



알루미늄 금속의 건강 유해성 정보와 안전성 연구의 필요성



산업안전보건연구원
흡입시험연구부 전문위원
김용순

금속소재 산업은 한국 경제 및 산업계에서 중요한 위상을 차지하고 있으며, 금속산업 생산액 규모와 비중으로 보면 제조업의 약 14%를 차지하고 있다고 한다. 그중 알루미늄은 다양한 용도 활용과 다양한 형태로 가공이 가능한 특성 때문에 철에 이어 제2금속으로 불릴 정도로 많이 활용되고 있다. 이런 이유로 알루미늄을 취급하는 노동자들의 건강장해 예방을 위해 알루미늄의 인체 유해성 정보를 환기시키고자 관련 문헌을 참조하여 알루미늄의 건강 유해성 정보를 알아보고자 한다.

알루미늄은 은백색을 띠는 가벼운 금속으로, 대부분의 알루미늄 화합물은 높은 용점을 나타내는 고체이다. 알루미늄과 그 화합물은 지구 표면의 약 8%를 구성하며, 지각 구성 원소 가운데 철보다도 많기 때문에 금속 원소 중에서는 가장 흔한 원소이다. 알루미늄은 자연적으로 규산염, 보크사이트 등에 존재한다. 보크사이트는 알루미늄 생산에 사용되는 가장 중요한 원료이며, 전기분해와 산화알루미늄(알루미나)을 통해 알루미늄 금속이 생산된다. 알루미늄 분말은 안료 및 도료, 연료 첨가제, 폭발물 및 추진제에 사용되며, 산화 알루미늄은 식품 첨가제 및 연마제, 내화 물질, 세라믹, 전기 절연체, 촉매, 종이, 접착 플러그, 전구, 인조 보석, 합금, 유리 및 내열성 섬유 등의 제조에 사용된다. 수산화 알루미늄은 제약 및 퍼스널 케어 제품에 널리 사용되고, 알루미늄 화합물의 식품 관련 용도에는 방부제, 충전제, 착색제, 고결 방지제, 유화제 등이 있다. 산업공정과 관련된 알루미늄의 인위적인 노출 경로는 주로 대기를 통한 경로이며, 건강 유해 정보 중 발암성에 대해서는 분류되지 않았다.

사람의 직업적 흡입 노출로 인한 알루미늄의 생체 이용률(혈류를 통한 생체 흡수 비율)은 약 2%인 반면, 물의 섭취 등으로 인한 알루미늄 생체 이용률은 0.1~0.4%로 보고되었다. 섭취를 통한 알루미늄 생체 이용률은 구연산염, 산성 pH 등에 의해 증가된다. 알루미늄 체내 분포(body burden)의 약 60%, 25%, 10%, 3% 및 1%는 각각 뼈, 폐, 근육, 간 및 뇌에 있다. 연령에 따라 조직 내 알루미늄 농도는 증가하고, 알루미늄의 95% 이상이 신장에 의해 제거되며 약 2%는 담즙으로 제거된다.

동물실험에서 플라이 애쉬(비산재, fly ash)의 폐 침적은 2~12%였으며, 입자 크기와 반비례 관계가 있었다. 섭취를 통한 알루미늄 생체 이용률은 0.3%인 것으로 사료 된다. 사람과 유사하게 섭취를 통한 알루미늄 생체 이용률은 구연산염, 카르복실산, 알루미늄 종류의 용해도 증가, 산성 [pH], 백혈병, 증가된 투여량 등에 의해 증가된다. 알루미늄은 전신 순환을 우회하여 직접적인 경로로 비강에서 뇌에 들어갈 수 있지만 설득력 있는 증거는 부족하다. 사람에서와 마찬가지로 연령에 따라 조직 내 알루미늄 농도가 증가한다. 알루미늄은 태반, 태아, 우유, 모발, 모든 조직과 체액에서 정량화할 수 있다. 약 95% 이상의 알루미늄이 신장에 의해 제거될 것이며, 사구체 여과에 의해 제거될 것으로 생각되며, 담즙에서는 2% 미만이 제거될 것으로 생각된다.

