

연구자료

위생95-7-5

작업환경측정의 신뢰성 분석 및 평가에 관한 연구

- 납입자의 크기 특성을 중심으로 한 노출평가에 대하여 -

1995



한국산업안전공단
산업보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 연구 결과를 1995년도 산업보건연구원의 연구사업중
“작업환경측정의 신뢰성 분석 및 평가에 관한 연구”에 대한
최종 결과 보고서로 제출합니다.

이 연구보고서에 수록된 내용은 연구자 개인의 의견
이며 본 연구원의 공식견해가 아님을 밝혀 드립니다.

1995년 12월 31일

제 출 자 : 산업보건연구원장 문영한

연구책임자 : 수석연구원 오세민

공동연구자 : 선임연구원 박동욱

A study on exposure assessment to lead in workplace

Se-Min Oh and Dong-Wook Park

***Industrial health Research Institute KISCO,
Kusan-dong 34-4, PuPyung-ku, Incheon, Korea 403-120***

This study was conducted to investigate distribution of lead particles by operation of industry, to evaluate the effect of particle size on the absorption to workers, and to recommend the Occupational Health Standard for lead. Results of this study are summarized as follows. Aerodynamic Mass Median Diameters(MMD) of airborne lead particles in the battery and litharge manufacturing industry were $14.1 \mu\text{m}$ and $15.1 \mu\text{m}$. The diameters in radiator manufacturing and secondary smelting industry were $1.3 \mu\text{m}$, $4.9 \mu\text{m}$, respectively. Those were significantly smaller than the particle sizes in other industries($p<0.05$). Total lead concentrations in the secondary smelting industry were higher than those in the battery and litharge manufacturing industry. Total lead concentrations in other industries except radiator manufacturing industry exceeded the standard of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Only radiator manufacturing industry indicated lead concentrations significantly lower than those in other industries($p<0.05$). Average blood lead level of workers was $85.1 \mu\text{g}/\text{dl}$ in secondary smelting manufacturing, $51.3 \mu\text{g}/\text{dl}$ in the battery manufacturing, and below $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ in the litharge and radiator manufacturing industry. Blood lead levels of workers by industry were significantly different($p<0.05$). From relationship between airborne lead concentrations by size and lead in blood, confidence limits of airborne lead concentration equivalent to $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ of permissible limit in blood, was $147.9 - 489.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as total lead and $28.8 - 79.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as

ACGIH-RPM. It is recommended that two separate occupational health standards for lead should be established by particle size. Airborne concentration of $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as total lead dust and $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as respirable lead dust are recommended.

Key words : Mass Median Diameter(MMD) of lead particles

Respirable Particulate Mass of ACGIH

Lead concentration by particle size

Occupational Health Standards for total and
respirable lead

목 차

I. 서론	1
II. 연구대상 및 방법	2
2.1 대상	4
2.2 방법	4
2.3 혈액중 납과 ZPP농도의 변화에 영향을 미치는 변수 선정과 분석 방법	10
III. 결과 및 고찰	
3.1 공기중 납입자의 크기 분포	12
3.2 납입자의 크기별 농도	15
3.3 업종별 근로자의 혈액중 납과 ZPP농도	21
3.4 납입자의 크기별 농도와 혈액중 납과의 관계에 의한 공기중 납 허용농도의 추정	22
IV. 결론	27
참고문헌	28

I. 서론

OSHA는 1970년의 시행령(part 1910.93 of the federal register vol 36, no 157, pages 15101-15107, August 13, 1971)에서 납의 공기중 허용농도를 주 40시간 근무를 기준으로 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 하였다.

그러나 1971년 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 허용농도를 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 할것을 제안하였다.

1973년 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 공기중 납의 허용농도를 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로부터 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 낮출 것을 주요 내용으로 하는 보고서를 OSHA에 제출하였다.⁽¹⁾ 1972년에 NIOSH는 성인의 혈액중 납농도를 $80-100 \mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 할 것을 제시하였다.

1975년 10월에 OSHA는 혈액중 납농도를 $60 \mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 지키기 위하여 공기중 납의 허용농도를 주 40시간 근무를 원칙으로 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 제안하였다. 이 후 NIOSH는 계속된 개정 연구보고서를 통해 허용농도(주 40시간 기준)를 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 제안하였다.

NIOSH는 1978년의 보고서에서 다시 허용농도의 개정을 강조하였다. 축전지 제조업 근로자가 노출되는 공기중 납농도 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 해당하는 혈액중 농도는 $60 \mu\text{g}/\text{dl}$ 이고 이러한 농도에서 납중독의 증상들이 나타났음을 소개하면서,⁽¹⁾ 공기중 납의 허용농도는 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 하고 혈액중 납농도는 $60 \mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 낮출 것을 OSHA에 제안하였다.

OSHA는 납이 헴 합성(heme synthesis), 신경 계통(nervous system), 비뇨기계통(renal system), 생식 계통(reproductive system), 그리고 위장계통(gastrointestinal system)에 장애를 야기한다고 결론 짓고, 이러한 건강상 악영향으로 부터 근로자의 건강보호를 위해서 1979년 3월에 공기중 납의 허용농도는 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 혈액중 납농도는 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 정하는 주요 내용을 공포하였다(OSHA, 1991). 1979년 이후 OSHA는 납을 취급하는 업종별로 일정한 유효기간(effective period)을 주어 이 기준을 달성토록 하였다. 마침내 1989년 3월 1일 부터 납을 취급하거나 노출되는 모든 업종의 공기중 허용농

도를 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 정하고 혈액중 납농도를 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 하여 현재까지 관리해 오고 있다(OSHA, 1990).

한편, 우리나라에서는 납의 허용농도를 1983년 노동부 고시 제1호에서 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정하였으며, 1986년 노동부 고시 제86-45호에서도 이 기준이 이용되었다. 이것은 ACGIH의 허용농도에 근거한 것으로 여겨진다. 이 후 1988년 12월 23일 노동부 고시 제88-69호의 1차 개정에서 총 697 종의 유해물질의 허용농도를 제.개정하면서 납의 허용농도를 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 낮추었으며, 설정근거는 OSHA와 ACGIH등의 자료를 참고로 한것이다.

이러한 허용농도는 1991년 3월 30일의 노동부 고시 제91-21호의 2차 개정에서도 변하지 않고 현재까지 이용되고 있으나 그 동안 우리나라에서 납의 허용농도의 적합성에 대한 논란은 많았다. 1993년 11월 30일에 이⁽²⁾는 노동부의 직업병예방을 위한 학술연구용역사업의 일환으로 시행한 용역사업 중의 하나인 “현행 허용농도의 문제점 분석 및 실질적 기능화 방안”에서 납의 허용농도를 검토한 바 있다. 이 연구 보고서를 보면 납의 50 %이상을 사용하는 축전기 제조업에서는 허용농도인 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 공정의 특성상 준수할 수 없다는 것이다. 이 업종에서 납의 공기중 농도는 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하고 있으나 최근 1-2년 이내에 직업병 유소견자가 1-2 %정도 밖에 발생되지 않았다는 증거를 제시하면서 허용농도를 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 정하고 2년 간의 유예기간을 두되 이 기간 동안은 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지하자는 주장을 노동부에 제출하였다.

오⁽³⁾는 공기중 연의 허용농도 추정에 관한 연구에서 공기중의 납의 허용농도를 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 할 것을 제안하기도 하였다.

ACGIH는 카드뮴 화합물, 실리카, 석탄 분진 등에 대해서 총분진과 호흡성분진으로 허용농도를 구분하고 있다(ACGIH, 1995). 입자 크기별 기준이 석탄과 실리카 이외의 다른 유해물질에도 적용되어야 한다는 주장도 많다. OSHA와 ACGIH의 납에 대한 허용농도는 입자크기별 구분없이 단지 총농도로서 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 단순히 노출 양으로서 공기중 납의 총양만을 말한 것이다.

공정 특성상 허용농도 이하의 낮은 노출농도이면서 흡수율이 높은

요인을 가진 업종의 근로자의 건강은 간과될 수 있다. 하나의 예로서 OSHA는 각종 산업건설현장에서의 철골구조물 용접작업자의 납노출에 대한 대책에 부심하고 있다⁽⁴⁻⁷⁾ 즉, 이러한 업종은 적용대상이 아니거나 그 동안 납의 관리농도(Action Level, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 미만이었으므로 관리가 되지 않았다. 그러나 이러한 작업공정에서 근무하는 근로자의 혈액중 납농도는 높았다. 그 동안 허용농도를 정하는 과정에서 납 취급업종의 특성에 따른 납입자의 크기는 고려가 되지 않았으며 납의 총 양에 의한 노출농도와 그에 따른 혈액중 납농도와의 관계만을 설정하였다.

