

새로운 패러다임을 가져올 3D Printing 기술

한림대학교 의과대학 춘천성심병원 이비인후-두경부외과학교실,¹ 나노 바이오 재생 의학 연구소²

김 동 규^{1,2}

3D Printing : A New Paradigm in Health Care

Dong-Kyu Kim, MP, PhD^{1,2}

¹Department of Otorhinolaryngology-Head Neck Surgery, Chuncheon Sacred Heart Hospital, Chuncheon; and

²Nano-Bio Regenerative Medical Institute, Hallym University College of Medicine, Chuncheon, Korea

3D Printing 이란?

영화 ‘미션 임파서블3’를 보면 주인공이 전송된 사진 파일로 3D printer를 활용하여 전송된 사진 파일 속 사람 얼굴과 동일한 입체 가면을 만드는 장면이 나온다. 그리고 이를 바라본 대부분의 사람들은 아마도 단순한 CG처리나 영화가 만들어낸 흥미로운 상상 정도로 여겼을 것이다. 그러나 이제 3D printing은 더 이상 영화 속 상상이 아닌 현실이 되었으며, 2014년 글로벌 컨설팅 기업인 맥킨지는 ‘2025년 영향력 있는 12대 기술’ 중 하나로 3D printing을 선정하고 경제적 파급효과는 최소 2300억 달러에서 최대 5500억 달러로 전망하였다. 또한, 유럽기술영향평가국은 2015년 3월 향후 우리의 삶을 변화시킬 10가지 기술 중 하나로 3D printing을 선정하였다. 그렇다면 3D printing 기술이란 무엇인가? 간략하게 이야기하자면 3차원의 입체물을 만들어내는 기술이다.

그런데 이처럼 오늘날 각광을 받고 있는 3D printing 기술은 정확히 이야기 하자면 새로운 기술이 아닌 그 역사가 오래된 기술로 1946년 컴퓨터가 발명되고 1952년

최초의 수치제어 공작기계가 개발 되었을 때부터 존재 하였던 공학 기술이다. 그러나 오늘날 개념에 가까운 모습의 3D printing 기술은 약 30년 전인 1984년에 미국의 Charles W. Hull이 설립한 회사 3D systems에서 발명된 기술이라 할 수 있으며, 이는 항공/자동차 산업에서 제품의 대량생산 전에 디자인 평가를 위한 시제품을 만드는 용도로 산업현장에서 사용되었고, 당시에는 3D printing 이 아닌 쾌속 조형(Rapid Prototyping)으로 불렸다. 그러다가 2013년 초에 오바마 미국 대통령이 국정 연설에서 미국 제조업을 부흥시키는 방법으로 이 기술을 언급하고 이때 3D printing이라는 용어를 사용하면서 세상에 3D printing 이라는 이름으로 널리 알려지게 된 것이다. 지금부터 3D printing 기술이란 무엇이고 이비인후과 분야에서 어떻게 활용될 수 있는지 살펴보겠다.

3D Printing 과정 및 종류

앞서 살펴본 것처럼 3D printer는 입체의 재료를 가공을 하여 자르거나 깎는 방식으로 입체물을 생산하는 전통적인 방식의 절삭 가공(subtractive manufacturing)과 반대되는 개념으로, 설계 데이터에 따라 액체 혹은 파우더 형태의 폴리머(polymer)나 금속 등의 재료를 적층 가공하여 입체물을 제조하는 장비이다. 다시 말해, layer by layer로 쌓아 올려 입체물을 제조하는 적층 가공(additive manufacturing)을 수행하는 장비이다.¹⁾ 그러므로,

교신저자 : 김동규, 24253 강원도 춘천시 삭주로 77
한림대학교 의과대학 춘천성심병원
이비인후-두경부외과학교실
전화 : (033) 241-2909 · 전송 : (033) 241-2909
E-mail : doctordk@naver.com

이는 다품종 소량 생산 혹은 개인 맞춤형 제품제작에 용이한 가공방식이며, 최근에는 3D printing 기술의 발달로 보다 정교하고 복잡한 제품까지 제작이 가능해졌다.²⁾ 더군다나, 이러한 기술의 발전과 더불어 특히 만료로 3D printing 기술이 오픈 소스가 되어 본격적으로 대중화가 이루어지고 있는 추세이다. Wohlers(2012) 보고에 따르면 3D printing 기술 점유율은 보건산업분야에서 15.1%로 소비재/전자제품 20.3%, 자동차/운송 19.5%에 이어 세번째로 높다. 요컨대, 3D printing 기술은 맞춤형 다품종 소량 생산에 적합하며, 이와 동시에 의료진이 직접 상품을 만들 수 있으므로 환자 개인의 몸에 맞는 의료용 기기 및 이식재료 나아가 바이오 장기 등 의료분야에서 그 활용도가 높을 것으로 예상된다.