알루미늄에 대한 직업적 노출은 1차로 금속의 정제 과정과 알루미늄 제품을 사용하는 2차적인 산업에서 발생한다. 여러 연구에 의하면 알루미늄 산업 종사자의 호흡기관에 대한 영향이 보고되었다. 특히 Potroom 천식으로 알려진 천식과 유사한 증상이 가장 많이 연구된 호흡기 영향 부분이다. 일초 시 강제 호기량(Forced expiratory volume at one second; FEV1)과 강제

폐활량(Forced vital capacity; FVC)을 측정하여 평가한 Wheezing, 호흡 곤란 및 손상된 폐 기능이 이 질환의 주요 특징이다. 사례연구 등을 통해 Potroom 비-노출 노동자와 노출 노동자를 비교했을 때 노출 노동자의 폐에 미치는 유해한 영향의 빈도가 증가했다. Potroom 천식의 원인은 완전히 밝혀지지 않았지만, 꽃가루 알레르기가 있는 사람들과 호산구 증가가 있는 사람들의 천식 발병 위험이 높아진다는 증거가 있다. 다른 연구들은 알레르기 상태와 증상의 발전 사이의 연관성을 발견하지는 못했다. Potroom 알루미늄 노동자에게 호흡기 문제는 일반적으로 작업장에서 알루미늄 이외의 유독 화학물질과 관련되어 있다. 대조적으로, 알루미늄 분말에 대한 노출은 알루미늄 산업 노동자의 폐 섬유증 발생과 직접적인 관련이 있는 것으로 생각된다.

직업적 알루미늄 노출의 결과로 인한 부작용이 광범위하게 조사되었으며, 알루미늄 노출은 알루미늄 산업에서 일하는 연수, 그리고 알루미늄 산업에서 일한 경험이 있는지 또는 지속적으로 일하고 있는지 등 여러 가지 방법으로 평가되었다. 직업적인 알루미늄 노출은 조정 상실, 기억 상실, 그리고 균형 문제와 같은 다양한 신경 정신병 증상과 유의한 상관관계가 있다. 하지만, 알츠하이머병과 직업적 알루미늄 노출 사이의 관계를 구체적으로 조사한 연구에서는 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 알루미늄 합금 및 알루미늄 분진에 노출된 노동자에서 접촉성 피부염 및 자극성 피부염 발생이 보고되었다. 몇몇 역학 연구에 의하면 알루미늄 산업에서 노동자들에게 폐암 또는 방광암이 발생할 위험이 증가한다고 보고되었지만 이러한 모든 연구에서의 위험은 알루미늄 화합물에 노출된 것보다는 알루미늄 생산 중에 생성된 PAH(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 다환방향족탄화수소)에 기인한 것으로 밝혀졌다.

알루미늄에 대한 직업적 노출의 영향을 조사하는 연구는 많은 방법론적 문제로 인해 연구가 제한된다. 작은 표본 크기, 분류가 잘못된 바이어스(편향), 부적합한 비교 그룹의 선택, 혼동 요인을 통제하기 위한 정보의 부족은 이러한 직업 연구에서 일반적인 약점이다. 이물 반응, 폐포 단백질증 및 세포벽 비후, 폐 섬유증 및 간질성 폐기종의 전형적인 변화와 섬유화 정도가 아닌 결절 형성은 알루미늄 산업에서의 직업적 노출과 관련이 있다. 낮은 알루미늄 노출은 보크사이트 정제 또는 미세하게 분쇄된 알루미늄 분말에 노출된 노동자에게 보이는 폐 섬유증의 원인이 된다.

