

이 보고서는 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해 발간한 보고서입니다.

혁신성장품목분석보고서

 YouTube 요약 영상 보러가기

4D프린팅

제조 산업의 혁신 및 스마트 소재의 개발

요약

배경기술분석

심층기술분석

산업동향분석

주요기업분석



작성기관

NICE평가정보(주)

작성자

이혜연 전문연구원

- 본 보고서는 「코스닥 시장 활성화를 통한 자본시장 혁신방안」의 일환으로 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해, 한국거래소와 한국예탁결제원의 후원을 받아 한국IR협의회가 기술 신용평가기관에 발주하여 작성한 것입니다.
- 본 보고서는 투자 의사결정을 위한 참고용으로만 제공되는 것이므로, 투자자 자신의 판단과 책임하에 종목선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 보고서를 활용한 어떠한 의사결정에 대해서도 본회와 작성기관은 일체의 책임을 지지 않습니다.
- 본 보고서의 요약영상은 유튜브로도 시청 가능하며, 영상편집 일정에 따라 현재 시점에서 미 게재 상태일 수 있습니다.
- 카카오톡에서 “한국IR협의회” 채널을 추가하시면 매주 보고서 발간 소식을 안내 받으실 수 있습니다.
- 본 보고서에 대한 자세한 문의는 작성기관(TEL.02-2124-6822)으로 연락주시기 바랍니다.

4D프린팅

제조 산업의 혁신 및 스마트 소재의 개발

테마명	첨단제조·자동화	분야명	신제조공정	산업분류	A01014
[정책 및 투자 동향]					
그린 뉴딜	정책동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 4D프린팅에 관련한 정책은 아직 미미하며, 3D프린팅 산업에 대한 정책들이 주를 이룸 ○ 국내 산업 성장 및 기술력 강화 등에 대한 추진 계획 발표 			
	투자동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ (정부) 2022년까지 3D프린팅 산업 진흥 기본 계획 2차년도 추진으로 2021년 올해 총 968억 3천만원 투입 ○ (기업) 3D프린팅에 비해 대중성과 상업성이 떨어짐, 3D프린팅 시장의 성장으로 향후 4D프린팅 기술 및 관심도가 증가할 것으로 기대됨 			

■ 지원과 투자가 미미한 수준의 국내 4D프린팅 산업

3D프린팅이 태동기를 거쳐 이제 산업현장에 정착되려고 하는 상황인 가운데, 4D프린팅에 대한 기술개발이 이뤄지고 있다. 한국의 4D프린팅 시장은 아직 미미한 수준으로 3D프린팅 시장에 대한 정책이나 지원이 주를 이룬다. 소재, 장비 및 SW 기술 자립화를 위해 3D나 4D프린팅용 형상 기억 고분자 원천 소재에 연구개발이 진행되고 있으며, 초경량, 기능성 등 3D 프린터 소재 기술에 대한 지속적인 개발이 이루어지고 있다. 또한, 의료, 국방 및 항공 등 산업별 신공정 기술 기반 장비 개발을 위해 3D프린팅 맞춤형 기술개발이 진행되고 있다. 현재 외산 제품에 의존하고 있는 산업용 3D프린팅 적층 제조 요소 기술과 플랫폼 기술 국산화를 목표로 4D프린팅 산업의 양적 질적 성장 실현이 기대된다.

■ 4D프린팅은 태동기, 블루오션

4D프린팅 기술은 자동차, 로봇, 의료, 제조, 건설 등 다양한 산업 분야에서 활용할 수 있고 전세계적으로 태동기에 있는 블루오션이다. 이에 각국의 유명 대학이나 연구소, 기업이 스마트 소재 개발에 열을 올리고 있다. 일부 기업은 이미 초기단계의 자가변형물체를 제작해 제품화를 시도하고 있다. 국내 4D프린팅 산업은 기술개발 단계로 아직은 산업 활성화를 기대하기는 어렵다. 정부는 2018년 4D프린팅 개발 사업에 19억 원을 지원했으며, 연구기관인 KIST와 GIST 등에서 4D프린팅에 대한 연구를 진행하고 있다. 4D프린팅의 주요 핵심인 디자인과 소재에 대해 국내 시장은 산업 경쟁력을 갖고 있어 앞으로 장기적인 관점에서 개발 지원 및 투자가 확대될 때 미래 주력 사업으로 확대될 것으로 기대된다.

I. 배경기술분석

BMW, NASA를 통해 입증된 4D프린팅의 가능성

4D프린팅은 3D프린팅에서 시간이 결합된 개념으로 3D로 프린팅 된 물체가 외부 요인이나 시간에 따라 변형되는 기술로 의료, 자동차, 건축 등 다양한 산업에서 응용될 가능성이 높다.

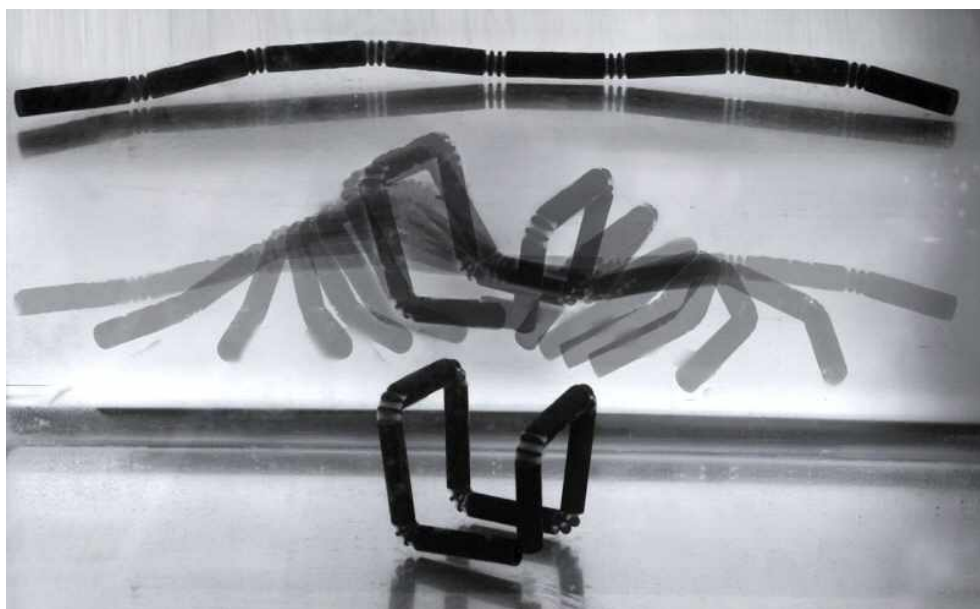
1. 산업 생태계 분석(정의, 구조 및 특징)

■ 3D프린팅의 한계 극복 : '3D + 1D' 4D프린팅

4D프린팅은 2013년 미국 메사추세츠 공과대학 자가조립 연구소의 스카일러 티비츠(Skylar Tibbitts) 교수의 TED 강연 'The emergence of 4D printing' 을 통해 알려졌다. 4D프린팅은 3D프린팅에서 '시간', 즉 차원이 결합된 개념으로, 기존 3D로 프린팅된 물체가 시간이 지나면서 결과물이 온도·햇빛 등 환경 조건에 반응해 스스로 형태가 변형된다. 즉, 사람이 물체에 힘을 가하지 않고 외부 요인(공기 또는 열)을 활용해 형태를 변형시켜 원하는 형상으로 제작하는 기술이다.

기존의 3D프린팅과 제작 방식이 같지만 형상기억합금이나 하이드로겔, 형상기억고분자 같은 스마트 재료(Smart Material)를 사용한다. 스마트 재료로 출력한 물체는 시간, 열 또는 온도, 진동 같은 외부 환경에 따라 다른 모양이나 크기로 변형될 수 있으며, 변형 조건과 모양은 엔지니어가 스마트 재료에 프로그래밍하게 된다.

[그림 1] 스카일러 티비츠 교수의 TED 영상 속 4D프린팅 시연 장면



*출처: 스스로 변형한다고? 4D프린팅 시대가 온다, 매니저S(2021)

■ 4D프린팅, 3D프린팅과의 차별점

3D프린팅은 적층 방식으로 3차원 물체를 만드는 기술이며, 복잡하고 정밀한 형상 제작이 가능한 장점을 갖고 있어 다양한 분야에서 사용 가능하다. 그러나 제품의 형태를 프린팅하기 위해선 제품의 크기보다 더 큰 프린터를 활용해야 한다는 기술적인 한계와 더 큰 프린터를 설치하기 위한 별도의 공간확보까지 해결되지 않은 문제들이 많다. 또한, 3D프린팅은 정적인 물체를 생산하므로 스스로 움직여 임무를 수행하는 스마트 사물 제작에 한계가 존재한다. 이와 같은 한계를 극복하고자 개발된 기술이 4D프린팅이다. 두 기술의 가장 대표적인 차이점은 ‘소재’이며, 3D프린팅은 액체 또는 고체의 분말 소재를 주로 사용하고, 4D프린팅은 용도에 따라 다르지만, 자기 변형 소재 중 하나인 형상 기억 합금을 사용한다. 4D프린팅은 외부 요인에 따라 변형되는 특수 소재를 사용하므로 의료, 예술, 자동차, 건축 등 다양한 분야에서 응용이 가능하다.

2. 주요 산업 이슈

■ 다양한 산업현장 활용 가능한 4D프린팅 기술

4D프린팅의 주요 이용 고객은 개인부터 기업까지 다양하며, 적용 분야 또한 생활용품 및 가전 제품, 항공기, 자동차 등으로 다양하다. 4D프린팅 기술은 패션, 건설, 가전 및 군사적 목적으로도 사용된다.

