

3D프린터(3D펜) 실태와 직업성암 재해인정 개선방안 토론회

일시 : 2022년 1월 27일 (목) 오후 2시

장소 : 국회 의원회관 제1간담회실

목차

3D프린터(3D펜) 실태와 직업성암 재해인정 개선방안 토론회

인사말

강민정 열린민주당 국회의원	4
----------------------	---

발제 및 토론

발 제

3D프린터(3D펜) 실태와 필라멘트 위험성 :고도현 시민과학연구소 소장	6
3D 프린터 직업성암 인정의 쟁점과 대안 :이윤근 노동환경건강연구소 소장	40

토 론

3D프린터 재해자 증언 : 서정균 고 서울 교사 아버지	48
3D프린터 현장 의견 : 노시구 전국교직원노동조합 정책실장	50
3D프린터 안전관리 방안 : 최동원 정부통신방송기술정책과 과장	52
3D프린터 교육환경 개선방안 : 나세정 교육부 학교안전총괄과 사무관	54
3D프린터 재해인정 방안 : 최성필 고용노동부 산업보건기준과 주무관	56

강 민 정
열린민주당 국회의원



안녕하십니까. 열린민주당 국회의원 강민정입니다.

오늘 3D프린터 실태와 직업성암 재해인정 개선방안 토론회를 하게 되었습니다. 아픈 마음으로 이 자리를 만들어주신 직업성·환경성암환자찾기119, 전국교직원노동조합 그리고 바쁘신 와중에도 귀한 시간 내어 토론회에 참여해주신 모든 분들께 깊은 감사의 말씀 드립니다.

3D프린터 이용 이후 육종암 진단을 받은 교사 3명이 공무상 재해 신청을 한지도 어느덧 1년이 다 되어갑니다. 여러 연구를 통해 3D프린팅 소재의 인체 유해성이 지적되어 왔으나 아직도 학교 현장에서는 3D프린터가 활발하게 쓰이고 있습니다. 부족한 안전보건관리로 인한 피해는 온전히 교사와 학생들에게 돌아가고 있습니다.

저는 2020년 교육위원회 국정감사에서 3D프린터 소재 필라멘트의 인체 유해성을 경고하고 부실하게 이루어지는 학교 안전보건관리 개선을 요청하였습니다. 이후 관계부처에서 합동으로 안전보건관리 실태조사를 진행하여 이용 실태를 파악하고 이용 가이드라인을 배포하였지만 여전히 미흡한 부분이 있습니다. 이용자 안전을 위한 보다 근

본적인 대책 마련이 필요합니다.

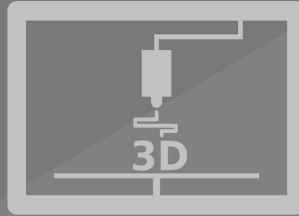
안전의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않습니다. 현재 3D프린팅 제품의 안전성을 사전에 검증할 수 있는 기준이 아직 없습니다. 3D프린팅 이용자 안전을 위한 3D프린터 안전고도화 지원, 3D프린팅 유해물질 저감장비 상용화 지원 등의 항목도 2022년 예산안에 반영되지 않았습니다. 주기적인 안전보건관리 실태조사 실시 의무화, 3D프린팅 제품 안전성 사전 검증 기준 마련, 안전관리 예산 확충, 3D프린팅 안전교육 확대 및 실습환경 개선 등 이용자 안전을 위한 실효적인 대책 논의가 절실합니다.

오늘 토론회가 3D프린터 이용 실태를 파악하고 안전한 이용을 위한 구체적인 제도 개선 방안을 마련하는 귀한 시간이 되었으면 좋겠습니다. 교육 현장에서 최선을 다해 아이들을 가르친 故 서울 교사를 포함한 교사 3명의 육종암 진단이 하루빨리 공무상 재해로 인정되기를 바라며 유족들에게도 위로의 말씀을 드립니다. 저는 이후 법률안 발의, 의제 공론화 등 국회의원으로 제가 할 수 있는 일들을 하겠습니다. 이번 발표회를 준비하고 또 많은 관심과 참여를 보여주신 모든 분들께 감사의 인사를 다시 한번 드립니다.

감사합니다.

2022년 1월 27일
국회의원 강민정

3D 프린터(3D펜) 실태와 필라멘트 위험성



2022. 1. 27.

고도현

시민과학연구소

목 차

I. 서론

II. 3D 프린팅 위해성

III. 국내 3D 프린팅 정책

VI. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

V. 제언

I. 서론

- 1. 3D 프린터와 육종암
- 2. 3D 프린팅 개요

I. 서론

1. 3D 프린터와 육종암

- 3D 프린터를 자주 사용한 과학고 교사에게서 희귀암인 **육종암** 발병 사례가 언론보도됨.
- 희귀암은 국내 발병률이 전체 암의 1% 미만으로 알려져 있음.



* 출처: 오마이뉴스

1. 서론

2. 3D 프린팅 개요

1) 3D 프린터

(1) 3D 프린터 유형



< 밀폐형 3D 프린터 >



< 개방형 3D 프린터 >

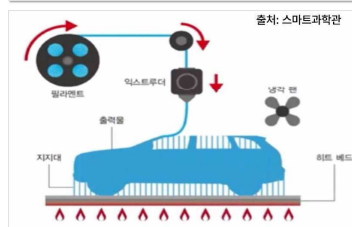
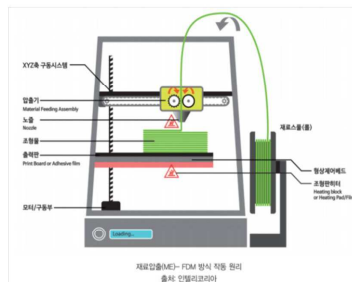
1. 서론

2. 3D 프린팅 개요

1) 3D 프린터

(2) 3D 프린팅 기술 방식

- 3D 프린팅 기술은 다양하지만 주로 많이 사용하는 방식은 재료압출방식의 FDM(Fused Deposition Modeling) 또는 FFF(Fused Filament Fabrication) 방식임.
- 열가소성물질을 노즐 안에서 녹여 한 줄씩 적층하는 방식임.
- 노즐의 고열이 플라스틱을 녹이고 상온에서 한 층씩 경화되면서 제품이 출력됨.



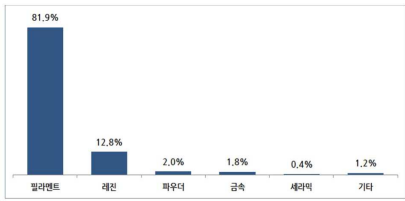
I. 서론

2. 3D 프린팅 개요

1) 3D 프린터

(3) 3D 프린팅 소재

- 대부분의 업체는 재료압출방식의 주요 소재인 열가소성 플라스틱(필라멘트)를 81.9%로 가장 많이 활용하고 있음.
- 그 다음으로 광경화성 플라스틱(레진), 열가소성 수지(파우더), 금속, 세라믹 순으로 사용함.



< 3D프린팅 소재활용 현황 비중 - 장비구매 기업 >
* 출처: 과학기술정보통신부·정보통신산업진흥원, 2020



< 3D프린팅 필라멘트 >

7

I. 서론

2. 3D 프린팅 개요

2) 3D 펜

(1) 3D 펜 구조

- 3D 프린터에 비해 3D 펜은 비용이 저렴하며, 손으로 작업하기 때문에 간편하고 작업이 쉬움.



< 3D펜 작동방식 >

* 출처: 삼성반도체이야기



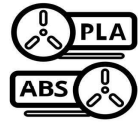
8

1. 서론

2. 3D 프린팅 개요

3) 3D 프린팅 필라멘트 소재

- 다양한 소재들이 있지만 대표적으로 주로 사용하는 필라멘트는 PLA와 ABS임.



필라멘트 종류	적정 온도	특징
ABS (Acrylonitrile, Poly-Butadiene, Styrene)	230~260 °C	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양하고 선명한 색깔 ▪ 플라스틱 접착제를 이용해 결합이 용이함 ▪ 내충격성이 크고 내열성이 좋음 ▪ 점착성이 우수하고 녹는점이 균일 ▪ 사포나 샌딩의 표면처리 용이 ▪ 플라스틱용 도료나 아크릴 도료의 도장 가능 ▪ 수축이 심해서 히팅베드 필수 ▪ 샌딩이나 도장 등 후가공할 때 쉽게 가공 가능 ▪ 출력시 약취, PLA보다 수축이 심함. ▪ 아세톤 훈증 후가공 가능



* 출처: 전북3D프린팅협동조합

1. 서론

2. 3D 프린팅 개요

3) 3D 프린팅 필라멘트 소재

- 주로 많이 사용되고 있는 필라멘트는 ABS와 PLA가 있음.



필라멘트 종류	적정 온도	특징
PLA (Poly Lactic Acid)	190~220 °C	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 옥수수 전분에서 추출한 원료로 만든 생분해 수지 ▪ 가공성, 실용성, 안정성을 가지고 있는 소재 ▪ 점착성이 우수하며 녹는점이 균일함 ▪ 균열 및 수축 현상이 적어 히팅베드 없이도 안정적인 프린팅 가능 ▪ 습기에 민감 ▪ 사포 등 후가공시 표면처리 어려움



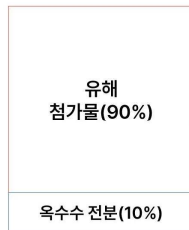
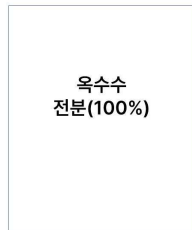
* 출처: 전북3D프린팅협동조합

I. 서론

2. 3D 프린팅 개요

3) 3D 프린팅 필라멘트 소재

- PLA 과연 **친환경, 무독성** 소재인가?
 - 온라인 상에 친환경, 인체에 무해한 무독성으로 제품 홍보되고 있음.
 - PLA 내 첨가물(가소제, 안료 등) 정보 없음.



