

## 냉각증기 원자흡수분광법에 의한 뇨 및 공기중의 무기수은 정량에 관한 연구

한국산업안전공단 산업안전보건연구원

오 도 석 · 오 세 민

### —Abstract—

#### Determination of Inorganic Mercury in Urine and Airborne by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry

Doe Suk Oh, Se Min Oh

*Industrial Safety and Health Research Institute, Korea Industrial Safety Corporation*

Inorganic mercury in urine and airborne was determined by cold vapor atomic absorption spectrophotometry.

Detailed sampling methods and analytical results are as follows:

1. 100~200ml of urine for each person was taken in 250 ml borosilicate bottle and  $K_2S_2O_8$  (0.1g/100ml urine) was added to prevent bacterial contamination. About 100l air of workplace was absorbed in 10ml of absorbing solution. Urine samples and absorbing solution tubes were stored at 4°C. Dillution solution to prepare standard solution used deionized water (D.W) for urine and absorbing solution (A.S) for air.
2. In this procedure detection limit was 1ng/ml and mercury contents of blank reagent solution was 1~2ng/ml.
3. Calibration range was 0.02~0.1  $\mu\text{g/ml}$  and in this range r.s.d for each calibration curve in D.W and A.S and  $\pm 7.9\%$  and  $\pm 3.7\%$ , respectively.
4. Repeatability (n=5 times, conc. 0.05  $\mu\text{g/ml}$ ) was  $\pm 5.8\%$ , in D.W, and  $\pm 4.4\%$  in A.S, respectively.
5. Recovery for urine adding spiked concentration (0.05  $\mu\text{g/ml}$ ) was about 90%.
6. Analytical result of samples was 1~139  $\mu\text{g/l}$  in urine and  $\sim 0.127\text{mg/m}^3$  in air-borne.

**Key words :** cold vapor atomic absorption spectrophotometer, elemental mercury cold vapor, reduction vaporization

## I. 서 론

수은은 은백색을 띤 액상의 금속으로 일찌기 고대의 연금술, 의약품제조, 동굴벽의 채색, 미이라의 제조 및 모자의 제조 등에 다양하게 사용된바 있으며 현재에도 수은의 다양한 반응성을 이용하여 산업분야에 널리 활용되고 있다. 그러나 무기수은 및 유기수은 화합물들은 급·만성적인 독성을 가지고 있어 수은 관련 작업자들은 항상 직·간접적인 경로를 통해서 무기수은 및 유기수은 화합물에 노출되어 직업병(산업보건Ⅱ, 1985; Bakir 등, 1973)을 유발 할 위험성이 있다. 우리나라에서도 80년대 후반부터 수은 중독에 의한 직업병이 발생되어 심각한 사회문제로 대두되었다. 따라서 수은 화합물을 취급하는 작업장에 대해 작업자를 보호하고 작업환경을 개선시켜야 할 필요성이 크게 부각되고 있으며 이러한 측면에서 작업환경의 정확한 실태파악과 적절한 평가 및 조치를 하기 위하여 작업자 및 작업장내 공기중의 무기수은 및 유기수은(주로 알킬수은)의 정확한 분석이 필수적으로 수행되어야 한다.

현재까지 보고된 수은의 분석방법으로는 비색법(Nobel 등, 1958), 분광분석법(Magos 등, 1969, 1971, 1972), 형광분석법(Naganuma, 1984), 유도쌍플라스마 원자 발산 분광법(Matusewicz 등, 1985), 양극전위 측정법(Jaya 등, 1985), 가스크로마토그래피법(zuo 등, 1985), 중성자 활성화분석법(sjostrand, 1964; Johansen 등, 1969), 광색유도광음 분광법(Nailin 등, 1988), 원자흡수분광법(Hatch와 Ott, 1968; Lindstedt, 1970, 1971; Toffaletti 등, 1975; Littlejohn-등, 1976; NIOSH Manual, 1984; See-Cheng Foo, 1988) 등이 있다. 상기방법중 비색법은 실험실에서 사용된 가장 고전적이고 전통적 방법이지만 여러단계의 전처리과정을 거쳐야 하기 때문에 시간소모가 많고 방해물질(interference)이 분석을 어렵게 한다. 한편 분광분석법, 형광분석법, 유도쌍플라스마 원자발산분광법, 양극전위측정법, 가스크로마토그래피법, 중성자활성화 분석법, 광색유도광음분석법 및 원자흡수분광법은 각기 특이성을 갖춘 좋은 분석방법들이다. 그러나