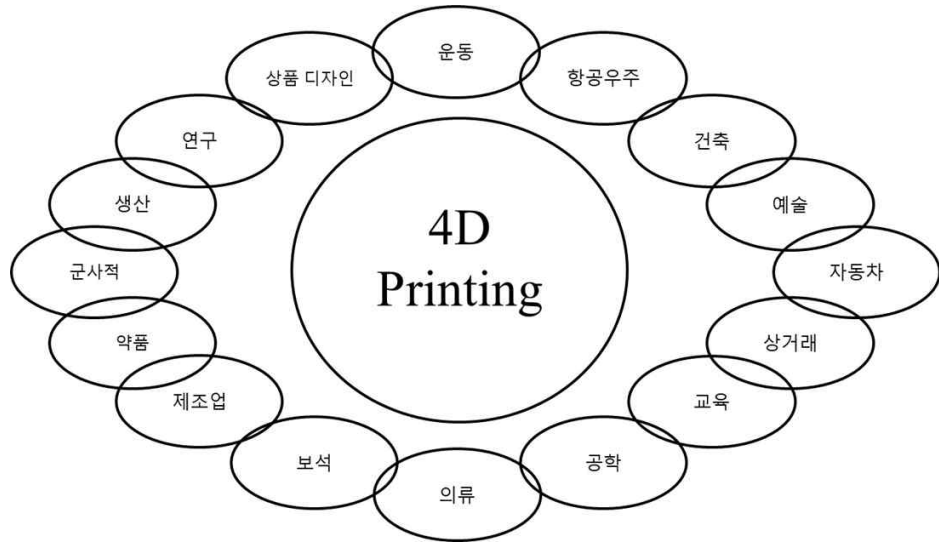
4D프린팅 기술이 군사적 목적으로 사용될 때, 위험하거나 접근이 불가능한 지역으로 제품을 직접 운송할 필요가 없다. 현장에서 직접 부품을 생산하여 모양이나 외관 등을 때에 따라 변경해 위장 가능성을 높일 수 있다. 또한, 부품 조립에 추가 인력이 필요 없는 점을 고려할 시 군사작전 등 위험한 상황에서 중요하게 활용될 수 있다.

패션 산업에서 4D프린팅 기술은 고객의 니즈에 맞는 다양한 제품 생산이 가능하다. 계절이나 고객의 기분에 따라 옷의 색상, 실루엣 및 모양 등을 조절할 수 있다. 가구 산업에서는 시간 제약 없이 운송이 가능한 분해 제품이나 자가 조립 가구 등을 생산할 수 있다. 이는 운반뿐만 아니라 보관 및 설치를 용이하게 하고, 조립 시간 또한 절약되는 장점이 있다.

산업 현장 등에서도 위험성을 낮출 수 있다. 특히 건설 현장은 사고의 위험성이 높아 로봇을 활용한 방안들이 연구되고 있다. 4D프린팅 기술을 접목하면 고가의 로봇이나 인력을 사용하지 않고 자체 조립 물체를 통해 인프라 구축이 가능하다.

이외 다양한 환경에서의 재난이나 사고 발생 시 스마트 소재로 제작한 물체를 활용하여 위험성을 낮추거나 자동으로 복원하는 기능을 탑재할 수 있다. Grand View Research에 따르면 4D프린팅은 군사/국방용이나, 항공우주, 자동차 및 섬유 산업에서 사용이 점차 확대될 것으로 전망된다.

[그림 2] 4D프린팅 사용 영역



*출처: Psychosocial Context of Building a Personal Brand in Social Media(2019)

■ 4D프린팅에 대한 가능성을 확인한 선두주자 'BMW와 NASA'

글로벌 자동차 제조회사인 독일의 BMW사는 4D프린팅 기술을 적용한 콘셉트 카 '비전넥스트 100(Vision Next 100)'을 발표했다. 운전 상황과 환경에 따라 인공지능을 기반으로 운전자를 보조하며, 디자인이 변화된다. 4D프린팅 기술이 적용된 차량 바퀴 휠은 위험 다발 구간인 급회전 구간, 비포장 도로 등을 주행할 때 바퀴 형상을 변형시키며, 운전 상황에 맞게 자유자재로 팽창/수축하여 안전성을 높인다.

NASA 미 항공 우주국에서 발표한 우주에서 사용가능한 패브릭 소재는 4D프린팅 기술로 만들어졌다. 반사 성질, 접히는 성질, 인장강도 등 주요 기능들을 포함하고 있어 우주 비행사들의 우주복이나, 우주선 보호 방어막 등에 효과적일 것으로 보인다.

[그림 3] BMW Vision Next 100 컨셉(좌) 및 NASA 4D-print 'space chain mail'(우)



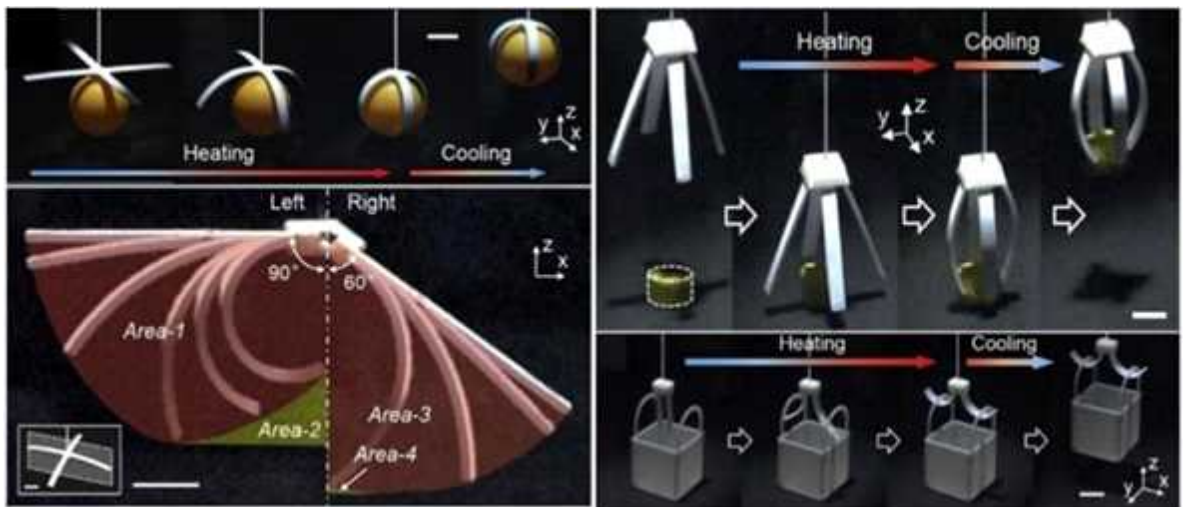
*출처: BMW Vision Next 100 Concept ,CARICOS (2016)

*출처:NASA 4D-print 'space chain mail' to protect astronauts from flying meteorites, designboom(2017)

■ 현재는 재료연구, 미래에는 SW연구

4D 프린터는 사용되는 소재가 중요하며, 각 목적 및 용도에 맞게 개발되어야 한다. 또한, 4D 프린팅에 사용할 재료는 개발뿐만 아니라 재료 양산 과정도 중요하기 때문에 많은 기업이나 연구기관은 스마트 소재개발에 주력하고 있으며, 특히 미국 대학에서 주로 연구를 진행하고 있다. 소프트웨어 정책 연구소의 보고서에 의하면, 4D프린팅 설계는 시뮬레이션 관련 프로그램 개발과 밀접한 관계가 있으며, 4D프린팅 시장의 성장과 연관성이 높은 것으로 보인다. 4D 프린터가 3D 프린터와 동일하게 컴퓨터 내에서 제품을 설계하고 보완하는 작업이 진행되기 때문에 내장되는 소프트웨어 개발 또한 중요하다.

[그림 4] 환경 자극에 대응하는 4D 인쇄 기법



*출처: Smart polymers and nanocomposites for 3D and 4D printing(2020)

■ 3D프린팅 산업의 고도화를 위한 정책

창업진흥원, 한국환경공단 등 공공기관에서 각 분야에 맞게 3D프린팅 사업을 진행하고 있다. 교육뿐만 아니라 직접 시제품을 모델링, 제작까지 하는 과정이 넓게 포함되어 있어서 미래사회에 3D프린팅 기술의 영향력을 키우는데 도움이 될 것이다. 과학기술정보통신부는 3D프린팅 시장의 기술경쟁력과 산업 확산, 수요 창출 및 제도적 기반 강화를 위해 2021년 약 968억 원의 예산을 지원하고 있다. 3D프린팅 산업 현장 활용 가속화를 위해 약 214.5억 원을 투자하며, 차별적 기술력 확보를 위해 232.8억 원, 혁신 성장 중심 산업기반 고도화를 위해 521억 원이 투입된다. 시장 진입 유망 분야 실증 및 초기 시장 창출을 지원하고 사업화 성공 모델 발굴 및 확산을 중점으로 하고 있으며 민간 중심 경쟁과 협력 체계를 구축하고 있다. 차별적 기술력 확보를 위해서는 소재 및 장비, SW 기술의 자립화를 목표로 하며, 시장 지향 3D프린팅 응용기술을 개발하고자 한다. 추가적으로 산업밀착형 선도 인재 육성 및 중소기업 활용과 성장 기반, 기술표준 및 평가체계 고도화를 기대하고 있다. 정부의 3D프린팅 산업에 대한 정책과 지원이 확대되면서 4D프린팅에 관한 지원 및 체계도 확산될 것으로 기대된다.

II. 심층기술분석

미래 생산 업계에 불어온 새로운 바람, 4D프린팅

4D프린팅 소재는 자극 반응형 소재(Stimuli-responsive material)와 스마트 소재(Smart material)로 구분 가능하며 4D프린팅은 다양한 분야에서 적용 가능하나, 특히 생명공학이나 의료공학 관련 기술에 많이 사용된다.

1. 핵심기술 및 개발동향

가. 핵심 요소기술

■ 4D프린팅의 기술 - 스마트 소재

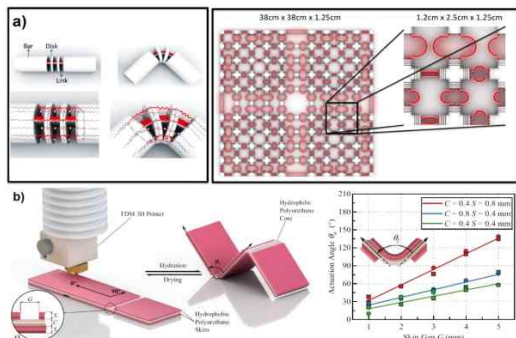
4D프린팅 기술 중 가장 중요한 소재는 자극 반응형 소재(Stimuli-responsive material)와 스마트 소재(Smart material)로 구분된다. 스마트 소재는 습도, 온도, 전자기장, 압력 등 다양한 에너지원에 의해 물성이나 형상이 변화되는 소재를 의미한다. 옹의 법칙과 아이작 뉴턴의 점도 법칙만으로 이해 불가능하며, 물질에 작용되는 응력과 물질의 변형 및 흐름 사이의 관계를 묘사 가능한 유변학으로 표현된다. 한 가지 예로 치약은 튜브에 힘을 가하기 전 고체와 같이 거동하여 흘러나오지 않아야 하나, 칫솔질을 하는 동안은 유체와 유사한 거동을 해야 한다. 이러한 소재의 유변학적 특성 분석을 통해 4D프린팅 기반 기술 확보가 가능하며 외부 자극에 따른 소재 특성은 [표 1]과 같다.