친환경?
무독성?

11

I. 서론

2. 3D 프린팅 개요

4) 3D 프린팅 활용 범위

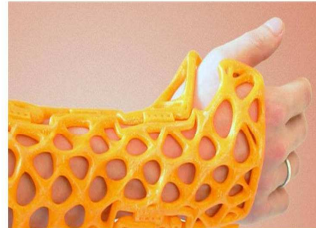
- 3D 프린팅 기술의 활용은 제조업 분야를 포함하여 바이오, 의료, 항공우주, 건축, 각종 개인 생활용품 분야(소비재) 및 고고학 분야에서 완제품을 비롯한 특수 부품 제조, 개인 맞춤형 제품 생산에 이르기까지 범위가 확대되고 있음.



<대형 3D 프린터로 만든 로켓 추진체 탱크>
* 출처: Relativity Space



<3D 푸드 프린팅>
* 출처: MBC



<개인 맞춤형 3D 프린팅 깁스>
* 출처: <https://angel.co/company/zdravprint>

12

I. 서론

2. 3D 프린팅 개요

4) 3D 프린팅 활용 범위



<3D 프린터로 만든 인공 귀>
* 출처: digitaltrends.com



<3D 프린팅 콘텐츠>
* 출처: 문화체육관광부 문화포털

I. 서론

2. 3D 프린팅 개요

5) 3D 프린팅 대중화

- 3D프린팅 기술은 1980년대 초에 처음 등장했음에도 불구하고 일부 제조업체에서 시제품 제작으로 사용했을 뿐 수천만 원이 넘는 고가의 장비로 대중화가 어려웠음.
- FDM 기술 특허권이 만료되면서 오픈소스(open-source)를 활용한 저가형 3D 프린터가 시장에 많이 보급되었고, 가정, 학교, 교육시설 등에서 누구나 쉽게 3D 프린터를 접할 수 있게 되었음.



출처: 한국대학신문



출처: 청주일보



출처: MBC

I. 서론

2. 3D 프린팅 개요

5) 3D 프린팅 대중화



< 유치원생 3D펜 놀이 >

※ 출처: e-대학저널 (<http://www.dhnews.co.kr>)



< 광진정보도서관 팸 라이브러리 3D펜 프로그램 운영 >

※ 출처: 광진정보도서관



2019년 과학원외 민간활동 지원사업 초등 과학2실

3D펜으로 그리는 내맘 대로 세상!

30년을 가까이, 과학원외 내 맘대로 3D펜 세상으로 즐겨봐요~!

일 시 2019년 9월 21일, 28일(토) 오후 4시 30분 - 6시
 장소 서울 중랑구공덕동
 대 상 초등 3~6학년 50명
 강 령 박인영, 공복영, 박찬영 강사(3D펜 지도사)
 수 2019년 9월 10일(화) 오후 9시 - 마감 시
 문의 어린이활동실 행정팀, 공복영
 문의 어린이활동실 (연 307-6030, 내선 303-4)

신청에 따라
 대안수업 시 차
 학인 부담금 없음

9월 21일(토)
 초등 3~4학년 15명

9월 28일(토)
 초등 5~6학년 15명

4차 산업혁명 선도 기업, 미래교육 선도기업, 미래교육 선도기업, 미래교육 선도기업

15

II. 3D 프린팅 관련 위해성

1. FDM방식 3D 프린팅 작업활동 유해위험요인
2. FDM방식 3D 프린팅 유해물질 노출 문제
3. 3D 펜 유해물질 노출 문제
4. 현재 알려진 3D 프린팅 작업 관련 질병

II. 3D 프린팅 위해성

1. FDM방식 3D 프린팅 작업활동 유해위험요인

1) 3D 프린팅 작업 공정



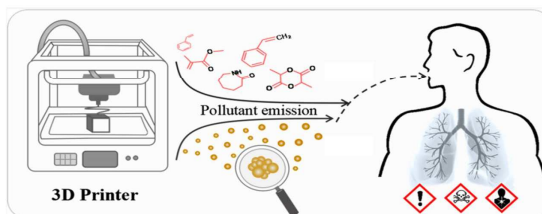
* 출처: 온라인 3D프린팅 산업안전교육

17

II. 3D 프린팅 위해성

2. FDM방식 3D 프린팅 유해물질 노출 문제

- 보급형 FDM 방식 3D 프린터에 채택되는 프린팅 방식은 대부분 고열이 필라멘트 소재에 가해지는 과정을 거치기 때문에 인쇄 과정에서 발생하는 **입자상 및 가스상 유해 인자의 발생원**이 됨(윤충식 외, 2018).
- 다양한 변수(노즐 온도, 소재 등)를 적용하여 3D 프린팅 작업 시에 발생하는 인자의 농도수준을 파악한 결과 가장 우려 되는 물질은 **나노입자(100 nm 이하)**가 발생하고, **유기화합물 등 다양한 유해물질**도 발생함(산업안전보건원, 2018).



18

II. 3D 프린팅 위해성

2. FDM방식 3D 프린팅 유해물질 노출 문제

1) 휘발성유기화합물 등 다양한 유해물질

- 필라멘트는 고분자성 폴리머(polymer)를 기반으로 플라스틱 가소제, 내연제, 안정제 등 첨가물이 함유되어 있으며, 이들이 프린팅 과정에서 열분해되어 배출하는 유해인자는 사용자의 안전과 건강에 영향을 줄 수 있음 (윤충식 외, 2018).

필라멘트 종류	현재까지 밝혀진 발생가능한 유해인자
ABS (Acrylonitrile, Poly-Butadiene, Styrene)	ABS를 구성하고 있는 단량체를 포함하여 스티렌(Styrene), 에틸벤젠(Ethylbenzene) 등 휘발성 유기화합물(VOCs), 일산화탄소(Carbon monoxide), 시안화수소(Hydrogen cyanide)
PLA (Poly Lactic Acid)	락티드(Lactide), 메탄(Methane), 메틸 케텐(Methylketene), 일산화탄소(Carbon monoxide), 알데히드류(Aldehydes) 등

이 외에도 열분해 과정에서 발생할 수 있는 미지의 유해물질이 존재할 수 있음.

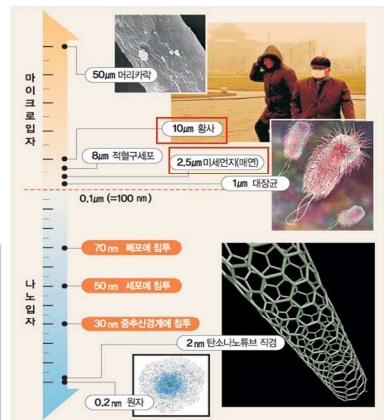
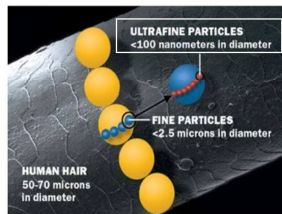
19

II. 3D 프린팅 위해성

2. FDM방식 3D 프린팅 유해물질 노출 문제

2) 초미세입자

- 초미세입자(Ultrafine particle)는 $0.1\mu\text{m}$ (100 nm)로 WHO와 OECD 등에서 지칭함.
- 3D 프린팅 과정 중 발생하는 입자의 대부분이 100 nm 이하의 나노 입자 크기부터 수백 나노 미터에 이르기까지의 초미세입자인 것으로 보고되고 있음.



* 출처: 산업안전보건연구원, 2007

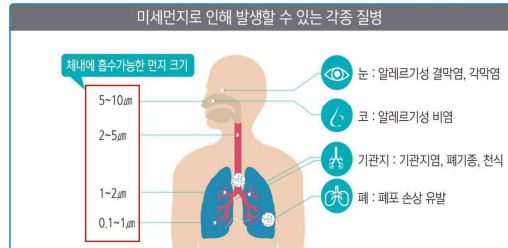
20

II. 3D 프린팅 위해성

2. FDM방식 3D 프린팅 유해물질 노출 문제

2) 초미세입자

- 입자가 미세하여 코점막을 통해 걸러지지 않고, 흡입시 폐포(뇌)까지 직접 침투, 천식-폐질환 유병률 및 조기 사망률 증가
- 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)는 미세먼지를 인간에게 암을 일으키는 것으로 확인된 1군(Group1) 발암물질로 분류('13.10월)



※ 출처: 어린이 학생 어르신 건강 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼(환경부)

21

II. 3D 프린팅 위해성

2. FDM방식 3D 프린팅 유해물질 노출 문제

2) 초미세입자

(1) 나노입자에 대한 잠재적인 건강 영향(NIOSH, 2009)

- 나노입자는 대부분의 인체침투 경로는 **호흡기계**임.
- 인체 및 동물 연구에서 흡입된 나노입자는 호흡기계에 침적하고 **혈류**를 통해 다른 장기로 이동함.
- 세포배양연구에서 나노입자는 생물학적인 반응이 일어나는 것으로 관찰됨.
- 화학적 구성, 결정 구조, 입자 크기의 변화가 조직 독성을 다르게 할 수 있음.
- 건강에 영향을 줄 수 있는 결정적인 이화학적 특성에 관한 연구가 필요함.