일반실험실에서 전처리과정, 가격 및 운영면을 고려할때 가장 널리 쓰이는 방법은 원자흡수분광법이다.

원자흡수분광법을 사용하기 위해서는 1차적으로 수은원자증기(elemental mercury cold vapor)를 만들어야 한다. 수은원자증기를 만드는 방법에는 직접 불꽃에 분무시키는 방법(Berman, 1967), 금속아말감을 형성하거나 디티존으로 추출후 가열(Jacobs 등, 1960, 1961; Ulfvarson, 1967) 또는 직접로(oven)(Thilliez, 1968)에서 시료를 가열시키는 가열기화법, 환원제( $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{SnCl}_2\text{-CdCl}_2$ ,  $\text{NaBH}_4$ )를 이용한 환원기화법이 있다. 직접 불꽃에 분무시키는 방법은 감도가 낮다. 가열기화법은 고전적으로 많이 사용되었으며 현재도 종종 사용된다. 그러나 가장 인기 있는 방법은 환원기화법이다. Kimura 등(1962)은 시료를 소화(digestion)후 수은을 유리하기 위해  $\text{Hg}^{+2} + \text{Sn}^{+2} \rightarrow \text{Hg}^0 + \text{Sn}^{+4}$

반응을 처음 사용하였으며 Dill(1967)은  $\text{SnCl}_2$ 가 수용액에서  $\text{Hg}^{+2}$ 를  $\text{Hg}^0$ 로 환원할 수 있다는 것을 논증하였다. 또한 Magos(1971)는  $\text{SnCl}_2\text{-CdCl}_2$ 를 사용하여 무기수은 및 유기수은을 차별 분석하는 방법을 최초로 사용하였으며 Toffaletti(1975)는 환원제로  $\text{NaBH}_4$ 를 사용하여 수은을 유리시켰다.

Woodson(1939)이 공기중 수은분석에 수은 고증기압을 처음 사용한 이래 Poluektov 등(1964)은 Kimura 등이 사용한 환원원리를 이용하여 최초로 원자흡수분광법을 사용하여 수은을 분석하였다. Hatch와 Ott(1968)는 수은원자증기를 발생후 원자흡수분광기에 장착된 흡수셀을 이용하는 현대적 방법을 개발하였다. 한편 Magos와 Cernik(1969)는 Dill의 원리를 이용하여 그때까지 수은을 분석하기 위해 필수적으로 사용되었던 전처리 과정인 소화과정을 거치지 않고 직접 수은을 분석하는 방법을 개발하였으며  $\text{Hg-C}$ 결합을 가진 유기화합물에서도 수은을 분석하였다. 현재는 Hatch와 Ott, Magos와 Cernik가 사용한 방법을 기본으로한 수정된 기술들이 계속 발전되어 응용되고 있다.

