filters for airborne Cr⁶⁺ sampling.

퍼 백에 넣어 냉장(-20°C) 보관하였다. 이러한 전처리 과정은 그림 2와 같다.

대기 중 6가 크롬 시료채취를 위한 유량은 여과지상의 먼지부하에 따른 저항을 고려하여 10 L/min으로 24시간 동안 시료를 채취하였다. 시료가 채취된 여과지는 분석 시까지 냉동실에서 보관하였다.

2.2 6가 크롬 분석

시료를 채취한 여과지는 Cr³⁺와 Cr⁶⁺의 산화-환원 반응을 방지하기 위하여, 냉동실에 보관하고 분석을 위한 모든 준비가 완료되면 분석 바로 전에 신속하게 추출하였다. 일반적으로 추출액중의 6가 크롬의 농도는 시간에 따라서 서서히 감소하는 경향을 보인다. 시료가 채취된 여과지의 추출은 산화-환원 등을 방지하기 위하여 질소가스로 채워진 밀폐상자 내부에서 이루어졌으며, 마개가 달린 폴리에틸렌 시험관에 시료가 채취된 여과지를 집어서 넣고, 20 mM NaHCO₃ 10 mL을 이용하여 초음파추출기에서 1시간 동안 초음파추출을 수행하였다. 추출한 시료는 곧바로 이온크로마토그래피에서 시료를 분석하였다. 대기 중 6가 크롬 시료채취준비 및 분석과정은 그림 3과 같다.

검정곡선 작성용 6가 크롬 표준용액(KANTO사제)은 1,000 µg/mL 표준용액을 각각 0.5, 1.0, 2.0 ng/mL의 농도로 묽혀서 조제하였다. 이온크로마토그래피의 용리액으로는 250 mM (NH₄)₂SO₄와 100 mM

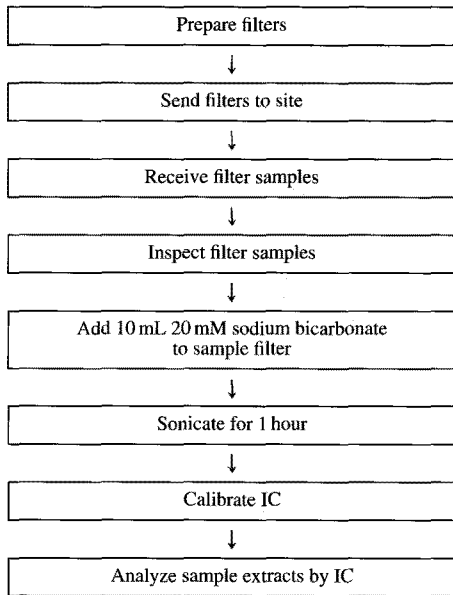


Fig. 3. Flowchart of sampling and analysis for airborne hexavalent chromium.

Table 2. Instrumental conditions for IC analysis.

Guard column	IonPac NG1
Analytical column	IonPac AS7
Eluent flow rate	1.5 mL/min
Post Column reagent flow rate	0.5 mL/min
Detection wavelength	540 nm
Sample volume	1000 µL

NH₄OH를 혼합하여 사용하였다. Post-column 유도시약으로는 1,5-diphenylcarbazide와 황산(순도 99.999%)을 혼합하여 사용하였다. 크롬 분석을 위한 이온크로마토그래피 분석조건은 표 2와 같다.

2.3 총 크롬 분석

본 연구 수행 시에 총 크롬농도와 6가 크롬 농도를 비교하기 위하여 High volume air sampler(Sierra Andersen, Model UV-1)를 이용하여 6가 크롬 시료 채취와 동시에 총 크롬농도를 측정하기 위한 시료를 채취하였다. 중금속 분석을 위한 시료의 추출은 Microwave(MILESTONE사제, TERMINAL640)를 사용하였다. 추출에 사용한 용매는 미국 EPA IO-3 method에서 권장한 희석왕수(5.55% HNO₃과 16.75% HCl 혼합용액)를 사용하였다. 추출한 시료용액은 ICP-

Table 3. Instrumental conditions for ICP/AES analysis.

