한국환경보건학회지, 제37권 제1호(2011)
J. Env. Hlth. Sci., Vol. 37, No. 1, pp 73~79(2011)

나노물질의 측정전략의 주요 쟁점

윤충식†
서울대학교 보건대학원 보건환경연구소
(2011. 1. 29. 접수/2011. 2. 12. 수정/2011. 2. 14. 채택)

Consideration of Nano-Measurement Strategy

Chung-Sik Yoon†
Graduate School of Public Health and Institute of Health and Environment, Seoul National University, Seoul 110-799, Korea
(Received January 29, 2011/Revised February 12, 2011/Accepted February 14, 2011)

ABSTRACT

The growing interest in nanotechnology has resulted in increasing concern and a number of published environmental and workplace measurements for assessing occupational exposure to engineered nanomaterials. However, the amount of previous exposure data remains limited. Furthermore the data available was collected with extensive variation in terms of exposure measurement strategy, which limits the ability to pool the data in the future. In response, this paper reviewed several pertinent issues related to exposure measurement strategy to suggest a harmonized measurement strategy which would make exposure data more useful in the future, e.g. correlation between exposure metrics, relationship between activity and exposure, task-based or shift-based assessment, background concentration, limitation of personal exposure monitoring and other determinants of exposure/modeling. An improved sampling strategy for nanomaterial exposure assessment should be considered in order to maximize the use of the data from various real time monitoring instruments.

Keywords: assessment, background, exposure, nano, shift, strategy, task, time activity, metrics

I. 서 론

환경보건 및 산업보건 측면에서 나노물질에 대한 논의는 건강관련과 노출평가 측면에서 최근에 큰 이슈가 되고 있다. 국내외에서 나노물질의 안전보건 측면에서의 연구는 나노물질의 특성 규명과 독성 규명이 주류를 이루고 있으나 최근에는 실제 사람의 노출가능성에 초점을 둔 연구가 활발해지고 있고, 환경노출 직업적 노출에 대한 연구논문의 수가 증가하고 있다.[1,2] 그러나 나노물질의 노출평가에 대해서 외국에서 논문이 증가하고 있지만 표준화된 방법이 없어 각 연구자들이 각자 나름대로의 도구를 사용하여 평가하고 있다. 나노물질의 노출평가 방법이 기존의 전통적인 평가방법과 달라 올바른 측정전략에 대한 논의가 활발하다. 본고는 2010년도 12월에 네덜란드에서 개최되었던 '나노 측정전략과 데이터베이스 구축 워크숍(Workshop on Nano Measurement Strategy and Database)'에서 논의되었던 두 주제 중 하나인 '측정전략'에 대한 주제를 근거로 하여 다양한 문헌고찰을 하였으며 향후 국내 나노물질 노출평가에서도 고려하여야 하는 점을 중심으로 논의하고자 하였다.

†Corresponding author : Graduate School of Public Health and Institute of Health and Environment, Seoul National University
Tel: 82-2-880-2734, Fax: 82-2-762-2888
E-mail : csyoon@snu.ac.kr

1. 나노물질 측정 전략에서 논의되는 이슈들

일반적으로 측정전략이란 어떤 물질의 측정계획과 관련하여 관련성 있는 인자의 선정을 위한 윤곽을 잘 기획하는 것이라고 할 수 있는데 구체적으로는 왜(측정목적), 무엇을, 어떻게, 어디에서, 언제, 얼마나 오래, 얼마나 많은 사람/시료를 측정할지 결정하는 것이라 할 수 있다(Table 1). 나노물질 관련하여서는 '왜'라는 측정의 목적은 노출의 정도파악/분석, 위험성 평가, 역학연구 수행, 개선장치의 효과성 검증, 노출기준과의 부합성 등이 될 수 있다. 측정의 목적에 따라 측정의 전

Table 1. Issues for measurement strategy of nano-materials

Category	Contents
Why	Objectives, e.g. risk assessment and management, exposure mitigation, exposure analysis, compliance, etc
What	Substance, exposure metric (mass, surface area, particle number), exposure measures (TWA, cumulative, peak) etc
Where	Breathing zone, source, near field, far field
When	Activity-based, full shift, seasonal variation
Who	Stratified, randomly selected, nearby worker
How	Methods (real-time monitoring, sampling)/ devices