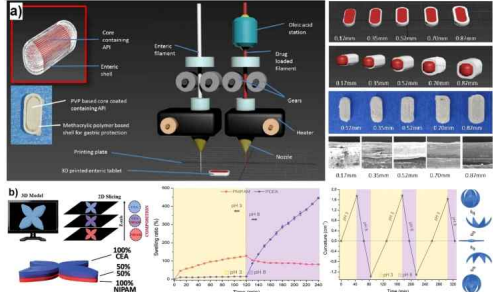
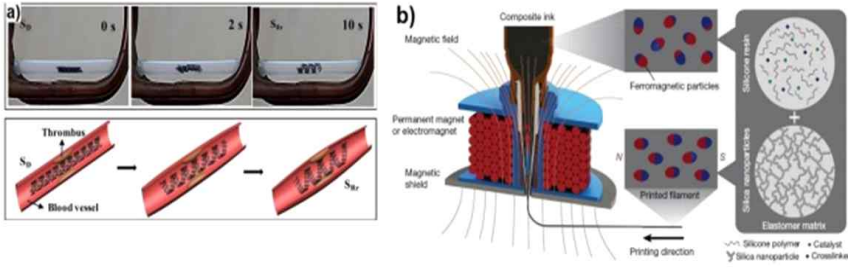
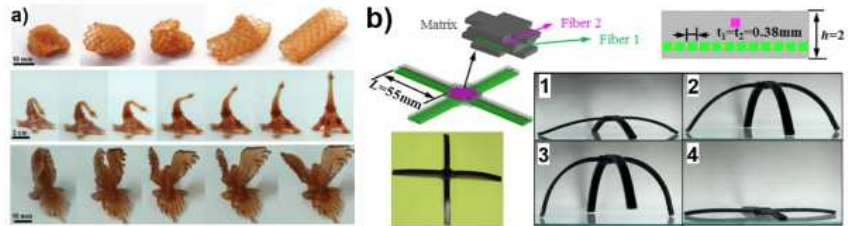
[표 1] 외부 자극에 따른 소재 특성

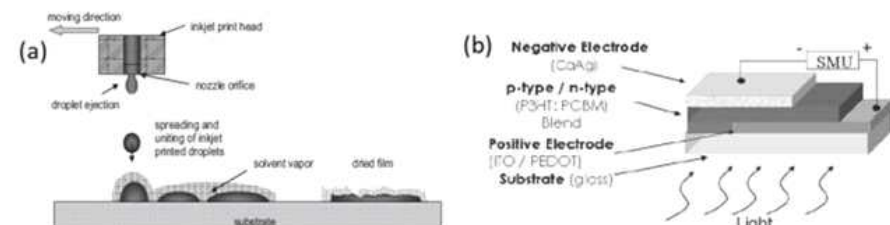
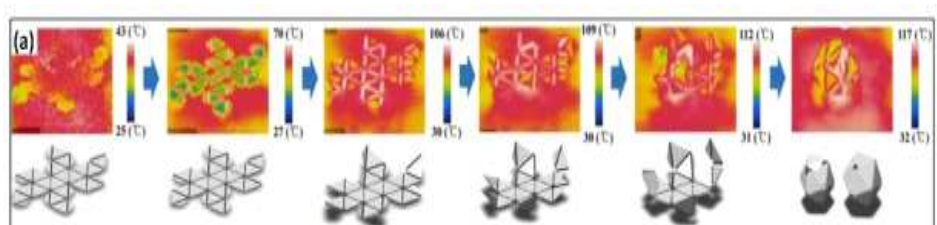
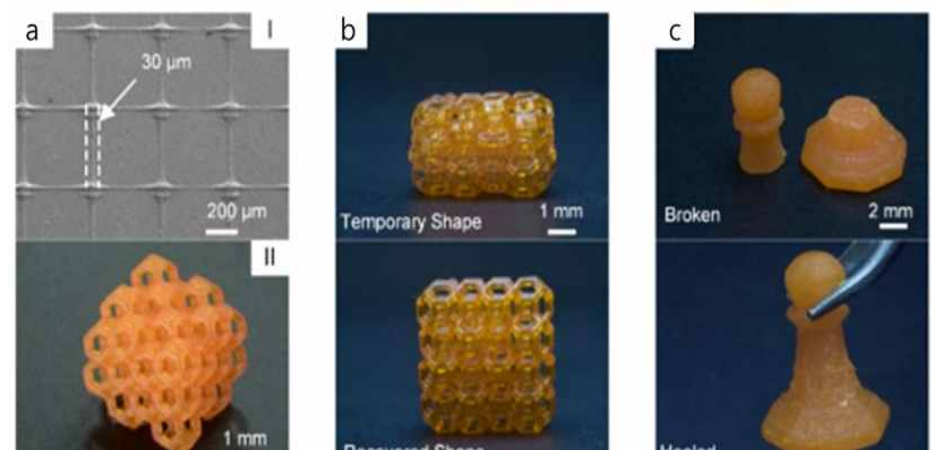
분류	소재
전기 자극	전도성 고분자 (Conductive polymer)
	이온성 고분자 (Ionic polymer)
	액정 탄성 중합체(Liquid crystal elastomer)
	유전 탄성체 (Dielectric elastomeric actuator)
	전기 유변 유체 (Electrorheological Fluid)
	전기 전도성 복합체(Conductive composite)
자기 자극	자성 유체 (Ferrofluid)
	자기 유변 유체 (Magnetorheological fluid)
	자성 복합체 (Magnetic composite)
온도	형상 기억 고분자 (Shape memory polymer)
	형상 기억 합금 (Shape memory alloy)
	액정 탄성 중합체 (Liquid crystal elastomer)
	하이드로젤 (Hydrogel)
빛	액체 금속 (Liquid metal)
	아조벤젠 기반 고분자 (Azobenzene containing polymer)
내부 유체의 압력	탄성 중합체 (Elastomer)

제시된 스마트 소재는 3D프린팅으로 제작 가능해야만 4D프린팅 소재로 사용할 수 있다. 4D프린팅의 간단한 방법 중 하나는 스마트 재료를 활용하여 3D프린팅하는 방법이다. 또한, 스마트 기능성 소재를 프린팅 가능한 물질에 섞어 만든 복합재는 4D프린팅에 사용할 수 있다. 물체의 특성을 고려하여 형상 기억 고분자나 탄성 중합체 등을 이용해 복합재를 생성할 경우 용도에 맞는 스마트 소재를 제작할 수 있다. 이처럼 소재 자극 반응과 인터페이스 제어가 가능하여 스마트 소재 범위를 넓힐 수 있다.

[표 2] 4D프린팅용 스마트 폴리머 및 복합 재료

분류	주요 내용
수분 반응 하이드로겔	<p>◇ 물리적 or 화학적으로 결합되어 하이드로겔로 알려진 고분자 겔을 형성</p> <p>◇ 보이드 결합으로 인해 네트워크 구조에서 많은 양의 물을 흡수</p> <p>◇ 환경 습도의 변화에 따라 역동적인 형태 변화를 보일 수 있음</p> <p>a) 서로 다른 방향으로 늘어뜨리고 구부릴 수 있는 복합 재료 구조를 구성하며 친수성 팽창 물질 스트립(하이드로겔)을 인쇄</p> <p>b) 수화 시 형상 변화는 경첩의 공간적 분포에 따라 서로 다른 복잡한 종이접기 패턴</p> 
pH 반응 하이드로겔	<p>◇ pH 값의 변화로 형태, 부피 또는 용해도에서 과도기적인 변화를 겪는 또 다른 유의미한 스마트 재료 그룹</p> <p>a) 이중 압출 기반 3D 프린터를 사용하여 내장 코팅 위내성 태블릿을 엔지니어링 및 제작. (코어는 테오펀린, 부테소나이드, 디클로페낙나트륨 등의 약물이 함유된 폴리비닐피롤리돈(PVP)이었으며, 겹질은 pH 반응성 메타크릴산 공중합체로 구성)</p> <p>b) 산성 그룹의 비양성화로 인해 높은 pH 값이 부풀어 오른 반면 PNIPAAm(하층)은 산성 pH에서 약간 부풀었음. 이산 레이어의 서로 다른 볼륨 확장은 가역 벤딩 작동으로 이어짐.</p>

	
<p>전자자기 기능성 물질</p>	<p>◇ 안정성, 탄력성, 경량성, 우수한 생체적합성, 합성 용이성 및 공간적으로 제어 가능한 자기 특성과 함께 유연한 처리와 같은 뛰어난 특성</p> <p>a) 최소 침습적 의료 시술에 적용할 수 있는 3D 인쇄 자가 확장형 스텐트의 원격 안내 및 자가 난방에 대체 자기장이 사용</p> <p>b) 인쇄하는 동안 강자성 입자가 프린터 노즐 주위에 튜닝 가능한 전자석에 의해 적용되는 자기장과 함께 정렬됨. 인쇄 과정에서 자기장 방향이 바뀌면서 3D 프린터로 제작한 다중 도메인 자기 물체가 생성. 패턴 자기 영역을 가진 다양한 2D 및 3D 구조가 인쇄되어 복잡한 예측 가능한 형태 변화를 제공</p> 
<p>온도 반응성 중합체 및 복합체</p>	<p>◇ 고무 탄성에 따라 형태 기억 거동을 보일 수 있지만 다양한 변형을 회수율을 보임</p> <p>◇ 원격 제어 시스템, 약물 전달 차량, 온오프 스위치 등 여러 분야에 응용</p> <p>a) 상업용 SLA 3D 프린터를 사용하여 메타크릴레이트 PCL로 복잡한 구조와 밀리미터 이하 두께의 여러 모델을 3D프린팅</p> <p>b) 다양한 디지털 SMP 섬유(DM8530, DM9895)와 여러 개의 열역학적으로 프로그램된 형태 변화를 거친 탄성계 매트릭스로 구성된 설계 다층 구조 인쇄 방법 등 메모리 동작 형태</p> 
<p>폴리머 기반 태양광 소재</p>	<p>◇ 가장 접근하기 쉽고 빠르게 성장하고 가장 깨끗한 태양광에너지를 사용</p>

