

금속가공업의 금속 분진과 흙: 공정별 유해인자와 예방 대책

금속가공업은 절삭, 연마, 쇼트(Shot) 작업, 용접·용단, 주조, 출탕, 표면처리, 도장 전처리 등 다양한 공정을 포함하는 대표적인 기반 산업이다. 자동차, 조선, 기계, 산업설비 등 여러 제조업이 이 산업에 의존하고 있다. 작업환경 측면에서는 분진, 흙, 유해가스, 자외선, 고열 등 복합 유해요인이 복합적으로 발생하는 분야이기도 하다.^{1-4, 12}

금속가공 현장의 입자상 유해인자는 크게 분진(Dust)과 흙(Fume)으로 나눌 수 있다. 분진은 절삭, 그라인딩, 쇼트, 샌딩, 집진기 청소처럼 기계적 힘에 의해 발생하는 입자가 중심이다. 흙은 금속이 고온에서 기화된 뒤 공기 중에서 산화·응결되며 생성되는 매우 미세한 입자이다.^{1, 2, 12} 특히 용접흙은 주로 1 μ m 미만의 초미세 입자로 구성되어 폐포까지 도달하기 쉽고, 철, 망간, 크롬, 니켈 등의 금속 성분뿐 아니라 일산화탄소, 오존, 질소산화물 등과 함께 복합적으로 문제를 일으킨다.^{1, 2, 12} 따라서 금속가공업의 건강 위험은 단일 물질 노출이 아니라 혼합 노출의 관점에서 이해할 필요가 있다.^{1-3, 12}

금속가공업의 유해인자와 직업병

공정별로 보면 유해인자의 양상은 다소 다르다. 절삭·연마·쇼트 작업에서는 산화철, 산화알루미늄, 도막에서 유래한 광물성 분진, 실리카 함유 분진 등이 문제가 될 수 있다.^{3, 4} 용접·용단에서는 금속흙과 함께 오존, 질소산화물, 일산화탄소, 자외선 노출이 중요하다.^{1, 2, 12} 주조·출탕 공정에서는 금속흙뿐 아니라 주형사와 보조재에서 유래한 결정형 실리카, 탄소 열분해에 따른 일산화탄소, 결합제 열분해물인 포름알데히드와 다핵방향족탄화수소(PAHs)까지 함께 고려해야 한다.⁵ 결국 동일한 금속가공업이라도 공정별 노출 양상과 우선 관리 대상은 달라질 수 있으며, 관리 대책 역시 공정 특성을 반영해 설계되어야 한다.¹⁻⁴

이러한 노출은 다양한 직업병과 연결된다. 대표적으로 금속흡열, 만성 기관지염, 천식, 용접공폐증, 만성폐쇄성폐질환(COPD), 간질성 폐질환, 폐암 등이 알려져 있다.^{1, 2, 4, 12} 또한 망간이 포함된 흙에 장기간 노출되면 신경행동학적 변화나 파킨슨증후군 유사 증상이 문제가 될 수 있고, 카드뮴, 6가 크롬, 니켈

김부욱

인제대학교
보건안전공학과 교수





등이 포함된 경우에는 신장 독성 및 발암성 우려가 커진다.^{1, 2, 11, 12} 드물지만 용접흡 노출이 금속 작업자의 감염 취약성을 높여 Welder's Anthrax와 같은 중증 폐감염과 연관될 수 있다는 점도 보고되어 있다.¹⁰

집진기 분진 청소와 같은 비정규 작업이 고노출의 핵심 상황이 될 수 있다.

