

나노물질의 위험성과 안전보건대책

The Hazard of Nanoparticles and Safety & Health Measures

화공안전

전문교육 강 의 자 료



글 | 李炯燮

(Lee, Hyung Sub)

화공안전기술사,
한국산업안전보건공단
대전지역본부 전문기술위원실장.
E-mail : leehyung@kosha.net

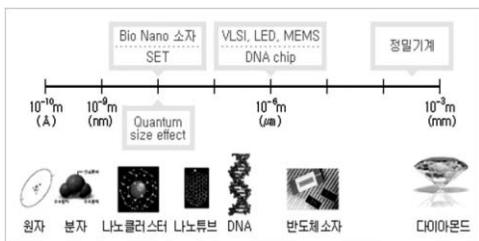
Engineered nanoparticles are materials purposefully produced with at least one dimension between 1 and 100 nanometers.

Nanotechnology has the potential to dramatically improve the effectiveness of a number of existing consumer and industrial products and could have a substantial impact on the development of new products in all sectors. However, nanoparticles is little known about what effect these properties may have on human health.

This materials provide an overview of what is known about the potential hazards of engineered nanoparticles and measures that can be taken to minimize workplace exposures.

1. 나노기술의 정의

나노(nano)란 10억분의 1을 나타내는 단위로 난쟁이를 뜻하는 고대 그리스어 나노스(nanos)에서 유래하였다. 1 나노미터(nm)는 10억분의 1m(10^{-9} m)로 머리카락 굵기의 약10만분의 1 크기 정도이고, 나노크기 입자(nano-sized particle, NSP)는 보통 100nm 이하를 말한다.

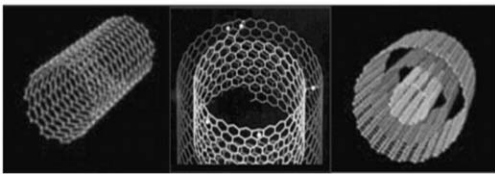


(그림1) 나노크기입자의 비교

나노기술(NT, Nano Technology)이란 눈으로 볼 수 없는 세계로 전자현미경을 통해야만 접근 가능한 원자나 분자를 개별적으로 다루어 전혀 새로운 성질과 기능을 가진 물질을 만드는 기술을 말한다. 나노기술은 나노물질들이 갖는 독특한 성질과 현상을 찾아내어, 이를 정렬·조합하여 매우 유용한 성질의 소재, 장치 또는 시스템을 생산하는 과학과 기술을 통칭한다. 이를 이용하면 원자를 기계적으로 결합시켜 완전히 새로운 물질을 만들 수 있다. 예를 들면, 금은 매우 안정적이기 때문에 드물게 화학반응을 하지만, 나노크기가 될 경우 매우 강한 촉매 반응성을 보이는 독특한 성질을 가지게 된다.

나노기술 분야에서 특히, 탄소나노튜브(CNT, Carbon Nano Tube)는 새로운 물질특성의 구현이 가능하여 나노기술의 기초 연구 중요성과 산

업적 응용성이 동시에 각광받고 있다. 탄소나노튜브란 탄소로 이루어진 탄소 동소체로써 하나의 탄소가 다른 탄소원자와 육각형 벌집무늬로 결합되어 튜브 형태를 이루고 있는 물질이다. 1991년에 일본 과학자가 전자현미경으로 검댕 얼룩에서 처음 발견한 탄소나노튜브는 지름이 1 나노미터에 불과하지만 밧줄처럼 다발로 묶으면 인장력이 강철보다 100배 강함을 알아냈다. 1998년에 서울대는 미국 캘리포니아대와 공동 연구를 통해 탄소나노튜브를 10개 이상 밧줄처럼 꼬아 합성하면 금속 성질이 없어지면서 반도체처럼 전기 흐름을 제어할 수 있는 성질을 나타낸다는 사실을 규명하였다.