략이 바뀔 수 있지만 측정전략 단계부터 가능한 많은 목적에 부합하는 데이터를 얻는 것이 나노물질의 측정 전략에서 논의되고 있다. 나노물질에 대한 노출기준이 없고, 노출평가 경험이 많지 않으며 측정 자료가 축적되고 있는 단계이기 때문에 2011년 현재 노출 특성에 대한 논문이 주류를 이루고 있으나 향후는 이런 자료들이 모아져서 역학연구나 위험성 평가의 자료로 사용될 것이다. 따라서 현재의 측정 자료가 미래에 사용될 것을 대비하여 측정전략을 수립하는 것도 중요한 이슈가 되고 있다.

무엇을 측정할 것인가라는 질문에는 기본적으로 해당 사업장 또는 발생원에서 발생하는 나노물질이기는 하지만 그것의 측정단위(질량, 입자수, 표면적)를 무엇으로 할 것인지, 측정된 자료를 처리하는데, 시간가중평균농도, 축적농도, 피크농도 중 어떤 것이 중요한 것인지가 결정되어야 한다. 어디에서 측정하는 가에 대한 질문으로는 개인시료인지, 장소시료인지, 장소시료이면 발생원인지, 인접장소(near field)인지, 먼 장소(far field)인지 결정되어야 한다. 배경농도는 어떻게 설정할 것인지도 해결되어야 한다. 언제 측정할 것인지에 대해서는 직무(또는 활동) 단위(task based or activity based) 농도인지, 전작업시간(full shift) 측정인지, 계절간 변이를 볼 것인지 등이 논의될 수 있다. 누구/어디에서 측정하느냐에 하는 문제에 있어서는 층화추출방법, 임의적 추출방법, 인근작업자 측정인지가 결정되어야 한다. 어떻게 측정할 것인지는 적절한 측정기기의 선정과 아울러 실시간 측정 자료와 측정후 실험실 분석 자료의 상호 보완 및 그 사용 등이 논의될 수 있다.

아울러 위와 같은 질문과 더불어 중요한 것이 나노물질의 농도에 영향을 미치는 인자를 파악하기 위한 자료의 구축이 매우 중요하다. 이런 여러 측면은 일반 환경이나 직업환경에서도 공통적으로 적용될 수 있지만 나노물질 관련하여 특징적인 점을 더 언급하면 다음과 같다.

2. 나노 크기에 관련한 논의

일반적으로 나노 물질은 어떤 대상의 크기가 1~100 nm 크기를 가지는 물질로 정의하고 나노물체(nano-objects)는 3차원의 외형치수중 하나, 둘 또는 셋이 나노크기의 물질을 의미한다. 나노 물체에 포함되는 것으로 나노입자(nano particle, 3차원의 외형치수가 모두 나노크기인 물체), 나노판 (nanoplate, 3차원의 외형치수 중 하나가 나노크기고 나머지 두 외형치수가 상당히 큰 나노물체), 나노섬유(nanofiber, 외형치수 중 둘은 비슷한 나노크기를 가지며 나머지 외형치수는 상당히 큰 나노물체)로 구분하며 나노섬유는 다시 나노선(전기적으로 도체 또는 반도체인 나노섬유), 나노튜브(속이 빈 나노섬유), 나노막대(속이 찬 나노섬유)로 구분한다 (Fig. 2).[3,4]

나노크기가 이처럼 정의된다 해도 공기 중으로 나노물질이 비산하게 되면 이들이 뭉쳐서 응집체(agglomerate, 나노물질이 반데르발스 힘 등으로 약하게 결합되어 응집체의 표면적이 개별 구성체 표면적과 비슷)가 되던지, 집합체(aggregate, 강하게 결합되어 개별입자의 표면적보다 집합체가 작은 표면적을 갖음)가 되고, 또한 입자의 크기 분포가 100 nm를 기준으로 이분법으로 구분되기보다는 연속적 분포를 하기 때문에 나노물질의 측정에 있어서 엄밀히 100 nm 이하의 크기만을 측정하기보다는 그보다 큰 입자도 같이 고려하는 것이 일반

