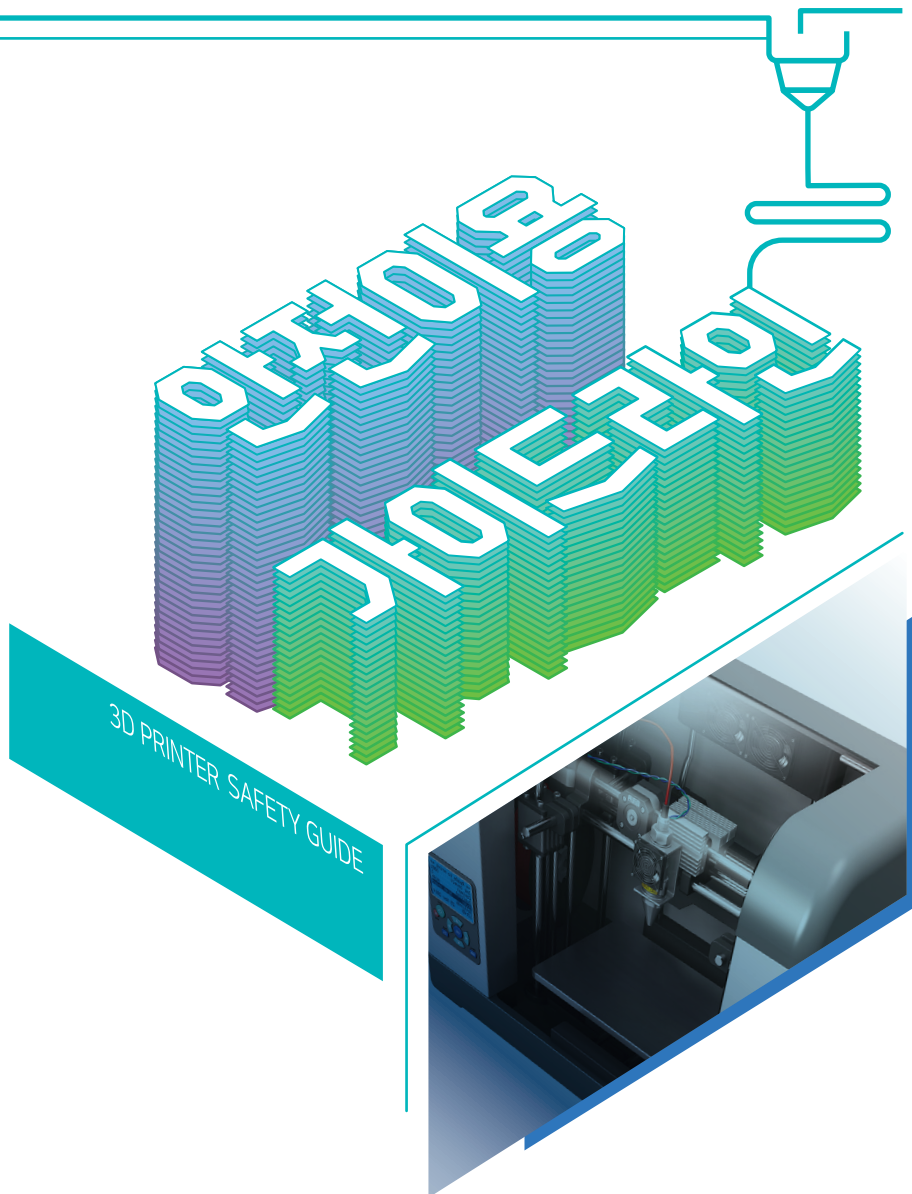


3D프린터 안전 이용 가이드



과학기술정보통신부

차례



I. 3D프린터 안전 이용 가이드라인 개요	03
II. 3D프린터 사용 시 발생하는 유해물질	04
III. 3D프린터 사용 안전 수칙	07
1. 3D프린터 사용자 안전 행동요령	08
2. 3D프린터 소재 선택 및 사용	11
3. 3D프린터 선택 및 사용	13
4. 3D프린터 설치 및 환기	17
IV. 3D프린터 사용 환경에 따른 안전 조치	20
<부록>	
1. 3D프린터 기술 및 작업 이해	24
2. 3D프린터 출력물 후가공 시 안전 수칙	25
3. 3D프린터 안전교육 안내	26
4. 용어 정리	27
5. 3D프린터 사용 시 방출될 수 있는 물질	28
참고	37
집필진 소개	40

I. 3D프린터 안전 이용 가이드라인 개요

1. 가이드라인 필요성

- 3D프린팅은 적층제조방식을 통하여 질적 중심의 기존 제조업에 변화와 혁신을 가져올 수 있는 기술로 주목 받고 있으며, 이에 정부는 2014년 3D프린팅 산업 발전 전략을 수립하고 3D프린팅 이용 확산과 산업 진흥을 위해 노력해왔다.
- 다만, 3D프린터 작동 중 인체에 해로운 물질이 방출된다는 연구가 다수 발표되었고, 특정 질병과 인과관계가 객관적으로 입증되지는 않았으나 충분한 안전조치 없이 장기간 노출된다면 건강상 위험이 발생할 가능성이 있다고 알려져 있다.
- 따라서, 안전하게 3D프린터를 이용할 수 있도록, 3D프린터 사용 시 발생하는 유해물질과 건강상 위험을 알리고, 안전하게 3D프린터를 이용하기 위한 방법을 안내하고자 본 가이드라인을 배포한다.

2. 가이드라인 대상 및 구성

대상	• 3D프린터 사용자 : 학교 교사, 학생, 일반인 • 3D프린터 : 보급형 3D프린터(필라멘트 용융 압출방식. 용어정리 참고) • 소재 : 필라멘트(PLA, ABS 등)
잠재적 위험성 안내	• 3D프린터 사용 시 발생하는 유해물질 소개
안전 수칙	• 3D프린터 사용자가 지켜야 할 행동요령 • 3D프린터와 소재 선택·사용 시 안전 수칙 • 3D프린터 설치·환기 시 안전 수칙
사용환경별 안전 조치	• 3D프린터 사용환경에 따른 안전조치 사례

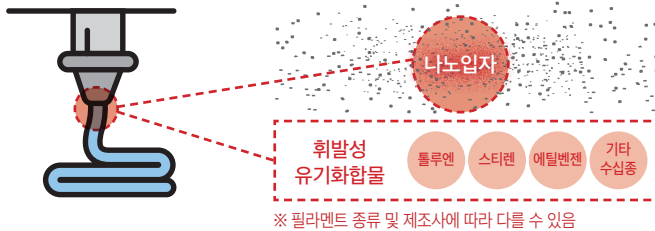
※ 본 가이드라인은 3D프린터 이용자 일반에 대한 것으로, 교육기관에서는 '교육기관 3D프린터 설치/운영 가이드라인'을 참조하여 세부사항 숙지

II. 3D프린터 사용 시 발생하는 유해물질

3D프린터 작업 중 발생하는 주요 유해물질은?

- ➔ 1. 나노입자 포함 입자상 물질
- 2. 휘발성유기화합물(VOCs)

▶ PLA, ABS 등 플라스틱 필라멘트를 주로 사용하는 보급형 3D프린터는 소재를 고열로 녹이는 과정에서 나노 입자와 휘발성유기화합물이 발생한다.

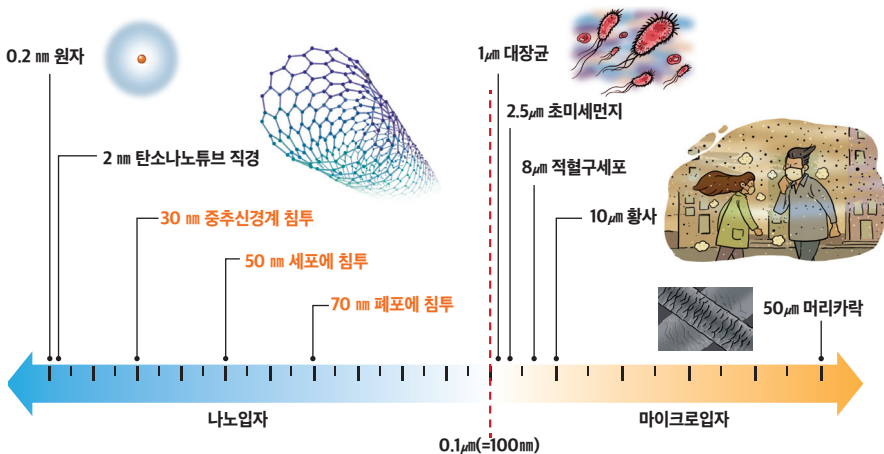


1. 나노입자(Nanoparticle, Ultra fine particle 등)

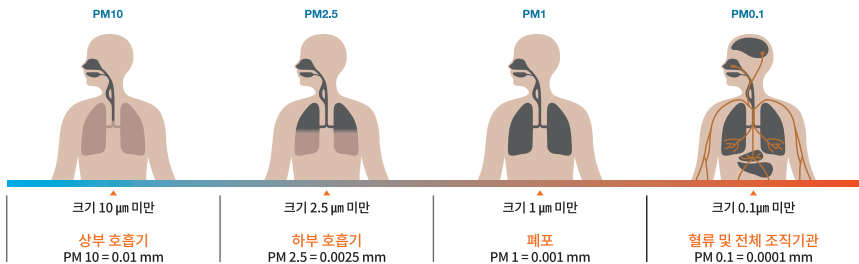
• 나노입자는 지름이 0.1마이크로미터(μm)*보다 작은 미세입자를 의미하며, 초미세먼지 ($2.5\mu\text{m}$)보다 작은 입자이다.