22

II. 3D 프린팅 위해성

2. FDM방식 3D 프린팅 유해물질 노출 문제

2) 초미세입자

(2) 나노입자와 거시입자(macroparticle)의 건강영향 파악 차이점

- 호흡기를 통한 거시입자가 인체에 미치는 영향은 흡입되는 입자의 흡입량(mass)과 입자성분(composition)만으로 결정.
- 그러나 나노입자에 있어서는 단순히 기존의 통용되는 이 두가지 요소만으로 인체에 미치는 잠재적인 위험이 결정될 수 있는 것으로 보지 않고, 입자의 크기(size), 형상(shape), 응집상태(agglomeration state), 표면적(surface area), 표면화학특성(surface chemistry), 용해도(solubility), 나노 결정구조(nano structure)가 각각 인체의 유해한 영향을 끼칠 것으로 예측됨.
- 입자의 어떤 척도가 나노입자의 유해성을 나타내는데 가장 적합한 것인가는 아직까지 밝혀지지 않은 상태이고, 입자의 여러 특성들이 복합적으로 작용하여 인체의 유해한 영향을 미칠 것으로 예상됨.

* 출처: 구본기. "흡입된 나노입자와 건강: 고찰." *한국환경보건학회지* 36.4 (2010): 255-23.

23

II. 3D 프린팅 위해성

3. 3D 펜 유해물질 노출 문제

1) 3D 펜 특징

- 손으로 작업하기 때문에 작업 중 호흡기와 가까운 거리에서 유해물질에 노출될 수 있음.
- 3D 펜 사용 연령대가 유해물질에 민감한 어린이와 청소년이 주로 이용함.
- 기계적 환기시설이나 유해물질 제거 필터를 갖출 수 없는 환경임.
- 필라멘트 첨가물에 금속, 나노입자, 탄소섬유 함유 문제
- 3D펜 사용시 방진마스크 착용하지 않음.

24

II. 3D 프린팅 위해성

3. 3D 펜 유해물질 노출 문제

2) 3D 펜 필라멘트 소재 연구 사례

- 다양한 색깔의 PLA와 ABS 3D펜 필라멘트 소재를 분석한 결과 출력시 나노입자, 금속입자, 탄소나노튜브(CNT: Carbon Nanotube)가 검출됨.
- 탄소나노튜브는 금속보다 가볍지만 기계적 강도에서 강철보다 큰 성질을 가진 나노신소재임.
- 금속 나노입자와 탄소나노튜브는 **세포독성**에 영향을 주고 **DNA 손상**을 일으킴.



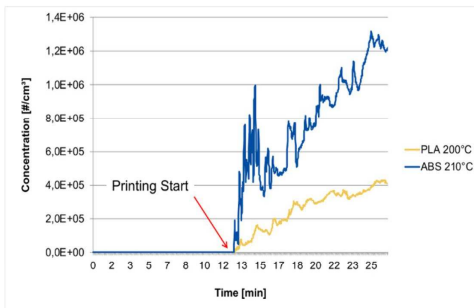
※ 출처: Sigloch, Heike, et al. "3D printing-evaluating particle emissions of a 3D printing pen". *JoVE (Journal of Visualized Experiments)* 164 (2020): e61829.

< 탄소나노튜브(CNT) > 25

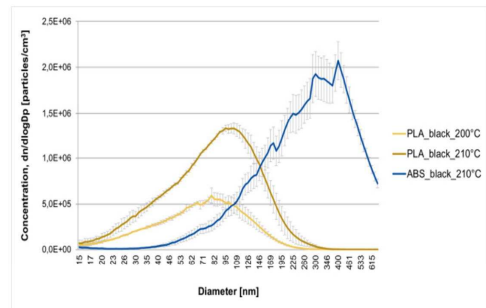
II. 3D 프린팅 위해성

3. 3D 펜 유해물질 노출 문제

2) 3D 펜 필라멘트 소재 연구 사례



< 3D 펜 사용 후 필라멘트 소재별 입자 농도 비교 >



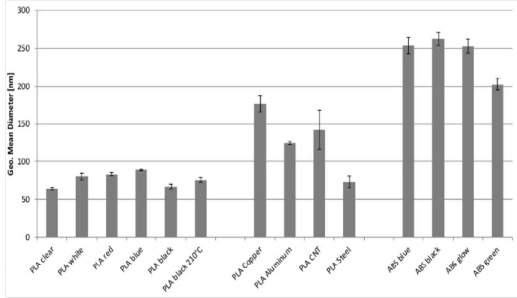
< 3D 펜 필라멘트 소재별 입자 크기 분포 >

※ 출처: Sigloch, Heike, et al. "3D printing-evaluating particle emissions of a 3D printing pen." *JoVE (Journal of Visualized Experiments)* 164 (2020): e61829.

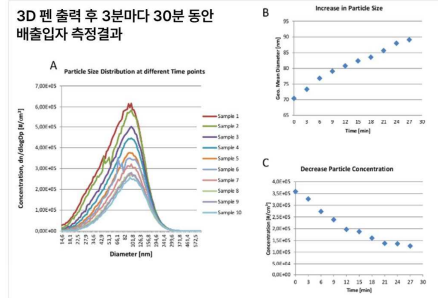
II. 3D 프린팅 위해성

3. 3D 펜 유해물질 노출 문제

2) 3D 펜 필라멘트 소재 연구 사례



< 3D 펜 필라멘트 소재별 평균 직경 분석 결과 >



< 3D 펜 출력 후 입자 크기 분포 >

* 출처: Sigloch, Heike, et al. "3D printing-evaluating particle emissions of a 3D printing pen." *JoVE (Journal of Visualized Experiments)* 164 (2020): e61829.

27

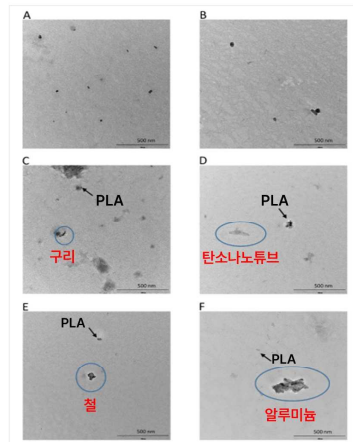
II. 3D 프린팅 위해성

3. 3D 펜 유해물질 노출 문제

2) 3D 펜 필라멘트 소재 연구 사례

- (A) PLA(검은색) 필라멘트 출력시 배출입자 크기는 약 50 nm로 확인
- (B) ABS(검은색) 필라멘트 출력시 배출입자 크기는 최대 100 nm로 확인
- (C) PLA(구리) 필라멘트 출력시 구리 결정체 크기는 120~150 nm 확인
- (D) PLA(탄소나노튜브) 필라멘트 출력시 탄소나노튜브 확인
- (E) PLA(철) 필라멘트 출력시 철 파편 확인
- (F) PLA(알루미늄) 필라멘트 출력시 큰 알루미늄 입자 확인

* 출처: Sigloch, Heike, et al. "3D printing-evaluating particle emissions of a 3D printing pen." *JoVE (Journal of Visualized Experiments)* 164 (2020): e61829.



< 3D 펜 출력 과정에서 나온 샘플의 투과전자현미경 이미지 >

28

II. 3D 프린팅 위해성

4. 현재 알려진 3D 프린팅 작업 관련 질병(윤충식, 2021)

1) 천식

House, R.; Rajaram, N.; Tarlo, S. M. Case report of asthma associated with 3D printing. *Occup. Med.* 2017, 67, 652-654.

2) 접촉성 피부염

Creytens, K.; Gilissen, L.; Huygens, S.; Goossens, A. A new application for epoxy resins resulting in occupational allergic contact dermatitis: the three-dimensional printing industry. *Contact Dermatitis* 2017, 77, 349-351

3) 주 40시간 이상 3D 프린팅 하는 사람들에게서 천식 또는 알레르기 비염 발병

Chan, F. L.; House, R.; Kudla, I.; Lipszyc, J. C.; Rajaram, N.; Tarlo, S. M. Health survey of employees regularly using 3D printers. *Occup. Med.* 2018, 68, 211-214.

29

III. 국내 3D 프린팅 정책

1. 3D 프린팅 공공 인프라 정책
2. 3D 프린팅 관련 법 제도
3. 3D 프린팅 안전 교육 정책

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

1. 3D 프린팅 공공 인프라 정책

- 2014년 미래부와 산업통상자원부 합동으로「3D프린팅 산업 발전전략」을 수립하고 4대 전략 중 하나인 “수요 연계형 성장기반 조성”의 일환으로 3D프린팅 기술교육, 시제품 제작, 비즈니스 모델 발굴 등을 지원하는 인프라 구축을 추진함.
- 3D프린팅 교육 관련 초·중등의 교육과정에 3D 프린팅 개념 이해와 실습 내용을 포함한 시범 교육을 수행하도록 함.
- 3D프린팅 인식제고 및 확산을 위해 2014년부터 창조경제혁신센터, K-ICT 3D프린팅 지역센터, K-ICT 디바이스랩, 제조혁신지원센터, 무한상상실, 크리에이티브 팩토리 등 3D프린팅 시설을 구축하여 3D프린팅 체험, 교육 등을 추진함.

31

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

1. 3D 프린팅 공공 인프라 정책

- 유치원부터 성인까지 누구나 이용할 수 있는 무한상상실에는 3D 프린터를 비롯하여 레이저 컷터기, 동영상 편집용 컴퓨터, 스캐너, 디지털 기기와, 용접기기 등 다양한 기자재들이 설치되어 있으며, 학생들의 이러한 기기사용을 돕는 체험형 프로그램들이 예약제도 운영함.
- 중소기업벤처부는 메이커스페이스 구축을 통해 창의적 아이디어를 구현하는 창작활동 및 전문 시제품 제작·양산 등 제조 창업을 지원하고 있음. 2018년부터 “한국형 메이커 스페이스” 확산 정책이 추진 중이며, 2018년 65개의 신규 메이커 스페이스를 조성하고 2022년까지 367개소를 확충 예정이며 이들 시설에 5년간 시설과 운영 비용을 지원할 예정임.

