

나노물질 측정 프로토콜 작성 및 나노물질 노출 실태 조사연구

제공/산업안전보건연구원

연구책임자 : 윤충식(서울대학교 보건대학원)

연구기간 : 2013. 03.~2013. 10.

등록번호 : 2013-연구원-597

국내 나노의 안전성에 대한 연구는 주로 나노물질의 물리·화학적 성질 규명과 독성 연구에 치중되어 오다가 최근에 환경 및 산업장에서의 모니터링이 수행되고 있다. 그러나 나노물질의 평가방법에 대해 아직 국제적인 합의가 되어 있지 않고, 평가방법 자체가 복잡하다. 게다가 사업장 접근의 어려움으로 인해 측정이 원활히 이루어지지 않고 있으며 연구자마다 각기 다른 방법으로 측정, 평가를 하고 있어 측정 자료의 체계적인 구축이 필요한 실정이다.

따라서 나노물질의 안전관리에 대한 국내·외 동향을 파악하고 나노물질 평가 및 자료 관리에 대한 기준이 필요하다. 우리나라의 나노종합계획에 부합하면서 나노물질 취급 사업장에서 사용할 수 있는 노출평가 프로토콜과 데이터 입력 서식을 마련하여 추후 노출평가 지침으로 사용될 안을 마련하고자 본 연구를 수행하였다.

나노 물질에 대한 국제 동향은 나노물질의 독성과 건강영향, 공기 중 나노입자 모니터링에 대한 요약, 나노물질의 노출 가이드라인과 규제 등이다. 그 중 나노물질의 독성연구는 나노물질의 물리·화학적 성질과 함께 상대적으로 연구가 활발히 진행되었다.

나노 입자의 독성에 영향을 미치는 인자는 나노입자의 화학성분, 입자크기, 표면적과 표면적의 반응성, 입자 수, 용해성과 생체 지속성, 모양과 섬유형태, 입자의 응집·집합성 등이 영향을 미치는 것으로 알려졌다.

그동안의 in vivo, in vitro 연구결과를 요약하면, 나노물질이 호흡기계로 들어오게 되면 간, 혈류시스템, 뇌 등 체내 각 기관으로 이동이 가능하고 염증 발현 등이 보고되었다. 특히 카본나노튜브(Carbon Nano Tube, CNT)는 동물실험 결과, 폐에 종양을 일으킨다는 것이 밝혀져 '작은 석면(little asbestos)'이라고 불리고 있으며 2013년 미국 국립안전보건연구소(NIOSH)는 그 노출기준을 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 제시하였다.

나노물질을 취급하는 근로자가 위험성이 가장 큰 집단임에도 불구하고 노출평가 연구는 독성 연구에 비해 부족한데, 이는 사업장 접근의 어려움 및 표준화된 방법 설정이 어렵기 때문이다. 국제기관 및 단체(예, ISO, ASTM, EU)등에서 나노물질 평가에 대한 표준 및 가이드라인을 제시하고 있으나 모두 기기 중심이고 이론 중심이어서 사업장에서 나노물질의 노출을 평가할 때 실제로 운용하기 어렵다. 현재는 각 연구그룹이 각자 편리한 방법을 적용하고 있는데 국제적으로는 표준화작업을 시도 중이다.

따라서 이러한 흐름에 따라 국내·외 모니터링 시험법(기술표준원, ISO, BSI, ASTM 등)을 조사 및 정리하였다. 사업장에서 공기 중 나노물질을 모니터링 할 때, 노출 단위(exposure metric), 측정 기기의 선정(실시간 모니터링 대 비실시간 모니터링 장비), 배경농도의 설정, 개인시료 채취와 지역시료 채취, 시간가중평균치와 업무 중심노출평가, 섬유상 물질인 경우 고-종횡비(Hight Aspect Ratio)의 측정, 평가전략, 평가 자료 처리 등이 잘 고려되어야 하는데 아직 이에 대한 국제적 표준은 없다.

규제 측면을 고찰한 결과, 몇몇 나라 및 기관에서 나노물질의 직업적 노출 가이드라인을 제시하고 있다. 대표적인 예로 위에 언급한 NIOSH는 CNT에 대해 원소탄소를 정분석(NIOSH Method 5040)하여 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 제시하였고, 독일은 나노입자의 밀도가 $6,000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 이상일 때 $40,000 \text{ particles}/\text{cm}^3$ 을, 밀도가 그 이하일 때는 $20,000 \text{ particles}/\text{cm}^3$ 을 제시하였다.