* 100나노미터(nm)

※ (환경부) 3차원의 외형치수 중 최소 1차원의 크기가 1나노미터에서 100나노미터인 입자의 개수가 50퍼센트 이상 분포하는 물질



- 3D프린터 사용 시 다양한 크기의 미세입자가 방출되는데, 나노입자가 가장 많은 비중을 차지한다고 알려져있다.
- 나노입자가 건강에 미치는 영향에 대한 연구가 많지 않은 상황이지만, 입자 크기가 작을수록 호흡할 때 신체 깊숙한 곳까지 들어가 다양한 이상을 유발시킬 수 있다고 알려져 있어 주의가 필요하다.



2. 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds)

- 휘발성유기화합물은 공기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체 상태 유기화합물의 총칭으로 유기용제 등에 포함되어있다.



- 휘발성유기화합물이 피부에 닿거나, 호흡기를 통해 흡입되는 경우 신체에 영향을 줄 수 있으며, 악취를 발생시키는 물질이 있다.



- 3D프린터 사용 시 소재의 종류와 첨가제에 따라 다양한 휘발성유기화합물이 방출된다고 알려져있다.
- * 주요 방출 물질: (PLA) 락티드, (ABS) 스티렌, (나일론) 카프로락탐 등

▶미국 인증기관 UL에서는 3D프린팅 가동 중 방출되는 미세입자와 휘발성유기화합물 허용 기준을 만들어 활용하고 있다.

* UL(Underwriters Laboratories) : 제품안전 시험 실시 및 인증 기관

<3D프린팅 작업 시 방출되는 유해물질의 허용 기준(사무실 기준)>

시험항목	최대 허용 방출량
총입자방출량(Total Particles)	3×10^{11} particles/h (2×10^{10} particle/g)
총휘발성유기화합물(TVOC)*	10.4 mg/h (office 기준)
폼알데하이드(Formaldehyde)	0.187 mg/h (office 기준)

* 총휘발성유기화합물, 폼알데하이드 외 80여개 물질에 대한 허용 방출량 제시

III. 3D프린터 사용 안전 수칙

안전수칙 1 3D프린터 사용자 안전 행동요령

- 1-① 3D프린터 사용 중에는 창문과 환기 장치를 이용하여 환기
사용 전·후에는 창문을 통해 1시간 이상 환기
- 1-② 3D프린터 사용 중, 사용 공간에 가급적 머무르지 않기
사용 시 얼굴 부위(호흡기 부위)를 노즐에서 멀리하기
- 1-③ 3D프린터 사용 공간 출입 시 개인보호장비 착용
- 1-④ 노즐온도는 3D프린터 및 소재별 권장 온도보다 높게 설정하지 않기
- 1-⑤ 3D프린터, 안전장비, 3D프린터 주변 및 바닥 등 사용 공간 청소

안전수칙 2 3D프린터 소재 선택 및 사용

- 2-① 물질안전보건자료(MSDS)를 확인할 수 있는 소재 사용
- 2-② 학교, 가정에서 실습용으로 PLA 소재 사용

안전수칙 3 3D프린터 선택 및 사용

- 3-① 헤파필터와 카본필터가 있는 밀폐형 3D프린터 선택 및 사용
- 3-② 개방형 또는 필터가 없는 밀폐형 프린터 사용 시 안전조치 필요
(안전부스 또는 포위식 국소배기장치 사용)

안전수칙 4 3D프린터 설치 및 환기

- 4-① 3D프린터 사용을 위한 별도 공간 마련
- 4-② 3D프린터는 내부 공기가 원활히 빠져나가는 창문 근처에 설치
공기 흐름이 사용자의 호흡기를 보호하도록 공간배치

안전수칙 1. 3D프린터 사용자 안전 행동요령

3D프린터 사용자가 지켜야 할 행동은?

- 1-① 3D프린터 사용 중에는 창문과 환기 장치를 이용하여 환기
사용 전·후에는 창문을 통해 1시간 이상 환기
- 1-② 3D프린터 사용 중, 사용 공간에 가급적 머무르지 않기
사용 시 얼굴 부위(호흡기 부위)를 노즐에서 멀리하기
- 1-③ 3D프린터 사용 공간 출입 시 개인보호장비 착용
- 1-④ 노즐온도는 3D프린터 및 소재별 권장 온도 보다 높게 설정하지 않기
- 1-⑤ 3D프린터, 안전장비, 3D프린터 주변 및 바닥 등 사용 공간 청소

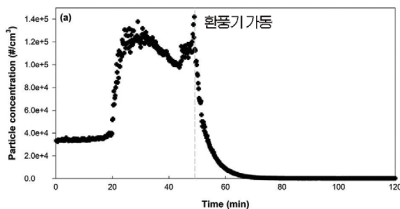
① 3D프린터 사용 중에는 창문과 환기 장치를 이용하여 환기 사용 전·후에는 창문을 통해 1시간 이상 환기



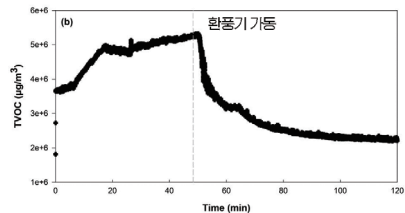
▶ 환풍기 등 환기 장치 사용 효과

- 환풍기 가동 후 3D프린터 작업 중 발생한 유해물질 농도가 낮아졌다.

<총입자수>



<총휘발성유기화합물(TVOC)>



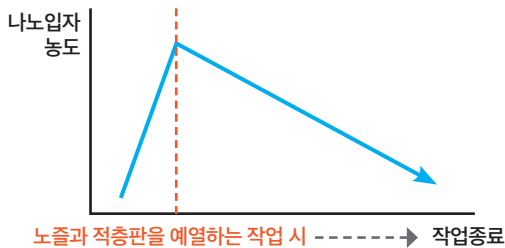
※ 자료 : Chemical Insight(2020년)

② 3D프린터 사용 시, 사용 공간에 가급적 머무르지 않기 사용 시 얼굴 부위(호흡기 부위)를 노즐에서 멀리하기



- ▶ 3D프린터 작업 중 나노입자의 방출 수준을 연구한 결과, 노즐과 적층판을 예열하는 과정에서 나노입자가 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 작업 종료 시점으로 갈수록 농도가 낮아졌다.

* 자료: (산업안전보건연구원, 2018년) 3D프린터 사용자에 대한 초미세입자 노출평가



③ 3D프린터 사용 공간 출입 시 개인보호장비 착용

- ▶ 노즐과 베드의 높은 온도에 의한 화상 예방을 위해 장갑을 착용한다.
- ▶ 유해물질이 입과 코를 통해 흡입되지 않도록 방진 마스크를 착용한다.

손 보호구	호흡용 보호구		
안전보호장갑	KF94 마스크 (최소 조건)	방진 마스크 (권장)	
		안면부 여과식	분리식

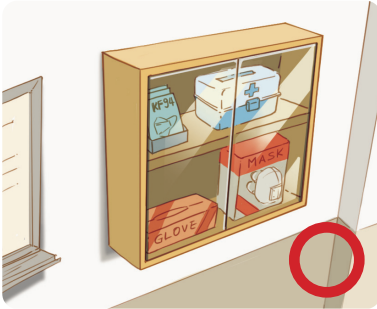
- ▶ 방진마스크와 KF94는 휘발성유기화합물 차단 효과가 미미하므로, 3D프린터 사용량이 많을 경우 방독마스크 권장

- ▶ 미세입자(평균 0.4~0.6 μ m 크기)를 94%이상 차단하는 1급 이상 마스크를 착용한다.

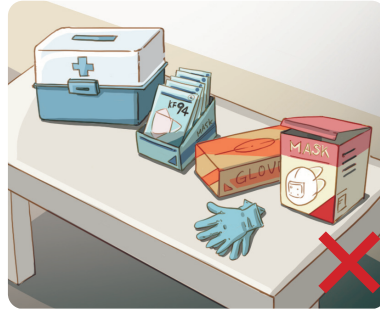
<방진 마스크 등급>

2급	1급	특급
미세입자 80% 이상 차단	미세입자 94% 이상 차단	미세입자 99% 이상 차단

- ▶ 개인보호장비는 오염되지 않도록 별도의 보관함에 넣어 관리한다.



