

## 직업적으로 납에 노출된 근로자들의 혈액중 납과 ZPP농도와의 관계

한국방송대학교<sup>1</sup> · 서울대학교 보건대학원<sup>2</sup> · 동국대학교<sup>3</sup>  
산업보건연구원<sup>4</sup> · 순천향대학교<sup>5</sup>

박동욱<sup>1</sup> · 백남원<sup>2</sup> · 최병순<sup>3</sup> · 김태균<sup>4</sup> · 이광웅<sup>4</sup> · 오세민<sup>4</sup> · 안규동<sup>5</sup>

— Abstract —

### Model Between Lead and ZPP Concentration of Workers Exposed to Lead

Dong-Wook Park<sup>1</sup>, Nam-Won Paik<sup>2</sup>, Byung-Soon Choi<sup>3</sup>,  
Tae-Gyun Kim<sup>4</sup>, Kwang-Yong Lee<sup>4</sup>, Se-Min Oh<sup>4</sup> and Kyu-Dong Ahn<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Korea National Open University, <sup>2</sup>Seoul National University, Department of Public Health,  
<sup>3</sup>Dong Kook University, <sup>4</sup>Industrial Health Research Institute,  
<sup>5</sup>Soon Chun Hyang University

This study was conducted to establish model between lead and ZPP concentration in blood of workers exposed to lead. Workers employed in secondary smelting manufacturing industry showed 85.1  $\mu\text{g/dl}$  of blood lead level, exceeding 60  $\mu\text{g/dl}$ , the Criteria for Removal defined by Occupational Safety and Health Act of Korea. Average blood lead level of workers in the battery manufacturing industry was 51.3  $\mu\text{g/dl}$ , locating between 40  $\mu\text{g/dl}$  and 60  $\mu\text{g/dl}$ , the Criteria for Requiring Medical Removal. Blood lead level in the litharge and radiator manufacturing industry was below 40  $\mu\text{g/dl}$ , the Criteria Requiring Temporary Medical Removal. Blood lead levels of workers by industry were significantly different ( $p < 0.05$ ). 50(21 %) showed blood lead levels above 60  $\mu\text{g/dl}$ , the Criteria for Removal and 66(27.7 %) showed blood lead levels between the Criteria for Requiring Medical Removal, 40 - 60  $\mu\text{g/dl}$ . Thus, approximately 50 percent of workers indicated blood lead levels above 40  $\mu\text{g/dl}$ , the Criteria Requiring Temporary Medical Removal and should receive medical examination and consultation including biological monitoring. Average ZPP level of workers employed in the secondary smelting industry was 186.2  $\mu\text{g/dl}$ , exceeding above 150  $\mu\text{g/dl}$ , the Criteria for Removal. Seventy seven of all workers(32.3 %) showed ZPP level above 100-150  $\mu\text{g/dl}$ , the Criteria for Requiring Medical Removal. The most appropriate model for predicting ZPP in blood was log-linear regression model. Log linear regression models between lead and ZPP concentrations in blood was  $\text{Log ZPP}(\mu\text{g/dl}) = -0.2340 + 1.2270 \text{ Log Pb-B}(\mu\text{g/dl})$  (standard error of estimate = 0.089,  $r^2 = 0.4456$ ,  $n = 238$ ,  $P = 0.0001$ ). Blood-in-lead explained 44.56 % of the variance in log(ZPP in blood)

