

## 납

대한산업보건협회 산업보건환경연구원 / 최아름, 임성국, 이귀영

## 서론

납(Cas No. 7439-92-1, MW=207.19, BP=1,740 °C)은 푸르스름하거나 은회색을 나타내는 연하고 무거운 금속으로써 밀도는 11.34이고, 녹는점 327.4 °C(1기압), 끓는 점 1,620 °C(1기압), 비중 22.3(16 °C)인 물리화학적 성질을 가지고 있다. 가열하면 500 °C에서부터 600 °C사이에서 상당한 양의 흠이 발생하기 시작하며, 온도가 올라감에 따라 증발이 심해진다. 연성이 있으나, 강도는 약하며, 저온에서 상당히 수축되는 특징을 가지고 있는 물질이다.<sup>1)</sup>

납은 전기회로 개폐, 보호 및 접속장치 제조, 컴퓨터 입·출력장치 및 기타 주변기기 제조, 인쇄 회로판 제조, 복사기 제조, 철강선 제조, 방송 및 무선통신기기 제조, 연마제 제조, 내연기관용 전기장치 제조, 산업처리공정 제어장비 제조, 일반용 조명장치 제조, 합성수지 및 기타 플라스틱 물질 제조, 변압기 제조, 동 압연, 압출 및 연신제품 제조, 속도계 및 적산계기 제조, 전동기 및 발전기 제조 공정에서 주로 사용된다.<sup>2)</sup>

체내에 흡수된 납의 대부분은 적혈구와 결합하고 나머지는 다른 조직으로 운반된다. 축적장소는 경부조직(뼈, 모발, 손발, 치아)과 연부조직(골수, 뇌, 신경계, 신, 간)으로 나눌 수 있으며 연부조직에 있는 납이 직접적인 독작용을 나타낸다. 납은 호흡기나 소화기 또는 피부 등을 통해 인체로 들어올 수 있으며, 대소변 등을 통해 체외로 서서히 배출된다. 신생아, 그 이후 아이 또는 성인의 피와 체내에서도 납이 정상적으로 극소량 있다. 혈중 납 농도가 정상치보다 높으면 납중독에 걸릴 수 있으며, 증상은 혈중 납 농도에 따라 다르다.<sup>3,4)</sup>

납은 체내에 축적되어 오랜 시간이 지난 후 그 독성이 나타나므로, 발병하였을 때에는 치명적이다.

납중독에 걸리면 뇌와 신경계통 지장을 초래하여 정신 이상, 신체마비, 빈혈, 구토가 일어나는 증상을 보인다. 심한 경우에는 1~2일내에 사망한다. 어린이의 경우에는 비록 소량일지라도 지능지수 및 주의력 저하, 읽기와 배우기 장애, 청각장애, 비정상적인 과민증, 성장지연 등을 일으킬 수 있어 치명적이다. 납중독으로 인한 가장 큰 유해성은 중추신경계 장애이다. 납이 두뇌조직에 침입하면 뇌세포 간 연락에 장애를 초래하여 심한 뇌 중독증상을 일으키며, 특히 어린이의 경우, 비교적 낮은 농도에서도 신경장애를 나타내는 것으로 밝혀졌다. 또한, 납 자체에 염색체 이상 및 소핵 유발 작용이 있으며, 사람에게서 정자형성에 영향이 있고 여성에서 직업 노출에 의해 배란기능 장애가 나타난다. 특정 표적장기에 반복적으로 노출될 경우 사람에게서 헵합성 저해, 신부전, 뇌질환이 나타나며 말초신경 및 중추신경 기능에 영향을 일으킨다. 또한, 고혈압 등 심장혈관계에 영향이 있으며 면역억제 작용이 나타난다.<sup>2),5)</sup>

발암성의 구분에 대하여 우리나라 고용노동부 2, IARC Group 2B, ACGIH A3로 분류되고 있는 납의 공기 중 노출기준은 우리나라 고용노동부와 ACGIH 모두 TWA 0.05 mg/m<sup>3</sup>으로 권고하고 있으며, 생식독성 1A 물질로 규정하고 있다.<sup>6),7)</sup>

본 연구에서는 허용기준 대상물질 13종 중 납의 노출빈도(업종별, 공정별)와 노출기준을 초과하는 업종·공정을 분석하고, 국내 관련문헌을 고찰하여 노출현황을 파악함으로써 근로자의 작업환경개선을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 연구 방법

### 1. 조사 대상 및 항목

본 연구는 2004~2011년까지 대한산업보건협회 작업환경측정 자료를 대상으로 하였으며, 납이 측정된 업종 및 공정에 대해 조사를 실시하였다.

