

개인용 공기포집기를 이용한 기중 연농도와 생물학적 연 폭로지표와의 관련성

동아대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업의학연구소
이행렬 · 김정만 · 정갑열 · 김준연

=Abstract=

Relationship between the Biological Lead Exposure Indices and Air lead Concentrations measured by Personal Air Samplers

Haeng Ryeol Lee, Jung Man Kim, Kap Yull Jung, Joon Youn Kim

*Department of Preventive Medicine and The industrial Medicine Research Institute, Dong-A University
College of Medicine*

This study was carried out to evaluate the relationship between the biological lead exposure indices and air lead concentrations measured by personal air samplers.

The 72 occupationally lead exposed workers were observed and the biological lead exposure indices chosen for this study were blood lead(PbB), urine lead(PbU), zinc protoporphyrin in whole blood(ZPP), δ -aminolevulinic acid in urine(ALAU), δ -aminolevulinic acid dehydratase activity(ALAD), coproporphyrin in urine(CPU) and hemoglobin(Hb).

The workers were divided into four groups by air lead concentrations: Group I; under 0.05mg/m³, Group II; 0.05-0.10mg/m³, Group III; 0.10-0.15mg/m³ and Group IV; and over 0.15mg/m³. For evaluation the relationship between the biological lead exposure indices and air lead concentrations was used as correlation coefficients.

The results obtained were as follows:

1. In Group I, II, III and IV, the mean value of PbB were $25.45 \pm 1.84\mu\text{g/dl}$, $27.87 \pm 3.53\mu\text{g/dl}$, $31.21 \pm 1.76\mu\text{g/dl}$ and $47.02 \pm 13.96\mu\text{g/dl}$. Between Group IV and other groups showed statistically significant difference($p < 0.05$).

2. There was an increasing tendency of PbB, PbU, ALAU and ZPP according to the increase the mean air lead concentration, while ALAD has decreasing tendency. CPU and Hb did not show any constant tendency.

3. Correlation coefficients between PbB, PbU, ZPP, ALAU, ALAD, CPU, Hb and air lead concentration were 0.95, 0.83, 0.89, 0.72, -0.83, 0.51 and -0.45 respectively, and regression coefficient between PbB(Y) and PbA(X) was $Y = 126.8746 X + 16.9996$ ($P < 0.01$).

Key words: personal air sampler, air lead concentration, biological lead exposure indices.

1. 서 론

연(鉛)은 비철금속의 하나로 지각에서 1g당 12 μ g 정도로 분포되어 있으며 생산량의 약 90%는 무기연으로 합금제조 및 무기화합물 생산에 사용되고 그 나머지는 유기연으로 가솔린 첨가제 등으로 사용되어 각종 산업 및 일용품 제조분야에 널리 이용되고 있다 (John M Last와 Robert B Wallace, 1992).

히포크라테스 시대에 연광산 근로자의 복부선통에 관한 기록에서 알 수 있듯이 고대뿐 아니라 오늘날에도 인체독성을 유발하는 유해물질로서 연취급 사업장에서의 흡 및 분진으로 인한 직업적 폭로는 물론 일반 국민들에 대한 환경적 폭로도 심각한 문제이다 (Hunter, 1962; Zenz, 1988).

연의 체내 축적으로 인한 건강장해는 크게 조혈기능 장애, 중추신경 및 말초신경 장애, 신장기능 장애, 소화기계 장애 등(Hernberg 등, 1970; Baker 등, 1979; Seppäläinen 등, 1979; Seppäläinen과 Hernberg, 1980; Goyer 등, 1989)으로 나눌 수 있으며, 근래에 와서는 염색체 변이, 수정력 감소, 유산을 증가, 선천성 기형 유발 등 (Forni 등, 1976; Cullen 등, 1984; Assennato 등, 1986)을 보고하고 있다.

연에 장기간 폭로되면 체내에 축적되어 여러 장해를 가져오므로 미리 폭로를 예방하기 위한 철저한 작업환경관리가 요구되고 있다. 즉, 연취급 사업장의 기중 연농도(PbA)를 허용농도 이하로 유지하여 적절한 작업환경 및 작업조건이 되도록 하여야 하며, 동시에 연취급 근로자들의 체내에 흡수된 연의 축적량을 측정하고 실제 건강에 미치는 영향을 평가하는 생물학적 정보관리 자료를 작성하여 적절한 예방대책을 강구하여야 한다(Lilis 등, 1985).

