

# 나노물질 취급 작업자 건강보호 지침이 필요한가?



산업안전보건연구원 화학물질센터  
독성연구팀 연구위원  
이 나 루

물질을 나노 크기 (1 ~ 100 nm)에서 조작하는 나노기술은 인류가 이전에 가지지 못했던 이로움을 사회에 선사하고 있다. 이전에 인류가 사용하던 물질이라도 나노 크기에서 조작하면 새롭고 유용한 특성을 갖게 된다. 나노기술은 물질을 나노 크기에서 조작할 뿐 아니라 표면 처리도 다양하게 할 수 있다.

그러나 이런 새로운 기술은 인류에게 이로움을 줄 뿐 아니라 유해성에 대한 우려도 낳았다. 나노기술을 적용할 수 있는 나노물질이 방대하고, 하나의 화학적 성분을 갖는 물질에 대해서도 크기, 표면 코팅 등을 다양하게 할 수 있기 때문에 나노물질이 인간 및 환경에 유해한 지 안전한 지 밝히는 데 많은 노력이 필요하다.

현재 나노물질의 유해성에 관한 연구 결과를 보면 나노물질의 크기, 형태, 표면처리 상태 등이 유해성에 영향을 준다고 밝혀졌다. 특히, 제조나노물질 중 하나인 카본나노튜브가 동물실험에서 폐 염증, 섬유화 뿐 아니라 종양까지 발생시키는 것으로 보고되고 있다. 그러나 현재까지 인체에 대한 영향이 보고되지 않고, 나노물질의 유해성을 일으키는 기전이 밝혀지지 않고 있다. 제조나노물질은 하나의 화학물질이 아님에도 제조나노물질의 특성이 유해성에 영향을 주는 것으로 보이므로, 유해성에 영향을 주는 나노물질의 특성을 찾기 위해 연구자들이 노력하고 있다. 나노물질의 화학성분, 크기, 모양, 표면 상태 등이 너무 다양하여 각각의 나노물질을 대상으로 독성실험을 하여 유해성을 밝혀내기는 매우 어렵다.

과학자들은 나노물질의 유해성에 대해 알고 있는 것과 모르는 것이 있다는 점을 인정하고, 나노물질의

유해성에는 대해 '불확실성' 이란 스티커를 붙인다. 화학물질의 유해성에 불확실성이란 스티커가 붙으면 사회에서 위험을 관리해야 하는 주체들은 혼란을 겪게 된다. 「불확실한 위험을 관리해야 하는가? 관리한다면 어느 수준까지 관리해야 하는가?」에 대해 사회가 의사 결정을 해야 한다.

유럽연합에서는 화학물질 등록, 평가, 승인 및 금지(Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical) 법에서 화학물질 관리에 대한 원칙을 밝히고 있다. 화학물질을 제조하거나 수입하는 사람들이 위험을 확인하고 관리해야 한다고, 사업주에게 화학물질의 유해성 여부에 대한 증명의 책임을 부가한다. REACH법에 따르면 화학물질 제조자 등이 대상 화학물질을 안전하게 사용할 수 있다는 것을 증명하여야 하며, 하위 사용자에게 위험 정보 및 사용 방법을 전달할 의무가 있다고 명시하고 있다. 만약 화학물질과 관련된 위험을 관리할 수 없다면 관계 부처는 화학물질의 사용을 제한할 것이다.

유럽연합에서는 나노물질도 화학물질이므로 REACH법 적용을 받는다고 명시하였다. 다만 나노물질이 안전하게 사용되는지 증명하는 도구는 나노물질이 아닌 다른 화학물질에 적용하였던 도구와 달라질 수 있으며 이에 대한 검토를 하고 있다고 한다.

유럽 안전보건청에서는 나노물질은 화학물질로서 작업장의 안전 보건에 관한 유럽 연합 규정(89/391 EEC)에 따라 사업주는 사용하는 나노물질에 대해 위험성 평가를 실시하여야 하며, 화학물질 규정(98/24EC)에 따라 유해성이 있는 경우 예방 조치를 실시하고, 예방 조치의 효과를 평가하고 작업자들에 대해 건강 감시를 실시해야 한다고 명시하고 있다.

미국 산업안전보건청에서는 나노물질은 산업안전보건법 Section 5(a) 일반의무 조항 (사업주는 근로자에게 사망이나 질병을 일으킬 수 있는 인식된 위험이 없는 작업장을 제공하여야 한다) 적용을 받는다고 명시하고 있다. 부가적으로 인식된 위험(Recognized hazards)은 미국 국립산업안전보건연구원의 자료에 근거하며, 현재로서는 나노물질 위험성 평가에서 불확실성 때문에 사전 예방원칙을 적용한 노출 감소가 필요하다고 명시하고 있다.

