

일부 제련 및 리사지 사업장에서 공기중 납 노출농도의 변화

최재욱¹ · 김남수¹ · 조광성¹ · 함정오² · 이병국^{1*}

¹순천향대학교 환경산업의학연구소 · ²순천향대학교 천안병원 산업의학과

The change of air lead concentrations in litharge making and smelting industries

Jae-Wook Choi¹ · Nam-Soo Kim¹ · Kwang-Sung Cho¹ · Jung-O Ham² · Byung-Kook Lee^{1*}

¹Institute of Environmental and Occupational Medicine, Soonchunhyang University

²Department of Occupational Medicine, Soonchunhyang University Hospital, Cheonan

To provide necessary information for future environmental monitoring of smelting and litharge making industries in Korea, environmental monitoring dataset of air lead concentration of 4 lead industries(1 primary smelting, 2 secondary smelting and 1 litharge making industry) were analyzed from 1994 to 2007. Data were compared using geometric mean and standard deviation with minimum and maximum values according to year of measurement, type of lead industries and type of operation of lead industries.

The geometric mean and standard deviation of air concentration for a total of 1140 samples in all lead industries for overall 14 years were $70.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and 5.51 with minimum of $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and maximum of $9,185 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The overall geometric means of air concentration were above the permissible exposure levels(PEL) until year of 2001 and thereafter they were remained at the level of half of PEL.

The geometric means of primary smelting, secondary smelting and litharge making industry for overall 14 years were $21.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (number of samples: 353), $82.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (number of

samples: 357) and $164.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (number of samples: 430) respectively. In primary smelting industry, the highest geometric mean air concentration was $35.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the secondary smelting operation; followed by casting operation ($24.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and melting operation ($14.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), respectively. On the other hand, in secondary smelting industries, the highest geometric mean air concentration was $125.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in melting operation; followed by casting operation ($90.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and pre-treatment operation ($43.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), respectively. However, in litharge making industries, there were no significant differences of geometric mean air concentrations between litharge operation and stabilizer operation.

The proportion of over PEL ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) was highest in litharge industry and followed by secondary smelting industries. However The proportions of over PEL($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were decreased by the years of environmental monitoring.

The significant reduction of mean air lead concentration since year of 2000 was observed due to more active environmental engineering control and new introduction of new

접수일: 2009년 10월 17일, 채택일: 2010년 1월 14일

* 교신저자: 이병국(충남 아산시 신창면 읍내리 646 순천향대학교 환경산업의학연구소,
Tel: 041-530-1760, Fax: 041-530-1778, E-mail: bkleee@sch.ac.kr)

operation in manufacturing process, 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 according to more strict enforcement of occupational and safety law by the government.

Key Words: airborne lead concentration, smelting, litharge making

I. 서론

기술이 발전하면서 산업혁명 초기에 납과 그 화합물이 새로운 용도로 사용되기 시작하였으며, 오늘날 비철금속 중에서는 가장 광범위하게 사용하는 금속이 되었다. 납의 전 세계적인 연간 생산량 또는 소비량의 정확한 추정은 어려우나 금속 납으로 환산하여 약 890만 톤이 생산되며, 실제 소비되는 양은 이 보다 많은데 이는 생산된 납의 3분의 1 이상이 2차 제련 등으로 재생되어 사용되고 있기 때문이다(한국산업안전공단, 2003; Zenz, 1988).

우리나라의 경우도 지난 30년간 산업발전과 더불어 납 사용은 계속 증가하였고 이로 인한 근로자들의 납 노출 증가도 피할 수 없었다. 가톨릭의대 산업의학연구소에서 1968년도에 납 근로자 217명을 대상으로 실시한 납중독조사에서 58명이 납중독으로 국내에 처음 보고된 이후 1972년 모축전지 회사와 1983년도 반월공단 납중독 사건으로 인해 정부에서도 납 작업장의 적극적인 보건관리의 필요성이 제기되었다. 특히 2차 제련 및 리사지 업종은 대부분 소규모 사업장이 많고, 과거부터 장기간 동안 동일 업종에 종사한 근로자들이 많아 다른 납 제조 업종보다 납 과다 흡수로 인한 납 중독 기준을 초과하는 근로자들이 매년 정기 건강 진단에서 발생되었으며, 이후 사업장의 환경개선과 납 작업자들의 건강수준 향상을 위해 보다 엄격하게 환경기준 및 건강관리규정 등이 강화된 바 있다(심윤보 등, 1991; 이병국, 1992; 1999; 임정규 등, 1996; 채제명 등, 1997; 조광성, 1999).