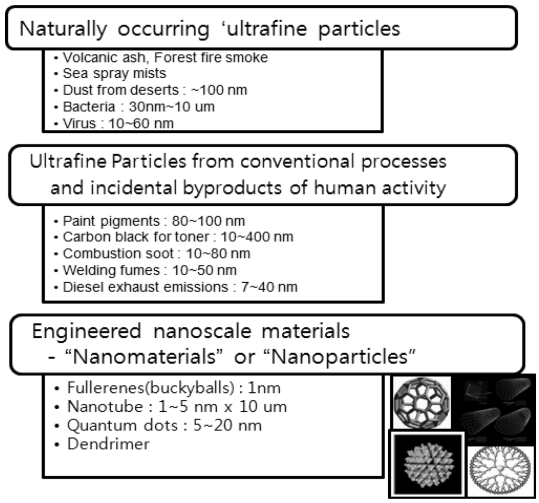

Fig. 1. Classification of nano-sized particle.

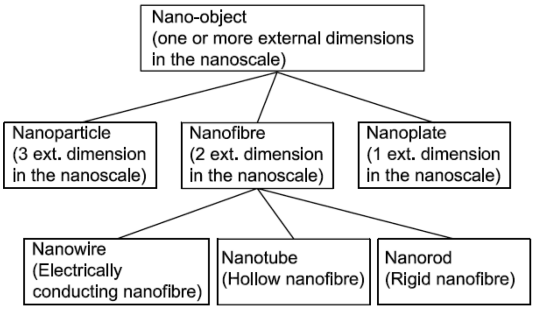

Fig. 2. Fragment of hierarchy of terms related to nano-objects.[3,4]

적이나 어느 크기까지 측정할 것인지(예, 300 nm 또는 1000 nm)는 아직도 결론이 나지 않고 있다. 더구나 뭉쳐진 나노입자가 체내에 들어와 체액 중에서 다시 분해될 수도 있어 건강위해성과 관련한 나노 크기의 한계를 명확히 하기는 힘들다. 또한 나노입자가 뭉치는데도 공기중 농도가 10^6개/cc 이상으로 높을 때는 동일 나노물질이 뭉치치만 농도가 낮거나 배경농도가 높을 때는 그 구성성분이 이질적이어서 뭉침 현상에 대해서도 더 연구가 필요하다. 현재는 입자의 크기를 구분하여 측정할 수 있는 측정기기의 측정범위내에서 연구자가 임의적으로 선정하기도 한다. 나노크기의 입자가 최근에 이슈화된 것은 인위적 나노물질이기 때문이지만 그전에도 나크기의 물질의 일반 환경이나 사업장에 존재하여 왔고(Fig. 1), 이를 표현하기 위해 Ultrafine particles(UFPs)과 Nanoparticles(NPs) 용어도 사용한다.[5]

이 나노크기는 전통적으로 건강과 관련하여 정의된 호흡성 입자크기의 일부분으로 일반 환경에서는 PM2.5 또는 PM1.0으로, 산업보건에서는 호흡성 분진(respirable dust) 또는 호흡성 입자상 물질(respirable particulate mass)의 일부분이다. 따라서 기존의 용접흄, 디젤배출물질, 연소물질에 대한 전통적인 질량농도 표시와 입자농도에 대한 동시 연구나 상관성에 대한 연구가 인위적 나노물질에 대한 정보를 줄 수 있을 것으로 기대하기도 한다.

3. 나노물질의 농도 표시 및 분석

전통적으로 일반 환경 또는 직업 환경에서 기본적 측정단위는 단위 공기부피당 질량단위였다. 석면섬유처럼 일부 섬유에서는 섬유의 개수가 사용되기도 하였지만 이는 분석과 관련하여 사용된 단위였다. 그러나 나노물질은 질량측정단위와 더불어 표면적, 입자수 농도, 입자크기분포가 같이 사용되고 있고 현재의 지식으로는 어느 한 측정단위로 표시하는 것은 한계가 있다는데 동의하나 어느 하나의 측정단위가 최적인지는 동의하고 있지 못하다. 따라서 사례연구나 하나의 나노물질에 대해 하나의 단위를 사용할 수 있다 해도 하나의 측정단위로 모든 나노물질의 특성을 표시하거나 정량화하는 것은 충분치 못하다.

