

제강공장 고철 용해과정 근로자의 납 노출실태

구동철¹ · 이재환¹ · 한아름¹ · 김현주¹ · 이수연¹ · 윤순영¹ · 이채관^{2*}

¹양산부산대학교병원 직업환경의학과 · ²인제대학교 부산백병원 직업환경의학과/환경·산업의학연구소

Lead Exposure Status of Smelt Process Workers in Steelmaking using Scrap Iron

Dongchul Gu¹ · Jaehwan Lee¹ · Areum Han¹ · Hyunju Kim¹ · Suyeon Lee¹ · Soonyoung Yun¹ · Chae Kwan Lee^{2*}

¹Department of Occupational & Environmental Medicine, Pusan National University Yangsan Hospital

²Department of Occupational and Environmental Medicine, Institute of Environmental and Occupational Medicine, Busan Paik Hospital, Inje University, Pusan Korea

ABSTRACT

Objectives: This study was aimed at the examination of the lead exposure status of smelting process workers in steelmaking using scrap iron.

Methods: The study was conducted from July to September 2012 by means of measurements taken during the smelting process, with 45 minutes set for a one-time smelting work cycle when it comes to personal air sample and area air sample. As such, daily work hours were classified into 360 minutes for measurement. The analysis of lead concentration was conducted using AAs based on the NIOSH 7300 method.

Results: In the case of the personal specimens that were subjected to periodical measurement 45 minutes per one session during the smelting process, 40 out of 42 specimens measured were found to contain lead, with an average concentration level of 0.028 mg/m³ (Max: 0.182 mg/m³, Min: 0.005 mg/m³, TWA-more than 50%: 4 out of 6 units). In the case of regional specimens, lead was detected in 45 out of 48 specimens measured, with an average concentration level of 0.037 mg/m³ (Max: 0.220 mg/m³, Min: 0.007 mg/m³). In the case of regional specimens subjected to measurement using a day as the work cycle, lead was detected in 15 out of 15 specimens measured, with an average concentration level of 0.049 mg/m³ (Max: 0.478 mg/m³, Min: 0.005 mg/m³).

Conclusions: It concluded that smelting process workers in steelmaking are exposed to lead because scrap iron is used as a raw material. It is thus necessary to introduce legal management to prevent occupation-related disease in smelting process workers in steelmaking.

Key words : scrap iron, steelmaking, smelting, lead

I. 서 론

납(Lead)은 물보다 11.3배나 무거운 은회색의 유연한 금속이다. 용점(327.5°C)이상에서 용해된 납은 약 500~600°C부터 흠을 발생시키는데 그 양은 온도상승에 비례한다. 납과 그 화합물은 밀도가 높고, 산이나 공기, 물에 대한 저항력이 높으며, 소리와 진동을 감소시키는 성질과 방사선을 흡수하는 성질 및 자기 성질을 가지고 있어 각종 산업에서 사용하고 있다. 우리나라에서 납과 그 화합물은 축전지 제조에 약 60%, 안정제 및

산화제에 약 24%, 유리제조에 약 9%, 페인트류에 약 2%, 기타 전선차폐, 연경화제, 도금, 용접 등에 약 4%를 사용하고 있다(Ministry of Environment, MoE, 2005).

인체에 축적된 납은 혈액, 신경, 신장, 소화, 심혈관 등에 다양한 종류의 급성 및 만성 비발암성 독성을 유발하는 것으로 보고되었다(KOSHA, 2002a). 국내에서도 1978년 장항제련소 납중독, 1983년 반월공단 납중독, 1986년 축전지회사 집단 납중독 등의 중독 사고를 계기로 납을 취급하는 작업장에 대한 적극적인 보건관리의 필요성이 제기되면서 사업장의 작업환경개선과 근로

*Corresponding author: Chae Kwan Lee, Tel: 051-890-6174, lck3303@hanmail.net, Department of Occupational and Environmental Medicine, Institute of Environmental and Occupational Medicine, Pusan Paik Hospital, Inje University, Pusan

Received: February 18, 2013, Revised: June 12, 2013, Accepted: June 14, 2013

자건강관리를 위한 규정 등이 강화된 바 있으며(KOSHA, 2002b), 2009년에는 납을 포함한 13개 주요 물질에 대하여 허용기준을 제정하였다(MoEL, 2009).