### 2. 업종 및 공정 분류

업종의 분류는 한국표준산업분류를 기준으로 중분류로 구분하였으며, 61개의 업종으로 분류하여 평가를 실시하였다. 공정의 분류는 안전보건공단에서 제공하는 표준공정분류표를 기본으로 하였으며, 공정은 35개종으로 나누어 평가하였다.

### 3. 통계분석

통계분석은 Microsoft Excel 2010, IBM SPSS 21.0을 이용하여 빈도분석 및 교차분석을 실시하였다.

## 연구 결과 및 고찰

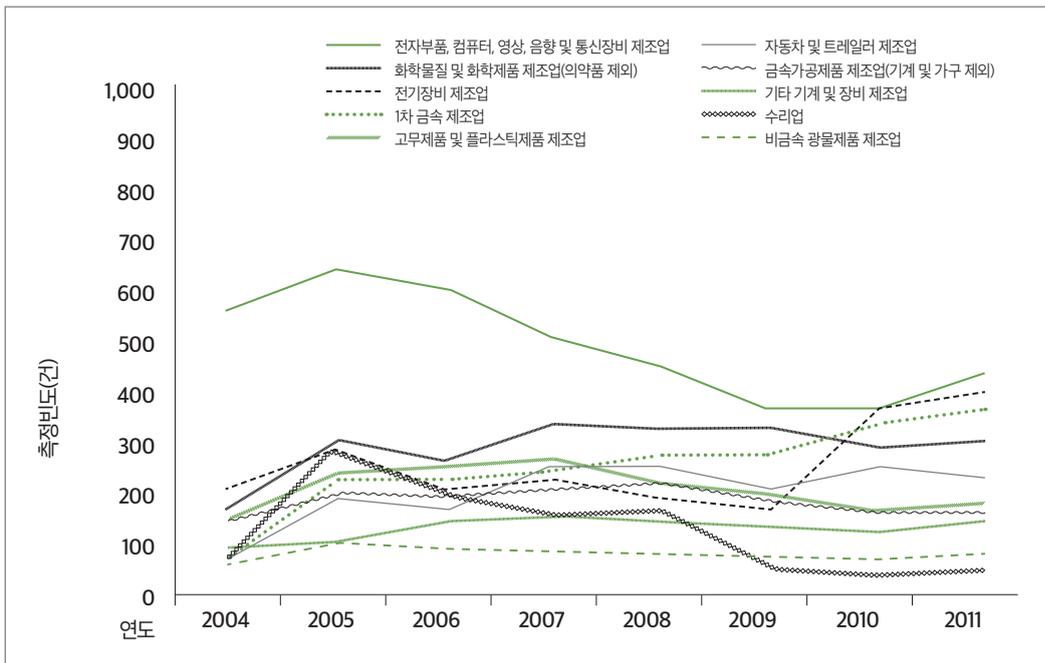
### 1. 업종별 노출 빈도 현황

<표 1>에서는 납의 측정빈도를 많이 차지하는 주요업종별 분포를 10순위로 나타내었다. 노출빈도가 가장 높은 업종은 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이었으며, 다음으로 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외), 전기장비 제조업, 1차 금속 제조업 등의 순으로 조사되었다. 납이 가장 많이 노출되는 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업에서는 주로 용접공정과 조립, 검사 등의 공정에서 많이 측정되는 것으로 나타났으며, 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)에서는 혼합공정, 전기장비 제조업에서는 용접 및 도장도포, 조립 등에 공정에서 가장 많이 노출되었다.

