

축전지 제조업에서 입사 1년 미만 남자 사원들의 연 노출 지표치에 관한 연구

황보영¹ · 김용배¹ · 리갑수¹ · 이성수¹ · 안규동¹ · 이병국¹ · 김정순²

순천향대학교 의과대학 예방의학교실¹, 서울대학교 보건대학원²

= Abstract =

A study on lead exposure indices of male workers exposed to lead less than 1 year in storage battery industries

Young Hwangbo¹, Yong Bae Kim¹, Gap Soo Lee¹, Sung Soo Lee¹, Kyu Dong Ahn
Byung Kook Lee¹, Joung Soon Kim²

*Department of Preventive Medicine, Soonchunhyang University College of Medicine¹,
Department of Epidemiology, School of Public Health, Seoul National University²*

This study intended to obtain an useful information for health management of lead exposed workers and determine biological monitoring interval in early period of exposure by measuring the lead exposure indices and work duration in all male workers (n=433 persons) exposed less than 1 year in 6 storage battery industries and in 49 males who are not exposed to lead as control.

The examined variables were blood lead concentration (PBB), Zinc-protoporphyrin concentration (ZPP), Hemoglobin (HB) and personal history; also measured lead concentration in air (PBA) in the workplace.

According to the geometric mean of lead concentration in the air, the factories were grouped into three categories: A; When it is below $0.05\text{mg}/\text{m}^3$, B; When it is between 0.05 and $0.10\text{mg}/\text{m}^3$, and C; When it is above $0.10\text{mg}/\text{m}^3$.

The results obtained were as follows:

1. The means of blood lead concentration (PBB), ZPP concentration and hemoglobin(HB) in all male workers exposed to lead less than 1 year in storage battery industries were $29.5 \pm 12.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $52.9 \pm 30.0 \mu\text{g}/100\text{ml}$ and $15.2 \pm 1.1 \text{ gm}/100\text{ml}$.

2. The means of blood lead concentration (PBB), ZPP concentration and hemoglobin(HB) in control group were $5.8 \pm 1.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $30.8 \pm 12.7 \mu\text{g}/100\text{ml}$ and $15.7 \pm 1.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$, being much

lower than that of study group exposed to lead.

3. The means of blood lead concentration and ZPP concentration among group A were $21.9 \pm 7.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $41.4 \pm 12.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$; those of group B were $29.8 \pm 11.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $52.6 \pm 27.9 \mu\text{g}/100\text{ml}$; those of group C were $37.2 \pm 13.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $66.3 \pm 40.7 \mu\text{g}/100\text{ml}$. Significant differences were found among three factory group ($P < 0.01$) that was classified by the geometric mean of lead concentration in the air, group A being the lowest.

4. The mean of blood lead concentration of workers who have different work duration (month) was as follows; When the work duration was 1~2 month, it was $24.1 \pm 12.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$; When the work duration was 3~4 month, it was $29.2 \pm 13.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$; and it was $28.9 \sim 34.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ for the workers who had longer work duration than other. Significant differences were found among work duration group ($P < 0.05$).

5. The mean of ZPP concentration of workers who have different work duration (month) was as follows; When the work duration was 1~2 month, it was $40.6 \pm 18.0 \mu\text{g}/100\text{ml}$; When the work duration was 3~4 month, it was $53.4 \pm 38.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$; and it was $51.5 \sim 60.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ for the workers who had longer work duration than other. Significant differences were found among work duration group ($P < 0.05$).

6. Among total workers (433 person), 18.2% had PBB concentration higher than $40 \mu\text{g}/100\text{ml}$ and 7.1% had ZPP concentration higher than $100 \mu\text{g}/100\text{ml}$; In workers of factory group A, those were 0.9% and 0.0%; In workers of factory group B, those were 17.1% and 6.9%; In workers of factory group C, those were 39.4% and 15.4%.

7. The proportions of total workers (433 person) with blood lead concentration lower than $25 \mu\text{g}/100\text{ml}$ and ZPP concentration lower than $50 \mu\text{g}/100\text{ml}$ were 39.7% and 61.9%, respectively; In workers of factory group A, those were 65.5% and 82.3%; In workers of factory group B, those were 36.1% and 60.2%; In workers of factory group C, those were 19.2% and 43.3%.

8. Blood lead concentration ($r=0.177$, $P < 0.01$), ZPP concentration ($r=0.135$, $P < 0.01$), log ZPP ($r=0.170$, $P < 0.01$) and hemoglobin ($r=0.096$, $P < 0.05$) showed statistically significant correlation with work duration (month). ZPP concentration ($r=0.612$, $P < 0.01$) and log ZPP ($r=0.614$, $P < 0.01$) showed statistically significant correlation with blood lead concentration

9. The slopes of simple linear regression between work duration (month, independent variable) and blood lead concentration (dependent variable) in workplace with low air concentration of lead was less steeper than that of poor working condition with high geometric mean air concentration of lead.

The study result indicates that new employees should be provided with biological monitoring including blood lead concentration test and education about personal hygiene and work place management within 3~4 month.

Key words : lead, ZPP, work duration

I. 서론

납은 기원전 4000년경부터 인류가 사용해 온 가장 오래된 금속 중의 하나이다. 이에 대한 건강 장애는 기원전 370년에 Hippocrates가 처음으로 복부산통에 대하여 기술하였고 이후 여러 사람에 의하여 소화기계 장애, 조혈기능 장애, 중추 및 말초신경 장애가 있음이 확인되었다. 연을 사용하는 중요한 산업으로는 자동차 축전지 산업, 통신산업, 건설산업, 페인트 제조, 석유산업 및 기타 군수산업이 있으나 최근 자동차 생산의 증가와 더불어 축전지 제조산업이 전체 소비의 2/3를 차지하고 있다(Zenz, 1994 Rom, 1992).

산업혁명 이후 산업의 고도화에 따른 연 사용량의 증가는 20세기 초에 연 취급 근로자들의 심한 연 중독을 야기시켰고, 선진 서방국가들에서는 지난 60여 년간 연 중독을 예방하기 위한 집중적인 노력을 함에 따라서 연 작업장의 국소배기 시설의 설치와 같은 작업환경 관리 및 근로자 건강관리와 같은 의학적 관리 등을 통하여 과거와 같은 심한 연 중독 증상을 나타내는 근로자의 수는 현저히 줄어들거나 없어졌다(Granziano, 1994). 그러나 최근에 건강 개념의 변화와 진단기기 및 진단방법이 발전함에 따라 과거에는 문제시되지 않았던 저농도 연 노출에 의한 비특이적인 증상이나 체내의 생물학적 변화도 연에 의한 건강 장애로 인식하게 되었고 또한 신장기능 장애, 수정력 감소, 유산율 증가 및 선천성 기형의 유발(Cullen 등, 1984) 등 과거에는 미처 인식하지 못한 건강문제가 새롭게 대두됨으로써 아직도 연 취급 사업장에서 건강관리의 중요성은 강조되고 있다.

우리나라에서 연 중독이 처음으로 알려진 것은 1960년대 후반(정규철, 1968)으로 당시 연 체련 공업에서 다량의 연을 생산하는 과정에서 작업환경이 열악하여 70년대 중반까지도 연 중독은 피할 수 없는 중요한 공업 중독의 하나였다. 그 이후 공업화와 더불어 작업환경이 점차 개선되고 근로자 건강진단이 강화되면서 연 중독의 발생이 감소되어 왔다. 그러나 국민소득 10,000달러 시대를 향유하는 현시점에서도 연 중독은

직업성 공업 중독에서 항상 1,2위를 차지하는 직업병으로 산업보건 전문가들의 연구 관심을 끌고 있다(노동통계연감, 1994).

그러나 대부분의 연구가 작업시간을 고려하지 않은 만성적 연 노출자를 대상으로 연 노출지표, 기중 연 농도 등을 조사하고 각각 항목에 관한 결과를 기술하고 분석함으로써 만성 연 노출 근로자들의 전반적인 평균 노출 농도와 연 노출 지표치의 수준은 알 수 있었지만 연에 노출이 없었던 초기 연 노출 근로자들의 연 노출 지표치는 알 수 없었다.

현재 우리나라의 산업안전보건법에서는 연 취급 사업장은 6개월에 1회 이상 특수건강진단을 실시하도록 규정하고 있다(산업안전보건법규집, 1996). 그러나 대부분의 일차 건강 진단시 혈중 ZPP 농도를 측정하고 그 수치가 100 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상인 경우 이차 검사로 혈중 연 검사를 하고 있다.

