

Lead Exposure Indices, Workloads, and Environmental Factors in Battery Manufacturing Workplace

Kwang Sung Cho, Byung Yong Jeong

Department of Industrial & Management Engineering, Hansung University, Seoul, 136-792

ABSTRACT

Objective: This study aims to evaluate the workloads of industrial and automobile storage battery industries and their association to biological exposure indices. **Background:** Occupational lead exposure at battery manufacturing workplace is the most serious problem in safety and health management. **Method:** We surveyed 145 workers in 3 storage battery industries. Environmental factors(lead in air, temperature, humidity and vibration), biological exposure indices(lead in blood and zinc protoporphyrin in blood) and individual workload factors(process type, work time, task type, weight handling and restrictive clothing) were measured in each unit workplace. **Results/Conclusion:** Air lead concentration is statistically significant in associations with workload factors(process type, work time, task type, and restrictive clothing) and environmental factors (humidity and vibration), whereas zinc protoporphyrin in blood are significantly associated with work time and weight handling. And lead in blood is significantly associated with work time, weight handling and temperature. **Application:** The results of this study are expected to be a fundamental data to job design.

Keywords: Lead in air, Lead in blood, ZPP in blood, Workload, Battery industry

1. Introduction

납은 인체 유해성이 잘 알려져 있음에도 불구하고, 유연성과 할로겐 물질과의 반응특성, 산화물의 사용 가능성 때문에 축전지 제조/재생, 페인트 제조, 유리 제조, 전선 제조, 플라스틱 제조, 제련산업 등의 사업장에서 널리 사용되고 있다(Zenz, 1994; Kim *et al.*, 2007; Jeon *et al.*, 1998). 우리나라에서 생산되는 납의 80% 이상은 자동차용 축전지 제조에 이용되고 있으며(ILZSG, 2005), 자동차용 축전지 및 산업용 축전지의 수요증가로 계속해서 증가하고 있다(Korean Statistical, Mining and Manufacturing Industry/Energy, 2013).

우리나라에서는 납중독 환자가 1976년 제련공장에서 처

음으로 발견되었으며, 1983년도 반월공단 납중독 사건을 시작으로 납중독 예방을 위한 환경개선과 건강관리에 다각적인 노력을 경주하고 있다(Lee, 2011). 근로자의 납중독을 예방하기 위하여 납을 취급하는 사업장은 산업안전보건법 제42조(작업환경측정 등) 1항과 동법 제43조(건강진단) 1항에 의거하여 작업장의 공기 중 납 농도를 측정하여 관리하여야 하며, 근로자에 대해서는 특수건강진단에서 혈중 납량과 혈중 징크프로토포피린(ZPP)을 매년 조사한다. 국내 납 중독자는 2003년에는 2명이었으나, 2004년 이후부터는 증가되어 2008년에는 19명, 2009년에는 52명, 2010년에는 82명으로 유소견자가 매년 증가하고 있다(Ministry of Employment and Labor, 2012). 이에 정부에서는 산업안전보건법령을 개정하면서 산업재해예방을 목적으로 관리 대상을 확대하고 사업주의 의무조항을 더 부여함과 동시에 감

Corresponding Author: Byung Yong Jeong, Department of Industrial & Management Engineering, Hansung University, Seoul, 136-792.

Phone: +82-2-760-4122, E-mail: byjeong@hansung.ac.kr

Copyright©2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

©This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. <http://www.esk.or.kr>

독과 행정적 조치를 더욱 강도 있게 진행하고 있으며, 2009년부터는 납중독 예방을 위한 생물학적 노출지표인 혈중 기준농도 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 낮추어 관리하고 있다.

축전지 제조업은 납을 취급하는 업종으로 원재료 및 작업 공정에서 다루어지는 반제품이 무게가 많이 나가기 때문에 중량물을 반복적으로 취급해야 하며, 다른 제조업과는 달리 상대적으로 열악한 작업환경에서 많은 수의 근로자가 근무하여 근로자들의 건강상태를 저해할 우려가 높은 사업장이라 할 수 있다.

