

축전지 사업장에서 공기 중 납 농도의 변화에 관한 연구

최승현¹ · 김남수¹ · 김진호¹ · 조광성¹ · 함정오² · 안규동¹ · 이병국^{1†}
¹순천향대학교 환경산업의학연구소 · ²순천향대학교천안병원 산업의학과

A study on the change of air lead concentrations in lead-acid battery plants

Seung-Hyun Choi¹ · Nam-Soo Kim¹ · Jin-Ho Kim¹ · Kwang-Sung Cho¹ ·
Jung-O Ham² · Kyu-Dong Ahn¹ · Byung-Kook Lee^{1†}

¹*Institute of Environmental and Occupational Medicine, Soonchunhyang University*
²*Department of Occupational Medicine, Soonchunhyang University Hospital, Cheonan*

To provide necessary information for future environmental monitoring of storage batteries in Korea, authors analyzed environmental monitoring dataset of air lead concentration of 12 storage battery industries measured during 1989-2006. We calculated geometric mean and standard deviation with minimum and maximum value of each year dataset. Air lead concentration data were analyzed according to year of measurement, type of grid manufacturing method (grid casting type or expander type), size of industries and type of operation (casting, lead powder & pasting, assembly and others).

The geometric mean and standard deviation of all lead industries for overall 18 years were $72\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 3.65 with minimum of $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ and maximum of $7,956\mu\text{g}/\text{m}^3$. The geometric mean air lead concentrations of years between 1989-1999 were above the Korean PEL($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), whereas those of years after year 2000 were below the Korean PEL showing 50% of it.

The geometric mean concentration of air lead was significantly lower in expander method battery industries than

that of grid method battery industries and was lower in large sized battery industries than small & medium sized ones throughout the whole 18 years period.

The distributions of over PEL($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) were decreased by the years of environmental monitoring and those were lower in expander method battery industries than grid method battery industries.

The significant reduction of mean air lead concentration during last 10 years may be induced partly due to more active environmental engineering control and new introduction of new operation in grid method battery industries, but may be also influenced by non-engineering method such as reduction of operation hours or reduction of exposure time during actual environmental measurement by industrial hygienist which is not concrete evidence, but just circumstantial evidence.

Key Words : airborne lead concentration, lead-acid battery plant

접수일 : 2007년 9월 12일, 채택일 : 2007년 11월 5일

† 교신저자 : 이병국 (충남 아산시 신창면 읍내리 646번지 학예관 H205,

Tel: 041-530-1760, Fax: 041-530-1778, E-mail: bklee@sch.ac.kr)

I. 서론

납은 인류가 사용했던 가장 오래된 비철금속으로서 수천 년 전부터 인류의 생활에 이용되어 왔으며 산업혁명이후 다양한 분야에서 필수적인 원자재의 하나로 이용되면서 그 사용량은 20세기 이후 계속 증가되고 있다(WHO, 1977). 작업환경에 존재하는 유해요인 중에서 공업중독을 야기하는 물질로서 납은 그 취급 및 사용에 따른 유해성이 일반적인 금속 중에서도 기원전부터 가장 많이 알려져 오고 있다(Zenz, 1994). 우리나라에서 가톨릭의대 산업의학연구소에서 1968년도에 납 근로자 217명을 대상으로 납중독조사를 실시하여 58명을 납중독으로 판명한 것이 국내에서 처음 보고가 되어진 납중독이었다(이병국, 1989). 그 후 1972년도에 모 축전지 제조업체에서 납중독 사건을 거치면서 이를 예방하기 위한 많은 노력으로 인해 최근에는 납중독의 발생이 현저히 감소하였으나 아직도 소규모의 납 취급 사업장에서는 납중독이 보고되고 있다(Lee, 1999). 특히, 1983년도 하반기 반월 납중독 사건 이후 정부에서도 납 작업장의 적극적인 보건관리의 필요성이 제기되어 납 취급 사업장의 적극적인 환경 개선 유도 및 건강관리를 통한 납중독 예방을 위한 다각적인 노력이 경주된바 있다(심운보와 이병국, 1991; 이병국, 1992; 임정규 등, 1996; 조광성, 1999). 이와 같은 상황에서 납이 계속 사용되어 지는 이유는 납의 유연성과 할로겐 물질과의 반응성, 산화물의 이용 가능성 때문에 사업장에서 원료로서의 가치를 상실하지 않고 오히려 그 사용이 많아지고 있다. 특히 20세기에 들어와 자동차의 등장과 더불어 납축전지의 수요는 폭발적으로 증가하였으며, 이에 따라 축전지 제조에서 납의 사용량은 전체 납 사용량의 약 70% 정도를 차지하게 되었다(Fischbein과 Hu, 2007).

본 연구는 축전지 사업장에서 18년간의 작업환경측정결과를 비교 분석하여 년도별 납 농도의 변화추이를 살펴보고, 또한 사업장, 제조공법, 부서, 공정, 단위작업장소의 구분에 따른 공기 중 납 농도의 차이를 알아보고 향후 우리나라 축전지 사업장의 작업환경관리 개선과 해당부서에 근무하는 납 근로자들의 건강관리에 필요한 자료로서 활용하기 위하여 시도 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 순천향대학교 환경산업의학연구소에서 업종별 보건관리 대행 업무를 실시하는 우리나라 축전지 사업장 12

곳의 1989년 상반기부터 2006년 하반기까지 연 2회 실시된 작업환경측정 결과 중 공기 중 납 농도만을 분석대상으로 하였다.

2. 연구방법

자료의 분석을 위해 1989년 상반기부터 2006년 하반기까지 연 2회 실시한 작업환경측정결과와 내용 중 측정년도, 회사, 작업공법, 부서, 단위공정, 유해물질 중 납의 측정결과를 중심으로 정리하였다. 정리된 내용은 SAS 9.1 통계 프로그램을 이용하여 자료 분석을 실시하였다. 전체 축전지 사업장을 대상으로 연도별 변화추이를 조사하였고, 제조공법을 극판, 주조 방법에 따라 grid(구 공법)과 expander(신 공법)로 분류하여 각각의 차이에 따른 공기 중 납 농도를 비교하였다. 또한 grid 공법 축전지 사업장 중에서 사업장 규모별(근로자수 300인 이상: Large, 150인 이상 300인 이하: Medium, 150인 이하: Small)로 분류하여 조사 비교하였다. 전체 grid 공법 축전지 사업장을 대상으로 각각의 사업장마다 공정(주조, 연분연도, 조립, 기타)으로 분류하고 각각의 공정에 따른 공기 중 납 농도를 연도별로 조사 비교하였으며, expander 공법 축전지 사업장 또한 위와 같이 분류하고 공기 중 납 농도를 조사 비교하였다.