[보관함에 보호구 보관]



[보관함 외부에 보호구 보관]

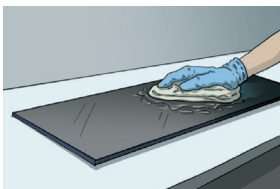
④ 노즐온도는 3D프린터 및 소재별 권장 온도보다 높게 설정하지 않기

- ▶ 노즐온도가 높을수록 유해물질이 더 많이 나온다는 연구결과가 있다.

소재	PLA	ABS
권장 노즐온도	190~230℃	215~250℃

* 권장 노즐온도는 3D프린터 및 소재에 따라 다를 수 있음

⑤ 3D프린터, 안전장비, 3D프린터 주변 및 바닥 등 사용 공간 청소



물수건(걸레)로 닦기



청소기(헤파필터 부착) 사용



손 씻기

안전수칙 2. 3D프린터 소재 선택 및 사용

3D프린터 소재 선택 및 사용 시 안전수칙은?

- 2-① 물질안전보건자료(MSDS)를 확인할 수 있는 소재 사용
- 2-② 학교, 가정에서 실습용으로 PLA 소재 사용

▶ 보급형 3D프린터에 많이 사용되는 소재는 필라멘트(PLA, ABS) 이다.

- PLA는 옥수수 전분을 주원료로 하여 생분해성을 가지는 소재로, 식품용기, 의료용품 제작에 많이 쓰인다.

* PLA : PolyLactic Acid

- ABS는 석유물질을 주원료로 하며, 내충격성과 내열성이 강해 장난감, 자동차 내·외장재, 가전제품 등 일상용품에 많이 쓰인다.

* ABS : 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌
(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)



① 물질안전보건자료(MSDS)를 확인할 수 있는 소재 사용

- ▶ 물질안전보건자료를 통해 주성분(PLA, ABS)의 함유량을 확인한다.
 - 품질, 색상, 강도 등 출력물에 부여할 특성에 따라 필라멘트에 가소제, 색소와 같은 다양한 첨가물이 들어간다.
 - 다만, 첨가물이 들어가면 3D프린팅 작업 시 유해물질이 더 많이 방출된다는 연구결과가 있으므로, 필요한 경우가 아니라면 첨가물이 적게 들어간 소재를 쓰는 것이 보다 안전하다.
- ※ 물질안전보건자료를 확인하여 주성분 함유량이 적다면 첨가물이 많은 것으로 판단할 수 있다.

물질안전보건자료(MSDS) - PLA 소재

구성성분의 명칭 및 함유량

화학물질명	관용명 및 이명(異名)	CAS 번호	EC 번호	함유량(%)
(3R,6R)-3, 6-Dimethyl-1, 4-dioxane-2, 5-dione polymer with rel-(3R, 6S)-3, 6-dimethyl-1, 4-dioxane-2, 5-dione and (3S, 6S)-3, 6-dimethyl-1, 4-dioxane-2, 5-dione	PolyLactide resin	9051-89-2	618-575-7	98
Calcium carbonate	탄산칼슘	471-34-1	207-439-9	2

물질안전보건자료(MSDS) - ABS 소재

구성성분의 명칭 및 함유량

화학물질명	관용명 및 이명(異名)	CAS 번호	EC 번호	함유량(%)
2-Propenenitrile polymer with 1, 3-butadiene and ethenylbenzene	ABS resin	9003-56-9	618-371-8	99
N,N'-ethylenedi(stearmide)	N,N'-Ethylenebis	110-30-5	203-755-6	0.5
Tris(2, 4-di-t-butylphenyl)phosphite	Typical Antioxidant	31570-04-4	250-709-6	0.5

※ 소재 제조사 또는 판매사는 구매자에게 물질안전보건자료를 반드시 제공하도록 되어있다.
따라서, 소재 구매 시 물질안전보건자료를 반드시 제공받아 구성물질 함유량 등을 확인해야 한다.

◆ 조달청 조달 소재 안내

- ▶ 조달청 소재는 시험인증기관에서 유해물질 함유량, 자연상태에서 휘발성유기화합물 방출량 등을 시험하여 일정 기준 통과된 경우에만 납품된다.

* 유해물질 성분분석(RoHS 기준), 가소제 6종(어린이제품 공통안전기준), 휘발성유기화합물(VDA 278 기준)

- ▶ 조달청 나라장터 소품목을 통하여 구입할 수 있다.

② 학교, 가정에서 실습용으로 PLA 소재 사용

- ▶ 일반적으로 PLA가 ABS보다 유해물질이 더 적게 나온다는 연구 결과가 있다.
- ▶ 품질, 강도, 내열성 등 특정 목적을 위하여 ABS가 필요하지 않은 경우, 실습용은 ABS보다 PLA를 사용하는 것이 바람직하다.

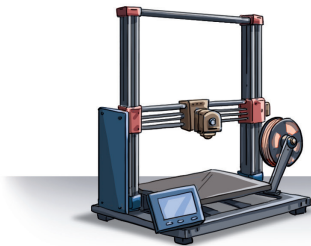
안전수칙 3. 3D프린터 선택 및 사용

3D프린터 선택 및 사용 시 안전수칙은?

- 3-① 헤파필터와 카본필터가 있는 3D프린터 선택 및 사용
- 3-② 개방형 또는 필터가 없는 밀폐형 프린터 사용 시 안전조치 필요
(안전부스 또는 포위식 국소배기장치 사용)

① 헤파필터와 카본필터가 있는 3D프린터 선택 및 사용

- ▶ 3D프린터는 구동부가 외부에 노출되어있는 개방형과 구동부를 챔버 내부에 넣어 밀폐한 밀폐형으로 구분된다.
- 개방형 프린터는 유해물질이 외부로 직접 방출되는 반면, 밀폐형 프린터는 유해물질의 확산을 방지하는 효과가 있어 유해물질 방출량이 개방형 프린터보다 상대적으로 적다.



(개방형 프린터)

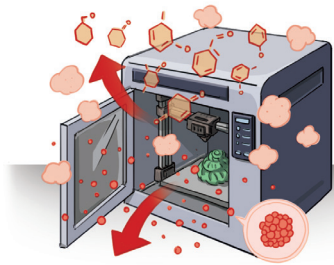


(밀폐형 프린터)

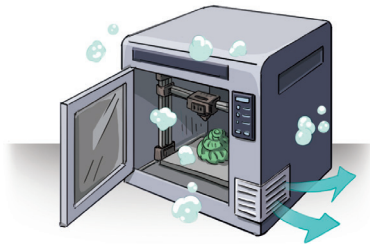
- 필터가 없는 밀폐형 3D프린터에서 출력물을 꺼낼 때 내부에 축적된 유해물질이 한꺼번에 방출될 수 있으므로 주의해야 한다.

▶ 밀폐형 프린터 중에서도 필터가 있는 제품을 선택해야 한다.

- 프린터를 밀폐·격리만 하더라도 나노입자 방출이 줄어드는 효과가 있지만, 필터가 없으면 나노입자를 충분히 줄이기 어렵고 휘발성유기화합물은 거의 줄어들지 않는다는 연구 결과가 있다.
- 3D프린터로부터 방출되는 유해물질을 차단하기 위해서는 3D프린터를 밀폐·격리하고, 필터로 방출된 유해물질을 정화해야 한다.



[필터 없는 밀폐형 3D프린터]
여는 순간 유해물질 방출이 많음



[필터 있는 밀폐형 3D프린터]
열어도 유해물질 방출이 거의 없음

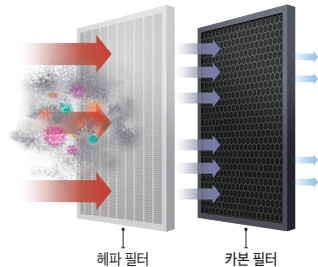
※ 출력 완료 후 챔버 내 공기를 정화시키기 위해 전원을 바로 끄지 않는다.

▶ 헤파필터(13등급 이상)와 카본필터를 모두 갖추어야 유해물질 저감에 효과적이다.

- 최소 헤파필터가 부착된 3D프린터를 사용해야 한다.
- 필터는 교체 주기를 확인 후 주기적으로 교체해야 한다.

