

고철 재활용에서의 집단적인 납 고노출 사례

양산부산대학교병원 직업환경의학과, 부산대학교 의학전문대학원 예방의학 및 산업의학교실¹⁾

구본학 · 김영기 · 이상길¹⁾ · 강동묵¹⁾ · 김종은

— Abstract —

Detection of Cases and a Cause of Lead Exposure in Korean Steel Company

Bon-Hak Koo, Young-Ki Kim, Sang-Gil Lee¹⁾, Dong-Mug Kang¹⁾, Jong-Eun Kim

*Department of Occupational and Environmental Medicine, Pusan National University Yangsan Hospital,
Department of Preventive and Occupational Medicine, School of Medicine, Pusan National University¹⁾*

Background: We report cases of high lead exposure in a Korean steel manufacturing company and a likely cause for these cases.

Case report: Neurological examinations, neurobehavioral tests, blood tests, and urine tests were performed to detect an association between high lead exposure and physical symptoms for workers in a steel manufacturing company. In order to determine the cause of high lead exposure, the work process and environment was assessed. The highest lead exposure was during the work process. We found that the interior of an oil storage tank was coated with lead-containing paint, leading to severe exposure during the cutting process. In two observations, 4 of 12 workers diagnosed with occupational disease were found to have high exposure to lead from the storage tank and three had increased beta-2 microglobulin levels in the blood (indicative of urinary tract damage).

Conclusions: Lead management, including routine measurements of the working environment and examinations of lead concentrations in workers, are needed in the Korean scrap metal industry. In addition, rules requiring workers to wear personal protective equipment and receive education about lead exposure should be strictly enforced.

Key words: Lead exposure, Recycling scrap

서 론

산업장에서는 4만 여종의 화학물질과 200만 여종의 혼합물질이 사용되고 있으나 이들 대부분이 인체 영향을 충분히 검증하지 않은 상태에서 실용화되고 있다. 따라서 산업현장의 많은 노동자들이 유기용제를 비롯한 중금속, 농약 및 유해가스 등에 급성¹⁾ 및 만성적으로 노출될 가능성이 있다²⁾. 이중에 납은 비철금속으로서 산업장에서 주

로 차량용 축전지 제조, 전선 피막, 방청 도료의 원료 등으로 흔히 사용되고 있다. 전 세계적으로는 자동차용 축전지에 가장 많이 쓰이고 있으며 특히 미국에서는 납사용의 2/3가 축전지로 쓰인다³⁾. 이렇게 다양한 사업장에서 이용되는 납 중에 1/3이상은 재생을 통해 재활용되기도 한다. 납은 흙, 분진 등 여러 형태로 노출되어 납 관련 작업을 하는 동안 중추신경계와 조혈기계, 비뇨기계 등의 건강 문제를 유발한다.

〈접수일: 2012년 7월 20일, 1차수정일: 2012년 9월 21일, 2차수정일: 2012년 10월 12일, 3차수정일: 2012년 10월 19일, 채택일: 2012년 10월 19일〉
교신저자: 김 영 기 (Tel: 010-6858-9321) E-mail: mungis@chol.com

과거 국내에서도 납을 취급하는 사업장에서 지속적으로 납중독 환자가 발견되어 왔다. 대표적으로 1972년 진해 축전지에서 국내 처음으로 본격적인 납중독 조사가 있었고, 장항제련 납중독(1978)⁴⁾, 반월 납중독(1983)⁵⁾, 축전지 회사 집단 납중독 사건(1986)⁶⁾ 등이 있었다. 그러나 최근의 국내에서는 납을 주원료로 제품을 생산하는 다양한 제조업에서 납 노출에 대해 엄격한 관리가 이루어지고 있다. 특히 2000년을 기점으로 납 취급 노동자의 혈중 납 농도는 21~24 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 하향 안정화 추세를 보이고 있다⁷⁾. 하지만 지금도 여전히 납중독 사례가 발생하고 있으며, 이들 중 대부분은 이차 제련 업종 과 관련되어 있다. 이는 이차 제련 공정 자체에서 납 노출이 많고 적절한 보호시설이 부족하기 때문이며 대부분이 5인 미만의 사업장으로서 법적 관리를 받지 못하는 점도 이유일 수 있다. 또한 이차 제련업체들의 노동자는 유사 직종에서 약 20년 넘게 근무한 사람이 많으므로 장기적으로 납 노출의 가능성이 있다⁸⁾.

본 사례의 경우 기존의 고노출이 있다고 알려진 1차 납 원료 제조 산업이나 2차 납 제련 공정이 아닌 고철을 녹여 철강을 생산하는 과정에서 납 고노출이 발생하였다. 해외에서는 고철을 사용하는 사업장에서의 납노출에 대한 보고가 몇 건 있었지만^{9,10)} 국내에서는 이와 같은 경로를 통한 납의 고노출이 보고된 사례가 없었으며, 특수 검진 및 작업 환경 측정 등 납 노출에 대한 관리 체계 또한 부족한 실정이다. 따라서 이 사례에서는 작업장 내 집단 납 노출이 어떻게 발생되었는지를 밝히고자 하였고 혈중 납 농도에 따른 관련 증상 여부를 알아보하고자 하였다.

증 례

대상: 납에 노출된 노동자들은 주로 고철을 녹여서 초박강판(두께 0.2 mm 미만, 폭 5 mm) 소재 제품을 생산, 유통하는 철강 압연 제조업체의 직원들이다.