III. 연구결과

1989년 상반기부터 2006년 하반기까지 축전지 사업장에서 공기 중 납 농도의 기하평균, 기하표준편차, 최소값, 최대값을 비교하면 표 1과 같다. 시료 채취 건수를 보면 1998년 이후 급격한 감소를 보이는데, 이는 IMF에 의한 경제침체가 주요한 원인이다. 1989년부터 2006년까지의 우리나라 축전지 사업장의 18년간 기중 납 농도의 기하평균농도는 $72\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 1989년도 기하평균은 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 그 후 꾸준히 낮아져 1992년에는 $61\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 낮아졌다. 그러나 1993년부터 기하평균이 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높아지기 시작하여 1998년에는 $116\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최고값을 나타낸 후 2000년 이후 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 기하평균을 나타내었다.

축전지 사업장을 극판제조 작업공법에 따라 grid(구 공법), expander(신 공법)로 구분하고 연도별 납 농도의 기하평균 및 최소값, 최대값을 비교하면 표 2와 같다. 1989년부터 2006년까지 공법의 차이에 따른 납 농도의 기하평균을 비교해보면 grid 공법 축전지 사업장에서 납 농도가 높은 것을 알 수 있다. 최소값은 1989년부터 2006년까지 비슷한 수치를 나타내고 있고, 최대값은 1989년에 grid 공법 축전지 사업장에서의 납

농도가 expander 공법 축전지 사업장보다 30배 이상 높은 것으로 나타났다. Grid 공법 축전지 사업장에서의 연도별 납 농도는 2006년에 $27\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았고, 1989년도에 $241\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다. Expander 공법축전지 사업장에서의 납 농도는 1993년에 $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았고, 1997년에 $74\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다.

Grid 공법 축전지 사업장에서 규모(Large, Small & Medium) 별로 구분하고 연도별 납 농도의 기하평균 및 최소값, 최대값을 비교하면 표 3과 같다. 두 그룹에서 납 농도의 기하평균은 1989년에 가장 높은 수치를 나타냈다. 대규모 납 사업장에서의 납 농도는 $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 년도에 비해 가장 높게 나왔고, 중소규모의 납 사업장 에서도 $222\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 년도에 비해 가장 높게 나왔다. 전체적으로 두 그룹을 비교해보면 중소규모 납 사업장의 기하평균 농도가 대규모사업장 보다 높은 것을 알 수 있다. 대규모사업장에서의 최소값은 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 최대값은 1991년에 $5,780\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 중소규모

사업장의 최소값은 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 최대값은 1996년에 $7,956\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

Grid 공법축전지 사업장에서 공정(주조, 연분 & 연도, 조립, 기타)별로 구분하고 연도별 납 농도의 기하평균 및 최소값, 최대값을 비교하면 표 4와 같다. 전체 공정에서 기하평균은 1989년에 주조 $91\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연분&연도 $234\mu\text{g}/\text{m}^3$, 조립 $296\mu\text{g}/\text{m}^3$, 기타 공정 $473\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타났다. 한편 2006년에 주조 $14\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연분 & 연도 $31\mu\text{g}/\text{m}^3$, 조립 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, 기타 공정 $33\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮게 나타났다. 전체 공정에서 최소값은 모두 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 같았으며, 최대값은 조립 공정에서 $7,956\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타났다.

Expander 공법축전지 사업장에서 공정(주조, 연분 & 연도, 조립)별로 구분하고 연도별 납 농도의 기하평균 및 최소값, 최대값을 비교하면 표 5와 같다. 주조 공정에서 연도별 기하평균은 1994년에 $99\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 1992년에 $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. 연분 & 연도 공정에서 연도별 기하평균은

Table 1. Lead exposure of year(1989-2006) in all storage battery industries

Year	No. of samples	GM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max
1989	148	150	4.37	6	6170
1990	302	139	3.77	7	2700
1991	428	95	3.79	6	6160
1992	395	64	3.77	6	1974
1993	488	80	3.93	6	2430
1994	448	83	4.21	6	5867
1995	454	85	3.80	6	4319
1996	410	95	3.60	7	7956
1997	509	111	3.50	6	7145
1998	509	116	3.62	6	1902
1999	410	67	2.87	6	1794
2000	296	50	2.51	6	554
2001	179	39	2.18	6	244
2002	262	34	2.37	6	1000
2003	247	29	2.14	6	143
2004	208	32	2.22	6	1000
2005	193	34	2.15	6	272
2006	139	25	2.15	6	1000
Total	6025	72	3.65	6	7956

1995년에 $51\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 1993년에 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. 조립 공정에서 연도별 기하평균은 1997년에 $179\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 2006년에 $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. 전체 공정에서 최소값은 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 같았으며, 최대값은 연분 & 연도 공정에서 $2,849\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나왔다.

1989년에서 2006년까지 전체 축전지 사업장에 대하여 현행 허용기준($<50\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 기준으로 하여 1배 초과($50\text{--}99\mu\text{g}/\text{m}^3$), 2배 초과($100\text{--}149\mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 3배 초과($>150\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 정하고 초과건수의 비율을 나타내면 그림 1과 같다. 2006년에 11.1%가 허용기준을 초과하였고 1990년에는 82.9%의 초과율을 나타냈다. 또한 허용기준 3배 초과로 비교하였을 때 2003년에는 초과건수가 없었던 반면 1989년에는 57.34%로 가장 높았다.

납 사업장을 작업공법에 따라 구분하여 grid 공법 납 사업장의 초과율을 살펴보면 그림 2와 같다. Grid 공법 납 사업장

에서 1989년에서 2006년까지 전체 축전지 사업장에 대하여 연도별 허용기준 초과건수의 비율을 비교하였을 때 2006년도에 11.8%로 허용기준을 초과하였고, 1989년에는 90.7%로 허용기준을 초과하였다. 또한 허용기준 3배 초과로 비교하였을 때 1989년에는 68.6%로 매우 높지만 2001년도부터 초과건수는 거의 없었다.

그림 3은 expander공법 납 사업장의 허용기준 초과건수의 비율을 나타낸 것이다. grid공법 납 사업장과 비교할 때 허용기준 초과율이 낮은 것으로 나타났다. 2004년에 3.4%로 허용기준 초과율이 가장 낮았으며, 1997년에 56.6%로 가장 높았다. 허용기준 3배 초과로 살펴보았을 때 1997년부터 초과율이 감소하기 시작하여 2003년에 3배 초과는 없었다.

