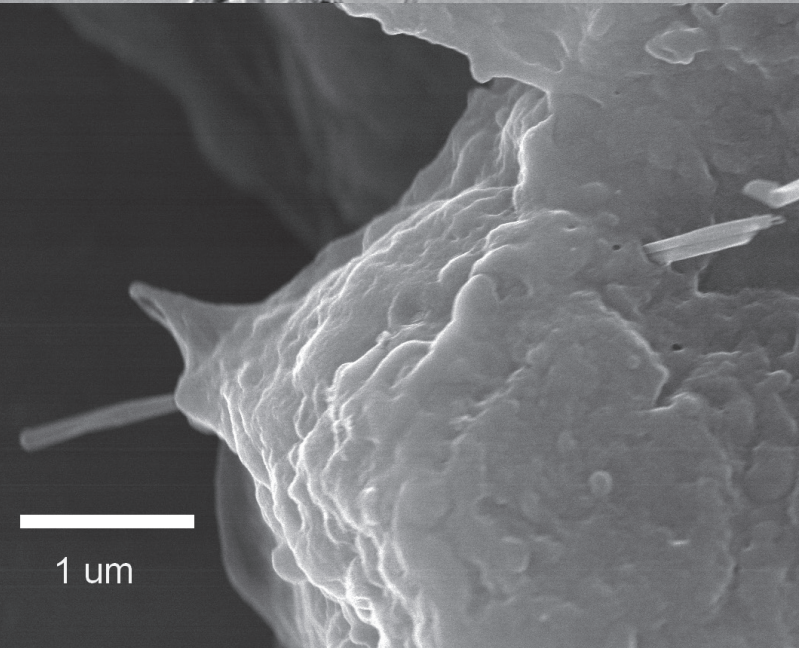
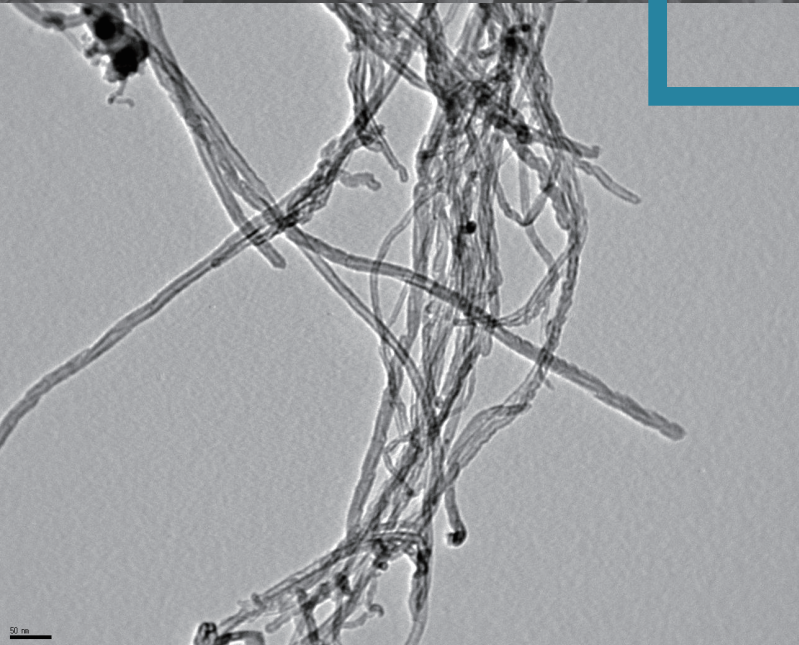


# 제조나노물질 취급 노동자 건강 보호 가이드라인





표지 상단 이미지는 MWCNT의 주사전자현미경 사진, 중앙 이미지는 MWCNT의 투사전자현미경 사진, 하단 이미지는 MWCNT가 폐포를 관통한 전계 방출형 주사전자현미경 사진입니다.

하단 이미지의 사용 권한에 대한 출처는 아래와 같으며, 사진 활용에 있어 감사를 표합니다.

Robert R Mercer Email author, Ann F Hubbs, James F Scabilloni, Liying Wang, Lori A Battelli, Diane Schwegler-Berry, Vincent Castranova and Dale W Porter. Distribution and persistence of pleural penetrations by multi-walled carbon nanotubes. *Particle and Fibre Toxicology* 2010 7:28. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-7-28> © Mercer et al; licensee BioMed Central Ltd. 2010

출처를 밝힌 사항 외 이미지 및 내용 등에 대한 사용 권한은 고용노동부 및 안전보건공단 산업안전보건연구원에 있으므로 사용 시 출처를 반드시 밝혀 주시기 바랍니다.

본 가이드라인은 법적인 제재나 구속력이 없는 참고 사항으로,  
제조나노물질을 제조하거나 취급하는 사업장의 노동자 및 사  
업주에게 건강 보호 정보 등을 전달하기 위해 제작되었습니다.

# 차례

1장. 가이드라인 개요 .....	7
2장. 유해성 .....	10
3장. 노출 평가 .....	12
4장. 노출 감소 전략 .....	19
5장. 건강 영향 파악 .....	31
6장. 유해성 정보 전달 .....	33
7장. 기타 위험성 .....	34
부록 1. 제조나노물질 노출 평가 절차 사례 .....	35
2. 제조나노물질 공학적 관리 장치 사례 .....	45
3. 제조나노물질 건강 영향 파악 사례 .....	62
4. 제조나노물질 물질안전보건자료 작성 방법 사례 .....	65
5. 제조나노물질 제조·취급 작업장 안전 체크리스트 .....	78
6. 용어 해설 .....	80
출처 .....	82



# 1장. 가이드라인 개요

제조나노물질은 나노물질의 독특한 특성을 이용하기 위해 여러 조성(예 : 형태, 크기, 표면물성, 화학)으로 만들어진, 나노기술의 결과물입니다. 또 계속해서 매우 다양한 화학적 성분, 크기, 모양으로 개발되고 있습니다. 현재 국내 법규에는 제조나노물질에 대한 정의가 없습니다. 다만 국제표준화기구<sup>International Standard Organization</sup>는 제조나노물질을 한 단면이 나노 크기(1~100nm)이거나 표면적이 60m<sup>2</sup>/g 이상인 의도적으로 제조된 물질로 정의하고, 단일 입자뿐 아니라 응집되거나 집합된 형태도 포함하고 있습니다.

## 제조나노물질 및 이를 포함한 제품(제재) 등에 대한 예시

제조나노물질로는 이산화티타늄<sup>TiO<sub>2</sub></sup> 등 금속산화물, 금나노 및 은나노 등 금속나노, 그래핀(흑연단층), 양자점, 탄소나노튜브<sup>Carbon nanotubes; CNTs</sup> 및 탄소나노섬유<sup>Carbon nanofibers; CNFs</sup> 등이 있습니다. 이들 제조나노물질이 쓰인 제품으로는 화장품 같은 생활화학제품, 페인트, 안료 복합재료 등이 있습니다. 또 제조나노물질은 최종 생활제품이 아닌 중간제재로도 쓰입니다.

제조나노물질이란 나노기술을 이용해 나노 크기로 만든 모든 화학물질<sup>●</sup>로, 기존 화학물질과 마찬가지로 규제를 받습니다. 제조나노물질은 인류가 사용하는 여러 제품의 소형화 및 품질 개선 등에 도움이 되지만, 인체에 유해한 영향을 끼칠 수도 있습니다. 따라서 사업주는 사전 예방적인 조치로 노동자가 가급적 제조나노물질에 노출되지 않도록 관리해야 합니다.

사람이 제조나노물질에 노출돼 건강에 이상이 생겼다는 사례는 아직까지 보고된 적이 없습니다

● 디젤 배출물, 용접 흄 등 비의도적으로 발생하는 나노입자는 제조나노물질에 포함되지 않습니다.

니다. 그러나 동물 및 세포 시험 결과, 나노 크기가 아닌 물질에 비해 제조나노물질에서 염증 반응이 더 높게 나타났습니다. 또 다른 동물시험에서는 탄소나노튜브처럼 가늘고 긴 섬유 형태의 제조나노물질이 폐 염증, 종피종을 일으켰습니다.

제조나노물질의 유해성에 영향을 미치는 요소는 화학성분, 입자 크기, 모양, 결정 구조, 표면 코팅, 표면 반응성 등 여러 가지입니다. 그래서 지금으로서는 제조나노물질에 노출되면 얼마나 위험한지 알아내기가 힘듭니다. 뒤늦게 유해성이 밝혀질 수도 있으므로, 피해를 입지 않기 위해서는 제조나노물질을 다룰 때 가능한 한 노출되지 않도록 노력해야 합니다. 즉 유해성이 있다고 생각하고 사전주의적 예방 원칙을 적용해 위험을 관리해야 합니다.

#### 사전주의적 예방 원칙(Precautionary Principle)

제조나노물질이 인간과 환경에 어떻게, 얼마나 위험한지는 확실히 밝혀지지 않았습니다. 이렇게 불확실한 위험에 접근하는 방법은 크게 두 가지입니다. 하나는 위험하다고 과학적으로 밝혀질 때까지 기다리는 것입니다. 다른 하나는 매우 해롭고 비가역적이라 여기고, 미리 규제하고 대응함으로써 피해를 막는 것입니다. 후자에 해당하는 '사전주의 원칙'은 국민 건강 및 환경에 위험을 끼칠 수 있다고 의심되나 과학적인 증거가 부족한 상황에서 유용한 위험 관리법입니다. 유럽연합 및 미국 등에서는 사전주의 원칙에 따라 제조나노물질의 유해성을 관리하고 있습니다.

현행 산업안전보건법에는 제조나노물질을 관리하는 직접적인 규정이 없습니다. 하지만 같은 법 제41조의 2(위험성 평가)에 따르면, 원재료 등을 취급하는 사업주는 업무에 기인하는 유해·위험 요인을 찾아내 위험성을 결정하고, 그 결과에 따라 조치해야 합니다. 따라서 사업주는 제조나노물질을 취급하다가 생길 수 있는 유해·위험 요인을 찾아내 위험성을 결정하고, 그 결과에 따라 조치를 취해야 합니다.

이 가이드라인은 노동자가 일하다가 제조나노물질에 노출돼 건강을 해치지 않으려면 사업주가 어떻게 해야 하는지 필요한 정보를 알리기 위해 만들어졌습니다. 이 가이드라인은 '2

장. 유해성’, ‘3장. 노출 평가’, …… ‘7장. 기타 위험성’으로 구성돼 있습니다.

제조나노물질의 유해성, 노출 정도, 건강 영향 등을 평가하기 위해서는 기존의 노동자 건강 보호 지식 말고도 더 알아야 할 것들이 있습니다. 이 가이드라인은 지금의 과학 수준에서 이용할 수 있는 지식을 모두 소개했지만, 앞으로 새로운 지식이 추가될 수 있습니다. 따라서 보다 자세하고 명확한 정보가 필요한 경우에는 전문가에게 의견을 구해야 합니다.

## 2장. 유해성

### 2.1. 동물시험 결과 및 유해성에 영향을 미치는 요인

동물 흡입 시험 결과, 독성이 없는 일반 화학물질도 나노입자로 만들어지면 독성이 생길 수 있다는 사실이 밝혀졌습니다. 예를 들어 불용성 나노 이산화티타늄은 일반 이산화티타늄에 비해 폐 염증 및 종양 등을 더 많이 일으킵니다. 또한 생활화학용품, 가전제품 등에 사용되는 은 나노는 혈류를 타고 주요 장기로 퍼져 나가 폐 기능 장애, 염증, 간 대사교란 등을 일으킵니다.

제조나노물질의 독성은 입자 표면의 면적과 특성에 따라 달라집니다. 표면의 경우, 이산화티타늄 중 예추석anatase은 금홍석rutile보다 표면이 더 활성적이어서 폐에 염증을 일으킬 가능성이 더 큼니다. 특성의 경우, 가장 중요한 것은 모양과 생체지속성입니다. 탄소나노튜브처럼 가로 대 세로의 비가 3:1 이상인 섬유 형태의 제조나노물질은 사람의 폐에서 제거(배출)되지 못해 폐암 등을 일으킬 수 있습니다. 동물시험에서도 어떤 단일벽탄소나노튜브SWCNT는 카본블랙이나 석영보다 세포 내 염증을 많이 일으켰으며, 어떤 다중벽탄소나노튜브MWCNT는 종양 등을 일으켰습니다.

#### 탄소나노튜브 등 '섬유'가 독성을 일으키는 원인

탄소나노튜브는 속이 빈 가늘고 긴 원통 모양으로, 가로가 세로보다 매우 깁니다. 이와 형태가 비슷한 석면은 체내 방어 작용으로 제거되지 않고 폐포에까지 들어가 폐암, 폐 섬유화, 중피종을 일으킵니다. 다중벽탄소나노튜브를 실험용 쥐(랫드)의 기관지에 투여하자, 60일 뒤에 실험용 쥐의 폐에 염증이 생겼으며 조직 섬유화와 함께 콜라겐을 다량 보유한 육아종이 생겼습니다. 실험 결과를 비교하기 위해 함께 실험한 백석면의 경우에도 염증과 섬유 반응이 나타났으나, 이들과 형태가 다른 카본블랙의 경우에는 염증 반응만 나타났습니다.

제조나노물질은 일반 화학물질과 달리, 화학성분이 같더라도 형태 및 물리화학적 특성에 따라 독성이 다를 수 있습니다. 제조나노물질이 건강에 미치는 영향을 이해하기 위해서는 화학성분, 순도, 입자 크기분포, 표면 기능화/처리 상태, 모양(구형, 섬유형태 등), 표면적, 분진 날림<sup>Dustiness</sup> 등과 같은 특성을 파악해야 합니다.

## 2.2. 노출 경로

흡입은 공기 중 나노입자가 인체로 들어오는 중요한 경로입니다. 코를 통해 체내에 들어간 나노입자는 폐포 등 모든 호흡기계로 퍼지며, 그 침적 범위가 호흡성 분진보다 넓습니다. 동물시험에서도 폐로 들어간 나노입자가 혈류를 타고 다른 장기로 이동하는 것으로 밝혀졌습니다. 다만 사람에게서 독성이 발견된 사례는 아직 없습니다.

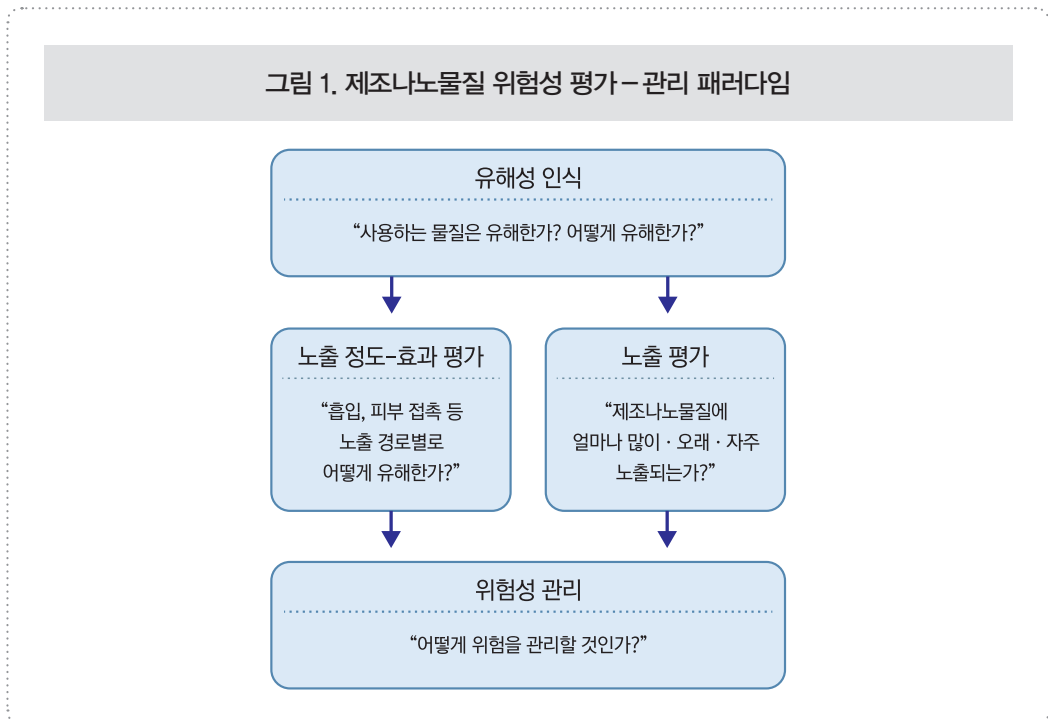
피부 노출은 나노입자가 직·간접적으로 피부에 닿았을 때 일어날 수 있습니다. 하지만 불용성 나노입자가 표피를 뚫고 들어온다는 증거는 거의 없습니다. 다만 나노물질(단일벽탄소나노튜브)을 실험용 쥐(누드마우스)의 피부에 바르는 동물시험 결과, 피부 자극성이 나타난 경우는 있습니다.

섭취로 인한 노출은 나노물질이 묻은 손을 무의식적으로 입에 갖다 대거나, 나노입자가 발생하는 장소에서 음식을 먹거나 마실 때 일어날 수 있습니다. 하지만 아직까지 섭취로 인한 건강 장애 사례가 보고된 적은 없습니다.

### 3장. 노출 평가

제조나노물질의 위험성<sup>risk</sup>은 물질 자체의 유해성과 공기 중으로 흩어진 양에 따라 달라집니다. 유해성이 있더라도 공기 중으로 흩어질 가능성이 낮으면 위험성도 낮습니다. 반대로 유해성이 낮더라도 대량으로 취급하고, 공기 중으로 많이 흩어진다면 노출량과 위험성도 따라서 높아집니다.

제조나노물질의 위험성을 예측하기 위해서는 첫째 제조나노물질의 유해성을 확인하고, 둘째 제조나노물질이 어디서 어떻게 노출되는지 확인해야 합니다. 노출 평가에서 중요한 문제는 ‘얼마나 많이·오래·자주 사람들에게 노출되는가?’입니다. 그리고 이를 정확하게 평가하기 위해서는 강도(농도) 및 기간(빈도)을 정량화, 즉 수치로 환산해야 합니다. 이 노출 평가를 바탕으로 위험성을 평가하고, 위험하다고 판단되면 노출 감소 전략을 세우고 시행해야 합니다.



### 3.1. 제조나노물질에 노출될 가능성이 있는 작업

사람이 제조나노물질에 노출될 가능성이 있는 작업 공정은 다음과 같습니다. 제조나노물질을 직접 다루거나 생산하지 않더라도 노출될 수 있는 작업도 있습니다.

- 제조나노물질을 생산하거나 제조나노물질로 제품을 만드는 공정. 특히 완전히 밀폐되지 않은 시설에서 제조나노물질 등을 만들거나 다루는 경우.
- 제조나노물질을 폴리머, 복합체 등 다른 물질과 합하는 공정.
- 제조나노물질 생산 및 취급 시설에서 배기설비나 진공청소기 등을 사용하는 경우.
- 제조나노물질과 관련된 흡후드 및 배기장치에 달린 필터 등을 교체하는 작업.
- 제조나노물질을 폐기 처리하는 작업.
- 예기치 못한 사고로 제조나노물질이 누출된 경우.

제조나노물질 노출을 평가할 때 노출 가능성이 높아 특별히 관심을 가져야 하는 작업은 다음과 같습니다.

- 제조나노물질을 계량, 혼합, 체질<sup>sieving</sup>하는 작업.
- 제조나노물질이 섞인 것을 두드려 청소하는 작업.
- 용해 작업.
- 스프레이 등을 활용한 건조 작업.
- 제조나노물질 제조 설비나 장비 등을 교체하거나 유지 보수하는 작업.
- 제조나노물질 함유 제품(복합체 등)을 가공하는 작업. (예 : 절삭, 연마, 그라인딩)
- 제조나노물질 액상 제품으로 스프레이를 하는 작업.
- 제조나노물질 액상 제품을 고온에서 다루는 작업.

