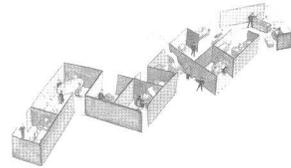


금속가공유와 직업병



산업안전보건연구원 직업병연구센터 / 전 희 경 · 김 은 아

금속가공유를 취급하는 근로자는 금속가공유에 함유되어 있는 다양한 성분뿐만 아니라 작업 중 취급하는 제품에서 발생하는 금속이나 오염물질에도 노출되어 여러 가지 직업병에 걸린다.

금속가공유는 금속 제품 수명 연장, 부스러기 제거, 제품 표면 보호를 목적으로 가공 및 연마 공정에서 사용하는데 에어로졸(미스트)을 흡입하거나 피부에 닿음으로써 여러 가지 건강장애를 일으킬 수 있다.

금속가공유는 크게 비수용성과 수용성으로 나눌 수 있다. 비수용은 고도로 정제된 석유계(lubricant-base oil), 동식물, 생선 또는 합성 오일로, 물로 희석하지 않고 사용한다. 수용성 금속가공유는 물로 희석해서 사용하고 성분 구성에 따라 soluble, semi-synthetic, synthetic oil로 나누어진다.

수용성 금속가공유는 다양한 박테리아와 곰팡이가 번식할 수 있는 배지가 되며, 박테

리아로 인한 내독소도 발생하는데 혐기성 박테리아인 경우에는 황산염을 환원하여 황화수소 및 독성 가스들이 발생하기도 한다.

우리나라에서 금속가공유를 사용하는 근로자에게 발생한 직업병 사례로는 1998년 열처리 사업장 근로자에게 후두암이 발생하여 사망하였고, 2000년 11월에는 연마공정 근로자에게 비인강암이 발생하였으며, 2001년 6월에는 자동차엔진부품 제조 사업장의 연마공정 근로자에게 비용종과 만성 비염이 발생하였다.

금속가공유에 의한 직업성 암과 호흡기 질환이 발생하자 산업안전보건연구원은 2002년 금속가공유를 취급하는 공정에 대한 업종별 역학조사를 실시하였다.

열처리 사업장 근로자의 후두암

수송용 기계기구 사업장에서 약 20여 년

간 근무한 남자 근로자에게 후두암이 발생하였다. 이 근로자는 열처리 연속로 교체 작업과 편심교정공정작업을 하였다.

열처리 연속로는 LPG의 탄소를 이용하여 자동차부품의 강도를 높이는 공정으로, 연속로 내부는 내화벽돌로 되어 있었는데, 1-2회/년 정도 연속로 내 내화벽돌 교체작업을 하였다.

편심교정작업은 변속기, 차축 등 자동차 부품이 열처리를 거친 후 휘어진 부분을 바로 잡는 작업으로 교정프레스를 이용하여 교정하는 작업이다.

열처리 연속로 및 편심교정공정에서 발암물질로 추정되는 노출인자는 금속가공유와 실리카 등이었다.

사업장 방문조사 결과, 작업환경 예비조사과정에서 연속로 내부로 들어가기 위해 적재대에 놓인 자동차부품이 앞 공정(선삭가공)에서 금속가공유가 그대로 묻어있는 상태로 연속로 내부로 들어가는 것을 발견하였다.

이는 탄화수소계열 성분의 비수용성 금속가공유 성분 중 다핵방향족탄화수소가 함유될 가능성이 있었다. 또한 연속로 내부 내화벽돌 교체작업 시 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 로 구성된 내화벽돌을 이용하므로, 이 작업에서 국제암연구소에서 호흡기암과 관련 있다고 확정한 발암물질인 유리규산에 노출될 가능성이 있었다.

5개 금속가공유 중 다핵방향족탄화수소를 분석한 결과 Pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(g,h,i)perylene을 제외한 나머지 물질들은 검출한계 이하였다. Pyrene의 평균농도는 $41.47 \mu\text{g/g}$ 이었고, Benzo(b)fluoranthene의 평균농도는 $6.00 \mu\text{g/g}$ 이었고, Benzo(g,h,i)perylene의 평균농도는 $5.54 \mu\text{g/g}$ 이었다.