전체 사업장에는 총 25명이 근무하고 있었으며, 혈중 납이 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상으로 나타난 12명은 모두 남자이며 평균 52.6세였다. 연령별로 50대 미만은 3명으로 27~35세의 범위 내에 있고, 50대 이상은 9명으로 54~59세 범위에서 4명, 60~69세 범위에서 5명으로 나타났다. 이들 중 파키스탄 이주노동자는 2명이었으며, 이들의 연령은 30세 미만이었다. 근무기간은 평균 4년 2개월이지만 34년의 장기 근무자를 제외하고 평균 1년 1개월로 비교적 근무기간이 짧았다. 근무기간에 따라 1년 미만은 5명, 1~2년 미만은 6명, 2년 이상은 34년 근무의 1명으로 나타났다.

경과: 상기 사업장에서의 2012년 상반기 작업환경측정 결과, 대기 중 납이 고용노동부의 작업환경측정 노출 기

준치인 0.05 mg/m^3 를 초과하였고, 특수검진에서도 노동자들 중 일부에서 혈중 납 농도가 높게 나왔다. 따라서 고용노동부는 창원시 다른 검진 기관에 특수검진을 의뢰하였다. 해당 검진 기관은 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상의 혈중 납 농도를 기준으로 12명의 노동자를 유소견자로 판정하였다. 이에 고용노동부가 양산소재 모 대학병원에 임시건강진단을 의뢰하였고 2012년 3월 6일 추가 1차 혈중 납 농도를 측정하였다. 2012년 4월 16일에서 5월 8일에 걸쳐 원내에서 유소견자 12명에 대해 혈액검사와 소변검사를 비롯한 신경학적 검사, 신경행동학적 검사를 실시하였다. 이후 2012년 5월 22일에 혈중 납 농도에 대한 3차 추적 검사를 시행하였다.

작업환경 측정분석: 작업공정은 총 25명의 노동자가 산소절단, 샤링, 가열로, 압연 및 커팅, 냉각, 포장으로 나누어 이뤄진다. 산소절단 과정은 4명으로 폐조선강관, 강관파일, H빔 등의 고철을 크게 산소절단 하는 과정이다. 샤링 과정은 3명의 노동자가 산소절단 후의 소재를 필요에 맞게 크기 절단하는 과정이다. 그 다음 가열로에서 2명이 근무하며 절단된 소재를 가열한다. 압연 및 커팅 공정은 10명이 압연하여 철근을 성형한 후 커팅기를 이용하여 절단한다. 마지막으로 냉각 후 생산된 철근을 포장하는 작업에 6명이 작업한다.

납 고노출자 12명을 작업 공정 별로 보면, 산소절단 작업 4명(100%), 샤링 작업 1명(33%), 가열로 작업 2명(100%), 압연 및 커팅 작업에서 3명(30%), 냉각, 포장 작업으로 2명(33%)으로 분포되어 있다.

작업장 내 납 발생의 원인은 페인트로 도포된 중유저장탱크로 추정되었고 이를 검증하기 위하여 노동자들의 혈중 납 농도가 기준치 이상을 초과한 시기인 2012년 2월 23일을 전후로 하여 작업환경 측정결과를 비교하였다. 특히 2012년 3월 8일 해당 소재를 사용하지 않는 조건에서 작업장 내 납 농도의 변화를 측정하였다. 중유저장탱크 소재는 2월23일부로 모두 소진되어 이후로는 사용되지 않고 있으며, 현재 페인트가 도포되지 않은 순수 고철 소재만 원료로 사용되고 있었다.

작업환경 측정결과를 비교해 보면, 2011년 6월과 12월, 2012년 3월의 작업장 내 납 농도의 평균치는 각각 0.0145 mg/m^3 , 0.006 mg/m^3 , 0.0071 mg/m^3 로 나타났다. 2012년 2월 23일에 측정된 작업장 내 납 농도는 평균 0.0409 mg/m^3 로 이전이나 이후의 결과에 비하여 3~7배 정도 높은 것으로 나타났다. 특히 2012년 2월의 측정에서 가열로의 경우, 납 농도가 0.1857 mg/m^3 까지 나타났다. 이상의 결과로 추정해 볼 때 본 사업장의 노동자들은 중유탱크를 절단하거나 녹이는 공정에서 중유 탱크의 페인트 성분으로 인하여 납에 노출되었을 것으로 판단된다(Table 1).

Table 1. Airborne lead concentration in the workplace (mg/m³)

Department	Date of measurement			
	2011.6.16	2011.12.12	2012.2.23	2012.3.8
Oxygen cutting	0.0009	0.0020	0.0285	0.0018
Cutter			0.0012	0.0029
Heating device inlet	0.0109	0.0010	0.0233	0.0011
	0.0013	0.0010	0.0354	0.0088
Heating device outlet			0.0291	0.0221
Rolling/Cutting	0.0014	0.0200	0.1857	0.0015
			0.0118	0.0059
Mean	0.0145	0.0060	0.0122	0.0123
Range	0.0009-0.0109	0.0010-0.0200	0.0409	0.0071
			0.0012-0.1857	0.0011-0.0221

(Time Weighted Average, TWA: 0.05 mg/m³)**Table 2.** Blood lead concentration and abnormal blood findings of workers