공기중 수은을 분석하기 위해서는 채취방법이 중요하다. 에어로졸(aerosol)은 보통 여과지를 사

용하며, 증기(vapor fraction)는 액체흡착, 저온채취(cryogenic collection), 고체흡착제에 의한 방법 및 아말감형성에 의한 방법 및 아말감형성에 의한 방법 및 아말감형성에 의한 방법 (biological sample: 뇨, 혈액, 타액, 조직, 플라즈마, 머리카락, 변 등)는 시료에 따라 적절한 용기에 채취하며, 소화과정이 필요한 경우 진한질산(Rathje, 1969, 1976), 진한황산, 산화제( $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )(Lindstedt, 1970), 가열등의 조합에 의한 습식법을 사용하였다. 현재 공기중 수은을 분석하기 위한 공식적 방법으로는 고체흡착(아말감 형성)후 가열기화법을 사용하는 방법(NIOSH Manual, 1984), 고체흡착후  $\text{HNO}_3$ - $\text{HCl}$ 을 이용하여 소화후 환원기화법을 사용하는 방법, 흡수액( $\text{KMnO}_4$ - $\text{c.H}_2\text{SO}_4$ )에 흡착후 환원기화법을 사용하는 방법(多田治, 1979: NIOSH Manual, 1989)있다.

본 연구의 목적은 첫째, 현재 우리나라에서는 작업자 및 작업장내 공기중에 함유된 수은을 분석하는 표준분석방법이 없어 현재 사용되고 있는 방법들을 검토하여 분석방법을 표준화하고 둘째, 작업자의 뇨와 작업장내의 공기중 수은을 분석하여 작업자의 보건위생 및 작업환경 개선에 필요한 기초자료를 얻는데 있다. 본 실험에서는 뇨 및 공기중 수은을 분석하는데 각각 Littlejohn 등(1970)의 방법을 수정하여 사용하였다. 분석방법을 표준화하기위해 기기의 감도, 검출한계, 공시험액중의 수은량, 흡수액 및 탈이온수에서의 검량선, 재현성등을 검토하였다.

## II. 실험

### 1. 기기 및 기구

비중 측정계: ATAGO Uricon, Jap.

Atomic absorption spectrophotometer: GBC-902. Austr.

Printer: EPSON LX-800, Jap.

Reactor: GBC HG 900

Quartz cell: 15cm

Hollow cathode lamp: Hg

### 2. 시 약

$\text{HgCl}_2$ ; Hayashi Pure Chemical Industries, Ltd. Jap.

Potassium persulfate (pps),  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ; BDH Chemicals Ltd. Engl.

L-Cysteine. HCl; 순정화학(주), Jap.

$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; Hayashi Pure Chemical Industries, Ltd, Jap.

$\text{CdCl}_2$ ; 순정화학(주), Jap.

$\text{NaOH}$ ; 순정화학(주), Jap.

$\text{c.H}_2\text{SO}_4$ ; 95% Shinyo Pure Chemicals Co, Ltd

$\text{KMnO}_4$ ; Kokusan Chemical, Ltd.

Hydroxylamine hydrochloride,  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ ; 화광순약(주), Jap.

Storage reagent; Potassium persulfate 0.1g/100ml urine

Absorbing soln (A.s);  $\text{KMnO}_4$  1g, D.W 50ml,  $\text{c.H}_2\text{SO}_4$  5ml/D.W 100ml

Stock standard soln (S.S), Hg 1000  $\mu\text{g/ml}$ ;  $\text{Hg-Cl}_2$  1.35g/l 1%  $\text{HNO}_3$ .

### 3. 분석조건

Mercury lamp current	3mA
Wavelength	253.7nm
Slit width	0.5nm
Flow rate ( $\text{N}_2$ )	ca, 1l/min
Reaction time	90sec
Integration time	0.3sec

### 4. 분석장치

분석에 사용된 장치는 그림 1과 같다.

### 5. 분석과정

#### 1) 뇨분석

환원기화장치 반응조를 10% 황산용액 10ml, 증류수 10ml, 탈이온수 10ml 순으로 가해 세척한다. 반응조를 열고 3% Cysteine용액 1ml, 뇨 5ml (공시험시 탈이온수, 검량시 표준용액), 50% 황산용액 1ml를 가한다. 계속해서 10%  $\text{SnCl}_2$ - $\text{CdCl}_2$ 혼액 1ml 및 45%  $\text{NaOH}$  용액 3ml를 반응조에 넣은 후 반응조의 마개를 잘 막는다. 교반기를 틀어 90초간 반응(마블링)후 질소발브를 열어 질소흐름을 타고 수은원자 증기가 수은증공을