	<p>◇ 내구성 및 신뢰성 때문에 단결정(초고효율), 다결정(고효율), 무정형(저효율) 소재의 실리콘(Si)사용</p> <p>a) 유기 광활성 필름의 잉크젯 인쇄</p> <p>b) 유기 PV 태양 전지 장치의 일반적인 구조</p> 
<p>광응답성 소재</p>	<p>◇ 작동을 일시 중지 및 재개하는 선택적 기능</p> <p>◇ 시간적 및 공간적 원격 및 정밀한 제어 기능 및 정밀 튜닝 가능</p> <p>a) 두께의 광 흡수 구배를 바탕으로 선 폭과 어둠을 제어하여 서로 다른 선에서 변형 속도와 순서를 조정하는 과정</p> 
<p>고분자 자가 치유 물질</p>	<p>◇ 기계적인 손상을 자율적으로 수리하고 재료 기능을 회복</p> <p>a) 고해상도 4D 인쇄 구조물</p> <p>b) 형상 기억 효과</p> <p>c) 80° C에서 5분 내에 자가 치유 프로세스</p> 

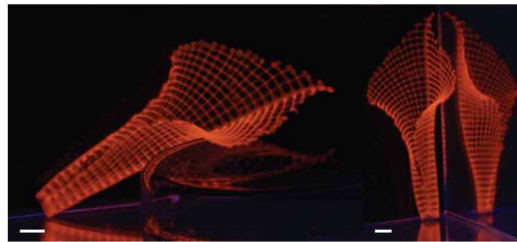
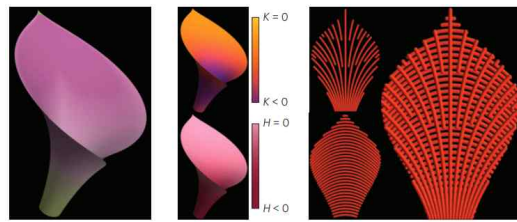
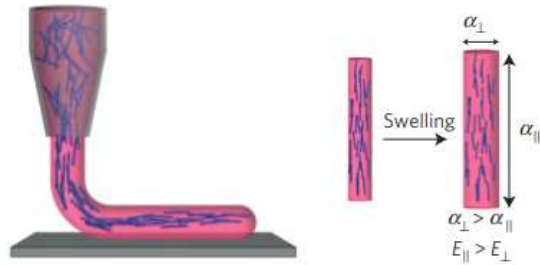
*출처: Smart polymers and nanocomposites for 3D and 4D printing (2020)

4D프린팅 기술과 소재 개발을 위해 다양한 선행 연구가 진행되고 있다. 국내 연구기관 중 서울대학교와 울산과학기술원은 공동연구를 통해 펜으로 그리는 4D프린팅 기술을 개발하였으며 광주과학기술원은 목표 형상을 추종하는 4D프린팅 자동설계에 관한 연구를 진행한 것으로 조사된다. K LINE EUFO GMBH, Harvard University에서는 각각 수분과 열에 반응하는 소재를 활용하여 4D프린팅 기술에 관한 연구를 진행했다.

[표 3] 4D프린팅 기술 및 소재개발 관련 선행 연구

주제	주요 내용	연구기관
<p>펜으로 그리는 4D프린팅 기술 개발</p>	<p>◇ 일반적으로 사용하는 잉크 펜과 물만으로 빠르고 간편하게 3차원 구조물을 제작할 수 있는 새로운 방식의 4D프린팅 기술을 개발함.</p> <div style="text-align: center;"> </div>	<p>서울대학교 / 울산과학기술원 (2021)</p>
<p>수분 반응 치열교정 장치</p>	<p>◇ 외부의 자극/접촉에 의해 형상이 변형되는 폴리머를 사용하여 3D 프린터로 제작된 치열 교정 장치에 적용함.</p> <p>◇ 와이어 또는 치아 표면에 적용되는 교정용 보정 장치와 물에 노출될 때 예측 가능한 형태로 변화시키는 동적 합성 물질 포함하고 있음.</p> <p>◇ 친수성 아크릴계 모노머 또는 올리고머로 이루어지는 열가소성 재료 사용함.</p> <div style="text-align: center;"> </div>	<p>K LINE EURO GMBH (2016)</p>
<p>열에 반응하는 Bio-mimetic 4D프린팅</p>	<p>◇ 3D 프린터로 Hydrogel 소재를 프린팅하여 3차원 구조를 만들었음. 특히 Hydrogel 내에 셀룰로스 파이버 조각들을 섞어 넣고 국소적으로 배열 방향을 조정함.</p> <p>◇ Hydrogel을 이용한 능동변형 구조는 많은 관심을</p>	<p>Harvard University (2016)</p>

끌고 있으나, 반응 온도나 속도, 반복성 등에서 제약이 큼.



4D프린팅 자동 설계에 관한 연구

- ◇ 목표 형상을 추종하는 4D프린팅 자동 설계의 대상으로서 Dan Raviv의 자가 변형 구조체 (self-evolving structure)로 표현이 목표임.
- ◇ 4D프린팅 자동 설계에서도 사용자는 다양한 조건에서 형상을 생성하고, 프레셰 거리를 기반으로 이를 검증하고, 선택하는 반복의 과정이 요구됨.
- ◇ 특정 조건 내에서 목표 형상에 가장 근접하도록 형상을 자동 설계할 수 있는 가능성을 제시함.

광주과학기술원 (2015)

목표 형상



형상 1



*출처: 능동·맞춤 자가 재할 시스템용 Multi-stable 4D프린팅 소재 개발, 울산과학기술원(2017)

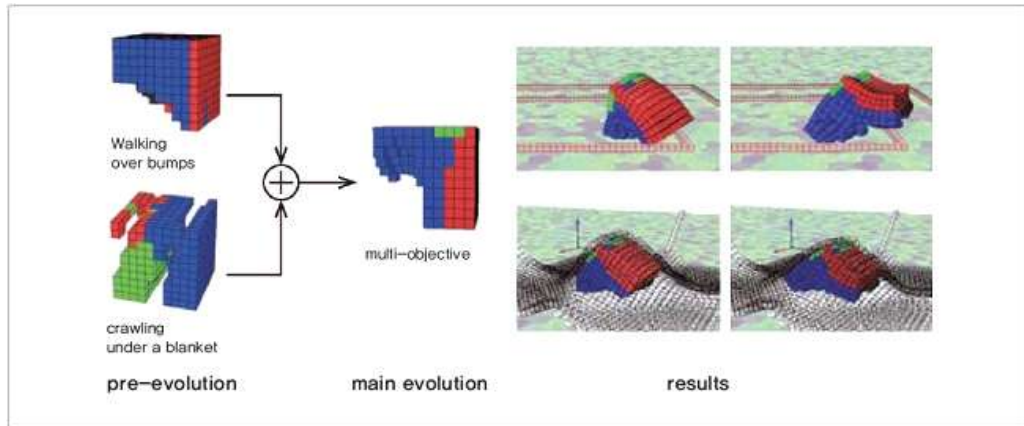
*출처: 펜으로 그리는 4D프린팅 기술 개발

4D프린팅 설계 및 시뮬레이션

4D프린팅은 3D프린팅이 가능한 스마트 소재나 복합재를 사용한 후 사물을 자기조립이나 자극 반응을 통해 기능을 변화시키는 과정을 거쳐 사물을 제작한다. 4D프린팅은 상황 및 외부에 따

라 적절하게 구조 및 기능이 변환된다는 특성을 갖고 있으며, 사물을 설계하고 구현할 때 변화될 형상을 예측하고 시뮬레이션 하는 기술이 필요하다. 국내와 해외에서 4D프린팅 시뮬레이터에 대해 개발하고 연구되고 있다. 광주과학기술원은 스마트 관절을 자동으로 배치 가능한 설계 방법을 제안하며, 목표 형상과 비교하여 유사성을 검증했다. 해외의 경우 코넬 대학 연구팀에서 VoxCAD를 개발하여, 연성 로봇의 디자인 및 시뮬레이션에 활용하고 있다.

[그림 5] VoxCAD 시뮬레이터



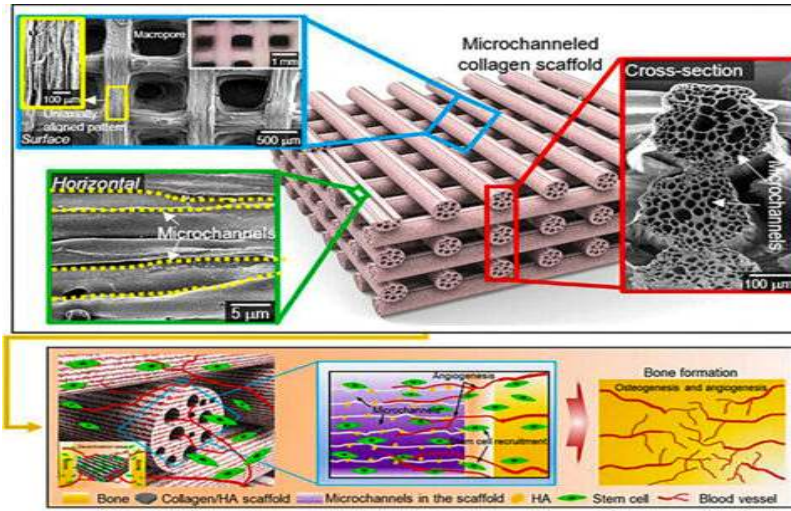
*출처: [TECHNOLOGY FOCUS] 소프트 로봇의 신체성, HelloT(2021)

나. 발전 방향 및 개발 트렌드

■ 생명공학 및 의료공학 관련 4D프린팅 기술 적용

4D프린팅은 다양한 분야에서 적용 가능하나, 특히 생명공학이나 의료공학 관련 기술에 많이 사용된다. 인체의 뼈는 복잡한 구조로 이루어져 있어 형상 제작에 어려움이 많다. 의료공학 중 혈관화 및 골 유도 최적화에 기존 3D 프린터의 단점을 보완하여 3가지 공간 축에 시간 개념까지 확대한 4D프린팅의 기술 도입이 이뤄지고 있다. 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 연구팀은 바이오 프린팅 시스템을 통해 손상된 조직을 재생하고 복구 가능한 세포지지체를 제작하기 위한 기술개발을 진행했다. 뼈의 주성분인 콜라겐과 수산화인회석(Hydroxyapatite)을 소재로 사용하여 골 유도가 최적화된 공학적 세포담체 구조를 4D프린팅 기술로 제작했다. 단순 형상 구조체에 비해 이식 부위의 주변 조직에서 혈관을 쉽게 유도해 손상된 뼈 조직을 보다 효과적으로 재생 가능하다.

