

PVC 여과지에서의 환원 방지를 위해 개발된 공기중 6가 크롬 측정방법의 현장 평가

신용철* · 백남원*

인제대학교 보건안전공학과

* 서울대학교 보건대학원

Field Validation of a Sampling and Analytical Method Developed for Preventing Airborne Hexavalent Chromium Collected on PVC Filter from Reduction

Yong Chul Shin[†] and Nam Won Paik^{*}

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University, 607 Obang-dong, Gimhae, 621-749 Korea

* School of Public Health, Seoul National University, 28 Yeongon-dong, Chongro-gu, Seoul, 110-744 Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate a new sampling and analytical method for the determination of airborne hexavalent chromium, Cr(VI), in a field plating operation. The procedures of this new method (Shin & Paik's Method) are as the following: Airborne hexavalent chromium is collected on polyvinyl chloride (PVC) filter according to the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Method 7600, and the filter sample is placed in a screw-capped vial and soaked with 2% NaOH/3% Na₂CO₃ solution immediately after sampling. The Cr(VI) sample is analyzed by ion chromatography/visible spectrophotometry (IC/VS) according to the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Method 218.6. The airborne Cr(VI) concentrations measured by this method were compared with those determined by three reference methods: One (NIOSH/EPA Method) consisted of sampling airborne Cr(VI) on PVC filters and storing the sample filters in screw-capped vials according to the NIOSH method, and analyzing Cr(VI) in samples using IC/VS according to the EPA method. The second method (Impinger Method/NaHCO₃) consisted of absorbing airborne Cr(VI) into 0.02 M NaHCO₃ solution in midget impinger, and analyzing the Cr(VI) in samples using IC/VS. The third method was the OSHA Method ID-215. Using these four different methods, four replicates of air samples were collected at an electroplating process and analyzed simultaneously. Two-way ANOVA and paired t-test were used to test difference among values determined by the methods. There was no significant difference and a strong correlation ($r^2=0.99$) between Cr(VI) concentrations measured by the Shin & Paik's Method and an impinger method ($p>0.05$). However, Cr(VI) concentrations determined by Shin & Paik's Method were significantly different from those by the NIOSH/EPA Method ($p<0.05$) or the OSHA method ($p<0.05$). The Cr(VI) concentrations of Shin & Paik's Method were significantly higher than those of the NIOSH/EPA Method or the OSHA method. This result indicated that the Shin & Paik's Method may prevent Cr(VI) losses caused by reduction and give more reliable results of airborne Cr(VI) concentrations in work environments.

Keywords: Sampling and analytical method, Airborne hexavalent chromium, Cr(VI), Reduction, NIOSH Method 7600, EPA Method 218.6, OSHA Method ID-215

[†] Corresponding author : Dept. of Occupational Health and Safety Engineering, Inje Univ.

Tel: 055-320-3676, Fax: 055-325-2471
E-mail: ycsin@ijnc.inje.ac.kr

I. 서론

일반적으로 환경 중에 크롬은 여러 가지 산화 환원 상태로 존재한다. 환경조건의 변화에 의해 산화환원 반응이 일어나는데 크롬의 여러 원자가 상태 중에서도 특히 환경 중에 많이 존재하는 것은 3가 크롬(Cr(III))과 6가 크롬(Cr(VI))이다.^{1,2)} Cr(III)의 경우 인체에 미치는 독성이 비교적 약하나 Cr(VI)은 인체에 암을 일으키는 발암물질로 알려져 있다.^{3,4)} 현재 여러 산업에서 널리 사용되고 있는 크롬(chromium)중 도금업 중에 주로 사용되고 있는 크롬은 수용성의 Cr(VI)인 무수크롬산(chromic acid anhydride, chromium trioxide, chromium(VI) oxide, CrO₃)이다.^{1,2)}

여러 산화상태의 크롬중 Cr(VI)은 발암성이 있어 이를 분리하여 측정하고 또한 저농도의 크롬을 측정하기 위한 방법이 개발되었다. 이들 방법중 미국 National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) Method 7600⁵⁾ 및 NIOSH Method 7604⁶⁾는 공기중 시료채취를 위해 모두 polyvinyl chloride(PVC) 여과지를 사용한다. 전자는 시료 채취 후 0.5N H₂SO₄이나 2% NaOH/3% Na₂CO₃로 Cr(VI)을 추출한 후 diphenylcarbazide(DPC)로 발색시켜 visible spectrophotometer로 정량하는 방법이며, 후자는 2% NaOH/3% Na₂CO₃로 Cr(VI)을 추출한 후 방해물질의 영향을 제거하기 위해 ion chromatography(IC)로 Cr(VI)을 다른 물질과 분리시켜 전도도 검출기(conductivity detector)로 정량하는 방법이다.