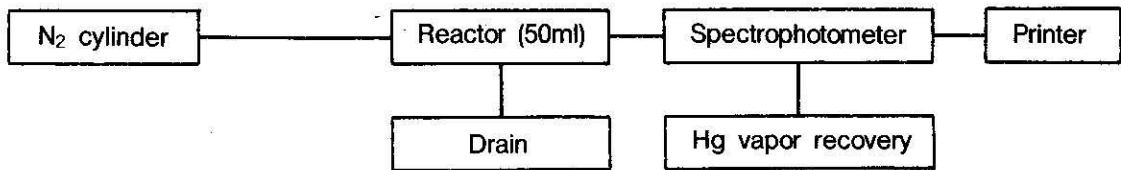


Fig. 1. diagram of the apparatus used for cold vapor determination of mercury

극 등의 발산 과정인 253.7nm가 지나가는 길에 놓인 석영셀을 통과하도록 한다. 이때 질소발브를 여는 즉시 흡광도 측정 스위치를 누른다. 모든 측정은 2회 반복한다.

## 2) 흡수액 분석

흡수액 10ml가 들어있는 미젯임핀저에서 정확하게 5ml 취해 10ml 시험관에 넣고 20%  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$  용액을 한방울씩 가해 과잉의  $\text{KMnO}_4$  을 환원시킨다. 이때 흡수액은 적자색에서 무색으로 변한다(20%  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 은 약 0.3ml가 소모된다). 무색으로된 액을 세척된 환원기화장치인 반응조에 넣고 시험관을 탈이온수 약 2ml씩 3회 세척하여 합한다. 계속해서 10%  $\text{SnCl}_2$  용액 1ml, 3% Cysteine 용액 1ml를 가하고 탈이온수 35ml를 가해 전체 용액의 양을 약 50ml로 한다. 40%  $\text{NaOH}$  용액을 2ml 가한후 반응조의 마개를 닫는다. 교반기를 틀어 90초간 반응(바블링)후 질소발브를 열고 흡광도를 측정한다. 모든 측정은 2회 반복한다.

## 6. 시료의 저장

### 1) 뇨

채취된 뇨는 저장기간중 박테리아 오염(Skare, 1972)에 의해 수은이 휘발되어 손실을 가져오는 것을 막기위해, 본 실험에서는 Potassium persulfate(NIOSH Manual, 1977)를 뇨에 가한후 4℃냉장고에 보관하면서 분석에 사용하였다.

### 2) 흡수액

$\text{KMnO}_4$  0.1g을 정제수 약 50ml로 녹이고  $\text{c.H}_2\text{SO}_4$  5ml를 서서히 가한후 정제수를 가해 100ml로 한 흡수액을 사용하여 공기를 채취한 후 4℃냉장고에 보관 하면서 사용한다.

## 7. 계 산

### 1) 뇨

$$\text{수은량}(\mu\text{g/l}) = \frac{\text{SA.Abs.} - \text{BL.Abs.}}{\text{ST.Abs.} - \text{BL.Abs.}} \times \text{ST. conc.}$$

$$\times \frac{(1.024 - 1.000)}{(SA.sg. - 1.000)} \times 1000$$

SA.Abs. : 시료용액의 흡광도

ST.Abs. : 표준용액의 흡광도

SA.sg. : 뇨의 비중

BL.Abs. : 공시험액의 흡광도

### 2) 흡수액

$$\text{수은량}(\text{mg/m}^3) = \frac{\text{SA.Abs.} - \text{BL.Abs.}}{\text{ST.Abs.} - \text{BL.Abs.}} \times \text{ST.conc.} \times \frac{v}{V}$$

v : 흡수액 총량, ml

V : 공기 채취량, l

## III. 결과 및 고찰

### 1. 감도 및 검출한도(Sensitivity and Detection limit)

감도 및 검출한도를 계산하기 위해 상용표준용액( $0.05 \mu\text{g/ml}$ )를 이용하여 계산한 결과 D.W 및 흡수액에서의 감도는  $0.002 \mu\text{g/ml}$ , 검출한도는  $0.001 \mu\text{g/ml}$ 로 표 1과 같다. 표 1에서 감도보다 검출한계가 더 좋은 것은 본실험에 사용한 원자 흡수분광분석기가 0.00436이하의 흡광도 신호를 식별할 수 있는 정밀도를 가졌기 때문이다. 감도와 검출한계 값의 2~3배차이는 별로 큰 의미를 갖지 못한다. 그러나 수십배 이상의 차이가 있을