나노물질의 유해성이 불확실한 상황에서 유럽연합과 미국은 조금 다른 정책적인 접근을 하고 있다. 유럽연합은 나노물질의 유해성을 증명하고, 위험이 발생하지 않도록 안전하게 취급하는 것이 사업주의 의무를 관련법에서 밝히고 있고, 미국에서는 나노물질의 유해성 입증 책임은 정부에 두고 있지만 사업주에게 노출 감소를 위한 책임을 부과하고 있다. 나노물질의 유해성을 누가 어떻게 증명할 것인지는 논의로 둔다면, 유럽 연합과 미국 모두 노출 감소 조치를 어느 수준까지 할 것인가는 구체적으로 명시하고 있지 않지만 사업주는 나노물질을 취급하는 작업자의 위험을 감소시키기 위해 무엇인가를 하도록 요구하

고 있다. 이러한 요구는 불확실한 위험에 대한 사전 예방 원칙에 의한 것이다.

불확실한 위험에 대한 사전 예방 원칙은 위험 관리가 필요한 많은 분야에서 사용되고 있다. 그러나 사전 예방원칙을 위험 관리에 적용하기 위해서는 전문가들의 판단과 많은 정보를 필요로 한다. 위험 관리를 어느 수준까지 할 것인가는 비용과 직결되는 문제이므로 사회적으로 합의가 필요한 사안이다. 사회적으로 이용 가능한 정보를 가지고 판단해야 하는 문제이다.

전문가들은 나노물질의 유해성에는 불확실성이 있지만, 기존의 유해 화학물질을 사업장에서 관리한 경험과 지식을 나노물질 관리에 활용할 수 있다고 판단한다. 나노물질은 공기 중에 입자, 미스트, 증기 형태로 발생할 수 있는데 기존에 공기 중 입자, 미스트, 증기를 관리한 경험과 지식이 나노물질에 관리에 활용될 수 있을 것으로 믿는다.

외국의 여러 정부 및 기관들은 사업주 및 근로자에게 나노물질과 관련된 책임과 권리를 알려주기 위해서 혹은 나노물질 위험성 관리에 사용 가능한 정보들을 제공하기 위해 나노물질 취급과 관련된 가이드라인을 발간하였다.

유럽연합에서는 작업자를 대상으로 나노물질을 안전하게 취급하기 위한 가이드라인을 발표하였으며, 그 주요 내용은 작업자들은 제조나노물질 건강 유해성에 관심을 가져야 한다는 것이다. 그러나 나노물질의 유해성에 대해서는 나노물질의 유해성은 사안별로 다르다고 조심스럽게 제시하고 있다. 나노물질을 취급하는 경우에 밀폐 혹은 격리, 공학적 대책, 행정적 관리, 개인보호구와 같은 대책을 개별 사항에 맞춰서 사용하도록 하였다.

영국 보건안전청에서 발간한 작업장의 나노물질 가이드라인에서는 사업주를 대상으로 사업주의 의무를 명시하고 있다. 이 가이드라인은 전체적으로는 나노물질 유해성과 위험성 관리에 대해 설명하나 특별히 카본나노튜브의 유해성에 대해 초점을 맞추고 있다. 카본나노튜브의 노출기준은 카본 블랙의 노출기준을 적용하여서는 안 되고, 그래핀에 대해서는 흑연(Graphite)의 노출기준을 적용해서는 안 된다고 명시하였다. 나노물질의 유해성은 나노물질의 물리화학적 특성에 따라 다르므로 나노물질의 특성을 파악하는 것이 유해성을 이해하는 가장 중요한 단계라고 제시하였다. 특히 청량, 혼합 등 나노물질 취급 공정에서 노출이 일어날 가능성이 있는 작업들을 설명하였다. 위험을 관리하는 구체적인 방법으로 올바른 작업 방법을 제시하고 공학적 대책, 개인보호구 원칙들을 제시하였다. 이 외에 누출된 나노물질 청소 방법, 작업장의 나노물질에 대한 표지, 나노물질의 이동, 이 지침과 관련된 사항을 수행하기 위해 필요한 유능함과 작업자 참여, 건강 감시, 폐기물 처리 등을 명시하였다. 영국 보건안전청 작업장의 나노물질 가이드

드라인은 산업보건에서 사용되는 일반적인 원칙들을 나노물질에 적용하면서, 나노물질의 잠재적 유해성을 사업주에게 알리고 사업주가 사업장에서 위험성 평가를 하도록 정보를 제공하고 있다.

