

석사학위논문

전남지역 일부 납 취급공정 작업자
특수건강진단 결과의 혈중 납 농도에
관한 연구

2025년

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스 템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

박 정 섭

석사학위논문
지도교수 박두용

전남지역 일부 납 취급공정 작업자
특수건강진단 결과의 혈중 납 농도에
관한 연구

Study on Blood Lead Levels in the Workers Medical
Examination Data and Airborne Lead Concentration in
the of Workplace Measurement Data in Jeonnam Region

2024년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스 템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

박 정 섭

석사학위논문
지도교수 박두용

전남지역 일부 납 취급공정 작업자
특수건강진단 결과의 혈중 납 농도에
관한 연구

Study on Blood Lead Levels in the Workers Medical
Examination Data and Airborne Lead Concentration in
the of Workplace Measurement Data in Jeonnam Region

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2024년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

기 계 시 스 템 공 학 과

산 업 위 생 공 학 전 공

박 정 섭

박정섭의 공학 석사학위 논문을 인준함

2024년 12월 일

심사위원장 윤 주 일 (인)

심 사 위 원 강 태 선 (인)

심 사 위 원 박 두 용 (인)

국 문 초 록

전남지역 일부 납 취급공정 작업자 특수건강진단 결과의 혈중 납 농도에 관한 연구

한 성 대 학 교 대 학 원
기 계 시 스 템 공 학 과
산 업 위 생 공 학 전 공
박 정 섭

본 연구는 2018년부터 2023년까지 광주광역시와 전라남도 일부 지역의 납 취급 사업장을 대상으로 실시된 작업환경측정 및 특수건강진단 데이터를 분석하였다. 모 기관에서 수집한 이 데이터를 바탕으로 작업자들의 혈중 납 농도와 공기 중 납 농도를 추출하여 분석하였다.

2018년부터 2023년까지 혈중 납 농도는 기하평균이 $1.31 \mu\text{g/dL}$ (GSD 3.296)였다. 이를 바탕으로 산출한 혈중 납 농도의 ACGIH BEI 기준인 $20 \mu\text{g/dL}$ 를 초과할 확률은 1.1%였으며, 노출기준의 50%인 $10 \mu\text{g/dL}$ 를 초과할 확률은 4.5%로 나타났다. 2018년도에 혈중 납 농도가 $20 \mu\text{g/dL}$ 를 초과한 작업자는 528명 중 18명(3.4%)이었으며, 4명은 납 괴 생산, 12명은 전자제품

제조업, 그리고 분석과 도장 관련 사업장이 각각 1명이었다. 2019년에 445명 중 25명(5.6%) 그리고 2020년에는 767명 중 26명(3.4%)이 나타났는데 모두 납 피를 생산하는 사업장에 종사하는 작업자들이었다. 납 피 생산 사업장이 2020년 말 폐쇄된 후, 혈중 납 농도가 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 초과하는 작업자 수가 급격히 감소했다. 2021년에는 711명 중 0명, 2022년에는 817명 중 3명(0.4%), 2023년에는 1,175명 중 0명으로 나타났다. 2022년에 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 초과한 3명은 납 피를 생산하는 또 다른 사업장 작업자였다.

공기 중 납 농도의 기하평균은 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (GSD 6.529)로 나타났다. ACGIH TLV 기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 50% 수준을 초과하는 사업장 수는 2018년에는 9개소, 2019년에는 0개소, 2020년에는 13개소, 그리고 2021년에는 2개소로 나타났다.

【주요어】 납, 혈중 납 농도, 공기 중 납 농도, 납 축전지 및 납 피 제조

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 장 연구대상 및 방법	2
제 1 절 연구대상	2
1) 연구자료	2
2) 특수건강진단 자료	3
3) 작업환경측정 자료	4
제 2 절 연구방법	7
1) 자료 분석방법	7
제 3 장 연구 결과	8
제 1 절 특수건강진단 결과의 혈중 납 농도	8
1) 혈중 납 농도	8
2) 고농도군의 통계적 추정	17
3) 일반인의 혈중 납 농도	18
제 2 절 혈중 납 농도가 높은 작업자의 특성	19
1) 혈중 납 농도의 직업적 기준	19
2) 혈중 납 농도가 높은 작업자	20
제 3 절 작업환경측정 결과의 공기 중 납 농도	22

1) 납 취급 사업장의 공기 중 납 농도	22
2) 공기 중 납 농도가 높은 작업자	26
3) 혈중 납 농도와 공기 중 납 농도가 동시에 있는 사업장	28
제 4 절 납 노출 전체군과 고농도 노출군 비교	29
1) 고농도 납 노출군의 혈중 및 공기 중 납 농도	29
 제 4 장 결 론	 33
 참 고 문 헌	 34
 ABSTRACT	 36

표 목 차

〈표 1〉 연구 대상의 사업장 수	2
〈표 2〉 혈중 납 시료채취시기	3
〈표 3〉 혈중 납 분석 실험준비 시약 및 초자	3
〈표 4〉 혈중 납 분석조건	4
〈표 5〉 작업환경측정 사업장 수	5
〈표 6〉 작업환경측정 방법	5
〈표 7〉 작업환경측정 분석 시약 및 기구	6
〈표 8〉 작업환경측정 분석조건	6
〈표 9〉 연도별 혈중 납 농도의 산술평균 및 기하평균	14
〈표 10〉 납 취급 사업장 규모별 혈중 납 농도 현황	15
〈표 11〉 납 취급 사업장 업종별 혈중 납 농도 현황	16
〈표 12〉 혈중 납 농도(ACGIH BEI 기준) 50% 및 100% 초과확률	18
〈표 13〉 혈중 납 농도의 생물학적 노출지표	19
〈표 14〉 혈중 납 농도(ACGIH BEI 기준) 노출지표 대비 결과 분포	20
〈표 15〉 혈중 납 농도가 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 을 초과하는 고농도 노출자의 업종별 변이	21
〈표 16〉 연도별 공기 중 납 농도의 산술평균 및 기하평균	23
〈표 17〉 납 취급 사업장 규모별 납의 공기 중 노출농도 현황	24
〈표 18〉 납 취급 사업장 업종별 납의 공기 중 노출농도 현황	25
〈표 19〉 공기 중 농도(ACGIH TLV) 노출기준 대비 결과 분포	26
〈표 20〉 공기 중 납의 검출, 불검출에 따른 혈중 납 농도	28
〈표 21〉 납 과 제조업체의 혈중 납 농도	29
〈표 22〉 태양광 패널 제조업체의 혈중 납 농도	30

〈표 23〉 납 피 제조업체의 공기 중 노출농도	30
〈표 24〉 납 축전지 제조업체의 공기 중 노출농도	31
〈표 25〉 태양광 패널 제조업체의 공기 중 노출농도	31

그림 목 차

[그림 1] 2018년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포	9
[그림 2] 2019년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포	10
[그림 3] 2020년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포	10
[그림 4] 2021년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포	11
[그림 5] 2022년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포	11
[그림 6] 2023년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포	12
[그림 7] 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포(2018~2023년)	13
[그림 8] 공기 중 납 농도(ACGIH TLV) 노출기준 대비 결과 분포 비율(%)	27
[그림 9] 혈중 납 농도 전체 산술평균과 고농도 납 노출군 산술평균 비교	32
[그림 10] 공기 중 납 농도 전체 산술평균과 고농도 납 노출군 산술평균 비교	32

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

납은 산업보건 분야에서 직업적 노출로 인한 건강장해가 가장 먼저 알려진 유해 금속이다. 그만큼 납에 대한 건강장해는 잘 알려져 있고, 꾸준히 작업환경 개선도 이루어져 왔지만, 아직도 납은 가장 많은 건강장해를 유발하는 금속 중의 하나로 남아 있다. 이것은 아직도 납이 수많은 사업장에서 다양한 용도로 사용되고 있기 때문이다. 특히 대기 중이나 식품에도 미량의 납이 함유되는 경우가 많으며, 일단 체내로 흡수된 납은 매우 느리게 배출되거나 잘 배출되지 않는 특성 때문이다.

최근 우리나라에서 납중독이나 납에 의한 건강장해 사례는 거의 보고되지 않고 있다. 이것은 납 노출농도가 높은 납 축전지 제조 사업장 등이 줄어들고, 작업환경이 개선되었기 때문인 것으로 보인다. 그러나 아직도 납 피 등을 생산하는 소규모 사업장은 물론이고 납을 취급하는 사업장에서는 일정이상의 납에 노출될 가능성이 여전히 높다.

납 취급 사업장은 해마다 작업환경을 측정하며, 납 취급 작업자는 특수건강진단을 실시하고 있다. 따라서 이런 자료를 분석하면 우리나라 납 취급 사업장 작업자들의 납 노출 수준을 파악할 수 있으며, 고위험군도 추정할 수 있을 것이다. 그러나 최근 우리나라 납 취급 작업자의 납 노출에 대한 연구나 혈중 납 농도 수준에 대한 연구결과가 보고된 바는 거의 없다.