Department	Name	Blood lead (μg/dl)			
		2012.2.20	3.6	4.16-5.8	5.22
Heating Device	Worker 1	48.05	52.02	28.00	22.38
Oxygen cutting	Worker 2	67.13	.	50.50	Retirement
Rolling	Worker 3	57.61	66.94	43.00	31.51
Oxygen cutting	Worker 4	70.89	69.86	52.50	Retirement
Oxygen cutting	Worker 5	79.21	77.85	56.70	Retirement
Oxygen cutting	Worker 6	45.20	44.09	23.10	Retirement
Sharing	Worker 7	41.89	36.69	11.16	Retirement
Rolling	Worker 8	56.97	65.13	29.00	Retirement
Heating Device	Worker 9	58.49	61.44	33.00	25.31
Rolling	Worker 10	47.66	47.71	24.50	19.20
Paving	Worker 11	40.73	38.32	21.07	15.78
Paving	Worker 12	40.66	37.71	19.61	14.77

혈액검사와 소변검사: 생물학적 노출지표, 조혈기계, 비뇨기계를 평가하기 위해서 혈액검사와 소변검사를 하였다. 급성 납중독의 생물학적 노출지표 검사인 혈중 납 농도는 2002년 고용노동부의 가이드라인을 기준으로 평가하였다¹¹⁾. 이에 따라 혈중 납 농도가 40 μg/dl 이상이면 직업적 유소견자로, 30 μg/dl 이상이면 요관찰자로 판정하였다. 조혈기계 평가를 위하여 일반혈액검사를 시행하였고, 철 결핍성 빈혈과 감별하기 위하여 혈액도말 검사, 혈중 철, 총철결합능력, 혈청페리틴을 추가 검사하였다. 급성 세뇨관 손상 등 비뇨기계 평가를 위해서 단백뇨 정량, 크레아티닌, 요소질소, 베타2 마이크로글로불린(β_2 -microglobulin, β_2 -MG) 등 요검사 10종과 사구체 여과량을 측정하였다.

혈중 납 농도는 2012년 3월 6일에 양산소재 모 대학 병원에서 추가 1차 검사를 시행하였다. 결과는 이전 검사로부터 시기가 1달도 되지 않은 짧은 기간으로 인해 혈중 납 농도의 수치 변화는 거의 없었고, 오히려 5명은 상승하였다. 추가 2차 검사는 4월 16일에서 5월 8일까지

시행하였고 4명을 제외하고는 기준치 미만의 결과를 나타냈다. 다만 회사가 영세하고 병원과 사업장간의 먼 거리로 인해 일정한 시점에 모두 측정되지 못하였다. 이에 따라 정확한 비교를 위해 마지막 추가 3차 검사를 5월 22일에 시행하였다. 2차 검차에서 혈중 납 농도가 40 μg/dl인 4명 가운데 3명은 이미 퇴사한 상태였고, 남은 1명의 수치는 기준치 이하인 31 μg/dl를 나타냈다 (Table 2).

표적장기 손상 중 조혈기계의 일반혈액검사와 빈혈 관련 수치는 정상범위로 나타났다. 급성 세뇨관 손상 등 비뇨기계 평가에서 시행한 소변검사와 신기능 검사 값들은 대부분 정상 범위 내에 있었으나, 5명의 노동자에서는 수치 이상을 보였다. 이중에 2명은 혈중 요소질소 각각 21.9 mg/dl 와 21.4 mg/dl 로 나타났으며, 이는 참고치를 조금 초과하는 수준이므로 큰 의미는 없는 것으로 판단하였다. 하지만 3명에서는 요중 β_2 -MG 수치가 상승하였다(Table 3).

신경행동검사: 신경행동학적 검사는 대상 노동자로부터

직접 자료를 입력하게 하여 기억, 집중, 반응시간, 손의 민첩성 등의 신경행동기능을 평가하는 방법이다. 이는 잠재적인 증상을 조기에 보기 위한 정밀 검사로서 대상자 선별과 노출 중단 후 경과 관찰에 효과적이다¹²⁾.

본 사례에서는 Swedish Performance Evaluation system Korean version (SPES-K)¹³⁾를 이용하고 “단순반응시간검사/ 손가락 두드리기/ 부호 숫자 짝짓기/ 숫자의우기”를 기본검사항목으로 적용하였다. 검사방법과 점수화 과정은 다음과 같다. ‘단순반응시간’은 화면에 붉은 색의 사각형이 2.5-5초 간격으로 불규칙하게 나타나고, 피검자는 사각형이 나타나면 빨리 키보드 누르며 사각형은 2분 동안 16번 나타난다. 자극에 대한 반응

시간과 평균반응 시간 및 표준편차가 자동으로 기록된다. ‘손가락 두드리기’는 팔을 테이블 위에 얹은 상태에서 중지를 알리는 음향과 화면이 나타날 때까지 집게손가락으로 특정키를 빨리 두드린다. 자주 쓰는 손을 우선으로, 자주 쓰지 않는 손을 열수로 교대로 검사하며 컴퓨터는 10초 동안의 두드리 횟수와 양손의 평균횟수를 기록한다. ‘부호 숫자 짝짓기’는 화면에 임의로 짝지어진 부호와 1에서 9까지의 숫자가 나타나며 하단에는 상단과 다른 순서로 배열된 부호와 9개의 빈 칸이 나타난다. 피검자는 상단에 예시된 부호와 숫자의 짝과 일치되게 숫자 키를 이용하여 하단의 빈 칸에 숫자를 입력한다. 총 90회의 숫자부호짝짓기를 시행하며 짝짓기의 반응시간과