**Table 1.** Sensitivity (s) and detection limit (D.L) using working standard solution(0.05  $\mu\text{g/ml}$ ) in D.W and absorbing solution.

	Niose, N	ST. conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	ST. Abs.	S ( $\mu\text{g/ml}$ )	D.L ( $\mu\text{g/ml}$ )
D.W	0.001	0.05	0.094	0.002	0.001
Absorbing soln	0.001	0.05	0.126	0.002	0.001

$S=0.00436 \times \text{ST. conc.}/\text{ST. Abs.}$

$D.L=2N \times \text{ST. conc.}/\text{ST. Abs.}$

**Table 2.** Mercury concentration in blank reagent test using D.W (a) and absorbing solution (b)

No	Noise, N	reagent+a (or b)		ST. soln (0.05 $\mu\text{g/ml}$ )		Mercury conc, $\mu\text{g/ml}$ (A-N)/(B-A) $\times 0.05$
		A	A-N	B	B-A	
a-1	0.001	0.005	0.004	0.126	0.121	0.002
a-2	0.001	0.003	0.002	0.120	0.117	0.001
a-3	0.001	0.003	0.002	0.126	0.123	0.001
b-1	0.001	0.003	0.002	0.167	0.164	0.001
b-2	0.001	0.007	0.006	0.138	0.131	0.002

**Table 3.** Relative standard deviation (r.s.d) of calibration curve for standard concentration (0.02, 0.05, 0.1  $\mu\text{g/ml}$ ) in D.W. and absorbing solution.

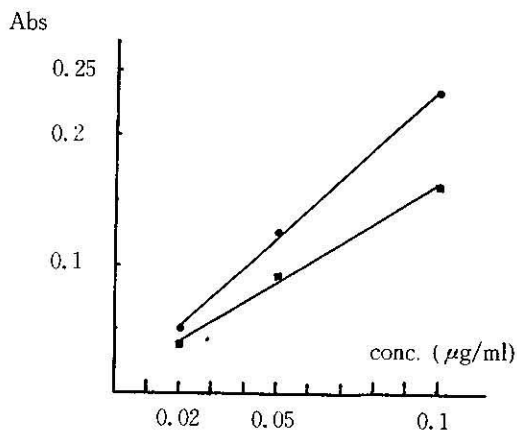
solvent & Abs. conc.( $\mu\text{g/ml}$ )	D.W			Absorbing soln.		
	SA	SA-BL	(SA-BL)/conc.	SA	SA-BL	(SA-BL)/conc.
BL	0.05	—	—	0.003	—	—
0.02	0.042	0.037	1.85	0.052	0.049	2.45
0.05	0.099	0.094	1.88	0.129	0.126	2.52
0.1	0.167	0.162	1.62	0.237	0.234	2.34
x			1.78			2.44
$\sigma$			0.14			0.09
r.s.d(%)			$\pm 7.9$			$\pm 3.7$

때에는 큰 의미가 있다.

## 2. 공시험액에서의 수은량

공시험에서는 상용표준용액 5ml대신 D.W 및 흡수액을 각각 5ml씩 반응조에 가한 후 앞서 명기한 노 및 흡수액 분석과정에 따라 분석하였다. 이때 Noise(N)는 반복해서 5회 실시후 취한 최대 흡광도값이며 다른것은 (A, B) 2회 실시후 평균한 흡광도 값이다. 분석결과 D.W 및 흡수액을 사용한 공시험액에서 공히 1~2ng/ml의 수은이 검출되었다. 그 결과는 표2와 같다.