<표 1> 납의 노출빈도가 높은 업종

순위	업종명
1	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업
2	화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)
3	전기장비 제조업
4	1차 금속 제조업
5	고무제품 및 플라스틱제품 제조업
6	자동차 및 트레일러 제조업
7	금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)
8	기타 기계 및 장비 제조업
9	수리업
10	비금속 광물제품 제조업

납을 취급하는 주요업종(10종)의 연도별 빈도를 조사한 결과, 가장 높은 빈도를 나타낸 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업은 2005년 이후부터 2009년까지 지속적으로 감소하였음에도 불구하고 다른 업종에 비해 가장 노출이 많았다. 대부분의 업종에 큰 변화는 없었으나, 1차 금속 제조업은 꾸준히 증가하는 추세를 보였고, 전기장비 제조업의 경우, 2009년 이후로 크게 증가하여 최근에는 두 번째로 많은 노출이 이루어지는 것을 확인하였다(그림 1).



<그림 1> 납의 연도별·업종별 노출빈도

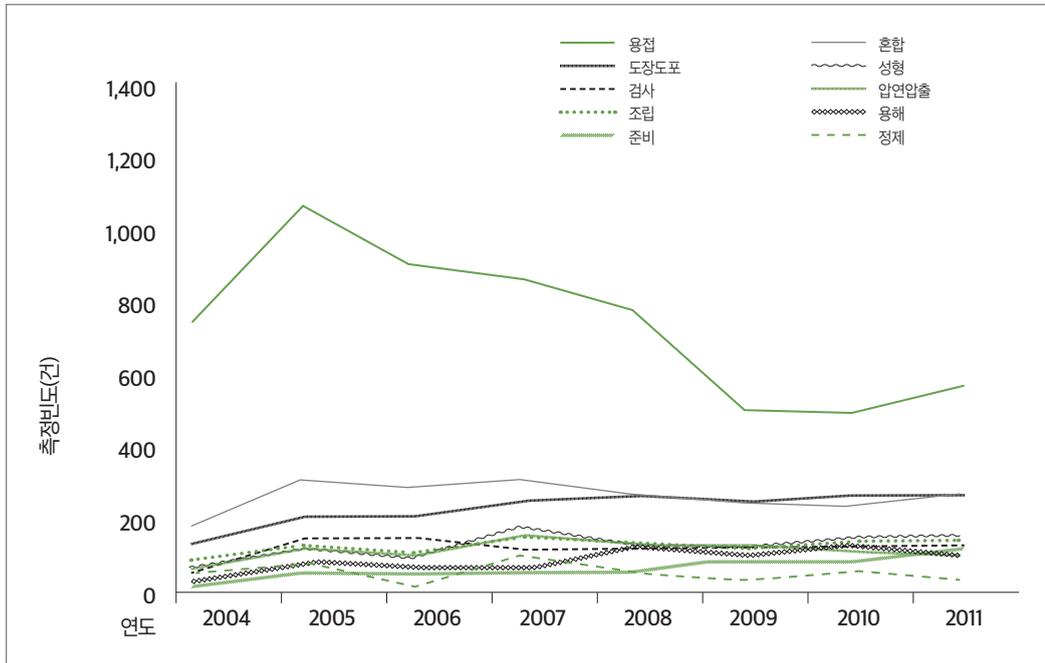
## 2. 공정별 노출 빈도 현황

납의 공정별 분포를 조사한 결과, 노출빈도가 가장 높은 공정(중분류)은 용접 공정이었으며, 다음으로 혼합공정> 도장도포> 성형> 검사 등의 순으로 나타났다. 용접공정은 주로 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업과 전기장비 제조업, 자동차 및 트레일러 제조업에서 노출되었으며, 혼합공정은 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)과 고무제품 및 플라스틱제조업, 도장도포는 금속가공제품 제조업(기계 및 가구제외)과 전기장비, 기타기계 및 장비 제조업 등에서 많이 노출되는 공정이었다<표 2>.