[그림 6] 4D프린팅 인공 혈관

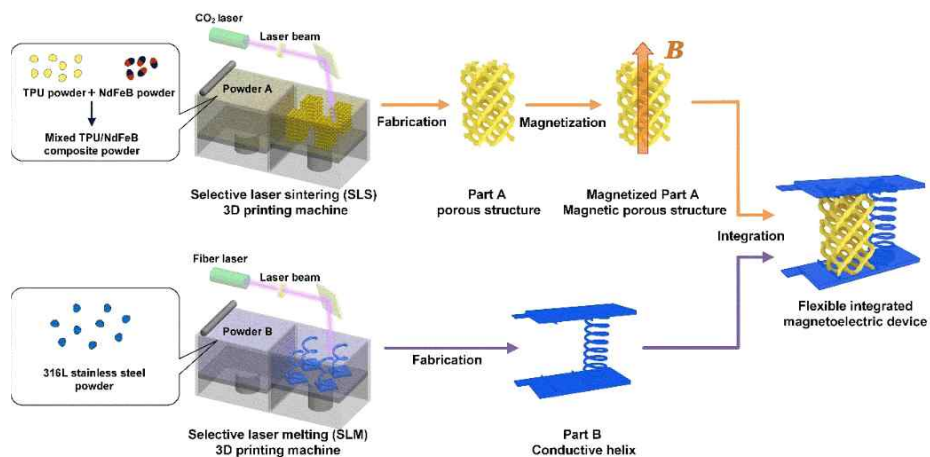


*출처: 4D프린팅으로 인공 혈관이 포함된 뼈 조직 재생한다, The Science Times(2021)

■ 4D프린팅 제품의 새로운 특성/기능성으로 실현하는 재료 조합

Huazhong 과학 기술 대학의 Yusheng Shi 교수 연구팀은 새로운 재료 혼합을 통해 성능과 기능을 향상시킨 4D프린팅 장치에 대한 방안을 제시했다. 전갈 슬릿 센서의 초민감 슬릿 구조를 모방하여 그라데이션 슬릿 구조를 설계하였고, 4D프린팅으로 탄소 블랙 나노입자/폴리락틱산 (PLA) 복합 재료로 바이오닉 심층 구조 장치를 구성했다. 자기 자극과 전기에 반응하는 재료를 조합하여 자기 다공성 구조와 전도성 나선 구조를 결합한 적층 제조 방법을 사용했다.

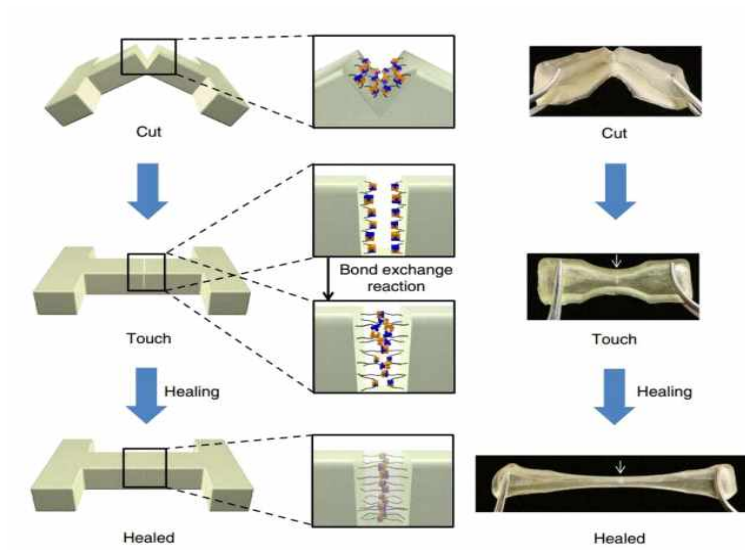
[그림 7] 4D 프린터로 제작한 플렉시블 자석 전기 장치의 준비 프로세스



*출처: The team of Professor Yusheng Shi of Huazhong University of Science and Technology has made progress in the field of 4D printing, MINNEWS(2021)

4D프린팅 공정기술과 자극 감응형 유기/고분자 소재의 원천기술을 통해 차세대 센서, 바이오, 로보틱스, 에너지 소자 등에 응용하여 ‘self-healing flexible ionic conductor’ 을 실현시키고자 한다. 기능성 유기/고분자 소재 설계를 통해 ion interaction을 기반으로 한 자가 치유 능력과 유연성, 이온전도 특성 등을 통해 4D프린팅 기반 기술 확보를 위한 연구들이 진행되고 있다.

[그림 8] 자가치유 고분자의 healing mechanism 도식도



*출처: 4D프린팅을 이용한 자가치유 유연 전도체 개발, 한국기계연구원 부설 재료연구실(2018)

Ⅲ. 산업동향분석

'Industry 4.0'의 영향으로 4D프린팅 및 관련 신소재 시장의 성장 전망 미래 경쟁력 확보를 위해 국내 기업의 지원, 투자 및 지속적인 관심이 필요

3D프린팅 산업은 해외 글로벌 기업을 중심으로 성장하였으며 4D프린팅 산업 또한 유사할 것으로 파악되는바, 국내 기업이 경쟁력을 확보하기 위해 4D프린팅 기술에 관한 정부 지원 및 투자 등이 필요하다.

1. 산업동향 전망

가. 국내·외 시장규모

■ 세계: 2019년부터 연평균 25.86% 성장, 2028년 2,451억2천만 달러로 예상

'Industry 4.0'의 영향으로 제조 방법이 변화되고 있으며, 유기적으로 연결되는 스마트 공장 형태로 변화되고 있다. 스마트 팩토리 주요 기술은 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 로봇, 빅데이터 및 3D프린팅이며, 대량 맞춤 생산 체제의 전환과 이에 맞는 제조 방법의 필요성이 증가되고 있어 4D프린팅 시장 및 신소재 시장 또한 증가할 것으로 보인다.

탄소섬유는 가장 가볍고 강한 직조 물질로서 우수한 강성, 비강성, 부식 및 내마모성의 장점을 갖고 있어 의료용 인공 뼈, 의족 등 가볍고 강성이 요구되는 분야에 사용된다. 콘크리트 구조물 보강재, 산업용 케이블, OLED TV 등 가전제품 등에도 활용되어 시장을 지배할 것으로 예상된다. 시장조사기관 IBIS World의 미국 탄소섬유 시장보고서에 의하면, 2019년 기준 업계 수익 19억 달러를 기록했으며, 2024년까지 연간 3.1% 성장률을 보여 22억 달러로 증가할 것으로 전망된다. 4D프린팅 시장의 경우 2019년 44.68%로 가장 큰 매출 점유율을 보였으며, 3D프린팅 시장에서 큰 점유율을 차지하고 있는 스트라타시스, 3D 시스템즈 등 기업들을 고려할 때 미국이 2028년까지 선두 지역이 될 것으로 예상된다. 이처럼 탄소 섬유 생산 업체들과 MIT 자체 조립 연구소와 같이 탄소 섬유 기술 연구 및 3D프린팅을 활용한 제조 혁신 사례들과 4D 기술 개발에 대한 관심도 상승으로 향후 4D프린팅 전체 시장에서 여전히 높은 점유율을 얻을 것으로 예상된다.

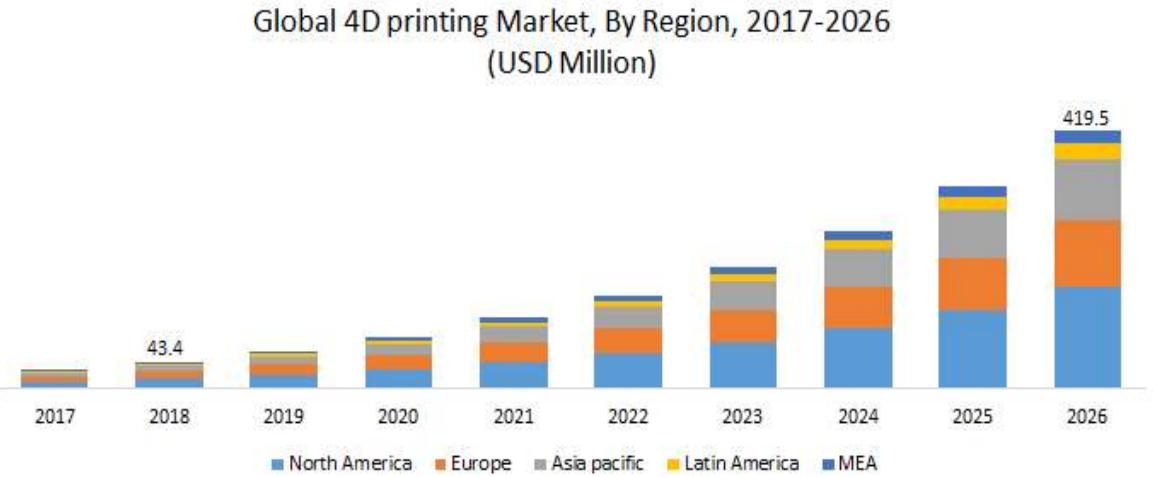
그러나 4D프린팅 개발에 부과되는 높은 비용과 기술력 격차 등은 적층 제조 기술 확대에 제한이 생긴다. 이전 제조 및 가공 기술은 오랜 시간 많은 노하우와 기술이 연구되고 전해져왔으나, 적층 제조 기술은 제조 방법 및 기술 등이 아직 초기 단계에 있는 상태이다. 그럼에도 4D프린팅 직물, 목재, 탄소 섬유 등 4D 소재 연구 및 개발에 점점 더 많이 투자되고 있으며, 재료에 대한 연구들과 자동차, 군사적 목적이거나 의료용 그리고 헬스케어 등 다양한 분야에 적용된 연구 등을 고려할 때 규모는 더욱 확대될 것으로 전망된다.

■ 2026년까지 북미지역이 선두, 유럽, 아시아가 뒤따를 것

세계 4D프린팅 시장을 국가별로 구분하여 살펴보면 북미지역이 전체 시장에서 높은 비중을 차

지하고 있으며, 2026년까지 꾸준히 높은 점유율을 보유할 것으로 추정된다. 그 뒤를 이어 유럽, 아시아가 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 보이며 세계 시장 성장세에 따라 시장규모 확대가 예상된다.