## I. 서 론

혈액중 납농도는 근로자의 종합적이고 체계적인 노출지표로서 가장 일반적으로 이용되고 있다 (ACGIH, 1995; Chavalitnitikul 등, 1984; Hesley 등, 1981; Hopkins 등, 1990; Kononen 등, 1989; Matte 등, 1989; Verschoor 등, 1987). 이것은 혈액이 다른 신체조직의 부분이나 표적기관 보다는 채취하기가 간편하고 최근의 노출에 대한 정보를 제공할 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 혈액중 납농도는 "양-반응"의 관계에서, 정량적으로 이용되고 있다. 납에 대한 근로자 노출 및 흡수를 보다 정확히 평가하기 위해서는 다른 생물학적지수와 관련시켜 해석하는 것이 중요하다. 납중독 지표로서 ZPP농도가 추천되고 있다(Chavalitnitikul 등, 1984; Hesley 등, 1981; Matte 등, 1989; Verschoor 등, 1987). 분석이 간편하고 정확하기 때문에 근로자 중독방지를 위한 선별검사 지표로 이용되고 있다. 생물학적 지수들 간의 상호관계에 대한 연구(King 등, 1979; Chavalitnitikul 등, 1984; Matte 등, 1989; Hammond 등, 1985; Jinbei 등, 1982; 김정만 등, 1984; 김정만 등, 1986; 이병국 등, 1983; 안규동 등, 1982)는 많이 수행되어 왔다. 모두가 근로자 보건관리에 효율성을 기하고자 하는 목적을 가지고 있으나 연구자마다 주장하는 모델이 다르다. Chavalitnitikul 등(1984)은 축전지 공정의 근로자들을 대상으로 실시한 연구에서 공기중 총납 농도와 ZPP농도와와의 관계를 나타내는 데는 대수변환한 선형회귀모델이 가장 적합하다고 주장하였다(Chavalitnitikul 등, 1984). Ulenbelt 등(1990)도 공기중 납과 혈액중 납의 관계는 대수변환한 선형모델이 적합하다고 하였다(Ulenbelt 등, 1990). 생물학적 지수들 간의 상호 관계에 대한 모델을 통해서 납의 흡수와 중독을 예측하고, 이를 근로자 보건관리에 이용하고 있다. 만일, 정확하지 못한 관계 모델을 기준으로 근로자 보건관리를 하거나 납으로 인한 영향정도를 예측하는 경우 여러 가지 문제점이 제기 될 수 있다. 일부 연구들에서 변수들 간의 관

계를 설정할 때 정확성을 저하시키는 요인이 있을 수 있다. 혈액중 납과 ZPP, 소변 중 ALA(aminolevulinic acid in Urine, ALAU), Hb(Hemoglobin) 등을 포함한 생물학적 지수들 상호 간의 관계에 대한 모델이 변수들의 자료변환이 이루어 지지 않거나(King 등, 1979), 노출 기간을 구분하지 않는 점이다(Chavalitnitikul 등, 1984; Matte 등, 1989). 혈액중 납과 ZPP관계 모델은 납의 흡수와 중독을 예측하는 자료로 이용되므로 매우 중요하다. 업종별, 근무기간별, 그리고 일반적인 특성들의 구분에 의한 변수들의 정확한 분석을 근거로 신뢰성 있는 모델을 제시하는 것이 필요하다. 본 연구목적은 3가지이다 첫째, 업종별 혈액중 납과 ZPP의 농도의 수준을 알아 본다. 둘째, 혈액중 납과 ZPP의 농도의 수준을 알아보고, 우리나라 및 미국의 관리기준과 비교 평가한다. 세째, 업종별 혈액중 납과 ZPP의 농도의 관계모델을 제시한다. 본 연구결과는 납취급 근로자를 납중독으로 부터 예방할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 대상

총 4 개 업종의 12개 사업장에서 납을 취급하는 공정의 238명 근로자를 대상으로 하였다. 2차 제련업 20명, 방열기 제조업 80명, 축전지 제조업 93명, 그리고 리사지(산화연) 제조업 45명이었다.

### 2. 방법

근로자의 채취된 혈액은 납이 포함되지 않은 헤파린으로 처리된(heparinized) 혈액채취 관에 넣은 후 즉시 혼합하였다. Ice box에 보관하여 실험실에 운반하고 2일 이내에 분석하였다.

분석은 흑연로장치가 부착된 원자흡수분광광도계(Spectra AA-300/400 Zeeman, Varian, Australia, Pty Ltd)로 표 1과 같은 조건으로 분석하였다. 1 %의 Triton 100을 사용하여 혈액을 용해하고, 800도 이상의 높은 회화온도(ashing temperature)에서 납의 손실을 방지하고 신호를 안정시키기

**Table 1.** 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

위한 modifier로서  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (diammonium hydrogen phosphate)를 사용했다(Eaton 등, 1983; Jacobson 등, 1991). 혈액중 ZPP는 근로자의 채취된 혈액을 커버글라스(cover glass)에 1방울(38  $\mu\text{l}$ ) 정도 떨어뜨린 후 Hematofluorometer (Model, AVIV 206)로 분석하였다.

자료의 분석은 Plot 50 (Version 5.0)과 SAS Software (version 6.02) 그리고 Table Curve를 이용하였다

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 근로자의 일반적 특성

표 2는 근로자의 일반적 특성이다. 평균나이는 36.9세이고 17세 부터 62세까지 포함되었다. 평균 근무경력은 52개월이었다.

업종별로 근로자의 나이와 근무기간간에는 유의한 차이가 없었다( $p=0.0001$ ).

