

공기중 납입자의 크기 특성과 혈액중 납농도와의 관계에 의한 허용농도 추정

한국방송대학교, 서울대학교 보건대학원*

박동욱 · 백남원*

— Abstract —

Estimation of Occupational Health Standard by Relationship between Airborne Lead Concentration by Particle Size and Lead in Blood

Dong-Wook Park and Nam-Won Paik*

*Korea National Open University
169 Dongsoong-Dong, Chongro-Ku, Seoul, Korea
Seoul National University, Department of Public Health
28 Yunkeun-Dong, Chongro-Ku, Seoul, Korea**

This study was conducted to investigate distribution of lead particles by operation of industry, to evaluate the effect of particle size on the absorption to workers, and to recommend the Occupational Health Standard for lead. Total lead concentrations in the secondary smelting industry were higher than those in the battery and litharge manufacturing industry. Total lead concentrations in other industries except radiator manufacturing industry exceeded the standard of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Only radiator manufacturing industry indicated lead concentrations significantly lower than those in other industries ($p < 0.05$). Average blood lead level of workers was $85.1 \mu\text{g}/\text{dl}$ in secondary smelting manufacturing, $51.3 \mu\text{g}/\text{dl}$ in the battery manufacturing, and below $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ in the litharge and radiator manufacturing industry. Blood lead levels of workers by industry were significantly different ($p < 0.05$). From relationship between airborne lead concentrations by size and lead in blood, confidence limits of airborne lead concentration equivalent to $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ of permissible limit in blood, was $147.9 - 489.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as total lead and $28.8 - 79.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as ACGIH-RPM. It is recommended that two separate occupational health standards for lead should be established by particle size. Airborne concentration of $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as total lead dust and $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as respirable lead dust was recommended.

Key Words : Lead concentration by particle size, Occupational Health Standards for total and respirable lead

I. 서 론

1979년 3월에 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)은 납이 헴 합성, 신경 계통, 신장 계통, 생식 계통, 그리고 소화관 계통에 건강장해를 야기한다고 결론 짓고, 이러한 건강상 악영향으로 부터 근로자 건강보호를 위해서 공기중 납의 허용농도는 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 혈액중 납농도는 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 정하는 주요 내용을 공포하였다(OSHA, 1990). 1979년 이후 OSHA는 납을 취급하는 업종별로 일정한 유효기간을 주어 이 기준을 달성토록 하였다. 1989년 3월 1일 부터 납을 취급하거나 노출되는 모든 업종의 허용농도를 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 정하고 혈액중 납농도를 $40 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 현재까지 관리해 오고 있다(OSHA, 1990).

미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 입자상물질의 허용농도를 카드뮴 화합물, 실리카, 석탄 분진 등은 총분진과 호흡성분진으로 구분하였으나 납은 단지 총농도만 설정하였다(ACGIH, 1996). 입자 크기별 기준이 석탄과 실리카 이외의 다른 유해물질에도 적용되어야 한다는 주장도 많다(Froines 등, 1986; Hewett, 1991). OSHA와 ACGIH의 납에 대한 허용농도는 입자크기별 구분 없이 단지 총농도로서 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. OSHA는 각종 산업건설현장에서의 철골구조물 용접작업자의 납노출에 대한 대책에 부심하고 있다(OSHA, 1978; Campbell 등, 1986; Froines 등, 1986; Phyllis 등, 1989). 이러한 업종은 적용대상이 아니거나 그 동안 납의 관리농도(action level, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 미만이었으므로 관리가 되지 않았다. 그러나 여기에 근무하는 근로자의 혈액중 납농도는 높았다. 그 동안 허용농도를 정하는 과정에서 납 취급업종의 특성에 따른 납입자의 상세한 크기는 고려가 되지 않았다.

이제까지 외국에서도 납입자의 크기별 특성과 관련된 연구는 많지 않다. King 등은 납축전지(lead-acid battery)제조업, 색소제조업(pigment), 1차 납제련업(primary smelting)에 근무하는 101명의 근로자에 대하여 납입자의 직경을 조사하였다(King 등, 1979). Hodgkins 등은(1990) 축전지 제조업

에 근무하는 40명의 근로자를 대상으로 납입자 크기의 특성을 조사하는 한편 크기별 농도 구분에 따라 납흡수와의 관계를 보다 정량적으로 비교하면서 납 취급 공정 특성으로 인해 입자의 직경이 작다면 보다 엄격한 노출농도의 적용이 필요하다고 주장하였다(Hodgkins, 1990) 그러나 단지 축전지 제조업만을 대상으로 연구가 수행되어 다양한 납취급 업종의 특성을 반영하지 못했다.