열처리 부서의 공기 중 다핵방향족탄화수소는 연속로 출입구에서 각각 $74.25 \mu\text{g/m}^3$, $127.10 \mu\text{g/m}^3$ 이 발생되고 있었고, 적재대 상단 10cm 높이에서 $580.93 \mu\text{g/m}^3$, 상단 50cm 높이에서 $44.67 \mu\text{g/m}^3$ 이었다.

미국 산업위생전문가협회(ACGIH)에서 광물성 금속가공유에서 발생하는 다핵방향족탄화수소들의 8시간 시간가중 평균 총합이 $5 \mu\text{g/m}^3$ 을 넘지 않도록 하고 있으며, 이 기준에 비교해 볼 때, 적재 작업자에게 다핵방향족탄화수소 노출이 초과될 가능성이 있었다.

또한 Quenching press 작업자의 개인시료 측정에서도 $134.28 \mu\text{g/m}^3$ 이 발생된 것으로 보아 열처리부서의 작업은 적재대와 열처리로 및 Quenching press 작업 등으로 인해 수십-수백 $\mu\text{g/m}^3$ 의 다핵방향족탄화수소가 발생되고 있었다.

이 근로자는 20년 이상 하루 1갑 흡연하였지만, 후두암은 금속가공유, 특히 비수용성 절삭유(Straight Oil)의 노출과 관련된다는 연구가 일관되게 보고되고 있었고, 절삭유에 황이 포함되어 있는 경우 동물실험에서는 암 발생률이 높았다는 보고도 있었다. 또한 이 근로자의 후두암 발생 부위는 흡연 등 입자가 큰 물질 때문에 발생하는 성문 상부가 아니라, 성문부위에서 암이 발생되었다.

이러한 점을 고려할 때 이 근로자의 후두암은 열처리 작업 중 노출된 금속가공유에 의해 발생되었다고 판단되었다.

연마공정 근로자의 비인강암

2000년 11월, 자동차 볼트, 너트 제조 사업장의 55세 여성근로자가 연마공정에서 10여 년 간 근무하다가 비인강암으로 진단 받았다.

이 근로자는 마킹프레스를 이용하여 자동차용 너트 표면에 문자가 새겨진 편치로 표시하는 작업과 탭핑기를 이용하여 볼트나 너트의 편평한 면을 골라 산(흠)을 형성시키는 작업을 주로 하였으며, 전조기를 이용한 작업도 함께 하였다.

연마부서 유해물질로는 금속가공유로 탭핑기에 사용되는 탭핑유 및 연마부서 옆에

위치한 열처리로에서 사용되는 Quenching oil 등이 있다.

이들 유해물질에 대한 물질안전보건자료(MSDS)를 조사한 결과, 비수용성 금속가공유로, 성분 중 광물유(mineral oil)의 함량이 75-90% 정도였으며, 이들 유해물질에는 비인강암 유발가능인자 중 하나인 다핵방향족탄화수소가 함유될 가능성이 있었다.

탭핑기의 탭핑유 및 열처리로 Quenching Oil의 원시료 분석 결과, 탭핑유에는 Pyrene과 Benzo(ghi)perylene이 각각 함유되었으며, Total 다핵방향족탄화수소는 시료 1 g당 103.5121 μg 이 함유된 것으로 나타났다. 열처리로 Quenching Oil의 경우 총 다핵방향족탄화수소가 사용 전인 Quenching Oil은 시료 1 g당 157.2506 μg , 사용 중인 Quenching Oil은 259.3103 μg 이 함유된 것으로 나타났다.

공기 중 시료분석결과 Naphthalene 0.0009 - 0.0130 mg/m^3 , Acenaphthylene N.D. - 0.0039 mg/m^3 만이 일부 검출되었으며 다른 다핵방향족탄화수소는 검출되지 않았다.