납은 인체의 물질대사에 전혀 불필요한 금속물질로서 장기간 노출될 경우 체내에 축적되고 축적된 납은 노출량에 비례하며, 조혈기능, 위장관계, 중추신경이나 말초신경, 근육, 신장기능, 심혈관 및 생식기관 등 다양한 종류의 급성 및 만성 비발암성 독성을 유발하는 것으로 보고되었다(Mahaffey, 1983; ATSDR, 1999; Cheng 등, 2001; Lanphear 등, 2000; Lidsky and Schneider 2003; Tsaih 등, 2004; 김형수 등, 2001; 이성수 등, 2004). 그럼에도 불구하고 납과 그 화합물은 밀도가 높고, 비금속물질인 질소와 결합 할 수 있으며, 산이나 공기, 물에 대한 저항력이 높고, 소리와 진동을 감소시키는 성질과 방사선을 흡수하는 성질 및 자기 성질 등을 가지고 있기 때문에 여

러 산업공정에서 널리 사용되고 있다. 특히 20세기 이후 자동차의 등장으로 인한 납축전지의 폭발적인 수요와 함께 납 제련 및 기타 산업 수요의 증가로 인해 사업장에 대한 지속적인 환경개선 유도과 근로자의 건강관리를 위한 다각적인 노력이 요구된다. 또한 작업환경을 경시적으로 관찰하고 참모하여 산업현장에서 활용 가능한 기초자료를 확보하는 것이 필요하며, 최근에 최승현 등의 일부 연구가 이루어지기는 하였으나 작업환경 실태에 대한 변화와 함께 법의 적용기준 및 경제적 상황 등 영향 요인에 대한 연구도 필요한 실정이다.

본 연구는 납을 취급하는 사업장에서 일부 제련 및 리사지 제조 사업장에서 14년간의 작업환경측정결과를 비교 분석하여 연도별, 사업장, 공정별로 구분하여 납 노출농도의 변화 추이를 살펴보는 것이다. 이러한 자료는 향후 제련 및 리사지 사업장의 작업환경관리를 위한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 순천향대학교 환경산업의학연구소에서 업종별 보건관리 대행 업무를 실시하는 우리나라 제련 및 리사지 사업장 4곳(1차 제련 1곳, 2차 제련 2곳, 리사지 제조 1곳)의 1994년 상반기부터 2007년 하반기까지 연 2회 실시된 작업환경측정 결과 중 공기 중 납 노출농도만을 분석대상으로 하였다.

2. 연구방법

자료의 분석을 위해 1994년 상반기부터 2007년 하반기까지 연 2회 실시한 작업환경측정결과의 내용 중 측정년도, 사업장, 단위공정, 유해물질 중 납의 측정결과를 중심으로 정리하였다. 정리된 내용은 SAS 9.2(SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA) 통계 프로그램을 이용하여 자료 분석을 실시하였다. 전체 사업장을 대상으로 연도별 변화추이를 조사하였고, 사업장을 1차 제련과 2차 제련, 리사지 제조 사업장으로 구분하여 공기 중 납 노출농도를 비교하였다. 또한 1차 제련 사업장은 용해,

주조, 2차 제련공정, 2차 제련 사업장은 전처리, 용해, 주조공정, 리사지 제조 사업장은 리사지, 안정제공정으로 분류하여 공기 중 납 노출농도의 변화 추이를 조사하였다.

III. 연구결과

1994년 상반기부터 2007년 하반기까지 제련 및 리사지 사업장에서 공기중 납 노출농도의 기하평균, 기하표준편차, 최소값, 최대값, 그리고 노출기준 초과율을 비교한 내용은 표 1과 같다. 1994년부터 2007년까지 제련 및 리사지 사업장의 14년간 공기중 납 노출농도의 기하평균은 70.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 1994년도 기하평균은 148.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 그 후 꾸준히 상승하여 1996년에는 315.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 높아졌다. 그러나 1997년부터 기하평균이 299.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 낮아지기 시작하여 2001년 이후에는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 기하평균을 나타내었다. 또한 전체 제련 및 리사지 사업장에 대하여 공기중 납 노출농도의 노출기준을 근거로 하여 노출기준이하(<50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 1배 초과(50-99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 2배 초과(100-149 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 3배 초과(>150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 정하고 초과건수의 비율을 나타내었다(표 1). 1994년도에 75.3%가 노출기준을 초과하였고 2007년도에는 26.5%의 초과율을 나

타냈다. 또한 노출기준 3배 초과로 비교하였을 때 1994년은 50.6%였으며, 1997년에는 66.7%로 가장 높았고 2007년에는 초과건수가 없었다.