## 3.2. 공기 중 제조나노물질 노출 평가 절차

일반적인 화학물질의 경우, 표준화된 노출 평가 방법이 많습니다. 그러나 공기 중 제조나노물질 노출을 평가하는 방법은 아직 없습니다. 여러 전문가 및 국제기구도 제조나노물질의 질량농도 외에도 입자 표면적 및 계수 농도가 유해성에 영향을 미친다고 판단하고, 공기 중 제조나노물질 노출을 평가할 때 여러 노출 지표를 측정할 수 있는 장비를 쓰라고 권고합니다. 이를 근거로 이 가이드라인에서 제안하는 공기 중 제조나노물질 노출 평가 절차의 기본 원칙은 다음과 같습니다. 구체적인 노출 평가 절차는 '부록 1. 제조나노물질 노출 평가 절차 사례'에 소개돼 있습니다.

### 1단계 : 기본 자료 조사

제조나노물질에 대한 아래의 정보를 알아내고, 제조 공정 및 주요 노출 가능 공정을 파악한 다음 노출 평가가 필요한지 결정합니다.

- 제조나노물질에 대한 정보 확보 : 제조나노물질의 종류, 취급하는 양, 물리화학적 특성을 알아냅니다.
- 제조 공정 등 파악 : 원료, 공정, 제품 및 제조나노물질의 상태 변화 등을 알아냅니다.
- 노출될 가능성이 높은 공정을 알아냅니다.

### 2단계 : 제조나노물질 노출 평가

처음에는 제조나노물질의 특성을 정확하게 알아내는 데 초점을 맞춰 노출 평가를 하고, 그 다음부터는 주기적으로 노출 평가를 합니다. 만약 제조나노물질의 특성이 밝혀져 있고, 사용 방법과 공정 등이 똑같다면 바로 '2b단계 : 주기적으로 관리하기 위한 노출 평가'로 넘어가 작업 환경을 관리합니다.

## 2a단계 : 제조나노물질의 특성을 알아내기 위한 노출 평가

이 단계의 목적은 발생원에서 공기 중으로 퍼지는 제조나노물질의 특성(크기분포, 입자 형태, 성분, 농도 등)을 알아내고, 노출 농도를 정성·정량 평가하는 것입니다. 공기 중으로 퍼지는 제조나노물질의 특성을 자세히 파악하기 위해서는 여러 가지 장비를 써야 합니다. 나노입자 성분은 전자현미경 또는 유도결합 플라즈마 등으로 분석합니다. 이때 냉난방 및 환기 장치로 흘러들어 오는 외부 공기, 지게차나 연소기관에서 생기는 비의도적 나노입자(배경농도)와 제조나노물질에서 발생하는 나노입자를 구별해야 합니다. 정량 평가는 입자 크기별로 합니다.

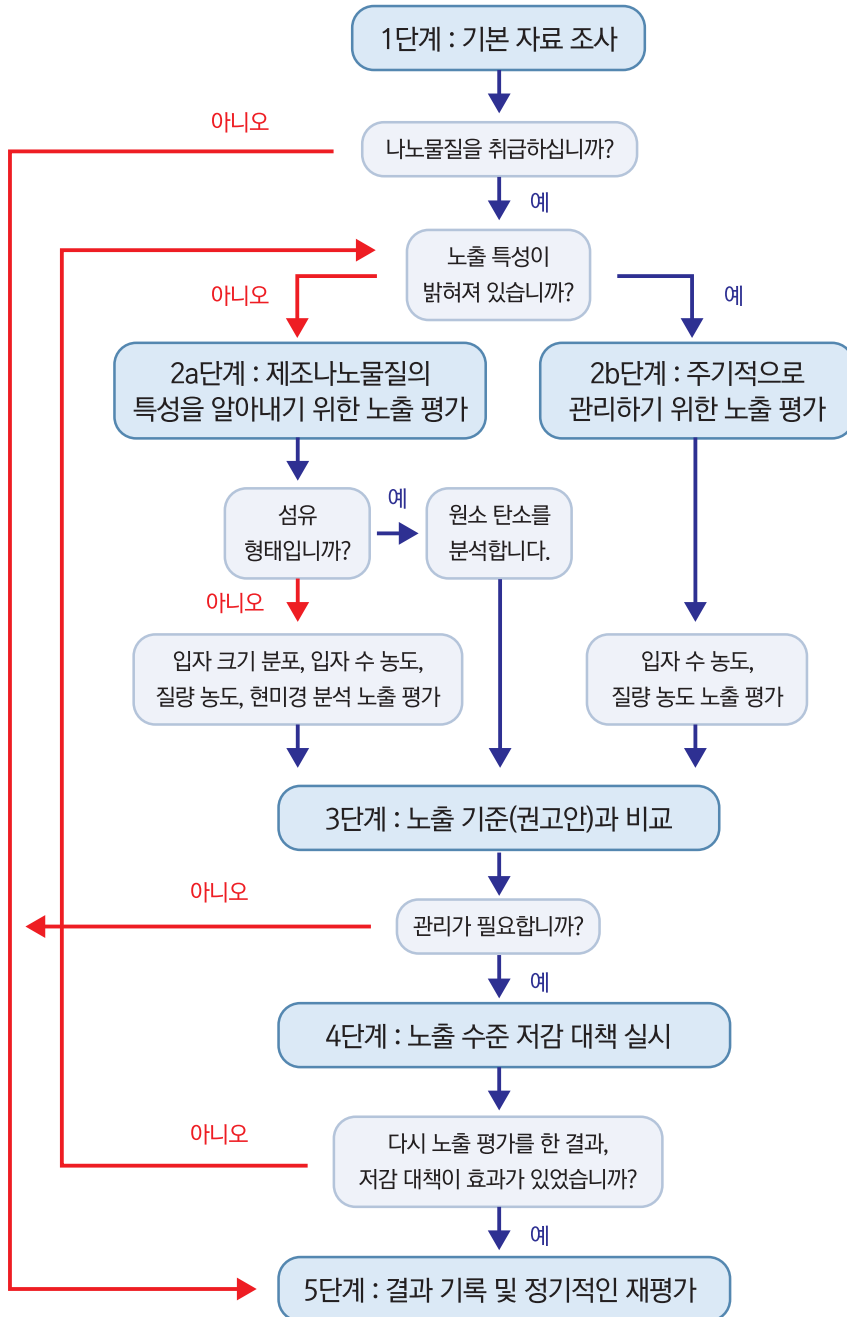
## 2b단계 : 주기적으로 관리하기 위한 노출 평가

제조나노물질의 특성이 밝혀져 있다면, 작업 환경을 관리하기 위한 간단한 노출 평가를 실시합니다. '부록 1. 제조나노물질 노출 평가 절차 사례'를 참조해, 총 입자상물질에 대한 변화를 실시간으로 측정하고 나노입자 농도 변화를 확인합니다. 제조 공정 등이 달라졌다면 '2a단계 : 제조나노물질의 특성을 알아내기 위한 노출 평가'로 돌아갑니다.

## 3단계 : 제조나노물질 노출 기준(권고안)과 비교

제조나노물질 노출에 대한 정부 기준이 아직 없는 상황입니다. 따라서 노출 기준은 여러 기관의 권고안과 비교해 판단합니다. 탄소나노튜브(탄소나노섬유)  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  또는  $0.01\text{fiber}/\text{cm}^3$ , 금속산화물  $20,000\text{particles}/\text{cm}^3$ (밀도가  $6,000\text{kg}/\text{m}^3$ 보다 클 때) 또는  $40,000\text{particles}/\text{cm}^3$ (밀도가  $6,000\text{kg}/\text{m}^3$ 보다 작을 때), 이산화티타늄  $2.4\text{mg}/\text{m}^3$ (미세입자의 경우) 또는  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ (나노입자의 경우), 은나노  $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ , 비정형 실리카  $4\text{mg}/\text{m}^3$ 로 권고하고 있으며 자세한 사항은 '표 부록 1-1. 제조나노물질 노출 평가에서 활용 가능한 노출 기준 가이드라인'에 소개돼 있습니다.

그림 2. 제조나노물질 노출 평가 절차 다이어그램



#### 4단계 : 노출 수준 저감 대책 실시

필요한 경우, 노출 수준을 줄일 수 있는 대책을 세워 실행해야 합니다. 그런 다음 다시 노출 평가를 해서 효과가 있는지 확인합니다.

#### 5단계 : 결과 기록 및 정기적인 재평가

노출 저감 대책에 따라 노출 수준을 줄였다면 그 결과와 대책 등을 기록하고, 주기적으로 다시 평가합니다. 작업 공정, 취급 방법 등을 바꿔 노출 수준이 달라졌으면 '2단계 : 제조나노물질 노출 평가'로 돌아갑니다.

### 3.3. 제조나노물질 위험성 평가를 위한 컨트롤 밴딩<sup>Control banding</sup> 도구

제조나노물질 노출 기준이 없으면 노출 평가 결과를 해석하기가 어렵습니다. 노출 기준이 없는 경우에는 일반적인 노출 평가가 아닌 다른 방식으로 위험성 평가를 해야 합니다. 이런 경우, 유럽 등에서는 제조나노물질 컨트롤 밴딩<sup>\*</sup> 도구를 쓰고 있습니다. 컨트롤 밴딩은 물질의 유해성과 노출량을 등급으로 나눠 위험성을 결정합니다.

컨트롤 밴딩 도구마다 유해성 분류 및 노출량 분류에서 사용하는 변수가 조금씩 다르므로, 위험성 평가 목적에 따라 고르도록 합니다. 사업장에서 컨트롤 밴딩 도구를 이용하면 제조나노물질에 대해 어떤 조치를 취해야 하는지 결정할 수 있습니다. 또 제조나노물질 노출 저감 대책을 시행한 다음 위험이 줄어들었는지도 평가할 수 있습니다. 결과적으로 컨트롤 밴

---

● 현재 제안된 나노물질 컨트롤 밴딩 도구로는 Paik 등(2008)이 실험실 위험성 우선순위 선정 도구로 제안한 「CB Nano tool」, 스위스의「Precautionary Matrix」, 프랑스 ANSES의「나노 컨트롤 밴딩」(Riediker 등, 2012), 「Stoffenmanager Nano」(van Duuren-Stuurman 등, 2012), 「NanoSafer」, 국제표준화기구 컨트롤 밴딩(ISO, 2014), Griselet 등(2015)이 있습니다.

딩 도구는 위험성 평가를 하는 데 있어 유용한 의사결정 수단입니다.

### 컨트롤 밴딩 도구를 이용한 위험성 평가 사례

다음은 컨트롤 밴딩 도구 'Stoffenmanager Nano'를 이용한 위험성 평가 사례입니다.

유해성은 낮은 등급 A부터 B, C, D, E로 분류되고, 노출은 낮은 등급 1부터 2, 3, 4로 분류되며, 이 두 등급이 교차하는 지점이 최종 위험도입니다. 단 위험도는 I 단계가 가장 위험한 것입니다.

다음은 제조나노물질 취급 작업에 대한 위험성 평가 결과입니다.

	유해성 등급 A	유해성 등급 B	유해성 등급 C	유해성 등급 D	유해성 등급 E
노출 등급 1	위험도 III	위험도 III	위험도 III	위험도 II	위험도 I 예: 나노 니켈 포장공정 작업
노출 등급 2	위험도 III	위험도 III	위험도 II	위험도 II	위험도 I 예: 다중벽탄소나노튜브 합성공정 작업
노출 등급 3	위험도 III	위험도 II	위험도 II	위험도 I 예: 인듐주석산화물 합성공정 작업	위험도 I
노출 등급 4	위험도 II	위험도 I	위험도 I	위험도 I	위험도 I

첫째, 나노 니켈 포장공정 작업은 노출 등급이 1로 낮으나 유해성 등급이 E로 높기 때문에 위험도가 I 단계로 높게 평가됐습니다.

둘째, 다중벽탄소나노튜브 합성공정 작업은 노출 등급이 2로 비교적 낮으나 유해성 등급이 E로 높기 때문에 위험도가 I 단계로 높게 평가됐습니다.

셋째, 인듐주석산화물 합성공정 작업은 노출 등급 3, 유해성 등급 D로 둘 다 비교적 높아 위험도가 I 단계로 높게 평가됐습니다.

## 4장. 노출 감소 전략

일부 제조나노물질이 유해하다고 밝혀지고 있는 것으로 볼 때, 제조나노물질의 잠재적 유해성은 충분히 높을 수 있습니다. 이처럼 잠재적 유해성이 있는 경우에는 노출되지 않도록 최대한 노력해 위험을 줄여야 합니다. 제조나노물질 노출 저감 대책은 유해 요인 제거, 대체, 공학적 설비, 관리 대책, 개인보호구 순으로 세우며, 맨 처음에 공정을 설계할 단계부터 염두에 두는 것이 좋습니다.

### 4.1. 초기 작업장 설계를 통한 유해 요인 제거

플랜트 위치, 설비, 공정, 장비, 작업 장소 등은 사람이 제조나노물질에 노출될 위험을 없애거나 최소한으로 줄이는 방향으로 설계합니다. 물품 조달, 생산, 포장, 창고 보관, 운송 등은 분진이나 에어로졸을 발생시키지 않는 방향으로 설계합니다.

### 4.2. 원료, 제품, 공정 및 장비 대체(치환)

해로운 제조나노물질을 쓸 경우 원료, 제품, 공정, 장비 등을 다른 것으로 바꿀 수 없는지 확인합니다.

- 독성이 약한 원료 또는 제품으로 바꿉니다.
- 분말, 에어로졸 형태 대신 용액 내 분산, 페이스트, 과립, 복합물 등으로 제조나노물질의 물리적인 형태를 바꿉니다.
- 건식 공정을 습식 공정으로 바꿉니다.

- 독성물질의 사용량을 줄일 수 있는 설비로 바꿉니다.
- 코팅 처리하는 등 입자를 변형시켜 안정성을 높입니다.
- 제조나노물질을 쓰거나 만들어야 하는지, 그 필요성을 근본적으로 다시 검토합니다.

### 4.3. 공학적 관리

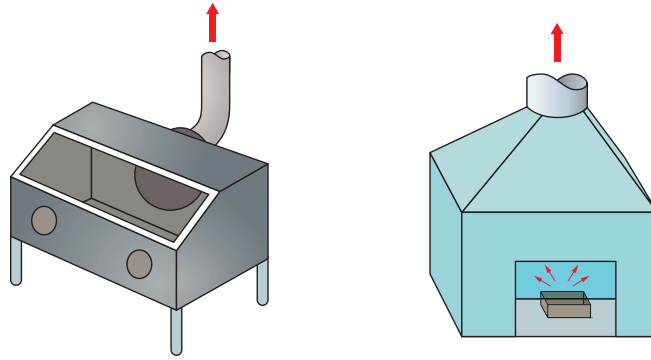
- 잠금장치를 달아 사고나 불필요한 노출을 막습니다.
- 분진 또는 에어로졸이 생기지 않도록 합니다.
- 분진 또는 에어로졸을 발생원에서 밀폐시킵니다.
- 배출된 제조나노입자는 필터를 통과시켜 처리합니다.
- 작업 공간을 구획 짓고, 내부에 음압을 유지해 제조나노물질이 밖으로 퍼지지 않도록 막습니다.
- 청소는 되도록 습윤 상태에서 하고, 그렇게 하기 힘든 경우에는 진공청소기를 씁니다. 압축공기를 쏘서 분진을 날리는 방식은 피합니다.
- 갑자기 불이 날 수 있는 제조나노물질을 다루는 곳에는 이산화탄소, 질소 등 불활성가스로 공기 농도를 조절하고, 방폭 설비를 갖춥니다.

#### 가. 공학적 설비 개선 등

공학적 설비 개선이란 부스, 국소배기장치, 전체 환기 시설을 설치해 제조나노물질이 공기 중으로 흩어지지 않도록 막는 것을 말합니다.

## 포위, 격리

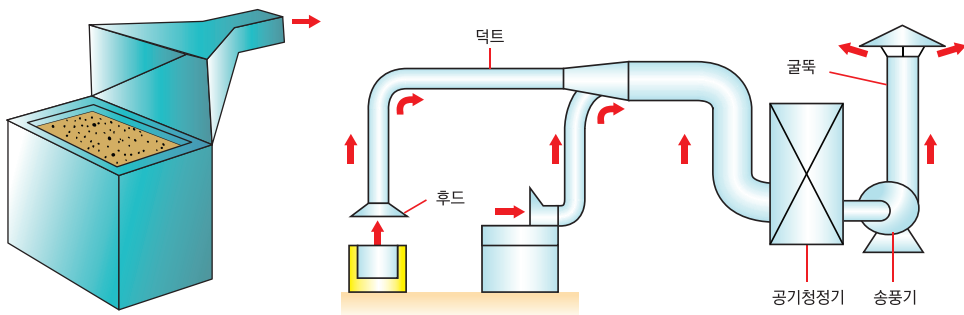
그림 3. 포위식 설비



개방형 설비보다 효율적으로 입자가 공기 중으로 흩어지는 것을 막습니다. 오염 장소의 포위 및 격리, 로봇 등을 활용한 무인 시설 등이 이에 해당합니다. 생물학적 감염물질을 취급할 때 쓰이는 생물안전캐비닛(Ⅲ)을 활용할 수도 있습니다.(‘부록 2. 제조나노물질 공학적 관리 장치 사례’ 참조.)

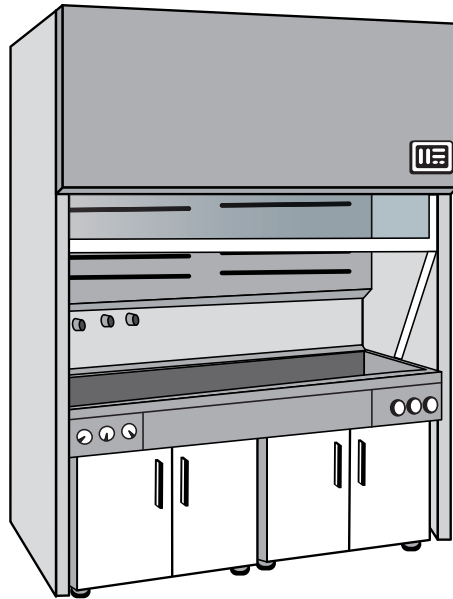
## 국소배기장치

그림 4. 국소배기장치 후드 및 구성요소



분진이나 에어로졸의 발생원을 포위, 격리하기 힘들다면 차선책으로, 오염물을 포집하는 형태인 국소배기장치를 씁니다. 국소배기장치는 오염물이 작업장 전체로 퍼지지 않도록 막아 줍니다. 주로 혼합, 회수, 백포장, 중량측정 등과 같은 공정에 쓰입니다.

그림 5. 흡후드



흡후드는 대표적인 국소배기장치 설비로, 탄소나노튜브, 양자점, 플로렌 등 다양한 제조나 노물질을 취급하는 데서 활용할 수 있습니다. 흡후드에는 해파필터, 세정식 정화장치 등 공기정화(여과)장치를 반드시 달아야 합니다.

국소배기장치는 설계, 유지 보수, 효율성, 작업 방법 등에 따라 성능이 달라집니다. 따라서 정기적으로 후드 및 공기정화장치 등을 점검·기록하고, 그 결과를 바탕으로 국소배기장치를 유지 보수해야 합니다.

