

# 작업장에서 나노입자의 노출 측정

## (Measurement of Nanoparticle Exposures in the Workplace)

미국 NIOSH 선임 연구원 / 구 본 기

### 1. 서론

다양한 기술을 이용하여 제조되는 나노입자 및 나노물질이 작업장에서 근로자들에게 얼마나 많이 노출 되는지 측정하기 위해서는 우선적으로 나노입자가 발생하는 구체적인 위치를 찾아내야 한다.

보편적으로 나노입자의 발생은 나노물질 제조과정에서 일어나는데, 다양한 제조과정 중에서 특히 나노입자 발생이 급격하게 일어나는 프로세스가 존재한다. 예를 들면, 고온 고압을 이용하여 나노입자를 발생하는 공정이거나 나노입자를 포함한 용액을 분무시켜 반응로내에서 화학반응을 이용하여 나노입자를 발생하는 공정을 들 수 있다.

일단 입자가 발생하는 위치가 파악이 되면, 이곳에서 다양한 노출척도를 가지고 나노입자의 노출을 포괄적으로 측정할 필요가 있다. 아직까지 나노입자의 노출을 평가하는 최적의 척도가 결정되지 않았기 때문에,

작업장에서 서로 다른 척도들(입자의 수농도, 크기, 표면적, 질량, 입자크기분포)과 입자의 조성 및 형상을 동시 측정하여 비교 분석하는 것이, 현재 근로자의 나노입자에 대한 노출로부터 보호하는 맥락에서, 중요하다 할 수 있다.

따라서, 발생하는 나노입자의 물리/화학적 특성을 포괄적으로 측정 및 분석하는 것이 절실히 요구된다. 이렇게 측정된 다양한 척도들과 입자의 물리/화학적 특성 데이터는 나노입자의 독성을 파악하는데 중요한 정보를 제공해 줄 수 있을 뿐만 아니라 작업장에서 나노입자의 노출을 가져오는 물리적인 프로세스를 이해하는 데에도 큰 도움을 줄 수 있다.

이번 호에서는 나노입자와 산업보건의 세 번째 부분으로서 실제 작업장에서 발생하는 나노입자를 모니터링하는 방법과 나노입자의 노출척도와 형상 및 조성을 어떻게 측정 및

분석할 수 있는지에 대해 살펴 보고자 한다.

## 2. 본론

나노입자의 노출에 영향을 주는 인자들은 사용되고 있는 물질의 양과 이 물질이 공기중으로 쉽게 분말의 형태로 부유될 수 있는가의 여부, 그리고 물질을 취급하는 시간이 포함된다.

현재, 나노입자에 대한 노출을 가져올 수 있는 작업장 상황을 예측할 수 있는 정보가 매우 부족하지만, 나노입자를 제조하는 작업장에서 나노입자에 대한 노출 가능성을 증가시킬 수 있는 작업환경들을 살펴 보면 다음과 같다.

- 나노입자 분말을 취급하는 작업
- 나노입자를 쏟거나 혼합하는 작업
- 나노입자를 취급할 때 나노입자에 대한 노출과 밀접하게 관련된 입자의 물리적 성질 중 더스티니스(dustiness)가 있다. 이 물리적 성질은 나노입자 분말에 일정한 에너지를 가했을 때 나노입자 분말이 공기중으로 부유되는 정도를 나타낸다.
- 기계가공, 연마공정 또는 나노입자를 포함하는 물질을 기계적으로 파손하는 경우
- 쏟아진 나노입자나 버려지는 나노입자를 청소하는 경우

- 입자를 포집하는 장치 (예를 들면, 진공 청소기)를 청소하는 경우

현재 작업장에서 나노입자의 노출 측정방법에 대한 세계적으로 동의된 기준은 없다. 그러나 나노입자의 노출에 대한 모니터링에 대한 가이드라인이 최근 국제 표준화 기구(ISO)에 의해 만들어졌고, 미국 국립 산업안전보건 연구소 (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH)에서 ‘Approaches to Safe Nanotechnology’라는 제목으로 가이드라인 보고서를 발표하였다. (<http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/>)

이 보고서에 의하면 다양한 척도들을 동시에 측정하는 것을 제안하였다. 기존의 산업위생 포집방법(고정된 위치에서 입자를 샘플링하는 방법과 작업자의 호흡영역에서 샘플링하는 방법)을 이용하여 나노입자의 질량을 측정하고 입자의 수농도, 크기 또는 크기분포와 표면적은 실시간-측정 장비를 이용하여 측정이 가능하다. 여기에 입자의 형상과 조성을 분석하기 위한 입자의 샘플링이 추가된다.

나노입자의 노출을 모니터링하는 방법들이 여러 가지가 있지만, 여기서는 NIOSH에서 제안된 샘플링 방법을 소개하고자 한다.

나노입자를 샘플링하기 전에 먼저 선행되어야 할 것은 나노입자가 발생하는 위치를 파악하는 것이다. 이것은 입자의 수농도를

측정하는 응축 입자계수기 (condensation particle counter: CPC)를 사용하여 주로 이루어진다. 나노입자 제조공정이 진행되는 동안 발생하는 입자의 수농도를 측정하기 전에, 이미 작업장에 존재하는 주위입자 (background particle)의 수농도를 측정하는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면, 주위입자 수농도의 측정을 통해 나노입자가 실제로 발생되었는지 파악할 수 있기 때문이다.

