한국산업보건학회지, 제33권 제1호(2023) ISSN 2384-132X(Print) ISSN 2289-0564(Online)
Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 2023: 33(1): 19-33
https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2023.33.1.19

Original Article

작업공정 및 활동에 따른 국내 작업장 납 노출특성 평가

이도희 · 이나루*

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Evaluation of Lead Exposure Characteristics by Process Category and Activity

Dohee Lee · Naroo Lee*

Occupational Safety and Health Research Institute(OSHRI), Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA)

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to systematically identify situations where exposure levels are expected to be high by structuring domestic lead measurement data according to exposure processes and activities.

Methods: Occupational exposure data on lead was collected from the results of the Evaluation of Reliability of Working Environment Measurement conducted by the government from 2019 to 2020. Lead exposure characteristics were analyzed by PROC (process category) and activity. The Risk Characterization Ratios (RCRs) of five PROCs according to ventilation type and lead content were evaluated using the MEASE (Metal's EASE) model.

Results: The exposure data on lead (n=250) was classified into 12 PROCs and 12 activities, with an average concentration of 0.040 mg/㎥ and about 14% exceeding the occupational exposure limit of 0.05 mg/㎥. Processes with high exposure levels were PROC 7 (industrial spraying), 23 (open processing and transfer operations of molten metal), 24 (mechanical treatment), 25 (welding), and 26 (handling of powder containing lead). The results of evaluating RCR for the five PROCs were greater than 1 or close to 1 even if local exhaust ventilation was used.

Conclusions: There is a possibility that the concentration of exposure is high in the casting and tapping of molten metal containing lead, mechanical treatment such as fracturing and abrasion, handling of powder, spraying, battery manufacturing, and waste battery recycling processes. It is necessary to implement chemical management policies for workplaces with such processes.

Key words: activity, lead, MEASE, occupational exposure data, process category

I. 서 론

납은 은백색의 광택을 띄는 비철광석 금속으로 우수한 가공성과 내식성으로 인해 산업용으로 널리 사용되고 있다. 납의 분자량은 207.3, 끓는점은 1740℃이며, 가열 시 1000℃ 이상의 온도에서 다량의 흄, 분진, 에어로졸 등이 발생할 수 있다. 국내에서 산업적으로 사용되는 납의 형태는 크게 금속 납, 납 합금 및 납 화합물 등 3가지 형태로 나눌 수 있다(KOSHA, 2008).

일반적으로 금속 납의 납 함유량은 80~99.99%이며, 안티몬, 주석, 구리, 알루미늄 등의 불순물이 함유될 수 있다. 주로 납괴 형태로 유통·사용되며 납 축전지, 납 합금 및 납 화합물, 납 추, 라이닝 등 다양한 납 함유 제품을 제조하는 데 사용된다. 납 합금은 첨가되는 금속

*Corresponding author: Naroo Lee, Tel: 042-869-0301, E-mail: naroolee@kosha.or.kr
30, Expo-ro 339beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon, 34122, Republic of Korea
Received: October 25, 2022, Revised: January 31, 2023, Accepted: March 9, 2023

Dohee Lee http://orcid.org/0000-0003-3597-5476 Naroo Lee http://orcid.org/0000-0003-1483-6928

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.

성분 및 함량에 따라 분자량, 끓는점 및 녹는점 등의 성질이 다양하며, 일반적으로 금속 납에 비해 녹는점과 끓는점이 낮다. 납-주석 형태의 합금이 가장 많이 사용되며 이는 전자 산업에서의 납땜용 재료로써 사용되는 것이 대부분이다(KOSHA, 2008). 또한, REACH Metals Gateway에 의하면 산업적으로 납이 유통되는 형태로 납 이외의 다양한 성분이 복잡하게 존재하는 UVCB 형태가 있다. 대표적으로 납 광재, 납 슬래그 등이 있는데 이는 납 생산 · 변형 시에 부산물로 생산된다. 납 화합물은 납 산화물의 형태가 일반적이며, 주로 축전지 제조(일산화납), 페인트 및 염료, PVC 안정제 등으로 사용된다. 특히 광명단(Pb_3O_4)은 금속용 도료의 방청제 또는 초벌 작업의 재료로 사용되며, 크롬산 연은 발색제로써 사용된다. 그러나 많은 국가에서는 납의 건강 영향을 고려하여 실내용 페인트로의 사용을 규제하고 있다(KOSHA, 2008). 국내에서도 화학물질등록평가법(화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률)에 따라 `22. 7월부터 납 및 납을 0.009% 이상 함유한 혼합물에 대해 페인트 용도로의 제조 · 수입이 제한되며, `23. 1월부터 판매, 보관 · 운반, 사용이 제한된다(MoE, 2022).

이와 같이 산업용으로 널리 사용되어 온 납은 건강장해를 일으키는 대표적인 물질이다. 고농도의 납에 급성 노출될 경우, 납에 의한 뇌증, 뇌부종, 마비 등 중추신경계 손상을 유발할 수 있으며 소화기계 및 심혈관계에도 장해를 유발할 수 있다. 납에 만성적으로 노출될 경우 빈혈 등 조혈기계 장해, 근육 및 관절의 동통, 납 뇌증 및 마비 등 신경계 장애, 영구적인 신장 질환, 생식기계 손상이 나타날 수 있다(KOSHA, 2003). 또한, IARC(International Agency for Research on Cancer)에서는 설치류에 대한 무기 납의 신장 암 발생을 고려하여 무기 납을 인체 발암 우려 물질(Group 2A)로 분류하고 있다(IARC, 2006).

국내에서도 1972년 진해 축전지 사업장 납 중독, 1978년 장항 제련 납 중독, 1983년 반월공단 납 중독, 1986년 축전지 사업장에서 발생한 집단 납 중독 등의 사례가 보고되면서, 납 취급 작업장에 대한 보건관리의 필요성을 인지하게 되었다(Gu et al., 2013). 현재 납의 건강 영향을 고려한 국내 및 ACGIH(American Conference of Govermental Industrial Hygienists) 노출기준은 0.05 mg/m^{3}이다(MoEL, 2020; ACGIH, 2022). 하지만, 강화된 규제에도 불구하고 2012년 고철 재활용 사업장에서의 납 중독 발생, 2008년 PVC 사출업 배합작업 종사자의 신장질환 발생 등 납 중독 사례는 지속적으로 발생하고 있다(Park et al., 2008; Koo et al., 2012). 2021년 근로자 특수건강진단 실시 결과 납에 의한 직업병 유소견자(D_1)는 14명, 직업병 요관찰자(C_1)는 142명 발생하였다(MoEL, 2022).

국내에서 직업적인 납 노출수준 평가는 주로 산업안전보건법 제125조에 따른 작업환경측정 제도에 의해 이루어지고 있다. 하지만, 납에 대한 작업환경측정 결과는 규제 수준의 강화에 따라 측정결과가 부자연스럽게 낮아지거나, 대부분의 측정결과가 노출기준 미만으로 나타나는 등 과소평가에 대한 우려가 제기되고 있다(Choi et al., 2007; Choi et al., 2010; Koh et al., 2021). 또한, 국내 납 노출수준을 평가한 선행 연구는 주로 자동차 정비업체, 축전지 사업장, 제련업 사업장, 리사지 사업장, 제강 공정 사업장 등 특정 사업장을 대상으로 하거나, 각 산업별 노출 수준을 비교 · 평가하는 연구를 위주로 이루어졌다(Cho&Lee, 2002; Choi et al., 2007; Yang et al., 2008; Choi et al., 2010; Koo et al.; 2012; Gu et al., 2013; Koh et al., 2021; Choi et al., 2022).