Plasma gas flow	15 L/min
Auxiliary gas flow	0.5 L/min
Nebulizer gas flow	0.8 L/min
Sample flow	1.5 L/min
RF generator power	1300 Watts
RF generator frequency	40.08 MHz
Recirculating pressure	50 psi
Replicates	3 times

Table 4. Summary of recovery and MDL measurements.

	Fall	Winter	Spring	Summer
Recovery (%), (n=7) ^a	83~105	90~106	92~114	77~134
MDL (ng/mL)	-	0.107	0.132	0.369

^aNumber of recovery test

AES를 이용하여 총 크롬농도를 구하였다. ICP/AES의 분석 조건은 표 3과 같다.

2.4 정도관리(QA/QC)

시료채취에 따른 QC 절차로서 현장에서 반송된 여과지가 이물질에 의해서 오염되지 않았는지, 여과지에 구멍 등 손상되었는지 등을 육안검사를 통하여 확인하였으며, 시료채취유량 및 시료채취시간이 정해진 범위 내에서 이루어졌는지를 적산유량을 이용하여 확인하였다. 자료의 검증을 위한 정도관리 절차로 검량선 작성을 위한 표준용액(0.5 ng/mL)의 결과 값을 이용하여 상대표준편차(RSD)로 평가한 결과 상대표준편차는 가을, 겨울, 봄, 여름에 각각 4.2, 12.8, 5.1, 3.6%로 겨울 시료분석 시 상대표준편차가 크게 나타났다. 회수율 및 검출한계(MDL)는 시료채취용 여과지와 동일하게 전처리한 여과지에 크롬표준용액(0.5 ng/mL)을 스파이크 한 후, 시료와 동일한 추출 및 분석과정을 거쳐 측정하였다. 이렇게 7회 반복하여 측정한 회수율과 검출한계(99% 신뢰수준)는 표 4와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 산업단지별 6가 크롬 계절 변동 특성