이에 본 연구에서는 광주광역시와 전라남도 일부 지역을 대상으로 작업환경측정과 특수건강진단을 실시하는 기관의 공기 중 납 농도 측정결과 자료와 납의 대표적인 생물학적 지표인 혈중 납 농도 자료를 분석하여 납 취급 작업자의 현황과 고위험군을 파악하여 납 취급 사업장의 작업환경 및 작업자 건강관리에 필요한 자료를 제공할 목적으로 수행하였다.

제 2 장 연구대상 및 방법

제 1 절 연구대상

1) 연구자료

본 연구의 데이터는 2018년부터 2023년까지 6년간 광주광역시와 전라남도 소재 납 취급 사업장 일부를 대상으로 수집되었다. 이 데이터는 작업환경측정과 특수건강진단을 동시에 수행하는 모 기관의 자료를 기반으로 하였다. 작업환경측정 결과는 공기 중 납 농도, 특수건강진단 결과는 혈중 납 농도로 자료 정리하였다. 모 기관에서 납에 대한 특수건강진단과 작업환경측정 사업장 수는 아래 <표 1>과 같다.

<표 1> 연구 대상의 사업장 수

연도	특수건강진단			작업환경측정	
	계	특수건강 진단만 실시	모두 실시	작업환경 측정만 실시	계
2018	51	32	19	24	43
2019	50	33	17	22	39
2020	45	29	16	21	37
2021	47	30	17	18	35
2022	46	29	17	15	32
2023	45	30	15	20	35
평균	47	31	17	20	37

2) 특수건강진단 자료

특수건강진단 데이터는 납 취급 사업장과 특수건강진단 기관 간의 연간 계약에 의해 실시되었으며, 이로 인해 연도별 사업장의 변동성이 존재할 수 있다. 6년간 모 기관에서 납에 대한 특수건강진단을 실시한 총 사업장 수는 283개소였으며, 대상 작업자는 4,443명이었다. 이는 연평균 약 47개 사업장과 약 741명의 작업자에 해당한다.

납 취급 작업자에 대한 특수건강진단 주기는 기본적으로 1년에 1회 실시하고 있으며, 진단지표로는 혈중 납 농도이다.

본 연구에 쓰인 혈중 납 농도의 평가방법은 다음과 같았다.

〈표 2〉 혈중 납 시료채취시기

검체명	EDTA whole blood, or Heparin whole blood
채취시간	수시(하루 중 아무 때나)
보관조건	오염되지 않도록 주의하여 분석 시까지 4℃ (2~8℃) 냉장보관한다.(단, 분석시간이 2주 이상인 경우에는 -20℃ 이하 냉동보관 한다.)

〈표 3〉 혈중 납 분석 실험준비 시약 및 초자

시약	초자
① Lead standard solution (Merck, 1,000 mg/L) ② Nitric acid (Daejung, 60%) ③ Water (DW) : 3차 탈이온수 사용(18.3 Ω) ④ Diammonium hydrogenphosphate (NH ₄) ₂ HPO ₄ (Daejung, 9%) ⑤ Triton X-100 (Daejung)	① 용량 플라스크 : 표준물질과 희석 액 제조용 100 mL 4개, 50 mL 4개, 200 mL 1개 ② AA용 sample cup ③ 시약 저울 및 칭량 준비물 ④ 볼텍스 믹서

〈표 4〉 혈중 납 분석조건

- 비불꽃 원자흡광광도계(Thermo AAS Furnace ICE 3000series)
- 가스 : Ar
- 파장 : 283.3 nm, 슬릿나비 : 0.7 nm, 램프전류 : 440 mA
- Background 보정 : Zeeman
- 시료주입량 : 10 μ l

온도 프로그램	Step	Temp(°C)	Time(sec)
	Drying	130	30
	Ashing	850	20
	Automization	1,600	5

3) 작업환경측정 자료

작업환경측정 데이터 역시 특수건강진단 데이터와 마찬가지로 연도별 사업장의 변동성이 존재할 수 있으며, 6년간 모 기관에서 납에 대한 작업환경측정을 실시한 총 사업장 수는 221개소였으며, 측정 건수는 1,047건이었다. 이는 연평균 약 37개 사업장과 약 175건을 측정한 것이다.

납 취급 작업자에 대한 작업환경측정 주기는 기본적으로 6개월에 1회 실시하고 있다.(1개 사업장 일부 공정에서 노출기준을 초과하여 3개월 주기로 실시한 결과값은 본 연구 데이터로 사용하지 않음) 모 기관에서 납에 대한 작업환경측정을 실시한 사업장 수와 상, 하반기 실시 현황은 아래 〈표 5〉와 같다. 대부분의 사업장은 6개월에 한 번씩 측정을 실시하고 있으며, 연 1회만 측정하는 사업장의 경우, 새롭게 측정을 모 기관에 의뢰한 곳이거나, 기존의 측정을 중단한 곳, 또는 납 함유 제품을 새로 사용하기 시작했거나 사용을 중단한 곳으로 확인되었다.

〈표 5〉 작업환경측정 사업장 수

연도	계	상·하반기 모두 실시	상반기만 실시	하반기만 실시
2018	43	31	4	8
2019	39	29	3	7
2020	37	29	4	4
2021	35	29	4	1
2022	33	32	0	1
2023	35	28	5	2
평균	37	30	3	4

본 연구에 쓰인 작업환경측정 방법과 분석조건은 〈표 6〉과 〈표 8〉과 같다.

〈표 6〉 작업환경측정 방법

채취매체	MCE 여과지(37 mm, 0.8 μm)
채취유량	1~4 L/min
총 공기량	200~1,500 L
공시료	시료 세트 당 2~10개 또는 시료 수의 10% 이상
운반	여과지의 시료 포집 부분이 위를 향하도록 하고 마개를 닫아 밀폐된 상태로 운반

〈표 7〉 작업환경측정 분석 시약 및 기구

시약	- 표준용액 (1,000 $\mu\text{g/mL}$) - 진한 질산, HNO_3 (60%) - 전처리액 (1.5N HNO_3 /1.0N HCl) : 1,000 mL 용량 플라스크에 증류수를 적정량으로 넣은 후, HNO_3 57 mL와 HCl 44 mL를 넣고 표선까지 증류수를 채운다. / 전처리액 (4% HNO_3) : 1,000 mL 용량 플라스크에 증류수를 적정량으로 넣은 후, HNO_3 40 mL를 넣고 표선까지 증류수를 채운다. - 증류수 - 아르곤(Ar) / 아세틸렌(Acetylene) - 여과된 공기
기구	- 시료 채취매체 : MCE 여과지 (공극0.8 μm, 직경37mm) - 개인시료 채취용 펌프 : 유량 1~3 L/min (유연한 튜브관 연결 됨) - 유도결합플라즈마분광광도계 또는 원자흡광광도계 - 비이커, 시계접시 - 용량 플라스크 - 피펫 - 가열판(표면온도 100°C~400°C) 또는 마이크로웨이브

〈표 8〉 작업환경측정 분석조건

분석기기	원자흡광광도계(AAs) 또는 유도결합플라즈마 원자방출분광기 (ICP-OES)
가스	Air, Ar, Acetylene (99.999%)
파장	283.3 nm
전처리 용액	진한 질산 3~5 mL
검량선 용액	Pb + 표준용액 in 4% HNO_3

제 2 절 연구방법

1) 자료 분석방법

모 기관으로부터 제공받은 데이터인 혈중 납 농도와 공기 중 농도에 대해 연도별 건수와 산술평균(AM), 표준편차(SD), 기하평균(GM), 기하표준편차(GSD)를 산출하였다. 또한, 사업장 규모와 업종별로 구분하여 자료를 산출하였으며, 노출농도를 구간별로 나누어 현황을 파악하였다.

제 3 장 연구 결과

제 1 절 특수건강진단 결과의 혈중 납 농도

1) 혈중 납 농도

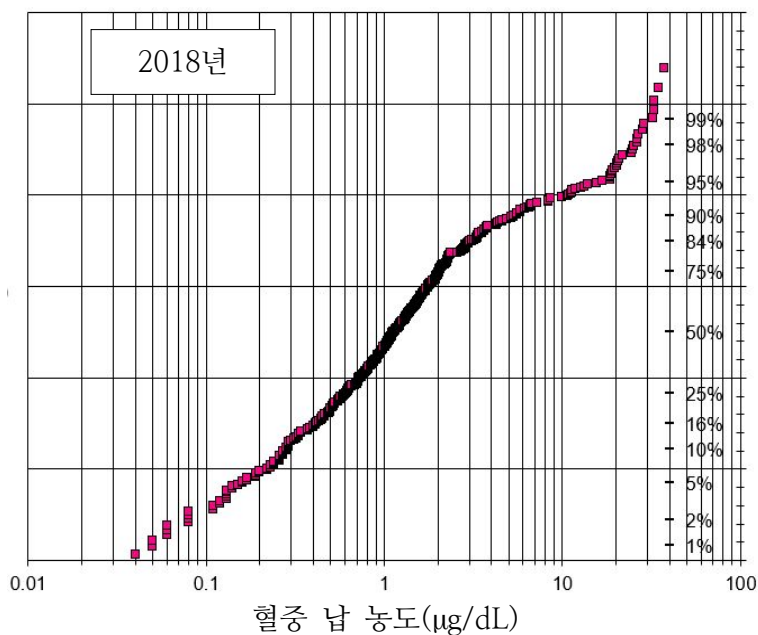
광주광역시와 전라남도 일부 지역의 납 취급 사업장을 대상으로 2018년부터 2023년까지 실시된 특수건강진단 결과에서 나타난 혈중 납 농도의 분포는 [그림 1]부터 [그림 6]까지와 같았다.