이제까지 외국에서도 납입자의 크기별 특성과 관련된 연구는 많지 않고 우리나라는 전혀 없다. King 등(1970)은 납축전지(lead-acid battery)제조업, 색소제조업(pigment), 1차 납제련업(primary smelting)에 근무하는 101명의 근로자에 대하여 납입자의 직경을 조사하였다⁽⁸⁾

Hodgkins 등은(1990) 축전지 제조업에 근무하는 40명의 근로자를 대상으로 납입자 크기의 특성을 조사하는 한편 크기별 농도 구분에 따라 납의 흡수와의 관계를 보다 정량적으로 비교하면서 납취급 공정 특성으로 인해 입자의 직경이 작다면 보다 엄격한 노출농도의 적용이 필요하다고 주장하였다⁽⁹⁾ 그러나 단지 축전지 제조업 만을 대상으로 연구가 수행되어 다양한 납취급 업종의 특성을 반영하지 못했다.

업종별로 납취급 공정과 작업내용에 따른 납입자크기 특성의 비교와 함께 그것이 혈액중 납이나 ZPP농도에 미치는 영향에 대한 조사를 통해 납의 독성으로 부터 근로자를 철저히 관리할 수 있는 대책이 제시되어야 한다.

본 연구의 목적은 납입자의 크기 특성이 혈액중 납과 ZPP농도변화에 미치는 영향을 평가하고 허용농도의 타당성을 검토하는 데 있다.

본 연구결과는 납에 대한 타당한 허용농도의 설정에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 연구대상 및 방법

1. 대상

조사대상은 표 1에서 보는 바와 같이 총 4개 업종의 12개 사업장으로서 축전기 제조업 4개소, 방열기 제조업 3개소, 2차 납제련업 2개소 그리고 리사지 제조업 3개소였다. 공기중 납입자의 시료채취는 개인시료 119건을 대상으로 하였다.

Table 1. Classification of Industries and Samples

Industry	No. of plants	No. of samples	
		air borne	blood
Secondary smelting	2	20	6
Radiator manufacturing	3	80	43
Battery manufacturing	4	93	44
Lithage manufacturing	3	45	26
Total	12	238	119

혈액채취는 238명의 근로자를 대상으로 하였는데, 2차 제련업 20명, 방열기 제조업 80명, 축전기 제조업 93명, 그리고 리사지 제조업 45명이었다.

공정별로 납입자 크기별 농도와의 관계를 분석하기 위해 납입자의 개인시료채취를 한 근로자 119명 중 101명에서 혈액을 채취하였다.

2. 방법

가. 납입자의 크기별 시료채취 및 농도환산

공기중 납입자는 8단계의 Marple Personal Cascade Impactor(Model 298, Anderson Sampler, Inc., U.S.A)와 개인용 시료채취기(Model MSA 87004, MSA, U.S.A)를 사용하여 채취하였다. 시료채취 전에 납입자를 포집하기 위한 여과지인 Mylar Substrate(Anderson

Stock # C-290-MY, Anderson Sampler, Inc., U.S.A)에 실리콘(Dow Corning 316 Silicone Release Spray, Dow Chemicals, U.S.A)을 코팅하여 8단계까지 장착하였다. 이것은 납입자가 반동(bounce)에 의한 손실이 일어나지 않고 적절히 침착되어 포집되도록 한 것이다.^(8,10-13)

그리고 맨 아래 단계에는 PVC(5 μ m pore size, poly vinyl chloride, Anderson Stock # F-290-P5, Anderson Sampler, Inc., U.S.A)필터를 부착하여 채취 공기의 흐름을 균등하게 하였다. 적정 채취 유속은 2 L/min으로 하여 한 단계(impactor stages)에서 포집된 입자가 다음 단계로 되튐이 일어 나지 않도록 하였다.⁽¹⁴⁻¹⁵⁾

각 단계에서 구분되어 채취되는 납입자의 유효한계직경(effective cut-point diameter, ECD)은 표 2와 같다.

Table 2. Cut-Point Diameter of Personal Cascade Impactor at 2 Lpm

Impactor Stage No.	Cut-Point Diameter(microns)
1	> 21.3
2	14.8
3	9.8
4	6.0
5	3.5
6	1.55
7	0.93
8	0.52
Backup filter	0

각 단계의 충돌기판은 시료채취 후 아세톤으로 적신 헝겊으로 닦고 증류수로 3번 세척하여 오염을 제거하여 사용하였다. 각 단계의 충돌기판은 시료채취 후 아세톤으로 적신 헝겊으로 닦고 증류수로 3번 세척하여 오염을 제거하여 사용하였다.

시료 전처리는 초음파시스템(microwave digestion system, CEM

corporation, U.S.A)을 이용하였다.

여과지를 전처리 용기에 넣고 2 ml 회화용액(ashing acid, HNO_3
: $\text{HClO}_4=4:1$)을 첨가하여 표 3과 같은 조건으로 전처리하였다. 전
처리 된 용액은 분석감도에 따라 희석용액(ashing acid의 5% 용액)으
로 최종 용량을 조절하였다.

**Table 3. Pretreatment Condition of Microwave
Digestion System**

Program Variable	Stage		
	1	2	3
Power(%)	100	100	100
Pressure(psig)	160	180	200
Temperature(°C)	160	180	200
Run time(min)	05:00	15:00	30:00
Tap time (min)	30:00	10:00	20:00
Fan speed(%)	100	100	100

시료채취 후 각 단계별로 채취된 납은 원자흡수분광광도계
(Varian 300 plus, Varian, Australia)로 분석하였다. 기기의 분석조
건은 표 4와 같다

각 단계별로 채취된 납의 크기 분포는 대수확률 그래프(log -
probability graph)에 표시하였다. 납입자의 평균직경은 누적 농도비
50 %에 해당되는 크기로 하였고 납입자 직경의 기하표준편차는 평균직
경을 누적 농도비 16 %에 해당되는 크기로 나누어서 구하였다. 납입자
의 크기별 농도는 총농도, OSHA의 $1\mu\text{m}$ 이하의 농도 및 소화성 농도 그
리고 ACGIH의 흡입성, 흉각성, 호흡성농도로 구분하여 환산하였다. 각

각의 농도를 구하는 방법은 ACGIH의 시료채취기구의 포집효율과 Hinds(1986)가 구한 방법을 이용하였다⁽¹⁴⁾

Table 4. Analytical Condition of Atomic Absorption Spectroscopy

Instrument Parameter	Condition
Instrument mode	absorbance
Calibration mode	calibration graph
Measurement mode	peak height
Lamp current (mA)	5
Slit width (nm)	0.5
Wavelength(nm)	283.3
Measurement time (sec)	2.1
Background correction	on
Maximum absorbance	2.00

나. 혈액채취 및 혈액중 납과 ZPP 분석

채취된 혈액은 납이 포함되지 않은 헤파린으로 처리된 (heparinized) 혈액채취 튜브에 넣은 후 즉시 혼합하였다. 혈액중 납 분석은 흑연로장치가 부착된 원자흡수분광광도계(Spectra AA-300/400 Zeeman, Varian, Australia, Pty Ltd)로 하였다.

기기의 분석조건은 표 5와 같고 그림 1의 표준첨가법(standard addition)으로 정량하였다.

혈액중 ZPP는 혈액을 커버글라스에 1방울($38 \mu\text{l}$) 정도 떨어뜨린 후 Hematofluorometer(Model, AVIV 206)로 분석하였다.

Table 5. Analytical Condition of AAS with Graphite Furnace

Instrument Parameter		Furnace Parameter					
		Step No.	Temp. (°C)	Time (sec)	Gas Flow (L/min)	Gas Type	Read Command
Instrument mode	absorbance	1	85	5.0	3.0	Normal	No
Calibration mode	standard additions	2	95	40.0	3.0	Normal	No
Measurement mode	peak height	3	120	10.0	3.0	Normal	No
Lamp current (mA)	5	4	300	5.0	3.0	Normal	No
Slit width (nm)	0.5	5	800	10.0	3.0	Normal	No
Wavelength(nm)	283.3	6	800	30.0	3.0	Normal	No
Measurement time(sec)	2.1	7	800	2.0	0.0	Normal	No
Background correction	on	8	2300	1.1	0.0	Normal	Yes
Maximum absorbance	2.00	9	2300	2.0	0.0	Normal	Yes
		10	2600	2.0	3.0	Normal	No
		11	2600	4.0	3.0	Normal	No