미국 Occupational Safety and Health Administration(OSHA) Method ID-215⁷⁾는 작업 환경중 Cr(VI)을 측정하는 NIOSH 방법과 유사하지만 추출용액과 분석방법에서 다르다. 즉 OSHA 방법은 시료를 10% Na₂CO₃/2% NaHCO₃로 추출하고 IC/visible spectrophotometry (IC/VS)로 분석하는 방법이다.

American Society for Testing and Materials(ASTM)¹²⁾ 및 Sheehan et al.¹³⁾은 공기중 Cr(VI) 시료를 흡수용액에 채취하여 IC/VS로 분석하는 방법을 제시하였으나 개인시료채취에는 제한점이 있다.

신용철과 백남원이 제안한 방법(Shin & Paik's Method)⁸⁻¹⁰⁾은 두 가지로 한 방법(NIOSH/EPA Method)은 PVC 여과지에 시료를 채취한 후 바이알(vial)내 밀봉 상태로 보관하고, 분석시 2% NaOH/3% Na₂CO₃를 추출용액으로 사용하여 가열판(hot plate)에서 Cr(VI)을 추출한 후 EPA Method 218.6¹¹⁾에 따라 IC/VS로 분석하는 방법이다. 이들이 제안한 다른 방법은 앞의 방법과 거의 유사하나 시료를 채취 즉시 추출용액인 2% NaOH/3% Na₂CO₃에 담가 안정화시켜 보관하는 점이 다르다. 최근 OSHA 방법과 NIOSH 방법을 중심으로 Cr(VI) 측정방법을 비교한 논문¹⁴⁾이 발표된 바 있으나 Cr(VI)의 환원을 방지하기 위해 제안된 측정방법을 포함한 연구논문은 제한되어 있다.

본 연구의 목적은 시료채취 여과지상에서의 Cr(VI) 환원을 지적하고 그 방지 방안을 제시한 공기중 Cr(VI) 측정방법(Shin & Paik's Method)을 현장에 적용하여 얻은 결과를 인정된 몇 가지 방법들과 비교하고 평가하는 데 있다.

II. 연구방법

본 연구 대상인 환원방지를 위해 새로 제안된 Cr(VI) 측정방법을 포함, 본 연구에 사용된 측정방법들에 대한 개요는 표 1에 제시되어 있다.

신용철과 백남원이 제안한 방법(Shin & Paik's Method)은 PVC 여과지에 Cr(VI) 시료를 채취하고 채취된 시료는 5mL의 염기성 용액(2% NaOH/3% Na₂CO₃)에 담긴 상태에서 보관하며, 여과지로부터 Cr(VI)을 가열판 위에서 약 40분 정도 끓여 추출한 후 IC/VS로 용액중 Cr(VI)을 정량하는 방법이다.

Table 1. Summaries of sampling and analytical methods for the determination of airborne Cr(VI) used in this study

Method	Sampling Media	Shipment/Storage	Sample Extraction	Analytical Technique
Shin & Paik's Method	PVC filter(37mm diameter, 5 μ m pore size)	stored at room temperature after dipping into a alkali solution(2% NaOH /3% Na ₂ CO ₃).	boiled in 2% NaOH/3% Na ₂ CO ₃ solution for about 40 minutes.	IC/VS*
NIOSH/EPA Method	PVC filter(37mm diameter, 5 μ m pore size)	stored at room temperature in screw-capped vials.	boiled in 2% NaOH/3% Na ₂ CO ₃ solution for about 40 minutes.	IC/VS
OSHA Method ID-215	PVC filter(37mm diameter, 5 μ m pore size)	stored the filters at room temperature with filter holders.	boiling in 10% Na ₂ CO ₃ /2% NaHCO ₃ after adding phosphate buffer Mg(II) (PBM) added.	IC/VS
Impinger/NaHCO ₃ Method	0.02M NaHCO ₃ in impinger	stored at room temperature in screw-capped vials.	boiled for about 40 minutes.	IC/VS

* IC/VS: ion chromatography/visible spectrophotometry

염기성 용액을 첨가하는 이유는 시료의 저장 및 보관 중 환원에 의한 손실을 최대한 줄이기 위한 조치이다.

