

화학소재정보은행  
심층보고서

# 3D 프린팅을 이용한 소재 성형과 바이오 소자의 제조

2014. 06

한국과학기술연구원  
박종혁  
서울대학교  
조재현

## Contents

---

### I. 서론

1. 3D 프린팅의 정의
2. 3D 프린팅 제품의 제조 과정
3. 3D 프린팅 시장 전망

### II. 본론

1. 3D 프린팅 발전의 필수 요소
2. 3D 프린팅을 이용한 소재 성형
3. 3D 프린팅을 이용한 바이오 소자의 제조

### III. 결론

[www.matbank.org](http://www.matbank.org)

[www.cmib.org](http://www.cmib.org)

본 자료의 저작권은 화학소재  
정보은행에 있으며 무단 전재  
· 복사 · 배포를 금합니다.



# ◁ 목 차 ▷

I. 서론 -----	1
1. 3D 프린팅의 정의 -----	1
2. 3D 프린팅 제품의 제조 과정 -----	1
3. 3D 프린팅 시장 전망 -----	2
II. 본론 -----	4
1. 3D 프린팅 발전의 필수 요소 -----	4
2. 3D 프린팅을 이용한 소재 성형 -----	6
3. 3D 프린팅을 이용한 바이오 소자의 제조 -----	9
III. 결론 -----	14
참고문헌 -----	14

## I. 서론

### 1. 3D 프린팅의 정의

“3D 프린팅”이라는 용어는 기존의 3D 모형 제작 방식인 rapid prototype 또는 additive manufacturing을 의미하며, 이전에는 MIT에서 개발된 잉크젯 프린터 방식의 특정 기술을 지칭하는 용어였지만 사람들이 보다 일반적인 의미로 자주 사용하면서 표준 용어로 통칭하게 되었다. 기존의 절삭가공 (subtractive manufacturing) 과는 달리, 3D 프린팅이란 디지털화된 3차원 제품의 디자인/설계도를 바탕으로 연속적인 2차원 단면으로 재구성하여, 플라스틱, 세라믹, 금속 등 다양한 소재를 사용하여 제품의 단면을 한 층씩 적층 (layer by layer) 또는 가공하여 입체물을 만드는 기술을 말한다.<sup>1</sup>

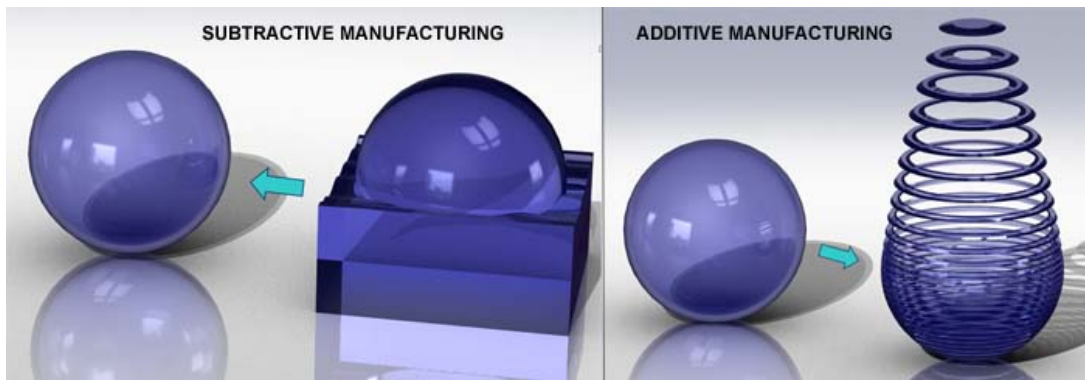
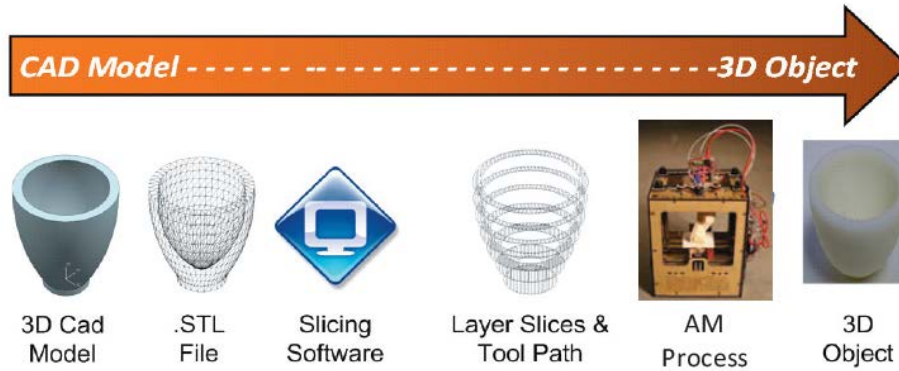


그림 1. 기존의 입체물 제조 방식과 적층식 입체물 제조 방식 비교.<sup>2</sup>

### 2. 3D 프린팅 제품의 제조 과정

3D 프린팅을 이용하여 제품을 제조하기 위해서는 실제 사물을 인식하거나, 제작하고자 하는 사물을 3D로 디자인하여 이를 프로그램에 입력 후 물체를 제조하게 되며 대체로 다음과 같은 과정을 거치게 된다.<sup>1</sup>

그림 2. 일반적인 3D 프린팅 제품의 제조 과정.<sup>1</sup>

3D 프린팅의 기본 원리는 [그림 2]에서 보듯이 3D CAD를 이용하여 제작하고자 하는 제품을 3차원으로 모델링 한 후, 이 데이터의 표면 만을 삼각형 격자로 나타내어 ASCII 파일 또는 binary 형태의 STL 파일로 변환시킨다. 그 다음 생성된 STL 파일을 이용하여 3D 프린터가 최적의 조건에서 조형할 수 있도록 공정 계획을 수립하게 된다. 이 단계에서는 모델링 데이터의 조형 방향 (orientation) 결정, 필요한 경우 지지대의 위치 (supports) 와 수 결정, 슬라이싱 (slicing) 방법 결정 및 이동 경로 결정 (path planning) 등을 수행하며 공정 계획이 완성되면 제작 단계에서는 3D 프린터에 데이터를 입력하여 실제 제품을 조형하게 된다.

