

# 휴대용 x-ray fluorescence와 high volume air sampler를 이용한 작업장 공기 중 납 농도 비교 연구

안규동<sup>‡</sup> · 김남수 · 김진호 · 이익진 · 조광성 · 이성수 · 이병국

순천향대학교 산업의학연구소

## Comparative Study on the Airborne Lead in a Workplace Using Portable X-Ray Fluorescence and High Volume Air Sampler

Kyu-Dong Ahn<sup>‡</sup> · Nam-Su Kim · Jin-Ho Kim · Kwang-Sung Cho · Ick-Jin Lee · Sung-Soo Lee · Byung-Kook Lee

*Institute of Industrial Medicine, Soonchunhyang University*

This study was performed to compare the exposure concentration of area sampling using high volume air samplers with that of personal low volume samplers of 51 lead workers in 5 lead industries. The study subjects were selected from workshops which did not need any big movement for operation of their jobs. Area samples and personal samples were analyzed by standard atomic absorption spectrometer method. In order to validate the x-ray fluorescence(XRF) method with standard Atomic absorption spectrometer method, area samples were analyzed also with non-destructive XRF. The results obtained are as follows:

1. The mean(standard deviation) of air lead concentration measured by XRF and atomic absorption spectrometer(AAS) were 0.045(0.055)mg/m<sup>3</sup> and 0.051(0.072)mg/m<sup>3</sup>, respectively. There were no statistical difference of air lead concentrations between two methods with high correlation coefficient (0.0975: p<0001).

2. The mean(standard deviation) of air lead concentration measured by atomic AAS method with personal air sampler was 0.091 and significantly higher than that measured by XRF and AAS with high volume area sampler [0.045(0.055)mg/m<sup>3</sup> and 0.091(0.105)mg/m<sup>3</sup>, respectively]. There was no significant correlation of air lead concentration between area and personal sampling method. Simple linear regression equation of air lead concentration of personal sampler as

dependent variable with that of high volume area sampler as independent variable was "The concentration of personal sampler = 0.573×concentration of area sampler + 0.0653 " (p=0.031).

3. In order to find out the level of agreement 51 samples were divided into 6 categories by their air lead concentration such as -0.0025, 0.0025-0.050, 0.050-0.075, 0.075-0.100, 0.100-0.125 and over 0.125mg/m<sup>3</sup>, frequency distribution of area sample/personal sample (ratio) for concentration levels of personal samples were calculated. While the air concentration of personal samples showed relatively uniform distribution than area samples in workers whose personal air lead concentration were less than 0.05mg/m<sup>3</sup>, the former was relatively higher than latter in workers whose personal air lead concentration were over 0.05mg/m<sup>3</sup>. The overall rate of higher value of area sample than personal sample in same workers was 35%(18/51).

With above results, x-ray fluorescence was found to be a acceptable method for air lead concentration, but the area sampling with high volume sampler showed underestimated air lead level than personal sampling, and area sampling method to evaluate the workplace air level can produce some problems of underestimation.

**Key Words**: Lead, Area and personal sample, AAS, XRF-

\* 본 연구는 2003년도 순천향대학교 교내 연구비로 이루어졌음.

접수일: 2004년 3월 9일, 채택일: 2004년 4월 16일

‡ 교신저자: 안규동(충남 아산시 신창면 읍내리 순천향대학교 학예관 산업의학연구소

Tel : 041-530-1761, E-mail : akdong@sch.ac.kr

## I. 서 론

작업환경측정에서 중금속을 측정한다는 것은 복잡한 시료채취과정과 시료를 실험실까지 운반, 그리고 그 시료를 분석하기 전 처리하는 과정 등 여러 가지의 까다로운 절차를 거쳐야 하며, 마지막으로 아주 고가 장비인 원자흡광광도계(AAS)나 유도결합플라즈마(ICP)를 이용하여야만 비로소 목적하는 결과를 얻을 수 있다. 그러나 비교적 최근에 시판하는 휴대용 X-ray fluorescence(XRF)를 사용한다면 이러한 복잡한 절차가 생략된 상태에서 측정의 결과를 얻을 수 있고 비용 면에서도 효율성이 있다는 점이 안규동 등(2001)에 의하여 보고 된 바 있다.