'NIOSH/EPA Method'는 NIOSH Method 7600과 EPA Method 218.6을 조합한 방법으로 시료채취와 분석방법은 첫 번째 방법과 동일하나 시료채취 후 시료를 염기성 용액으로 처리하지 않고 단지 바이알에 넣어 밀봉상태로 냉장 보관한다.

'OSHA Method ID-215'은 OSHA에서 개발한 방법이다. 이 방법에 따라 시료채취매체로 PVC 여과지를 사용하며 여과지에 채취된 시료는 cassette에 장착된 그대로 운반하여 냉장 보관한다. 추출용액으로는 10% Na₂CO₃/2% NaHCO₃ 용액을 사용한다. 이 방법의 특이한 점은 추출용액을 넣기 전에 Cr(III)의 Cr(VI)으로의 산화를 방지하기 위해 phosphate buffer(0.5 M KH₂PO₄/0.5M K₂HPO₄·3H₂O)/Mg(II)(PBM) 용액을 첨가하는 것이다. 시료중 Cr(VI)을 가열판 위에서 끓여 추출한 후 IC/VS로 분석한다.

'Impinger/NaHCO₃ Method' 또는 '임핀저 방법'은 ASTM 방법¹²⁾ 또는 Sheehan et al.¹³⁾이 제안한 방법을 일부 수정한 방법으로 0.02M

NaHCO₃ 용액 10 ml를 담은 두 개의 미젯임핀저(midget impinger)를 연결하여 시료를 채취하고 채취한 시료 용액을 가열판 위에서 약 40분 동안 끓인 후 IC/VS로 Cr(VI)을 분석한다.

본 연구 대상 측정방법의 평가를 위해 도금조 바로 옆과 도금조와 조금 떨어진 위치에서 5대의 공기시료채취기(17G9 GilAir Sampler, Gilian Instrument Corp., U.S.A.)를 나란히(side-by-side) 설치하여 5개의 시료를 동시에 채취하였다. 시료채취에 사용한 여과지는 모두 PVC 여과지(직경 37mm, 공극 크기 5 μ m, Costar Scientific Corp., U.S.A.)이었고 시료채취 유량은 1.0 \pm 0.03 l/min이었다. 임핀저를 이용한 방법의 경우 임핀저 용액을 통과한 Cr(VI) 시료를 포집하기 위해 펌프와 임핀저 사이에 PVC 여과지가 장착된 카세트(cassette)를 설치하였다. 공기시료채취펌프의 유량은 시료채취 전 후에 전자식 버블미터(The UltraFlo Calibrator, SKC Inc., U.S.A.)로 보정하였다. 이와 같은 방법으로 채취된 5개의 시료를 한 세트의 시료로 구분하였으며, 다른 두 장소에서 반복하여 시료를 채취하였다. 즉, 한 장소당 3 세트의 시료를 채취하여 총 6 세트의 시료를 채취하였다.

시료채취시간은 50 - 110분으로 각기 다른 농도 수준별 양상을 비교하기 위해 세트간 다르게 설정하였다.

시료중 Cr(VI)은 IC(Model ED-40, Dionex Corp., U.S.A.)/VS(Model SC100, Thermo Separation Products Co., U.S.A.)를 사용하여 분석하였다. 여과지로부터 추출한 Cr(VI)을 2 mM diphenylcarbazide(DPC)와 반응시켜 생성된 Cr(VI)-DPC 복합체를 칼럼(IonPac AS7, Dionex Corp., U.S.A.)으로 분리한 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료중 Cr(VI) 분석값은 spiked sample로부터 구한 회수율을 적용하여 보정하였다.

