

연구자료

위생 94-4-7

업종별 납 취급 근로자의 생물학적 모니터링 연구

- 직업적으로 납에 폭로된 근로자들과 비폭로
대조군간의 혈중 납 농도 비교

1994



한국산업안전공단
산업보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 연구 결과를 1994년도 산업보건연구원의 연구사업중
“업종별 납 취급 근로자의 생물학적 모니터링연구”에 대한
최종 결과 보고서로 제출합니다.

1994년 12월 31일

제출자 : 산업보건연구원장 문 영 한

연구책임자 :	책임연구원	양 정 선
공동연구자 :	수석연구원	오 세 민
	수석연구원	강 성 규
	책임연구원	최 병 순
	연구원	조 영 숙
	연구원	김 태 균
	연구원	박 인 정

여 백

Biological monitoring of lead in Korea

- Comparison of blood lead concentration
between occupationally exposed workers
and control group

Jeong Sun Yang, Seong Kyu Kang, In Jeong Park, Byung Sun Choi,
Tae Gyun Kim, Young Sook Cho, Se Min Oh, Young Hahn Moon

Industrial Health Research Institute,
Korea Industrial Safety Corporation,
34-4 Kusan-dong, Puk-Ku, Incheon 403-120, Korea

Abstract: Blood lead concentrations of 525 adults in Korea that were not occupationally exposed to lead were measured as control group by atomic absorption spectrometry with graphite furnace. We compared the values between the living region and sex and smoking habit. Mean concentrations of blood lead were 6.80 ug/dl for Korean males and 5.37 ug/dl for Korean females. Male smokers had higher blood lead level (7.20 ug/dl) than male non-smokers (6.41 ug/dl).

Blood lead concentrations of 245 occupationally exposed workers were also measured. The workers' blood lead concentrations were surveyed with the different kind of plants using lead. The mean concentration of 245 workers was 32.89 ug/dl. The workers in refinery (group A, 63.52 ug/dl) had higher blood lead concentration than those of other workers in battery

plants (group B, 32.16 ug/dl), inorganic paint plants(group C, 38.86 ug/dl), and non-ferrous metal plants (group D, 12.59 ug/dl). Working duration and blood lead concentration for all workers had the correlation with $r = 0.258$ ($p < 0.0025$). Smoking habit and the blood lead concentration showed correlation with $r = 0.130$ ($p < 0.508$). Working duration and blood lead concentrations for battery workers in one plant (B1 in group B) showed higher correlation with $r = 0.426$ ($p < 0.0012$) because the effect coming from the differences in the concentration variances in the ambient air of each plant can be removed.

Key words : Blood lead concentration, Atomic absorption spectrometry, Graphite furnace, Control group, Exposed group, Smoking habit, Working duration.

목 차

I. 서 론	1
II. 실험방법	5
2.1. 조사대상	5
2.2. 기기 및 시약	7
2.3. 전처리 및 기기 조건	7
2.4. 통계분석	8
III. 결과 및 고찰	10
3.1. 혈중 납농도 분석의 정확도 및 재현성	10
3.2. 대조군의 혈중 납농도	11
3.3. 대조군에 있어 흡연, 나이와 혈중 납농도의 상관성	14
3.4. 납 사업장 근로자들의 업태별 혈중 납농도	14
3.5. 납폭로 근로자에 있어 흡연, 근무 연한과 혈중 납농도의 상관성	17
IV. 결 론	19
V. 참고문헌	21

I. 서론

산업체에서 유해물질에 노출이 되었을 경우 그 노출의 정도를 근로자 개인별로 정확히 파악하는 것은 매우 중요하다. 왜냐하면 같은 정도의 유해물질에 폭로되더라도 발현하는 위해도는 개인의 신체 상태에 따라 다르게 나타나기 때문이다. (1) 혈액이나 요와 같은 생물학적 시료를 분석하는 생물학적 모니터링은 유해물질의 폭로정도를 반영하는 생물학적 지표로서 무엇을 분석 대상으로 하느냐가 아주 중요한 문제이다. (2)

납의 경우 폭로의 정도를 나타내는 직접적인 지표로서 혈중 납과 요중 납 농도를 사용해 왔다. (3) 미국 ACGIH의 BEI(Biological Exposure Indices)에서는 납의 생물학적 지표로서 혈중 납 (500 ug/l), 요중 납 (150 ug/g creatinine) 및 혈중 zinc protoporphyrin농도 (1 mg/l)를 채택하고 있다. 또한 ACGIH에서는 요중 δ - aminolevulinic acid 농도, 요중 coproporphyrin농도, 혈중 δ -ALA dehydratase 의 activity, hair 에서의 납농도 등은 그 해석상의 난점 때문에 납 노출의 생물학적 지표로서 권장하지 않고 있다. (4)

서독의 BAT(Biological Tolerance Value)로는 혈중 납 농도 (300 - 700 ug/l, 성별 차등 적용)와 요중 δ -ALA농도 (6 -15 mg/l, 성별 차등 적용)를 생물학적 지표로 삼고 있다. (5) 일본에서는 납중독 예방을 위한 법령에서 혈중 납, 요중 δ -ALA를 측정하도록 되어있고 의사의 필요가 인정되는 경우 erythrocyte 에서 protoporphyrin 를 측정하게 하고 있다. 우리나라의 경우 혈중 납 또는 요중 납 농도와 함께 혈중 ZPP 농도 또는 요중 coproporphyrin농도 또는 요중 δ -ALA를 생물학적 지표로 제시하고 있다. (산업 안전보건 시행 규칙, 노동부, 1993)

혈중 납 농도는 반감기가 35내지 40일로서 납 폭로에 의한 직접적인 노출의 정도를 나타내는 생물학적 지표로서 유효하다. 또한 Alessio와 Foa등(6)은 혈중 납 농도는 폭로의 지표로써, erythrocyte protoporphyrin 은 위해도의 지표로써 적절하다고 하였으며 protoporphyrin 이나 δ -ALA dehydratase는 screening test에 적합하다고 하였다.

Erythrocyte 에서 δ - aminolevulinic acid dehydratase 의 activity는 혈중 납 농도와 반비례 관계가 있는데 혈중 납이 20ug/100ml 이하에서는 ALAD activity는 상관성이 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 ALAD activity 는 저폭로 군에서는 적용하기가 곤란한 것으로 되어있다. (7)

Erythrocyte protoporphyrin(EP), zinc protoporphyrin(ZPP)등 혈액학적 지표들은 납이 인체내에 들어가서 heme합성을 저해하여 free protoporphyrin 을 유

리하고 유리된 free protoporphyrin은 세포질의 zinc와 킬레이트를 형성하는데
 기인하는 것이다. 이때 형성된 zinc protoporphyrin이 형광을 가진다는 것을 이
 용하여 형광분석기로 형성된 zinc protoporphyrin의 양을 분석하는 것이다. 다수
 의 분석 대상자들을 상대로 분석하는 스크리닝을 위하여 운반 가능한 휴대용
 hematofluorometer가 개발되어 사용되기도 한다. 그러나 이들 혈액학적 지표들은
 만성적인 고폭로군에서는 효용성이 있으나 단기간 또는 저폭로군에서는 납이
 heme합성을 저해하는 정도가 심하지 않으므로 그 적용도가 낮은 것으로 알려져
 있다. (8) ACGIH의 BEI에서도 혈중 ZPP의 농도는 적어도 1달 이상 폭로된 경우
 측정 하도록 되어있다.

porphyrin의 중간 metabolite의 하나로써 요중 δ -aminolevulinic acid는 저
 폭로군의 경우 유효한 지표가 되는 것으로 Okayama등(9)이 보고하고 있다. 또다
 른 porphyrin 중간 metabolite인 coproporphyrin의 경우 CPU I과 CPU III의
 isomer가 존재하는데 Abe등(10)은 혈중 납농도가 50ug/100ml이상의 근로자에서
 CPU III와 혈중납 농도와의 상관성이 좋은 것으로 보고하고 있다.

이상과 같이 납 폭로의 생물학적 지표로는

- 1) 직접적인 흡수의 지표로서 혈중 납 농도와
- 2) Erythrocyte protoporphyrin(EP), zinc protoporphyrin(ZPP)등 혈액학적
 지표,
- 3) porphyrin의 urinary intermediary metabolite로서 δ - aminolevulinic
 acid와 coproporphyrin 등이 있다.