#### 2. 업종별 근로자의 혈액중 납과 ZPP농도

업종별 근로자의 혈액중 납과 ZPP농도는 표 3과 같다. 2차 제련업이 85.11  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 으로서 가장 높고 산업안전보건법에서 정하는 선별한계인 60  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 을

훨씬 초과하였다(한국산업안전공단, 1996). 이러한 농도는 2차 제련업 근로자를 대상으로 1984년에 Lee 등이 조사한 평균 43.3  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 과 1985년에 Kim 등이 조사한 46.0  $\mu\text{g}/\text{dl}$ (이병국 등, 1986) 보다 2배 가까이 높은 농도였다. 이것은 2차 제련업이 갈수록 업종의 특성이 영세함에 따라 작업환경개선은 더욱 어렵고, 납중독에 대한 근로자 보건관리도 효과적으로 이루어 지지 않은 때문으로 판단된다.

Gartside 등(1994)이 알라바마(Alabama)의 축전지 재생공장의 15명의 평균 혈액중 납농도는 65.8  $\mu\text{g}/\text{dl}$  (범위는 9-86  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )로서(Gittleman 등, 1994) 본 연구결과(85.11  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )보다 낮았다. 축전지 제조업의 평균농도는 51.29  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 주의한계인 40-60  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에 속하였다. Lee가 1982년에 축전지 제조업 근로자 234명을 대상으로 조사한 혈액중 납농도는 53.8  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로서(이병국 등, 1983) 본 연구결과와 큰 차이가 없었다. 이러한 결과를 볼 때 축전지 제조업은 10년 전에 비해 작업환경과 근로자 보건관리가 특별히 개선되었다고 볼 수 없다. 방열기 제조업과 리사지 제조업은 허용기준 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이하였다. Scheffe의 다중비교(multiple comparison)에 의한 혈액중 납농도는 모든 업종별로 서로 유의한 농도차이를 보였다( $p<0.05$ ).

**Table 2.** Characteristics of Workers Sampled for Biological Monitoring by Industry

Industry	No. of Workers	Age			Working Duration, month		
		Average	SD	Range	Average	SD	Range
Secondary smelting	20	48.8	8.5	34 - 59	50.5	41.9	1 - 172
Radiator manufacturing	80	34.2	10.9	17 - 62	70.2	67.3	1 - 257
Battery manufacturing	93	34.5	12.7	18 - 59	38.1	39.5	1 - 210
Litharge manufacturing	45	40.1	6.9	27 - 54	52.8	48.8	2 - 199
Total	238	36.9	11.6	17 - 62	52.0	54.5	1 - 257

**Table 3.** Lead and ZPP Concentration by Industry

Industry	No. of Workers	Lead in Blood		ZPP	
		GM( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	GSD	GM( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	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

본 연구의 혈액중 납농도를 동일 업종에 대한 외국의 연구결과와 비교해 보았다. Matte 등(1989)은 자마이카(Jamaica)의 축전지 제조공장 3개소에 대한 근로자의 혈액중 납농도를 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 65  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 58  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로(Matte 등, 1989) 보고하였고, Kalim 등(1986)은 수단(Sudan)에서 축전지 제조 근로자 90명의 혈액중 납농도를 평균 48.1  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에서 80.7  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 보고하였다(Kalim 등, 1986). 이들의 연구결과는 본 연구의 축전지 제조업 근로자의 농도(51.3  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )와 비슷하거나 높은 농도였다. Kononen 등(1989)이 미국의 2-3개 축전지 제조 사업장에서 15 - 34 명의 납분기기 운전자(paste machine operator)를 대상으로 1980년 부터 1985년 까지 혈액중 납농도의 변화를 평균 33.1  $\mu\text{g}/\text{dl}$  (1983년)에서 43.7  $\mu\text{g}/\text{dl}$  (1980년)로 보고하였다(Kononen 등, 1989). 또한, 그는 1984년에 미국의 축전지 제조공장 30명을 대상으로 1년 동안 혈액중 납 농도를 12.5  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에서 27.3  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 보고하였다(Kononen 등, 1989). 이러한 혈액중 납농도는 본 연구의 축전지 제조업 근로자의 농도(51.29  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )보다 훨씬 낮았다. 나라마다 혈액중 납농도가 차이가 나는 주된 요인은 축전지 제조공법 때문으로 여겨진다. 즉, 후진국일수록 축전지는 극판제조 공법으로 납노출이 크며 선진국은 신공법으로 노출이 적은 방법이다.

