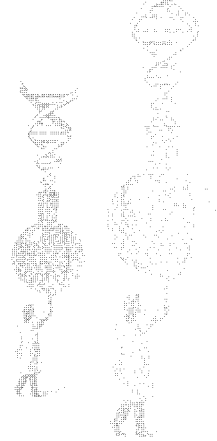


산업보건에서 나노입자 독성에 대해 우려하는 이유



산업안전보건연구원 화학물질안전보건센터 / 김 중 규

나노기술은 나노미터 규모에서 모양과 크기를 제어하여 나노구조, 나노장치, 나노시스템을 생산하거나 응용하는 기술이다.

나노기술의 응용은 전자, 정밀 공학, 생명 의학 및 나노입자(nanoparticles), 나노크리стал(nanocrystals), 나노점(nanodots), 나노튜브(nanotubes)등 광범위하다.

나노기술은 기계장치 및 부식 기술을 이용하여 나노 크기의 구조를 만드는 하향식 나노기술 방법과 원자 또는 분자를 이용하여 유기물질, 무기물질 구조를 합성하는 상향식 나노기술 방법으로 크게 나눌 수 있다.

나노입자는 우리 생활환경에도 많이 존재하여, 일반적으로 옥외에는 5,000~10,000 개/ml, 오염이 심한 경우 3,000,000 개/ml인 경우도 있다. 또한 진공청소 시 2×10^{12} 개/ml의 입자가 발생하며, 요리를 할 때도 많은 나노입자가 발생한다.

나노기술 발달과 더불어 사업장에서 나

노입자 사용이 증가하고 있으며, 이에 따른 근로자의 나노입자 노출가능성이 높아지고 있다.

산업보건 관점에서 나노기술 발전으로 인한 주요 문제점은 나노물질의 노출에 따른 잠재적인 독성이다. 특히 공기 중 나노입자, 나노섬유물질의 노출이 우려되고 있다.

나노입자의 흡입노출 시 기도, 폐가 주요 표적장기로, 폐에 미치는 악영향의 가능성이 주요 관심사이지만 전신독성의 가능성도 배제할 수는 없다. 대기오염이 심혈관계질환 사망률 및 유병률과 관련이 있다는 연구 결과가 있으며, 나노입자는 크기가 작아 폐의 섬모운동이 없는 부위까지 도달할 수 있어 나노입자 독성에 대한 우려가 높다.

역학조사 결과, 도시에서 미세입자에 의한 대기오염과 폐질환에 의한 사망자 발생과 상관관계를 보여 도시의 나노입자에 대한 관심이 증가되었다.

일반적인 도시대기 중 나노입자는 연소 시 발생하는 탄소입자이며 질산암모늄 염, 황, 염소, 지질 먼지 및 유기물이 포함되어 있다.

나노입자 구성 물질이 건강에 악 영향을 미칠 것이라는 많은 논란이 계속되고 있으며, 나노입자가 독성을 보일 것이라는 가설이 제안되기도 했다.

공기에 오염된 미립자는 심혈관계 영향과 관련이 있다는 가설로, 공기오염과 심혈관계질환 발생과의 상관관계를 폐가 미세입자에 노출된 후 혈액응고 및 혈액응고로 인한 혈액점성의 증가로 심혈관 혈액의 흐름을 감소시키고, 허혈(虛血)을 야기하여 심장기능이 제대로 발휘되지 못하게 한다고 설명하고 있다.

다른 가설은 호중성 백혈구 기형(neutrophil deformity)을 야기하고, 죽상경화판(atherosclerotic plaque)의 형성에도 영향을 준다는 것으로, 마이크로 입자에서는 발생하지 않지만, 금속 흡, PTFE가열 시 발행하는 나노 크기의 흡에 노출 시 발생하는 흡열(fume fever)과 같은 전신독성을 나타낼 것이라는 가설이다.

이와 같은 전신독성은 나노입자가 폐에서 type I 폐포-상피세포간의 틈을 통과하여 기저막으로 침투한 후 모세혈관으로 이동할 것으로 추정하고 있다.

나노입자의 주요 영향은 산화스트레스와 염증 발생으로 기도질환 악화, 심혈관계 영향과 염증반응이다.

공기 중 높은 농도의 나노입자에 노출되면 호흡기 상피세포에 침착되고, 생체 내에서 체류시간이 증가하여 폐의 청소기능이 상실되고, 염증반응이 발생한다. 또한 활성산소종(reactive oxygen species)이 생성되어 폐 세포 손상 및 섬유화와 돌연변이 유발 및 암이 발생하는 것으로 추정하고 있다.

나노입자 표면이 세포내 산화적 스트레스를 발생시키는 것으로 추정되며, 특히 나노입자와 폐포 세포(alveolar cells)가 접촉하게 되면, 폐 표면세포에 산화적 스트레스가 발생되며, 또한 나노입자를 포식(phagocytosis)할 때 활성산소종이 발생하여 산화적 스트레스를 증가시키는 것으로 추정하고 있다.

많은 수 농도, 넓은 입자표면이 염증 반응을 일으키는 정확한 원인은 밝혀지지 않았으나, 넓은 표면적이 염증을 일으킬 것으로 추정하고 있다.

철과 같은 전이 금속이 포함되고 표면적이 넓은 입자는 철의 산화환원순환으로 수산화 라디칼(hydroxyl radical)이 생성되어 강력한 산화스트레스를 발생시키고, 나노입자가 철 염과 결합하면 활성산소종이 발생하여 폐에 염증 발생가능성을 높인다.

나노입자에 노출된 상피 세포는 GSH(glutathione)이 고갈되고 자유라디칼을 더 많이 생성시켜 산화되고 대식세포가 포식작용하는 것을 억제한다.

나노입자와 세포의 만남에 따른 세포와 분자간의 관계를 밝히려는 많은 연구가 수행되고 있다. 일반적으로 나노입자는 세포에 산화적 스트레스를 주고, 지질과산화물의 생성 및 NF- κ B 등이 활성화되어 상당한 염증을 일으킬 것이다. 또한 나노입자-세포간의 상호작용은 세포내 칼슘 신호의 증가로 인한 활성산소 생성 촉진을 일으킬

것으로 추정하고 있다.

나노입자의 심혈관계에 미치는 영향에 대한 가설로는 나노입자가 직·간접적으로 심장을 손상시켜 심장리듬(heart rhythm)에 변화를 초래할 것이라는 가설이 있으며, 또한 폐에 존재하는 나노입자가 혈액응고, 지혈, 죽상판을 파열 촉진시킨다는 가설이 있다.

이와 같이 나노입자의 안전성에 대한 우려가 높으며, 이에 따른 추가적인 나노 독성 연구의 필요성이 증대되고 있는 시점이다. 