국내 자료를 보면, 금속가공공정의 복합 노출은 실제 작업환경에서 뚜렷하게 확인된다. 합금철 제조공장 출탕작업 노동자를 조사한 연구에서는 총 분진 0.407~3.001mg/m³, 호흡성 분진 0.196~0.584mg/m³가 측정되었고, 결정형 실리카 최고 농도는 국내 노출 기준을 초과하는 0.079mg/m³였다.⁵ 또한 마사토와 소석회에서 결정형 실리카가 각각 90.85%, 4.17% 함유되어 있었으며, 금속흡 중 망간은 최대 0.205mg/m³로 측정되어, 현재 미국 ACGIH의 망간 TLV와 일본의 망간 노출 기준을 상회하는 수준이었다. 일산화탄소는 전체 작업시간 평균 3.89ppm이었으나 출탕 중 약 40분 평균은 18.82ppm, 최대는 131ppm이었다.⁵ 이 연구는 출탕공정에서 결정형 실리카, 금속흡, 일산화탄소가 함께 존재하는 복합 노출 양상을 보여주며, 장기적으로 폐암과 COPD 발생 가능성을 고려해야 함을 시사한다.⁵ 또한, 농기계 제조공장에서 쇼트와 그라인딩 작업을 하던 노동자는 금속 표면 연마, 사포질, 시너 세척, 집진기 분진 청소 등을 수행한 뒤 기침과 호흡곤란이 진행되어 상세 불명의 간질성 폐질환으로 진단되었는데⁶, 이 사례에서 연구진은 산화철 분진, 초미세 금속흡, 실리카 함유 분진, 고농도 청소 작업 노출이 복합적으로 작용했을 가능성을 제시하였다.⁴ 특히 정규 생산 작업뿐 아니라 집진기 분진 청소와 같은 비정규 작업이 고노출의 핵심 상황이 될 수 있다는 점은 현장 관리에서 중요하게 다루어져야 한다.⁴ 한편, 최근 가장 중요한 쟁점은 용접흡이다. 국제암연구소(IARC)는 2018년 모노그래프 118에서 용접흡을 사람에게 발암성이 있는 Group 1로 재분류하였다.¹ 같은 평가에서 전 세계적으로 약 1,100만 명이 용접공으로 일하고, 약 1억 1천만 명이 직간접적으로 용접 관련 노출을 경험하는 것으로 추정하였다.^{1, 12}

정규 생산공정뿐
아니라 비정규
고노출 작업도
관리 범위에
포함해야 한다.

과거에는 스테인리스강 용접처럼 크롬과 니켈 노출이 큰 작업이 주로 문제시 되었으나, 현재는 탄소강(Mild Steel) 용접까지 포함한 모든 용접종을 관리 대상으로 보는 방향으로 인식이 바뀌고 있다.^{①, ③, ⑫} 영국 HSE는 탄소강 용접종까지 포함한 모든 용접종에 대해 관리강화 입장을 제시하였고, 호주와 일본도 용접종 또는 그 핵심 성분에 대한 관리 기준과 체계를 강화하는 흐름을 보이고 있다.^{⑤-⑦, ⑫} 이러한 변화의 배경에는 세 가지가 있다. 첫째, 용접종은 특정 금속 하나가 아니라 여러 금속과 유해가스가 함께 포함된 복합 독성 혼합물이라는 점이다.^{①, ②} 둘째, 초미세 입자 특성 때문에 폐 깊숙이 침착하고 전신 염증, 산화스트레스, 세포독성을 유발할 가능성이 크다는 점이다.^{①, ②} 셋째, 망간의 경우 전형적인 임상적 망간중독 수준보다 더 낮은 농도에서도 신경행동학적 변화가 보고되어 왔다는 점이다.^{①, ⑫} 따라서 정부는 주요 국제기관의 평가와 규제 동향에 맞추어 상시 모니터링하고, 새로운 위해성 근거와 관리 필요성이 확인되는 경우 국내 기준과 예방지침에 신속히 반영할 수 있는 체계를 갖추어야 한다.

작업장 내 개선책 및 안전보건 활동

개선 대책은 한 가지 수단으로 해결되기 어렵고, 공정 특성에 맞춘 다층적인 노출 저감 전략으로 접근해야 한다. 원칙적으로는 가능한 범위에서 공학적 제어를 우선 적용하는 것이 바람직하지만, 선박, 대형 구조물처럼 작업물이 크고 자세 제약이 큰 현장에서는 용접종을 발생원 바로 옆에서 항상 효과적으로 포집하기 어렵다.^{⑤, ⑧, ⑫} 따라서 이러한 현장에서는 국소배기장치를 적용할 수 있는 구간에서는 최대한 발생원 가까이 제어하고, 그것이 어려운 경우에는 이동식 흡 집진장치, Push-Pull 환기, 일반 환기 보강, 공정 분리, 작업 위치 조정, 밀폐·협소 공간 출입 관리, 작업시간 조정 등을 함께 적용해야 한다.^{⑤, ⑧, ⑫} 즉 '발생원 제어'만을 단독 해법으로 보는 것이 아니라, 현장 적용 가능성을 고려한 공학적·관리적 대책의 조합으로 접근해야 한다는 뜻이다.^{⑤, ⑧, ⑫}