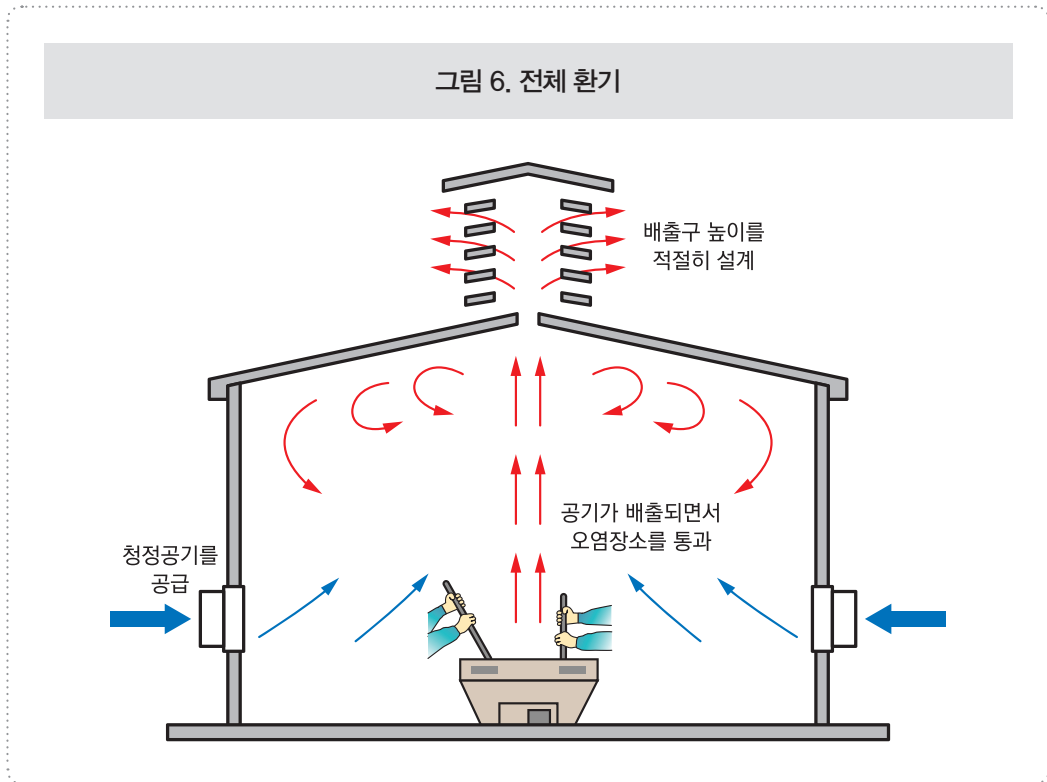
후드면의 기류 속도는 공정, 제조나노물질의 크기 범위를 고려해 결정합니다. 이때 일차 나노입자부터 크고 무거운 나노응집체 등까지 모두 포집 대상임을 잊지 않도록 합니다. 후드면의 기류 속도를 너무 높이면 후드 입구에 난류가 생겨, 입자가 포집되지 않고 공기 중으로 다시 빠져나갈 수 있습니다. 따라서 정기 점검 때 풍속계, 스모크 튜브<sup>smoke tube</sup> 등으로 후드/슬롯의 기류 속도, 덕트 내 기류 이동 속도 등을 측정해야 합니다.

국소배기장치를 설치, 유지 보수할 때는 다음 사항에 주의합니다.

- 국소배기장치는 벽, 문, 기타 장벽 등과 떨어진 곳에 설치해 가능한 한 외부 기류 등으로부터 영향을 받지 않도록 합니다.
- 제조나노물질을 만들거나 취급하는 곳은 공기가 바깥으로 빠져나가지 않도록 음압 상태로 만듭니다.
- 후드 성능을 확인할 때는 후드면 가까이에서 정압을 측정합니다.
- 내부 공기가 순조롭게 빠져나갈 수 있도록 공기를 충분히 공급합니다.
- 필터 등을 거치지 않고 밖으로 직접 공기를 내보내는 설비는 창문, 문 등 공기가 들어오는 곳으로부터 멀리 떨어진 데 설치합니다. 아울러 바람 등 환경 조건을 고려합니다.

청소는 고효율 필터가 달린 건·습식용 진공청소기로 합니다. 일반 필터가 달린 진공청소기는 빨아들인 제조나노물질을 배기구를 통해 다시 실내로 내보낼 우려가 있습니다.

## 전체 환기



전체 환기는 작업장 내 오염물을 희석시키는 방식으로, 어디까지나 공학적 설비를 뒷받침하는 보완 수단입니다. 특히 제조나노입자가 많이 노출되는 개방형 작업장은 국소배기장치만으로 충분하지 않으며, 전체 환기로 전체 노출 수준을 줄이는 것이 효과적입니다.

## 여과

여과장치는 국소배기장치 등의 후드로 잡아 모은 나노입자를 밖으로 내보내기 전에 거르는 설비입니다. 제조나노물질 입자를 거르는 장치로는 주로 해파필터가 쓰입니다. 해파필터는 그 구조가 촘촘하게 얽혀 있어 미세한 입자를 제거할 수 있기 때문에 국소배기장치 외에도 가습기나 공기청정기, 청소기 등 다양한 곳에 쓰입니다. 다만 공기 중 입자 농도가 높으면 교체 주기가 짧아져 유지비가 많이 드는 단점이 있습니다. 그래서 일부에서는 세정식 또는 전기식 공기정화장치가 미세물질을 거르는 데 효과적일 것이라고 기대하고 있습니다.

그림 7. 해파필터

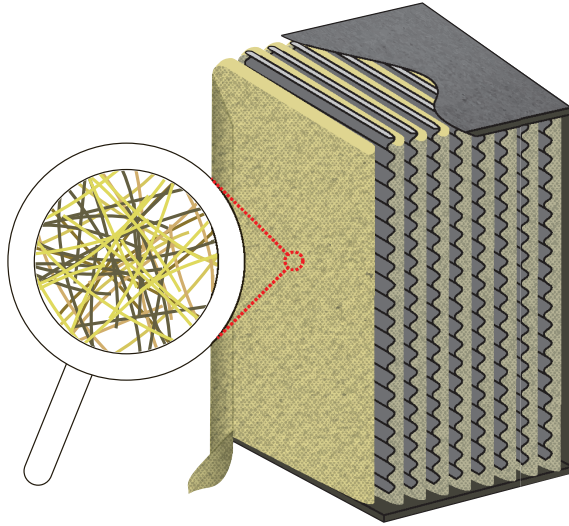


그림 8. 세정식 정화장치

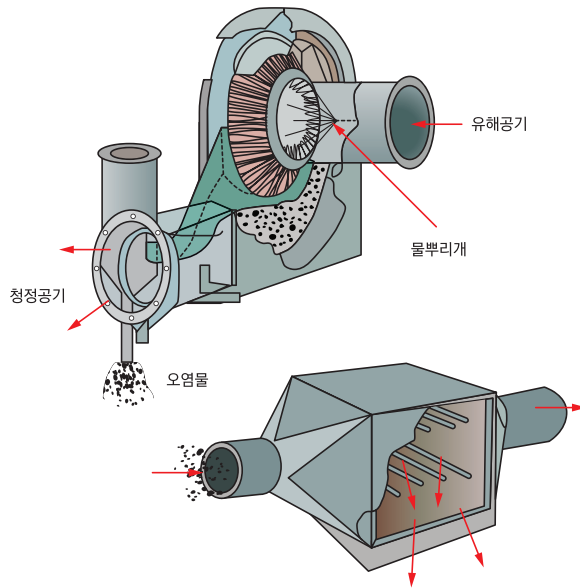
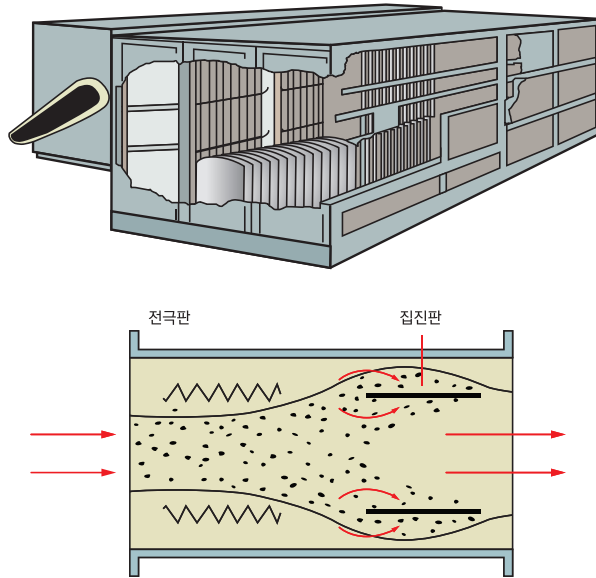


그림 9. 전기식 정화장치



#### 4.4. 관리 대책

비용이나 기술 부족 등과 같은 이유 때문에 공학적으로 설비를 개선하기가 어렵다면 행정적인 방법으로 보완해야 합니다. 관리 대책을 세울 때는 제조나노물질의 종류와 작업 특성을 고려하며, 전문가에게 작업 환경에 대한 자문을 구해야 합니다.

제조나노물질이 공기 중으로 날아가 흩어지는 경우, 다음과 같이 작업 방법을 개선하면 노출을 줄일 수 있습니다.

- 제조나노물질을 습윤 상태로 만들거나 슬러리 형태로 사용하고, 공기 중 분진이나 에어로졸을 만들 수 있는 고에너지(고진동 등) 형태의 공정은 피합니다.

- 제조나노물질이 들어 있는 탱크 같은 용기는 쓰지 않을 때는 밀폐시킵니다. 또 용기의 마개를 여는 순간에 제조나노입자가 공기 중으로 흩어지지 않도록 미리 조치합니다.
- 분말 등을 계량할 때는 바닥에 흡착재료를 깔아 제조나노입자가 이차적으로 퍼지지 않도록 합니다.
- 사방이 뚫린 작업대의 경우, 밖에서 공기가 불어와 제조나노물질을 사방으로 퍼뜨릴 수 있습니다. 따라서 작업 방법을 설계할 때 이 점에 유의합니다.
- 노출 시간과 노출 작업자의 수를 최소화하고, 허가받지 않은 작업자는 해당 장소에 가까이 가지 못하도록 합니다.
- 작업장 바닥 등에 쌓인 물질을 정기적으로 치웁니다.
- 노동자에게 유해성 및 작업 방법에 대한 교육을 실시합니다.

또 제조나노물질에 대한 안전 보건 정보를 수시로 조사해 새롭게 밝혀진 사실이 없는지 확인하고, 제일 처음 세운 제조나노물질 노출 저감 대책을 꾸준히 개정합니다.

#### 4.5. 개인보호구 및 개인위생 관리

노동자의 건강을 위해, 사람이 가능한 한 제조나노물질에 노출되지 않도록 노출 감소 전략을 실시합니다. 이와 함께 보완책으로 개인보호구를 쓰게 합니다. 개인보호구는 대상 물질 및 환경요인 등에 따라 가장 적합한 종류를 고릅니다.

- **호흡용 보호구** : 어쩔 수 없이 제조나노물질을 내보내야 한다면 노출 감소 전략을 실시하면서, 동시에 작업자는 방진용 필터(특급)가 달린 호흡용 마스크<sup>●</sup>를 써야 합니다. 작업 및 취급 물질의 특성에 따라 필터 교체형 혹은 일회용, 전면형 혹은 반면형 마스크를 고릅니다. 필터 교체형의 경우, 필터 교체 주기를 넘기지 않도록 주의해야 합니다. 숨이 잘

● 고용노동부고시 제2014-46호 「보호구 안전인증 고시」에 의거, 한국산업안전보건공단에서 인증한 특급 방진마스크.

쉬어지지 않거나 필터가 막힌 것 같을 때는 즉시 필터를 바꿉니다. 또한 일반화학물질을 다룰 때보다 더 자주 필터를 바꿔 줍니다. 호흡용 보호구는 얼굴에 딱 달라붙지 않으면 벌어진 작은 틈으로 나노입자가 들어오므로 헐거워진 느낌이 들면 즉시 바꿉니다. 나노입자는 보호구 표면에 쉽게 달라붙습니다. 나노입자가 공기 중에 많이 퍼져 있거나 한층 더 노출되기 쉬운 작업일 때는 필터 교체형 마스크보다는 송기마스크, 전동식호흡보호구를 씩습니다.

- **보호장갑** : 제조나노물질(액체, 고체, 분진 형태)이 피부에 직접 닿는 경우에는 보호장갑을 두 겹으로 씩니다. 예를 들어 라텍스와 화학용 장갑을 각각 한 겹씩 포개서 끼거나, 니트릴 고무 재질 장갑을 두 겹으로 씩니다.(장갑을 두 겹으로 끼면 벗을 때도 피부를 좀 더 보호할 수 있습니다.) 장갑을 낄 때는 보호의 위로 덮이게 합니다. 장갑을 끼고 벗을 때 제조나노물질이 피부에 묻지 않도록 주의해야 합니다. 장갑 재질은 화학물질의 특성에 따라 고르고, 장갑에 구멍이 나지 않도록 주의해야 합니다.
- **보호의** : 멤브레인 재질(부직포 또는 양모)로 된 긴소매 보호의를 입습니다. 직물 재질은 직물 틈새로 제조나노물질이 들어올 수 있으므로 피하는 것이 좋습니다.
- **눈 보호** : 전면형 마스크 형태가 좋으나, 구하기 힘들 때는 방진 보안경을 씩니다.

제조나노물질을 다루는 작업 현장에 공학적 설비가 있다고 해도, 설비 등을 청소, 유지 보수하는 사람이 제조나노물질에 노출될 가능성은 여전히 높습니다. 따라서 다음 내용대로 개인 위생을 지켜야 합니다.

- 제조나노물질을 다루는 작업장과 탈의실 등 외부 공간 사이에 얼굴과 몸을 씻는 세면대와 샤워실을 마련하고, 작업자가 작업장을 떠나기 전에 제조나노물질을 씻어 낼 수 있도록 합니다.
- 작업장에서는 흡연, 음주, 식사를 금지합니다.
- 벌어진 상처는 작업 전에 미리 잘 감싸서, 작업 중에 제조나노물질이 피부 속으로 들어가는 일이 없도록 합니다.
- 작업복은 평상복과 따로 뺍니다. 고독성물질을 다룰 때는 모든 작업자에게 작업복 및 평

상복 보관함을 각각 지급해, 오염물이 외부로 퍼지는 것을 막습니다.

- 작업복은 집에서 빨지 못하게 하고, 나노물질이 신발에 묻어 밖으로 퍼지지 않도록 출입구에 점착성 매트를 깔아 놓습니다.
- 작업복에 붙어 있는 제조나노물질이 날릴 우려가 있으므로 탈의실에서는 선풍기를 사용하지 않도록 합니다.
- 개인보호장비에 대한 폐기, 교체 주기, 세정 절차를 마련합니다.

#### 4.6. 제조나노물질 취급 및 저장 방법

공기 중에서 쉽게 폭발할 수 있는 인화성 나노입자는 폭발 방호 구역(또는 장소)에서 다룹니다. 반응성 또는 촉매성 나노입자는 친화성이 없는 물질과 함께 다룹니다.

제조나노물질을 저장할 때는 기본적으로 일반 화학물질에 대한 규정을 준수합니다. 분말 형태로 저장하는 곳에는 분진 흡입 가능성을 알립니다. 분진폭발물질은 폭발 위험을 알리고 반드시 접화원을 없애야 합니다.

- 분말 형태의 제조나노물질은 아르곤 또는 질소가 충전돼 있거나 밀봉 진공 포장돼 있는 정전기 방지용 백에 저장합니다.
- 금속 나노분말은 정전기 방지용 백에 넣은 다음, 공기가 없는 금속 재질의 용기에 넣은 뒤 입구를 용접해 외부 공기가 들어가지 않도록 합니다.

#### 4.7. 정기적인 작업장 청소

제조나노물질에 오염된 현장과 설비 표면을 청소할 때는 성분이 유사한 일반 화학물질 분진 처리 방식을 참고하고, 노출 경로를 고려합니다.

- 바닥에 쌓인 제조나노물질이 공기 중으로 다시 퍼지거나 분진 폭발하는 일이 없도록 작업장, 복도, 벽 등을 정기적으로 청소하고, 청소 도구는 반드시 깨끗하게 씻어서 보관합니다.
- 제조나노물질이 퍼지지 않도록 가급적 습윤 방식으로 청소합니다. 그렇게 하기 어려운 경우에는 진공 청소, 그것도 어려운 경우에는 와이퍼로 청소합니다.
- 진공청소기는 습윤 와이퍼와 해파필터가 함께 달린 것이 좋습니다. 아울러 비누와 물 또는 오일, 정전 마이크로섬유 천을 이용해 가급적 제조나노물질이 퍼지지 않도록 합니다. 해파필터는 주기적으로 바꾸고, 새어 나오는 부분이 없는지 확인합니다.
- 와이퍼는 가급적 용액이 있는 상태에서 사용하며, 사용한 와이퍼를 말려서 다시 쓰지 않도록 합니다.
- 건식 또는 압축공기를 쏘는 청소 방식은 되도록 피합니다.
- 폭발 위험이 있는 곳에서는 전기식 진공청소기 플러그를 폭발 위험 장소 밖에 있는 콘센트에 꽂도록 합니다.
- 기타 청소 방법으로는 용매로 씻어 내기, 불태우기, 산 용해, 플라즈마 활용 등이 있습니다.

#### 4.8. 폐기 시 주의사항

제조나노물질은 폐기되는 과정에서 노동자 및 환경에 노출될 가능성이 크므로, 그 특성을 고려해 처리해야 합니다. 먼저 제조나노 폐기물에 대한 특정 폐기 방법이 있는지 확인합니다. 폐기물관리법에 따른 지정폐기물일 경우에는 관련 규정에 따라 지정 업체 또는 자체 시설을 통해 처리하되, 나노 폐기물의 조성, 물리화학적 특성, 생물학적 특성을 감안해 친환경적인 방법을 택하도록 합니다.

- 나노입자가 섞인 분말 형태의 폐기물은 백에 밀봉한 다음 안정화시켜 폐기합니다.
- 탄소나노튜브가 섞인 폐기물은 높은 온도에서 불태웁니다.
- 다른 폐기물과 함께 슬러지 형태로 바뀌 폐기합니다.
- 폐기 용기에는 제조나노물질에 대한 설명을 규정에 맞게 써 붙입니다.

## 5장. 건강 영향 파악

작업장에서 화학물질을 쓰려면 노출에 따른 건강 영향을 파악해야 합니다. 제조나노물질 고유의 물리화학적 특성, 동물시험으로 밝혀진 일부 제조나노물질의 유해성 등을 생각하면, 건강 영향 평가는 제조나노물질에 노출되는 작업자에게 반드시 필요한 단계입니다. 사업장에서 건강 영향을 파악한 결과는 나노 산업계의 건강 감시 체계를 만들어 나가는 데도 큰 도움이 됩니다.

제조나노물질 노출 작업자에게 어떤 의료 검사를 해야 하는지는 아직 확실히 정해져 있지 않습니다. 참고로 미국 국립산업안전보건연구원<sup>National Institute of Occupational Safety & Health; NIOSH</sup>에서는 나노 산업계 종사자를 위한 의료 검사(직업건강감시 프로그램의 구성 요소)에 관한 임시 지침을 공개했습니다.(부록 3. '제조나노물질 건강 영향 파악 사례' 참고)

다음은 제조나노물질에 노출될 가능성이 있는 노동자의 건강 영향을 파악하기 위한 절차입니다.

첫째, '3장. 노출 평가'에서 조사한 제조나노물질 입자의 성분, 크기, 형태, 응집상태, 결정 여부(액상분산, 에어로졸 등) 등 관련 정보를 확인합니다. 이때 GHS<sup>Global Harmonized System of classification and labelling of chemicals</sup>에 따라 유해 성분이 있는지 확인합니다. 그런 다음 각 유해성에 따라 건강 영향을 파악해야 합니다. 먼저 아래와 같이 유해하다고 알려진 제조나노물질부터 파악합니다.

- 탄소나노튜브, 나노 크기의 이산화티타늄, 은나노 물질이 있는지 확인합니다.
- 탄소나노튜브 또는 석면처럼 가로 대 세로의 비가 3:1 이상인 물질이 있는지 확인합니다.

- 폐에서 오랫동안 배출되지 않는 장기체류물질, 즉 폐에서 용해되지 않거나 20 $\mu$ m 미만의 조각으로 분해되는 물질이 있는지 확인합니다.
- 만성적으로 염증세포를 키우는 물질이 있는지 확인합니다.
- 이산화티타늄처럼 생체 내 용액에 녹지 않는 물질이 있는지 확인합니다. 단 무정형실리카는 약한 용해성이 있습니다.

