

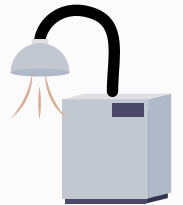
2023
3D PRINTER
SAFETY GUIDE

3D

프린터

안전이용

가이드



과학기술정보통신부

차례

▶ 3D프린터 안전 이용 가이드라인 개요	01
· 가이드라인 개정 취지	
· 가이드라인의 대상	
· 가이드라인의 구성	
▶ 웹툰: 3D프린터를 안전하게 사용하려면!	02
▶ 3D프린터 안전 이용 체크리스트	04
▶ 3D프린터를 사용할 때 발생하는 유해 물질	05
· 어떤 유해 물질이 발생할까요?	
· 유해 물질은 사람의 몸에 어떤 영향을 미칠까요?	
· 유해 물질은 언제 발생할까요?	
▶ 유해 물질 방출 최소화: 3D프린터와 소재	06
· 유해 물질이 가장 적게 나오는 3D프린터와 소재는?	
· 필터 있는 밀폐형 3D프린터 사용	
· 헤파필터와 카본필터	
· 방출량이 적은 소재 선택하는 방법	
· 소재 및 3D프린터별 유해물질 방출량 비교	
▶ 유해 물질 노출 최소화: 3D프린터 작업실 환기 및 사용자 안전 수칙	09
· 3D프린터 설치 공간	
· 사용하는 3D프린터에 따른 환기방법	
· 개방형 3D프린터	
· 환기장치 적용 여부에 따른 유해물질 방출량 비교	
· 필터 없는 밀폐형 3D프린터	
· 필터 있는 밀폐형 3D프린터	
· 안전부스 및 국소배기장치 설치 구매 시 고려 사항	
· 사용자가 지켜야 할 안전수칙	
▶ 3D프린터를 사용할 때 발생할 수 있는 사고와 예방법	15
▶ 부록	16
1. 3D프린터 작업 중 발생하는 주요 유해물질	
2. 3D프린터 출력물 후가공 시 안전 수칙	
3. 3D 프린터 안전교육 안내	
4. 해외 3D프린팅 안전이용 가이드라인 및 참고문헌	
5. 3D프린터 사용 시 방출될 수 있는 물질	
참고 1) 그 밖에 방출이 확인된 물질	
참고 2) 발암성 분류	

3D프린터 안전 이용 가이드라인 개요

가이드라인 개정 취지

- 3D프린터를 이용하는 기업, 교사, 연구자, 학생 등 누구나 쉽게 이해하고 따를 수 있도록 만들었습니다.
- 유해물질 방출량이 적은 소재 선택, 유해물질 노출 최소화를 위한 환기 시설장치 구축 등을 위한 구체적 지침과 효과를 제시하였습니다.
- 3D프린터 이용 중 예기치 않게 발생할 수 있는 화재, 끼임, 화상 등과 같은 사고 유형과 이를 방지하기 위한 안전수칙도 담았습니다.

가이드라인의 대상

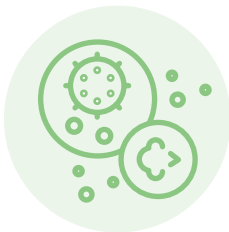
대상

- 3D프린터를 사용하는 스타트업, 중소기업, 연구소 등
- 3D프린터를 사용하는 일반인, 학생, 교사 등

장비·소재

- 3D프린터 및 소재
 - 재료압출방식의 보급형 3D프린터(MEX, FDM, FFF 방식)
 - 플라스틱 소재(필라멘트) : PLA, ABS 등

가이드라인의 구성



3D프린터 사용할 때
유해 물질 발생



유해 물질 방출 최소화
(위험 원인 제거)

- 안전한 장비와 소재



유해 물질 노출 최소화
(위험 예방 강화)

- 안전한 사용 환경
- 안전 행동 요령

"3D프린터를 안전하게 사용하려면!"

3D프린터에서 몸에 좋지 않은 물질들이 나온다고 하는데, 어떡해야 하지?



걱정 마,
내가 3D프린터를
안전하게 사용할 수
있도록 안내해줄게!



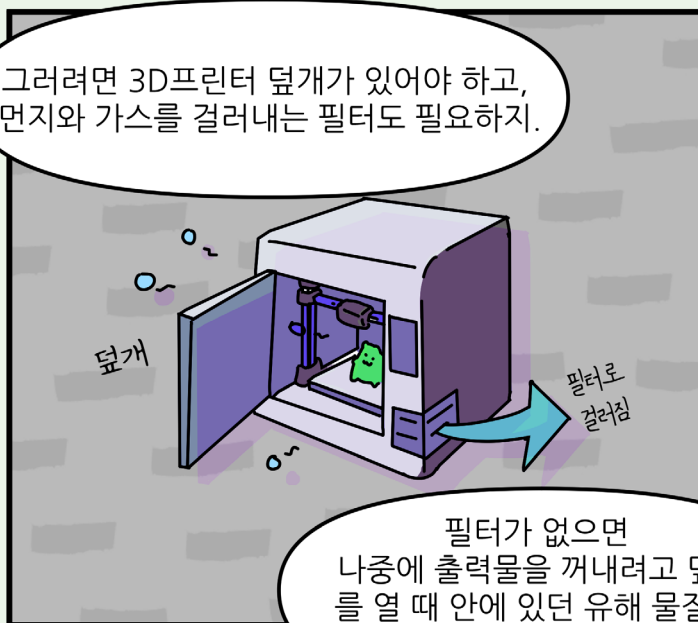
**먼저 유해물질에
노출되지 않는 사용
환경을 만들어야 해**



3D프린터를 사용할 때는
먼지나 가스에 덜
노출되는게 가장 중요해.

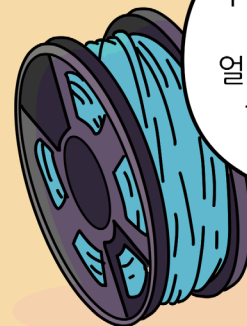


그러려면 3D프린터 덮개가 있어야 하고,
먼지와 가스를 걸러내는 필터도 필요하지.



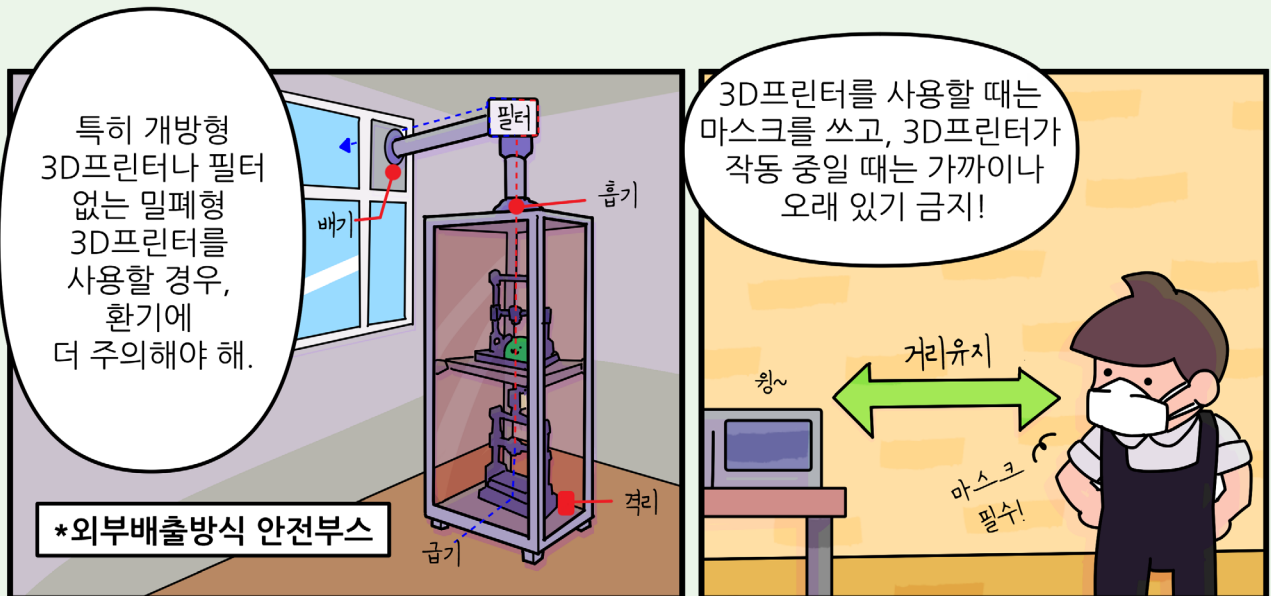
필터가 없으면
나중에 출력물을 꺼내려고 덮개
를 열 때 안에 있던 유해 물질이
한꺼번에 나와 위험해!