## 3. 검량선



**Fig. 2.** Calibration curve for standard solutions (0.02, 0.05, 0.1  $\mu\text{g/ml}$ ) using D.W (■) and absorbing solution (●)

**Table 4.** Repeatability of standard solution (0.05  $\mu\text{g/ml}$ ) in D.W and absorbing solution

No	D.W	Absorbing soln.	Remarks
			• In urine Magel(1984); 4%(0.0 $\mu\text{g/ml}$ )
1	0.121	0.165	Littlejohn(1976);
2	0.117	0.149	7.5%(0.005 $\mu\text{g/ml}$ )
3	0.135	0.152	Lindstedt(1970);
4	0.119	0.163	7%(0.04 $\mu\text{g/ml}$ )
5	0.125	0.159	• In air NIOSH Manual(1984); sr=0.061
$\bar{x}$	0.123	0.158	
$\sigma$	0.007	0.007	
r.s.d (%)	$\pm 5.8$	$\pm 4.4$	

상용 표준용액의 농도가 0.02, 0.05, 0.1  $\mu\text{g/ml}$  인 용액으로 앞의 분석조건에 따라 검량선을 작성한 결과 0.02~0.1  $\mu\text{g/ml}$  범위에서 직선성이 잘 성립하였고, 범위내에서 검량선에 대한 r.s.d는 D.W에서  $\pm 7.9\%$ , 흡수액에서  $\pm 3.7\%$ 였다. 이 결과는 표 3 및 그림 2와 같다.

#### 4. 재현성

상용표준용액 0.05  $\mu\text{g/ml}$ 를 이용하여 연속해서 5회 분석한 결과 r.s.d는 D.W에서  $\pm 5.8\%$ , 흡수액에서  $\pm 4.4\%$ 였다. 이 결과는 표 4와 같다.

#### 5. 회수율

본 실험에서는 건강한 남자의 뇨를 borosilicate 병에 약 300ml를 채취하였다. 채취후 뇨를 2등분 하여 하나중 일부량을 2시간내에 분석에 사용하였으며, 남은 뇨에는 potassium persulfate를 0.1g/100ml 농도로 가하여 4°C 냉장고에 보관하여 뇨공시험액으로 사용하였다. 다른 하나는 pota-

ssium persulfate와 수은의 농도를 각각 0.1g/100ml, 0.05  $\mu\text{g/ml}$ 되게한 후 4°C냉장고에 보관하면서 분석에 사용하였다. 분석결과 뇨 공시험액에서는 수은이 거의 검출되지 않았으며 기지량의 수은을 넣은 뇨(0.05  $\mu\text{g/ml}$ )에서는 상용표준용액(0.05  $\mu\text{g/ml}$ )과 비교시 약 10%낮게 검출되었다. 그 결과는 표 5와 같다.

#### 6. 시료분석

진술한 분석 방법에 의해 작업자의 뇨 및 작업장의 공기를 채취한 흡수액에서의 수은 분석결과는 표6-1 및 표6-2와 같다.

### IV. 결 론

수은을, 취급하는 작업자 및 작업장에서의 수은을 분석하기위하여 본 실험에서는 냉각증기원자흡수분광법(cold vapor atomic absorption spectrophotometry)을 사용하여 뇨 및 공기중의 무기

**Table 5.** Recovery in urine

Time	D.W blank	Urine blank	ST. 0.05 $\mu\text{g/ml}$		urine+0.05 $\mu\text{g/ml}$		Recovery
	(A)	(B)	C	C-A	D	D-B	(D-B)/(C-A)×100%
within 2 hr	0.003	0.004	0.124	0.121	0.113	0.109	90.1
after 26 hr	0.003	0.003	0.122	0.119	0.109	0.106	89.1
after 50 hr	0.002	0.003	0.113	0.111	0.100	0.98	88.2