[그림 9] 국가별 4D프린팅 마켓 규모 (단위: USD Million)

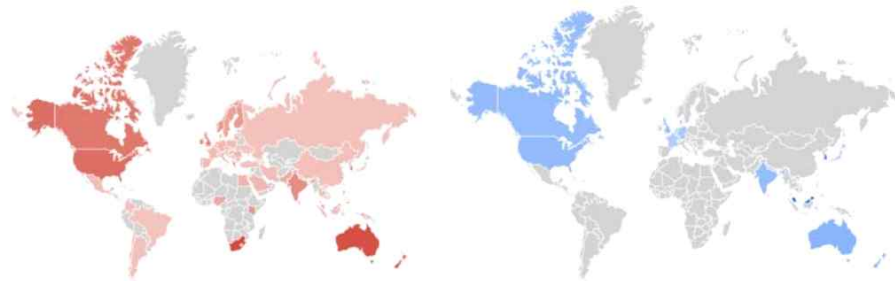
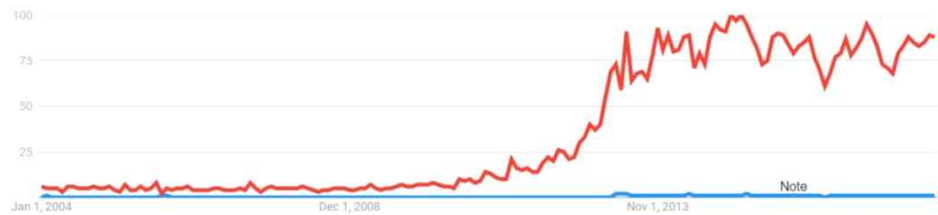


*출처: 4D Printing Market Analysis By Material(2018)

■ 4D프린팅은 태동기, 블루오션

현재 3D프린팅에 비해 4D프린팅은 대중성과 상업성이 떨어진다. 3D프린팅 인지도는 2012년에 급부상했으며, 동시에 사용자들은 4D프린팅 기술을 탐구하기 시작했다. 3D프린팅은 주로 싱가포르나 홍콩, 호주, 미국, 캐나다 등에서 관심도가 높으며, 3D프린팅 서비스나 하드웨어, 필라멘트 및 모델링 소프트웨어에 관심도가 높은 편이다.

[그림 10] 3D 및 4D프린팅의 인지도



● 4d printing ● 3d printing

*출처: Psychosocial Context of Building a Personal Brand in Social Media(2019)

4D프린팅 기술은 매우 빠르게 발전되고 있다. 구글 동향에 따르면 4D프린팅에 대한 누리꾼들의 관심이 높아졌으며, 3D프린팅에 관심도가 높은 나라에서 4D프린팅 또한 유사한 관심도를 보인 것으로 확인된다. 대표적으로 말레이시아, 싱가포르, 호주, 미국, 캐나다에서 주로 관심을 보이며, 4D프린팅 현상과 정보를 주로 확인했다.

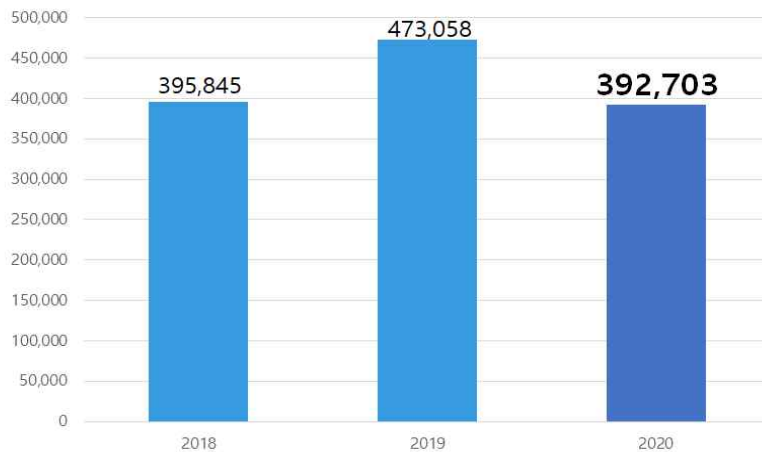
■ 국내 : 경쟁력은 있으나 지원과 투자, 관심이 적음

국내 4D프린팅 산업은 아직 관련 지원과 투자가 미미한 수준으로 산업 활성화를 기대하기 어렵다. 정부는 2018년 4D프린팅 개발 사업에 19억 원을 지원했으며, 연구기관인 KIST와 GIST 등에서 4D프린팅에 대한 연구를 진행하고 있다. 4D프린팅의 주요 핵심인 디자인과 소재에 대해 국내 시장은 산업 경쟁력을 갖고 있어 앞으로 장기적인 관점에서 개발 지원 및 투자가 확대될 때 미래 주력 사업으로 확대될 것으로 기대된다.

국내 3D프린팅 시장 규모는 작은 편이며 4D프린팅 시장 또한 작은 수준으로 추정된다. 4D프린팅에 대한 정확한 규모를 확인할 수 있는 자료가 미비하여 3D프린팅 시장을 기반으로 예측하고자 한다. 국내 3D프린팅 시장 규모는 2020년 3,927억 원의 시장 규모로 2019년 대비 약 17% 감소했다. 이는 COVID-19에 따른 투자 감소와 대면 행사 중단 등에 의해 감소한 것으로 보인다. 한편, 3D프린팅 사업체는 0.7% 증가했으며, 종사자 수 또한 2019년 대비 6.6% 증가했다.

[그림 11] 국내 3D프린팅 시장규모

(단위: 백만 원)

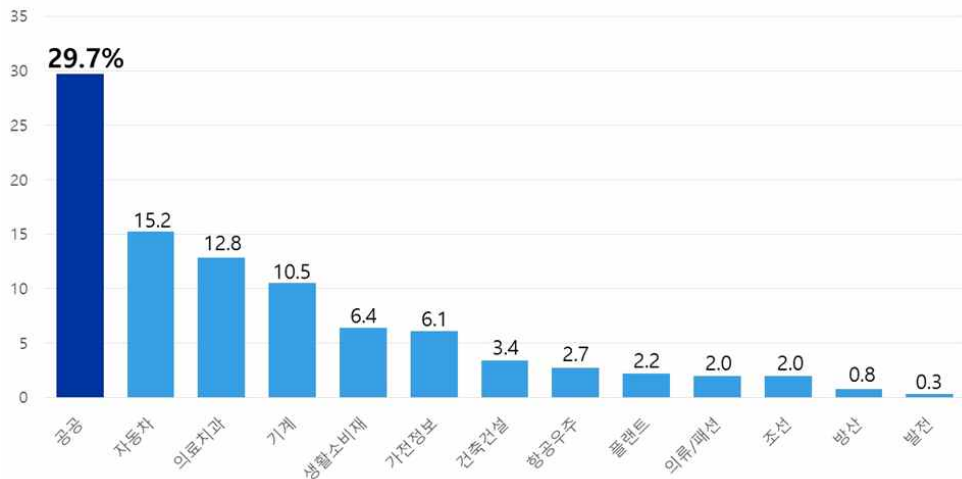


*출처: 국내 3D프린팅 산업 실태조사(2020)

국내 3D프린팅 기업 연구 및 개발 투자는 소프트웨어 개발 분야가 44.1%로 가장 높게 나타났다. 또한, 소재 제조 시장 분야에서는 필라멘트가 44.5%로 가장 높으며, 금속 소재 시장 또한 점차 증가되는 것으로 보인다.

3D프린팅은 주로 학교나 지자체와 같은 공공 영역에서 매출 비중이 29.7% 가장 높으나, 전년 대비 민간 부분 시장이 확대되었다. 특히 자동차, 의료치과 및 기계 산업에서 많이 활용되고 있으며 향후 관련 분야가 더 확대될 것으로 전망된다.

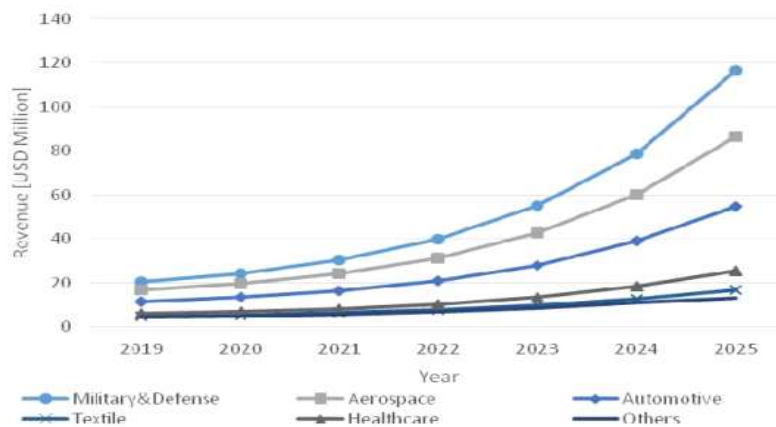
[그림 12] 국내 3D프린팅 주요 매출 분야 (단위: %)



*출처: 국내 3D프린팅 산업 실태조사(2020)

세계 4D프린팅 시장을 사용 분야별로 살펴보면 군사 및 방위 산업의 규모가 가장 높고 빠르게 성장할 것으로 조사되며 항공우주 산업, 자동차 산업, 헬스케어 산업 순으로 규모 및 성장성이 높을 것으로 전망된다.

[그림 13] 사용 분야별 4D프린팅 시장, 2019~2025 (단위: USD Million)



*출처: Psychosocial Context of Building a Personal Brand in Social Media(2019)

■ 최근 연구 및 샘플 4D프린팅 비즈니스 프로젝트

4D프린팅 기술을 기반으로 사회시설, 교통수단, 신체요소 등 다양한 산업에 활용되는 기술개발이 수행되고 있다. 폴리머 시트를 활용한 활성 종이접기, 물 흐름 제어를 위한 스마트 밸브, 자체 조립식 의자부터 로봇에 활용되는 근육 개발을 위한 기술까지 다양한 연구 및 프로젝트가 진행되고 있다.