연중독의 진단은 직력, 자각 및 타각증상, 혈액소견 등에 주로 의존하는데 특히, 연취급 사업장에서 연과다 흡수자를 색출하기 위한 검사로는 혈중연량(PbB) 외에 요중연량(PbU), 혈색소치(Hb), heme의 전구물질인 δ -aminolevulinic acid치(ALAU),

coproporphyrin의 요중 배설량(CPU), heme 합성에 관여하는 효소인 적혈구 내의 δ -aminolevulinic acid dehydratase 활성치(ALAD), 혈중 zinc protoporphyrin치(ZPP) 측정 및 신경계통의 장애를 알아내기 위한 신경전도 속도 측정 등이 이용되고 있다(Haeger-Arosen, 1960; Cramer와 Slender, 1965; Tomokuni, 1974; Seppäläinen 등, 1975; Blumberg 등, 1977; John W Sons, 1981; 김정만과 이광목, 1984).

선진국에서는 연취급 사업장에서 적절한 공학적 환경관리와 함께 근로자들의 건강관리를 적절하게 시행함으로써 중증 연중독 환자는 상대적으로 과거보다 감소하고 있어서 과거에는 문제시 되지 않았던 경미한 경우나 단순한 과잉축적으로 인한 생리적 변화에 더 많은 관심을 기울이고 있다(Malcolm, 1971; WHO, 1979). 그러나 우리나라의 연취급 사업장에 있어서 PbA 허용기준 초과 건수율은 1983년부터 1990년까지 8년동안 연평균 8.9% 나타나서 매년 약 41명에서 117명 정도의 연중독 유소견자가 여전히 발생하고 있다(대한산업보건협회, 1983-1989).

우리나라 노동부가 정한 총 697개 유해물질의 허용농도(8시간 가중평균치)를 미국의 산업위생사 전문가 협의회(ACGIH)의 허용농도와 비교하여 보면 허용농도가 ACGIH와 같거나 높은 물질이 498개이다. 한편, 낮게 설정되어 있는 물질이 99개로 이들 대부분은 유기용제이며 서로 근소한 차이를 보이고 있는 반면 99개중 중금속은 단지 연화합물 하나뿐으로 많은 허용기준치 차이를 보이고 있다. 즉, 각 국가 및 기관별 무기연의 허용기준을 비교해 보면 미국의 ACGIH는 0.15mg/m³, 스웨덴은 0.10mg/m³, 우리나라 노동부는 0.05mg/m³로 설정해 있다(노동부 근로기준국 산업안전과, 1988; ACGIH, 1989).

본 연구는 일반적으로 작업장의 기중 연농도를 측정하는 방법에서 나타날 수 있는 문제점을 보완하기 위해 실제 연취급 사업장에서 근로자 개인이 피폭되는 양을 개인용 공기포집기로 측정한 기중 연농도와 아울러 이들 근로자 개인의 생물학적 연 폭로지표들을 파악하여 기중 연농도와 생물학적 연 폭로지표와

의 관련성을 구명하여 연취급 근로자들과 연취급 사업장의 효율적인 관리에 일조하며, 추후 이와 유사한 환경요인들에 대한 연구가 이루어질 수 있도록 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 연구대상 및 분석방법

1. 연구대상

경상남도 양산군에 소재하는 모 회사의 야금장에서 저농도 및 중등도의 기중 연분진 및 흡에 직업적으로 폭로되고 있는 남자 근로자 62명과 부산시 북구에 소재하고 있는 무기안료 제조회사에서 고농도의 기중 연분진 및 흡에 직업적으로 폭로되고 있는 남자 근로자 12명을 조사대상으로 하였다. 이들이 근무하는 작업장에서 개인용 공기포집기로 측정된 PbA를 우리나라 노동부와 스웨덴 및 ACGIH의 허용기준(8시간 가중평균치)에 따라 0.05mg/m³미만군(이하 'I군'으로 약함), 0.05-0.10mg/m³군(이하 'II군'으로 약함), 0.10-0.15mg/m³군(이하 'III군'으로 약함) 및 0.15mg/m³이상군(이하 'IV군'으로 약함)으로 구분하였다.

2. 시료포집 및 분석

시료의 포집은 1992년 2월 25일부터 같은 해 3월 6일까지 2주일 동안 작업시작때 부터 작업종료때 까지 실시하였으며, 각 시료별 포집 및 분석방법은 다음과 같다.

1) 작업장 기중 연

근로자 개인별 연 폭로농도는 개인용 공기포집기(personal air sampler, DuPont ALPHA-1)를 사용하여 미국 국립산업안전보건연구소(NIOSH)에서 제시하는 방법에 따라 포집하였다(Peter M Elter, 1984).

개인용 공기포집기의 유량은 분당 2.0L로 설정하고 여과지(mixed cellulose ester, SKC 225-5)가 들어있는 37mm 카세트 홀더에 포집기를 연결시킨 후, 작업자의 호흡기 위치에 부착시켜 최소 6시간이상 기중 연을 포집하였다. 측정횟수는 각 3회씩 총 222회를 실시하여 이중 근무지 이탈 등 오차가 발생

할 여지가 있는 18회를 제외한 204회를 분석하였으며 개인의 PbA는 3회의 평균값으로 산출하였다.