안규동 등(1982)은 다소 작업환경이 불량한 사업장 근로자들에서 불과 1개월 이내에서도 연 중독 유소견을 나타낼 수 있다고 하였다. 또한 코호트 연구를 수행 하였던 김창윤 등(1990)은 작업환경이 비교적 양호한 사업장의 근로자들에서 연 노출 3~6개월이 유의한 혈중 연 농도의 증가를 나타내고 이 기간 이후부터는 더 이상 혈중 연 농도의 증가가 없이 평형상태를 유지한다고 하였다.

또한, 연 노출에 따른 위험성은 납 입자의 크기 및 공기 중 납 농도, 작업공정, 국소 및 전체환기의 효율성과 개인위생, 보호구의 착용여부, 불결한 작업환경 등 작업장의 일반적 위생수준의 영향을 받는다. 이에 따라 환경 농도를 고농도, 중간농도, 저농도로 구분하고, 연 노출 작업 및 산업의 종류에 따라서 연 노출의 위험성을 예측하기도 한다(Zenz, 1994).

따라서 본 연구의 목적은 과거 연 노출이 없었던 축전지 제조업에 종사하는 작업기간 1년 미만인 남자 근로자 및 연 사업장에 취업하기 전인 근로자를 대상으로 혈중 연 농도, 혈중 ZPP 농도, 혈색소 등의 연 노출 지표와 작업환경을 조사하여 초기 연 노출 근로자들의 연 노출 지표치를 확인하고, 이에 대한 기초자료를 신

입사원 보건교육 및 보건관리에 활용하고, 초기 연 노출 신입사원의 생물학적 모니터링 시기의 결정 및 관리방안을 모색하는데 기초자료를 마련하고자 시도하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

연 노출군은 1994년부터 1995년까지 2회에 걸쳐서 6개 모 축전지 공장에 새로 입사한 근속연수 1년 미만인 남자 근로자 433명 전원을 대상으로 하였고, 대조군은 연 사업장에 취업하기 전의 근로자 49명을 대상으로 하여 근로자들의 연령과 입사일자, 과거 연 노출 여부를 조사하였으며, 과거 연 노출이 있었던 근로자는 조사대상에서 제외하였다. 연 노출지표로서 혈중 연 농도, 혈중 zinc protoporphyrin(ZPP) 농도와 혈색소(Hb)를 측정하였고, 작업장의 공기 중 연 농도를 측정하였다.

2. 연구방법

작업장의 공기 중 연 농도를 파악하기 위하여 '94년도와 '95년도 작업환경측정시 부서별로 지역시료와 개인용 시료를 병행하여 공기 중 연 농도를 측정하였으며, 연 노출 수준별 연노출 지표의 차이를 비교하기 위하여 공장별 공기 중 연 농도의 기하평균이 허용 농도($0.05mg/m^3$) 이하인 1개 공장을 A군으로 하고, $0.05\sim 0.10mg/m^3$ 인 2개 공장은 B군, 허용 농도의 2배($0.10mg/m^3$) 이상인 3개 공장을 C군으로 하여 비교하였다.

혈중 연 농도는 전혈 $0.5ml$ 를 $2.5ml$ 의 1% - Triton X-100으로 희석하여 비불꽃 원자흡광도계(Hitachi Z-8100, Polarized Zeeman effect AAS)로 분석하였고 표준곡선은 standard addition법으로 작성하였다(Fernandez, 1975).

혈중 ZPP 농도는 채혈 즉시 portable hematofluorometer (Aviv model 206)를 이용하여 형광 spectrum $423 nm$ 에

서 측정하였다(Blumberg 등, 1977).

혈색소는 cyanmethemoglobin법으로 측정하였다(이삼열과 정윤섭, 1984).

공기 중 연 농도는 개인시료포집기(Personal air sampler, Gilian MFG)를 이용하여 $2 L/min$ 의 속도로 단위 작업장의 지역 시료 및 개인용 시료를 병행하여 측정하였다. 개인용 시료는 작업시간 전에 근로자의 호흡 위치에 설치하도록 하였고 모든 시료는 6시간 이상 포집하였다. 포집된 시료는 10% 질산 $10ml$ 를 혼합하여 비등점 직하에서 여과지에서 연을 최대한 용출하기 위하여 약 3시간 이상 가열하여 연을 용출시킨 후 Graphite를 사용한 원자흡광광도계(Shimazu Atomic absorption flame emission spectrophotometer - AA670)를 이용하여 파장 $283.3nm$ 에서 분석하였다.

3. 자료 분석방법

수집된 자료는 개인용 컴퓨터에 입력하여 자료분석은 SAS(SAS Institute, Release 6.11)통계 프로그램을 이용하여 필요한 통계 처리와 분석을 실시하였다.

주 분석방법은 작업환경수준에 따른 공장군과 작업 시간 및 연 노출지표에 대하여 ANOVA분석 및 Dunnett's T-test를 시행하였다. 또한 여러 변수간의 상관성 분석 및 단순 일차 회귀분석을 시행하였다.

III. 연구결과

각 공장군별 공기 중 연 농도의 분포는 Table 1과 같았다. 총 260 측정건수 중 우리나라 산업안전보건법과 OSHA에서 정한 납에 대한 허용 농도인 $0.05mg/m^3$ 이하의 군은 80건(30.8%)에 불과하였다. A군에서는 총 45 측정건수 중 37건(82.2%)이 허용 농도 이하였고, B군은 총 103 측정건수 중 27건(26.2%), C군은 총 112 측정건수 중 16건(14.3%)만이 허용기준 이하였다. 세 공장군간의 공기 중 연 농도의 분포는 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

공기 중 연 농도의 기하평균 및 기하표준편차는

Table 1. Distribution of lead concentration in air by factory group

Lead concentration (mg/m ³)	Factory group			Total
	A	B	C	
below 0.05	37(82.22)	27(26.21)	16(14.29)	80(30.77)
0.05 ~ 0.10	2(4.44)	32(31.07)	20(17.86)	54(20.77)
above 0.10	6(13.33)	44(42.72)	76(67.86)	126(48.46)
Total	45(100.0)	103(100.0)	112(100.0)	260(100.0)

Chi-Square = 81.648 p-value = 0.001

Table 2와 같이 A군에서는 0.013±5.56mg/m³, B군에서는 0.091±3.10mg/m³이었고, C군에서는 0.181±3.51 mg/m³으로서 허용 농도의 3.6배로 가장 높았다.

각 공장군별 공기 중 연 농도는 Figure 1과 같이 대

Table 2. Geometric mean of lead concentration in air by factory group

Factory group	No. of samples	G.M.	GSD
A(1 factory)	45	0.013	5.56
B(2 factories)	103	0.091	3.10
C(3 factories)	112	0.181	3.51

G.M. = geometric mean

GSD = standard deviation of geometric mean

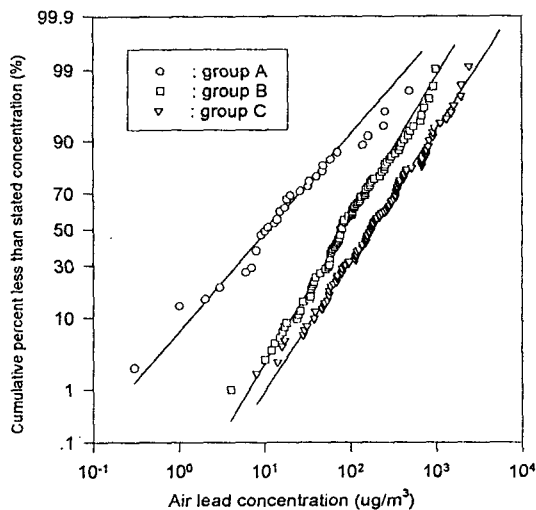


Figure 1. Cumulative frequency distribution of air lead concentration by factory group

수정규분포 양상을 나타내었다.

연 노출군에서 평균 연령 및 근무기간은 각각 25.4 ± 5.5세, 5.8 ± 3.3개월이었고 대조군에서 평균연령은 26.2 ± 7.1세였다(Table 3). 연령별 분포는 노출군에서는 20~25세가 50.1%, 25~30세가 21.2%로 71.3%가 20대이고, 20세 이하와 30세 이상은 각각 14.3%였다. 대조군에서는 20~25세가 24.5%, 25~30세가 34.7%로 59.2%가 20대이고, 20세 이하와 30세 이상은 각각 24.5%와 16.3%였다(Table 4).

각 공장군 및 대조군의 연 노출 지표치의 평균은 Table 5와 같다.

공장군에서 총 433명의 평균 혈중 연 농도는 29.5 ± 12.4 µg/100ml이고, 평균 혈중 ZPP 농도는 52.9 ± 30.0 µg/100ml, 평균 혈색소량은 15.2 ± 1.1 gm/100ml을 나타내었다.