지금까지 축전지 제조업종에서 진행된 연구는 주로 납 노출 근로자들을 대상으로 환경적 요인과 생물학적 납 지표들 사이의 관련성을 분석하는 데 관심이 모아졌으며, 근로자들의 작업부하와 생물학적 노출 및 독성지표들 간의 관련성을 분석한 연구는 부족한 편이다. Park *et al.*(1996)은 작업부하와 혈액 중 납, ZPP 농도의 관계를 파악하려 하였으며, Cho *et al.*(1999)은 축전지 제조업에서 운반방법에 따른 공기 중 납 노출농도를 분석하였다. 그러나 이들 선행연구는 작업강도 분류기준에 따른 근로자의 작업형태와 휴식시간 또는 운반물의 취급방법 등에 한정되어 생물학적 지표 등을 분석하였다.

본 연구에서는 자동차용 축전지와 산업용 축전지 제조 사업장을 대상으로 작업부하 관련 특성과 공기 중 납 농도, 생물학적 혈중 납량, 혈중 ZPP 지표 사이에 어떠한 관련성을 가지고 있는지를 분석하고자 한다.

2. Methods

연구 대상 사업장은 산업용과 차량용 축전지 제조 사업장 2곳을 선정하였다. 2개의 사업장은 최신공법과 구형공법으로 산업용 축전지를 제조하는 생산라인과 최신공법으로 차량용 축전지를 제조하는 생산라인이 포함되어, 다양한 작업환경 요인과 작업부하 요인을 연구변수로 정할 수 있는 사업장이다. 2개의 축전지 제조 사업장은 주조(cast), 연분(mix), 연도(paste), 화성(formation), 절단/사상(cut/wire brush), 조립(weld/assembly)의 공정으로 분류된다.

연구 대상 근로자는 2개의 사업장에서 각 공정에서 근무하는 생산직 근로자들을 대상으로, 연구 참여에 동의한 145명을 선정하였다. Table 1은 연구 대상자를 공정별로 분류하여 요약한 것이다.

본 연구에서는 납을 취급하는 사업장의 작업환경과 작업자의 작업부하 관련 작업특성, 납에 관한 생리학적 노출지표 등을 연구변수로 선정하였다. 작업부하는 작업특성 요인과 환경특성 요인으로 분류하였다. 작업특성 요인은 공정유형,

Table 1. Subjects by process

Process	Cast	mix	Paste	Formation	Cut/brush	Weld/assembly	Total
Count (%)	15 (10.3%)	7 (4.8%)	28 (19.3%)	17 (11.7%)	11 (7.6%)	67 (46.2%)	145 (100%)

작업시간, 작업유형, 운반물 취급, 보호복 착용여부 등이며, 환경특성 요인은 온도, 습도, 진동으로 분류하였다(ILO, 1979). 납에 관한 노출지표로는 공기 중 납 노출농도와 생물학적 노출지표인 혈중 납량과 혈중 ZPP를 측정하였다.

공기 중 납 노출농도를 측정하기 위하여 개인시료 채취기(Gil-Air, Gilian, Inc., USA)를 이용하였으며, 시료 채취기의 공기 흡입유량은 2.0 l/min으로 360분 이상을 채취하였다. 측정 전후에는 유량보정계(DryCa[®] DCL-Lite, Bios Inc., USA)로 유량을 보정하였다. 채취시료와 분석은 한국 산업안전공단 산업안전보건연구원의 유해물질 작업환경측정·분석방법 지침을 따라서 진행되었다.