< 필터의 종류 및 기능 >

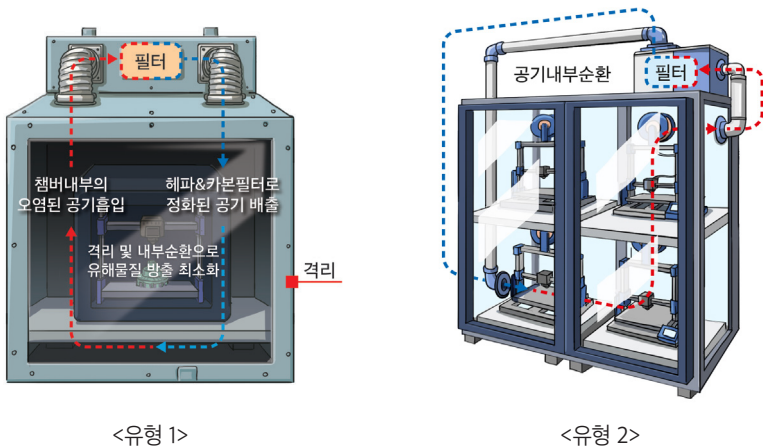
- 헤파(HEPA) 필터 → 나노입자(초미세입자) 저감
* 필터 등급은 헤파13 이상 ($0.3\mu\text{m}$ 크기 입자를 99.97% 제거)
- 카본(활성탄) 필터 → 휘발성유기화합물 저감, 냄새 차단



② 개방형(오픈형) 및 필터 없는 밀폐형(챔버형) 프린터 사용 시 안전조치 필요

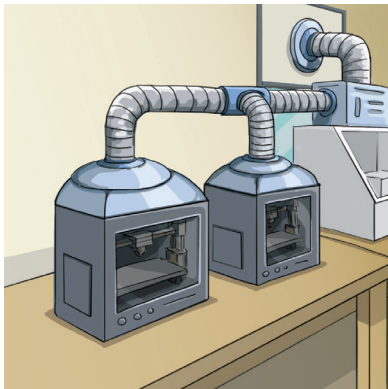
- ▶ 개방형 또는 필터가 없는 밀폐형 프린터는 필터가 있는 밀폐형 프린터로 교체하는 것이 바람직하지만, 프린터 교체가 어렵다면 유해물질 방출을 막는 안전부스 또는 포위식 국소배기장치를 활용해야 한다.
- 안전부스는 3D프린터를 격리하고 내부 순환을 통하여 안전부스 외부로 방출되는 유해물질을 최소화하는 장비이다.

[안전부스 사례]

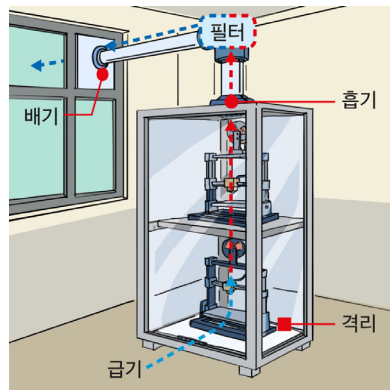


- 포위식 국소배기장치는 덕트를 통하여 유해물질을 빨아들이고, 공기정화장치로 정화한 뒤, 정화된 공기를 외부로 배출한다.
- 포위식 국소배기장치는 유해물질이 방출되는 곳을 포위하여 흡수하는 방식과 3D프린터를 챔버로 격리 후 챔버에 덕트를 연결하여 유해물질을 외부로 배출하는 방식 등이 있다.
- 포위식 국소배기장치는 작업공간, 프린터 수, 작업량 등을 고려하여 충분한 배기가 될 수 있도록 설치한다.

[포위식 국소배기장치 사례]



<유형 1>



<유형2>

- ▶ 필터가 있는 밀폐형 프린터도 안전부스나 포위식 국소배기장치를 사용하면 유해물질의 실내 유입을 더욱 저감할 수 있다.

안전수칙 4. 3D프린터 설치 및 환기

3D프린터 설치 및 환기 시 안전수칙은?

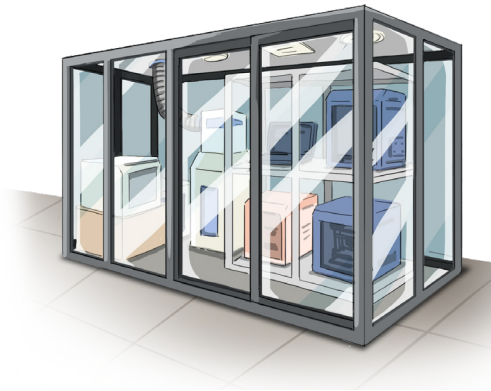
- 4-① 3D프린터 사용을 위한 별도 공간 마련
- 4-② 3D프린터는 내부 공기가 원활히 빠져나가는 창문 근처에 설치
공기 흐름이 사용자의 호흡기를 보호하도록 공간배치

① 3D프린터 사용을 위한 별도 공간 마련

- ▶ 3D프린터는 별도 전용 작업실을 마련하여 설치한다.
- ▶ 별도 공간 마련이 어려운 경우, 창고 등 상주가 필요없는 공간에 설치한다.
단, 창문 등 환기시설이 있어야 한다.
- ▶ 기술실, 과학실 등 다른 작업실에 설치할 경우에는 사용 중, 사용 후 충분한 환기를 하기 전까지 이용하지 않는다.



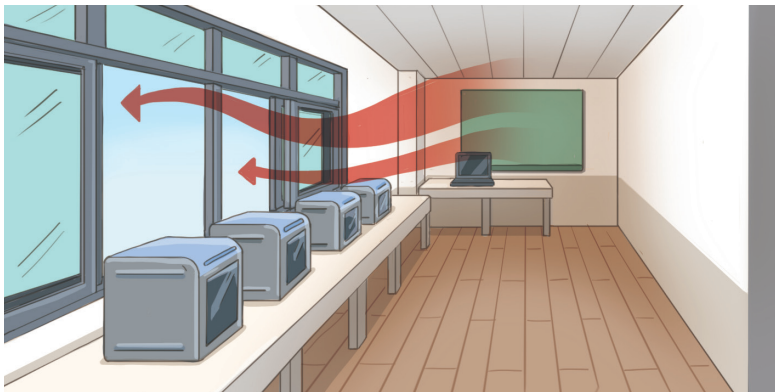
3D프린팅 작업공간 분리



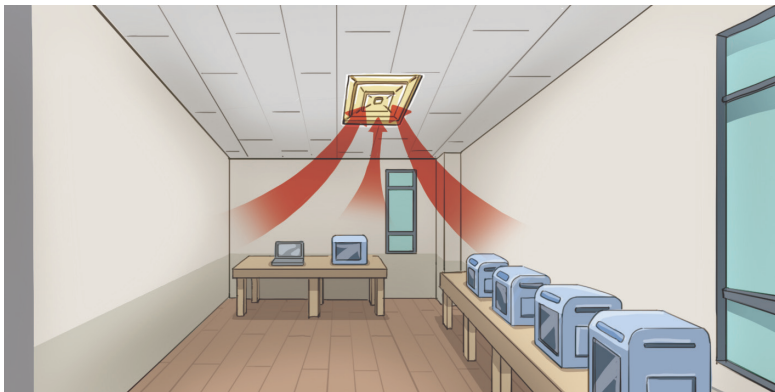
격벽으로 분리된 3D프린터 전용 장소

② 3D프린터는 내부 공기가 원활히 빠져나가는 창문 근처에 설치 공기 흐름이 사용자의 호흡기를 보호하도록 공간배치

- ▶ 3D프린터에서 방출되는 유해물질이 실내 공간에 쌓이지 않도록 창문을 통하여 전체환기를 해야한다.



- ▶ 자연환기만으로 공기 유입이 충분하지 않은 경우 또는 품질을 위하여 자연환기가 어려운 경우 환풍기, 공조장치를 활용한다.
- 공조장치를 활용하더라도 사용 전·후에는 자연환기를 충분히 해야한다.
- 공조장치가 없는 경우에는 사용 중에도 자연환기를 해야 한다.



<3D프린터 사용 안전수칙 체크리스트>

구 분	내 용	확 인
작업수칙	3D프린터 사용 중에는 창문과 환기 장치를 이용하여 환기. 사용 전·후에는 창문을 통해 1시간 이상 환기	(O / X)
	3D프린터 사용 중, 사용 공간에 가급적 머무르지 않기 사용 시 얼굴 부위(호흡기 부위)를 노즐에서 멀리하기	(O / X)
	3D프린터 사용 공간 출입 시 개인보호장비 착용	(O / X)
	적정한 노즐온도 설정	(O / X)
	3D프린터, 안전 장비, 사용 공간 등 청소	(O / X)
소 재	물질안전보건자료를 확인할 수 있는 소재 사용	(O / X)
	실습용으로 PLA 소재 사용	(O / X)
장 비	헤파필터와 카본필터가 있는 밀폐형 3D프린터 사용	(O / X)
	개방형 또는 필터가 없는 밀폐형 프린터 사용 시 안전조치 (안전부스 또는 포워식 국소배기장치 사용)	(O / X)
작업환경	3D프린터 사용을 위한 별도 공간 마련	(O / X)
	3D프린터는 내부 공기가 원활히 빠져나가는 창문 근처에 설치 공기 흐름이 사용자의 호흡기를 보호하도록 공간배치	(O / X)

안전 수칙 준수와 관련하여 문의 사항이 있는 경우,
 정보통신산업진흥원 3D프린팅 안전센터로 연락주시기 바랍니다.
 ☎ 043-931-5400, safe3d@nipa.kr

IV. 3D프린터 사용 환경에 따른 안전 조치

사용자는 안전수칙 체크리스트를 활용하여 사용 환경을 점검 후, 가이드라인에 따라 제시된 안전수칙을 준수

■ 사례 - 1 (개방형 프린터 사용)