각 공장군별 혈중 연 농도 및 ZPP 농도의 평균은 A

Table 3. Average age and work duration by factory group and control group

	No. of workers	Age	Work duration (month)
Factory group	A	113	23.6 ± 1.3
	B	216	26.4 ± 5.7
	C	104	25.4 ± 7.0
	Total	433	25.4 ± 5.5
Control group	49	26.2 ± 7.1	

Table 4. Age distribution of workers by factory group and control group

Factory group	Age				Total
	Below 20	20~25	25~30	Above 30	
A	0 (0.0)	105 (92.9)	8 (7.1)	0 (0.0)	113
B	40 (8.5)	63 (29.2)	70 (32.4)	43 (19.9)	216
C	22 (21.2)	49 (47.1)	14 (13.4)	19 (18.3)	104
Total	62 (14.3)	217 (50.1)	92 (21.2)	62 (14.3)	433 (100.0)
Control group	12 (24.5)	12 (24.5)	17 (34.7)	8 (16.3)	49 (100.0)

() : percent

Table 5. Mean values of lead exposure indices in three factory group and control group

	PBB	ZPP	HB
Factory group			
A (n=113)	21.9±7.6	41.4±12.6	15.0±1.0
B (n=216)	29.8±11.6	52.6±27.9	15.3±1.2
C (n=104)	37.2±13.5	66.3±40.7	15.4±1.1
ALL(n=433)	29.5±40.7	52.9±30.0	15.2±1.1
F =	47.69	18.05	3.96
P-value=	0.0001	0.0001	0.0197
Control group n=49	5.8±1.6**	30.8±12.7**	15.7±1.6

PBB = $\mu\text{g}/100\text{ml}$

ZPP = $\mu\text{g}/100\text{ml}$

HB = $\text{gm}/100\text{ml}$

** = $P < 0.01$ by Student T test compared with Factory group

군에서는 각각 $21.9 \pm 7.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $41.4 \pm 12.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 을 나타내었고, B군에서는 $29.8 \pm 11.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 과 $52.6 \pm 27.9 \mu\text{g}/100\text{ml}$, C군에서는 $37.2 \pm 13.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 과 $66.3 \pm 40.7 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 작업환경 농도가 높은 군일수록 평균 혈중 연 농도와 혈중 ZPP 농도가 높았으며, 세 군간의 유의한 차이가 있었다($P < 0.01$). 그러나 혈색소량은 대부분 정상범위에 해당되었지만 작업환경이 가장 양호한 A군에서 유의하게 낮았다

($P < 0.05$).

대조군의 혈중 연 농도 및 ZPP 농도의 평균은 $5.8 \pm 1.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $30.8 \pm 12.7 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 을 나타내어 공장군에 비하여 유의하게 낮았다($P < 0.01$).

각 공장군 및 근무기간에 따른 연 노출군의 분포는 Table 6과 같다.

Table 6. Distribution of workers by work durations and factory group

Work duration (month)	Factory groups				Total
	A	B	C		
1~2	8(11.8)	46(67.6)	14(20.6)		68(15.7)
3~4	35(42.7)	19(23.2)	28(34.1)		82(18.9)
5~6	24(27.6)	44(50.6)	19(21.8)		87(20.1)
7~8	14(23.0)	37(60.7)	10(16.4)		61(14.1)
9~10	25(29.1)	41(47.7)	20(23.3)		86(19.9)
11~12	7(14.3)	29(59.2)	13(26.5)		49(11.3)
Total	113(26.1)	216(49.9)	104(24.0)		433(100)

() : percent

각 공장군에 따른 근무기간 1년 미만인 근로자들의 근무 개월수별 혈중 연 농도의 평균은 Table 7과 같다. A군에서 혈중 연 농도의 근무기간별 평균은 1~2개월 군에서 $14.1 \pm 6.3 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 대조군에 비하여 유의하게 높았으며($P < 0.05$), 7~8개월 군을 제외한 3~4개월 이상군과 비교시 유의하게 낮았으며($P < 0.05$), 근무기간 3~4개월 이상군들에서는 서로 유의한 차이가 없었다. 근무기간 11~12개월인 군에서 $25.7 \pm 6.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 가장 높았다.

B군에서도 근무기간이 1~2개월인 군에서 $24.0 \pm 10.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 대조군에 비하여 유의하게 높았으며($P < 0.05$), 3~4개월 이상군과 비교시 유의하게 낮았으며($P < 0.05$), 근무기간이 3~4개월 이상인 근무기간 군 사이에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 근무기간 11~12개월인 군에서 $33.3 \pm 13.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 가장 높았다.

Table 7. Mean concentration of blood lead by work duration and factory groups

Work duration (month)	Factory group				Adjusted mean for factory group
	A	B	C	Total	
Controls		5.8±1.6		5.8±1.6	5.8
1~2	14.1±6.3a	24.0±10.6a	30.2±16.5a	24.1±12.4a	22.9
3~4	21.5±7.8ab	31.2±12.2ab	37.5±14.6a	29.2±13.4ab	30.2
5~6	24.9±6.3ab	33.2±12.2ab	35.4±12.1a	31.4±11.5ab	31.6
7~8	20.9±8.8a	29.9±8.6ab	44.6±12.7ab	30.3±11.8ab	31.1
9~10	21.7±7.0ab	29.6±10.6ab	36.7±9.1a	28.9±10.7ab	29.2
11~12	25.7±6.5ab	33.3±13.4ab	41.8±13.6ab	34.5±13.5ab	33.4
Total	21.9±7.6	29.8±11.6	37.2±13.5	29.5±12.4	29.5

PBB = $\mu\text{g}/100\text{ml}$

a : $P < 0.05$ by Dunnett's one-tail T test compared with control group

b : $P < 0.05$ by Dunnett's one-tail T test compared with 1~2month group

Table 8. Mean concentration of blood ZPP by work duration and factory groups

Work duration (month)	Factory group				Adjusted mean for factory group
	A	B	C	Total	
Controls		30.8±12.7		30.8±12.7	30.8
1~2	38.4±7.5	41.3±18.8	39.5±20.2	40.6±18.0	40.1
3~4	38.6±8.1a	56.8±31.6a	69.6±55.8ab	53.4±38.4ab	55.1
5~6	43.8±15.3a	60.0±32.5a	62.1±32.5ab	56.0±29.5ab	56.3
7~8	42.4±14.3a	58.3±31.4ab	77.5±39.9ab	57.8±31.5ab	58.8
9~10	44.1±15.4a	48.4±22.9ab	67.0±25.3a	51.5±23.1ab	51.7
11~12	38.9±10.2	54.9±27.6a	84.4±40.0ab	60.4±33.2ab	57.8
Total	41.4±12.6	52.6±27.9	66.3±40.7	52.9±30.0	52.9

Blood ZPP = $\mu\text{g}/100\text{ml}$

a : $P < 0.05$ by Dunnett's one-tail T test compared with control group

b : $P < 0.05$ by Dunnett's one-tail T test compared with 1~2month group

C군에서는 근무기간이 1~2개월인 군에서 $30.2 \pm 16.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 대조군에 비하여 유의하게 높았다 ($P < 0.05$), 근무기간이 1~2개월인 군은 근무기간 3~4개월군과 유의한 차이를 나타내지는 않았으나 다른 두 공장군과 비슷한 양상을 나타내었고 전반적으로 높은 수치를 나타내었다.

전체적으로는 근무기간이 1~2개월 군에서 $24.1 \pm 12.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 대조군에 비하여 유의하게 높았고 ($P < 0.05$), 근무기간이 3~4개월 군에 비하여 유의하게

낮았으며, 근무기간 3~4개월 군에서는 $29.2 \pm 13.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 을 나타내었고, 나머지 군에서는 $28.9 \sim 34.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 의 수치를 나타내었다.

각 공장군에 따른 입사 1년 미만인 근로자들의 근무개월수별 혈중 ZPP 농도의 평균은 Table 8과 같다.

A군에서 혈중 ZPP 농도의 평균을 대조군과 비교할 때 근무기간이 1~2개월 군에서는 $38.4 \pm 7.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 유의한 차이는 없었으나, 3~4개월 군과는 유의한 차이가 있었다 ($P < 0.05$). 근무기간 1~2개월 군과 유의

Table 9. Mean concentration of hemoglobin by work duration and factory groups

Work duration (month)	Factory group				Adjusted mean for factory group
	A	B	C	Total	
Controls		15.7±1.6		15.7±1.6	15.7
1~2	15.1±0.6	15.5±1.3	16.2±1.2	15.6±1.3	15.6
3~4	15.3±1.2	15.5±1.3	15.1±1.2	15.3±1.2	15.3
5~6	14.8±0.8	15.2±0.8	15.4±1.2	15.1±0.9	15.1
7~8	15.0±1.2	14.9±1.0	15.6±1.0	15.0±1.1	15.1
9~10	14.7±0.9	15.4±1.2	15.1±0.7	15.1±1.1	15.1
11~12	14.9±1.0	15.5±1.5	15.3±1.0	15.3±1.3	15.3
Total	15.0±1.0	15.3±1.2	15.4±1.1	15.2±1.1	15.2
P-value	P<0.05	P>0.05	P>0.05	P<0.05	

HB = gm/100ml

a : P<0.05 by Dunnett's one-tail T test compared with control group

b : P<0.05 by Dunnett's one-tail T test compared with 1~2month group

한 차이가 있는 근무기간 군은 없었고 근무기간 9~10개월인 군에서 44.1±15.4µg/100ml로 가장 높았다.