소재도 중요하겠네?
우리는 PLA~



PLA 소재도 다 성분이
다르니, PLA가
얼마나 들어가 있는지는
물질보건안전자료를
보고 확인하자!

*소재를 살 때는 꼭 물질안전보건자료(MSDS)를
받아서 작업실에 비치하기



3D프린터 안전 이용 체크리스트



※ 해당 사항이 있는 경우 가이드라인을 꼭 참조하세요.

구분	확인 사항	해당 여부	가이드
3D프린터	개방형 3D프린터를 사용하고 있습니까?		10P
	필터 없는 밀폐형 3D프린터를 사용하고 있습니까?		12P
소재	조달청 등록 소재 또는 3D프린터 제조사 권장 소재(정품 소재)가 아닌 소재를 사용하고 있습니까?		7P
	MSDS가 없는 소재를 사용하고 있습니까?		7P
3D프린터 작업실 및 환기	3D프린터가 다른 작업실과 같은 공간에 설치되어 있습니까?		9P
	안전부스와 국소배기장치 없이 사용하고 있습니까?		10P
	환풍기 등 공조장치가 없는 곳에 설치되어 있습니까?		10P
	창문이 없거나, 복도 창문이 있는 곳에 설치되어 있습니까?		12P
사용자 안전수칙	노즐 온도를 권장 온도보다 높게 설정해서 작업하고 있습니까?		14P
	개인보호장비 없이 3D프린터를 사용하고 있습니까?		14P

안전 이용 가이드라인

- ▶ 개방형 3D프린터는 환풍기와 창문만으로는 유해물질을 제거하기 어렵기 때문에 필터가 있는 안전부스와 국소배기장치의 사용을 권장합니다.
 - 안전부스의 경우 유해물질을 밖으로 배출하는 외부배출방식의 사용을 권장합니다.
 - 외부배출방식 안전부스를 설치할 때는 공기가 유입되는 급기구를 반드시 설치해야 합니다. 급기구가 없을 경우 유해물질이 내부에 정체되어 문 개방 시 유해물질이 외부로 방출될 수 있습니다.
- ▶ 안전부스 또는 국소배기장치를 설치하기 전에는 3D프린터 사용을 자제하여 주십시오.

3D프린터 안전 이용과 관련하여 문의사항이 있는 경우, 정보통신산업진흥원 3D프린팅 안전센터로 연락주시기 바랍니다.
(☎ 043-931-5400, safe3d@nipa.kr)

3D프린터를 사용할 때 발생하는 유해 물질

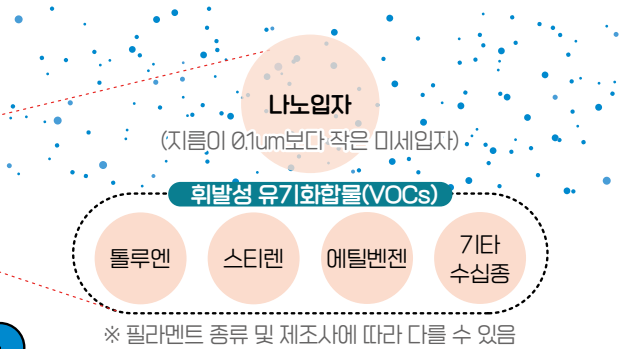
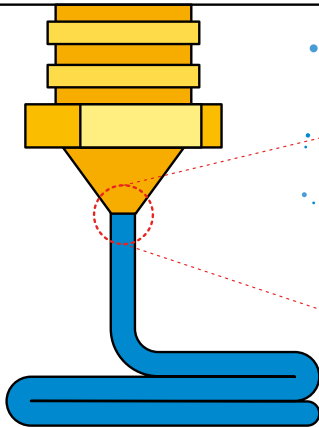


어떤 유해 물질이 발생할까요?

사람의 건강에 해를 끼치는
미세한 먼지와 가스

▶ 크기가 아주 작아 사람의
눈에 보이지 않아요.

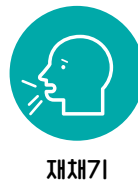
눈에 잘 보이지 않아서 몰랐는데,
기구나 방송을 통해 이 먼지와 가스가
유해하다는 걸 알게 되었어요



※ 유해물질에 관한 세부사항은 부록에서 안내

유해 물질은 사람의 몸에 어떤 영향을 미칠까요?

3D프린터가 왔다 갔다 하는 걸 계속
지켜보면 재미있잖아요. 그러다 보면
눈이 좀 피곤하고, 가끔 매캐함과 호흡
곤란을 느꼈어요



※ 3D프린터 사용 기관 실태조사 결과(2020년)

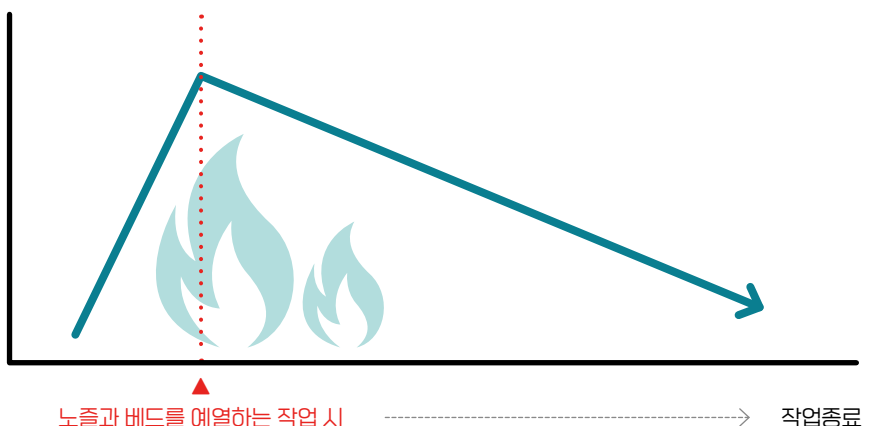
유해 물질은 언제 발생할까요?

소재를 노즐에 넣고 가열할
때 가장 많이 발생해요.

플라스틱을 태우면 처음엔 연기가
제일 많이 나잖아요. 3D프린터도
필라멘트를 가열해 녹이는 과정에서
유해 물질이 가장 많이 나오겠죠?



나노입자
농도

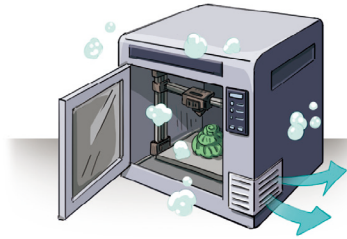


유해 물질 방출 최소화 : 3D프린터와 소재



유해 물질이 가장 적게 나오는 3D프린터와 소재는?

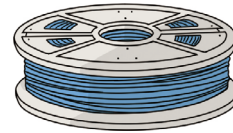
필터 있는 밀폐형 3D프린터



필터는 3~6개월 주기로 교체
(제조사 권장 주기 참조할 것)



PLA 소재

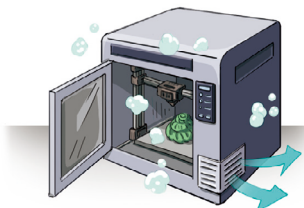


* 조달청 등록 소재,
3D프린터 제조사 정품 소재

필터 있는 밀폐형 3D프린터 사용

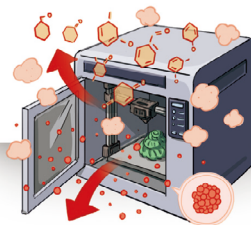
필터 없는 밀폐형 3D프린터와 개방형 3D프린터는 더 많이 환기해주세요!

"일단은 개방형보다는 밀폐형이 안전한 것 같고, 그 안에 필터가 있냐 없냐의 차이가 큰 것 같아요."