납 폭로에 의한 직접적인 노출의 정도를 나타내는 생물학적 지표로서 혈중
 납 농도의 측정은 anodic 또는 potentiometric stripping voltammetry (ASV 또는
 PSV)에 의한 방법과 원자흡광분석기를 이용하는 방법이 있다(11). ASV법이나
 PSV법을 이용한 휴대용 측정기가 다수 근로자들을 상대로 한 스크리닝에 사용되
 었으나 검출감도는 10ug/dl로 원자흡광분석기에 비하여 높다. 따라서 혈액이나
 요 중의 미량 금속 성분을 정량하는 데는 주로 흑연로를 이용한 원자흡광분석기
 를 사용하고 있다.

인간은 태어나면서부터 일정량의 납을 체내에 보유하고 있고 성장함에 따라
 점차 많은 양을 축적해 나가는 것으로 알려져 있다(12). 외기나 음식물에 의해
 섭취된 납은 90%가 뼈에 침착되며 일부가 머리카락, 손톱, 발톱, 요 등으로 배
 설된다. 히말라야 오지에 떨어져 사는 주민의 혈중 납 농도는 3ug/dl이며 건강
 한 도시주민의 경우 4-22ug/dl으로 알려져 있다(13).

Table I. Values of lead in blood of the subjects occupationally unexposed to lead by AA with graphite furnace.

Author	Year	N	Sex	Conc of lead in blood ug/dl, (Min - Max)	Nation, area
Mishima(14)	1976	136		19.8 (7-46)	Japan, Tokyo
		97		17.7 (4.9-49.5)	" Okinawa
Takagi(14)	1977	339		12.1 (1.5-57)	" Fukui
Mitoma(14)	1979	20		6.2 (1.2-12.1)	" urban hab.
Chikenkyo(14)	1979	1023		7.1 (ND-91.1)	"
Yazawa(14)	1980	45	M	8.0(2-16)	"
		46	F	5.3(1.4-13.5)	"
Svartengren(15)	1981	50		13.6 $\pm$ 1.3	Belgium
		195		23.2 $\pm$ 1.4	Malta
		21		18.9 $\pm$ 1.3	Mexico
		31		5.1 $\pm$ 1.7	Sweden
Sathwara(15)	1981	189	M	14.3 $\pm$ 1.6	India
		194	F	13.8 $\pm$ 1.6	"
Sato(14)	1982	276	F	11.8 (ND-28)	Japan
Koide(14)	1984	262	M	5.3 (0.6-19.4)	" Kumamoto
		131	F	3.5 (0.5-9.7)	" "
Watanabe(16)	1985	779	M	4.86 $\pm$ 0.15	"
		1299	F	3.21 $\pm$ 0.15	"
Seto(14)	1987	105		5.37 $\pm$ 1.35	"
신 해림(17)	1986	134	M	18.56 $\pm$ 7.59	Korea
(인제대)		124	F	15.67 $\pm$ 7.93	
김 동일(18)	1992	1193	M	25.64 $\pm$ 4.15	" urban hab.
(동아대)		658	F	23.03 $\pm$ 4.85	" "
안 규동(19)	1993	212		14.5 $\pm$ 4.1	"
(순천향대)					
김 강윤(20)	1993	131	M	9.46 $\pm$ 2.44	"
(카톨릭대)		68	F	8.09 $\pm$ 2.17	"

우리 나라의 경우에도 납취급 사업장의 근로자들을 대상으로 많은 연구가 이루어져 왔으며 일부 대조군에 대해서도 성별 및 연령별로 혈중 납 농도의 정상치에 관한 연구 보고들이 있었다(14-20). 표 1에 정상인의 혈중 납 수치에 관한 여러 논문들의 보고를 정리했다.

본 연구에서는 흡연로 장치가 장착된 원자흡광분석기를 사용하여 혈중 납 분석을 위한 최적 조건을 검토 하고 시료 분석의 QC 데이터를 제시하였다.

조사대상은 기존의 문헌(21)을 바탕으로 아래와 같이 고농도의 납 노출 작업과 저농도의 납 노출 작업 사업장을 선정하여 사업 형태별로 납의 흡수지표로서 납 취급 사업장별 혈중 납 농도를 비교, 분석하였다. 또한 혈중 납 농도와 근무 연한, 흡연 습관에 관한 상관도를 조사하였다.

1-1 고농도의 납 노출 작업

- 광석으로 부터 납을 1차 제련하는 작업
- 폐축전지의 납을 2차 제련하는 작업
- 비철금속 주물공장에서 납화합물 사용 작업 등

1-2 저농도의 납 노출 작업

- 무기안료 제조
- 용접봉 제조
- 전자 부품, 극판 제조
- 부정기적인 고농도 납 노출작업 등

1-3 대조군

- 각 지역별 사무직 근로자

본 연구에서는 직업적으로 납에 폭로되지 않은 비폭로 대조군의 혈중 납 농도를 분석하고 직업적으로 납에 폭로된 근로자들과 분석 수치를 비교하고 대조군의 경우에서도 나이, 성별, 거주 지역, 흡연 습관과 혈중 납 농도와의 유의성 및 상관 관계를 조사 하여 우리나라 성인 근로자의 혈중 납 농도에 관한 자료를 제시하고자 시도하였다.

또한 납 폭로 근로자의 생체내 납 흡수의 지표가 되는 혈중 납 농도를 측정하여 납 사업장의 업태별로 비교하고 혈중 납 농도를 나이, 근무연한, 흡연 정도등의 변수와 상관 관계를 조사하여, 우리나라 납 사업장의 업태별 폭로의 정도를 파악하고 우리나라 납 사용 근로자의 혈중 납 농도에 관한 자료를 제시하고자 한다.

II . 실험방법

2.1. 조사대상

가) 대조군

전국의 지역별로 수집된 직업적으로 납에 폭로될 가능성이 거의 없는 사무직 근로자 525명을 대상으로 하였다. 대조군으로 선정된 조사 대상자들의 일반적인 사항에 대해서는 표 2에 실었다. 전국적으로 남자가 316명, 여자가 209명이었으며 조사자들의 평균 연령은 남자가 43.08세, 여자가 37.22세였다. 설문에 담배를 핀다고 응답한 조사자는 남자 조사자 중에서 156명, 비흡연자는 160명이었다.

Table II. 직업적으로 납에 폭로되지 않은 비폭로 대조군의
지역, 성별 표본수

지역	남	여	계
서울	121	133	254
인천, 경기	66	52	118
충북 충주	79	21	100
전북 전주	50	3	53
계	316	209	525

나) 폭로군

납을 주로 사용하는 11개 공장에서 직접 납에 폭로되는 경우가 있는 남자 근로자 245명을 대상으로 하였다. 서론에서 제시한 대로 기존의 문헌을 바탕으로 노동도 및 저농도 노출사업장으로 구분하여, 납 사업장의 업태별, 사업장별로 표 3과 같이 분류하여 정리하였다(표3). 고 농도 노출 사업장의 경우 업태별로 제련(광석으로부터 납을 1차 제련하는 작업, 폐축전지의 납을 2차 제련하는 작업), 납화합물(리사지, 축전지 제조)로 분류하여 조사하였다. 또한 저농도 노출사업장의 경우 무기안료, 및 극판, 용접봉 제작 사업장으로 분류하여 조사하였다. 각 작업자별 나이, 근무 경력, 흡연 정도 등을 조사하였다.