프랑스 직업안전보건국립연구소(INRS)에서는 직업안전보건측면에서 나노물질에 관한 현재의 상황과 전망이라는 책자를 발간하였다. INRS에서는 나노물질에 대한 설명, 나노물질의 사용 용도, 나노물질이 생체 내에 들어가서 어떻게 움직이며 생물학적 영향을 주는지 설명하였다. 특히 불용성 나노물질인 초미세 이산화티타늄과 카본나노튜브의 잠재적 건강영향에 대해 설명을 많이 하고 있다. 나노물질의 노출평가 방법 및 이용 가능한 자료를 설명하고, 특히 나노물질의 분진날림을 위험성 평가에서 중요한 요인으로 간주하였다. INRS에서는 노출기준이 없는 나노물질 노출 관리는 어렵지만, 높은 수준으로 예방할 필요가 있으며, 노출관리에 환기 방법을 이용하도록 하였다. INRS는 나노물질에 관한 정보와 훈련 프로그램을 제공하고 있었다.

미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 제조나노물질과 관련된 안전보건 문제를 관리하기 위한 지침을 발간하였다. NIOSH는 나노물질은 호흡기계를 통해 인체에 들어가 유해를 일으킬 가능성이 있으며, 호흡기계에 침착하여, 혈류를 통해 이동한다고 밝혔다. 제조나노제품을 생산 과정에서 성분을 혼합하거나 코팅 작업을 할 때 나노입자에 노출될 수 있으며, 특히 설비 청소 및 폐기물 처리는 침착된 나노입자가 다시 공기 중으로 비산하게 만든다고 밝혔다. 노출평가 및 특성 파악에 대한 현재의 문제점을 제기하고 사전예방조치로 위험을 관리하여야 한다고 주장하였다. 나노물질의 건강 감시에 대한 과학적 지식이 불완전하지만 나노물질의 위험성 관리의 매우 중요한 요소임을 강조하였다.

NIOSH에서는 카본나노튜브와 나노섬유에 대한 직업적 노출에 대한 지침을 발간하였다. 이 지침에서는 카본나노튜브의 건강 유해성을 가하고 노출기준을 권고하였다. 또한 노출 평가 방법과 관리대책을 제시하였다.

NIOSH에서는 나노물질 생산과 나노물질을 취급하는 하위 사용자들이 사용할 수 있는 공학적 대책에 관한 지침을 발간하였다. 이 지침에서는 나노물질 생산 공정 설계 시 고려사항 및 나노물질 취급 각 공정에 대한 구체적인 사례를 제시하였다.

국내에서도 나노물질의 유해성에 대한 연구는 이루어졌으나 나노물질의 유해성에 대한 불확실성이 어느 정도인지에 대한 논의가 산업보건 분야에서 이루어지지 않았다. 국내에서 나노물질을 취급하는 사업장 수 및 작업자 수는 정확하게 파악되지 않으나, 여러 경로의 조사를 통해 드러나고 있는 사업장 수는

수백 개에서 수천 개에 이르고 있다. 취급하는 나노물질의 종류는 나노실리카, 이산화티타늄, 카본나노튜브 등으로 다양하다. 또한 나노물질을 대량 생산하는 사업장 외에도 대학교 및 연구소에서 나노물질을 개발하는 사람들도 상당히 많을 것이다. 나노물질의 유해성을 밝히는 연구뿐만 아니라 나노물질에 노출되는 사람들의 건강을 보호하기 위해 나노물질에 대한 사전예방적인 접근이 필요한 시점인 것으로 생각된다.

나노물질을 제조하거나 수입하는 사업주는 물질안전보건자료료를 통해 나노물질의 유해성과 구성 성분, 크기, 모양 등의 나노물질의 물리화학적 특성 등을 작업자 및 하위 사용자들에게 전달해야 할 것이다.

정부는 선제적으로 나노물질 위험 관리에 필요한 노출 평가 방법 및 노출 감소를 위한 산업위생학적 대책들을 알리고, 사업주가 사업장에 적용하도록 독려해야 할 것으로 보인다. ☺

#### 참고 문헌

1. European commission, Working safety with manufactured nanomaterials. Guidance for workers, 2014
2. Health and Safety Executive, Using nanomaterials at work, Including carbon nanotubes and other biopersistent high aspect ratio nanomaterials 2013
3. INRS, Nanomaterials Current situation and prospects in occupational health and safety
4. National Institute for Occupational Safety and Health, Approaches to safe nanotechnology, Managing the health and safety concerns associated with engineered nanomaterials, 2009
5. National Institute for Occupational Safety and Health, Current intelligence bulletin 65, Occupational exposure to carbon nanotubes, 2013
6. National Institute for Occupational Safety and Health, Current strategies for engineering controls in nanomaterial production and downstream handling processes, 2014
7. Schulte PA, Salamanca-Buentello F. Ethical and scientific issues of a nanotechnology in the workplace. J Environ Health Perspect 2007;115:5-12