제련(Smelting)은 광석을 용광로에 녹여서 함유된 금속을 뽑아내는 과정이다. 제련공장의 경우 용해, 주조공정에서 납 흡이 발생하며 공기 중으로 근로자들에게 노출된다(Choi et al., 2010). 제강(Steelmaking)은 무쇠나 고철을 녹여 강철을 재생산 하는 과정이다. 제강공장에서 원료로 사용하는 무쇠나 고철 등에 남아 있는 페인트, 안료, 접착제, 도금제 등에는 납이 함유되어 있다. 따라서 제강공장도 제련공장과 마찬가지로 납 흡이 발생할 수 있으며, 공기 중으로 납이 비산하여 근로자에게 노출될 수 있다. 그러나 제련공장은 납을 취급하는 업종으로 분류되어 작업환경측정과 특수건강진단을 실시하고 있지만(MoEL, 2012), 제강공장의 경우 근로자들의 납 노출실태를 조사한 연구는 없었다.

본 연구에서는 고철을 녹여 강철을 만드는 제강공장의 용해공정에서 작업하는 근로자들의 납 노출 실태를 파악하고 작업환경관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 2012년 7월부터 9월까지 고철을 녹이는 일개 제강공장 용해공정의 조장, 용락채취, 온도점검 근로자 9명을 대상으로 공기 중 납 농도를 조사하였다.

2. 시료의 채취

개인시료는 조장, 용락채취, 온도점검 작업으로 구분하여 각각 3명의 근로자에 대하여 1회 용해작업 주기(1회 용해시간 45분)에 따라 반복적으로 측정하였다. 지역시료는 1회 용해작업주기(1회 용해시간 45분)와 하루작업시간 360분으로 구분하였다. 지역시료의 측정위치는 좌측, 정면, 우측으로 구분하여 반복적으로 측정하였다. 구체적인 시료채취 내용은 Table 1과 같다.

시료채취방법은 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 7300 방법을 준용하였다(NIOSH 1994). 공기

중 시료는 개인시료 채취펌프(GilAir 3, Gillian, USA)를 이용하였으며 유량은 2 L/min이었다. Cellulose ester membrane (직경: 37 mm, 공극: 0.8 μ m)을 사용하여 채취하였다. 펌프의 유량에 따른 오차를 보정하기 위하여 유량을 시료채취 전후로 보정하였다.

3. 시료의 분석

공기 중 납을 분석하기 위하여 채취한 여과지를 비이커에 넣고 60% 질산 1 mL를 가한 후 핫플레이트(Hot plate)를 사용하여 회화하였다. 증류수로 시료의 최종 용량을 10 mL로 만든 후 불꽃(Flame) 원자흡광광도계(Atomic absorption spectroscopy, AAs: Spectra AA 220, Varian, USA)로 분석하였다. 분석기기의 조건은 Table 2와 같다. 분석결과는 공시료와 회수율로 보정하였고, 검출한계(0.29 μ g/시료) 미만의 값은 불검출로 처리하였다. 검량선은 표준물질가법으로 작성하였으며 농도범위는 0, 1, 2, 3, 4 μ g/dL 이었다($r^2=0.9998$).

4. 자료 분석

자료의 분포를 확인한 결과 대수정규분포를 하여 개인시료와 지역시료를 기하평균, 기하표준편차, 최소값, 최대값으로 표시하였다. 자료 분석은 EASC IHSTAT (AIHA, USA)와 SPSS 18(IBM, USA)을 활용하였다.