납은 노출기준 수준이 낮기 때문에 노출관리가 상대적으로 어려워 노출기준을 초과하는 곳이 있을 것으로 판단되지만, 작업환경측정 결과에서는 이러한 경향을 확인하기 어렵다. 또한, 국내의 납 노출수준 평가 결과는 대부분 노출 공정(활동)에 따라 표준화되어 있지 않기 때문에, 관심을 가져야 할 고위험 공정을 파악하기에는 한계가 있다. 따라서, 본 연구는 안전보건공단(Korea Occupational Safety & Health Agency, KOSHA)이 납에 대해 실시한 작업환경측정 결과를 노출 공정(활동)에 따라 표준화하고, 그에 따른 노출특성을 평가하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 작업환경 노출 측정자료

1) 자료 수집 및 데이터화

KOSHA에서 2019년 및 2020년에 납에 대해 실시한 작업환경측정 신뢰성 평가 결과 보고서를 수집하였다. 측정결과 중 납땜 측정 사업장은 모두 '불검출 자료'에 해당하여 연구대상에서 제외하였으며, 측정 당시 납을 사용하고 있지 않았던 경우, 측정결과에 측정값이 아닌 '과포집'으로 기재된 경우도 제외하였다. 최

종적으로 전체 113개소 사업장(2019년 60개소 사업장, 2020년 53개소 사업장)에 대한 측정결과를 분석 자료로 사용하였다. 작업환경측정 신뢰성 평가 시 시료 채취는 각 지역의 지역본부・지사에서 실시하며, 분석은 산업안전보건연구원에서 실시한다. 납에 대해서는 개인시료채취기와 MCE(Mixed Cellulose Ester membrane filter) 여과지를 이용하여 1~4 L/min의 유량으로 6시간 이상 시료를 채취하고, ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer)를 이용해 분석한다. 분석에 사용한 ICP-OES는 총 두 대로, 제조사 및 모델명은 모두 Thermo Fisher Scientific 사의 ICAP 7400 Duo이다. 분석법은 KOSHA의 '납에 대한 작업환경측정・분석 기술지침'을 따르며, 해당 지침은 NIOSH method에 기초한다. NIOSH method 7302에 따른 LOD (limit of detection)는 0.6 ㎍/sample로 추정되며, 이를 공기 중 농도로 환산한 값은 0.0008 ㎎/㎥이다 (유량 2 ℓ/min, 채취시간 6시간 기준).

작업환경측정 신뢰성 평가 보고서는 일반 문서 형식의 자료로 사업장 기본현황, 예비조사 결과, 측정대상 공정(작업) 유해요인 분포실태, 작업환경측정계획, 화학물질 사용현황, 작업환경측정 결과표 등의 내용으로 구성되어 있다. 이를 데이터화하기 위해 보고서에서 사업장명, 업종, 생산품, 대상 공정(작업)명, 세부 공정내용, 납 특성 및 세부종류, 함유량, 환기 방법, 작업시간, 측정값(Time Weighted Average, TWA) 정보를 수집해 항목별로 기재하였다. 예를 들어, 보고서의 '작업내용 및 노출실태'에 '극판에 납 및 그 무기화합물이 포함된 활물질 도포 후 적재 작업으로, 작업은 자동화로 이루어지나, 근로자가 상주하며 스트랩 불량 발생 시 도포된 스트랩 해체 작업 등 일부 비정형 작업을 수작업으로 수행함. 공정 내 국소배기장치가 설치되어 있으며 후드는 총 14개가 설치되어 가동 중에 있음'이라고 기술되어 있는 경우, '세부 공정내용: 극판 스트랩에 납을 함유한 활물질을 도포 후 적재, 작업은 자동화로 이루어지나 근로자가 상주하며 불량 발생 시 도포된 스트랩 해체 등 일부 비정형 작업을 수작업으로 수행', '환기 방식: 국소배기'로 나눠 기재하였다.

2) 데이터 표준화 : 공정(PROC) 및 활동(Activity class)

작업장 측정결과를 공정에 따라 표준화하기 위하여 유럽화학물질청(European Chemicals Agency, ECHA)에서 조화되고 일관된 노출평가를 지원하기 위해 개발한 PROC(process category) 접근법을 활용하였다. PROC은 직업적 관점에서 작업 또는 공정 유형을 설명하며, 각 작업 또는 공정 유형에 따른 작업자의 노출 가능성을 고려하여 차별화된다. 현재까지 28개의 PROC이 개발되어 있다(ECHA, 2015). 추가로, 노출모델 ART(Advanced REACH Tool)에서 핵심적인 개념인 활동 분류에 따라서도 공정을 표준화하였다. 활동은 공기 중 방출되는 화학물질의 성상을 기준으로 활동에서 일어나는 에너지 크기 및 종류에 따라 총 22개로 분류된다(Fransman et al., 2013).

측정 데이터를 PROC과 활동에 따라 분류하기 위한 1단계로, Table 1과 같이 세부 분류기준을 정하였다. 이때, PROC의 세부 분류기준은 금속 및 무기물질에 대한 노출모델인 MEASE(Metal's Estimation and Assessment of Substance exposure model)에서 제공하는 금속 및 무기물질 취급 공정에 대한 PROC 선택 가이드를 따랐다. 또한, 활동 분류를 위한 세부 기준은 ART 모델에 대한 TNO 보고서(2013)에서 서술된 내용을 기반으로 분류기준을 정하였으며, 각 활동에는 편의상 임의로 활동명 및 Code를 부여하였다. 2단계로는 신뢰성 평가결과 데이터베이스의 '세부 공정내용'을 핵심 내용과 키워드 위주로 요약하여 '공정 요약' 항목에 추가하였다. 3단계로는 요약한 공정내용을 Table 1의 분류기준과 비교해 최종적으로 PROC과 활동을 분류하였다. 예를 들어, '세부 공정내용: 극판 스트랩에 납을 함유한 활물질을 도포 후 적재, 작업은 자동화로 이루어지나 근로자가 상주하며 불량 발생 시 도포된 스트랩 해체 등 일부 비정형 작업을 수작업으로 수행'인 경우, '연분이 도포된 극판을 직접 취급(해체)'로 요약하였으며, 이는 Table 1의 분류기준에 따라 '납 함유 분말 또는 분말로 오염된 물체 취급(조립, 해체 등) - PROC 26', '분말 또는 과립(granule)으로 오염된 고체물질 취급 또는 운반 - 활동 P1'로 분류된다. 보고서 내용을 데이터화하고 공정 내용을 요약하여 분류기준에 따라 분류하는 것은 1명이 실시하였으며, 객관적 분류를 위해 다른 1명의 연구자(산업위생 전문가)가 작업환경측정 신뢰성 평가 결과의 데이터, 요약된 공정 내용, 최종 분류결과를 검토하였다.

추가로, 사업장에서 취급하는 납의 특성, 함량 및 용도 등에 따라 크게 금속 납, 납 합금, 납 화합물, 납 폐기물, 납이 불순물로 함유된 폐기물로 분류하였다.

Table 1. Data standardized by key information(PROC, Activity class)

Process Category(PROC)			
Physical form	Description(& examples)		PROC
Powder	Handling of powder containing lead ; packaging, unpackaging, weighing, loading, filling, dumping, bagging		PROC 26
	Tabletting, compressing, extrusion, pelletisation		PROC 14
Massive object	Thermal or kinetic energy applied to articles(mechanical treatments) ; forming/rolling, grinding, mechanical cutting, drilling or sanding, hot extrusion, shooting test of lead ammunition		PROC 24
	- Handling of ores, concentrates, raw metal oxides and scrap - Low energy manipulation and handling of substances		PROC 21
Not relevant	Open processing and transfer operations at elevated temperature ; Sand and die casting, tapping and casting of melted solids, drossing of melted solids, hot dip galvanizing		PROC 23
	Partially closed process and activities at elevated temperature ; Activities at smelters, furnaces, refineries, coke ovens		PROC 22
	Welding, soldering		PROC 25
Liquid	Treatment of articles by dipping		PROC 13
Powder, liquid	Industrial spraying		PROC 7
All	Batch and other process(synthesis) where opportunity for exposure arises		PROC 4
	Use as laboratory reagent		PROC 15
-	Maintenance activities		PROC 28
Activity Classes			
Substances	Description(& Emission generation mechanism)	Activity name	Code
Solid objects	- Braking solid objects into smaller parts - Abrading using frictional forces ; Crushing, Impaction, Abrasion	Fracturing, abrasion	S1
	Impaction or striking of a tool on an object contaminated with powder or granules; impaction	Impaction	S3
Powder, granule, pelletized material	Handling or transport of solid objects contaminated with powder or granules ; Movement	Handling of contaminated objects	P1
	Spray application of powders	Spraying(powders)	P2
	Movement and agitation of powders results in disturbance ; Movement, agitation	Movement, agitation	P3
	- Falling of powders; Gravitation, impaction - Vacuum transfer; pressure difference, impaction	Transfer, falling	P4
	Powders are compressed due to compaction or crushing ; Crushing, Impaction	Compressing	P5
Liquid products	Spray application of liquids	Spraying(liquids)	L1
	- With relatively undistrbed surfaces - With agitated surfaces	Open reservoirs	L2
Metals, Metal products	Metals are heated at high temperature above their melting point ; Oxidation/burning, Convection	Smelting, melting	M1
	- Pouring, tapping, drossing of molten metal - Dipping in molten metal	Pouring, tapping, drossing, dipping	M2
	Hot metal objects are subjected to a mechanical force to compressed and harden	Compressing, impaction(hot metal)	M6

REACH 법률 이행을 위한 컨소시움이 만든 REACH Metals Gateway 정보에 의하면 금속 납은 일반적으로 납 함유량이 80% 이상이며 안티몬, 주석 등의 불순물이 존재할 수 있다. 이에 따라 금속 납과 납 합금을 분류하는 기준은 납 함유량 80%를 기준으로 하였다. 납 폐기물은 납 스크랩 또는 폐배터리와 같이 납이 주로 함유된 폐기물로 한정하였으며, 그 외 고철, 비철, 알루미늄 스크랩 등 납이 주요 함유 금속이 아닌 폐기물로 구분하였다.