본 연구의 목적은 납입자의 크기 특성과 혈액중 납농도와의 관계를 분석함으로써 타당한 허용농도를 추정하는데 있다. 본 연구결과는 납에 대한 타당한 허용농도의 설정에 활용될 수 있을 것으로 판단한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 대상

조사대상은 총 4개 업종의 12개 사업장이었다. 공기중 납입자의 시료를 채취한 근로자 수는 총 119명이었고, 혈액채취는 238명의 근로자를 대상으로 하였다.

2 방법

납입자의 크기는 8단계의 Marple Personal Cascade Impactor(Model 298, Anderson Sampler, Inc., U.S.A)와 개인용 시료채취기(Model MSA 87004, MSA, U.S.A)를 사용하여 각 단계에서 채취되는 납입자의 유효한계직경(effective cut-point diameter, ECD)에 따라 채취하였다. 시료채취 후 각 단계별로 채취된 납은 원자흡수분광광도계(Varian 300 plus, Varian, Australia)로 분석하였다. 납입자의 크기 분포는 대수확률 그래프(log - probability graph)에 표시하여 질량중위직경(Mass Median Diameter, MMD)과 기하표준편차(GSD)를 구했다. 납입자의 크기별 농도는 총농도, OSHA의 $1 \mu\text{m}$ 이하의 농도 및 소화성 농도 그리고 ACGIH의 흡입성, 흡광성, 호흡성농도로 구분하여 환산하였다(Anderson Samplers; 1982, Hinds 등, 1985; 박동욱 등, 1995).

혈액중 납분석은 흑연로장치에 부착된 원자흡수분광광도계(Spectra AA-300/400 Zeeman,

Varian, Australia, Pty Ltd)로 하였다(박동욱 등, 1996).

납입자의 크기특성은 공기중 납농도를 총 납농도, ACGIH에서 정의한 흡입성, 흉곽성, 호흡성농도와 OSHA에서 정의한 호흡성, 소화성 농도로 구분하여 이용하였다(Hodgkins, 1990; ACGIH, 1995). 납입자의 크기 특성과 혈액중 납과의 관계를 통한 허용농도의 추정은 아래의 식을 이용하였다(Neter 등, 1990). 분석에 이용된 자료는 119명의 공기중 농도 측정 근로자 중에서 혈액이 채취된 101명에 대한 납입자 크기별 농도와 혈액중 납농도였다.

- ① $Y = b_0 + b_1X$
- ② $X_{\text{new}} = (Y_{\text{standard}} - b_0)/b_1$
- ③ $X_{\text{new}} \pm t(1-\alpha/2; n-2) s \{X_{\text{new}}\}$
- ④ $s^2 \{X_{\text{new}}\} = \frac{\text{MSE}}{b_1^2} \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_{\text{new}} - X_{\text{average}})^2}{\sum (X_i - X_{\text{average}})^2} \right]$

Y는 혈액중 납의 농도, X는 공기중 납입자의 크기별 농도이다.

X_{new} 는 Y_{standard} 에 의해 추정되는 공기중 납입자의 크기농도이고, Y_{standard} 는 납의 혈액중 허용기준인 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이다.

III. 결과 및 고찰

1. 납입자의 MMD와 크기별 농도

업종별 납입자의 MMD는 납축전기 제조업이 14.1 μm , 리사지 제조업은 15.1 μm , 2차 납 제련업은 4.9 μm 그리고 방열기 제조업은 1.3 μm 이었다. 2차 제련업은 용해공정에서 발생하는 납입자는 고온의 용해로에서 폐축전기 내의 납분을 순수 납으로 환원시키므로 용해와 출탕작업때는 흡상태로 발생되었기 때문이다. 방열기 제조공정도 아세틸렌이나 프로필렌에 의한 2,000 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 고온으로 납을 용접하므로 발생하는 납입자의 형태는 대부분이 흡상태이다. 2차 제련업과 방열기 제조업에서는 다른 업종과 유의하게 다른 직경분포를 보였다. ($p < 0.05$) (박동욱 등, 1995).