Table II. 직업적으로 남에 폭로되는 근로자의 업태별 조사대상 근로자수

사업장 구분	사업장	업태	조사대상 근로자수
A 제련업	A1	2차 제련업	12
	A2	2차 제련업	18
	계		30
B 축전지제조	B1	축전지 제조	55
	B2	축전지 제조	12
	B3	축전지 제조	48
	계		115
C 무기안료	C1	무기 안료	19
	C2	무기안료	12
	C3	무기안료	15
	C4	PVC 안정제	24
	계		70
D 비철금속	D1	용접봉	10
	D2	용접봉	20
	계		30
Total			245

2.2. 기기 및 시약

혈중 납 농도 측정에 사용된 원자흡광광도계는 GTA model 96이 장착된 Varian사의 Spectraa 400을 사용하였다. 원심분리기는 한일 MF 550 탁상형 다목적 원심분리기를 사용하였다. 개인별 혈액 시료는 헤파린 처리된 Bacton Dickinson사의 Vacutainer 튜브와 1회용 주사기를 이용하여 채취하였다. 납의 기준용액은 Sigma사의 1000ppm 용액을 탈이온수(Milli Q™ System, Millipore Co.)로 희석하여 사용하였다. 혈액의 균질화를 위한 세포 소화 용액은 Sigma사의 triton x-100을 탈이온수로 희석하여 사용하였다. 시료 분석의 정도 관리를 위한 표준 시료는 NIST (미국 표준국)의 SRM 955a 혈중 납 분석을 위한 표준시료를 구입해서 사용하였다.

2.3. 전처리 및 기기 조건

혈액 채취는 각 근로자별로 작업장 밖의 일정 장소에서 작업시간 중에 정맥혈 약 2cc를 헤파린 처리된 Vacutainer에 취하였다. 혈액은 ice box에 넣어 이송하였고 이송 후 4℃ 냉장고에 보관하였다. 혈액 200 ul를 0.1% Triton X-100으로 10배 희석하여 원자흡광광도계용 측정시료로 하였다.

시료에 일정량의 기준 용액을 첨가하는 standard addition법에 의하여 검량선을 얻었다. 시료 주입은 표4와 같이 자동시료주입기를 통하여 최종 시료량이 16 ul 되게 흑연로에 주입하였으며 기준용액은 100 ug/dl를 사용하였다. 혈중 납 분석을 위한 원자흡광광도계의 분석 조건은 표5와 같다.

Table IV. Standard addition dilution scheme.

	standard (ul)	sample (ul)	blank (ul)	conc. expected (ug/dl)
blank	-	-	16	blank
addition 0	0	8	8	x^*
addition 1	2	8	6	$x + 12.5$
addition 2	4	8	4	$x + 25$
addition 3	8	8	-	$x + 50$

x : original sample concentration

Table V. Analytical parameters for graphite tube atomizer.

Instrumental parameters

lamp current : 4 mA

slit width : 0.5 nm

slit height : normal

wavelength : 283.3 nm

sample introduction : sampler automixing

measurement time : 4 sec

background correction : by deuterium lamp

Furnace parameters

drying step : 250 C, 25 sec

ashing step : 500 C, 20 sec

atomizing step : 1800 C, 3 sec

Argon purge gas flow : 5 ml/min

2.4. 통계분석

모든 통계 분석은 SAS 프로그램을 사용하여 분석하였다. 대조군 525명의 경우 각 지역 별로 성별, 나이, 흡연 경력 등을 설문조사하였고 샤피로 윌크 검정 (Shapiro-Wilk test)을 통하여 대수정규분포하는 것을 확인하여 기하평균 및 기하 표준편차를 구하였다. 성별, 흡연 유무 그룹 간의 비교 분석은 95% 유의 수준에서 T-test로 검정하였다. 지역별 그룹간의 비교는 분산 분석을 사용하였다. 흡연 경력은 설문에 응한 경우의 자료를 토대로 분석하였다. 나이와 혈중납과의 상관성은 단순회귀분석(linear regression)으로 확인하고 상관계수를 구하였다.

11개 각 사업장 별로 혈액을 채취한 근로자 245명에게 나이, 근무 연한, 흡연 경력에 대한 설문을 조사하였고 설문에 응한 경우에 대하여 통계 조사를 하였다. 근무 연한의 경우 현 직장에서의 하는 일과 동일한 일을 했던 경력이 있는 경우는 그 경력을 합산하였다. 각 사업장 별 혈중 납 농도는 샤피로 윌크 검정 (Shapiro-Wilk test)을 통하여 대수정규분포하는 것을 확인하여 기하평균 및 기

하 표준편차를 구하였다. 근무 연한, 나이, 흡연 유무와의 상관성은 다중회귀분석(multiple regression)을 사용하여 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 혈중 납농도 분석의 정확도 및 재현성

혈액과 같은 생물학적 시료들은 화학적으로 복잡한 물질들의 혼합체이므로 원칙적으로 조성이 같은 표준 물질들의 제도가 불가능하다. 시료의 비중이나 공존하는염, 단백질 등의 방해물질의 영향 등을 제거하기 위하여 시료에 일정량의 표준 물질을 첨가하는 표준물질 첨가법에 의하여 그림 1과 같이 검량선을 얻었다. 25, 50, 100 ug/dL에 해당하는 표준용액을 첨가하였고 검량선이 x축과 만나는 절편의 값으로부터 시료 중의 납 농도값을 얻었다.

생체시료와 같이 복잡한 Matrix로 구성된 시료의 경우 원자 흡광광도계에 의한 특정 원소의 정량에서 가장 중요한 것은 공존하는 복합 성분에서의한 바탕치의 보정이다. 납의 경우 283 nm에서 정량하게 되는데 ashing 과정에서 충분히 제거되지 못한 공존 성분에 의하여 절대 흡광치가 올라가게 된다. 따라서 기기적인 방법으로 바탕치를 보정하게 되는데 기존의 농도를 알고있는 동일 matrix를 갖는 시료로 절대 흡광도치를 표준화하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 NIST의 표준시료를 사용하였으며 각 농도에서의 흡광도 수치는 표 6에 표시했다. 시료 분석의 정도 관리를 위하여 매회 측정시 NIST(미 표준국)에서 구입한 기준 시료에 대하여 맹 시험을 하여 결과를 대조하고 기기 조건을 표준화하여 측정하였다. (표6)

Table VI. Accuracy for the determination of standard reference material.

Conc. of SRM (ug/dl)	Number of assays	Mean conc. (ug/dl)	Average recovery	Recorded absorbance
5.01 ± 0.09	10	5.21	104 %	0.034 ± 0.004(11%)
13.53 ± 0.13	8	14.23	102 %	0.094 ± 0.005(8%)
30.63 ± 0.32	8	30.52	99.7 %	0.213 ± 0.011(5%)
54.43 ± 0.38	6	58.62	108 %	0.378 ± 0.010(3%)

또한 사업장에서 채취한 혈액 중 일부에 대하여 2명의 실험자가 Deuterium lamp 및 Zeeman effect를 사용한 background correction방식의 2대의 기기로 측정한 데이터를 얻어 비교하였다(그림 2). 2명의 실험자에 의해 얻어진 데이터는 $r = 0.99$ 의 상관성을 보여주었으며 $Y(\text{Deuterium}) = 1.023X(\text{Zeeman}) + 0.39$ 의 상관식을 갖는 것으로 나타났다. 즉 Deuterium correction 방식이 Zeeman correction방식에 비하여 약간 높은 측정값을 갖는 것으로 나타났다. 얻어진 데이터들의 상대적인 비교 분석을 위하여 이후의 측정은 Deuterium correction 방식의 기기를 사용하였다.

3.2. 대조군의 혈중 납 농도

대조군의 성별, 지역별 혈중 납 농도는 대수 정규분포를 하고 있었으며 조사 대상자들의 혈중 납 농도의 기하 평균 및 기하 표준 편차는 표 7과 같다. 직업적으로 납에 폭로되지않은 성인 근로자 525명의 혈중 납 농도의 기하 평균은 $6.23 \mu\text{g/dL}$ 였으며 남자 316명의 혈중 납 농도의 평균치는 $6.80 \mu\text{g/dL}$, 여자 209명의 평균치는 $5.37 \mu\text{g/dL}$ 이었으며 남자가 여자에 비하여 통계적으로 유의하게 ($p < 0.0001$) 높았다.

대조군의 지역별 혈중납의 차이는 남자의 경우 경기-서울 및 경기-전주 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(표 8). 여자의 경우 경기-서울, 경기-충주 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(표 9).

그림 3에 각 지역의 남녀별 혈중 납 농도의 분포를 표시했다.

Table VII. 대조군의 지역별, 성별 혈중 납 농도 (ug/dl).

