

산재예방 연구브리프

OSH Research Brief

2020년 제18호

발행일 2020년 11월 6일
 발행인 고재철
 주 소 44429 울산광역시 중구 종가로 400
 산업안전보건연구원
 자료문의 연구기획부 052-703-0813
 발간번호 2020-산업안전보건연구원-524

제18호

3D 프린터 소재에 따른 유해물질 특성

4차 산업혁명으로 3D 프린팅 기술을 바탕으로 한 산업이 발달함에 따라 사용자에게 대한 건강상의 관심도 증가하고 있다. 2018년 연구원에서 수행한 「3D 프린터 사용자에게 대한 초미세입자 노출평가」 연구결과, 높은 수준은 아니지만 유기화합물과 금속에 노출될 수 있음을 확인하였다. 따라서 3D 프린팅 소재를 바탕으로 소재의 화학물질 성분을 분석하여 노출가능인자를 더 구체적으로 파악할 필요가 있다.

본 연구는 3D 프린터에 사용되는 소재의 성분을 분석하여 실제 노동자들이 어떤 유해물질에 노출될 수 있는지를 살펴보았다. 연구 결과, 3D 프린팅 소재중 PLA 소재의 경우, 총 8개 시료 중 6개 시료에서 관리대상물질은 5~7종, 고분자물질은 20~25종이 검출되었다. ABS 소재의 경우에는 5개 시료 전부에서 관리대상물질 5~6종, 고분자물질 15~23종이 검출되었다. 금속 소재의 경우에는 관리대상물질인 구리, 철, 알루미늄 등 3종이 검출되었다. 본 연구를 통해 3D 프린팅 사업장의 물질안전보건자료 작성을 위한 기초자료 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 3D 프린터 취급 근로자의 건강보호를 위한 방안에 대해 제언하였다.

보고서 제목 3D 프린터에 사용되는 소재의 종류 및 유해물질 특성 연구(2019)

연구책임자 산업안전보건연구원 정은교 선임연구위원, 김성호 과장

산재예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



I. 서론

미국 컨설팅기업 월러스 어소시에이츠(Wohlers Associates)에 따르면, 세계 3D 프린팅 시장 규모는 2014년 40.6억 달러에서 2020년 210억 달러, 2023년까지 최대 273억 달러로 고속 성장할 것으로 전망하고 있다. 3D프린팅 기술은 제조업, 의료, IT분야 등 다양한 분야에서 기술 패러다임을 바꾸며 산업혁신을 이끌 것으로 기대된다. 또한 3D 프린터의 가격 하락으로 보다 대중화됨에 따라 가정, 사무실, 교실 및 실험실에서 사용이 급속도로 확대되고 있다. 하지만 최근 다양한 연구들은 3D 프린터가 녹인 플라스틱을 사용해 모양을 만들어내기 때문에 실내에 오염물질을 방출하거나 초미세입자를 방출하는 것으로 나타났다. 노출은 폐 깊숙이 침투하여 호흡기 자극, 천식 증상의 악화 또는 심혈관질환을 유발할 수 있으므로 인체 건강에 문제가 될 수 있다.

그런데 3D 프린팅 소재는 물질안전보건자료(MSDS)가 구비되어 있지 않아 소재의 구성성분 등을 알 수 없다는 문제가 있다. 또한 다양한 소재의 구성성분을 체계적으로 조사한 사례도 부족한 실정이다. 이에 시중에서 유통되고 있는 3D 프린터의 대표적인 소재를 종류별로 분류하여 노출가능 인자 및 노출규모를 파악하고자 하였다.

II. 연구내용

1. 3D 프린팅 소재 현황

현재 3D 프린팅에 가장 많이 사용되고 있는 대표적 합성수지 소재는 PLA와 ABS이다. PLA는 옥수수과 감자의 전분 등 100% 재생 가능한 자원

으로부터 얻어진 단량체를 이용하여 합성된 열가소성 고분자 소재이다. ABS는 경량 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌을 의미하여 3D프린터로 제품 제조시 가장 폭넓게 사용되는 열가소성 플라스틱이다. 현재 사용되고 있는 고분자 소재로는 PLA, ABS, Nylon, Urethane, PLA/ABS, Alloy, PC, PEI, UV Resin 및 Photo-polymer 등이 있다.