B군에서 혈중 ZPP 농도의 평균은 근무기간이 1~2개월인 근무기간군에서 41.3±18.8 µg/100ml로 대조군과 비교시 유의한 차이는 없었으나, 나머지 근무기간 군에서는 모두 대조군에 비하여 유의하게 높았다 (P<0.05). 근무기간 9~10개월인 군에서 58.3±31.4 µg/100ml로 가장 높았다.

C군에서 혈중 ZPP 농도의 평균은 근무기간이 1~2개월인 군에서 39.5±20.2 µg/100ml로 대조군과 유의한 차이는 없었으나(P>0.05), 3~4개월 이상인 군에서는 67.0~84.4 µg/100ml로 대조군에 비하여 유의하게 높았고(P<0.05), 9~10개월 군을 제외하고는 근무기간 1~2개월 군에 비하여도 유의하게 높았다(P<0.05). 근무기간이 3~4개월 이상인 군들 사이에는 유의한 차이가 없었다. 근무기간 11~12개월인 군에서 84.4±40.0 µg/100ml로 가장 높았다.

전체적으로 혈중 ZPP 농도의 평균은 근무기간이 1~2개월 군에서는 40.6±18.0 µg/100ml로 대조군과는 유의한 차이는 없었으나, 근무기간이 3~4개월 이상인 군들에서는 51.5~60.4 µg/100ml로 대조군이나 근무기간이 1~2개월인 군보다 모두 유의하게 높았다

(P<0.05).

각 공장군에 따른 입사 1년 미만인 근로자들의 근무개월수별 혈색소량의 평균은 Table 9와 같다. 전체적으로 근무기간에 따른 분산분석시 유의한 차이가 있었으나(P<0.05), Dunnett test시 대조군(15.7±1.6 gm/100ml)과 통계학적으로 유의한 차이를 나타낸 근무기간 군은 없었다(P>0.05). 전체적으로 노출군이 대조군보다 약간 낮은 양상을 나타내었다.

혈중 연 농도를 연 중독의 주의한계인 40 µg/100ml 이상, 25~40 µg/100ml, 25 µg/100ml 미만으로 구분하였을 때 각 공장군 및 입사 1년 미만인 근로자들의 근무기간별 근로자의 분포는 Table 10과 같다.

A군에서는 총 113명 중 112명(99.1%)이 연 중독 주의한계 이하였다. 혈중 연 농도가 25 µg/100ml 이하는 1~2개월 군에서 87.5%인 반면 11~12개월 군에서는 42.9%였고, 전체적으로는 65.5%였다.

B군에서는 총 216명 중 37명(17.1%)이 주의한계를 넘었고, 근무기간별 주의한계 이상은 5~6개월 군에서 29.6%로 가장 많았다. 혈중 연 농도가 25 µg/100ml 이하는 1~2개월 군에서 58.7%인 반면 11~12개월 군에서는 20.7%였고, 전체적으로는 36.1%였다.

C군에서는 총 104명 중 41명(39.5%)이 연 중독 주

Table 10. Distribution of workers by work duration, factory group and blood lead level

Work duration (month)	Factory group	blood lead level ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)			Total
		Below 25	25 ~ 40	Above 40	
1 ~ 2	A	7(87.5)	1(12.5)	0(0.0)	8
	B	27(58.7)	15(32.6)	4(8.7)	46
	C	6(42.9)	4(28.6)	4(28.6)	14
	Total ^a	40(62.4)	20(26.4)	8(11.2)	68
3 ~ 4	A	23(65.7)	11(31.4)	1(2.9)	35
	B	5(26.3)	9(47.4)	5(26.3)	19
	C	5(17.9)	13(46.4)	10(35.7)	28
	Total ^a	33(34.6)	33(43.0)	16(22.4)	82
5 ~ 6	A	12(50.0)	12(50.0)	0(0.0)	24
	B	13(29.5)	18(40.9)	13(29.6)	44
	C	6(31.6)	6(31.6)	7(36.8)	19
	Total ^a	31(35.4)	36(41.0)	20(23.6)	87
7 ~ 8	A	10(71.4)	4(28.6)	0(0.0)	14
	B	11(29.7)	21(56.8)	5(13.5)	37
	C	0(0.0)	4(40.0)	6(60.0)	10
	Total ^a	21(33.5)	29(45.4)	11(21.1)	61
9 ~ 10	A	19(76.0)	6(24.0)	0(0.0)	25
	B	16(39.0)	20(48.8)	5(12.2)	41
	C	2(10.0)	11(55.0)	7(35.0)	20
	Total ^a	37(41.7)	37(43.8)	12(14.5)	86
11 ~ 12	A	3(42.9)	4(57.1)	0(0.0)	7
	B	6(20.7)	18(62.1)	5(17.2)	29
	C	1(7.7)	5(38.5)	7(53.9)	13
	Total ^a	10(23.4)	27(55.1)	12(21.5)	49
Total	A	74(65.5)	38(33.6)	1(0.9)	113
	B	78(36.1)	101(46.8)	37(17.1)	216
	C	20(19.2)	43(41.4)	41(39.4)	104
	Total ^a	172(39.7)	182(42.1)	79(18.2)	433

^a : Adjusted for factory group

() : percent

Table 11. Distribution of workers by work duration, factory group and blood ZPP level

Work duration (month)	Factory group	blood ZPP level ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)			Total
		Below 50	50 ~ 100	Above 100	
1 ~ 2	A	7(87.5)	1(12.5)	0(0.0)	8
	B	37(80.4)	8(17.4)	1(2.2)	46
	C	12(85.7)	2(14.3)	0(0.0)	14
	Total ^a	56(83.5)	11(15.4)	1(1.1)	68
3 ~ 4	A	33(94.3)	2(5.7)	0(0.0)	35
	B	(47.4)	8(42.1)	2(10.5)	19
	C	15(53.6)	9(32.1)	4(14.3)	28
	Total ^a	57(61.1)	19(30.2)	6(8.7)	82
5 ~ 6	A	17(70.8)	7(29.2)	0(0.0)	24
	B	23(52.3)	16(36.4)	5(11.4)	44
	C	9(47.4)	7(36.8)	3(15.8)	19
	Total ^a	49(56.0)	30(34.6)	8(9.5)	87
7 ~ 8	A	11(78.6)	3(21.4)	0(0.0)	14
	B	18(48.7)	16(43.2)	3(8.1)	37
	C	2(20.0)	5(50.0)	3(30.0)	10
	Total ^a	31(49.6)	24(39.1)	6(11.2)	61
9 ~ 10	A	19(76.0)	6(24.0)	0(0.0)	25
	B	26(63.4)	14(34.2)	1(2.4)	41
	C	5(25.0)	13(65.0)	2(10.0)	20
	Total ^a	50(57.5)	33(38.9)	3(3.6)	86
11 ~ 12	A	6(85.7)	1(14.3)	0(0.0)	7
	B	17(58.6)	9(31.0)	3(10.3)	29
	C	2(15.4)	7(53.9)	4(30.8)	13
	Total ^a	25(55.3)	17(32.1)	7(12.5)	49
Total	A	93(82.3)	20(17.7)	0(0.0)	113
	B	130(60.2)	71(32.9)	15(6.9)	216
	C	45(43.3)	43(41.4)	16(15.4)	104
	Total ^a	268(61.9)	134(31.0)	31(7.1)	433

^a : Adjusted for factory group

() : percent

의한계를 넘었다. 또한 근무기간별 연 중독 주의한계 이상은 7~8개월 군에서 60%로 가장 많았다. 혈중 연 농도가 25 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하는 1~2개월 군에서 42.9%인 반면 11~12개월 군에서는 7.7%에 불과하였고, 전체적으로는 19.2%였다.

총 433명 중 79명(18.2%)이 연 중독 주의한계를 넘고 있으며 39.7%가 혈중 연 25 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하로 나타났다. 근무기간에 따른 혈중 연 40 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상의 분포를 보면 근무기간이 1~2개월인 군에서 혈중 연 40 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상이 11.2%로 가장 낮았고, 근무기간이 9~10개월인 군에서 14.5%로 약간 감소한 것을 제외하고는 대부분 21.1~23.6%의 분포를 나타내었다.