Table 3. Urinalysis and renal function index

Name	Cr.* (blood, mg/dl)	BUN† (blood, mg/dl)	Proteinuria (urine, g/dl)	β ₂ -microglobulin (urine, μg/ml)	GFR‡Heating (ml/min/1.73m ²)
Worker 1	0.6	19.6	10.0	486.0	>60
Worker 2	0.6	12.0	4.0	57.6	>60
Worker 3	0.6	21.6	6.0	360.0	>60
Worker 4	1.0	21.4	5.0	12.3	>60
Worker 5	0.9	9.4	0.0	61.1	>60
Worker 6	0.7	19.2	9.0	19.1	>60
Worker 7	1.0	18.1	0.0	57.5	>60
Worker 8	0.9	13.5	5.0	79.1	>60
Worker 9	0.9	11.8	1.0	12.0	>60
Worker 10	0.9	14.8	0.0	753.4	>60
Worker 11	0.8	11.9	7.0	115.8	>60
Worker 12	1.0	11.6	12.0	12.0	>60

*Cr: Creatinine (0.9~1.3 mg/dl).

†BUN: Blood Urea Nitrogen (6~20 mg/dl).

‡GFR: Glomerular filtration rate (>60 ml/min/1.73m²).

Table 4. Korean computer neurobehavioral test (%)

Name	SRT*	FTS†		MDSF‡	SDS§	Age	Scholarship
		Right	Left				
Worker 1	94.7	97.2	96.5	28.4	84.3	59	middle school
Worker 2	100.0	94.9	94.9	20.2	93.6	53	high school
Worker 3	100.0	42.9	75.0	21.7	92.3	61	elementary school
Worker 4	100.0	100.0	100.0	44.4	95.8	60	elementary school
Worker 5	98.6	80.4	67.2	45.1	97.8	29	middle school
Worker 6	100.0	89.52	63.2	17.0	94.7	63	elementary school
Worker 7	54.5	98.2	97.3	28.4	97.7	58	middle school
Worker 8	38.0	96.0	89.3	44.3	81.6	58	middle school
Worker 9	77.8	96.4	100.0	44.4	70.7	60	high school
Worker 10	98.8	94.7	96.9	32.9	95.8	29	high school
Worker 11	86.6	90.9	75.4	18.3	94.6	34	college
Worker 12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69	illiteracy

*SRT (Simple Reaction Time >5%).

†FTS (Finger Tapping Speed >5%).

‡MDSF (Memory Digit Span Forward >5%).

§SDS (Symbol Digit Substitution >5%).

잘못 짚지은 횃수가 자동 기록된다. ‘숫자외우기’는 한 자리 숫자가 화면에 한 개씩 연속적으로 나타난다. 피검자는 나타난 숫자를 기억하였다가 화면에 물음표와 빈 칸이 나타나면 키를 나타난 순서에 따라 숫자를 입력한다. 숫자는 1초 동안 보여 지며 3개의 숫자에서 시작해 피검자가 기억유무에 따라 한 개씩 가감한다. 피검자가 특정개수에서 맞힘과 틀림을 여섯 번 이상 반복하면 자동적으로 검사를 중단한다. 유소견자의 선별기준은 “6개 소검사중 2개 이상에서 일반 노동자 신경행동 기능 분포의 하위 5퍼센타일에 해당하는 노동자”를 의미한다. 이와 같은 방법에서의 신경행동 검사 결과는 단지 노동자 1명에서만 모든 항목에서 0점으로 하위 5퍼센타일 미만의 비정상 소견을 나타냈다(Table 4).

신경학적 평가: 납중독의 신경독성은 중추신경 손상을 유발하지만 이로 인해 인지 기능 저하를 가져온다는 확실한 근거는 알려져 있지 않지만, 혈중 납 농도와 인지 기능 장애의 관련성을 평가하기 위해 간이 정신상태검사(Mini-Mental State Examination, MMSE)를 사용하여 평가한 사례가 있다^{14,15)}. 본 사례에서도 중추신경 손상을 평가하기 위하여 중추신경계의 병력을 기본으로 하여, 한국형 간이 정신상태검사(Korea Mini-Mental State Examination, K-MMSE)를 사용하여 평가하였다¹⁶⁾. K-MMSE의 경우 총 30점 만점으로 23점 이하는 인지기능 손상을 의미한다. 말초신경계 손상에 대한 평가는 위치, 진동, 통증, 온도 등의 감각기능과 심부건 반사, 운동기능을 평가하는 항목을 이용하였다. K-MMSE는 주어진 설문을 바탕으로 본 연구자가 시행하였고, 말초신경계 손상에 대한 평가는 본 병원의 전문의의 감독하에 연구자가 시행하였다. 신경학적 검사와 기타 항목에 대한 반복적인 평가를 바탕으로 이상 소견이 하나라도 나오거나, 근력에서 3점 이하가 나올 경우, 신경과에 의뢰하여 신경전도검사와 근전도 검사를 시행하였다.

중추신경계에 대한 평가에서 중추신경계 병력이 있었던 연구대상자는 없었으며, K-MMSE에서도 모든 대상자가 24점 이상으로 정상 소견이었다. 말초신경계에 대한 신경학적 검사에서는 노동자 1인에서 무릎의 심부건 반사에서 3+/2+로 비대칭적인 소견이 있어, 본원 신경과로 의뢰하여 신경전도 검사를 시행하였으나 별다른 이상 소견은 발견되지 않았다.