### 3. 3D 프린팅 시장 전망

World Economic Forum, McKinsey, MIT 등 세계 유수의 기관들에서 10대 미래핵심기술 중 하나로 선정한 3D 프린팅 기술은 1984년 미국 3D Systems Corp 사에서 처음 상용화에 성공하였다. 3D 프린팅은 발명자가 직접 아이디어를 적용하여 제품을 생산할 수 있는 수단이 될 수 있다. 따라서, 많은 초기 투자를 필요로 하는 기존의 사업 모델 (high risk, high return) 과는 달리 초기 투자를 줄이면서 아이디어의 가능성을 확인할 수 있는 (low risk, high return) 장점을 지니기 때문에 제 3차 산업혁명을 가져올 수 있는 기술로 평가되고 있다. 시장 조사기관 Wohlers Associates에 따르면 3D 프린팅의 세계 시장 규모는 2011년 17억 달러에서 2012년 22억 달러로 29% 성장했으며, 향후 몇 년 동안 높은 성장세를 지속하여 2017년에는 50억 달러, 2021년에는 108억 달러까지 성장할 것으로 예측되었다 [그림 3].<sup>3</sup> 국가별로 3D 프린팅 기술의 활용도 및 시장 점유율을 보면 미국, 일본, 독일, 중국 4개국이 60% 이상을 점유하면서 글로벌 3D 프린팅 시장을 주도하고 있다 [그림 4]. 현재 우리나라는 2.3%의 점유율로 8위에 머물고 있지만 2020년까지 점유율



을 15%로 높인다는 계획을 가지고 있다.

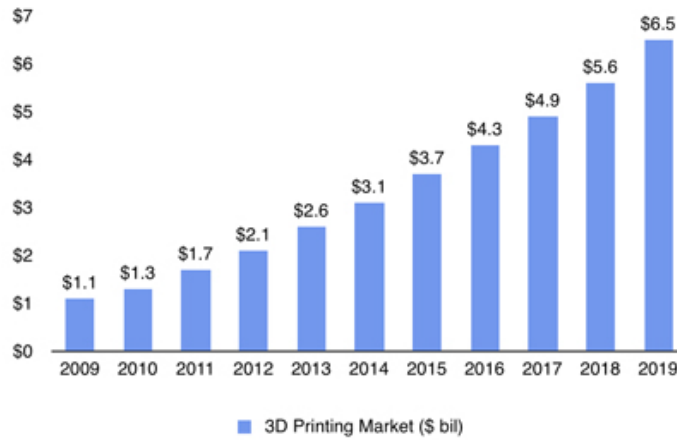


그림 3. 3D 프린팅의 세계 시장 동향과 전망.<sup>3</sup>

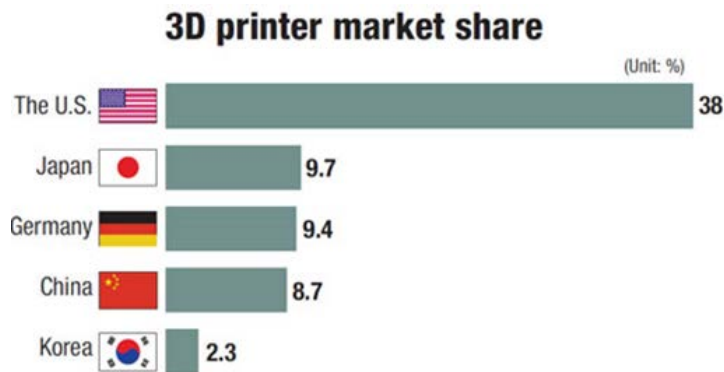


그림 4. 국가별 3D 프린터 시장 점유율.<sup>3</sup>

3D 프린팅이 제조업의 부흥과 신산업을 창출할 수 있는 성장 동력으로 여겨지는 한편, 보완되어야 할 점들도 제기되고 있다. 이로는 3D 프린터 장비의 높은 가격, 사용하는 소재의 높은 단가로 인한 제한적 재료 사용, 그리고 느린 조형 시간 등을 들 수 있다. 하지만 최근 각 정부들이 높은 관심을 가지고 기술 개발을 지원함에 따라 3D 프린터의 가격은 빠르게 하락하고 있으며 가정용 3D 프린터도 일부 개발이 완료된 상태이다. 이러한 현재 추세에서 더 나아가 3D 프린팅의 대중화를 실현하기 위해서는 사용자들이 쉽게 접근할 수 있도록 인프라를 구축함과 더불어, 프린팅 장비의 성능 향상은 물론, 다양하고 값싼 소재 개발 역시 뒷받침 되어야만 한다. 3D 프린팅을 위한 소재로는 주로 플라스틱 계열이 많으며, 세라믹, 금속, 유리 소재 등으로 확대되고 있다. 하지만 아직까지는 일부 소재만 가공할 수 있다는 한계로 인해 다양한 제품에 적용하는 것이 어렵기 때문에 프린팅용 소재의 다변화 및 가격 인하가 3D 프린터의 보급을 결정짓는 요소가 될 것으로



판단된다.<sup>1, 3</sup> 이 보고서에서는 3D 프린팅을 이용한 소재의 성형과 바이오 소자의 제조에 대해 중점적으로 소개하고자 한다.

## II. 본 론

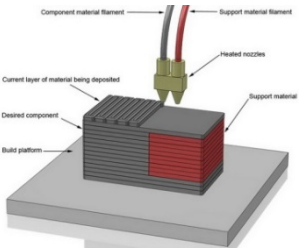
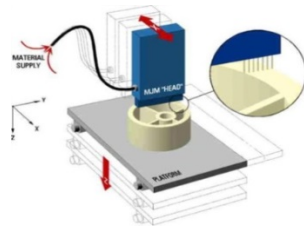
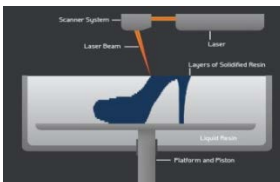
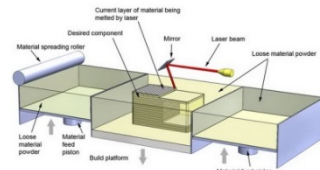
### 1. 3D 프린팅 발전의 필수 요소

3D 프린팅은 하드웨어와 소프트웨어가 결합된 기술로 디자인에서 제품 생산에 이르기까지 모든 영역에 걸쳐 유기적인 생태계를 형성하고 있다. 따라서 3D 프린팅 기술을 혁신적으로 향상시키기 위해서는 특정 영역에 치우친 연구보다는 관련된 전반적인 기술들의 고른 발전이 요구된다. 그럼에도 불구하고 다음 2가지 영역은 3D 프린팅 기술의 발전을 효과적으로 도모하기 위한 가장 중요한 요소들이다.