2) 혈액과 요시료

(1) 혈액시료: 작업종료 직후 진공 채혈기(Becton Dickinson Vacutainer)로 상완의 정맥부에서 약 10ml의 전혈을 채취하여 즉시 냉장 보관한 후 채혈한 시간부터 24시간 이내에 계면활성제인 1% Triton X-100으로 전처리한 후 5배(1:4) 희석하여 분석시 사용하였다.

(2) 요시료: 작업종료 직후의 즉시뇨를 산으로 세척한 폴리에틸렌 용기에 모아서 냉장 보관하여 분석시에 이용하였다.

3) 분석조건

PbA, PbB 및 PbU는 흑연로(graphite furnace)를 갖춘 원자흡광기(Shimadzu, Model 670-G, Japan)를 이용하여 파장 283.3nm, 슬릿 폭 1.0nm에서 건조온도 150°C로 30초간, 회화온도 500°C로 20초간, 원자화온도 1400°C로 3초간의 3단계를 거쳐서 측정하였다.

ZPP는 420-423nm의 스펙트럼을 이용하여 혈중 erythrocyte protoporphyrin을 정량하는 hemato-fluorometer(Helena Laboratories, ProtoFluor Z)로 같은 조건에서 3회 반복 측정하여 평균값을 산출하였다(Kaul 등, 1983; Parsons 등, 1989).

ALAU는 Tomokuni와 Ogata법(Tomokuni와 Ogata, 1972)으로, 적혈구내 ALAD는 Tomokuni방법(Tomokuni, 1974)으로, CPU는 Askevod 변법(久保田重孝, 1972)으로 각각 정량 분석하였으며, Hb는 자동혈구 계산기(Coulter Counter Model S pluse II)를 이용하였다.

3. 자료분석

자료의 분석은 SPSS/PC+(version 4.0) 통계 프로그램을 이용하여 각 항목의 산술평균, PbA와 연폭로지표간의 상관관계, 분산분석(SCHEFFE) 및 회귀분석 등을 실시하였다.

III. 성적

1. 근로자수 및 근무기간

I군, II군, III군 및 IV군에서의 평균 PbA는 표 1과 같이 각각 $0.039 \pm 0.008\text{mg/m}^3$, $0.079 \pm 0.012\text{mg/m}^3$, $0.125 \pm 0.012\text{mg/m}^3$ 및 $0.243 \pm 0.078\text{mg/m}^3$ 이었으며, 전체 평균 PbA는 $0.127 \pm 0.093\text{mg/m}^3$ 이었다.

조사대상자 74명의 PbA수준별 분포를 보면 II군이 25명(33.8%)으로 가장 많았으며, 다음이 IV군, I군 및 III군의 순으로 각각 23명(31.1%), 16명(21.6%) 및 10명(13.5%)이었다. 조사대상자의 근무기간은 IV군이 61.6 ± 55.1 개월로 가장 길었고, III군이 11.0 ± 10.8 개월로 가장 짧았으며, 전체 근무기간은 37.7 ± 44.8 개월이었다. 한편, 조사대상자들의 전체 평균연령은 30.42 ± 8.19 세

Table 1. Number of subjects and work duration(WD) by PbA level.

| Group | PbA(mg/m ³) | Cases(%) | WD(months) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|
| | Mean ± S.D. | | Mean ± S.D. |
| Under 0.05 (I) | 0.039 ± 0.008 | 16(21.6) | 34.8 ± 42.9 |
| 0.05-0.10 (II) | 0.079 ± 0.012 | 25(33.8) | 28.2 ± 34.7 |
| 0.10-0.15 (III) | 0.125 ± 0.012 | 10(13.5) | 11.0 ± 10.8 |
| 0.15- (IV) | 0.243 ± 0.078 | 23(31.1) | 61.6 ± 55.1 |
| Total | 0.127 ± 0.093 | 74(100) | 37.7 ± 44.8 |

Table 2. Mean concentration of PbB, PbU, ZPP, ALAU, ALAD, CPU and Hb by PbA level.

| PbA (mg/m ³) | PbB (μg/dl) | PbU (μg/l) | ZPP (μg/dl) | ALAU (mg/l) | ALAD (μmol/min/RBC) | CPU (μg/l) | Hb (g/dl) |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------|
| | Mean ± S.D. | Mean ± S.D. | Mean ± S.D. | Mean ± S.D. | Mean ± S.D. | Mean ± S.D. | Mean ± S.D. |
| Under 0.05 | 25.45 ± 1.84 | 38.74 ± 9.46 | 33.93 ± 5.37 | 1.15 ± 0.75 | 26.05 ± 1.50 | 70.36 ± 25.77 | 15.72 ± 1.26 |
| 0.05-0.10 | 26.10 ± 3.13 | 40.80 ± 9.60 | 33.56 ± 6.25 | 1.20 ± 0.65 | 25.02 ± 2.14 | 58.09 ± 25.83 | 14.61 ± 1.39 |
| 0.10-0.15 | 31.21 ± 1.76 | 52.68 ± 6.49 | 37.22 ± 7.44 | 2.41 ± 1.09 | 23.55 ± 1.75 | 79.63 ± 28.33 | 13.45 ± 2.31 |
| 0.15- | 47.02 ± 13.96 | 81.20 ± 24.61 | 80.18 ± 38.67 | 4.01 ± 3.59 | 19.19 ± 3.68 | 115.31 ± 66.45 | 13.54 ± 0.79 |
| Total | 33.30 ± 12.33 | 54.51 ± 24.08 | 48.62 ± 30.54 | 2.23 ± 2.43 | 23.23 ± 3.80 | 81.44 ± 48.59 | 14.36 ± 1.60 |