생물학적 노출지표로는 혈중 납량과 혈중 ZPP를 측정하였다(Ministry of Employment and Labor, 2012). 혈중 납량의 정량분석은 전혈 0.5ml를 2.5ml의 1% Triton X-100으로 희석하여 자동시료 주입장치(SSC-200, Hitachi, Japan)가 부착된 분광광도계(Z-8100, Hitachi, Japan)를 사용하여 분석하였다(Fernandez, 1975). 혈중 ZPP는 체혈 즉시 근로자들의 정맥혈 한 방울을 떨어뜨린 후 측정기(Aviv-206, Aviv., USA)를 이용하여 형광 스펙트럼 423 nm에서 측정하였다(Blumberg, 1977).

자료분석은 SAS 통계 프로그램을 이용하여 상관분석과 분산분석을 실시하였다.

3. Results

3.1 General characteristics

Table 2는 축전지 제조 사업장에서 근무하는 연구 대상 근로자 145명에 대한 일반적 특성을 나타낸다. 연구 대상 연령대는 40대 이상이 58%를 차지하였다. 근속연수는 20년 이상인 근로자가 38(26.2%)명으로 가장 높았고, 10년 이상 장기근속 근로자는 92(63.4%)명으로 나타났다. 비만지수(BMI)는 25 이상인 근로자가 40(27.6%)명이었으며, 흡연과 음주율은 각각 87(60%)명, 108(74.5%)명으로 흡연율은 우리나라 만 19세 이상 남성 흡연율 48.1%에 비하면 비교적 높은 수준으로 나타났다(Ministry of Health & Welfare, 2012).

Table 2. Subjects and general characteristics

Variable	Range	N	%
Age	<20~29	15	10.3
	30~39	46	31.7
	40~49	62	42.8
	≥50	22	15.2
Experience	1~5	34	23.5
	6~10	19	13.1
	11~15	27	18.6
	16~20	27	18.6
	≥21	38	26.2
BMI	bmi ≤ 18.5	1	0.7
	18.5 < bmi < 25.0	104	71.7
	bmi ≥ 25.0	40	27.6
Smoking	No	58	40.0
	Yes	87	60.0
Alchole	No	37	25.5
	Yes	108	74.5
Total		145	100

3.2 Exposure indices by process

공정별 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하기 위하여 일원 분산분석(ANOVA)을 실시하여 Table 3에 나타냈다. Table 3에서 보면 공정별로 유의수준 0.05에서 공기 중 납 농도의 평균값에 차이가 있었으나, 혈중 납량과 ZPP는 공정별로 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 4는 공정별 공기 중 납 농도의 평균을 나타낸다.

Table 3. ANOVA of exposure indices by process types

	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	5	5	5
F-value	6.91	0.50	0.20
p-value	<0.001	0.778	0.961

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

Table 4에서 보면 공기 중 납 농도가 절단/사상 공정에서 가장 높게 나타났으며, 연도공정이 다음으로 높은 것으로 나타났다. 절단과 사상공정은 후속공정의 작업 효율성을 높이기 위해 극판을 절단하고, 절단면과 용접부위 표면에 산화된

이물질을 제거하는 작업을 순차적으로 병행하여 다른 작업 공정에 비해서 분진의 비산이 많은 작업이다.

Table 4. Mean(STD) of air lead exposure by process type

Process	Subject	Lead in air(mg/m ³)
Cast	15	0.075(0.065)
mix	7	0.037(0.010)
Paste	28	0.126(0.174)
Formation	17	0.050(0.005)
Cut/wire brush	11	0.188(0.134)
Weld/assembly	67	0.048(0.034)

3.3 Exposure indices by work time

작업시간에 따라 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하기 위하여 일원분산분석(ANOVA)을 실시하여 Table 5에 나타냈다. Table 5에서 보면 작업시간에 따라 유의수준 0.05에서 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 5. ANOVA of exposure indices by work time

	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	1	1	1
F-value	12.28	87.84	35.42
p-value	0.001	<0.001	<0.001

