



폐기물산업과 직업병

산업안전보건연구원 직업병연구센터 / 전 희 경 · 김 은 아

폐기물산업에서는 예측하기 어려울 정도로 다양한 유해요인이 존재하여, 여러 가지 직업병이 발생된다. 우리나라에서 2000년대 초반은 폐기물 관련 근로자의 직업병 사례가 이슈화된 시기이기도 하였다.

폐기물산업은 산업폐기물과 생활폐기물로 나눌 수 있으며, 산업폐기물은 다시 폐기물재생산업과 폐기물처리산업으로 나눌 수 있다.

폐기물처리사업장은 폐기물(폐수)을 인체에 무해한 물질로 중화시키거나 소각하여 처리하고, 폐기물재생사업장은 재생용 물질을 기계적 또는 화학적으로 처리하여 특정제품의 제조공정에 직접투입 하기에 적절한 새로운 원료상태로 전환하는 것을 목적으로 한다.

2000년대에 들어 이 두 종류의 사업장 모두 직업병으로 사회문제를 일으키게 되었다.

2000년 9월에는 은을 회수하는 폐기물재생사업장에서 3건의 수은중독사례가 발생하였다.¹⁾ 2001년 10월에는 한 산업폐기물 중간처리업체에서 근로자 5명이 독성간염으로 진단되어 한 명이 사망하는 일이 발생하였다.²⁾

수은중독 사례는 반도체 제조업체의 도금 슬러지를 아말감공법으로 은을 회수하는 공정에 근무하는 근로자들이었다.

이 사건이 발생한 후, 산업안전보건연구원은 2001년에 일부 폐기물재생사업장에 대한 역학조사를 실시하여, 추가적인 건강이상자 유무를 확인하였다. 2001년 10월에

1) Kim EA, Kang SK. Occupational Neurological Disorders in Korea. JKMS 2010;25:s26-35

2) Cheong HK, Kim EA, Choi JK, Choi SB, Suh UK, Choi, DS, Kim JR. Grand rounds: an outbreak of toxic hepatitis among industrial waste disposal workers. 2007;115(1):107-12

는 폐기물처리산업에서 독성간염이 집단 발생하였다.

산업안전보건연구원은 2002년에 폐기물 처리산업 17개소에 대한 역학조사를 통해 작업환경평가 등을 실시하여, 이 산업의 위험요인을 개괄적으로 파악하였다. 한편 2003년에는 생활폐기물산업에서 발생할 수 있는 감염성 위험요인을 파악함으로써 폐기물산업에 대한 전반적인 역학조사를 완료하였다.

폐기물재생업체의 직업병사례와 역학조사

직업병 사례

폐기물 재생업체에서 발생한 수은중독 사례는 반도체 슬러지에서 은을 추출하는 작업을 하는 근로자들이었다.

이 사업장에서는 2001년 6월까지 반도체 슬러지에서 은을 추출하는 방법을 개발하지 못하다가 6월부터 수은을 이용하는 방법을 개발하였고, 이때부터 증상이 시작되었다.

은 추출 과정은 원자재인 반도체 리드프레임 슬러지를 구입하여 건조시킨 후 이를 불밀기계에 쇠구슬, 수은, 물과 함께 넣어 약 40시간을 돌린 후 혼합물을 꺼내어 수은

과 슬러지를 분리한 후 수은을 광목에 싸서 짠 후 수은과 금, 은이 섞인 덩어리를 분리해 낸다. 이를 다시 수은 분리기에 넣은 후 열을 가해 수은을 걸러내고 이를 다시 스테인레스 용기에 넣어 질산과 물을 섞어 불순물을 제거하여 금과 은을 추출하고 있었다.

그런데 작업장 내에서는 수은 취급 공정이 밀폐되어 있지 않았고, 개방된 공간 내에서 근로자들이 수은 취급 작업을 수작업으로 하고 있었다. 특히 불밀공정에서는 배합하는 과정에서 열이 발생하여 이때 수은 증기가 기중에 확산될 위험이 컸으며, 작업장 외부에 설치된 수은분리기에서 열을 가하여 수은을 분리하는 작업에서도 수은이 기중에 확산되고 있었다.