혈액중 ZPP의 기하평균농도는 2차 제련업이 186.21  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 으로서 선별한계인 150  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 을 훨씬 넘었다. 이러한 농도는 2차 제련업 근로자를 대상으로 1984년에 Lee 등이 조사한 평균 ZPP농도 131.4  $\mu\text{g}/\text{dl}$ (이병국, 1984)와 1985년에 Kim 등이 조사한 89.6  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 훨씬 높은 농도였다(김정만 등, 1986). 축전지 제조업은 95.50  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 주의 한계농도에는 적정하나 높은 농도였다. 방열기와 리사지 제조업의 ZPP농도는 각각 14.13  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 과 56.86  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 주의한계 농도에 훨씬 못미치는 수준으로 조사되었다. Scheffe의 다중비교에 의한 혈액중 ZPP 농도는 모든 업종별로 유의한 농도차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

혈액중 ZPP농도를 동일 업종에 대한 다른 연구결과와 비교해 보면, Gittleman 등(1994)이 알라바

Table 4. Frequency Distribution of Lead Concentration in Blood by Industry(%)

Industry	Workers No.	Lead concentration in blood, $\mu\text{g}/\text{dl}$			
		$\geq 40$	$\geq 50$	40-60	$\geq 60$
Secondary smelting this study	20	19(95.0)	19(95.0)	1( 5.0)	18(95.0)
Kim et. al.(1986)		64(71.1)	-	50(55.6)	14(15.5)
Radiator manufacturing this study	80	6( 7.5)	1( 1.3)	6( 7.5)	0
Battery manufacturing this study	93	70(75.3)	54(58.1)	40(43.0)	30(32.3)
Lee(1982)		177(75.6)	-	87(37.2)	90(38.5)
Litharge manufacturing this study	45	21(46.7)	7(15.5)	19(42.2)	2( 4.4)
Total	238	116(48.7)	81(34.0)	66(27.7)	50(21.0)

마에 있는 축전지 재생공장의 15명 근로자에 대한 혈액중 ZPP농도는 평균  $268.7 \mu\text{g}/\text{dl}$  (범위는 27-616  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )로서 (Gittleman 등, 1994) 본 연구결과 (186.21  $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) 보다는 높았다. Kononen 등(1991) 이 보고한 미국의 축전지 제조 근로자의 혈액중 ZPP 농도는 21.6  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에서 46.6  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 (Kononen 등, 1991) 본 연구보다는 훨씬 낮았다. 이것은 축전지 제조공법에 의한 납의 노출농도 차이가 가장 큰 원인으로 판단된다.

우리나라 산업안전보건법 (한국산업안전공단, 1996)과 미국산업안전보건청 (OSHA, 1986)의 혈액중 납에 대한 규제기준은 서로 다르다. 표 4는 두 나라의 관리기준에 따라 해당되는 근로자 수와 그 비율을 나타낸 것이다. 전체 238명중 산업안전보건법의 선별한계인 60  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상인 근로자 수는 50명 (21 %)이고 주의한계인 40 - 60  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에 해당하는 근로자 수는 66명으로 27.7 %를 차지하였다.

조사대상 근로자 중 약 50 %가 납노출에 따른 주의한계를 넘었다. 미국산업안전보건청의 기준과 관리에 적용하여 설명하면 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상이 116명 (48.7 %)으로서 이들은 2개월 마다 혈액중 납농도의 변화를 조사받아야 한다 (OSHA, 1986). 만일 연속한 2번의 결과가 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 을 이상일 때는 사업주가 즉시 해당 근로자에게 알려야 하며 근로자는 일시적인 의학조치 (medical removal)를 받도록 되어 있다 (OSHA, 1986). 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상을 나타낸

근로자 수는 2차 제련업이 19명 (95 %), 축전지 제조업이 70명 (75.3 %), 그리고 리사지 제조업이 21명 (46.7 %)으로서 방열기 제조업을 제외하고는 대부분의 근로자가 여기에 해당되었다. 미국은 근로자의 혈액중 납농도가 50  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상인 경우 공기중 납의 농도가 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 작업장에서는 격리하고 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이하로 될 때 복귀할 수 있다고 되어 있다. 이 기준에 해당하는 근로자 수는 총 81명으로 34 %였다. 이들을 업종별로 구분하면 2차 제련업은 19명 (95 %), 축전지 제조업은 54명 (58.1%)으로 다른 업종에 비해 매우 높았다. 2차 제련업 근로자의 혈액중 납농도를 Kim 등이 1986년에 조사한 결과와 비교하면 현재가 더 높았다. 선별한계인 60  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상인 근로자가 본 연구는 95.5 %로서 Kim 등(1986)이 조사한 15.5 % (김정만 등, 1986) 보다 훨씬 높았다. 2차 제련업은 갈수록 업종의 특성이 소규모이고 영세하여 작업환경 및 근로자 보건관리가 오히려 열악해져 가는 것으로 판단된다.

