

퇴직근로자의 혈장 중 납 농도와 생체지표간의 상관성 분석

산업안전보건연구원 화학물질센터 독성연구팀 연구원 / **이성배**



서론

납(Cas No.: 7439-92-1) 또는 연(鉛)은 영어로 ‘lead’이며, 라틴어 Plumbum에서 기원하여 기호는 ‘Pb’이고, 푸르스름한 빛 또는 흰색의 금속이나 공기 중에 산화 변색되어 흐릿한 회색이 된다. 또한 비중이 11.34로 금속 가운데 가장 무거우면서도 연하며, 전성(展性)이 크나 연성(延性)은 작다.

공기 중에서는 표면에 튼튼한 산화 피막을 만들어 안정하며 비철금속 중 가장 많이 사용되고 있다. 전 세계 납의 생산은 연간 약 9백만 톤 정도로 추정하고 있으나 실제 사용량은 재사용으로 인하여 정확히 알 수는 없다.

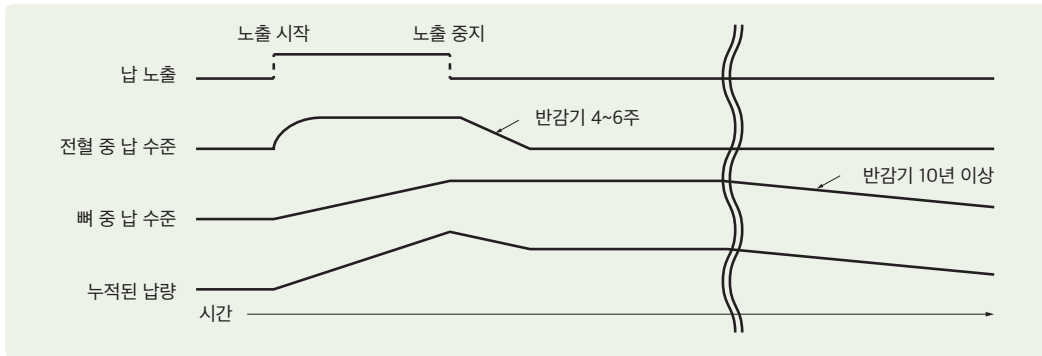
납의 국내 취급현황을 살펴보면 납 및 무기화합물 그리고 실납을 합한 연간 제조량이 약 146 천 톤이며 취급량은 약 12,460 천 톤이다(안전보건공단, 2009). 산업체에서 납의 전체 이용량 중 60%는 축전지 제조, 24%는 각종 화학반응, 제조공정의 안정제 및 산화제, 약 9%는 유리 제조, 2%는 페인트류 제조에 사용되고 있으며 기타 전선차폐, 연/경화제, 도금, 용접 등 매우 광범위한 분야에 걸쳐서 사용되고 있다(환경부, 2007). 이중 축전지에 사용한 납은 사용된 후 약 80%가 2차 제련과정을 거쳐 회수된다. 국내에서는 1,344개 사업장에서 약 7,000명의 근로자가 납에 노출되고 있는 것으로 조사되었다(안전보건공단, 2009).

시간변화에 따른 체내 납 농도 수준의 변화를 <그림 1>에 나타내었다. 납 노출이 시작되면 전혈 중 납 농도가 어느 수준까지 증가하다가 노출이 중지되면 다시 회복되는데, 전혈 중 납 농도의 반감기는 4~6주

이므로 최근의 납 노출수준을 잘 반영하고, 납의 독성과 납 중독을 평가하는 대표적인 지표로 이용되고 있다. 하지만 전혈 중 납 농도는 반감기가 짧기 때문에 단기간 노출지표로는 유용하나 체내의 축적된 납 부담지표로서는 부족하다(김화성 등, 2001).

납은 구조적으로 칼슘과 비슷하여 뼈 조직 내의 칼슘 대신 침착되는데, 이 골중 납은 납 노출이 되면 계속적으로 뼈 내에 침착되어 그 양이 증가하게 되고 노출이 중지되어도 긴 반감기를 가지고 서서히 방출되어 장기간 지표로 활용이 가능하다. Cake 등(1996)은 골중 납 중 종골(calcaneus)의 경우가 경골(tibia)의 경우보다 반감기가 상대적으로 더 짧아 단기간의 내부 노출 영향을 줄 수 있다고 하였다.

