



## 경제협력개발기구(OECD) 제조나노물질 작업반(WPMN)에서 발간한 제조나노물질 시험보고서 내용과 활용



안전보건공단  
산업안전보건연구원  
유해성연구부장 이 나 루

제조나노물질(Manufactured nanomaterials)은 기본입자 크기가 100nm 이하로, 크기가 큰 물질과 다른 독특(novel)하고 유용한 성질이 있는 물질로, 20세기 후반에 개발되기 시작하여 21세기에 본격적으로 연구·개발되고 있는 물질이다.

처음 제조나노물질을 발견하였을 때는 제조나노물질이 인류에게 주는 이로운만을 보고 과학계가 환영하였으나, 여러 독성학자가 제조나노물질이 독성을 가질 수 있다고 보고한 후에는 제조나노물질의 독성

에 대해 우려하기 시작하였다.

독성학자들이 제조나노물질의 독성 유무를 밝히려 하였으나, 기존에 알고 있는 지식만으로 독성 유무를 확증하기에는 많은 난관에 부딪히고 있다. 제조나노물질의 독성은 물질의 중량 농도와 양반응(Dose response) 관계를 보이지 않고, 표면적 농도, 크기, 코팅 여부, 모양 등에 따라서 독성이 다르게 나타난다. 이러한 상황에서, 제조나노물질이 마이크로미터 크기의 물질보다 독성이 높게 나타난다는 것을 확인하였으나, 제조나노물질이 독성을 일으키는 기전은 아직 확인하지 못하였다.

제조나노물질의 독성에 대해 우려와 불확실성이 커짐에 따라, 전문가들은 국제기구 등에서 세계적인 협력으로 이 문제를 해결할 것을 요구하였다. 이러한 요구에 대한 대응으로 경제협력개발기구(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)에서 OECD 회원국을 중심으로 2006년 제조나노물질 작업반(Working Party on Manufactured Nanomaterials, WPMN)을 구성하여 제조나노물질에 대한 유해성(hazard), 노출 및 위험성(risk) 평가를 시작하였다.

우리나라도 OECD WPMN에 적극적으로 참여하고 있다. 환경부가 국가 대표단 간사를 맡고 있으며, 고용노동부, 산업통상자원부, 미래창조과학부, 식품의약품안전처, 국립환경과학원에서 전문가를 파견하여 참여하고 있다.

화학물질 안전 분야에서 OECD가 하는 일 중 하나는 화학물질 시험을 위한 OECD 가이드라인을 개발하는 것이다. 각 나라가 OECD Good Laboratory Practice(GLP) 인증 시스템에서 조화로운 공통의 시험방법을 사용하여 화학물질의 잠재적 위험을 평가하고, 그 수준 높은 시험 결과를 상호 인정하도록 한다.

WPMN에서 제조나노물질 독성 조사와 관련하여 먼저 논의 한 점은 '전통적인 화학물질 시험 OECD 가이드라인을 제조나노물질 시험에 적용할 수 있느냐' 하는 것이었다. OECD는 전통적인 화학물질 시험 OECD 가이드라인을 일반적으로 제조나노물질 평가에 적용할 수 있으나 나노물질의 특수성을 고려해야만 할 수도 있다고 결론을 내렸다.

OECD WPMN에서는 제조나노물질의 특성, 환경동태, 생태독성, 건강영향을 체계적으로 조사하기 위해 '제조나노물질 시험을 위한 후원 프로그램(Sponsorship programme for the testing of manufactured nanomaterial)'을 마련하였다.

후원 프로그램에서는 OECD 회원국들이 물질마다 후원자(sponsors)와 기여자(contributors)가 되어 정보를 모으고, 빠진 정보에 대해 시험하는 역할을 맡았다. '제조나노물질 시험을 위한 후원 프

로그랩'에서 최종 제조나노물질 시험보고서가 2015년에서 2016년에 걸쳐서 발간되었는데, OECD WPMN 10년 역사에서 가장 큰 성과물이다.