둘째, 제조나노물질에 조금이라도 노출됐을 가능성이 있는 작업자를 조사합니다. 잠재적인 가능성이라도 가볍게 여기지 않습니다. 먼저 작업 환경 측정(산업안전보건법 제42조) 등에 활용되는 작업영역(단위작업)으로 구분합니다. 그런 다음 노출 가능성, 빈도 및 강도 등을 기준으로 각 작업영역에 대한 우선순위를 정합니다.

- 제조나노물질의 유해성, 취급 빈도, 노출 상태 등을 알아낸 다음 노출 위험이 큰 작업영역부터 순위를 매깁니다.

셋째, 설문조사를 통해 건강 상태 이상 유무 등을 조사하고, 건강검진 기록을 검토해 호흡기계, 심혈관계, 중추신경계의 이상 유무를 확인합니다.

제조나노물질이 일으키는 건강 영향에 대한 질병별 조사 항목이 정해져 있지는 않으나, '부록 3. 제조나노물질 건강 영향 파악 사례'를 참고해 추가로 조사할 수 있습니다. 또 제조나노물질에 노출돼 생기는 폐 및 조직 염증, 산화적 스트레스, 내피장애, 응고, 혈액점도 등 단기 유해성을 초기 생체지표로 활용해 건강 영향을 파악할 수 있습니다. 사망 및 질병 발생은 장기 유해성으로 조사하되, 사망 원인 집계는 오랜 잠복 기간을 고려해 건강상태 변화 추이, 질병 치료 여부 등을 함께 조사해 보완합니다. 제조나노물질의 유해성이 명확히 밝혀지지 않은 지금으로서는 사업장에서 이루어지는 건강 영향 파악 결과가 제조나노물질의 부작용을 감지할 수 있는 중요한 수단입니다.

## 6장. 유해성 정보 전달

사업주는 제조나노물질에 관한 정보를 작업자에게 알리고, 올바른 작업 방법을 알려 줘야 합니다. 제조나노물질에 관한 정보는 물질안전보건자료 등에서 얻을 수 있습니다. 다만 현재 제조나노물질에 대한 유해성·위험성 분류 기준, 특정항목 등이 UN GHS 및 국내 지침 등에 따로 정의돼 있지 않아, 물질안전보건자료에 제조나노물질에 대한 사항이 없을 수도 있습니다.

제조나노물질을 양도·제공하는 자는 제조나노물질에 대한 정보(‘표 1. 제조나노물질에 대한 물질안전보건자료 항목’ 참고)를 물질안전보건자료에 충분히 적어야 합니다. 특히 ‘8. 노출방지 및 개인보호구’ 항목에 제조나노물질에 노출되지 않으려면 어떻게 해야 하는지 적어야 합니다.

표 1. 제조나노물질에 대한 물질안전보건자료 항목

항목	비고	항목	비고
1. 화학제품과 회사에 관한 정보	필수	9. 물리화학적 특성	필수
2. 유해성·위험성	필수	10. 안정성 및 반응성	선택
3. 구성성분의 명칭 및 함유량	필수	11. 독성에 관한 정보	선택
4. 응급조치요령	선택	12. 환경에 미치는 영향	선택
5. 폭발·화재 시 대처법	중요	13. 폐기 시 주의사항	중요
6. 누출사고 시 대처법	선택	14. 운송에 필요한 정보	선택
7. 취급 및 저장 방법	중요	15. 법적규제 현황	선택
8. 노출방지 및 개인보호구	중요	16. 그 밖의 참고사항	선택

## 7장. 기타 위험성

제조나노물질이 어떤 경우에 불타거나 폭발하는지, 아직 충분히 알지 못합니다. 하지만 성분이 같을 경우, 가연성 제조나노물질이 일반 화학물질보다 더 위험할 가능성이 있습니다. 즉 가연성 물질의 입자크기가 작아지면 연소 가능성과 연소율이 커집니다. 나노 크기의 입자 및 다공성 구조는 액체나 기체 상태의 물질이 반응하는 속도를 높이거나 반응에 필요한 온도를 낮추는 데 효과적인 촉매로 쓰여 왔습니다. 그런데 촉매반응 속도가 나노물질의 조성 및 구조에 따라 예상과 다르게 변할 수 있고, 결과적으로 더욱 위험해질 수 있습니다.

전기와 관련한 제조나노물질 규정들은 꼼꼼하게 살펴봐야 합니다. 나노 분진은 정전기 때문에 전기기기 등에 잘 달라붙어서, 전기기기의 온도가 올라가면 분진이 자연 발화해 불이 날 위험이 커집니다.

일부 금속 나노물질의 경우, 물과 반응해 가연성가스를 만들 수 있는 물 반응성이 없는지 알아보고, 적당한 소화제를 골라야 합니다. 금속 분말용 소화제는 금속 먼지를 더 떠다니게 만들어 폭연 위험성을 키울 수 있으므로 공기 흐름에 신경 써야 합니다. 이산화탄소, 질소와 같은 불활성가스를 사용할 때는 질식 사고에 대비해야 합니다.

폭발 가능성이 있는 나노물질을 다루는 곳에서는 대전방지용 신발 및 매트를 쓰고, 증류설비를 통해 폭발성 나노물질이 증발되는 경우에는 전기설비를 방폭형으로 설치해야 하는지 알아봐야 합니다.

# 부록 1. 제조나노물질 노출 평가 절차 사례<sup>••</sup>

## 1단계 : 기본 자료 조사 단계

- ① 먼저 사업장 규모, 생산품목, 생산량, 종사자 수 등 기본 정보를 모읍니다.
- ② 사업장이 제조나노물질을 생산, 취급하는지 확인해 2단계로 넘어갈지 판단합니다.
- ③ 지금은 아니더라도 나중에 다시 제조나노물질을 만들 경우 기본 조사부터 다시 시작합니다.

## 2단계 : 평가 단계

제조나노물질을 처음 평가하거나 제조나노물질의 특성이 밝혀져 있지 않은 경우에는 '2a 단계 : 제조나노물질의 특성을 알아내기 위한 노출 평가 단계'로 갑니다. 이미 특성이 밝혀진 경우에는 '2b단계 : 주기적으로 관리하기 위한 노출 평가 단계'로 갑니다. 탄소나노튜브처럼 섬유 형태인 경우에는 별도로 노출 평가를 진행할 수 있습니다.

2a단계 : 제조나노물질의 특성을 알아내기 위한 노출 평가 단계

2b단계 : 주기적으로 관리하기 위한 노출 평가 단계

단 어느 단계로 가더라도 다음 두 가지 과정을 거칩니다.

- 
- 윤중식 등, 나노물질 측정 프로토콜 작성 및 나노물질 노출 실태 조사연구. 산업안전보건연구원, 2013 의 내용 중 일부 발췌.
  - BSI PD 6699-3:2010, Nanotechnologies-Part 3 Guide to assessing airborne exposure in occupational settings relevant to nanomaterials 의 내용 중 일부 발췌.

## ① 사업장 정보

1단계에서 설문으로 얻은 자료를 보완하거나 재확인하는 단계입니다. 설문으로 각 작업공정 및 작업장 규모, 생산 품목, 생산량, 종사자 수 등 기본 정보를 모읍니다. 이와 함께 환기 형태, 공기정화장치(해파필터 등), 물리적 격리시설 유무 등도 조사합니다. 작업자가 다루는 물질의 특징과 성상, 사용량 등과 같은 정보도 파악합니다.

어떤 작업을 얼마 동안 했는지를 시간활동일지<sup>Time activity diary</sup>에 15분 또는 30분 간격(최대 한 자주 기록합니다.)으로 작성해 작업 변수를 파악합니다.

## ② 비의도적 나노물질 발생 정보

사업장에서 생산·취급하는 물질은 제외하고, 비의도적으로 생기는 나노물질의 발생원을 알아냅니다. 이때 사업장 주변에 있는 제조나노물질 발생 사업장, 주요 도로 위치, 디젤 차량 운행 여부 등도 함께 파악해 제조나노물질을 제외한 배경농도를 조사합니다.

## 2a단계 : 제조나노물질의 특성을 알아내기 위한 노출 평가 단계

제조나노물질의 특성을 알아낼 때는 고정된 위치에서 시료를 얻는 지역시료 채취, 작업자가 호흡하는 영역에서 시료를 얻는 개인시료 채취 등 전통적인 산업위생 시료 채취와 함께 실시간 측정기기(또는 방법)를 이용합니다. 지역시료 채취(예 : 에어로졸 크기별 시료 채취) 및 실시간(직독식) 측정은 공학적 관리 및 작업방법을 개선하는 데 좋은 평가 자료가 됩니다. 개인시료 채취는 일반적으로 작업자 노출을 정확히 반영하는 데 도움이 됩니다.

기본적으로 총 입자 수 농도, 크기별 입자 수 분포, 표면적 농도를 실시간 측정합니다. 입자의 구성 성분은 기기로 분석해 확인합니다. 예를 들어 양자점이나 금속 나노물질을 측정하

는 경우, SMPS와 TEM<sup>Transmission Electron Microscope</sup> Grid, PVC<sup>여과지</sup><sup>Poly Vinyl Chloride filter</sup>를 동시에 이용합니다.

다양한 노출 평가 기기 중 실시간 측정 장비와 비실시간 측정 장비를 모두 사용해 시료를 얻습니다. 장소는 발생원 및 작업자 근처로 하며, 장소가 여러 군데일 때는 측정기기를 옮겨 가며 평가합니다. 작업이 이루어지는 내내 측정합니다. 배경농도는 반드시 제조나노물질을 만들거나 다루기 전에 측정합니다.

측정하는 동안에는 작업 상황을 시간활동일지에 기록하고 기기가 잘 작동되는지 수시로 점검합니다.

다음은 용도별 실시간 측정 장비 및 비실시간 측정 장비 목록이며, 자세한 사항은 '표 부록 1-2. 나노물질 노출 평가 목적에 따른 이용 가능한 장비 목록'을 참고합니다.

### ① 실시간 입자 측정

공기 중 나노입자의 크기분포 및 시간에 따른 농도 변화, 작업자가 하는 일에 따른 노출 특성 등을 확인하기 위해서는 아래와 같은 실시간 기기를 활용해야 합니다. 입자 크기가 다양할 때는 광학 입자 계수기와 주사입자 크기분포 측정기를 함께 활용하도록 합니다.

- 광학 입자 계수기<sup>Optical Particle Counter; OPC</sup>
- 표면적 측정기<sup>Nanoparticle Surface Area Monitors; NSAM</sup>
- 주사입자 크기분포 측정기<sup>Scanning or Sequential Mobility Particle Sizers; SMPS</sup>
- 공기역학적 직경입자 입도분석기<sup>Aerodynamic Particle Sizer; APS</sup>
- 빠른 이동성 입자 입도분석기<sup>Fast Mobility Particle Sizer; FMPS</sup>
- 충전기<sup>Diffusion charger with charge detection principle</sup>

## ② 비실시간 입자 측정

실시간 측정으로 할 수 없는 정성평가의 경우, 전자현미경 또는 중금속 분석 등을 통해 형상과 성분 등을 조사합니다. 제조나노물질의 크기, 형태, 화학적 조성은 전자현미경으로 알아내고, 제조나노물질의 화학적 조성과 그 양은 중금속 분석으로 알아냅니다. 제조나노물질을 포집할 때는 여과지를 카세트에 장착하고 분석 가능한 감도를 얻을 만큼 충분히 시간을 들입니다. 측정 장소는 발생원 및 작업자 근처로 하며, 장소가 여러 군데일 때는 측정기기를 옮겨 가며 평가합니다. 작업이 이루어지는 내내 측정합니다. 배경농도는 반드시 제조나노물질을 만들거나 다루기 전에 측정합니다.

측정하는 동안에는 작업 상황을 시간활동일지에 기록하고 기기가 잘 작동되는지 수시로 점검합니다.

시료를 채취할 때는 다음의 여과지, TEM Grid, 입자계수기를 함께 사용합니다.

### ① 여과지<sup>Filter</sup>

주사전자현미경을 이용할 때는 폴리카보네이트 여과지(예 : 직경 37mm 또는 25mm 두께 0.45  $\mu\text{m}$ )를 씁니다. 탄소나노튜브의 탄소성분을 측정할 때는 석영여과지<sup>Quartz filter</sup>를 쓰고, 안전보건기술지침<sup>KOSHA GUIDE A-162-2016</sup>을 따릅니다. 전자현미경으로 분석할 때는 카세트를 오픈페이스 상태로 합니다.

유도결합플라스마-원자발광분석기<sup>ICP-AES</sup> 또는 유도결합플라스마-질량분석기<sup>ICP-MS</sup>로 분석할 때는 MCE여과지<sup>Membrane Cellulose Ester filter</sup>나 PVC여과지를 쓰고, NIOSH Method 7300 또는 KOSHA GUIDE 시료 채취 및 분석지침(A)을 따릅니다. 시료는 현미경 분석용과 기기 분석용을 같은 장소에서 동시에 각각 채취합니다.

### ⑤ TEM Grid

투과전자현미경<sup>TEM</sup>을 이용할 때는 상용화된 TEM Grid에 시료를 채취합니다. Grid는 구리, 니켈, 몰리브덴 등 다양한 재질과 탄소막으로 이루어진 격자무늬 모양의 판입니다. Grid로 채취한 시료는 투과전자현미경으로 나노입자의 모양과 성분을 확인할 수 있습니다. TEM Grid로 포집할 때는 미니 입자시료 채취기<sup>Mini Particle Sampler: MPS, INERIS, France</sup>를 쓰고, Grid에 직접 시료를 부착시키기 위해 온열식 입자계수기<sup>Thermal Precipitator</sup> 또는 정전기식 입자계수기<sup>Electrostatic Precipitator</sup> 같은 시료 채취 장비를 함께 쓰기도 합니다.

### ③ 시료 분석

채취된 시료는 전자현미경으로 분석, 나노입자 형태 및 집합체, 응집체의 존재 여부 등을 확인합니다.

## 2b단계 : 주기적으로 관리하기 위한 노출 평가 단계

노출을 관리하는 측면에서 제조나노물질을 비교적 간단하게 측정하는 단계입니다.

### ① 실시간 입자 측정

다음 입자계수기로 총 입자상물질이 어떻게 변하는지 실시간 관찰할 수 있습니다.

- 응축 입자 계수기<sup>Condensation Particle Counter; CPC</sup>
- 광학 입자 계수기<sup>Optical Particle Counter; OPC</sup>
- 표면적 측정기<sup>Nanoparticle Surface Area Monitors; NSAM</sup>

## ② 비실시간 입자 측정

2a단계에서 소개한 비실시간 입자 측정 방법에 따라 정성평가를 합니다. 다만 이미 물질에 대한 특성이 밝혀졌다면 하지 않아도 됩니다.

### 3단계 : 제조나노물질의 노출 기준 비교 단계

아직까지는 국내외 모두 제조나노물질 노출 기준을 법으로 정해 놓지 않았습니다. 다만 미국 및 유럽의 일부 기관에서는 제조나노물질 노출 기준에 대한 가이드라인을 제공하고 있습니다. 만약 2단계 노출 평가에서 다음 표에 소개된 물질이 측정됐다면 노출 평가 농도와 다음 표의 노출 가이드라인을 비교, 검토해야 합니다.

표 부록 1-1. 제조나노물질 노출 평가에서 활용 가능한 노출 기준 가이드라인

나노물질 종류	직업적 노출 기준	조건	제안 기관	참조
탄소나노튜브/ 탄소나노섬유	1 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	시간가중평균치(TWA; Time Weighted Average) 8시간/일, 45년간(호흡성 시료에 대한 환경농도)	NIOSH	NIOSH
	0.01fiber/cm <sup>3</sup>	공기 중 섬유상 나노물질 (종횡비)3:1, 길이>5 $\mu$ m)	IFA, Germany	IFA, 2009
금속 산화물 등	20,000 particles/cm <sup>3</sup>	6,000kg/m <sup>3</sup> 보다 큰 밀도	IFA, Germany	IFA, 2009
	40,000 particles/cm <sup>3</sup>	6,000kg/m <sup>3</sup> 보다 작은 밀도		
이산화티타늄	미세입자일 경우 2.4mg/m <sup>3</sup>	10시간/일, 40시간/주	NIOSH	NIOSH, 2011
	나노입자일 경우 0.3mg/m <sup>3</sup>			
은나노	0.01mg/m <sup>3</sup>	시간가중평균치 8시간/일	NIOSH	NIOSH
비정형 실리카	4mg/m <sup>3</sup> 흡입분율	-	TRG, Germany	TRG, 2007

표 부록 1-2. 나노물질 노출 평가 목적에 따른 이용 가능한 장비 목록<sup>●</sup>

측정단위	기기 및 방법	비고
질량-직독식 (총량 또는/ 그리고 원소)	입자 크기별 고정형 시료채취기 (Size Selective Static Sampler)	나노입자를 수집할 수 있는 차단점이 100nm인 캐스케이드 임팩터 방식입니다.(베르너형 저압 임팩터 또는 마이크로 오리피스 임팩터) 100nm 이하인 나노입자의 질량 및 화학 분석이 가능합니다.
	질량농도 자동측정법 (TEOM, Tapered Element Oscillating icrobalance)	나노입자의 질량농도를 측정합니다. 실시간 측정 기기 중 민감도가 큰 편입니다. 입구에 나노입자를 크기별로 나누는 장치가 있습니다.
	필터 채집 및 원소 분석 (Filter collection and elemental analysis)	나노입자를 시료 채취기(Personal Air Sampler 등) 등으로 모으고, 원소(예 : 탄소, 금속)를 분석해 질량농도를 구합니다.
질량- 직독식(계산)	전기적 저압 임팩터 (ELPI™ Electrical Low Pressure Impactor)	크기구간별(공기역학적 직경별) 나노입자의 활성표면적과 질량농도를 실시간으로 알려줍니다. 이때 질량농도는 입자전하 및 밀도 또는 추정되는 입자의 형태 및 밀도로 계산합니다.
	입경별 먼지 포집기 (MOUDI, Micro-Orfice Uniform Deposit Impactor)	캐스케이드 임팩터로 크기구간별 나노입자의 분포를 실시간 알려줍니다.
	전기적 입자 분류기 (DMAS, Differential Mobility Analyzing System)	크기구간별(이동도 직경별) 나노입자 수를 알려줍니다. 이때 나노입자의 질량농도는 알려져 있거나 추정되는 입자의 형태 및 밀도로 계산합니다.
계수- 직독식	응축 입자 계수기 (CPC, Condensation Particle Counter)	나노입자 수를 실시간으로 알려줍니다. 측정하는 크기범위를 사전-분리기로 넓히거나 좁힐 수 있습니다. 일부 모델은 입자분포를 최대 1 $\mu$ m까지 넓혀 나노입자 수를 알려줍니다. 단 사전-분리기의 길이가 커질수록 측정 시간이 늘어납니다.
	광학 입자 계수기 (OPC, Optical Particle Counter)	크기구간별(300~10,000nm)로 입자 수를 실시간 알려줍니다.
	주사입자 크기분포 측정기 (DMAS and SMPS, Scanning Mobility Particle Sizer)	크기구간별(이동도 직경별)로 나노입자 수를 알려줍니다.
	전자현미경 (Electron Microscopy)	채취한 나노입자 시료를 전자현미경으로 분석, 나노입자의 크기 및 수를 알려줍니다.
계수- 간접식	전기적 저압 임팩터 및 입경별 먼지 포집기 (ELPI™ and MOUDI)	크기구간별(공기역학적 직경별)로 나노입자의 활성표면적을 실시간 알려줍니다. 채취한 나노입자 시료를 추가 분석할 수 있습니다.

● ISO/TR 12885에서 참고.