32

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

2. 3D 프린팅 관련 법 제도

1) 삼차원프린팅 산업 진흥법(삼차원프린팅법)

- 3D프린팅산업 발전전략 수립('14.4), 3D프린팅 창의 메이커스 1000만 교육계획 수립('14.6), 3D프린팅 전략 기술 로드맵('14.12)을 거쳐 2015년 12월 '삼차원프린팅 산업 진흥법(삼차원프린팅법)을 제정하고 2016년 12월 삼차원프린팅 산업 진흥법(삼차원프린팅법)이 시행됨.

< 삼차원프린팅법령 주요 내용 >

진흥추진 기반	<ul style="list-style-type: none"> 삼차원프린팅산업 진흥·육성을 위한 기본계획·시행계획의 수립·시행 산업진흥 정책 추진을 위한 전담기관 지정·운영
산업기반 조성	<ul style="list-style-type: none"> 산업육성을 위한 전문인력 양성, 기술 개발 및 표준화 추진, 시범사업 실시 삼차원프린팅 기술 등에 대한 품질인증 실시, 품질인증 기관 지정 삼차원프린팅관련 창업 활동등의 효율적 추진을 위한 종합지원센터 지정
이용자 보호	<ul style="list-style-type: none"> 3D프린팅 기술의 순기능 증진 및 역기능 사전예방을 위한 서비스사업자 신고제 및 불법 물품제조생산 금지의 준수 의무 부과 안전한 작업환경 조성을 위한 안전교육 의무화, 이용자 보호 지침 마련

33

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

2. 3D 프린팅 관련 법 제도

2) 3D프린팅산업 진흥 시행계획('17~'19)

- 정부부처 합동으로 3D프린팅산업 진흥 및 이용자 보호와 국내 산업 경쟁력 제고를 위한 종합적인 정책 추진 방향과 실천전략으로써 「3D프린팅 산업 진흥 기본계획('17~'19)」 마련함.
- '2019년 3D프린팅 글로벌 선도국가 도약'이라는 비전을 구현하기 위해 2017년부터 2019년까지 추진할 4대 추진전략과 12대 정책과제로 구성함.
- 타 법과 중복되는 신고 및 안전교육 의무를 개선하고, 미 신고자에 대한 처벌규정 완화, 3D프린팅 사업자의 안전교육 부담 완화 등 3D프린팅 산업 규제 완화하기로 함.
- 현재 3D프린팅 사업자가 받아야 할 안전교육을 온라인으로도 받을 수 있도록 하여 교육이수 부담을 완화하고, 온라인 교육 콘텐츠 제작 및 교육 시스템 시범운영('19.상반기) 추진함.

34

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

2. 3D 프린팅 관련 법 제도

2) 3D프린팅산업 진흥 시행계획('17~'19)

< 3D프린팅산업 진흥 기본계획 추진전략 및 정책과제 >

4대 추진전략	12개 추진과제	관계부처
1. 수요창출을 통한 시장 성장 지원	• 융합형 비즈니스 모델 발굴 및 시범사업 추진	미래부
	• 시장확산을 위한 선도사업 추진	미래부, 산업부
	• 주력산업 제조분야의 수요창출 추진	산업부
2. 기술경쟁력 강화	• 차세대 핵심분야 기술개발 지원	미래부, 산업부, 문체부, 복지부, 식약처
	• 제조혁신 기술개발 지원	산업부
	• 3D프린팅 기술표준 선도	미래부, 산업부
3. 3D프린팅 산업 확산 기반 강화	• 3D프린팅 산업인프라 고도화	미래부, 산업부
	• 3D프린팅 전문기업 육성	미래부
	• 3D프린팅 전문인력 양성 및 현장형 교육강화	미래부, 고용부, 산업부, 교육부
4. 산업육성을 위한 제도적 기반 강화	• 3D프린팅 장비 등 신뢰성 기반 마련	미래부, 산업부, 식약처
	• 산업육성을 위한 정책기반 강화	기재부, 통계청
	• 안전한 이용환경 조성	미래부

35

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

2. 3D 프린팅 관련 법 제도

3) 3D프린팅산업 진흥 시행계획('20~'22)

- 제1차 기본계획이 만료됨에 따라 3D프린팅 산업의 환경변화를 반영한 '제2차 3D프린팅산업 진흥 기본계획('20~'22)을 수립하였으며, 기본계획의 충실한 이행을 위해 2021년 3월 관계부처 합동으로 세부 정책과제를 마련하여 '2021년 3D프린팅산업 진흥 시행계획'을 수립하여 발표함.
- '2022년 3D프린팅 글로벌 5대 강국 도약'이라는 비전 아래 3대 추진전략과 10개 추진과제를 발표함.
- 제2차 3D프린팅산업 진흥 기본계획의 2차년도 추진내용은 구체적으로 3D프린팅 산업 현장 활용 가속화(214.5억원), 차별적 기술력 확보(232.8억원), 혁신·성장 중심 산업기반 고도화(521억원)에 총 968.3억원이 투입될 예정임.

36

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

2. 3D 프린팅 관련 법 제도

3) 3D프린팅산업 진흥 시행계획('20~'22)

이용자 안전이나 환경 개선 내용 없음

< 3D프린팅산업 진흥 기본계획 추진전략 및 정책과제 >

3대 추진전략	10개 추진과제	관계부처
1. 3D프린팅 산업 현장 활용 가속화	시장진입 유망분야 실증 및 초기시장 창출 지원	과기정통부, 산업부, 국토부, 국방부
	3D프린팅 사업화 성공모델 발굴 확산	과기정통부, 산업부
	민간 중심 경쟁 협력체계 구축	과기정통부
2. 차별적 기술력 확보	소재 장비 SW 기술 자립화	과기정통부, 산업부, 방사청
	시장 지향 3D프린팅 응용기술 개발	과기정통부
	지능화 및 통합 플랫폼 기술 확보	과기정통부
3. 혁신, 성장 중심 산업 기반 고도화	산업밀착형 선도인재 육성	과기정통부, 산업부, 고용부
	중소기업 활용 성장 기반 고도화	과기정통부, 산업부, 중기부
	기술 표준 및 평가 체계 고도화	과기정통부, 산업부(국표원)
	법 제도 재정비	과기정통부, 산업부, 식약처, 복지부, 고용부

37

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

2. 3D 프린팅 관련 법 제도

3) 3D프린팅산업 진흥 시행계획('20~'22)

- '제2차 3D프린팅산업 진흥 기본계획' 추진과제(10개)에서 신규로 '철저한 안전대책을 통한 이용자 안전 강화'를 추가함.

(1) 안전한 3D프린팅 이용환경 구축 및 역기능 방지

- 3D프린팅 서비스 종사자 및 일반인 대상 산업안전교육 운영, 의무교육 대상의 교육 접근성 제고 (현장교육 및 온라인교육 확대)
- 3D프린팅 산업안전 전문강사 확보 및 역량 강화를 위한 전문강사 양성 프로그램 운영
- 전담기관(정보통신산업진흥원)을 통해 3D프린팅서비스 사업자 신고, 민원 처리, 상담 등 원스톱 지원 수행 안전 교육, 전문 교육, 정부 지원 등 안내 병행

38

III. 국내 3D 프린팅 정책

2. 3D 프린팅 관련 법 제도

3) 3D프린팅산업 진흥 시행계획('20~'22)

철저한 안전대책을 통한 이용자 안전 강화 항목에
총 968.3억 예산 중 **2.9억원(0.3%)**이 책정되어 있음.



39

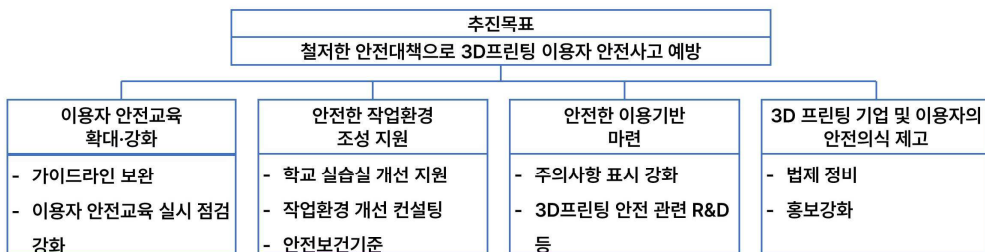
III. 국내 3D 프린팅 정책

2. 3D 프린팅 관련 법 제도

3) 3D프린팅산업 진흥 시행계획('20~'22)

(2) 3D프린팅 이용 안전대책 추진(과학기술정보통신부, 고용부, 산업부, 중기부, 교육부, 환경부)

- 3D프린팅 이용자의 인체위험 가능성을 예방하는 차원에서 관계부처 합동 3D프린팅 안전 대책 수립



< 3D프린팅 이용 안전 대책(안) 주요내용 >

40

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

3. 3D 프린팅 안전 교육 정책

1) 국내 3D 프린팅 서비스 안전 교육

- 『삼차원프린팅산업 진흥법』 시행(15.12.22)에 따라 3D프린팅서비스사업 종사자에 대해 실시하는 안전 교육을 의미함.