연도별 혈중 납 농도를 누적 확률 대수지에 나타낸 결과, 연도별로 약간의 차이가 있으나, 누적 분포가 2018년부터 2020년까지는 대략 3개의 직선상 그룹으로 분류할 수 있었다. 첫 번째 그룹은 0.1 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 에서 4 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 사이의 범위로, 일반인 수준으로 추정된다. 두 번째 그룹은 약 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 에서 약 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 사이에 분포하며, 세 번째 그룹은 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이상의 고노출군이다. 2018년부터 2020년까지 약 5%가 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이상의 고노출군에 해당했으며, 이들은 주로 납 축전지를 재활용하여 납 괴를 생산하는 사업장의 작업자였다.

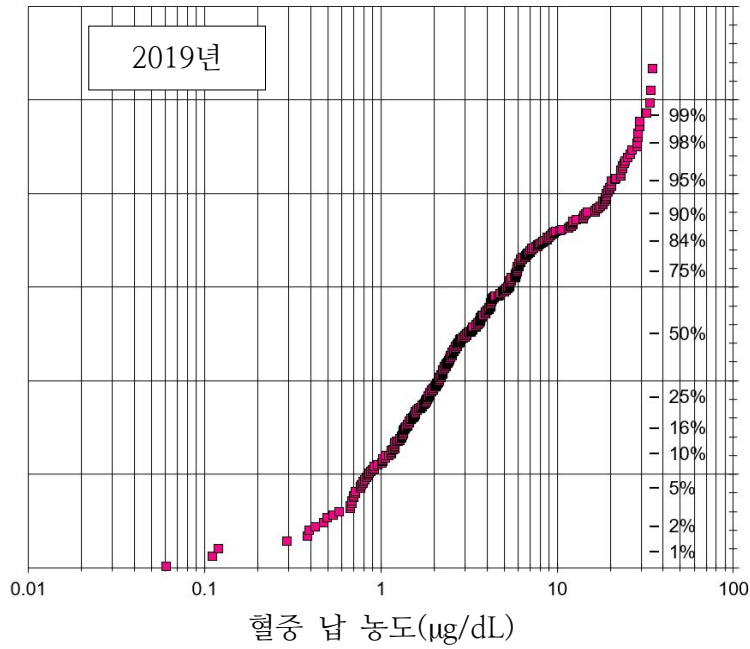
해당 사업장 폐업 이후인 2021년부터는 혈중 납 농도가 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 초과하는 사례는 크게 감소하였다. 2022년에 3건만 관찰되었는데, 이 역시 납 괴 생산 사업장에서 발생한 것으로 확인되었다.

혈중 납 농도의 분포를 연도별로 분석한 결과, 10~20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 범위에 해당하는 비율은 2019년에 13.3%로 가장 높았으며, 2022년에는 0.2%로 최저치를 보였다. 다른 연도들의 경우 이 범위에 속하는 비율이 1.4%에서 6.8% 사이로 나타났다. 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 을 초과하는 고노출군의 경우, 역시 2019년에 5.6%로 가장 높은 비율을 보였다. 반면 2021년과 2023년에는 이 수준을 초과하는 건수는 없었다. 나머지 연도들은 0.4%에서 3.4% 사이의 비율로 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 을 초과하는 것으로 확인되었다. 업종별로 살펴보면 납 괴 제조업이 가장 높은 비율을 차지했으며, 전자부품 제조업, 분석 및 도장업 등이 그 뒤를 이었다.

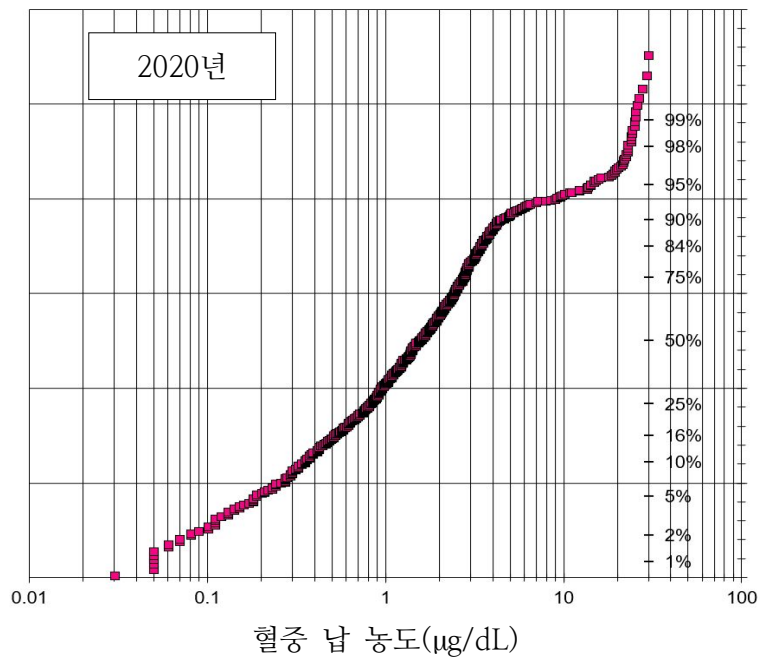
주목할 만한 점은 납 과 제조업을 제외하고 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 지속적으로 초과하는 사례가 없었다는 것이다. 이는 납 과 제조업 분야에서 작업환경 개선의 필요성을 시사한다.



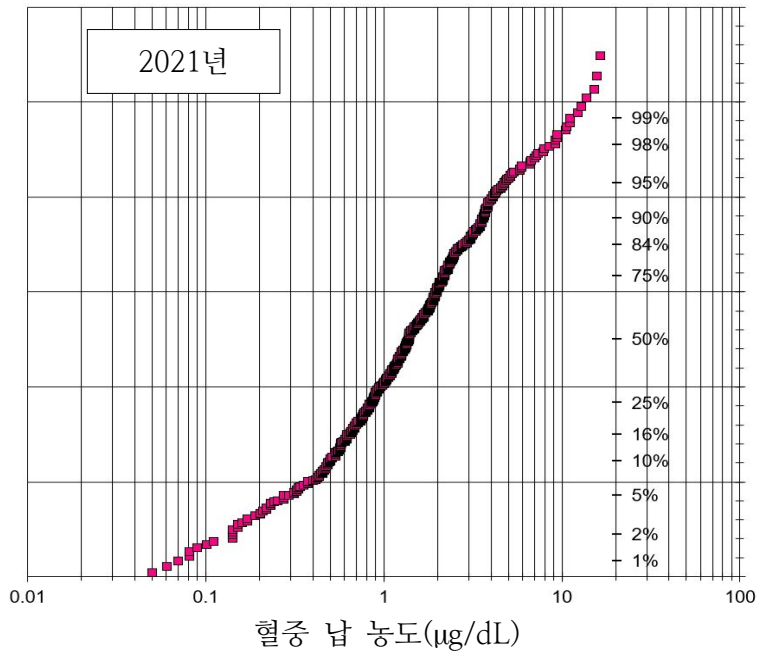
[그림 1] 2018년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포.



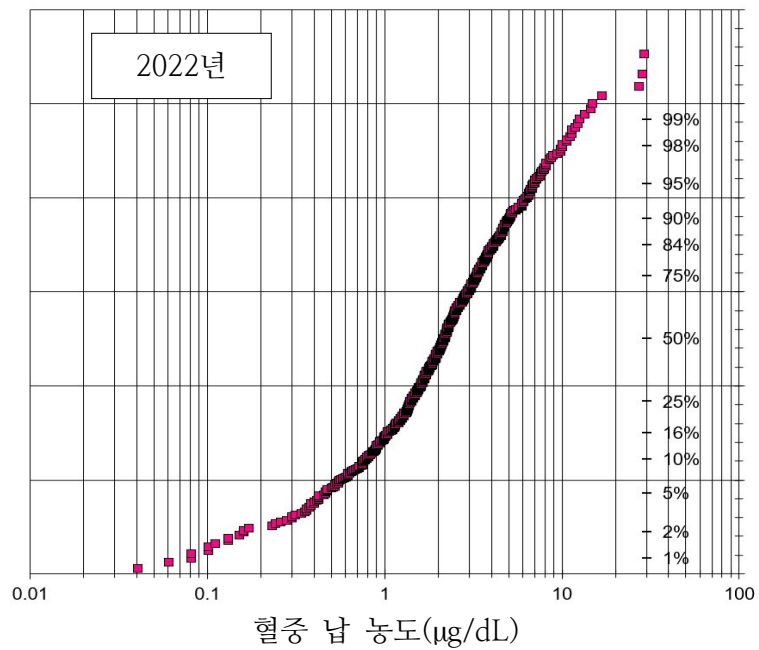
[그림 2] 2019년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포.