Table 1. Descriptions of study subjects

Classification	Sampling location	Sampling time(min)	No. of samples
Part personal air sample	supervisor	45	14
	sample collector	45	14
	temperature check	45	14
Part area air sample	left	45	16
	front	45	16
	right	45	16
Full area air sample	left	360	5
	front	360	5
	right	360	5

Table 2. Condition of the analytical equipment(AAs) for lead analysis

Element	Wave(nm)	Gas flow(L/min)	Temperature($^{\circ}$ C)
Pb	220.4	Air 13.5 Acetylene 2.0	1300

III. 연구결과

개인시료를 1회 용해작업주기(1회 용해시간 45분) 별로 측정한 결과 조장은 측정시료 14개 중 13개에서 납이 검출되었으며, 최대농도는 0.157 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.022 mg/m^3 이었다(Table 3). 용락채취도 측정시료 14개 중 13개에서 납이 검출되었으며, 최대농

도는 0.182 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.032 mg/m^3 이었다. 온도점검은 측정시료 14개 모두 납이 검출되었으며 최대농도는 0.159 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.029 mg/m^3 이었다. 개인시료 42개 중 40개에서 납이 검출되었으며, 기하평균농도는 온도점검 > 용락채취 > 조장 순이었다(Figure 1).

지역시료 중 1회 용해작업 주기(1회 용해시간 45분)

Table 3. Airborne lead concentrations by smelting process

(unit: mg/m^3)

Classification	Sampling location	D/N.D.*	GM (GSD)	TWA† (N)	Min-Max	TWA-50%‡	TWA-100%
Part personal air sample	Supervisor	13/1	0.022 (2.22)	0.0259 (2)	0.009 -0.157	1	0
	Sample collector	13/1	0.032 (1.99)	0.0341 (2)	0.012 -0.182	2	0
	Temperature check	14/0	0.029 (2.44)	0.0364 (2)	0.005 -0.159	1	0
Total		40/2	0.028 (2.23)	0.0321 (6)		4	0
Part area air sample	Left	13/3	0.031 (2.02)		0.007 -0.111		
	Front	16/0	0.018 (2.15)		0.008 -0.105		
	Right	16/0	0.063 (2.45)		0.013 -0.220		
Total		45/3	0.037 (2.21)				
Full area air sample	Left	5/0	0.036 (2.32)		0.012 -0.239		
	Front	5/0	0.021 (3.33)		0.005 -0.168		
	Right	5/0	0.090 (1.46)		0.055 -0.478		
Total		15/0	0.049 (2.37)				

* D/N.D : Detection/not detection

† TWA : Time weighted average of all lead concentration

‡ TWA (0.05 mg/m^3)-50% : More than 50% of TWA

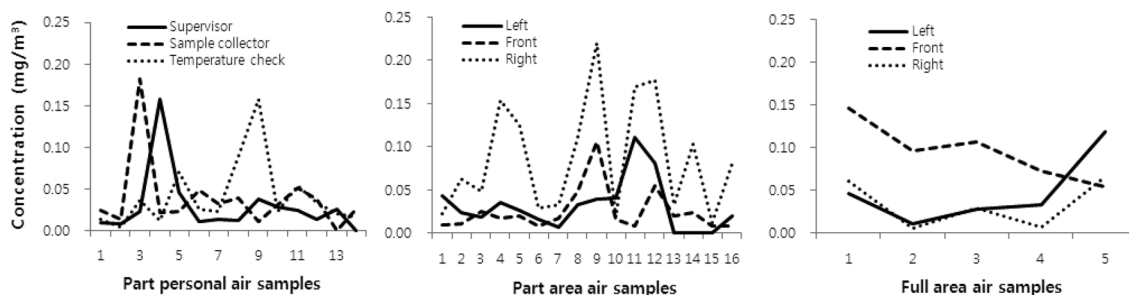


Figure 1. Airborne lead concentrations of personal and area samples.

별로 측정한 결과 좌측은 측정시료 16개 중 13개 시료에서 납이 검출되었으며, 최대농도는 0.111 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.031 mg/m^3 이었다. 우측은 측정시료 16개 모두 납이 검출되었으며, 최대농도는 0.220 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.063 mg/m^3 이었다. 정면의 경우도 측정시료 16개 모두 납이 검출되었으며, 최대농도는 0.105 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.018 mg/m^3 이었다. 지역시료 48개 중 45개에서 납이 검출되었으며, 기하평균농도는 우측 > 좌측 > 정면 순이었다.