Grid공법 납 사업장을 규모(대규모, 중소규모)별로 구분하고 연도별 허용기준 초과건수의 비율을 비교한바 대규모

Table 2. Lead exposure of year(1989–2006) in grid and expander type casting storage battery industries

Year	grid					expander				
	No. of samples	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	No. of samples	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max
1989	118	241	3.34	11	6170	30	24	2.35	6	197
1990	273	155	3.64	7	2700	29	48	3.38	10	1000
1991	386	109	3.70	6	6160	42	29	2.42	8	210
1992	366	64	3.72	6	1974	29	32	3.89	6	1000
1993	448	90	3.73	6	2430	40	19	3.15	6	1000
1994	404	89	3.98	6	5867	44	46	5.93	6	1000
1995	405	92	3.65	6	4319	49	46	4.52	6	2849
1996	348	105	3.45	7	7956	62	54	3.98	7	1098
1997	433	120	3.34	6	7145	76	74	4.19	6	1414
1998	420	138	3.64	6	1902	89	51	2.47	7	344
1999	326	74	2.94	6	1794	84	46	2.34	6	1000
2000	214	52	2.57	6	554	82	44	2.32	9	219
2001	116	46	2.13	8	145	63	29	2.06	6	244
2002	184	37	2.45	6	1000	78	29	2.11	7	1000
2003	170	31	2.30	6	143	77	24	1.71	6	80
2004	149	35	2.25	6	1000	59	24	2.02	6	1000
2005	129	35	2.25	6	99	64	32	1.95	6	272
2006	99	27	2.05	6	1000	40	21	2.38	6	100
Total	4988	83	3.64	6	7956	1037	36	2.97	6	2849

grid공법 납 사업장의 허용기준 초과율을 살펴보면 그림 4와 같다. 1989년에는 모든 납 사업장이 현행허용기준보다 3배 이상 초과되는 것으로 나타난 반면, 2001년도에는 초과건수가 없었다. 반면 허용기준 초과율은 2003년 40.4%로 가장 낮았고 1990년 81.5%로 가장 높았다.

그림 5는 grid 공법 납 사업장의 중소규모 사업장의 허용기준 초과건수의 비율을 나타낸 것이다. 2004년에는 모든 측정치가 허용기준 미만으로 나타난 반면에 1989년에는 88.8%로 허용기준 초과율이 높았다. 또한 허용기준 3배 초과율을 기준으로 비교하였을 때 1989년에 62.2%로 가장 높았고, 2000년 5.8%로 감소하기 시작하여 2001년도부터 초과건수는 없었다.

Grid 공법 납 사업장을 공정(주조, 연분&연도, 조립, 기타)별

로 구분하고 연도별 허용기준 초과건수의 비율을 비교한바 (그림제시 안함) 2001년도와 2006년도에는 주조공정에서 모든 측정치가 허용기준 이하로 나타났으나 1989년에는 허용기준 초과율이 75.0%이었다. 또한 3배 이상 초과율을 기준으로 비교하였을 때 1989년에 33.3%로 가장 높았으며 1998년 이후에는 모든 측정치에서 3배 이상 초과건수는 없었다. 또한 연분&연도 공정의 허용기준 초과건수의 비율을 보면(그림제시 안함) 2006년도에 14.3%로 허용기준 초과율이 가장 낮았고 1989년에 95.0%로 가장 높았다. 허용기준 3배 초과를 기준으로 비교하였을 때 1989년 75.0%로 가장 높게 나왔고 2000년 이후에는 모든 측정치에서 3배 이상 초과건수는 없었다.

한편 조립 공정에서의 허용기준 초과건수의 비율을 보면 (그림제시 안함). 2003년도에 15.8%로 허용기준 초과율이 가

Table 3. Lead exposure by year(1989-2006) in grid type casting large and small/medium sized storage battery industries

Year	Large					Small & Medium				
	No. of samples	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	No. of samples	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max
1989	20	360	1.85	160	1150	98	222	3.60	11	6170
1990	92	145	3.60	10	2700	181	161	3.66	7	2380
1991	166	76	3.73	6	5780	220	144	3.44	10	6160
1992	155	46	3.33	6	1000	211	83	3.82	6	1974
1993	164	59	3.49	6	2054	284	115	3.64	6	2430
1994	168	48	3.12	6	1000	236	137	3.96	6	5867
1995	177	56	3.01	6	1000	228	135	3.68	8	4319
1996	199	82	3.28	9	1288	149	146	3.41	7	7956
1997	245	100	3.19	6	1155	188	151	3.43	6	7145
1998	245	130	3.88	6	1848	175	148	3.31	11	1902
1999	215	68	2.76	6	613	111	86	3.27	6	1794
2000	145	56	2.64	6	304	69	46	2.49	7	554
2001	71	57	2.08	8	145	45	33	1.96	8	131
2002	140	40	2.42	6	1000	44	29	2.50	6	133
2003	131	36	2.23	6	143	39	20	2.19	6	77
2004	130	39	2.21	6	1000	19	18	1.92	7	42
2005	103	36	2.31	6	99	26	32	2.00	6	84
2006	72	28	2.11	6	1000	27	25	1.87	7	54
Total	2638	2638	3.28	6	5780	2350	111	3.81	6	7956

장 낮았고 1989년에 86.4%로 가장 높았다. 허용기준 3배 초과를 기준으로 비교하였을 때 1989년 78.6%로 가장 높게 나타났고, 1998년 이후 낮아지기 시작하여 2001년도 3배 이상 초과건수는 없었으며 기타공정에서의 허용기준 초과건수의 비율을 보면 2006년도에 14.8%로 허용기준 초과율이 가장 낮았고 1990년에 93.0%로 가장 높았다. 허용기준 3배 초과를 기준으로 비교하였을 때 1990년에 83.7%로 가장 높게 나타났고 2000년 이후 낮아지기 시작하여 2001년 3배 이상 초과건수는 없었다.

Expander공법 납 사업장을 공정(주조, 연분연도 및 조립)별로 구분하고 연도별 허용기준 초과건수의 비율을 비교한바 주조 공정에서의 초과율을 보면 (그림제시 안함) 모든 공정

에서 대부분이 허용기준 이하로 나타났으며 허용기준 3배 초과를 기준으로 비교하였을 때 1994년에 50.0%만이 3배 초과로 나타났을 뿐 대부분이 3배 초과건수는 없었다. 한편 연분&연도 공정의 허용기준 초과건수의 비율을 보면 (그림제시 안함) 1993년, 2003년도에 5.3%로 허용기준 초과율이 가장 낮았고 1998년에 50.0%로 가장 높았다. 허용기준 3배 초과를 기준으로 비교하였을 때 1996년에 초과율이 24.0%로 가장 높게 나왔으며, 조립 공정의 허용기준 초과건수의 비율은 1989년, 2004년에 허용기준 초과건수는 없었으며, 1997년에 86.5%로 허용기준 초과율이 가장 높았다. 허용기준 3배 초과를 기준으로 비교하였을 때 1997년에 초과율이 56.8%로 가장 높게 나왔다.