지역	성별	표본수	평균 (최소값 - 최대값)	표준편차
서울	남	121	6.18 (2.3 - 21.3)	1.42
	여	133	4.95 (1.8 - 18.7)	1.43
경기	남	66	8.17 (3.6 - 12.8)	1.28
	여	52	6.86 (3.7 - 10.6)	1.29
충주	남	79	7.05 (3.4 - 29.63)	1.38
	여	21	3.96 (1.9 - 5.39)	1.31
전주	남	50	6.08 (1.9 - 18.98)	1.52
	여	3	6.10 (5.8 - 6.39)	0.23
전체	남	316	6.80 (1.9 - 29.63)	1.44
	여	209	5.37 (1.8 - 10.6)	1.45
계		525	6.233 (1.8 - 29.63)	1.46

Table VIII. 대조군 남자에 있어서 각 지역별 혈중납 농도의
차이 (95% 유의 수준, ** 차이 있음)

지역	서울	경기	충주	전주
서울	-	**		
경기	**	-		**
충주			-	
전주		**		-

Table IX. 대조군 여자에 있어서 각 지역별 혈중납 농도의
차이 (95% 유의 수준, ** 차이 있음)

지역	서울	경기	충주	전주
서울	-	**		
경기	**	-	**	
충주		**	-	
전주				-

3.3. 대조군에 있어 흡연, 나이와 혈중 납 농도의 상관성

그림 4와 그림 5에 각각 남녀별 혈중 납과 나이와의 상관관계를 표시했다. 대조군에서 나이와 혈중 납 농도는 상관관계가 없는 것으로 나타났다(남자 $r = 0.026$, 여자 $r = 0.024$). 표 8에 대조군 남자에 있어 흡연 및 비흡연가에 대한 혈중 납의 평균값 및 T test결과를 표시했다. 대조군 남자에 있어 흡연 및 비흡연가에 대한 혈중 납의 분포는 대수 정규 분포를 하고 있었으며 남자중에서 흡연자의 혈중 납의 기하 평균값은 7.20 $\mu\text{g/dL}$ 로 비흡연 남자 6.41 $\mu\text{g/dL}$ 와 비흡연 여자 5.37 $\mu\text{g/dL}$ 에 비하여 95% 유의 수준에서 통계적으로 유의하게 높았다($p < 0.0005$). 비흡연 남자의 경우도 비흡연 여자에 비하여 95% 유의 수준에서 통계적으로 유의하게 높았다($p < 0.0005$).

Table X. 흡연, 비흡연군 간의 혈중납 농도 비교(95% 유의 수준)

	표본수	혈중납 농도 (최소값 - 최대값)	편차
흡연 남자	156명	7.20 (2.6 - 14.98)	1.39
비흡연 남자	160명	6.41 (2.3 - 21.3)	1.46
	T value	3.5409	$p < 0.05$
비흡연 남자	160명	6.41 (2.3 - 21.3)	1.46
비흡연 여자	209명	5.37 (1.8 - 10.6)	1.45
	T value	4.3583	$p < 0.01$

3.4. 납 사업장 근로자들의 업태별 혈중 납농도

11개 납 사업장의 근로자 245명을 대상으로한 혈중 납 농도의 분포를 그림 6에 표시하였으며 각 사업장별 혈중 납 농도의 산술평균값 및 편차, 최대값, 최소값을 표 9에 정리하였다.

Table XI. 11개 사업장 근로자들의 혈중 납 농도

사업장 코드	업태	N	평균*(최소값-최대값) (ug/dl)	표준편차**
A1	2차 제련업	12	62.95 (23-85.3)	1.42
A2	2차 제련업	18	63.98 (33.2-93.9)	1.37
B1	축전기 제조	55	34.61 (13-84)	1.70
B2	축전기 제조	12	35.94 (52.7-20.2)	1.34
B3	축전기 제조	48	28.73 (14.1-59.2)	1.47
C1	무기 안료	19	40.75 (16-84)	1.47
C2	무기안료	12	21.41 (11-65)	1.77
C3	무기안료	15	25.84 (12.5-54.3)	1.59
C4	PVC 안정제	24	65.02 (44-102)	1.21
D1	비철 금속	10	10.19 (6.2-25.3)	1.62
D2	비철 금속	20	13.99 (5.7-24.2)	1.41
Total		245	39.41 (5.7-102)	22.18

* 기하 평균

** 기하 표준 편차

2차 제련업으로 분류된 A1, A2 사업장의 경우 폐축전지로 부터 연기를 생산하는 사업장으로 혈중 납 농도의 평균치가 모두 직업병 인정 기준치인 60 ug/dl를 넘고있어 이 업태에서 고농도의 납 폭로가 있음을 나타내고 있다. 축전기 제조업인 B1, B2, B3 사업장의 경우 동종의 사업장에서 사업장의 작업 환경 관리가 잘되고 있는 B3 사업장의 경우 혈중 납 농도가 B1, B2 사업장에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

PVC 안정제를 생산하는 C4 사업장의 경우 혈중 납 농도의 평균치가 기준치를 초과하고 있는데 이 사업장의 경우 분말 형태의 납화합물 생산 업체로 분진의 비산등에서 오는 과폭로 가능성이 높았던 것으로 생각된다. 무기 안료 제조 회사인 C1, C2, C3 사의 경우, 보호구 착용 실태 및 작업장 환기가 불량했던 C1 사업장의 평균 혈중 납 농도가 동종의 타 회사에 비하여 높게 나타나 작업 환경 관리의 중요성을 말해 주고 있다.

비철 금속 사업장인 D1, D2 사의 경우 카드뮴 등 기타 금속 혼합물의 용접 붐을 제작하는 회사로 대조군 보다는 약간 높지만 저농도의 혈중 납 농도를 나타내고 있다.

A, B, C, D 4개 그룹의 납 사업장 업태별 혈중납 농도는 SAS 프로그램을 사용하여 대수 정규 분포하는 것을 확인하였으며 혈중납 농도의 기하 평균 및 기하 표준편차를 표12에 정리하였다.

Table XII. 직업적으로 납에 폭로된 근로자의 업태별 혈중 납 농도

사업장 업태	사업장 코드	N	기하평균(최소값-최대값)	표준편차
제련업	A	30	63.52 (23-93.5)	1.38
축전지 제조	B	115	32.16 (13-84)	1.59
무기안료	C	70	38.86 (13-84)	1.79
비철금속	D	30	12.59 (5.7-25.3)	1.52
Total		245	32.89 (5.7-102)	1.89

폭로군 245명의 혈중 납 농도의 기하 평균은 32.89 $\mu\text{g/dL}$ 였으며 B-C군 간을 제외한 A-B, A-C, A-D, B-D, C-D군 간에는 95% 유의 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다(표 13).

제련업으로 분류된 A 군이 가장 높은 혈중 납 농도를 보였으며 무기 안료, 축전지 제조업이 상대적으로 낮은 혈중 납 농도를 보였다. 무기 안료, 축전지 제조업 간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 그러나 무기 안료 제조업으로 분류된 사업장의 경우 혈중 납 농도의 기하 표준 편차가 1.79로, 전술한 바와 같이 작업 환경 관리가 제대로 이루어지고 있는 사업장과 그렇지 않은 사업장 간의 차이가 있었다. 비철 금속 사업장은 가장 낮은 혈중 납 농도를 보였다.

Table XIII. 폭로군에 있어서 사업장 업태별 혈중 납 농도의
차이 (95% 유의 수준, ** 차이 있음)

업태	A	B	C	D
A	-	**	**	**
B	**	-		**
C	**		-	**
D	**	**	**	-

3.5. 납폭로 근로자에 있어 흡연, 근무 연한과 혈중 납 농도의 상관성

본 연구에 동의하여 설문에 응한 근로자들을 중심으로 나이, 근무 연한, 흡연 정도와 혈중 납 농도와의 상관성을 조사하였다. 그림7에 혈중 납과 나이와의 상관성을 표시하였다. 나이와 혈중 납과는 $r = 0.361$ ($N = 223$, $p < 0.0001$)의 상관성이 있었다. 그러나 근무 연한이 긴 사람 중에 나이가 많은 사람이 많으므로 이 상관성은 근무 연한에 의한 상관성을 반영한 것으로 생각된다.