지역시료 중 하루를 작업주기(360분 이상)로 측정한 결과 좌측은 측정시료 5개 모두 납이 검출되었으며 최대농도는 0.239 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.036 mg/m^3 이었다. 우측도 측정시료 5개 모두 납이 검출되었으며 최대농도는 0.478 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.090 mg/m^3 이었다. 정면도 측정시료 5개 모두 납이 검출되었으며 최대농도는 0.168 mg/m^3 , 기하평균농도는 0.021 mg/m^3 이었다. 지역시료 15개 모두 납이 검출되었으며 기하평균농도는 우측 > 좌측 > 정면 순이었다. 조사결과 개인시료는 42개 중 40개(95.2%), 지역시료 1회 용해작업 주기는 48개 중 45개(93.8%), 지역시료 하루작업 주기는 15개 중 15개(100%) 모두에서 납이 검출되었다.

개인시료채취방법으로 측정한 결과를 납의 8시간 허용기준(0.05 mg/m^3)과 비교한 결과 조장은 2개 시료 중 1개가 허용농도의 50% 이상이었고, 용락채취는 2개 시료 모두 50% 이상이었고, 온도점검은 2개 시료 중 1개가 50% 이상이었다. 전체 6개 시료 중 허용기준(0.05 mg/m^3)의 50% 이상인 시료가 4개이었지만 허용기준을 초과한 시료는 없었다(Table 3).

IV. 고 찰

우리나라에서는 1970년대와 1980년대를 거치면서 납 노출에 의한 직업병사례가 다수 발생함에 따라 납을 취급하거나 납이 함유된 화합물을 취급하는 공정에 대한 적극적인 보건관리의 필요성이 제시되었다(KOSHA, 2002). 2009년 고용노동부는 산업안전보건법 제 39조 2에 유해인자 허용기준을 제정하고, 대상물질 13종에 납을 포함하였다. 그리고 납을 취급하는 사업장에서 납이 허용기준을 초과할 경우 과태료를 부과하는 등 엄격하게 관리하고 있다(MoEL, 2009). 우리나라의 작업환경 공기 중 납의 허용기준과 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygiene,

ACGIH)의 노출기준(Threshold Limit Value, TLV)은 0.05 mg/m^3 로 규정하고 있으며, 생물학적 노출지수(Biological Exposure Indices: BEI)는 혈중 납 농도 $30 \mu\text{g/dL}$, 혈중 Zinc Protoporphyrin(ZPP) 농도는 적혈구 $250 \mu\text{g/dL}$, 전혈 $100 \mu\text{g/dL}$ 로 규정하고 있다(MoEL, 2012; ACGIH, 2012).

본 조사에서 제강공장의 용해공정을 대상으로 고철을 녹일 때마다 납이 발생하는지를 파악하기 위하여 용해주기 45분마다 개인과 지역을 구분하여 측정한 결과 개인시료에서 총 42개 시료 중 40개(95%)가 검출되었고, 지역시료는 48개 시료 중 45개(94%)가 검출되었다. 즉 개인과 지역시료에서 90%이상 납이 검출되었으며 이러한 결과로 보아 제강공장에서 사용하는 대부분의 고철에 납 성분이 함유되어 있음을 알 수 있었다.

우리나라에서 1994년부터 2007년까지 조사된 작업환경측정 자료를 바탕으로 조사한 납을 취급하는 제련공장의 공기 중 납 평균농도는 1차 용해공정이 0.015 mg/m^3 , 2차 용해공정이 0.125 mg/m^3 이었다(Choi et al., 2010). 그리고 Kim et al.(2002)의 연구결과에 따르면 5개 제련공장 용해공정의 공기 중 납 농도를 측정한 결과는 $0.240 \pm 0.170 \text{ mg/m}^3$ 이었으며, 조사한 30개 시료 중 29개가 허용기준 0.05 mg/m^3 이상이었던. 이러한 결과와 비교하여 본 연구에서 조사한 제강공장 용해공정의 공기 중 평균 납 농도는 개인시료 0.028 mg/m^3 , 1회 용해작업주기의 지역시료 0.037 mg/m^3 , 하루작업주기의 지역시료 0.049 mg/m^3 로 조사되어 납을 취급하는 유사업종인 제련공장의 결과와 비교하면 상대적으로 낮은 수준이지만 우려할 수준의 농도를 나타내었다. 그리고 우리나라의 허용기준(0.05 mg/m^3)과 비교한 결과 개인시료는 전체 6개 시료 중에 4개 시료가 허용기준 50%이상이었다. 이러한 결과는 제강공장의 경우 납을 직접 취급하지는 않지만 사용하는 고철 등을 통하여 제련공장 만큼 많은 양의 납이 공기 중으로 비산되어 근로자의 호흡기로 노출되고 있음을 의미한다.