현재의 연구는 노출특성을 여러 인자로 설명하려 하고 있고, 이에 따라 다양한 측정단위를 동시에 이용하는 연구가 많다. 예를 들어 실시간 측정 장치로 입자수 또는 크기별 입자수를 측정하고, 여과지를 이용해 시료 채취한 것으로 중량분석이나 성분분석을 하여 상호자료를 보완하고 있다. 그러나 이에는 많은 장비와 비용이 소요되기 때문에 가장 좋은 측정단위를 개발하는 것이 필요하다.

나노물질의 측정기기도 매우 다양한데 크게 구분하면 실시간 측정방법(real time monitoring)과 비실시간 측정(off line analysis)으로 구분하는데 전자의 측정기기로는 실시간으로 입자크기 분포, 수 농도, 표면적 농도와 질량농도를 측정하는 기기들이 있고, 후자는 주로 코팅/비코팅 여과지나 전자현미경 그리드를 이용하여 채취한 다음 실험실에서 화학적 조성분석, 크기 측정, 응집현상 파악을 하려는데 사용된다. 많은 실시간 장비의 측정범위도 다양하므로 각 기기의 원리와 한계, 범위를 잘 파악하는 것이 중요하다. Fig. 3은 상용하는 많은 기기의 측정범위를 나타낸 것이다.[1] 또한 표현하고자 하는 입자의 크기가 실제 크기(예, 전자현미경 실측크기)인지, 공기역학적 직경인지, 광학적 크기 직경인지, 질량중위 직경인지가 잘 나타나 있어야 한다. 이는 특히 입자 크기를 비교할 때 매우 주의하여야 한다.

요약하면 농도표시에 있어 최소한으로 질량농도와 수농도가 측정되어야 하며 필요에 따라 입자크기분포나

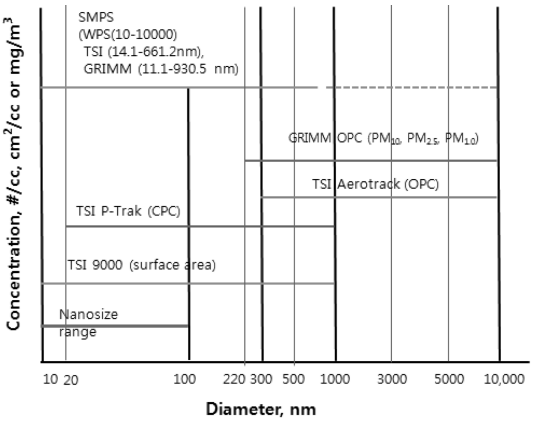

Fig. 3. Nanosize range and measurement range of some commercial instruments.

표면적과 같이 수 농도를 동시에 표기하는 것이 제기되고 있다. 반드시 나노물질의 성분에 대한 정성평가 자료가 수반되어야 한다. 크기 분포를 볼 때 가장 많이 사용되는 구분법은 100 nm 이하와 이상으로 구분하는 것이며 필요에 따라 더 세분하기도 한다. 이런 크기분포는 입자의 특성 규명과 함께 건강영향을 고려할 때 중요하다.

나노입자의 실제 크기측정이나 성상을 관찰하기 위해서는 전자현미경을 사용하는데 현재까지는 주사전자현미경(SEM; Scanning Electron Microscope)보다는 투과전자현미경(TEM; Transmission Electron Microscope)을 많이 이용하고 있다. 그 이유는 SEM의 경우 아주 작은 입자에는 부적절하기 때문이라고 하였으나 최근에는 SEM도 시도되고 있다. 전자현미경 분석을 이용하기 위한 시료채취를 할 때 고려해야 하는 점은 어떻게 전자현미경분석에 적절한 시료를 채취할 수 있는지? 결과를 어떻게 기술할 것인지? 나노입자의 전자현미경 분석에 대해 정도관리를 어떻게 할 것인지가 아직도 해결되고 있지 못하다.