나노 물질 취급사업장의 관리방법은 첫째, 사전주의 원칙에 입각하여 가능한 노출을 줄이도록 하고 있다. 그 다음 실제로 사업장에 적용할 수 있는 개선방법으로 기존의 전통적 산업위생학적 개선방법이 유효하다고 알려졌다.

따라서 공학적 개선방법(대체, 격리, 환기), 행정적 대책, 개인보호구 사용 등이 나노물질의 노출을 상당히 줄일 수 있다고 보고되고 있다. 나노물질의 노출평가가 쉽지 않기 때문에 control banding(노출과 유해성을 정성적으로 평가하여 매트릭스 작성)기법을 이용하여 nano control banding 기법도 권장되고 있다. 국소배기는 나노입자를 배출하는데 잘 사용될 수 있고, 호흡보호구 중 N95 이상이면 나노물질이 잘 걸러지는 것으로 알려져 있다.

나노입자의 노출실태와 노출평가 프로토콜을 작성하기 위하여 나노입자 취급 및 제조사업장에 대하여

노출실태 조사와 함께 노출평가를 실시하였다. 제조나노물질을 취급하는 4개 사업장과 비의도적 나노물질 발생사업장 3개를 평가하였다.

제조나노물질 취급사업장은 모두 전통적인 사업장과는 다르게 연속공정이 아닌 간헐적으로 작업이 이루어졌고, 작업에 따라 농도가 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 나노물질의 공기 중 노출평가를 위해서는 시간가중평균농도뿐 아니라 직무기반평가가 유용하며 이를 위해 직무활동조사표를 이용할 필요가 있다. 또한 실시간모니터링과 비 실시간 모니터링을 병행하는 것이 바람직한데 전자로는 입자의 시간에 따른 변화를 파악할 수 있고, 후자는 전자현미경이나 중금속 분석을 통하여 정성 평가를 하여 나노입자의 특성을 규명하는데 사용될 수 있다.

연구결과를 통하여 나노물질 표시 농도를 나타내는 입자 수 측정기기와 표면적 농도 측정기기의 공기 중 농도평가 방법을 비교하여 향후 나노물질 평가의 적합한 방법을 제안하였고, 문헌조사, 연구결과 및 경험을 바탕으로 향후 국내에서 공통적으로 사용할 수 있는 나노물질 측정 방법 및 평가 프로토콜을 작성하였다.

프로토콜은 크게 5단계로 이루어져 있으며 노출평가는 주로 2단계에서 수행된다. 프로토콜은 ① 1단계: 기본자료 조사 단계, ② 2단계: 평가 단계(2a 단계: 나노물질 특성규명 및 노출평가 단계, 2b 단계: 나노물질 노출관리를 위한 노출평가 단계), ③ 3단계: 나노물질 가이드라인과 비교 단계, ④ 4단계: 노출 저감 대책 단계, ⑤ 5단계: 관리 및 기록유지 단계로 구성되었다. 프로토콜의 부록으로는 사업장 조사 시 데이터베이스 구축을 위한 구조화된 설문지 및 주요 측정기기의 매뉴얼을 측정 경험을 기반으로 하여 사진과 함께 수록하였다.

데이터베이스 구축을 위해서 미국 NIOSH 및 EU 등에서 논의되고 있는 나노 데이터베이스 현황조사를 하였고 국내 사업장 측정 경험을 이용하여 측정 자료와 이를 설명할 수 있는 변수가 포함되도록 엑셀 시트를 작성하였다. 엑셀 시트는 측정 결과 값 외에 이를 설명할 수 있는 변수를 크게 일반 변수(사업장 정보), 물질 변수, 공정 변수, 작업자 변수, 관리방법 변수로 구분하여 입력하도록 구성하였다. 또한 웹기반 데이터베이스 구축방안과 스마트폰 애플리케이션을 사용할 수 있는 방안도 제시하였다.

본 연구는 국내외 연구동향을 독성, 노출평가, 규제 측면으로 구분하였기 때문에 향후 나노관련 정책수립, 사업수행, 연구, 법정부적 나노종합관리대책 방향설정에 활용할 수 있다.

제안된 프로토콜을 이용하여 나노사업장을 체계적으로 노출평가를 할 수 있으며 공통의 데이터베이스를 사용함으로써 사업장 접근이 어려운 나노사업장을 다른 연구기관에서 다르게 측정하더라도 체계적인 측정 자료를 축적할 수 있을 것이다. ☺