이었다.

2. 생물학적 연 폭로지표

생물학적 연 폭로지표들에 대한 각 군의 PbA를 분산분석(SCHEFFE: 0.05)으로 검정을 한 결과 표 2와 같이 나타났다.

PbB인 경우 IV군이 $47.02 \pm 13.96\mu\text{g/dl}$ 로 나타나 III군, II군 및 I군의 $31.21 \pm 1.76\mu\text{g/dl}$, $26.10 \pm 3.13\mu\text{g/dl}$ 및 $25.45 \pm 1.84\mu\text{g/dl}$ 보다 유의하게 높았다($p < 0.05$).

PbU인 경우 IV군이 $81.20 \pm 24.61\mu\text{g/dl}$ 로 III군, II군 및 I군의 $52.68 \pm 6.49\mu\text{g/dl}$, $40.80 \pm 9.60\mu\text{g/dl}$ 및 $38.74 \pm 9.46\mu\text{g/dl}$ 보다 유의하게 높았으며($p < 0.05$), ZPP인 경우 군이 $80.18 \pm 38.67\mu\text{g/dl}$ 로 III군, I군 및 II군의 $37.22 \pm 7.44\mu\text{g/dl}$, $33.93 \pm 5.37\mu\text{g/dl}$ 및 $33.56 \pm 6.25\mu\text{g/dl}$ 보다 유의하게 높았다($p < 0.05$).

ALAU인 경우 IV군이 $4.01 \pm 3.59\mu\text{g/dl}$ 로 III군 및 I군의 $1.20 \pm 0.65\mu\text{g/dl}$ 및 $1.15 \pm 0.75\mu\text{g/dl}$ 보다 유의하게 높았으며($p < 0.05$), ALAD인 경우 III군이 $19.19 \pm 3.68\mu\text{mol/min/RBC}$ 로 III군, II군 및 I군의 $23.55 \pm 1.75\mu\text{mol/min/RBC}$, $25.02 \pm 2.14\mu\text{mol/min/RBC}$ 및 $26.05 \pm 1.50\mu\text{mol/min/RBC}$ 보다 유의하게 낮았다($p < 0.05$).

CPU인 경우 IV군이 $115.31 \pm 66.45\mu\text{g/dl}$ 로 II군의 $58.09 \pm 25.83\mu\text{g/dl}$ 보다 유의하게 높았으며($p < 0.05$), Hb인 경우 III군 및 IV군이 $13.45 \pm 2.31\mu\text{g/dl}$ 및 $13.54 \pm 0.79\text{g/dl}$ 로 I군의 $15.72 \pm 1.26\text{g/dl}$ 보다 유의하게 낮았다($p < 0.05$).

Table 3. Frequencies of subjects over screening limit value(Ministry of Labour, 1989) of biological lead exposure indices by PbA level.

| PbA(mg/m ³) | Cases(%) | | | | | | Total(%) |
|-------------------------|----------|--------|-------|-------|--------|--------|----------|
| | PbB | PbU | ZPP | ALAU | CPU | Hb | |
| Under 0.05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3(19) | 1(6) | 16(100) |
| 0.05-0.10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3(12) | 5(20) | 25(100) |
| 0.10-0.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2(20) | 5(50) | 10(100) |
| 0.15- | 14(61) | 11(48) | 8(35) | 5(22) | 10(43) | 5(22) | 23(100) |
| Total(%) | 14(20) | 11(15) | 8(11) | 5(7) | 18(24) | 16(22) | 74(100) |

각 PbA수준별 생물학적 연 폭로지표를 연특수건강 진단방법 및 직업병인정기준(노동부, 1989)상 2차진 강진단대상자의 선별기준을 초과하는 빈도를 살펴본 바 표 3과 같이 PbB, PbU, ZPP 및 ALAU는 I군, II군 및 III군의 경우 선별기준을 초과하는 사례가 나타나지 않았으며, IV군의 경우에 각각 14명, 11명, 8명 및 5명으로 선별기준을 초과하는 사례가 나타났다. 한편, CPU 및 Hb는 I군에서도 각각 3명 및 1명으로 선별기준을 초과하는 사례가 나타나 PbB, PbU, ZPP 및 ALAU와는 대조적이었다.