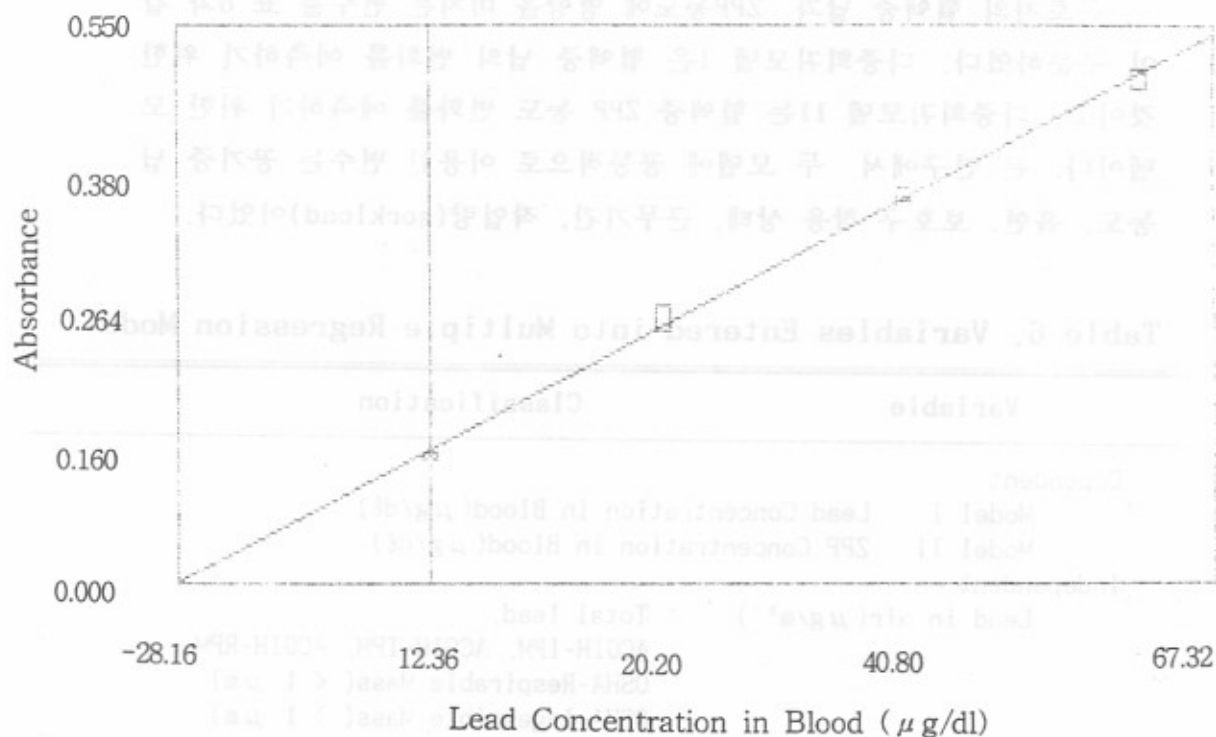


Figure 1. Absorbance of standards for analyzing lead concentration in blood

3. 혈액중 납과 ZPP농도의 변화에 영향을 미치는 변수 선정과 분석 방법

근로자의 혈액중 납과 ZPP농도에 영향을 미치는 변수를 표 6과 같이 구분하였다. 다중회귀모델 I은 혈액중 납의 변화를 예측하기 위한 것이고, 다중회귀모델 II는 혈액중 ZPP 농도 변화를 예측하기 위한 모델이다. 본 연구에서 두 모델에 공통적으로 이용한 변수는 공기중 납 농도, 흡연, 보호구 착용 상태, 근무기간, 작업량(workload)이었다.

Table 6. Variables Entered into Multiple Regression Model

Variable	Classification
Dependent	
Model I	Lead Concentration in Blood($\mu\text{g}/\text{dl}$)
Model II	ZPP Concentration in Blood($\mu\text{g}/\text{dl}$)
Independent	
Lead in air($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Total lead, ACGIH-IPM, ACGIH-TPM, ACGIH-RPM OSHA-Respirable Mass($< 1 \mu\text{m}$) OSHA-Ingestible Mass($> 1 \mu\text{m}$)
Smoking	Smoking, no smoking
Protective equipment	on, off
Workload	Heavy, Moderate, Light
Work duration	Classification by months(< 5 , 5-24, 24 $>$)

공기중 납농도는 총 납농도, ACGIH에서 정의한 흡입성, 흉곽성, 호흡성농도와⁽¹⁶⁾ OSHA에서 정의한 호흡성, 소화성 농도로 구분하였다⁽⁹⁾ 작업량은 업종별로 작업강도를 임의적으로 3개의 범주로 구분하고 이산 변수(discrete variable)로 하였다. 즉, 업종 및 공정별로 작업방법 및 태도에 따라 공정별 근로자의 작업강도의 범주를 ACGIH에 의한 기준을 참고하여 구분하였다⁽¹⁶⁾

납입자의 크기 특성과 혈액중 납과 ZPP와의 관계 및 허용농도의 추

정은 119명의 공기중 농도 측정 근로자 중에서 혈액이 채취된 101명에 대한 납입자 크기별 농도와 혈액중 납농도의 관계를 분석하였다.

업종별 근로자의 혈액중 납과 ZPP농도는 238명을 대상으로 분석하였다. 납입자의 크기특성이 혈액중 납과 ZPP농도에 미치는 영향은 101명의 근로자에 대한 공기중 납입자 크기별 농도와 이들의 혈액중 납과 ZPP농도, 기타 변수들을 포함하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공기중 납입자의 크기 분포

업종 및 공정별 납입자의 직경은 표 7과 그림 2에 제시되어 있다. 업종별로 납입자의 평균직경은 납축전지 제조업이 $14.1 \mu\text{m}$ 였고, 공정별로는 $12.3 \mu\text{m}$ - $16.6 \mu\text{m}$ 의 범위로 큰 차이가 없었다($p=0.0001$). 이것은 공정이 서로 인접해 있고, 연도공정의 납분이 도포, 건조, 조립, 용접 등의 과정을 통해 계속 비산되는 발생특성 때문이라고 본다.

Table 7. Mass Median Diameter(MMD) of Lead Aerosols by Industry and Operation

Industry	Mass Median Diameter(MMD)		
	No. of Sample	MMD(μm)	GSD
Secondary smelting	6	4.9	5.0
Radiator manufacturing	43	1.3	9.6
Battery manufacturing	44	14.1	1.5
Litharge manufacturing	26	15.1	1.7
Total	119	5.8	6.3