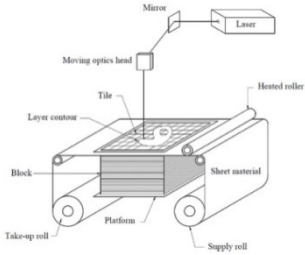
첫 번째는 개발자가 직접 제품을 디자인을 할 수 있는 기회를 제공하는 소프트웨어 기술이다. 이전까지 3D 프린팅은 장비의 가격이 다소 높기 때문에 산업용으로만 주로 사용되었던 반면, 최근 3D 프린팅 기술의 오픈 소스 제공과 그에 따른 가격 저하는 개인용 3D 프린터의 보급을 크게 앞당겼다. 그러나 기존에 출시된 소프트웨어들은 전문가들 위주로 제작되어 비전문가들에 대한 사용 편의성이 미흡하기 때문에 보다 쉽고 대중적인 소프트웨어의 개발이 필요하다. 또한, 산업용 3D 프린팅의 경우도 마찬가지로 제품의 완성도를 높이고 활용 영역을 확장하기 위해서는 지금보다 진화된 소프트웨어를 필요로 하고 있는 실정이다. 현재 개인용으로 출시된 대표적인 소프트웨어들은 SketchUP, Autodesk 123D 등이 있다.

두 번째는 다양한 성질과 기능을 갖는 소재들을 원하는 방식으로 성형할 수 있는 적층 기술이다. 기존에 주로 사용되었던 범용 플라스틱 소재 이외에 자기조립 소재, 자연도래 소재, 기능성 생체 재료, 전자 재료 및 기능성 금속 등을 3D 프린팅 기술과 접목하여 생산되는 제품의 기능성, 예를 들어 초경량화나 미세 구조화된 표면을 구현할 수 있다면 3D 프린팅의 활용을 혁신적으로 증대시킬 수 있을 것이다. 3D 프린팅의 적층 방식은 광경화식, 압출 용착 방식, 소결 방식 및 접착제 방식으로 나눌 수 있으며 그에 따라 각각 다른 소재의 적용이 가능하다. <표 1>에서는 현재까지 개발된 3D 프린팅의 적층 방식에 따른 성형 가능한 소재와 특징들에 대해 간단히 소개하였다.

표 1. 3D 프린팅 기술별 원리 및 특징<sup>4</sup>

적층방식	기술명	주요 특징
Extrusion (압출)	Fused Deposition Modeling (FDM) 	§ 정의 - 가는 실 (필라멘트) 형태의 열가소성 수지를 노즐 안에서 녹인 후 분사하여 얇은 필름형태로 출력하는 방식으로 적층  § 재료 - 고분자, 금속 사용 - ABS, polycarbonate, polyphenylsulfone
Inkjetting (분사)	Multi Jetting Modeling (MJM) 	§ 정의 - 프린터 헤드에서 광경화성 수지와 WAX를 동시분사 후, UV Light로 고형화하는 방식으로 적층  § 재료 - 고분자 수지 사용
Light Polymerization	Stereo Lithography Apparatus (SLA) 	§ 정의 - 액체 광경화성 수지가 담긴 수조 안에 고밀도의 UV 레이저를 투사하여 경화시키는 방식으로 마스크 (mask) 형태의 이미지를 통해 빛이 조사되는 방법도 사용됨  § 재료 - 고분자 수지 사용 - 사용가능 원료와 색상 제한적
Granular Sintering (분말 소결)	Selective Laser Sintering (SLS) 	§ 정의 - 베드에 도포된 분말에 선택적으로 적외선 레이저를 조사하여 선택적으로 소결하고, 지지층이 강화하여 여분의 분말이 도포된 후 다시 소결하는 방식으로 적층  § 재료 - 고분자, 금속 사용
Sheet	Laminated Object	§ 정의



Lamination	<p>Manufacturing (LOM)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 모델의 단면의 형상대로 절단된 접착성 종이, 플라스틱, 금속 라미네이트 층 등을 접착제로 접합하여 적층</li>   <li>§ 재료</li> <li>- PVC와 같은 고분자, 종이, 철금속, 비철금속, 및 세라믹 사용</li> <li>- 색상 재료, 투명 재질, 유연성 재료 사용 불가</li> </ul>
------------	--	---

## 2. 3D 프린팅을 이용한 소재 성형

### 2.1 범용 고분자

3D 프린팅 개발 초기부터 현재까지 가장 많이 사용되고 있는 소재는 바로 고분자 물질이며 특히 열을 이용하여 성형이 가능한 열가소성 수지들이 주로 사용되고 있다. 대표적인 예로는 acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polyethylene (PE), polystyrene (PS), polyamide (PA), polycarbonate (PC), poly(ether ketone ketone) (PEKK), polyphenylsulfone (PPSF) 등이 있다. ABS의 경우 기계적 물성이 좋고 성형이 용이하여 기존의 압출 방법을 통해 자동차의 범퍼, 오토바이용 헬멧 등 단순한 형태를 가진 제품을 제작하는데 주로 사용되어 왔다. 하지만 ABS를 3D 프린팅에 적용하면 훨씬 복잡한 형태를 갖는 기계 부품들도 제조가 가능하기 때문에 다양한 응용 분야를 갖는 3D 프린팅 소재가 될 수 있을 것으로 기대되고 있다.<sup>5</sup> 또한, 3D 프린팅 소재 중 금속을 제외하고 가공 온도와 질감성 (toughness) 이 가장 높은 물질인 PPSF는 항공우주, 자동차, 의료용 도구로의 적용이 가능하다.<sup>5</sup>



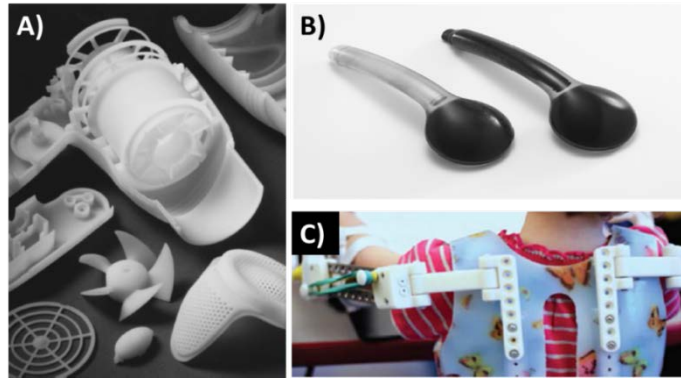


그림 5. 범용 고분자를 이용한 3D프린팅 사례들: A) ABS모방 소재의 기계 부품, B) PEKK 소재의 샤워기 손잡이, C) ABS 소재의 의료 기구.<sup>5</sup>