Table 6-1. Inorganic mercury contents in urine

Sample No.	Mercury content ( $\mu\text{g/l}$ )	Sample No.	Mercury content ( $\mu\text{g/ml}$ )
BK Industry		P.U Industry	
1	6	1	8
2	6	2	7
3	25	3	6
4	7	4	15
5	41	5	13
ORET Elec.		6	18
1	18	7	6
2	22	8	4
3	15	9	8
4	17	10	11
5	27	11	13
6	11	12	23
7	32	13	9
8	31	14	15
9	71	15	14
10	33	16	6
11	28	17	7
12	62	NSD Co.	
KD Glass ware		1	11
1	139	2	20
2	114	3	16
3	105	SE Ltd	
4	85	1	22
5	68	2	18
UI Gage		3	14
1	22	4	12
2	25	5	7
3	31	PS Ltd	
4	45	1	5
5	45	2	1
6	7	3	2
7	42	4	14
8	24	DJ Ltd	
9	40	1	11
10	19	2	8
11	92	RKT Elec.	
13	28	1	22
14	86	2	47
15	9	3	13
16	41	4	30

Remarks: Threshold to patient:  $>30 \mu\text{g/ml}$ 

수은을 분석하였다.

분석을 위해 뇨는 borosilicate병에 약 100~200ml를 취한후  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (0.1g/100ml urine)를 가

Table 6-2. Inorganic mercury contents in Airborne

Sample No.	Mercury content ( $\text{mg/m}^3$ )	Sample No.	Mercury content ( $\text{mg/m}^3$ )
UI Ltd		PS Ltd	
1	0.004	1	0.001
2	0.017	2	T
3	0.014	DJ Ltd	
4	0.012	1	0.002
5	0.003	2	0.003
6	0.017	RRT Elec.	
KD Glass ware		1	0.002
1	0.043	2	0.003
ORET Elec.		3	0.074
1	0.051	4	0.075
2	0.082		
3	0.016		
4	0.024		
5	0.046		
6	0.035		
7	0.037		
8	0.027		
9	0.023		
10	0.127		
BK Chem Ltd			
1	0.041		
2	0.079		
3	0.035		
4	0.062		
PU Industry			
1	0.015		
2	0.016		
3	T		
NSD Co.			
1	0.016		
2	0.003		
SE Ltd			
1	0.012		
2	0.007		
3	0.022		
4	T		
5	0.006		
6	0.005		

Remarks: Mercury, as Hg-skin: TWA  $0.05\text{mg/m}^3$  (except alkyl vapor)

하고, 공기는 흡수액 10ml를 넣은 임핀저에 약 100l를 흡인시켜 채취후 모두  $4^\circ\text{C}$  냉장고에 보관하면서 분석에 사용하였다. 본 분석에서 사용된 방법으로 실제 시료를 분석결과 뇨에서는 1~139



$\mu\text{g/ml}$ (선별한계:노동부 예규 제170호 무기수은.  $>300 \mu\text{g/ml}$ ), 공기중에서는  $\sim 0.127\text{mg/m}^3$ (허용농도:노동부고시 제91-21호. TWA  $0.05\text{mg/m}^3$ )까지 검출되었다.

본 분석방법으로 노 및 공기중의 무기수은을 실험실에서 간단하고 빠르게 분석할 수 있다. 앞으로 수은을 취급하는 산업체에 대해 보건측면에서의 작업자 보호와 환경개선에 조그만 보탬이 되길 바란다.