<표 2> 납의 노출빈도가 높은 공정

순위	공정명
1	용접
2	혼합
3	도장도포
4	성형
5	검사
6	압연압출
7	조립
8	용해
9	준비
10	정제

<그림 2>는 납을 취급하는 주요공정(10종)의 연도별 빈도를 나타낸 결과로써, 대부분의 공정이 큰 변동 없이 비슷한 수준을 나타내었다. 용접공정은 다른 공정에 비해 2~10배 이상 높은 빈도를 차지하였으며, 2005년 이후 2009년까지 크게 감소하였으나 그 이후 조금씩 증가하는 경향을 보였다. 이는 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업의 연도별 경향과 일치하며, 납을 축정한 용접공정의 대부분이 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이므로 두 업종과 공정 간에 같은 양상을 보인 것으로 사료된다. 또한, 용접공정은 크게 감소하였음에도 불구하고 가장 많은 노출이 이루어졌으며, 다른 업종에 비해 최근에는 점점 증가하는 추세를 보이고 있다.



<그림 2> 납의 연도별-공정별 노출빈도

### 3. 노출기준 초과 업종 및 공정

납의 노출기준을 초과하는 업종 및 공정을 조사한 결과, 금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)의 조립공정과 전기장비 제조업의 도장도포공정에서 가장 많이 초과되었으며, 금속가공제품 제조업의 도장도포 및 전기장비 제조업의 조립공정에서도 높은 농도를 나타내었다. 다음으로 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외) 중 포장과 반응공정, 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 중 혼합공정, 자동차 트레일러 제조업 중 용해공정 등의 순으로 나타났다<표 3>.

<표 3> 납의 노출기준 초과 사업장 특징(업종, 공정, 센터)

순위	업종	공정
1	금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)	조립
2	전기장비 제조업	도장도포
3	금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)	도장도포
4	전기장비 제조업	조립
5	화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)	포장
6	화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)	반응
7	고무제품 및 플라스틱제품 제조업	혼합
8	자동차 및 트레일러 제조업	용해

#### 4. 관련 문헌 고찰

<표 4>에서는 국내문헌에서 조사된 사업장 내 공기 중 납의 평균노출농도를 나타내었다. 용해공정에서의 기하평균농도는 제강산업이 0.028 mg/m<sup>3</sup>(노출기준의 0.56배), 제련업이 0.0149~0.1254 mg/m<sup>3</sup>(노출기준의 0.3~2.51배)으로 나타났으며, 주조공정은 1, 2차 제련업이 각각 0.0249 mg/m<sup>3</sup>(노출기준의 0.5배), 0.0905 mg/m<sup>3</sup>(노출기준의 1.81), 축전지 산업이 0.032 mg/m<sup>3</sup>(노출기준의 0.64배)로 조사되었다.

이외에도 제련과 축전지산업에서 전처리 및 조립공정 또한 각각 0.0434 mg/m<sup>3</sup>(노출기준의 0.87배), 0.087 mg/m<sup>3</sup>(노출기준의 1.74배)로 나타나 대부분 관리가 필요한 수준이었다. 자동차 정비업 도장공정의 납 노출 농도는 디핑 및 수동납땀 작업에서 각각 0.0024 mg/m<sup>3</sup>, 0.0032 mg/m<sup>3</sup>로 노출기준의 0.5배 이상이었으며, 스프레이 및 연마작업은 0.0009 mg/m<sup>3</sup>, 0.0021 mg/m<sup>3</sup>로 비교적 다른 공정에 비해 낮은 수준이었다.

현재 우리나라에는 납과 관련하여 특정 업종에서의 노출연구가 이루어지고 있으나, 다양한 업종 및 공정에서의 노출현황을 파악할 수 있는 자료가 부족하다. 따라서 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

<표 4> 사업장 납 노출과 관련된 문헌

업종/공정	N	농도(ppm)			참고 문헌
		GM (GSD)	Range	평균 노출지수*	
제강/용해공정	6	0.028 (2.23)	0.005~0.0364	0.56	8)
1차 제련/용해공정	138	0.0149 (3.513)	0.001~0.282	0.30	9)
1차 제련/주조공정	151	0.0249 (3.537)	0.001~0.558	0.50	9)

2차 제련/전처리공정	105	0.0434 (2.772)	0.001~0.599	0.87	9)
2차 제련/용해공정	135	0.1254 (3.437)	0.01~1.799	2.51	9)
2차 제련/주조공정	117	0.0905 (4.116)	0.004~3.157	1.81	9)
축전지/주조공정	782	0.032 (2.43)	0.006~1.000	0.64	10)
축전지/조립공정	2,025	0.087 (3.63)	0.006~7.956	1.74	10)
자동차정비/도장공정(스프레이)	30	0.0009 (3.48)	N.D~0.0056	0.02	11)
자동차정비/도장공정(연마)	38	0.0021 (2.80)	N.D~0.0170	0.04	11)
자동차정비/도장공정(디핑)	30	0.0032 (2.53)	0.0007~0.0163	0.06	11)
자동차정비/도장공정(수동납땜)	118	0.0024 (3.29)	0.0002~0.0330	0.05	11)