지주골(trabecular bone) 또는 종골은 압축력만 있으면 되는 내부의 스펀지 같은 척추뼈 등으로 반감기가 2~3년 정도이고, 겉뼈로 불리는 피질골(cortical bone) 또는 경골은 외부에 벽을 이루거나 활동을 할 수 있는 큰 장력을 가진 두개골, 팔뼈, 다리뼈 등으로 반감기가 10~20년이다. 이는 지주골이 더 구멍이 나기 쉽고 표면적이 넓기 때문에 뼈 교체율이 피질골보다 빨라서 지주골에 존재하는 납은 피질골보다 상대적으로 빨리 혈액으로 나올 수 있다(김남수 등, 2006). 이렇게 골 조직 내의 납이 혈액으로 다시 나오게 되면 납이 활성화되어 골 조직 내의 납이 생체 내부에서 납 노출의 발생원 역할을 함으로써 독성학적으로 의미를 가지게 되는 것이다(김화성 등, 2001).



<그림 1> 시간에 따른 체내의 납 농도 변화

최근에 납 노출 사업장에서 오랫동안 종사하였다가 퇴직하는 근로자들이 늘어나고 있고 혈액 중 혈장이 골 중 납의 이동수단으로 여겨지고 있기 때문에 퇴직 근로자들에 대한 골 중 납 농도, 전혈 중 납 농도, 그리고 혈장 중 납 농도에 대한 상관관계 연구의 필요성이 증가하고 있다. 퇴직 근로자들의 전혈 중 납 농도 수준이 낮다고 하나 만성지표인 뼈납 부담률이 결코 낮다고 볼 수 없기 때문에 장기간 직업적으로 노출된 후 퇴직한 근로자들을 대상으로 혈장 중 납 농도가 만성 지표로 활용 가능한 지에 대한 상관성을

밝히는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 골 중 납의 이동수단으로 여겨지는 혈장 중 납의 생물학적 지표로서 활용성을 평가하고 더 나아가 혈장 중 납 농도의 납 만성 중독지표 가능성을 확인하여 납 중독에 효과적으로 대응하는데 기여하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상

납 노출 사업장의 근무경력이 있는 퇴직한 근로자 66명을 대상으로 하였다. 연구 참여를 위한 동의서에 서명한 경우에 한하여 대상자로 선별하여 연구에 활용하였으며, 혈액의 연구목적 이용을 위하여 연구윤리위원회의 승인을 받았다. 기타 개인관련 연구변수인 성별, 근무 연수, 음주 및 흡연 여부 등은 표준화된 설문지를 이용한 결과를 활용하였다.

2. 비교지표

납 관련 생물학적 독성지표인 경골 중 납 농도, 전혈 중 납 농도, 혈중 ZPP 농도, 그리고 요중 δ -aminolevulinic acid (ALA) 배설량, 혈색소량, 적혈구 용적률 등은 순천향대학교 환경산업의학연구소의 자료를 활용하였다.

3. 자료의 분석

자료에 대한 통계분석은 SAS version 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 과거 직업적으로 납에 노출된 퇴직 근로자의 납 노출지표, 혈장 중 납 농도 등에 대한 차이를 t -검정하였다. 또한 납 노출지표, 혈장 중 납 농도 등의 검사결과의 상관성을 보기 위하여 혈장 중 납 농도를 종속변수로 정하고 독립변수로 전혈 중 납 농도, 혈중 ZPP 농도, 요중 δ -ALA 배설량, 적혈구 용적률, 혈색소량, 흡연, 음주, 그리고 퇴직 근로자의 근무 연수의 영향에 단순상관 분석을 수행하였다. 아울러, 혈장 중 납 농도를 종속변수로 정하고 독립변수로 연령, 성별, 체질량지수, 흡연, 음주, 그리고 퇴직 근로자의 근무 연수 영향에 대한 다중회귀분석을 실시하였다.