각 물질마다 제조나노물질 시험보고서가 별도로 있으며 그 내용도 상당히 방대하다. 이 프로그램에서 애초에 시험하기로 결정한 제조나노물질은 13개였으나 2016년 현재 시험보고서가 발간된 것은 11개이다. 시험하기로 결정하였으나 시험보고서가 발간되지 않은 물질은 철 나노입자와 산화알루미늄이다. 현재 시험보고서가 발간된 11개 물질은 산화세륨(cerium oxide), 덴드리머(dendrimers), 풀러렌(fullerenes, C60), 금 나노(gold nanoparticles), 다중벽탄소나노튜브(multi-walled carbon nanotubes), 나노클레이(nanoclay), 이산화규소(silicon dioxide), 은 나노(silver nanoparticles), 단일벽탄소나노튜브(single-walled carbon nanotubes), 이산화티타늄(titanium dioxide), 산화아연(zinc oxide)이다.

제조나노물질 시험보고서를 작성하는 후원자를 돕기 위해 2009년에 제조나노물질 시험을 위한 지침 매뉴얼(ENV/JM/MONO(2009)20/REV)이 발간되었다. 매뉴얼에는 제조나노물질 시험보고서가 담고 있는 내용, 각 항목에 대해 사용할 수 있도록 인정한 시험방법뿐 아니라, 시험보고서에서 사용된 용어의 정의들이 기술되어 있다. 이 용어의 정의들은 제조나노물질 독성자료와 관련된 문헌을 볼 때 유용한 참고 자료가 된다.

제조나노물질 시험보고서에는 큰 분류로 나노물질 정보, 물리화학적특성/물질 특성화, 환경적 거동, 환경 독성, 인체 독성, 물질 안정성에 대한 정보가 포함되어 있다. 나노물질 정보에는 나노물질 이름, CAS 넘버, 구조식/분자구조, 기본 형태(모양), 계면화학(코팅 혹은 변형) 기술, 알려진 촉매 활동, 생산 방법(침전, 가스상)이 포함된다. 물리화학적특성 정보에는 응집/집합, 물 용해도/분산성, 결정구조, 분진날림, 미소결정 크기, 대표적인 전자현미경 사진, 입자크기 분포(건조 상태 및 관련 매질 내), 비표면적, 제타전압(표면 전하), 계면화학(필요한 경우), 광촉매기능, 겉보기 밀도(pour density), 다공성, 옥탄올-물 분배계수, 산화환원전위, 라디칼 형성 가능성이 포함된다. 환경적 거동 정보에는 물에서의 분산 안정성, 생물학적 분해, 분해산물 확인, 분해 산물에 대한 추후 시험이 필요한 지 여부, 무생물적 분해와 거동, 흡착-탈착, 토양에 대한 흡착 혹은 침전물, 생물축적 가능성이 포함된다. 환경독성 정보에는 수생물에 대한 영향, 육상 종에 대한 영향이 포함된다. 인체독성 정보에는 약물동력학, 급성 독성, 부식/자극, 피부 민감성, 반복 투여 양에 대한 독성, 변이원성, 발암성, 생식독성이 포함된다. 물질 안정성에 대한 정보에는 가연성, 폭발성이 포함된다.

제조나노물질 시험보고서에 포함되어야 할 내용과 시험 방법에 대한 지침 매뉴얼이 발간되었지만,



실제 각 물질의 시험보고서에 포함된 내용은 물질마다 차이가 많이 난다. 인체 독성 자료가 전혀 없는 물질이 있는가 하면, 인체 독성 자료가 거의 다 있는 물질도 있다. 대부분의 물질에 대해 발암성 시험 자료가 없지만, 다중벽탄소나노튜브에는 발암성 시험 자료가 있다.

제조나노물질 시험보고서에 포함된 정보(endpoint)의 종류가 많고, 물질마다 자료가 있는 것과 없는 것이 서로 다르므로 OECD에서는 물질에 따른 정보(endpoint) 유무를 한 눈에 알 수 있도록 정보 파인더(endpoint finder)를 엑셀 파일 형태로 홈페이지에서 제공하고 있다.

OECD 제조나노물질 시험보고서는 다른 나노물질 독성 자료와 다른 점이 있다. 첫째, 동일한 물질(reference material)에 대해 광범위하게 물리화학적 특성을 파악하고, 생태독성, 건강영향 등에 대해 정보를 획득했다는 점이다. OECD 제조나노물질 시험보고서는 각 대상 물질에 대해 작게는 하나의 기준물질을 대상으로, 많게는 대 여섯 개의 기준물질을 대상으로 독성시험을 한 결과가 보고되어 있다. OECD 제조나노물질 시험보고서 외의 많은 나노물질 독성자료는 물리화학적 특성 정보가 부족하거나, 한 종류의 독성 시험에 대한 정보만을 제공하기 때문에 특정한 제조나노물질의 독성을 한 눈에 보기 어렵다.