## 2.2 전자 재료용 고분자

최근 3D 프린팅을 이용하여 전자 기기를 생산하는 방법이 연구되고 있다. 전자 기기를 제조하기 위해서는 마이크로미터 이하의 단위에서 성형되는 구조물을 제어할 수 있는 소형화 기술과 더불어 생산된 기기가 온도와 습도, 열 이력 등 주변 환경의 영향에 따라 쉽게 변형되지 않게 하는 안정화 기술이 필요하다. 현재는 3D 프린팅 기술로 전자 재료용 고분자를 이용하여 유전체 구조물 (dielectric structure) 을 형성하는 기술과 미세 사이즈의 정교한 회로를 제작하는 기술이 개발 중에 있다.<sup>6</sup> 이렇게 제작된 유전체 구조물은 기존의 구조물들에 비해 전기 전도성 면에서 뛰어난 성능 향상을 나타내는 것으로 보고되었다.<sup>6</sup> 또한 우수한 기계적 물성과 전기 전도성을 갖는 탄소 섬유(Carbon fiber)의 경우 3D 프린팅을 적용하여 에너지 저장, 통신, 에너지 하베스팅 (energy harvesting) 등이 가능한 스마트 의류를 제작하는데 사용될 수 있을 것으로 기대되고 있다.<sup>7</sup>

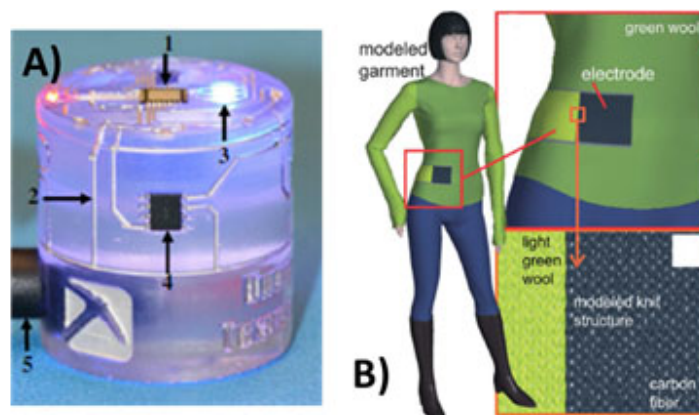


그림 6. 열가소성 수지를 이용한 전자부품 소재 개발 사례들: A) 4세대 소형 자속 센서 (1. 마이크로컨트롤러, 2. 전도성 잉크 채널, 3. LEDs, 4. Hall effect 센서), B) 탄소 섬유를 적용한 스마트 의류의 예.<sup>6-7</sup>

### 2.3 금속 및 합금

유기물인 고분자 외에도 3D 프린팅에 금속을 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 금속 소재는 고분자를 성형할 때보다 훨씬 높은 온도와 고출력의 파워가 요구되므로 고가의 레이저와 같은 장비가 필요하며 그에 따라 제품의 제조 단가도 매우 높아지게 된다. 따라서 항공 우주 산업이나 일부 의료 분야 등 고부가 가치의 제품을 생산하는 분야에 한정되어 적용되고 있다.<sup>7</sup> 현재 금속 기반 3D 프린팅 기술에 가장 많이 사용되는 소재는 타이타늄 합금과 니켈이 함유된 특수 합금이며 그 외 동, 알루미늄 합금, 스테인레스 스틸 등도 사용되고 있다. 최근 금속 또는 합금을 3D 프린팅에 적용하여 전자 소자들의 제작이 시도되고 있는데 가장 대표적인 방법은 납을 사용하여 소자 기판의 회로를 제작하는 것이다.<sup>8</sup> 또한 갈륨 (gallium) 과 인듐 (indium) 의 합금을 사용해 지지체 없이 일정한 패턴을 갖는 액체 금속 3차원 구조를 제작한 연구가 진행되었으며 이를 LED의 연결선으로 사용하는 전자 소자를 개발한 사례가 보고된 바 있다.<sup>8</sup>

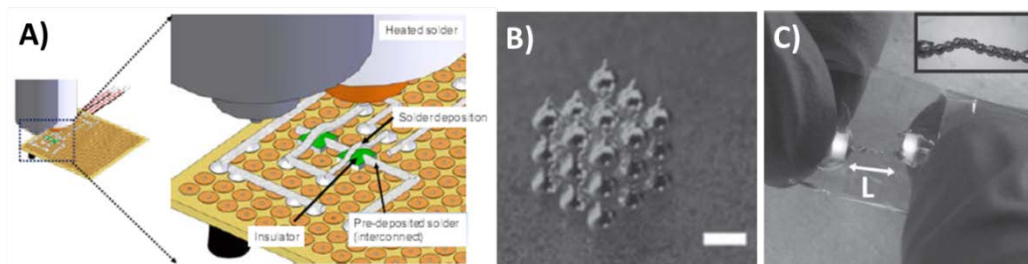


그림 7. 전기 회로 제작 방법 모식도와 액체 금속의 전자 소자로의 응용: A) 납 소재의 회로, B) 갈륨/인듐 합금의 3차원 형상, C) 전자 소자 제작.<sup>8-9</sup>

### 2.4 무기물

의료용 센서, 미세 전자-기계 시스템 (micro-electro mechanical systems, MEMS), 무선 센서, 구동체 (actuator) 등에 응용하기 위한 초소형 소자들의 필요성이 점차 대두되고 있으며 그에 따라 마이크로 미터 스케일의 전력 공급원들에 대한 연구가 최근 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 노력의 일환으로 3D 프린팅 기술을 이용하여 무기물 소재의 마이크로 배터리를 제작한 사례가 보고되었다.<sup>10</sup> 이 연구에서는  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  와  $\text{LiFePO}_4$  를 각각 음극과 양극의 전극물질로 사용하여 강성도를 증가시키고 부피의 변화율을 최소화하여 에너지 저장 능력을 기존의 배터리와 비슷한 수준으로 유지시키는데 성공하였다.