Table 4. Lead exposure in casting, lead powder and pasting, assembly, other department by year(1989-2006) in grid type casting storage battery industries

Year	Casting					Lead powder and pasting					Assembly					Other				
	N	GM*	GSD	Min	Max	N	GM*	GSD	Min	Max	N	GM*	GSD	Min	Max	N	GM*	GSD	Min	Max
1989	24	91	2.49	12	410	20	234	2.82	11	1430	56	296	2.63	15	1950	18	473	5.19	25	6170
1990	51	66	2.91	8	1000	67	176	3.39	10	2380	112	153	3.32	7	2000	43	371	3.54	10	2700
1991	60	48	2.13	8	440	78	92	3.55	10	2310	188	121	3.62	6	5780	58	233	4.02	10	6160
1992	64	23	2.37	6	215	75	92	3.41	7	1974	153	73	3.46	6	1351	74	82	4.28	7	1963
1993	70	31	2.26	6	194	103	120	3.14	10	1484	190	86	3.56	6	2054	85	176	3.99	6	2430
1994	62	32	2.50	8	1000	101	108	3.33	9	2580	152	93	3.55	6	3341	89	133	5.36	6	5867
1995	61	26	2.14	7	166	114	133	3.62	10	3326	141	92	3.32	6	4319	89	133	3.39	8	1407
1996	60	37	2.24	9	576	83	141	2.49	7	1641	125	114	3.83	9	7956	80	145	3.41	12	2986
1997	72	34	2.11	6	152	101	150	2.96	12	7145	155	133	3.12	6	1155	105	194	3.00	7	3279
1998	62	41	2.25	7	344	74	129	2.59	12	1230	202	174	3.83	6	1902	82	203	3.31	10	1602
1999	54	27	2.02	6	126	74	115	2.80	6	1794	124	66	2.73	8	621	74	122	2.47	14	819
2000	32	21	1.64	7	56	42	74	2.14	15	304	86	47	2.76	6	554	54	81	2.11	13	281
2001	18	23	1.68	8	47	25	54	2.36	11	145	45	47	2.01	8	135	28	62	1.87	15	141
2002	17	15	2.00	6	98	29	44	2.39	7	149	88	35	2.09	6	134	50	51	2.73	6	1000
2003	27	21	1.97	6	96	36	45	2.18	7	141	62	26	2.18	6	111	45	38	2.40	6	143
2004	22	15	1.93	7	84	31	44	2.02	7	97	60	34	2.21	7	1000	36	51	1.90	6	98
2005	15	17	2.34	6	87	34	41	1.99	8	99	49	31	2.39	6	99	31	52	1.66	11	97
2006	11	14	1.84	7	40	21	1	1.70	8	73	37	25	1.82	6	59	27	33	1.59	9	90
Total	782	32	2.43	6	1000	1108	104	3.18	6	7145	2025	87	3.63	6	7956	1068	122	3.78	6	6170

* Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

IV. 고찰

우리나라에서 직업적 납 노출의 문제가 대중의 관심을 갖게 된 시기는 1968년이며, 이후 1988-1998년의 기간 동안 납 노출 작업자에 대한 정기적인 보건관리 수행과 작업환경관리는 작업장의 공기 중 납 농도 수준을 감소시키는데 기여하였다(임정규 등, 1996; 강명식 등, 1998; Lee, 1999). 실제로 납 취급 근로자들의 건강 위생요인은 납 사용량, 납 입자의 크기 및 공기 중 납 농도, 작업공정, 국소 및 전체 환기의 효율성 등 작업장의 일반적 위생수준의 영향을 받으며, 동일한 환경에서도 개인의 작업강도, 호흡방식, 보호구 착용여부에 따라 실질적인 체내 납 흡수는 달라

지므로 납 취급 근로자들의 납중독을 예방하고 건강증진을 가져오기 위해서는 환경모니터링과 함께 생물학적 모니터링을 병행하여 수행하는 것이 바람직하다고 하였다(Lee 등, 1993).

이와 같은 법적 제도적 장치가 있음에도 불구하고 일부 사업장을 제외하고는 대부분의 사업장들이 정기건강진단과 작업환경측정만을 근로자들의 보건관리의 전부로 생각하여 보다 적극적인 보건관리가 실시되지 못한 바 있다. 이에 따라 정부에서는 사업장의 규모가 300인 이하이거나 공장이 밀집된 공단지역의 경우 산업보건전문 인력의 고용이 어려운 경우 보건관리대행기관에 의한 보건관리 업무를 대행토록 하여 근로자 건강을 돌보도록 제도화한 바 있다(노

Table 4. Lead exposure in casting, lead powder and pasting, assembly, other department by year(1989-2006) in grid type casting storage battery industries

Year	Casting					Lead powder and pasting					Assembly				
	N	GM*	GSD	Min	Max	N	GM*	GSD	Min	Max	N	GM*	GSD	Min	Max
1989	3	7	1.16	6	8	11	41	2.40	11	197	15	22	1.66	8	48
1990	3	26	1.87	14	49	7	35	1.88	10	69	17	64	4.32	10	1000
1991	26	27	2.35	8	210	7	21	2.26	10	70	7	72	1.57	40	140
1992	2	8	1.09	8	9	10	22	4.16	6	1000	17	45	3.63	9	1000
1993	8	9	1.29	6	13	19	15	1.79	7	72	12	54	4.53	10	1000
1994	6	99	12.79	6	1000	18	34	3.91	6	1000	6	40	5.22	6	1000
1995	9	10	1.34	7	16	18	51	4.49	6	2849	17	103	3.21	9	692
1996	8	15	2.09	7	49	25	50	3.74	8	1000	25	113	3.33	8	1098
1997	9	19	1.65	12	57	29	40	3.22	6	1000	37	179	3.28	9	1414
1998	6	28	2.09	11	91	32	42	2.43	7	139	48	68	2.30	12	344
1999	6	28	1.50	13	40	31	43	2.77	9	1000	47	52	2.11	6	244
2000	12	29	2.37	10	149	26	36	1.94	11	145	44	55	2.41	9	219
2001	6	23	1.46	15	38	17	28	2.09	8	112	40	30	2.14	6	244
2002	8	43	3.68	18	1000	23	31	1.98	8	99	44	25	1.92	7	135
2003	5	20	1.32	13	28	19	29	1.53	14	80	53	22	1.79	6	73
2004	9	16	1.48	9	30	24	26	2.56	6	1000	20	28	1.56	10	49
2005	4	21	1.46	13	32	20	29	1.72	7	62	40	36	2.07	6	282
2006	3	93	7.85	24	1000	13	20	2.02	7	54	24	18	1.79	6	55
Total	133	23	2.79	6	1000	349	33	2.70	6	2849	523	45	2.97	6	1414

* unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

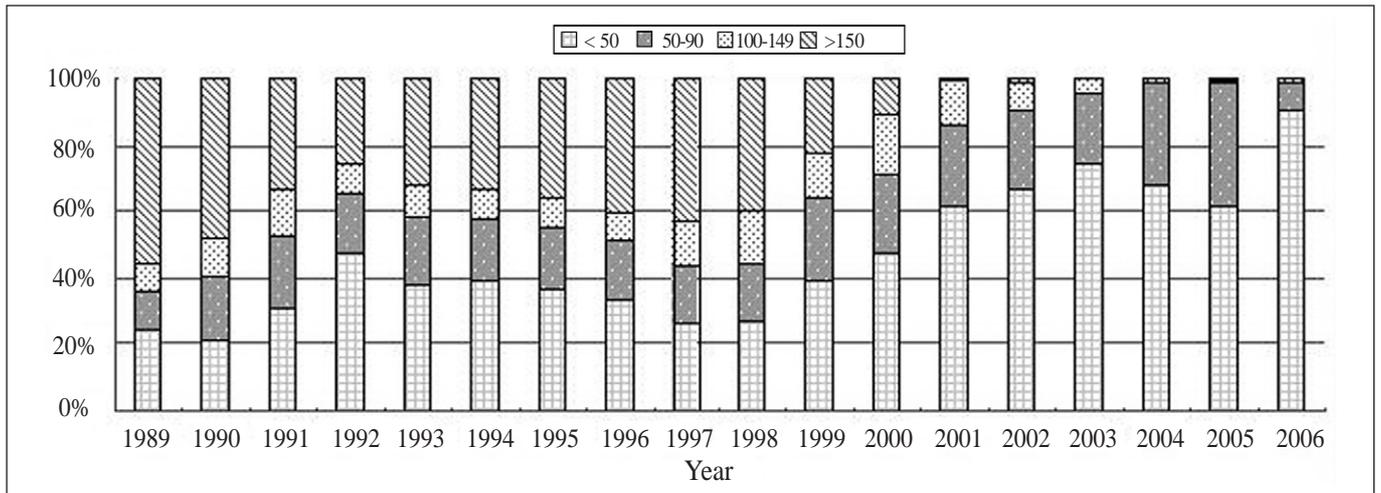


Figure 1. The distribution of over PEL by year(1989-2006) in all storage battery industries

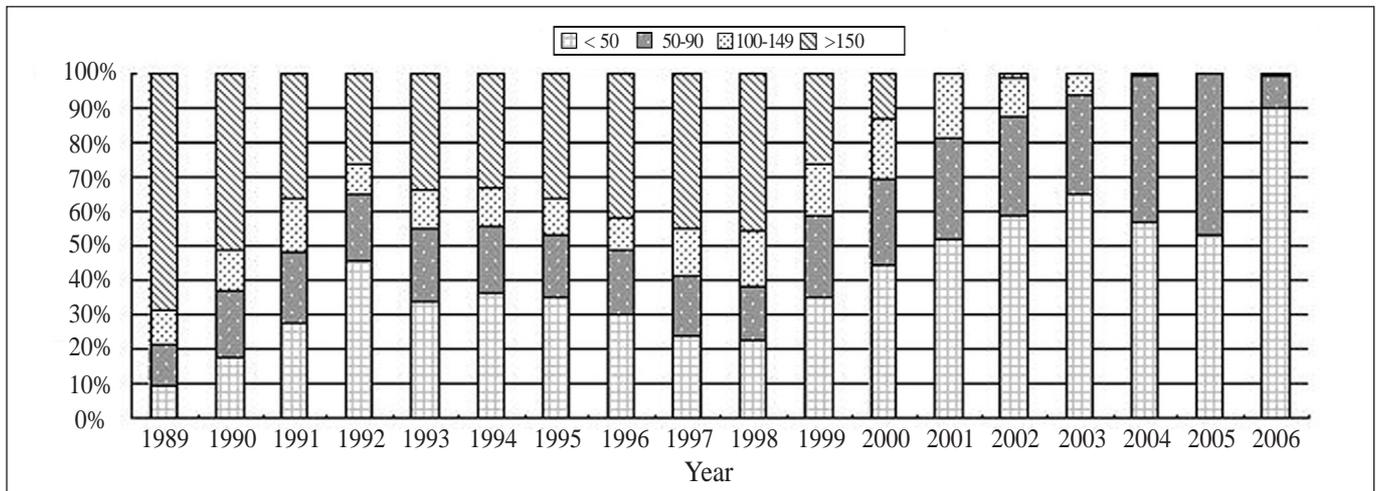


Figure 2. The distribution of over PEL by year(1989-2006) in grid type casting storage battery industries

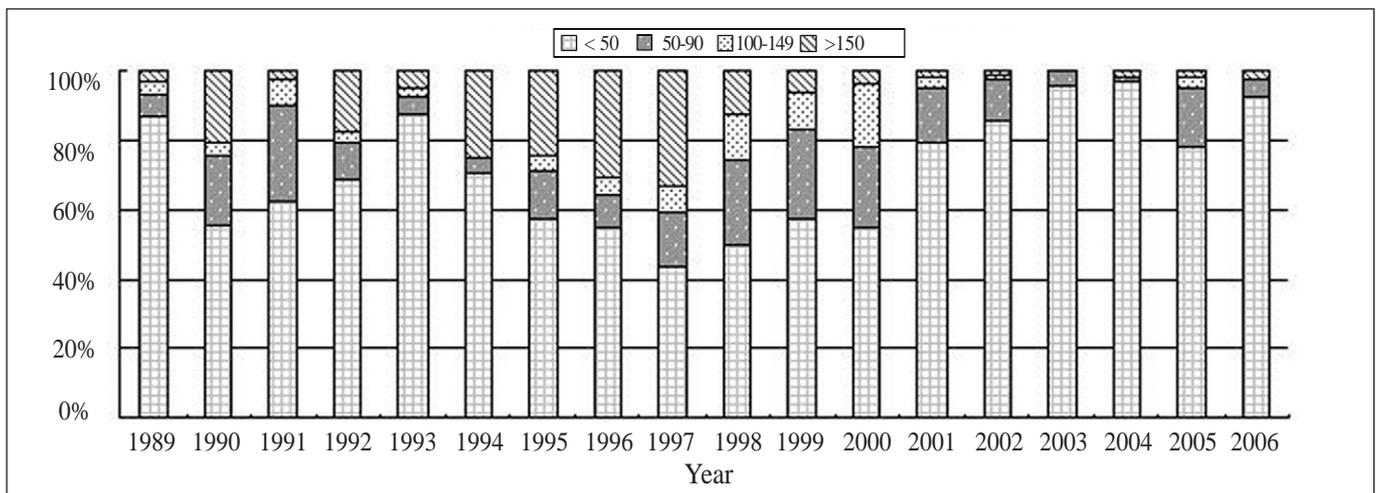


Figure 3. The distribution of over PEL by year(1989-2006) in expanded type casting storage battery industries