일단 나노입자가 발생하는 위치가 확인되면, 실시간 측정 장비들을 이용하여 다양한 노출척도들을 포괄적으로 측정한다. 여기에는 입자의 표면적, 크기분포, 질량이 포함된다. 이때 측정장비들은 가능하면 작업자의 작업영역에 가깝게 위치시키는 것이 중요하다.

마지막으로 전자현미경 이용한 입자의 형상 분석과 입자의 조성파악을 위하여 필터나 그리드(grid)를 이용하는 퍼스널 샘플링(personal sampling)이 수행되어야 한다. 이러한 접근방법은 나노입자의 존재 여부를 결정하고 나노입자의 노출척도를 측정 가능하게 한다.

이러한 방법을 이용하여 실제 작업장에 나노입자를 모니터링한 결과가 그림 1에 나타나 있다. 그림 1은 나노물질인 티타늄산화물 ( $TiO_2$ )을 제조하는 작업장에서 발생하는 나노입자의 수농도와 표면적을 모니터링한 데이터를 보여 준다. 또한 그리드를 이용하여(Ku and Maynard, 2005) 포집한 입자의 전자현미경 이미지도 보여 준다.

그림 1의 그래프에서 나노입자의 수농도와 표면적이 주위입자보다 급격하게 상승하는 때가 존재함을 볼 수 있는데, 이것은 작업자가 입자가 포집되는 드럼을 바꿀 때 발생하였다. 나노입자의 수농도는 응축 입자계수기 (CPC)를 사용하여 측정하고 입자의 표면적은 확산대전기 (diffusion charger: DC)를 이용하여 측정되었다.

이상적으로는 다양한 노출척도 (입자의 수농도, 크기분포, 표면적, 질량)를 동시에 측정할 수 있는, 소형이면서 가격이 저렴한 측정장치를 개발하여 작업장에서 근로자의 몸에 부착하여 정확하고 용이하게 나노입자의 노출을 측정하는 것이 요구된다 (Maynard 외, 2006).

### 3. 결론

나노입자와 산업보건이라는 주제로 3회에 걸쳐 지금까지 알려진 나노입자의 유해성과 측정될 수 있는 나노입자의 노출 척도들을 기술하였다.

구체적으로 1회에서는 나노입자와 잠재적인 인체의 유해성에 대해, 2회에서는 나노입자 분석 및 측정 방법, 그리고 이번 호에서는 작업장에서 발생하는 나노입자의 노출을 측정하고 평가하는 방법에 대해 살펴 보았다.

나노입자의 유해성에 대해 아직 많은 부분들이 알려지지 않았기 때문에, 나노입자에 대한 독성연구결과가 충분히 밝혀질 때

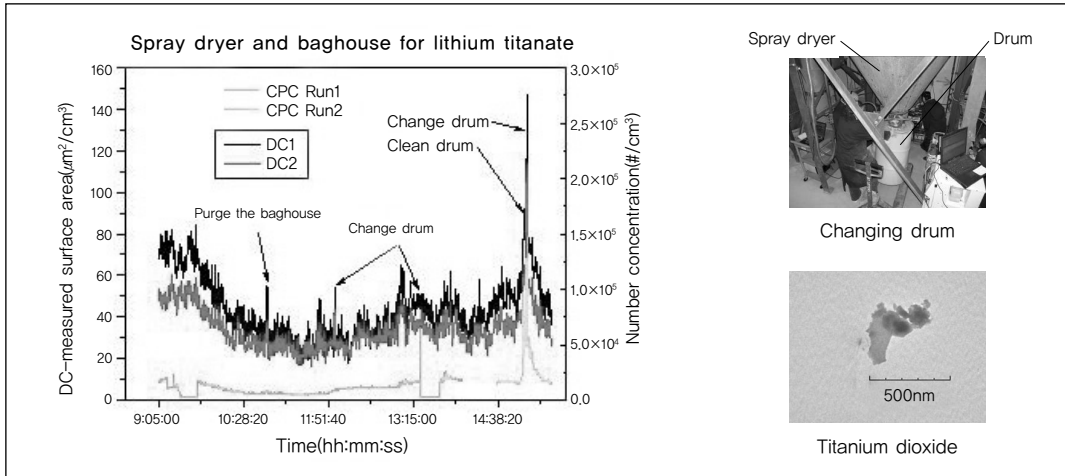


그림1. 나노물질인 티타늄 산화물 (TiO<sub>2</sub>)을 제조하는 작업장에서 발생하는 나노입자의 수농도와 표면적을 모니터링한 데이터. 입자의 수농도와 표면적이 급격하게 상승하는 때는 입자가 포집되는 드럼을 바꿀 때 발생함을 주목하라. 나노입자의 수농도는 응축 입자계수기 (condensation particle counter: CPC)를 사용하여 측정하고 입자의 표면적은 확산대전기 (diffusion charger: DC)를 이용하여 측정되었다.

까지, 작업장에서 나노입자의 노출을 최소화하는 방향으로 작업장 환경을 개선하는 것이, 현재로서 근로자를 보호하는 차원에 매우 중요하다 하겠다.

감사의 글

본 원고는 National Institute for Occupational Safety and Health grant (Project CAN 9280082) 의 지원을 받아 수행되었다. 🙏

참고 문헌

- Ku BK, Maynard AD: Comparing aerosol surface-area measurement of monodisperse ultrafine silver agglomerates using mobility analysis, transmission electron microscopy and diffusion charging J. Aerosol Sci. 2005, 36, 1108-1124.
- Andrew D. Maynard, Robert J. Aitken, Tilman Butz et al.: Safe handling of nanotechnology. Nature 444, 267-269 (16 November 2006) | doi:10.1038/444267a; Published online 15 November 2006.