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

Table 6은 작업시간을 10시간 이내와 10시간 이상으로 범위로 나누어 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균 차이를 나타낸 것으로, 작업시간이 10시간 이상인 경우가 10시간 이하인 경우보다 평균치가 매우 높은 것을 볼 수 있다. 산업용 축전지 사업장은 1일 8시간을 기본 작업시간으로 하고, 성수기의 경우 1일 2~4

Table 6. Mean(STD) of exposure indices by work time

Work time	N	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
≤10	60	0.043(0.025)	10.9(4.50)	34.2(9.54)
>10	85	0.100(0.123)	20.2(6.62)	48.8(17.13)

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

시간 정도 잔업을 실시하고 있다. 차량용 축전지 사업장에서는 2교대 12시간 맞교대제로 운영되고 있다.

3.4 Exposure indices by task type

이동과 중량물 취급 유무에 따른 작업형태에 따라 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하기 위하여 일원분산분석을 실시하여 Table 7에 나타냈다. Table 7에서 보면 작업시간에 따라 유의수준 0.05에서 공기 중 납 농도의 평균값에 차이가 있었으나, 혈중 납량과 혈중 ZPP는 작업형태에 따라 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 7. ANOVA of exposure indices by task type

	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	5	5	5
F-value	4.20	0.99	0.62
p-value	0.001	0.426	0.681

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

Table 8은 작업형태에 따른 공기 중 납 농도(PBA)의 평균 차이를 나타낸 것으로, 작업형태가 이동이 존재하는 경우에 고정된 작업보다 공기 중 납 농도(PBA)의 평균치가 높은 것으로 나타났다. 기관 표면에 도포된 납 산화물(연분)은 가벼운 충격에도 분진의 형태로 쉽게 탈락하거나 비산하게 되는데, 근로자의 작업형태가 손동작을 비롯하여 상반신의 움직임이 있으면서 이동거리가 길어질 경우에는 분진의 탈락과 비산은 더욱 많아짐을 나타낸다.

Table 8. Mean(STD) of air lead exposure by task type

Work type	N	PBA(mg/m ³)
Fixed(no weight handling, slight motion)	13	0.037(0.017)
Fixed(weight handling, active motion)	27	0.026(0.009)
Move(no weight handling, move within 5m)	12	0.059(0.012)
Move(weight handling, move within 5m)	56	0.110(0.142)
Move(no weight handling, move more than 5m)	20	0.107(0.078)
Move(weight handling, move. more than 5m)	17	0.050(0.005)

PBA: lead in air

3.5 Exposure indices by weight handling

Table 9는 중량물 취급 무게에 따라 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하기 위하여 일원분산분석을 실시한 결과이다. Table 9에서 보면 작업시간에 따라 유의수준 0.05에서 혈중 납량과 ZPP는 평균값에 차이가 있었으나, 공기 중 납 농도의 평균값에는 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 9. ANOVA of exposure indices by weight handling

	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	3	3	3
F-value	0.38	7.55	3.75
p-value	0.765	<0.001	0.012

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

Table 10은 중량물 취급 무게에 따라 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이를 나타낸 것으로, 중량물 취급 무게가 10~15kg 구간에서 평균치가 제일 낮은 것을 볼 수 있다. 5kg 이하와 15kg 이상은 산업용 축전지 제조공정에서 주로 수작업에 의해 다루어지는 평균적인 묶음 단위의 극한 무게이며, 5~15kg은 차량용 축전지 제조공정에서 주로 자동 또는 반자동 설비 가동공정에서 다루어지는 평균적인 묶음 단위의 무게이다. 따라서, 중량물 취급 작업에서는 자동화나 반자동 설비 작업에서 수작업보다는 혈중 납량과 혈중 ZPP 농도가 낮게 나타난다고 해석할 수 있다.