한편, 우리나라 노동부의 작업환경측정법(노동부 고시 제2003-62호)에 따르면 모든 노출 유해물질에 대하여 6시간 이상 개인시료 포집방법을 지정하고 있고, 이것이 불가능한 경우에는 지역시료를 포집할 수 있다고 규정하고 있다. 그러나 일본의 경우 사단법인인 작업환경측정협회에서 작업환경측정기준을 정한 것을 노동성에서 고시로 공포하여 단위작업장에 대하여 지역시료를 채취할 수 있도록 정하고 있다. 지역시료는 시료채취 용량을 20-30 L/min 또는 150-200L/min의 용량으로 15-30분 정도 시료를 채취하는 것으로 비교적 적은 시간을 들여 많은 시료를 채취하여 작업환경을 평가할 수 있다. 다만 현재 산업안전보건법에서 말하는 작업환경측정이 노동부 고시에 의하여 지정된 개인시료 포집에 의한 공기 중 농도 평가는 지역시료의 농도 평가에 비하여 높게 측정되며, 현행 작업환경의 허용농도(TLVs)가 개인시료 채취 결과에 근거하여 설정되었다는 주장 때문에 지역시료의 시료채취 당위성은 약할 수밖에 없다. 그러나 현재까지 보고 된 연구자료 중에서 지역시료의 노출평가결과가 개인시료의 노출평가결과에 비하여 타당성이 결여되어 있다고 주장하는 것은 없었다. 따라서 어떤 작업자를 대상으로 노출평가를 할 경우 개인 시료포집과 지역 시료포집을 동시에 하여 이를 비교하고, 어떤 차이가 있는 가

를 확인하여 그 차이의 원인을 밝히는 것이 현 시점에서도 필요하다고 생각된다. 따라서 본 연구는 임의로 노출평가 대상을 선정하여 6시간 이상의 개인시료 채취를 하면서 동시에 임의의 시간에 20L/min의 유속으로 20분간 지역시료를 채취하여 그 개인시료는 종전의 원자흡광도법에 의한 분석을 실시하고, 지역시료는 분석을 XRF로 하여 두 가지의 결과를 비교하여 어떤 차이가 있는 가를 확인하기 위하여 시도되었다.

## II. 연구대상 및 방법

연구대상은 5개의 축전지제조회사에서 비교적 작업장 이동이 적다고 판단되는 납 노출 근로자를 선정하여 개인시료는 6시간 이상, 그리고 지역시료는 근로자가 작업하는 부근 1.5m 높이에서 임의의 시간에 20분간 시료를 채취한 전체 51쌍의 시료에 대하여 노출평가를 하여 비교하였다.

### 1. 시료채취방법

1) 개인시료 채취: Gillian Air Sampler(Gillian-3 Sampler)를 이용하였고, 직경 37mm, 공경 0.8 $\mu$ m의 cellulose ester membrane filter를 3-piece cassette에 장착하여 2L/min의 유속으로 6시간 이상 시료를 채취하였다. 시료채취 전·후에는 비누거품을 사용하는 유량보정계(Gillian Primary# low calibrator)를 이용하여 유량을 보정하였다.

2) 지역시료채취: Gillian-2 High Volume Air Sampler에 직경 37mm, 공경 0.8 $\mu$ m의 cellulose ester membrane filter를 3-piece cassette에 장착하여 20L/min의 유속으로 임의의 시간에 20분간 시료를 채취하였다.

### 2. 분석방법

채취된 51쌍에 대한 분석은 지역시료에 대하여는 XRF분석법과 AAS분석법을 동

시에 비교하여 분석상의 반복성과 차이를 확인하였으며, 개인시료에 대하여는 AAS법에 의한 분석을 하였다.