축전지 제조업 근로자의 혈액중 납농도를 Lee가 1982년에 우리나라의 축전지 제조 근로자 234명을 대상으로 조사한 결과 (Lee, 1982)와 비교하면, 기준치인 40  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상 근로자는 75.3 %와 75.6 %로서 거의 비슷하였다. 60  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상 근로자도 32.3 %와 38.5 %로서 큰 차이가 없었다. 10년 이상이 지났는데도 축전지 제조업의 공정, 작업환경, 근로자 보건관리 등이 개선이 되고 있지 않은 것으로 판단된다.

**Table 5.** Frequency Distribution of ZPP Concentration in Blood by Industry

Industry	Workers No.	ZPP in blood, $\mu\text{g/dl}$	
		100 - 150	$\geq 150$
Secondary smelting	20	3(15.0)	13(65.0)
Kim et.al.(1986)		7( 7.8)	2( 2.2)
Radiator manufacturing	80	0	0
Battery manufacturing	93	23(24.7)	27(29.0)
Litharge manufacturing	45	9(20.0)	2( 4.4)
Total	238	35(14.7)	42(17.6)

표 5는 혈액중 ZPP농도를 산업안전보건법의 관리 기준에 의해 해당 근로자 수와 비율을 나타낸 것이다. (한국산업안전공단, 1996)

총 238명의 근로자 중 35명 (14.7 %)이 주의한계인 100-150  $\mu\text{g/dl}$ , 그리고 42명 (17.6 %)이 선별한계 (150  $\mu\text{g/dl}$  이상)에 각각 해당되는 것으로 나타났다.

4개의 업종 중 2차 제련업과 축전지 제조업이 주의한계 이상의 근로자 수가 가장 많은 것으로 나타났다. 본 연구에서 2차 제련업의 혈액중 ZPP농도가 100  $\mu\text{g/dl}$  이상인 근로자는 80 %로서 Kim 등이 1986년에 조사한 10 %보다(김정만 등, 1986) 훨씬 높았다. 2차 제련업은 갈수록 업종의 특성이 영세하여 작업환경 및 근로자 보건관리가 오히려 열악해져 가고 있는 것으로 판단된다. 작업전환이나 격리, 교육, 작업환경 개선 등의 산업위생적인 측면과 생물학적인 모니터링을 포함한 의학적인 조치가 요구되는 근로자가 매우 많았다.

납의 흡수지표인 혈액중 납과 중독지표인 ZPP농도를 보면 납에 대한 근로자의 보건관리가 과거에 비해 개선된 것이 없다고 판단된다. 현재 납에 대한 근로자 노출은 매우 심각하고 즉각적인 대책이 필요한 것으로 판단된다.

### 3. 근무기간에 따른 혈액중 납과 ZPP

표 6은 근무기간을 구분하여 각각 혈액중 납과 ZPP농도를 나타낸 것이다. 근무기간을 5개월, 5-24개월 그리고 24개월 이상인 근로자를 각각 구분한 것이다. 이러한 구분은 납노출기간에 따른 혈액중 납과 ZPP농도의 변화경향을 참고한 것이다. Hesley 등(1981)에 의하면 혈액중 납은 노출 2 - 3개월에 급속한 증가를 보이고 그 이후는 매우 서서히 증가하며, ZPP는 4 - 5월까지 서서히 증가하고 그 이후에 정점을 보이는 것으로 나타난다고 하였다(Hesley 등, 1981). 근무기간 5개월 미만인 근로자의 혈액중 기하평균 납 농도는 29.51  $\mu\text{g/dl}$ 로 가장 낮다. 5 - 24개월의 근무기간을 가진 근로자는 평균 40.74  $\mu\text{g/dl}$ 이고 24개월이상은 36.31  $\mu\text{g/dl}$ 으로 나타났다. 근무기간별로 혈액중 납농도는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p>0.0739$ ).