대기 중 6가 크롬의 측정은 시화공단(정왕2동 측

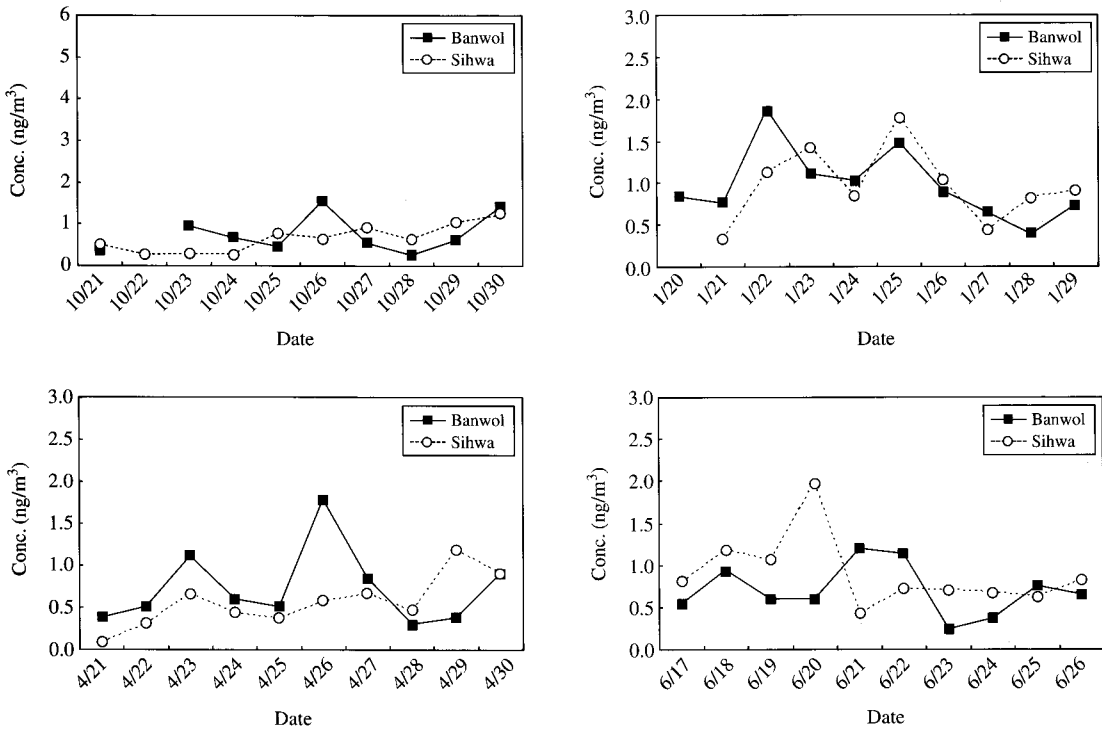


Fig. 4. Daily comparison of Cr⁶⁺ concentrations between Sihwa and Banwol.

Table 5. Hexavalent chromium concentrations (ng/m³) in this study.

Season	Sihwa				Banwol			
	Avg.	S. D.	Max.	Min	Avg.	S. D.	Max.	Min.
Fall	0.657	0.340	1.242	0.262	0.756	0.458	1.539	0.268
Winter	0.968	0.452	1.793	0.330	0.978	0.431	1.882	0.390
Spring	0.567	0.314	1.192	0.086	0.740	0.455	1.801	0.313
Summer	0.898	0.434	1.973	0.418	0.706	0.312	1.205	0.242
Annual	0.767	0.408	1.973	0.086	0.796	0.415	1.882	0.242

정소)과 반월공단(원시동 측정소) 등 인접한 두 곳의 산업단지에서 계절별 11일간씩 4계절에 걸쳐서 이루어졌다. 측정지점별 측정결과를 요약하여 표 5에 나타내었다. 4계절 동안 총 38회 측정된 6가 크롬의 연평균농도는 시화공단과 반월공단이 각각 0.767, 0.796 ng/m³으로 통계적으로는 두 지점 사이에 유의한 차이를 나타내지 않았으나(p=0.39), 평균농도는 반월공단이 시화공단에 비하여 약간 높은 농도를 나타내었다.

시화공단과 반월공단에서 측정된 6가 크롬 농도를 계절별로 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 계절별 일변화 패턴은 시화공단과 반월공단이 인근에 위치한 공단임에도 불구하고 각기 다른 일변화 패턴을 나타내는 것을 알 수 있다.

계절별 농도변화를 살펴보면 시화공단의 경우에 겨울철에 가장 높은 0.968 ng/m³을 나타내었으며, 여름(0.898 ng/m³) > 가을(0.657 ng/m³) > 봄(0.567 ng/m³)의 순서로 높게 나타났다. 반월공단의 계절별 농

도변화는 시화공단과 마찬가지로 겨울철에 가장 높은 농도(0.978 ng/m³)를 나타내었으며, 다음으로 가을(0.756 ng/m³) > 봄(0.740 ng/m³) > 여름(0.706 ng/m³)의 순서로 높게 나타났다. 시화공단의 경우 일반적인 대기오염물질의 계절변동특성과 다르게 여름철이 봄, 가을에 비하여 높은 농도를 나타낸 것이 특징이라고 할 수 있다. 그러나 전체적으로 볼 때 6가 크롬 농도의 계절변동은 크게 나타나지 않았다. 이와 같이 6가 크롬 농도의 계절 변동 특성은 일반대기오염물질과 달리 계절별 변동이 크게 나타나지 않았는데, 이는 일반 대기오염물질의 배출원이 화석연료의 연소와 같이 계절에 따라서 변동요인이 큰 반면에 6가 크롬의 주요 배출원은 공단 인근지역에서 가동되는 사업장으로서 계절에 관계없이 연간 일정하게 가동하며 배출하는 특성 때문에 계절변동요인이 적게 나타난 것으로 생각된다. 이와 같은 배출특성은 주말과 주중의 농도를 비교해보면 특히 토요일과 일요일 사이의 농도가 매우 낮은 경향을 나타내었는데, 그럼 4에서 2006년 10월 21일, 10월 28일, 2007년 1월 20

일, 1월 27일, 4월 21일, 4월 28일, 6월 23일 등이 토요일과 일요일 사이에 측정된 농도로 다른 요일에 측정된 농도에 비하여 낮은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 토요일과 일요일 사이에 시료채취 지점 인근에 위치한 상당수의 공장이 가동하지 않는 시간대이기 때문에 나타난 현상으로 설명할 수 있다.