[표 4] 최근 연구 및 샘플 4D프린팅 비즈니스 프로젝트

번호	이름	저자 / 개발자	설명
1.	활성 종이접기	Ge et al.	평평한 폴리머 시트로 3D 객체를 조립하는 능동 종이접기 구성요소 설계 및 개발.
2.	스마트 밸브	Bakarich et al.	4D프린팅 기술로 물 흐름 제어를 위한 스마트 밸브 개발.
3.	자체 조립식 의자	Autodesk	편리한 보관과 운송을 위한 자가 조립 의자의 개발.
4.	스마트 파이프	Skylar Tibbits (MIT)	다양한 팽창, 수축, 맥동 가능, 자동차, 건설, 의료 목적으로 사용
5.	4D프린팅: 태양 전지	MIT/ SUTD	고해상도 다중 재료 모양 메모리 폴리머 아키텍처를 만드는 4D프린팅 접근방식개발
6.	스마트 항공기	MIT/Airbus	열 및 공기 압력 반응 탄소 물질 개발. 다른 재료와 병합되며, 다양한 트리거에 반응할 수 있음. 스마트 항공기 제작에 사용됨
7.	접이식 구조물	Lawrence Livermore National Laboratory	스마트 잉크를 사용하여 스스로 접고 펼 수 있는 객체 변경
8.	로봇용 인공근육	Nottingham Trent University	생물의 형태와 움직임을 복제하는 저전력 인공근육의 생성
9.	부드러운 로봇 얼굴 근육	University of Arkansas at Fayetteville	부드러운 로봇 안면근육 개발을 위해 유전체 탄성체 액추에이터(DEA) 사용
10.	암 퇴치 로봇	Autodesk	나노 로봇 - 내부 특정 조건에 따라 자체 조립하거나 변경할 수 있는 장치

*출처: Psychosocial Context of Building a Personal Brand in Social Media(2019)

IV. 주요기업분석

국내 기업은 펜과 용액을 활용한 4D프린팅 기술 개발을 통해 경쟁력 확보

국내·외 바이오, 3D 프린터 산업의 참여 기업이 4D프린팅 시장을 주도하고 있으며, 국내 코스닥 기업 중 퀀타매트릭스는 펜과 용액을 활용하여 4D프린팅 기술을 개발하였다.

1. 주요업체 동향

■ 해외 3D, 4D프린팅 관련 기업 현황

전체적인 시장 동향은 4D프린팅의 특성상 3D프린팅 기술을 기반으로 개발되어 3D프린팅 시장의 주역이었던 기업들이 4D프린팅 산업에서도 선두를 달리고 있다. 국가별 3D프린팅 시장점유율은 2017년 기준 미국이 39.3%로 1위이며, 독일, 중국, 일본 순으로 각각 9.2%, 7.4%, 6.4%이다.

[표 5] 4D프린팅 주요 업체 동향

기업명	개발/사업화 현황
스트라타시스	<ul style="list-style-type: none"> ◇ MIT 공대 자가변환연구소와 협력 중 ◇ 21년도 6월, 연구 및 패키징 프로토타입 제작을 위한 신규 폴리젯 3D프린터 2종 스트라타시스 J35 Pro, 스트라타시스 J55 Prime과 소프트웨어 솔루션 출시
오토테스크 INC.	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 19년도 1월, HP Multi Jet Fusion 3D 프린터와 직접 작동하는 새로운 생성 설계 소프트웨어를 개발
휴렛 팩커드 주식회사	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 스페인에 3D와 4D프린팅의 혁신을 드라이빙하는 것에 초점을 두고 연구개발센터 오픈
EnvisionTEC	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 디지털 디자인 파일에서 객체를 제작하는 7가지 개별 공정 기술을 기반으로 40개 이상의 데스크톱 및 프로덕션 3D 프린터를 개발, 제조, 판매하는 민간 글로벌 기업
EXONE	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 3D프린팅 ◇ 바인더 제팅 제품을 아시아 지역까지 확대시키기 위해 중국의 오로라 3D(Aurora 3D)과 산하 2개 자회사들과 협력관계를 맺음
Organovo Holdings	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 3D 바이오 프린팅이 주 업무 ◇ 인공장기
CT CoreTechnologies Inc.	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 자동차, 항공우주, 기계공학 및 소비재 산업에서 3D_Evolution 소프트웨어 제품군 출시

*출처: 세계의 4D프린팅 시장 2019-2028년 (2020), NICE평가정보(주) 재구성

[스트라타시스]

FDM 방식의 3D 프린터 발명가인 Scott Crump가 1989년 창립한 회사로, 일화로는 딸에게 줄 개구리 장난감을 글루건을 사용하여 만들다가 현재의 FDM 방식의 3D 프린터 아이디어가 떠올라서 시작하게 된 것으로 알려져 있다. 1992년 첫 제품인 3D Modeler 판매하였으며 1994년 나스닥에 상장하게 된다. 산업용 3D 프린터 시장에서의 스트라타시스 제품은 압도적으로 많이 사용되고 있다. 특허는 1,200여 개 이상 보유하고 있으며 2017년 매출의 14.4%를 R&D 비용으로 사용하는 등 치열해지는 시장 경쟁에 대비하여 투자하고 있다. 200개 이상의 영업 파트너들을 보유하고 있으며, 스트라타시스의 3D 프린터는 자동차, 우주항공, 건축, 교육, 헬스케어, 전자 및 중공업 등 다양한 산업 분야에서 사용되어 전 세계적으로 고객을 확보하고 있다. 국내에도 2014년 스트라타시스 코리아를 설립하였다.

[오토데스크 INC.]

오토데스크는 1982년 회사의 대표 카드 소프트웨어 제품 오토캐드의 초기 버전 공동 제작자 존 워커와 댄 드레이크 등 12명이 세운 회사로 아키텍처, 공학, 제조, 미디어, 엔터테인먼트의 이용을 위해 2차원, 3차원 디자인 소프트웨어에 초점을 맞춘 미국의 다국적 기업이다. 캘리포니아 산 라파엘에 본사를 두고 있으며, 오토캐드, 3D 스튜디오, 3D 스튜디오 맥스, 애니메이션용 Maya 등의 소프트웨어로 업체, 건축 산업군에서 독점적인 영향력을 보유하고 있는 기업이다. 오토데스크의 목표는 건축, 제조, 미디어 중업 클라우드 소프트웨어 기업이 되는 것으로 2020년 이후 총 6개 기업을 인수 및 지분 투자하였으며 지속적으로 투자가 진행되고 있다. 인수합병 등 시너지 효과로 매출 증가 또한 기대되며 2016년부터 라이선스 판매를 중지하고 사용료 중심의 구독 모델로 본격 전환 후 안정적인 현금흐름을 확보한 상태이다.

[휴렛 팩커드]

휴렛 팩커드의 사업분야는 PC, 프린팅, 디지털 프레스, 3D프린팅이며, 전 세계 어디서나 모든 사람과 조직, 커뮤니티의 삶을 개선하는 기술을 만드는 것이 목표로 2016년 기준 매출의 63%가 해외에서 발생하는 다국적 기업이다. 3D 프린터 시장에서는 후발주자였으나 기업, 소비자 시장을 장악하고 있는 기업 가치 1,120억 달러 규모의 거대 업체이자, 2D 프린터 시장에서 30년 이상 지속된 연구 개발 노하우는 강점으로 볼 수 있다 3D 프린터 시장에서 양산형 모델을 전략으로 2016년 HP Jet Fusion 3D 4200을 최초로 출시한 뒤, HP Jet Fusion 300/500 Series 등의 제품을 출시하며 시장점유율을 보유하고 있다.

[CT CoreTechnologies Inc.]

CT CoreTechnologies Inc.는 CAD Converter, CAD Viewer 및 Additive Manufacturing Software 등 소프트웨어를 중점으로 3D CAD 상호 운용성 시장에서 3D CAD 데이터 변환을 위한 선도적인 글로벌 소프트웨어 공급회사이다. 상호 운용성을 최적화하여 조직이 PLM 프로

세스에서 엔지니어링 데이터를 효율적으로 공유할 수 있도록 지원하는 것을 목표로 두고 있으며, 1998년 설립 이후, 매년 20%의 성장률을 보이며 지속적으로 발전하고 있다. 자동차, 항공 우주, 기계공학 및 소비재 산업에서 3D_Evolution 소프트웨어 제품군을 출시하였으며, 협업 소프트웨어 제공업체가 드문 글로벌 시장에서 R&D를 사업의 중요한 부분으로 여기고 매출의 35%를 새로운 제품과 기술 개발에 지속적으로 재투자하고 있다.

[EnvisionTEC]

2002년에 설립된 EnvisionTEC은 디지털 디자인 파일에서 객체를 제작하는 7가지 개별 공정 기술을 기반으로 40개 이상의 데스크톱 및 프로덕션 3D 프린터를 개발, 제조, 판매하는 글로벌 기업이다. 북미 지역 법인 본사를 두고 있으며, 데스크톱과 완전 제조용 3D프린터 및 소재 생산 분야에서 세계를 선도하고 있다. EnvisionTEC의 3D 프린터는 대량 맞춤형 생산과 완제품, 투자 주조 패턴, 톨링, 시제품 제작 등에 사용되며, 최종 사용 부품의 실제 생산에 사용되는 3D 프린터 기업 중 하나이다. 다양한 의료, 전문 및 산업 고객들에게 서비스를 제공하며 보석, 치과, 보청기, 의료기기, 바이오 조립 및 애니메이션 산업에서도 대규모 고객층을 보유하고 있다.

[ExOne]

2005년에 설립된 ExOne은 20년 이상 활용된 바인더 분사 기술을 사용하는 산업용 3D프린팅 시스템의 글로벌 기업이다. 항공우주, 자동차, 장식미술, 중장비, 메디컬&치과, 오일&가스, 에너지에서 국방에 이르기까지 여러 산업 분야를 대상으로 하고 있으며, ExOne의 3D 프린터는 분말 입자(금속, 모래, 세라믹 또는 기타 재료)를 금형, 코어, 희생 공구 및 최종 최종 사용 부품으로 3D프린팅한다. 1998년 금속용 상용 바인더 제트3D 프린터인 RTS-300을 출시함으로써 ExOne의 3D 프린터 정체성은 바인더 제트 3D 프린터로 굳혀졌으며 95개 이상의 동료 검토 기술 및 과학 기사에서 인용된 바와 같이 세계에서 많이 연구되고 있다. 이후에도 ExOne은 산업용 모래, 금속 3D 프린터 분야 뿐만 아니라 2020년까지 알루미늄, 티타늄과 같은 12개의 단일 합금 금속을 포함해 23개 금속과 세라믹, 복합 재료를 처리 및 생산 가능한 제어 대기 시스템 갖춘 세계 최대 금속 바인더 제트 3D 프린터에 관하여 발표하였으며, 여러 재료의 대량 생산이 가능한 것으로 파악된다.

