

최신의학상식

우리생활 속의 나노 물질 (Nano-materials in our life)

임종한

인하대병원 산업의학과
(Jong Han Leem,

Associate professor Department of Occupational &
Environmental Medicine, Inha Hospital)



1. 쏟아지는 나노 제품

1898년 석면이 처음 사용되었을 당시만 해도 과거에 석면은 광물성 규산염이기 때문에 건강에 아무런 문제가 없는 것으로 여겨졌으며, 따라서 석면 분진으로 인한 건강의 위험은 일반 분진의 경우와 특별히 달리 취급되지 않았다. 이렇듯 석면이 유해 물질로 취급되지 않았고, 석면의 뛰어난 내열성 등으로 인해 1966년 세계 석면 생산량은 2백 8십만 톤에 이르렀고 1975년에는 5백 2십만 톤으로 증가했으며, 다양한 방면에서 널리 사용되어 석면을 이용한 제품은 3,000여 개가 넘는 것으로 알려져 있다. 하지만 석면이 인체에 유해한 영향이 있음이 석면이 사용된 지 33년이 지난 1931년이 되어서야 비로소 보고되었다. 이후 연구를 통해 석면에 노출되면 피부질환, 호흡기 질환은 물론 20~40년의 잠복기를 거쳐 폐암, 중피종, 석면폐 등 모두 치명적인 질병을 유발하는 것으로 알려져 있다. 뒤늦게 석면 사용금지에 대한 조치가 세계 각국에서 진행되었지만, 이미 석면에 노출된 사람들에게서 중피종 등의 그 피해는 급격히 증가하고 있는 상황이다.

그러면 왜 이처럼 어이없는 일이 벌어질 수 있었을까? 석면을 사용하기 전에 석면 사용이 가져올 잠재적인 위험에 대한 평가를 소홀히 했기 때문이다.

석면과 같이 화학물질의 유해성에 대한 평가를 제대로 하지 않은 채 수많은 제품들이 시장에 쏟아져 나오고 있다. 요즘 시장에 출시되는 수많은 제품 중에는 나노기술을 이용했다는 제품들이 유난히 많다. 은나노세탁기, 은나노 정수기, 나노화장품, 은나노 양말, 은나노 치약.... 광고에 세뇌된 일반 대중들은 이제 나노라는 말이 들어가면 최신 기술이 적용된, 건강에 효과가 있는 첨단 제품이라는 인식을 가지게 된다.

시중에 나온 나노제품들 중에는 건강관련 제품, 의류제품, 화장품, 개인용품류, 스포츠용품, 식품류, 가정 및 정원용품, 전자컴퓨터제품 등 다양하며, 소재별로는 은이 가장 많고, 플러레이나 탄소나노튜브와 같은 탄소 나노소재, 실리카 등이 있다.

우리나라의 대표적인 상품으로 S전자에서 출시한 은나노세탁기를 빼 놓을 수 없는데, 은나노를 통해 세탁기의 살균 및 향균 효과를 높인 것이다. 하지만 이 제품은 미국 환경보호청(EPA)로부터 은나노는 살충제로 독성을 지닐 수 있어 공중보건과 수생 생물에 해가 없다는 과학적 증거를 제시하라는 요청을 받았다. 이뿐만이 아니다. 미국의 환경연구단체인 환경실무그룹(EWG: Environmental Working Group)은 자외선차단 선크림 제품 5개 중 4개는 자외선차단 효과가 약하거나, 많은 제품들이 나노 규모의 분자로 이루어진 유해한 성분들을 함유하고 있다고 밝혔다. 이러한 사례에서도 보듯이 기존의 출시된 제품 중에는 함유된 나노물질에 대한 안정성이 검토되지 않은 것이 상당히 있다. 유사한 사례로 국내에서는 정수기의 필터에 살균효과를 높이기 위해 은나노 기술을 적용했는데, 정수기 물을 조사해 보니 세계보건기구, WHO가 권고하는 먹는 물 기준(은 0.1ppm 미만)을 초과한 사례도 보고되었다.

서울시가 동네 어린이놀이터를 전면적으로 리모델링하면서 살균효과가 높은 ‘은나노 모래’를 사용한다고 발표해서 인체 유해성 논란을 부를 것으로 우려된다. 어린이놀이터의 모래는 흔히 바람을 타고 흩날리기도 하고, 심지어 일부 유아들은 입으로 삼키는 일도 다반사여서 나노 물질의 사용에 더욱 신중해야 한다. 나노 입자가 호흡기, 소화기, 피부 등에 침투할 경우 나타날 신체적 반응이 명확히 규명될 때까지 사용을 자제해야 할 것이다.

검증이 안된 상태에서 나노기술을 적용하는 사례가 늘고 있지만, 정작 나노기술의 안전성 관리를 위한 정책적 노력은 우리사회에서 아직 부족한 실정이다. 2007년의 경우 정부의 나노기술 분야의 투자액은 총 2814억 수준으로 연구 개발비가 2045억원으로 72퍼센트를 차지하고 있다. 하지만 나노소재, 나노공정, 나노바이오연구에 주로 투입이 되며, 나노기술의 독성이나 환경평가에 대한 연구는 아직 미미하다.