표 6에 본 연구에서 측정된 6가 크롬 농도를 외국의 산업단지에서 측정된 결과와 비교하였다.

Bell and Hipfner(1997)가 두 개의 커다란 철강회사가 위치한 Hamilton 인근의 산업지역에서 6가 크롬 농도를 측정한 결과 0.12~1.59 ng/m³의 농도를 나타내었으며 평균 농도가 0.55 ng/m³으로 반월공단 및 시화공단의 농도수준은 Hamilton 지역보다 약 1.4~1.7배 높은 농도를 나타내었다. Li *et al.* (2002)이 Sydney 분지에서 주거지역과 산업단지에 대하여 6가 크롬 농도를 조사한 결과에 의하면 주거지역인 Lidcombe와 Glenwood의 농도는 각각 0.08, 0.14 ng/m³으로 낮은 수준이었으며, 산업지역인 Rooty Hill, Wollongong, Matrville의 농도 수준은 각각 0.09~0.25, 1.25~1.31, 0.62~0.87 ng/m³으로 시화공단 및 반월공단의 농도는 Sydney의 산업지역에서 측정된 농도와는 평균적으로 유사한 농도를 나타내었다. Burke *et al.* (2000)이 미국의 산업화된 지역인 캘리포니아주 South Coast 지역(Anaheim, Burbank, Compton, Fontana, Huntington Park, Long Beach, Los Angeles, Pico Rivera, Rubidoux, Wilmington)에서 6가 크롬 농도를 측정된 결과 0.15~0.60 ng/m³으로, 이들 지역에 비하여 시화 및 반월공단의 농도가 높은 농도 수준을 나타내었다. 이와 같이 외국의 산업지역에 비하

Table 6. Comparisons of Cr⁶⁺ concentrations in several cities.

Study	Location	Conc. (ng/m ³)
Bell and Hipfner(1997)	Hamilton, ON	0.12~1.59
Li <i>et al.</i> (2002)	Sydney	0.08~1.31
Burke <i>et al.</i> (2000)	South coast air basin, CA	0.15~0.60
This study	Sihwa	0.767 (0.086~1.973)
	Banwol	0.796 (0.242~1.882)

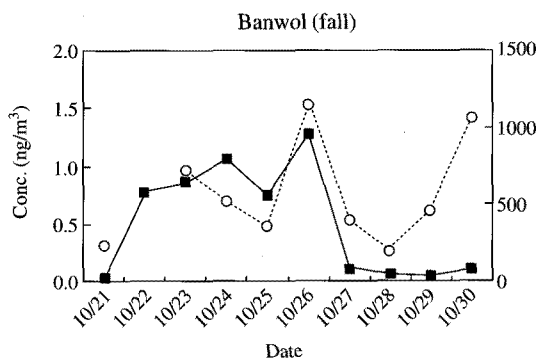
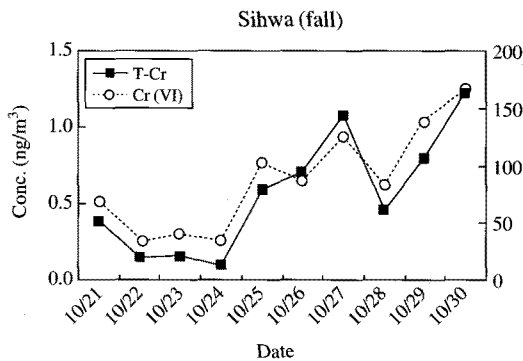


Fig. 5. Daily comparison of Cr⁶⁺ and T-Cr concentrations between Sihwa and Banwol in fall.