Table 10. Mean(STD) of exposure indices by weight handling

Handling weight	N	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
<5kg	48	18.2(6.84)	46.9(17.77)
5~10 kg	40	17.5(7.32)	41.9(13.79)
10~15kg	29	10.9(5.50)	34.9(10.80)
>15kg	28	17.3(7.81)	45.0(18.40)

PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

3.6 Exposure indices by restrictive clothing

보호구 착용여부 작업장과 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하기 위하여 일원분산분석(ANOVA)을 실시하여 Table 11에 나타냈다. Table 11에서 보면 공정별로 유의수준 0.05에서 공기 중 납 농도의 평균값에 차이가 있었으나, 혈중 납량

과 ZPP는 공정별로 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 11. ANOVA of exposure indices by restrictive clothing

	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	2	2	2
F-value	8.62	2.88	0.00
p-value	<0.001	0.060	0.997

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

Table 12는 보호구 착용여부 작업장별로 공기 중 납 농도의 평균을 나타내는데, 안면 보호구를 착용하여야 하는 작업장에서의 평균값이 다른 작업장보다 높게 나타났다. 축전지 제조업에서 발생하는 유해인자는 납 분진 및 흡, 황산 미스트, 소량의 유기화합물 증기 등이며, 이들의 직접적인 노출을 최대한 경감시키기 위해 개인 보호장구를 착용하고 있다. 특히 납 분진 및 흡에 의한 노출이 지속적인 작업장은 안면 보호구를 의무적으로 착용토록 하고 있으며, 납 이외의 유해인자에 동시 노출되는 공정은 두 종류 이상의 보호장구를 함께 착용하도록 하고 있다. 따라서, 안면 보호구를 하는 작업의 공기 중 납 농도가 높게 나타났다.

Table 12. Mean(STD) of air lead exposure by restrictive clothing

Process	Subject	Lead in air(mg/m ³)
Rubber boots, grinder's goggles, industrial rubber	68	0.049(0.047)
Face mask	60	0.115(0.138)
Tarpaulin coat, Restrictive protective clothing	17	0.050(0.005)

3.7 Exposure indices by temperature

Table 13은 작업장 온도(24도 이하, 24~32도, 32도 이상)에 따른 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하기 위하여 일원 분산분석을 실시한 결과이다. Table 13에서 보면 유의수준 0.05에서 작업장 온도에 따른 혈중 납량의 평균값에는 차이가 있었으나, 공기 중 납 농도와 혈중 ZPP의 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 14는 작업장 온도(24℃ 이하, 24~32℃, 32℃ 이상)에 따른 혈중 납량(PBB)의 평균을 나타내는데, 24~32℃에서 혈중 납량의 평균치가 낮게 나타났다.

축전지 제조업에서 납의 용융로는 온도를 400℃ 이상을

Table 13. ANOVA of biological exposure index by temperature

	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	2	2	2
F-value	1.64	4.89	0.73
p-value	0.198	0.009	0.485

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

유지하여야 하는데, 이 온도(400~500℃)는 납 흡이 발생 가능한 온도이다. 납 흡은 호흡기를 통한 체내에 흡수율이 높기 때문에 32℃ 이상 고온 작업장은 혈중 납량을 높이는 원인으로 작용됨을 알 수 있다. 또한, 24℃ 이하 작업장은 조립공정에서 일부 국소적으로 이루어지는 납 용접과 납땀 작업으로 인하여 납 흡에 의한 노출이 있는 것으로 해석된다.

Table 14. Mean(STD) of lead in blood by temperature

Temperature	Subject	Lead in blood(μg/dl)
<24℃	81	17.9(7.02)
24~32℃	49	13.9(7.16)
>32℃	15	15.6(8.30)

3.8 Exposure indices by humidit

Table 15은 작업장의 습기여부에 따라 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하기 위하여 일원분산분석을 실시한 결과이다. Table 15에서 보면 유의수준 0.05에서 작업장의 습기여부에 따라 공기 중 납 농도의 평균값에 차이가 있었으나, 혈중 납량과 ZPP는 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 15. ANOVA of exposure indices by humidity

	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	2	2	2
F-value	4.74	0.74	0.03
p-value	0.010	0.481	0.969