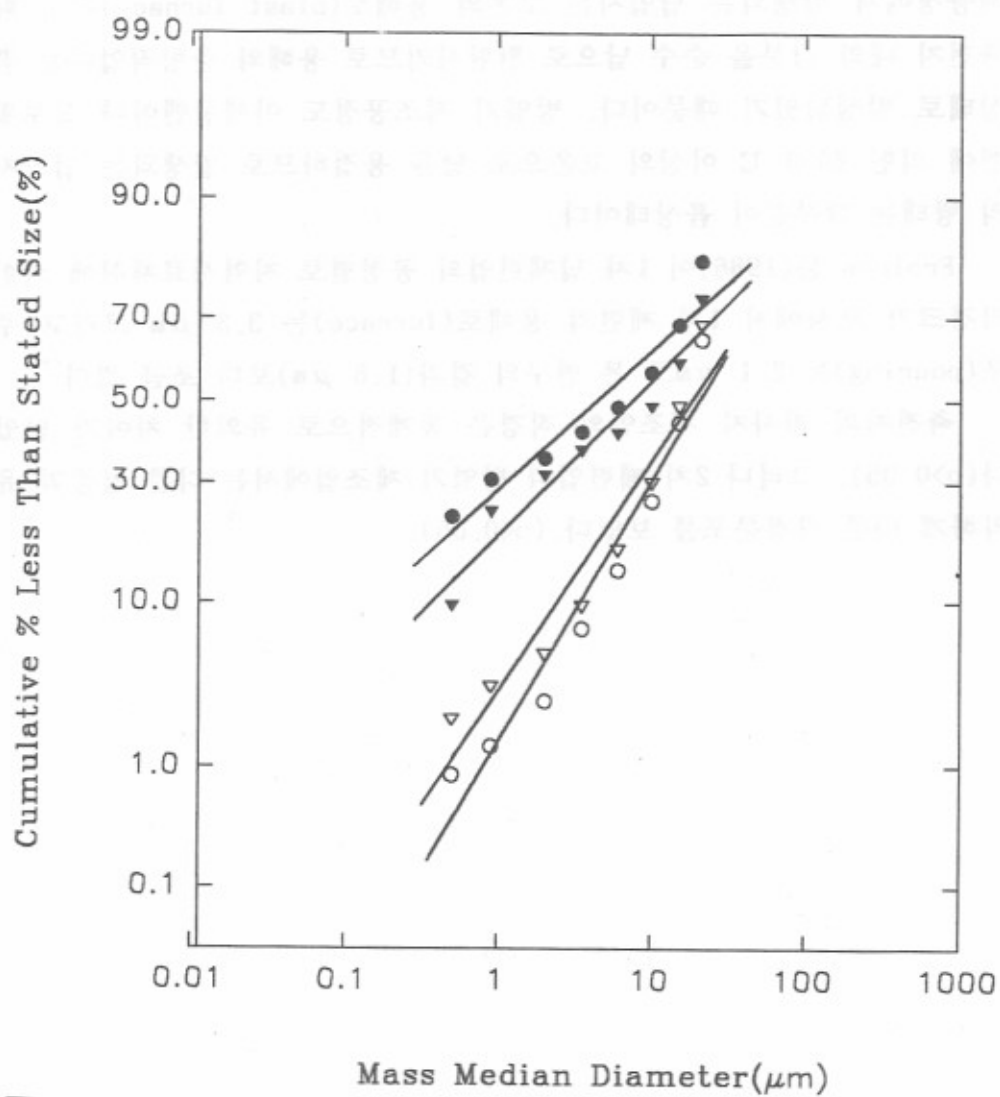
GSD : Geometric Standard Deviation

Hodgkins(1992)가 수행한 2개의 축전지 제조업의 공정별 직경을 보면 연도기(paste machine)가 $23.4 \mu\text{m}$ 로서 가장 높고 다른 공정들은 $10.9 \mu\text{m}$ - $19.8 \mu\text{m}$ 의 범위를 보여 본 연구와 큰 직경의 차이는 보이지 않았다⁽⁹⁾ 리사지 제조업에서 $15.1 \mu\text{m}$ 로서 매우 컸고, 2차 납 제련업은 $4.9 \mu\text{m}$ 그리고 방열기 제조업은 $1.3 \mu\text{m}$ 로서 작았다. 2차 제련업은 용

해공정에서 발생하는 납입자는 고온의 용해로(blast furnace)에서 폐 축전지 내의 납분을 순수 납으로 환원시키므로 용해와 출탕작업때는 흙 상태로 발생되었기 때문이다. 방열기 제조공정도 아세틸렌이나 프로필렌에 의한 2000 ℃ 이상의 고온으로 납을 용접하므로 발생하는 납입자의 형태는 대부분이 흙상태이다.

Froines 등(1986)이 1차 납제련업의 공정별로 지역시료채취에 의한 직경크기 조사에서 1차 제련의 용해로(furnace)는 $3.3 \mu\text{m}$ 그리고 주조(pouring)는 $2.1 \mu\text{m}$ 로 본 연구의 결과($1.6 \mu\text{m}$)보다 조금 컸다⁽⁷⁾.

축전지와 리사지 제조업의 직경은 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 그러나 2차 제련업과 방열기 제조업에서는 다른 업종과 유의하게 다른 직경분포를 보였다. ($p<0.05$).



○:Battery ●:Litharge ▽:Radiator ▼:Secondary smelting

Figure 2. Mass median diameter by type of industry.

2. 납입자의 크기별 농도

가. 총 납농도

업종별 공정별 총납의 기하평균농도는 표 9의 칼람(1)에 제시되어 있다. 업종별 납의 기하평균농도는 2차 제련업이 $575.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높고 축전기 제조업이 $354.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 리사지 제조업이 $269.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 이들 업종은 각 공정에서도 모두 허용농도를 초과하였다. 방열기 제조업만 다른 업종과 유의한 납농도 차이를 보였다($p < 0.05$).

2차 제련업은 근로자수 20여명 이내의 영세하고 소규모인 특성으로써 모든 조사대상 사업장이 용해로에 적정한 국소배기시설이 설치되어 있지 않았고, 불량한 작업방법 그리고 과도한 작업시간 및 양 등이 노출농도의 증가를 가져오는 원인이라고 할 수 있었다.

Gartside 등(1993)은 알라바마(Alabama)의 폐축전기 제련업의 14명 근로자의 노출농도 범위는 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 이 중 10명이 OSHA의 허용농도를 초과한 것으로 보고하였다⁽¹⁷⁾

축전기 제조업은 납분이 도포된 기판을 버프 연마기에 의해 마무리하는 공정(grinding)이 $5012 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 기판 제조공정은 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. Matte 등(1989)은 자마이카의 3개 축전기 사업장에서의 평균 납노출농도의 범위를 $0.03 \text{ mg}/\text{m}^3$ 에서 $5.3 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 보고하였고⁽¹⁸⁾ Kalim등(1986)은 수단(Sudan)에서 축전기 제조공장의 공기중 평균 납농도 범위를 $1.8 \text{ mg}/\text{m}^3$ - $2.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 보고하였다⁽¹⁹⁾ 이러한 농도는 본 연구결과($354.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 훨씬 높다. Chavalintnitikul 등(1984)이 미국의 한 축전기 제조업에서 보고한 공정별 납농도는 납분도포 공정이 $99.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (범위는 $90.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $114.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 그리고 군조(조립포함)공정은 $71.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (범위는 $16.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $164.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 보고하였다⁽²⁰⁾

Booher 등(1989)은 1980-1985년 까지 6개의 축전기 제조 사업장의

1,100 여명 근로자를 대상으로 납노출농도의 변화를 조사하였다. 1980년에 평균 $58.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 그 이후로는 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 나타낸 것으로 보고하였다⁽²¹⁾ Hodgkins(1990)는 2개의 축전기 제조사업장에서 근로자 노출 평균 납농도가 $37.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였고 범위는 $7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보고하였다⁽⁹⁾

선진외국의 경우 종이를 부착함으로써 납분의 탈락을 방지하는 개별극판을 만드는 신공법(expanded type)을 이용하는 경우가 많다. 이러한 공법에 의한 축전기 제조는 제품의 공정이동이나 조립 등의 과정에서 납분의 탈락을 방지할 수 있어 공기중 납농도가 낮고 관리가 훨씬 용이하다. 반면, 후진국이나 우리나라 축전기 제조의 공법은 대부분이 주조공법(casting type)이다. 이 공법은 기판위에 도포된 산화 납이 공정간의 이동과 계속적인 배열 등의 수작업으로 탈락, 비산, 낙하되는 가능성을 가지고 있었기 때문에 작업장 농도의 상승요인이 될 수 밖에 없었다고 본다.

나. 총 납과 ACGIH의 흡입성, 흉곽성 및 호흡성 납농도와의 관계

표 9는 대수변환한 총 납농도와 흡입성, 흉곽성, 호흡성 농도와의 관계를 업종별로 나타낸 것이다.

흡입성 납농도는 방열기 제조업의 $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 제외하고는 다른 업종은 허용농도를 훨씬 초과하였다.

2차 제련업은 $457.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 축전기 제조업은 $239.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 리사지 제조업은 $195.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 흉곽성농도도 방열기 제조업을 제외한 다른 업종에서는 허용농도를 훨씬 초과하였다. 호흡성 농도는 2차 제련업의 경우 $208.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 허용농도를 4배 이상 초과하고 있다. 2차 제련업에서 발생하는 납입자의 크기별 농도특성을 볼 때 인체 흡수 농도 및 가능성이 다른 업종에 비해 매우 높다고 판단된다. 총 납농도와 흡입성, 흉곽성, 호흡성 농도와는 모두 유의한 상관관계를

Table 8. Relationship between Total Lead Concentration and Concentration of ACGIH Classified Fraction (Independent, X=Total Lead, Dependent, Y=IPM,TPM,RPM)

Industry	Relationship between Total Lead and		
	IPM	TPM	RPM
Secondary smelting	$y = 1.04 x - 0.21$ ($r^2=0.96$, $p=0.0005$)	$y = 1.20 x - 0.86$ ($r^2=0.72$, $p=0.0326$)	$y = 1.45 x - 1.69$ ($r^2=0.61$, $p=0.0650$)
Radiator manufacturing	$y = 0.98 x - 0.05$ ($r^2=0.99$, $p=0.0001$)	$y = 0.90 x - 0.10$ ($r^2=0.86$, $p=0.0001$)	$y = 0.77 x - 0.08$ ($r^2=0.59$, $p=0.0001$)
Battery manufacturing	$y = 0.98 x - 0.11$ ($r^2=0.98$, $p=0.0001$)	$y = 0.88 x - 0.23$ ($r^2=0.97$, $p=0.0001$)	$y = 0.76 x - 0.40$ ($r^2=0.89$, $p=0.0001$)
Litharge manufacturing	$y = 0.10 x - 0.17$ ($r^2=0.95$, $p=0.0001$)	$y = 0.99 x - 0.44$ ($r^2=0.93$, $p=0.0001$)	$y = 0.87 x - 0.53$ ($r^2=0.80$, $p=0.00001$)
Total	$y = 0.96 x - 0.06$ ($r^2=0.98$, $p=0.0001$)	$y = 0.87 x - 0.12$ ($r^2=0.95$, $p=0.0001$)	$y = 0.71 x - 0.09$ ($r^2=0.80$, $p=0.0001$)

$x = \log(\text{total lead}), \mu\text{g}/\text{m}^3$, $y = \log(\text{IPM, TPM or RPM}), \mu\text{g}/\text{m}^3$

IPM : Inhalable Particulate Mass, TPM : Thoracic Particulate Mass

RPM : Respirable Particulate Mass

보였다($p=0.0001$). 총 농도가 증가 함에 따라 흡입성, 흉곽성, 호흡성 농도도 증가하였다. 이것은 납입자의 크기별로 농도가 서로 다르다는 것을 나타내는 것이다.