○ 근거법령

삼차원프린팅산업 진흥법 제18조(안전교육)

삼차원프린팅산업 진흥법 시행규칙 제3조(안전교육의 내용 및 방법 등)

삼차원프린팅서비스사업진흥법 제21조(시정명령)

삼차원프린팅서비스사업진흥법 제22조(영업정지 등)

삼차원프린팅서비스사업진흥법 제23조(과태료)

Ⅲ. 국내 3D 프린팅 정책

3. 3D 프린팅 안전 교육 정책

1) 국내 3D 프린팅 서비스 안전 교육

- 안전한 3D프린터 사용을 위해 과학기술정보통신부와 정보통신산업진흥원 주관으로 3D프린터 활용에 대한 안전교육을 매년 실시하고 있음.
- 3D 프린터 사용 교직원은 안전교육(온라인교육, 초급)을 이수한 이후 사용하며, 동아리, 연구 등에 참여하는 학생의 경우에도 동일한 원칙 적용함.



< 3D 프린팅 안전교육 사이트(<http://3d.acastar.co.kr>) >

III. 국내 3D 프린팅 정책

3. 3D 프린팅 안전 교육 정책

2) 국내 3D 프린팅 안전 사용 가이드라인



< 3D프린팅 작업환경 관리방법 요약표 >

3D 프린터 실내 작업현장 적정 온-습도 유지	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국내 계절 별 실내 적정온도 범위 중 가장 낮은 온도 유지, 실내습도 (40~60%) <ul style="list-style-type: none"> ▶ 여름 실내적정온도 (24~27)°C 중 24°C, 습도는 60% ▶ 겨울 실내적정온도 (18~21)°C 중 18°C, 습도는 40% ▶ 봄-가을 실내적정온도 (19~23)°C 중 19°C, 습도는 50%
3D 프린터 장비 및 소재 선택	<ol style="list-style-type: none"> 1. 장비는 밀폐형 장비 또는 장비 내 필터가 장착된 3D프린터 사용 2. 소재는 친환경 원료를 사용한 소재 사용 3. 소재 제품 원료에 대한 물질안전보건자료(MSDS) 확인 필요
실내환기 (환기장치)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 실내 공간연적을 고려하여 적정 용량의 실내용 환풍기 사용 2. 환풍기는 3D프린터 작동 전 가동하고, 3D프린터 종료 후에도 최소 1시간 이상 가동 3. 환풍기 작동 중 출입문을 완전 밀폐하지 말고 약간 열어 둘 4. 환풍기 사용은 자연환기와 함께 실시
실내환기 (자연환기)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 봄-가을에는 외부 공기를 고려하여 창문을 (5~20)cm 정도 개방 2. 여름 및 겨울에는 3D프린터 작동 직후 창문 및 출입문을 5분 정도 개방하고 1시간 단위로 5분 이상 환기 필요 3. 3D프린터 종료 후 프린터 도어를 개방하여 30분 이상 환기 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 주변환경 및 대기상태에 따라 오염된 외부공기가 유입되고 있는 지를 고려 하여 자연환기를 실시
설치공간 점검	<ol style="list-style-type: none"> 1. 3D프린터는 환기가 잘되는 위치를 고려하여 설치 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 에어컨 설치 시 환풍기 반대편에 설치 ▶ 선풍기 가동 시 환풍기 반대편 및 환기가 잘 되는 곳에 설치
청소	<ol style="list-style-type: none"> 1. 3D프린터 출력물 원료 후 프린터 챔버 내부 잔류 찌꺼기 청소 2. 3D프린터 작업공간의 주기적인 청소 필요

43

III. 국내 3D 프린팅 정책

3. 3D 프린팅 안전 교육 정책

2) 국내 3D 프린팅 안전 사용 가이드라인



44

III. 국내 3D 프린팅 정책

3. 3D 프린팅 안전 교육 정책

3) 미국 3D 프린팅 안전 이용 가이드라인

(1) 잠재 위험요소 분별하기

- 3D 프린터에 연관된 잠재 위험요소는 무엇이 있는가?
- 필라멘트와 연관된 유해요소가 있는가?

(2) 작업 방식

- 작업 방식이 위험도 노출을 야기하는가?
- 노출 가능성은 어떤가?

(3) 작업자 관리 요소

- 어떤 작업 방식이 위험도 노출 가능성을 줄일 수 있는가?
- 위험도를 통제하기 위한 중요 사항은 무엇이 있는가?

(4) 사업자 관리 요소

- 작업장 업무와 규정을 고려하고 있는가?
- 폐기물에 대한 관리 방침은 만들었는가?

(5) 개인 보호 장비

- 위의 사항들이 위험요소를 제거하지 못하였다면 어떤 개인 보호 장비를 이용할 것인가?

3D Printing with Filaments Health and Safety Questions to Ask

Review the questions on the left and explore different control options and other information to reduce your exposure on the right.

- 1 Characterization of Filament Materials**
 - Potential hazards may include:**
 - Some filaments are made with toxic or irritant chemicals.
 - Some filaments are made with toxic or irritant chemicals.
 - Some filaments are made with toxic or irritant chemicals.
 - Some filaments are made with toxic or irritant chemicals.
 - Printing considerations:**
 - Change settings to avoid over-heating.
 - Use lower temperatures.
 - Use lower extrusion rates.
 - Use lower layer heights.
 - Use lower fan speeds.
 - Use lower print speeds.
 - Use lower print temperatures.
 - Use lower print temperatures.
 - Use lower print temperatures.
 - Work environment best practices:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
- 2 Work Activities**
 - Pre-printing:**
 - Check for dust on the filament.
 - Check for dust on the filament.
 - Check for dust on the filament.
 - Check for dust on the filament.
 - Printing:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Post-printing:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Maintenance and cleaning:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
- 3 Engineering Controls**
 - Apply to all Printing Stages:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Apply to all Printing Stages:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
- 4 Hazardous Content**
 - Apply to all Printing Stages:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Apply to all Printing Stages:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
- 5 Personal Protective Equipment (PPE)**
 - Apply to all Printing Stages:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Apply to all Printing Stages:**
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.
 - Use a well-ventilated area.

출처: 미국 산업안전보건연구원 (NIOSH) 나노기술연구센터

III. 국내 3D 프린팅 정책

3. 3D 프린팅 안전 교육 정책

4) 3D 프린팅 안전교육 내용의 문제점

(1) 초미세입자(나노입자) 및 유기화합물의 위해성에 대한 구체적인 내용이 없음.

(2) PLA 필라멘트 소개에 '친환경', '무독성' 용어를 사용하고 있음.

(3) 국소배기환기시설에 대한 명확한 설명이 없으며, 환기장치 설명에 자연환기를 함께 언급함.

(4) 3D 프린터 필라멘트 구입은 주로 3D 프린터 업체에서 제공하는 필라멘트를 구매하는 구조이기 때문에 소재 선택에 어려움이 있음. 온라인상에 MSDS 공개하고 있는 업체는 소수에 불과하며, 이들 업체가 공개한 MSDS에도 첨가물 정보(금속, 나노입자, 탄소섬유, 안료 등)는 없음.

III. 국내 3D 프린팅 정책

3. 3D 프린팅 안전 교육 정책

4) 3D 프린팅 안전교육 내용의 문제점

재료명	PLA (PLS/PLA) 필라멘트	SBS 번호: YS015SMH		
수용성	2018년 1월 1일			
성분명	CAS 번호	EC 번호	중량 (%)	
폴리락타이드 수지	9051-89-2	618-575-7	98	
탄산칼슘	471-34-1	207-430-9	2	

< A사 PLA 필라멘트 MSDS >

화학물질명	한글명 및 이명(異名)	CAS 번호	EC 번호	함유량(%)
GBL(GB)-3,6-Dimethyl-1,4-dioxane-2,5-dione polymer with poly-(GBL(GB)-3,6-dimethyl-1,4-dioxane-2,5-dione and GBL(GB)-3,6-dimethyl-1,4-dioxane-2,5-dione	Poly(lactide resin)	9051-89-2	618-575-7	98
Calcium carbonate	탄산 칼슘	471-34-1	207-430-9	2

< B사 PLA 필라멘트 MSDS >



* 출처: (주)큐비콘



* 출처: Hotmine3D

< 주요 3D 프린터 업체별 PLA 필라멘트 MSDS 내용(구성성분의 명칭 및 함유량) >

47

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

1. 학교 내 3D 프린터 실태

2. 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

1. 학교 내 3D 프린터 실태

1) 조사 대상

- 교육부의 1차 3D프린터 실태조사 결과에 이어 2021년 5월에 총 294교를 대상으로 진행한 2차 실태조사 결과 참고(국회 교육위원회 소속 강민정 의원실 자료 제공)

2) 조사 결과

(1) 각 기관의 순위별 3D 프린터 구매 기준

- 학교는 주로 **가격**을 고려하여 구매하고 있으며, 기업, 연구기관 등은 가격, 안전성보다 **용도(성능)**를 고려함.

< 각 기관의 순위별 3D 프린터 구매 기준 >

구분	1순위	2순위	3순위
학교	가격	안전성	활용용도
기업	활용용도	적용소재	가격
연구기관	활용용도	적용소재	가격
훈련기관	활용용도	가격	적용소재
메이커/센터	안전성	가격	활용용도

49

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

1. 학교 내 3D 프린터 실태

2) 조사 결과

(2) 기관별 PLA 필라멘트 이용 실태

- PLA는 학교, 메이커스페이스 등에서 사용하고, 기업과 연구기관은 다양한 소재를 사용함.