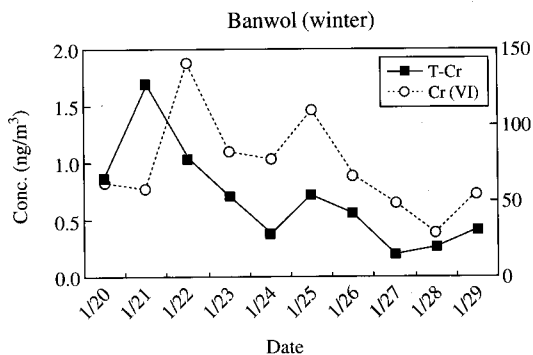
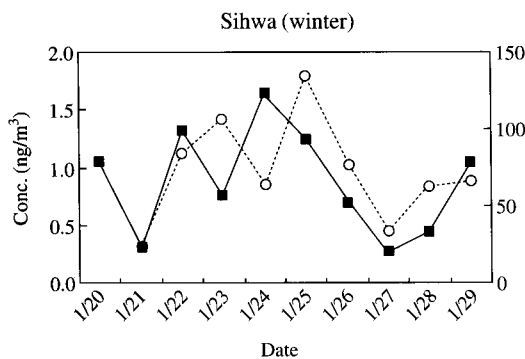


Fig. 6. Daily comparison of Cr⁶⁺ and T-Cr concentrations between Sihwa and Banwol in winter.

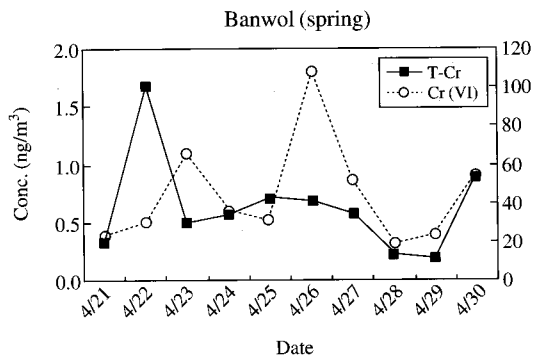
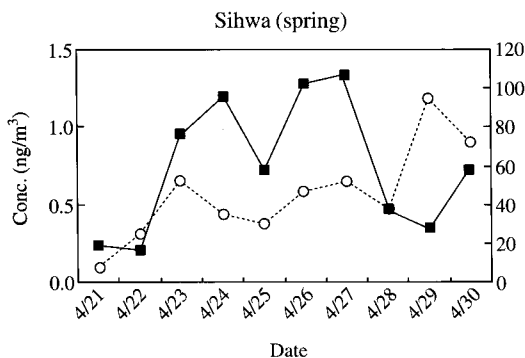


Fig. 7. Daily comparison of Cr⁶⁺ and T-Cr concentrations between Sihwa and Banwol in spring.

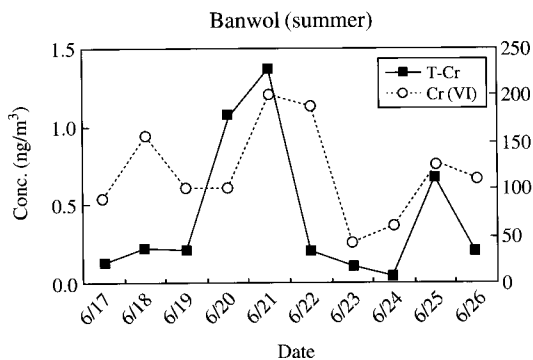
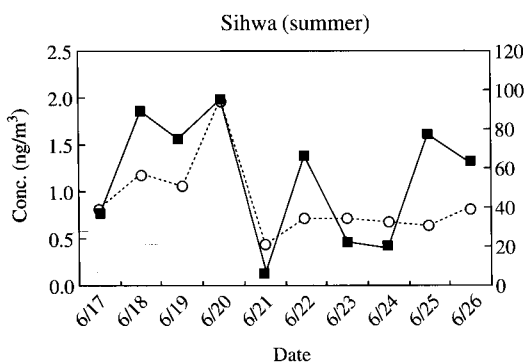


Fig. 8. Daily comparison of Cr⁶⁺ and T-Cr concentrations between Sihwa and Banwol in summer.