그림 8에 혈중 납과 근무연한과의 상관성을 표시했다. 근무연한과 혈중 납과는 $r=0.258$ ($N = 134$, $p<0.0025$)의 상관성이 있었다. 이것은 전체 사업장을 대상으로 상관성을 본 것으로, 실제 사업장의 폭로 정도가 모두 다른 경우 폭로 농도에 의해 더 크게 영향 받기 때문에 동일 사업장내에서 상관성을 조사해 볼 필요가 있다.

흡연 정도와 혈중 납 농도와의 상관도는 $r = 0.130$ ($N = 28$, $p < 0.508$)로 흡연 정도의 영향이 작업환경 영향에 비하여 상대적으로 낮으므로 상관성이 약하였다(그림 9). Multiple regression 에 의한 상관식은 $PB\ BLOOD = 0.005439\ AGE + 0.001781\ DUR + 0.1367\ SMOKING + 1.3431$ (흡연자 $SMOKING=1$, 비흡연자 $SMOKING = 0$, $AGE = year$, $DUR = months$, $r = 0.4838$)으로 나타났다.

전술한 바와 같이 실제 사업장의 폭로 정도가 모두 다른 경우 폭로 농도에 의해 더 크게 영향 받기 때문에 동일 사업장내에서 상관성을 조사해 볼 필요가

있다. 따라서 동일한 사업장의 55명 근로자에 대하여 나이, 근무연한에 따른 혈중 납과의 상관성을 검토하였다. 나이와 혈중 납과의 상관성은 $r = 0.386$ ($p < 0.0035$)였으며 근무 연한과의 상관성은 $r = 0.425$ ($p < 0.0012$)로 나타났다. 여러 사업장의 전체 폭로군이 폭로 정도에 따라 가장 큰 영향을 받으며 혈중 납 농도가 변하는 것에 비하여 단일 그룹 내에서는 근무 연한과 혈중 납 농도가 가장 큰 상관 관계가 있는 것으로 나타났다. 표 14에 혈중 납과 각 변수와의 상관 계수를 정리했다.

Table XIV. 폭로군에 있어서 혈중 납과 나이, 근무 연한, 흡연정도와의 상관 계수

폭로군	변수	N	r	p
전체*	나이	223	0.306	0.0001
	근무 연한	134	0.259	0.0025
	흡연 정도	28	0.130	0.5086
B1	나이	55	0.386	0.0035
	근무 연한	55	0.426	0.0012

* PB BLOOD = $0.005439 \text{ AGE} + 0.001781 \text{ DUR} + 0.1367 \text{ SMOKING} + 1.3431$ (흡연자 SMOKING=1, 비흡연자 SMOKING = 0, AGE = year, DUR = months, $r = 0.4838$)

IV. 결 론

1. 흡연로 장치가 부착된 원자흡광광도계를 이용한 혈중 납 분석을 위한 최적 조건을 조사하였다.
2. 직업적으로 납에 폭로되지 않은 성인 근로자 525명 중 남자 316명의 혈중 납 농도의 평균치는 6.80 $\mu\text{g/dL}$, 여자 209명의 평균치는 5.37 $\mu\text{g/dL}$ 이었으며 남자가 여자에 비하여 통계적으로 유의하게 ($p < 0.0001$) 높았다. 대조군에서 나이와 혈중 납 농도는 상관관계가 없는 것으로 나타났다. (남자 $r = 0.026$, 여자 $r = 0.024$).
3. 대조군의 남자중에서 흡연자의 혈중 납의 평균값은 7.20 $\mu\text{g/dL}$ 로 비흡연 남자 6.41 $\mu\text{g/dL}$ 와 비흡연 여자 5.37 $\mu\text{g/dL}$ 에 비하여 통계적으로 유의하게 높았다($p < 0.0005$). 비흡연 남자의 경우도 비흡연 여자에 비하여 통계적으로 유의하게 높았다($p < 0.0005$).
4. 대조군의 지역별 혈중납의 차이는 남자의 경우 경기-서울 및 경기-전주 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(confidence = 0.95). 여자의 경우 경기-서울, 경기-충주 간에 95% 유의 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다.
5. 폭로군 245명의 혈중납 평균은 32.89 $\mu\text{g/dL}$ 였으며 B-C군 간을 제외한 A-B, A-C, A-D, B-D, C-D군 간에는 95% 유의 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 제련업으로 분류된 A 군이 63.52 $\mu\text{g/dL}$ 로 가장 높은 혈중 납 농도를 보였으며 무기 안료(B군, 38.86 $\mu\text{g/dL}$), 축전지 제조업(C군, 32.16 $\mu\text{g/dL}$)이 상대적으로 낮은 혈중 납 농도를 보였다. 무기 안료, 축전지 제조업 간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 그러나 무기 안료 제조업으로 분류된 사업장의 경우 혈중 납 농도의 기하 표준 편차가 1.79로, 작업 환경 관리가 제대로 이루어지고 있는 사업장과 그렇지 않은 사업장 간의 차이가 있었다. 비철 금속 사업장(D군, 12.59 $\mu\text{g/dL}$)은 가장 낮은 혈중 납 농도를 보였다.
6. 전체 폭로군에 대한 근무연한과 혈중 납과는 $r = 0.258$ ($p < 0.0025$)의 상관성이 있었으며 흡연 정도와 혈중 납 농도와의 상관도는 $r = 0.130$ ($p < 0.508$)로 상관성이 약하였다. 실제 사업장의 폭로 정도가 모두 다른 경우 폭로 농도에 의해 더 크게 영향 받기 때문에 동일 사업장내에서 상관성을 조사했다. 동일한 사업장의 55명 근로자에 대하여 근무연한에 따른 혈중 납과의 상관성은 $r = 0.425$ ($p < 0.0012$)로 나타났다. 여러 사업장의 전체 폭로군이 폭로 정도에 따라 가장 큰 영향을 받으며 혈중 납

농도가 변하는 것에 비하여 단일 그룹 내에서는 근무 연한과 혈중 납 농도가 가장 큰 상관 관계가 있는 것으로 나타났다.

V. 참고문헌

1. P.O.Droz, Biological Monitoring I : Sources of variability in human response to chemical exposure, Appl. Ind. Hyg., 4(1), F20, 1989
2. R.L.Zielhuis, " Approaches in the development of biological monitoring methods " p 373, A. Aitio, V. Rihimaki and H. Vaino, Ed., Hemisphere, Washington , D. C.,1984
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists : Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1988-1989. ACGIH, Cincinnati, OH (1989)
4. American Conference of Governmental Industrial Hygienists : Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 5th ed. ACGIH, Cincinnati, OH (1986)
5. Deutsche Forschungsgemeinschaft : Maximum Concentration at the workplace Biological Tolerance Values for Working Materials, 1988. VCH verlagsgesellschaft mbH, weinheim, FRG(1988)
6. Alessio, L., Foa, V., Lead. In : Human biological monitoring of European Communities Luxembourg (1983)
7. Sakurai, H., Sugita,M., Biological Response and subjective symptoms in low level lead exposure, Arch. Environ. Health 29, 157-163(1974)
8. D. Novel, Blood lead measurement takes the direct approach , Anal. Chem.,65(5), 265A, 1993
9. Okayama, A., Ogowa,Y., A new HPLC fluorimetric method to monitor urinary delta-aminolevulinic acid levels in workers exposed to lead, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 61, 297-302, 1982
10. Abe, K., Hori,T., Determination of Coproporphyrins I and III in urine, by HPLC, Jpn. J. Clin. Chem. 16, 33-37, 1987
11. D.Novel, Blood Lead measurement Takes the Direct Approach, Anal. Chem.,65(5),265, 1993.
12. P.S.I.Barry, A Comparison of Concentrations of Lead in Human Tissues, Brit. J. ind. Med.,32, 119, 1975.
13. S. Piomelli, L. Cccorash and M. B. Corash, Blood Lead Concentrations in a remote Himalayan population, Science, 210, 1135, 1980.
14. Vera Fiserova-Bergerova, M. Ogata, "Biological monitoring of exposure