납 사업장을 1차 제련과 2차 제련, 리사지 제조 사업장으로 구분하여 연도별 공기 중 납 노출농도의 기하평균, 기하표준편차, 최소값, 최대값, 그리고 노출기준 초과율을 비교한 내용은 표 2와 같다. 1994년부터 2007년까지 공기중 납 노출농도의 기하평균은 리사지 사업장에서 공기중 납 노출농도가 가장 높고 2차 제련, 1차 제련 순으로 나타났다. 리사지 사업장은 1996년 1085.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대값을 보였고 이후 꾸준히 낮아져 2007년에는 26.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮아졌다. 2차 제련 사업장은 2000년 317.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대값을 나타냈으며 이후 급격히 낮아지는 경향을 보였다. 또한 1차 제련 사업장도 2001년 92.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대값을 나타낸 이후 급격히 낮아지는 경향을 보였다. 초과율을 살펴보면, 1차 제련 사업장에서 1994년에서 2007년까지 연도별 노출기준 초과율은 1994년에 35.7%로 노출기준을 초과하였고, 2001년 이후에는 2005년 3.1%를 제외하고는 노출기준 초과건수가 없었다. 2차 제련 사업장은 1994년 33.3%초과하였으며, 2007년에는 44.4%의 초과율을 보였다. 또한 노출기준 3배 초과건수는 2000년 이후 없었다. 리사지 사업장은 1994년 92.6% 노출기준을 초과하였고 2007년에는

Table 1. The distribution of over permissible exposure limits(PELs) and lead exposure of year(1994-2007) in all plants

Year	No. of samples	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	Rate of over PEL, n(%)			
						<50	50-99	100-149	>150
1994	77	148.7	4.198	11	9185	19(24.7)	11(14.3)	8(10.4)	39(50.6)
1995	104	240.9	5.325	9	7493	26(25.0)	11(10.6)	7(6.7)	60(57.7)
1996	83	315.8	5.944	15	6286	13(15.7)	12(14.5)	8(9.6)	50(60.2)
1997	90	299.1	5.007	11	7600	16(17.8)	9(10.0)	5(5.6)	60(66.7)
1998	78	175.6	3.775	18	3500	15(19.2)	15(19.2)	12(15.4)	36(46.2)
1999	74	85.4	3.305	1	985	25(33.8)	14(18.9)	14(18.9)	21(28.4)
2000	47	119.3	3.859	6	1799	6(12.8)	16(34.0)	9(19.1)	16(34.0)
2001	67	76.0	2.139	5	233	14(20.9)	22(32.8)	28(41.8)	3(4.5)
2002	77	32.6	4.219	1	188	35(45.5)	20(26.0)	21(27.3)	1(1.3)
2003	86	28.1	3.593	1	147	55(64.0)	12(14.0)	19(22.1)	0(0.0)
2004	53	25.6	3.792	1	113	27(50.9)	25(47.2)	1(1.9)	0(0.0)
2005	129	19.7	3.513	1	194	96(74.4)	28(21.7)	2(1.6)	3(2.3)
2006	92	20.7	2.745	1	99	79(85.9)	13(14.1)	0(0.0)	0(0.0)
2007	83	26.1	2.711	1	87	61(73.5)	22(26.5)	0(0.0)	0(0.0)
Total	1140	70.7	5.517	1	9185	487(42.7)	230(20.2)	134(11.7)	289(25.3)

Table 2. The distribution of over PELs and lead exposure of year(1994-2007) by industries