3D printing 과정은 크게 3가지로 구분된다. 첫째는 물체를 만들기 위해 설계 모델링을 하는 과정이며, 둘째는 소재를 이용하여 printing을 하는 것이며, 마지막으로 완성된 물체를 실제로 사용하기 위해 후속처리를 수행하는 과정이다. 설계 과정은 CAD(computer aided design) 등의 설계 소프트웨어나 3D 스캔을 활용하는데 3D 스캔은 여러 대의 카메라와 프로젝션을 이용하여 물체의 표면을 여러 각도에서 촬영 하고 이를 조합하여 입체적인 정보를 얻어내는 것이다. 설계가 이루어진 후에는 3D printing을 하게 되는데 제조방식은 헤드와 빌드 플랫폼으로 이루어진 printer가 X축(앞뒤)과 Y축(좌우)으로는 노즐이 달린 헤드가 움직이고 Z축(높이)으로는 빌드 플랫폼이 움직이면서 설계에 따라 3차원으로 소재

를 적층하며 이루어진다. 그러므로 소재를 데이터 분석에 따른 위치에 맞게 분사하고, 이를 경화시키기 위한 에너지를 제어하는 것이 주요한 핵심기술이 된다. 그리고 이러한 적층 과정에서 사용되는 재료 혹은 적층방식에 따라 다양한 3D printing 기술들이 존재하는데, 오늘날에는 정밀성 및 효율성이 높은 선택적 레이저 소결 조형(SLS : selective laser sintering) 및 압출 적층 조형(FDM : fused deposition model) 방식의 3D printer가 주류를 이루고 있다(Table 1).

대표적인 3D printing 기술을 살펴보면, 우선 선택적 레이저 소결 조형(SLS)은 도포된 파우더 소재에 선택적으로 레이저로 가열하는 소결방식으로 적층하는 것으로 높은 정밀성과 다양한 원료 사용 등의 장점이 있으며, 다음으로 압출 적층 조형(FDM)은 열가소성 물질을 노즐 안에서 녹이고 노즐을 통해 압출되어 경화된 얇은 막을 쌓아가는 방식으로 제작비용과 시간 면에서 효율적인 장점을 지닌다. 그리고 오늘날 3D printing에 사용되는 소재는 thermoplastic, metal powder, ceramic powder, photopolymer, paper, plastic film, titanium alloys 등 액체, 파우더, 고체 등 매우 다양하며, 각각의 특징은 다음과 같다. 가장 쉽게 사용될 수 있는 액체 기반의 소재들은 정확한 조형이 가능하나 내구성이 떨어진다는 단점이 있으며, 오늘날 많이 사용되는 파우더 기반의 소재는 다양한 원료의 사용이 가능하며 액체 기반의 방식보다 결과물이 견고하다는 장점을 지닌다. 한편, 고체 기반의 소재는 낮은 제조단가와 내습성 등의 장점

Table 1. 대표적인 3D printing 기술의 분류 및 특징

3D 프린팅 조형 방식	적층방식	특 징
광경화수지 조형 (Stereo lithography apparatus)	Light polymerized (액체)	액체 광경화성 폴리머에 레이저를 선택적으로 방출하여 경화시키는 방식, 얇고 미세한 형상 제작
압출 적층 조형 (Fused deposition modeling)	Extrusion (압출)	열가소성 고체수지 재료를 노즐 안에서 녹여 얇은 필름형태로 출력하여 쌓아 만드는 방식, 제작 비용과 시간 면에서 효율적
선택적 레이저 소결 조형 (Selective Laser Sintering)	Granular sintering (고체)	도포된 분말에 선택적으로 레이저를 조사, 가열하고 분말을 도포하는 과정을 반복하여 적층 시키는 방식, 높은 정밀성 가짐
전자빔 소결 (Electron beam melting)	Granular sintering (고체)	고진공 상태에서 전자빔을 통해 금속 파우더를 용해하는 방식으로 적층, 티타늄 같은 고강도 금속 가공에 적합
적층물 제조 (Laminated object manufacturing)	Sheet lamination	종이, 플라스틱 같이 층으로 된 물질을 겹겹이 쌓아 만들며, 재료물질이 가장 저렴함

을 지닌다. 다음으로는 이러한 일련의 특징을 지닌 3D printing 기술이 이비인후과 분야에 어떻게 적용될 수 있는지 살펴보겠다.