SEM 분석을 위한 시료채취는 막 여과지인 mixed cellulose ester(MCE) 여과지, polycarbonate(PC) 여과지, polytetrafluoroethylene(PTFE) 여과지, polyvinyl chloride(PVC) 여과지를 그대로 이용하거나 전도성을 좋게 하기 위해 금, 니켈, 플라티늄, 구리 또는 탄소 코팅한 여과지를 사용한다. TEM 분석을 할 경우 주로 구리나 니켈 그리드를 electrostatic precipitator(ESP)나 thermophoretic precipitator(TP)에 올려 채취하게 된다. 나노물질의 성분분석을 할 때는 위 전자현미경에 EDX(Energy Dispersive X-ray)를 부착하거나 ICP-MS나 ICP-AES를 주로 사용하며 탄소나노튜브인 경우 탄소에 대하여 NIOSH 5040 방법을 이용하여 석영필터로 채취하여 열광학분석기(thermal-optical analyzer)로 분석을 한다.[6,7]

4. 배경농도 평가

일반 환경 노출평가나 작업환경에서 배경농도를 별도로 평가하지 않는데 비해 나노물질을 측정할 때는 배경농도를 평가하는 것이 일반적이다. 즉 나노크기의 입자는 인위적 나노물질이 발생될 때 이외에도 일반 공기나 비나노공정에서 발생하여 존재할 수 있기 때문에 이런 비의도적 나노크기입자(non-engineered nano particle)를 구별하려고 하는 시도가 이루어지고 있다.

배경농도를 평가하는 방법으로는 연구목적에 따라 다른 방법을 사용하기도 하는데 일반적으로 실시간 모니터링을 할 때는 인위적 나노물질을 측정한 같은 장소에서 작업이 없을 때 측정하여 그 농도차를 보는 방법(near field approach), 동시에 두 대의 측정기기를 이용하여 나노물질 발생장소와 나노물질의 발생이 영향을 미치지 않는 외부나 다른 장소를 기준점으로 잡고 측정하여 비교하는 방법(far field approach), 나노물질의 발생장소에서 작업이 없을 때 농도와, 외기의 농도를 측정하여 침투분율을 환산한 후 나노물질 발생농도를 측정하여 침투분율로 보정하는 방법(infiltration fraction correction approach)이 있는데 주로 처음 두 방법이 많이 시도되고 있다.[8,9] 그러나 실시간 모니터링은 실제 관심이 되는 나노물질인지 알 수 없기 때문에 여과지나 그리드에 장시간 동안 포집하여 화학분석이나 전자현미경 분석을 하여 비의도적 나노물질과 나노물질을 구별하는 정성평가방법이 같이 수행되어야 한다.

배경농도 보정 논의에서 중요한 다른 이슈로는 과연 배경농도를 어떻게 정의할 것이며 이를 보정할 필요가 있는가 하는 점이다. 결론적으로는 배경농도의 측정이 필요하기는 하나 반드시 보정하여야 할 필요는 없다는 점이다. 또한 배경농도를 정의하는데 있어 중요한 점은 어떤 측정 전략을 사용했고 어떻게 배경농도를 측정하였는지를 명확히 기술하여야 하며 장기간의 건강영향을 볼 때 배경입자의 특성 규명이 필요한데, 이는 배경입자가 인위적 나노입자와 동일하게 건강영향을 주지는 않을지라도 어느 정도 건강영향을 줄 수 있기 때문이다.