표면적- 직독식	확산 대전 장치 (Diffusion Charger)	나노입자의 활성표면적을 실시간 알려줍니다. 다만 100nm 이상의 기하학적 표면적은 직접 측정하지 않고 계산합니다. 장비 입구에 적절한 사전-분리기를 달면 나노입자만 측정할 수 있습니다.
	전기적 저압 임팩터 및 입경별 먼지 포집기 (ELPI™ and MOUDI)	크기구간별(공기역학적 직경별)로 나노입자의 활성표면적을 실시간 알려줍니다. 다만 100nm 이상의 기하학적 표면적은 직접 측정하지 않고 계산합니다.
	전자현미경 (Electron Microscopy)	채취한 나노입자 시료의 크기와 수를 알려줍니다. TEM(투과전자현미경) 분석은 일부 입자 형태에 한해 기하학적 형태의 투영 면적까지 알려줍니다.
표면적- 간접식(계산)	주사입자 크기분포 측정기 (DMAS and SMPS, Scanning Mobility Particle Sizer)	크기구간별(이동도 직경별)로 나노입자 수를 알려줍니다. 특정 조건에서는 개방형 응집체의 이동도 직경과 투영된 표면적 값을 이용해 표면적을 계산해줍니다.
	주사입자 크기분포 측정기와 전기적 저압 임팩터 병렬 사용 (DMAS and ELPI™ used in parallel)	측정된 공기역학적 직경 및 이동도 직경의 차이를 이용해 표면적을 계산해줍니다.

\* 위의 표에 있는 실시간 시료 채취기기는 공기 중 측정하고자 하는 나노입자와 그 밖의 입자를 식별할 수 없습니다. 또한 다양한 입자, 응집체 또는 집합체, 다른 물리화학적 개체 등을 포함한 작업장에서 발견될 수 있는 전체 나노입자 스펙트럼에 대한 응답 유효성이 일반적으로 부족한 편입니다. 따라서 나노물질 노출 평가를 할 때는 채취된 나노입자를 표준물질과 함께 비교·검증하는 단계가 필요합니다.

## 4단계 : 노출 저감 대책 단계

3단계에서 노출 평가 농도가 가이드라인보다 높은 경우, 노출 저감 대책을 세워 작업 현장 등을 개선한 다음 2단계로 돌아가 재평가합니다. 노출 저감 대책은 다양하게 마련하되, 기본적으로 사전주의 원칙을 따릅니다. 이때 사전주의 원칙이란 위험성이 확실히 밝혀지지 않았다는 사실을 이해하고, 노출을 줄이기 위해 미리 조치를 취하는 것을 의미합니다. 제한된 정보를 최대한 활용해, 작업자에게 산업위생 측면에서 적절한 보호대책을 세워 주는 것도 중요한 사전 조치 중 하나입니다.

## 5단계 : 관리 및 기록 유지 단계

모든 평가가 끝나고 노출 저감 대책이 적절했다고 판단될 경우, 최종보고서에 다음 내용을 포함한 평가 정보를 기록합니다.

- ① 측정의 목적 및 방법.
- ② 시료 채취를 위한 샘플러<sup>ex)</sup> Personal Air Sampler와 측정 전략에 관한 간략한 소개 및 측정 장소에 대한 도면, 사진 등에 관한 정보.
- ③ 실시간으로 측정한 제조나노물질 데이터에 대한 통계 분석값.(정규분포 여부, 중앙값 설정(산술평균 또는 기하평균) 및 분산의 표현(표준편차, 기하표준편차, 95% 신뢰구간, 최대값, 최소값 등))
- ④ 채취된 시료를 전자현미경이나 유도결합플라즈마<sup>Inductively Coupled Plasma; ICP</sup>로 분석한 사진이나 분석값.
- ⑤ 노출 평가에 대한 최종 결론, 다음 평가 일시.

최종보고서는 모든 사람이 알아볼 수 있도록 쉽게 작성해 기록물 보관소 등에 잘 보관합니다. 측정 후 정기적 또는 수시로(공정변경 등) 재평가합니다.

## 부록 2. 제조나노물질 공학적 관리 장치 사례<sup>•</sup>

공학적 관리는 제조나노물질을 만들거나 다루는 설비의 규모에 맞추는 것이 좋습니다. 설비 규모가 큰 경우에는 포위식 포집장치 또는 비닐커튼을 쓰고, 작은 경우에는 흡후드 같은 포집장치를 주로 씁니다.

공학적 제어설비는 반응기 등 제조설비와의 접근성이 좋아야 유지 보수가 쉽습니다. 또한 음압 유지를 위한 배기량(출입문이 열렸을 때도 음압이 유지돼야 합니다.), 제조공정에서 발생하는 열을 제어하는 시설, 난류 발생을 줄이는 작업장 내 공기 흐름 등을 설계 단계부터 충분히 검토합니다.

포집된 제조나노물질을 공기정화(여과)하는 장치는 해파필터가 일반적이지만, 세정식 또는 전기집진식 여과장치도 사용할 수 있습니다.

### 1. 포집방식별 공학적 제어장치

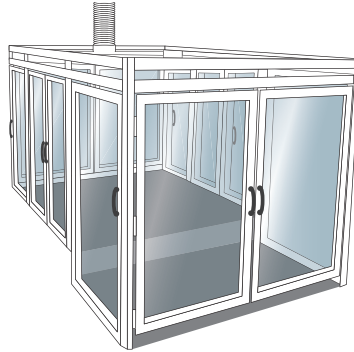
#### 1.1. 포위식 포집장치

포위식 포집장치는 생산설비를 둘러싸는 원리입니다.

---

• NIOSH 'nanomaterial production and downstream handling processes'의 내용 중 일부 발췌.

### 그림 부록 2-1. 포위식 포집장치



### 표 부록 2-1. 포위 및 격리 관련 설비 사례

설비	세부내용
반응기-밀폐식 저장장치	진공 상태의 반응기와 밀폐식 저장장치가 서로 기밀성이 유지된 채 결합된 설비로, 제조나노물질을 반응기에서 저장장치로 직접 옮길 때 좋습니다.
포위식 설비를 갖춘 반응기	반응기가 열리면 포위식 설비에서 자동적으로 배기되며, 반응기에 남은 잔여물질은 연소사이클링 시스템으로 없앱니다.
양압 차동장치를 갖춘 클린룸	실험실과 사무실로 신선한 외부 공기를 끌어오는 한편 양압(陽壓)을 유지해 제조나노물질이 실내로 흘러들어오는 것을 막습니다. 다만 실험실과 사무실 사이 공간은 상대적으로 압력을 낮춰야 합니다.
폐액의 컨테이너 이송용 휴대용 연동펌프	폐액이 저장용기로 옮겨지는 과정에서 누출되거나 에어로졸화되는 현상을 줄이기 위해 양변위펌프(Positive Displacement Pump) 형식의 휴대용 연동펌프를 씁니다.
방폭형 외함	발화 및 폭발성 나노물질 분진이 한데 뒤엉켜 쌓일 수 있는 장소에 있는 전기시설은 방폭형 외함으로 둘러싸 정전기로 인한 분진 폭발을 막습니다.
원료이송용 분배기	포대(백)에 있는 제조나노물질을 자동라인에 쏟아 옮기는 설비입니다. 이때 사용한 포대(백)은 폐기물드럼에 넣어 폐기합니다.
리모트 컨트롤	격리된 설비를 조작할 때 활용합니다.
알람 시스템	포위설비 안쪽의 산소 또는 물질의 압력 변화를 감지하는 시스템입니다. 고장 또는 사고로 제조나노물질이 새어 나올 경우 경고성 알람을 울립니다.

생물학적 감염물질을 취급하는 장소로 활용되는 생물안전캐비닛(Bio Safety Cabinet; BSC(III))도  
나노입자의 확산을 막는 데 도움이 됩니다.

#### 생물안전캐비닛Ⅲ의 특징

1. 차폐구조로 기체가 새어 나가지 않습니다.
2. 플로어 또는 이중문 룸을 통해 물질을 옮길 수 있습니다.
3. 내부의 음압을 유지해 밖으로 퍼져 나가는 것을 막습니다.
4. 급기는 해파필터로 여과하고, 배기는 2단 해파필터 또는 해파필터-공기소각로 시스템으로 여과합니다.
5. 캐비닛에 고무장갑을 달아 캐비닛 안에 있는 물질을 다룰 수 있습니다.

표 부록 2-2. 생물학적 캐비닛 특징 비교

BSC 등급	후드면 기류 속도(m/s)	기류 패턴	적용	
			비휘발성 독성 화학물질 및 방사성물질	휘발성 독성 화학물질 및 방사성물질
I	0.381	전체 기류가 전면부에서 해파필터를 거쳐 바깥으로 내보내지거나 실내로 흘러 들어옵니다.	○	실외 배기a, b
II, A1	0.381	전체 기류 중 70%가 해파필터를 거쳐 재순환돼 캐비닛 내부 작업대로 흘러 들어옵니다. 나머지 30%는 해파필터를 거쳐 실내로 다시 흘러 들어오거나 캐노피후드를 통해 바깥으로 내보내집니다.	○(소량)	X
II, B1	0.508	전체 기류 중 30%는 해파필터를 거쳐 재순환되고, 나머지 70%는 해파필터를 거쳐 바깥으로 내보내집니다.	○	○(소량)a, b
II, B2	0.508	기류 모두 재순환되지 않고 해파필터를 거쳐 바깥으로 내보내집니다.	○	○(소량)a, b
II, A2	0.508	기류 모두 II, A1 등급과 유사한 패턴으로 후드를 통해 강제 배출됩니다. 이때 실내는 음압이 유지됩니다.	○	실외 배기, (소량)a, b
III	-	기류 모두 해파필터를 거쳐 실내로 흘러 들어왔다가 2단 해파필터를 거쳐 바깥으로 내보내집니다.	○	○(소량)a, b

a 배기용 덕트에는 활성탄필터, 방폭형 모터, 기타 전기장치를 담니다. I, II 등급 및 A2 타입의 캐비닛일 경우, 휘발성물질을 사용할 때 캐비닛 안에서 방전이 일어나지 않도록 합니다.

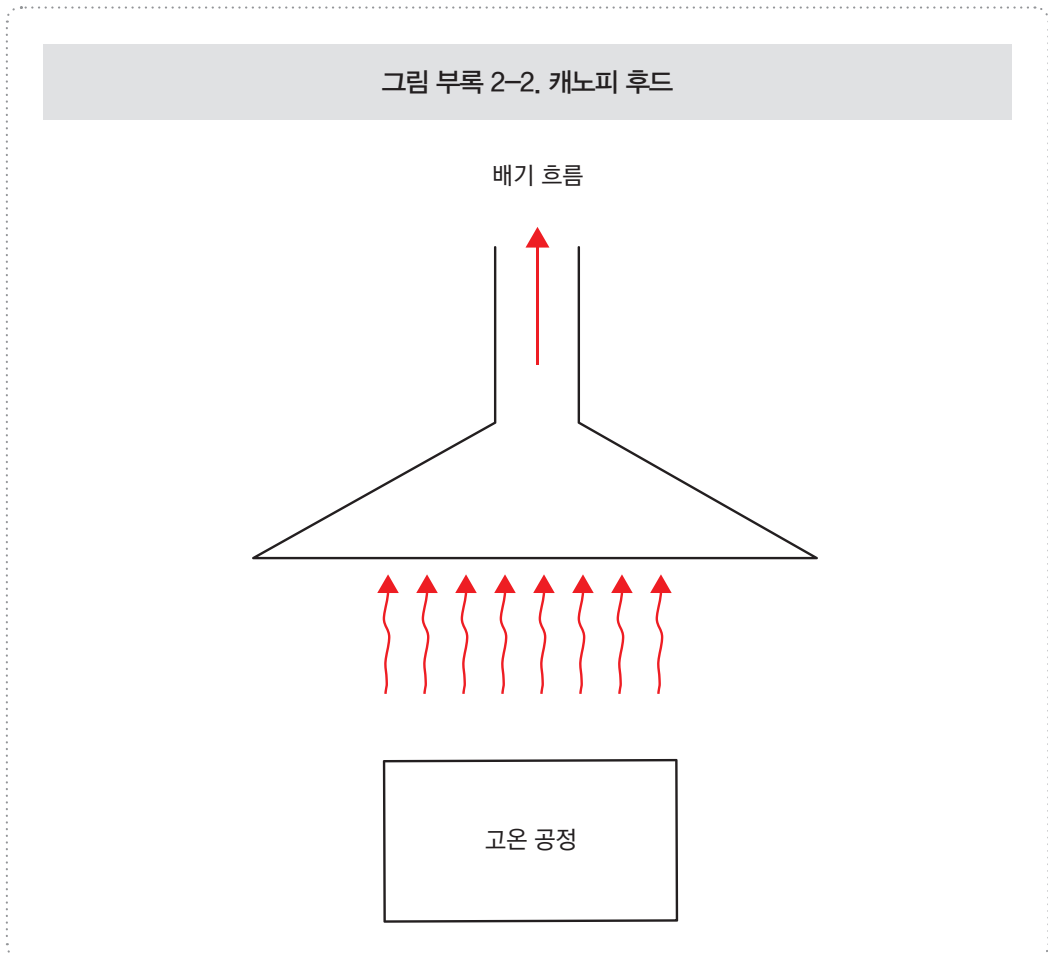
b 물질의 농도가 폭발 하한값에 도달하지 않도록 합니다.

## 1.2. 캐노피 후드

캐노피 후드는 고온 공정에서 위쪽으로 내보내지는 물질을 붙잡는 데 좋습니다. 다만 설계할 때 배출물질이 작업자가 호흡하는 영역으로 흘러가지 않도록 기류 방향을 조절해야 합니다.

나노입자와 같은 초미세 입자는 중량이 매우 작아 관성이 거의 없고 기류에 잘 따르는 성질

이 있습니다. 따라서 캐노피 후드면의 기류 속도는 가스/증기 제어용으로 낮춰도 충분합니다.



### 1.3. 흡후드

흡후드는 반응설비를 청소할 때 좋습니다. 하지만 후드 근처에서 작업자가 공기의 흐름을 막을 경우, 나노입자 등이 달라진 기류를 타고 작업자 호흡 영역으로 흘러들기도 합니다.

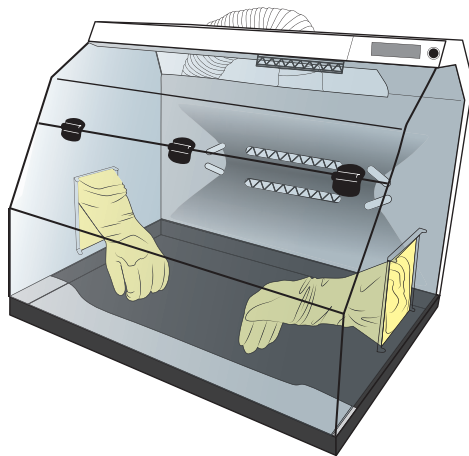
과거에는 물질을 쏟아부어 옮기는 작업장에 주로 고정풍량<sup>constant air volume; CAV</sup> 후드를 설치했습니다. 고정풍량 후드면의 기류 속도는 개구부 면적(창틀 높이)과 반비례하는데, 기류

속도가 너무 세거나 약하면 공기 및 입자 흐름이 나빠져 나노입자 등이 작업자의 호흡 영역으로 흘러들기도 했습니다. 최근 쓰이는 가변풍량(variable air volume; VAV) 후드는 후드면의 기류 속도가 개구부 면적(창틀 높이)과 관계없이 일정한 범위로 유지돼 보다 효율적으로 작업자가 노출되는 것을 막습니다.

다음은 흡후드의 성능 및 작업자 노출과 관련된 사항입니다.

- 작업자가 호흡하는 영역과 오염원 사이의 거리가 멀수록 노출이 적습니다.
- 후드 개구부 면적(창틀 높이)을 줄일수록 노출이 적습니다.
- 기류를 방해하는 가장 큰 요인 중 하나가 작업자입니다. 후드의 나노입자 제어 효율을 평가할 때는 반드시 작업자 또는 마네킹을 후드 앞에 세워 두도록 합니다.
- 후드면의 기류 속도가 적당해야(0.3m/s~0.8m/s) 합니다.
- 개구부 면적(창틀 높이), 작업자의 손과 팔의 움직임, 쏟아 부어 계량하는 작업 특성, 열부하 등은 후드의 성능에 영향을 끼친다고 알려져 있으나, 통계적으로 의미 있는 정보는 없습니다.

그림 부록 2-3. 약품 중량 측정용 포위식 후드





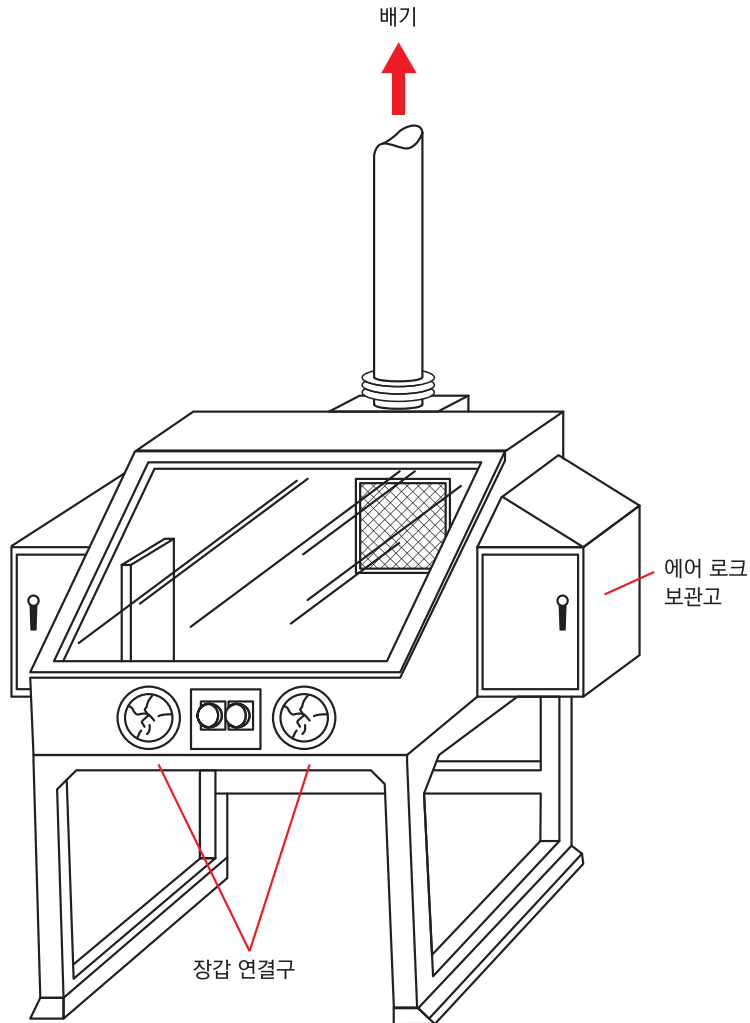
다만 아래와 같은 경우에는 후드 성능이 나빠질 수 있으므로 유의해야 합니다.

- 후드 창 높이가 높아지면 개구부 면적이 넓어지고, 상대적으로 많은 기류가 흘러들어 포집 성능이 떨어질 수 있습니다.
- 작업자의 동작에 따라 후드 성능이 달라지고, 결과적으로 물질이 누출될 수 있습니다. 예를 들어 작업자가 후드 개구부(창틀) 쪽 가까이 있으면 난류가 발생해 후드 측면으로 물질이 누출됩니다. 또 작업자가 팔을 후드 내부에서 밖으로 빼낼 경우, 후드 내부에서 팔을 움직일 때보다 입자가 더 많이 누출됩니다.

#### 1.4. 글러브박스

글러브박스는 규모가 작은 공정일 때 작업을 격리시키는 데 유용한 장치로, 단단하고 부드러운 재질로 돼 있습니다. 집진이 잘되는 대신 활동 영역 및 크기에 제약이 많습니다. 또한 내부 청소가 쉽지 않아 물질 또는 장비를 내·외부로 옮길 때 불편합니다.