이비인후과 분야에서 3D Printing 기술의 활용

이비인후과는 귀, 코, 얼굴 및 목을 다루는 임상과로 청각, 후각, 미각 등 특수감각뿐만 아니라 인체 활동에 꼭 필요한 호흡, 발성 및 연하운동 등을 수행하는 장기를 다루고 있어 매우 복잡하고 섬세한 치료가 요구되는 분야라 할 수 있다. 게다가 이러한 기능적인 요소 이외에 동시에 미용적인 고려가 필요한 특성을 지닌다. 그리고 이러한 기능적·미용적 문제를 동시에 고려하면서 치료가 필요한 경우 3D printing 기술을 활용하면 보다 손쉽게 개인 맞춤형 의료를 실현할 수 있어 이비인후과에서 3D printing 기술은 상당히 효과적으로 사용할 수 있다.

오늘날 이비인후과에서 맞춤형 의료를 위한 3D printer의 대표적인 적용으로 맞춤형 보청기 제작을 꼽을 수 있으며, 이미 상당수의 경우 3D printer로 제작되고 있다. 맞춤형 보청기 제작 이외에도 이비인후과 영역에서 쉽게 활용되는 3D printer의 적용으로는 복잡한 수술 전 surgical simulation을 위한 model 제작을 들 수 있다.³⁻⁵⁾ 측두골 및 악안면골 등 해부학적으로 접근이 어려우며 동시에 중요한 혈관과 신경구조물들 다수가 지나가는 부위의 수술이나 기능적·미용적 재건이 동시에 이루어져야 하는 구조물에 이루어지는 수술이 많다. 따라서 수술 전 3D printer로 제작한 model을 통해 적절한 surgical planning 및 simulation을 할 수 있다면 효과적인 수술결과를 얻을 수 있을 것이다. 그리고 surgical simulation 이외에 초심자의 해부학 교육에도 유용하게 활용할 수 있다.^{6,7)} 왜냐하면, 측두골 및 악안면골 해부학은 초심자가 2차원적 이미지로 실제로 3차원인 미세 해부 구조를 이해하고 이를 익히는 것이 비교적 용이하지 않기 때문이다. 그러므로 일반적으로 카테바 모형을 통해 해부구조와 해당 부위에 위치한 미세혈관 신경 구조를 파악하고 익히는데, 3D printer를 이용하여 혈관과 신경구조물을 포함한 측두골 및 악안면골 모형

을 제작한다면 카테바 모형을 이용하지 않고도 손쉽게 초심자가 해부구조 습득을 할 수 있을 것이다.

앞서 언급한 것처럼 3D printing 기술을 이비인후과에 간접적으로 적용한 사례 이외에도 직접적으로 3D printing 기술을 이용하여 인공 장기나 인공 이식물을 개발한 연구 결과도 있다. 2013년도에 발표된 연구결과에 따르면 3D printing 기술을 이용하여 모형이 아닌 실제 소리를 들을 수 있는 인공 귀를 제작하였으며, 제작은 silver nanoparticle이 포함된 hydrogel matrix를 3D printing 기술로 귀 모양으로 제작한 다음, 이에 연골 세포를 심어주고 달팽이관 모양의 나선형 코일 주위에서 연골세포를 배양하는 방식이었다.⁸⁾ 이 연구에서는 세포 배양을 통해 딱딱한 전자장치를 연골조직이 감싸도록 하였으며 최종적으로 세포 배양 10주 후에 제작된 인공 귀가 소음에 반응하여 소리를 스피커로 전달하는 것을 확인하였다. 국내 연구진에 의해서도 2013년도에 polycaprolactone(PCL)과 cell-laden hydrogel을 이용하여 인공 귀를 3D printing 기술로 제작하였다.^{9,10)} 이 연구에서는 3D printer로 청각 기능은 없으나 실제 귀와 동일한 모양의 인공 귀를 제작하였고 3D printing 시에 이식된 연골세포와 지방세포가 성공적으로 분화되는 모습을 관찰하였다. 그리고 위의 사례들처럼 단순한 3D printing 기술이 아닌 세포가 포함된 바이오 잉크를 이용한 경우 바이오 printing이라고 부른다.