여 시화·반월공단이 높은 농도를 나타낸 것은 시화·반월지역에 도금시설, 조립금속제품 제조시설,

기계제조 시설, 무기안료 제조시설, 소각시설 등을 비롯한 크롬화합물을 배출할 수 있는 시설들이 다수

Table 7. Seasonal Cr⁶⁺ contents of total chromium (T-Cr) in Sihwa and Banwol industrial areas.

Location	Cr ⁶⁺ / T-Cr (%)			
	Fall	Winter	Spring	Summer
Sihwa	1.1 (0.7~2.0)	1.5 (0.7~2.5)	1.3 (0.5~4.3)	2.4 (0.8~7.0)
Banwol	0.6 (0.1~1.8)	2.4 (0.6~4.6)	2.3 (0.5~4.4)	2.0 (0.3~4.6)

분포하기 때문으로 사료된다.

3.2 총 크롬과 6가 크롬 농도의 상관관계

총 크롬농도와 6가 크롬 농도의 지역별 변동 특성을 살펴보기 위하여 그림 5~8에 시화와 반월지역에서 측정된 총 크롬농도와 6가 크롬 농도를 비교하였다. 시화공단의 총 크롬농도와 6가 크롬 농도의 변화 패턴은 여름철을 제외한 전체 계절에 대하여 유사한 변화패턴을 나타내어 시화공단과 반월공단의 총 크롬농도와 6가 크롬 농도의 변화패턴이 유사성이 크다는 것을 보여주었다. 반월공단의 총 크롬농도와 6가 크롬 농도의 변화패턴은 겨울, 여름에 유사한 변화패턴을 나타내었으며, 봄, 가을에는 변화패턴이 약간 차이를 보였다.

총 크롬농도에서 6가 크롬 농도가 차지하는 비율을 계절별로 요약하여 표 7에 나타내었다. 총 크롬농도 중 6가 크롬이 차지하는 비율은 평균적으로 0.7~2.4%로 외국의 도시지역에서 연구된 비율인 3~8% 보다는 낮은 수치를 나타내었다(Scorecard, 2007). 이는 상대적으로 총 크롬농도가 높은 농도를 나타내었기 때문으로 사료된다. 계절에 따른 비율의 변화를 살펴보면, 여름철에 시화공단과 반월공단에서 각각 2.4, 2.0%로 가장 높게 나타났으며, 가을철에는 각각 1.1, 0.6%로 가장 낮은 비율을 나타내었다.

4. 결 론

대기 중 6가 크롬 측정에 여과지 채취법의 적용 가능성을 확인하고 산업단지에서의 6가 크롬 농도 특성을 파악하기 위하여, 시화와 반월공단에서 2006년 10월부터 2007년 6월까지 대기 에어로졸 시료를 채취하여 6가 크롬과 총 크롬의 농도를 측정하였다.

여과지를 이용한 대기 중 6가 크롬의 시료채취 및

분석 가능성을 확인하기 위하여 2개 산업단지에서 계절별로 10회씩 4계절 측정결과 모든 시료가 검출한계 이상으로 나타났으며, 회수율 측정결과를 바탕으로 최대검출한계 (MDL)는 0.107~0.369 ng/mL로 나타났다.

반월공단과 시화공단 대기 중 6가 크롬의 평균농도는 각각 0.796, 0.767 ng/m³으로 외국의 산업지역에서 측정된 농도수준과 유사하거나 약간 높은 농도를 보였으며, 이는 시화·반월지역에 다수 분포되어 있는 도금시설, 조립금속제품 제조시설, 기계 제조시설, 무기안료 제조시설, 소각시설 등에서 배출되는 것으로 판단된다.

시화공단의 계절별 농도변화는 일반오염물질과 달리 여름철이 봄, 가을철에 비하여 높게 나타났으며, 이는 6가 크롬의 배출원이 인근 사업장으로 연간 일정하게 가동하기 때문에 나타난 현상이며, 요일별 농도특성은 사업장의 가동이 적은 토요일이 가장 낮게 나타나는 특성을 보였다.