구 분	내 용	확 인
작업수칙	3D프린터 사용 중에는 창문과 환기 장치를 이용하여 환기. 사용 전·후에는 창문을 통해 1시간 이상 환기	O
	3D프린터 사용 중, 사용 공간에 가급적 머무르지 않기 사용 시 얼굴 부위(호흡기 부위)를 노즐에서 멀리하기	O
	3D프린터 사용 공간 출입 시 개인보호장비 착용	O
	적정한 노즐온도 설정	O
	3D프린터, 안전 장비, 사용 공간 등 청소	O
소 재	물질안전보건자료를 확인할 수 있는 소재 사용 → 쇼핑몰에서 구매, 물질안전보건자료를 받지 못함	X
	실습용으로 PLA 소재 사용	O
장 비	헤파필터와 카본필터가 있는 밀폐형 3D프린터 사용 → 개방형 프린터 사용	X
	개방형 또는 필터가 없는 밀폐형 프린터 사용 시 안전조치 (안전부스 또는 포워식 국소배기장치 사용) → 개방형 프린터 사용	X
작업환경	3D프린터 사용을 위한 별도 공간 마련	O
	3D프린터는 내부 공기가 원활히 빠져나가는 창문 근처에 설치 공기 흐름이 사용자의 호흡기를 보호하도록 공간배치	O

안전 컨설팅

- ▶ 쇼핑몰에서 사는 소재는 물질안전보건자료가 제공되지 않는 경우도 있으므로, 소재 구입 시 반드시 물질안전보건자료를 받아서 함유량 등을 확인(안전수칙 2 참조)
- ▶ 개방형 프린터를 사용하므로 작업 중 방출되는 유해물질을 차단하기 위한 안전부스 또는 포워식 국소배기장치를 설치
- ▶ 안전부스 또는 포워식 국소배기장치는 환기 전문가 등의 자문을 받아 설치
(3D프린터 가동대수, 작업량, 작업인원 등을 고려)

■ 사례 - 2 (개방형 프린터 사용 + 공간 미분리 등)

구 분	내 용	확 인
작업수칙	3D프린터 사용 중에는 창문과 환기 장치를 이용하여 환기. 사용 전·후에는 창문을 통해 1시간 이상 환기	○
	3D프린터 사용 중, 사용 공간에 가급적 머무르지 않기 사용 시 얼굴 부위(호흡기 부위)를 노즐에서 멀리하기	○
	3D프린터 사용 공간 출입 시 개인보호장비 착용	○
	적정한 노즐온도 설정	○
	3D프린터, 안전 장비, 사용 공간 등 청소	○
소 재	물질안전보건자료를 확인할 수 있는 소재 사용	○
	실습용으로 PLA 소재 사용	○
장 비	헤파필터와 카본필터가 있는 밀폐형 3D프린터 사용 → 개방형 프린터 사용	×
	개방형 또는 필터가 없는 밀폐형 프린터 사용 시 안전조치 (안전부스 또는 포워식 국소배기장치 사용) → 안전부스 설치 이용	○
작업환경	3D프린터 사용을 위한 별도 공간 마련 → 기술실과 같은 공간에 설치	○
	3D프린터는 내부 공기가 원활히 빠져나가는 창문 근처에 설치 공기 흐름이 사용자의 호흡기를 보호하도록 공간배치 → 창문은 있으나 환풍기 등 기계환기 장치 미설치	○

안전 컨설팅

- ▶ 기술실과 같은 공간에 있으나, 개방형 프린터에 안전부스가 설치되어 유해물질 방출을 차단하고 있음
- ▶ 프린터 대수 및 가동 시간이 많은 경우에는 기술실과 격리될 수 있는 격벽 설치 권장
- ▶ 환풍기 등이 없으므로, 창문을 통해 작업 중, 전·후 환기를 충분히 실시

■ 사례 - 3 (필터 없는 밀폐형 프린터 사용)

구 분	내 용	확 인
작업수칙	3D프린터 사용 중에는 창문과 환기 장치를 이용하여 환기. 사용 전·후에는 창문을 통해 1시간 이상 환기	O
	3D프린터 사용 중, 사용 공간에 가급적 머무르지 않기 사용 시 얼굴 부위(호흡기 부위)를 노즐에서 멀리하기	O
	3D프린터 사용 공간 출입 시 개인보호장비 착용	O
	적정한 노즐온도 설정	O
	3D프린터, 안전 장비, 사용 공간 등 청소	X
소 재	물질안전보건자료를 확인할 수 있는 소재 사용	O
	실습용으로 PLA 소재 사용	O
장 비	헤파필터와 카본필터가 있는 밀폐형 3D프린터 사용 → 필터 없는 밀폐형 프린터 사용	X
	개방형 또는 필터가 없는 밀폐형 프린터 사용 시 안전조치 (안전부스 또는 포위식 국소배기장치 사용) → 안전부스 및 포위식 국소배기장치 미설치	X
작업환경	3D프린터 사용을 위한 별도 공간 마련	O
	3D프린터는 내부 공기가 원활히 빠져나가는 창문 근처에 설치 공기 흐름이 사용자의 호흡기를 보호하도록 공간배치	O

안전 컨설팅

- ▶ 필터 없는 밀폐형 프린터는 작업 중 발생하는 유해물질이 작업공간에 배출되므로 안전부스 등을 설치하여 저감 필요
- ▶ 3D프린팅 작업 후 잔여 유해물질 제거를 위해 마스크를 착용하고 젖은 걸레 등을 이용하여 반드시 청소





1. 3D프린터 기술 및 작업 이해

■ 3D프린터 기술 방식

3D프린터 기술은 국제표준에서 적층제조(Additive Manufacturing)로 사용되고 있으며 3차원으로 설계된 데이터를 기반으로 한 층씩 반복하여 붙여나가며 완성된 형태로 제조하는 것으로, 소재의 종류와 적층제조 기술에 따라 다양한 유형이 있음

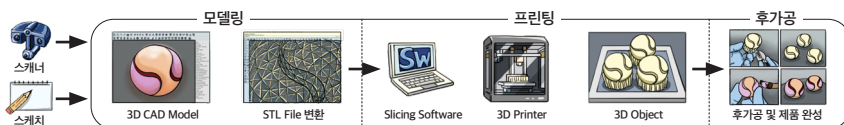
기술 방식중에서 우리가 흔히 접할 수 있는 3D프린터가 플라스틱 필라멘트 소재를 사용하는 재료압출(Material Extrusion)방식임

<7가지 적층 제조 방식 분류(KSDISO/ASTM 52900 기준)>

명칭	원리	주 사용소재
 재료 압출 방식 (Material Extrusion, MEX)	• 고온가열 혹은 에너지를 가하여 흐름성이 확보된 재료를 높은 압력을 이용하여 연속적으로 밀어내면서 지정된 경로에 압출하여 구조물을 형성하는 적층제조 공정	고분자, 세라믹 (필라멘트, 페이스트)
 액조 광경화 방식 (Vat photopolymerization, VPP)	• 광경화 소재 혹은 광경화 소재가 포함된 복합물에 자외선 혹은 가시광선 영역대의 빛을 조사하여 선택적으로 고형화시키는 적층제조 공정	Resin (액체, 페이스트)
 접착제 분사 방식 (Binder jetting, BJT)	• 분말형태의 소재 위에 액체성상의 접착제를 토출시켜 분말끼리의 결합을 유도하여 구조물을 형성시키는 적층제조 공정	고분자 (분말, 액상접착제)
 재료 분사 방식 (Material jetting, MJT)	• 용액형태의 소재 자체를 분사방식으로 토출시키고 자외선 등을 이용하여 고형화시키는 적층제조 공정	고분자, 왁스 (액체)
 에너지 제어 용착 방식 (Direct energy deposition, DED)	• 레이저, 전자빔 등 집중된 열 에너지로 재료를 용융시켜 용착시키는 적층제조 공정	금속, 세라믹 (분말, 선재)
 분말 베드 용해 방식 (Powder bed fusion, PBF)	• 열 에너지가 분말 베드의 영역들을 선택적으로 용해시키는 적층제조 공정	고분자, 금속, 세라믹 (분말)
 판재 적층 방식 (Sheet lamination, SHL)	• 판형 재료를 접착하여 구조물을 성형하는 적층제조 공정	종이, 금속, 고분자 (판재)

■ 3D프린팅 작업 과정

소프트웨어를 이용 3차원 디지털 도면을 제작하는 모델링, 3D프린터를 이용한 프린팅 공정, 출력 후 연마, 염색 등 최종 상품화를 위한 후가공으로 구성





2. 3D프린터 출력물 후가공 시 안전 수칙

■ 후가공이란?

- ▶ 재료압출방식(MEX)에서의 후가공은 표면처리, 채색 등의 작업을 말함
- 후가공 작업 중 분진 및 미세입자가 발생하여 3D프린팅 작업 중에 이물질 혼입이 발생할 수 있어 3D프린팅 작업공간 및 사무공간 등과 반드시 분리



※ 환기가 불가능한 곳에 설치해서는 안됨

▶ 후가공 작업 중 발생할 수 있는 위험요소 및 안전 대책

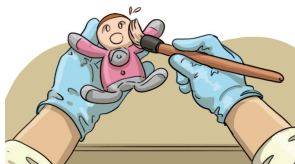
<표면처리>

사포, 연마 장비 등을 이용하여 표면을 처리하는 작업으로 분진 및 미세입자가 발생할 수 있으므로 작업자는 안전보호구(장갑, 마스크, 보안경)를 의무적으로 착용해야 하며, 반드시 포위식 국소배기장치 등 전문적인 환기시설을 갖춘 공간에서 작업을 해야 한다.