[Organovo Holdings]

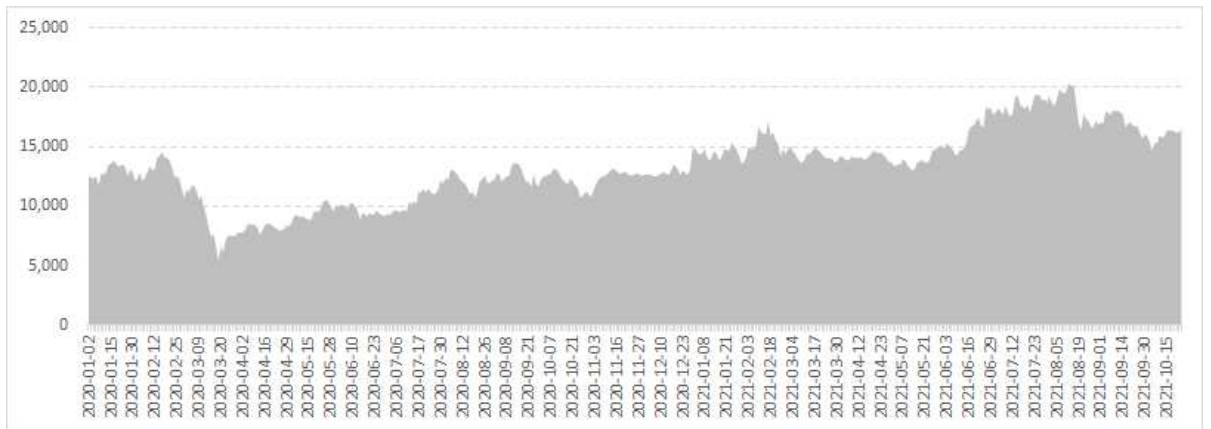
미국 캘리포니아에 본사를 둔 Organovo Holdings는 인공 장기를 3D 프린터로 생산하는 기업이다. 2012년 상장 이후, 2013년 수만 개의 새포로 이루어진 바이오 잉크와 자체 개발한 3D 프린터를 활용하여 1cm이하 크기의 인공 간 'ExVive TM' 를 제작하는 것에 성공하였고 2014년부터 신약 개발에 사용할 수 있도록 판매하고 있다. Organovo Holdings의 목표는 인간의 생물학과 질병의 주요 측면을 모방하는 3D 바이오프린트 조직에 대한 혁명적인 능력을 바탕으로 치료와 약물 프로파일링의 길을 개척하는 것이나 상용화 가능한 제품을 아직 생산하지 못하였으며 주가는 하락세를 보이고 있다.

■ 국내 코스닥 기업 현황

[하이비전시스템]

2010년 코스닥 상장된 기업으로 고성능 비전시스템 분야 전문기업으로 휴대폰용 초소형 카메라 모듈의 자동검사 시스템을 국내 개발하였다. 2014년 자사 브랜드 제품인 Cubicon 및 3D스캐너 시제품을 출시하며 본격적으로 3D프린팅 시장에 진출, 저가 보급형 3D프린터 시장에서 성공을 거두었고 Cubicon Style과 광중합 방식(PP) 중 DLP 방식의 Cubicon Lux 등의 출시를 통해 Cubicon 브랜드가 대중적 인지도를 갖게 되었다. 2017년 자회사 큐비콘을 설립하여 3D프린터 사업 부문을 독립시켰으며, 소재 및 주변장치 유통 판매 사업과 출력 서비스 등의 서비스 사업 부문 확대를 추진 중이다.

[그림 14] 하이비전시스템 주가 추이(2020년~2021년 10월) 및 주요 재무현황/분석



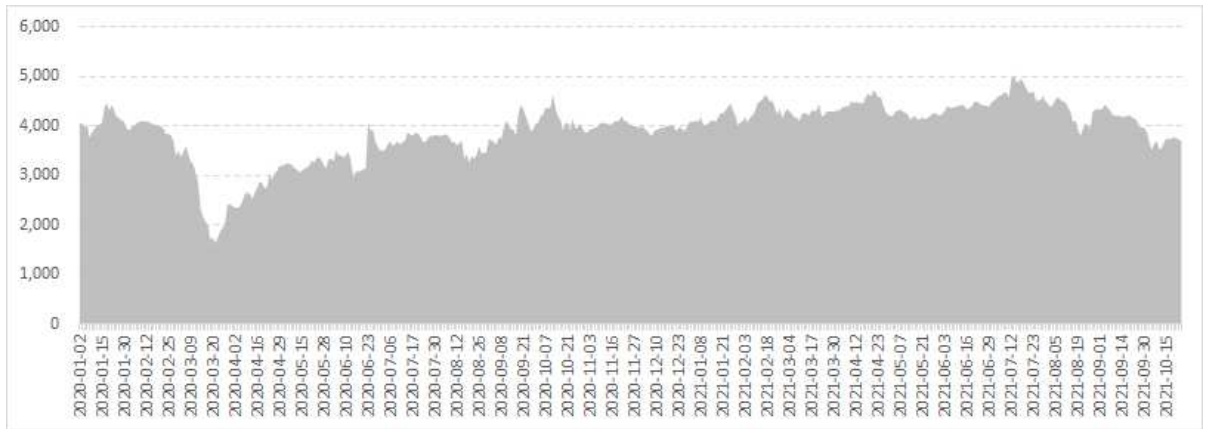
(단위: %)	2018년	2019년	2020년
매출액증가율	8.4	(26.7)	36.5
매출액영업이익률	11.0	2.7	7.0
매출액순이익률	11.1	4.9	5.3
부채비율	39.0	32.5	25.6
재무 분석	<ul style="list-style-type: none"> 검사장비의 수주 호조와 함께 고객사 다변화 등으로 매출 규모는 전년 동기대비 크게 확대 큰 폭의 매출 증가에 힘입어 원가 및 판매비 부담 완화되며 영업이익률 전년 동기대비 크게 상승 		

*출처: Kisvalue, NICE평가정보(주) 재구성

[티피씨메카트로닉스]

1979년 설립되었으며 2001년 코스닥 상장된 기업으로 공장자동화 관련 기술 개발을 통해 공장자동화 핵심부품인 공압기기 국내 생산업체로 입지를 확보하고 있다. 보유 중인 특허 및 기술 노하우를 기반으로 2013년 재료압출 방식(ME)의 3D프린터 FINEBOT을 개발하였고 2014년 인천에 3D프린터 전용 제조라인을 구축하는 등 본격적으로 3D프린팅 시장에 진출하였다. 국내 네트워크와 전국 직영영업소를 운영하면서 A/S 등 고객 서비스 측면에서 강점을 갖고 있어, 중저가 보급형 3D프린터 시장에서 두각을 보인 것으로 파악된다.

[그림 15] 티피씨메카트로닉스 주가 추이(2020년~2021년 10월) 및 주요 재무현황/분석



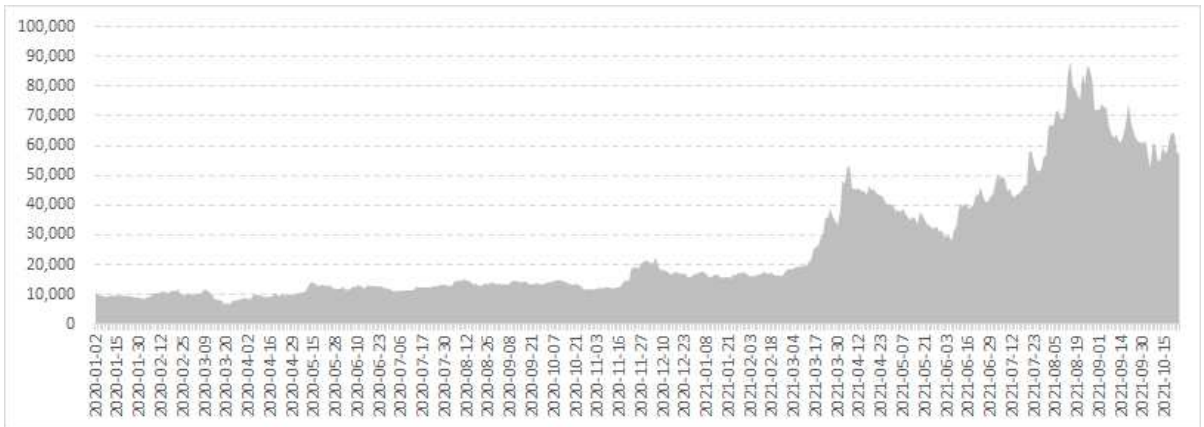
(단위: %)	2018년	2019년	2020년
매출액증가율	2.7	(3.4)	(12.4)
매출액영업이익률	3.0	0.2	2.2
매출액순이익률	4.0	(4.0)	4.7
부채비율	275.2	289.9	228.0
재무 분석	<ul style="list-style-type: none"> 주력 공업 부문의 수주가 부진한 가운데 모션 부문의 수주 역시 부진한 바 전년 동기대비 매출 규모 축소 매출 감소에 따른 판관비 부담 확대에도 원가율 하락으로 영업이익률 전년 동기대비 상승 		

*출처: Kisvalue, NICE평가정보(주) 재구성

[티앤알바이오랩]

2013년 설립되었으며 2018년 코스닥 상장된 기업으로 개발한 3D 바이오프린팅(세포 프린팅 포함) 시스템과 세포프린팅에 필수 재료인 바이오잉크의 상용화 했다. 2014년 서울성모병원, 포스텍과 공동으로 환자 맞춤형 안면 윤곽 재건 수술을 수행하였으며, 3D 바이오프린팅 기술을 이용하여 환자 맞춤형의 인공지지체를 제작, 이식하여 안면골 재생/재건을 시도하였다. 비부유 래/탈세포화 바이오잉크와 피부세포를 이용하여 바이오프린팅 기술만으로 인공, 피부모델을 개발 및 제작하였으며 테스트를 진행하였다.

[그림 16] 티앤알바이오팜 주가 추이(2020년~2021년 10월) 및 주요 재무현황/분석



(단위: %)	2018년	2019년	2020년
매출액증가율	140.3	32.1	428.7
매출액영업이익률	(506.4)	(532.9)	(81.0)
매출액순이익률	(481.7)	(485.7)	(82.4)
부채비율	2.8	9.4	5.3
재무 분석	<ul style="list-style-type: none"> 3D 바이오프린팅 시스템 판매 감소한 가운데 비접촉체온계 판매 크게 감소하며 전년 동기대비 매출 급격히 축소 급격한 매출 감소에 따른 원가 및 판매비 부담 확대로 영업손실 및 순손실 규모는 전년 동기 대비 큰 폭 확대 		

*출처: Kisvalue, NICE평가정보(주) 재구성