결과: 위와 같은 납 노출에 대한 검사 결과로, 원내진료에서 12명의 노동자는 특이 증상을 호소하지 않았다. 이들 중 4인은 여전히 40 µg/dl 이상의 수치를 보이므로 직업병 유소견자로 판정하였다. 이들은 휴식이 필요한 상태로 우선 작업에서 제외되고, 앞으로 동반되는 증상과 표적장기 손상여부를 면밀히 관찰하면서 2개월 간격

으로 혈중 납을 추적관찰 할 예정이다. 12명 중 상기 4인을 제외한 노동자들은 직업병 요관찰자로 판정되었고 2개월 후에 검사하여 연속적인 30 µg/dl 미만여부에 따라 복귀여부를 결정할 예정이다.

고 철

2004년 작업환경 실태조사 분석결과 금속 납 취급 사업장의 노동자 규모에 따른 분포는 10~29인 10개소(25.4%), 100~299인 14개소(22.2%), 30~49인 11개소(17.5%) 순이었다. 그리고 업종별 작업환경 측정결과 평균은 비금속광물광업 제조업(연료용 제외)이 0.0113 mg/m³ 전문 과학 및 기술 서비스업이 0.0086 mg/m³, 섬유제품제조업(봉제의복제외)이 0.0082 mg/m³순이었으며, 측정결과 평균치가 노출기준을 초과하는 업종은 없었다. 또한 노동자의 납에 대한 평균 노출수준은 코크스, 석유정제품 및 핵연료제조업 0.0216 mg/m³, 비금속광물제품제조업 0.016 mg/m³, 조립금속제품제조업 0.01 mg/m³ 순으로 높았는데 역시 노출기준을 초과하지는 않았다¹⁷⁾. 본 사례는 상기의 작업환경 실태조사에서 30인 미만의 업종에 포함되는 것을 제외하고는 다양한 기준별 분포에 따른 특정업종으로 분류되지 않는다. 따라서 사업장에서의 납에 대한 평균 노출수준을 정확히 알 수 없고 감시체계에 반영되지 않았다. 그러므로 직접적으로 납을 사용하지 않지만, 고철을 이용하여 작업을 하는 노동자들이 집단적으로 납에 노출되었다는 점에서 의미가 있다. 국내에서 고철 작업에서의 납 노출이 보고된 바는 없었으나, 외국의 경우에는 교각 보수 및 교체하는 작업을 하는 노동자들이나 철골 구조물이나 폐차 등의 고철을 처리하는 노동자들에서 고농도의 납에 노출된 사례들이 보고된 바가 있다. 이 사례들에서 고철에 남아있던 납 성분을 포함한 페인트와 땀납이 노출원이며, 고철을 용접, 절단하거나 열처리하는 과정에 흙의 형태로 노출된 것으로 추정하고 있다¹⁸⁾. 이 경우 납 노출의 발생건수는 적으나 혈중 납 농도는 높은 것으로 나타났다¹⁹⁾. 본 사례에서도, 작업환경 측정 결과를 검토해 볼 때 해당 산업 노동자들의 납 노출 원인은 페인트로 도포된 중유저장탱크 소재를 절단, 용해할 때, 발생하는 흙이 원인으로 추정된다. 또한, 산소절단이나 가열로 공정에서 작업하는 노동자의 경우에는 모두 고농도의 납 노출이 있었던 것으로 나타났으며 이들 작업과는 무관한 노동자들에서도 일부 고노출이 나타났다. 이는 사업장 환경 자체가 여러 공정이 방벽으로 차단되어 있지 않고 개방되어 있어 납 분진의 자유롭게 이동 가능한 환경이었기 때문에 사업장내에의 모든 노동자에서 전반적으로 납 노출이 발생한 것으로 판단된다.

본 사업장의 경우 이전에 납 노출이 있어 납에 대한 작

업환경측정을 시행하였지만 일반적으로 고철을 절단, 용해하여 제품을 만드는 대부분의 사업장에서는 납에 대한 작업환경측정과 특수건강진단을 시행하고 있지 않다. 따라서 이와 유사한 사례가 다른 사업장에서 발생할 가능성이 충분히 존재한다. 또한 본 사업장의 경우와 같이 흡에 의한 납 노출의 경우, 흡이 발생하는 공정에 종사하는 노동자들 뿐 아니라 사업장에서 일하는 모든 노동자가 노출된다. 그러므로 이러한 작업을 시행하는 사업장의 경우에는 해당 작업자 뿐 아니라 사업장 전체를 보호할 수 있는 제도가 구축되어야만 한다. 먼저 이러한 노출을 예방하기 위해서는 페인트가 도포된 고철을 용해하지 않거나 페인트를 제거한 뒤에 용해하는 방법 등이 강구되어야 한다. 또한 고철을 다루는 사업장 및 사업장에서 일하는 근로자를 대상으로 고철을 처리하는 과정에서 납 노출이 발생하여 노출되는 경로 및 보호구 착용에 대한 교육을 시행해야 하며, 사업장에 적절한 환기장치를 갖추도록 지도해야 한다. 그리고 고철을 다루는 사업장에서 납에 대하여 작업환경측정과 특수검진을 실시해야 할 필요가 있다. 본 사례 이후 관할지청에서 측정기관에게 고철가공 사업장에 대한 작업환경 측정시 납에 대해서 측정을 하도록 지도하고 있다. 하지만 이러한 문제는 일개 관할 지청에서의 노력만으로 예방되어지는 것이 아니기 때문에 향후 체계적인 예방 대책 및 관리 대책이 만들어져야 할 필요가 있다.