3. PbA와 생물학적 연 폭로지표와의 상관관계

각 군별 PbA와 생물학적 연 폭로지표와의 상호 관련성을 알아보기 위하여 상관분석을 시행하였으며, PbA를 독립변수로 각각의 생물학적 연 폭로지표들을 종속변수로 하여 단순 회귀분석을 시행한 바 표 4와 같다.

회귀방정식은 PbB인 경우 $PbA(mg/m^3) = 126.8746 PbB(mg/dl) + 16.9996$, 상관계수(r)는 0.95이었으며, PbU인 경우 $PbA(mg/m^3) = 214.1018 PbU(mg/dl) + 27.2567$, 상관계수(r)는 0.83이었으며, ZPP인 경우 $PbA(mg/m^3) = 293.3560 ZPP(mg/dl) + 11.2757$, 상관계수(r)는 0.89이었으며, ALAD인 경우 $PbA(mg/m^3) = -34.1155 ALAD(\mu mol/min/RBC) + 27.5780$, 상관계수(r)는 -0.83으로 모두 유의한 상관관계를 나타내었다($P < 0.01$).

IV. 고 찰

연 취급 사업장에서 근무하는 근로자들의 건강장해는 기중 연농도, 연분진의 종류 및 크기, 작업 강도 및 개인의 감수성 등 여러 요인에 의해 결정된다(Barrett과 Belk, 1977). 현재 연 폭로 및 흡수를 감소시키기 위하여 작업장의 PbA 허용기준치를 설정하여 일정수준이하의 PbA에 폭로되는 것은 허용하고 있으나(Stokinger, 1975), 그 기준치의 설정은 개인의 감수성, 작업조건, 개인 위생 및 보호구 착용여부 등을 고려해야 한다.

이러한 PbA 허용기준치의 설정은 연흡수 정도를 가장 잘 알 수 있는 혈중연량으로 추정하여 정하고 있고, 기타 연흡수 및 연중독지표로 사용되는 대사산

Table 4. Simple linear regression of PbA on biological lead exposure indices.

| Variable | | Correlation coefficient | Regression equation |
|----------|------|-------------------------|----------------------------|
| X | Y | | |
| PbA | PbB | 0.95 | $Y = 16.9996 + 126.8746 X$ |
| PbA | PbU | 0.83 | $Y = 27.2567 + 214.1018 X$ |
| PbA | ZPP | 0.89 | $Y = 11.2757 + 293.3560 X$ |
| PbA | ALAU | 0.72 | $Y = -0.1671 + 18.8137 X$ |
| PbA | ALAD | -0.83 | $Y = 27.5780 - 34.1155 X$ |
| PbA | CPU | 0.51 | $Y = 47.7394 + 264.6802 X$ |
| PbA | Hb | -0.45 | $Y = 15.3463 - 7.7305 X$ |

물도 좋은 측정지표로서 선택되고 있다(Hernberg, 1979).

본 연구에서 각 군의 평균 PbA는 I군에서 $0.039 \pm 0.008\text{mg/m}^3$ 로 나타나 노동부 고시 허용기준인 0.05mg/m^3 를 초과하지 않았으나, II군, III군 및 IV군에서 각각 $0.079 \pm 0.012\text{mg/m}^3$, $0.125 \pm 0.012\text{mg/m}^3$ 및 $0.243 \pm 0.078\text{mg/m}^3$ 로 허용기준을 초과하였다.

조사대상자들의 평균 근무기간은 37.7 ± 44.8 개월이었으며, 근무기간의 변이계수가 큰 것은 12년이상 근무한 근로자 8명에 의한 것으로 생각된다.

I군인 경우 평균 PbA가 $0.039 \pm 0.008\text{mg/m}^3$ 일때 평균 PbB가 $25.45 \pm 1.84\mu\text{g/dl}$ 이었으며, 이 값은 김형아(1985)의 일부 축전지 제조업과 전자기기 제조업 근로자 477명을 대상으로 한 연구에서 평균 PbA가 0.042mg/m^3 일때 평균 PbB가 $27.1 \pm 8.5\mu\text{g/dl}$ 로, 황규운 등(1991)이 축전지 제조업 근로자 93명을 대상으로 한 연구에서 평균 PbA가 0.035mg/m^3 일때 평균 PbB가 $25.6 \pm 7.7\mu\text{g/dl}$ 로 보고하여 본 연구결과와 유사하게 나타났으나, 박석건 등(1991)이 전자제품 제조업 근로자 50명을 대상으로 한 연구에서 평균 PbA가 0.046mg/m^3 일때 평균 PbB가 $17.7 \pm 13.8\mu\text{g/dl}$ 로 보고하여 본 연구결과에 비해 다소 낮았는데, 이러한 현상은 혈중연 자체의 농도가 동일 지역, 유사한 연령층의 조사대상자라 할지라도 다양한 측정치를 나타낼 수 있기 때문에 정확한 원인을 규명하기는 어렵다.