각 측정방법에 따른 측정값 차이는 위해 분산 분석(analysis of variance, ANOVA) 및 paired t-test를 이용하여 5% 유의수준에서 검정하였다. 자료의 통계처리를 위해 SigmaPlot 5.0 for

Windows(Version 5.0, Jandel Corp., U.S.A.), SAS System, Release 6.12, SAS Institute Inc., U.S.A.)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 방법간 Cr(VI) 측정 농도 비교

제안된 Cr(VI) 측정방법을 비교 및 평가하기 위해 선정된 측정방법은 세가지 방법이었다. 여과지상에서 Cr(VI)이 환원이 일어날 수 있다는 연구^{9,10)}에 근거했을 때, 염기성 용액에 바로 Cr(VI) 시료를 채취/보관후 분석하는 방법(임편저 방법)이 Cr(VI)이 안정성을 유지할 수 있을 것으로 보고 이 방법에 의한 측정치를 기준으로 하여 다른 측정방법에 의한 결과를 비교한 평가는 표 2에서 보는 바와 같다.

Table 2. Comparison of analytical results of airborne Cr(VI) samples by sampling method

Pair #	Cr(VI) Concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	Impinger/NaHCO ₃ Method ^a	Shin & Paik's Method	NIOSH/EPA Method	OSHA Method ID-215
1	1.45	1.48 (1.02) ^b	1.14 (0.79)	1.33 (0.92)
2	1.73	2.15 (1.24)	1.84 (1.06)	1.82 (1.05)
3	1.90	2.12 (1.12)	1.14 (0.60)	1.14 (0.60)
4	2.14	1.93 (0.90)	1.62 (0.76)	1.62 (0.76)
5	5.62	5.29 (0.94)	2.74 (0.49)	3.73 (0.66)
6	7.10	7.93 (1.12)	6.15 (0.87)	4.70 (0.66)
Mean		(1.06±0.13)	(0.76±0.20)	(0.77±0.18)

^a reference method; ^b Values in parentheses are ratios of the measured value to the reference value.

임편저 방법에 대한 Shin & Paik's Method의 농도 비는 1.06±0.13로 나타나 두 방법에 의한 농도 값은 서로 유사함을 알 수 있었다. 두 방법에 의한 농도 값을 paired t-test로 비교한 결과 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

NIOSH/EPA Method 및 OSHA Method ID-215의 경우 임편저 방법에 대한 농도 비는 각각 0.76±0.20 및 0.78±0.18로 나타나 이 두

방법은 임편저 방법보다 낮은 농도 값을 산출함을 알 수 있다. Paired t-test로 비교한 결과 전자의 두 방법에 의한 농도는 임편저 방법에 의한 농도보다 유의하게 낮았다(p<0.05).

NIOSH/EPA Method에 대한 Shin & Paik Method 방법의 농도 비는 1.46±0.34로 나타났다. 두 방법에 의한 농도 값 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 그리고

OSHA Method에 대한 Shin & Paik's Method 방법의 농도 비는 1.41 ± 0.31 로 나타났다. 두 방법에 의한 농도 값 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

NIOSH/EPA Method 및 OSHA Method의 경우 시료 채취 후 여과지를 바이알에 넣어 냉장 보관하나 Shin & Paik's Method에서는 시료 채취 후 여과지를 바이알에 넣고 즉시 염기성 용액 5 mL를 첨가하여 냉장 보관하는 방법이다. 그러므로 Shin & Paik's Method는 시료 채취 직후 염기성 용액으로 처리함으로써 Cr(VI)의 환원이 방지되어 높은 농도를 산출한 것으로 추정된다.

2. 방법간 Cr(VI) 측정농도의 상관성

그림 1에서 보듯이 Shin & Paik's Method에 의한 측정치는 기준방법으로 정한 임핀저 방법에

의한 측정치와 높은 상관성을 보였다($r^2=0.99$).

그림 1의 기울기를 보면 거의 1에 근접하므로 Shin & Paik's Method와 임핀저 방법에 의한 측정치는 거의 일치함을 알 수 있다.

그림 2 및 그림 3에서 보듯이 Shin & Paik's Method에 의한 값은 OSHA Method 및 NIOSH/EPA Method에 의한 값과도 높은 상관성을 보였다(각각 $r^2=0.96$, $r^2=0.92$). 그러나 그림 2 및 그림 3에서 보듯이 NIOSH/EPA Method와 OSHA Method ID-215에 의한 값은 일정한 비율로 낮은 값을 산출하는 것으로 나타났다. 그림에 제시된 회귀모델을 이용함으로써 NIOSH/EPA Method와 OSHA Method ID-215 방법에 의한 측정값의 보정할 수 있을 것이다.

NIOSH/EPA Method 및 OSHA Method의 측정치간에는 그림 4에서 보듯이 높은 상관성이 있었다($r^2=0.85$).