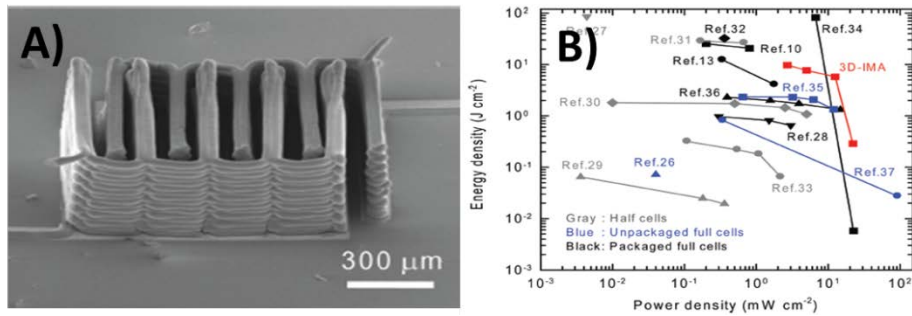


그림 8. 무기물을 이용한 3D printed 배터리와 그 성능: A) 3D 프린팅으로 제조된 마이크로 배터리의 전극, B) 제조된 배터리의 성능 비교.<sup>10</sup>

### 3. 3D 프린팅을 이용한 바이오 소자의 제조

#### 3.1 지지체를 이용한 바이오 소자의 제조

3D 프린팅은 다양한 분야에서 그 활용도가 점차 증대되고 있다. 특히 의공학 분야에서는 2000년대에 들어 기능성 생체 적합 소자 및 인공 장기를 제조하는 연구가 많은 사람들의 관심을 끌고 있다.<sup>11</sup> 기존에는 바이오 소자를 제조하기 위해 세포를 분화시킬 때 대부분 평면상 (2D) 의 지지체를 활용하였다. 하지만 실제 세포가 자라는 환경은 3차원의 공간이기 때문에 평면에서의 세포 분화는 실제와 다르게 이루어 진다는 것이 발견되었고, 이에 따라 세포나 조직이 자라는 실제 환경을 모사하는 것에 대한 중요성이 인식되기 시작하였다. 3D 프린팅을 이용하면 인체 조직의 형상에 맞게 외형의 조작이 가능하기 때문에 지지체를 제작하여 세포를 배양할 수 있는 입체 구조물로 활용할 수 있다. 또한 세포와 친화성이 높은 소재로 이루어진 조직 지지체 (tissue scaffold) 를 형성하여 그 위에 세포가 잘 자랄 수 있는 환경을 조성하면 조직 재현을 위한 기관 (substrate) 으로 활용이 가능하다는 장점이 있다.<sup>11-12</sup>

지지체의 소재로 생체 적합성 고분자를 사용해 세포를 배양시키는 연구들이 보고 되고 있다. [그림 9]는 세포와 친화성이 높은 polylactic acid (PLA) 를 지지체의 골격으로 사용하고 세포의 부착력을 향상시키기 위해 세라믹 소재인 hydroxyapatite (HA) 를 사용하여 3차원의 지지체를 제조한 결과를 나타낸다. 이를 제조하는 과정에서 고분자 분말과 세라믹을 교대로 적층하였으며 지지체를 나노 스케일에서 개질하여 세포의 부착력과 증식력을 증가시킨 결과를 얻었다.<sup>13</sup>

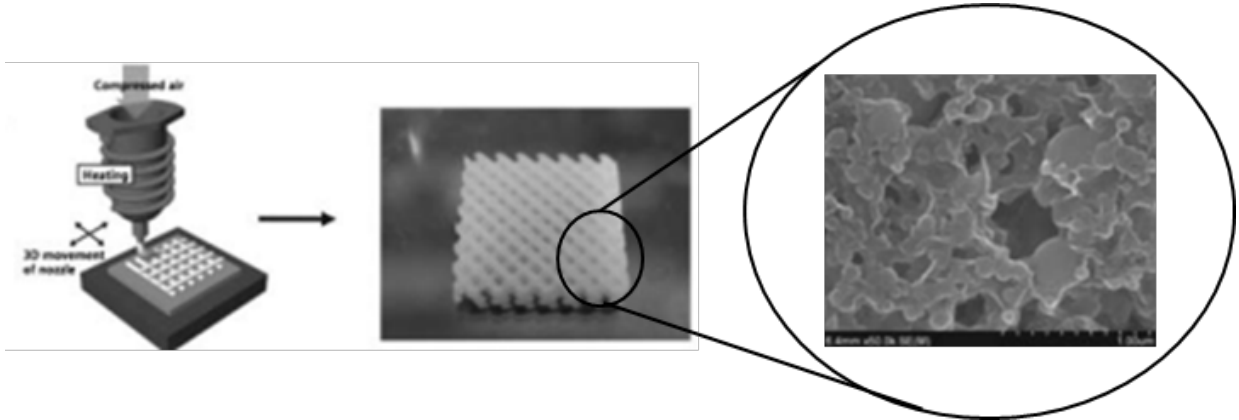


그림 9. HA/collagen 나노복합재가 코팅된 PCL 소재의 지지체.<sup>13</sup>

체내에 직접 삽입하여 사용하는 지지체의 경우에는 소재가 생체 조직과 친화도가 높아야 함은 물론 생분해성의 특성을 가져야만 한다. 생분해성 물질이란 체액에 장기간 노출 시 가수분해 (hydrolysis) 가 일어나서 대사작용에 의해 소변, 대변 등으로 배출될 수 있는 물질을 의미한다. 이러한 소재를 지지체의 골격으로 사용하게 되면 지지체 삽입 후 일정 기간 이후 자연스럽게 체외로 배출시킬 수 있어 의료용 목적에 보다 적합하게 사용될 수 있다. 그에 따라 생분해성을 가지는 고분자를 소재로 지지체를 제작하는 연구들이 최근 활발하게 진행되고 있다. [그림 10]에서는 acrylate 계열의 prepolymer를 microstereolithography (MSTL) 방법을 통해 형성시킨 3차원 구조를 나타내고 있다. 이 연구에서는 형성된 구조에 포함된 생분해성 고분자의 비율을 달리함으로써 체내에서 지지체의 생분해 기간을 조절하였고 3D 프린팅 기술을 이용해 돌기의 모양을 변화시킴으로써 생분해성이 조절가능하다는 것을 확인하였다.<sup>14</sup>