5. 업무단위 측정과 전작업시간 측정, 개인시료 채취와 장소시료 채취

이 두 가지 영역에 대한 질문은 나노물질에 국한되지 않고 다른 노출평가에서도 논의되는 주제이다. 기존의 전통적인 측정방법이 전작업시간을 측정하는 방법인데 비해 나노물질의 발생이나 공정 중 누출을 잘 규명하기 위해서는 업무(활동)단위의 측정농도가 있어야 하는데 이는 단순히 업무(활동) 때 측정하면 되는 것이 측정하면서 업무활동을 잘 관찰하여 시간활동정보와 연계시켜 실시간 자료를 해석함으로 가능하다. 가장 좋은 전략은 전작업시간 동안 지속적으로 측정하면서 작업을 잘 관찰하여 시간활동정보와 연계시켜 실시간 자료를 해석함으로써 업무단위 농도뿐 아니라 전작업시간 농도파악도 가능하게 한다.[10] 따라서 직무(활동)을 잘 정의하는 것이 필요하며 농도에 영향을 주는 작업자의 시간활동정보를 파악하여 전작업시간(full shift) 농도, 직무단위(task based) 농도, 피크농도를 파악할 수 있다. 직업노출기준이 대개는 전작업시간의 시간가중평균

치로 주어지며, 근로자의 노출평가도 전작업시간 농도에 기반하여 이루어지므로 이도 중요하다.

개인시료채취가 노출평가에 있어서 장소시료보다 선호되지만 나노물질인 경우 측정기기가 개인시료채취에 부적절하여 현재는 대부분 장소시료로 측정이 되고 있으나 가능한 발생장소 또는 근로자의 작업장소에 가까운데서 측정하여야 하며 그 거리를 잘 명시하여야 한다. 개인시료는 여과지를 이용하여 질량농도와 구성성분 분석하는데 사용할 수 있으나 실시간 자료를 제공하지 못하고 있다.

6. 자료처리

현재까지 나노물질에 대한 실시간 측정 자료를 이용한 논문은 적절한 통계방법을 사용하지 못하고 단순히 측정기기가 제공하는 요약자료나 매우 간단한 통계를 이용하여 실제 측정 자료가 갖고 있는 유용한 정보를 잘 활용하고 있지 못하다. 또한 나노물질을 실시간으로 측정할 때 측정기기의 반응시간(response time)과 평균시간(averaging time)이 기기의 반응이나 측정농도에 영향을 주게 되어 이에 대한 통일된 접근법이 필요하나 아직 그렇지 못하다. 예를 들어 매분 단위로 측정한 자료의 평균시간을 매분으로 할 것인지, 15분, 30분 아니면 60분으로 할 것인지가 통일되어야 하고 피크 농도를 측정할 때는 몇 초를 측정할 것인가가 농도에 영향을 미치게 된다. 반복 측정 자료는 측정일간, 피측정자의 변이에 대한 정보를 주게 되나 이에 대한 명확한 가이드라인이 설정되고 있지 못하다. 실시간 측정자료

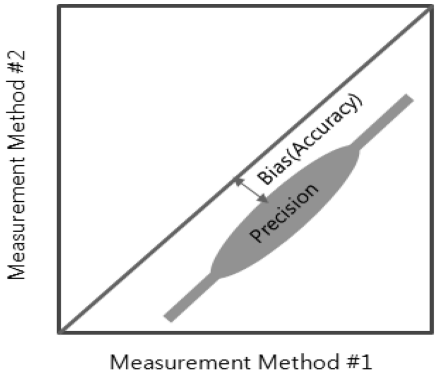

Fig. 4. Accuracy and precision when compare two measurement instruments.

를 해석할 때 적어도 다음과 같은 단계로 자료의 분석이 이루어져야 한다.

(1) 자료가 기하정규분포 하는지 조사한다. 히스토그램 또는 적합도 검정을 실시한다.

(2) 자기상관성(autocorrelation)을 검사한다. 실시간 자료인 경우 시계열분석을 하는 것이 필수적인데 이를 통해 자기상관성을 볼 수 있다. 예를 들어 통계 패키지인 SAS의 ARIMA(auto-regressive integrated moving average) 분석을 하면 점검할 수 있다.[11]

(3) 독립변수를 잘 조사하여 혼합모형분석(Mixed model analysis)를 하여 농도에 영향을 미치는 인자를 파악한다. 대표치로는 기하평균, 기하표준편차를 사용한다.