은나노, 플러레이나 탄소나노튜브 등 나노기술을 적용한 제조나노물질들이 신제품으로 출시되어 우리 일상 주변에서 많이 접촉하게 된다. 하지만 이들 제품화된 제조나노물질 외에 환경에서 발생된 나노물질 등은 노

출 인구가 더 많고, 건강위험이 더 높을 가능성을 가지고 있다.

환경에서 배출되는 나노물질 중 가장 중요한 오염원은 자동차일 것이다. 자동차에서 나오는 배출물질은 분진과 가스상 물질의 혼합물이다. 가스상 배출물질은 이산화탄소를 포함하는데, 이는 지구온난화에 큰 역할을 한다. 배출된 분진들은 주로 10- 80nm가 된다. 이들은 주로 불완전한 엔진의 소각의 결과로 형성된 것이며, 여러 유기화합물로 종종 코팅이 되어 있다. 분진에는 슈트, 재, 납, 철, 염소 브롬, 그리고 주로 다방향족탄화수소인 유기화합물로 구성된다(PAHs). 여러 유해한 건강영향과 환경영향이 자동차 배기가스 배출물에 기여한다. 역학적인 연구들은 도시환경에 분진과 사망률, 병원 입원 증가와 여러 심혈관질환 및 호흡기질환을 연결지었다.

이러한 분진들의 입자 분포는 흡입 과정에서 큰 역할을 하게 되는데, 작은 분진일수록 인간의 기도 깊이에 침투를 하고 거기에 잔류하여 유해한 독성 영향을 미치게 된다. 사용된 연료의 다른 형태에 따라 자동차 배출물질에 분진 크기 분포에 대한 이해는 이들의 건강영향을 이해하는 데도 매우 중요하다.

국내 산업장에서도 용접, 소각, 제조나노물질 분야의 근로자들이 이미 나노물질의 위험에 노출되어 있다. 나노물질은 크기가 작고 구조가 안정적이어서 환경 속에 오래 존재할 수 있고, 장거리 이동 또한 가능하다. 수용성의 물질은 수서생물에 유해한 영향을 미칠 수도 있으며, 매립이나 소각 시 토양이나 대기로 배출되어 또 다른 문제를 야기할 수도 있다.

2. 나노물질의 유해한 영향

초미립자(직경 0.1 μm 미만)의 관심의 이유는 분진에 의해 유도되는 폐와 심혈관 효과 때문이다. 이들 초미립자는 더 큰 분진에 비해서 높은 폐 침착 효율로 인한 잠재적으로 높아진 생물학적 효과, 폐의 기관으로 옮겨갈 수 있는 큰 능력, 더 큰 표면적, 주어진 표적에 대한 높아진 산화능력 등으로 폐와 심혈관에 더 큰 피해를 야기할 수 있을 것으로 예상된다.

현재까지 한 개의 무작위화된 이중맹검의 연구가 있는데, 건강한 대상자(10, 25, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 농도에 노출)와 경한 천식환자(10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 초미립자에 노출되었다. 걸리진 공기와 미세먼지 10, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 노출 이후에 eNO, 유도된 가래에 측정된 기도 염증, 의미있는 폐기능의 변화는 관찰되지 않았다. 건강한 대상자는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 노출 21시간 후에 최대 호기속도(maximal mid-expiratory flow rate), 확산능(diffusing capacity) 감소를 경험하였다.

역학 연구와 패널 연구에서 초미립자로 인한 심장 및 혈관 효과를 시사했지만, 초미립자를 조사하기 위해

오직 1개의 인간을 대상으로 한 통제된 연구가 시행되었을 뿐이다. 산화 아연 500 ug/m³에 노출된 건강한 대상자에게서, 백혈구 표본 지표, 항상성, 심전도 이상에 이상 효과는 관찰되지 않았다. 이처럼 초미립자의 건강영향에 대해서는 아직 밝혀지지 않은 것이 많으며, 그 효과에 있어서 모호성이 있다.

총 표면적에 근거한 주장도 신빙성을 가지는 것은 아니다. 분진의 크기가 줄어들에 따라, 일반적으로 전체 분진의 표면적은 증가한다. 하지만, 초미립자 범위 내에서 분진의 질량 농도는 극적으로 감소한다. 초미립자 범위 내 초미립자의 수가 증가하면, 총 표면적이 증가될 만큼, 그 수가 충분히 증가하질 못한다. 사실, 대기 속에 분진 크기가 직경 0.1 um까지 감소하면, 분진의 총 표면적은 감소하며, 분진 크기가 초미립자로 줄어들에 따라, 총 표면적은 지속적으로 떨어진다.