업종별 관계모델은 측정한 총 납농도로 부터 관심이 되는 입자부분의 농도를 예측하는데 이용할 수 있다.

축전기 제조업에서 총납 농도와 ACGIH의 호흡성입자농도와의 관계는 $\log Y = 0.76 \log X - 0.40$ ($p=0.0001$)이고 설명력은 89 %로서 다른 업종에 비해 높았다.

다. OSHA와 ACGIH에서 정의한 호흡성 농도의 비교

표 9의 칼럼(2)는 OSHA와 ACGIH에서 정의한 호흡성 농도가 총 납농도에서 차지하는 비율을 나타낸 것이다.

그림 3은 두 기관에서 정의한 호흡성 농도와 총농도와의 회귀모델을 비교한 것이다.

Table 9. Comparison of ACGIH Respirable Fraction and OSHA's Small Particle($< 1 \mu\text{m}$)

Industry	(1) Total Lead		(2) Respirable Fraction(%)	
	GM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	OSHA	ACGIH
Secondary smelting	575.4	1.7	24.5 $\pm$ 23.8	43.3 $\pm$ 25.6
Radiator manufacturing	19.1	2.1	41.3 $\pm$ 19.4	48.9 $\pm$ 22.5
Battery manufacturing	354.8	4.7	5.3 $\pm$ 6.4	10.9 $\pm$ 5.7
Litharge manufacturing	269.2	6.9	4.3 $\pm$ 3.5	16.5 $\pm$ 10.7
Total	117.5	7.1	19.1 $\pm$ 21.8	27.5 $\pm$ 23.5

GM : Geometric Mean, GSD : Geometric Standard Deviation

축전기 제조업은 총 납농도 중에서 OSHA에서 정의한 $1 \mu\text{m}$ 이하 크기의 호흡성농도의 함유비율은 5.3 %이고 ACGIH는 10.9 %이었다.

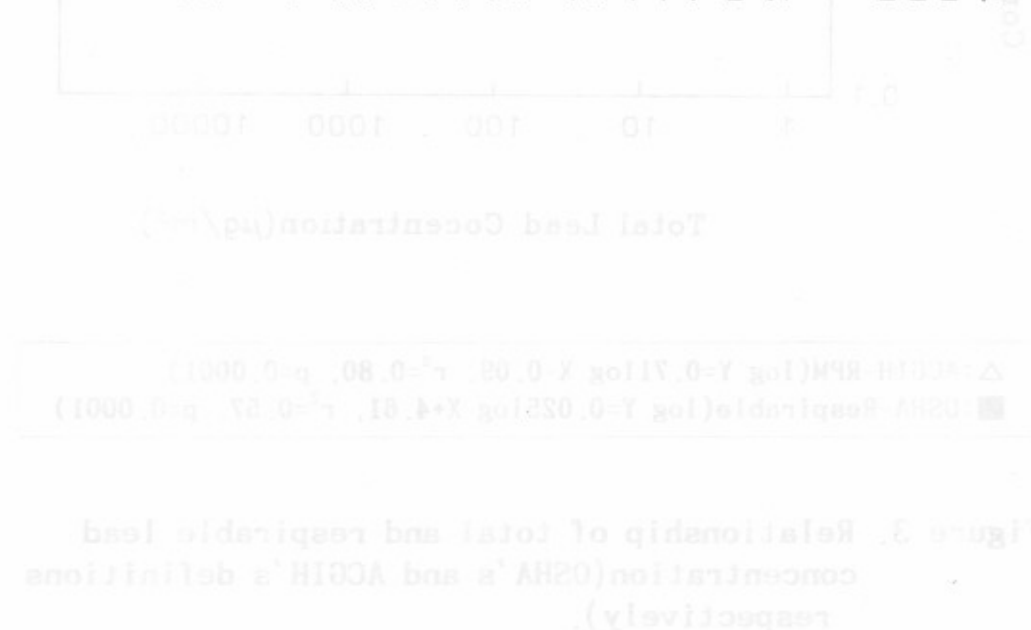
리사지 제조업은 총 납농도 중에서 OSHA의 호흡성 농도의 함유율은 4.3 %이고 ACGIH는 16.5 %로 차이가 있었다. 축전기 제조업과 리사지 제조업은 두 기관에서 정의한 호흡성 농도 간에 유의한 차이가 있었다 ($p=0.0001$).

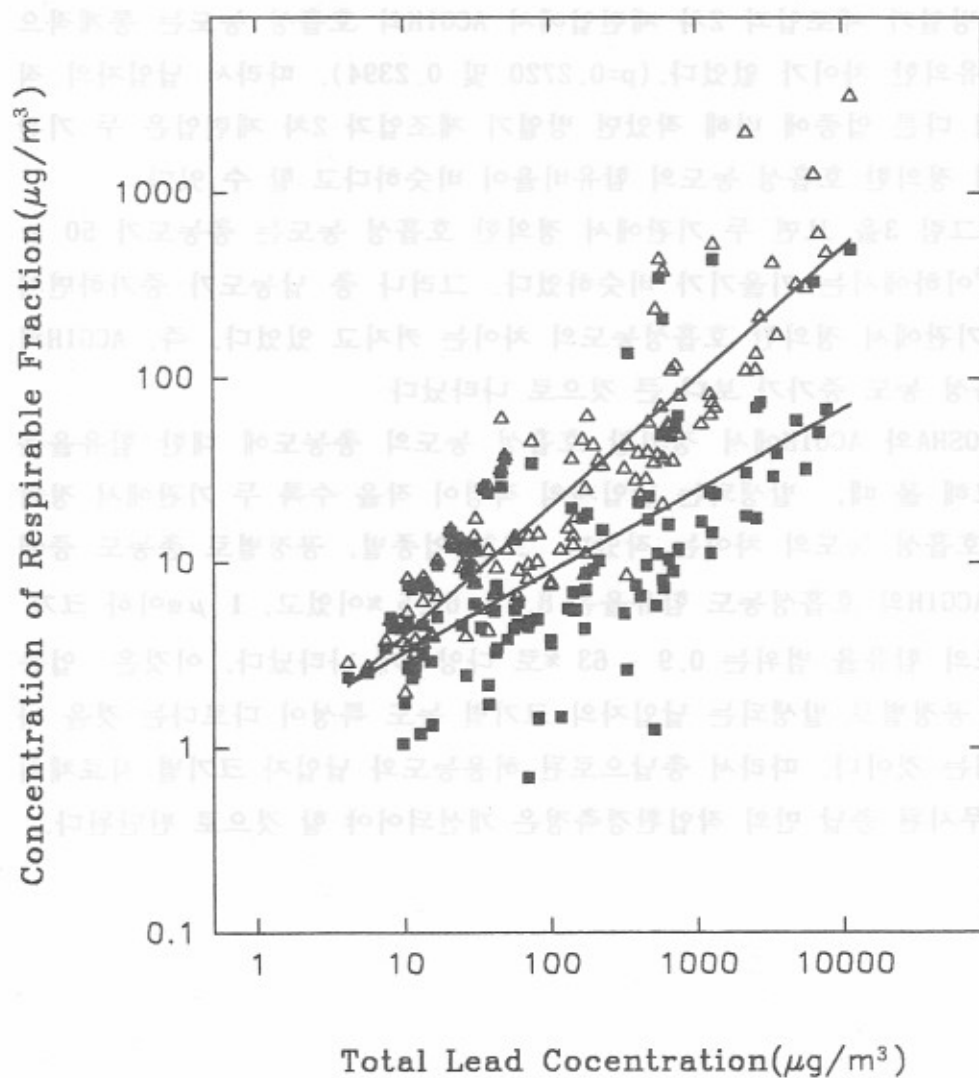
2차 제련업은 총농도 중에 OSHA의 호흡성 농도의 함유비율은 24.5 %이고 ACGIH는 43.3 %이었다. 그리고 방열기 제조업은 총 납농도에 대한 두 기관에서 정의한 호흡성 농도의 함유율은 41.3 %와 48.9 %로서 비슷하게 나타났다.

방열기 제조업과 2차 제련업에서 ACGIH의 호흡성 농도는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. ($p=0.2720$ 및 0.2394). 따라서 납입자의 직경이 다른 업종에 비해 작았던 방열기 제조업과 2차 제련업은 두 기관에서 정의한 호흡성 농도의 함유비율이 비슷하다고 할 수 있다.