## 참 고 문 헌

- 産業保健Ⅱ, 産業保健의 作業別 マニュアル, 日本産業衛生學會, p205~208, 1985
- F.Bakir et al., *Methylmercury Poisoning in Iraq. Science*, Vol. 181.
- S.Nobel and D.Nobel, *Determination of Mercury in Urine. Clin. Chem.*, 4, 150158, 1958.
- L.Magos and A.A.Cernik, *A Rapid Method for Estimating Mercury in Undigested Biological Samples, Brit. J. Industr. Med.*, 26, 144149, 1969.
- L.Magos, *Selective Atomic Absorption Determination of Inorganic Mercury and Methylmercury in Undigested Biological Samples, Analyst*, Vol. 96, 847853, 1971.
- L.Magos and T.W.Clarkson, *Atomic Absorption Determination of Total, Inorganic, and Organic Mercury in Blood, J. of the AOAC*, Vol. 55, No.5, 966971, 1972.
- D.C. Wigfield et al., *J. of Analytical Toxicology*, Vol. 5, 5255, 1981.
- S.Magel and J. Hirsh, *Reduction of Organic Mercury in Water, Urine and Blood by Sodium Borohydride for Direct Determination of Total Mercury Content Clin. Chem.*, 302, 243245, 1984.
- T.Naganuma, *Bunseki Kagaku*, 33, 672675, 1984.
- H.Matusiewicz et al., *Appl. Spectrosc.*, 39, 558560, 1985.
- S.Jaya et al., *analyst(London)*, 110, 13611364, 1985.
- Y.Zuo, S.Pang, *Fenxi Huaxue*, 13, 890895, 1985.
- B.Sjostrand, *analyt. Chem.*, 36, 814, 1964.
- O.Johansen and E. Steinnes, *Simple Neutron Activation Method for Mercury in biological Materials. Int. J. Appl. Radiat. Isot*, 20, 751, 1969.
- Nailin Chen, Runde Guo, and Edward P.C., Lai, *Anal. Chem.*, Vol. 60, No.21, 23452349, 1988.
- W.R.Hatch and W.L.Ott, *Determination of Sub-microgram quantities of Mercury by Atomic Absorption Spectrophotometry. Anal. Chem* 40., 20852087, 1968.
- G.Lindstedt, *Analyst*, Vol. 95, 264271, 1970.
- G.Lindstedt and I.Skare, *Microdermination of Mercury in Biological Samples(Part II An apparatus for Rapid Automatic Determination of Mercury in Digested Samples), Analyst*, Vol. 96. 223229, 1971.
- J.Toffaletti and J.Savory, *Use of Sodium Borohydride for Determination of Total Mercury in Urine by Atomic Absorption Spectrometry. Anal Chem* 47, 20912095, 1975.
- D.Littlejohn, G.S.Fell, and J.M.Ottaway, *Modified Determination of Total and Inorganic Mercury in Urine by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry. Clin. Chem.* 2210, 17191723, 1976.
- NIOSH Manual, 3rd Ed., *Mercury*, 1984.
- Swee-Cheng Poo, *Atomic Absorption Spectrophotometric Determination of Mercury in Undigested Biological Samples. Industrial Health*, 26, 173178, 1988.
- E.Berman, *Atomic Absorption Newsletter*, 6, 57, 1967.
- M.B.Jacobs et al., *Ibid*, 22, 276, 1961.
- U.Ulfvarson, *Acta Chem. Scand.*, 21, 641, 1967.
- G.Thilliez, *Chim. analyt*, 50, 2, 1968.
- Y.Kimura and V.L.Miller, *Analytical Chim. Acta*, 27, 325, 1962.
- M.S.Dill and V.L.Miller, *Analytical Chim. Acta*, 27, 325, 1962.
- M.S.Dill A.E.C. Research and Development Report, Y-1572, Oak Ridge, 1967.
- T.T.Woodson, *Rev. Sci. Instrum.*, 308, 1939.
- N.S.Poluektov et al., *Zh. Analit. Khim.*, 19. 937, 1964.
- A. O. Rathje, *Amer. Ind. Hyg. Ass. J.*, 30, 126, 1969.
- A.O.Rathje, D.H.Marcero, *Amer. Ind. Hyg. Ass. J.*, 37, 311314, 1976.
- 多田 治, 環境有害物質の 測定と評價, 上巻, 116~132, 1979.
- HIOSH Manual, 3rd Ed. *method 6009*, 1989.
- I.Skare, *Analst(London)* 97. 184, 1972.
- NIOSH Manual, 2nd Ed, Vol I, P & CAM 165, 1977.