현행 산업안전보건법에서 근로자의 건강예방을 위하여 작업환경측정과 특수건강진단의 법적관리 대상인자의 기준을 물질이 중량비율 1%이상 함유한 제제로 명시하고 있다(MoEL, 2012). 이에 따라 제련공장은 납을 취급하는 업종으로 분류되어 작업환경측정과 특수건강진단을 수행하고 있지만 제강공장의 경우 사용하는 고철 등 재료의 특성상 함유된 납의 중량비율이 1% 미만이므로 법적관리 대상에서 제외되어 있다. 그러

나 본 조사결과에 의하면 고철을 녹이는 제강공장 용해공정의 경우 비록 고철에 함유된 납의 중량비율은 1% 미만이지만, 용해공정에서 채취한 대부분의 시료에서 납이 검출 되었으며 농도수준 또한 과반수이상의 시료가 허용기준의 50% 보다 높았다. 따라서 제련공장과 마찬가지로 제강공장도 근로자의 건강보호를 위하여 산업안전보건법 제42조(작업환경측정 등)와 제43조(건강진단)에 따른 작업환경측정과 특수건강진단을 수행하는 등 적극적인 관리가 필요하다.

본 조사는 1개 제강공장 용해공정을 대상으로 수행되었고, 근로자의 혈중 납 농도를 조사하지 못한 제한점이 있다. 이를 보완하기 위하여 제강공장에 대한 공기 중 납 농도에 대한 추가 조사와 함께 근로자에 대한 혈중 납 농도 등 생물학적 노출지표 조사가 함께 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 고철을 녹이는 제강공장의 용해공정에서 작업하는 근로자의 납 노출실태를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1회 용해작업 45분 주기로 측정한 개인시료의 경우 42개 중 40개가 검출되었고 평균농도가 0.028 mg/m^3 이었다. 1회 용해작업 45분을 주기로 측정한 지역시료의 경우 48개 중 45개가 검출되었고 평균농도가 0.037 mg/m^3 이었으며, 하루작업 360분을 측정한 지역시료의 경우 15개 중 모두 검출되었고 평균농도가 0.049 mg/m^3 이었다. 개인시료 측정결과를 허용기준(0.05 mg/m^3)과 비교한 결과 6명의 측정값 중 4명이 허용기준의 50% 이상이었다.

이러한 결과로 보아 제강공장의 용해공정은 원료로 사용하는 고철에 납이 함유되어 근로자들이 작업 중 납에 노출되고 있음을 알 수 있었다. 따라서 제강공장의 용해공정을 납 노출공정으로 지정하고, 근로자의 직업병 예방을 위하여 작업환경측정과 특수건강진단을 수행하는 등의 관리가 필요하다.

감사의 말씀

이 연구는 2011년도 인제대학교 학술연구조성비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- American Conference of Governmental Industrial Hygienist(ACGIH). Threshold Limit values for Chemical and Physical Agents, and Biological Exposure Indices. 2012.
- Choi JW, Kim NS, Cho KS, Ham JO, Lee BK. The change of air lead concentrations in litharge making and smelting industries. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2010;20(1):10-18.
- Kim Y, Lee H, Lee CR, Park DU, Yang JS et al. Evaluation of lead exposure in workers at secondary lead smelters in South Korea: with focus on activity of erythrocyte pyrimidine 5'-nucleotidase(P5N). Sci Total Environ 2002;286(1-3):181-189.
- Ministry of Environment(MoE). Risk assessment techniques of Lead, Mercury and Cadmium, 2005(p. 35-44).
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Industrial Safety and Health Act. 2009.
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Industrial Safety and Health Act. 2012.
- National Institute Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Methods 4th ed. Method No. 7300. NIOSH: 1994.
- The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA). Health Effects and Care of Lead. 2002a (p. 24-35).
- The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA). Health Effects and Care of Lead. 2002b (p. 61-66).