그림 3을 보면 두 기관에서 정의한 호흡성 농도는 총농도가 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하에서는 기울기가 비슷하였다. 그러나 총 납농도가 증가하면서 두 기관에서 정의한 호흡성농도의 차이는 커지고 있었다. 즉, ACGIH의 호흡성 농도 증가가 보다 큰 것으로 나타났다

OSHA와 ACGIH에서 정의한 호흡성 농도의 총농도에 대한 함유율을 비교해 볼 때, 발생하는 납입자의 직경이 작을 수록 두 기관에서 정의한 호흡성 농도의 차이는 작았다. 또한 업종별, 공정별로 총농도 중에서 ACGIH의 호흡성농도 함유율은 $8.4 - 67.5\%$ 이었고, $1 \mu\text{m}$ 이하 크기 농도의 함유율 범위는 $0.9 - 63\%$ 로 다양하게 나타났다. 이것은 업종별, 공정별로 발생하는 납입자의 크기별 농도 특성이 다르다는 것을 나타내는 것이다. 따라서 총납으로된 허용농도와 납입자 크기별 시료채취가 무시된 총납 만의 작업환경측정은 개선되어야 할 것으로 판단된다.





$\triangle$:ACGIH-RPM($\log Y=0.71\log X-0.09$, $r^2=0.80$, $p=0.0001$)
 $\blacksquare$:OSHA-Respirable($\log Y=0.025\log X+4.61$, $r^2=0.57$, $p=0.0001$)

Figure 3. Relationship of total and respirable lead concentration(OSHA's and ACGIH's definitions respectively).

3. 업종별 근로자의 혈액중 납과 ZPP농도

업종별 조사대상 근로자의 혈액중 납과 ZPP농도는 표 10과 같다. 총 238명의 평균 혈액중 납농도는 $36.3 \mu\text{g/dl}$ 이었고, ZPP농도는 $47.86 \mu\text{g/dl}$ 였다.

Table 12. Lead and ZPP Concentration by Industry

Industry	No. of Workers	Lead in Blood		ZPP	
		GM($\mu\text{g/dl}$)	GSD	GM($\mu\text{g/dl}$)	GSD
Secondary smelting	20	85.11	1.41	186.21	2.09
Radiator manufacturing	80	19.50	1.62	14.13	2.34
Battery manufacturing	93	51.29	1.55	95.50	1.99
Litharge manufacturing	45	37.15	1.38	56.86	2.19
Total	238	36.31	1.91	47.86	3.31

GM : Geometric Mean, GSD : Geometric Standard Deviation

업종별로 보면, 2차 제련업이 $85.11 \mu\text{g/dl}$ 으로서 우리나라 산업안전보건법에서 정하는 선별한계인 $60 \mu\text{g/dl}$ 을 초과하고 있었다⁽²²⁾

Gittelman 등이(1994) 알라바마(Alabama)의 축전기 재생공장의 15명의 근로자의 평균 혈액중 납농도는 $65.8 \mu\text{g/dl}$ (범위는 $9-86 \mu\text{g/dl}$)로서⁽²³⁾ 본 연구결과($85.11 \mu\text{g/dl}$)보다는 조금 낮았다.

축전기 제조업의 평균농도는 $51.29 \mu\text{g/dl}$ 으로 주의한계인 $40-60 \mu\text{g/dl}$ 에 속하였다. Lee가 1982년에 축전기 제조업 근로자 234명을 대상으로 조사한 혈액중 납농도는 $53.8 \mu\text{g/dl}$ 로서⁽²⁴⁾ 본 연구결과와 큰 차이가 없었다.

방열기 제조업과 리사지 제조업의 기하평균농도는 각각 $19.50 \mu\text{g/dl}$ 과 $37.15 \mu\text{g/dl}$ 으로 허용기준 $40 \mu\text{g/dl}$ 이하인 것으로 나타났다.

Scheffe의 다중비교(multiple comparision)에 의한 혈액 중 납농도는 모든 업종별로 서로 유의한 농도차이를 보였다($p < 0.05$).

모든 업종의 혈액중 ZPP의 기하평균농도는 $47.86 \mu\text{g/dl}$ 으로 산업안전보건법의 주의한계 농도($100-150 \mu\text{g/dl}$)이하로 나타났다.

축전기 제조업의 ZPP농도는 $95.50 \mu\text{g/dl}$ 으로 주의한계농도 미만을 보였다. 방열기와 리사지 제조업의 ZPP농도는 각각 $14.13 \mu\text{g/dl}$ 과 $56.86 \mu\text{g/dl}$ 으로 주의한계 농도에 훨씬 못미치는 수준으로 조사되었다. Scheffe의 다중비교에 의한 혈액중 ZPP 농도는 모든 업종별로 유의한 농도차이를 보였다($p < 0.05$).

4. 납입자의 크기별 농도와 혈액중 납과의 관계에 의한 공기중 납 허용농도의 추정

표 11은 납입자의 크기별 농도와 혈액중 납과의 관계를 모든 업종을 종합한 것과 직경이 유사한 업종끼리 구분하여 분석한 것이다. 이 관계모델을 이용하여 혈액중 납의 허용농도($40 \mu\text{g/dl}$)에 의해 예측된 95% 신뢰구간의 납입자 크기별 농도 범위도 나타냈다.

모든 업종을 종합하여 분석한 결과, 총납은 $147.9 - 489.8 \mu\text{g/m}^3$, 흡입성농도는 $112.2 - 398.1 \mu\text{g/m}^3$, 소화성농도는 $147.9 - 478.6 \mu\text{g/m}^3$, 그리고 흉곽성 농도는 $75.9 - 165.9 \mu\text{g/m}^3$ 으로 예측되어 현재의 허용농도인 $50 \mu\text{g/m}^3$ 보다 높았다. OSHA의 $1 \mu\text{m}$ 이하 크기 농도 범위는 $13.8 - 39.7 \mu\text{g/m}^3$ 로서 현재의 허용농도 보다 낮았다. ACGIH의 호흡성 납의 농도 범위는 $28.8 - 79.4 \mu\text{g/m}^3$ 로서 하한농도($28.8 \mu\text{g/m}^3$)가 현재의 허용농도인 $50 \mu\text{g/m}^3$ 보다 낮았다.

한편, 납입자의 직경이 비슷한 업종별로 구분하여 혈액중 납허용농도와 총납 및 ACGIH의 호흡성농도 만을 분석하여 보았다. 축전지와 리사지업종에서는 그 관계가 유의하지 않았다.

Table 11. Estimation of Airborne Lead Standard Using Relationship between Lead Concentration by Size and Lead Concentration in Blood

Airborne Lead by size	Dependent = Lead in Blood			Airborne Lead Concentration Limits equivalent to 40 $\mu\text{g} / \text{dl}$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)
	Model	r^2	p	
<i>All manufacturing industry</i>				
Total Lead	$\log Y = 1.13 + 0.19 \log X$	0.35	0.0001	147.9 - 489.8
IPM	$\log Y = 1.15 + 0.19 \log X$	0.33	0.0001	112.2 - 398.1
TPM	$\log Y = 1.17 + 0.21 \log X$	0.33	0.0001	75.9 - 165.9
RPM	$\log Y = 1.21 + 0.23 \log X$	0.32	0.0001	28.8 - 79.4
OSHA-Respirable	$\log Y = 1.29 + 0.23 \log X$	0.22	0.0001	13.8 - 39.7
OSHA-Ingestible	$\log Y = 1.19 + 0.17 \log X$	0.34	0.0001	147.9 - 478.6
<i>Litharge and Battery manufacturing</i>				
Total Lead and RPM	nonsignificant			
<i>Radiator and furnace of secondary smelting manufacturing</i>				
Total Lead	$\log Y = 0.99 + 0.38 \log X$	0.49	0.0001	54.9 - 165.0
RPM	$\log Y = 0.90 + 0.38 \log X$	0.49	0.0001	22.9 - 72.4

IPM : Inspirable Particulate Mass

TPM : Thoracic Particulate Mass

RPM : Respirable Particulate Mass

2차 제련업의 용해공정(직경: $1.6 \mu\text{m}$)과 방열기제조업의 용접(직경: $1.4 \mu\text{m}$ 와 $0.1 \mu\text{m}$)을 종합한 경우는 그 관계가 모두 유의하였다. 이들 업종에서 혈액중 납허용농도에 예측된 총납의 농도범위는 $54.9 - 165.0 \mu\text{g} / \text{ml}$ 였고, ACGIH의 호흡성 농도는 $22.9 - 72.4 \mu\text{g} / \text{m}^3$ 으로 나타났다. 업종을 종합하여 예측한 납입자 크기별 하한농도와 비교해 볼 때 총납의 경우 차이가 있었으나 ACGIH의 호흡성농도는 비슷한 것으로 나타났다. 이처럼 혈액중 납허용농도에 의해 예측된 납입자 크기별 농도

의 범위가 각각 다른 것은 납입자 크기가 혈액중 납농도에 서로 다른 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 따라서 납입자 크기별 농도발생 특성이 서로 다른 업종에 근무하는 근로자를 효율적으로 관리하기 위해서는 현재 총납으로만 설정된 허용농도를 납입자 크기가 고려된 농도로 구분할 필요가 있다. 즉, 납허용농도를 카드뮴이나 실리카, 석탄분진과 같이 호흡성 납농도와 총 납농도로 구분해야 할 것으로 판단된다. 보다 구체적인 허용농도의 설정근거와 그 농도는 다음과 같다.