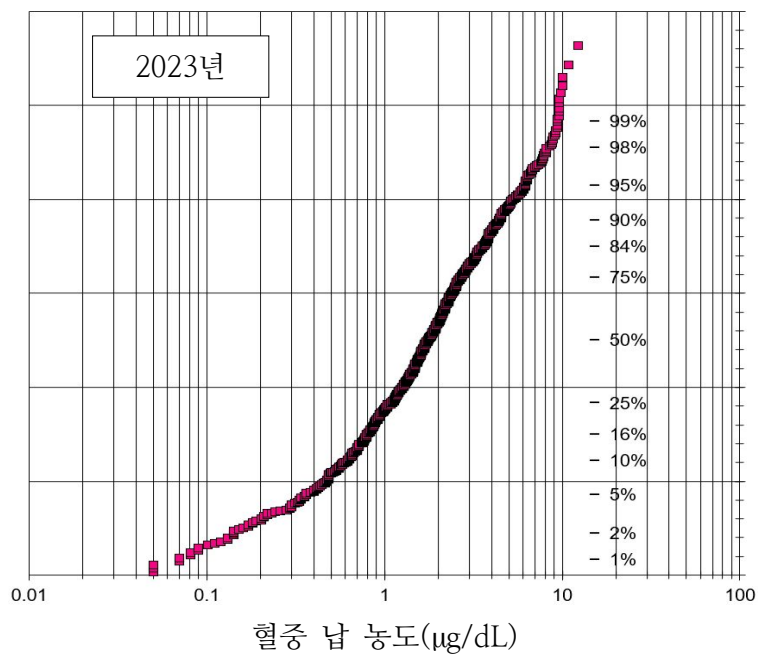
[그림 3] 2020년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포.



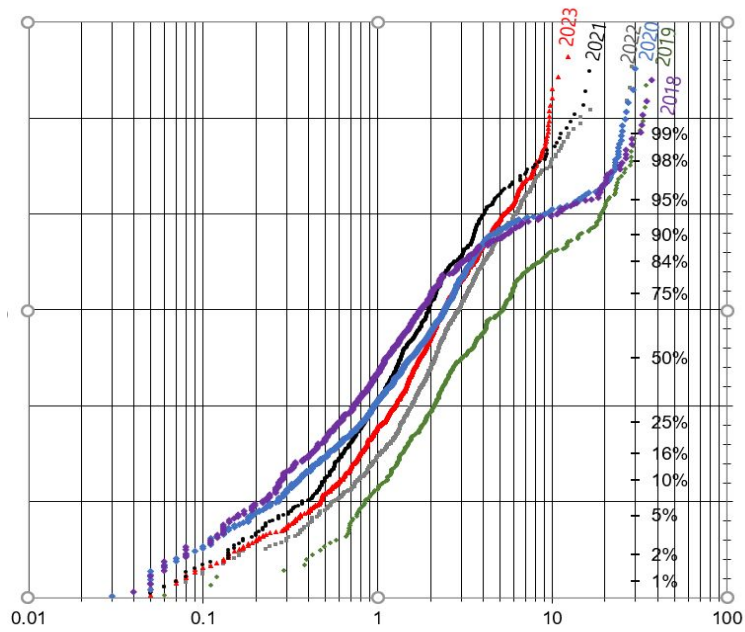
[그림 4] 2021년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포.



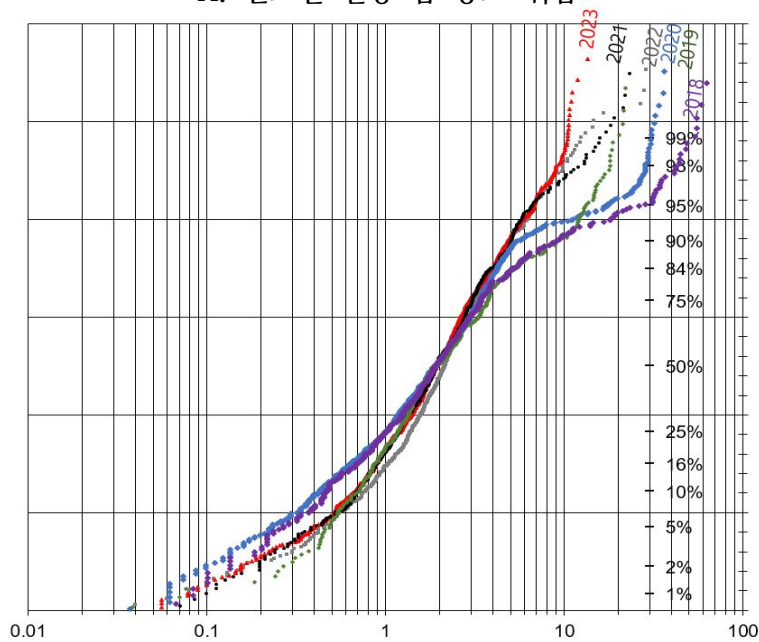
[그림 5] 2022년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포.



[그림 6] 2023년 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포.



혈중 납 농도($\mu\text{g/dL}$)
A. 연도별 혈중 납 농도 취합



혈중 납 농도($\mu\text{g/dL}$)
B. 연도별 데이터 50% 값을 2023년에 맞춘 혈중 납 농도

[그림 7] 특수건강진단 결과 혈중 납 농도 분포(2018~2023년).

〈표 9〉에서 보는 바와 같이 연도별 혈중 납 농도의 산술평균은 3.00 $\mu\text{g/dL}$, 기하평균은 1.31 $\mu\text{g/dL}$ 로 나타났다. 산술평균 기준으로 연도별 평균은 2021년에 1.87 $\mu\text{g/dL}$ 로 가장 낮았고, 2019년에 5.43 $\mu\text{g/dL}$ 로 가장 높았으며, 나머지 연도는 대체로 2.21~2.89 $\mu\text{g/dL}$ 수준을 보였다. 기하평균은 연도별로 1.18~3.29 $\mu\text{g/dL}$ 의 수준이었다. 상대표준편차가 189%로 상당히 높았으며, 기하표준편차도 3.30으로 크게 나타나 분포가 넓은 것으로 나타났다. 이것은 일부 작업자의 혈중 납 농도가 상당히 높을 수 있음을 의미한다.

따라서 농도 수준별로 더 세분화 된 분석이 필요하였다. 한편 업종별, 사업장 규모별로 나누어 본 〈표 10〉과 〈표 11〉의 결과, 평균값에는 큰 차이가 없었다. 따라서 일반인 수준을 초과하는 혈중 납 농도에 대해 집중적인 분석이 요구되었다.

〈표 9〉 연도별 혈중 납 농도의 산술평균 및 기하평균(단위: $\mu\text{g/dL}$)

연도	사업장 수	작업자 수	AM	SD	95% 신뢰구간
2018	51	528	2.79	5.478	-7.95 ~ 13.53
2019	50	445	5.43	6.403	-7.12 ~ 17.98
2020	45	767	2.89	4.751	-6.42 ~ 12.20
2021	47	711	1.87	1.909	-1.87 ~ 5.61
2022	46	817	2.74	2.586	-2.33 ~ 7.81
2023	45	1,175	2.21	1.795	-1.31 ~ 5.73
평균	47	741	3.00	5.679	-8.13 ~ 14.13
연도	사업장 수	작업자 수	GM	GSD	95% 신뢰구간
2018	51	528	1.18	3.383	0.11 ~ 12.86
2019	50	445	3.29	2.756	0.45 ~ 24.00
2020	45	767	1.45	3.245	0.14 ~ 14.57
2021	47	711	1.31	2.445	0.23 ~ 7.56
2022	46	817	1.99	2.430	0.35 ~ 11.34
2023	45	1,175	1.62	2.412	0.29 ~ 9.10
평균	47	741	1.31	3.296	0.13 ~ 13.57

〈표 10〉 납 취급 사업장 규모별 혈중 납 농도 현황

연도	사업장 규모	작업자 수	AM($\mu\text{g}/\text{dL}$)	SD($\mu\text{g}/\text{dL}$)	GM($\mu\text{g}/\text{dL}$)	GSD
2018	30인 미만	87	2.57	4.103	1.36	2.993
	30 ~ 99인	148	2.50	4.847	1.04	3.650
	100인 이상	293	3.00	6.104	1.21	3.359
2019	30인 미만	94	4.95	4.347	3.89	1.987
	30 ~ 99인	151	8.56	8.981	4.57	3.528
	100인 이상	200	3.32	3.122	2.41	2.258
2020	30인 미만	56	2.59	3.344	1.69	2.653
	30 ~ 99인	191	6.19	8.127	2.53	4.161
	100인 이상	520	1.71	1.594	1.16	2.765
2021	30인 미만	66	2.26	1.470	1.73	2.274
	30 ~ 99인	136	1.98	1.240	1.65	1.949
	100인 이상	509	1.79	2.093	1.19	2.552
2022	30인 미만	67	4.42	5.480	3.10	2.160
	30 ~ 99인	132	2.23	2.262	1.49	2.624
	100인 이상	618	3.20	2.599	2.44	2.117
2023	30인 미만	62	3.11	2.307	2.31	2.434
	30 ~ 99인	163	3.03	2.050	2.34	2.243
	100인 이상	950	2.02	1.649	1.48	2.387