일반적으로 납 노출은 혈중 납 농도에 따라 표적장기 손상에 따른 다양한 임상증상을 나타낸다. 혈중 납 농도가 80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상이면 극도의 심각한 상태로 영구적 장애를 야기할 수 있고, 40~80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 일 때는 증상이 나타나지 않더라도 심각한 건강장애가 진행되고 있을 수 있다. 혈중 납 농도가 25~40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 일 때는 규칙적인 노출이 발생되고 있으며, 잠재적인 문제가 나타날 수 있고, 10~25 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 일 때는 어느 정도 납 축적이 있음을 의미할 수 있다²⁰⁻²³. 구체적으로 납중독에서 혈중 납 농도 100~150 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 수준에서는 경련을 동반한 납선통이 나타날 수 있다. 80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 수준에서는 심한 변비, 소화불량 등의 흔한 소화기 증상을 보일 수 있다²⁴. 조혈기계 손상의 경우 혈중 납의 50~80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 정도에서 약간 혈색소가 감소하며 80~100 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 까지는 실질적인 빈혈이 일어나지 않는다²⁵⁻²⁶. 비노기계 손상과 관련하여 일반적인 만성 납중독은 체내 납 축적량을 증가시키고 이를 반영하여 신질환으로 나타낸다. 혈중 납 농도 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상의 수준에서는 비가역적인 신질환을 유발하고 혈중 납 농도 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 미만에서도 지속적인 납의 노출로 인해 어느 정도의 뚜렷한 신질환을 보인다²⁷⁻²⁸. 그러나 이와 같은 혈중 납 농도에 따른 다양한 임상증상 및 징후는 저농도 만성 납중독에서 흔한 것으로 본 사례와 같은 급성 납 노출과는 일치하지 않을 수 있다.

실제, 12명의 노동자들의 임상 증상에 대한 설문을 실시하였을 때 납에 의해 유발 가능한 일반적인 소화기계, 비노기계, 신경계 등의 임상증상을 호소한 대상자는 없었다. 그리고 신경학적 검사, 조혈기계와 관련된 혈액검사에서도 특이 소견을 보이지 않았다. 특히 납중독의 특징인 빈혈은 나타나지 않았다. 신경행동검사에서 비정상 결과를 보인 작업자의 경우 항목마다의 난이도와 무관하게 모든 항목에서 0점을 기록하였다. 일반적으로 컴퓨터로 시행하는 신경행동 검사의 경우 연령이 높고 학력이 낮을수록 컴퓨터와의 친밀도가 떨어지기 때문에 이상소견이 나타날 가능성이 높은 것으로 알려져 있다²⁹. 본 조사에서 이상소견을 보인 노동자가 69세이며, 무학으로 컴퓨터를 대하는 빈도가 낮았던 점, 그리고 모든 항목에서 일정하게 비정상 소견을 보였으나 인지 장애나 신경학적 장애가 없는 것으로 보아, 검사상의 오류일 가능성이 높은 것으로 판단된다.

비노기계 검사에서는 3명에서 β_2 -MG의 수치가 상승하였는데, 이들의 경우 모두 기존의 신장질환이나 악성종양, 만성임파선백혈병, 루푸스 등의 병력이 없는 것으로 보아 단기간의 고농도 납 노출로 인한 결과일 가능성이 있다³⁰. 혈중 80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 수준의 급성 노출에서 세노판 손상으로 전해질 및 기타 성분이 재흡수 이상을 나타낼 수 있기 때문이다³¹. 따라서 24시간 채뇨 및 초기 손상을 나타낼 수 있는 다양한 표지자를 시행해 보는 것도 고려할 필요가 있다. 특히 납중독으로 인한 조기 신질환의 표지자로서 N-acetyl-glucosaminidase (NAG), alpha-glutathione s-transferase (GST) 등의 효소노와 α_1 -microglobulin (α_1 -MG), retinol binding protein (RBP), adenosine deaminase-binding protein, cystatin C 등의 저분자단백뇨가 특이적으로 증가하는 것으로 알려져 있다³²⁻³⁵. 하지만 본 사례에서는 이들 항목이 원내의 검사항목에 모두 있지 않았고 외부 검사도 용이하지 않아 추가검사를 시행하지는 못했다. 상기 지표항목 외에 조기 신질환의 표지자로 실시한 β_2 -MG은 3명의 노동자에서 이상 수치가 나타났고 이는 납에 의한 비노기계 손상을 의심할 수 있었다. 그러나 증상이 없고 신기능 검사를 비롯한 알부민뇨, 단백뇨, 전해질 이상 등은 현재 보이지 않고 노출 중단 이후에는 신손상이 더욱 악화될 가능성은 낮을 것으로 보여진다. 결과적으로 일부 소변검사를 제외하고는 이상 증상이나 징후가 나타나지 않은 것은 이상 증상이나 징후를 가져올 만큼의 노출까지 이르지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

본 사례 보고에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째로 특수검진 결과 발생한 납의 고노출자 12명에 대해 임시건강진단으로 의뢰가 들어온 형태여서 작업장의 전체 노동자 25명 및 사업장에 대한 역학조사를 시행하지 못했다. 그 결

과 고노출군과 저노출군 간의 비교 등 충분한 조사를 하지 못했다.