혈중 ZPP 농도를 연 중독의 주의한계인 100 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상, 50~100 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, 50 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 미만으로 구분하였을 때 각 공장군 및 입사 1년 미만인 근로자들의 근무기간별 근로자의 분포는 Table 11과 같다.

A군에서는 113명 전원이 연 중독 주의한계 이하였다. B군에서는 총 216명 중 15명(6.9%)이 주의한계를

넘었고, C군에서는 총 104명 중 16명(15.4%)이 연 중독 주의한계를 넘었다. 전체적으로 근무기간에 따른 혈중 ZPP 농도가 100 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상인 근로자의 분포를 보면 근무기간이 1~2개월인 군에서 1.1%로 가장 낮았고 근무기간이 11~12개월인 군에서 12.5%로 가장 높았으며, 근무기간이 9~10개월인 군을 제외하고는 근무기간이 긴 군일수록 유소견율이 높았고, 혈중 ZPP 농도가 50 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하인 근로자의 분포를 보면 근무기간이 1~2개월인 군에서 83.5%로 가장 높았으며, 3~4개월 군과 5~6개월 군에서 61.1%, 56.0%를 나타내었고, 근무기간이 5~6개월 이상인 군에서는 57.5~49.6%의 분포를 나타냈다.

각 공장의 공기 중 연의 기하평균 농도 수준에 의거한 각 공장군에 따른 근무기간과 연 노출 지표 사이의 상호관련성을 알아보기 위하여 상관분석을 시행한 바 Table 12와 같았다.

전체적으로는 근무기간과 혈중 연 농도 및 혈중 ZPP 농도 사이에는 유의한 상관성($P < 0.01$)이 있는 것

Table 12. Correlation matrix of lead exposure indices and work duration in three factory group

Variables	Factory group	WM	PBB	ZPP	log ZPP
PBB	A	0.165*			
	B	0.196**			
	C	0.201*			
	Total	0.177**			
ZPP	A	0.119	0.219*		
	B	0.102	0.561**		
	C	0.212*	0.651**		
	Total	0.135**	0.612**		
log ZPP	A	0.087	0.213*	0.977**	
	B	0.125	0.578**	0.957**	
	C	0.312**	0.672**	0.945**	
	Total	0.170**	0.614**	0.946**	
HB	A	-0.219*	0.181	-0.123	-0.096
	B	-0.046	-0.006	-0.182**	-0.205**
	C	-0.122	0.020	-0.044	-0.063
	Total	-0.096*	0.079	-0.082	-0.106*

WM : Work duration(month)

* $P < 0.05$

** $P < 0.01$

으로 나타났으나, 상관계수는 각각 $r=0.177$ $r=0.135$ 로 낮았다. 근무기간과 혈색소량 사이에는 유의한 역상관성($P<0.05$)이 있는 것으로 나타났으나 상관계수는 $r=-0.096$ 로 극히 낮았다. 혈중 연 농도와 혈중 ZPP 농도 사이에 상관계수는 $r=0.612$ 로 밀접한 상관성이 있는 것으로 나타났으나($P<0.01$), 혈색소량과 혈중 연 농도 및 혈중 ZPP농도 사이에는 유의한 상관이 없었다($P>0.05$).

또한 공기 중 연 농도의 기하평균이 높은 공장군일수록 근무기간과 혈중 연 농도 및 혈중 log ZPP 농도 사이에 상관계수가 증가하는 양상을 나타냈고, 근무기간과 혈중 ZPP 농도 사이에서는 공기 중 연 농도의 기하평균이 허용 농도 이하($0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 이하)인 A군과 허용 농도의 2배 이하($0.05\sim 0.10\text{mg}/\text{m}^3$)인 B군에서는 유의한 상관성이 없었고($P>0.05$), 허용 농도의 2배 이상($0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 이상)인 C군에서는 유의한 상관성이 있었다($P<0.05$).

혈중 연 농도와 혈중 ZPP 농도 사이에서도 공기 중 연 농도의 기하평균이 높은 군일수록 상관계수가 증가

하는 것으로 나타났다.

공장의 공기 중 연 농도의 기하평균 수준에 따라서 공장군별로 구분하여 근무기간을 독립변수로 하고 연 노출 지표(혈중 연 농도, 혈중 ZPP 농도, 대수 혈중 ZPP 농도 및 혈색소량)를 종속변수로 한 단순 일차 회귀 방정식을 비교한 바 Table 13과 같았다.

혈중 연 농도, 혈중 ZPP 농도, 혈중 log ZPP 농도에 대하여 공기 중 연 농도의 기하평균 수준이 높은 공장군일수록 근무기간에 따른 회귀직선의 기울기와 설명력이 커지는 양상을 나타냈었다.

근무기간에 따른 혈중 연 농도의 회귀방정식은 A군에서는 유의성이 없었으며, B군에서는 $P<0.05$, C군에서는 $P<0.01$ 로 유의성이 증가하였다. 전체적으로 유의성은 있었으나($P<0.01$) 설명력은 0.0315로 낮았다.

근무기간에 따른 혈중 ZPP 농도의 회귀방정식은 A군과 B군에서 유의성이 없었으며, C군에서는 유의성이 있었고($P<0.05$), 전체적으로는 볼 때 유의성이 있었으나($P<0.01$) 설명력은 0.0181로 낮았다.

근무기간에 따른 혈중 log ZPP 농도의 회귀방정식

Table 13. Simple linear regression of lead exposure indices on work duration by factory group

Factory group	Regression equation	R-square	P-value
A	PBB = 19.350 + 0.432 = WM	0.0271	0.0815
B	PBB = 25.417 + 0.682 = WM	0.0383	0.0039
C	PBB = 32.358 + 0.793 = WM	0.0404	0.0408
Total	PBB = 25.286 + 0.680 = WM	0.0315	0.0002
A	ZPP = 38.293 + 0.514 = WM	0.0141	0.2099
B	ZPP = 47.005 + 0.861 = WM	0.0105	0.1336
C	ZPP = 50.901 + 2.519 = WM	0.0449	0.0308
Total	ZPP = 45.141 + 1.246 = WM	0.0181	0.0050
A	log Zpp = 3.629 + 0.009 = WM	0.0076	0.3591
B	log Zpp = 3.740 + 0.017 = WM	0.0157	0.0664
C	log Zpp = 3.756 + 0.048 = WM	0.0975	0.0013
Total	log Zpp = 3.705 + 0.024 = WM	0.0288	0.0004
A	HB = 15.481 + (-0.078) = WM	0.0478	0.0200
B	HB = 15.412 + (-0.016) = WM	0.0021	0.5027
C	HB = 15.618 + (-0.040) = WM	0.0150	0.2158
Total	HB = 15.457 + (-0.034) = WM	0.0093	0.0452

WM : work duration (month)

은 A군과 B군에서 유의성이 없었으며, C군에서는 유의성이 있었고($P < 0.01$), 전체적으로는 볼 때 유의성은 있었으나($P < 0.01$) 설명력은 0.0288로 낮았다.

근무기간에 따른 혈색소량의 변화는 작업환경이 가장 양호한 A군에서 유의한 역상관을 나타내었고($P < 0.05$), 설명력은 0.0478로 낮았다. 다른 공장군에서는 유의성을 나타내지 않았다.

IV. 고 찰

연 취급 작업자들의 인체 영향을 평가하기 위한 연 노출 지표로는 여러 가지가 있으나, 이중 혈중 연 농도와 요중 연 농도는 연이 체내에 흡수된 상태를 나타내는 연흡수(lead absorption)의 지표이고, 혈중 ZPP 농도, 요중 delta-aminolevulinic acid 농도, 요중 corprotophyrin 농도 등은 연 흡수에 따른 대사산물을 측정하는 것으로 연이 흡수되어 실제로 인체에 나타난 영향을 측정하는 것이다(Waldron, 1980). 이중 혈중 연 농도는 최근의 연 노출을 가장 잘 반영하고 연령, 성, 인종 및 개인적 다양성의 영향을 적게 받고, 증상이 나타나기 전에 측정이 가능하기 때문에 생물학적 모니터링의 단일지표로서 가장 좋은 것으로 알려져 있다(Zielhuis, 1975). 반면에 혈중 ZPP 농도는 연에 의해 생긴 신진대사 장애를 다른 지표보다 훨씬 직접적으로 반영하기 때문에 연 흡수의 영향을 나타내는 아주 유용한 지표이고, 연 분석시 관여할 수 있는 오염의 기회가 극히 적은 점, 다른 어떤 검사보다 훨씬 간편하고 신속하며 경제적이고, 표본 용량이 적게 필요한 장점을 가지고 있다(김정만 등, 1986). 또한 Grunder와 Moffitt(1979)는 혈중 연량과 혈중 ZPP 농도 사이에는 높은 상관성이 있어서 혈중 ZPP 농도의 측정으로 혈중 연량을 대신할 수 있고, 두 변수간의 관계가 혈중 ZPP 농도를 대수변환할 경우 더 밀접한 상관을 나타낸다고 주장하였다. 그러나 혈중 ZPP 농도는 연 노출에 의해서만 변동이 있는 것이 아니라 철 결핍인 경우에도 변동이 있고, 특히 여성 근로자들의 경우 연 노출없이 철 분 결핍에 의해 혈중 ZPP 농도가 증가하는 경우가 있

기 때문에 임상적 연 중독의 진단에는 양자 중 하나만 측정하기보다는 양자 모두 특정하는 것이 바람직하다는 주장도 있다(Grandjean 등, 1991; Lilis 등, 1977).