박 등의 연구에서 제시한 업종 및 공정별로 납입

자의 크기특성에 따른 총납, ACGIH의 흡입성, 흉곽성, 호흡성농도 그리고 OSHA의 호흡성농도(1 μm 이하 크기농도)와 소화성농도(1 μm 이상 크기농도)를 표 1에 요약하였다(박동욱 등, 1995).

업종별 총납의 기하평균농도는 2차 제련업이 575 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높고 축전기 제조업과 리사지 제조업의 각 공정에서도 모두 허용농도를 초과하였다. 방열기 제조업만 다른 업종과 유의한 납농도 차이를 보였다($p < 0.05$). 흡입성 납농도는 방열기 제조업의 16.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 제외하고는 다른 업종은 허용농도를 훨씬 초과하였다. 호흡성 농도는 2차 제련업의 경우 208.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 허용농도를 4배 이상 초과하고 있다. 2차 제련업은 근로자수 20여명 이내의 영세하고 소규모인 특성으로써 모든 조사대상 사업장이 용해로에 적절한 국소배기시설이 설치되어 있지 않았고, 불량한 작업방법 그리고 과도한 작업시간 및 양 등이 노출농도의 증가를 가져오는 원인이었다(박동욱 등, 1996). 2차 제련업은 총농도 중에 OSHA의 호흡성 농도(1 μm 이하 크기농도)의 함유비율은 24.5 %이었고 ACGIH는 43.5 %로 다른 업종에 비해 높게 나타나 인체흡수 농도 및 가능성이 다른 업종에 비해 높다고 판단된다(박동욱 등, 1996).

2. 근로자의 혈액중 납농도(박동욱 등, 1996)

박 등이 조사한 업종별 근로자의 혈액중 납농도를 표 2에 요약하였다. 총 238명의 평균 혈액중 납농도는 36.31 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 였다. 업종별로 보면 2차 제련업이 85.11 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 으로서 가장 높고 우리나라 산업안전보건법에서 정하는 선별한계인 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 을 훨씬 초과하였다(노동부, 1994). 축전기 제조업의 평균농도는 51.29 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 으로 주의한계인 40-60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에 속하였다. 방열기 제조업과 리사지 제조업은 허용농도(40 $\mu\text{g}/\text{dl}$)이하였다. 다중비교에 의한 혈액 중 납농도는 모든 업종별로 서로 유의한 농도차이를 보였다($p < 0.05$).

3. 공기중 납 허용농도의 추정

표 3은 납입자의 크기별 농도와 혈액중 납과의 관계를 모든 업종을 종합한 것과 직경이 유사한 업종끼리 구분하여 분석한 것이다. 분석한 관계모델을 이용하여 혈액중 납의 허용농도(40 $\mu\text{g}/\text{dl}$)에 의해 예측된 95 % 신뢰구간의 납입자 크기별 농도 범위

Table 1. Classification of Lead Concentrations by Particle Size

Industry	Total		IPM		TPM		RPM		<1 μ m(OSHA's Respirable)	
	GM(μ g/m ³)	GSD	GM(μ g/m ³)	GSD	GM(μ g/m ³)	GSD	GM(μ g/m ³)	GSD	GM(μ g/m ³)	GSD
Secondary	575.4	1.7	457.1	1.8	295.1	2.2	208.9	2.8	72.4	5.9
Radiator	19.1	2.1	16.2	2.1	11.5	2.1	8.3	2.2	6.9	2.2
Battery	354.8	4.7	239.9	4.7	107.2	4.3	33.9	3.7	12.0	2.9
Litharge	269.2	6.9	195.0	6.8	91.2	6.3	33.1	5.1	7.9	5.5
Total	117.5	7.1	89.1	6.6	47.9	5.7	22.4	4.4	9.8	3.6

GM : Geometric Mean, GSD : Geometric Standard Deviation

IPM : Inhalable Particulate Mass

TPM : Thoracic Particulate Mass

RPM : Respirable Particulate Mass

도 나타났다.

모든 업종을 종합하여 분석한 결과, 총납은 147.9 - 489.8 μ g/m³, 흡입성농도는 112.2 - 398.1 μ g/m³, 소화성농도는 147.9 - 478.6 μ g/m³, 그리고 흡광성 농도는 75.9 - 165.9 μ g/m³ 으로 예측되어 현재의 허용농도인 50 μ g/m³보다 높았다. OSHA의 1 μ m이하 크기 농도 범위는 13.8 - 39.7 μ g/m³로서 현재의 허용농도보다 낮았다. ACGIH의 호흡성 납의 농도 범위는 28.8 - 79.4 μ g/m³로서 하한농도(28.8 μ g/m³)가 현재의 허용농도인 50 μ g/m³보다 낮았다.