- to industrial chemicals", ACGIH, 1990.
15. H. Kenneth Dillon, Mat H. Ho, "Biological monitoring of exposure to chemicals, Metals", Wiley-Interscience Pub., New York, 1991.
 16. T. Watanabe, Fujita H, Koiaumi A, Miyasaka M, Ikeda M, Baseline level of blood lead concentration among Japanese farmers, Arch Environ Health, 40(3), 170-176, 1985.
 17. 신 해림, 김 준연, 연 폭로 지표들의 정상치에 관한 연구, 예방의학회지 19권, 2호, 167, 1986.
 18. 김동일, 김용규, 김 정만, 정 갑열, 김 준연, 건강한 일부 도시지역 주민의 혈중 연 및 zinc protoporphyrin 농도, 예방의학회지, 25권, 3호, 287, 1992.
 19. 안 규동, 이 성수, 이 병국, 김 두희, 연폭로자에 있어서 신기능에 관계된 생물학적 지표 변화, 대한 산업 의학회지, 5권, 1호, 58, 1993.
 20. 김 강균, 김현옥, 정상인에 있어서 혈중연과 zinc protoporphyrin과의 상관관계 및 HPLC와 Hematofluorometer로 측정한 zinc proroporphyrin량 간의 비교, 한국 산업 위생학회지, 3권, 2호, 141, 1993.
 21. 이 경용, 업종별 납중독 유소견자 실태, "납 취급 근로자의 건강 장애 - 세미나 보고서", 근로복지공사 직업병 연구소, 직연보 13-90-2, 1990.
 22. J. Rosenberg, Biological monitoring required by state government, ACGIH, 1990.
 23. Carl Zenz, Occupational medicine : Principles and practical applications, Chicago, Year Book Publishers Inc., 1988
 24. M. M. Joselow and J.C.Flores, Application of Zinc Protoporphyrin Tests as a Monitor of Occupational Exposure to Lead, Am. Ind. Hyg. Asso. J., 18, 63, 1977.
 25. J. Clausen and S. C. Rastogi, Heavy Metal Pollution among Autoworkers, I. Lead., Brit. J. of Ind. Med., 34, 208, 1977.

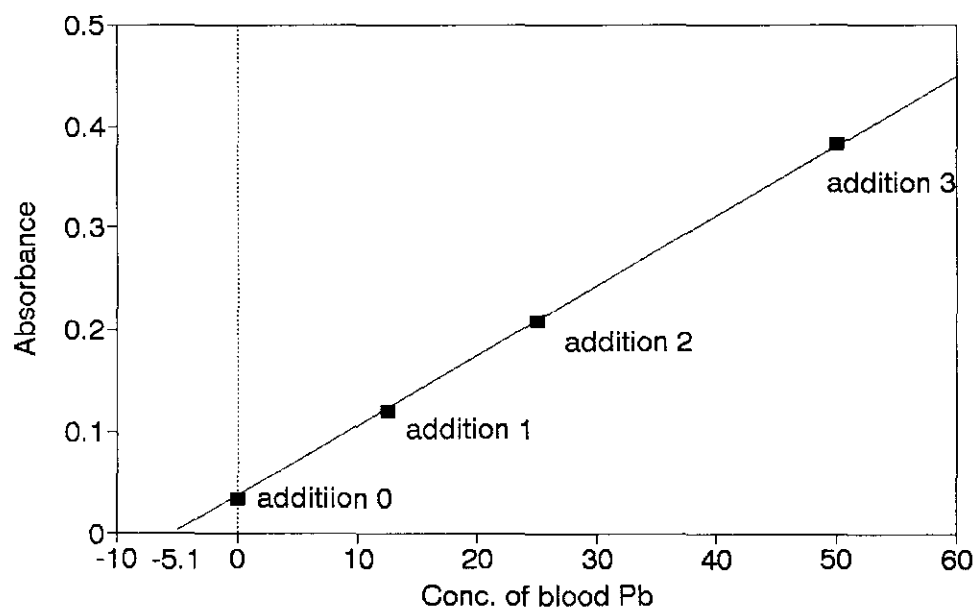


Fig. 1. Standard addition graph. Intercept of X axis means the concentration of sample.

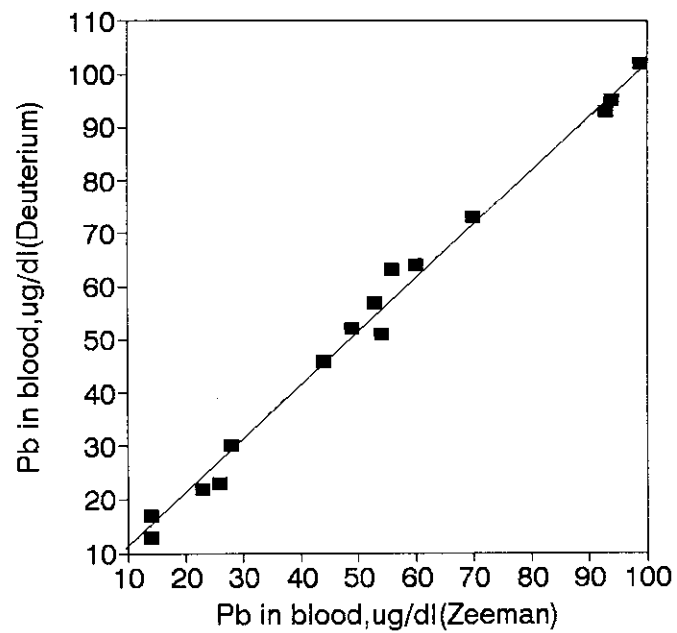


Fig. 2. Results of intercomparison of monitoring blood samples between two persons. $Y(\text{Deuterium}) = 1.023X(\text{Zeeman}) + 0.39$ ($r=0.99$, $N=15$).

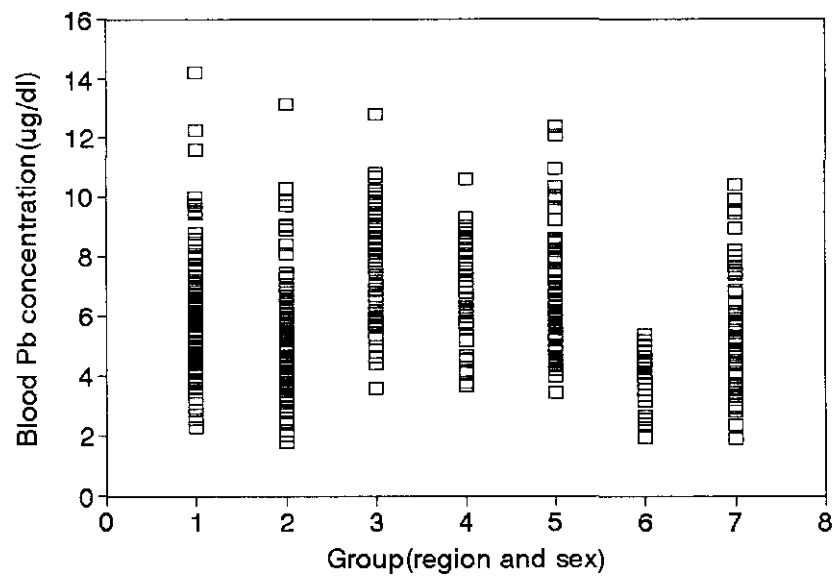


Fig. 3. Distribution of blood lead concentration for the control group
 (1=Seoul male, 2=Seoul female, 3=KyeongKi male, 4=KyeongKi
 female, 5=ChoongJu male, 6=ChoongJu female, 7=JeonJu male).