GM : Geometric mean, GSD : Geometric Standard deviation

\* : 평균노출지수 = 평균측정농도/노출기준

## 요약 및 결론

본 연구는 허용기준 대상물질 13종 중 납의 노출빈도(업종별, 공정별)와 노출기준을 초과하는 업종 및 공정을 파악하고 국내 관련문헌을 고찰하여 노출현황을 파악함으로써 근로자의 작업환경개선을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

1. 노출빈도가 가장 높은 업종은 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업이었으며, 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외) 전기장비 제조업) 1차 금속 제조업 등의 순으로 나타났다.
2. 납을 취급하는 주요 업종(10종)의 연도별 빈도분석 결과, 대부분의 업종에 큰 변화는 없었으나, 1차 금속 제조업은 꾸준히 증가하는 추세를 보였고, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업은 큰 감소에도 불구하고 가장 높은 빈도를 보였다.
3. 공정별 분포를 조사한 결과, 용접공정이 가장 높았고, 혼합> 도장도포> 성형> 검사 등의 순으로 나타났다.
4. 연도별 공정분포는 대부분 큰 변화를 보이지 않았으며, 용접공정이 다른 공정에 비해 높은 빈도를 차지하였다.

5. 금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외)의 조립공정에서 납의 노출기준을 초과하는 빈도가 가장 많았으며, 다음으로 전기장비 제조업과 금속가공제품 제조업의 도장도포 공정에서도 노출기준을 초과하였다.
6. 국내 문헌에서 작업장 공기 중 납의 평균노출농도지수가 용해공정에서는 0.30~2.51, 주조공정은 0.50~1.81로서 대부분이 사업장의 관리가 필요한 수준(Action Level) 이상이었으며, 특히 2차 제련 및 축전지 산업장에서의 평균농도는 노출기준을 초과하는 고농도 수준이었다. 한편, 도장공정에서의 평균노출지수는 0.02~0.06의 수준으로 나타났다.

이상의 연구결과로 납의 노출 빈도가 높고, 높은 농도에 노출되는 업종 및 공정을 중점적으로 관리함으로써 향후 작업환경개선 및 근로자 건강관리에 보다 효율적으로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 다양한 업종 및 공정에서의 납 노출현황에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. ☺

**참고문헌**

1. 이병국. 유해인자에 의한 건강영향과 관리(납). 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, 2002.
2. 노영만, 김치년 등. 작업환경 허용기준 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준수준에 관한 연구. 산업안전보건연구원, 2006.
3. 정규철. 산업중독편람. 신광출판사. 531~533, 1995.
4. 하권철 등. 업종별·공정별 유해도 매트릭스 적용 및 리스크 평가연구(보건분야-연구자료 연구원 2008-2-3). 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, 2007.
5. 물질안전보건자료(MSDS): 납. 안전보건공단
6. 고용노동부, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준, 고용노동부 고시 제 2013-38호.
7. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentation of Formaldehyde, 7th Edition. Cincinnati, OH; 2011
8. 구동철, 이재환, 한아름, 김현주, 윤순영, 이채관. 제강공장 고철 용해공정 근로자의 납 노출실태. 한국산업위생학회지, 2013;23(2):164~168.
9. 최재욱, 김남수, 조광성, 함정오, 이병국. 일부 제련 및 리사지 사업장에서 공기 중 납 노출농도의 변화. 한국산업위생학회지, 2010;20(1):10~18.
10. 최승현, 김남수, 김진호, 조광성, 함정오, 안규동, 이병국. 축전지 사업장에서 공기 중 납 농도의 변화에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 2007;17(4):261~271.
11. 조상현, 이세훈. 일부 자동차정비업체 도장공정 근로자의 납 노출. 한국산업위생학회지, 2002;12(3).