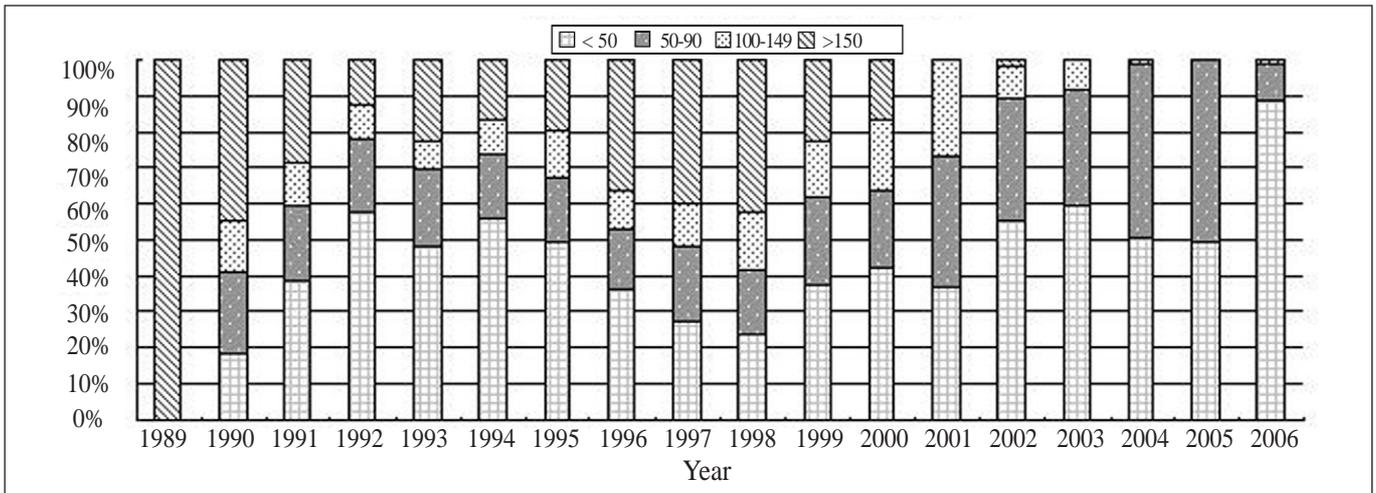


Figure 4. The distribution of over PEL by year in grid type casting large sized storage battery

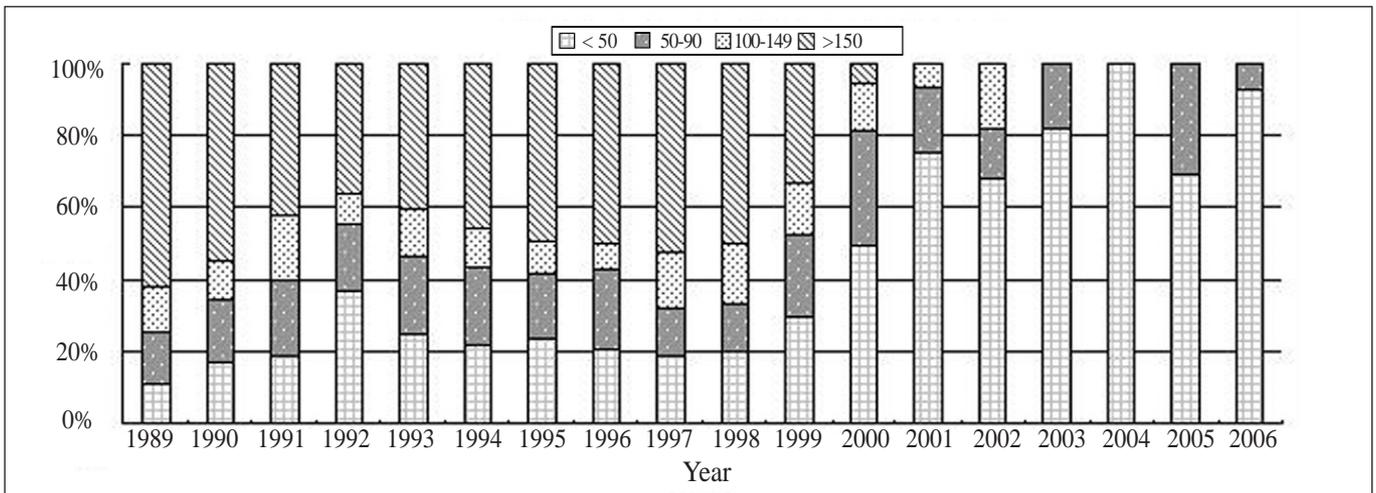


Figure 5. The distribution of over PEL by year in grid type casting small&medium sized storage battery industries

동부, 1999). 보건관리대행은 해당지역이 정해져 있는 지역 보건관리대행과 특수한 유해요인에 폭로된 근로자들의 전문적 관리를 위해 지역에 관계없이 전국적으로 관리가 가능한 업종별 보건관리대행으로 구분되는데 후자에 의해 1988년도부터 우리나라의 고 위험 납 폭로 근로자들을 중심으로 한 납 작업자들이 순천향대학교 산업의학연구소에 의해 생물학적 모니터링을 비롯한 보다 적극적인 보건관리가 수행되어 오고 있다(이병국, 1989; Lee, 1991).

본 조사 대상인 12개 축전지 사업장은 우리나라 축전지 사업장의 80-90%를 차지하는 우리나라의 축전지 사업장을 대표 할 수 있는 사업장으로서 지난 18년간의 공기 중 납 농도는 보건관리 대행이 시작된 이후 년도 경과에 따라 상당한 감소가 나타나서 2006년 현재 공기 중 기하평균농도는 현행 허용농도를 하회하고 있다. 우리나라는 1989년에 납 사업장의 공기 중 허용농도를 노동부 고시 제 88-69

호로 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 바꾸었으나(노동부, 1988) 납 사업장의 공기 중 납 농도는 2000년도 까지 법정 허용농도를 지키지 못하다가 2000년 이후에야 납 사업장 전체 부서의 기하평균농도가 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 나타내고 있다.