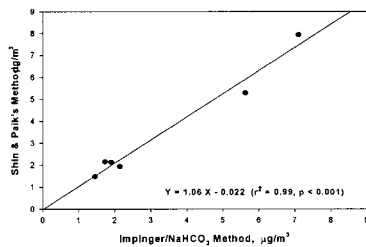


Fig. 1. Regression between airborne Cr(VI) concentrations determined by Impinger/NaHCO₃ Method(reference method) and the Shin & Paik's Method.

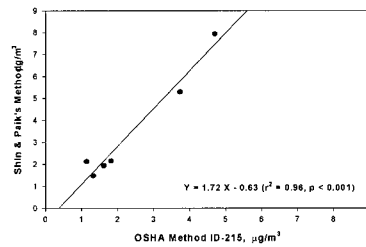


Fig. 2. Regression between airborne Cr(VI) concentrations determined by the Shin & Paik's Method and the OSHA Method ID-215.

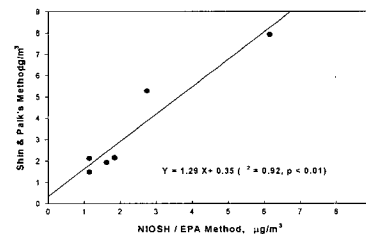


Fig. 3. Regression between airborne Cr(VI) concentrations determined by the Shin & Paik's Method and the NIOSH/EPA Method.

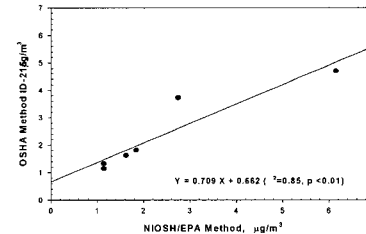


Fig. 4. Regression between airborne Cr(VI) concentrations determined by the NIOSH/EPA Method and the OSHA Method ID-215.

공기중 Cr(VI)을 채취하기 위해 약 염기성인 (pH=8) 0.02M NaHCO₃를 사용하는 방법은 ASTM¹²⁾과 Sheehan et al.¹³⁾이 제안한 방법이다. 이들 논문에서는 무엇보다 이 추출용액을 사용할 경우 pH를 7.8 이상으로 유지하는 것이 중요하다고 언급하고 있다. 산성 용액에서는 Cr(VI)이 Cr(III)으로 환원될 수 있으나 염기성 용액 하에서 안정하기 때문에¹⁵⁻¹⁸⁾ 현재 인정되고 있는 방법^{6,7,11,12)}은 추출용액 또는 흡수용액으로 대부분 염기성 용액을 사용하고 있다.

불용성의 Cr(VI)은 0.02 M NaHCO₃와 같은 염기도가 낮은 용액에서는 충분히 추출되지 않을 수 있다는 연구 결과가 있다.^{9,17)} 그러므로 여과지에 채취된 Cr(VI)이 장기간 공기에 노출됨에 따라 생성될 수 있는 불용성 형태를 충분히 추출하기 위해서는 염기도가 높은 2% NaOH/3% Na₂CO₃ 용액으로 추출하는 것이 바람직하다고 판단된다. 하지만 너무 높은 pH의 염기성 용액에서는 오히려 시료 중에 다량의 Cr(III)이 존재하는 경우, 시료 전처리시 용액을 끓일 때 Cr(VI)이 형성될 수 있으므로^{17,18)} 염기성 용액의 pH를 너무 증가시키지 않도록 주의가 필요하다.

일반적으로 용접 공정에서는 여과지와 임핀저 시료채취 결과간에 농도 차이가 크다는 연구결과들^{19,20)}이 있으나 본 연구에서는 두 시료채취 방법간 유의한 차이를 볼 수 없었다. 일반적으로 임핀저 채취 방법은 여과지를 거치지 않고 직접 염기성 용액에 시료를 포집하기 때문에 환원에 의한 손실 영향 등이 PVC 여과지 채취방법 보다는 작다고 생각할 수 있다. 물론 염기성 용액 중에 Cr(III)이 있을 경우 용액중 산소에 의해 Cr(VI)으로 산화될 수 있다는 연구 결과들^{17,18)}로 두 방법의 차이를 설명할 수도 있겠지만, 이들 연구들은 대부분 용접공정에서 나타난 결과들이다. 본 연구대상과 같은 도금공정에서의 공기 중 Cr(III)은 유의할 정도로 많이 존재하지 않으며 설혹 공기 중 Cr(VI)의 환원으로 의해 발생된 Cr(III)이 존재하더라도 그 양은 미량일 것으로