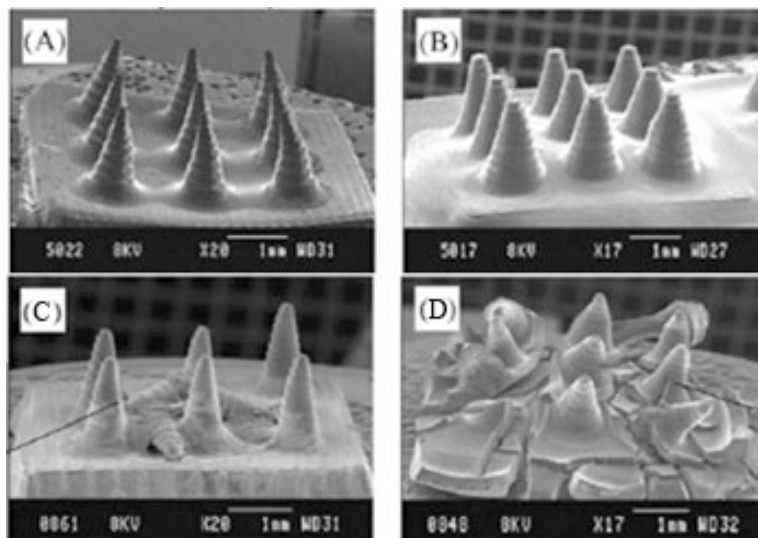


그림 10. Acrylate 계열의 prepolymer의 지지체: A, B) 이식 이전 상태, C, D) 이식 4주 경과 후 상태.<sup>14</sup>

생분해성 고분자로 제작된 대부분의 지지체의 경우 비교적 낮은 기계적 물성을 갖기 때문에 보다 높은 기계적 물성을 요구하는 적용 분야를 위해 물성을 보완하기 위한 연구도 함께 진행되고 있다. HA 소재는 의료용 소자를 제작하는데 사용되는 대표적인 세라믹 재료로서 고온에서 소결하여 세라믹 재질을 부여하는 방법으로 고분자 재료를 강화하는데 사용된다.<sup>15</sup> [그림 11]에서는 생분해성 고분자인 PLA 와 세라믹 소재의 HA를 하이브리드 하여 3D 프린팅 기법을 통해 지지체를 제작한 후 그 기계적 물성을 측정한 결과를 나타내고 있다.<sup>16</sup> [그림 11]에서 보듯이 HA의 함량이 높아질수록 지지체의 압축계수와 압축강도가 증가하는 것을 확인할 수 있으며 물 흡수량 역시 HA의 함량에 따라 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

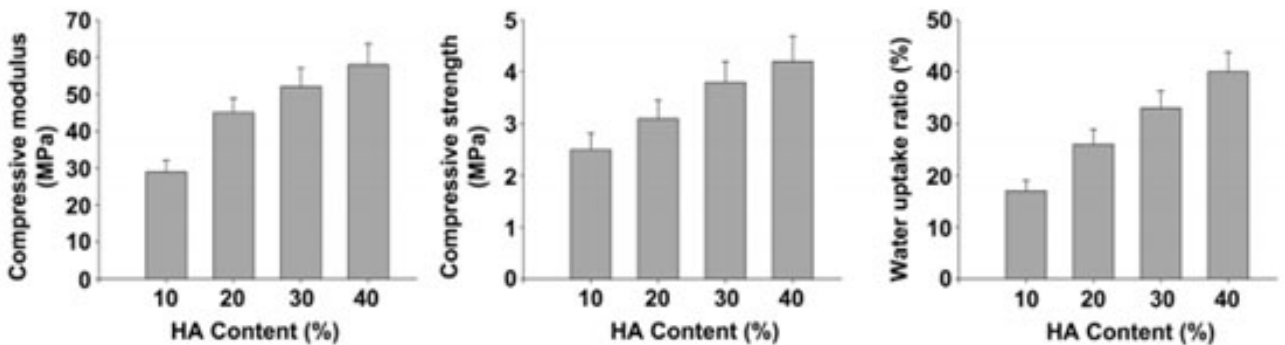


그림 11. PLA 와 HA 로 이루어진 지지체의 HA 함량에 따른 기계적 물성과 물 흡수량의 변화.<sup>16</sup>

세포를 분화시키기 위한 지지체로의 사용 이외에 고분자/세라믹 혼합 분말을 이용하여 뼈를 대신할 수 있는 단단한 3차원 지지체를 제작하는 방법이 연구되고 있다. 세라믹 소재 중 칼슘 실리카 ( $\text{CaSiO}_3$ ) 는 높은 아파타이트-광물화 (apatite-mineralization) 의 특성을 가지기 때문에 자연 상태의 뼈가 가지는 파괴 인성 (fracture toughness) 수치와 골 접합 능력을 모사할 수 있는 소재로 널리 알려져 있다.<sup>17</sup> [그림 12]은 칼슘 실리카 ( $\text{CaSiO}_3$ ) 를 사용해 다공성의 소자를 제작하여 뼈의 빈 공간에 골재생용으로 활용한 사례이다.<sup>17</sup> 조형물을 이식한 지 8주 후 손상되었던 뼈의 부분이 효과적으로 재생된 것을 확인할 수 있다.