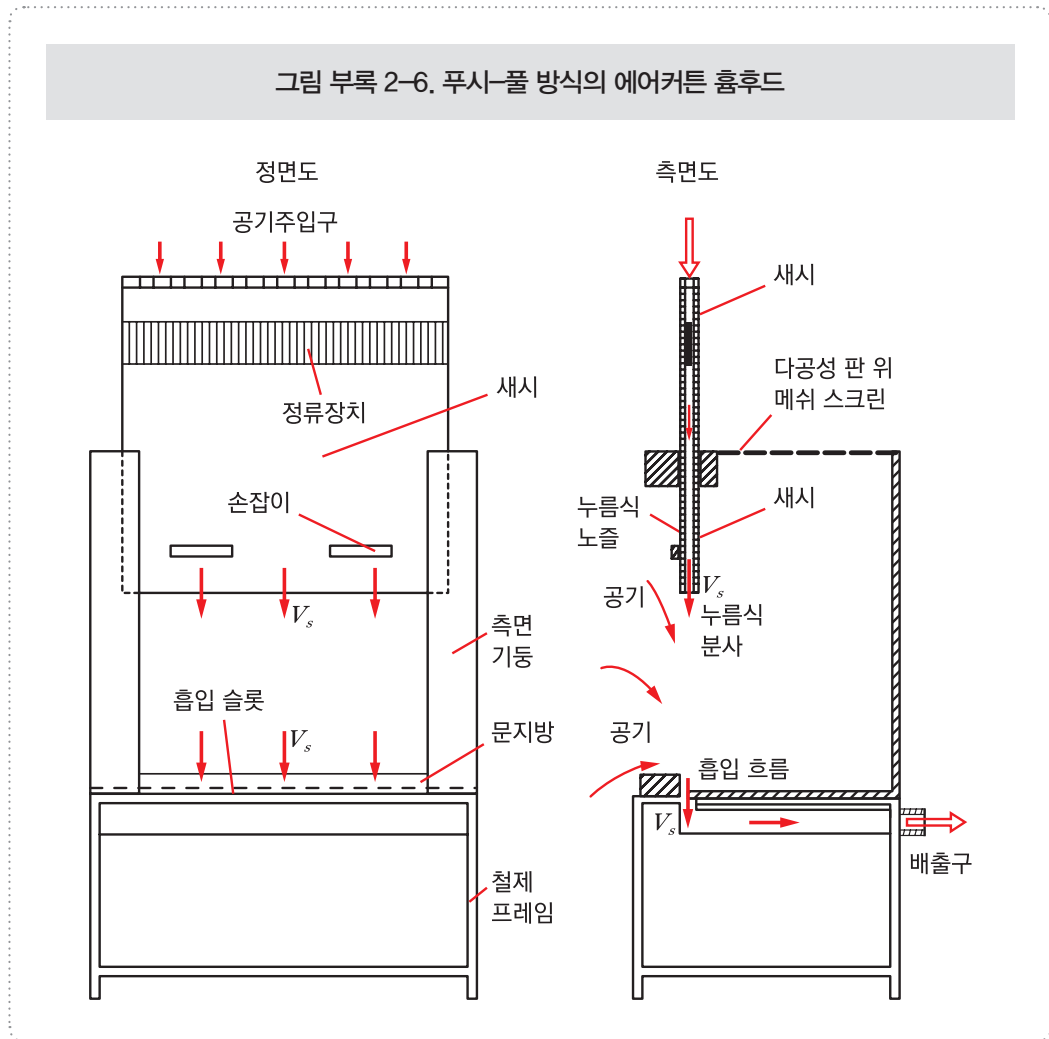
그림 부록 2-5. 집진 성능이 좋은 글러브박스



### 1.5. 에어커튼 흡후드

최근에 개발된 흡후드는 후드로 유입되는 기류와 작업자 근처에서 발생하는 재순환 기류를 고려해 설계됐습니다. 폭이 좁은 평면형 제트기류가 창틀에서 시작돼 후드 개방 면을 따

라 배출 슬롯까지 이어지는 푸시-풀 환기 방식의 에어커튼 흡후드가 그 예입니다.(그림 부록 2-6.) 이 후드는 작업자가 전면부의 창틀 높이를 바꾸더라도 기존의 가변·고정 풍량 후드에 비해 에어로졸이 적게 누출됩니다.



흡후드의 특징은 다음과 같습니다.

- 건조 물질을 다룰 때는 고정 풍량 후드보다 가변 풍량 후드가 좋습니다.

- 후드면 속도는 0.4~0.6m/s로 유지하는 것이 좋습니다.
- 후드 성능을 검토할 때는 작업자의 동작 및 후드의 특징을 고려해야 합니다.
- 분말 계량작업 등에 쓰이는 포위식 후드는 작게 만드는 것이 좋으며, 성능 평가 때는 풍량을 적게 해야 합니다.
- 생물안전캐비닛 후드는 분말로 된 제품을 다룰 때 좋습니다. 단 내부 청소, 필터 교환 등 유지 보수가 필요합니다. 배기 방식을 정할 때는 반드시 재순환 기류를 고려해야 합니다.
- 글러브박스도 포집이 잘되지만, 작업에 어려움이 있고 작업 공간이 좁습니다.
- 에어커튼 흡후드는 오염을 방지하는 데 뛰어납니다.
- 후드를 설계하거나 고를 때는 취급 설비 규모, 물질의 물리화학적 성질(크기, 밀도, 습식 또는 건식), 작업 환경(실험실/공장, 교차형 외풍, 작업 활동), 필수장비(장비의 크기, 폐쇄형), 포집수준 등 여러 가지를 고려해야 합니다.
- 제조나노물질 사용량 줄이기, 주기적인 설비 청소, 분말 형태 제품을 높은 데서 떨어뜨리는 작업 제한, 분말 취급 장소를 창가나 출입구 등 바깥 공기가 흘러드는 장소에서 멀리 하기 등은 작업자의 노출을 줄이는 데 도움이 됩니다.

## 2. 작업공정별 공학적 제어설비 사례

반응기에서 나온 제조나노물질은 수집, 포장 등을 거쳐 출하되는데, 제조나노물질을 포대에 쏟고 밀봉하는 등과 같은 작업을 하는 과정에서 노출이 심해지곤 합니다. 특히 제조나노물질을 포대에 쏟고 바닥에 ‘툭툭’ 치며 포대를 고르게 펴는 행동 등은 제조나노물질을 작업장 안으로 퍼뜨리는 주요 원인 중 하나입니다.

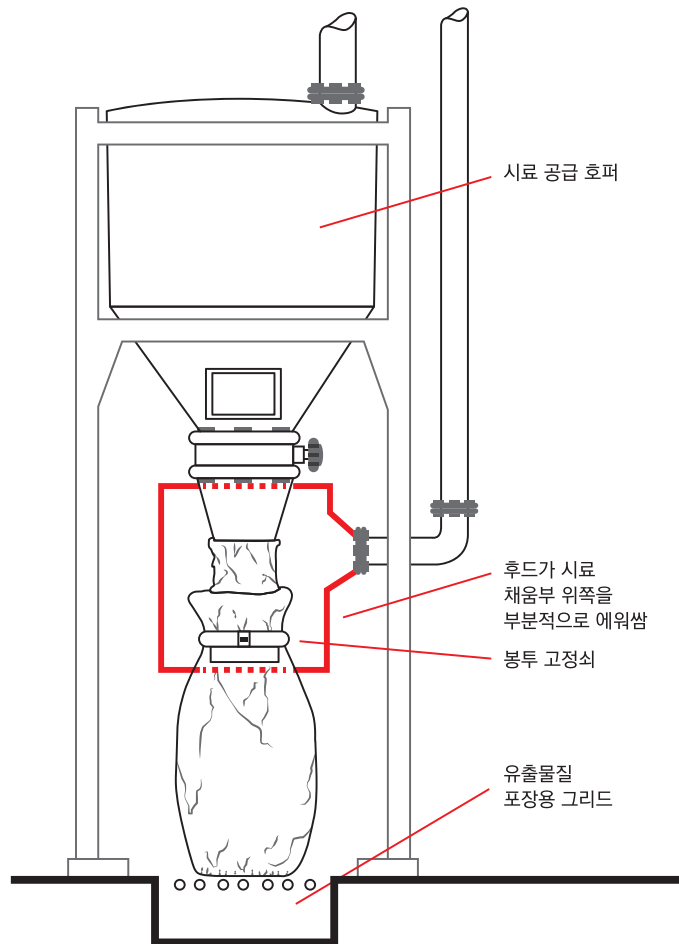
### 2.1. 제품을 쏟아붓고 충전하는 작업

#### 2.1.1. 고리형 후드

고리형 후드는 상단의 호퍼에서 포대 또는 컨테이너로 분말 제품을 쏟아붓는 작업에 좋습

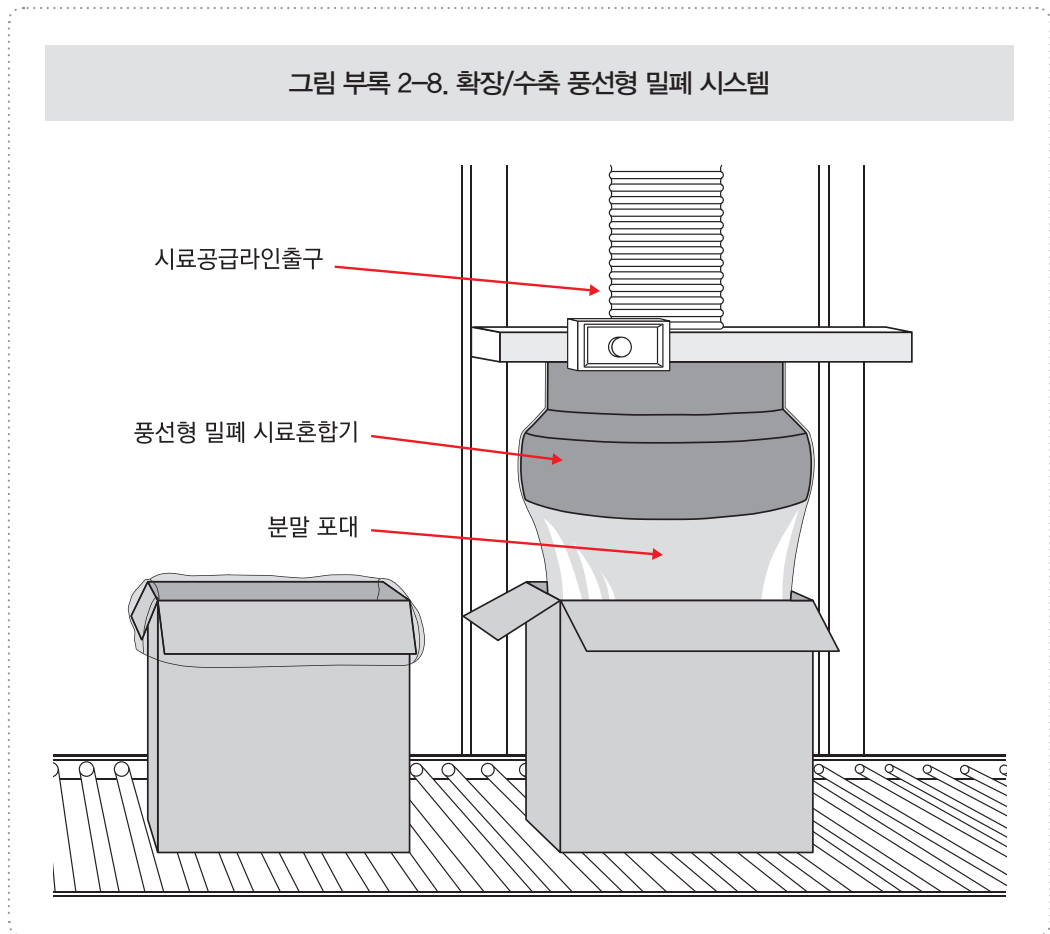
니다. 형태를 보면 호퍼와 자루의 연결부위 주변을 포위식 후드가 감싸고 있습니다. 내부 기류 속도는 1.1m/s~2.5m/s, 풍량은 비독성물질 11.3~14.2m<sup>3</sup>/min, 독성물질 28.3~42.5m<sup>3</sup>/min으로 설정합니다. 다만 제조나노물질이 지나치게 손실될까 걱정된다면 공정 및 제조나노물질의 특성 등을 고려해 풍량을 적정하게 조정합니다.

그림 부록 2-7. 분말 제품 포대 충전작업에 활용되는 고리형 후드



### 2.1.2. 풍선형 밀폐 시스템

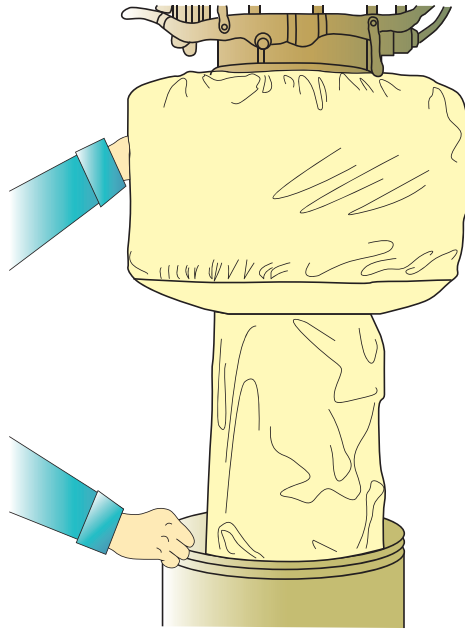
분말 제품을 쏟아부을 때 공급라인 출구를 밀폐시킨 풍선 형태 시스템입니다. 분말 제품이 포대 등으로 쏟아지는 동안에는 출구 부분이 부풀고 충전이 끝나면 줄어들어, 분말이 날려서 흩어지지 못하게 합니다.



### 2.1.3. 연속 라인 밀폐 시스템

위의 풍선형 밀폐 시스템과 비슷합니다. 폴리프로필렌 재질의 연결 라인에 분말 제품이 일정량 쏟아져 가득 채워지면 공급라인이 잠기고, 폴리프로필렌 연결 라인 윗부분이 열처리로 잘리면서 밀봉됩니다.

## 그림 부록 2-9. 연속 라인 밀폐 출하 시스템



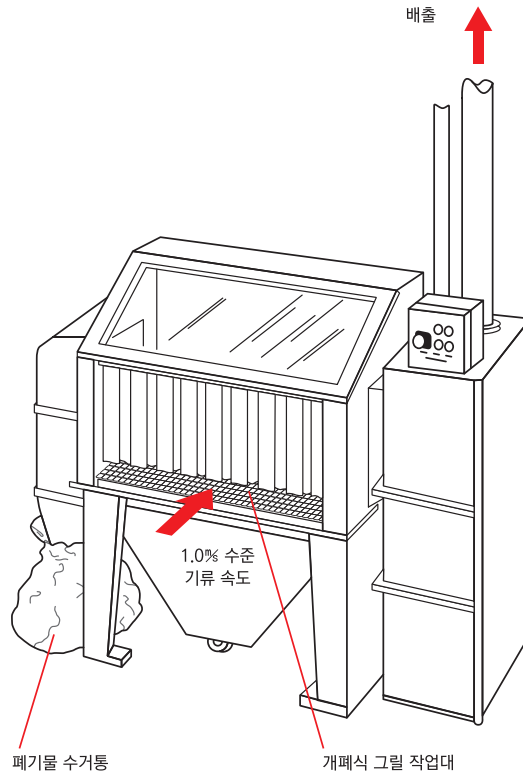
### 2.1.4. 수동으로 분말 제품을 쏟아부을 때 활용하는 분진포집 장치

사람이 직접 자루나 포대에 든 제품을 쏟아부을 때 분말이 날려 흩어지는 것을 줄여 줍니다. 캐비닛, 자체 집진기(또는 외부 집진기), 에어로졸 추출기로 구성된 분진포집 장치입니다.

자루나 포대에 든 분말 제품을 그물망 선반으로 쏟으면 컨베이어와 혼합탱크로 옮겨 주는 방식입니다. 후드면의 기류 속도는 폐기물 처리용 포대를 연결한 채 1.0m/s 정도로 유지합니다. 석회석, 카본블랙, 석면 등의 입자를 포집하는 데 효과적이거나, 작업 중 자루 표면에 분말입자가 달라붙어 작업자가 위험에 노출될 수 있습니다.

독성물질을 다룰 때는 후드면의 기류 속도를 0.8~1.3m/s 정도로 빠르게 하는 것이 좋습니다. 일반적인 제조나노물질의 경우에는 제품 손실을 줄이기 위해 속도를 이보다 낮춰도 됩니다.

그림 부록 2-10. 자루나 포대 등에서 분말 제품을 쏟아부을 때 활용하는 분진포집 장치



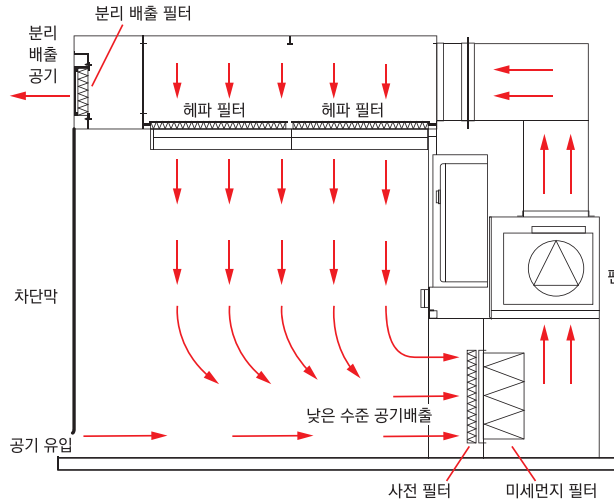
## 2.2. 대량물질 취급 및 포장에 활용되는 단일방향 하향식 부스

많은 양의 분말 제품을 포장, 적재, 이송할 때는 주로 단일방향 하향식 부스를 씁니다. 부스 안에서 날리는 입자들은 작업자 머리 위에서 나오는 0.5m/s 속도의 기류 때문에 부스 뒤쪽으로 밀려났다가 벽의 배기장치를 통해 빠져나갑니다.

## 2.3. 나노제품(복합물) 가공에서 활용하는 시스템

실리카 습식절삭가공 및 나노제품(복합물) 가공공정에서 고속으로 배출되는 분진을 붙잡기

그림 부록 2-11. 대량 물질 취급 및 포장용 단일방향 하향식 부스



위해서는 기류 속도가 빠르고 용량이 작은 고속-저용량<sup>high velocity-low volume; HVLV</sup> 시스템을 활용하는 것이 좋습니다.

표 부록 2-3. 분말 제품을 쏟아붓는 공정에서 활용 가능한 공학적 제어방법

작업공정	제어 시스템	내용
분말 제품을 쏟아부어 채우는 작업	풍선형 밀폐 시스템 및 연속 라인 밀폐 시스템	분말 제품을 위에서 아래로 쏟아부을 때 좋으며, 별도의 배기 장치가 필요 없습니다. 만약 배기장치를 추가할 경우에는 배출지점에 깃 또는 포위방식으로 설치합니다.
사람이 직접 자루를 쏟아붓는 작업	사람이 직접 자루를 쏟아부을 때 활용하는 분진포집 장치	드럼 또는 자루 등에 든 제품을 사람이 직접 쏟아부을 때 좋습니다.
대량물질 취급 및 포장	단일방향 하향식 부스	부스 내 넓은 작업공간에서 많은 양의 분말 제품을 다룰 때 좋습니다. 흡후드 타입보다 효율적입니다.
나노제품(복합물) 가공	고속-저용량 시스템	나노복합물 가공공정에서 활용할 수 있으며, 작업방식에 따라 제어방식을 바꿀 수 있습니다.

### 3. 유지 보수

환기장치의 공기정화장치(필터) 교환, 반응기 청소 등 유지 보수는 적합한 방법으로 합니다.

#### 3.1 필터 교환

분진이 포집된 필터는 비닐 백에 넣어 제거합니다. 필터에 폐기용 비닐 백이 붙어 있는 필터 제품을 쓰는 것도 좋습니다.