우리나라 고용노동부의 화학물질 노출기준에는 16가지 다핵방향족탄화수소 중에 나프탈렌이 10 ppm(50 mg/m^3)으로 노출기준이 제시되어 있을 뿐, 그 외의 다핵방향족탄

화수소 물질의 노출기준은 없는 실정이었다. 그러나 휘발성 콜타르 피치(Coal tar pitch volatiles)의 경우 발암성물질로 확인된 물질(A1)로서 노출기준을 0.2 mg/m^3 으로 규정하고 있었다.

다핵방향족탄화수소는 비인강암 발생 관련요인으로 알려져 있는데, DNA에 작용하여 이러한 암을 발생시키는 것으로 추정된다.¹⁾

직업적 노출에 관한 연구로는 코호트 연구 및 환자대조군 연구에서 다핵방향족탄화수소 노출군에서 후두, 식도, 인강 등 상부기도의 암질환 발생이 증가하였다는 보고들이 있고²⁾³⁾, 동물실험에서도 다핵방향족탄화수소가 비인강의 암을 유발하였다는 보고가 있다.⁴⁾

이 근로자의 비인강암 발생에는 작업 중 취급한 금속가공유 속의 다핵방향족 탄화수소가 영향을 주었다고 판단되었다.

자동차 엔진 제조 사업장 근로자의 비용종과 만성 비염

2001년 6월, 자동차 엔진부품 연마공정의 37세 남성 근로자는 입사 후 13년간 계속 수용성 금속가공유를 사용하는 외경 연삭 작업을 하고 있었다.

이 작업은 설비(연마석, 조정석, 절삭유 펌프)를 가동하여 조정핸들로 절삭량을 조절한 후, 3대의 연삭기로 차례로 자동연삭 작업을 하는 것이었다. 제품 100개를 연삭한 후에는 연마석을 다이아몬드로 30-40분씩 깎아주는 드레싱을 했고, 2001년 6월 수술 전까지는 면 마스크를 착용하였고 금속가공유로 옷이 젖을 정도였다.

산업안전연구원은 금속가공유 원시료 및 공기 중 박테리아, 곰팡이, 내독소(endotoxin) 농도를 분석하였다.

오일미스트는 개인시료 및 지역시료 대부분 노출기준 미만이었으나 해당 근로자가 작업하였던 1톤 센터레스 공정의 지역시료에서는 8.3556 mg/m^3 (노출기준 5 mg/m^3)로 노출기준을 초과하였다.

1) Polycyclic aromatic hydrocarbon toxicity. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Am Fam Physician 1993 Feb 15;47(3):623-8

2) Mahboubi E. The epidemiology of oral cavity, pharyngeal and esophageal cancer outside of North America and Western Europe. Cancer 1977 Oct;40(4 Suppl):1879-86

3) Gustavsson P et al. Occupational exposures and squamous cell carcinoma of the oral cavity, pharynx, larynx, and oesophagus: case-control study in Sweden. Occup Environ Med 1998;53: 393-400

4) Thyssen J, Althoff J, Kimmerle G, Mohr U. Inhalation studies with benzo[a]pyrene in Syrian golden hamsters. J Natl Cancer Inst 1981 Mar;66(3):575-7

수용성 금속가공유를 취급하는 14명 근로자의 박테리아 노출수준 범위는 186-4,439 CFU/m³이었고, 박테리아 노출수준이 높았던 근로자들 대부분이 곰팡이에도 역시 높게 노출되고 있었다.

수용성 금속가공유를 취급하는 근로자(2,461 EU/m³)들은, 수용성 금속가공유를 직접 취급하지는 않지만 수용성 금속가공유를 사용하는 공정에서 작업하는 근로자(358 EU/m³)나 수용성 금속가공유를 사용하지 않는 공정에서 작업하는 근로자(179 EU/m³)보다 훨씬 박테리아 노출수준이 높았다.