Year	No. of samples	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	Rate of over PEL, n(%)			
						<50	50-99	100-149	>150
Primary smelting									
1994	14	33.8	2.050	11	106	9(64.3)	4(28.6)	1 (7.1)	0(0.0)
1995	26	39.7	2.265	13	351	21(80.8)	2 (7.7)	0(0.0)	3(11.5)
1996	23	61.6	2.944	19	1881	9(39.1)	9(39.1)	2 (8.7)	3(13.0)
1997	19	57.6	3.154	11	935	11(57.9)	2(10.5)	3(15.8)	3(15.8)
1998	22	57.8	2.376	18	558	12(54.5)	6(27.3)	2 (9.1)	2 (9.1)
1999	33	48.4	2.094	10	154	18(54.5)	8(24.2)	6(18.2)	1 (3.0)
2000	12	86.2	1.575	31	160	1 (8.3)	6(50.0)	3(25.0)	2(16.7)
2001	11	92.6	1.703	23	146	1 (9.1)	2(18.2)	8(72.7)	0(0.0)
2002	27	7.6	3.165	1	43	27(100)	0 (0.0)	0(0.0)	0(0.0)
2003	29	7.9	2.706	1	38	29(100)	0 (0.0)	0(0.0)	0(0.0)
2004	13	5.9	3.241	1	29	13(100)	0 (0.0)	0(0.0)	0(0.0)
2005	64	10.1	3.172	1	76	62(96.9)	0 (3.1)	0(0.0)	0(0.0)
2006	30	11.9	2.963	1	36	30(100)	0 (0.0)	0(0.0)	0(0.0)
2007	30	19.0	2.391	1	43	30(100)	0 (0.0)	0(0.0)	0(0.0)
Total	353	21.7	3.707						
Secondary smelting									
1994	9	45.8	3.455	11	656	6(66.7)	2(22.2)	0(0.0)	1(11.1)
1995	26	250.1	2.910	35	1670	2 (7.7)	5(19.2)	3(11.5)	16(61.5)
1996	21	191.1	3.544	15	1596	4(19.0)	1 (4.8)	4(19.0)	12(57.1)
1997	29	245.6	3.582	21	2342	3(10.3)	6(20.7)	1 (3.4)	19(65.5)
1998	24	231.0	3.218	24	3157	1 (4.2)	4(16.7)	8(33.3)	11(45.8)
1999	27	165.5	3.279	12	985	5(18.5)	2 (7.4)	5(18.5)	15(55.6)
2000	21	317.5	3.016	50	1799	0 (0.0)	3(14.3)	4(19.0)	14(66.7)
2001	31	69.9	1.868	18	147	8(25.8)	13(41.9)	10(32.3)	0(0.0)
2002	22	57.1	2.346	4	143	5(22.7)	11(50.0)	6(27.3)	0(0.0)
2003	28	41.2	1.826	15	135	19(67.9)	6(21.4)	3(10.7)	0(0.0)
2004	27	36.7	2.648	1	90	12(44.4)	15(55.6)	0(0.0)	0(0.0)
2005	32	30.4	2.605	1	88	19(59.4)	13(40.6)	0(0.0)	0(0.0)
2006	33	27.0	1.846	4	98	28(84.8)	5(15.2)	0(0.0)	0(0.0)
2007	27	37.3	2.056	5	84	15(55.6)	12(44.4)	0(0.0)	0(0.0)
Total	357	82.5	3.713	1	3157	127(35.6)	98(27.5)	44(12.3)	88(24.6)
Litharge making									
1994	54	265.6	3.312	29	9185	4 (7.4)	5 (9.3)	7(13.0)	38(70.4)
1995	52	582.6	4.565	9	7493	3 (5.8)	4 (7.7)	4 (7.7)	41(78.8)
1996	39	1085.5	4.137	64	6286	0 (0.0)	2 (5.1)	2 (5.1)	35(89.7)
1997	42	722.2	3.910	34	7600	2 (4.8)	1 (2.4)	1 (2.4)	38(90.5)
1998	32	307.0	3.551	19	3500	2 (6.3)	5(15.6)	2 (6.3)	23(71.9)
1999	14	90.8	4.306	1	411	2(14.3)	4(28.6)	3(21.4)	5(35.7)
2000	14	36.2	3.028	6	130	5(35.7)	7(50.0)	2(14.3)	0(0.0)
2001	25	77.3	2.660	5	233	5(20.0)	7(28.0)	10(40.0)	3(12.0)
2002	28	85.3	2.240	3	188	3(10.7)	9(32.1)	15(53.6)	1 (3.6)
2003	29	69.8	2.639	3	147	7(24.1)	6(20.7)	16(55.2)	0(0.0)
2004	13	52.5	2.802	2	113	2(15.4)	10(76.9)	1 (7.7)	0(0.0)
2005	33	46.9	2.663	3	194	15(45.5)	13(39.4)	2 (6.1)	3 (9.1)
2006	29	27.0	2.959	1	99	21(72.4)	8(27.6)	0(0.0)	0(0.0)
2007	26	26.1	3.517	1	87	16(61.5)	10(38.5)	0(0.0)	0(0.0)
Total	430	164.2	5.694	1	9185	87(20.2)	91(21.2)	65(15.1)	187(43.5)