〈그림 2〉 탄소나노튜브의 구조
(Source : KETI, 'CNT 생산 및 응용분야 사업화 동향')

탄소나노튜브는 강도가 철의 10~100배 다이나 몬드보다 열전도율이 높아 다음과 같이 다양한 분야에서 활용될 수 있다.

- ① 테니스라켓이나 골프채를 만들 경우 탄성이 커져 부러지지 않음.
- ② 전자총으로 사용할 경우 평면 모니터가 되며, 모니터에서 나오는 전자파를 흡수함.

- ③ 가전제품에 소재로 사용될 경우 정전기 발생을 억제하는 역할을 함.
- ④ 연료전지에 적용할 경우 현재보다 훨씬 수명 연장이 가능함.

2. 나노기술의 연구 및 활용분야

나노기술이 활용될 수 있는 분야는 전자·통신, 재료·제조 등 무궁무진하며, 나노기술이 순조롭게 발전하면 인류문명의 패러다임 자체를 바꿀만한 거대한 변화를 가져올 수 있다. 2009년에 우리나라에서 나노기술에 투입하는 예산은 2,500여억원으로 책정되어 있다.

〈표 1〉 나노기술의 다양한 응용분야

구분	활용 분야
전자통신	통신용 초고속IC, 대용량 정보저장장치 등
재료 / 제조	프라스틱전자소재용 나노박막, 고강도 소재(고순도 분리), 고성능 촉매 등
의료 / 생명공학	새로운 약물전달 시스템(생체나노박막, 코팅기술), 나노센싱 시스템 등
환경 / 에너지	연료감응 태양전지 핵심소재 및 대용량의 2차전지 등
국방 / 항공우주	소형 / 고속 / 장거리 이동 무기 등

최근에 미국 등 선진국에서는 나노기술을 바이오기술과 융합하여 생명체에 존재하는 다양한 바이오센서를 이용해 분자수준에서 신호를 감지할 수 있는 '나노바이오센서'를 개발하는데 뛰어

고 있다. 암세포를 인식하는 나노입자에 치료약을 실어(운반) 부작용 없이 암을 치료하는 방법과 암을 진단하고 치료(수술)하는 “나노로봇”을 개발하는 연구를 하고 있다.

3. 나노물질의 위험성

나노기술의 가장 큰 위험성은 나노입자를 흡입, 폐포에 침착된 나노입자는 배출되지 않기 때문에 폐에 문제를 일으킬 가능성이 있는 것이다. 2005년 9월 캐나다에서 열린 ‘국제 고분자 나노화학물 과학기술 심포지엄’에서 미국 웨스트버지니아 대학의 굽타 교수는 나노 입자를 제조하는 과정 중 진폐증 증상을 보이는 환자가 발견됐다고 발표하였다. 1nm 입자의 90%는 비인후 부위에, 10%이하가 폐기관 또는 폐기관세지 부위에 침착되고 폐포부위에는 거의 침착되지 않으나, 5nm의 입자의 경우는 상기의 세가지 부위에 비슷하게 30%정도씩 침착되며, 20nm의 것은 50% 이상이 폐포에 침착되고 15%이하가 나머지 부위에 침착되는 것으로 보고된 바 있다.

다른 한 가지 위험성은 나노입자가 세포 속으로 침투하여 뇌, 신경 등에 닿았을 때 독성을 나타낼 수 있음이 보고되었다. 감각신경말단을 분포시키는 삼차신경의 안신경 및 하악신경가지로의 흡수를 통해 두개골 내부 삼차신경절로 전이되며, 이외에도 미주신경전위, 호흡기계의 감각신경을 통한 자율신경계로의 전위 등이 보고되었

다.(Hunter & Udem, 1999; Utell et al., 2002).