판단된다. 이외에도 시료채취시 여과지 상에서의 환원을 최소화하기 위해 비교적 짧은 시간 동안 시료를 채취하여 환원에 따른 손실이 적었고, 시료채취가 끝난 후 바로 염기성 용액으로 처리하여 보관중 환원이 방지되어 두 방법에 의한 결과가 큰 차이가 없었던 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 현장시료 자료 수에 있어서 한계점을 가지고 있기 때문에 정확한 판단을 내리기 위해서는 더 많은 자료의 확보를 위한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

PVC 여과지에 시료를 채취한 즉시 시료를 염기성 용액에 저장하는 Shin & Paik's Method의 경우 염기성 용액으로 처리하지 않는 방법(NIOSH/EPA Method)에서 보다 유의하게 높은 농도 값을 나타냈다(p<0.05). 이와 같은 연구 결과는 현장모의 연구(pilot study) 결과^{9,10)}와 일치하였다. 이러한 결과는 PVC 여과지로 Cr(VI)을 채취하여 그대로 보관하는 경우 Cr(VI)의 환원에 따른 손실에 기인하는 것으로 추정된다.

PVC 여과지는 시료채취중 Cr(VI)의 환원을 방지할 수 있는 것으로 알려져 있으나,^{5-7,17)} 본 연구에서 비록 미량이지만 PVC 여과지에서도 환원이 일어난다는 것을 알 수 있었다. 정확한 원인은 PVC 여과지 자체와 반응하여 환원이 일어나기보다는 접촉한 공기중 또는 여과지에 포집된 시료중에 존재하는 환원물질과의 반응에 의해 Cr(VI)의 환원이 일어난 것으로 추정된다.

최근 본 연구와 유사한 현장 공기중 Cr(VI) 측정방법들을 비교한 Boiano et al.¹⁸⁾의 연구결과는 본 연구결과와 유사하였다. 이 논문은 본 연구대상 중 NIOSH/EPA Method와 유사한 NIOSH Method 7605와 OSHA Method ID-215, 그리고 최근 개발된 현장에서 즉시 분석 가능한 NIOSH Method 7703을 비교한 것으로 세 가지 방법에 의한 현장 Cr(VI) 농도 측정 결과간에 유의한 차이가 없다고 보고하였다. 본 연구결과에서도 NIOSH/EPA Method와 OSHA Method 간에 차이가 없게 나타나 앞 논문의 연

구결과와 일치하였다. 한편, Boiano et al.¹⁸⁾은 spiked sample의 경우 OSHA 방법의 회수율이 NIOSH 방법에 비해 약간 낮았다고 보고하였고, OSHA 방법의 경우 전처리 과정에 사용된 Mg 완충용액이 단지 Cr(III)만을 침전시키는 것이 아니라 일부 Cr(VI)도 침전시킬 수 있어 낮은 회수율을 초래하며 그 결과 실제 농도를 과소평가할 수 있음을 지적하고 있다.

PVC 여과지에 채취된 Cr(VI) 시료를 분석시 Shin & Paik's Method에서 사용하는 IC/VS 방법은 정확도와 정밀도가 우수한 것으로 보고된 바 있다.^{8,19)}

IV. 결 론

최근 공기중 Cr(VI) 측정시 일어날 수 있는 환원을 방지하기 위해 제안된 방법(Shin & Paik's Method)과 국제적으로 공인된 방법을 현장에 적용하여 얻은 결과를 비교 및 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Shin & Paik's Method에 의한 방법과 임핀저 방법에 의해 측정된 Cr(VI) 농도 비는 1.06 ± 0.13 로 두 측정값간에는 차이가 없었으며 ($p > 0.05$), 두 측정값간에는 매우 높은 상관관계를 보였다($r^2 = 0.99$).

2. Shin & Paik's Method에 의한 Cr(VI) 측정값은 NIOSH/EPA Method 및 OSHA Method에 의한 측정값과 밀접한 상관성이 있었으나(각각 $r^2 = 0.96$ 및 $r^2 = 0.92$) 각각 1.46 ± 0.34 및 1.41 ± 0.31 배 높았다($p < 0.05$).