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

Table 16은 작업장의 습기여부에 따른 공기 중 납 농도의 평균을 나타내는데, 습기가 있는 작업장의 공기 중 납 농도가 정상이나 물기가 흐르는 작업장보다 평균값이 높게 나타났다. 일반적으로 분진이 비산하는 작업공정에 대한 개선방

안의 하나로 작업특성을 고려한 작업장 내의 습도조절 또는 건식 작업을 습식 작업으로 변경하는 등의 환경개선안이 제시될 수 있다. 연도와 화성공정은 물과 황산액을 다량 사용하는 공정으로 작업장 내의 습도가 높은 편이며, 이중 산업용 축전지 제조공정 연도(출구)와 화성공정(극판 투입)에서는 실내 전체 습도는 높지만 건조된 극판을 수작업으로 직접 다루기 때문에 분진에 의한 노출이 있는 것으로 해석된다.

Table 16. Mean(STD) of air lead exposure by humidity

Process	Subject	Lead in air(mg/m ³)
Normal	68	0.049(0.047)
Working continuously in the damp	60	0.115(0.138)
Continuous handling of wet articles	17	0.050(0.005)

3.9 Exposure indices by vibration

Table 17은 작업중의 진동여부에 따라 공기 중 납 농도(PBA), 혈중 납량(PBB), 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하기 위하여 일원분산분석을 실시한 결과이다. Table 17에서 보면 유의수준 0.05에서 작업 중의 진동여부에 따라 공기 중 납 농도의 평균값에 차이가 있었으나, 혈중 납량과 ZPP는 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 17. ANOVA of exposure indices by vibration

	PBA(mg/m ³)	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	1	1	1
F-value	5.94	1.45	0.49
p-value	0.016	0.231	0.484

PBA: lead in air, PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

Table 18은 작업 중의 진동여부에 따른 작업장의 공기 중 납 농도의 평균을 나타내는데, 진동이 있는 작업장의 공기 중 납 농도가 진동이 없는 작업장보다 평균값이 높게 나타났다.

일반적으로 진동은 세기에 따라 공기 중에 입자상 물질의 비산활동을 활발하게 하고, 설비 위에 퇴적한 오염물질의 재비산과 이동을 가져와 실내 작업환경 상태를 저해하는 요인 중의 하나이다. 축전지 제조업의 경우 납 분진의 발생원이라 할 수 있는 극판 이동이 최종 조립공정에 까지 계속해서 이어지므로, 진동은 공정에 오염물질 비산량을 더욱 많게 하는 원인이라고 해석할 수 있다.

Table 18. Mean(STD) of air lead exposure by vibration

Process	Subject	Lead in air(mg/m ³)
Normal	58	0.052(0.052)
Task with vibration	87	0.093(0.119)

3.10 Biological exposure indices by ail lead exposure

공기 중 납 농도(PBA)의 수준을 3단계(<0.05, 0.05~0.10, >0.10)로 분류하여 혈중 납량, 혈중 ZPP 농도의 평균에 차이가 있는가를 검정하여 Table 19에 나타냈다. Table 19에서 보면 유의수준 0.05에서 공기 중 납 농도 수준에 따라 혈중 납량과 혈중 ZPP 농도의 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 19. ANOVA of biological exposure indices by PBA

	PBB(μg/dl)	ZPP(μg/dl)
D.F	2	2
F-value	2.21	2.20
p-value	0.113	0.115

PBB: lead in blood, ZPP: zinc protoporphyrin in blood

4. Conclusion

납 축전지 제조업은 납에 의한 환경오염과 직업성질환 이외에도 공정에서 다루어지는 원재료인 납의 비중이 금속원소 중에서도 무거운 물질에 속하며, 제조공정이 계속될수록 무게가 더해져 최종 조립공정에서는 1일 평균 5.4~6.0톤의 무게를 다루게 된다. 따라서, 반복적으로 중량물을 취급하는 작업형태를 보이고 있어 인력운반 작업에 따른 근로자의 작업부하가 크다고 할 수 있다.