현장조사 결과, 작업을 중단한 지 일주일 이 넘는 시점에서 불밀 개폐문 입구에서 기중 수은 농도는 1.235 mg/m^3 로 가장 높았고, 작업장 내 테이블에서는 $0.24\text{-}0.43 \text{ mg/m}^3$ 로 우리나라 노출기준(0.05 mg/m^3)을 상회하였다. 옥외에 있는 수은 회수작업장에서도 0.033 mg/m^3 의 농도를 보여 노출기준의 1/2을 초과하고 있었다.

수은(무기수은)은 급성으로 노출될 경우 기관지염, 폐렴, 신장장애 및 소화기계증상을 일으키고, 만성적으로 노출되면 중추신경계장애, 신장장애 및 수정체의 색소침착 등의 질병을 유발할 수 있는 물질이다.

직업병으로 진단된 세 명의 근로자들은 팔다리 통증, 기억력 감소, 말초신경염을 나타내고 있었으며, 뇌자기공명사진상에서 이상소견을 보이고 있었다. 세 명 중 한 명은 망상과 환청 등 정신질환 증상까지 보였다.

유사 사례를 찾기 위한 역학조사

당시까지 폐기물재생사업장의 수은중독 사례는 국내에서 보고된 적이 없어, 폐기물 사업장에 대한 연구나 조사가 매우 부족하다는데 공감하게 되었다. 산업안전보건연구원은 유사 사업장에 추가적인 작업자가 있는지 시급히 검토하였다.

폐기물재생사업장(재생용 가공원료 생산업)은 금속과 비금속재생사업장으로 분류되고, 금속은 고철과 비철금속재생재료 사업장으로 분류될 수 있다.

2001년의 역학조사는 비철금속재생재료 사업장들 중에서 화학적으로 폐기물을 처리하여 재생하는 사업장들, 특히, 수은중독증이 발생한 사업장과 같은 업종인 폐기물에서 금, 은 등 귀금속을 재생하는 사업장 6개, 총 41명의 근로자를 대상으로 하였다.

이 사업장에서는 질산, 염산, 암모니아, 황산을 취급하고 있었는데, 이 물질들은 피부, 눈 및 호흡기계에 영향을 줄 수 있다. 특히, 질산은 치아를 부식시킬 수 있으므로 임상진찰 시 유의하여 검사를 실시하였다.

그러나 조사 대상자 41명 중 혈중 중금속이 높거나 임상적으로 이상소견이 있는 근로자는 없었다.

조사대상자 41명에 대하여 질산에 대한 생물학적 노출지표검사를 실시하였다. 생물학적 노출지표로는 메트헤모글로빈(메트혈색소)를 측정하였다. 조사대상자들 중 33명(80.5%)이 정상범위보다 높게 나타났고, 나머지 근로자 중 2명도 정상범위의 상한치에 가까워 전체 생산직 근로자들의 메트혈색소는 높게 나타났다.

메트혈색소는 혈색소의 15% 이상이면 청색증이 나타날 수 있고, 20 - 30% 정도 이면 두통, 피로함, 빈맥, 현기증 등 증상이 나타나기도 한다. 45% 이상이면 호흡곤란, 서맥, 산증, 간질, 혼수 등의 증상이 발생하고, 70% 이상이면 사망할 수 있다. 조사 대상자들은 모두 3%이하이므로 치료를 요하는 수준은 아니었다.

혈액검사 결과에서도 임상적 유의한 이상소견을 보이는 근로자는 없었다.

흉부방사선촬영 결과에서도 역시 산, 암모니아 및 질산에 의하여 발생할 수 있는 기관지염, 폐렴, 폐수종 등 호흡기계 질환을 보이는 근로자는 없었다.

폐기물처리 업체의 직업병사례와 역학조사

2001년 10월, 울산지역의 폐기물중간처리 업체 근로자 5명에서 독성간염이 발생하였고, 1명은 3개월 뒤 전격성 간염으로 사망하였다.

이 사업장은 매우 다양한 종류의 산업폐기물, 특히 화학제품과 유류를 폐기처리하고 있었다. 이들이 취급한 수백가지의 화학물질을 조사해본 결과, 피리딘, 디메틸포름아미드, 디메틸아세트아미드, 메틸렌디아민 등 간독성 물질도 포함되어 있었다.