혈액중 ZPP는 5 - 24개월 근무 근로자가 57.54  $\mu\text{g/dl}$ 으로 가장 높고 5개월 이하는 30.90  $\mu\text{g/dl}$ 로 근무기간에 다중비교분석결과 평균 1.88  $\mu\text{g/dl}$  (95% 신뢰 범위 : 1.03-3.43)의 유의한 차이를 보였다. 24개월 이상인 근로자의 혈액중 ZPP농도는 48.98  $\mu\text{g/dl}$

**Table 6.** Lead in Blood and ZPP by Work Duration

Work Duration (month)	No. of Workers	Lead in Blood			ZPP		
		GM( $\mu\text{g/dl}$ )	GSD	Range( $\mu\text{g/dl}$ )	GM( $\mu\text{g/dl}$ )	GSD	Range( $\mu\text{g/dl}$ )
< 5	35	29.51	2.29	7.24-117.49	30.90	2.88	3.02-194.98
5 - 24	73	40.74	1.86	8.91-141.25	57.54	3.24	3.02-363.08
24 <	130	36.31	1.82	6.31-223.87	48.98	3.39	1.20-549.54
Total	238	36.31	1.91	7.24-223.87	47.86	3.31	1.20-549.54

dl로 다른 군과는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 한편, 근로자들간의 ZPP농도의 변이가 근무기간의 증가에 따라 점차 큰 것으로 나타났다. 이것은 납의 축적에 따른 개인간의 반응에 있어서의 차이라고 Hesley가 설명하였다(Hesley 등, 1981). 혈액 중 납과 ZPP농도는 근무기간의 구분에 따라 명확한 차이는 볼 수 없었다.

#### 4. 혈액중 납과 ZPP의 관계 모델

##### 가. 흡연과 성별 구분

흡연의 정도는 현재 피우지 않는 경우, 피웠다가 끊은 경우, 현재 피우는 군으로 구분하였다. 흡연에 따른 혈액중 납( $p>0.1577$ )과 ZPP는 유의한 차이는 없었다( $p>0.6464$ ). 흡연 정도는 혈액중 납과 ZPP 농도의 변화에 대해 설명할 수 있는 변수로 이용되고 있다(Ulenbelt 등, 1990). 그러나 작업환경 중의 납노출 양에 비해서는 적은 양이므로 단지 흡연의 구분에 의해서는 혈액중 납과 ZPP가 유의한 차이를 나타내지 않는다(Karim 등, 1986). 그리고 다른 연구에서와 마찬가지로 남녀의 성별에 따라서도 유의한 차이를 보이지 않았다.

##### 나. 비직업적인 일반적 특성과의 관계

업종별 비직업적 노출요소인 근무기간과 흡연량은 혈액중 납과 ZPP와 유의한 관계가 없는 것으로 나타났다. 그러나 238명 근로자를 종합했을 때는 혈액중 납은 근무기간과 혈액중 ZPP는 근무기간 및 흡

연량과 모두 유의한 관계를 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 관계에 대한 유의한 설명정도는 단지 4.7 % - 7.9 % 정도이다.

일부 연구들(Chavalitnitikul 등, 1984; Hodgkins, 1990; Paul et al, 1990)에서 노출기간이나 흡연이 혈액중 납의 농도 변화에 대한 설명력은 유의하지 못하거나 대부분 10 %내외로 나타나 본 연구와 큰 차이는 없었다. Ulenbelt 등(1990)은 공기중 납의 농도와 함께 작업장에서 개인위생요소인 보호구착용, 흡연, 작업장에서 음식섭취, 식사전의 손세척 등을 포함시켜 혈액중 납의 변화를 설명하였다(Ulenbelt 등, 1990). 이 연구에서 보호장갑을 착용하는 횟수와 손과 얼굴의 세척빈도가 가장 큰 기여인자라고 설명하고 이러한 변수들을 포함시켜 분석하면 공기중의 납과 혈액중납의 관계를 보다 정확하게 설명할 수 있다고 주장한다(Ulenbelt 등, 1990).

##### 다. 근무기간 구분

표 7은 혈액중 납과 ZPP의 관계모델을 근무기간별로 구분하여 다른 연구결과와 함께 비교하였다. 혈액중 납과 ZPP농도를 모두 대수변환(log transformation)하였을 때 보다 유의한 관계모델을 보였다.