한편, 납입자의 직경이 비슷한 업종별로 구분하여 혈액중 납허용 농도와 총납 및 ACGIH의 호흡성농도 만을 분석하여 보았다. 축전지와 리사지업종에서는 그 관계가 유의하지 않았다. 2차 제련업의 용해공정(직경:1.6 μ m)과 방열기제조업의 용접(직경:1.4 μ m와 0.1 μ m)을 종합한 경우는 그 관계가 모두 유의하였다. 이들 업종에서 혈액중 납허용농도에 예측된 총납의 농도범위는 54.9 - 165.0 μ g/m³였고 ACGIH의 호

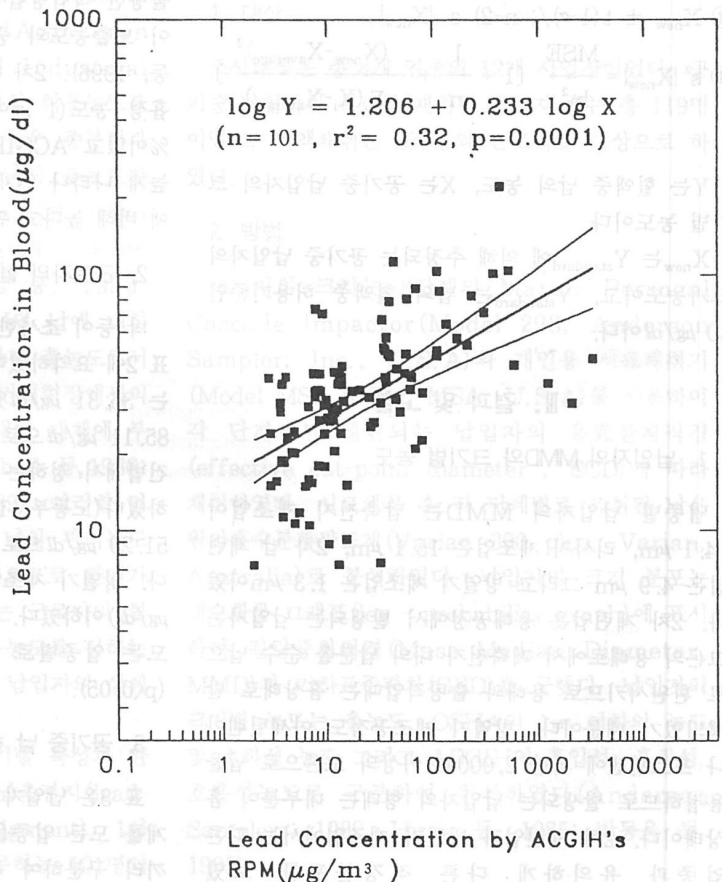


Fig. 1. Relationship between lead concentration in blood and respirable lead concentration by definition of ACGIH.

흡성 농도는 22.9 - 72.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 업종을 종합하여 예측한 납입자 크기별 하한농도와 비교해 볼 때 총납의 경우 차이가 있었으나 ACGIH의 호흡성농도는 비슷한 것으로 나타났다.

이처럼 혈액중 납허용농도에 의해 예측된 납입자 크기별 농도의 범위가 각각 다른 것은 납입자 크기가 혈액중 납농도에 서로 다른 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 따라서 납입자 크기별 농도발생 특성이 서로 다른 업종에 근무하는 근로자를 효율적으로 관리하기 위해서는 현재 총납으로만 설정된 허용농도를 납입자 크기가 고려된 농도로 구분할 필요가 있다. 즉, 납허용농도를 카드뮴이나 실리카, 석탄분

진과 같이 호흡성 납농도와 총 납농도로 구분해야 할 것으로 판단된다. 보다 구체적인 허용농도의 설정근거와 그 농도는 다음과 같다.

허용농도의 설정은 혈액중 납허용농도인 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에 의해 예측된 ACGIH의 호흡성 납과 총납의 농도 범위 중 하한농도를 근거로 하였다. 이것은 하한농도에 노출되는 근로자의 95 % 이상이 혈액중 납농도가 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이하로 관리될 수 있다는 의미에서 이용하였다.