〈표 11〉 납 취급 사업장 업종별 혈중 납 농도 현황

연도	사업장 규모	작업자 수	AM($\mu\text{g/dL}$)	SD($\mu\text{g/dL}$)	GM($\mu\text{g/dL}$)	GSD
2018	제조, 건설업	417	3.02	5.770	1.30	3.337
	서비스업	18	1.35	0.917	0.98	2.781
	분석, 연구개발, 행정업	93	2.04	4.470	0.78	3.617
2019	제조, 건설업	331	5.81	7.153	3.29	2.905
	서비스업	23	2.67	1.398	2.09	2.639
	분석, 연구개발, 행정업	91	4.75	3.350	3.72	2.172
2020	제조, 건설업	633	3.15	5.094	1.55	3.308
	서비스업	13	1.77	1.167	1.31	2.634
	분석, 연구개발, 행정업	121	1.63	2.283	1.01	2.796
2021	제조, 건설업	580	1.87	2.033	1.26	2.550
	서비스업	12	1.60	1.211	1.17	2.389
	분석, 연구개발, 행정업	119	1.89	1.232	1.59	1.873
2022	제조, 건설업	672	2.81	2.664	2.05	2.459
	서비스업	24	3.24	1.741	2.94	1.527
	분석, 연구개발, 행정업	121	2.20	2.206	1.55	2.312
2023	제조, 건설업	999	2.09	1.733	1.52	2.422
	서비스업	17	3.19	1.810	2.84	1.628
	분석, 연구개발, 행정업	159	2.87	1.998	2.22	2.221

2) 고농도군의 통계적 추정

특수건강진단 결과에 나타난 혈중 납 농도의 평균값은 일반인과 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 혈중 납 농도의 산포도가 크다는 점에 주목하여, 고농도로 분류되는 데이터에 대해 집중적인 분석을 실시하였다.

공기 중 납의 노출기준과 납의 생물학적 노출지표로 전세계에서 가장 널리 인용되고 있는 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 이하 ‘ACGIH’라 함)의 TLV(Threshold Limit Value, 이하 ‘ACGIH TLV’라 함)와 BEI(Biological Exposure Indices, 이하 ‘ACGIH BEI’라 함)는 각각 0.05 mg/m^3 와 $20 \text{ }\mu\text{g/dL}$ 이다.

특수건강진단 결과의 혈중 납 농도 통계자료를 바탕으로 ACGIH BEI를 기준을 초과하거나 기준의 50%인 $10 \text{ }\mu\text{g/dL}$ 를 초과할 확률을 계산한 결과는 <표 12>와 같다.

확률 계산 결과, 정규분포와 기하분포 가정 모두 2019년의 초과확률이 가장 높게 나타났으며, 2021년부터 2023년까지는 초과확률이 현저히 낮아지는 추세를 보였다. 평균적으로, 정규분포 가정하에서의 기준의 50% 초과확률은 10.9%로 나타났으며, 기준 초과확률은 0%에 근접하였다. 한편, 기하분포 가정 하에서는 기준의 50% 초과확률이 4.5%, 기준 초과확률이 1.1%로 산출되었다.

〈표 12〉 혈중 납 농도(ACGIH BEI 기준) 50% 및 100% 초과확률

연도	사업장 수	작업자 수	대표값	산포도	초과확률(%)	
정규분포 가정			AM ($\mu\text{g/dL}$)	SD ($\mu\text{g/dL}$)	50%	100%
2018	51	528	2.79	5.478	9.3	0.1
2019	50	445	5.43	6.403	23.9	1.1
2020	45	767	2.89	4.751	6.7	0.0
2021	47	711	1.87	1.909	0.0	0.0
2022	46	817	2.74	2.586	0.2	0.0
2023	45	1,175	2.21	1.795	0.0	0.0
평균	47	741	3.00	5.679	10.9	0.1
기하분포 가정			GM ($\mu\text{g/dL}$)	GSD		
2018	51	528	1.18	3.383	4.0	1.0
2019	50	445	3.29	2.756	13.6	3.8
2020	45	767	1.45	3.245	5.1	1.3
2021	47	711	1.31	2.445	1.2	0.1
2022	46	817	1.99	2.430	3.4	0.5
2023	45	1,175	1.62	2.412	1.9	0.2
평균	47	741	1.31	3.296	4.5	1.1

3) 일반인의 혈중 납 농도

납은 환경에 광범위하게 존재하여 납 취급 작업자뿐만 아니라 일반인의 혈중에서도 검출된다. 질병관리청의 국민건강영양조사에 따르면, 우리나라 19세 이상 일반인의 기하평균 혈중 납 농도는 2005년 $3.29 \mu\text{g/dL}$ 에서 2016년 $1.70 \mu\text{g/dL}$ 로 전반적인 감소 추세를 보였다.

제 2 절 혈중 납 농도가 높은 작업자의 특성

1) 혈중 납 농도의 직업적 기준

혈중 납 농도의 생물학적 노출지표는 국가와 기관에 따라 다소 상이하지만, 대체로 20~30 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 수준에서 작업장 관리 조치를 권고하고 있다. 산업안전보건공단은 혈중 납 농도 30 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 건강 영향 발현의 임계점으로 설정하여 예방적 관리를 강조한다. 미국산업위생전문가협회(ACGIH)는 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 생물학적 노출지표로 제시하며, 이는 거의 모든 근로자들이 건강에 악영향을 경험하지 않을 것으로 예상되는 수준이다. 이 수치를 절대적 안전 기준이 아닌 권장 수준으로 간주하고 있다. 일본산업위생학회(JSOH)는 가장 보수적인 기준인 15 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 채택하여, 이 수준에서 대부분의 근로자들이 건강에 악영향 없이 매일 반복하여 노출될 수 있는 농도로 설정하였다. 이처럼 각 기관은 과학적 근거와 자국의 산업 환경을 고려하여 관리 기준을 설정하고 있다.

〈표 13〉 혈중 납 농도의 생물학적 노출지표

기관	혈중 납의 기준($\mu\text{g}/\text{dL}$)
산업안전보건공단(KOSHA)	30
미국 산업위생전문가협의회(ACGIH)	20 (임신 가능성이 있는 여성: 10)
일본 산업위생학회(JSOH)	15

또한, 납 취급 사업장 작업자의 혈중 납 농도에 대한 연구결과는 2000년부터 2013년까지 감소하는 추세이다.(이상길, 2017)

2) 혈중 납 농도가 높은 작업자

본 연구의 분석 결과, 고농도군으로 분류되는 사업장과 작업자를 식별하는 것이 중요하다고 판단되었다. 이에 따라 혈중 납 농도를 ACGIH BEI 기준인 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로 다섯 개의 구간으로 분류하였다. 10% 미만, 10~20%, 20~50%, 50~100% 그리고 100% 초과 구간으로 나누어 사업장 수와 작업자 수를 분석하였으며, 그 결과는 <표 14>와 같다.

<표 14> 혈중 납 농도(ACGIH BEI 기준) 노출지표 대비 결과 분포

연도	계	혈중 납 농도 산술평균($\mu\text{g}/\text{dL}$)				
	사업장 수	2 미만	2~4	4~10	10~20	20 초과
2018	51	26	21	4	—	—
2019	50	9	23	15	2	1
2020	45	21	19	3	1	1
2021	47	30	13	4	—	—
2022	46	13	17	15	—	1
2023	45	11	22	12	—	—
		혈중 납 농도($\mu\text{g}/\text{dL}$)				
	작업자 수	2 미만	2~4	4~10	10~20	20 초과
2018	528	390	74	28	18	18
2019	445	127	141	118	34	25
2020	767	466	213	41	21	26
2021	711	505	158	38	10	—
2022	817	371	312	119	12	3
2023	1175	680	352	141	2	—

혈중 납 농도가 가장 높은 사업장은 납 축전지를 재활용하여 납 피를 생산하는 업체였다. 2020년에는 혈중 납 농도가 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 초과하는 작업자 수가 가장 많았다. 총 26건의 초과 중 24건은 납 피 생산 사업장에서 발생하였

으며, 나머지 2건은 각각 분석 업체와 도장 사업장에서 1건씩 발생하였다. 혈중 납 농도가 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 초과하는 고농도 노출자의 연도별 추이는 <표 15>와 같다. 전반적으로 납 궤 생산업체에서 초과 건수가 가장 많이 발생하였다. 다만 2018년에는 예외적으로 전자제품을 생산하는 한 대기업에서 12건의 초과 건수가 확인되었다. 그러나 이 대기업의 경우, 지속적인 고농도 노출 상태에 있지 않은 것으로 나타났다.