3) 공정・활동에 따른 납 노출농도 계산

공정 및 활동에 따른 노출수준을 비교・평가하기 위하여 측정값에 대한 산술평균, 표준편차, 중위수, 최소값 및 최대값을 산출하였다. Park et al.(2022)은 불검출 자료를 포함한 작업환경측정 자료를 포함한 작업환경측정 자료를 분석할 때, 표본크기가 100개 이상이면서 불검출률이 40% 이하인 경우엔 단순 대체법도 적절한 것으로 평가하였다. 본 연구에서 수집한 총 250개 데이터의 불검출률은 19%로 나타나 불검출 자료는 LOD/2 값(0.0004 ㎎/㎥)으로 대체하였다.

2. 노출모델을 이용한 납 위해도 평가

1) 활용모델: MEASE

주요 납 노출공정을 대상으로 적절한 노출관리조치를 판단하기 위하여 노출모델을 활용한 노출평가를 실시하였다. 작업자 흡입 노출평가를 지원하는 노출모델은 다양하지만, 그 중에서도 금속류 및 무기물질에 대한 작업자 흡입 및 피부 노출평가에 특화된 모델인 MEASE가 본 연구에 적합하다고 판단되어 선택하였다. MEASE는 엑셀 기반의 1단계 스크리닝 도구로 입력변수가 적고 사용이 간편하지만, 노출에 대한 보수적인 추정치를 제공한다. 이에 ECHA에서는 MEASE를 금속 및 무기물질에 대한 직업적 노출에 대한 1차 평가도구로 지정하고 있다. MEASE는 흡입 노출에 대해 PROC 접근법을 따르며, 3개의 퓨가시티(fugacity) 등급에서 초기 노출 추정치를 선택한다. 이러한 초기 노출 추정치는 금속산업의 노출 자료를 기반으로 하고 있으며, 퓨가시티 등급의 선택은 물리적 성상, 증기압, 녹는점/공정온도, PROC 등의 변수를 기반으로 한다(EBRC, 2010).

입력변수로는 ① 물리적 특성 - 분자량, 녹는점, 증기압, 물리적 형태, 혼합물(합금 포함) 내 함량, ② 사용조건 - PROC, 공정온도, 공정 크기, 노출 시간, ③ 피부 노출평가에 이용되는 사용 조건 - 사용 패턴, 노출 제어 패턴, 접촉 수준, ④ 위험관리조치(risk management measures, RMMs) 및 효율 - 채택한 위험관리조치(포위, 국소배기장치, 전체환기, 오염물질 억제 기술, 작업자 분리) 및 효율, 개인 보호구 및 효율 등 크게 4가지 범주의 정보가 요구된다(EBRC, 2010).

각 위험관리조치의 효율은 Fransman 등(2008)의 연구 결과에 의한 것으로, 위험관리조치에 대한 효율 정보의 유무에 따라 선택이 가능하다. MEASE는 채택한 위험관리조치의 효율에 대하여 정제된 정보가 없는 경우 하한신뢰(lower confidence of limit)를 사용하도록 권장하고 있다. 위험관리조치 중 국소배기장치 조건은 포괄적 국소배기장치(generic LEV), 외부적 국소배기장치(exterior LEV), 통합적 국소배기장치(integrated LEV)로 구분된다. 포괄적 국소배기장치는 방출원을 향해 가까이 있지만, 세부적인 정보는 부족하여 외부적/통합적 국소배기장치 중 선택할 수 없는 경우에 선택할 수 있다. 외부적 국소배기장치는 방출원에 근접하지만 방출원을 완전히 둘러싸지는 못하는 경우, 통합적 국소배기장치는 방출원을 완전히 포위하는 후드가 고정된 국소배기장치에 설치된 경우를 예로 들 수 있다(EBRC, 2010).

2) 노출모델 실행

노출기준의 초과가 발생한 주요 노출공정(PROC 23, 24, 25, 26, 7)을 대상으로 MEASE 모델을 활용하여 공기 중 납 노출농도를 추정하였다. 해당 PROC에서 노출감소를 위한 조치에 대해 모의실험을 하고자 환기방법, 납의 함량에 따라 노출평가를 실시하였다.

흡입 노출평가 관련 입력변수 중 분자량, 녹는점, 증기압, 공정 규모는 모두 동일하게 적용하였다. 현장에서 취급되는 납은 금속류 외에도 다양한 형태의 화합물이 존재하지만 노출모델 실행 시에는 납(CAS No. 7439-92-1)을 기준으로 물리적 특성 정보를 활용하였다. 환기 방법은 위험관리조치가 없는 경우(no RMMs), 포괄적 국소배기장치(generic LEV), 전체 환기(general ventilation)의 3가지 조건으로 평가를 실시하였으며, 효율은 하한신뢰한계를 적용하였다. 신뢰성 평가 보고서에 기재된 내용으로는 국소배기장치의 정확한 종류 및 효율을 판단하기에 한계가 있기 때문이다. 개인보호구는 사용하지 않음을 선택하였다. 현장에서 취급되는 납의 함량(합금 포함)이 다양하게 확인됨에 따라 '25%

Table 2. Input data for MEASE*

Variables	PROC† 23, 25	PROC 24, 26	PROC 7
Physical form	Not relevant	Solid(high dustiness)	Liquid, solid(high dustiness)
Molecular Weight	207.2 g/mol		
Melting point	327.5 ℃		
Scale of operation	Industrial use		
Content in the mixture (including alloy)	〉 25%, 5~25%, 1~5%, 〈 1%		
Duration of exposure	〉 240 mins		
Implemented RMMs†	No RMMs, generic LEV, general Ventilation		
RMM efficiency based on	Lower confidence limit		

* MEASE : Metal's Estimation and Assessment of Substance exposure model, †PROC : Process category,
† RMM : Risk Management Measure

이상, 5~25%, 1~5%, 1% 미만'으로 구분하였다. 측정 데이터에 대해서도 동일한 기준을 적용하였다. 다만, 보고서에서 환기방법을 확인할 수 없는 경우는 No RMMs, 납이 불순물로 함유된 폐기물로써 함유 여부 및 함량을 확인할 수 없는 경우는 〈 1%로 분류하였다(Table 2).

환기방법 및 납 함량에 따른 주요 공정별 노출 추정치와 측정값을 납의 노출기준인 0.05mg/㎥로 나누어 만성 흡입 노출에 대한 위해도(risk characterization ratio, RCR)를 구하였다. 위해도가 1 미만일 때, 허용 가능한 위해도 수준이라고 해석할 수 있으며, 1보다 큰 경우에는 추가적인 노출관리조치가 요구된다. 다만, 측정값을 포함한 노출 추정치의 불확실성과 근로자의 건강영향을 최대한 예방하기 위해서 위해도가 1에 가까운 경우에도 추가적인 노출관리조치를 검토하는 것이 바람직하다(ECHA, 2016).

Ⅲ. 결 과

1. 국내 납 취급 업종 및 공정 분류

납 노출 데이터 250개의 업종은 각종 기계 또는 동 부속품 제조업(26건), 제강압연업(22건), 철강 또는 비철금속 주물 제조업(22건), 무기화학제품 제조업(17건), 축전지 제조업(12건), 기계 기구 · 금속 · 비금속광물제품 제조업(11건), 플라스틱 가공제품 제조업(10건) 등 56종으로 확인되었다. 또한 이를 공정(PROC)과 활동에 따라 분류한 결과, Table 3과 같이 국내 납 취급 공정은 총 12개의 PROC과 활동으로 분류되었다. 약 14%(34개)에서 노출기준을 초과하였으며, 전체 평균농도는 0.040 mg/㎥이었다. 측정값 중 13건은 활동 분류기준에 부합하지 않았는데, 세부 공정내용을 요약하면 '설비의 자동화로 컨트롤룸에서 모니터링, 설비 유지보수, 실험실 취급'이었다. 약 80%의 데이터는 Table 4의 5개 PROC으로 분류되었다(PROC 23, 24, 25, 26, 7). 노출기준을 초과한 경우는 모두 이에 해당하였으며, 5개 PROC에 해당하는 노출 데이터의 평균 농도는 0.049 mg/㎥이었다.