총 크롬농도에서 6가 크롬 농도가 차지하는 비율은 평균적으로 0.7~2.4%로 외국의 도시지역에 비하여 낮은 비율을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 “시화반월지역 유해 대기오염물질 조사연구”사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 신용철, 이병규, 이지태(2002) 공기중 6가 크롬 측정 방법 비교-검출한계, 정확도 및 정밀도, 한국대기환경학회지, 18(1), 39-49.
- 신용철, 백남원(1999) 저장 및 분석중 도금공정 Cr(VI) 시료의 환원에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 25(2), 8-17.
- Agency for Toxic Substances and Disease Control (1997) ATSDR's toxicological profiles: Chromium. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers, CRC Press, Inc.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (1992) Standard test method for collection and analysis of

- hexavalent chromium in ambient workplace, or indoor atmosphere, Designation, D 5281-92, In Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia, PA.
- Bell, R.W. and J.C. Hipfner (1997) Airborne hexavalent chromium in southwestern Ontario, J. Air & Waste Management Association, 47, 905-910.
- Burke, W.A., N.J. Glover, M.D. Antonovich, H. Bernson, C.P. Coad, B. Lapisto-Kirtley, M.H. Lee, R.O. Loveridge, J.D. Mikels, L. Paulitz, and S.R. Wilson (2000) MATES-II; Multiple air toxics exposure study in the South Coast Air Basin, South Coast Air Quality Management District, 21865 E. Copley Drive, Diamond Bar, CA 91765-2079, 2-7.
- Howe, A.M. (2003) Meeting of ISO/TC 146/SC 2/WG 2, Umeå, Sweden, Feb.
- Kotas, J. and Z. Stasicka (2000) Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation, Environmental Pollution, 107, 263-283.
- Li, Y., N.K. Pradhan, R. Foley and G.K.C. Low (2002) Selective determination of airborne hexavalent chromium using inductively coupled plasma mass spectrometry, Talanta, 57, 1143-1153.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1994a) Chromium, hexavalent (Method 7600), in NIOSH manual of analytical method (NMAM), 4th Ed., Edited by P.M. Eller, DHHS/NIOSH Pub. No. 94-113, NIOSH, Cincinnati, OH.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1994b) Chromium, hexavalent (Method 7604), in NIOSH manual of analytical method (NMAM), 4th Ed., Edited by P.M. Eller, DHHS/NIOSH Pub. No. 94-113, NIOSH, Cincinnati, OH.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (1998) Hexavalent chromium in workplace atmospheres (USDOL/OSHA Method ID-215), Salt Lake city, UT. Pedersen, B., E. Thomsen, and R.M. Stern (1987) Some problems in sampling, analysis and evaluation of welding fumes containing Cr(VI), Ann. Occup. Hyg., 31(3), 325-338.
- Research Triangle Institute (1988) The fate of hexavalent chromium in the atmosphere RTI/3798/00-01F, Prepared for the California Air Resources Board, Research Triangle Park, N.C.: Research Triangle Institute.
- Scorecard (2007) <http://www.scorecard.org/chemical-profiles/html/chromium.html>.
- Sheehan, P., R. Ricks, S. Ripple, and D. Paustenbach (1992) Field evaluation of a sampling and analytical method for environmental levels of airborne hexavalent chromium, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 53(1), 57-68.
- Shin, Y.C. and N.W. Paik (2000) Reduction of hexavalent chromium collected on PVC filters, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 61(4), 563-567.
- Talebi, S.M. (2003) Determination of total and hexavalent chromium concentrations in the atmosphere of the city of Isfahan, Environmental Research, 92, 54-56.
- U.S. EPA (2006) Standard operating procedure for the determination of hexavalent chromium in ambient air analyzed by ion chromatography (IC), EPA 68-D-00-264, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- U.S. EPA (1995) Integrated risk information system database, Washington, D. C.