또한 기관 협착증(tracheal stenosis) 환자의 기관 재건술에 사용할 수 있는 인공 기관을 제작하는 것은 조직공학 분야에서 활발히 연구되는 인공 대체물 중 하나인데, 최근에는 3D printing 기술을 활용한 성공적인 인공 기관 제작 연구 결과가 발표된 바 있다.¹¹⁾ 이 연구에서는 poly-L-lactide-co-ε-caprolactone(PLCL)/gelatin을 사용하여 3D printing을 통해 기관 모양의 구조체를 제작하고 gelatin에서는 연골세포 분화를 촉진하는 TGF-β가 분비되도록 하였다. 그리고 *in vitro*에서 3D printer로 제작한 인공 기관에서 기관 연골세포가 성공적으로 분화되는 것을 관찰하였다. 이외에도 3D printing 기술을 활용하여 외상환자의 두개골이나 하악 등 악안면골의 재건을 위한 맞춤형 bone implant를 개발하는 연구도 활발히 진행되고 있다.¹²⁻¹⁴⁾

저자가 소속되어 있는 연구소에서도 3D printer를 이

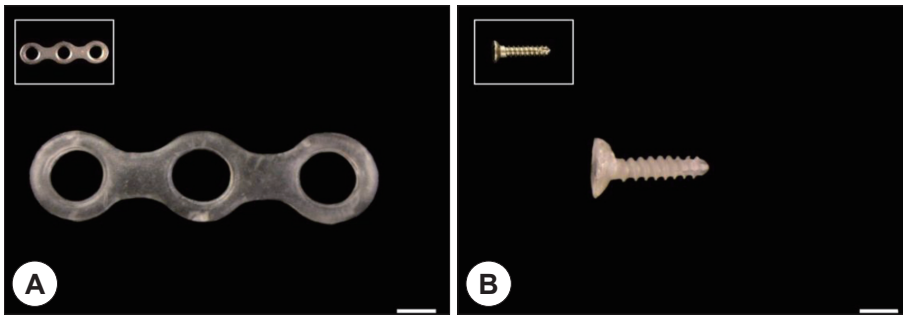


Fig. 1. Silk fibroin based internal fixation device (A) plate and (B) screw using 3D printing technique (small box figure : original metal device).

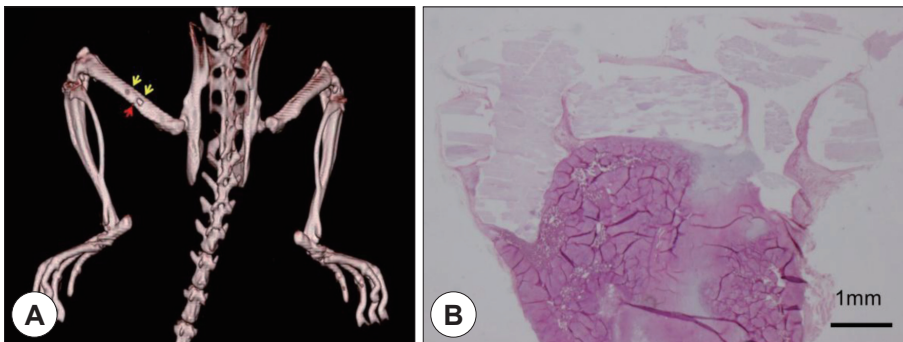


Fig. 2. Biocompatibility test of internal fixation device in animal model for femur fracture : (A) micro-CT and (B) histological analysis.

용한 생체 적합성 이식물을 개발하는 연구를 진행 중에 있다. 최근에는 악안면 골절 환자에 활용 가능한 bioabsorbable internal fixation device(screw/plate)를 제작하였고(Fig. 1), 이의 유효성과 안정성을 확인하기 위한 동물실험을 시행하였다. 재료는 natural polymer인 silk fibroin을 이용하였고 제작 방법은 3D printer로 screw와 plate mold를 제작한 후 기존에 발표한 centrifugal spinning technique을^{14,15)} 이용하여 맞춤형 silk fibroin based screw와 plate를 만들었다. 그리고 동물 실험을 통해 8주간 염증이나 internal fixation device(screw/plate)의 탈출 등 특이 소견 없이 잘 유지되고 있음을 micro CT 및 histology을 통해 관찰 하였다(Fig. 2).