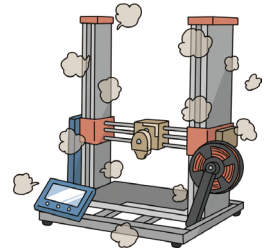
필터 있는 밀폐형 3D프린터

작업 중에도 작업 후 덮개를 열어두어
유해물질 방출이 거의 없음



필터 없는 밀폐형 3D프린터

작업 중에는 유해물질 방출이 적지만,
덮개를 여는 순간 유해물질 방출이 많음

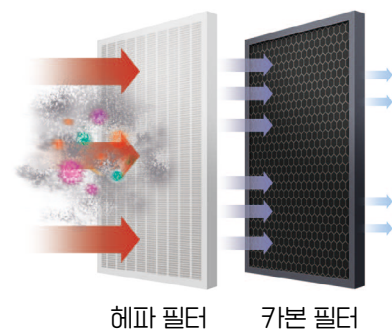


개방형 3D프린터

작업 중 유해물질이 그대로 방출됨

헤파필터와 카본필터

- ▶ 헤파필터(13등급 이상)와 카본필터를 모두 갖추어야
유해물질 저감에 효과적입니다.
 - 최소 헤파필터가 부착된 3D프린터를 사용해야 합니다.
 - 필터는 교체 주기를 확인 후 주기적으로 교체해야 합니다.
- ▶ 헤파(HEPA)필터 → 나노입자(초미세입자) 저감
 - *필터 등급은 헤파13이상 (0.3 μ m 크기 입자를 99.97% 제거)
- ▶ 카본(활성탄) 필터 → 휘발성 유기화합물 저감, 냄새 차단



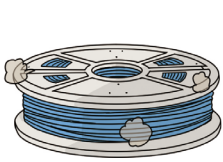
헤파 필터

카본 필터

방출량이 적은 소재 선택하는 방법

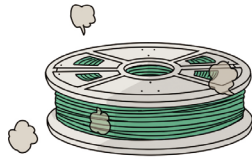
PLA 소재가 유해 물질 방출량이 가장 적다는 사실!

"PLA가 무조건 안전하다는 뜻이 아니라, ABS보다 유해물질 방출량이 적다는 뜻이겠죠?"



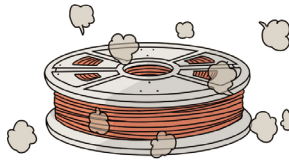
PLA

(옥수수 전분이 주원료)



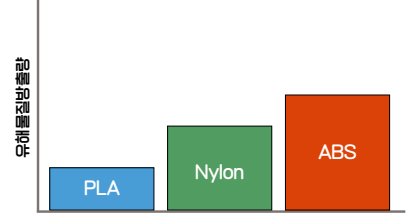
Nylon

(석유물질이 주원료)



ABS

(석유물질이 주원료)



PLA 중에서도 조달청에 등록된 소재와 3D프린터 제조사가 제공(권장)하는 소재가 유해 물질 방출량이 적습니다.

- ▶ 소재 안전강화를 위해 공공조달규격에 작업중 유해물질 방출량 기준을 추가하였습니다. ('23년 9월 개정 완료)

* 조달청 등록 소재는 조달청 나라장터 종합쇼핑몰에서 구매할 수 있습니다.

"소재는 제조사 규격품 또는 공공조달규격품을 써야 해요."



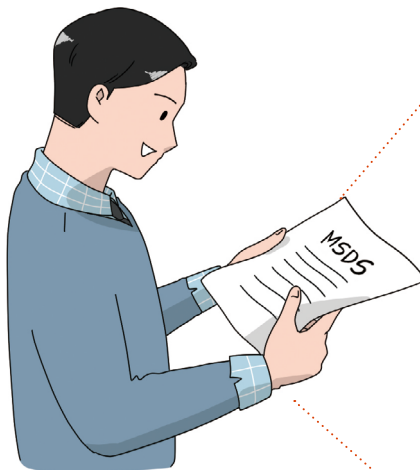
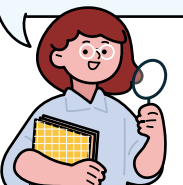
평가 구분		시험(평가) 항목	
		개정 전	개정 후
물리적 평가		지름크기	지름크기
		밀도	밀도
		수분함량	수분함량
		회분	회분
화학적 평가	소재 자체 성분 분석	RoHS ※ EU 제정 유해물질(납, 수은, 카드뮴, 크롬 등) 사용 제한 지침	RoHS
		가소제* 6종 ※ 소재에 배합되어 탄성, 유연성 등을 부여해 가공성을 높이는 물질	가소제 7종
		VOCs방출량	VOCs방출량
	3D프린터 가동 중 방출 물질 분석	(없음)	작동 중 입자 방출량 작동 중 VOCs 방출량 ※ (VOCs) 벤젠, 아세틸렌, 휘발유 등 휘발성유기화합물

3차원프린터 필라멘트 조달규격서 개정 전·후 비교

PLA 소재의 물질안전보건자료(MSDS) 활용해 보기

- ▶ 물질안전보건자료에는 소재를 구성하는 성분의 함유량이 표시되어 있습니다. PLA 함량이 적고 첨가물이 많은 소재에서 유해 물질이 더 많이 방출됩니다.
- ▶ 또한, 유해성·위험성 및 취급·저장 방법 등을 확인하여야 합니다.

"PLA 소재는 옥수수 전분으로 만들어서 상대적으로 유해성이 적어요. 소재를 만들 때 옥수수 전분 이외에 다른 물질들이 들어가 있을 텐데, 그런 게 유해한 거겠죠."



물질안전보건자료 확인

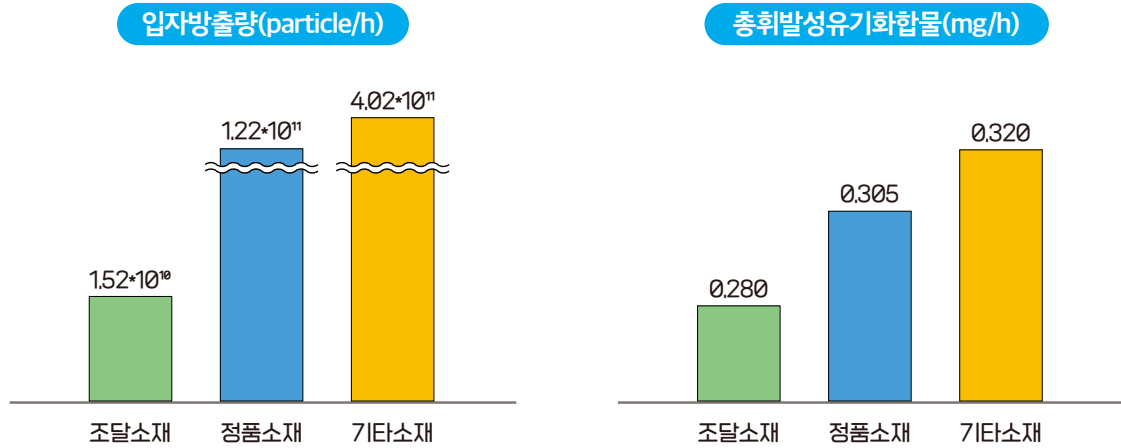
'소재 제조사 또는 판매사는 구매자에게 물질안전보건자료를 반드시 제공하도록 되어 있습니다. (산업안전보건법 제110조 및 제111조)'

1. 화학제품과 회사에 관한 정보 (공급자 및 제조사 확인)
2. 유해성, 위험성
3. 구성성분의 명칭 및 함유량
PLA 98%
탄산칼슘 2%
:
7. 취급 및 저장방법
8. 노출방지 및 개인보호구
:

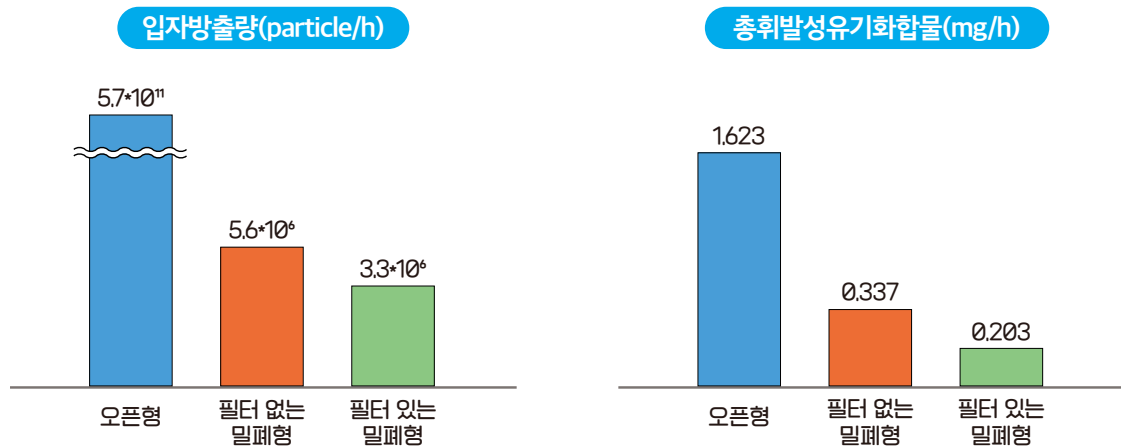
물질안전보건자료(예)

소재 및 3D프린터별 유해물질 방출량 비교

< 3D프린터 가동 중 소재별 유해물질 방출량 비교 >



< 3D프린터 가동 중 3D프린터별 유해물질 방출량 비교 >



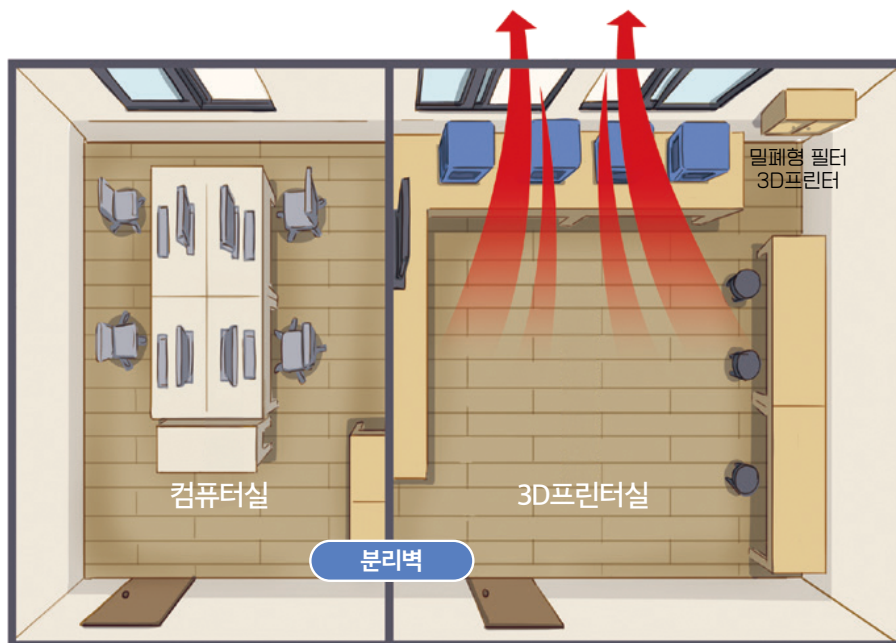
유해 물질 노출 최소화

: 3D프린터 작업실 환기 및 사용자 안전 수칙

3D프린터 설치 공간

3D프린터 작업실은 다른 공간과 꼭 분리해 주세요.

"교실에 3D프린터를 설치하면 수업하면서도 작동이 잘 안되는 걸 알 수 있잖아요. 관리하기도 좋고, 청소도 그렇고, 그래서 여기서 썼는데..."



사용하는 3D프린터에 따른 환기 방법

환기 효율		3D프린터 유형에 따른 환기 필요 수준		
		← 많음	→ 적음	
		개방형 3D프린터	밀폐형 3D프린터	
↑ ↓ 낮음	안전부스 및 국소배기장치	필터 있는 안전부스와 국소배기장치 사용 권장	필터 없음	필터 있음
	환풍기 등 공조장치	안전부스 및 국소배기장치와 병행 사용 권장		
	자연환기 (창문)	보조적 수단으로 활용		
비고		3D프린터 작동 시 유해물질 상시 방출	프린터 개폐장치 개방 시 유해물질이 외부로 방출	유해물질 노출 저감 가능

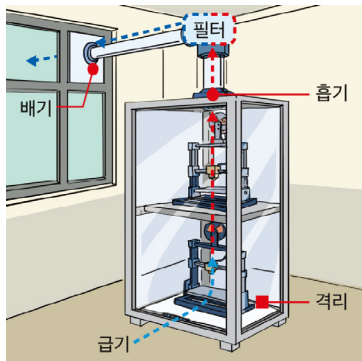
사용하는 3D프린터 및 사용량에 맞는 환기 장비를 이용하세요

개방형 3D프린터

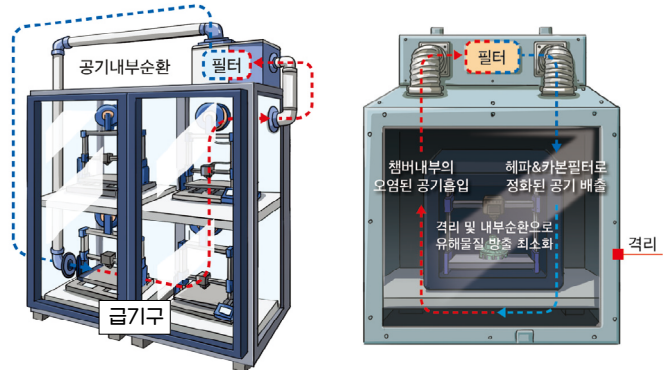
필터가 있는 **안전부스**는 필터를 통해 유해물질을 걸러내고 부스 내부의 공기를 정화합니다. 안전부스의 경우 외부배출방식을 사용하는 것을 권장하며, 외부배출방식의 안전부스를 사용하는 경우 공기가 유입되는 급기구가 있어야 합니다.

=== 안전 부스 ===

외부배출방식



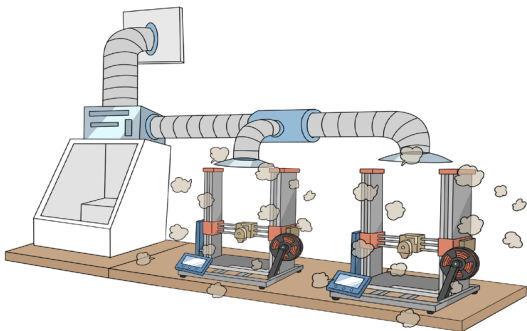
내부순환방식



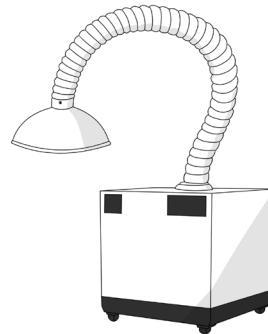
국소배기장치 중 **외부식 후드형 국소배기장치**의 외부식 후드는 후드면이 3D프린터 상부의 면적을 충분히 감싸야 합니다.

=== 외부식 후드형 국소배기장치 ===

고정식 국소배기장치

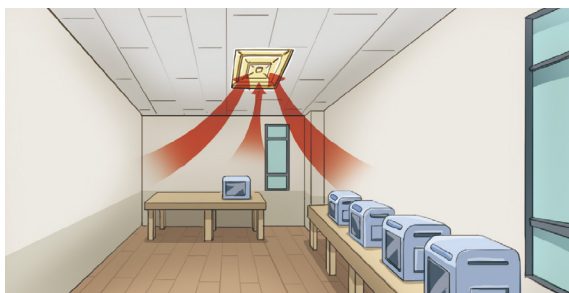


이동식 국소배기장치

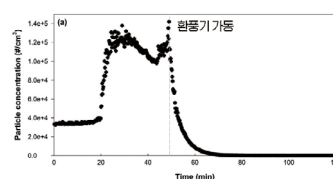


작업 시에는 **환풍기 등 공조장치를 사용하여 3D프린터 작업실을 환기**해야 합니다.