알루미늄의 직업적 노출은 주로 호흡 또는 피부접촉과 관련된 연구가 많지만, 비-직업적 노출은 음용수 및 식품을 통한 노출에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 음용수에서 알루미늄 노출은 신경 장애의 발달과 관련하여 광범위하게 조사되었다. 이 연관성을 둘러싼 연구결과는 연구방법과 질적인 문제 때문에 해석하기가 쉽지 않다. 확인된 역학 연구의 전부는 아니지만 대다수가 음용수의 알루미늄 함량과 인지기능 장애 위험성 사이의 연관성이 있을 수 있다고 보고했다. 음용수 공급에서의 알루미늄과 알츠하이머 발생 위험 사이의 관계를 연구한 많은 연구들은 개인 노출 정보의 부족, 질병의 확인 불가, 중요한 교란 요인에 대한 조정 실패, 작은 표본의 크기 등

방법론적인 문제로 인해 해석에 제한적이며, 식품 내의 알루미늄과 알츠하이머의 위험성을 둘러싼 증거는 매우 미미하다.

알루미늄의 유해성 평가 연구자는 흡입 또는 주사를 통한 알루미늄 노출 후에 자극을 일으킬 수 있다는 강력한 증거가 있다고 결론지었다. 섭취 후 생식독성, 신경학적 독성 및 뼈 독성에 대한 영향의 적합한 증거가 존재한다고 한다. 다른 모든 영향은 명확한 증거가 없는 것으로 판단하였다.

알루미늄을 취급하는 사람 중 신장 기능이 손상된 개인은 건강한 사람만큼 효과적으로 알루미늄을 제거하지 못한다. 이 때문에 신장기능이 약한 노동자는 알루미늄 관련 공정에서 적절한 보호구 착용 등 대책 마련 후 관련 업무를 수행하는 것이 중요하다.

알루미늄 노동자에 대한 호흡기 질환 및 알루미늄, 알루미늄 화합물로 인한 신경학적 영향의 위험을 평가하기 위해서는 정확한 노출 측정 방법을 사용하여 흡입을 통한 알루미늄 및 알루미늄 화합물에 대한 직업적 노출에 대한 대규모의 종단 연구가 필요하다.

또한, 기존의 알루미늄을 나노 단위로 가공하여 나노물질이 가지고 있는 특성을 이용하는 기술의 발전과 함께 관련 제품이 증가함에 따라 나노 알루미늄의 인체에 대한 노출이 높아지고 있으며, 이와 함께 나노 알루미늄의 생산, 제조, 유통 및 사용 등에 따른 인체 유해성에 대한 관심과 평가의 필요성이 높아지고 있다. 그중 산화알루미늄 나노 파우더는 고전압 나트륨 램프, 고 인장 알루미늄 세라믹, 포장재, 절삭공구, 고 순도 도가니, 용광로 튜브, 유리, 금속, 반도체, 플라스틱, 자기 테이프, 그라인딩벨트, 코팅, 고무, 플라스틱 및 소수성 물의 내마모성 강화제, 형광물, 특수유리 및 복합물질, 반응기, 촉매 캐리어, 분석시약, 우주 항공기 부품 등 그 활용도가 매우 높다. 또한 국내에서 사용되는 나노물질 중 이산화규소 다음으로 두 번째로 많이 사용되고 있다. 산화알루미늄은 그 사용량과 중요성이 높아 노동자의 건강보호를 위해 유해성평가 등이 필요하지만 나노 물질에 대한 유해성평가를 위한 자료는 상대적으로 제한적이다.

이와 같이 알루미늄에 대한 유해성 연구는 비교적 많이 이루어져 있지만 노동자들의 건강장해 예방을 위해 지속적인 추가 연구가 필요하며, 이와 함께 관심과 활용도가 점차 높아지는 나노 알루미늄 및 나노 금속류에 대한 안전성 연구 또한 매우 필요하다. 🍷

참고문헌

1. Krewski D., Yokel R.A., Nieboer E., Borchelt D., Cohen J., Harry J., Kacew S., Lindsay J., Mahfouz A.M., Rondeau V. Human Health Risk Assessment for Aluminum, Aluminum oxide, and Aluminium Hydroxide. 2007, J Toxicol Environ Health B Crit Rev. 10(Suppl 1):1-269.
2. 권정택, 서균백, 이이미, 김현미, 심일섭, 조은혜, 김필제, 최경희 (2013) 비강내 점적 노출을 통한 산화 알루미늄 나노입자의 폐독성 평가. 한국환경보건학회지 39(1), 48-55.
3. 위키백과 <https://ko.wikipedia.org>