Table 3. Lead exposure of year(1994-2007) by processing in primary smelting

Year	Melting					Casting					Secondary smelting				
	N	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	N	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	N	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max
1994	7	30.7	2.115	11	78	7	37.2	2.076	12	106	-	-	-	-	-
1995	4	23.6	1.586	13	40	16	40.3	1.963	19	351	6	53.7	3.441	13	339
1996	10	56.2	2.079	22	282	6	41.4	2.253	19	136	7	98.6	4.846	20	1881
1997	7	26.3	1.676	23	61	3	30.7	1.197	25	35	9	130.7	3.152	29	935
1998	7	36.2	1.375	25	51	11	100.8	2.417	39	558	4	28.4	1.429	18	41
1999	5	45.7	2.017	107	134	28	48.9	2.133	10	154	-	-	-	-	-
2000	2	110.0	1.039	23	113	7	98.6	1.473	60	160	3	53.6	1.608	31	72
2001	5	83.8	2.078	1	139	4	88.8	1.431	56	126	2	129.0	1.191	114	146
2002	14	8.4	3.147	1	40	9	7.7	3.235	2	43	4	5.2	3.959	2	40
2003	12	6.0	2.681	1	24	11	7.8	3.121	1	38	6	13.8	1.674	6	23
2004	8	5.5	3.979	1	26	3	4.4	1.539	3	7	2	12.0	3.466	5	29
2005	32	7.2	3.320	1	42	22	10.6	2.575	1	33	10	27.4	2.412	7	76
2006	13	13.1	2.026	4	28	11	9.0	4.329	1	36	6	15.9	2.801	2	34
2007	12	18.6	2.629	1	38	13	17.1	2.556	1	32	5	26.1	1.446	18	43
Total	138	14.9	3.513	1	282	151	24.9	3.537	1	558	64	35.4	3.762	2	1881

Table 4. Lead exposure of year(1994-2007) by processing in secondary smelting

Year	Pre-treatment					Melting					Casting				
	N	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	N	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	N	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max
1994	2	32.0	1.045	31	33	5	48.2	5.398	11	656	2	57.4	2.099	34	97
1995	7	101.7	1.805	45	281	13	237.9	2.690	35	826	6	797.4	1.534	565	1670
1996	5	68.8	2.109	25	135	9	357.6	3.372	25	1596	7	177.2	3.443	15	573
1997	8	68.2	1.768	31	183	10	503.6	1.524	253	1255	11	324.6	4.491	21	2342
1998	7	98.2	1.397	64	146	7	521.6	2.183	121	1183	10	237.8	4.003	24	3157
1999	6	33.1	2.124	12	87	14	287.0	1.824	103	838	7	218.7	3.360	30	985
2000	6	183.6	2.884	50	599	9	386.0	2.855	72	1799	6	409.7	3.385	115	1627
2001	8	42.7	2.289	18	128	14	83.3	1.602	31	147	9	82.8	1.517	42	147
2002	6	64.8	1.755	25	134	9	64.7	1.637	27	143	7	43.6	3.873	4	122
2003	8	29.7	1.415	19	52	12	45.2	2.217	15	135	8	49.6	1.381	34	87
2004	9	23.2	4.251	1	90	9	50.2	1.345	26	70	9	42.5	2.071	13	83
2005	12	18.2	3.059	1	63	8	48.2	2.025	11	85	12	37.2	2.072	10	88
2006	10	22.7	2.073	4	51	8	31.4	1.959	10	98	15	27.9	1.655	12	68
2007	11	40.5	2.081	13	80	8	47.9	1.381	31	74	8	26.0	2.483	5	84
Total	105	43.4	2.772	1	599	135	125.4	3.437	10	1799	117	90.5	4.116	4	3157

Table 5. Lead exposure of year(1994-2007) by processing in litharge making

Year	Litharge					Stabilizer				
	N	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max	N	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD	Min	Max
1994	35	217.4	2.959	29	4126	19	384.4	3.792	48	9185
1995	19	267.7	3.382	36	1684	33	911.7	4.517	9	7493
1996	12	675.4	4.179	70	6101	27	1340.4	4.014	64	6286
1997	14	386.6	4.477	34	4950	28	987.2	3.317	145	7600
1998	9	219.7	4.061	19	1230	23	349.9	3.382	43	3500
1999	14	90.8	4.306	1	411	-	-	-	-	-
2000	4	59.6	2.445	18	130	10	29.7	3.200	6	99
2001	8	54.1	2.435	15	144	17	91.4	2.712	5	233
2002	8	83.8	1.951	17	136	20	85.9	2.390	3	188
2003	4	95.4	1.961	35	144	25	66.4	2.749	3	147
2004	2	42.0	1.467	32	55	11	54.7	3.055	2	113
2005	4	47.0	1.547	32	86	29	46.9	2.822	3	194
2006	4	39.1	1.322	29	52	25	25.5	3.178	1	99
2007	6	44.6	1.457	27	69	20	22.2	4.005	1	87
Total	143	164.9	3.975	1	6101	287	163.8	6.656	1	9185

38.5%의 초과율을 나타냈으며, 2006년 이후 2배 이상 초과건 수는 없었다.