호흡성 납허용농도는 ACGIH의 호흡성농도의 예측된 하한농도인 28.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 근거하여 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정하고 모든 업종에 적용할 것을 제안한다(그림 1참조). 용해와 용접 등 높은 온도를 이용하는 납취급 업종도 호흡성 납허용농도에 적용을 받아야 될 것으로 판단된다. 이것은 호흡성 납허용농도인 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 방열기 등의 업종만을 구분하여 예측한 ACGIH의 호흡성 하한농도(22.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 큰 차이가 없었기 때문이다.

총납의 허용농도는 예측된 총납의 하한농도인 147.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에

Table 2. Lead Concentration in Blood by Industry

Industry	No. of Workers	Lead in Blood	
		GM($\mu\text{g}/\text{dl}$)	GSD
Secondary smelting	20	85.11	1.41
Radiator manufacturing	80	19.50	1.62
Battery manufacturing	93	51.29	1.55
Litharge manufacturing	45	37.15	1.38
Total	238	36.31	1.91

GM : Geometric Mean, GSD : Geometric Standard Deviation

Table 3. Estimation of Airborne Lead Standard Using Relationship between Lead Concentration by Size and Lead Concentration in Blood

Airborne Lead by Size	Dependent = Lead in Blood			Airborne Lead Concentration Limits Equivalent to 40µg / dl (µg/m³)
	Model	r ²	p	
<u>All manufacturing industry</u>				
Total Lead	log Y=1.13 + 0.19log X	0.35	0.0001	147.9 - 489.8
IPM	log Y=1.15 + 0.19log X	0.33	0.0001	112.2 - 398.1
TPM	log Y=1.17 + 0.21log X	0.33	0.0001	75.9 - 165.9
RPM	log Y=1.21 + 0.23log X	0.32	0.0001	28.8 - 79.4
OSHA-Respirable	log Y=1.29 + 0.23log X	0.22	0.0001	13.8 - 39.7
OSHA-Ingestible	log Y=1.19 + 0.17log X	0.34	0.0001	147.9 - 478.6
<u>Litharge and Battery manufacturing</u>				
Total Lead and RPM	nonsignificant			
<u>Radiator and furnace of secondary smelting manufacturing</u>				
Total Lead	log Y=0.99 + 0.38log X	0.49	0.0001	54.9 - 165.0
RPM	log Y=0.90 + 0.38log X	0.49	0.0001	22.9 - 72.4

IPM : Inspirable Particulate Mass, TPM : Thoracic Particulate Mass

RPM : Respirable Particulate Mass

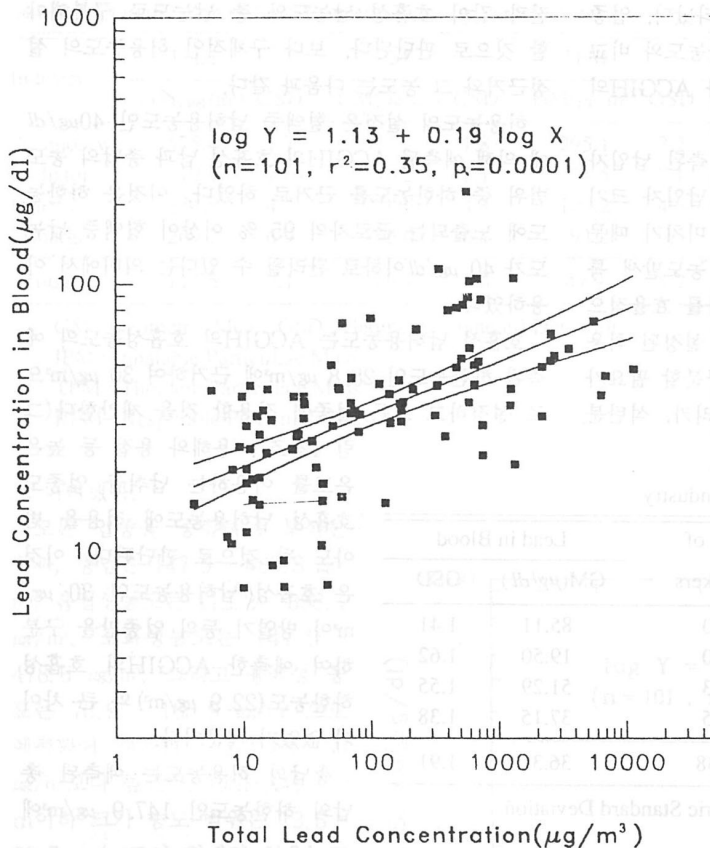


Fig. 2. Relationship between lead concentration in blood and total lead concentration.