맺 음 말

3D printing 기술은 제3차 산업혁명을 가져올 기술로 평가 받을 만큼 혁신적인 제조 방법이며, 환자 맞춤형 진료가 화두인 의료분야에서 3D printer의 활용도는 급

속도로 성장하게 될 것이다. 오늘날 이비인후과 분야에서 3D printing 기술의 활용은 이제 임상에 적용하기 위한 기반 연구가 진행되고 있는 시점이지만, 3D printing 기술은 직접적으로 인공 장기를 생산할 수 있는 바이오 printing 기술로 발전하고 있으며 이의 잠재력을 고려할 때 향후 이비인후과에서 활용도는 무궁무진할 것으로 생각된다.

중심 단어 : 3D printing · 3D printer.

REFERENCES

- 1) Lee M, Wu BM. *Recent advances in 3D printing of tissue engineering scaffolds. Methods in Molecular Biology* 2012; 868:257-67.
- 2) Michalski MH, Ross JS. *The shape of things to come: 3D printing in medicine. Jama* 2014;312:2213-4.
- 3) Mowry SE, Jammal H, Myer Ct, Solares CA, Weinberger P. *A novel temporal bone simulation model using 3d printing techniques. Otol Neurotol* 2015;36:1562-5.
- 4) Longfield EA, Brickman TM, Jeyakumar A. *3D printed pediatric temporal bone: a novel training model. Otol*

- Neurotol* 2015;36:793-5.
- 5) Rose AS, Webster CE, Harrysson OL, Formeister EJ, Rawal RB, Iseli CE. *Pre-operative simulation of pediatric mastoid surgery with 3D-printed temporal bone models. Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2015;79:740-4.
 - 6) Hochman JB, Rhodes C, Wong D, Kraut J, Pisa J, Unger B. *Comparison of cadaveric and isomorphic three-dimensional printed models in temporal bone education. The Laryngoscope* 2015;125:2353-7.
 - 7) Da Cruz MJ, Francis HW. *Face and content validation of a novel three-dimensional printed temporal bone for surgical skills development. J Laryngol Otol* 2015;129 Suppl 3: S23-9.
 - 8) Mannoor MS, Jiang Z, James T, Kong YL, Malatesta KA, Soboyejo WO, et al. *3D printed bionic ears. Nano letters* 2013;13:2634-9.
 - 9) Lee JS, Hong JM, Jung JW, Shim JH, Oh JH, Cho DW. *3D printing of composite tissue with complex shape applied to ear regeneration. Biofabrication* 2014;6:024103.
 - 10) Park MS. *Ossiculoplasty and Materials. J Clinical Otolaryngol* 2009;20:164-75.
 - 11) Park JH, Hong JM, Ju YM, Jung JW, Kang HW, Lee SJ, et al. *A novel tissue-engineered trachea with a mechanical behavior similar to native trachea. Biomaterials* 2015; 62:106-15.
 - 12) Lee UL, Kwon JS, Woo SH, Choi YJ. *Simultaneous bimaxillary surgery and mandibular reconstruction with a 3-dimensional printed titanium implant fabricated by electron beam melting: a preliminary mechanical testing of the printed mandible. J Oral Maxillofac Surg* 2016;74(7):1501.e1-1501.e15.
 - 13) Carrel JP, Wiskott A, Scherrer S, Durual S. *Large bone vertical augmentation using a three-dimensional printed TCP/HA bone graft: a pilot study in dog mandible. Clin Implant Dent Relat Res*;2016.
 - 14) Konopnicki S, Sharaf B, Resnick C, Patenaude A, Pogal-Sussman T, Hwang KG, et al. *Tissue-engineered bone with 3-dimensionally printed beta-tricalcium phosphate and polycaprolactone scaffolds and early implantation: an in vivo pilot study in a porcine mandible model. J Oral Maxillofac Surg* 2015;73:1016. e1-1016. e11.
 - 15) Lee MC, Kim DK, Lee OJ, Kim JH, Ju HW, Lee JM, et al. *Fabrication of silk fibroin film using centrifugal casting technique for corneal tissue engineering. J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2016;104:508-14.