3. PVC 여과지에 채취된 Cr(VI) 시료를 공기와 접촉한 상태로 보관시 환원에 의해 손실이 발생되나, 채취 후 염기성 용액으로 처리하여 보관하는 경우 환원에 의해 초래되는 Cr(VI)의 손실을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

4. Shin & Paik's Method는 Cr(VI) 시료 분석시 이용하는 IC/VS 방법의 정확도와 정밀도가 우수하고^{8,19)} 시료채취 직후 염기성 용액 처리에

의한 Cr(VI)의 환원방지 효과가 있으므로 공기중 Cr(VI) 측정에 적합한 방법임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry : Toxicological profile for chromium. Prepared by Syacuse Research Corporation and Clement International Corporation under Contract No. 205-88-0618. U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia, 1993.
2. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) : Criteria for a Recommend standard for occupational exposure to chromium(VI). HEW (NIOSH). Pub. No. 76-129, Cincinnati, Ohio, 1975.
3. International Agency for Research on Cancer(IARC) : Chromium, nickel and welding. In IARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risk of chemical to humans. Vol. 49. IARC, Lyons, France, 1990.
4. American Conference of Governmental Industrial Hygienist(ACGIH) : Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2001
5. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) : Chromium, hexavalent (Method 7600). In NIOSH Manual of Analytical Method(NMAM), 4th Ed., Edited by ME Cassinelli and PF O'Connor, DHHS/NIOSH Pub. No. 94-113. NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1994.

6. National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) : Chromium, hexavalent (Method 7604). In NIOSH Manual of Analytical Method(NMAM), 4th Ed., Edited by ME Cassinelli and PF O'Connor, DHHS/NIOSH Pub. No. 94-113. NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1994.
7. Occupational Safety and Health Administration(OSHA) : Hexavalent chromium in workplace atmospheres (USDOL/OSHA Method ID-215). Salt Lake City, Utah, 1998.
8. 신용철, 오세민, 백남원 : Ion Chromatography/Visible absorbance detection을 이용한 Cr(VI) 분석의 정확도 및 정밀도 평가. 한국산업위생학회지 7(2), 223-232, 1997.
9. 신용철, 백남원 : 저장 및 분석중 도금공정 Cr(VI) 시료의 환원에 관한 연구. 한국환경위생학회지 25(2), 8-17, 1999.
10. Shin YC and Paik NW : Reduction of Hexavalent chromium collected on PVC filters. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 61(4), 563-567, 2000.
11. U.S. Environmental Protection Agency(EPA) : Method 218.6: Determination of dissolved hexavalent chromium in drinking water, groundwater and industrial wastewater effluents by ion chromatography Rev. 3, by E.J. Arar, S.E. Long and J.D. Pfaff. EPA, Cincinnati, Ohio, 1991.
12. American Society for Testing and Materials (ASTM) : 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, 1992.
13. Sheehan P, Ricks R, Ripple S, Paustenbach D : Field evaluation of a sampling and analytical method for environmental levels of airborne hexavalent chromium. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 53(1), 57-68, 1992.
14. Boiano JM, Wallace ME, Sieber WK, Groff JH, Wang J, Ashley K : Comparison of three sampling and analytical methods for the determination of airborne hexavalent chromium. J. Environ. Monit. 2(4), 329-333, 2000.
15. Blomquist G, Nilsson C-A, Nygren O : Sampling and analysis of hexavalent chromium during exposure to chromic acid mist and welding fumes. Scand. J. Work Environ. Health 9(6), 489-495, 1983.
16. Thomsen E, Stern RM : A simple analytical technique for the determination of hexavalent chromium in welding fumes and other complex matrices. Scand. J. Work Environ. Health 5, 386-403, 1979.
17. Pedersen B, Thomsen E, Stern RM : Some problems in sampling, analysis and evaluation of welding fumes containing Cr(VI). Ann. Occup. Hyg. 31(3), 325-338, 1987.
18. Zatka VJ : Speciation of hexavalent chromium in welding fumes interference by air oxidation of chromium. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 46(6), 327-331, 1985.
19. 신용철, 이병규, 이지태 : 공기중 6가 크롬 측정 방법 비교 - 검출한계, 정확도 및 정밀도. 한국대기환경학회지, 18(1) : 39-49, 2002.