II군인 경우 평균 PbA가 $0.079 \pm 0.012\text{mg/m}^3$ 일때 평균 PbB가 $26.10 \pm 3.13\mu\text{g/dl}$ 이었으며, 이 값은 황규운 등(1991)이 평균 PbA가 0.087mg/m^3 일때 평균 PbB가 $31.6 \pm 10.9\mu\text{g/dl}$ 로, 박석건 등(1991)이 평균 PbA가 0.088mg/m^3 일때 평균 PbB가 $29.1 \pm 11.1\mu\text{g/dl}$ 로, 김형아(1985)가 평균 PbA가 0.063mg/m^3 일때 평균 PbB가 $29.0 \pm 6.5\mu\text{g/dl}$ 로 보고하여 본 연구결과보다 다소 높았는바, 이는 호흡보호구 착용유무, 흡연 및 음주상태 등에 따라 다소 차이를 나타낼 수 있기 때문에 정확한 원인을 규명하기는 어렵다.

III군인 경우 평균 PbA가 $0.125 \pm 0.012\text{mg/m}^3$ 일때 평균 PbB가 $31.21 \pm 1.76\mu\text{g/dl}$ 로 나타났는데, 이 값은 이병국(1982)이 축전지제조업 근로자

234명을 대상으로 한 연구에서 평균 PbA가 0.170mg/m^3 일때 평균 PbB가 $54.0 \pm 16.4\mu\text{g/dl}$ 로, Williams 등(1969)의 PbA가 0.134mg/m^3 일때 평균 PbB가 $63.2 \pm 9.2\mu\text{g/dl}$ 로 보고하여 본 연구결과보다 다소 높았는바, I군 및 II군의 경우에서 전술한 이유 등으로 정확한 원인을 규명하기는 어렵다.

IV군인 경우 평균 PbA가 $0.243 \pm 0.078\text{mg/m}^3$ 일때 평균 PbB가 $47.02 \pm 13.96\mu\text{g/dl}$ 이었으며, 이 값은 이병국(1982)이 평균 PbA가 0.21mg/m^3 일때 평균 PbB가 $53.8 \pm 6.2\mu\text{g/dl}$ 로, 평균 PbA가 0.20mg/m^3 일때 평균 PbB가 $51.7 \pm 17.2\mu\text{g/dl}$ 로 보고하여 본 연구결과와 비슷하였다.

한편, PbB, PbU, ZPP 및 ALAU는 PbA수준별 노동부의 선별기준을 초과하는 양상이 서로 유사하였으나, CPU 및 Hb는 노동부의 PbA 허용기준치 이하에서도 선별기준을 초과한 사례가 나타났으며 불규칙한 변화양상을 보였다. 이러한 CPU의 불규칙한 변화양상은 김형아(1985)의 연구결과와 유사하였으나 CPU는 연에 의한 영향의에도 풀피린증, 간장애, 간종양 또는 조혈항진시에도 증가할 수 있다고 하는 바(John Bernard Henry, 1991), 추후 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한, Hb의 경우 세계보건기구(WHO, 1980)에서는 $20\mu\text{g/dl}$ 전후의 저농도 PbB에서도 Hb 생성과정에 영향을 줄 수 있다는 권고가 있고 Hb의 감소는 연에 오랜기간 폭로시 나타나는 후기증상이라는 의견도 있으나, PbB가 $110\mu\text{g/dl}$ 이하에서는 Hb의 이상조건이 나타나지 않는다는 보고(Williams, 1969)와 혈중연농도가 $50\mu\text{g/dl}$ 이하에서도 이상조건이 나타나지 않는다는 보고(Zielhuis, 1976)가 있어 정확한 원인을 규명하기는 어려우나 본 연구결과와 경우 저농도 기증연에서의 Hb감소는 PbB에 의한 영향보다는 근로자 개인의 건강상태나 영양상태 등에 기인한 것으로 생각된다.

한편, PbA와 PbB간의 상관계수는 Williams 등(1969)의 개인용 공기포집기를 이용한 연구에서 PbA와 PbB, PbU, ALAU 및 CPU와의 상관계수가 각각 0.90, 0.82, 0.82 및 0.68로 나타나 본 연구와 유사한 결과를 보였으나, 개인용 공기포집기를 사용하지 않은 김형아(1985)가 보고한 PbA와 PbB와의 상관계수 0.63보다는 다소 높았고, 박석건 등

(1991)이 보고한 PbA와 PbB와의 상관계수 0.30 보다는 매우 높았는데 이는 개인용 공기포집기의 사용유무 및 호흡용 보호구의 착용유무 등과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각된다. 따라서 유해환경에 대한 인체영향을 평가할때 개인용 공기포집기로서 측정하는 것이 보다 바람직하리라 생각된다.