납 사업장은 공법상 크게 습식 및 건식공법으로 나뉘어진다. 전자는 expander 방식으로 제조하는 신 공법으로 극판조과정에서 극판을 납 분진에 도포한 이후 종이를 붙이며 이는 극판과 납 분진의 접착력을 높이기 때문에 탈락을 감소시키는 장점이 있고, 구 공법에서 실행하는 절단 및 사상공정이 생략되어 공정의 간소화와 더불어 공정간 극판 이동의 횟수가 적은 장점이 있다. 반면, 후자는 grid 방식으로 제조하는 구 공법으로 극판에 종이를 붙이지 않은 채 단계별 작업공정이 이루어지기 때문에 공정간 오염물질의 이동이 많으며 특히 납 산화물의 비산과 탈락이 많은 극판화성(전기충전)과 절단 및 사상 작업을 수행한 이후 최종 조

립이 이루어지는 차이가 있으며, 이러한 납축전지 제조공법의 특성상 작업장 납 노출농도의 차이는 불가피하다 (Burgess, 1995). 본 조사에서도 구공법인 grid 공법의 납 사업장의 공기 중 납 농도와 신공법인 expander 공법의 납 사업장의 공기 중 납 농도의 기하평균은 큰 차이가 있어 expander 공법의 납 사업장 공기 중 납 농도는 공정별 비교에서도 구공법의 납 사업장보다 현저히 낮은 공기 중 납 농도를 나타냈다. 본 조사에서 구공법의 납 사업장 공기 중 납 농도는 보건관리 대행초기 보다 상대적으로 낮은 공기 중 납 농도를 나타낸 반면, 신공법의 납 사업장에서는 보건관리 대행초기의 공기 중 납 농도보다 보건관리 중간년도에 오히려 더 높은 공기 중 납 농도를 나타내었다. 그 후 다시 공기 중 납 농도의 감소가 나타났다.

지난 18년간의 공기 중 납 농도의 기하평균의 변화를 보면 우리나라가 경제적으로 어려움을 겪었던 IMF에 의한 경제지원시기가 지나기 시작한 1999년과 2000년부터 납 사업장의 공기 중 납 농도의 기하평균의 변화가 나타남을 알 수 있다. 2000년 이후에는 구공법의 납 사업장이나 신공법의 납 사업장의 평균 공기중농도가 허용농도가 비슷한 값을 나타내었다. 이를 각 공정별로 비교하여도 비슷한 결과임을 알 수 있다. 이는 우리나라의 축전지 사업장이 공정 개선과 작업환경개선을 위한 국소배기장치의 적절한 유지관리를 통한 실질적인 작업환경의 개선으로 평가할 수도 있으나, 본 조사대상 사업장중 구공법의 사업장의 설비시설은 상대적으로 노후하여 신공법의 납 사업장과 비슷한 작업환경을 유지하기는 어려운 것이 현실이다. 특히, 구공법의 축전지 사업장의 공기 중 납 농도의 기하평균이 현저히 감소한 이유 중의 하나는 정부의 엄격한 규제정책과 이에 따른 처벌 등이 일부 납 사업장의 공기 중 납 농도의 감소를 가져왔을 가능성을 배제하기 어렵다. 즉 현행 작업환경측정은 외부전문기관에서 일 년에 2회씩 방문 측정하므로 측정일 에 작업환경중의 납 농도를 낮추기 위하여 작업량을 줄이거나 각 근로자의 작업시간을 감축하는 경우가 있을 수 있다. 현행 우리나라의 산업안전보건법 제 49조 1항, 제 50조 1항, 제 126조 1항, 산업안전보건 업무 담당근로감독관 집무규정 제 32조 5항에 의하면 화학물질 취급업무에 대한 작업환경측정 결과 등 화학물질이 노출기준을 5배 이상 초과하거나 2회 이상 연속하여 3배 이상 초과한 사업장에 대하여 안전보건진단을 실시하여 개선하도록 제도화 되어있다(노동부, 2000).

일단 안전보건진단을 받으면 일정기간이내에 개선사업을 완료하여 다음 작업환경측정에서는 개선효과가 나타나야만 적절한 안전보건진단을 받은 것으로 간주하기 때문에 납 사업장에서는 가능한 한 방법을 이용하여 작업장의 공

기 중 납 농도를 낮추려고 하는 경향이 있다. 따라서 본 분석결과 2000년 이후 구 공법 납 사업장의 공기 중 납 농도가 신 공법 납 사업장의 공기 중 납 농도와 비슷한 값을 나타내고 있는 것은 순수한 작업환경개선과 공정개선 이외의 원인에 일부 기인 할 수 있음을 부인하기 어렵다.

지난 18년간의 납 사업장 보건관리를 통하여 해당 납 근로자들의 혈중납량은 현저히 감소하여 일부 납 사업장을 제외하고는 납중독의 위험은 상당히 경감되었다(Lee, 1999). 이는 우리나라의 주요 납 사업장이 구공법의 공기 중 납 노출이 많을 수밖에 없는 공정을 가지고 있음에도 불구하고, 그동안 납 근로자들에 대한 적절한 보호구 프로그램과, 보건교육 및 필요한 안전 보건 수칙 등을 적용하여 지속적으로 관리하여 옴으로서 나타난 결과이다. 현재의 납 사업장의 공기 중 납 농도 수준은 아시아의 대만이나(CDC, 1995; Wang 등 2002) 싱가포르의 작업환경수준과(Ho 등, 1998; Hwang 등, 2000) 각 해당년도별로 비교하여도 상대적으로 낮은 수준이다.

미국의 납 관련 기준을 보더라도, 업종에 따라 기준농도의 적용이 다를 수 있으며, 공기 중 납 농도의 초과 정도에 따라 사용하는 보호구의 규정이 따로 정해져 있다(OSHA, 2006). 이는 공정상 근본적인 납 농도의 개선이 어려울 경우 적절한 보호구를 통한 관리를 인정하는 제도로서 우리나라에서도 구 공법에 의한 현행기준을 준수하기 어려울 경우 적절한 보호구 관리에 보다 중점을 두어 실질적인 관리가 이루어 질수 있는 제도적 유연성이 필요하다고 생각한다.