Table 2. Example of standard or guidelines for definition or measurement of nano material

	Title	Issue Date	Contents
Domestic	KS A ISO TS 27687 Nanotechnologies-terminology and definitions for nano-objects-nanoparticle, nanofibre and nanoplate	2009.12.15	· Classification of the 'nano-object' into nanoparticle, nanofiber and nanoplate. · Nanofiber is reclassified into nanowire, nanotube and nanorod. · Definition of above terminology including aggregate and agglomerate. · Based on ISO/TS 27687 document
	KS M ISO 27628 Workplace atmospheres-ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols-inhalation exposure characterization and assessment	2008.12.30 2010.11.01 Revised	· In background section, description on the potential health effect and physical transfer of ultrafine and nanoparticle. · In manin section, description on the nanoaerosol source at occupational settings. · characterization of occupational exposure of nano aerosol. · Based on ISO/TR 27628 document
	KS A 6202 Guidance to safe handling of manufactured nanomaterials in workplace/laboratory	2009.5.6	· General management guideline for occupational exposure prevention including work practice, housekeeping, education, labeling, entrance permit, personal hygiene, showering, outfit room, mat and personal protective equipments.

Table 2. Continued

	Title	Issue Date	Contents
International	ISO/TS 27687 Nonotechnologies-terminology and definitions for nano-objects-nanoparticle, nanofiber and nanoplate	2008	・Classification of the 'nano-object' into nanoparticle, nanofiber and nanoplate. ・Nanofiber is reclassifed into nanowire, nanotube, nanorod. ・Definition of above terminology including aggregate and agglomerate.
	ISO/TR 27628 Workplace atmospheres-ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols-inhalation exposure characterization and assessment	2007.02.1	・Description on the potential health effects of nanoaerosols(including ultrafine aerosols), sources of occupational nanoaerosols and exposure assessment strategies.
	ISO/TR 12885 Nanotechnologies – health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies	2008.10.01	・Definition of above terminology including aggregate and agglomerate. ・Huge volume as a standard (p86). ・Description on engineered nanomaterials and production processes, health characterization, exposure assessment and risk assessment and control methodologies in occupational settings.
	ヒトにする有害性が明らかでない化物質にする者ばく露の予防的策にする討 (ナノマテアルについて) 報告書 `平成２０年１１月	2008.11	・Review report for Nano material - Preventive control for the chemical which is not clearly proved of health hazard
	ASTM Designation E2535-07 standard guide for handling unbound engineered nanoscale particles in occupational settings	2007.10	・Guideline for unbound engineered nanoscale particles (UNP) which includes the guideline on the establishing a program to implement the control principle, hazard, exposure, risk assessment and evaluation, control of exposure in occupational settings.

(5) 필요시 다른 통계량인 최고값, 95% 신뢰구간 등을 구한다.

나노물질의 측정에 매우 다양한 기기가 사용되고 있고 따라서 측정기기간의 비교논문도 많은데 대부분 기기분석을 할 때는 피어슨 상관계수나 Paired T-test를 하는데 이것보다는 CCC(concordance correlation coefficient)를 계산하여야 한다. 이 CCC는 두기기가 절대적으로 얼마나 일치하는가를 보는데 더 적합하며 이는 정확도(concordance line에서 fitted line이 떨어져 있는 정도)와 정밀도(fitted line에서 각 측정치의 짝이 떨어진 정도)를 동시에 고려한다(Fig. 4).

7. 국내외의 나노물질 관련 표준들

나노물질이라고 통상 일컬어지는 나노 관련하여 최근에 표준이나 지침이 만들어지고 있다. 국내에서는 KS 규격으로 제정된 나노물질 노출과 관련한 규격은 Table 1에서 보듯이 3개의 규격이 만들어졌다. 국외는 주로 국제표준화기구(ISO; International organization for standardization)에 의하여 제정되었고, 일본, 미국 ASTM(American Society for Testing and Materials)의 가이드라인이 있다.