납 자체의 독성 때문에 납 사업장의 근로자들은 보호구 착용이 의무화 되어 있어 작업장의 납 노출에 의한 체내 흡수를 상당히 감소시킬 수 있다. 그러나 보호구의 여과효율 및 착용방법 그리고 작업조건 등에 따라 보호구 착용이 완벽하지 못하여 체내 납 흡수가 증가될 수 있다(Shim and Lee, 1992; Lee *et al.*, 2004). 기존의 축전지 업종을 포함한 납 취급 사업장의 근로자들의 건강관련 연구는 선행연구들같이 납 자체의 화학적 독성에 의한 건강 이상을 평가하는 것이 주를 이루었다. 최근에는 납 자체의 독성에 의한 납중독의 위험 때문에 간과되어 왔던 납 사업장의 근골격계 관련 질

환발생 가능성과 작업 자세 등 인간공학적 접근이 시도되고 있다.

본 연구에서는 납 사업장을 대상으로 한 납 자체의 독성 영향과 더불어 작업부하를 고려하여 환경 유해인자 및 생물학적 지표와의 상호 관련성을 파악하려 하였다. Table 20은 본 연구에서의 연구 결과를 요약한 것으로 공기 중 납 농도(PBA)는 공정, 작업시간, 작업유형, 보호복 착용여부, 습도, 진동 요인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

반면 작업자의 혈중 납 농도는 작업시간, 중량물 취급(자동화 여부), 온도에 따라 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 또한 혈중 ZPP 농도도 작업시간과 중량물 취급(자동화 여부)여부에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 20. Summary of relationships between variables

	Lead in air	Lead in blood	ZPP
Lead in air	-		
Process types	●		
Work time	●	●	●
Task type	●		
Weight handling		●	●
Restrictive clothing	●		
Temperature		●	
Humidity	●		
Vibration	●		

● significant difference at 0.05

Zenz(1994)은 납 취급 업종에서 납중독의 위험성을 결정하는 요인으로 빈약한 공정관리, 빈약한 개인위생, 공학적 관리의 소홀, 개인 보호구 부적합과 미착용 등으로 설명하고 있다. 납을 원재료로 사용하는 축전지 업종에서는 근로자들이 안전 보호구(호흡용 1급 방진마스크)를 기본적으로 착용하고 있고 작업공정 특성에 따라서는 두 가지 이상의 보호구 또는 보호복 등을 착용하게 되므로 일반 제조업체와 달리 그 자체만으로도 작업부하에 영향을 미칠 수 있다. 또한 개인 보호구 외 보호복을 착용하는 것은 수작업의 비율이 높은 공정에서 납에 의한 직접적인 접촉을 피하기 위한 수단으로 이용되고 있으므로 근로자들의 작업부담을 경감시키고 동시에 보호구와 보호복은 기능성과 실용성 면에서 최대의 효과를 얻을 수 있는 것이 선택되어야 한다.

본 연구는 일부 업종에 국한된 단면연구를 하였다는 점과 선행연구가 거의 없는 상황에서 출발하여 관련 자료를 비교할 수 없는 한계가 있으며, 작업부하와 환경관련 요인을 공정의 작업 상황과 근로자의 작업형태만을 고려하였다는데