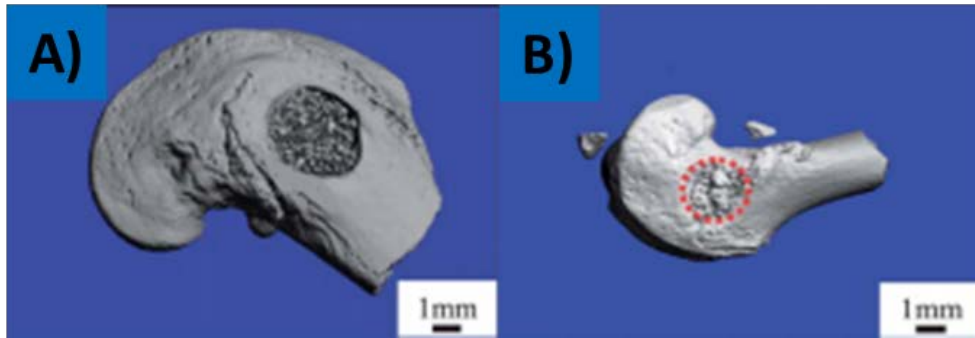


그림 12. 골재생 CT 촬영 단면: A) 이식 직후, B) 8주 경과 후.<sup>17</sup>

### 3.2 지지체를 사용하지 않은 생체 조직 제조

현재까지는 생체 조직을 제조함에 있어 지지체를 사용하여 세포를 분화시키는 방법이 일반적이었으나, 지지체를 사용하지 않고 직접 생체 조직을 제작하려는 연구들이 시도되고 있다. 이는 다양한 크기와 종류의 세포를 지지체의 원하는 위치에 배양하기가 쉽지 않고, 특정 조직의 경우 지지체를 나중에 제거해야 하는 점에 기인한다. 따라서 3D 프린팅 기술을 이용하여 살아있는 세포로 직접 조직을 만드는 바이오 프린팅 (bio-printing)이 생체 조직 제조를 위한 궁극적인 해결책으로의 가능성이 제시되고 있다.<sup>18</sup> 이를 위해서는 프린팅 되는 소재의 생체적합성 (biocompatibility), 숙주와의 결합성 (host interaction), 분화 (differentiation), 제작 정밀도 등에 대한 연구가 필요하며 또한 제작된 인공장기 또는 바이오 소자들의 실제 기능을 확인할 수 있는 in vitro/in vivo 실험이 병행되어야만 한다. 뿐만 아니라, 차후 획기적인 성능의 인공 장기 또는 바이오 소자를 구현하기 위해서는 마이크로미터 이하 사이즈의 구조를 제어할 수 있어야 하며, 제조된 구조의 공극률 조절 및 기계적 물성의 최적화가 가능하여야 한다. 3D 프린팅에 나노 기술을 접목시키면 이러한 요구 조건들을 만족시킬 수 있을 뿐 아니라 소재의 표면을 원하는 대로 개질할 수 있고 소자의 초소형화 역시 가능하기 때문에 바이오 소자를 제조하는데 크게 유용함은 물론 3D 프린팅의 응용성을 한 단계 더 발전시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

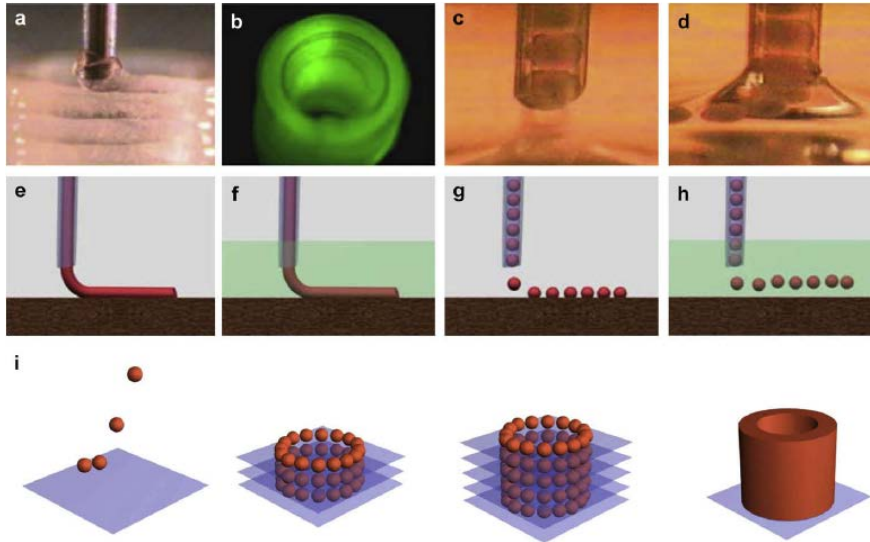


그림 13. 지지체 없이 직접 생체 조직을 제작하는 프린팅 방법.<sup>18</sup>

바이오 프린팅을 통한 생체 조직 제조의 대표적인 방법으로는 [그림 13]에서 나타내었듯이 세포를 수화젤 (hydrogel) 로 만든 얇은 막 형태의 바이오 페이퍼에 올려 이를 적층하는 방식이 있다. 이러한 방법을 통해 살아있는 세포 (tissue spheroid) 와 생체 적합성 고분자를 이용하여 기능 또는 구조가 불완전한 장기를 대체하기 위한 인공장기를 제작하는 방법들이 연구되고 있다. 3D 프린팅을 활용하면 다양한 형태를 갖는 장기의 외형을 구현할 수 있으며 세포의 형상을 조절해 2차원 형상인 판상 모양에서부터 3차원 형상인 튜브, 가지 모양까지 제조가 가능하기 때문에 인공 혈관, 인공 귀 등 다양한 인공 장기를 제작한 사례들이 보고되었다.<sup>18-19</sup>