본 연구의 제한점으로 조사 대상자들의 수가 다소 제한적이었고, 흡연 및 음주 등에 관한 사항이 누락된 점과 24시간노를 채취하여야 정확한 결과를 기대할 수 있지만 현실적으로 시료의 채취가 어려워 이로 인해 측정값의 변동이 다소 발생할 수도 있을 것으로 생각된다.

V. 요약 및 결론

본 연구는 일반적으로 작업장의 기중 연농도를 측정하는 방법에서 나타날 수 있는 문제점을 보완하기 위해 실제 연취급 사업장에서 근로자 개인이 피폭되는 양을 개인용 공기포집기로 측정한 기중 연농도와 아울러 이들 근로자 개인의 생물학적 연 폭로지표들을 파악하여 기중 연농도와 생물학적 연 폭로지표와의 관련성을 알아보기 위해 본 연구를 실시하였다.

연구대상은 야금장에서 연빈진 및 흙에 폭로되고 있는 남자 근로자 62명과 연이 비산되는 무기안료 제조회사의 남자근로자 12명을 대상으로 하여 개인용 공기포집기로 포집한 시료를 우리나라 노동부, 스웨덴 및 ACGIH의 허용기준(8시간 가중평균치)에 따라 I군(0.05mg/m³미만군), II군(0.05-0.10mg/m³), III군(0.10-0.15mg/m³) 및 IV군(0.15mg/m³ 이상군)으로 구분하여 각 군별로 생물학적 연 폭로지표인 PbB, PbU, ZPP, ALAU, ALAD, CPU 및 Hb과의 관련성을 파악하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. I군과 II군의 평균 PbB는 25.45 ± 1.84µg/dl 및 27.87 ± 3.53µg/dl로 나타나 서로 유사하였고, III군의 평균 PbB는 31.21 ± 1.76µg/dl로 I군 및 II군에 비해 다소 높았으며, IV군의 평균 PbB는 47.02 ± 13.96µg/dl로 I군, II군 및 III군에 비해 유의하게 높았다(p < 0.05).

2. 평균 PbB수준의 증가에 따른 다른 생물학적 연 폭로지표들의 측정치 변화는 PbU, ALAU, ZPP는 증가하는 경향을 보였으며, ALAD는 감소하는 경향을 보였다. 반면, CPU 및 Hb는 일정한 경향을 나타내지 않았다.

3. PbA와 PbB, PbU, ZPP, ALAU, ALAD, CPU 및 Hb과의 상관계수가 각각 0.95, 0.83, 0.89, 0.72, -0.83, 0.51 및 -0.45이었으며, PbB(Y)와 PbA(X)와의 회귀방정식은 $Y=126.8746X + 16.9996$ 이었다(P < 0.01).

참고 문헌

- 김정만, 이광목. 연폭로의 생물학적 지표로서 혈중 Zinc protoporphyrin치의 의의. 카톨릭대학 의학부 논문집 1984; 37(4): 939-951
- 김형아. 일부 연 작업장 공기중 연농도에 따른 생물학적 지표들의 상호관계. 서울대학교 보건대학원 석사학위논문 1985
- 노동부 근로기준국 산업안전과. 유해물질의 허용농도 및 작업환경 측정방법. 서울, 몽학문화사, 1988, 쪽 45-47
- 노동부. 근로자특수건강진단방법 및 직업병관리기준. 서울, 노동부, 1989, 쪽 283-293
- 대한산업보건협회. 보건진단연차보고서. 서울, 대한산업보건협회, 1983-1989
- 대한산업보건협회. 특수건강진단종합연보. 서울, 대한산업보건협회, 1983-1989
- 박석건, 김광중, 장성훈. 연폭로 수준에 의한 공기중 연농도와 혈액중 연농도간의 상관성. 대한산업의학회지 1991; 3(1): 98-100
- 황규윤, 안재억, 안규동, 이병국, 김정순. 저농도 연폭로에서 혈중 연농도와 자각증상과의 관계. 예방의학회지 1991; 24(2): 181-194
- 久保田重孝, 土屋健三郎. 職業病檢診手技. 東京, 興生社, 1972, 쪽 149-161
- ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists). *Threshold limit values and biological exposure indices for 1989-1990. Cincinnati, ACGIH, 1989, pp.56-62*