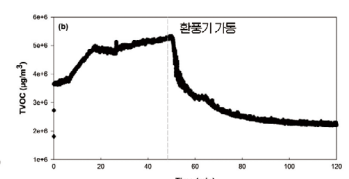
공조장치를 이용한 기계식 환기



총입자수

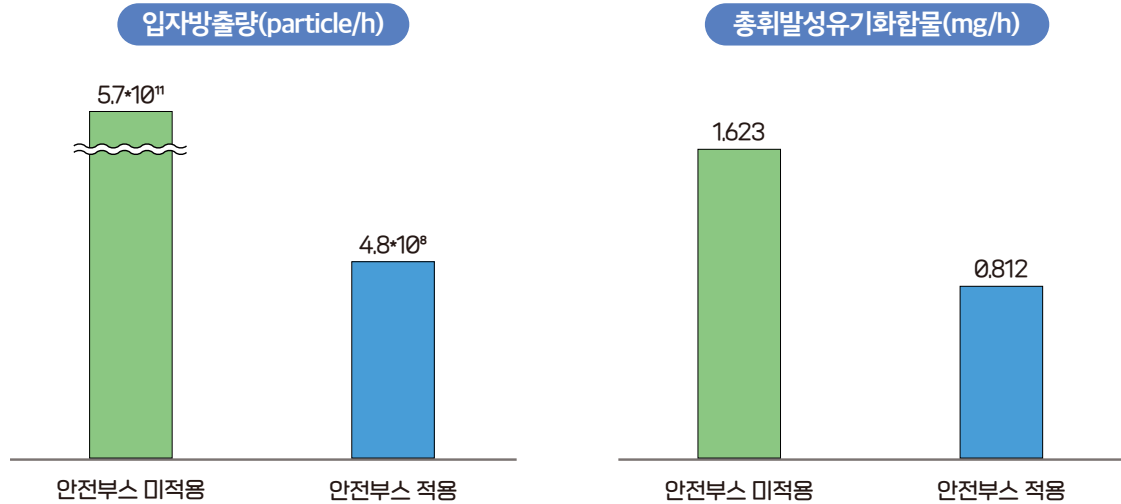


총휘발성유기화합물(TVOC)



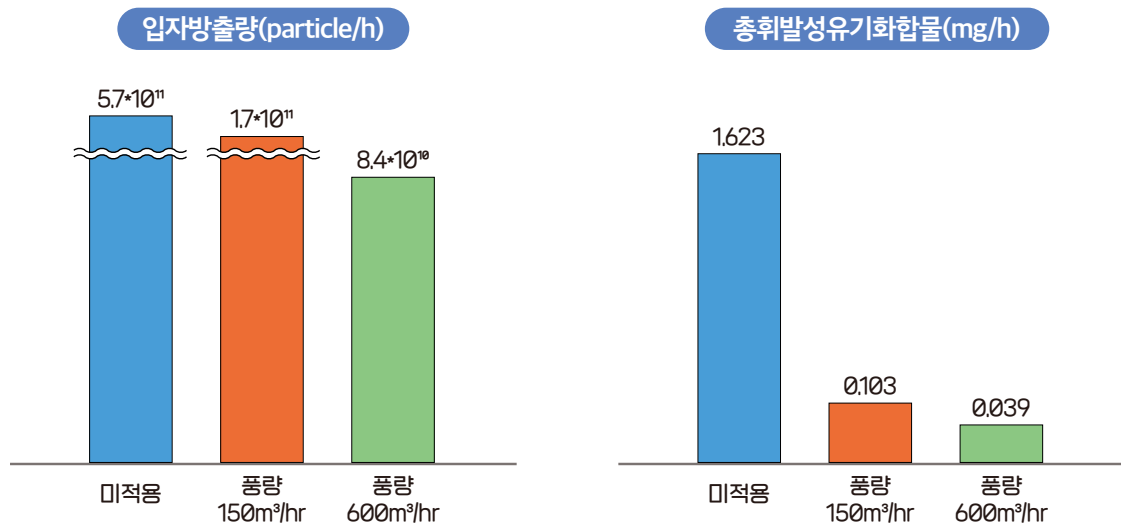
< 안전부스 적용 여부에 따른 유해물질 방출량 비교 >

개방형 3D프린터에 안전부스 적용 여부를 비교하였습니다.



< 외부식 후드형 국소배기장치 적용 여부 및 풍량별 유해물질 방출량 비교 >

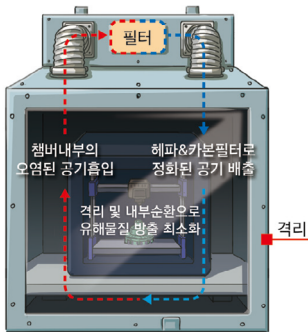
개방형 3D프린터 가동 중 풍량을 달리하여 외부식 후드형 국소배기장치를 적용하였습니다.
개방형 3D프린터 사용 시 외부식 후드형 국소배기장치만을 이용하는 경우에는 입자 제거 효과가 떨어질 수 있습니다.



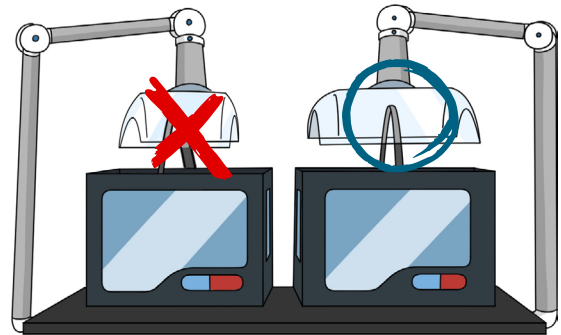
필터 없는 밀폐형 3D프린터

필터가 없는 밀폐형 3D프린터의 경우 개방형 프린터에 비해 작업 중에는 유해물질 방출이 적습니다. 다만, 덮개를 여는 순간 유해물질이 외부로 방출되기 때문에 국소배기장치 또는 필터가 있는 안전부스를 사용하여 유해물질이 작업실에 퍼지지 않도록 해야 합니다. 외부식 후드형 국소배기장치를 사용하는 경우에는 후드면이 3D프린터 상부의 면적을 충분히 감싸도록 해야 합니다.

안전부스



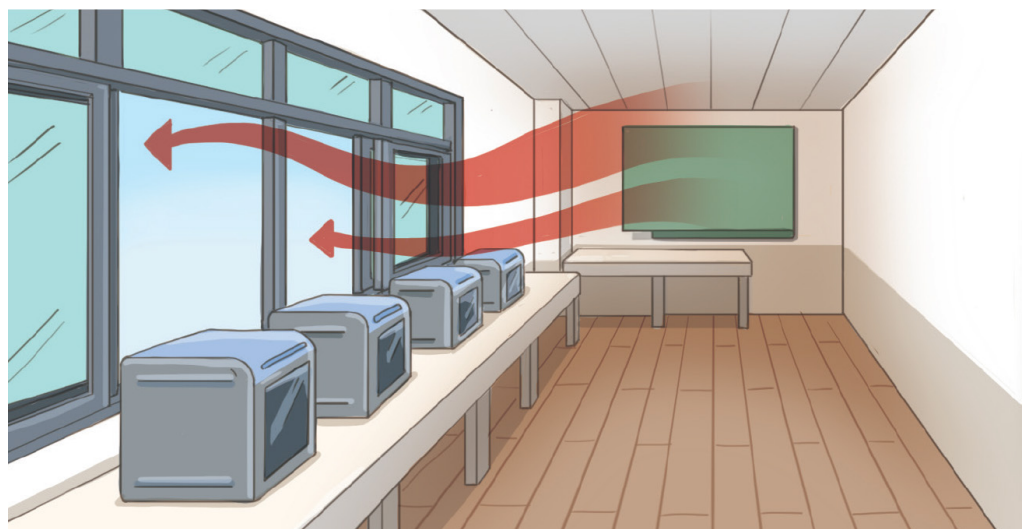
외부식 후드형 국소배기장치



필터 있는 밀폐형 3D프린터

필터 있는 밀폐형 3D프린터는 환풍기 및 자연환기로도 사용 가능하나, 안전부스 또는 국소배기장치 사용 시 유해물질 저감효과를 더욱 높일 수 있습니다. 다만, 자연환기는 외부환경(대기질, 기상 상황) 등을 고려하여 실시하여야 합니다.