1차 제련 사업장을 공정(용해, 주조, 2차 제련)별로 구분하고 연도별 공기중 납 노출농도의 기하평균, 기하표준편차 및 최소값, 최대값을 비교하면 표 3과 같다. 세 그룹에서 전체 납 노출농도의 기하평균은 2차 제련 공정에서 $35.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높고 주조공정에서 $24.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 용해공정에서 $14.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 공정별로 수치에 차이는 있으나 2001년 이후 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

2차 제련 사업장을 공정(전처리, 용해, 주조)별로 구분하고 연도별 공기중 납 노출농도의 기하평균, 기하표준편차 및 최소값, 최대값을 비교하면 표 4와 같다. 세 그룹에서 전체 납 노출농도의 기하평균은 용해 공정에서 $125.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높고 주조공정에서 $90.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 전처리공정에서 $43.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 공정별로 수치에 차이는 있으나 2000년 이후 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

리사지 사업장을 공정(리사지, 안정제)별로 구분하고 연도별 공기중 납 노출농도의 기하평균, 기하표준편차 및 최소값, 최대값을 비교하면 표 5와 같다. 두 그룹에서 전체 납 노출농도의 기하평균은 리사지 공정 $164.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 안정제 공정 $163.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 큰 차이를 보이지 않았으며, 두 공정 모두 1998

년 이후 공기 중 납 노출농도가 전반적으로 낮아졌다.

IV. 고 찰

1968년도에 국내에서 처음 납중독이 보고된 이후 1972년 모축전지 회사와 1983년도 반월공단 납중독 사건으로 인해 정부에서도 납 작업장의 적극적인 보건관리 수행 및 작업환경관리의 필요성에 대해 관심을 갖게 되었으며 이는 작업장의 공기중 납 노출농도 수준을 감소시키는데 기여하였다(임정규 등, 1996; 강명식 등, 1998; Lee, 1999).

본조사 대상인 제련 및 리사지 사업장의 경우도 지난 14년간의 공기중 납 노출농도를 보면 보건관리 대행이 시작된 이후 경과년도에 따라 상당히 감소하였으며, 2007년도에는 사업장에 따라 다소 농도의 차이는 있으나 공기중 기하평균농도는 모두 현행 노출기준을 하회하였다. 우리나라는 1989년도에 납 사업장의 공기중 노출기준을 노동부 고시 제 88-69호로 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 바꾸었으며(노동부, 1988; 2007), 각 사업장의 공기중 납 노출농도의 기하평균농도는 2001년도 까지 법정 노출기준 이상이었으나 1차 제련과 2차 제련 사업장은 각각 2002년과 2003년부터, 리사지 제조 사업

장은 2005년부터 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 나타냈다(표 1).

1차 제련 사업장은 원료의 30%까지 수분이 함유한 상태로 직접 용탕으로 투입할 수 있는 QSL공법을 적용하는 사업장으로 2001년 이후 공기중 납 노출농도가 현저히 낮아진 것으로 나타났는데, 이는 대규모 사업장으로 환경개선에 대한 지속적인 노력과 음압설비 및 클린룸 등 작업 근로자들을 유해 물질로부터 보호할 수 있는 관리시스템 도입과 관련 법규의 강화 등으로 작업현장에서의 공기중 납 노출농도가 낮아진 것으로 판단된다. 한편 2차 제련 사업장은 최근에 사업주 및 담당자들의 인식의 변화와 관련 법규의 강화 등으로 공기중 납 노출농도가 현저히 개선되기는 하였으나 고온작업, 수작업 그리고 상대적으로 불결한 작업장 등으로 인해 과거 우리나라 납중독 발생의 주요 업종으로 간주되고 있으며, 사업장의 규모가 작고 일부 사업장은 여전히 과거의 작업방식을 고수하고 있어 기존의 작업방식을 혁신적으로 바꾸기 전에는 이상적인 작업환경을 유지하는데 어려움이 있는 것으로 보고하였다(이병국, 1992; Lee, 1991; 순천향산업의학연구소, 2007). 또한 리사지 제조 사업장에서 제조되는 산화납은 반응성을 증가시키고 고체반응에서의 지속성을 최고수준으로 끌어올리기 위해 아주 미세하고 가는 분말의 형태로 가공되며, 유리에 사용되는 과립 산화납은 유동성을 향상시키고 비산방지를 위해 원형으로 만들기도 하나 공정특성상 분진에 대한 노출이 많으며, 특히 작업과정에서 발생한 분진은 일시적으로 작업환경이 개선되었다 하더라도 주기적인 관리가 되지 않는 경우 2차 분진 등으로 비산되어 공기중 납 노출농도가 다시 높아지는 결과를 초래하며, 본 결과의 연도별 기하평균 농도에서도 1999년도까지 감소하는 경향을 보이다 다시 증가하여 작업환경관리가 어려운 사업장임을 알 수 있다.