<표 15> 혈중 납 농도가 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 을 초과하는 고농도 노출자의 업종별 변이

연도	초과 건수	업종(생산품)별 초과 건수			
		제조 (납 궤)	제조 (전자제품)	분석	도장
2018	18	4	12	1	1
2019	25	25	—	—	—
2020	26	25	—	1	—
2021	0	—	—	—	—
2022	3	3	—	—	—
2023	0	—	—	—	—

또한, 2022년 혈중 납 농도가 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 초과하는 3명의 작업자 있었는데, 이들은 모두 일회성으로 모 기관에서 특수건강진단을 실시한 납 궤 생산업체 소속이었으며, 해당 연도에 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 를 초과한 유일한 사업장으로 확인되었다. 이러한 혈중 납 농도의 변동에 영향을 미칠 수 있는 요인으로는 작업장 환경의 개선과 더 이상 납을 취급하는 작업을 하지 않아 특수건강진단 대상에서 제외 혹은 누락, 변경 되었을 가능성이 있다. 또한, 분석사의 변경을 고려할 수 있는데, 실제로 해당 기간 동안 모기관에서 2018~2019년, 2020년, 2021~2023년에 걸쳐 총 3차례 변경된 것으로 기록되어 있다.

제 3 절 작업환경측정 결과의 공기 중 납 농도

1) 납 취급 사업장의 공기 중 납 농도

2018년부터 2023년까지 광주광역시와 전라남도 일부 지역 납 취급 사업장의 공기 중 납 농도를 <표 16>과 같이 분석하였다. 해당 기간 동안의 산술평균은 0.0082 mg/m^3 , 기하평균은 0.0014 mg/m^3 로 나타났다. 연도별 산술평균 추이를 살펴보면, 2018년에 0.0225 mg/m^3 로 가장 높은 수치를 기록한 반면, 2023년에는 0.0013 mg/m^3 로 가장 낮은 수치를 보였다. 그 외 연도의 경우 $0.0019 \sim 0.0187 \text{ mg/m}^3$ 수준이었다. 상대표준편차는 256%로 매우 높았고, 기하표준편차도 6.53으로 나타나 데이터의 분포 폭이 상당히 넓음을 보여준다.

혈중 납 농도의 경우 일부 사업장들이 불규칙적으로 높은 수치가 관찰된 반면, 공기 중 납 농도는 한 곳의 사업장에서만 높은 농도가 확인되었다. 해당 사업장은 납 축전지를 생산하는 사업장으로, 2021년 상반기까지 모 기관에서 작업환경측정을 진행하였다. 해당 사업장의 높은 농도 수치는 <표 17>과 <표 18>로 정리한 납 취급 사업장의 규모별, 업종별 공기 중 납 농도 분석 결과에 영향을 미친 것으로 나타났다.

특히 주목할 점은 2023년 공기 중 납 농도 검출 건수가 증가와 불검출 건수가 감소한 현상이다. 이러한 변화는 모 기관의 분석 장비가 원자흡광광도계(AAS)에서 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-OES)로 전환된 것에 기인한 것으로 보인다.

〈표 16〉 연도별 공기 중 납 농도의 산술평균 및 기하평균(단위: mg/m³)

연도	사업장 수	측정 건수	검출 건수	AM	SD	불검출 건수	95% 신뢰구간
2018	43	190	50	0.0225	0.0390	140	-0.0539~0.0989
2019	39	188	31	0.0035	0.0043	157	-0.0049~0.0119
2020	37	176	49	0.0187	0.0287	127	-0.0376~0.0750
2021	34	158	40	0.0064	0.0084	118	-0.0101~0.0229
2022	32	149	36	0.0019	0.0020	113	-0.0020~0.0058
2023	35	186	114	0.0013	0.0027	72	-0.0040~0.0066
평균	37	175	53	0.0082	0.0210	121	-0.0330~0.0494
연도	사업장 수	측정 건수	검출 건수	GM	GSD	불검출 건수	95% 신뢰구간
2018	43	190	50	0.0044	8.4266	140	0.0001~0.2869
2019	39	188	31	0.0016	3.6007	157	0.0001~0.0197
2020	37	176	49	0.0046	7.3426	127	0.0001~0.2290
2021	34	158	40	0.0024	4.4268	118	0.0001~0.0443
2022	32	149	36	0.0010	3.4566	113	0.0001~0.0114
2023	35	186	114	0.0005	4.1662	72	0.0000~0.0082
평균	37	175	53	0.0014	6.5290	121	0.0000~0.0554

〈표 17〉 납 취급 사업장 규모별 납의 공기 중 노출농도 현황

연도	사업장 규모	측정 건수	검출 건수	AM (mg/m ³)	SD (mg/m ³)	GM (mg/m ³)	GSD	불검출 건수
2018	30인 미만	51	13	0.0013	0.0018	0.0006	3.4817	38
	30 ~ 99인	60	11	0.0023	0.0018	0.0013	4.0233	49
	100인 이상	79	26	0.0416	0.0467	0.0190	5.0436	53
2019	30인 미만	49	6	0.0015	0.0015	0.0011	2.2095	43
	30 ~ 99인	58	3	0.0007	0.0002	0.0006	1.3510	55
	100인 이상	81	22	0.0044	0.0047	0.0020	4.0775	59
2020	30인 미만	49	9	0.0030	0.0038	0.0013	4.2826	40
	30 ~ 99인	83	37	0.0239	0.0312	0.0077	6.5356	46
	100인 이상	44	3	0.0004	0.0003	0.0003	2.8136	41
2021	30인 미만	44	8	0.0145	0.0145	0.0057	6.6585	36
	30 ~ 99인	74	32	0.0044	0.0055	0.0020	3.7383	42
	100인 이상	40	0	—	—	—	—	40
2022	30인 미만	64	21	0.0018	0.0018	0.0010	3.5781	43
	30 ~ 99인	44	6	0.0015	0.0010	0.0011	2.7324	38
	100인 이상	41	9	0.0022	0.0028	0.0010	4.1632	32
2023	30인 미만	46	32	0.0018	0.0021	0.0008	3.8158	14
	30 ~ 99인	44	26	0.0007	0.0007	0.0005	2.4660	18
	100인 이상	96	56	0.0014	0.0034	0.0003	4.8531	40

〈표 18〉 납 취급 사업장 업종별 납의 공기 중 노출농도 현황

연도	업종 구별	측정 건수	검출 건수	AM (mg/m³)	SD (mg/m³)	GM (mg/m³)	GSD	불검출 건수
2018	제조, 건설업	174	50	0.0225	0.0390	0.0044	8.4266	124
	서비스업	10	0	—	—	—	—	10
	분석, 연구개발, 행정업	6	0	—	—	—	—	6
2019	제조, 건설업	168	31	0.0035	0.0043	0.0016	3.6007	137
	서비스업	9	0	—	—	—	—	9
	분석, 연구개발, 행정업	11	0	—	—	—	—	11
2020	제조, 건설업	158	44	0.0207	0.0296	0.0062	6.4960	114
	서비스업	6	0	—	—	—	—	6
	분석, 연구개발, 행정업	12	5	0.0004	0.0002	0.0003	2.0938	7
2021	제조, 건설업	139	40	0.0064	0.0084	0.0024	4.4268	99
	서비스업	7	0	—	—	—	—	7
	분석, 연구개발, 행정업	12	0	—	—	—	—	12
2022	제조, 건설업	129	30	0.0020	0.0021	0.0011	3.5207	99
	서비스업	8	2	0.0012	0.0010	0.0010	2.5702	6
	분석, 연구개발, 행정업	12	4	0.0010	0.0009	0.0006	3.9521	8
2023	제조, 건설업	164	109	0.0014	0.0027	0.0005	4.1101	55
	서비스업	10	1	0.0002	—	0.0002	—	9
	분석, 연구개발, 행정업	12	4	0.0001	0.0000	0.0001	1.5811	8

2) 공기 중 납 농도가 높은 작업자

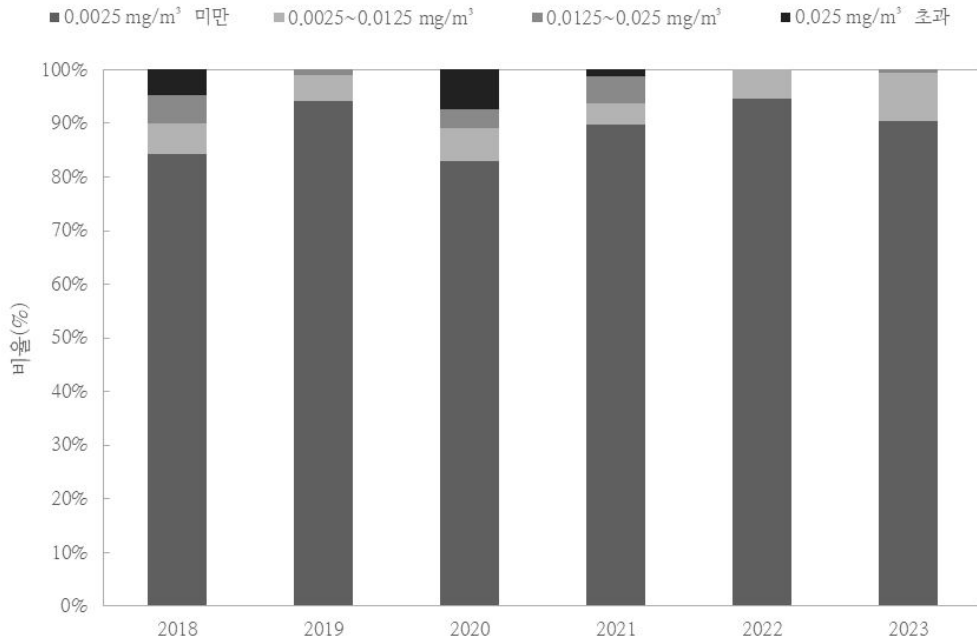
혈중 납 농도의 경우 환경적 요인 등으로 인해 일부 작업자에게서 높은 수준이 관찰된 반면, 공기 중 납 농도는 실제 납 사용량과 작업량이 많은 사업장에서 높게 나타나는 경향을 보였다.