허용농도의 설정은 혈액중 납허용농도인 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ 에 의해 예측된 ACGIH의 호흡성 납과 총납의 농도 범위 중 하한농도를 근거로 하였다. 이것은 하한농도에 노출되는 근로자의 95 % 이상이 혈액중 납농도가 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ 이하로 관리될 수 있다는 의미에서 이용하였다. 호흡성 납허용농도는 ACGIH의 호흡성농도의 예측된 하한농도인 $28.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 근거하여 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정하고 모든 업종에 적용할 것을 제안한다(그림 4참조). 그리고 용해와 용접 등 높은 온도를 이용하는 납취급 업종도 호흡성 납허용농도에 적용을 받아도 될 것으로 판단된다. 이것은 호흡성 납허용농도인 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 방열기 등의 업종만을 구분하여 예측한 ACGIH의 호흡성 하한농도($22.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)와 큰 차이가 없었기 때문이다.

총납의 허용농도는 총납의 예측된 하한농도인 $147.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 근거하여 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정하고 모든 업종에 적용할 것을 제안한다(그림 5참조). 이 농도는 방열기 등의 업종에서 예측된 총납 하한농도($54.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 더 높아 용해와 용접 등 높은 온도를 이용하는 납취급업종 근로자의 보건관리에 문제가 될 수도 있다. 반면에 업종별로 허용농도가 복잡하게 설정될 경우 효율적인 관리가 어렵게 된다. 이러한 문제들을 동시에 해결하는 방법은 총납과 호흡성 허용농도를 모든 업종에 적용하여 준수토록 하는 것이다. 다시 말하면 납에 대한 작업환경측정은 총납과 호흡성 납농도를 모두 하도록 하고 근로자 노출평가는 구분된 호흡성과 총납의 2 가지 허용농도에 모두 적정해야 한다.

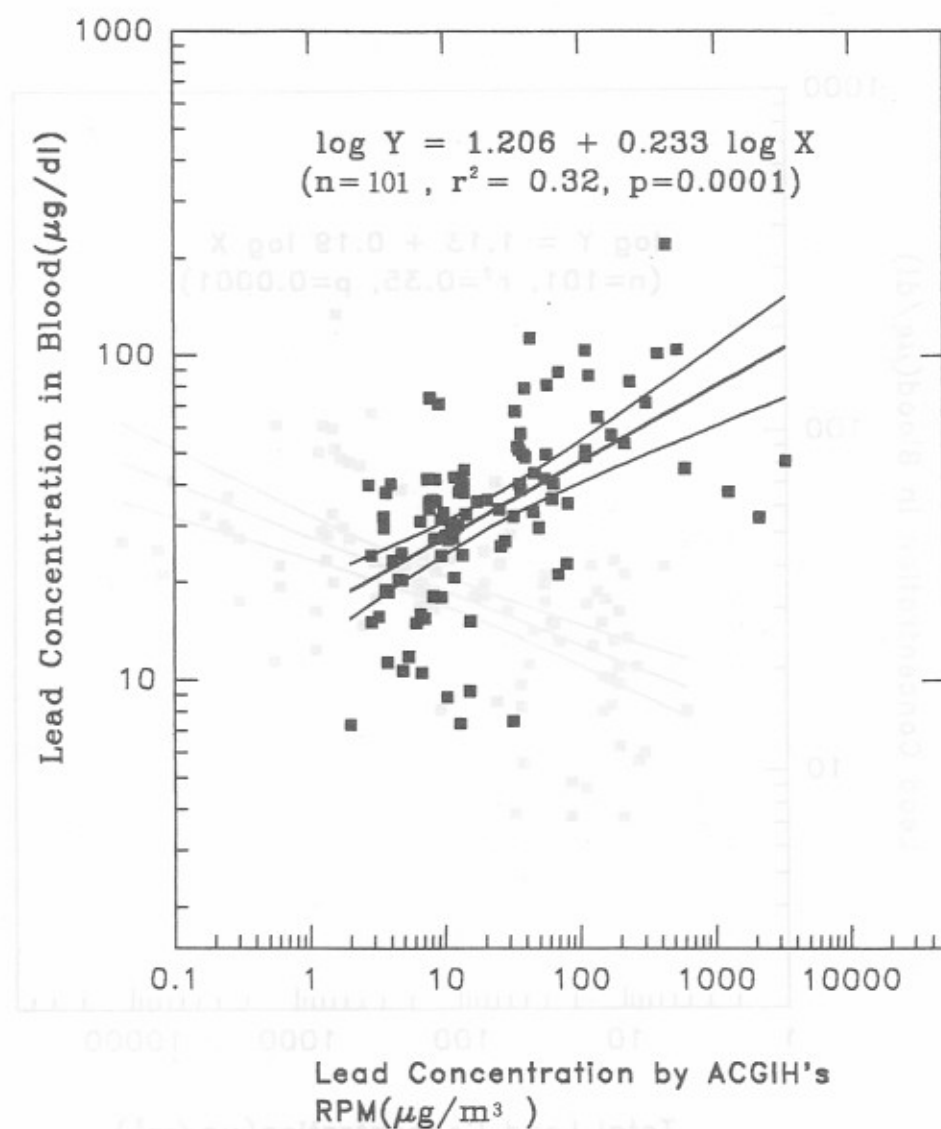


Figure 4. Relationship between lead concentration in blood and respirable lead concentration by definition of ACGIH.

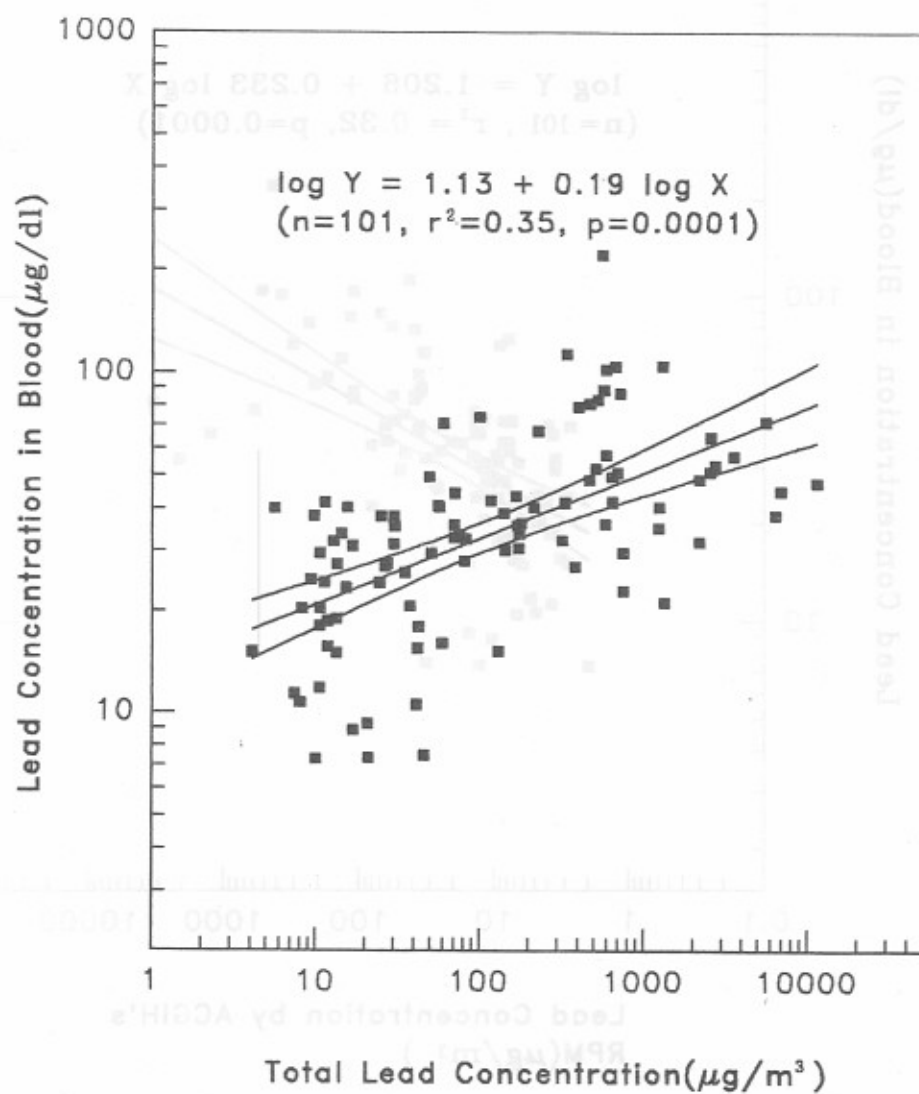


Figure 5. Relationship between lead concentration in blood and total lead concentration.