창문을 이용한 자연환기



안전부스 및 국소배기장치 설치·구매 시 고려 사항

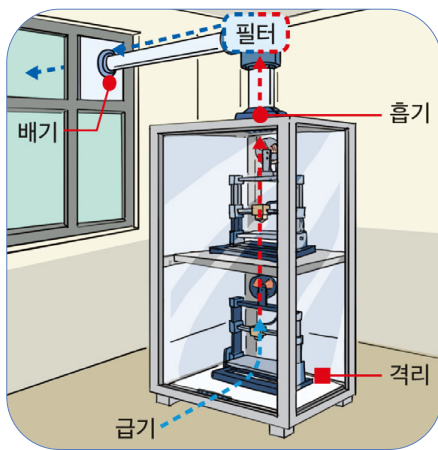
3D프린터 사용 환경이 다양하므로 안전부스 및 국소배기장치를 설치·구매할 때 설치를 잘못하거나 기준에 못 미치는 사례가 있습니다. 따라서, 안전부스와 국소배기장치를 이해하고 주의사항을 확인 후, 환기 전문가의 의견을 참고하여 주십시오.

자세한 사항은 정보통신산업진흥원 3D프린팅 안전센터로 연락주시기 바랍니다. (☎ 043-931-5400, safe3d@nipa.kr)

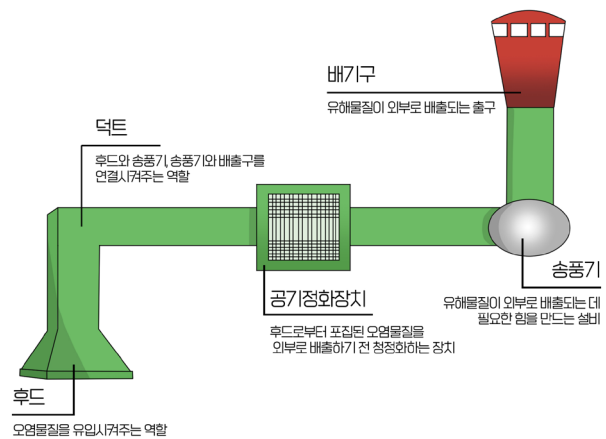
● 안전부스 및 국소배기장치 이해

안전부스와 국소배기장치는 3D프린터에서 방출되는 유해물질을 제거하여 작업실에 확산되는 것을 방지합니다. 안전부스는 3D프린터를 격리하고 필터로 유해물질을 제거 후 외부로 배출하거나 내부 공기를 정화합니다. 국소배기장치는 3D프린터의 유해물질 발생원 근처에서 유해물질을 포집하여 제거합니다.

안전부스 작동 원리



국소배기장치(외부식 후드형) 작동 원리



안전부스 및 국소배기장치(외부식 후드형) 설치·구매 기준

- ▶ 안전부스에 급기구가 있는지 확인합니다.
- ▶ 안전부스 자체가 완전히 밀폐되어 있는지 확인합니다.(틈이 있으면 유해물질이 밖으로 나올 수 있음)
- ▶ 외부식 후드형 국소배기장치의 경우는 후드가 3D프린터 상부를 전부 감싸고 있는지 확인합니다.
- ▶ 유해물질을 흡입하는 제어풍속을 확인합니다.

제어풍속은 최소 1.2m/sec 이상(산업환기설비에 관한 기술지침)

- ▶ 덕트 내 유해물질을 원활히 이동시키기 위한 반송속도를 확인합니다.

반송속도는 최소 15.0m/sec 이상(산업환기설비에 관한 기술지침)

- ▶ 후드에서의 배풍량은 제어풍속 이상을 유지하는지 확인합니다.

*배풍량 계산은 산업환기설비에 관한 기술지침 참조

※ 안전부스·국소배기장치 설치 시, '산업환기설비에 관한 기술지침(한국산업안전보건공단)'을 꼭 참조하여 주시기 바랍니다.

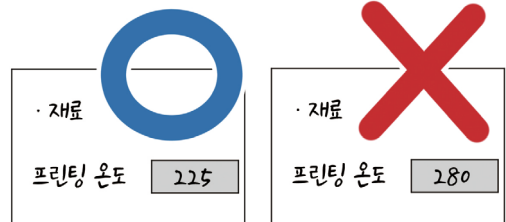
사용자가 지켜야 할 안전 수칙

3D프린팅 작동 전



3D프린터 작동법을
충분히 숙지합니다.

PLA 소재 권장 노즐 온도: 190~230°C



노즐 온도는 권장 온도보다 높게 설정하지 않습니다.

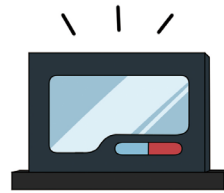
소재/프린터 제조사별로 권장 온도가 다를 수 있으니 자세한 사항은
소재/프린터 제조사의 설명서를 참조해주시기를 바랍니다.

3D프린팅 작동 중



3D프린터 작업실에서는 항상 마스크를 착용합니다.

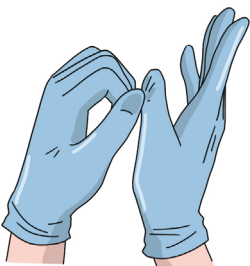
미세입자(평균 0.4~0.6 μ m 크기)를 94% 이상 차단할 수 있는
마스크 착용을 권장합니다.



3D프린터 작동 중에는
가까이 머무르지 않습니다.

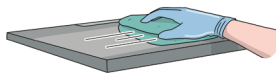
3D프린팅 작동 후

※ 3D프린터 사용량이 많을 경우, KF94 마스크 방진 마스크 또는 방독 마스크를 착용해야 합니다.

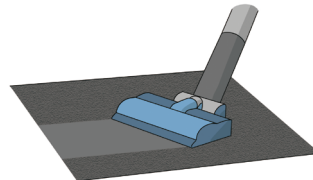


출력물을 꺼낼 때는
보호 장갑을 씁니다.

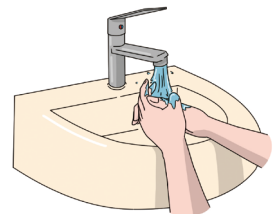
비닐 장갑, 라텍스 장갑 등
화상 예방에 취약한 장갑은
사용을 자제하여 주시기
바랍니다.



유해물질로 오염될 수 있는
3D프린터 주변 및 바닥을
물수건(걸레)으로 닦습니다.



헤파필터가 부착된
청소기를 사용합니다.



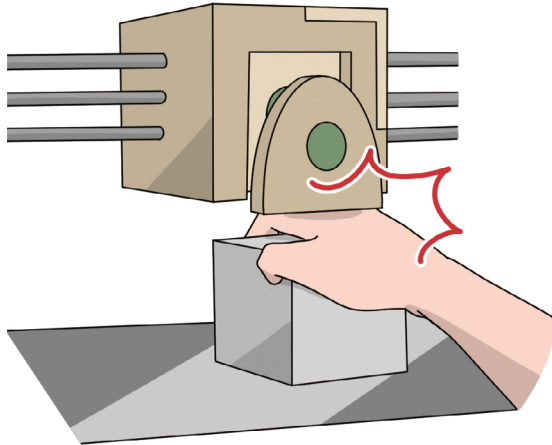
출력물을 꺼내고, 청소를
끝내면 손을 꼭 씻습니다.