1) XRF분석법: 분석기기는 납 금속만 분석이 가능한 <sup>109</sup>Cd 방사성원소를 사용하는 휴대용 X-ray Fluorescence(XL-309 Lead analyser, NITON Corp, Bedford, Massachusetts)를 이용하였다. XRF기기의 분석방법은 국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법(Manual of Analytical Methods)인 No. 7702에 준하여 실시하였으며(NIOSH No. 7702, fourth ed.), 공시료 6개를 준비하여 분석 값에 보정을 하였다. 채취된 시료와 정도관리시료는 특별히 고안된 Cardboard로 옮겨 acetate sleeve(NITON, Bedford, Massachusetts)로 덮고, 필터시료를 고정시켜 읽을 수 있도록 filter test platform(NITON, Bedford, Massachusetts)에 올려놓는다. 그림 1은 37-mm필터를 XRF의 판독범위로 나누어 놓은 그림으로 판독순서는 필터의 가운데(M : Middle), 위(T : Top), 아래(B : Bottom) 순서로 하고 판독하는데 대략 86초가 소요되며 각각의 읽은 값들은 아래의 계산식에 대입하여 필터의 납 농도를 구한다.

$$\mu\text{g of lead/filter} = 2.0 \times M + 3.8 \times T + 3.8 \times B$$

..... 식 1.

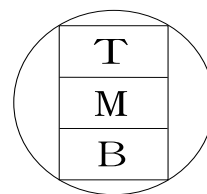


Fig 1. Three readings were taken using a 2cm $\times$ 1cm aperture. (M=middle, T=top, B=bottom).

식 1의 원리는 37-mm필터의 면적을 계산하면 약 10.75cm<sup>2</sup>이 되고 여기서 카세트 홀더의 둘레 면적을 빼면 기하학적으로 분진이 필터에 부딪히는 면적은 약 9.6cm<sup>2</sup>가 된다. 따라서 XRF기기의 판독면적은 2

cm이며 읽은 값은  $\mu\text{g of lead/cm}^2\text{filter}$ 이므로 위 식 1에 대입하면 총 면적이  $9.6\text{cm}^2$ 이 되는 것이다(Morley 등, 1999).

2) AAS분석법: 지역시료에서 XRF분석이 끝난 필터시료와 필터시료를 덮고 있는 아세테이트 필름을 핀셋으로 Glass tube에 옮기고, 개인시료도 동일한 과정을 거쳐 10% 질산용액(MERCK KGaA, Germany)을 넣고 50-60°C의 물에 중탕하여 4-5시간 정도 충분히 담가둔다. 분석 오차를 줄이기 위하여 시료필터와 같이 공시료도 전처리를 하였으며 첨가된 납의 회수율은 99%로 확인되었다. 분석방법은 국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법(Manual of Analytical Methods)인 No. 7082에 준하여 실시하였고(NIOSH No. 7082, fourth ed.), 분석기기는 원자흡광광도계(AA-6800,

Shimadzu, Japan)를 이용하였다.

### 3. 자료의 처리

자료의 분석은 SPSS 11.5를 이용하여 지역시료에 대한 AAS와 XRF분석결과의 평균차이검정을 위한 Paired-Samples t-test를 하였고, 또한 지역시료의 XRF에 대한 개인시료 농도에 대하여도 동일한 Paired-Samples t-test를 실시하였다. 지역시료에 대한 XRF분석결과와 AAS의 상관성 및 회귀분석(Correlation analysis)을 실시하였다. 개인시료 결과와 지역시료 결과에 대한 상관성 및 회귀분석을 실시하였으며, 개인시료 결과의 농도범위에 따른 지역시료의 XRF결과의 정확도 분포를 확인하기 위하여 교차분석(Cross tab analysis)을 실시하였다.

## III. 결 과

대상 지역시료 51개에 대한 XRF분석값과 AAS분석값, 그리고 개인시료들의 측정값에 대한 비교는 표 1과 같다. 지역시료의 결과에서 XRF의 분석값은  $0.045\pm 0.055\text{mg/m}^3$ , AAS의 분석값은  $0.051\pm 0.072\text{mg/m}^3$ 로서 AAS의 분석값이 다소 높은 것으로 측정되었으나, 통계학적인 유의한 차이는 없었다( $p=0.0573$ ). XRF와 AAS에 의하여 분석된 지역시료와 개인시료 51쌍의 분석결과는 개인시료 측정치가  $0.091\pm 10.105\text{mg/m}^3$ 로서 지역시료의 결과에 약 2배 정도인 것으로 확인되었으며 통계적으로도 유의하였다( $p=0.0023$ ).