근무기간의 구분에 따라 유의한 관계모델을 보이고 있다. 5개월미만의 근로자만을 대상으로 했을 때 혈액중 ZPP농도의 변화를 41.60 %를 유의하게 설명하였다. 5개월 이상의 근로자들에서의 관계모델보다 4 % 정도의 낮은 설명력을 보였다. 이것은 혈액

Table 7. Relationship between Lead in Blood and ZPP by Working Duration by Industry(Dependent=log ZPP in Blood, Independent=log Lead in Blood)

Work Duration (month)	No. of Workers	Slope(S.E)	Intercept(S.E)	$r^2$	p value
< 5	35	0.8237(0.1699)	0.2736(0.258)	0.4160	0.0001
5 - 24	73	1.2869(0.1663)	-0.3047(0.2708)	0.4575	0.0001
24 <	130	1.3495(0.1318)	-0.4176(0.2087)	0.4504	0.0001
all workers	238	1.227 (0.089)	-0.234 (0.141)	0.4456	0.0001
Chavalitnitikul et al (1984)	20	1.5253	-0.3723	0.6514	-
Wildt et al(1987)	939(man) 449(female)	Log Y( $\mu\text{g/dl}$ ) = Log Y( $\mu\text{g/dl}$ ) =	1.21 + 0.0148x 1.48 + 0.0113x	0.52 0.31	- -
Matte et al(1989)	68	Log Y( $\mu\text{g/dl}$ ) =	-0.019 + 0.0167x	0.6500	0.0005
Jeinbei et al(1992)	250	Y( $\mu\text{mol/l}$ ) =	0.472e0.3957x( $\mu\text{mol/l}$ )+0.535	0.1918	0.0001)

S.E : standard Error

중 납과 ZPP농도가 납에 노출되었을 때 증가의 정점을 나타내는 노출기간이 다르기 때문이다. 즉, 노출에 따라 급속한 증가와 정점을 나타내는 노출기간이 혈액중 납은 2 - 3개월 그리고 ZPP는 4-5개월이라고 되어 있다. 물론 노출농도가 중요한 변수이나 노출기간이 낮은 경우에 유의한 상관성이 없거나 낮은 경우는 이러한 이유 때문으로 여러 연구에서 설명하고 있다(Chavalitnitikul 등, 1984 ; Wildt 등, 1987 ; Matte 등, 1989 ; Jinbei 등, 1992).

근무기간을 구분한 혈액중 납과 ZPP의 관계모델은 두 변수를 대수변환한 선형회귀모델이 유의한 관계를 나타냈다.

혈액중 납과 ZPP와의 관계는 표 7의 여러 연구에서 보듯이 두 변수를 모두 대수변환한 회귀모델이 적절하다고 하거나(Chavalitnitikul 등, 1984), 1개의 종속변수(ZPP)만을 대수변환한 회귀모델(Wildt 등, 1987 ; Matte 등, 1989) 또는 지수곡선회귀모델(exponential curve regression)이 보다 적절한 관계를 설명한다고 주장하고 있다(Jinbei 등, 1992)

모델은 그 식이 간단하고 사용이 편리해야 한점을 고려하면 본 연구에서는 혈액중 납과 ZPP와의 관계는 대수전환회귀모델이 보다 적절한 것으로 나타났고, 식은  $\text{Log zpp}(\mu\text{g/dl}) = -0.2340 + 1.2270 \text{ Log Pb-B}(\mu\text{g/dl})$  (standard error of estimate= 0.089,  $r^2=0.4456$ ,  $n=238$ ,  $p=0.0001$ )였다.

#### IV. 결 론

본 연구는 4개 업종 238명의 근로자를 대상으로 혈액중 납과 ZPP의 농도를 알아 보고, 그 관계모델을 설정하기 위해 실시하였다. 혈액중 납농도는 2차제련업이  $85.11 \mu\text{g/dl}$ 으로서 가장 높았고, 산업안전보건법에서 정하는 선별한계( $60 \mu\text{g/dl}$ )를 훨씬 초과하였다. 축전지제조업은  $51.29 \mu\text{g/dl}$ 으로 주의한계( $40-60 \mu\text{g/dl}$ )에 속하였다. 모든 업종별로 혈액 중 납농도는 서로 유의한 차이를 보였다( $P<0.05$ ). 혈액중 납농도가 선별한계를 초과한 수는 50명(21 %)이었고 주의한계에 해당하는 수는 68명(28.6 %)으로 조사대상 근로자 중 약 50 %가 납노출에 따른 주의한계를 넘었다. 혈액중 ZPP농도는 2차제련업이  $186.21 \mu\text{g/dl}$ 으로서 산업안전보건법의 선별한계( $150 \mu\text{g/dl}$ )를 훨씬 넘었고, 축전지제조업은  $95.50 \mu\text{g/dl}$ 이었다. 40명

(16.8 %)이 주의한계( $100-150 \mu\text{g/dl}$ ), 그리고 39명(16.4 %)이 선별한계에 각각 해당되었다. 혈액중 납과 ZPP농도는 흡연, 성별에 따라 차이가 없었고( $P>0.05$ ), 관계모델은 근무기간별로 구분하였을 때 큰 설명력의 차이는 볼 수 없었다. 혈액중 납과 ZPP농도의 관계모델은 모두 대수변환한 선형회귀모델(log-linear regression model)이 적절하였으며, 식은  $\text{Log ZPP}(\mu\text{g/dl}) = -0.2340 + 1.2270 \text{ Log Pb-B}(\mu\text{g/dl})$  (standard error of estimate= 0.089,  $r^2=0.4456$ ,  $n=238$ ,  $p=0.0001$ )였다.