2. 주요 납 노출 공정 및 활동

1) 고온 · 열린 공정에서 납 취급(PROC 23, 25)

납을 녹는점 이상의 고온에서 취급하는 열린 공정 또는 운반 공정은 PROC 23(주물 · 주조 등 상당히 상승한 온도의 열린 공정 및 운반 공정)과 PROC 25(용접 등)로 구분할 수 있다. 활동 분류에 의해서는 '용해된 금속의 주입 또는 두드림(M2)' 활동으로 동일하게 분류된다(Table 4).

신뢰성 평가 자료는 PROC 23으로 분류된 공정이 37%로 가장 많았다. 납을 녹는점 이상으로 가열하는 공정은 대부분 주물, 주조, 태핑, 출탕, 주입, 드로스 제거 등의 과정을 포함하는 열린 공정이었다. 노출농도는 평균 0.022 mg/m^3, 최대 0.19 mg/m^3로, 노출기준을 초과하는 공정이 약 16%(15개)이었다. Figure 1과 같이 용해하는 대상 물질에 따라 금속 납, 납 합금, 납 폐기물, 고철 등 금속 폐기물로 분류한 결과, 모두 노출기준을 초과하는 경우가 확인되었다. 납 합금은 다양한 조성과 함량으로 사용되고 있으며, 납이 약 5%

Table 3. Lead exposure level by Process category and Activity class

Code - Keyword		Total	〉 TLV*	〉 1/2 TLV	Descriptive statistics(㎎/㎥)				
					Mean	Median	SD†	MIN‡	MAX§
Total		250	34(14%)	55(22%)	0.040	0.005	0.227	0.000	3.423
PROC(Proess category)									
23	Casting, tapping	93	15	22	0.022	0.008	0.036	0.000	0.190
24	Mechanical treatment	46	9	12	0.111	0.005	0.505	0.000	3.423
26	Handling of powder	33	6	13	0.042	0.010	0.124	0.000	0.718
7	Spraying	20	3	4	0.049	0.001	0.138	0.000	0.609
22	Melting, burning	14	-	1	0.009	0.005	0.010	0.000	0.036
25	Welding	10	1	3	0.033	0.005	0.076	0.000	0.246
4	Partially closed batch	10	-	-	0.001	0.000	0.001	0.000	0.004
14	Pelletisation	7	-	-	0.005	0.002	0.005	0.001	0.013
21	Handling of objects	7	-	-	0.004	0.004	0.002	0.000	0.007
28	Maintenance	4	-	-	0.004	0.004	0.002	0.001	0.006
15	Laboratory agents	5	-	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	Dipping	1	-	-	0.020	0.020	-	0.020	0.020
Activity class									
M2	Pouring, tapping	103	16	25	0.023	0.007	0.041	0.000	0.246
S1	Fracturing, abrasion	32	8	10	0.155	0.008	0.603	0.000	3.423
P4	Falling of powders	17	3	7	0.021	0.008	0.023	0.000	0.071
P1	Contaminated objects	15	2	5	0.062	0.005	0.183	0.000	0.718
M6	Compressing of metal	14	1	2	0.010	0.003	0.016	0.000	0.054
M1	Smelting, melting	14	-	1	0.009	0.005	0.010	0.000	0.036
L1	Spraying(liquids)	13	2	3	0.027	0.004	0.050	0.000	0.149
P3	Movement, agitation	12	1	1	0.011	0.001	0.024	0.000	0.084
P2	Spraying(powders)	7	1	1	0.090	0.000	0.229	0.000	0.609
P5	Compressing of powders	7	-	-	0.005	0.002	0.005	0.001	0.013
S3	Impaction	2	-	-	0.003	0.003	0.000	0.003	0.004
L2	Open reservoirs	1	-	-	0.020	0.020	-	0.020	0.020
NA	Not applicable	13	-	-	0.001	0.000	0.002	0.000	0.006

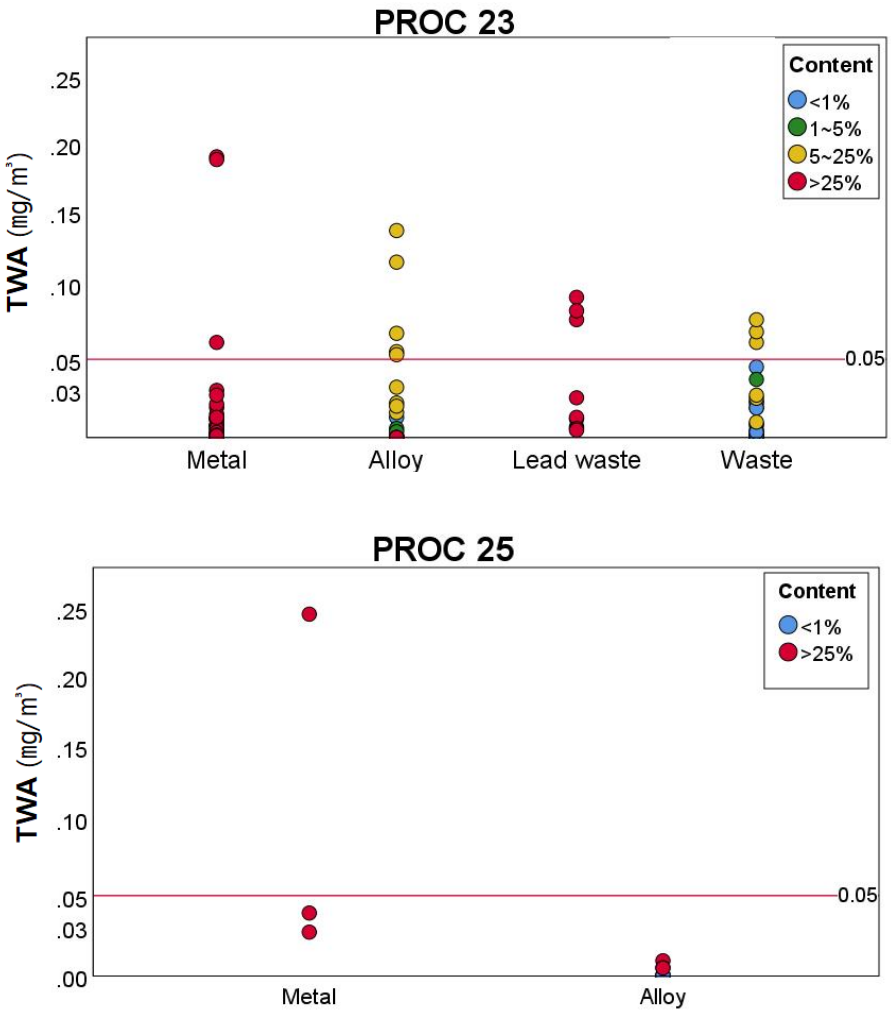
* TLV: Threshold Limit Value(0.05 ㎎/㎥), † SD: Standard Deviation, ‡ MIN: Minimum Value, § MAX: Maximum value

Table 4. Lead exposure level by Activity class for processes with high lead exposure levels

(Unit : ㎎/㎥)

PROC*	Activity class	Total	〉 TLV**	〉 1/2 TLV	Mean	Median	Maximum
PROC 23	M2(Pouring, tapping, drossing of molten metals)	93	15	22	0.022	0.008	0.190
PROC 25	M2(Pouring, tapping, drossing of molten metals)	10	1	3	0.033	0.005	0.246
PROC 24	S1(Fraction, Abrasion, Grinding)	32	8	10	0.155	0.008	3.423
	M6(Hot rolling, Shooting test)	14	1	2	0.010	0.003	0.054
PROC 26	P1(Contaminated objects)	6	2	5	0.152	0.041	0.718
	P3(Movement, Agitation)	10	1	1	0.013	0.004	0.084
	P4(Falling of powders)	17	3	7	0.021	0.008	0.071
PROC 7	P2(Spraying powders)	7	1	1	0.090	0.000	0.609
	L1(Spraying liquids)	13	2	3	0.027	0.004	0.149

* PROC: Process Category ** TLV : Threshold Limit Value(0.05 ㎎/㎥)