근로자는 입사 2년 후인 1990년부터 찬바람을 쐬면 양쪽 코가 번갈아가며 막혔고, 1992년부터는 냄새를 못 맡았고 양쪽 코가 다 막혔으며, 2001년 초부터는 두통 및 우측 눈 주위 동통이 시작되었다.

2001년 5월 만성 부비동염, 비염, 만성 비후성 비염으로 진단받았는데 당시 증상은 양측성 코막힘(비폐색), 콧물(비루), 가래, 후비루(postnasal drip) 등이었다.

부비동의 단순방사선 및 컴퓨터단층촬영상 4곳 부비동 모두 만성 염증과 비염의 증 및 비중격 만곡증 소견이 있었다. 35가지 흡입성 항원에 대한 검사(MAST)에서는 음성이었다.

여러 가지 측면을 고려해 본 결과, 이 근

로자의 만성 부비동염은 13년간 수용성 금속가공유를 취급하여 작업하면서, 금속가공유에 의한 비강 점막의 자극과 금속가공유가 적절히 관리되지 못하면서 부패하여 발생한 박테리아 및 곰팡이에 감염되어 발생한 것으로 판단되었다. 또한 박테리아 번식에 의해 고농도로 발생한 내독소도 비강 점막을 자극하여 만성 부비동염이 발생하는데 기여하였을 것으로 판단되었다.

한편, 이 근로자는 비염종도 있었는데, 비염종의 원인에 대해서는 논란이 있는 상황이었다.

원인으로는 세균성 감염과 알레르기가 거론되고 있었는데, 천식 유발물질이면서 호흡기 점막 자극물질인 포름알데히드도 노출기준 미만이라는 하지만 공기 중에서 검출되었다.

1톤 센터레스 공정은 포름알데히드 노출수준이 가장 높았고, 오일미스트와 총분진이 노출기준을 초과하였다. 비강 점막이 내독소와 포름알데히드 등에 만성적으로 자극될 경우 이차적으로 세균 감염도 잘 일어날 수 있다는 점을 감안하면, 이 근로자의 비염종 역시 작업과 관련하여 발생하였을 가능성이 높았다.

만성 비후성 비염 역시 비강 점막이 만성적으로 자극되면서 발생하였을 가능성이 높다고 판단되었다.

열처리 사업장의 금속가공유 노출수준평가를 위한 역학조사⁵⁾

금속가공유에 의한 직업성 암과 호흡기 질환이 발생하자, 산업안전보건연구원은 2002년 금속가공유를 취급하는 공정에 대한 업종별 역학조사를 실시하였다.

금속가공유의 종류는 다양한데, 특히 다핵방향족탄화수소의 노출이라는 관점에서, 작업공정 중 열의 발생 유무가 노출수준에 영향을 주는 변수로 생각될 수 있다. 기계조립이나 자동차 제조 등 대부분의 금속가공유 취급 작업은 고열의 발생 없이 금속가공유가 분무되는 방식의 공정이다.

이에 비해 금속가공 작업 중 고열이 발생하는 대표적인 업무인 열처리업은 금속가공유가 분무방식으로 사용되지 않으므로 비교적 오일미스트 발생량은 낮을 수 있으나, 공정 중 발생하는 고열에 의해 열처리유가 고열에 의해 쉽게 증발되어 다핵방향족탄화수소의 노출수준이 높을 가능성이 있다.

열처리 업무는 금속산업의 생산기반사업으로 기계제작 공정의 마지막 단계를 차지하며, 기계제품의 품질 향상과 고급화, 정밀화를 위한 핵심적 공정으로 알려져 있다. 대부분의 사업장에서 열처리 업무는 임가공 방식의 하청업 형태를 이루고 있는데,

다품종 소량생산 품목에 대해서는 전문 열처리 업체에 외주처리를 행하지만, 대량 소품종, 정밀부품에 한해서는 대기업이 자체 처리하는 경향이 있으므로, 열처리 업무에 대한 평가를 위해서는 열처리 전문업체 뿐 아니라 일반 금속가공업 사업장의 자체 공정중 열처리 업무의 평가가 필요하다.