IV. 결 론

업종별로 발생하는 공기중 납입자의 크기 특성을 알아 보고 이러한 특성이 근로자의 혈액중 납과 ZPP농도에 어떠한 영향을 미치는지 규명하여 타당한 납 허용농도를 제안하고자 본 연구를 실시하였다.

납축전지와 리사지 제조업의 질량중위직경사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었고($p>0.05$), 2차 제련업과 방열기 제조업의 직경은 다른 업종보다 유의하게 낮았다($p<0.05$).

업종별 총 납입자의 기하평균농도를 보면 2차 제련업에서 $575.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 축전지 제조업에서는 $354.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 리사지 제조업에서는 $269.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 방열기 제조업에서는 $19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 업종보다 유의하게 낮았다($p<0.05$).

근로자의 혈액중 납농도는 2차 제련업에서 $85.1 \mu\text{g}/\text{dl}$, 축전지 제조업에서는 $51.3 \mu\text{g}/\text{dl}$, 방열기 제조업과 리사지 제조업에서는 $19.1 \mu\text{g}/\text{dl}$ 과 $37.2 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 업종별로 혈액중 납농도간에는 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

납입자의 크기별 농도와 혈액중 납농도와의 관계 모델로 부터 혈액중 납허용농도인 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ 에 해당하는 95 % 신뢰구간의 납입자 크기별 농도 범위를 산출한 결과, 총납농도는 $147.9 - 489.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 호흡성입자 농도는 $28.8 - 79.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이것은 납입자 크기 별로 혈액중 납농도의 변화에 서로 다른 영향을 미치는 것을 나타내는 것이다. 따라서 공기중 납의 허용농도는 작업환경측정방법에 따라 총납과 호흡성 납의 허용농도로 구분할 것을 제안한다. 호흡성 납의 허용농도는 혈액중 납허용농도와 ACGIH의 호흡성 입자농도와의 관계에서 예측한 하한농도($28.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 근거하여 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 하고, 총납의 허용농도는 총납 입자농도를 적용하여 예측한 하한농도($147.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 근거하여 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정할 것을 제안한다.

참 고 문 헌

1. National Institute for Occupational Safety and Health: Criteria for a Recommended Standard, Occupational exposure to Inorganic Lead. U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Atlanta(1978)
2. 이광목, 이정환, 박종안, 이병국, 정호근, 노재훈, 김현옥: 현행 허용농도의 문제점 분석 및 실질적 기능화 방안. 한국산업위생학회. 제4권 제1호 부록:30-41(1994)
3. 오세민: Zinc Protoporphyrin을 이용한 공기중 연의 허용농도 추정에 관한 연구. 중앙대학교 대학원 논문집. 1997. 6
4. Occupational Safety and Health Administration: Code of Federal Regulation. Part 1910.1025. Office of Federal Register National Archives and Records Administration(1990).
5. Phyllis, E.M., F. Alfred, L. Ruth, and J.L. Philip: Acute Lead poisoning in construction workers : *The failure of current protective standards.* Arch. Environ. Health 44(3):140-145(1989)
6. Campbell, B.C. and A.W. Baird: Lead Poisoning in a Group of Demolition Workers. Br. J. Ind. Med. 34:298-304(1977).
7. Froines, J.R., W.V. Liu, W.C. Hinds, and D.H. Wegman: Effect of Aerosol Size on the Blood Lead Distribution of Industrial Workers. Am. J. Ind. Med. 9:227(1986).
8. King, E., A. Conchie, D. Hiett and B. Milligan: Industrial Lead Absorption. Ann. Occup. Hyg. 22:213-239(1979)
9. Hodgkins, D. G. : The Effect of Lead-in-Air Particle Size on Lead-in-Blood Levels of Lead-Acid Battery Workers. Doctoral Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan(1990).
10. Solderholm, S.C. : Proposal for Converting "Total Limits to Inhalable and Thoracic Dust Limits. Appl. Occup. Environ. Hyg. 8(5):453-457(1993)
11. Liden, G. and L.C. Kenny: Optimization of the Performance of Existing Respirable Dust Samplers. Appl. Occup. Environ. Hyg. (8(4):386-391(1993)

12. Vincent, J. H. and L. Armbruster: Short Communication on the Quantitative Definition of the Inhalability of Airborne Dust. *Ann. Occup. Hyg.* 24(2):245-248(1981)
13. Vincent, J. H. and D. Mark: The Basis of Dust Sampling in Occupational Hygiene Sampling in the Workplace. *Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg.* 11:1(1984)
14. Hinds, W. C., W. V. Liu, and J. R. Froines: Particle Bounce in a Personal Cascade Impactor: A Field Evaluation. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 46 : 517 (1985).
15. Lodge, J. P. and T. L. Chan: Cascade Impactor Sampling and Data Analysis. *American Industrial Hygiene Association. ISBN #0-932627-24-2*(1986)
16. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Particle Size Selective Sampling in the Workplace. *Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg.* 11:1(1984).
17. Gartside, P. S., C. R. Buncher, and S. Lerner: Relationship of air lead and blood lead for workers at an automobile battery factory. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 50:1-10(1982)
18. Matte, T. d., J. P. Figueroa, G. Burr, J. P. Flesch, R. A. Keenlyside, and E. L. Baker: Lead Exposure Among Lead-Acid Battery Workers in Jamaica. *Am. J. Ind. Med.* 16:167-177(1989).
19. Karim, M. A. A., A. S. Hamed, Y. A. A. Elhaimi and Y. Osman: Effects of Exposure to Lead among Lead-Acid Battery Factory Workers in Sudan. *Arch. Environ. Health* 41(4):261-265(1986).
20. Chavalitnitikul, C., L. Levin and L. C. Chen: Study and Models of Total Lead Exposures of Battery Workers. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 45(2):802 (1984).
21. Booher, L. E.: Lead Exposures in a ship overhaul facility during paint removal. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 49:121-127(1988)
22. 노동부, 산업안전보건법규집. 산업안전보건법 시행규칙. 노문사(1994).
23. Gittleman, J. S., M. M. Engelgau, J. Shaw, K. K. Wille, and P. J. Seligman: Lead Poisoning among Battery Reclamation Workers in Alabama. *J. Occup. Med.* 36(5):526-532(1994).

24. Lee, B. K.: Occupational Lead Exposure of Storage Battery Workers in Korea. *Br. J. Ind. Med.* 39:283-289(1982).

25. Vincent, J. H. and S. Hark: The Basis of Lead Sampling in the Workplace. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:101-107 (1984).
26. Hinds, W. C., W. F. Lee and J. E. Freeman: Particle Sources in the Workplace. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:108-117 (1984).
27. Lodge, J. and J. Chan: Cascade Inspector Sampling and Data Analysis. *American Industrial Hygiene Association* 45:235-241 (1984).
28. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: *Methods for Selective Sampling in the Workplace*. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:118-124 (1984).
29. Garrison, R. S., C. E. Burchard, and E. J. Turner: Relationship of Air Lead and Blood Lead for Workers at an Automobile Battery Factory. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:125-130 (1984).
30. Miller, E. J., J. E. Burchard, E. J. Turner, R. S. Garrison, and E. J. Turner: Lead Exposure among Lead-Acid Battery Workers in a Plant. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:131-137 (1984).
31. Burchard, C. E., A. J. Burchard, J. A. A. El-Hariri, and E. J. Turner: Exposure to Lead among Lead-Acid Battery Workers in a Plant. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:138-144 (1984).
32. Chavakis, C. J., J. Chan, and J. Chan: Study and Methods of Lead Exposure in Battery Workers. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:145-152 (1984).
33. Burchard, C. E.: Lead Exposure in a Ship Overhaul Facility during repair. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:153-157 (1984).
34. Burchard, C. E.: Lead Exposure in a Ship Overhaul Facility during repair. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:158-164 (1984).
35. Burchard, C. E., J. Chan, J. Chan, J. Chan, J. Chan, and E. J. Turner: Lead Exposure among Battery Recondition Workers in Alabama. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 45:165-171 (1984).