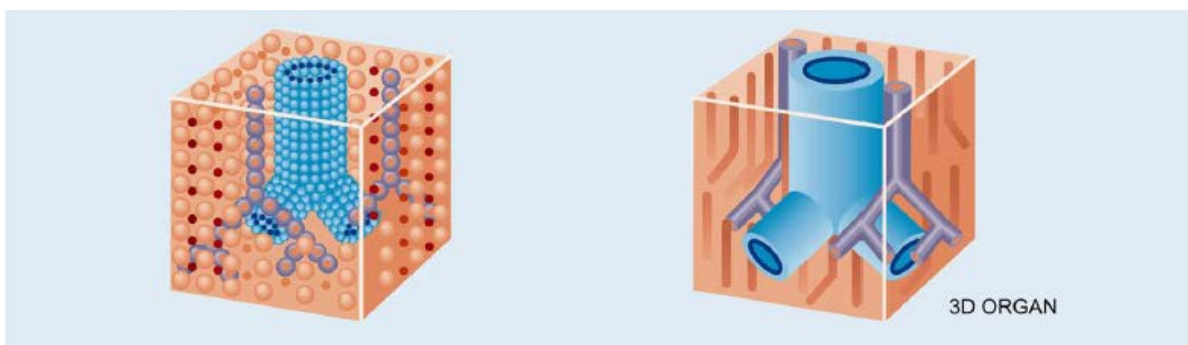


그림 14. 세포 (tissue spheroid)를 소재로 사용한 인공 장기 제조.<sup>18</sup>

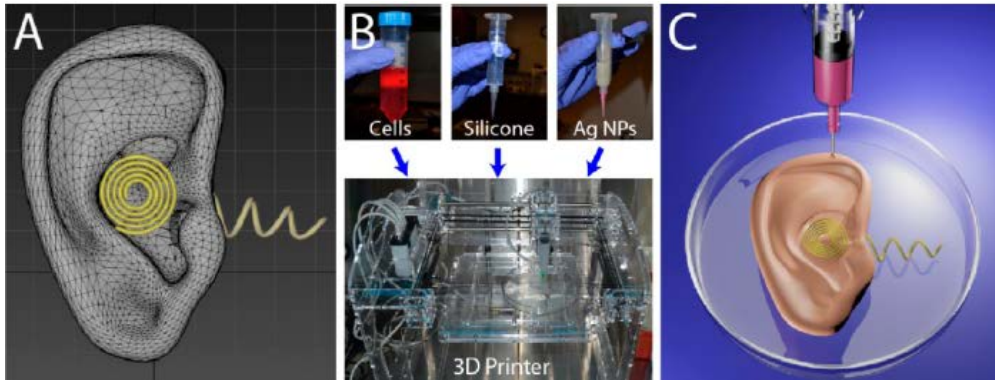


그림 15. 바이오 프린팅을 통한 인공귀 제작과 전자 소재 이식.<sup>19</sup>

### III. 결 론

지금까지 3D 프린팅 기술을 이용한 소재의 성형과 소자의 제조에 대해 알아보았다. 3D 프린팅을 이용하면 다양한 형태를 갖는 기계/전자 소자의 부품을 쉽게 생산할 수 있을 뿐 아니라 의공학 분야에서 현재까지 시도되지 못했던 새로운 방식의 소자 제작도 가능하게 할 수 있다. 하지만 현재의 3D 프린팅 기술 수준으로는 바이오 소자 및 인공 장기를 제작하는데 어려움이 있기 때문에, 3D 프린팅이 가능한 다양한 소재의 개발이 이루어져야 하며, 나노 기술과 3D 프린팅을 효율적으로 접목하여 3D 프린팅 기술을 한 단계 발전시켜야 한다. 이러한 노력들은 바이오 소자의 생분해성, 기계적 물성, 생체 적합성 등을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 인공 장기의 제작과 적용까지 가능하게 할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. Campbell, T.; Williams, C.; Ivanova, O.; Garrett, B., *Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*. Atlantic Council: 2011.
2. <http://www.ciri.org.nz/nzrma/technologies.html>.
3. *Wohlers Report 2013: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry*. 2013.





4. 한국기계연구원전략연구실, *글로벌 3D 프린터 산업 기술 동향 분석*. 한국기계연구원: 2013.
5. Bogue, R., 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing? *Assembly Automation* **2013**, *33*, 307-311.
6. Espalin, D.; Muse, D.; MacDonald, E.; Wicker, R., 3D Printing multifunctionality: structures with electronics. *Int J Adv Manuf Technol* **2014**, *72*, 963-978.
7. Jost, K.; Stenger, D.; Perez, C. R.; McDonough, J. K.; Lian, K.; Gogotsi, Y.; Dion, G., Knitted and screen printed carbon-fiber supercapacitors for applications in wearable electronics. *Energy & Environmental Science* **2013**, *6*, 2698-2705.
8. Kim, M.-S.; Chu, W.-S.; Kim, Y.-M.; Avila, A.; Ahn, S.-H., Direct metal printing of 3D electrical circuit using rapid prototyping. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* **2009**, *10*, 147-150.
9. Ladd, C.; So, J.-H.; Muth, J.; Dickey, M. D., 3D Printing of Free Standing Liquid Metal Microstructures. *Advanced Materials* **2013**, *25*, 5081-5085.
10. Sun, K.; Wei, T.-S.; Ahn, B. Y.; Seo, J. Y.; Dillon, S. J.; Lewis, J. A., 3D Printing of Interdigitated Li-Ion Microbattery Architectures. *Advanced Materials* **2013**, *25*, 4539-4543.
11. Melchels, F. P. W.; Domingos, M. A. N.; Klein, T. J.; Malda, J.; Bartolo, P. J.; Hutmacher, D. W., Additive manufacturing of tissues and organs. *Progress in Polymer Science* **2012**, *37*, 1079-1104.
12. Jonathan, W.; Martha, O. W.; Paul, T.; Mallory, B.; Vaijayantee, B.; Nicole, M.; Kyobum, K.; John, P. F.; Ali, S.; Yueshuo, X.; Jean, F. W.; Donald, P. L.; Jiayang, S.; Arnold, I. C.; David, D., Validating continuous digital light processing (cDLP) additive manufacturing accuracy and tissue engineering utility of a dye-initiator package. *Biofabrication* **2014**, *6*, 015003.
13. Kim, T. G.; Park, S.-H.; Chung, H. J.; Yang, D.-Y.; Park, T. G., Microstructured scaffold coated with hydroxyapatite/collagen nanocomposite multilayer for enhanced osteogenic induction of human mesenchymal stem cells. *Journal of Materials Chemistry* **2010**, *20*, 8927-8933.



14. Kwon, I. K.; Matsuda, T., Photo-polymerized microarchitectural constructs prepared by microstereolithography ( $\mu$ SL) using liquid acrylate-end-capped trimethylene carbonate-based prepolymers. *Biomaterials* **2005**, *26*, 1675-1684.
15. Seol, Y.-J.; Park, D. Y.; Park, J. Y.; Kim, S. W.; Park, S. J.; Cho, D.-W., A new method of fabricating robust freeform 3D ceramic scaffolds for bone tissue regeneration. *Biotechnology and Bioengineering* **2013**, *110*, 1444-1455.
16. Ding, C.; Qiao, Z.; Jiang, W.; Li, H.; Wei, J.; Zhou, G.; Dai, K., Regeneration of a goat femoral head using a tissue-specific, biphasic scaffold fabricated with CAD/CAM technology. *Biomaterials* **2013**, *34*, 6706-6716.
17. Wu, C.; Fan, W.; Zhou, Y.; Luo, Y.; Gelinsky, M.; Chang, J.; Xiao, Y., 3D-printing of highly uniform CaSiO<sub>3</sub> ceramic scaffolds: preparation, characterization and in vivo osteogenesis. *Journal of Materials Chemistry* **2012**, *22*, 12288-12295.
18. Mironov, V.; Visconti, R. P.; Kasyanov, V.; Forgacs, G.; Drake, C. J.; Markwald, R. R., Organ printing: Tissue spheroids as building blocks. *Biomaterials* **2009**, *30*, 2164-2174.
19. Mannoor, M. S.; Jiang, Z.; James, T.; Kong, Y. L.; Malatesta, K. A.; Soboyejo, W. O.; Verma, N.; Gracias, D. H.; McAlpine, M. C., 3D Printed Bionic Ears. *Nano Letters* **2013**, *13*, 2634-2639.