본 연구에서 대조군의 혈중 연 농도의 평균은 $5.8 \pm 1.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 을 나타내었고, 양정선 등(1996)이 건강한 525명의 선생님을 대상으로 한 연구에서 혈중 연 농도의 평균은 $5.79(1.8\sim 29.63) \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이라고 보고하여 본 연구결과와 비슷하였으며, 안규동 등(1993)은 건강한 212명을 대상으로 $14.5 \pm 4.1 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 김강운 등(1993)은 131명의 남자를 대상으로 $9.46 \pm 2.44 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이라고 보고하였다. 일본의 경우 건강한 779명의 농부를 대상으로 한 연구에서 평균 혈중 연 농도는 $4.86 \pm 0.15 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이라고 보고하고 있으며, 정상인의 혈중 연 농도는 조사대상이나 지역에 따라 상당히 차이가 있다고 하였다(Watanabe 등, 1985).

근무기간을 1년 미만으로 제한한 본 연구에서 433명의 연 노출군의 평균 혈중 연 농도는 $29.5 \pm 12.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이고, 평균 혈중 ZPP 농도는 $52.9 \pm 30.0 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 혈색소량은 $15.2 \pm 1.1 \text{gm}/100\text{ml}$ 을 나타내었고(Table 5), 연 중독 주의한계에 따른 혈중 연 농도 $40 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상과 혈중 ZPP 농도 $100 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상인 근로자는 각각 18.2%, 7.2%였다(Table 10, 11). 강필규(1995)의 연구에서는 8개 축전지 제조업에 종사하는 남자 근로자 1,506명(평균 근무기간 : 5.0 ± 4.9 년)의 평균 혈중 연 농도는 $31.5 \pm 12.9 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이고, 평균 혈중 ZPP 농도는 $59.6 \pm 43.3 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 혈색소량은 $15.7 \pm 1.3 \text{gm}/100\text{ml}$ 을 나타냈고, 연 중독 주의한계에 따른 혈중 연 농도 $40 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상과 혈중 ZPP 농도 $100 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상인 근로자는 각각 22.38%, 10.23%라고 보고하였다. 또한 황규운 등(1991)은 작업장의 환경농도가 허용농도 이하인 사업장을 대상으로 하였는데 평균 혈중 연 농도는 $21.9 \pm 6.9 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이고, 평균 혈중 ZPP 농도는 $21.5 \pm 14.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 혈색소량은 $15.9 \pm 0.9 \text{gm}/100\text{ml}$ 이었고, 조사대상자는 78.5%가 3년 이상 근무한 근로자였고, 2년 이하 근무한 근로자는 4.3%였다. 이를 본 연구에서 작업장의 환경농도가 허용농도 이하인 A군(113명)과 비교할 때 A군의 평균 혈중 연

농도는 $21.9 \pm 7.9 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이고, 평균 혈중 ZPP농도는 $41.4 \pm 12.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 혈색소량은 $15.0 \pm 1.0\text{gm}/100\text{ml}$ 을 나타내어서 혈중 연 농도와 혈색소량에서는 차이가 없었지만 혈중 ZPP 농도에서는 큰 차이를 나타내었다. 본 연구가 조사대상자를 근무기간 1년 미만(평균 근무기간: $5.8 \pm 3.3 \text{ month}$)에 한정된 것을 고려하여 강필규(1995)나 황규윤 등(1991)의 연구와 비교할 때 결과의 큰 차이가 없다는 것은 근무기간 1년 이내에 연 노출 지표들은 어느 정도 평형상태를 이루는 것으로 생각된다.

또한 김창윤 등(1990)의 연 축전지 공장의 생산직 근로자를 대상으로 한 코호트 연구에서는 노출 전 혈중 연 농도는 $16.58 \pm 4.53 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었고 3개월 후에 $28.82 \pm 5.66 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 급격하게 증가했으며 ($P < 0.01$), 그 후 4회 측정치는 $26.46 \sim 28.54 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 더 이상 증가하지 않았다고 하였다. Hesley와 Wimbish(1981)의 연구에 의하면 이전에 연 노출이 없었던 209명의 연 제련업에 종사하는 근로자를 대상으로 한 연구에서 입사 당시 혈중 연 농도는 그래프상으로는 $15 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었고, 이후 근무 4개월까지는 혈중 연 농도가 $55 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 급격하게 증가하였으나, 4~6개월에서는 더 이상의 증가없이 평형을 이루었다고 보고하였다. 반면에 혈중 ZPP 농도는 입사당시 $16 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었고 근무 4개월째에는 $55 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 에 해당하였고 근무 6개월 후에는 $110 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 까지 증가하여 평형상태에 이르지 못하고 계속 증가하였다고 보고하고 있다. 본 연구에서는 전체적으로 볼 때 평균혈중 연 농도는 취업 전 근로자들에서 $5.8 \pm 1.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 을 나타내어 상기 연구결과와 차이가 있었으나, 근무기간이 1~2개월 군에서는 $24.1 \pm 12.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 근무기간 3~4개월인 군에서는 $29.2 \pm 13.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 급격히 증가하였으며($P < 0.05$), 그 이후 군에서는 $28.9 \sim 34.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 의 수치를 나타내어(Table 7), 김창윤 등(1990), Hesley 등(1981)과 비슷한 양상을 관찰하였으며, 이로 미루어 보아 근로자들이 연 노출 이후 혈중 연 농도가 어느 정도 평형을 이루는 시기가 3~4개월쯤인 것으로 생각된다.

또한 공기 중 연의 노출수준별로 볼 때 대조군의 평균 혈중 연 농도는 모든 공장군과 근무기간군에 대하여 유의하게 낮았고($P < 0.05$), A군에서 혈중 연의 근무기간별 평균은 1~2개월 군에서 $14.1 \pm 6.3 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 3~4개월 군과 비교하여 유의하게 낮았고($P < 0.05$), 나머지 군에서는 $20.9 \sim 25.7 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 의 수치를 나타내었다. B군에서도 근무기간이 1~2개월인 군에서 $24.0 \pm 10.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 다른 근무기간 군과 비교하여 유의하게 낮았고($P < 0.05$), 나머지 군에서는 $29.6 \sim 33.3 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 의 수치를 나타내었다. C군에서는 근무기간이 1~2개월 군과 3~4개월 군간의 유의한 차이는 보이지 않았는데 이는 근무기간이 1~2개월 이내에 혈중 연 농도가 $30.2 \pm 16.5 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 많은 연 흡수가 일어났기 때문이라고 생각된다. 그러나 3~4개월 군에서 $37.5 \pm 14.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 을 나타내었고 나머지 군에서는 $35.4 \sim 44.6 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 의 수치를 나타내어 다른 두 공장군과 비슷한 양상을 나타내었다. 이로 미루어 보아 연 노출 근로자들의 혈중 연 농도가 체내에서 평형(plateau)을 이루는 시기는 연 노출 수준과는 관계가 없는 것으로 관찰되지만 이에 대하여는 보다 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

근무기간에 따른 혈중 ZPP 농도의 평균은 Table 8과 같이 대조군($30.8 \pm 12.7 \mu\text{g}/100\text{ml}$)과 근무기간 1~2개월 군($40.6 \pm 18.0 \mu\text{g}/100\text{ml}$) 사이에는 유의한 차이는 없으나 3개월 이상 군에 비하여는 유의하게 낮았으며($P < 0.01$), 3~4개월 군에서는 $53.4 \pm 38.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 급격히 증가하였고, 근무기간이 3개월 이상 12개월 이하군들 사이에서는 유의한 차이가 없었다. A군에서는 3개월 이상 10개월 이하 군만이 대조군과 유의한 차이가 있었으며($P < 0.05$), 근무기간에 따른 평균 혈중 ZPP 농도의 차이는 심하지 않았다. B군에서는 근무기간 3~4개월 이상군에서 대조군과 유의한 차이가 있었고($P < 0.05$), 근무기간이 7개월 이상 10개월 이하군에서 근무기간 1~2개월군과 유의한 차이($P < 0.05$)가 있었다. C군에서 평균 혈중 ZPP 농도는 근무기간 3~4개월까지 급격한 증가 양상을 나타내다가 이후 근무기간 군에서는 통계적인 유의성을 나타내지는 않았지만 근