표 2는 위의 성적을 회사별로 분류하여 비교한 것이다. A사의 경우 개인시료가 지역시료에 비하여 약 1.3배 높은 것으로 나타났으며, B사의 경우는 개인시료가 지

Table 1. Airborne lead concentrations by analytical method in the area and personal samples

					unit, $\text{mg/m}^3$				
No.	Co	A-XRF	A-AAS	P-AAS	No.	Co	A-XRF	A-AAS	P-AAS
1	A	0.01786	0.02183	0.01856	27	C	0.02175	0.01783	0.05529
2	A	0.00728	0.01167	0.05628	28	C	0.01558	0.01333	0.06892
3	A	0.02719	0.03199	0.13916	29	C	0.01083	0.00824	0.02486
4	A	0.05536	0.06327	0.01914	30	C	0.01413	0.00598	0.04136
5	A	0.04700	0.07932	0.02821	31	C	0.02850	0.01641	0.04744
6	A	0.06850	0.05445	0.04540	32	C	0.05192	0.04748	0.23595
7	A	0.04453	0.04456	0.04326	33	C	0.08450	0.09142	0.15784
8	A	0.03211	0.05472	0.02398	34	C	0.03517	0.04112	0.04952
9	A	0.05819	0.05472	0.09667	35	C	0.07083	0.07915	0.10884
10	B	0.01650	0.01238	0.01924	36	D	0.00800	0.01087	0.01156
11	B	0.04717	0.03306	0.03239	37	D	0.01838	0.03551	0.01880
12	B	0.01208	0.01254	0.08868	38	D	0.01550	0.01525	0.01305
13	B	0.01284	0.01350	0.04114	39	D	0.02233	0.01251	0.02164
14	B	0.04358	0.02584	0.06766	40	D	0.31517	0.44881	0.14830
15	B	0.02391	0.01206	0.02075	41	D	0.11596	0.14611	0.06427
16	B	0.01408	0.02216	0.06206	42	E	0.03494	0.04053	0.26218
17	B	0.02708	0.03498	0.13301	43	E	0.09838	0.11606	0.32450
18	B	0.03483	0.03851	0.26127	44	E	0.01886	0.02207	0.07917
19	C	0.01050	0.00854	0.02487	45	E	0.03294	0.03392	0.02625
20	C	0.04450	0.04142	0.05982	46	E	0.01328	0.02234	0.02117
21	C	0.05150	0.05384	0.03829	47	E	0.24703	0.24561	0.28186
22	C	0.01700	0.02127	0.06868	48	E	0.09061	0.10724	0.13895
23	C	0.04017	0.04021	0.11326	49	E	0.01628	0.03364	0.59892
24	C	0.01467	0.01309	0.10126	50	E	0.09586	0.13839	0.13056
25	C	0.01492	0.00883	0.04818	51	E	0.01263	0.01683	0.04116
26	C	0.00925	0.00733	0.01442					

Co : company, A-XRF(area samples which are analyzed with the x-ray fluorescence): A-AAS(area samples which are analyzed with the atomic absorption spectrometer) ( $p>0.05$ ), A-XRF(area samples which are analyzed with the x-ray fluorescence):P-AAS (personal samples which are analyzed with the atomic absorption spectrometer) ( $p=0.0023$ ).

Table 2. Airborne lead concentrations in the companies

Company	No.	A-XRF	A-AAS	P-AAS	Remark
		M±SD	M±SD	M±SD	
A	9	0.040 ± 0.020	0.046 ± 0.021	0.052 ± 0.041	Expand line
B	9	0.026 ± 0.013	0.023 ± 0.011	0.081 ± 0.077	Expand line
C	17	0.032 ± 0.023	0.030 ± 0.026	0.074 ± 0.056	Group work
D	6	0.083 ± 0.121	0.112 ± 0.173	0.046 ± 0.054	Casting
E	10	0.066 ± 0.073	0.078 ± 0.074	0.191 ± 0.181	Casting
Total	51	0.045 ± 0.055	0.051 ± 0.072	0.091 ± 0.105	

A-XRF : area samples which are analyzed with the x-ray fluorescence, A-AAS : area samples which are analyzed with the atomic absorption spectrometer, P-AAS : personal samples which are analyzed with the atomic absorption spectrometer.