연구결과

<표 1>은 납 노출 사업장에서 근무 경력이 있는 퇴직 근로자 66명을 대상으로 납 농도를 측정하

결과이며, 흡연과 음주여부로 구분하였고 경골 중 납 농도, 혈중 ZPP 농도, 요중 δ -ALA 배설량, 전혈 중 납 농도 등과 혈장 중 납 농도와의 상관관계를 분석하였다.

퇴직 근로자들의 혈장 중 납 농도의 기하평균은 226.06 ng/L이었다. 흡연과 음주 여부에 따라 비교하면 흡연과 음주를 하는 퇴직 근로자들에서 424.03 ng/L를 나타내었으며, 흡연은 하지만 금주를 하는 퇴직 근로자는 1명으로 혈장 중 납 농도가 445.8 ng/L이었고, 금연을 하지만 음주를 하는 퇴직 근로자 집단은 297.10 ng/L이었다. 그리고 금연 및 금주를 하는 퇴직 근로자들의 혈장 중 납 농도가 201.26 ng/L로 가장 낮은 수치를 나타내었다.

납 노출 사업장에서 근무경력이 있는 근로자 전체 집단의 혈장 중 납 농도는 경골 중 납 농도가 0.612, 전혈 중 납 농도가 0.768로 강한 양의 상관성을 보였다. 그러나 혈중 ZPP 농도, 요중 δ -ALA 배설량과는 0.113과 0.065로 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 또한 흡연과 음주여부에 따라 비교한 상관성은 혈장 중 납 농도와 경골 중 납 농도의 경우에 금연과 음주하는 집단에서 0.753으로 가장 높았으며, 흡연과 음주하는 집단에서는 0.617로 역시 높은 상관성을 나타내었고 금연과 금주하는 집단에서는 0.154로 상관성이 낮았다.

혈장 중 납 농도와 전혈 중 납 농도의 관계에서는 흡연 및 음주하는 집단에서의 상관관계가 0.946으로 전체집단보다 매우 강한 상관성을 나타내었으며, 금연 및 음주하는 집단에서 0.841로 역시 높은 상관성을 나타내었고 금연 및 금주하는 집단에서 0.482의 상관성을 나타내었다.

<표 1> 납 노출 사업장에서 퇴직한 근로자의 생체지표 납 농도 결과

Variables	Unit	r(vs Pb in plasma)	Geo Mean \pm SD	Median	Max	Min
Total (exposed to lead): 66						
Tibia	mg/kg	0.612	27.15 \pm 32.92	23.00	175.00	-10.00
ZPP	μ g/L	0.113	53.81 \pm 1.28	54.50	89.00	28.00
ALA	mg/L	0.065	1.79 \pm 1.68	2.15	4.03	0.38
PB	μ g/dL	0.768	4.57 \pm 1.73	4.21	17.82	1.94
PP	ng/L	1.000	226.06 \pm 1.64	212.25	965.50	96.78
Smoking and drinking 4/66						
Tibia	mg/kg	0.617	83.75 \pm 61.55	64.50	173.00	33.00
ZPP	μ g/L	-0.693	42.31 \pm 15.41	42.00	65.00	28.00
ALA	mg/L	-0.921	2.53 \pm 0.59	2.59	3.16	2.00
PB	μ g/dL	0.946	11.01 \pm 3.84	11.82	15.86	6.69
PP	ng/L	1.000	424.03 \pm 220.81	469.65	695.30	230.90
Smoking and no-drinking 1/66						
Tibia	mg/kg	-	12			
ZPP	μ g/L	-	51			

ALA	mg/L	-	4.03			
PB	μg/dL	-	5.77			
PP	ng/L	-	445.8			
No-smoking and drinking 10/66						
Tibia	mg/kg	0.753	38.10±51.80	26.00	175.00	0
ZPP	μg/L	0.611	49.34±14.31	46.50	89.00	41.00
ALA	mg/L	-0.468	2.22±0.85	2.22	3.93	1.04
PB	μg/dL	0.841	5.32±5.86	4.35	17.82	2.36
PP	ng/L	1.000	297.10±314.93	223.95	965.50	124.60
No-smoking and no-drinking 51/66						
Tibia	mg/kg	0.154	20.86±19.31	22.00	66.00	-10.00
ZPP	μg/L	0.095	55.84±12.21	60.00	82.00	28.00
ALA	mg/L	0.129	1.64±0.76	2.01	3.57	0.38
PB	μg/dL	0.482	4.12±2.25	4.01	13.49	1.94
PP	ng/L	1.000	201.26±81.12	201.00	441.10	96.78