발생할 수 있는 사고와 예방법



끼임

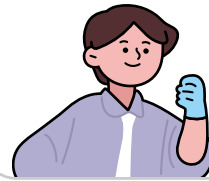
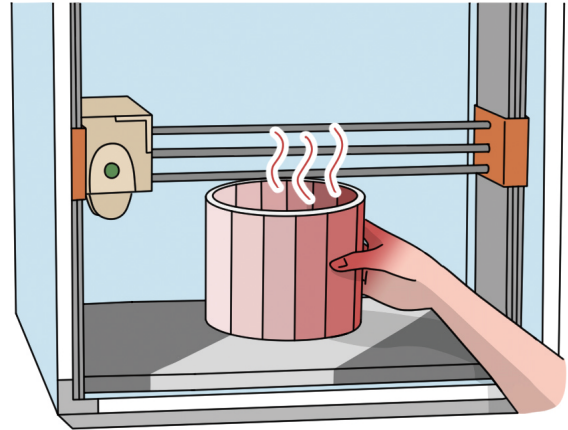
소재를 노즐에 넣을 때



"손, 머리카락, 옷 등이 끼일 수 있으니 주의하세요"

화상

노즐을 만질 때, 출력물을 꺼낼 때

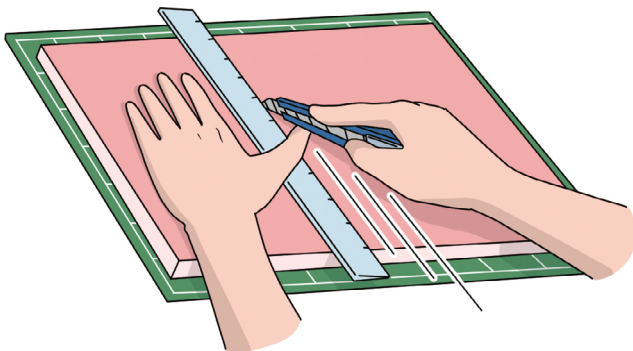


"노즐을 만질 때, 출력물을 꺼낼 때는 꼭 장갑을 끼세요"

"작업이 끝나면 출력물을 바로 꺼내지 마세요"

베임

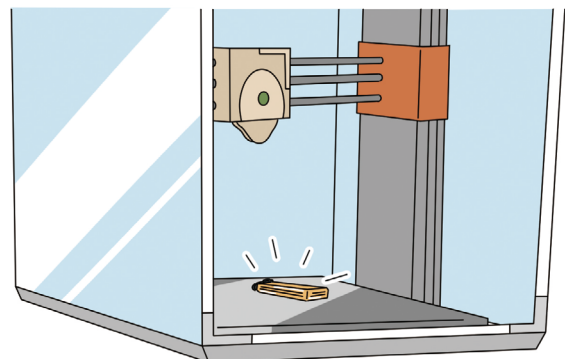
출력물을 자를 때



"출력물을 자를 때는 꼭 장갑을 끼세요"

폭발/화재

3D프린터에 불이 나기 쉬운
이물질이 들어갈 때



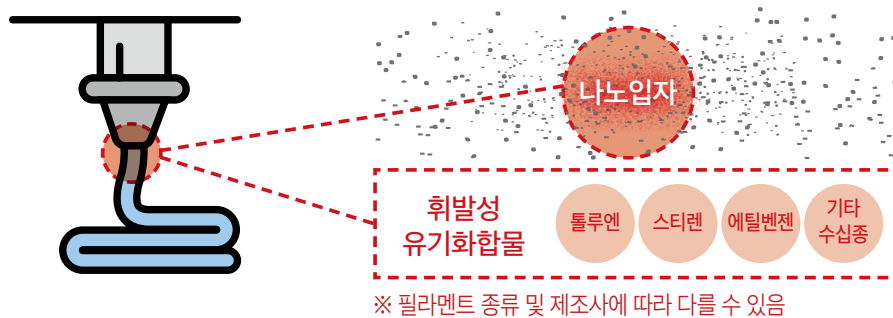
"3D프린터에 불이 나기 쉬운 이물질이 들어가거나 전선이 불량하여 폭발 또는 화재가 일어날 수 있습니다."



1. 3D프린터작업 중 발생하는 주요 유해물질

- (1)나노입자포함한 입자성 물질
- (2)휘발성 유기화합물(VOCs)

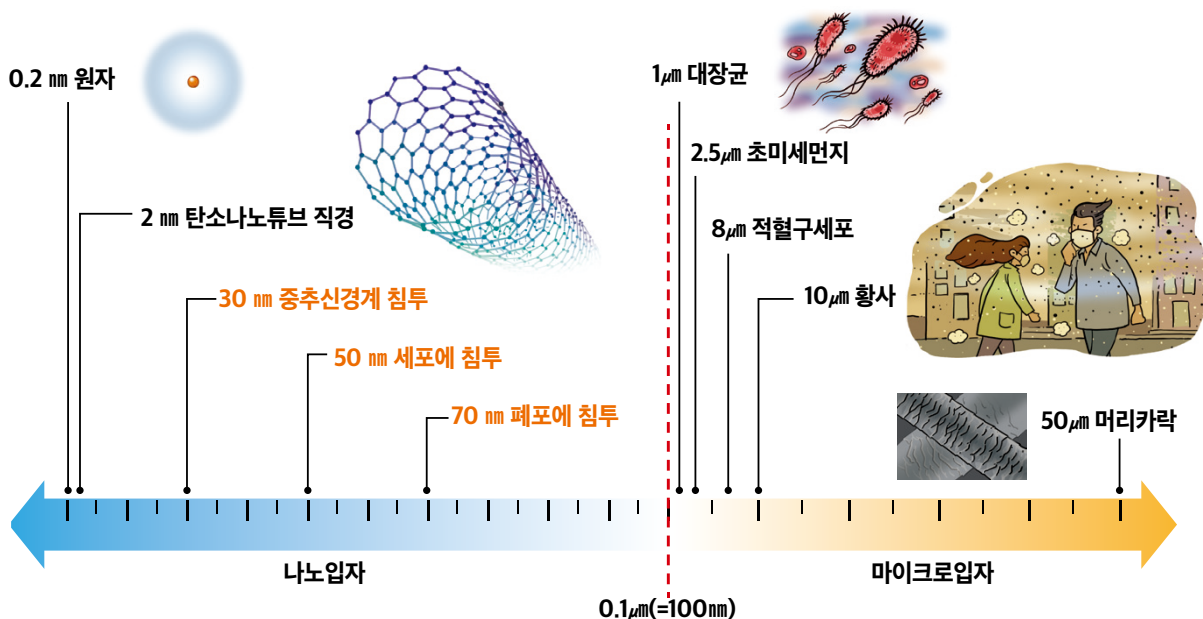
▶ PLA, ABS 등 플라스틱 필라멘트를 주로 사용하는 보급형 3D프린터는 소재를 고열로 녹이는 과정에서 나노 입자와 휘발성유기화합물이 발생합니다.



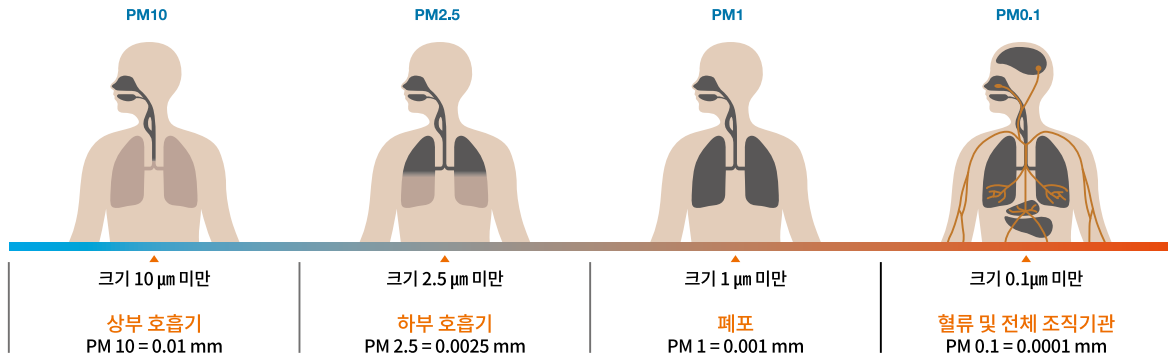
(1) 나노입자(Nanoparticle, Ultra fine particle 등)

- 나노입자는 지름이 0.1마이크로미터(μm)*보다 작은 미세입자를 의미하며, 초미세먼지 ($2.5\mu\text{m}$)보다 작은 입자입니다.
- 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 알려져 있습니다.
- 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 필요합니다.



(2) 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds)

- 휘발성유기화합물은 공기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체 상태 유기화합물의 총칭으로 유기용제 등에 포함되어 있습니다.
- 휘발성유기화합물이 피부에 닿거나, 호흡기를 통해 흡입되는 경우 신체에 영향을 줄 수 있으며, 악취를 발생시키는 물질이 있습니다.
- 3D프린터 사용 시 소재의 종류와 첨가제에 따라 다양한 휘발성유기화합물이 방출된다고 알려져 있습니다.
*주요 방출 물질: (PLA) 락티드, (ABS) 스티렌, (나일론) 카프로락탐 등

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

▶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

2. 3D프린터 출력물 후가공 시 안전 수칙

■ 후가공이란?

