

# 나노입자 분석 및 측정 방법

## (Methods for Characterizing and Measuring Nanoparticles)

미국 NIOSH 선임 연구원 / 구 본 기

### 1. 서론

Oberdörster 외 (2005)의 최근 나노입자 및 나노물질의 독성연구에 대한 분석보고서에 의하면, 나노입자가 인체에 미치는 영향을 구체적으로 파악하기 위해서는 나노입자의 화학적 성질뿐만 아니라 입자의 물리적 구조(structure)의 중요성도 강조하였고, 특히 나노입자의 물리·화학적 특성을 충분히 분석할 필요가 있다고 제안하였다.

이와 같이 포괄적인 나노입자의 분석을 강조한 주된 이유는 단일벽면 탄소나노튜브 물질의 독성과 관련하여, 다양하고 통일되지 않은 접근방식이 다른 독성결과를 가져왔기 때문이며, 이러한 결과의 불일치로 말미암아 잠재적인 나노물질의 독성연구를 수행하기 전에 나노입자의 충분한 물리·화학적 분석이 필요하다는 점에 동의가 이루어진 것이다. 나노입자의 다양성과 복합성 때문에 독성실험에 적절한 나노입자의 분석수

준이 맞추어져야 한다.

이번 호에서는 지난 호에 이어 인체에 잠재적인 영향을 미칠 수 있는 나노입자의 성질인 나노입자의 수, 농도, 크기, 형상, 응집 상태, 표면적, 표면화학특성, 질량을 어떻게 측정 및 분석할 수 있는지에 대해 다루어 보겠다.

### 2. 본론

#### 2.1 나노입자에 대한 노출측정방법의 장단점

기존의 거시입자에 대한 노출 측정과 비교하여 나노입자의 노출측정은 다양한 입자의 노출척도의 모니터링을 요구한다. 몇가지 대표적인 측정방법에 대해 기술하면 다음과 같다.

- 기존의 거시입자에 적용해 왔던 입자의 질량측정을 나노입자 측정에 적용시키

는 방법

- 기존의 방법을 연속성을 가지고 사용할 수 있는 장점이 있는 반면, 나노입자의 경우, 질량 측정의 민감도가 문제가 될 수 있다.

• 입자의 수농도를 측정하는 방법

- 상대적으로 쉬운 방법이지만, 작업장에서 프로세스와 관련된 입자와 백그라운드 입자를 구분하기가 어렵다는 단점이 있다.

• 입자의 크기분포를 측정하는 방법

- 많은 입자의 물리적 정보를 제공할 수 있지만, 작업장에서 포터블하게 사용하기는 비실제적이다.

• 입자의 표면적을 측정하는 방법

- 몇몇 나노입자와 관련이 많으나 실시간으로 입자의 표면적을 측정하는 장비가 미흡하다.

## 2.2 나노입자의 노출을 측정하는 장치

나노입자의 노출을 측정하는 장치는 대부분 공기중에 부유된 나노입자를 샘플링을 통해 실시간으로 입자를 모니터링하는 방식을 이용한다. 즉 온라인 측정방법을 이용하며 실시간으로 입자에 대한 노출을 측정할 수 있는 장점이 있다.

• 응축 입자 계수기(Condensation Particle Counter, CPC)

- 10nm에서 약  $\sim 1\mu\text{m}$  크기를 갖는 입자의 수농도를 측정할 수 있다. 입자의 측정

가능한 최대 수농도는  $100,000\text{개}/\text{cm}^3$ . (대표적인 장치로서, 3007 portable CPC, TSI Inc.)

• 전기이동도 분석기(Differential Mobility Analyzer, DMA)

- 10nm 에서 700nm 에 해당되는 입자들의 크기분포를 측정할 수 있다.

• 전기 저압 임팩터(Electrical Low Pressure Impactor, ELPI)

- 7nm에서  $10\mu\text{m}$ 에 해당되는 입자들의 크기분포를 측정할 수 있다.

- 측정시간은 1초보다 짧기 때문에 시간에 따른 입자의 크기분포변화를 측정할 수 있다.

• 투과 전자현미경(Transmission Electron Microscope, TEM)

- 1nm정도로 미세한 입자의 형상을 분석할 수 있다.

• 에어로졸 포토미터(Aerosol Photometer)와 필터미디어(Filter)

- 입자의 질량을 측정할 수 있다.

- 필터를 이용한 측정방법이 더 정확하지만, 실시간 모니터링에 사용될 수 없는 단점이 있다.

• 투과 전자현미경을 이용한 전자회절분석기(Energy Dispersive X-ray Analysis, EDX)

- 입자 표면의 성분을 분석할 수 있다.