ZPP: zinc protophorphyrin, ALA: δ-Aminolevulinic acid,
PB: Pb concentration in Whole Blood, PP: Pb concentration in plasma

〈표 2〉는 납 노출 사업장에서 근무 경력이 있는 퇴직 근로자들에 대한 연구변수들의 상호관련성을 보기 위하여 경골 중 납 농도, 혈중 ZPP 농도, 요 중 δ-ALA 배설량, 전혈 중 납 농도, 혈색소량, 그리고 적혈구 용적률, 흡연 그리고 음주 등과 혈장과의 Pearson의 상관관계분석을 수행한 결과이다. 납 노출지표 중 전혈 중 납 농도는 경골 중 납 농도와 0.764의 유의한 상관관계를 보였다($p<0.01$).

혈색소량의 경우에는 경골 중 납 농도, 혈 중 ZPP농도, 전혈 중 납 농도와 0.246, -0.282, 0.378의 유의성 있는 상관성을 보였다(각각 $p<0.05$, $p<0.05$, $p<0.01$). 적혈구 용적률의 경우에는 경골 중 납 농도, 전혈 중 납 농도, 그리고 혈색소량과 0.307, 0.380, 0.948의 유의성 있는 상관관계를 나타내었다(각각 $p<0.05$, $p<0.01$, $p<0.01$). 또한 혈장 중 납 농도의 경우에는 경골 중 납 농도, 전혈 중 납 농도, 혈색소량, 적혈구 용적률과 0.612, 0.768, 0.309, 0.325의 유의한 상관관계를 보였다(각각 $p<0.01$, $p<0.01$, $p<0.05$, $p<0.01$).

이외에 흡연, 음주, 근무 연수에 따라 유의한 상관관계가 있는지 확인한 결과, 흡연의 경우에 혈중 ZPP농도를 제외하고 모든 변수와 $p<0.05$ 이상의 유의성을 나타내었으며, 이 중에서 경골 중 납 농도, 전혈 중 납 농도, 혈색소량, 혈장 중 납 농도와 더 유의한 상관관계($p<0.01$)를 나타내었다.

음주의 경우에는 모든 변수와 $p<0.05$ 이상의 유의성을 나타내었으며, 경골 중 납 농도, 전혈 중 납 농도, 혈색소량, 혈장 중 납 농도, 그리고 흡연과 더 유의한 상관관계($p<0.01$)를 나타내었다. 마지막으로 근무 연수에 따른 유의성은 경골 중 납 농도, 전혈 중 납 농도, 혈장 중 납 농도, 그리고 흡연과 모두 $p<0.01$ 의 유의한 상관관계를 나타내었다.

<표 2> 퇴직근로자의 생체지표간 상관성 분석 결과

Variables	unit	ZPP	ALA	PB	HGB	HCT	PP	smoking	drinking	W.Y
Tibia	r	.113	-.049	.764**	.246*	.254*	.612**	.370**	.381**	.471**
	p	.365	.694	.000	.046	.040	.000	.002	.002	.000
ZPP	r		-.131	.001	-.282*	-.206	.016	-.217	-.262*	.023
	p		.294	.993	.022	.097	.895	.080	.034	.854
ALA	r			.022	-.075	-.128	.065	.305*	.270*	.054
	p			.862	.548	.307	.607	.013	.028	.667
PB	r				.378**	.380**	.768**	.409**	.424**	.568**
	p				.002	.002	.000	.001	.000	.000
HGB	r					.948**	.309*	.260*	.382**	.014
	p					.000	.012	.035	.002	.913
HCT	r						.325**	.279*	.313*	.055
	p						.008	.024	.011	.663
PP	r							.348**	.464**	.321**
	p							.004	.000	.009
smoking	r								.412**	.315**
	p								.001	.010
drinking	r									.176
	p									.158