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

납의 허용농도를 총납과 호흡성납으로 구분하여

설정할 경우에는 사업장에서 활용할 수 있는 경제적, 기술적인 고려, 업종별로 납입자크기별 근로자의 흡수에 관한 연구의 진행, 납의 독성에 관련된 선진국의 관리방안 등을 면밀하게 분석하여 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

업종별로 발생되는 납입자의 크기 특성을 알아 보고 이러한 특성과 근로자의 혈액중 납농도와의 관계를 규명하여 타당한 납 허용농도를 제안하고자 본 연구를 실시하였다. 납입자의 크기별 농도와 혈액중 납농도와의 관계 모델로 부터 혈액중 납허용농도인 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에 해당하는 95 % 신뢰구간의 납입자 크기별 농도 범위를 산출한 결과, 총납농도는 147.9 - 489.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 호흡성납 농도는 28.8 - 79.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이것은 납입자 크기별로 혈액중 납농도의 변화에 서로 다른 영향을 미치는 것을 나타내는 것이다. 따라서 공기중

납의 허용농도는 작업환경측정방법에 따라 총납과 호흡성 납의 허용농도로 구분할 것을 제안한다. 호흡성 납의 허용농도는 혈액중 납허용농도와 ACGIH의 호흡성 입자농도와의 관계에서 예측한 하한농도(28.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 근거하여 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 하고, 총납의 허용농도는 총납 입자농도를 적용하여 예측한 하한농도(147.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 근거하여 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정할 것을 제안한다.

주요어 : 납입자크기별 농도, 총 납과 호흡성 허용 농도 설정

참 고 문 헌

- 노동부, 산업안전보건법규집, 산업안전보건법 시행규칙. 노문사. 1994.
- 박동욱, 백남원 : 업종별 공기중 납입자의 입경별 분포특성에 관한 조사연구. 한국산업위생학회지. 1995. 5(2):160-171.
- 박동욱, 백남원, 최병순, 김태균, 이광용, 오세민, 안규동 : 직업적으로 납에 노출된 근로자들의 혈액중 납과 ZPP농도의 관계. 한국산업위생학회지. 1996. 6(1):88-96.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Particle Size Selective Sampling in the Workplace. Ann Am Conf Gov Ind Hyg. 1984. 11:1.
- 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. 1996.
- Anderson Samplers, Inc.: Marple Personal Cascade Impactors Instruction Manual. Bulletin # 290 I.M.-3-82. Anderson Samplers, Inc., Atlanta, GA. 1982.
- Campbell, BC and AW Baird: Lead Poisoning in a Group of Demolition Workers. Br J Ind Med. 1977. 34:298-304.
- Froines, JR. WV Liu, WC Hinds and DH Wegman: Effect of Aerosol Size on the Blood Lead Distribution of Industrial Workers. Am J Ind Med. 1986. 9:227.
- Hewett, P: Limitations in the Use of Particle Size-Selective Sampling Criteria in Occupational Epidemiology. Am Ind Hyg Assoc J. 1991. 6(4): 290-300.
- Hinds, WC, WV Liu and JR Froines: Particle Bounce in a Personal Cascade Impactor: A Field Evaluation. Am Ind Hyg Assoc J. 1985. 46 : 517.
- Hodgkins, DG: 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.
- King, E, A Conchie, D Hiatt and B Milligan: Industrial Lead Absorption. Ann Occup Hyg. 1979. 22:213-239.
- Neter, J, W Wasserman, and MH Kunter : Applied Linear Statistical Models. 3rd edition, RWIN, Homewood, IL60430, ISBN No.0-256-08338-X 1990 :173-176.
- Occupational Safety and Health Administration: Code of Federal Regulation. Part 1910.1025. Office of Federal Register National Archives and Records Administration. 1990.
- Phyllis, EM, F Alfred, L Ruth and JL Philip: Acute Lead Poisoning in Construction Workers : The Failure of Current Protective Standards. Arch Environ Health. 1989. 44(3):140-145.