제조나노물질 독성에 대한 현재의 가설은 제조나노물질의 크기, 모양, 코팅여부 등 물리화학적 특성이 달라지면 독성이 달라질 수 있다는 것이다. 따라서 일반적으로 보고되는 나노물질 독성 연구 자료를 바탕으로 나노물질 독성을 체계적으로 파악하기란 매우 어렵다. 둘째, OECD 제조나노물질 시험보고서의 물리화학적 특성을 파악하기 위한 시험과 독성 시험들이 대개 표준화된 시험방법을 사용하고, GLP 인증을 받은 실험실에서 이루어진 시험들이다. 양질의 데이터를 바탕으로 하는 시험들이기에 결과를 신뢰할 수 있다.

OECD 제조나노물질 시험보고서는 여러 성과에도 불구하고, 제조나노물질 독성에 관해 제기되었던 문제점을 해결하는 데는 한계가 있다. 제조나노물질의 물리화학적 특성이 독성에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 관련성을 밝히지 못하였다. 또, 제조나노물질의 물리화학적 특성이 독성에 어떻게 영향을 미치는지 밝히지 못한 상태에서 방대한 양의 물리화학적 특성에 대한 측정은 차후에 제조나노물질 독성을 연구하는 사람들에게 부담이 된다. 제조나노물질 독성연구를 할 때마다 물질에 대해 상당한 양의 물리화학적 특성을 측정하기는 어렵기 때문이다.

추후 제조나노물질 독성 연구에 꼭 필요한 물질의 물리화학적 특성에 대한 심도 깊은 논의가 필요한 상황이다.

산업보건 분야에서 특히 관심이 있는 인체건강영향과 관련이 있는 독성 연구들이 이번 OECD 제조나노물질 시험보고서에서 광범위하게 진행되지 못하였다. 일부 물질의 시험보고서에는 인체건강영향과 관련이 있는 독성 자료가 전혀 없는 경우도 있다. 특히 1년 이상의 시험 기간이 소요되는 발암성에 관한 시험은 다중벽탄소나노튜브를 제외하고는 자료가 없다. 시험보고서에서 인체건강 영향

과 관련이 있는 독성 자료 중 가장 많은 것은 유전독성 시험자료이다. 비교적 시험방법이 간단하기 때문에 가장 많은 시험이 이루어진 것 같다. 특정표적장기 독성-반복 노출에 의한 제조나노물질의 인체건강영향과 관련된 독성이 가장 많이 나타났다.

OECD 제조나노물질 시험 보고서의 인체건강 독성 영향 중 거의 모든 물질에 대해서 특정표적장기 독성-반복 노출에 의한 독성이 나타났다. 이는 제조나노물질이 유해물질로 분류될 수 있고, 제조나노물질을 취급할 때는 특별한 주의가 필요하다는 것을 뜻한다.

화학물질의 독성을 밝히는 것은 쉽지 않은 일이다. 특히, 제품마다 다른 물리화학적 특성을 가질 수 있고, 물리화학적 특성이 달라지면 독성도 달라질 가능성이 있는 제조나노물질의 독성을 밝히는 것은 더 어려운 일이다. 인류가 현재 가지고 있는 방법론과 지식으로는 제조나노물질의 독성과 기전을 완전히 밝히기 어려운 상황이다. 따라서, 실제로 제조나노물질의 물질안전보건자료를 보면 독성이 없다는 것이 증명된 경우 보다 자료가 없는 경우가 많다.

제조나노물질이 독성을 가질 가능성에도 불구하고, 독성이 밝혀지지 않은 불확실성에 대해 제조나노물질을 취급하는 사람들은 사전주의 원칙에 따라 제조나노물질의 노출을 최소화시켜야 한다. 완전히 건조 상태의 파우더 보다는 액체 상태로 제조나노물질을 취급하는 방법이 더 좋으며 파우더가 공기 중으로 날리지 않는 작업 방법을 사용하고, 분진이 많이 날리는 작업에는 국소배기장치를 설치하는 것이 좋다. 또, 정기적으로 하는 작업이 아닌 시설의 유지·보수 작업을 할 때는 가능한 분진용 호흡보호구를 착용하여 제조나노물질 분진 노출을 감소시켜야 한다. 🍷

#### 참고 문헌

1. 경제개발협력기구(OECD). <http://www.oecd.org/science/nanosafety/> [2016.06.17 검색]