M±SD : Mean±Standard deviation.

역시료에 비하여 약 3.1배 이상 높은 것으로 나타났으며, C사의 경우도 약 2.3배의 수준으로 확인되었다. 그러나 D사의 경우는 오히려 지역시료가 약 1.8배 높은 것으로 확인되었다. E사의 경우는 개인시료 결과가 지역시료 결과에 비하여 약 2.9배 높은 것으로 나타났으며, 전체적으로는 개인시료가 지역시료보다 약 2배 높은 것으로 확인되었다.

그림 2는 지역시료의 XRF 분석값과 AAS의 분석값 간의 상관성과 회귀방정식을 나타낸 것이다. 동일한 두 시료의 결과는 상관관계는  $r=0.975(p<0.001)$ 로 높은 상관관계가 있었으며 통계적으로도 유의하였다.

그림 3은 지역시료와 개인시료에 대하여 AAS로 분석한 결과에 대한 상관성과 회귀방정식을 나타낸 것이다. 두 방법간의 상관관계는  $r=0.291(p=0.038)$ 로 통계적인 유의성은 있으나 일반적인 측정법에 비하여 아주 낮은 상관성을 나타내었다.

표 3은 개인시료 측정 대상자의 노출농도 수준에 따라 허용농도 1/2이하 수준에서부터 허용기준의 2.5배까지 분류하였을 때 XRF로 분석한 지역시료의 농도가 어느 정도 개인시료 농도에 일치하는가를 확인하기 위하여 지역시료농도를 개인시료 농도로 나눈 값의 분포를 나타낸 것이다. 51개의 개인시료 노출농도에 비하여 비교적 동등한 값( $\pm 25\%$ 수준)을 나타낸

지역시료는 11개로 약 21%였으며, 개인시료 농도의 25% 이하의 농도로 확인된 지역시료는 25개(49%), 그리고 개인시료 농도보다 25%이상 높게 평가된 시료도 15개 약 29%인 것으로 나타났다.

#### IV. 고 찰

현재 우리나라 작업환경측정기관들이 유해물질 시료를 채취하여 평가할 때 개인시료채취기에 의한 시료채취는 노동부의 고시(노동부고시, 2002)로 되어있어 현재로선 달리 평가할 방법에 대한 의문의 여지가 없다. 그러나 이러한 시료채취 방

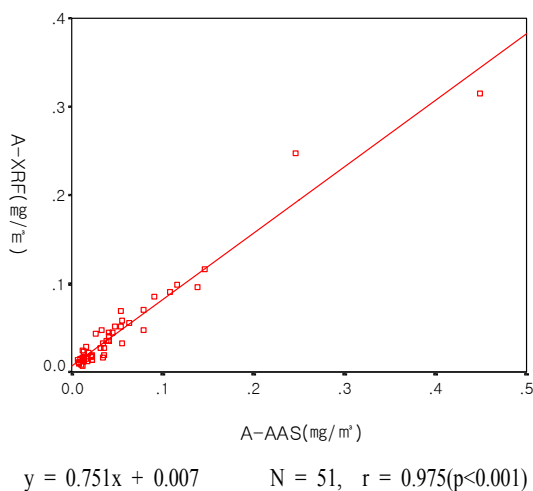


Figure 2. Relationship of atomic absorption spectrometer values and x-ray fluorescence values for personal samples.

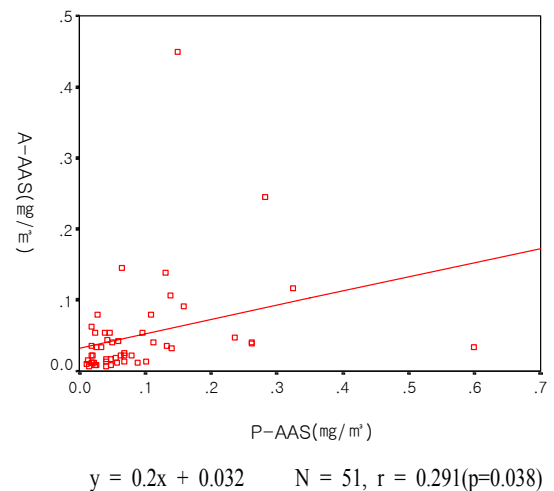


Figure 3. Relationship between personal samples and area samples which are analyzed with the atomic absorption spectrometer.