두 번째로 본 사례에서는 혈액 검사 및 소변 검사 시행 시기가 근로자에 따라 차이가 크고, 추가 2차와 3차 검사에서도 노동자의 퇴사와 같은 이탈로 인해 정확한 경과 관찰이 어려웠다. 이는 본 사례의 사업장과 검사를 시행한 병원과의 거리가 멀고 노동자의 일부가 검사를 위해 업무에서 제외될 경우 영세기업의 재정적인 어려움이 크기 때문에 회사의 일정에 맞추어 검사를 진행하였기 때문에 발생하였다. 향후에는 임시건강 진단 형식으로 조사를 진행하는 경우에 있어서도 일정한 경과관찰이 가능토록 하는 제도가 필요할 것이며, 직업병 유소견자의 경우 퇴직하더라도 추적관찰을 할 수 있는 체계가 필요할 것이다.

또한 신독성에 대한 유용한 표지자중에서 병원에서 이용되는 β_2 -MG만 측정하였고 24시간 뇨의 채취가 이뤄지지 않은 점도 정확한 평가에 대해 제한점으로 남아 있다.

이런 제한점에도 불구하고, 본 사례의 경우는 지금까지 국내에서 보고된 납 노출 사례와는 달리 고철을 이용하는 사업장에서 집단적으로 납 고노출이 발생된 첫 사례라는 점에서 의의가 있다. 연구대상인 12명 중에서 특별한 임상 증상이나 표적장기 손상을 나타낸 경우는 없었지만, 혈중 납 농도가 최대 77 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에 이를 정도로 납에 대한 고노출이 발생하였다. 본 사례에서 나타났듯이, 현재 고철 사업장의 경우 만성적인 노출보다는 급성 고노출 폭로의 위험성이 크며 이러한 폭로가 반복적으로 발생할 경우 고철 산업의 특징 상 사업장에서 일하는 모든 노동자에게 영향을 미칠 가능성이 높으므로 향후에는 이러한 사업장에서의 납노출을 예방하기 위한 제도개선 및 산업보건 혹은 직업환경의학적인 조치가 필요할 것이다.

요 약

배경: 최근 국내에는 직업성 납중독이 줄어들고 있는 추세이다. 그러나 고철을 재활용하여 철강을 생산하는 한 사업장으로부터 집단적인 급성 납의 고노출이 발생하였기에 이를 보고하고자 한다.

사례: 한 철강업체의 노동자들을 대상으로 이러한 납의 고노출과 신체증상의 관련성을 알아보기 위해, 신경학적 검사, 신경행동학적 검사, 혈중 납 농도를 포함한 혈액검사, 소변검사 등으로 사례 연구를 시행하였다. 또한 납의 고노출을 유발한 원인을 파악하기 위해 작업환경 측정을 하였다. 그 결과 납의 고노출이 나타난 시점의 작업측정의 평균치가 전후 검사에 비해 수배 이상 증가하였다. 중유저장탱크의 내부에 납이 포함된 페인트가 도포되어 있었고 이를 절단, 용해하는 작업과정에서 납 노출이 있었

던 것으로 추정된다. 유소견자 12명에 대한 1,2차 추가 검사를 통한 경과 관찰에서 4명을 제외한 8명은 혈중 납 농도가 기준치 이하로 감소하였다. 그러나 3차 추가 검사에서는 4명의 유소견자 중 3명이 퇴사하여 경과 관찰이 힘들었고, 한명은 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이하로 감소하였다. 또한 급성 세뇨관 손상 등 비뇨기계 평가에서는 3명의 요중 베타 2 마이크로글로불린 수치가 상승하였다.

결론: 고철산업은 납 관리에 대해 간과할 가능성이 높은 제조업이다. 따라서 일상적으로 작업환경측정과 특수검진에 있어 납 농도 측정은 필요하다. 또한 노동자 및 작업장에서의 납 노출 관리가 중요하고 개인보호구 착용이 반드시 이뤄져야 하며, 납 노출에 대한 교육이 엄격히 시행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Chang KJ, Park JT, Kim EK. Pneumonitis by methylene chloride. Korean J Occup Environ Med 2005;17(4):365-71. (Korean)
- 2) Sagong J, Jung JH, Lee HY. The relation of neurologic symptom and neurobehavioral test for organic solvent exposure workers. Korean J Occup Environ Med 1997;9(1):49-60. (Korean)
- 3) Fischbein A. Occupational and environmental lead exposure. In: Rom WN Environmental and Occupational Medicine. 3rd ed. Little Brown and Company. Boston. 1992. pp 735-8.
- 4) Lee JS, You IS. A study on contents of heavy metal in water, soil, rice and urine of inhabitants along the kum river. Korean J Occup Environ Med 1992;18(1):69-75. (Korean)
- 5) Lee IJ, Ahn KD, Jo KS, Kim NS. A study on the soil pollution in lead industry. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2004;14(3):290-300. (Korean)
- 6) Kang PG, Kim YB, Ahn IS, Lee GJ. Occupational lead exposure of storage battery industry workers in Korea. Korean J Occup Environ Med 1998;10(4):438-49. (Korean)
- 7) Hwang KY, Ahn JE. Relationship of between lead level and lead related symptoms in low level lead exposure. Korean J Occup Environ Med 1991;24(2):120-4. (Korean)
- 8) Che JM, Lee KS, Lee SS, Ahn GD. A study on the lead exposure of workers in secondary smelting and litharge making industries. Korean J Occup Environ Med 1997;9(1):131-9. (Korean)
- 9) Spee T, Zwennis WC. Lead exposure during demolition of a steel structure coated with lead-based paints. I. Environmental and biological monitoring. Scand J Work Environ Health 1987;13(1):52-5.
- 10) Tepper A. Surveillance of occupational lead exposure in new jersey: 1986 to 1989. Am J Public Health 1992;82:275-7.