이러한 차이를 분석하기 위해, 공기 중 납 농도를 ACGIH TLV 노출기준 0.05 mg/m^3 를 기준으로 네 개의 구간으로 분류하였다. 5% 미만, 5~25 %, 25~50%, 그리고 50% 초과 구간으로 나누어 측정 건수를 분석하였으며, 그 결과는 <표 19>와 같다.

<표 19> 공기 중 납 농도(ACGIH TLV) 노출기준 대비 결과 분포

연도	측정 건수	공기 중 납 농도(mg/m^3)			
		0.0025 미만	0.0025~ 0.0125	0.0125~ 0.025	0.025 초과
2018	190	160	11	10	9
2019	188	177	9	2	0
2020	176	146	11	6	13
2021	158	142	6	8	2
2022	149	141	8	0	0
2023	186	168	17	1	0
평균	175	156	10	5	4

이를 시각적으로 나타내기 위해 [그림 8]로 작성하였으며, 노출기준 대비 5% 미만의 비율이 매우 높다는 것을 보여준다.



[그림 8] 공기 중 납 농도(ACGIH TLV) 노출기준 대비 결과 분포 비율(%).

고농도로 평가된 납 축전지 생산 사업장의 연도별 공기 중 납 농도는 <표 24>와 같다. 2019년 공기 중 납 농도가 현저히 낮게 나타난 원인을 작업환경 측정 결과서를 통해 분석한 결과, 작업량 감소와 측정 전일 청소 활동이 주요 요인으로 확인되었다.

3) 혈중 납 농도와 공기 중 납 농도가 동시에 있는 사업장

데이터를 제공해준 모 기관에서 특수건강진단과 작업환경측정을 동시에 실시하는 사업장을 분석해 보았다. 공기 중 납이 검출된 공정과 불검출된 공정에서 작업자들의 혈중 납 농도를 비교한 결과는 <표 20>과 같이 나타났다. 분석 단위를 개별 공정으로 설정한 이유는 한 개의 사업장 내에 납이 노출되는 복수의 공정이 존재하기 때문이다. 분석 결과, 2020년을 제외한 모든 연도에서 공기 중 납이 검출된 공정의 작업자들이 통계적으로 높은 혈중 납 농도를 나타냈다.

<표 20> 공기 중 납의 검출, 불검출에 따른 혈중 납 농도

연도	공기 중 농도 불검출 공정		공기 중 농도 검출 공정	
	특수건강진단 건수	혈중 납 농도AM ($\mu\text{g}/\text{dL}$)	특수건강진단 건수	혈중 납 농도AM ($\mu\text{g}/\text{dL}$)
2018	23	1.55	11	3.07
2019	27	4.51	5	7.18
2020	23	2.06	16	1.55
2021	25	2.25	27	2.40
2022	15	1.97	22	5.80
2023	7	2.00	33	3.25
평균	20	2.54	19	3.46

제 4 절 납 노출 전체군과 고농도 노출군 비교

1) 고농도 납 노출군의 혈중 및 공기 중 납 농도

납 금속을 직접 취급하는 고농도 노출군을 납 축전지, 납 괴, 태양광 패널 제조업체로 분류하였다. <표 21>과 <표 22>는 이들 노출군의 혈중 납 농도를 보여준다. 납 축전지 제조업체의 혈중 납 농도 데이터는 확보하지 못했으며, 납 괴 제조업체의 경우 연도와 무관하게 지속적으로 높은 혈중 납 농도의 산술평균을 나타냈다. 반면, 태양광 패널 제조업체 작업자의 혈중 납 농도는 일반인과 유사한 수준으로 확인되었다.

<표 21> 납 괴 제조업체의 혈중 납 농도

연도	N	AM ($\mu\text{g/dL}$)	SD ($\mu\text{g/dL}$)	GM ($\mu\text{g/dL}$)	GSD
2018	44	3.05	6.52	0.91	4.48
2019	50	19.61	8.10	17.34	1.76
2020	55	17.32	7.18	15.37	1.73
2021	0	—	—	—	—
2022	4	22.42	10.80	19.14	2.11
2023	0	—	—	—	—
평균	25	13.87	10.159	6.94	5.042

〈표 22〉 태양광 패널 제조업체의 혈중 납 농도

연도	N	AM ($\mu\text{g/dL}$)	SD ($\mu\text{g/dL}$)	GM ($\mu\text{g/dL}$)	GSD
2018	36	2.47	2.47	1.60	2.64
2019	8	3.21	2.33	1.92	4.51
2020	33	1.64	0.81	1.35	2.11
2021	16	2.37	0.93	2.22	1.47
2022	21	3.94	1.91	3.59	1.53
2023	22	2.96	2.04	2.28	2.15
평균	23	2.61	1.965	1.93	2.359

공기 중 노출농도 분석 결과, 업종별로 다양한 특이성이 관찰되었다. 납 피 제조업체의 경우, 공기 중 노출농도의 산술평균이 노출기준 대비 약 10% 수준으로 나타났다. 반면, 납 축전지 제조업체는 연도별로 큰 변동성을 보였는데, 이는 작업량의 변화와 작업 환경의 변동이 주요 요인으로 이전 분석에서 확인된 바 있다. 태양광 패널 제조업의 경우, 산술평균이 점진적으로 증가하는 추세를 보이며 변동성도 커지고 있어, 향후 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

〈표 23〉 납 피 제조업체의 공기 중 노출농도

연도	측정 건수	검출 건수	AM (mg/m^3)	SD (mg/m^3)	GM (mg/m^3)	GSD	불검출 건수
2022	2	2	0.0062	0.0004	0.0062	1.0709	0
2023	4	4	0.0053	0.0021	0.0050	1.5092	0
평균	3	3	0.0056	0.0017	0.0054	1.4042	0

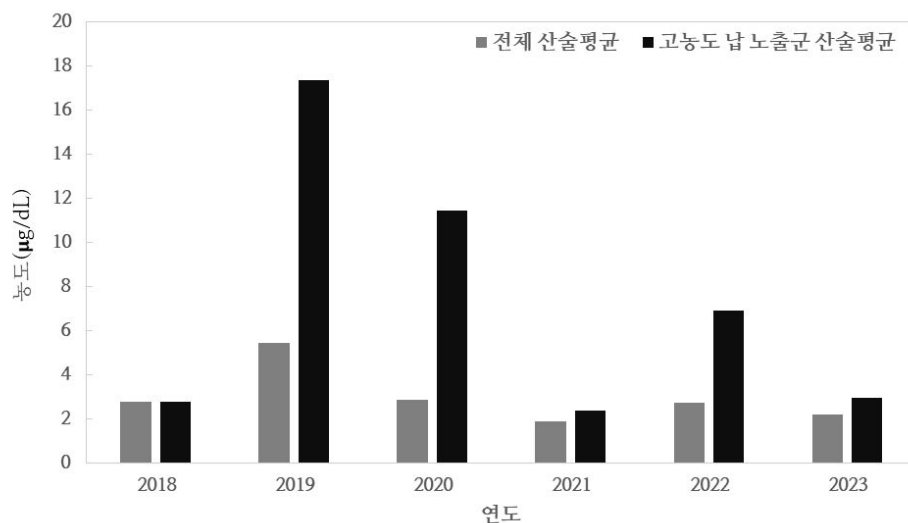
〈표 24〉 납 축전지 제조업체의 공기 중 노출농도

연도	측정 건수	검출 건수	AM (mg/m ³)	SD (mg/m ³)	GM (mg/m ³)	GSD	불검출 건수
2018	35	24	0.0451	0.0470	0.0272	2.8011	11
2019	34	14	0.0065	0.0048	0.0043	3.1370	20
2020	28	28	0.0312	0.0327	0.0167	3.7518	0
2021	17	16	0.0079	0.0061	0.0050	3.1176	1
평균	29	21	0.0242	0.0361	0.0105	3.9888	8