ZPP: zinc protophorphyrin, ALA: δ-Aminolevulinic acid, PB: Pb concentration in Whole Blood, HGB: Hemoglobin, HCT: Hematocrit, PP: Pb concentration in plasma, W.Y: Work year, r: pearson correlation coefficients

* p<0.05, ** p<0.01

고찰 및 결론

본 연구에서는 순천향대학교 환경산업의학연구소 혈액은행에서 제공받은 퇴직 근로자들의 혈장 시료를 활용하여 혈장 중 납 농도와 변수들 사이의 상관성을 비교하였다. 혈장 중 납 농도는 전반적으로 혈중 ZPP 농도와 전혈 중 납 농도와 높은 상관성을 보였으며, 이 중에서 흡연 및 음주하는 집단에서의 혈장 중 납 농도와 혈중 ZPP 농도의 상관성이 전체 집단보다 높게 나타났다.

조혜미 등(2009)은 흡연 및 음주유무에 따른 전혈 중 납 농도는 흡연군, 음주군에서 높은 농도를 나타냈다고 하였으며, 박동욱 등(1996)은 직업적으로 납에 노출된 근로자들의 전혈 중 납 농도와 ZPP 농도와의 관계연구에서 전혈 중 납 농도와 혈중 ZPP 농도는 흡연, 성별에 따라 차이가 없었다고 하였다. 이종구 등(1998)은 납 취급 근로자들에서 혈중 ZPP 농도의 경우 음주군 보다는 비음주군 일 때 유의하게 높다고 하였다. 이는 조혜미 등(2009)이 밝힌 바와 같이 성별, 연령, 흡연의 여부가 납 농도에 영향을

미치기는 하지만, 좀 더 정확한 원인 규명을 위해서 지역의 환경적인 측정, 개인 생활습관에 대한 정확한 자료 및 노출군과 대조군의 대상 선정 기준 확인 등의 원인 분석이 필요하다.

본 연구에서 납 노출 사업장에서 근무 경력이 있는 퇴직 근로자들의 적혈구 용적률(HCT: hematocrit)은 혈색소량(HGB: hemoglobin)과 유의성 있는 높은 상관관계($r=0.948$, $p<0.01$)를 보였으며, Koyashiki 등(2010)이 적혈구 용적률과 혈색소량이 높은 상관성($r_s=0.837$)을 보인다고 한 연구와 동일한 결과를 얻었다. 김남수 등(2006)은 경골 중 납 농도는 전혈 중 납 농도와 0.664의 유의한 상관관계가 있다고 하였는데, 이는 전혈 중 납은 혈액 내에 있는 혈장을 통하여 여러 표적장기로 이동하여 독성 작용을 나타내기 때문이며, 전혈 중 납 농도의 증가는 표적장기 독성 작용 발현의 선행조건이라고 한 연구를 통하여 볼 때(김남수 등, 2006), 세 지표 tibia(경골), PB, PP는 내부 근원인 골에서 납의 내부 노출에 영향을 미치는 지표로서 서로 연관성이 클 것이다.

연구결과 퇴직 근로자들에서 혈장 중 납 농도와 전혈 중 납 농도의 상관성은 아주 높은 유의한 상관관계를 나타내었으며, 경골 중 납 농도와 전혈 중 납 농도, 혈장 중 납 농도와 상관관계에서도 높은 유의한 상관성을 나타냈었다. 이들의 상관관계는 경골 중 납이 내부 근원 역할을 하며, 혈액을 통하여 인체 조직으로 이동한다는 내용을 뒷받침 한다. 아울러 경골 중 납 농도가 혈색소량과 적혈구 용적률과는 상관성이 낮고, 혈장 중의 납 농도와 전혈 중의 납 농도와는 상관성이 높은 것을 볼 때, 뼈로부터 내부 노출된 납이 혈액 중 적혈구보다는 혈장을 통하여 이동한다는 선행연구를 뒷받침하는 중요한 결과이다.