또한 정규 생산공정뿐 아니라 비정규 고노출 작업도 관리 범위에 포함해야 한다. 집진기 호퍼 분진 처리, 바닥 청소, 설비 보수, 슬래그 제거, 출탕길 보수, 밀폐공간 세척 등의 작업은 작업시간이 짧더라도 순간 노출이 매우 클 수 있다.^{③, ④} 따라서 작업환경측정과 위험성 평가도 평상시 대표 작업만을 기준으로 할 것이 아니라, 이러한 고노출 작업을 포함하여 설계되어야 한다.^{③, ④} 빗자루 쓸기나 압축공기 불기처럼 분진을 다시 비산시키는 청소 방식은 지양하고, 가능하면 흡입식 청소나 습식 청소로 전환하는 것이 바람직하다.^{③, ④}

호흡보호구 수준 역시 높여야 한다. 금속가공업에서는 아직도 먼 마스크나 일반 방진마스크 수준의 보호에 머무는 경우가 적지 않지만, 용접종과 금속 미세

분진은 매우 작은 입자이므로 충분한 보호 등급을 갖춘 호흡보호구를 선택해야 한다.^{7-9,12} 특히 보호구는 지급만으로 충분하지 않다.

밀착형 호흡보호구는 얼굴에 제대로 맞지 않으면 실제 보호 성능이 크게 떨어질 수 있으므로, 밀착도 검사(Fit Test)를 포함한 적합성 확인이 중요하다.^{7,9} 일본은 금속 아크 용접용 관리에서 면체형 호흡보호구의 정기적 Fit Test를 요구하고 있으며, 미국 OSHA 역시 밀착형 호흡보호구에 대해 적합성 검사를 제도화하고 있다.^{7,9} 국내에서도 고노출 금속가공 작업에 대해서는 보호구 선정 기준을 강화해, 일반 방진마스크에 머무르지 않도록 하며, 밀착형 호흡보호구에 대한 Fit Test 제도화를 실시해야 한다.^{7-9,12}

금속가공업의 금속 분진과 흙 문제는 더 이상 단순한 먼지 문제가 아니다. 철·석·연마·쇼트·용접·주조·출탕 과정에서 발생하는 분진과 흙은 입자 크기, 화학성분, 동반 유해가스, 작업 방식에 따라 건강 영향이 크게 달라질 수 있으며, 직업성 호흡기질환과 발암 위험의 중요한 원인이 된다.^{1-4,12}

앞으로의 관리 방향은 분명하다. 공정별 유해인자를 정확히 파악하고, 적용 가능한 공학적 제어를 확대하며, 비정규 고노출 작업의 관리, 고성능 호흡보호구 적용, 그리고 밀착도 검사(Fit Test)를 포함한 실효적 보호체계 구축이 필요하다.^{5,7-9,12} 금속가공업의 직업병 예방은 보호구를 형식적으로 지급했는가 아니라, 실제로 노출을 줄였는가와 보호 효과가 확보되었는가를 기준으로 다시 정립될 필요가 있다.^{5,7-9,12}

‘발생원 제어’만을
단독 해법으로 보는
것이 아니라,
현장 적용 가능성을
고려한 공학적·관리적
대책의 조합으로
접근해야 한다.

참고문헌

- 1 International Agency for Research on Cancer (IARC). Welding, Molybdenum Trioxide, and Indium Tin Oxide. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol 118. Lyon:IARC;2018.
- 2 Antonini JM. Health effects of welding. Crit Rev Toxicol. 2003;33(1):61-103.
- 3 김부욱, 차원석, 최병순. 「합금철 제조공장 출탕 노동자의 유해인자 노출」. 한국산업보건학회지. 2017;27(4):302-312.
- 4 김부욱, 서동환, 김현주. 「단기간 금속분진 노출에 의해 발생한 간질성 폐질환 업무관련성 평가」. 한국산업보건학회지. 2025;35(1):1-11.
- 5 Health and Safety Executive (HSE). Change in enforcement expectations for mild steel welding fume.
- 6 Safe Work Australia. Welding fumes.
- 7 厚生労働省. 金属アーク溶接等作業について健康障害防止措置が義務付けられました.
- 8 Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 29 CFR 1926.353 Ventilation and protection in welding, cutting, and heating.
- 9 Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 29 CFR 1910.134 Respiratory protection.
- 10 Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (CDC/NIOSH). Welder's Anthrax.
- 11 Roels HA, Ghyselen P, Buchet JP, Ceulemans E, Lauwerys RR. Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust. Br J Ind Med. 1992;49(1):25-34.
- 12 김부욱. 「용접 흙 노출과 건강영향: 기준과 관리체계의 검토」. 2026 한국산업보건학회 동계학술대회 토론회 발표자료(RT2: 용접용의 유해성 및 개인보호 솔루션).