< 기관별 PLA 필라멘트 이용 실태 >

(단위: %)

학교	기업	연구기관	훈련기관	메이커/센터
81.1	40.0	30.8	50.0	60.0

< 필라멘트 소재 구매 고려사항 >

구분	1순위	2순위	3순위
학교	안전성	가격	소재 품질
기업	활용 용도	소재 품질	가격
연구기관	활용 용도	소재 품질	안전성
훈련기관	가격	활용 용도	소재 품질
메이커/센터	소재 품질	브랜드	활용 용도

(3) 필라멘트 소재 구매 고려사항

- 학교는 **안전성과 가격**을, 다양한 소재를 사용하는 기업과 연구기관은 **활용 용도**를 주로 고려하는 것으로 나타남.

50

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

1. 학교 내 3D 프린터 실태

2) 조사 결과

(4) 물질안전보건자료(MSDS)

- 물질안전보건자료(MSDS: Material Safety Data Sheet)를 알고는 있으나, 실제 작업 현장에 비치하고 있는 비율은 낮음.

< 3D프린터 담당자의 물질안전보건자료(MSDS) 인식도 및 MSDS 비치 여부 >

(단위: %)

구분	학교	기업	연구기관	훈련기관	메이커/센터
MSDS를 알고 있음	67.7	66.7	100.0	66.7	100.0
작업환경에 비치하고 있음	49.5	50.0	83.3	33.3	50.0

51

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

1. 학교 내 3D 프린터 실태

2) 조사 결과

(5) 작업 공간 분리 현황

- 기업, 연구기관, 훈련기관의 경우 설계와 출력 공간을 분리하고 있음.

* 고밀도(4평당 프린터 3개 이상)

< 작업 공간 분리 현황 >

(단위: %)

구분	학교	기업	연구기관	훈련기관	메이커/센터
고밀도 비율	44.1	100.0	33.3	33.3	100.0
설계·출력 공간 분리	38.9	100.0	100.0	100.0	55.6

(6) 작업공간 상주

- 3D 프린터 작업 중에 장비 작동을 지켜보기 위해 작업공간에 머무르는 경우가 많음.

< 작업공간 상주 >

(단위: %)

구분	학교	기업	연구기관	훈련기관	메이커/센터
상주 비율	74.3	100.0	100.0	66.7	100.0
상주 이유 (작동감시)	62.5	100.0	62.5	100.0	71.4

52

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

1. 학교 내 3D 프린터 실태

2) 조사 결과

(7) 환기방식

- 학교, 훈련기관은 환기시설 없이 자연환기 비율이 높은 것으로 나타났으며, 학교의 경우 환기시설 미설치 이유로 건물구조 등 구조적 이유와 설치비용 부족으로 나타남.

< 3D프린팅 작업공간 내 자연환기 비율 >

(단위: %)

학교	기업	연구기관	훈련기관	메이커/센터
51.4	22.2	27.8	66.7	36.8

(8) 3D프린팅 안전교육 실시율

- 연구기관과 메이커/센터에 비해 학교, 기업, 훈련기관의 3D프린팅 안전교육 실시율은 낮은 것으로 나타남.

< 3D프린팅 안전교육 실시율 >

(단위: %)

학교	기업	연구기관	훈련기관	메이커/센터
53.3	75.0	100.0	66.7	100.0

53

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

1. 학교 내 3D 프린터 실태

2) 조사 결과

(9) 보호장비

- 학교가 보호장비 착용률이 상대적으로 낮으며, 특히 마스크를 제외한 보호장비는 50% 이하임.

< 기관별 안전보호장비 현황 >

(단위: %)

구분	학교	기업	연구기관	훈련기관	메이커/센터
호흡보호구	76.4	100	100	100	100
안면보호구	44.6	100	83.3	66.7	87.5
보호복	33.8	100	83.3	33.3	66.7
기타 안전도구	20.9	100	66.7	-	62.5

54

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2. 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

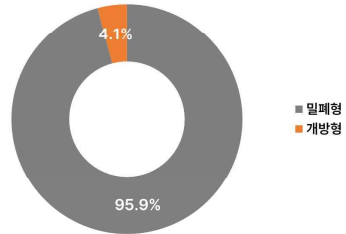
1) 조사 대상

- 중소기업벤처부가 지원하는 전국 메이커스페이스 중 3D 프린터가 있는 171곳 기관 자료 분석(국회 산업통상자원중소벤처기업위원회 소속 양이원영 의원실 자료 제공)

2) 조사 결과

(1) 3D 프린터 유형별 기관 현황

- 밀폐형 3D프린터를 보유한 기관은 총 164곳(95.9%)이었으며, 개방형 3D프린터를 보유한 기관은 7곳(4.1%)인 것으로 나타남.



55

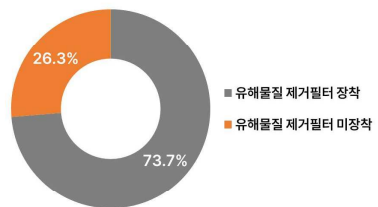
IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2. 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2) 조사 결과

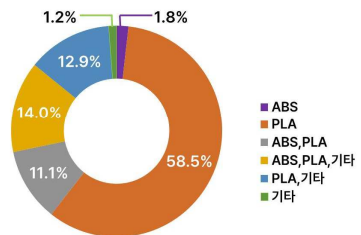
(2) 3D 프린터 내부 유해물질 제거 필터 장착 여부

- 3D 프린터 내부 유해물질 제거 필터 장착한 기관은 126곳(73.7%)이었으며, 미장착 기관은 45곳(26.3%)인 것으로 나타남.



(3) 필라멘트 종류별 사용기관 현황

- 3D 프린터 소재 중 발암물질을 배출하는 것으로 알려진 ABS의 경우 3곳(1.8%)만 사용하는 것으로 나타남.
- PLA만 사용하는 곳은 100곳(58.5%)으로 나타남.



56

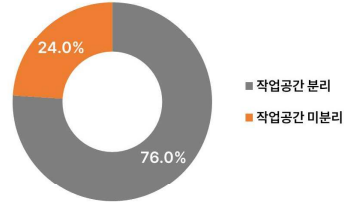
IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2. 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2) 조사 결과

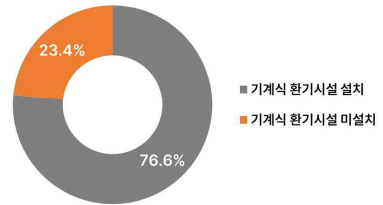
(4) 3D 프린터실과 작업공간(강의실) 분리 여부

- 3D프린터실과 작업공간이 분리되어 있는 곳은 130곳(76.0%), 분리되어 있지 않은 곳은 41곳(24.0%)인 것으로 나타남.
- 3D 프린터실과 작업공간(강의실)이 분리되어 있지 않은 곳 중 1곳은 폴딩도어로 분리 가능한 곳으로 답함.



(5) 3D 프린터실 내 기계식 환기시설(환풍기, 덕트) 설치 유무

- 기계식 환기시설이 설치되어 있는 곳은 131곳(76.6%), 설치되어 있지 않은 곳은 40곳(23.4%)인 것으로 나타남.
- 기계식 환기시설이 설치되어 있지 않은 곳은 주로 매뉴얼대로 자연환기 시키거나 공기청정기 이용



57

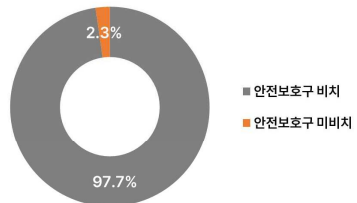
IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2. 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2) 조사 결과

(6) 3D 프린터실 안전보호구(장갑, 방진마스크) 비치 여부

- 안전보호구가 비치되어 있는 곳은 167곳(97.7%)이었으며, 안전보호구가 비치되어 있지 않은 곳은 4곳(2.3%)인 것으로 나타남.



3) 후속조치

- '21년 국정감사 문제제기(양의원영 의원실) 이후 중소기업벤처부가 지원하는 메이커스페이스 내 **ABS 필라멘트 사용을 금지함.**

58

IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2. 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

4) 서울 소재 메이커스페이스 현장 사진

3D 프린터와는 달리 레이저 커팅기의 경우 레이저 커팅기에 집진기를 연결하여 유해물질을 외부로 배출하도록 설계되어 있음.