<채색>

스프레이 방식의 전문 채색 작업을 할 경우 반드시 포위식 국소배기장치 등 전문적인 환기시설을 갖춘 공간에서 작업을 해야 한다. 교육 현장에서는 아크릴물감을 사용하여 채색 작업 진행할 것을 권고한다.



※ 후가공 시 유해성이 큰 유기용매는 가능한 사용하지 않기



3. 3D프린터 안전교육 안내

▶ 안전교육은 온라인으로 신청 후 무료로 이수할 수 있다.

※ 온라인 교육 신청 홈페이지(<http://3d.acastar.co.kr/>) 로그인 후 수강 가능

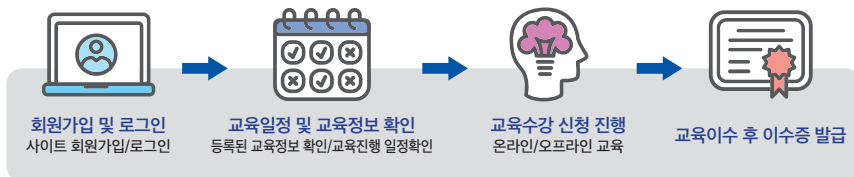
* 학교 교사, 학생, 일반인은 일반회원으로 가입 후 온라인으로 수강할 수 있으며, 필요 시 오프라인 교육(집합 또는 현장)도 신청 가능

※ 안전교육 교재는 홈페이지에서 다운로드 가능

<안전교육 내용>

- 재료압출방식 및 광중합방식 프린터의
유해위험요인 및 안전작업방법
- 3D프린팅 화학물질관리와 MSDS
- 3D프린팅 작업환경 관리
- 화재사고예방
- 적합한 보호구 고르기
- 안전보건표지

<안전교육 온라인 신청 절차>





4. 용어 정리

- ▶ **재료압출(Material Extrusion)** : 3차원 기하구조를 제작하는 적층제조기술 표준화 기구인 ISO/TC 261에서 정의하는 7가지 방식의 3D프린터 기술방식 중 학교 및 공공기관에서 주로 사용되고 있는 보급형 3D프린터 기술방식으로 노즐을 통하여 소재를 선택적으로 배출 시키는 적층제조공정을 말한다.
- ▶ **FFF 3D프린터** : Fused Filament Fabrication의 약자로 필라멘트 형태의 소재를 노즐을 통해 압출해 3차원 형상으로 출력하는 Material Extrusion방식의 대표적인 3D프린터를 말하며 FDM(Fused Deposition Modeling)와 혼용하여 사용하고 있다
- ▶ **물질안전보건자료(MSDS)** : Material Safety Data Sheet의 약자로 물질에 대한 여러 가지 정보를 담은 자료를 말한다. MSDS에는 화학물질에 대한 화학적 특성, 취급 및 저장법, 유해성과 위험성, 사고 시 대처방법 등이 기록되어 있으며, 안전보건공단에서 MSDS검색을 하면 원하는 화학물질에 대한 MSDS를 찾아볼 수 있다.
- ▶ **헤파필터(HEPA Filter)** : High Efficiency Particulate Air Filter의 약자로 지름이 마이크로미터(μm)인 입자상 물질을 99.97% 이상 제거하는 필터를 말한다. 미국 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers)에서는 STANDARD 52-2-1999에서 규정하는 성능기준의 필터를 말한다.
- ▶ **PLA** : PolyLactic Acid의 약자로 기본 중합체(base polymer) 중 락트산의 함유율이 50% 이상인 합성수지제를 말한다.
- ▶ **ABS** : Acrylonitrile-Butadiene-Styrene copolymer의 약자로 기본 중합체(base polymer) 중 스티렌(α -메틸스티렌포함)과 아크릴로니트릴의 공중합체에 부타디엔계 고무가 분산된 물질의 함유율이 60% 이상인 합성수지제를 말한다.



5. 3D프린터 사용 시 방출될 수 있는 물질

- 국내외 논문에 따르면 3D프린터를 부적절한 작업환경(밀폐된 공간, 작업 공간 미분리 등) 또는 부적절한 사용방식(작업 시간 동안 상주, 보호구 미착용 등) 하에서 장기간 사용할 경우 건강상 장애가 유발될 가능성을 배제할 수 없음
- ➡ ‘3D프린팅 안전이용 가이드라인’ 준수를 권고

i. 조사 개요

- ▶(배경) 3D프린터 장비·소재 및 작업환경에 따라 3D프린팅 시 방출되는 화학물질 종류와 양이 상이하여 직접적인 인체영향을 판별할 수는 없음
 - 그러나 사전에 이용자의 안전을 고려하여 위해성이 의심되는 화학물질과 화학물질별 인체영향을 이용자에게 제공하고자 함

- ▶(방법) 13편의 논문 조사 및 물질안전보건자료 확인
 - 3D프린팅 작업 시 방출되는 화학물질에 대한 국내외 논문 조사
 - 여러 논문에서 제시되고 근로자건강진단 실무지침을 통해 관리되는 화학물질에 대한 문헌 정보* 제공

* (참고 문헌) 근로자건강진단 실무지침(인체 영향), 물질안전보건자료(예방조치),
미세먼지 바로알기 리플릿(환경부, '17.11.)

※ 근로자건강진단 실무지침 제공 사이트 - <https://oshri.kosha.or.kr>
물질안전보건자료 제공 사이트 - <https://msds.kosha.or.kr>

- 한국건설생활환경시험연구원, 한국안전보건공단, 한국안전보건협회 등 전문가 검수를 통하여 조사 및 작성 방법, 내용의 정확성, 정보의 실용성 등 검토

ii. 조사 결과 요약

■ 주요 사용 소재(ABS, PLA, 나일론 필라멘트)

방출 물질	소재			인체영향
미세입자	ABS	PLA	나일론	천식 등 호흡기 질환, 심혈관계 질환
스티렌	ABS	PLA		• (급성) 눈, 상기도 자극 등 • (만성) 신경계, 호흡기계, 간담도계, 생식계 • (발암성) IARC 2B, ACGIH A4
에틸벤젠	ABS	PLA		• (급성) 눈, 코, 목, 자극 등 • (만성) 피로감, 졸음, 두통, 눈 및 호흡기 증상 • (발암성) IARC 2B, ACGIH A3
아세트알데하이드	ABS	PLA	나일론	• (급성) 눈, 피부, 호흡기 점막 등 • (발암성) IARC 2B, ACGIH A2
아세톤	ABS	PLA	나일론	• (급성) 호흡기계, 신경계, 조절기계, 생식계, 피부염 • (발암성) 발암물질로 보기 어려움
벤젠	ABS	PLA		• (급성) 신경계, 간담도계, 신장, 피부, 소화기 등 • (만성) 범혈구 감소증, 재생불량성 빈혈, 백혈병 등 • (발암성) IARC 1, ACGIH A1
폼알데하이드	ABS	PLA	나일론	• (급성) 눈, 피부, 비강, 인두, 호흡기계, 신경계 • (만성) 호흡기계, 신경계, 위장관계, 조절기계 등 • (발암성) IARC 1, ACGIH A2
톨루엔	ABS	PLA		• (급성) 기억력 감퇴, 중추신경계 기능 저하, 간 손상 등 • (만성) 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 조절기계 등 • (발암성) 발암물질로 보기 어려움
크실렌 (자일렌)	ABS	PLA		• (급성) 두통, 피로감, 자극, 나른함, 심혈관계 등 • (만성) 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 비뇨기계 등 • (발암성) IARC 3, ACGIH A4
n-부탄올	ABS	PLA		• (급성) 눈, 코, 인후, 두통, 어지럼증, 피부염 등 • (만성) 눈, 피부, 비강, 인두, 이비인후계 • (발암성) 확인할만한 근거가 없음
이소프로필알콜	ABS	PLA	나일론	• (급성) 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 위장관계 등 • (만성) 피부염 • (발암성) IARC 3, ACGIH A4
아크릴로니트릴	ABS	PLA		• (급성) 눈, 피부, 호흡기계, 신경계 • (만성) 신경계, 생식계 • (발암성) IARC 2B, ACGIH A3

※ 조사 대상 논문에서 언급된 횟수 順

■ '3D프린터 안전이용 가이드라인' 준수를 권고



iii. 3D프린팅 작업 시 방출물질별 인체영향에 관한 자료

※ 이하의 방출물질은 사용되는 소재의 성분이거나 열분해산물로 발생하였을 것으로 추정되는 물질입니다. 이러한 방출물질들이 가스, 증기, 분진, 흠의 형태로 인체에 영향을 유발할 수 있는 경우 및 사전 예방조치를 근로자건강진단 실무지침(건강 장애)과 물질안전보건자료(예방조치)에서 발췌하였습니다.