3D 프린팅에 사용되는 금속소재도 다양해지고 있지만 분말 제조기술의 난이도가 높고 합금마다 조건이 다르기 때문에 사용에 제한이 있다. 특히 알루미늄이나 텅스텐의 경우 열전도성이 높아 열을 받으면 주변의 금속분말을 함께 녹여버리기 때문에 제어가 어렵다. 현재 많이 사용되는 금속소재로는 티타늄합금(Titanium alloys), 니켈(Nickel), 인코넬(Inconel), 스테인레스강(Stainless steel), 알루미늄, 코발트 크롬(Cobalt chrome), 구리, 금, 은 등이 있다. 금속소재는 특성상 높은 가격, 가공방법, 소결온도 및 폭발위험성 등으로 인해 산업용으로 주로 사용되며 개인 용도의 확산은 상대적으로 제한적이다.

장비구매 기업의 소재활용 현황을 보면, 재료압출(material extrusion, ME)방식에서 열가소성 플라스틱 필라멘트 소재가 69.1%로 가장 많이 활용되고 있고, 광경화성 플라스틱 수지(20.1%), 열가소성 플라스틱 분말(3.4%) 순으로 나타났다. 금속소재는 약 3%정도로 플라스틱 계열의 소재가 주로 사용되는 것으로 나타났다. 3D 프린팅 소재시장 수요조사 결과, 소재 구입처는 국내 수요의 70~80%를 중국업체를 통해 구매하여 사용하며, 업종별로는 열가소성 플라스틱 필라멘트의 사용이 높은 가운데 높은 표면조도를 낼 수 있는 광경화성 수지는 의료 및 치과 산업에서 많이 사용되고 있다.

2. 3D 프린팅 소재의 노출가능 유해인자 분석

미국재료학회 F42 위원회는 3D 프린터 기술 표준을 재료압출, 재료분사, 접착제분사, 판재적층, 광중합, 분말소결, 직접용사 방식의 7가지로 나누고 있다. 본 연구는 재료압출 방식에 사용되는 소재를 중심으로 유기화합물 및 금속 성분을 분석하고자 하였다. 분석대상 소재는 필라멘트 유형 및 색상이 배출물질 및 농도에 미치는 영향을 파악하기 위해 PLA(Polylactic acid), ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) 소재, 금속 등을 중심으로 20여개의 복합 소재를 분석하였다.

1) 필라멘트 성분분석 결과

PLA 필라멘트는 주성분인 락티드(Lactide) 성분이 주로 검출되었고, 아크로레인, 초산, 노말부틸알콜, 메틸메타크릴레이트 등 일부 유기화합물이 미량 검출되었다. ABS 필라멘트는 화학 구조적

으로 발생할 수 있는 스티렌, 에틸벤젠이 주로 검출되었고, 크실렌, 페놀 등 일부 유기화합물이 미량 검출되었다. 따라서 작업장에 맞는 공학적 대책을 수립하는 등 작업장 관리 방안을 마련해 3D 프린팅 작업을 할 필요가 있다.

2) 금속이 함유된 필라멘트 성분분석 결과

3D 프린팅 소재 중 금속에 대한 성분분석 결과, 금속이 포함된 것으로 판단되는 eCopper-natural, eAl-fill-natural, eSteel-natural 시료에서 관리대상물질인 구리, 알루미늄, 철이 금속소재별 각각 1종씩 검출되었다.

2. 3D 프린팅 작업환경관리방안

연구결과 PLA, ABS 및 나일론 필라멘트로 3D 프린팅을 할 때 프린팅 공정에서 휘발성 유기물질 및 입자의 방출로 인한 호흡기 및 눈 자극으로 인한

[표] 3D 프린팅 소재별 성분분석 결과(PLA, ABS 예시)