Table 3. Frequency distribution of area sample/personal sample(ratio) for concentration levels of personal sample  
number of samples / %

P-AAS(mg/m <sup>3</sup> )	A-XRF/P-AAS(ratio)						Total
	≤0.50	0.51-0.75	0.76-1.00	1.01-1.25	1.26-1.50	1.5 <	
≤0.025	2/ 9.1	4/18.2	5/22.7	2/9.1	2/9.1	7/31.8	22
0.026 - 0.050	3/25.0	2/16.7	2/16.7	1/8.3	1/8.3	3/25.0	12
0.051 - 0.075	3/75.0	-	-	-	-	1/25.0	4
0.076 - 0.100	3/75.0	1/25.0	-	-	-	-	4
0.101 - 0.125	1/25.0	3/25.0	-	-	-	-	4
0.125 <	1/20.0	2/40.0	1/20.0	-	-	1/20.0	5
Total	13/25.5	12/23.5	8/15.7	3/5.9	3/5.9	12/23.5	51

A-XRF : area samples which are analyzed with the x-ray fluorescence, A-AAS : area samples which are analyzed with the atomic absorption spectrometer, P-AAS : personal samples which are analyzed with the atomic absorption spectrometer.

식은 현재의 노동부고시가 나오기 이전인 1988년도 노동부고시에 따르면 지역시료 채취가 기본으로 되어 있었으며(노동부고시, 1988), 일본의 경우 작업환경측정기관에 배포하는 정도관리용 납시료는 30 L/min의 유속으로 10분간 시료채취한 경우 일본 허용기준 0.1mg/m<sup>3</sup>의 1/10수준인 0.01mg/m<sup>3</sup>, 즉 3μg/filter의 시료를 우송하고 있다(일본 작업환경측정협회, 2001). 지역시료는 개인시료 채취기에 의한 결과에 대하여 1/2 또는 1/3 수준의 결과를 나타낸다는 것이 산업위생 전문가들 사이에는 잘 알려진 사실로서 받아들여지고 있다. 우리나라 유해물질의 허용농도(노동부고시, 1991)는 미국산업위생사전문가협회(ACGIH)에서 발표하는 TLVs의 허용농도가 개인시료채취에 근거하여 설정되었다는 것에 기초하여 법의 성격을 가진 고시로서 제정된 것이기는 하지만 개정 당시까지 지역시료를 채취하면서도 허용농도는 당시의 ACGIH에서 발표하였던 TLVs의 값을 그대로 유지하였던 것이다. 그러나 기존의 작업환경측정방법과 허용농도가 1988년 개정되면서 시료채취방식이 개인시료 채취기와 지역시료 채취기를 동시에 인정하면서 두 가지 방식에 대한 유해물질 허용농도는 전혀 검토하지 않은 상태에서 그대로 둔 채 시행된 것은 뭔가 잘못된 점이 있는 것은 확실하다. 당시에 대부분의 작업환경측정기관들이 보유하고 있는 시료채취 장비는 일본 Sibata 사의 low volume air sampler였던 점을 감안하

면 당시의 사정을 이해할 수도 있다.