한계가 있다. 납 취급 근로자들의 건강 유해요인은 작업시간, 근무기간, 납 사용량, 납 입자의 크기, 공기 중 납 농도, 국소 배기 및 전체환기 효율성, 작업장 및 개인의 위생수준 등에 영향을 받으며(Kim, N.S., *et al.*, 2007), 동일한 환경에서도 개인의 작업강도, 호흡방식, 보호구 착용여부 및 효율에 따라 실질적인 체내 납 흡수 정도는 달라진다(Lee, B.K., *et al.*, 1999). 따라서 이들 교란변수가 통제되어야 하지만, 본 연구의 결과는 단순한 집단 간의 차이만을 검정한 결과이다. 또한 산업용 및 자동차용 납축전지를 생산하는 제조업 2곳을 토대로 진행되어 타 업종으로의 확대 연구가 필요할 것으로 판단된다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 안전보건문제가 매우 절실한 축전지 제조 사업장에서 작업부하적인 측면과 환경적인 측면을 동시에 고려한 연구로 그 결과는 앞으로 납 사업장의 안전보건관리에 관한 기초자료로 응용될 수 있을 것으로 여겨진다.

Acknowledgements

This research was financially supported by Hansung University.

References

- Blumberg, W. E., *et al.* Zinc protoporphyrin level in blood determination by a portable hematofluorometer: A screening device for lead poisoning, *J Lab Clin Med*, 89, 712-723, 1977.
- Cho, K.S., *et al.* Evaluation of working conditions on excess of threshold limit value of air lead levels in lead-acid battery plants, *Soonchunhyang J. of Ind. Med.*, 5(2), 27-37, 1999.
- Fernandez, F.J., Micro method for lead determination in whole blood by atomic absorption with use of graphite furnace, *Clin Chem*, 21, 555-561, 1975.
- International Labour Office., *Introduction to work study*, 3d ed, Geneva, Switzerland, ILO, 1979.
- International Lead and Zinc Study Group., *Principal uses of lead and zinc*, Lisbon, Portugal, ILZSG, 2005.
- Jeon, M.J., *et al.* A cohort study on blood zinc protoporphyrin concentration of workers in storage battery factory, *Journal of Preventive Medicine & Public Health*, 31(1), 112-126, 1998.
- Kim, N.S., *et al.* The association of lead biomarkers of lead workers with airborne lead concentration in lead industries, *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 17(1), 43-52, 2007.
- Korean Statistical., Mining and Manufacturing Industry/Energy, http://kosis.kr/abroad/abroad_01List.j (retrieved March 29, 2013).

- Lee, B.K., *et al.* Assessment of lead and lead exposure indices in lead industry according to occupational category, *Soonchunhyang J. of Ind. Med.*, 5(1), 1-13, 1999.
- Lee, B.K., *et al.* The change of face leakage of maintenance free respirator by different wearing method and their association with lead biomarkers, *Soonchunhyang J. of Ind. Med.*, 10(1), 53-60, 2004.
- Lee, B.K., Occupational health management in lead industry: the Korean experience, *Safety and Health at Work*, 2(2), 87-96, 2011
- Ministry of Employment and Labor., *Occupation Safety and Health Acts*, 2012.
- Ministry of Employment and Labor., *Yearbook of Employment and Labor Statistics: Number of occupational disease suspect by kind of disease*, 2012.
- Ministry of Health & Welfare., *Ministry of Health and Welfare Statistical Year Book*, 2012.
- Park, D.W., *et al.* Model between lead ZPP concentration of workers exposed to lead, *J Korean Soc Occup Environ Hyg*, 6(1), 88-96, 1996.
- Shim, Y.B. and Lee, B.K., The effect of respiratory protection with biological monitoring on the health promotion of lead workers, *The Kor. J. of Occup. Med.*, 4(1), 1-13, 1992.
- Zenz, C., *Occupational medicine*, Year Book Medical Publishers Inc., Chicago, 506-509, 1994.

Author listings

Kwang Sung Cho: cks6612@sch.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial & Management Engineering, Hansung University

Position title: Industrial Hygienist, Department of Preventive Medicine, Soonchunhyang University

Areas of interest: Ergonomics, Safety and Health Management

Byung Yong Jeong: byjeong@hansung.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST

Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Hansung University

Areas of interest: Ergonomics, Safety and Health Management, UX

Date Received : 2013-04-01

Date Revised : 2013-04-22

Date Accepted : 2013-05-09