소재명	규제대상	검출물질명	CAS No.	구성비(%)	노출기준(ppm)		비고
					TWA	STEL	
PLA	관리대상 물질	아크로레인	107-02-8	0.20~2.80	0.1	0.3	Skin
		초산	64-19-7	0.20~0.30	10	15	-
		노말부틸알콜	71-36-3	0.69~1.34	20	-	-
		메틸메타크릴레이트	80-62-6	0.28~1.13	50	100	-
		스티렌	100-42-5	0.77~1.00	20	40	발암성2, 생식독성2, Skin
	고분자 물질	L-Lactide	4511-42-6	24.46~67.82	-	-	-
		2,3-Pentanedione	600-14-6	6.46~11.66	-	-	
		Silane, trimethyl-	128889-54-3	3.18~13.64	-	-	
		Others(20여종)	-	<30	-	-	
ABS	관리대상 물질	아크로레인	107-02-8	0.04~0.23	0.1	0.3	Skin
		톨루엔	108-88-3	0.21~0.39	50	150	생식독성2
		에틸 벤젠	100-41-4	18.26~18.75	100	125	발암성2
		크실렌(모든 이성체)	108-38-3	2.02~5.69	100	150	-
		스티렌	100-42-5	57.17~59.08	20	40	발암성2, 생식독성2, Skin
		페놀	108-95-2	0.66~1.15	5	-	생식세포, 변이원성2, Skin
	고분자 물질	Benzene, propyl-	103-65-1	3.12~3.21	-	-	-
		1,3,5-Cycloheptatriene	7557-11-01	3.05~3.09	-	-	
		2,2,7,7-Tetramethyloctane	1071-31-4	2.70~2.96	-	-	
		Others(10~20여종)	-	<10	-	-	

※ 실험조건에서 발생한 물질의 구성비이며, 질량 비율(%)은 아님

위험이 있을 수 있다고 결론지을 수 있다. 특히 불충분한 환기 또는 공기교환이 좋지 않은 작은 방에서 장시간 프린팅 작업하는 경우에 이와 같은 위험이 나타날 수 있다. ABS 수지 등으로 프린팅하는 동안 스티렌 등이 방출될 때 위험이 가장 크다고 할 수 있다.

PLA 및 ABS 수지로 인쇄할 때 에틸벤젠 방출은 호흡기 및 눈 자극의 위험을 증가시킬 수 있다. 연구원에서 2018년 수행한 「3D 프린터 사용자에게 대한 초미세입자 노출평가」 연구에서 작업장에서의 개인 노출농도는 낮은 수준으로 분석되었지만, 3D 프린팅 소재시료의 성분분석 결과에서 다양한 종류의 발암성 및 생식독성 등을 가진 물질들이 검출되고 일반적으로 사용되는 3D 프린터는 상방이 개방형이 많으므로 사전주의원칙을 적용하여 노출을 관리할 필요가 있다.

일반적으로 유해물질 또는 유해인자에 대한 관리방안으로는 공학적 대책으로 대체(substitution), 격리(isolation), 환기(ventilation) 등이 있고 행정적 대책으로 보호구 착용, 교육 등이 있으며, 3D 프린팅 작업도 동일한 작업환경 관리방안을 적용할 수 있을 것이다.

먼저, 3D 프린팅시 유해물질이 적게 배출되는 것을 사용하는 것이다. 현재 상태에서는 PLA 수지가 유해물질 배출이 적은 것으로 보고되고 있다. 하지만 현 상태에서 3D 프린팅이 지속적으로 사용이 증가한다면, 연구개발을 통하여 유해물질을 적게 배출시키는 수지로 대체할 필요가 있다. 격리는

유해물질 발생원과 작업자간 격리를 통해 노출을 최소한으로 줄이는 방법으로 밀폐, 차폐벽, 별도장소 보관 등의 예로 들 수 있다.

다음은 환기로 국소환기와 전체환기가 있으며 유해물질 발생원에 국소배기장치를 설치하여 발생하는 유해가스, 증기 및 미세먼지를 공학적으로 작업장 밖으로 내보내는 방법이 있다. 현재로서는 이 방법이 가장 현실적이고 적절한 대책이라 할 수 있다.

행정적 대책으로는 노출가능한 화학물질의 유해성에 대한 교육, 작업방법 교육, 개인보호구 착용 및 유지관리에 대한 내용 등이 있다. 기타 정리정돈을 통한 쾌적한 작업장 운영, 휴식시간 조정 및 작업전환 등이 있다.

III. 정책제언

본 연구는 3D 프린터의 소재에 따라 노출될 수 있는 유해물질 특성을 알아보았다. 3D 프린팅 소재를 제조하거나 유통시키는 업체는 보다 정확한 MSDS 정보를 제공하고 사업주는 취급 화학물질에 대한 정확하고 신뢰성 있는 MSDS를 확보하여 사용하는 노동자에게 안전보건 정보를 제공하고 그에 대한 교육을 실시함으로써 취급 화학물질로 인한 직업병, 화재 또는 폭발 등의 각종 사고 및 재해로부터 노동자들을 보호할 필요가 있다.