그림 부록 2-12. 필터 교환 시스템



#### 3.2. 청소 방법

- 청소 절차를 배우고 허가를 받은 사람이 누출 물질을 청소하고 환기하도록 합니다.
- 해파필터가 달린 건·습식 진공청소기와 포위식 습식진공시스템 등을 활용합니다.
- 정기적으로 작업장 표면, 벽, 바닥 등을 청소해 제품, 시설 등에 제조나노물질이 쌓이지 않도록 합니다.
- 제조나노물질이 누출되면 그 즉시 청소해 제거합니다.

## 부록 3. 제조나노물질 건강 영향 파악 사례

; 호흡기계, 심혈관계, 중추신경계 건강 평가 방법\*

표 부록 3-1. 호흡기계 유해성에 대한 건강 평가 방법

관찰된 건강이상 및 질병	종류	진단 방법	내용
- 폐 염증 /산화제 스트레스 - 만성 호흡기계 질병(천식, 만성 폐색성 폐질환) 발생 및 증상 악화 - 폐 감염증세 빈도 증가 - 폐섬유증 - 폐암 - 늑막 플라크 및 늑막 종피종(탄소 나노튜브 영향)	수동적인 평가	사망원인 조사	-
		병원정보시스템을 활용한 진단	-
		장기적인 상태 진단	-
		약물소비 현황 조사	-
	적극적인 평가	호흡기계 증상(기록된 것에 한함) 설문지 조사	개인별 민감도에 따라 구체성 및 신뢰도가 떨어질 수 있습니다.
		자가기록진단	-
		전신성 염증 지표 및 산화 스트레스의 혈중 농도 검사	민감성은 높지만 구체성은 떨어집니다. C 활성 단백질은 염증에 대한 급성 지표로 활용합니다.
		폐활량계 검사	운동처방사 등 전문가가 표준화된 방법으로 측정합니다. 단 폐색성 질환(만성 폐색성 폐질환, 천식)과 폐 섬유화는 구분합니다.
		기관지확장기기 +폐활량계 검사	천식과 만성 폐색성 폐질환을 구분합니다. (천식은 기관지를 확장하면 호흡이 정상으로 돌아올 수 있습니다.)
		일산화탄소 확산 용량 시험	폐 간질(기종, 섬유증)에 영향을 미치는 질병 지표입니다.
		총 폐활량 측정을 포함한 심층 폐 기능 검사	-
		흉부 X-ray	X-ray 촬영입니다.
		흉부 컴퓨터 단층 촬영(CT)	컴퓨터 단층 촬영(CT)입니다.
		호기호흡 응축 폐염증 지표	처음 실시하는 사업장에서 정보를 충분히 수집하지 못하면, 다음 사업장에서 해당 지표에 대한 평가 재현성이 떨어집니다.

\* INVS, 2012, Feasibility of an Epidemiological Surveillance System for Workers Occupationally Exposed to Engineered Nanomaterials의 내용 중 일부 발췌.

표 부록 3-2. 심혈관계 유해성에 대한 건강 평가 방법

관찰된 건강이상 및 질병	종류	진단 방법	내용
- 심장리듬 변화 - 자율신경계 기능장애 - 혈관 상태 및 혈압 변화 - 응고 및 혈관 내피 기능장애 - 아테롬성 동맥 경화증 진행 - 심근 경색증 - 허혈성 뇌졸중 - 혈전증 - 심장 부정맥 - 심부전 - 심장마비	수동적인 평가	사망원인 조사	매우 치명적인 질병일 경우에 좋은 지표입니다.
		병원정보시스템을 활용한 진단	심근경색증과 일반적인 급성심장발작에 좋은 지표입니다.
		장기적인 상태 진단	장기적인 5가지 상태(심각한 고혈압, 관상동맥질환, 심부전, 만성 동맥질환, 뇌졸중 등의 발작)를 진단합니다.
		약물소비 현황 조사	부정맥치료제를 제외한 일반적인 심혈관 치료제는 제외합니다.
	적극적인 평가	자가기록진단	-
		혈압 검사	-
		응고 및 혈관내피 기능장애 지표들에 관한 혈중농도 검사	-
		24시간 심전도 측정에 의한 심장 박동 및 그 변화 검사	-
		초음파로 측정된 경동맥 내 중막 두께 검사	-
		팔뚝 반응성 출혈 검사	-

표 부록 3-3. 중추신경계 유해성에 대한 건강 평가 방법

관찰된 건강이상 및 질병	종류	진단 방법	내용
- 인지 및 운동 능력 장애 - 알츠하이머병 - 파킨슨병 - 근위축성측색경화증	수동적인 평가	사망원인 조사	근위축성측색경화증에 대한 좋은 지표입니다. 단 알츠하이머병과 파킨슨병은 해당하지 않습니다.(사망진단서에 잘 구분돼 있지 않습니다.)
		병원정보시스템을 활용한 진단	-
		장기적인 상태 진단	장기적인 치료가 필요한 알츠하이머병과 파킨슨병에 대한 좋은 지표입니다.
		약물소비 현황 조사	알츠하이머병과 특정치료(SLA)에 대한 좋은 지표입니다. 파킨슨병에는 유의해서 적용해야 합니다.
	적극적인 평가	자가기록진단	파킨슨병에 대한 좋은 지표입니다. 알츠하이머병은 해당하지 않습니다.
		인지 및 운동능력 장애 평가	전화 테스트 방식 등이 있으며, 표준 테스트 조건에서 전문가가 평가해야 합니다.
		기억력 테스트	-
		후각 테스트	-
		말초신경증에 대한 선별 검사	-
		두통 테스트	-

## 부록 4. 제조나노물질 물질안전보건자료 작성 방법 사례<sup>••</sup>

물질안전보건자료는 고용노동부고시 제2016-19호 「화학물질의 분류·표시 및 물질안전보건자료에 관한 기준」(이하 “고시”)에 따라 작성해야 하나, 제조나노물질은 이에 포함돼 있지 않습니다. 따라서 본 가이드라인에서는 물질안전보건자료에 반영해야 할 제조나노물질 관련 항목을 필수, 중요, 선택 항목으로 나눠 작성에 참고할 수 있도록 했습니다.

### 1. 필수 항목

- 화학제품과 회사에 관한 정보.
- 유해성·위험성.
- 구성성분의 명칭 및 함유량.
- 물리화학적 특성.

#### 1.1. 화학제품과 회사에 관한 정보

다음은 나노제품 관련 정보에 대한 예시입니다.

- 이 제품의 표면층에는 항균성 제조나노물질이 함유됐다.
- 이 제품에는 표면구조를 바꿔 세척을 돕는 제조나노물질이 포함돼 있다.

- 
- State Secretariat for Economic Affairs(SECO) in Switzerland, Safety data sheet(SDS) Guidelines for synthetic nanomaterials의 내용 중 일부 발췌.
  - Ji Hyun Lee, Won Kwen Kuk, Miran Kwon, Jong Han Lee, Kwon Sub Lee. Evaluation of information in nanomaterial safety data sheets and development of international standard for guidance on preparation of nanomaterial safety data sheets. Nanotoxicology 2012 Early Online: 1-8의 내용 중 일부 발췌.

- 이 제품에는 자외선을 차단해 피부를 보호하는 제조나노물질이 포함되어 있다.

## 1.2. 유해성·위험성

최근 이루어진 제조나노물질에 대한 세포 및 동물 시험 결과를 보면 제조나노물질의 유해성이 점차 두드러지고 있습니다. 단 제조나노물질의 종류 및 특성(구조, 크기, 성분 등)이 다양한 데 비해 각 물질의 유해성·위험성에 대한 정보가 많이 부족한 편입니다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 유사한 제조나노물질의 성분과 구조 등에 대한 정보를 활용할 줄 알아야 합니다.

현재 국내외 모두 제조나노물질의 특성을 반영한 유해성·위험성 분류기준이 없습니다. 따라서 기존의 물질안전보건자료 양식을 활용, 고용노동부고시 제2016-19호 별표 4의 「2. 유해성·위험성 - 다. 유해성·위험성 분류기준에 포함되지 않는 기타 유해성·위험성」항목에 제조나노물질에 관한 인간 및 환경에 미칠 잠재적인 유해성·위험성을 기재할 수 있습니다.

다음은 잠재적인 유해성·위험성에 대한 내용을 작성할 때 도움이 되는 질의 사항입니다.

- 제조나노물질 및 나노섬유 입자가 생성될 가능성이 있는가? 그렇게 생성된 입자가 공기 중으로 빠져나갈 수 있는가?
- 생성된 입자가 사람 몸속에 쌓일 우려가 있는 나노섬유 또는 섬유상 구조를 포함하고 있는가? 또는 입자가 응집돼 사람 몸속에 쌓일 우려가 있는가?
- 제품 및 작업 특성을 생각했을 때 제조나노물질의 주요 노출 경로는 무엇인가? (예 : 흡입, 피부 노출 등)
- 제조나노물질이 유기체에 어떤 반응을 일으킬 것으로 예측되는가? (예 : 흡수성, 안정성 등)
- 나노제품이 벌크제품과 비교해 다르거나 구별되는 특성이 있는가? (예 : 자유라디칼 형성)

다음은 잠재적인 유해성·위험성 항목에 적을 수 있는 정보에 대한 예시입니다.

- 분진이 발생하는 작업 중 나노물질이 방출될 수 있다.
- 스프레이 제품을 사용할 때 나노입자를 포함한 에어로졸이 함께 방출될 수 있다.
- 제조나노물질은 유기체 내 라디칼 발생을 촉진시킬 수 있다.
- 제조나노물질은 세포막과 혈액-뇌 장벽을 투과할 수 있다.
- 제조나노물질은 체내에 축적될 수 있다.

위 정보와 같은 내용은 물질안전보건자료의 '8. 노출방지 및 개인보호구', '11. 독성에 관한 정보', '12. 환경에 미치는 영향' 항목에 보다 구체적으로 기재합니다.

### 1.3. 구성성분의 명칭 및 함유량

나노제품에서 중량비율이 1% 이상인 모든 구성성분의 명칭과 함유량을 기재합니다. 특히 유해성·위험성 분류에 영향을 미치거나 노출 기준이 설정돼 있는 성분 등이 있는지 확인합니다.(발암성 물질 및 생식세포 변이원성 물질은 0.1% 이상, 호흡기과민성물질(가스)은 0.2% 이상, 생식독성물질은 0.3% 이상인 경우 모두 기재합니다.)

주요성분, 첨가제(안정제 등) 등을 포함한 구성 성분, 나노물질의 타입, 양, 코팅, 기능화에 관한 정보 등을 아래와 같이 기재합니다.

- 화학물질명칭. (예 : Nano TiO<sub>2</sub>)
- 화학구조 및 나노입자의 결정구조. (예 : 막대 또는 바늘모양 결정형의 금홍석 구조 또는 날카로운 송곳 모양(때로는 판 모양) 결정형의 예추석 구조)
- 나노입자의 형태. (예 : 미세입자 또는 섬유상)
- 나노입자의 중량비율. (예 : 1% 나노입자)
- 나노 크기 불순물. (예 : 금속 산화물)
- 기능화 또는 코팅 여부.

구성성분의 명칭 및 함유량에 관한 정보는 다음 예시와 같이 적을 수 있습니다.

- 이 용액은 산화세슘 나노입자를 포함하고 있다. 따라서 스프레이로 분사할 경우에는  $10\mu\text{m}$  미만의 에어로졸에 산화세슘 나노입자가 함께 분출된다.
- 실리카가 코팅된 산화 티타늄(막대 또는 바늘모양 결정형의 금홍석) 나노입자.
- 은(원소) 나노입자 형태의 함유물.
- 은(원소) 나노제품이 분산돼 있는 함유물.
- 다중벽탄소나노튜브 형태의 탄소(흑연)가 포함된 함유물.

#### 1.4. 물리화학적 특성

제조나노물질은 일반 화학물질과 성분이 같더라도 기계·전자기·광학·화학·생물학적 특성이 다를 수 있습니다. 현재 국제적으로 이 특성들에 관해 논의하고 있으나 아직 결론에 이르지 못한 상황입니다. 따라서 다음을 참고해 적도록 합니다.

- 입자 크기분포에 따른 정보 : 입자 크기분포를 정확히 모를 때는 알고 있는 분포 범위를 기재합니다. (예 : 10nm 크기 정도의 나노입자를 포함하고 있다.) 제품 크기분포가 최대 200nm까지 있을 경우에는 일반적으로 100nm 이하 입자분포만 기재합니다. 왜냐하면 부피가 큰 나노입자는 나노 특성이 약해 제외할 필요가 있으며, 중량이 작은 나노입자는 상대적으로 함유량이 낮아져 과소평가될 우려가 있기 때문입니다. 이는 건강유해성과도 관련이 있습니다.
- 수용해도 : 나노물질의 안정성을 추정할 수 있는 정보 중 하나입니다. 나노물질을 용매에 넣으면 분자(또는 이온) 형태로 용해되거나 나노입자 그대로 분산된 형태를 띩니다. 수용해도는 이들 두 가지 형태를 예상하는 데 도움이 되는 중요한 정보입니다.
- 응집 : 나노입자는 보통 서로 붙으려는 성질이 있어, 개별 나노입자의 비중이 점차 줄어들어 듭니다. 응집돼 커진 나노입자들은 개별 나노입자의 생물학적 특성 등과 거리가 있어 별크물질로 취급되므로 응집체의 크기가 중요합니다.

- 모양 및 길이-직경 비율 : 탄소나노튜브나 나노섬유처럼 종횡비가 큰 섬유형태인 경우, 그 특성을 기재합니다.
- 결정형 여부
- 비표면적( $m^2/cm^3$ ,  $m^2/g$ )
- 분산성 : 공기, 물 등 매질 내 분산성과 매질과의 반응성에 대한 정보를 적어, 잠재적인 위험성 평가에 활용할 수 있도록 합니다.
- 응집체의 안정성 : 응집체는 특정한 환경에서 분리될 수 있고, 그렇게 분리된 나노입자는 본래의 유해성·위험성을 되찾을 수 있기 때문에 응집체의 안정성은 매우 중요한 문제입니다.
- 산화환원성 : 나노물질의 산화환원성은 전자의 이동을 포함하며, 코팅된 나노물질은 산화환원성이 바뀔 수 있다는 사실에 유의합니다.
- 촉매 또는 광촉매 반응성 : 빛에 의해 매우 활동적인 자유라디칼을 형성하는 반도체의 경우, 광촉매 반응성이 나타날 수 있습니다. 물질 타입과 나노입자 크기, 표면 변형, 도핑 위치 등 여러 특성에 좌우되며, 반응 양상도 다양합니다.
- 라디칼 형성 가능성 : 나노물질의 위험성을 평가하는 중요한 요소입니다.

물리화학적 특성에 관한 정보는 다음 예시와 같이 적을 수 있습니다.

- 제품 중  $CeO_2$  나노물질(비표면적<sup>Specific surface area</sup> SSABET 20~85 $m^2/g$ , 직경 10~40nm) 이 90% 포함돼 있다.
- 이 제품은 코팅되지 않은 나노입자(직경 50~200nm)를 함유하고 있다.
- 입자 크기분포에 있어 최대 주파수는 50nm에서 발생한다.
- 나노물질의 코팅은 응집현상을 방지한다.
- 응집체(200nm)는 신체나 특정한 환경에서 본래 단일입자 형태로 분리될 수 있다.
- 함유된 산화 티타늄을 기능화(코팅)한 것이 그렇지 않은 것에 비해 광촉매효과가 약하다.
- 반응성이 같은 성분의 벌크물질에 비해 상당히 크다.
- 산소 라디칼 형성이 촉진될 수 있으니 사용에 유의해야 한다.

- 제품은 촉매 작용 또는 산화환원성이 있다.
- 산화 티타늄 나노입자는 안정적이다.(분해되지 않음, 수용성.)
- 다중벽탄소나노튜브(직경 20~40nm, 길이 500nm, 길이-직경 비 10:1)가 함유돼 있다.

## 2. 중요 항목

- 폭발·화재 시 대처법
- 취급 및 저장 방법
- 노출방지 및 개인보호구
- 폐기 시 주의사항

### 2.1. 폭발·화재 시 대처법

제조나노물질은 벌크물질에 비해 폭발, 화재, 촉매반응 등을 일으킬 가능성이 대체로 높습니다. 물질이 작을수록 비표면적이 넓어져 표면에너지가 커지고, 최소발화에너지가 줄어들면서 연소할 가능성이 커지기 때문입니다. 예를 들어 철 나노입자는 자연발화성이 커서, 공기 중에서 갑자기 불꽃을 내며 탈 수 있습니다. 또한 나노물질은 진공청소기 등 공기 유속이 빠른 필터에 쌓이면 자연발화 위험성이 더욱 커집니다. 어떤 나노물질은 물과 반응해 수소 가스를 만들고, 쉽게 발화하기도 합니다. 탄소나노분말 같은 전도성 나노물질은 전자기기의 미세한 틈에 들어가 합선 등을 일으켜 불을 낼 수도 있습니다.

자연발화성 나노물질의 경우, 다음 예시와 같이 폭발·화재 시 대처법에 관한 정보를 적을 수 있습니다.

- 철 나노입자는 인화성 및 가연성이 높음.
- 철 나노입자는 자연발화성이 있음.

- 열·스파크, 화염, 고열로부터 멀리하십시오. - 금연
- 공기에 접촉시키지 마시오.
- 불을 끌 때 건조모래를 사용하십시오.

물 반응성(물과 반응해 가연성가스를 발생시키는 성질)이 있는 일부 금속나노물질의 경우, 상황에 맞는 소화제를 골라야 합니다. 예를 들어 금속 분말용 소화제는 금속 먼지를 더 퍼뜨려 폭발과 연소의 위험을 키울 수 있기 때문에 공기 흐름에 신경 써야 합니다. 이산화탄소, 질소 등 불활성가스 소화제를 쓸 때는 질식되지 않도록 조심해야 합니다.

이렇게 여러 나노물질의 특성을 정확히 파악하고, 특정 환경에 따른 다양한 폭발·화재 대처법을 적는 것은 매우 중요합니다.

## 2.2. 취급 및 저장 방법

제조나노물질을 취급하거나 저장할 때는 작업자가 노출되는 일이 없도록 미리 조치해야 합니다. 예를 들어 공기 중으로 떠오른 나노분진은 오랫동안 쉽게 가라앉지 않습니다. 산화금속 나노물질과 같이 위험한 물질은 각별한 주의를 기울여야 합니다.

다음 절차를 따르면 나노물질을 취급하거나 저장할 때 노출을 줄일 수 있습니다. 노출을 줄이는 방법은 본문 '4장. 노출 감소 전략'을 참고해 작성하며, 기술적인 보호 방법-행정적인 보호 방법-개인적인 보호 방법 순으로 이루어지도록 합니다.

### 2.2.1. 기술적인 보호 방법(예시)

- 잠금 기능을 사용한다.
- 분진 또는 에어로졸이 발생하지 않도록 막는다.
- 분진이나 에어로졸의 발생원에서 포집한다.
- 배출공기는 필터를 거쳐 처리한다.

- 작업공간을 구획해 분리하고 내부는 음압을 유지한다.
- 청소는 축축하게 젖은 상태에서 하고, 진공청소기는 꼭 필요한 경우에만 쓴다. 압축공기를 분사하는 청소 방식은 삼간다.
- 빠르게 연소하는 등 화재 위험이 있는 나노물질은 이산화탄소, 질소 등 불활성가스로 공기 농도를 조절하고, 방폭 설비를 갖춘다.

### 2.2.2. 행정적인 보호 방법(예시)

- 노출 시간을 최소화한다.
- 노출 인원을 최소화한다.
- 접근을 제한한다.
- 위험 및 보호 방법에 대한 교육을 실시한다.