본 연구에서는 축전지 제조공장을 대상으로 비교적 작업시간 동안 이동이 많지 않은 작업자를 선정하여 개인시료와 지역시료를 비교하여 보기로 하였으며, 개인시료는 기존의 분석방법인 AAS법으로 하였으며, 지역시료에 대한 분석은 휴대용 XRF로 하였다. 그리고 이 지역시료에 대하여는 다시 AAS법으로 분석하여 두 방법간의 차이를 비교하였다. Clinton Morley 등(1999)은 납이 함유된 페인트를 제거하는 작업에서 65개의 지역시료와 4개의 개인시료를 채취하여 NIOSH 방법(Method-7105)을 기준으로 XRF방법을 비교한바 두 방법간의 상관성은 R<sup>2</sup>=0.985로 두 방법간의 차이가 거의 없었다고 보고하였다. 안규동 등(2001)은 20개의 정도관리 시료와 개인시료 72개를 ICP와 XRF로 비교한 바 정도관리 시료에서 R<sup>2</sup>=0.950으로, 개인시료에서는 R<sup>2</sup>=0.985로 보고하였다. 본 연구에서는 51개 시료에서 R<sup>2</sup>=0.952로 앞의 연구들과 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 두 방법간의 평균치와 표준편차는 통계학적인 유의한 차이가 없다고 하여도 AAS법이 다소 높은 것으로 확인되나(표 2) 안규동 등(2001)의 결과에서는 정도관리 시료와 개인시료 모두에서 ICP법에 비하여 XRF법이 통계학적인 유의성은 없으나 다소 높게 확인된 것과는 다른 결과를 나타내었다.

지역시료와 개인시료는 작업의 상황이나 강도에 따라서 차이가 발생할 것은 분

명한 사실이며, 근로자 개인의 작업습관에 따라서도 달라질 수 있다. 그러나 많은 부분의 지역시료가 개인시료의 결과에 비하여 낮게 나타났으며(65%), 약 35%인 18개 시료에서는 지역시료가 더 높은 것으로 나타났다. 또한 지역시료와 개인시료의 결과도 상관성이 전혀 없는 것으로 나타났다(R<sup>2</sup>=0.0915). 다만 평균치 비교에서 지역시료의 평균(0.045±0.055mg/m<sup>3</sup>)이 개인시료의 평균(0.091±0.105mg/m<sup>3</sup>)보다 평균적으로는 1/2수준에서 측정되었으며 통계적으로도 유의한 차이가 있었다. 그러나 극한제조방식이 확장적인 공장과 주조방식인 공장들이 조립공정에서 이동하지 않고 주로 라인작업을 하는데 반하여 소형 축전지를 제조하는 D사의 경우는 그룹으로 작업을 하는 바 개인시료가 지역시료에 비하여 더 낮은 노출농도를 나타내었다. 이러한 결과가 나타난 것은 지역시료는 임의의 20분 동안 시료채취를 한 것이며, 이에 비하여 개인시료는 6시간 이상 작업을 대상으로 한 것이므로 두 시료채취 방법간에 차이가 나는 것은 분명하다고 할 수 있다. 또한 시료채취의 유량에 의하여서도 달라질 수 있다. 일본의 경우 유해물질 중에서 일반적인 분진이나 금속류를 채취할 때 20-30L/min 또는 150-200L/min의 유량으로 약 15-20분간 시료채취를 하며, 여기에서 나타나는 결과들은 대개 낮은 농도를 유지하는 것으로 알려져 있다. 다만 이 연구는 시료채취 및 분석의 효율성 및 간편성을 확인하고, 시

료채취 기기의 특성을 고려하여 시료채취한 개인시료와 지역시료의 분석농도 결과를 직접 비교하였는바, 이는 유해물 측정에서 개인시료 농도와 지역시료 농도를 비교한 연구가 현재 전혀 없어 본 연구의 결과를 고찰 할 수는 없지만 이러한 제한점은 지역시료를 반복하여 측정하던가, 동일한 지점에서 서로 다른 유량으로 시료채취를 하여 비교한다면 아마도 본 연구결과보다는 명확한 상황을 확인할 수 있을 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 5개의 납축전지 제조사업장에서 작업시간에 이동이 많지 않은 51명의 작업자를 대상으로 지역시료를 XRF로 분석한 노출농도와 개인시료를 AAS로 분석한 노출농도를 비교하여 지역시료와 개인시료의 어떤 차이가 있는가를 확인하기 위해 시도하였으며 결과는 다음과 같다.

1. 지역시료의 XRF분석 노출농도와 AAS분석 노출농도는  $0.045 \pm 0.055 \text{ mg/m}^3$ ,  $0.051 \pm 0.072 \text{ mg/m}^3$ 로서 AAS값이 다소 높은 값을 나타내었으나 통계학적인 유의한 차이는 없었다. 두 방법간의 상관성은  $r=0.975(p<0.001)$ 이었다.