PROC : Process category, TWA : Time weighted average concentration

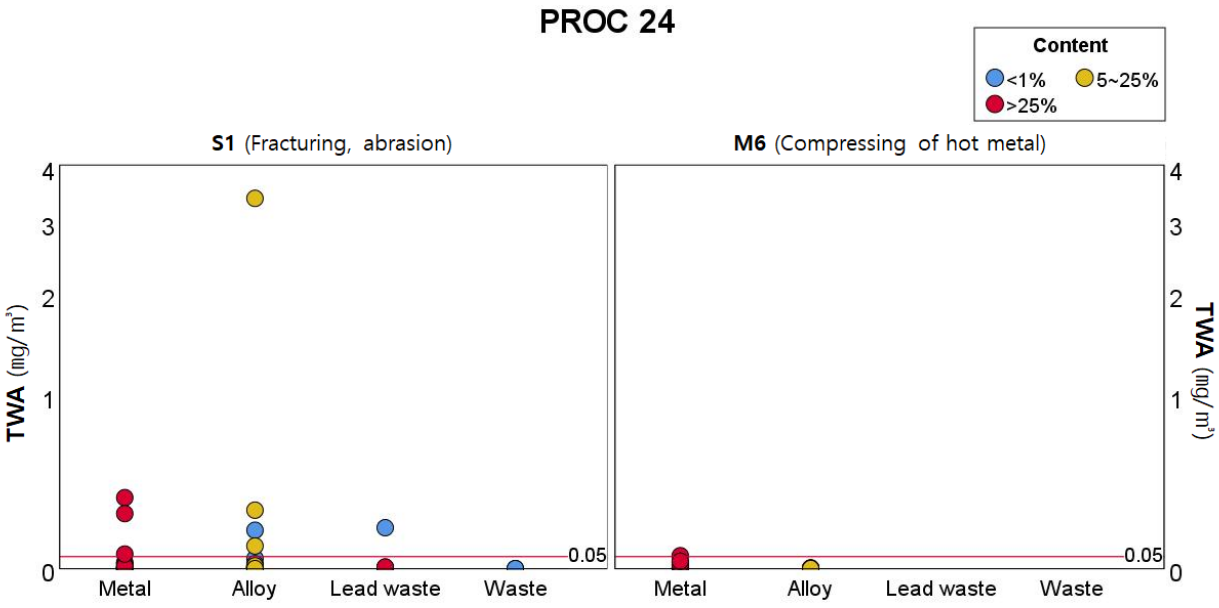
Figure 1. Distribution of lead exposure concentrations in PROC 23 and 25 by types of lead

함유된 구리 합금의 주조 공정에서 노출기준을 초과하였다. 또한, 폐배터리, 납 스크랩, 폐납분진 등 납 폐기물을 용해하는 공정뿐만 아니라 납이 불순물로 함유된 각종 금속 폐기물을 용해하는 공정에서도 노출기준을 초과하였다. 특히 납이 약 5% 함유된 고철 용해 공정에서 0.01~0.076 mg/m^{3}의 노출수준이 확인되었으며, 납이 1% 미만으로 함유된 고철 및 아연 스크랩을 용해하는 공정에서도 최대 0.045 mg/m^{3}의 노출수준이 확인되었다.

PROC 25(용접)의 경우, 평균 0.03 mg/m^3, 최대 0.25 mg/m^{3}의 노출농도가 확인되었다. 노출수준이 높은 공정은 금속 납을 용접 재료로 사용하는 경우로, 축전지 제조 사업장에서의 극군 용접, 극판이 투입된 배터리의 산소 용접 공정이었다. 납이 1% 미만으로 함유된 용가재를 사용한 용접 공정은 노출수준이 높지 않았다.

2) 금속 · 합금, 금속 폐기물의 기계적 · 열적 처리(PROC 24)

PROC 24는 '물질 또는 제품에 기계적, 열적 에너지를 가하는 가공 · 처리 공정'에 해당하며, 활동 분류에 따라 S1과 M6로 분류되었다(Table 4). 활동 분류 S1은 '고체물질을 파쇄, 분쇄, 절단하거나 표면을 연마하는 활동'으로 납 분진이 발생할 수 있으며, 평균 0.155 mg/m^3, 최대 3.423 mg/m^{3}로 높은 노출수준을 보였다. 활동 분류 M6은 '열간 압연 및 압출, 격발시험'으로, 열간 압연 공정에서 노출기준을 초과하였으며 납탄



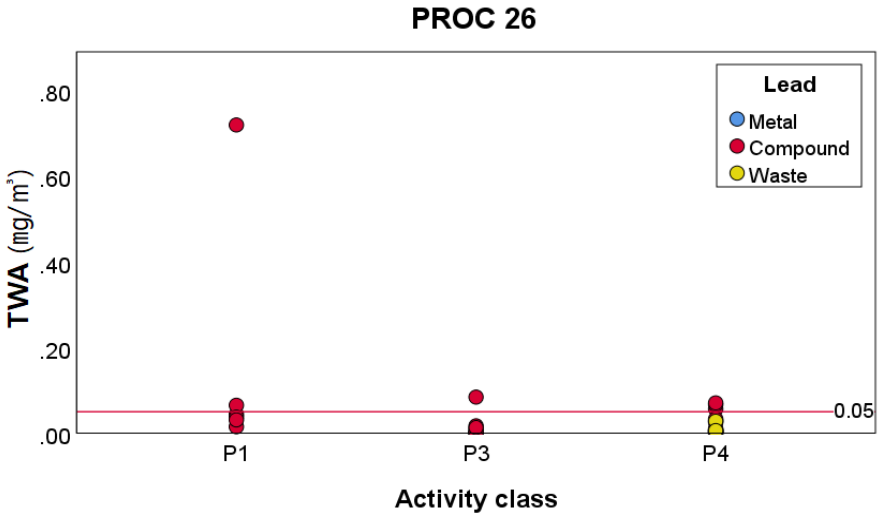
PROC : Process category, TWA : Time weighted average concentration

Figure 2. Distribution of lead exposure concentrations in PROC 24 by the activity classes and types of lead

격발시험의 노출수준은 높지 않았다. Figure 2는 취급하는 납 종류에 따라 노출수준을 비교한 결과이다. 활동 S1에 해당하는 공정은 금속 납, 합금, 납 폐기물 모두 높은 노출수준이 확인되었는데, 특히 납 함량이 1% 미만인 경우에도 노출기준을 초과하였다. 활동 M6에 해당하는 공정에서는 금속 납 제품을 취급하는 경우 노출기준이 초과하였다.

3) 납 또는 납이 함유된 분말 취급(PROC 26)

PROC 26은 '분말로 덮인 물체를 취급하거나 분말 취급과 관련된 공정(예: 포장 및 포장 풀기, 계량, 혼합 용기에 투입, 배합·혼합 등)'으로 데이터 수는 33개로 많지 않았지만 노출수준이 높았다. 대부분 PVC 안정제, 착색제, 산화납 등 납 화합물의 분말 형태로 취급되고 있었다. 활동 분류는 총 3가지로 분류되었는데, 분말



PROC : Process category, TWA : Time weighted average concentration

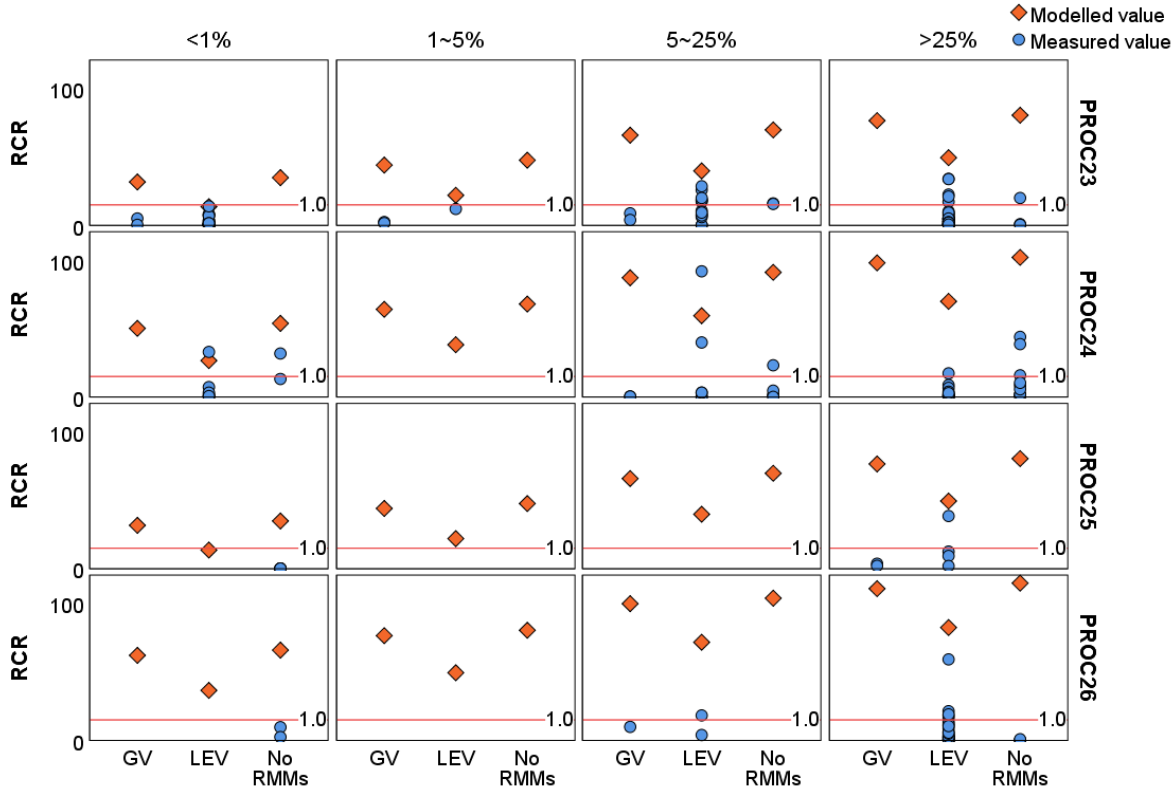
Figure 3. Distribution of lead exposure concentrations in PROC 26 by activity classes