#### 참 고 문 헌

- 김정만, 이세훈, 이은영, 조영성 : 연제련 근로자들의 만성적 연폭로에 관한 연구. 한국의 산업의학. 24(1):10-19(1985).
- 김정만, 김형아, 이광목, 이은영, 강제복 : 연제련 작업자들에서의 혈색소, 혈중연 및 혈중 ZPP에 관한 연구. 한국의 산업의학. 25(1):1-8(1986).
- 안규동, 김영희 : 무기연 폭로시 혈중연과 요중연의 변화. 한국의 산업의학. 2(1):11-15(1982).
- 이병국, 김정만 : 비직업적인 연폭로자들에서의 연흡수 및 증독지표들 사이의 상호관계. 한국의 산업의학. 22(1):70-75(1983).
- 이병국 : 연제련 작업자들에서의 연폭로에 관련된 생물학적 지표들의 상호관계. 한국의 산업의학. 23(1):1-7(1984).
- 한국산업안전공단, 산업안전보건법령집. 산업안전보건법 시행규칙(1996).
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists : 1994-1995 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH. ISBN:1-882417-16-2(1995).
- 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).
- Eaton, D.K. and A. Holcombe : Oxygen Ashing and Matrix Modifiers in Graphite Furnace Atomic Absorption Sp. Determination of Lead in Whole Blood. Anal. Chem. 55:946-950(1983).
- 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).
- Hammond, P.B., and P. Succop : Dose-Effect and Dose-Response Relationships of Blood Lead to

Erythrocytic Protoporphyrin in Young Children. *Environ. Res.* 38:187-196(1985).

Hesley, K.L. and G.H. Wimbish : Blood Lead and Zinc Protoporphyrin in Lead Industry Workers. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 42:42-45(1981).

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).

Jacobson, B.E. and G. Quigley : Improved Sample Preparation for Accurate Determination of Low Concentrations of Lead in Whole Blood by Graphite Furnace Analysis. *Clin. Chem.* 37(4):515-519(1991).

Jinbei, S., W. Jinping, and L. Jianye : Effects of Lead Exposure on Porphyrin Metabolism Indicators in Smelter Workers. *Biomed. Environ. Sci.* 5:76-85(1992).

Hopkins, B.L., R.J. Conard, and M.J. Smith : Effective and reliable behavioral control technology. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 47:785-791(1986).

Broersen : Work Hygienic Behaviour as Modifier of the Lead air-lead Blood Relation. *Occup. Environ. Health* 62:203-207(1990).

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).

King, E., A. Conchie, D. Hiatt and B. Milligan : Industrial Lead Absorption. *Ann. Occup. Hyg.* 22:213-239(1979).

Kononen, D.W., J.K. Halline, and K.R. Bivol : Air

Lead Exposures and Blood Levels Within a Large Automobile Manufacturing Workforce, 1980-1985. *Arch. Environ. Health* 44(4):244-251(1989).

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

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).

Occupational Safety and Health Administration : Code of Federal Regulation. Part 1910.1025. *Office of Federal Register National Archives and Records Administration*(1990).

Ulenbelt, P., M.E.G.L. Lumens, H.M.A. Geron, R.F.M. Herber, and S. Broersen : Work Hygienic Behaviour as Modifier of the Lead air-lead Blood Relation. *Occup. Environ. Health* 62:203-207(1990).

Verschoor, M.R., Herber, R.Z. and A. Wibowo : Short Communication, Zinc Protoporphrin as an Indicator of Lead Exposure : Precision of Zinc Protoporphyrin Measurements. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 59:613-621(1987).

Wildt, K., M. Berlin, and P.E. Isberg: Monitoring of Zinc Protoporphyrin Levels in Blood Following Occupational Lead Exposure. *Am. J. Ind. Med.* 12:385-398(1987).

William, M.K., J. Walford, and E. King : Blood Lead and Symptoms of Lead Absorption. *Br. J. Ind. Med.* 40: 285-292(1983).