무기간이 긴 집단균일수룩 완만한 증가양상을 나타내었다. 각 공장군에 따른 이러한 차이는 연 흡수의 정도에 따른 조혈기능이 반응하는 정도의 차이인 것으로 생각된다. Hesley와 Wimbish(1981)의 연구결과와 비교하면 전체적으로 근무기간 3~4개월은 비슷한 양상을 보였으나 이후부터는 C군만이 혈중 ZPP의 완만한 증가가 계속되었고 반면에 Hesley와 Wimbish의 연구에서는 지속적인 증가 양상을 보였는데, 이는 본 조사가 단면조사였고, 따라서 조사시점에서 이미 퇴사한 근로자들이 고려되지 못한데서 비롯된 것으로 생각된다. 또 다른 이유로는 Hesley와 Wimbish는 일반적으로 연 축전지업보다 연 노출이 심한 연 제련업에 종사하는 근로자를 대상으로 했기 때문에 발생할 수 있는 연 노출 수준의 차이로 인한 것일 수 있다.

혈중 연 농도는 단순히 연의 체내에 흡수된 상태를 나타내고 혈중 ZPP 농도는 혈중 연 농도에 의한 체내 변화를 나타내기 때문에 두 변수 사이에는 3~4개월(적혈구의 평균수명) 정도의 시간차가 있다고 하였으며 (Ness, 1996), Hesley와 Wimbish(1981)는 이러한 시간 차이 때문에 혈중 연이 평형을 이룬 이후에도 혈중 ZPP 농도의 증가가 계속된다고 하였으며, 따라서 연 중독에 대한 스크리닝 검사법으로서 혈중 ZPP 농도를 사용할 때는 많은 주의가 필요하다고 하였다.

미국 보건성(1991)이 말하는 건강증진과 질병예방을 위한 Healthy People 2000에서 '연에 노출되는 근로자를 위한 목표'는 혈중 연 농도가 $25 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상을 라가게 하는 모든 노출을 제거하는 것이라고 한 바, 현재 이러한 목표기준에 해당하는 근로자는 A군에서는 65.5%였고, B군에서는 36.1%였고, C군에서는 19.2%를 나타내어(Table 10) 공장의 작업환경에 따른 큰 차이를 보였다. 이러한 기준에 어느 정도 준하려면 작업 환경 농도를 적어도 허용기준 이하로 유지하는 것이 필요하다고 생각된다.

혈중 ZPP 농도를 연 중독의 주의한계($100 \mu\text{g}/100\text{ml}$) 이상, $50\sim 100 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $50 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 미만으로 구분하였을 때(Table 11), A군에서는 총 113명 전원이 연 중독 주의한계 이하였고 혈중 ZPP 농도가 $50 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이

하인 근로자는 근무기간 군별로 94.3~70.8% 범위 내에 있었으며 큰 차이를 나타내지 않아서 연 노출에 따른 조혈계의 영향이 적은 것으로 생각되었다. B군에서는 총 216명 중 15명(6.9%)이 주의한계를 넘었고, 혈중 ZPP 농도가 $50 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하인 근로자는 근무기간이 1~2개월 군에서 80.4%였고 3개월 이상인 군에서는 63.4~47.4%의 분포를 나타내었다. C군에서는 총 104명 중 16명(15.4%)이 연 중독 주의한계를 넘었고, 혈중 ZPP 농도가 $50 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하인 근로자는 근무기간이 1~2개월군에서 85.7%였고 그 이후로 11~12개월로 근무기간이 증가함에 따라 53.6%, 47.4%, 20.0%, 25.0%, 15.4%로 꾸준히 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 연 노출기간에 따른 조혈계의 영향이 계속 증가되었기 때문이라고 생각된다. 전체적으로 총 433명 중 31명(7.1%)이 연 중독 주의한계를 넘고 있으며, 또한 혈중 ZPP 농도가 $50 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하의 비율은 A군에서 82.3%, B군에서는 60.2%였고, C군에서는 43.3%에 불과하여 공장의 작업환경에 따른 큰 차이를 보였다.

각 공장의 공기 중 연 농도의 기하평균 수준에 의거한 각 공장군에 따른 근무기간과 연 노출 지표 사이의 상호관련성은 전체적으로는 근무기간과 혈중 연 농도 및 혈중 ZPP 농도 사이에는 유의한 상관성($P < 0.01$)이 있는 것으로 나타났으나, 상관계수는 각각 $r=0.177$, $r=0.135$ 로 낮았다. 강필규(1995)의 연구에 의하면 혈중 연 농도와 혈중 ZPP 농도, 혈중 log ZPP 농도의 상관계수는 각각 $r=0.588$, $r=0.649$ 라고 보고한 바 본 연구와 비슷한 결과를 나타내었으나 혈색소와 혈중 ZPP 농도 및 혈중 log ZPP 농도의 상관계수는 각각 $r=-0.260$, $r=-0.258$ 을 나타내어 차이가 있었다. 혈중 연 농도와 혈중 ZPP 농도 사이에도 공기 중 연 농도의 기하평균이 높은 균일수룩 상관계수가 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 각 공장군의 작업환경 차이에 따른 혈중 연 농도 수준이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

공장의 공기 중 연 농도의 기하평균 수준에 따른 각 공장군별로 구분하여 근무기간을 독립변수로 하고 연 노출 지표(혈중 연 농도, 혈중 ZPP 농도, 대수 혈중

ZPP 농도 및 혈색소량)를 종속변수로 한 단순 일차 회귀 방정식을 비교한 바 혈중 연 농도, 혈중 ZPP 농도, 혈중 log ZPP 농도에 대하여 공기 중 연 농도의 기하평균 수준이 높은 균일수록 근무기간에 따른 회귀직선의 기울기와 설명력이 커지는 양상을 나타냈다. 이러한 결과는 단위 공장의 작업환경 농도에 따른 근무기간 1년 미만인 근로자들의 연 흡수 및 연에 의한 영향을 비교하는 지표로서 사용될 수 있다고 생각된다.

본 연구에서는 축전지 제조업에 종사하는 작업기간 1년 미만인 남자 근로자 전원과 연 사업장에 취업하기 전 근로자 49명을 대상으로 혈중 연 농도, 혈중 ZPP 농도, 혈색소량 등의 연 노출 지표와 작업환경을 조사하여 초기 연 노출 근로자들의 연 노출 지표치를 확인하고 초기 근무 개월수별 유소견율(연 중독 주의한계 이상)을 관찰하였다. 본 연구는 단면조사이기 때문에 연 노출지표의 경시적인 변화를 제시하는 데는 제한점이 있다. 그러나 다른 연구결과에서와 마찬가지로 연 노출지표들이 근무기간이 3~4개월인 군에서 이미 어느 정도 평형상태에 이르고 근무기간 1년 미만인 근로자들의 연 노출 지표치가 전체 연 취업 근로자들의 연 노출 지표치와 큰 차이가 없는 것을 볼 때, 신입사원들을 대상으로 한 연에 대한 올바른 교육의 중요성을 간과해서는 안 될 것으로 생각된다. 따라서 각 사업장 차원에서는 신입사원들에 대한 교육과 보호구 착용에 대한 주의가 절대적으로 필요하며, 보건관리차원에서는 신입사원들에 대하여 적어도 근무기간 3~4개월 이내에 혈중 연 검사를 포함한 적극적인 생물학적인 모니터링과 개인위생 및 작업장 관리를 포함한 연 중독에 대한 예방수칙을 반드시 교육시킬 필요가 있다고 생각된다.

V. 결론 및 요약

본 연구에서는 연 노출 초기 근로자들을 연 노출 수준에 따른 연 노출 지표의 수준 및 초기 근무개월수별 유소견율을 관찰하고 근로자들의 보건관리 및 초기 생물학적 모니터링 시기 결정에 근거자료를 제공하기 위

하여 축전지 제조업에 종사하는 작업기간 1년 미만인 남자 근로자 전원(433명)과 연 사업장 취업 전인 남자 근로자 49명을 대상으로 하여 혈중 연 농도, 혈중 ZPP 농도, 혈색소 등의 연 노출 지표와 작업환경을 조사하였다.