납 사업장의 과거 공기중 납 노출농도의 기하평균농도에 대한 변화를 보면 우리나라가 경제적으로 어려움을 겪었던 IMF에 의한 경제지원시기가 지나기 시작한 1999년과 2000년부터 납 사업장의 공기중 납 노출농도의 기하평균의 변화가 나타남을 알 수 있다(최승현 등 2007). 본 연구에서도 사업장에 따라 다소 시기에 차이는 있으나 제련 및 리사지 사업장 모두에서 2000년을 전후하여 의미 있는 변화를 보였다. 이는 사업장에 따라 차이는 있으나 공정개선과 작업환경개선을 위한 국소배기장치의 적절한 유지관리를 통한 실질적인 작업환경의 개선으로 평가할 수도 있으나, 2차 제련 및 리사지 사업장의 특성상 기존의 작업방식을 혁신적으로 바꾸기 전에는 이상적인 작업환경을 유지하기는 어려운 것이 현실이다. 그럼에도 불구하고 공기중 납 노출농도의 기하평균이 현저히 감소한 이유 중의 하나는 최승현 등의 연구에서 보고된 것처럼 정부의 엄격한 규제정책과 이에 따른 처벌 등이 일부 납 사업장의 공기중 납 노출농도의 감소를 가져왔을 가능성

을 배제하기 어렵다. 실제 1999년도에 납 근로자의 직업병 판정기준이 $80\mu\text{g}/\text{dl}$ 에서 $60\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 낮아지게 되었고 본 연구에서 공기중 납 노출농도의 기하평균은 사업장에 따라 다소 차이는 있으나 1990년대 후반과 2000년대 초반에 가장 급격한 공기중 납 노출농도의 변화를 나타냈다. 이는 순수한 작업환경개선과 공정개선이외의 원인에 일부 기인할 수 있음을 부인하기 어렵다.

한편 납 사업장은 보건관리를 통하여 해당 납 근로자들의 혈중납량은 현저히 감소하여 일부 납 사업장을 제외하고는 납중독의 위험은 상당히 경감되었다(Lee, 1999). 이는 일부 사업장의 공정개선을 위한 적극적인 노력과 제련 및 리사지 사업장의 특성상 공기중 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 온 결과이다(최승현 등, 2007). 또한 일부 사업장은 과거의 작업방식을 혁신적으로 개선하여 공기중 납 노출농도가 현저히 개선되고 있는 바이는 지속적인 공정개선 및 설비투자의 결과로 규제중심의 정부의 엄격한 공기중 납 노출농도의 초과여부 관리보다는 이에 노출되는 근로자들을 위한 실질적인 관리가 필요하다.

미국의 납 관련 기준을 보더라도, 업종에 따라 기준농도의 적용이 다를 수 있으며, 공기중 납 노출농도의 초과 정도에 따라 사용하는 보호구의 규정이 따로 정해져 있다(OSHA, 2006). 이는 공정상 근본적인 납 노출농도의 개선이 어려운 경우 적절한 보호구를 통한 관리를 인정하는 제도로서 우리나라에서도 사업장에 따라 공정개선으로 현행기준을 준수하기 어려운 경우 적절한 보호구 관리에 보다 중점을 두어 실질적인 관리가 이루어 질 수 있는 제도적 유연성이 필요하다(최승현 등, 2007).

V. 결론

납을 취급하는 사업장중 일부 일차제련 및 이차제련 사업장과 화합물질 제조 사업장의 1994년부터 2007년까지 작업환경측정 결과를 연도별 기하평균, 기하표준편차, 최소값 및 최대값이 어느 정도인지를 알아보고, 사업장의 형태, 공정의 구분에 따른 공기 중 납 노출농도의 차이와 변화의 추이를 알아봄으로써 향후 제련 및 리사지 사업장의 올바른 작업환경관리에 도움이 되는 자료를 제공하고자 본 연구를 시도하였다.

1. 전체 사업장의 14년간 공기중 납 노출농도의 기하평균, 기하표준편차, 최소값 및 최대값은 각각 $70.7\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5.517 , $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $9185\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 1994년부터 2001년까지는 평균 공기중 납 노출농도가 노출기준을 초과하였고, 2001년 이후 부

터는 노출기준의 50% 수준이었다.

2. 납 사업장을 1차 제련과 2차 제련, 리사지 제조 사업장으로 구분하여 연도별 공기 중 납 노출농도의 기하평균, 기하 표준편차, 최소값, 최대값을 비교한 바에 의하면 리사지 사업장에서 1994년부터 2007년까지 전체 평균 공기중 납 노출농도가 164.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높고 2차 제련 82.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1차 제련 21.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

3. 1차 제련 사업장의 공정에 따른 전체 평균 납 노출농도의 기하평균은 2차 제련 공정에서 35.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높고 주조공정 24.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 용해공정 14.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순이었다. 2차 제련 사업장은 용해 공정에서 125.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높고 주조공정에서 90.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 전처리공정에서 43.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순이었다. 리사지 사업장에서는 리사지 공정 164.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 안정제 공정 163.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 큰 차이를 보이지 않았다.