로 오염된 제품을 취급하는 활동(P1), 분말을 휘젓거나 수평으로 이동시키는 활동(P3), 분말이 높은 곳에서 낮은 곳으로 낙하시키는 활동(P4)이다. 모두 노출기준을 초과하는 경우가 확인되었다(Figure 3).

활동 P1에 해당하는 공정은 모두 축전지 제조 사업장에서 산화납 분말이 도포된 극판을 취급하는 작업이었으며, 최소 0.015 mg/m^3~최대 0.718 mg/m^3(평균 0.152 mg/m^3)의 높은 노출수준을 보였다. 활동 P3에 해당하는 공정은 분말 상태 원료의 배합 · 혼합 관련 활동으로, 납 화합물이 함유된 안정제를 원재료와 배합하는 공정에서 노출기준이 초과하였다(최대 0.084 mg/m^3). 작업자가 직접 바가지나 포대, 플라스틱 용기 등을 이용하여 납 화합물 분말을 혼합(배합)용기에 투입(낙하)하는 활동은 P4로 분류하였다. PVC 안정제 제조 사업장에서 반응기에 산화납을 포함한 원료를 투입하는 활동, 플라스틱 가공제품 및 합성수지 제조 사업장에서 산화납이 함유된 PVC 안정제와 기타 원료를 바가지 등으로 계량하여 배합기 내로 인력 투입하는 활동에서 노출기준이 초과하였다(최대 0.071 mg/m^3).

4) 납 함유 도료의 스프레이 도장(PROC 7)

PROC 7은 스프레이 공정을 의미하며, 활동 분류는 '액체를 스프레이 도포(L1)' 하는지, '분말을 스프레이 도포(P2)' 하는지에 따라 분류되었다(Table 4). 측정자료에서는 액체와 분말 도료 스프레이가 모두 확인되었다. 액체 스프레이(L1) 활동의 경우 정압기 부속품, 건설용 마스트 등을 도장 부스에서 도색하는 작업에서 노출기준을 초과하는 경우가 확인되었다(0.125~0.149 mg/m^3). 또한, 표면에 도료 분체를 수작업으로 코팅하는 경우(P2)에도 노출기준을 크게 초과하였다. 평균농도 추정 등 데이터 분석 시에는 제외하였지만, P2에 해당하는 측정값 중 1건은 '과포집'으로 기재되어 있어 상당히 높은 노출 수준이었을 것으로 추정된다. 다만, 국내에서 '23.1월부터 납 및 납을 0.009% 이상 함유한



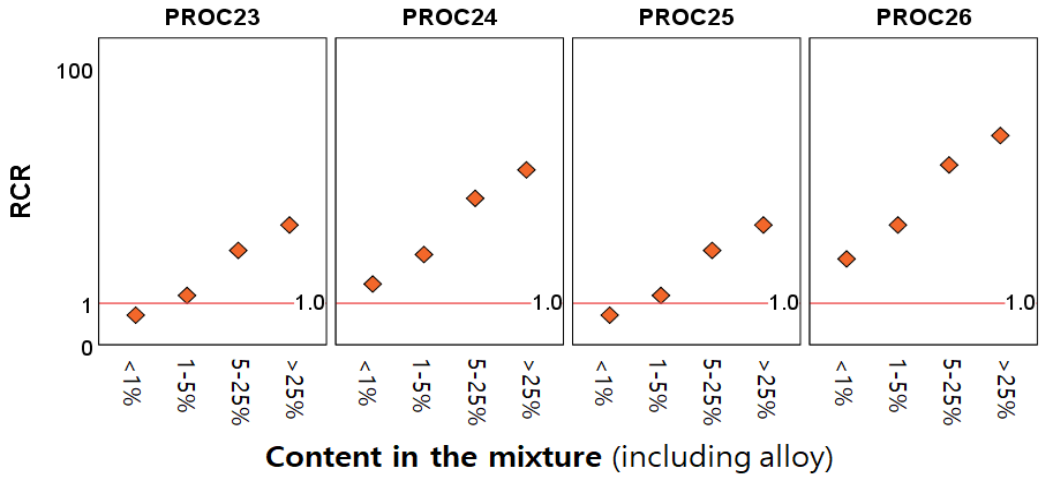
PROC : Process Category, RCR : Risk Characterization Ratio
GV : General Ventilation, LEV : Local Exhaust Ventilation, RMM : Risk Management Measure

Figure 4. RCR distribution of PROC 23-26 according to ventilation type and lead content using measurement and modeling data

혼합물에 대해 페인트 용도로의 판매, 보관・운반, 사용이 제한됨에 따라 향후 납 함유 도료를 사용하는 도장 공정에서의 노출 수준은 개선될 것으로 예상된다.

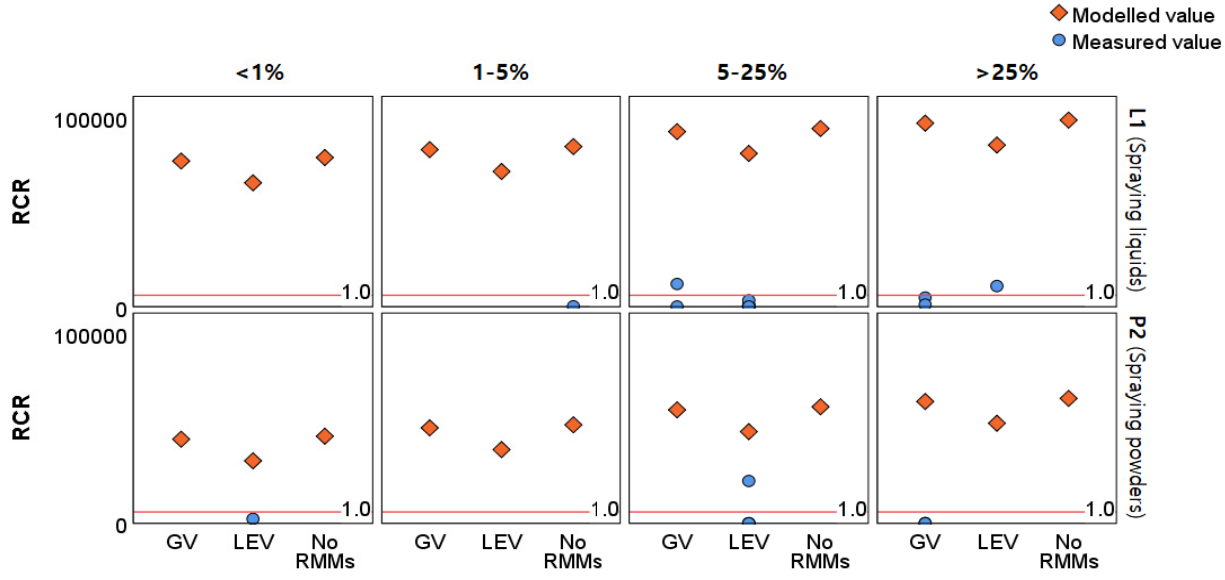
3. 납 흡입 노출 위해도 평가

Figure 4는 주요 노출공정인 PROC 23(주물・주조 등 열린/운반 공정), 24(연삭, 연마 등 기계적 처리), 25(용접), 26(분말 취급 관련)을 대상으로 노출모델 및 측정자료를 활용하여 환기 방법, 납 함량에 따른 위해도를 평가한 결과이다. 이때, 환기방법은 전체환기(general ventilation), MEASE에서 제공하는 국소배기 조건 중 기본값인 포괄적 국소배기장치(generic LEV), 환기 없음으로 설정하였다. 납은 건강 유해성으로 인해 공기 중 노출기준이 0.05 mg/m^{3}으로 상당히 낮은 편에 속한다. MEASE를 활용한 평가 결과, 4개 공정 모두 납 함량에 관계없이 국소배기장치를 가동하더