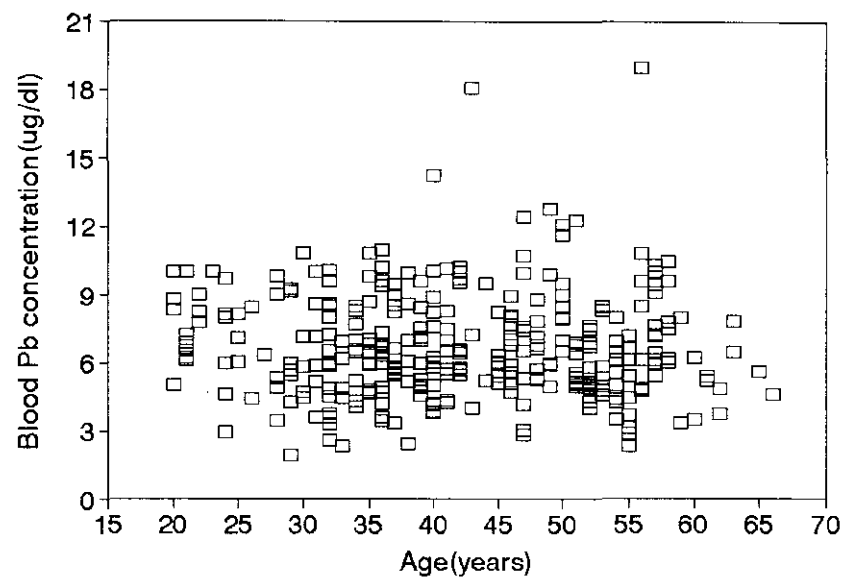


Fig. 4. Correlation between age and blood lead concentration in the control male group ($r=0.026$, $N=316$).

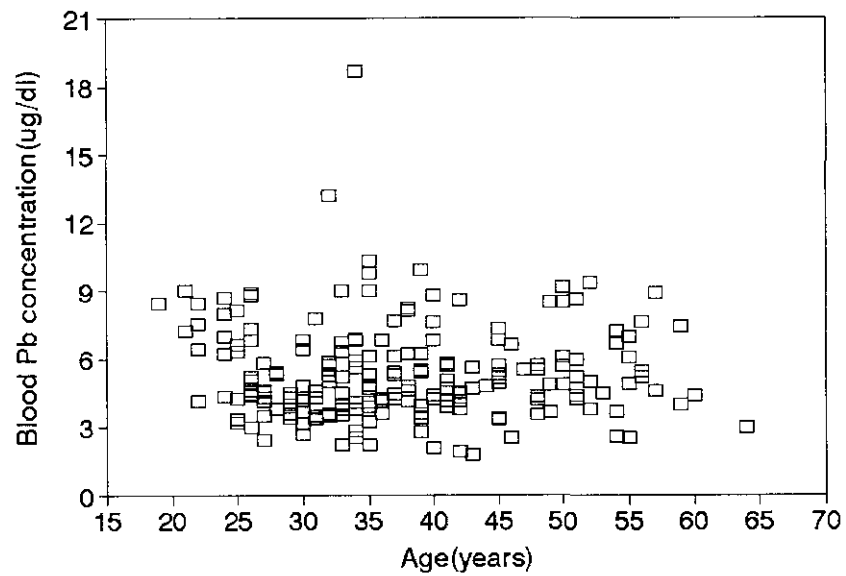


Fig. 5. Correlation between age and blood lead concentration in the control female group ($r=0.024$, $N=209$).

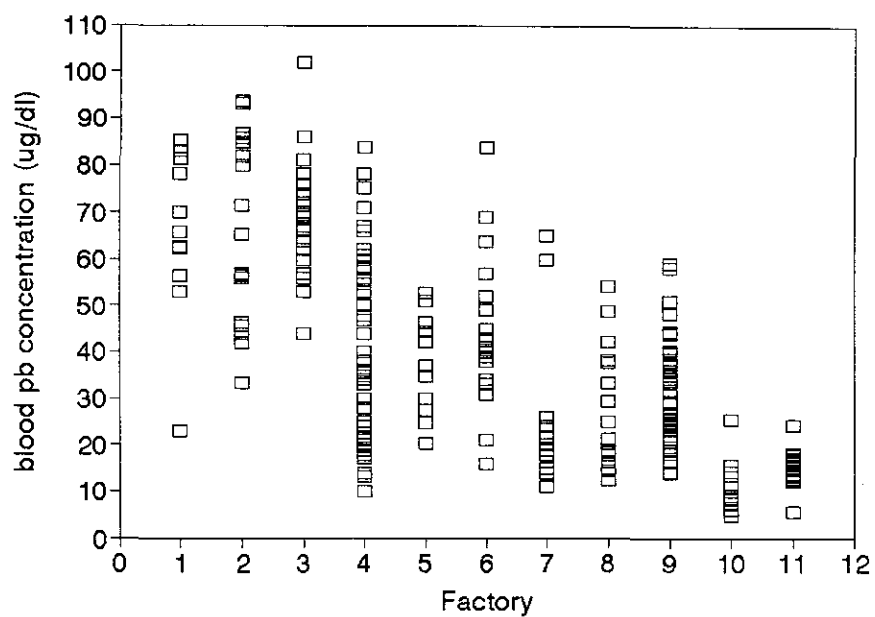


Fig. 6. Distribution of blood lead concentration for the exposed group taken from 11 factories using lead (1=A1, 2=A2, 3=A3, 4=B1, 5=B2, 6=C1, 7=C2, 8=C3, 9=D1, 10=D2, 11=D3).

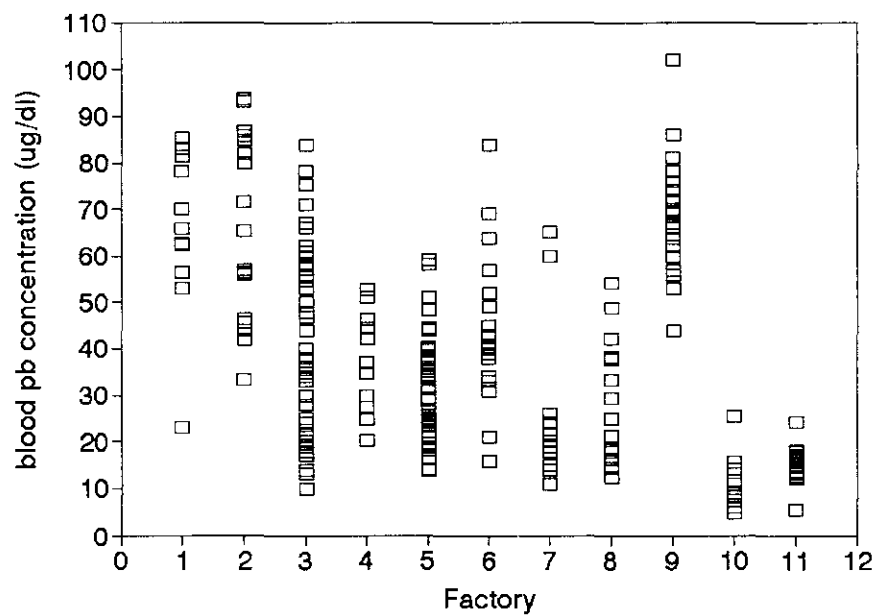


Fig. 6. Distribution of blood lead concentration for the exposed group taken from 11 factories using lead (1=A1, 2=A2, 3=B1, 4=B2, 5=B3, 6=C1, 7=C2, 8=C3, 9=C4, 10=D1, 11=D2).

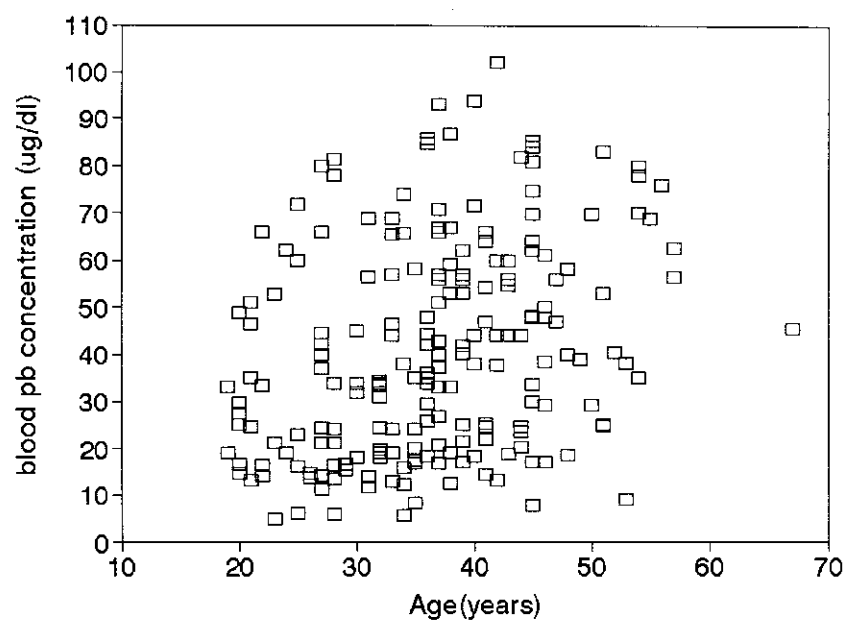


Fig. 7. Correlation between age and blood lead concentration in the exposed group ($r=0.361$, $N=227$).