2002년의 금속가공유 사업장 역학조사는 고열발생 사업장인 열처리업무를 평가하여, 취급하는 금속가공유인 열처리유의 다핵방향족탄화수소 함량을 평가하고, 공기중 다핵방향족탄화수소 노출 양상, 오일 미스트 노출수준을 평가하였다.

금속가공유 취급 업종 중 열처리업 사업장 10개소를 임의로 선택하여 1차 조사를 실시하였다.

1차 조사 대상 사업장 중 사업장 J는 생산 작업이 중단되어 본조사 대상에서 제외하였다. 그리고 9개 사업장 중 열처리 작업이 상시적으로 수행되며 작업량이 연중 일정하고, 전담 열처리 작업자가 10명 이상이며, 작업방법과 환기설비 상태로 보아 금속가공유 노출수준이 높을 것으로 예상되었던 사업장 4개소 98명을 본조사 대상사업장으로 선정하였다.

5) 김은아, 발암성물질 취급사업장의 노출평가에 관한 연구 II (보건분야-연구자료 연구원 2003-12-43) 2003. 산업안전보건연구원

조사대상 사업장 열처리유의 다핵방향족 탄화수소 함유 여부를 보기 위해 성분분석을 실시하였다. 전체 분석시료 17종 21개에서 총 PAHs 기하평균은 시료 1g 당 23.46 mg으로 2.35%였다.

다핵방향족탄화수소의 종류는 Fluorene, Acenaphthene, Anthracene, Chrysene의 경우 21개 시료에서 모두 검출되었는데, Acenaphthylene, Fluoranthene Pyrene은 17개 시료에서 검출되었으며, Benzo(a)anthracene과 Benzo(a)pyrene은 16개 시료에서, Naphthalene은 13개 시료에서 검출되었다.

기하평균이 가장 높은 물질은 Anthracene으로 1g 당 4.63 mg이었으며, Phenanthrene은 3.75 mg으로 다음으로 높았다. 그 외 Pyrene은 2.60 mg, Acenaphthylene이 1.46 mg이었으며 Benzo(a)pyrene은 0.09 mg 이었다.

전체 조사대상의 공기 중 PAHs 농도는 산술평균 $4.51 \pm 3.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 기하평균 $3.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (범위 $0.11 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 20.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다.

가장 많은 시료에서 검출된 PAHs는 Benzo(a)pyrene으로 80개의 시료 모두에서 검출되었으며, 노출수준은 기하평균 $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (범위 $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 0.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다.

가장 높은 기하평균을 나타낸 PAHs는

Naphthalene으로 기하평균 $1.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (범위 $0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 11.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다.

일부 PAHs는 소수의 시료에서 검출되었는데, Chrysene은 7개, Benzo(ghi)perylene은 5개, Anthracene은 4개, Indeno(1,2,3-cd)pyrene는 3개, Pyrene은 1개에서 검출되었고, Dibenz(a,h)anthracene은 검출되지 않았다.

맺음말

산업안전보건연구원은 위 역학조사를 통해 금속가공유 취급근로자에게 발생하는 직업성 암과 호흡기계질환을 발견하였고, 이를 통해 금속가공유에서 다핵방향족탄화수소를 비롯한 여러 가지 건강위험요인이 있음을 알게 되었다.

이러한 직업병발생 사례를 보고, 고열이 발생하는 사업장인 열처리 사업장의 금속가공유에 의한 다핵방향족탄화수소를 평가하기 위한 역학조사를 수행하였다.

산업안전보건연구원의 역학조사는 비수용성 금속가공유의 다핵방향족탄화수소가 호흡기계 발암물질로 가장 문제가 되며, 수용성 금속가공유의 내독소가 주요 위험 요인이라는 사실을 국내 사업장에 재확인하는 계기가 되었다. 🌟