### 2.2.3. 개인적인 보호 방법(예시)

- 나노입자가 방출되고 있는 발생원에서 포집해야 한다.(해파필터(예 : H14) 장착.)
- 청소는 축축하게 젖은 상태로 한다. 진공청소기는 꼭 필요한 경우에만, 해파필터(예 : H14)가 달린 제품을 쓴다. 진공청소기의 필터를 교환하거나 청소할 때는 나노입자 노출에 신경 쓴다. 분진을 날리는 방식으로 청소하지 않는다.
- 에어로졸 발생을 막고 점화원을 없앤다.
- 컨테이너에 분말 형태의 나노물질을 쌓아 놓고 작업할 때는 호흡용 마스크(특급 필터 장착), 보호의(부직포 재질), 보호장갑(니트릴고무 재질, 두 겹 착용)을 하고, 진공 또는 포위식 환기장치가 설치된 곳에서 한다.

### 2.2.4. 저장 방법(예시)

- 분말 형태의 나노물질은 정전기 방지용 백(아르곤 또는 질소가 충전됐거나 밀봉 진공 포장된 것.)에 저장한다.
- 금속나노분말은 정전기 방지용 백에 넣고, 공기가 없는 금속재질의 컨테이너 안에서 백을 용접, 밀봉시켜 저장한다.

### 2.3. 노출방지 및 개인보호구

제조나노물질에 대한 작업 환경 노출 기준(단시간 최대허용농도 포함)은 차차 논의되는 중으로 아직 정해지지 않았습니다. 따라서 기본적으로 가능한 한 노출되지 않도록 합니다.

노출방지 및 개인보호구에 관한 일반적인 정보는 다음 예시와 같이 적을 수 있습니다.

- 현재 나노입자가 포함된 물질에 대한 노출 기준이 정해져 있지 않으므로 독성학적 또는 직업건강적인 측면에서 노출을 최소화한다.
- 독일 산업안전보건연구원<sup>BGIA-DGUV</sup>은 밀도가  $6,000\text{kg/m}^3$  미만, 크기가  $1\sim 100\text{nm}$  범위에 있는 과립 모양의 항생 나노물질의 경우 입자 농도를  $40,000\text{개/cm}^3$ 로 권고하고 있다.

노출방지는 '7. 취급 및 저장 방법'의 기술, 조직, 개인 이렇게 세 단계를 밟아 가능한 한 노출되지 않도록 합니다. 예를 들어 진공 룸이나 포위식 환기장치에서 나노물질을 취급하면 작업자가 나노물질에 노출되는 것을 줄일 수 있습니다.

노출방지에 관한 정보는 다음 예시와 같이 적을 수 있습니다.

- 나노입자가 포함된 에어로졸은 발생원에서 포집해 노출을 최소화한다.
- 위험지역은 구획을 정해 구분하고 포위식 환기장치 안에서 작업한다.
- 제조나노물질을 취급하는 장소에는 허가된 작업자만 드나들고, 그 외에는 접근을 제한한다.
- 제조나노물질에 노출되는 횟수·시간·수량을 최소화한다.
- 발생원에서 배출되는 나노입자는 해파필터(예 : H14)가 달린 장치로 포집한다.
- 작업 환경 관리 등과 같은 이유로 나노입자가 발생하는 장소의 공기를 전체 작업 장소로 다시 순환시키는 경우에는 반드시 해파필터 등으로 공기를 여과시킨다.
- 작업장에 쌓인 분진은 축축하게 젖은 상태에서 진공청소기로 치운다.(압축공기로 분진을

날리는 식으로 청소하지 않는다.)

- 제조나노물질이 묻은 작업복과 일반 세탁물을 함께 두지 않는다.

개인보호구는 공학적인 배기시설과 관리적인 방법 등이 부족할 때 활용하는 보조수단입니다. 따라서 제조나노물질을 제어할 수 있는 제품을 골라야 합니다. 예를 들어 작업장이나 제품포장 표면 같은 데 제조나노물질이 묻어 있을 수 있으므로 보호장갑(니트릴고무 재질)을 두 겹 껴서 피부가 노출되지 않도록 막는 것이 좋습니다.

개인보호구에 관한 정보는 다음 예시와 같이 적을 수 있습니다.

- 호흡용 보호구 : 제조나노물질을 공기 중으로 내보내기 힘든 경우에는 기술적인 보호 조치 외에 추가로 방진용 필터(특급)가 달린 호흡용 마스크를 쓴다.
- 보호장갑 : 제조나노물질(액체, 고체, 분진 형태)에 직접 닿으면 안 되는 경우에는 보호장갑을 적어도 두 겹 이상 끼도록 한다. 두 겹으로 끼면 장갑을 벗을 때도 편하고, 피부를 보호하는 데도 좋다. 장갑 재질은 화학물질의 특성에 따라 선택하는데, 라텍스 외 화학용 조합 또는 두 겹의 니트릴 고무 재질 조합이 좋다. 장갑을 끼고 벗을 때는 주의하고, 보호의와 겹치게 껴서 피부를 보다 잘 보호할 수 있게 한다. 만약 장갑 표면이 손상되면 즉시 바꿔 낀다.
- 보호의 : 멤브레인 재질(부직포 또는 양모)의 긴소매 보호의를 입는다. 직물로만 된 보호의는 입지 않는다.
- 눈 보호 : 가급적 전면형 마스크를 쓰고, 없을 경우에는 방진용 보안경을 쓴다.

#### 2.4. 폐기 시 주의사항

폐기 과정에서도 제조나노물질이 노동자나 환경에 노출될 수 있습니다. 따라서 나노물질의 특성을 고려해 처리해야 합니다. 먼저 나노 폐기물에 대한 특정한 폐기 방법이 있는지 자료를 조사, 검토해야 합니다. 만약 나노물질의 고유한 특성 때문에 보건, 안전, 환경에 나쁜 영

향을 끼칠 우려가 있다면 나노물질이 포함된 폐기물을 유해물질로 처리해야 합니다. 유해성이 있는지 모르는 경우에는 잠재적 유해성 폐기물로 처리하는 것이 좋습니다. 통상 폐기 방법은 폐기물의 조성, 물리화학적 특성, 생물학적 특성을 감안해 친환경적인 내륙운송 방법을 포괄적으로 기재합니다.

만약 나노물질 폐기물이 폐기물관리법에 따른 지정폐기물일 경우에는 관련 규정에 따라 지정된 업체 또는 자체시설을 통해 처리합니다.

폐기 시 주의사항에 관한 정보는 다음 예시와 같이 적을 수 있습니다.

- 나노입자를 함유한 분말 형태의 폐기물은 백이나 포대에 밀봉해 안정화시킨 다음 폐기한다.
- 탄소나노튜브를 포함한 폐기물은 고온 연소처리방식을 택한다.

### 3. 선택 항목

- 누출 사고 시 대처법.
- 안전성 및 반응성.
- 독성에 관한 정보.
- 환경에 미치는 영향.
- 운송에 필요한 정보.

#### 3.1. 누출 사고 시 대처법

제조나노물질의 유해성, 위험성과 최악의 누출사고 시나리오를 감안해 기재합니다. 공기 중 재분산, 통제 불가능한 축적 및 폭발 등 제조나노물질의 물리화학적 특성도 함께 기재합니다.

다. 진공청소기 등으로 저장·축적하는 작업 내용도 위험성 측면에서 적도록 합니다. 진공청소기 등으로 청소할 때는 나노물질과 기타 폐기물이 함께 저장, 축적돼 폐기되는데, 폐기물 처리 측면에서는 이들을 분리해 처리하는 것이 경제적입니다. 따라서 나노물질은 해파필터가 달린 진공청소기로 걸러내고, 기타 물질과 분리해 수거하도록 합니다.

제조나노물질이 든 용액이 흘렀을 경우에는 흡수가 잘되는 물질로 닦아 내고, 작업장 출구에는 흡수매트를 놓도록 합니다. 누출 장소에는 임시로 차단벽을 설치, 공기 흐름을 줄여 나노물질이 되도록 퍼지지 않도록 합니다. 용액이 마른 다음에는 해파필터가 달린 진공청소기로 나노물질을 치웁니다. 다만 해파필터를 고를 때는 성능을 꼼꼼히 검토합니다.

누출된 나노입자농도를 측정할 경우에는 진공청소기에서 나노입자가 생성돼 나노물질농도가 높아질 수 있다는 점을 기억합니다.

### 3.2. 안정성 및 반응성

자연발화성 나노물질 제품의 경우에는 일반적인 대기 환경에서 자연발화를 일으키는 시간과 발화를 막을 수 있는 조건을 함께 기재합니다. 폭발 범위의 상한 값, 하한 값뿐 아니라 다음과 같은 정보도 함께 기재합니다.

- 물, 공기, 온도 등 피해야 할 조건 및 물질.
- 발열반응을 일으킬 수 있는 조건.
- 분해 시 생성되는 유해물질.

### 3.3. 독성에 관한 정보

GLP(우수실험실운영기준) 시험 결과 등의 독성학적 정보와 함께 잠재적인 건강 영향을 기재합니다. 제조나노물질과 성분이 동일한 벌크물질 정보와 함께 무해영향농도 등 영향이 없는

조건에 대한 정보도 함께 기재합니다.

- 생난분해성.
- 생체내구성.

만약 이용할 수 있는 정보가 없다면 다음과 같이 기재합니다.

“이 물질에 대한 이용 가능한 독성 정보가 없으므로 ‘취급 및 저장 방법’ 항목에 기재된 사항을 참고해 취급하기 바람.”

### 3.4. 환경에 미치는 영향

GLP 등에 따른 시험 결과, 과학적인 평가로 얻은 ‘환경에 미치는 영향’에 관한 정보를 기재합니다.

### 3.5. 운송에 필요한 정보

국내 혹은 국제 운송지침에 의거해 포장, 표시, 라벨, 서류 등 필요한 내용을 기재합니다. 다만 제조나노물질에 대한 UN GHS 분류기준이 없을 때는 ‘취급 및 저장 방법’ 등에 관한 사항과 각 나라 및 지역의 규제 지침을 따르도록 기재합니다.

## 부록 5. 제조나노물질 제조·취급 작업장 안전 체크리스트

구분	번호	평가 항목	평가	
			○	×
일반	1	제조나노물질을 제조하거나 취급하나요?		
	2	어떤 제조나노물질을 제조하거나 취급하는지 파악하고 있나요?		
	3	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 공정이나 설비를 파악하고 있나요?		
	4	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 노동자를 파악하고 있나요?		
노출 평가 및 관리	5	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 노동자들이 제조나노물질의 노출 위험성(가능성)을 알고 있나요?		
	6	제조나노물질에 대한 노출 평가를 주기적으로 실시하고, 그 결과를 보관하고 있나요?		
	7	노출 평가를 실시하고 있다면 평가 결과에 따라 노동자 및 공정 등을 관리하고 있나요? (국소배기장치 설치 등 노출수준 저감 노력 여부)		
노출 감소 전략	8	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 장소가 그렇지 않은 장소와 나뉘어 있나요?		
	9	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 노동자가 제조나노물질의 노출을 줄이기 위한 작업 방법을 알고 있나요?		
	10	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 설비에서 분진이 날리지 않도록 밀폐 또는 국소배기장치 등 공학적 관리를 하고 있나요?		
개인보호구 및 위생관리	11	제조나노물질에 노출되는 노동자가 적합한 보호구를 착용하고 있나요? (예: 특급방진마스크, 보안경(고글) 등)		
	12	호흡용 보호구 및 그 여과재를 주기적으로 교환하고 있나요?		
	13	세면기나 샤워설비가 있고, 또 제 기능을 하고 있나요?		
	14	작업장에서의 식음료 섭취나 흡연 등이 금지돼 있나요?		
저장	15	제조나노물질 저장 용기를 밀봉 보관하고 있나요?		

구분	번호	평가항목	평가	
			○	×
청소	16	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 작업장의 바닥과 설비 등에 쌓인 분진을 정기적으로 청소하고 있나요?		
	17	제조나노물질 청소 시 습식방식이나 고성능필터(HEPA) 진공청소기를 활용하고 있나요?		
폐기	18	제조나노물질이 포함된 폐기물을 분진이 바깥으로 새지 않도록 밀봉해 적절한 절차에 따라 폐기하고 있나요?		
건강영향 파악	19	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 노동자에게 주기적으로 건강검진을 실시하는 등 건강영향을 파악하고 있나요?		
유해성 정보 전달	20	제조나노물질을 제조하거나 취급하는 노동자가 제조나노물질의 유해성을 알고 있나요?		
	21	제조하거나 취급하는 제조나노물질에 대한 물질안전보건자료를 비치하고 있나요?		
	22	제조하거나 취급하는 제조나노물질을 양도·제공하거나 받을 때 물질안전보건자료를 제공하거나 받고 있나요?		
	23	제조나노물질에 대한 물질안전보건자료 내용에 나노물질에 관한 특성 등의 내용이 반영돼 있나요?		
	24	제조나노물질을 보관하는 용기에 적합한 경고 표지가 붙어 있나요?		
	25	제조나노물질의 유해성과 노출 저감 등에 관한 교육을 실시하고 있나요?		

**종합 의견**

담당자	(서명)	점검일시	년	월	일
관리 책임자	(서명)	개선일시	년	월	일
확인					

## 부록 6. 용어 해설<sup>\*</sup>

### • 양자점

전기적, 광학적, 화학적(촉매)으로 특이점이 있는 새로운 반도체물질로, 크기가 2~10nm인 작은 집합체입니다. 통상적으로 원자를 103~105개 포함하고, 고체구조와 단일 분자성 물질의 중간물질로 알려져 있습니다. 양자점은 입자크기에 따라 내보내지는 빛의 파장이 다릅니다. 이 차이를 이용해 빛을 조율할 수 있는 특성이 있어, 촉매, 의료기 조영제, 광학장비 및 센서 등에 응용되기도 합니다.

### • 사전주의 원칙

새로운 기술이 심각하게 위험하거나 비가역적일 것으로 예상될 경우, 불확실한 부분이 완전히 밝혀질 때까지 위험 관리 정책 등을 미리 적용하는 것을 의미합니다.

### • 응집(체)

입자, 응집체 또는 이 둘이 약하게 결합된 형태로, 실제 표면적은 개별성분의 표면적을 합한 것에 비해 작습니다. 형태는 반데르 발스 힘 또는 물리적으로 간단하게 엉켜 있는 힘에 기반하며, 원료 구성성분이 1차 입자라면 응집(체)는 2차 입자로 불립니다.

### • 집합(체)

강하게 결합된 입자 또는 융합된 입자들 형태로, 실제 표면적은 개별성분의 표면적을 합한 것에 비해 훨씬 작습니다. 형태는 공유결합, 소결 또는 물리적으로 복잡하게 엉켜 있는 힘에 기반하며, 원료 구성성분이 1차 입자라면 집합(체)는 2차 입자로 불립니다.

---

• ISO PDTS 12901-2:2012, Nanotechnologies—Guidelines for occupational risk management applied to engineered nanomaterials—part 2:The use of the control banding approach in occupational risk management의 내용 중 일부 발췌.

- **컨트롤 밴딩**

위험성<sup>Risk</sup>을 판단해 조치<sup>Control</sup> 수준을 결정할 때, 구간으로 정한 유해성<sup>Hazard</sup>과 노출 정도<sup>Exposure</sup> 매트릭스를 써서 최종 위험성<sup>Risk</sup>을 판단하는 방식입니다.

- **플로렌**

자연적으로 발생하는 탄소의 네 가지 형태 중 하나로 주로 탄소로 이루어져 있고, 빈 구형이나 튜브 모양을 띕니다. 육각형 탄소 고리의 판상으로 이루어진 흑연과 구조가 비슷하지만, 삼차구조를 가능하게 하는 오각형이나 칠각형 링을 포함하기도 합니다. 탄소 원자가 60개 (C60)인 플로렌은 buckminster fullerens이나 버키볼로 잘 알려져 있으며, 화학적으로 안정돼 있어 일반 수용액에 녹지 않습니다. 리튬이온전지, 태양전지, 연료셀, 산소와 메테인 저장 물질, 플라스틱 첨가제, 암과 AIDS 치료제 등과 같이 첨단 분야에 광범위하게 응용되고 있습니다.

- **TEM Grid**

구리, 니켈, 몰리브덴 등 다양한 재질과 탄소막으로 이루어진 격자무늬 모양 판입니다. Grid에 바로 시료를 채취해 투과전자현미경으로 분석하면 나노입자의 모양과 성분을 확인할 수 있습니다.

# 출처

1. 윤충식 등. 나노물질 측정 프로토콜 작성 및 나노물질 노출 실태 조사 연구. 산업안전보건연구원 2013
2. 이나루 등. 나노물질 노출에 대한 컨트롤 밴딩 접근 개발 연구. 산업안전보건연구원 2015
3. KOSHA GUIDE W-20-2012, 나노물질 제조·취급 근로자 안전보건에 관한 기술지침
4. ISO TR 12885:2008, Nanotechnologies-Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies
5. ISO PDTS 12901-2:2012, Nanotechnologies-Guidelines for occupational risk management applied to engineered nanomaterials-part 2:The use of the control banding approach in occupational risk management
6. ISO TR 13329:2012, Nanomaterials, Preparation of Material Safety Data Sheet (MSDS)
7. ISO TS 12901-2:2014, Nanotechnologies, Occupational risk management applied to engineered nanomaterials . Part 2: Use of the control banding approach
8. ISO TR 13014:2012, Nanotechnologies, Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment
9. NIOSH, 2014-102, Nanomaterial Production and Downstream Handling Processes
10. NIOSH, 2013-145, Current Intelligence Bulletin 65, Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers
11. NIOSH, 2009-125, Approaches to safe Nanotechnology-Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineering Nanomaterials
12. HSE, 2013, Using nanomaterials at work-Including carbon nanotubes(CNTs) and other biopersistent high aspect ratio nanomaterials(HARNs)
13. HSE, 2011, Health and Safety Executive NanoAlert Service
14. BSI PD 6699-3:2010, Nanotechnology-Part 3 Guide to assessing airborne exposure in occupational settings relevant to nanomaterials
15. European Agency for Safety and Health at Work, 2012, Risk perception and risk communication with regard to nanomaterials in the workplace
16. European Agency for Safety and Health at Work, 2009, Workplace exposure to nanoparticles
17. EC Nanotechnology EHS Landscape Document 2011, Observatory NANO Work Package 5,

Health, Safety and Environment

18. inrs, 2013, NANOMATERIALS Current situation and prospects in occupational health and safety
19. invs, 2012, Feasibility of an Epidemiological Surveillance System for Workers Occupationally Exposed to Engineered Nanomaterials
20. inrs ED6050:2012, Feasibility of an Epidemiological Surveillance System for Workers Occupationally Exposed to Engineered Nanomaterials
21. anses, 2010, Development of a specific Control Banding Tool for Nanomaterials
22. Ji Hyun Lee, Won Kwen Kuk, Miran Kwon, Jong Han Lee, Kwon Sub Lee. Evaluation of information in nanomaterial safety data sheets and development of international standard for guidance on preparation of nanomaterial safety data sheets. *Nanotoxicology* 2012 Early Online: 1-8
23. State Secretariat for Economic Affairs (SECO) in Switzerland, Safety data sheet(SDS) Guidelines for synthetic nanomaterials
24. Robert R Mercer Email author, Ann F Hubbs, James F Scabilloni, Liying Wang, Lori A Battelli, Diane Schwegler-Berry, Vincent Castranova and Dale W Porter. Distribution and persistence of pleural penetrations by multi-walled carbon nanotubes. *Particle and Fibre Toxicology* 2010 7:28. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-7-28> © Mercer et al; licensee BioMed Central Ltd, 2010 (We used a photo of FESEM of MWCNT penetration of alveolar epithelial cells for cover paper)

## 발행

고용노동부 산업보건과(044-202-7741, 30117 세종특별자치시 한누리대로 422 정부세종청사 11동)  
안전보건공단 산업안전보건연구원(042-869-0321, 34122 대전광역시 유성구 엑스포로 339번길 30)  
[2017-연구원-807]

2017 Copyrights Ministry of Employment and Labor. All Rights Reserved.