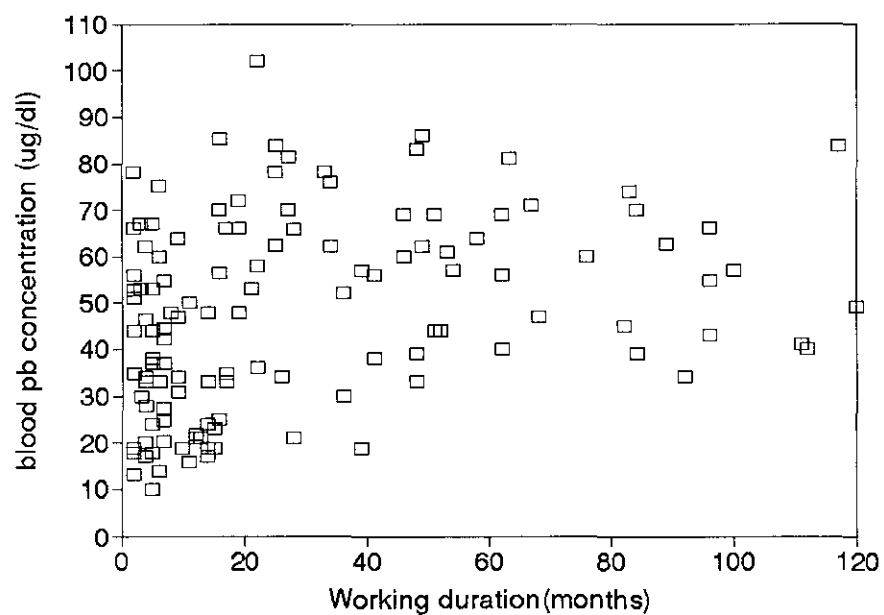


Fig. 8. Correlation between working duration and blood lead concentration in the exposed group ($r=0.258$, $N=134$).

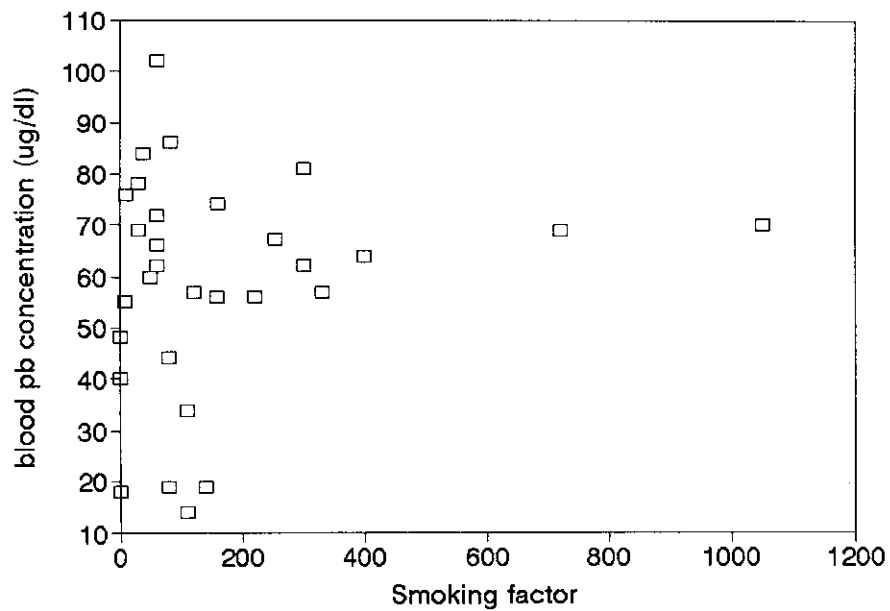


Fig. 9. Correlation between smoking factor and blood lead concentration in the exposed group (smoking factor=smoking year x No. of cigarette per day, $r=0.130$, $N=30$).

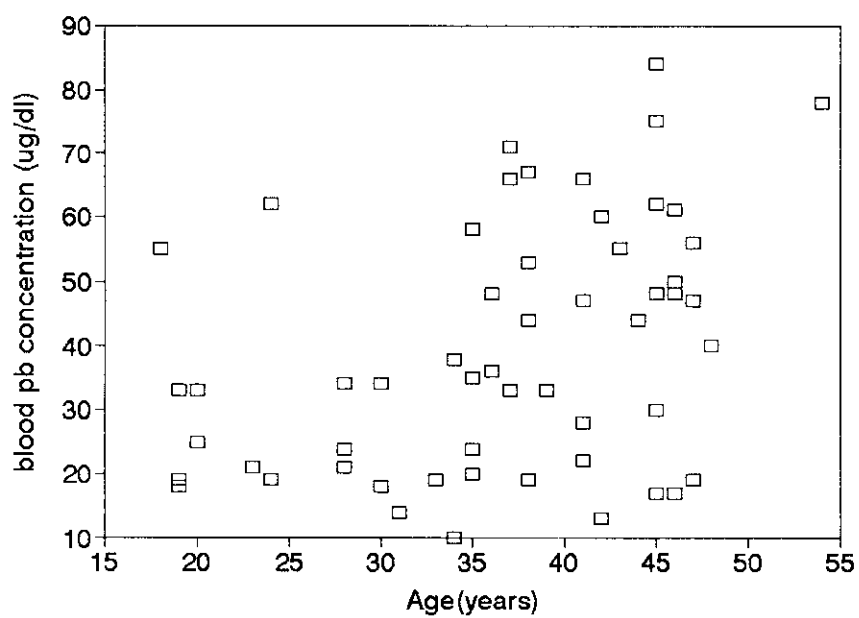


Fig. 10. Correlation between age and blood lead concentration in factory B1 workers ($r=0.368$, $N=55$).

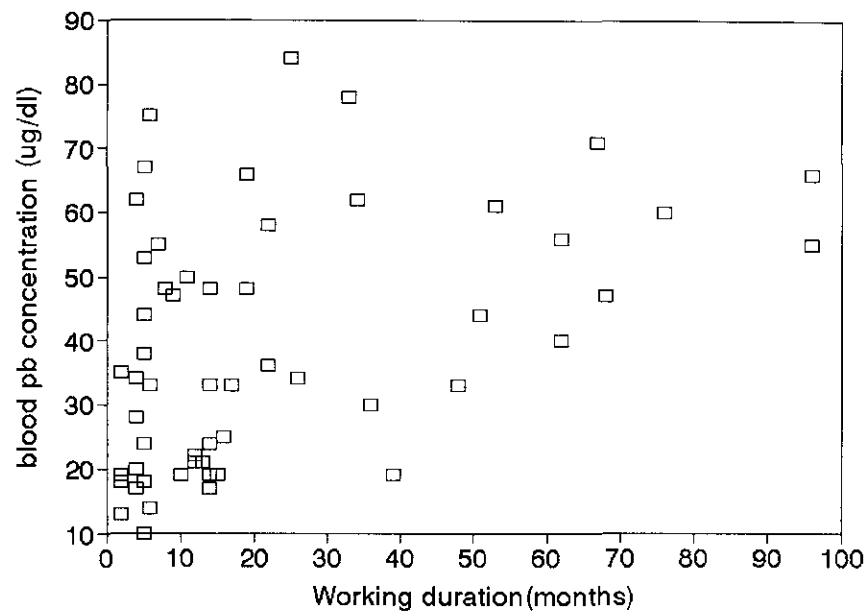


Fig. 11. Correlation between working duration and blood lead concentration in factory B1 workers ($r=0.425$, $N=55$).

업종별 납취급 근로자의
생물학적 모니터링 연구
(94-4-7)

발행일 : 1994. 12

발행인 : 문 영 한

발행처 : 한국산업안전공단 산업보건연구원

인천직할시 북구 구산동 34-4

전화 : (032) 518-0861

인쇄처 : 성일문화사 267-3676

〈비매품〉