- Assennato G, Paci C, Baser ME. *Sperm count suppression without endocrine dysfunction in lead-exposed men. Arch Environ Health* 1986; 4: 387-390
- Baker EL, Landrigan PJ, Barbour AG, Cox DH, Foll and DS, Ligo RN, Throckmorton J. *Occupational lead poisoning in the United States: Clinical and biochemical findings related to blood lead levels. Bri J Ind Med* 1979; 36: 314-322
- Barrett CD, Belk HD. *Blood lead Study of Long Term Hand Soldering Operators. J Occup Med* 1977; 19: 791-794
- Blumberg WE, Elsinger J, Lamola AA and Zuckerman DM. *Zinc-protoporphyrin level in blood determination by a portable hematofluorometer; A screening device for lead poisoning. J Lab Clin Med* 1977; 88: 712-723
- Cullen MR, Kayne RD, Robins JM. *Endocrine and reproductive dysfunction in man associated with occupational inorganic lead intoxication. Arch Environ Health* 1984; 39: 431-440
- Cramer K, Selander S. *Studies in lead poisoning: Comparison between different laboratory tests. Brit J Ind Med* 1965; 22: 311-314
- Forni A, Cambiabhi G, Secchi GC. *Initial occupational exposure to lead: Chromosome and biochemical findings. Arch Environ health* 1976; 31: 73-78
- Goyer RA, Weiberg CR, Victory WM. *Lead induced nephrotoxicity: kidney calcium as an indicator of tubular injury. London, Plenum Press, 1989, pp. 11-20*
- Haeger-Arosen B. *Studies on urinary excretion of delta-aminolevulinic acid and other heme precursors in lead workers and lead-intoxicated rabbits, Scan J Clin Lab Invest* 1960; 12 (Suppl. 47): 1-128
- Hunter D. *The Disease of Occupation, 3rd ed. London, The English University Press, 1962, pp. 218-230*
- Hernberg S. *Programme on Internationally Recommended Health based permissible levels for occupational exposure to chemical agents. Geneva, WHO report, 1979*
- Hernberg S, Nikkanen J, Mellin G, Lillius H. *δ -Aminolevulinic acid dehydratase as a measure of lead exposure. Arch Environ Health* 1970; 21: 140-145
- John Bernard Henry. *Clinical diagnosis and management by laboratory methods, 18th Ed. United States, W B Saunders Company, 1991, pp. 149-152*
- John M Last, Robert B Wallace. *Public Health & Preventive Medicine, 13th Ed. Appleton & Lange, Prentice-Hall International Inc., 1992, pp. 389-392*
- John Wiley & Sons. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd ed. (Vol II Toxicology), New York, A Wiley-Intersciencs Publication, 1981, pp. 1687-1728*
- Kaul B, Slavin G, Davidow B. *Free erythrocyte protoporphyrin and ZPP measurements compared as primary screening methods for detection of lead poisoning. Clinical Chemistry* 1983; 29: 1467-1470
- Lee BK. *Occupational lead exposure of storage battery workers in Korea. Bri J Ind Med* 1982; 39: 283-289
- Lilis R, Valciucas JA, Malkin J, Weber JP. *Effects of low level lead and arsenic exposure on copper smelter workers. Arch Environ health* 1985; 40: 38-47
- Malcolm D. *Prevention of long-term sequelae following the absorption of lead. Arch Environ Health* 1971; 23: 292-298
- Parsons PJ, Stanton NV, Gunter EW, Huff D, Meola JR, Reilly AA. *An interlaboratory comparison of control materials for use with hematofluorometers. Clinical Chemistry* 1989; 35: 2059-2065
- Peter M Elter. *NIOSH manual of analytical*

- methods, 3rd Ed. Cincinnati, NIOSH, 1984*
- Seppäläinen AM, Hernberg S. *Subclinical lead neuropathy. Am J Ind Med 1980; 1: 413-420*
- Seppäläinen AM, Hernberg S, Kock B. *Relationships between blood lead levels and nerve conduction velocities. Neurotoxicology 1979; 1: 313-332*
- Seppäläinen AM, Tola S, Kock B. *Subclinical neuropathy at "safe" levels of lead exposure. Arch Environ Health 1975; 30: 180-183*
- Stokinger HE. *Usefulness of Biological and Air Standards for Lead. J Occup Med 1975; 17: 108-112*
- Tomokuni K. *δ -Aminolevulinic acid dehydratase test for lead exposure. Arch Environ Health 1974; 29: 274-281*
- Tomokuni K, Ogata M. *Simple method for determination of urinary -aminolevulinic acid as an index of lead exposure. Clinical Chemistry 1972; 18: 1534-1536*
- World Health Organization. *Environmental Health Criteria 3, Lead. Geneva, WHO, 1979*
- World Health Organization. *Recommended Health base limits in occupational exposure to heavy metals. Technical report series 647, Geneva, WHO, 1980*
- Williams MK, King E, Walford J. *An investigation of lead absorption in an electric accumulator factory with the use of personal samplers. Bri J Ind Med 1969; 26: 202-216*
- Zenz C. *Occupational Medicine principles and practical applications, 2nd Ed. Chicago, Year Book Medical Publishers, Inc., 1988, pp.547-582*
- Zielhuis RL. *Dose-response relationships for inorganic lead. Int Arch Occup Health 1976; 35: 1-18*