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



※ 환기가 불가능한 곳에 설치해서는 안됩니다.

▶ 후가공 작업 중 발생할 수 있는 위험요소 및 안전 대책

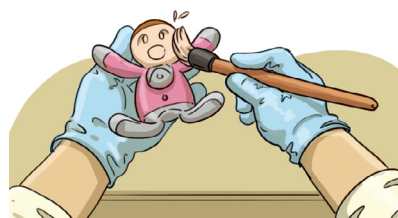
<표면처리>

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



<채색>

스프레이 방식의 전문 채색 작업을 할 경우 반드시 국소배기장치 등 전문적인 환기시설을 갖춘 공간에서 작업을 해야 합니다. 교육 현장에서는 아크릴물감을 사용하여 채색작업 진행할 것을 권고합니다.



※ 후가공 시 유해성이 큰 유기용매는 가능한 사용하지 마시기 바랍니다.

3. 3D프린터 안전교육 안내

▶ 안전교육은 온라인으로 신청 후 무료로 이수할 수 있습니다.

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

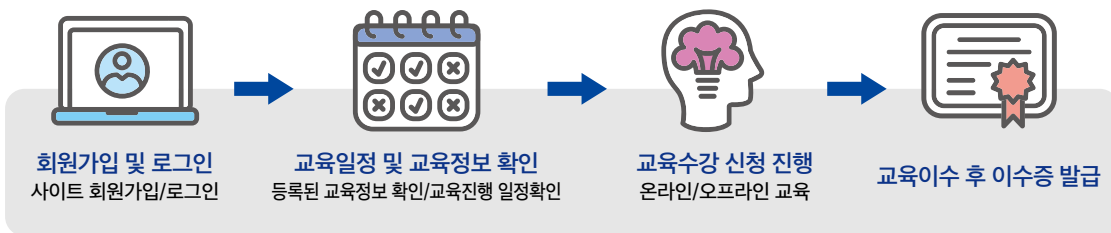
* 학교 교사, 학생, 일반인은 일반회원으로 가입 후 온라인으로 수강할 수 있으며, 필요 시 오프라인 교육(집합 또는 현장)도 신청 가능합니다.

※ 안전교육 교재는 홈페이지에서 다운로드 가능

<안전교육 내용>

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

<안전교육 온라인 신청 절차>



4. 해외 3D프린팅 안전이용 가이드라인 및 참고문헌

해외 3D프린팅 안전이용 가이드라인

미국

▶ 국립노동안전위생연구소(NIOSH)

- '3D Printing with Metal Powders Health and Safety Questions to Ask' (2020)

▶ UL(Underwriter laboratories), Chemical Insights

- '3D Printer School Safety: A Guide for Supporting Indoor Air Quality & Human Health' (2020)
- (UL-200B) 'GUIDANCE DOCUMENT_Safe Use of 3D Printing for Institutions' (2023)

핀란드

▶ 산업안전보건연구소(FIOH)

- '3D 프린팅의 잠재적 유해·위험요인과 작업의 안전성 관리방법(37쪽)', 산업안전보건연구원 (안전보건 이슈리포트-76호)(2017)
※ 원문 보고서를 인용한 국내 보고서

- 'Chemical safety of 3D printing at workplaces' (2021)

영국

▶ 영국보건안전청(HSE), CLEAPSS (학교 안전 자문 조직)

- '3D Printing In Schools and Colleges: Managing the Risks'(2019)

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

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 없습니다.
➔ '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 없습니다.
그러나 사전에 이용자의 안전을 고려하여 위해성이 의심되는 화학물질과 화학물질 별인체영향을 이용자에게 제공하고자 합니다.

- ▶ (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		<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 눈, 상기도 자극 등 • (만성) 신경계, 호흡기계, 간담도계, 생식계 • (발암성) IARC 2B, ACGIH A4
에틸벤젠	ABS	PLA		<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 눈, 코, 목, 자극 등 • (만성) 피로감, 졸음, 두통, 눈 및 호흡기 증상 • (발암성) IARC 2B, ACGIH A3
아세트알데하이드	ABS	PLA	나일론	<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 눈, 피부, 호흡기 점막 등 • (발암성) ARC 2B, ACGIH A2
아세톤	ABS	PLA	나일론	<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 호흡기계, 신경계, 조혈기계, 생식계, 피부염 • (발암성) 발암물질로 보기 어려움
벤젠	ABS	PLA		<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 신경계, 간담도계, 신장, 피부, 소화기 등 • (만성) 범혈구 감소증, 재생불량성 빈혈, 백혈병 등 • (발암성) IARC 1, ACGIH A1
폼알데하이드	ABS	PLA	나일론	<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 눈, 피부, 비강, 인두, 호흡기계, 신경계 • (만성) 호흡기계, 신경계, 위장관계, 조혈기계 등 • (발암성) IARC 1, ACGIH A2
톨루엔	ABS	PLA		<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 기억력 감퇴, 중추신경계 기능 저하, 간 손상 등 • (만성) 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 조혈기계 등 • (발암성) 발암물질로 보기 어려움
크실렌 (자일렌)	ABS	PLA		<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 두통, 피로감, 자극, 나른함, 심혈관계 등 • (만성) 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 비뇨기계 등 • (발암성) IARC 3, ACGIH A4
n-부탄올	ABS	PLA		<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 눈, 코, 인후, 두통, 어지럼증, 피부염 등 • (만성) 눈, 피부, 비강, 인두, 이비인후계 • (발암성) 확인할만한 근거가 없음
이소프로필알콜	ABS	PLA	나일론	<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 신경계, 호흡기계, 심혈관계, 위장관계 등 • (만성) 피부염 • (발암성) IARC 3, ACGIH A4
아크릴로니트릴	ABS	PLA		<ul style="list-style-type: none"> • (급성) 눈, 피부, 호흡기계, 신경계 • (만성) 신경계, 생식계 • (발암성) IARC 2B, ACGIH A3

※ 조사 대상 논문에서 언급된 횟수 순

■ '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, 흙의 형태로 인체에 영향을 유발할 수 있는 경우 및 사전 예방조치를 근로자건강진단 실무지침(건강 장애)과 물질안전보건자료(예방조치)에서 발췌하였습니다.
(구체적인 내용은 원문을 참조 바랍니다.)

■ 건강장해

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·기관·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 드물)

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, 무공항문)을 증가, 첫 번째 세대에서 젖을 먹는 새끼 쥐의 사망이 증가 등

발암성

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

■ 예방조치

① (초)미세입자

- 방진마스크(1급), KF94 이상의 마스크를 착용하십시오.
- 물과 비타민C가 풍부한 과일·야채를 섭취하십시오.
- 환기, 물청소, 공기청정기 가동 등 공기질을 관리하십시오.

② 화학 물질

- 옥외 또는 환기가 잘 되는 곳에서만 취급하십시오.
- 가스, 증기, 분진, 흙의 흡입을 피하십시오.
- 사용시, 먹거나 마시지 마시고 흡연하지 마십시오.
- 보호장갑, 보호의, 보안경, 안면보호구를 착용하십시오.

【참고1】 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-메틸에테닐벤진, 노나데케인, 옥타데케인, 2-페닐2-프로판올6, 4-바이닐시클로헥센, 2-헥세날, 2-에틸, 옥타메틸 시클로테트라실록산, 부틸 아크릴레이트, 2,6-디-터트-뷰틸-4-메틸페놀, 디에틸헥실프탈레이트, 데카메틸 시클로펜타실록산, 펜척시마이드, 프로필벤젠

【참고2】 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

③ 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

➤ 감수

연번	구분	성명	소속	직위
1	학계	윤충식	서울대학교 보건대학원	교수
2	연구기관	성우철	건설생활환경시험연구원	책임
3	시민단체	고도현	시민과학연구소	소장
4	학교	권석영	마포중학교	교사
5		박재현	과정초등학교	교사
6	산업계	윤석준	(주)그래피	이사
7	관련단체	장정림	안전보건협회	이사
8		강승철	3D융합산업협회	사무국장
9		이상호	3D융합산업협회	과장
10		성유철	3D프린팅연구조합	부장

3D 프린터 안전이용 가이드



과학기술정보통신부