PROC : Process Category, RCR : Risk Characterization Ratio

Figure 5. The result of simulation RCR of PROC 23-26 by applying the integrated LEV option



PROC : Process Category, RCR : Risk Characterization Ratio
GV : General Ventilation, LEV : Local Exhaust Ventilation, RMM : Risk Management Measure

Figure 6. RCR distribution of PROC 7 according to ventilation type and lead content using measurement and modeling data

라도 위해도가 1을 초과하거나 1에 가까운 것으로 예측되었다. 실제 측정자료 또한 국소배기장치가 설치되었더라도 위해도가 1을 초과하는 경우가 다수 관찰되었다. 특히, 납 분진이 발생할 수 있는 PROC 24와 분말 취급 관련 공정인 PROC 26의 노출수준이 상당히 높게 예측되었으며 측정 자료에서도 유사한 경향을 확인할 수 있었다(Figure 4). 추가적으로, MEASE 모델에서 제공하고 있는 국소배기 조건 중 가장 저감 효율이 큰 통합적 국소배기(integrated LEV) 조건으로 PROC 23-26에 대해 위해도를 예측한 결과(Figure 5), 일부 납 함량이 1% 미만인 조건을 제외하고 여전히 위해도가 1보다 큰 것으로 예측되었다.

스프레이 공정은 분말 스프레이(P2)와 액체 스프레이(L1)로 나누어 평가하였다. MEASE에서는 노출 추정농도가 상당히 높게 예측되어 모든 경우에 위해도가 1을 초과하였다. 측정자료에서도 높은 노출수준으로 위해도가 1을 초과하는 경우가 확인되었다(Figure 6).

Ⅳ. 고 찰

본 연구는 공공기관에서 납을 취급하는 사업장을 대상으로 2019년과 2020년에 실시한 작업환경측정 신뢰성 평가 자료를 수집하여, 공정에 따라 노출 데이터를 구조화함으로써 노출 수준이 높은 공정을 체계적으로 파악하고자 하였다. 노출 공정은 화학물질이 사용되는 방식을 설명하는 중요한 정보로, 화학물질의 노출 데이터를 해석하고 비교 · 검증하기 위해서는 공정에 대한 정보가 필수적이다(Rajan et al., 2006). 작업환경측정 신뢰성 평가 시, 평가대상 공정은 단위작업장소를 기준으로 기재하고 있으며, 공정명을 기재하는 것이 원칙이나 경우에 따라 부서명을 기재할 수 있다. 또한, 공정(작업) 내용에 대한 세부적인 사항을 측정대상 공정/작업 유해요인 분포실태에 기술하고 있다. 이와 같이 표준화된 공정 분류에 의해서 이루어지지 않기 때문에 노출 데이터를 통해 노출 수준이 높은 공정을 체계적으로 파악하기 어렵다.

이에 본 연구에서는 ECHA의 공정 범주(PROC)를 활용하여 공정을 분류하였으며, ART 모델의 활동 분류(activity class)도 보조적으로 활용하였다. 그 결과, 국내 주요 납 취급 공정은 Table 4와 같이 주물 · 주조 등 용해된 납을 취급하는 열린/운반 공정(PROC 23), 파쇄 · 분쇄 · 연삭 · 연마 등 기계적 처리 및 가공 공정(PROC 24), 분말로 오염된 물체 취급 또는 계량 · 투입 등 분말 취급 공정(PROC 26), 납땜을 제외한 용접 공정(PROC 25), 스프레이 도장 공정(PROC 7)으로 확인되었다. 5개 공정의 평균농도는 0.049 mg/㎥로, 약 17%가 노출기준을 초과하였다. 특히, PROC 24로 분류된 공정 중 특히 S1(기계적 파쇄 · 분쇄 · 연삭 · 절단 · 연마) 활동에서 평균 0.155 mg/㎥로 높은 노출 수준을 보였는데, 주로 동 주물 등의 연마 · 연삭 및 납 광재 등의 파쇄 · 분쇄 공정이었다. 또한, PROC 26으로 분류된 공정 중 분말로 덮인 물체 취급 활동(P1)에서 평균 0.152 mg/㎥로 가장 높은 노출 수준을 보였는데, 이 활동은 모두 축전지 사업장에서 확인되었으며 극판에 도포된 납 분말이 공기 중에 부유하면서 주변 공정에도 영향을 미치고 있었다. PROC 26의 경우 작업자가 직접 분말을 계량, 투입, 배합, 포장하는 활동(P3, P4)에서도 높은 노출수준이 확인되었는데, 주로 PVC 안정제를 취급하는 공정이 이에 해당하였다.

이와 같이 공정을 표준화함으로써 노출수준이 높은 공정을 체계적으로 파악할 수 있었다. PROC은 유럽연합의 REACH(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals)에 따른 화학물질 등록 시 요구되는 용도 정보를 설명하기 위한 기술자 중 하나이며, 용도 정보는 안전성 평가 및 공급망 내 안전한 사용 조건에 대한 의사소통 과정에서 핵심적인 역할을 한다(ECHA, 2015). 국내에서도 화학물질등록평가법에 따라 노출 시나리오가 작성되고 있으므로 PROC 접근법은 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 또한, 금속 및 무기물질 취급 공정에 대한 PROC 선택 시, MEASE에서 제공하는 가이드를 참고하면 취급 물질의 성상과 공정 내용에 따라 보다 명확히 구분할 수 있다. ART의 활동 또한 물질의 성상과 활동에서 일어나는 에너지에 따라 분류되므로 명확한 구분이 가능하다.

한편, 국내에서 납에 대한 노출수준을 평가하는 자료로 가장 중요하게 활용되는 것은 산업안전보건법 제125조에 따른 작업환경측정 결과이다. Choi et al.(2007)와 Choi et al.(2010)는 국내 축전지 사업장과 제련 및 리사지 사업장을 대상으로 작업환경측정 결과의 연도별 추이를 조사한 결과, 모두 2000년을 전후로 노출농도가 크게 감소함을 확인하였으며, 이러한 경향이 작업환경과 공정을 크게 개선하기 어려운 사업장에서도 유사하게 확인됨에 따라 노출농도 감소에는 순수한 작업환경 개선 외에도 규제 강화가 영향을 미쳤을

가능성을 배제하기 어렵다고 보았다. 또한, Koh et al.(2021)이 `15 및 `16년 사업주가 납에 대해 실시한 작업환경측정 및 특수건강진단 자료를 연계하여 64개 산업의 납 노출강도를 평가한 결과, 노출수준이 높은 상위 10개 산업의 공기 중 평균농도는 2.4~11.7 ㎍/㎥로 나타나 노출기준을 초과하는 업종은 없는 것으로 나타났다. 반면, 작업환경측정 신뢰성 평가 자료를 활용한 본 연구에서 노출수준이 높은 상위 5개 공정의 평균 농도는 9~111 ㎍/㎥로 확인되었다(Table 3). 한편, Choi et al.(2022)는 14편의 국내 문헌자료 고찰을 통해 17개 산업의 납 노출농도를 추정하였으며, `81년부터 `18년까지 매년 13.2 ㎍/㎥씩 감소하는 추세를 확인하였다. 국내 납 규제가 강화되고 작업환경이 개선됨에 따라 납 노출수준이 꾸준히 개선되고 있는 것은 사실이지만, 여전히 노출관리가 필요한 취약 공정이 존재함을 알 수 있다. 정부는 지속적인 모니터링을 통해 취약 공정을 파악하고 적극적인 정책을 이행할 필요가 있다.