경골 중 납은 인체 내에서 납 순환의 내부 근원 역할을 하며 내부 순환을 통하여 인체 조직에 영향을 주게 된다. 다만, 납 순환의 내부 근원 역할은 뼈 교체율 증가 또는 감소 요인으로 인하여 인체에 영향을 주는 정도가 다르게 나타난다. 그 원인은 경골 중 납 교체율은 유년기, 임신과 수유, 치매, 골다공증, 갑상선과다증 같은 내분비 질환, 그리고 위장질환, 골수질환 등 기타 병적인 상태로 인하여 급속하게 증가할 수 있다. 이와 반대로 운동과 식이칼슘, 비타민 D 섭취 등을 통하여 뼈 교체율을 감소시켜 인체에 영향을 완화시킬 수 있다(Hu 등 1998; Telléz-Rojo 등, 2004). 인체가 내부 노출 즉, 골 중 납이 체내 조직으로 방출되는 속도가 빠를 경우 급성 납 중독에 빠질 위험성이 크게 되고, 심할 경우 사망에도 이를 수 있다.

이것을 볼 때 반대로 골 중 납이 조직으로 방출되는 속도를 줄인다면 인체 조직에 납 독성 영향을 완화시킬 수 있다. 따라서 이러한 요인들의 영향과 더불어 혈장 중 납 농도와 경골 중 납 농도를 비교함으로써 경골 중 납이 이동하는 경로를 추적한다면 납 독성 영향에 대한 원인 분석을 할 수 있을

것이며, 더 나아가 내부 순환으로 인한 독성 영향에 대응도 가능할 것이다.

결론적으로, 본 연구를 통해 혈장 중 납이 만성 독성지표로서의 활용 가능성을 확인함으로써 만성노출지표로 활용할 수 있는 기반을 마련하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다. 📌

참고문헌

1. 김남수, 김진호, 김화성, 김희선, 이성수, Andrew C. Todd, 이병국 (2006) 퇴직한 납 취급 근로자들에서 골밀도 저하와 경골 납량이 혈중 납량에 미치는 영향. 한국산업위생학회지 16(4), 324-333
2. 김화성, 이성수, 김용배, 황보영, 리갑수, 안규동, 장봉기, 이병국 (2001) 연작업자들에서 혈중 및 골중 연량과 조혈기능 검사지표 사이의 관련성에 ALAD 다형질성이 미치는 영향. 대한산업의학회지. 13(1), 75-86
3. 박동욱, 백남원, 최병순, 김태균, 이광용, 오세민, 안규동 (1996) 직업적으로 납에 노출된 근로자들의 혈액 중 납과 ZPP농도와의 관계. 한국산업위생학회지 6(1), 88-96
4. 이종구, 김용배, 리갑수, 황규윤, 김화성, 이성수, 안규동, 이병국 (1998) 흡연과 음주가 연 취급 근로자들의 건강수준에 미치는 영향. 예방의학회지 31(4), 708-718
5. 조혜미, 조태진, 양원호, 이종화, 손부순 (2009) 일부공단지역 주민의 혈 중 납 농도에 관한 연구. 한국환경보건학회지 35(2), 86-94
6. 안전보건공단(2009) 작업환경실태조사: 납. 안전보건공단
7. 환경부 (2007) 납 위해성평가 보고서. 환경부
8. Cake KM, Bowins RJ, Vaillancourt C, Gordon CL, McNutt RH, Laporte R, Webber CE and Chettle DR (1996) Partition of circulating lead between and red cells is different for internal and external sources of lead, American Journal of Industrial Medicine 29, 440-445
9. Hu H, Rabinowitz M and Smith D (1998) Bone lead as a biological marker in epidemiologic studies of chronic toxicity: conceptual paradigms, Environmental Health Perspectives 106(1), 1-8
10. Koyashiki GAK, Paoliello MMB, Matsuo T, Oliveira MMB, Mezzaroba L, Fátima Carvalho M, Sakuma AM, Turini C, Vannuchi MTO, Barbosa CSD (2010) Lead levels in milk and blood from donors to the breast milk bank in southern Brazil, Environmental Research 110, 265-271
11. Telléz-Rojo MM, Hernández-Avila M, Lamadrid-figueroa H, Smith D, Hernández-Cadena L, Mercado A, Aro A, Schwartz J and Hu H (2004) Impact of bone lead and bone resorption on plasma and whole blood lead levels during pregnancy, American J. Epidemiology 160, 668-678