2007년 2월 미국 환경청(EPA)에서 발간한 백서에서 탄소나노튜브로 제작된 야구 방망이가 깨질 때 독성을 지닌 나노입자가 방출되어 물이나 공기를 오염시킬 수 있다고 경고한 바 있으며, 이를 계기로 나노입자가 사람의 건강과 환경에 나쁜 영향을 끼칠지도 모른다는 나노물질의 오염문제가 대두되었다.

미국 환경청 산하 국립보건환경영향연구소(NHEERL)는 선크림(sun cream)에 많이 사용하는 산화티타늄 나노입자가 신경세포를 손상시킬 수도 있다는 연구결과 발표에서 생쥐의 신경세포를 보호하는 면역세포는 외부에서 이물질이 들어오면 활성산소를 분비해 태워버리는데 산화티타늄 나노입자에 1시간 이상 노출시 활성산소(free radical)가 과다 분비돼 주변의 신경세포에 손상을 입힐 수 있음을 보고하였다.

4. 나노물질의 위험성에 대한 안전보건 대책

미국의 미국산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 2008년에 나노물질 취급 근로자의 안전보건 대책에 대한 지침을 다음과 같이 소개한다.

(1) 근로자에 대한 나노입자의 위험성

동물에 대한 영향으로 동물실험에서 여러가지

나노입자가 혈액 및 기관에 도달하는 것으로 판명되었다. 하지만 폐포 등 장기에 침투하여 축적됨을 알아내었으나, 인간에 대한 노출과 반응 연구가 진행되지 않고 있다.

나노물질 생산 공장 등 작업장에 있어서의 안전보건문제는 나노입자와 관련된 화재폭발을 일으킬 수 있는 문제, 일부 나노입자는 화학반응을 비이상적으로 촉진하여 반응폭주를 일으키는 결과를 초래할 위험성이 있다. 그러나 아직은 근로자에 대한 노출 허용기준이 현재 국제적으로 마련되지 않고 있다.

(2) 노출 경로

노출 경로는 호흡, 흡입 및 피부로서 근로자의 작업과 관련된 노출은 개방된 설비에서 ① 분말(powder) 형태의 나노입자의 취급으로 인한 호흡 ② 나노입자의 용액 또는 혼탁액 등의 에어졸 등을 호흡과 흡입 ③ 적절한 조치없이 나노입자의 청소나 폐기로 인한 노출 ④ 나노입자가 함유된 물질의 절삭, 연마, 드릴 등 기계가공에 의한 나노입자의 에어졸화에 의한 노출 등이 있다.

(3) 나노입자의 측정

종래의 물질샘플방법으로 공기 중 나노입자를 측정이 가능하나 한계가 있으므로 과학자들은 작업장에서의 나노입자의 노출 평가를 위한 보다 정밀하고 특별한 샘플측정방법의 기술을 개발 중에 있다. 나노입자와 관련 물질이나 제품을 만들기 전에 나노입자의 방출 및 노출 가능성에

관한 측정이 선행되어야 하며, 샘플링은 나노입자 취급 전, 취급 중 및 취급 후에 변화에 대하여 필요하다.

(4) 나노입자의 노출예방 대책

① 엔지니어링 제어 방법

나노물질 취급설비의 밀폐로 근로자 차단과 고효율의 국소배기장치 설치로 HEPA(High Efficiency Particular Air) 필터는 나노입자를 제거하는데 효과적인 것으로 판명된 바 있다.

② 호흡 보호구

호흡 보호구는 엔지니어링 제어 등이 나노입자를 근로자에 노출되지 못하게 할 수 없을 경우에만 고려 대상이며, 호흡보호구의 사용결정은 기술적 판단이 요구된다.(위험성 평가 등 필요)

③ 교육 및 훈련

작업자는 나노입자의 노출을 줄이기 위하여 어떻게 취급해야 하고 개인보호구, 작업복, 오염된 표면의 제거 나노입자가 누출될 경우의 폐기 방법에 대하여 교육이 필요하다.

(원고접수일 2009년 7월 20일)