V. 결 론

우리나라의 자동차 축전지 사업장을 대상으로 1989년부터 2006년까지의 작업환경측정 자료 중 공기 중 납 노출농도를 분석하여 제조공법이나 작업공정에 따른 공기 중 납 농도의 연도별 기하평균, 기하표준편차, 최소값, 최대값이 어느 정도인지를 알아보고, 작업공법이나 작업공정, 연도별에 따라 초과율의 차이엔 어떠한 변화가 있는지에 대해 알아봄으로써 후에 축전지 사업장의 올바른 작업환경관리에 도움이 되는 자료를 제공하고자 본 연구를 시도하였다.

1. 전체 축전지 사업장의 18년간 공기 중 납 농도의 기하평균, 기하표준편차, 최소값 및 최대값은 각각 $72\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.65, $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $7,956\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 1989년부터 1999년까지는 축전지 사업장의 평균 공기 중 납 농도가 허용농도를 초과하였으나 2000년부터 감소하여 2006년도에는 허용농도의 50%를 나타냈다.

2. 축전지 사업장을 격자구조제조공법에 따라 grid(구 공법), expander(신 공법)로 구분하여 비교한바 expander 공법 사업장의 공기 중 납 농도 기하평균이 grid 공법 사업장 공기 중 납 농도보다 전 기간에 걸쳐 유의하게 낮았다($p<0.01$).

3. Grid 공법의 납 사업장을 대규모 및 중소규모로 구분하여 연도별 납 농도를 비교한바, 대규모 납 사업장의 공기 중 납 농도가 중소규모의 공기 중 납 농도보다 낮은 농도를 나타내었다. 또한 grid 공법의 납 사업장 공정에 따른 공기 중 납 농도의 기하평균 비교에서는 기타부서, 연분연도, 조립 및 주조 순으로 공기 중 납 농도의 평균이 낮았다.

4. Expander 공법 납 사업장 공정에 따른 공기 중 납 농도의 기하평균 비교에서는 조립, 연분 및 연도 그리고 주조 순으로 공기 중 납 농도의 평균이 낮았다.

5. 공기 중 납 농도를 허용농도이하($<50\mu\text{g}/\text{m}^3$), $50-99\mu\text{g}/\text{m}^3$, $100-149\mu\text{g}/\text{m}^3$ 그리고 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 4군으로 정하여 납 사업장의 연도별, 공법별, 규모별 및 작업공정별로 분포를 비교하였다. 보건관리연도가 진행될수록 허용농도초과 분포가 낮아졌으며, expander 공법에서 grid 공법보다 규모가 큰 납 사업장의 허용농도초과 분포가 적었다. 또한 공정별로 비교하면 grid 공법의 사업장은 기타와 연분 및 연도 부서 그리고 조립 과 주조 순으로 허용농도 초과분포가 적었으나 expander 공법 납 사업장에서는 공정 간의 차이가 뚜렷하지 않았다.

6. 2000년 이전과 비교하면 2000년 이후 grid 공법 축전지 사업장의 공기 중 납 농도 기하평균은 허용농도를 하회하였으며, 허용농도를 초과하는 분포도 상대적으로 적어서 expander 공법 축전지 사업장의 공기 중 농도나 분포가 비슷하였다. 이는 실제적인 grid 공법 축전지사업장의 환경개선과 공정개선에 의한 영향으로도 해석 될 수 있으나 한편으로는 정부의 엄격한 규제와 처벌에 대한 해당 납 사업장의 현실적인 상황대처에 의한 것이 감소원인이 되었을 가능성을 배제하기 어렵다.

REFERENCES

강명식, 김용배, 이용진, 리갑수, 김화성 등. 모 축전지 회사 근로자들의 연폭로 지표에 대한 경시적 관찰. 순천향산업의학 1998;4(1):1-14
 노동부. 유해물질의 허용농도(고시 제 88-69호). 노동부; 1988.
 노동부. 유해물질의 허용농도 및 작업환경측정방법. 노동부; 1991.
 노동부. 산업안전보건법. 노동부; 1999.
 노동부. 산업안전보건법. 노동부; 2000.

심윤보, 이병국. 연취급 근로자들의 건강증진에 미치는 호흡용 보호구 및 생물학적 모니터링의 효과. 대한산업의학 회지 1991;4(1):1-13
 이병국. 우리나라 직업병의 역사. 산업보건 1989;10:6-12
 이병국, 김용배, 리갑수, 안현철, 김화성 등. 업종에 따른 연취급 사업자의 기중 연 농도 및 연 노출 수준 평가. 순천향산업의학 1999;5(1):1-13
 이병국. 연취급 사업장의 전담관리 현황과 유해인자별 전담관리의 필요성. 직업병 전문기관 합동 회지 결과보고서. 한국산업안전공단 산업보건연구원; 1992.(9-22쪽)
 임정규, 안규동, 이병국. 연 작업자들의 업종별 보건관리에 의한 건강수준의 변화. 순천향산업의학 1996;2(1):27-52
 조광성. 축전지 제조업에서 공기중 납 노출기준 초과에 영향을 주는 요인에 관한조사, 순천향대학교 석사학위논문, 순천향대학교 산업정보대학원; 1999.
 Burgess WA. Recognition of health hazards in industry, New York: A review of materials and processes. John Wiley and Sons, Inc.; 1995.p.401-8
 CDC. Occupational lead surveillance-Taiwan, July-December 1993. MMWR. 1995;44(10):181-189
 Fischbein A, Hu H. Occupational and environmental exposure to lead. In Environmental and Occupational Medicine, ed Rom WN, Boston, Lippincott, 2007.p.954-90
 Hwang YH, Chao KY, Chang CW, Hsiao FT, Chang HL, Han HZ. Lip lead as an alternative measure for lead exposure assessment of lead battery assembly workers. AIHAJ. 2000;61(6)825-31
 Ho SF, Sam CT, Embi GB. Lead exposure in the lead-acid storage battery manufacturing and PVC compounding industries. Occup Med 1998; 48(6): 369-373
 Lee BK. Lead poisoning in Korea. Korea J of Occup Health 1991;30:1-9
 Lee BK. The role of biological monitoring in the health management of lead-exposed workers. Toxicol Lett 1999;108:149-160
 Lee BK, Lee CW, Ahn KD. The effect of respiratory protection with biological monitoring on the health management of lead workers in a storage battery industry. Int Arch Occup Environ Health 1993;65:181-184
 OSHA, Regulations(Standards-29 CFR) Lead-1910-1025, U.S. Department of Labor; 2006
 Wang VS, Lee MT, Chiou JY, Guu CF, Wu CC, Wu TN, Lai JS. Relationship between blood lead levels and renal function in lead battery workers. Int Arch Occup Environ Health 2002;75: 569-575
 WHO. Environmental health criteria; 3. lead, Geneva, WHO; 1977
 Zenz C. Occupational medicine, Chicago: Year Book Medical Publishers Inc.; 1994.p.506-41