이 사업장에서 산업폐기물을 처리하는 방식은 각종 산업폐기물을 폐기조에 생석회와 섞어서 화학반응이 일어나게 하여 액상 폐기물을 고상으로 만드는 방식이었는데, 그 과정에서 다량의 증기가 발생하고 있었다.

근로자들은 2000년 5월부터 도입된 이러한 처리방식에 따라 작업을 하였는데, 한 달에 10회 이상 이러한 작업을 하였다. 5명의 근로자들은 4주에서 15주 가량 질환을 앓게 되었고 가장 심한 한 명은 사망하게 되었다.

조사결과, 이 근로자들은 한약 등 독성약물 복용력이나 바이러스성 간염이 없었으며, 폐기물 처리과정에서 발생한 다양한 화학물질에 복합 노출되어 독성간염이 발생하였을 가능성이 가장 크다고 판단되었다.

폐기물처리업체들에 대한 역학조사

역학조사는 2002년 당시 파악된 폐기물중간처리업 17개소 전체 공정 담당 근로자를 조사대상으로 선정하였다. 조사대상 근로자에 대하여 유기용제, 특정화학물질, PAHs, 곰팡이 및 내독소의 공기 중 노출 수준을 평가하고, 일부 소각재 및 집진재 원시료에 대하여 분석하였다.

폐기물 소각재에 대한 중금속을 분석한 결과, 1 g내에 Pb 20.9 mg, Cd 0.7 mg, Cr 0.5 mg, Cu 6.2 mg, Fe 34.8 mg, Mg 14.0 mg, Mn 9.1 mg, Ni 1.1 mg, Zn 34.6 mg, Al 45.9 mg이며, 집진재는 1 g내에 Pb 18.0 mg, Cd 0.7 mg, Cr 0.3 mg, Cu 8.6 mg, Fe 8.3 mg, Mg 14.1 mg, Mn 7.7 mg, Ni 0.2 mg, Zn 31.9 mg, Al 15.1 mg이 검출되었다.

공기 중 유기용제에 대한 측정 결과, n-Hexane은 기하평균이 0.1 ppm(범위: 0.0 - 14.5 ppm), Methylene chloride은 기하평균이 0.1 ppm(범위: 0.0 - 3.5 ppm), Benzene은 기하평균이 0.04 ppm(범위: 0.0 - 0.4 ppm), Acrylonitrile은 기하평균이 0.6 ppm(범위: 0.1 - 14.4 ppm), Toluene은 기하평균이 0.5 ppm(범위: 0.0 - 32.7 ppm), Formaldehyde은 기하평균이 0.1 ppm(범위: 0.0 - 0.4 ppm), Dimethylformamide은 기하평균이 0.0 ppm(범위: 0.0 - 3.8 ppm)으로 전반적으로는 노출기준 미만이나 Acrylonitrile은

최고 측정치가 7배 초과하였다.

공기 중 PAHs 측정 결과 기하평균은 2.9 mg/m^3 (범위: $0.5 - 141.7 \text{ mg/m}^3$)으로 측정되었다. 곰팡이 및 내독소는 3개소에서 측정하였으며, 작업자들의 호흡 영역과 작업자 주위에서 실제 작업시간 동안 측정된 곰팡이(97.8- 570.0 DFU) 및 내독소 노출 수준(0.4-15.0 EU)도 평가되었다.

작업환경평가 결과, 저장된 폐유 또는 폐유기용제 등이 장시간 개방된 상태로 방치되고 있었고, 이를 처리하는 작업자는 작업장에 체류된 혼합유기용제증기 등에 폭로되고 있었다. 대부분의 사업장에서는 전처리공정에 환기장치가 설치되어 있지 않고 있었는데, 일부는 전처리공정을 별도의 밀폐공간 내에서 처리하였다.

저장된 폐유 등은 탱크에 저장하여 직접 고온 소각로에 분사하여 처리하거나, 일부 슬러지는 일반 소각물과 혼합하여 고온 소각로 입구에 투입하여 처리하는데 이때에도 혼합유기용제 증기 등에 작업자가 폭로되고 있으며, 환기장치가 설치되어 있지 않았다. 또한 페드럼 내용물에 대한 시험성적서 등이 없어 작업자가 관리가 어렵고, 개인 보호구 역시 대부분 착용하지 않았다.