(구체적인 내용은 원문을 참조 바랍니다.)

■ 건강장애

1. 미세입자

- 가래, 기침, 천식 등 호흡기 질환
- 협심증, 뇌졸중 등 심혈관계 질환

2. 스티렌

급성 건강영향

- 눈 자극, 피부 자극, 상기도 자극
- 피부염, 유기용제 마취증상, 기면, 균형손상, 집중력 저하 등

만성 건강영향

- 1) 신경계
 - 중추신경계 질환
 - 전정 기능 이상, 청력저하, 색각이상, 신경행동검사 이상, 뇌파 검사 이상, 신경전도검사 이상, 사지 통증 및 저림 등
- 2) 호흡기계
 - 비정상적인 폐기능 검사 결과
 - 천명음, 빈 호흡 등
- 3) 간담도계
 - 총 담즙산 농도 및 간기능검사수치(GGT) 상승
 - 작업 시 노출에 의해 간 독성을 유발한다는 정확한 자료는 없음
- 4) 생식계
 - 생리 이상을 보고한 연구가 있으나, 근거가 충분하지 않음

발암성

- 산화 스티렌은 발암물질로 알려져 있으나 인체에서는 빨리 분해
- 조혈기계 암으로 인한 사망을 증가시킨다는 보고가 있으나 정량화 문제로 의미 있는 결론을 내리지 못 하는 중
- IARC 2B (조혈기계), ACGIH A4

3. 에틸벤젠

급성 건강영향

- 눈, 코, 목 및 피부 자극
- 결막염, 졸음, 눈물, 현기증, 무력감, 중추신경 억제증상 등

만성 건강영향

- 피로감, 졸음, 두통, 눈 및 호흡기 증상, 청력 손실 등

발암성

- 동물실험 결과 신세관 선종 및 암종 발생(rat), 폐포 및 세기관지 선종 및 암종 발생의 유의미한 증가(rat)
- IARC : 2B (신장, 폐), ACGIH : A3

4. 아세트알데하이드

급성 건강영향

- 1) 피부 및 점막
 - 눈, 피부, 호흡기 점막, 인후 자극
 - 눈 충혈, 일시적 결막염 등
- 2) 호흡기계
 - 기침 및 폐수종
 - 섬모운동 저하에 의한 다른 물질 흡수 촉진
- 3) 중추신경
 - 마취작용 유

발암성

- 코와 후두 암종 발생(쥐, 햄스터), 변이원성 발현(생체연구, 실험연구)
- 인간에 대한 발암성 의심 물질(IARC : 2B, ACGIH : A2)

5. 아세톤

급성 건강영향

- 1) 호흡기계
 - 눈, 입, 코, 인후, 폐 자극
- 2) 신경계
 - 중추신경계 억제작용
 - 두통, 어지러움, 몽롱함, 운동실조, 쇠약감, 조화된 말의 소실, 혼미, 혼수, 의식소실 등
- 3) 조혈기계
 - 백혈구·호산구 증가 및 중성구 탐식작용 저하
 - 혈액학적 변화가 없다는 연구도 존재



4) 생식기계

- 생리주기 짧아질 가능성(1000ppm에서 7.5시간 노출 시)

5) 피부염

- 가역적인 피부손상 가능성(1ml, 90분 동안 피부 도포 시)

발암성

- 발암물질로 볼 충분한 근거가 없음(IARC : -, ACGIH : A4)

6. 벤젠

급성 건강영향

1) 신경계

- 어지러움, 무력감, 다행감, 두통, 오심, 구토 등
- 시야 혼란, 진전, 호흡곤란, 심신 부정맥, 마비, 의식장애 등
- 폐 출혈, 폐 부종 가능성

2) 간담도계

- 혈청 간기능 효소 및 빌리루빈 증가

3) 신장

- 혈청 크레아티닌 증가

4) 피부

- 발적, 수포발생, 건조한 각질성 피부염

5) 기타

- 눈, 코, 호흡기의 점막 자극

만성 건강영향

1) 조혈기계

- 범혈구 감소증 재생불량성 빈혈
- 백혈병, 다발성 골수종 및 임파종

발암성

- 백혈병, 림프종 유발 가능성(IARC : 1, ACGIH : A1)

7. 폼알데하이드

급성 건강영향

1) 눈, 피부, 비강, 인두

- 눈, 코, 목 등 자극(작열감)
- 눈·코 염증, 두드러기, 농포 및 수포성 발진, 자극성 접촉성 피부염, 알레르기성 접촉성 피부염, 눈 주변 부종, 손·팔 피부염 등

2) 호흡기계

- 기침 등 호흡기 자극증상, 흉부 압박감, 천명음, 기관지·인두 염증, 폐부종, 폐렴 등

3) 신경계

- 두통, 쇠약 등

만성 건강영향

1) 눈, 피부, 비강, 인두

- 인두·기관지·기관지 등 염증, 후각 저하, 비염, 섬모 손실, 배상 세포 과증식, 편평상피화생 및 경증의 이형 증식증

2) 호흡기계

- 폐활량의 감소, 폐쇄성 기도, 만성기관지염, 천식, 후두 염증·부종

3) 신경계

- 두통, 기억력 저하, 수면장애 등

4) 위장관계

- 메스꺼움, 위장관 장애 등

5) 조혈기계 및 생식계

- 백혈병 발생 위험 증가

- 지연 임신 및 유산 위험 증가

발암성

- 비인두암, 폐암, 백혈병, 부비동암 등 가능성 (IARC : 1, ACGIH : A2)

8. 톨루엔

급성 건강영향

- 중추신경계의 기능 저하

- 기억력 감퇴, 학습능력 감퇴, 인지능력 감퇴, 피로감, 졸음, 심근 감수성 증가, 간 손상, 횡문근 용해증 등

만성 건강영향

1) 신경계

- 기분의 변화, 소음, 코·하기도 자극, 중독된 느낌 등

- 중추신경계 통합기능 저하, 혼수상태, 인지기능 저하

2) 호흡기계

- 호흡기 자극

- 호흡성 대상부전

3) 심혈관계

- 심근 감수성의 역치 저하, 비 관류성 심장 부정맥 등



4) 눈, 피부, 비강, 인두

- 경미한 염증반응

5) 기타

- 가역적인 비뇨기 증상

- 태아 소두증, 중추신경계 기능 저하, 주의력결핍 과다행동장애, 성장지연, 안면·사지 이상, 성장 결핍 등 태아 발달에 심각한 영향

발암성

- 발암물질로 볼 충분한 근거가 없음(IARC 3, ACGIH A4, EPA D)

9. 크실렌(자일렌)

급성 건강영향

- 눈·호흡기 자극, 중추신경계 기능 저하

- 두통, 피로감, 자극, 구역·구토, 부정맥 유발 효과에 대한 심근 감수성 증가, 백혈구 감소증, 신장의 울혈, 태아의 발육 지연, 기형 증가 등

만성 건강영향

1) 신경계

- (경증) 두통, 도취감, 어지러움, 혼란, 메스꺼움, 판단장애, 실조, 안구조절장애 등

- (중증) 시야 혼탁, 진전, 빠른 호흡, 마비, 의식소실, 사망

2) 호흡기계

- 호흡기계통 점막 자극

- 폐부종, 호흡부전, 화학적 폐렴 등

3) 심혈관계

- 심장 기능 이상

4) 비뇨기계

- 가역적 혈뇨, 단백뇨, 대사성 산증, 신세뇨관성 산증, 저칼륨혈증, 저인산혈증 등

5) 간담도계

- 간 종대를 일으킬 수 있으며 간독성이 있음

6) 눈, 피부, 비강, 인두

- 피부자극, 탈지방성 피부염, 수포, 발적, 건조 등

7) 생식계

- 월경장애, 비정상 출혈

8) 기타

- 눈에 자극(손상은 드뭄)

발암성

- IARC 3, ACGIH A4, EPA D

10. n-부탄올

급성 건강영향

- 눈, 코, 인후 자극
- 두통, 어지럼증, 손톱 및 손가락의 피부염 등

만성 건강영향

- 1) 눈, 피부, 비강, 인두
 - 각막 염증
 - 작열감, 시야흐림, 눈물, 수명 증상 등
- 2) 이비인후계
 - 청각 장애, 전정기관 이상 등

발암성

- 발암성을 분류할 만한 충분한 데이터가 없음

11. 이소프로필 알코올

급성 건강영향

- 1) 신경계
 - 중추신경계 억제
 - 어지러움, 졸음, 두통, 운동실조, 우울, 혼미, 혼수, 조건반사 소실 등
- 2) 호흡기계
 - 호흡기계 자극
 - 흡인성 폐렴 및 호흡부전 등.
- 3) 심혈관계
 - 서맥, 빈맥, 말초혈관의 확장에 의한 저혈압, 순환기계 허탈 등
- 4) 위장관계
 - 메스꺼움, 구토, 토혈, 설사, 복통 등
- 5) 간담도계
 - 간기능 이상
- 6) 눈, 피부, 비강, 인두
 - 눈 및 점막 자극
 - 안면 홍조, 지연성 습진성 피부염
- 7) 기타
 - 저체온증, 근육 압통, 경화, 부종, 용혈성 빈혈 등