II. 결 론

본 논의는 나노물질의 공기중 노출평가 전략에 있어서 최근 이슈가 되고 있는 몇 가지 점에 대하여 논의하였다. 과거의 많은 측정관련 논문이 조사대상 장소에 대한 측정결과를 나타내거나 측정방법에 대한 것도 대부분 기기의 성능 비교에 국한되었으나 본고에서는 점차 증가하고 있는 측정 자료를 잘 활용하고, 측정결과(농도)와 이에 영향을 주는 변수와의 상호관계 규명, 향후 역학자료로의 활용, 건강영향조사와의 연계하기 위한 양질의 데이터 베이스 구축을 위한 측정전략에 관한 논의를 하였다. 이러한 전략은 6하 원칙(why, what, where, when, who, how)에서 논의가 가능하였으며, 특히, 나노크기, 실시간 측정 자료의 농도표시와 이 자료를 지지하기 위한 off-line 분석 자료의 활용, 배경농도의 평가, 전작업시간 평가와 업무단위평가의 활용, 현시점에서의 개인 시료의 제한점, 자기연관성을 보기 위한 통계처리와 기기의 상관성비교를 위한 통계처리에

대하여 논의하였다. 이런 측정전략이 잘 가다듬어 질 때 고가의 장비를 통해 얻어진 수많은 자료가 잘 활용될 수 있다.

참고문헌

1. Yoon, C. S., Yu, I. J., Park, D. U., Lee, K. Y., Ha, K. C., Paik, S., Lee, K. L., Lee, G. H., Ham, S. H. and Choi, I. J. : Exposure assessment and management guideline in occupational settings relevant to engineered nanomaterial (I). KOSHA research report (KOSHA 2010-78-895), 25-62, 2010.
2. Brouwer, D. : Exposure to manufactured nanoparticles in different workplaces. *Toxicology*, **269**, 120-127, 2010.
3. Korean Agency for Technology and Standards (KATS) : Nanotechnologies-terminology and definitions for nano-objects-nanoparticle, nanofibre and nanoplate, KSA ISO TS 27687:2009, Korean Agency for Technology and Standards (CATS), 1-4, 2009.
4. International Organization for Standardization (ISO) : ISO/TS 27687, Nonotechnologies-terminology and definitions for nano-objects-nanoparticle, nanofiber and nanoplate. International Organization for Standardization (ISO/TR 27628:2007 (E)). Switzerland, 1-5, 2008.
5. Lee, S. and Kim, S. : Ultrafine particle toxicities, current measurement techniques and controls. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, **20**(3), 203-215, 2010.
6. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : Elemental carbon(diesel particulate): 5040, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 4th ed. Department of HHS, 1999.
7. International Organization for Standardization (ISO) : Workplace atmospheres - ultrafine, nanoparticles and nano-structured aerosols - inhalation exposure characterization and assessment. Technical Report. International Organization for Standardization (ISO/TR 27628:2007 (E)). Switzerland. 2007.
8. Ono-ogasawara, M., Serita, F. and Takaya, M. : Distinguishing nanomaterial particles from background airborne particulate matter for quantitative exposure assessment. *Journal of Nanoparticle Research*, **11**, 1651-1659, 2009.
9. Asbach, C., Dahmann, D., Kaminski, H., Kampmann, K. H., Kuhlbusch, T. A. J., Monz, C., Rating, U., Stahlmecke, B., Voetz, M. and Wagener, S. : NanoCare Health related aspects of nanomaterials. Chapter 5: Exposure to nanoparticles: measurement, modelling and agglomerate stability. Frankfurt, Germany, 2009.
10. Ha, J. H., Shin, Y. C., Lee, S. C., Paik, S., Kim, B. W., Choi, B. S., Kang, D. M. and Paik, N. W. : Exposure of laboratory workers to airborne nanoparticle during acid treatment on engineered carbon nanotubes. *Journal of Environmental Health Science*, **36**(5), 343-350, 2010.
11. Pfefferkorn, F. E., Bello, D., Haddad, G., Park, J. Y., Powell, M., McCarthy, J., Bunker, K. L., Fehrenbacher, A., Jeon, Y., Virji, M. A., Gruetzmacher, G. and Hoover, M. D. : Characterization of exposures to airborne nanoscale particles during friction stir welding of aluminum. *Annals of Occupational Hygiene*, **54**(5), 1-18, 2010.