IV. 학교 및 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

2. 메이커스페이스 내 3D 프린터 실태

4) 서울 소재 메이커스페이스 현장 사진

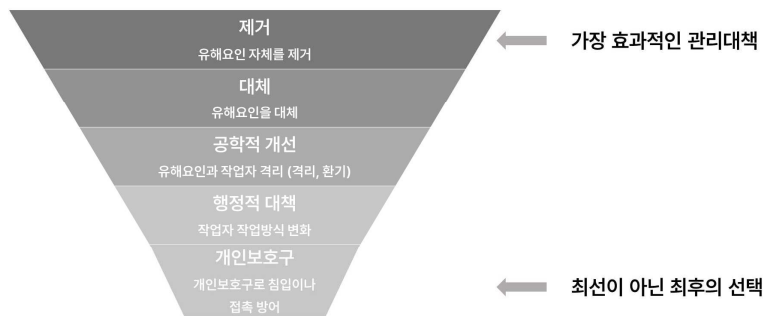


V. 제언

V. 제언

1. 3D 프린터

1) 유해요소 및 위험 관리 대책



<유해요소 및 위험 관리 대책의 등급체계>

V. 제언

1. 3D 프린터

2) 제거 및 대체 방안: 3D 프린팅 필라멘트 소재

- 발암성이 확인된 ABS 필라멘트 사용 금지
- PLA 필라멘트 사용 장려시 '친환경', '무독성' 용어 사용은 인체에 무해한 제품으로 오인될 소지가 높기 때문에 '친환경', '무독성' 용어 사용 삭제 필요 (정부 온라인 3D프린팅 안전교육 내용 및 3D프린팅 안전 사용 가이드라인 등)
- 3D 프린팅 필라멘트 소재 안전기준 마련 시급



63

V. 제언

1. 3D 프린터

3) 공학적 개선: 3D 프린터실 환기시설

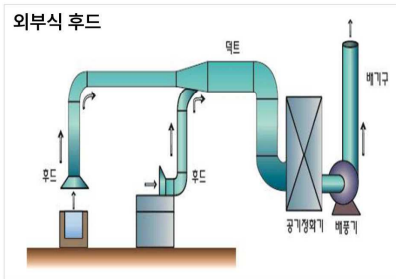
- 초미세입자(나노입자) 노출을 최소화할 수 있는 실내공기질 관리 강화 및 환기시설 설치 기준 필요
- 3D 프린터실 공간분리와 국소배기환기시설이 없는 기관은 3D 프린터 사용금지 조치 및 프로그램 예산 지원 금지(과학기술부, 교육부, 문화체육관광부 등)
- 외부식보다 포위식(밀폐형) 후드가 설치된 국소배기장치 설치 예산 지원 필요

64

V. 제언

1. 3D 프린터

3) 공학적 개선: 3D 프린터실 환기시설



< 국소배기장치 구성도 >



< 유해물질 자동환기 시스템장 설치 사례>

※ 출처: 메이커스 나라

65

V. 제언

1. 3D 프린터

3) 공학적 개선: 3D 프린터실 환기시설



< **메이커(2020년 11월 설치) >



< 고*초등학교(2020년 12월 설치) >

< 유해물질 자동환기 시스템장 설치 사례>

※ 출처: 메이커스 나라

66

V. 제언

1. 3D 프린터

4) 행정적 대책: 필라멘트 소재 첨가물 표기

- 현재 비공개 필라멘트 첨가물 정보(금속, 나노입자, 탄소섬유, 안료 등) 표기

5) 개인보호구

- 3D 프린팅 환경에서 발생하는 유해물질 노출을 모두 막는 개인보호구는 없음(최후의 선택).
- 학교의 경우 개인안전보호구 착용율이 낮기 때문에 이에 대한 개선이 필요함.

67

V. 제언

2. 3D 펜 안전 대책

- 국내 전무한 3D 펜 실태 및 위해성 연구 지원 필요
- 3D 프린터에 비해 노출이 많은 3D 펜에서 초미세입자 노출을 최소화할 수 있는 방안 마련 시급

68

■ 내용 문의 : 시민과학연구소 고도현 소장(koh97@hanmail.net)

3D 프린터와 암 발생에 대한 질문

- 객관적 사실과 쟁점 사항을 중심으로 -



2022. 1. 27.

이윤근

노동환경건강연구소

1. 객관적 사실에 대한 질문

- 과학적 사실에 근거하는가? -

1) 3D-프린팅, 발암물질에 노출되는가?

- 다양한 발암물질에 노출됨 -

구분		3D 프린터	
유해물질	유기화합물	<ul style="list-style-type: none"> • 스틸렌(CB2, R2) • 에틸벤젠(CB2) • 크실렌 • 기타 VOCs 	
	초미세먼지(C1A)	입자사이즈(CMR)	• 필라멘트 종류에 따라 27.9~188.1 nm
		농도 수준	• 45,690~1,731,578 (#/cm ³)
건강영향		<ul style="list-style-type: none"> • 천식 • 접촉성피부염 • 비염 등 • 폐암 → 초미세먼지의 유해성 측면에서 보면 폐암 발생은 확실함 • 기타 암(?) : 현재까지는 제한적 	

3

2) 노출 수준은 위험한 수준인가?

- 초미립자 측면에서 보면 위험한 수준 -

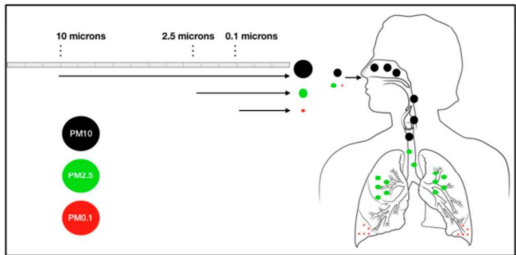


Figure 1. Classification of particulate matter according to aerodynamic diameter. The smaller the particles, the further the penetration and the worse the impact on health. As PM enters into our body upon inhalation, coarse PM or PM10 with a diameter of less than 10 μm is retained in nasal cavities and upper airways, whereas fine PM or PM2.5 with a diameter of less than 2.5 μm and ultrafine PM or PM0.1 with a diameter less than 0.1 μm might travel deeper into lungs and bronchi alveoli, and even invade to further organs or elicit systemic effects through the circulation.

출처 : Chiang-WenLee CW. et al, 2020 (Cancers 2020, 12, 2505)

입자가 작을수록 폐에 깊숙이 침투 → 직경이 0.1μm 미만인 나노 입자는 폐와 기관지 폐포 깊숙이 침투 → 폐 뿐만 아니라 다른 장기로 침투하거나 순환을 통해 전신 효과를 유발할 수 있음 → 폐암과 비폐암 모두에 긍정적인 연관성이 있음, 그러나 아직 근본적인 메커니즘은 아직 밝혀지지 않음 (출처 : Chiang-Wen Lee CW. et al, 2020 (Cancers 2020, 12, 2505))

4

3) 조리흡보다 위험한가?

- 더 위험함 -

Table 1.2. The production rates and concentrations of UFP and PM_{2.5} during and at the end of frying of various types of foods

Food	Food temperature (°C) ^a	Production rate during frying		Concentration at the end of frying	
		UFP (particles/cm ³ s)	PM _{2.5} (µg/m ³ s)	UFP (particles/cm ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)
Bacon	314	45	0.092	2.2*10 ⁴	38
Pancakes	297	25	0.17	2.5*10 ⁴	55
Peppers and onions	336	78	0.12	2.0*10 ⁴	60
Vegetable stir-fry	280	31	ND	2.0*10 ⁴	ND
Vegetable mix	249	59	ND	4.5*10 ⁴	ND
Fried egg	271	60	ND	2.5*10 ⁴	ND
Fried rice	274	6	ND	1.0*10 ⁴	ND
Breaded eggplant	280	88	1.1	8.0*10 ⁴	1000
Overall		44	0.13		

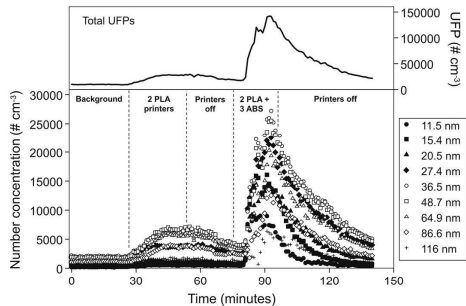
From Evans *et al.* (2008)

ND, not determined because no elevated PM_{2.5} concentration was observed; PM, particulate matter;

UFP, ultrafine particles

^a Refers to maximum temperature

조리흡 초미립자 농도
(출처: IARC MONOGRAPHS VOLUME 95)



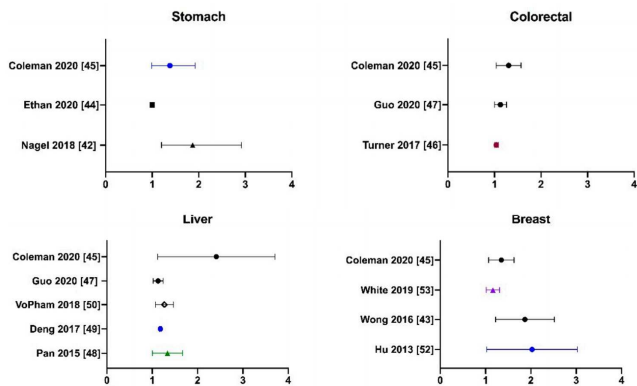
5

4) 발생 가능한 암은?

- 초미립자 측면에서 보면 → 폐암은 확실함,
 - 기타 암은 아직 잘 모름 → 연구가 미진함
 - 그러나 초미립자의 경우 폐 뿐만 아니라 다른 장기로 침투하거나 순환을 통해 전신 효과를 유발할 수 있음 → **폐암과 비폐암 모두에 긍정적인 연관성이 있음**
- (출처 : Chiang-Wen Lee CW. et al, 2020 (Cancers 2020, 12, 2505)

6

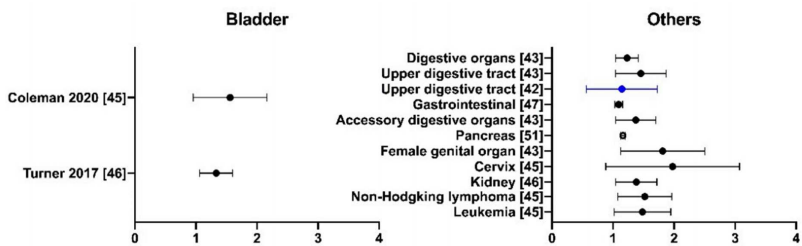
5) 초미세먼지의 비폐암의 발생 가능성



출처 : Chiang-Wen Lee CW. et al, 2020 (Cancers 2020, 12, 2505)

7

5) 초미세먼지의 비폐암의 발생 가능성



출처 : Chiang-Wen Lee CW. et al, 2020 (Cancers 2020, 12, 2505)

8

2. 쟁점 사항에 대한 질문

- 논란이 되고 있는 쟁점 사항은 무엇인가? -

1) 독성학적인 문제를 어떻게 접근할 것인가?