• 확산대전(Diffusion Charging)을 이용한 입자의 표면적 모니터(Diffusion Char-

- ger, DC) (그림 1 참조)와 Brunauer-Emmett-Teller (BET) 방법
- 입자의 표면적을 측정할 수 있다.
  - BET 방법이 보다 정확하지만, 실시간으로 입자의 표면적을 측정할 수 없다는 단점이 있다.
  - 확산대전을 이용하는 장치는 실시간으로 입자의 표면적을 모니터링할 수 있지만, 입자의 총표면적이 아닌, 입자의 겉표면적만을 측정할 수 있다(Ku and Maynard, 2005).
  - 전기이동도 분석기와 질량분석기 (Aerosol Particle Mass analyzer, APM)
  - 입자의 응집상태를 정량적으로 측정할 수 있다.
  - 두 장치를 이용하여 입자의 유효밀도 (effective density)를 측정할 수 있다 (Ku 외, 2006)

나노입자가 인체에 미치는 영향 중 최근 발표된 2개의 논문에서는(Poland 외, 2008; Takagi 외, 2008), 다중벽면 탄소나노튜브(multi-walled carbon nanotubes)가 석면과 같이 인체에 영향을 줄 수 있다는 사실을 보고하였다.

이 사실은 위에서 언급된 나노입자의 여러 특성 중 나노입자의 형상(구체적으로 탄소나노튜브의 길이)이 독성에 실제적으로 영향을 준다는 것을 입증한다. Poland 외 논문에서, 20 $\mu$ m 보다 긴 다중벽면 탄소나노

튜브는 석면과 같은 반응을 보이지만, 20 $\mu$ m 보다 짧거나 실타래처럼 엉킨 탄소나노튜브에 있어서는 어떠한 반응도 보이지 않았다고 보고하고 있다.

위에서 설명한 입자 측정장치 중 실제로 작업장에서 나노입자의 노출을 측정하는데 사용되고 있는 장치로는 응축입자 계수기, 전기 저압입팩터, 에어로졸 포터미터와 필터, 그리고 확산대전을 이용한 입자의 표면적 모니터가 해당된다.

아직까지 나노입자의 노출을 평가하는 최적의 척도가 결정되지 않았기 때문에 작업장에서 서로 다른 척도들 (입자의 수농도, 크기, 표면적, 질량 등)을 동시 측정하여 비교 분석하는 것이, 현재 근로자의 나노입자에 대한 노출로부터 보호하는 맥락에서 중요하다 할 수 있다.

궁극적으로 나노입자의 노출을 동시 다발적으로 측정할 수 있는 소형이면서 경제적이고, 배터리에 의해 구동가능한 장치개발이 무엇보다도 시급하다 하겠다.

### 3. 결론

지금까지 나노입자의 수농도, 크기, 형상, 응집상태, 표면적, 표면화학특성, 질량을 측정하는 방법과 장치들에 대해 살펴 보았다.

다음 마지막호에서는 이러한 다양한 측정장치들이 실제적으로 작업장에서 나노입자의 노출을 측정하는데 어떻게 사용될 수 있



(a) DC2000 CE Diffusion Charger, EcoChem ([www.ecochem.biz](http://www.ecochem.biz))



(b) LQ1-DC Diffusion Charger, Matter Engineering ([www.matter-engineering.com](http://www.matter-engineering.com))



(c) Nanoparticle Surface Area Monitor Model 3550, TSI Inc.

그림 1 Instruments commercially available for measuring nanoparticle surface area.

는지에 대해 구체적으로 다루고자 한다.

감사의 글

본 원고는 National Institute for

Occupational Safety and Health grant (Project CAN 9280082) 의 지원을 받아 수  
행되었다. ☺

참 고 문 헌

- Ku BK, M.S. Emery, A.D. Maynard, M.R. Stolzenburg, P.H. McMurry, In situ structure characterization of airborne carbon nanofibers by a tandem mobility–mass analysis, *Nanotechnology* 2006, 17, 3613–3621.
- 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, 1108–24.
- Oberdörster G et al Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy Part. *Fibre Toxicol.* 2005, 21–110 (doi:10.1186/1743–8977–2–8).
- Poland CA et al. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos–like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology.* Published online: 20 May 2008. doi:10.1038/nnano.2008.111.
- Takagi A., Hirose A., Nishimura T., Fukumori N., Ogata A., Ohashi N., Kitajima S., Kanno, J. Induction of mesothelioma in p53+/- mouse by intraperitoneal application of multi–walled carbon nanotube. *The Journal of Toxicological Sciences* 2008, 33, 105–116.