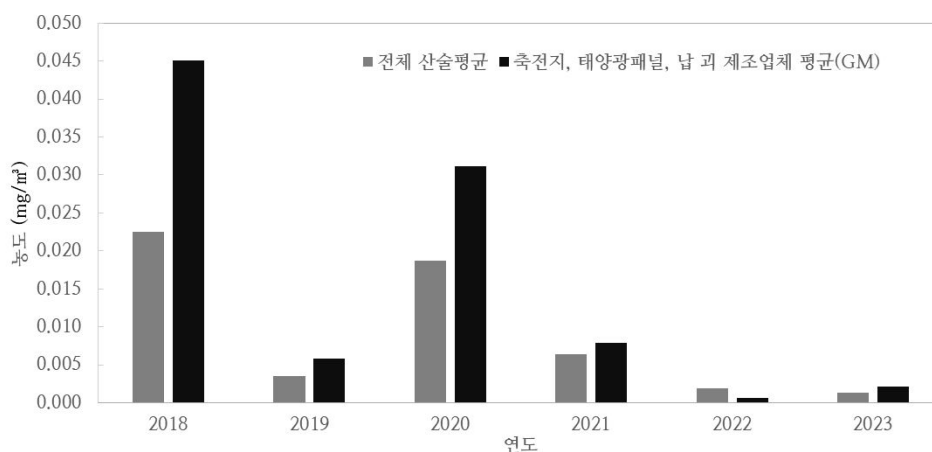
〈표 25〉 태양광 패널 제조업체의 공기 중 노출농도

연도	측정 건수	검출 건수	AM (mg/m ³)	SD (mg/m ³)	GM (mg/m ³)	GSD	불검출 건수
2018	6	0	—	—	—	—	6
2019	18	2	0.0010	0.0004	0.0010	1.5492	16
2020	20	0	—	—	—	—	20
2021	17	0	—	—	—	—	17
2022	30	6	0.0006	0.0004	0.0004	2.6233	24
2023	30	15	0.0012	0.0015	0.0006	3.2237	15
평균	20	4	0.0010	0.0013	0.0006	2.9262	16

고농도 납 노출군과 납 노출 전체군의 데이터를 비교하기 위해 [그림 9]와 [그림 10]에 결과를 도식화하였다. 일부 예외적인 값들이 관찰되었으나, 전반적으로 고농도 납 노출군에서 더 높은 수치가 나타났다. 이는 고농도 납 노출군이 전체 납 노출군에 비해 상대적으로 높은 납 노출 수준을 보이고 있음을 보여준다.



[그림 9] 혈중 납 농도 전체 산술평균과 고농도 납 노출군 산술평균 비교.



[그림 10] 공기 중 납 농도 전체 산술평균과 고농도 납 노출군 산술평균 비교.

제 4 장 결 론

광주광역시와 전라남도 일부 지역의 납 취급 사업장을 대상으로 2018년부터 2023년까지 실시한 특수건강진단과 작업환경측정 데이터에서 혈중 납 농도와 공기 중 납 농도를 추출하여 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 2018년부터 2023년까지의 혈중 납 농도 분석 결과, 기하평균은 $1.31 \mu\text{g/dL}$ (기하표준편차 3.296)로 나타났다. 이 데이터를 바탕으로 산출한 결과, 혈중 납 농도의 ACGIH BEI 기준인 $20 \mu\text{g/dL}$ 를 초과할 확률은 1.1%였으며, 노출기준의 50%인 $10 \mu\text{g/dL}$ 를 초과할 확률은 4.5%로 나타났다.

둘째, 혈중 납 농도가 $20 \mu\text{g/dL}$ 초과 작업자 비율은 연도별로 변화를 보였다. 2018년에는 528명 중 18명(3.4%)이 초과했으며, 이 중 4명은 납 피 생산 사업장, 12명은 전자제품 제조업, 나머지 분석 및 도장 관련 사업장 작업자가 각각 1명이었다. 2019년에는 445명 중 25명(5.6%), 2020년에는 767명 중 26명(3.4%)이 초과했고, 이들은 모두 납 피 생산 사업장 작업자였다. 2020년 말, 납 피 생산 사업장 폐쇄 후, 2021년에는 711명 중 초과자가 없었고, 2022년에는 817명 중 3명(0.4%)이었으며, 2023년에는 초과자가 없었다. 2022년에 $20 \mu\text{g/dL}$ 를 초과하는 3명은 다른 납 피를 생산하는 사업장 작업자들 이었다.

셋째, 공기 중 납 농도의 기하평균은 $1.4 \mu\text{g/m}^3$ (기하표준편차 6.529)로 측정되었다. ACGIH TLV 기준인 $50 \mu\text{g/m}^3$ 의 50% 수준을 초과하는 사업장 수는 연도별로 2018년에 9개소, 2019년에는 0개소, 2020년에는 13개소, 그리고 2021년에는 2개소로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 고용노동부. (2013). 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2013-39호).
- 고용노동부. (2020). 작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시(고용노동부고시 제2020-48호).
- 고용노동부. (2024) 산업안전보건법.
- 김남수, 김진호, 장봉기, 김화성, 안규동, 이병국. (2007). 납 사업장의 공기 중 납 농도 및 납 노출 근로자들의 납 관련 생물학적 노출 지표의 관련성에 관한 조사. 『한국산업위생학회지』, 17(1).
- 문찬석. (2021). 일반인의 납 경구섭취량의 경시적 변화 2008-2018년 국내자료를 중심으로. 『한국환경보건학회지』, 47(1).
- 서종욱, 김병권, 김유미, 최병무, 서상민, 홍영습. (2018). 국민건강영양조사 자료를 활용한 혈 중 납과 카드뮴의 고혈압의 관련성. 『한국환경보건학회지』, 44(4).
- 이상길, 김지혜, 박재오. (2014). 특수건강진단자료를 이용한 납 노출 현황 심층분석. 14.
- 주영경, 권영민, 김성연, 최경호, 이철우, 유승도, 유지영. (2019). 우리나라 성인의 체내 중금속 3종에 대한 노출수준과 주요 인구사회학적 영향요인에 관한 연구 - 제1~3기 국민환경보건 기초조사(2009-2017) 결과 -. 『한국환경보건학회지』, 45(5).
- 질병관리청. (2005~2016). 국민 국민건강영향조사 통계.
- 한국산업안전보건공단. (2019). 납에 대한 작업환경측정·분석 기술지침 (KOSHA GUIDE A-2-2019)

한국산업안전보건공단. (2020). 납과 그 무기화합물 노출 근로자 혈중 납 관리수준 평가지침(KOSHA GUIDE H-207-2020)

한국산업안전보건공단. (2021). 근로자건강진단 실무지침. 한국산업안전보건공단.

허진아. (2012). 거주지와 산업단지간의 거리와 혈 중 납 농도 및 요 중 카드뮴 농도의 상관관계에 관한 연구. 7.

2. 국외문헌

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)
(2024). Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs)

The Japan Society for Occupational Health (2024). Occupational Exposure Limits Based on Biological Monitoring in the Recommendation of occupational exposure limits (2024-2025) The Japan Society for Occupational Health (May, 22, 2024)

ABSTRACT

Study on Blood Lead Levels in the Workers Medical
Examination Data and Airborne Lead Concentration in
the of Workplace Measurement Data in Jeonnam Region

Park, Jung-Seop

Major in Industrial Hygiene Engineering

Dept. of Mechanical Systems Engineering

The Graduate School

Hansung University

This study analyzed the airborne lead concentration and blood lead levels based on data from workplace environment measurements and special health examinations conducted at lead-handling workplaces in Gwangju Metropolitan City and Jeonnam region from 2018 to 2023.

From 2018 to 2023, the geometric mean(GM) of blood lead levels was 1.31 $\mu\text{g/dL}$ (GSD 3.296). The probability of exceeding the blood lead standard of 20 $\mu\text{g/dL}$ was 1.1%, while the probability of exceeding 10 $\mu\text{g/dL}$, 50% of the exposure standard, was 4.5%. In 2018, 18 out of 528 individuals (3.4%) had blood lead levels exceeding 20 $\mu\text{g/dL}$. Among them, 4 were engaged in lead ingot production, 12 in electronics

manufacturing, and 1 each in analysis and painting-related businesses. In 2019, 25 out of 445 individuals (5.6%) exceeded 20 µg/dL, and in 2020, 26 out of 767 individuals (3.4%) exceeded the standard. All cases during these years were associated with lead ingot production workplaces. Following the closure of the lead ingot production facility at the end of 2020, there were no individuals exceeding 20 µg/dL in 2021 among 711 participants. In 2022, 3 out of 817 participants (0.4%) exceeded 20 µg/dL, while in 2023, none of the 1,175 participants exceeded this level. The 3 cases in 2022 were also linked to other lead ingot production workplaces.

The geometric mean of airborne lead concentrations was 1.4 µg/m³ (GSD 6.529). The number of workplaces exceeding the ACGIH TLV standard of 25 µg/m³ was 9 in 2018, none in 2019, 13 in 2020, and 2 in 2021.

【Keywords】 blood lead levels, airborne lead concentration, lead-acid batteries, lead ingot manufacturing