특히, Figure 4-6은 노출수준이 높게 나타난 5개 공정에 대해 노출모델 MEASE를 활용한 위해도 평가 결과를 나타낸다. 전체환기 및 국소배기장치(기본값)를 설치한 조건에서 모두 위해도가 1보다 크거나 가깝게 예측되었으며, 실제 측정결과도 전체환기나 국소배기장치를 설치하였음에도 노출기준을 초과하는 경우가 확인되었다. 또한, 가장 저감효과가 큰 국소배기 조건(integrated LEV)으로 모델링한 결과에서 여전히 위해도는 1보다 크거나 가깝게 예측되었다. MEASE가 Tier 1 수준의 노출모델이므로 보수적인 추정치를 제공함을 감안하더라도, 단순히 국소배기장치를 설치하는 것으로는 노출수준을 기준 이하로 유지하는 것이 어려울 수 있음을 알 수 있다. 노출기준 이하로 유지하기 위해서는 해당 공정 보유 사업장에 대한 지속적인 모니터링과 더불어 우선순위에 따른 접근이 필요하다. 예를 들어, 도장 공정의 경우 화학물질등록평가법에 따라 납을 0.009% 이상 함유한 혼합물에 대한 페인트 용도로의 제조・수입이 제한됨에 따라 향후 납 노출수준이 개선될 것으로 예상된다. 이와 같이 납을 제거・대체하는 것이 가장 우선적 대책이나, 현실적으로 불가한 경우에는 공학적 대책이 요구되며 가급적 공정 분리 및 밀폐, 자동화와 같이 작업자가 접촉하는 것을 사전에 방지하는 것이 바람직하다. 공정 특성상 어려운 경우에는 작업장 내의 발산원을 밀폐하는 등의 조치를 통해 최대한 발산을 억제하여야 한다. 국소배기장치를 설치하는 경우에도 전동식/송기식 호흡보호구 사용 등 추가적 대책을 병행함으로써 노출을 최소화해야 한다.

본 연구의 제한점은 첫째, 작업환경측정 신뢰성 평가 자료를 연구 자료로 활용하였는데, 신뢰성 평가 사업은 노출수준이 높을 것으로 예상되는 일부 사업장을 우선적으로 선정하기 때문에 전체 납 노출 산업과 공정을 대표한다고 볼 수 없다. 둘째, 작업환경측정 신뢰성 평가 보고서에 기재된 내용을 근거로 공정과 활동을 분류하였기 때문에 분류 결과가 실제 작업환경에 적합하지 않았을 수 있다. 본 연구는 납에 대한 작업환경측정 신뢰성 평가 자료를 공정(활동)에 따라 표준화하여 취약 공정을 체계적으로 확인하였다는 점에서 의미가 있다. 향후 다른 화학물질에 대해서도 공정(활동)에 따른 노출경향에 대한 평가가 필요하다고 판단된다.

V. 결 론

안전보건공단에서 2019년 및 2020년에 국내 사업장을 대상으로 실시한 납에 대한 작업환경측정 신뢰성 평가 자료를 수집하여 노출(공정) 및 활동에 따라 표준화하여 노출특성을 평가하였다. 납 취급 공정은 12개의 PROC과 활동으로 분류되었다.

노출수준이 높은 것으로 확인된 주요 공정(활동)은 용해・주조 등 납을 녹는점 이상으로 가열하는 열린/운반 공정, 납 함유 제품을 연마・연삭・가공하는 후처리 공정, 납 광재 등 폐기물을 파쇄・분쇄하는 공정, 납 제품의 압연・압출 공정, 순도가 높은 납을 사용하는 용접 공정, 축전지 제조 사업장에서 산화납이 도포된 극판의 취급 공정, PVC 안정제를 계량・배합・투입하는 공정, 납 함유 도료의 스프레이 도장 공정이었다. 특히, 납 분진이 발생하거나 납이 함유된 분말 취급 공정의 노출수준이 높아 지속적인 모니터링과 노출관리가 필요하다.

금속 노출모델 MEASE를 활용하여 주요 공정에 대한 위해도를 평가한 결과, 국소배기장치를 가동하더라도 위해도가 1 이상 또는 1에 가까운 것으로 예측되었다. 실제 측정자료도 국소배기장치를 가동한 경우에도 노출기준을 초과하는 경우가 확인되었다. 납은 건강 유해성으로 인해 노출기준이 낮으므로 노출기준 이하로 관리하기 어려울 수 있다. 따라서, 국소배기장치 외에도 납

함량 감소, 작업시간 감소, 밀폐, 작업자 격리 등의 추가적인 노출감소 조치를 취해야 한다.

감사의 글

본 논문은 2021년도 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원에서 수행한 연구과제를 기반으로 작성되었음.

References

American Conference of Govermental Industrial Hygienists(ACGIH). Guide to occupational exposure values. ACGIH.; 2022. ISBN: 978-1-607261-54-4

Cho SH, Lee SH. A study on exposure risk of auto-repair shop painters to lead. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2002; 12(3):187-194

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

Choi SH, Kim NS, Kim JH, Cho KS, Ham JO et al. A study on the change of air lead concentrations in lead-acid battery plants. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2007; 17(4):261-271

Choi SJ, Seo SC, Park JH, Koh DH, Kim HC et al. Evaluation of lead exposure characteristics using domestic occupational exposure literature data. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2022;21(1):1-9. https:// doi.org/10.15269/JKSOEH.2022.32.1.1

EBRC. MEASE glossary, MEASE 1.02.01 Exposure assessment tool for metlas and inorganic substances, EBRC.; 2010. Available from: URL: https://ebrc.de/tools/mease.php

European Chemicals Agency(ECHA). Guidance on information requirements and chemical safety assessment, Chapter R.12: Use description. ECHA.; 2015. ISBN: 978-92-9247-685-4

European Chemicals Agency(ECHA). Guidance on information requirements and chemical safety assessment, Chapter R.14: Occupational exposure assessment, Chapter R.14: Occupational exposure assessment.; 2016. ISBN: 978-92-9495-081-9

Fransman W, Cherrie J, van Tongeren M, Schinkel J, Marquart H et al. Development of a mechanistic model for the Advanced REACH Tool (ART), Version 1.5. TNO.; 2013

Gu DC, Lee JH, Han AR, Kim HJ, Lee SY et al. Lead exposure status of smelt process workers in steelmaking using scrap iron. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2013;23(2):164-168

Health and Safety Executive(HSE), Controlling airborne contaminants at work, A guide to local exhaust ventilation(LEV). HSE.;2017.ISBN: 978-0-7176-6613-3

International Agency Research Center(IARC). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, lead and lead compounds.; IARC. 2006. Available from: URL: https://monographs.iarc.who.int/

Koh DH, Park JH, Lee SG, Kim HC, Jung HJ et al. Estimation of lead exposure intensity by industry using nationwide exposure databases in korea. Safety and Health at Work 2021;12:439-444. https://doi.org/10.1016/j.shaw. 2021.07.008

Koo BH, Kim YK, Lee SG, Kang DM, Kim JE. Detection of cases and a cause of lead exposure in korean steel company. Korean J Occup Envrion Med 2012;24(4):441-448

Korea Occupational Safety Health Agency(KOSHA). Survey on the status of using lead and its compounds in Korea. KOSHA.; 2008.

Korea Occupational Safety Health Agency(KOSHA). The health effects and management depending on hazardous factors(lead). KOSHA.; 2003.

Korea Occupational Safety Health Agency(KOSHA). Technical guide of work environment monitoring, analysis for lead: KOSHA guide A-2-2019. KOSHA.; 2019.

Ministry of Environment(MoE). Designation of restricted or prohibited substances(MoE Public Notice No. 2022-138).; 2022

Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents (MoEL Public Notice No. 2020-48).;2020

Ministry of Employment and Labor(MoEL). The results of worker health examination in 2021.;2022

National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH). ELEMENTS by ICP(Microwave digestion): Method 7302. NIOSH.; 2014

Park JH, Choi SJ, Koh DH, Park DW, Sung YJ. A comparison of analysis methods for work environment measurement databases including left-censored data, Korean J Occup Envrion Med 2022; 32(1): 21-30. https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2022.32.1.21

Park SM, Kim JE, Kim JW, Hong DG, Ye SB et al. A case

of chronic renal failure and renal cancer in a worker exposed to lead. Korean J Occup Envrion Med 2008; 20(3):272-281

Rajan B, Alesbury R, Carton B, Gerin M, Marquart H et al. Occupational exposure databases, A proposal for core information for workplace exposure measurements on chemical agents. Europound.; 1996.ISBN: 92-827-7355-8

Yang JS, Kim TK, Park IJ, Kim MG, Lee SW et al. A pilot study on increased blood lead concentration of some foreign workers in lead refining industry. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2008;18(3): 248-251

<저자정보>

이도희(과장), 이나루(실장)