- 1) 화학물질(성분)로 접근할 것인가?
-스틸렌, 에틸벤젠, 크실렌, 페놀, 기타 TVOCs
- 2) 입자상물질(초미세먼지)로 접근할 것인가?

▶ 나노입자 크기의 초미세먼지에 독성이 있는 화학물질이 결합해서 흡입될 때 독성은 더욱 더 높아지고,
▶ 폐 조직 뿐만 아니라 다른 장기나 조직으로 침투하거나 순환을 통해 전신 효과를 유발할 수 있다.

2) 과학적 근거가 없는데 암 발생과의 관련을 어떻게 설명할 것인가?

- 직업병은 과학적 근거가 있을 때만 인정해야 하는가?
- 과학적으로 규명될 때까지 기다려야 하는가?
- 사전주의 원칙(불확실할 때는 선 조치가 원칙, 1998년 윈스프레드 선언)을 적용할 수는 없는가?

11

3) 역학적 인과 관계를 알 수 없을 때 법률적 판단 기준은?

“삼성 LCD 공장 ‘다발성경화증’ 대법은 판례
(2015두3867 요양불승인처분취소, 2017.8.29 원심판결 파기 결정)”

근로자에게 발병한 질병이 이른바 ‘희귀질환’ 또는 첨단산업현장에서 새롭게 발생하는 유형의 질환에 해당하고 그에 관한 연구결과가 충분하지 않아 발병원인으로 의심되는 요소들과 근로자의 질병 사이에 인과관계를 명확하게 규명하는 것이 현재의 의학과 자연과학 수준에서 곤란하더라도 그것만으로 인과관계를 쉽사리 부정할 수 없다.

특히, 희귀질환의 평균 유병율이나 연령별 평균 유병율에 비해 특정 산업 종사자 군(群)이나 특정 사업장에서 그 질환의 발병율 또는 일정 연령대의 발병율이 높거나, 사업주의 협조 거부 또는 관련 행정청의 조사 거부나 지연 등으로 그 질환에 영향을 미칠 수 있는 작업환경상 유해요소들의 종류와 노출 정도를 구체적으로 특정할 수 없었다는 등의 특별한 사정이 인정된다면, 이는 상당인과관계를 인정하는 단계에서 근로자에게 유리한 간접사실로 고려할 수 있다.

나아가 작업환경에 여러 유해물질이나 유해요소가 존재하는 경우 개별 유해요인들이 특정 질환의 발병이나 악화에 복합적, 누적적으로 작용할 가능성을 간과해서는 안 된다.

12

4) 3D 프린터 작업과 육종암과의 관계를 어떻게 설명할 것인가?

- 희귀질환인 3건의 육종암 사례를 어떻게 설명할 것인가?
→ 국내 발생률을 참고할 때 10만명 정도의 인구 집단에서 발생할 확률?
- '관련 없다'가 아니라 아직은 연구가 미진하다

13

육종암 발생률

- 육종암 : 발생 위치에 따라 크게 두 가지로 구분
- 뼈에 발생하는 뼈암(골육종)과 근육, 신경, 혈관, 지방, 섬유조직 등 뼈를 제외한 연부조직에서 발생하는 암(연부조직육종)
- 연간 약 1600여명 정도 발생하며, 3분의 1은 뼈암, 나머지는 그 밖의 근육, 관절 등 연부조직에 생긴 암, 10만명당 조발생률은 약 3.2명 정도

61개 암종별	성별	2018			
		발생자수(명)	상대빈도(%)	조발생률(명/10만명)	연령표준화발생률(명/10만명)
카포시 육종(C46)	계	53	0.0	0.1	0.1
	남자	39	0.0	0.2	0.1
	여자	14	0.0	0.1	0.0
결합 및 연조직(C47*C49)	계	1,222	0.5	2.4	1.7
	남자	723	0.6	2.8	2.1
	여자	499	0.4	1.9	1.4
폐(C33-C34)	계	28,628	11.7	55.8	28.0
	남자	19,524	15.2	76.3	42.5
	여자	9,104	7.9	35.4	16.8

14

우리아들 3D프린터 육종암을 산재로 인정해주세요!

서정균 故 서울 교사 아버님

"아버지 살고 싶어요!"

경기 A 과학고 물리 교사로 근무하다 십만 명 중에 한명이 발병하는 희귀암인 육종암에 걸려 항암치료 중이었던 나의 아들 '서울'이 새벽에 내가 자는 방에 들어와 나의 손을 잡고 울음 섞인 목소리로 했던 말입니다. 나는 아무 말도 하지 못했고, 아들은 조용히 방을 나갔습니다. 방을 나가는 아들의 뒷모습을 보면서 침대에 앉아 한참을 소리 없이 울었습니다. 그 시각이 6월 27일 새벽 3시 5분이었습니다.

아들은 이후 내 방에는 들어오지 못하고 2020년 7월 29일 37년 1개월의 짧은 세상을 살고 아들이 좋아했던 별을 찾아 여행을 떠났습니다. 아버지는 아들을 살리지 못한 죄인이 되었고 아들의 울음 섞인 목소리가 들리는 것 같아서 그 새벽 시간이 되면 아직도 눈을 뜹니다. 저는 아들이 힘든 항암치료를 27개월 동안 받으면서 아들에게 "죽는 것은 운명이다. 사람은 죽음을 기다리며 살아가는 것이며 순서가 없을 뿐이다." 아들은 아버지의 말에 고개를 끄덕이며 수긍했습니다.

아들의 죽음 이후 같은 학교 교사와 경남의 C 과학고 교사가 같은 육종암으로 치료를 받고 있으며 모두 3D 프린터로 수업을 많이 한 교사들이라고 것을 알게 되었습니다. 저는 아들이 죽은 원인이 아들이 '도깨비방망이'라고 자랑한 3D 프린터라는 생각이 들었습니다. 아들은 2013년부터 특성화 고교에서 학생들과 동아리 활동을 하면서 3D 프린터를 구입하여 사용하다가 2014년 정부의 창조경제 무한상상실 지원 정책으로 학교 무한상상실에서 장시간 3D 프린터 작업을 했습니다. 아들은 각종 실험과 실습 도구를 직접 만들어 수업도 하고 인근 초, 중학교 3D 프린터 봉사활동도 다녔습니다.

아들의 죽음이 3D 프린터와 관련이 있겠다는 믿음을 가지고 3D 프린터에 대해서 여러 가지 자료 수집을 한 결과, 이번 YTN 탐사보도 기록 1부 "쓰러진 선생님들" 2부

“브레이크 없는 연금술”에서 충분히 밝혀지고 투병 중 이거나 증상이 있는 선생님들이 더 계셨습니다. 또한, 대전대학교에서 아들이 사용한 3D 프린터와 필라멘트(ABS)로 비슷한 환경을 만들어 출력을 한 결과 쓰레기 소각장에서 나오는 독성물질이 검출되었다는 사실을 교육부, 과학기술부에서는 알아야 합니다. 지금은 아들이 많이 사용한 필라멘트(ABS) 사용은 많이 줄었지만 지금 무한상상실에서 사용하는 생분해 수지로 만든 필라멘트(PLA)와 유아, 청소년들이 사용하고 있는 3D펜도 출력 과정에서 초미세먼지(나노입자)나 각종 유해 물질이 검출되고 있습니다.

2014년 창조경제 무한상상실 운영정책 언론보도와 과학창의재단과 미래창조과학부에서 발행한“무한상상실 운영 메뉴얼”을 읽어 보았지만, 그 어디에도 유해물질(발암물질)과 초미세먼지(나노입자)가 나온다는 글은 없었습니다. 이에 교육부와 과학기술정보통신부를 찾아가 장관 면담을 요청 했지만 소식이 없습니다.

아들은“과학은 상식이다”스티커를 만들어 모든 교재나 교구에 붙일 만큼 과학을 좋아했고, 교사에 대한 자부심이 대단했습니다. 정부의 3D 프린터 지원 정책에 힘입어 무한상상실에서 열심히 3D 프린터를 연구하고 가르쳤습니다. 그러나 3D 프린터에 대한 열정이 아들을 죽음으로 몰고 간 원인이 되었습니다. 아들은 죽음을 앞두고 3D프린터 사용을 후회하는 글을 블로그에 올렸고, 3D프린터를 함께 사용한 동아리 제자들에게 카톡으로 사과했습니다.

아들의 죽음 이후 무한상상실을 죽음의 장소로 여겨 일부 학교는 사용하지 않고 있습니다. 아들은 이런 상황을 원하지는 않을 것입니다. 학생과 교사에게 무엇이 위험한 물질인지 알려주고, 충분한 안전시설을 설치하고, 안전한 필라멘트 소재와 3D프린터를 사용하는 학교가 되기를 바라고 있을 것입니다. 아들은 쾌적하고 안전하며 성능이 우수한 장비로 채워진 무한상상실을 꿈꿨을 것입니다.

과학기술정보통신부, 교육부, 산업통상자원부, 중소벤처기업부, 고용노동부 등 관계 5개 부처는 아무런 조치도 없어 안타까울 따름입니다. 정부는 아들과 항암치료를 받고 계신 선생님, 그리고 최근 방송에 나오신 선생님과 수업받은 학생들을 찾아 원인을 규명하고, 안전하고 쾌적한 무한상상실이 운영될 수 있도록 제도를 개선해 주시고, 아들 사망을 산재로 인정하여 주시기를 간절히 호소드립니다.

**3D프린터(3D펜) 실태와
직업성업 재해인정
개선방안 토론회**