2. XRF법에 의한 지역시료와 AAS법에 의한 개인시료의 농도는 각각  $0.045 \pm 0.055 \text{ mg/m}^3$ ,  $0.091 \pm 0.105 \text{ mg/m}^3$ 로서 개인시료가 약 2배가량 높게 나타났고, 통계적으로도 유의하였다( $p=0.0023$ ). 두 방법간의 상관성은  $r=0.0915$ 로서 빈약하였으며, 개인시료를 종속변수로 지역시료를 독립변수로 한 회귀방정식은 개인농도 =  $(0.573 \times \text{지역시료}) + 0.0653$  이었다 ( $p=0.031$ ).

3. 51개의 시료를 공기중 납농도 0.025 이하, 0.025-0.05, 0.05-0.075, 0.075-0.100, 0.100-0.125, 0.125  $\text{mg/m}^3$  이상으로 분류하였을 때 지역시료의 농도가 어느 정도 일치하는 가를 알아보기 위하여 (지역시료/개인시료)의 비를 산출한 결과 개인시료가

허용농도 0.05  $\text{mg/m}^3$  이하의 수준에서는 지역시료보다 비교적 고른 분포를 하고 있으나 허용농도 이상의 수준에서는 개인시료에 비하여 지역시료가 아주 낮은 수준으로 측정되었다. 또한 전체적으로 개인시료보다 높은 값을 나타내는 지역시료는 18개로 약 35%였으며, 개인시료보다 낮은 값을 나타내는 시료는 33개로 약 65%였다.

상기의 결과에서 납 취급 근로자들을 대상으로 한 작업환경측정에 휴대용 XRF를 사용할 수 있으나 지역시료를 채취하여 작업환경을 평가하는 것은 비교적 작업자의 이동이 적다고하더라도 작업상황이나 작업장도 개인의 작업습관 등에 따라 노출수준에 영향을 미치고 있는 것으로 보이므로 다소 문제가 있을 것으로 생각된다.

## REFERENCES

노동부. 유해물질의 허용농도(노동부고시 제 88-69호), 작업환경 측정방법(노동부고시 제 88-70호) 1988.

노동부. 작업환경측정 및 정도관리규정(노동부고시 제 2003-62호) 2003.

노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부고시 제 2002-8호) 2002.

안규동, 이종천, 조광성, 김남수, 김진호, 이성수, 이병국. 휴대용 X-Ray 형광기기(XRF)를 이용한 공기중 납농도 평가. 한국산업위생학회 2001; 11(3): 235-240.

日本作業環境測定協會 統一精度管理事務局. 統一精度管理事業報告書 2001; 77-86.

조광성, 안규동, 이병국. 축전지 제조업에서 공기중 납 노출기준 초과에 영향을 주는 요인에 관한 조사. 순천향의학 1999; 5(2): 27-37.

ACGIH. Threshold limit values for chemical substances and physical agents &

biological exposure indices. Cincinnati, Ohio; 2003.

Kiefer M, Morley JC. Cass lake indian Health Service Hospital Cass lake, Minnesota. Hazard Evaluations and Technical Assistance Report No. 96-209; 1996.

Malkin R, Decker J. Philadelphia School district Franklin learning center Philadelphia, Pennsylvania. Hazard Evaluations and Technical Assistance Report No. 96-0140-2606; 1996.

Morley JC, Clark CS, Deddens JA, Ashely K, Roda S. Evaluation of portable x-ray fluorescence instrument for the determination of lead in workplace air samples. Applied Occupational and Environmental Hygiene 1999; 14: 306-314.

NIOSH. Method No. 7082, Lead by Flame AAS. NIOSH Manual of Analytical Methods, fourth ed.

NIOSH. Method No. 7702, Lead by field portable XRF. NIOSH Manual of Analytical Methods, fourth ed.

NIOSH. SOP 018 Limits of detection and quantitation. Quality Assurance & Laboratory operation procedures of the Measurements Research Support Branch, Methods Research Branch, Cincinnati, OH: USA. Departments of Health and Human Service, Public Health Service, center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Physical Science and Engineering. Revision 6, December 1991.

NITON Corporation. User's Guide, Version 5.2 [Product Bulletin]. NITON Corporation, Bedford, MA. 1998.