초미립자(나노 분진)의 수는 더 큰 크기의 분진 농도에 비해 시간에 따라 변동이 크기에, 초미립자 분진은 분진 노출로 인해 야기되는 여러 건강장애와는 연관성이 없어 보인다. 이것이 더 큰 크기의 분진의 건강 영향과는 독립적으로 초미립자의 건강영향을 불가능하게 하는 것은 아니다. 초미립자 수의 단기 변동과 일별 사망과의 연관성이 보고되었다. 이 연관성은 더 큰 크기의 분진의 건강영향과 유사한 크기를 보였다.

최근에는 산업용 나노물질에 대한 위해성이 새로운 환경문제로 대두되고 있다. 나노물질(적어도 100nm 이하의 직경을 지닌 구조적 특성을 보이는 입자로 정의됨)의 독성과 건강영향에 대한 연구가 최근에 시작되었기에 나노분진의 영향에 대한 자료는 많지 않다. The International Life Sciences Institute Research Foundation/Risk Science Institute는 나노물질의 위해성을 평가하는 테스트 팀을 구성하고 나노물질의 위해성을 정의하는 스크린 요소들을 제시했다. Oberd rster G 등(2005)은 나노물질에 노출로부터의 잠재적인 건강영향을 평가하는 원칙을 제안했다. 현재 접근 가능한 자료가 제약되어 있지만, 이를 근거로 위해성 평가 초기 단계에 적용할 수 있는 폭넓은 자료 수집 전략을 제시했다. 우선 나노물질의 노출이 여러 경로를 통해 일어날 수 있기에, 경구, 경피, 흡입, 침습 등 여러 노출 경로 자료가 포함되어야 한다. 독성 스크린의 3가지 요소는 물리화학적 특성, In Vitro Assays (세포 기반 혹은 비세포 기반)와 In Vivo Assays이다.

나노물질의 생물학적 작용은 이제까지 독성 스크린연구에서 일반적으로 고려되지 않은 물리화학적 특성에 의존할 가능성이 높다. 대



상 물질의 독성을 이해하는데 중요한 물리화학적 특성은 입자의 크기, 수, 크기의 분포, 응집 상태, 모양, 결정구조, 화학적 조성, 표면적, 표면의 화학적 특성, 표면의 전하, 유공성 등이다. In vitro 기술에서는 In vivo 연구에서는 가능하지 않은 특수한 생물학적 그리고 기전 경로가 분리되어 실험되고 있다.

이러한 실험은 폐, 피부, 점막에 독성에 대해 시도되고, 또한 혈액, 비장, 간, 신경계, 심장, 신장 등 표적 장기의 독성에 대해 시도되고 있다. 비세포 기반 평가는 나노물질의 내구성, 단백질과의 상호작용, 산화제로서의 활동 등이 고려된다. In vivo 연구의 1단계는 폐, 경구, 피부, 침습 노출이 제안되고, 2단계는 폐 노출에 대한 추가 평가가 고려된다. 1단계 평가는 노출 경로와 선택된 표적장기에 염증 지표, 산화성 손상, 세포 증식 평가가 포함된다. 2단계 평가는 폐에 침착, 전위, 독성 동력학, 내구성 연구; 다노출 경로 연구; 생식계, 태반, 태아에 대한 연구; 대안적인 동물 모델; 기전 연구 등이 포함된다.

3. 향후 대책

국내 연구 현황을 살펴보면 현재 나노입자 독성에 관한 국내 연구는 태동기에 있다. 나노입자 측정에서의 측정분석 장비기술은 아직 미흡하며, 나노입자에 대한 생태독성 실험결과는 명확히 도출되지 않고 있다. 디젤연소입자 등 환경나노입자 분석에 관한 연구는 거의 전무하다. 산업장에서 노출되는 환경나노입자에 대해서도 위해성 평가 연구가 전무한 실정이다. 나노물질의 인체 및 환경의 안전에 대한 노출평가는 새로운 분석기법과 장비를 필요로 한다. 국제표준기구 및 OECD의 나노물질 독성 시험 및 노출평가방법 등을 활용하여 나노물질에 대한 과학적인 지식 개발을 가속화해야 할 것이다. 이러한 평가 지침은 불확실성을 감소시킬 뿐만 아니라 나노기술 적용에 따른 혜택과 잠재적인 불이익을 과학적으로 평가하는 데 도움이 될 것이다.

앞서 언급을 했지만 신기술 및 신물질의 활용에 있어 우리사회는 수많은 시행착오를 겪어왔다. 신물질의 유해한 인체 및 환경 영향을 뒤늦게 발견하고서 조치를 취하기에는 실로 그 피해가 엄청나게 크다는 것을 값비싼 대가를 치르고서야 비로소 알게 되었다. 나노물질에 있어 이제 그 시행착오를 다시금 반복해서는 안 되며, 나노기술의 개발과 더불어 그 안정성을 검증하는 전문연구적인 연구와 안정성 관리의 정책 대안 마련이 나노기술의 응용화 전 단계에서 반드시 이루어져야 할 것이다.