4. 공기중 납 노출농도를 노출기준이하(<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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 4군으로 정하여 납 사업장의 업종별로 분포를 비교한 바에 의하면 리사지 사업장에서 초과율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 보건관리년도가 진행될수록 노출기준 초과율도 대체로 낮아졌다.

이상의 결과에서 사업장에 따라 다소 차이는 있으나 2000년도를 전후로 제련 및 리사지 사업장의 공기중 납 노출농도의 기하평균은 급격히 낮아지는 경향을 보였으며, 노출기준 초과율도 상대적으로 낮았다. 이는 사업장별 환경이나 공정 개선에 의한 영향으로도 해석될 수 있으나 한편으로는 정부의 엄격한 규제와 처벌, 경제적인 상황에 대한 해당 납 사업장의 현실적인 상황대처에 의한 것이 감소원인이 되었을 가능성을 배제하기 어렵다. 따라서 환경개선의 노력과 함께 적절한 보호구 관리 등의 실질적인 작업환경관리가 이루어질 수 있는 제도적 유연성이 필요하다.

REFERENCES

강명식, 김용배, 이용진, 리갑수, 김화성 등. 모 축전지 회사 근로자들의 연 폭로 지표에 대한 경시적 관찰. *순천향산업의학* 1998; 4(1): 1-14

김형수, 장성훈, 이원진, 최재욱, 박종태 등. 연 폭로가 남성 호르몬에 미치는 영향, *대한산업의학회지* 2001; 13(1): 44-54

노동부. 유해물질의 허용농도(고시 제 88-69호). 노동부, 1988

노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고시 제2007-25호). 노동부, 2007

순천향산업의학연구소. 연사업장 근로자 건강관리 세미나. 2007; 12: 59-66

심윤보, 이병국. 연취급 근로자들의 건강증진에 미치는 호흡용 보호구 및 생물학적 모니터링의 효과. *대한산업의학회지* 1991; 4(1): 1-13

이병국, 김용배, 리갑수, 안현철, 김화성 등. 업종에 따른 연취급 사업자의 기증 연 농도 및 연 노출 수준 평가. *순천향산업의학* 1999; 5(1): 1-13

이병국. 연 취급 사업장의 전담관리 현황과 유해인자별 전담관리의 필요성. 직업병 전문기관 합동 회지 결과보고서. 한국산업안전공단 산업보건연구원 1992, 9-22

이성수, 김진호, 김남수, 김화성, 안규동. 납 작업자들에서 ALAD 유전자형과 신기능과의 연관성, *대한산업의학회지* 2004; 16(2): 200-209

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

최승현, 김남수, 김진호, 조광성, 함정오 등. 축전지 사업장에서 공기 중 납 농도의 변화에 관한 연구. *한국산업위생학회지* 2007; 17(4): 261-271

채제명, 리갑수, 이성수, 안규동, 이병국. 이차 제련 및 리사지 업종 근로자들의 연폭로에 관한 연구. *대한산업의학회지* 1997; 9(1): 131-139

한국산업안전공단. 보건분야 보고서(유해인자에 의한 건강 영향과 관리-납). 연구원 2003-41-268

ASTDR, Toxicological Profile for Lead. Washington DC, U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 1999

Cheng Y, Schwartz J, Sparrow D, Aro A, Weiss ST, Hu H, Bone lead and blood lead levels in relation to baseline blood pressure and the prospective development of hypertension: the normative aging study, *Am J Epidemiol* 2001; 153(2): 164-71.

Lanphear BP, Dietrich KN, Auinger P, Cox C. Cognitive deficits associated with blood lead concentrations < 10 micog/dL in US children and adolescents, *Public Health Rep.* 2000; 115: 521-9.

Lidsky TI, Schneider JS. Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates. *Brain* 2003; 126: 5-19.

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. *Toxicology letters* 1999; 108: 149-160

Mahaffey KR. Biototoxicity of lead: influence of various factors, *Fed Proc* 1983; 42: 1730-1734

OSHA, Regulations(Standards-29 CFR) Lead-1910-1025, U.S. Department of Labor; 2006

Tsaih SW, Korrick S, Schwartz J, Amarasiriwardena C, Aro A, Sparrow D, Hu H. Lead, diabetes, hypertension, and renal function: the normative aging study. Environ Health Perspect 2004; 112: 1178-82.

Zenz C. Occupational Medicine, Chicago: Year Book Medical Publishers Inc.; 1988.p.547-582.