폐기물 처리업체 근로자 272명에 대하여 건강진단 결과, 일반혈액검사, 간기능 검사, 단순 흉부방사선검사, 폐기능 검사를

실시한 결과 직업병 유소견자(D₀)는 없는 것으로 나타났다.

생활폐기물 처리업체 역학조사

음식물 등이 포함되어 있는 생활폐기물을 수집하여 사료나 퇴비를 생산하는 근로자들은 특히 높은 유기분진에 노출될 수 있다. 유기분진은 노출되면 흡입열, 과민성 폐렴, 천식 등의 다양한 직업병이 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다.

당시까지 생활폐기물 취급근로자에서 직업병 발생이 보고된 바는 없었으나, 2001년부터 폐기물취급 근로자들에 대한 역학조사를 실시해 오던 산업안전보건연구원은 2003년에는 생활폐기물 취급 근로자의 작업환경을 예방적으로 사전에 검토하기로 하였다.

조사대상업체는 환경부 및 국립환경연구원의 시군구별 폐기물 처리업체 현황으로부터 생활폐기물의 수집/운반 및 중간처리업체를 파악한 후, 업종, 지역분포, 종사 근로자 수를 고려하여 38개 업체를 선정하였고, 이를 방문 조사한 후 최종적으로 18개 업체를 조사 대상으로 선정하게 되었다.

생활폐기물 수집 운반업체를 조사군 1로 두었고 중간처리업체를 조사군 2로 두었으며, 대조군을 따로 선정하였다.

조사항목은 개인시료로 공기 중 박테리아,

곰팡이, 내독소, 노출수준을 측정하여 분석하고, 일부 배지는 박테리아와 곰팡이를 동정하였다. 근로자에서는 혈액 중 면역지표들과 호산구를 분석하였고, 흉부방사선검사 및 폐기능 검사를 실시하였다.

조사결과, 노출군-1에서 TSA를 통한 총 박테리아 및 MCA를 통한 그람(-)박테리아의 기하평균은 각각 5,025 CFU/m³ 및 136 CFU/m³ 이었고, 노출군 2에서는 6,855 CFU/m³ 및 68 CFU/m³과 유사한 차이가 없었으나 대조군보다는 높았다.

곰팡이의 기하평균은 노출군 1에서 4,706 CFU/m³, 노출군 2에서 1,571 CFU/m³으로 유의한 차이는 없었다.

내독소의 산술평균은 노출군 2에서 15.8 EU/m³으로 대조군과 차이가 없었다.

배양한 노출군 1과 2의 TSA에서 각각 51종과 73종의 박테리아가 동정되었고, 대조군의 1개 TSA에서는 4종의 박테리아가 동정되었다.

곰팡이는 노출군 1과 2에서 각각 30종과 45종의 곰팡이가 동정되었고 대조군은 10종이 동정되었다. 대부분의 면역관련 지표들은 노출군과 대조군에서 큰 차이가 없었다. 집단 간에 호산구증가증과 IgE 증가도 차이가 없

었고, 흉부방사선사진 등에서 이상소견도 있었다. 다만 폐활량 검사에서 FEV 1%가 노출군에서는 각각 76.3%, 78.2%였는데 대조군은 81.9%로 유의하게 낮았다.

이러한 결과로 보아, 생활폐기물 처리환경에서 일반 환경에 비해 매우 다양한 박테리아와 곰팡이가 서식하고 있는데, 그 농도가 대조군보다 높지는 않았고, 폐활량검사서 미약하게 폐기능에 영향을 주는 정도의 건강이상 존재하고 있다는 것을 알 수 있었다. 이 조사는 산업안전보건연구원의 연구보고서 형태로 발간되었다.³⁾

맺음말

폐기물취급사업장의 직업성질환은 화학물질중독이 잘 알려져 있으나, 최근에는 생활폐기물의 수집과 처리 등의 공정에서 다양한 유기분진과 미생물에 노출되는 것이 점점 문제가 되고 있다.

산업안전보건연구원에서 조사한 2001-2003년간의 역학조사는 향후 발생될 폐기물공정 근로자의 건강이상에 중요한 기초자료가 될 것이다. ☺

3) 최병순. 생활폐기물취급 근로자에서 생물학적 요인의 호흡기 영향에 관한 연구 (보건분야-연구자료 연구원 2003 - 77 - 582). 2003. 산업안전보건연구원