연 노출 수준별 연 노출 지표의 차이를 비교하기 위하여 각 공장의 공기 중 연의 전체 기하평균 농도가 허용 농도 이하인 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 이하인 공장을 A군으로 하고, $0.05\sim 0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 인 공장을 B군, $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 이상인 공장을 C군으로 하여 비교 분석하였다.

상기 변수들을 비교 분석한 결과는 다음과 같았다.

1. 근무기간이 1년 미만인 남자 근로자 433명의 평균 혈중 연 농도는 $29.5\pm 12.4\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이고, 평균 혈중 ZPP 농도는 $52.9\pm 30.0\ \mu\text{g}/100\text{ml}$, 혈색소량은 $15.2\pm 1.1\ \text{gm}/100\text{ml}$ 이었다.

2. 연 사업장 취업 전인 남자 근로자 49명의 평균 혈중 연 농도는 $5.8\pm 1.6\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이고, 평균 혈중 ZPP 농도는 $30.8\pm 12.7\ \mu\text{g}/100\text{ml}$, 혈색소량은 $15.7\pm 1.6\ \text{gm}/100\text{ml}$ 이었다.

3. 각 공장군별 혈중 연 농도와 혈중 ZPP 농도의 평균은 공기 중 연 농도의 전체 기하평균이 허용 농도 이하 ($0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 이하)인 A군에서는 $21.9\pm 7.6\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 과 $41.4\pm 12.6\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었고, 허용 농도에서부터 2배 이내($0.05\sim 0.10\text{mg}/\text{m}^3$)인 B군에서는 $29.8\pm 11.6\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 과 $52.6\pm 27.9\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었고, 허용농도의 2배 이상($0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 이상)인 C군에서는 $37.2\pm 13.5\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 와 $66.3\pm 40.7\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었고, 세 군간의 유의한 차이가 있었다($P<0.01$).

4. 근무기간이 1년 미만인 근로자들의 근무개월수별 혈중 연 농도의 평균은 근무기간이 1~2개월군에서 $24.1\pm 12.4\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 다른 근무기간군들에 비해서 유의하게 낮았고($P<0.05$), 3~4개월 군에서는 $29.2\pm 13.4\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었고 나머지 근무기간군에서는 $28.9\sim 34.5\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었다.

5. 근무기간이 1년 미만인 근로자들의 근무개월수별 평균 혈중 ZPP 농도는 근무기간이 1~2개월 군에서 $40.6\pm 18.0\ \mu\text{g}/100\text{ml}$ 으로 다른 군들에 비해서 유의하

게 낮았고($P < 0.05$), 3~4개월 군에서는 $53.4 \pm 38.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었고 나머지 근무기간군에서는 $51.5 \sim 60.4 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었다.

6. 근무기간이 1년 미만인 근로자 433명에서 혈중 연 농도가 $40 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상 및 혈중 ZPP 농도가 $100 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상인 비율은 18.2%와 7.1%였고, A군에서는 0.9%와 0.0%, B군에서는 17.1%와 6.9%, C군에서는 39.4%와 15.4%였다.

7. 근무기간이 1년 미만인 근로자 433명에서 혈중 연 농도가 $25 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하 및 혈중 ZPP 농도가 $50 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하인 비율은 39.7%와 61.9%였고, A군에서는 65.5%와 82.3%, B군에서는 36.1%와 60.2%, C군에서는 19.2%와 43.3%였다.

8. 근무개월수와 상관성이 있는 변수는 혈중 연 농도 ($r=0.177$, $P < 0.01$), 혈중 ZPP 농도 ($r=0.135$, $P < 0.01$), 혈중 log ZPP 농도 ($r=0.170$, $P < 0.01$) 및 혈색소량 ($r=0.096$, $P < 0.05$)이었다. 혈중 연 농도와 혈중 ZPP 농도 및 혈중 log ZPP 농도와의 상관성 $r=0.612$, $r=0.614$ 였고 유의성이 있었다 ($P < 0.01$).

9. 근무개월수를 독립변수로 하고 연 노출 지표(혈중 연 농도, 혈중 ZPP 농도, 혈중 log ZPP 농도)를 종속변수로 하는 단순 일차 회귀분석에서 공기 중 연 농도의 기하평균이 낮은 공장군일수록 회귀계수가 낮아졌다.

이상의 결과로 연에 노출되는 사업장의 신입사원들에 대하여 근무기간 3~4개월 이내에 혈중 연 검사를 포함한 적극적인 생물학적 모니터링과 개인위생 및 작업장 관리를 포함한 연 중독에 대한 예방수칙을 반드시 교육시킬 필요가 있다.

참고문헌

강필규. 우리나라 축전지 제조업 근로자들의 연 폭로에 관한 연구. 순천향대학교 박사학위논문 순천향대학교 대학원 1995

김강윤, 김현옥. 정상인에서 혈중 연과 zinc protoporphyrin과의 상관관계 및 HPLC와 Hematofluorometer로 측정된 zinc protoporphyrin 량

간의 비교. 한국산업위생학회지 1993;3(2):141-151

김정만, 김형아, 이광목, 이은영, 강재복. 연제련 작업자들의 혈색소, 혈중 연 및 혈중 Zinc protoporphyrin에 관한 연구. 한국의 산업의학 1986;25(1):1-8

김창운, 김정만, 한구용, 박정환. 축전지 근로자들의 혈중 연 농도에 대한 코호트 관찰. 예방의학회지 1990; 23(3):324-337

안규동, 김영희. 무기연 폭로시 혈중 연과 요중 연의 변화 한국의 산업의학 1982;21(1):11-15

안규동, 이성수, 이병국, 김두희. 연 폭로자에 있어서 신기능에 관련된 생물학적 지표 변화. 대한산업의학회지 1993;5(1):58-75

이삼열, 정윤섭. 임상병리검사법(개정판). 연세대학교 출판부, 1984, 쪽 119-120

정규철. 한국인에서의 연 흡수 판정기준에 관한 연구. 최신의학 1968;12:137-150

황규윤, 안재역, 안규동, 이병국, 김정순. 저농도 연폭로에서 혈중 연농도와 자각증상과의 관계. 예방의학회지 1991;24(2):181-194

노동부. 노동통계연감. 1994, 쪽 375

노동부. 산업안전보건법규집. 노문사, 1996, 쪽 110

Blumberg WE, Eisinger J, Lamola AA, Zurckermann DM. Zinc protoporphyrin level in blood determination by a portable hematofluorometer ; A screening device for lead poisoning. J Lab Med 1977;89:712-723

Cullen MR, Kayne RD, Robins JM. Endocrine and reproductive dysfunction in men associated with occupational inorganic lead intoxication. Arch Env Health 1984;39:431

Fernandez FJ. Micromethod for lead determination in whole blood by atomic absorption with use of graphite furnace. Clin Chem 1975;21:555-561

Grandjean P, Jorfensen PJ, Viskum S. Temporal and interindividual variation in erythrocyte zinc-protoporphrin in lead exposure workers. Brit J of Inustr Med 1991;48:254-257

Granziano J. Validity of lead exposure markers in diagnosis and surveillance. Clin Chem 1994;40(7): 1387-1390

Grunder FI, Moffitt AE. Evaluation of zinc protoporphyrin in occupational environment. Am

- Ind Hyg Asso J* 1979;40:686-694
- Hesley KL and Wimbish GH. *Blood Lead and Zinc Protoporphyrin in Lead Industry Workers. Am Ind Hyg Assoc J* 1981;42:42-45
- Lilis R, Fischbein A, Eisinger J, Blumberg WE, Diamond S, Anderson HA, Rom W, Rice C, Sarkozi L, Kon S, Seilikoff II. *Prevalence of lead disease among secondary lead smelter workers and biological indicators of lead exposure. Environmental Research* 1977;14:255-285
- Ness SA : *NIOSH case Studies in Lead* NIOSH 1996, pp. 244
- Rom WN. *Environmental and Occupational Medicine, 2nd ed.* 1992, pp. 740-744
- U.S. Department of Health and Human Services. *Healthy People 2000 -National Health Promotion and Disease Prevention Objectives- U.S. Government Printing Office, 1991, pp. 105*
- Waldron HA. *Metal in the environment, Academic Press, London, 1980 pp.155-197*
- Watanabe T, Fujita H, Koiaumi A, Miyasaka M, Ikeda M. *Baseline level of blood lead concentration among Japanese farmers. Arch Environ Health* 1985;40:170-176
- Yang JS, Kang SK, Park IJ, Rhee KY, Moon YH, Sohn DH. *Lead concentrations in blood among the general population of Korea. Int Arch Occup Environ Health* 1996;68:199-202
- Zenz C. *Occupational medicine, 3rd ed.* 1994, pp. 506-507
- Ziehuis RL. *Dose-response relationship for inorganic lead. Int Arch Occup Health* 1975;35:1-18