- 11) Korea occupational safety and health. Practice guidelines for occupational safety and health diagnosis (translated by Koo BH). Korea occupational safety and health. Incheon. 1999. pp 163-4. (Korean)
- 12) Kim NS, Kim JH, Lee BK. The effect of body lead burden on neurobehavioral function in retired lead workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2010;20(3):156-67. (Korean)
- 13) Kim GT, Kim CY, Sakong J. Effect of the type of computer on computerized neurobehavioral performance tests. *Korean J Occup Environ Med* 2004;16(3):276-86. (Korean)
- 14) Bleecker, Margit L, Karen N, Ford D. The interaction of education and cumulative lead exposure on the mini-mental state examination. *Journal of Occupa & Environ Med* 2002;44(6):574-8.
- 15) Robert O, Tsaih, Shirng WS, McDonald K, Scott T. Lead exposure biomarkers and mini-mental status exam scores in older men. *Epidem* 2003;14(6):713-8.
- 16) Kang Y, Na DL, Hahn S. A validity study on the korean mini-mental state examination (K-MMSE) in dementia patients. *J Korean Neurol* 1997;15(2):300-8. (Korean)
- 17) Lim JG, Ahn GD, Lee BK. The effect of industry type specific occupational health service on the health status of lead workers. *Korean J Occup Environ Med* 1996; 27(52):23-7. (Korean)
- 18) Tola S, Hernberg S, Vesanto R. Occupational lead exposure in Finland. VI. Final report. *Scand J Work Environ Health* 1976;2(2):115-27.
- 19) Zhua J, Depersisa R, Pavelchaka N, Londonb M, Gibsona AM. Case study an assessment of metal recycling worker lead exposure associated with cutting uncoated new steel scrap. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2009;6(5):18-21.
- 20) Lee BK, Nam JS, Ahn KD, Nam TS. The study of lead related symptoms and biological indices of lead absorption in lead workers. *Korean J Occup Environ Med* 1991;3(1):67-71. (Korean)
- 21) Park JS. Status of using lead and its compounds in korea. *Korean J Occup Environ Med* 2008;2:36-45. (Korean)
- 22) Ellenhorn MJ, Barceloux DG. In: medical toxicology, diagnosis and treatment of human poisoning. 5th ed. Elsevier Science Publishing Co. New York. 1988. pp 1030-42.
- 23) NIOSH pocket guide to chemical hazards. Lead. Available: <http://www.cdc.niosh.gov>[cited 8 July 2012].
- 24) Fonte R, Agosti A, Scafa F, Candura SM. Anemia and abdominal pain due to occupational lead poisoning. *Hematol Journal* 2007;92(2):13-4.
- 25) Waldron HA. The anemia of lead poisoning : a review. *Br J Ind Med* 1966;23:83-100.
- 26) Sassaa S, Granick JL, Kappas A, Levere RD. Studies in lead poisoning: I. Microanalysis of erythrocyte protoporphyrin levels by spectrofluorometry in the detection of chronic lead intoxication in the subclinical range. *Biochemical Med* 1973;8(1):135-48.
- 27) Recommended health-based limits in occupational exposure to heavy metals. Reports of a WHO study group. *World health organ tech rep ser* 1980;647:110-6.
- 28) Omae K, Sakurai H, Higashi T, Muto T, Ichikawa M, Sasaki N. No adverse effects of lead on renal function in lead-exposed workers. *Ind health* 1990;28:77-83.
- 29) Gamberale F, Irereen A, Kjellberg A. A psychological test system to diagnose environmental hazards. Swedish performance evaluation system. *Neurotoxicol Teratol* 1996;18(4):485-91.
- 30) Marchewka Z, Kuzniar J, Dlugosz A. Enzymuria and α 2-microalbuminuria in the assessment of the influence of proteinuria on the progression of glomerulopathies. *Int Urol Nephrol* 2001;33:673-6.
- 31) Perazella MA. Lead and the kidney: nephropathy, hypertension, and gout. *Conn Med* 1996;60(9):521-6.
- 32) Garçon, Leleu, Zerimech, Marez, Haguenoer, Furon, Shirali. Biologic Markers of Oxidative Stress and Nephrotoxicity as Studied in Biomonitoring of Adverse Effects of Occupational Exposure to Lead and Cadmium. *Journal of Occupa & Environ Med* 2004; 46(11):1180-6.
- 33) Ronald J, Di Maggio, Francesco, Leemreis J, Groeneveld A. Biomarkers of acute renal injury and renal failure. *Journal of Occupa & Environ Med* 2006; 26(3):245-53.
- 34) Loghman-Adham M. Aminoaciduria and glycosuria following severe childhood lead poisoning. *Pediatr Nephrol* 1998;12:218-21.
- 35) Westhuyzen J, Endre ZH, Reece G, Reith DM, Saltissie D, Morgan TJ. Measurement of tubular enzymuria facilitates early detection of acute renal impairment in the intensive care unit. *Nephrol Dial Transplant* 2003; 18:543-51.