만성 건강영향

- 피부 건조, 피부염 등



발암성

- 상기도 암과 관련성이 있다는 연구
- IARC 3, , ACGIH : A4

12. 아크릴로니트릴

급성 건강영향

- 1) 피부, 눈
 - 눈, 점막, 피부 자극
 - 홍반, 수포 등
- 2) 호흡기계
 - 목 작열감, 호흡곤란, 청색증, 불규칙한 호흡, 호흡정지 등
- 3) 신경계
 - 두통, 오심, 불면증, 사지약화, 어지러움, 판단력 저하, 경련 등

만성 건강영향

- 1) 신경계
 - 두통, 불면증, 전신 쇠약감, 피로, 오심, 구토, 코피, 호흡곤란과 간기능 이상 등
- 2) 생식/발달
 - (쥐 실험) 체중증가의 감소, 위 비선조직부 비후, 첫 번째 후세에서 기형발생(척추뼈 결손, 짧은 꼬리, 짧은 몸통, 무궁항문)를 증가, 첫 번째 세대에서 젖을 먹는 새끼 쥐의 사망이 증가 등

발암성

- 위장관계, 유선, 중추신경계, 집발선 종양발생(rat)
- IARC: 2B, ACGIH: A3

■ 예방조치

① (초)미세입자

- 방진마스크(1급), KF94 이상의 마스크를 착용하시오.
- 물과 비타민C가 풍부한 과일·야채 섭취하기
- 환기, 물청소, 공기청정기 가동 등 공기질 관리하기

② 화학 물질

- 옥외 또는 환기가 잘 되는 곳에서만 취급하시오.
- 가스, 증기, 분진, 흙의 흡입을 피하시오.
- 사용시, 먹거나 마시지 마시고 흡연하지 마시오.
- 보호장갑, 보호의, 보안경, 안면보호구를 착용하시오.



참고 1 그 밖에 방출이 확인된 물질

■ 그 밖에 방출이 확인된 물질

카프로락탐, 락티드, 벤즈알데하이드, 에탄올, 디아세틸, 2,3-펜탄디온, 메틸메타크릴레이트, 염화메틸렌, 철, 아연, 나트륨, 마그네슘, 칼륨, 칼슘, 철, 이소발레르알데히드, 디뷰틸 프탈레이트, 디에틸헥실 프탈레이트, DEG 모노부틸 에테르, 클로로메틸 메틸 설파이드, 프로필렌 글리콜, 플루오란텐, 파이렌, 아세트산, 이소프로필 팔미테이트, 아세토페논, 테트라클로로에틸렌, 데케인, 헵타메틸노네인, 하이드록시프로필 메타크릴레이트, 크로톤알데히드, 분지된 알킬, 헥사날, 헵타날, 옥타날, 노나날, 데카날, 운데카날, 도데카날, 발레르산, 카프로산, 에난틱산, 카프릴산, 펠라르곤산, 데칸산, 벤조산, 부타디엔 다이머, 스티렌-니트릴 올리고머, 4-터트-부틸페놀, 디에틸 프탈레이트, n-옥틸 에테르, 로릴 아크릴레이트, 트리스(2-클로로에틸)포스페이트, 디이소뷰틸 탈레이트, 메틸 팔미테이트, 디-n-뷰틸 프탈레이트, 비스페놀 A, 트리페닐포스핀 사이드, 이가녹스 1076, 1-부탄올, 프탈레이트, n-뷰테인, 1,3-부타디엔, 쿠멘, 1,3디페닐프로판, 에이코세인, 인덴, 1-메틸에테닐벤젠, 노나데케인, 옥타데케인, 2-페닐2-프로판올6, 4-바이닐시클로헥센, 2-헥세날, 2-에틸, 옥타메틸 시클로테트라실록산, 부틸 아크릴레이트, 2,6-디-터트-부틸-4-메틸페놀, 디에틸헥실프탈레이트, 데카메틸 시클로펜타실록산, 펜실시마이드, 프로필벤젠



참고 2 발암성 분류

방출 물질	IRAC	ACGIH	EPA
(초)미세입자			
스티렌	2B	A3	
에틸벤젠	2B	A3	
아세트알데하이드	2B	A2	
아세톤		A4	
벤젠	1	A1	
폼알데하이드	1	A2	
톨루엔	3	A4	D
크실렌(자일렌)	3	A4	D
n-부탄올			
이소프로필알콜	3	A4	
아크릴로니트릴	2B	A3	

※ 출처: 근로자건강진단 실무지침 '21년판 기준

① IRAC(국제암연구소) 등급

- Group1: 확실하게 암을 일으키는 물질
- Group2A: 사람에게 암을 일으키는 개연성이 있는 물질
- Group2B: 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질
- Group3: 사람에게 암을 일으키는 것이 분류되지 않은 물질
- Group4: 사람에게 암을 일으키지 않는 물질

② ACGIH(미국산업위생사협회) 등급

- A5: 사람에게 암을 일으킬 것으로 의심되지 않는 물질
- A4: 사람에게 암을 일으킨다고 분류될 수 없는 물질
- A3: 동물에게 암을 일으키지만, 사람과의 연관성은 알려져 있지 않은 물질
- A2: 사람에게 암을 일으킬 것이 의심되는 물질
- A1: 사람에게 암을 일으키는 물질

② EPA(미국환경청) 등급

- Group E: 사람에 대한 비발암성 물질
- Group D: 인체발암성 물질로 분류할 수 없는 물질
- Group C: 인체발암가능성이 있는 물질
- Group B: 인체발암가능성이 높은 물질
- Group A: 인체발암물질



참고 3 참고문헌

김성호 외	“실제 3D프린팅 작업장에서 발생하는 공기 중 유기화합물, 금속 및 입자특성 평가”, 한국산업보건학회지 제30권 제2호, 2020, 157~159쪽
박지훈 외	“3D프린팅 기술의 이해, 유해 인자 노출평가와 제어”, 한국산업보건학회지 제28권 제3호, 2018, 251~254쪽
장성호 외	“3D Printer의 안전관련 실태조사 및 장비와 소재의 유해환경저감 방안 연구”, 한국산업경영시스템학회지 추계학술대회, 2014, 99쪽
정은교 외	“3D프린터에 사용되는 소재의 종류 및 유해물질 특성 연구”, 산업안전보건연구원 연구보고서, 2019, 41~42쪽
Aika Davis et al	“Fine particulate and chemical emissions from desktop 3D printers”, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, 2016, p.7
Anna Karwasz et al	“Literature review on emissions from additive manufacturing by FDM method and their impact on human health”, Management and Production Engineering Review, Vol.12 Num.3, 2020, p.68
Bill McDonnell et al	“3D Printing in the wild, A preliminary investigation of air quality in college maker space”, Solid Freeform Fabrication, 2016, pp.2466~2477
Eva Jacobsen et al	“Risk assessment of 3D Printing and 3D printed products”, Denmark Environmental of 3D Printers and 3D Printed Products Report, 2016, pp.20~21
Louis Mandes et al	“Characterization of emissions from a desktop 3D printer”, Journal of Industrial Ecology, 2017, p.100
Phrsam Azimi et al	“Emissions of ultrafine particles and volatile organic compounds from commercially available desktop three dimensional printers with multiple filaments”, Environmental Science & Technology, 2016, pp.F~G
Samantha Hall et al	“Measuring and controlling emissions from polymer filament desktop 3D printers”, Health and Safety Executive Research Report 1146, 2019, pp.32~33
Sarka Bernatikova et al	“Characterization of ultrafine particles and VOCs emitted from a 3D printer”, International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, p.10
Quan Zhang et al	“Particle and chemical emission from a vat photopolymerization 3D printer”, Chemical Insights, 2021, pp.4~5

집필진 소개



■ 감수 : 윤충식 교수(서울대학교 보건대학원)

구 분	소 속	직 위	성 명
산업계	헵시바(주)	이사	김 성 복
	(주)그래피	이사	윤 석 준
	삼양사	차장	진 선 철
	3D프린팅연구조합	부장	성 유 철
	3D융합산업협회	실장	강 승 철
		과장	이 상 호
연구기관	한국건설생활환경시험연구원	센터장	이 준 규
	산업안전보건연구원	차장	김 성 호
안전기관	한국안전보건협회	이사	장 정 림
시민단체	시민과학연구소	소장	고 도 현
학교	마포중학교	교사	권 석 영
	과정초등학교	교사	박 재 현
	개금고등학교	교사	임 병 율
간사	정보통신산업진흥원	팀장	김 형 국
		수석	김 성 수
		선임	임 슬 기
		선임	신 현 빈

발행처 : 과학기술정보통신부

발행일 : 2022. 6. 30.

디자인 : 베러덴에스터데이(주)



과학기술정보통신부