머리말

2000년대에 들어서면서 세계 각국의 산업용 3D 프린터 시장이 보다 활기를 띠고 있다. 이에 따라 관련 기반 기술 수준이 더욱 향상되고 보다 저렴한 3D 프린터를 출시하면서 사용자층도 더욱 두터워졌다. 더불어 치과 산업에도 3D 프린터가 활용되면서 새로운 변화를 예고했으나, 시장의 한계로 인해 그 발전 속도는 생각보다 빠르게 나아가지 못하고 있는 실정이다.

치과 산업에서의 CAD 모델 파일 포맷인 STL 파일의 활용은 다양한 소프트웨어, 새로운 재료의 등장에 따라 디지털 치과의 한 축인 CNC 머신으로 CAM 시스템이 빠르게 활용되고 있지만, 치과 분야에서 첨가 제조 방식의 기술 비용이 줄어들고 소재의 발달로 점차 활용 범위가 넓어지면서 3D 프린터의 확산과 보급이 이루어지고 있다.

이러한 시점에서 치과 산업에 종사하는 이들이 3D 프린터 관련 지식과 기술을 배우고자 하여도 대부분의 서적은 3D 프린터 입문자들이 좋아하는 FDM 방식의 프린터 제조 기술이나 관련 지식에 관한 내용들로 구성되어 있어, 치과 관련 종사자들이 기본적인 3D 프린터 공부를 할 수 있는 서적의 필요성을 느끼게 되었다.

현재는 3D 프린터 장비를 구입하면서 관련 매뉴얼을 보고 각종 핸즈온 코스나 세미나에서 사용법을 익히며 특정 기기나 기술에만 급급하다 보니 3D 프린터 입문자나 학교에서 치과기공을 배우는 학생들에게 관련 서적이 꼭 필요하겠다는 생각에 짧은 지식으로나마 용기를 내어 글로 옮겨 보았다.

처음에는 3D 프린터의 역사부터 시작하여 산업 분야에서 활용되는 기본적인 내용을 정리하였고, 이후에는 치과 산업에서 활용되는 DLP나 LCD 프린터 위주로 내용을 구성하였다.

비교적 가격 면에서 활용도가 높은 국산 제품 위주로 소개하였으며, 여러 회사의 제품 매뉴얼을 부록에 수록하였다. 가능하면 독자들이 보기 쉽게 도표와 이미지를 많이 넣으려고 노력하였으며, 임상가들의 경험치와 노하우를 담아내지 못한 것이 아쉬움으로 남는다.

좋은 책을 만들고 싶어 준비한 시간은 많았으나 비전문가로서의 한계를 느꼈으며, 개정판이 나온다면 그때는 더 많은 실험적 노력과 함께 전문가의 자문을 얻어 양질의 책을 만들고 싶다는 희망을 가져 본다.

끝으로 걱정과 염려에도 출판을 허락해 주신 대한나래출판사의 최용원 대표님, 바쁜 일정에도 원고의 편집을 끝까지 맡아 주신 장지연 차장님, 프린터를 배우면서부터 많은 자문을 해 주신 민치아제작소의 박종민 소장님께 깊은 감사와 고마움을 전한다.

2023년 새해를 맞이하며

저자 **박 영 대**

저자 소개

박 영 대

1989년	• 대구보건대학교 치기공과 졸업
2011년	• 대구한의대학교 노인의료복지학 박사
2000년~2012년	• 글로벌치과기공소 소장
2013년~현재	• 대구보건대학교 치기공과 교수 • 대구보건대학교 첨단기공연구소 소장

박 종 민

2003년	• 신한대학교 치과기공 학사
2006년	• TIM IMPLANT 연구소 근무 • 홍익병원 치과진료부 기공실장 역임 • 경희대학교 경영학 학사
2012년	• 독일 프랑크푸르트 마이스터하우스 연수
2013년~현재	• 3D민치아 덴탈랩 소장

차례

제1장 3D 프린팅의 개요 ····· 1

1. 3D 프린팅의 개요 ····· 2
2. 3D 프린팅의 개발 연혁 ····· 2
3. 3D 프린팅의 활용 분야 ····· 4
4. 3D 프린팅의 발전 방향 ····· 5

제2장 3D 프린팅의 종류 ····· 7

1. 3D 프린팅의 경화 방식에 따른 분류 ····· 8
2. 3D 프린팅의 분류 ····· 9

제3장 3D 프린팅의 구성 ····· 17

1. 3D 프린팅 장비의 분류 ····· 18
2. 3D 프린팅 소재의 분류 ····· 19
3. 3D 스캐너 ····· 28
4. 3D 모델링 프로그램 ····· 31
5. 3D 프린터 슬라이서 프로그램 ····· 40
6. 후처리 및 경화기 ····· 43

제4장 치과 산업과 디지털 시스템 ····· 57

1. 치과용 3D 프린팅 장비의 원리 및 구성 ····· 58
2. 3D 프린터 베드의 종류와 특징 ····· 64
3. 치과용 스캐너 ····· 67
4. 치과용 보철 디자인 프로그램 ····· 73
5. 치과용 3D 프린팅 소재 ····· 77
6. 치과용 3D 프린팅 슬라이서 프로그램 ····· 83
7. DLP 방식의 후처리 및 후경화 ····· 85

차례

제5장 3D 프린팅을 활용한 디지털 보철물 제작 방법 ····· 93

1. Crown 제작 워크플로우 ····· 94

제6장 3D 프린터 출력물 문제 대응 방법 ····· 115

부록 치과용 3D 프린터 장비 매뉴얼 ····· 133

Sindoh A1SD 프린터 ····· 135

헵시바 3D 프린터 ····· 157

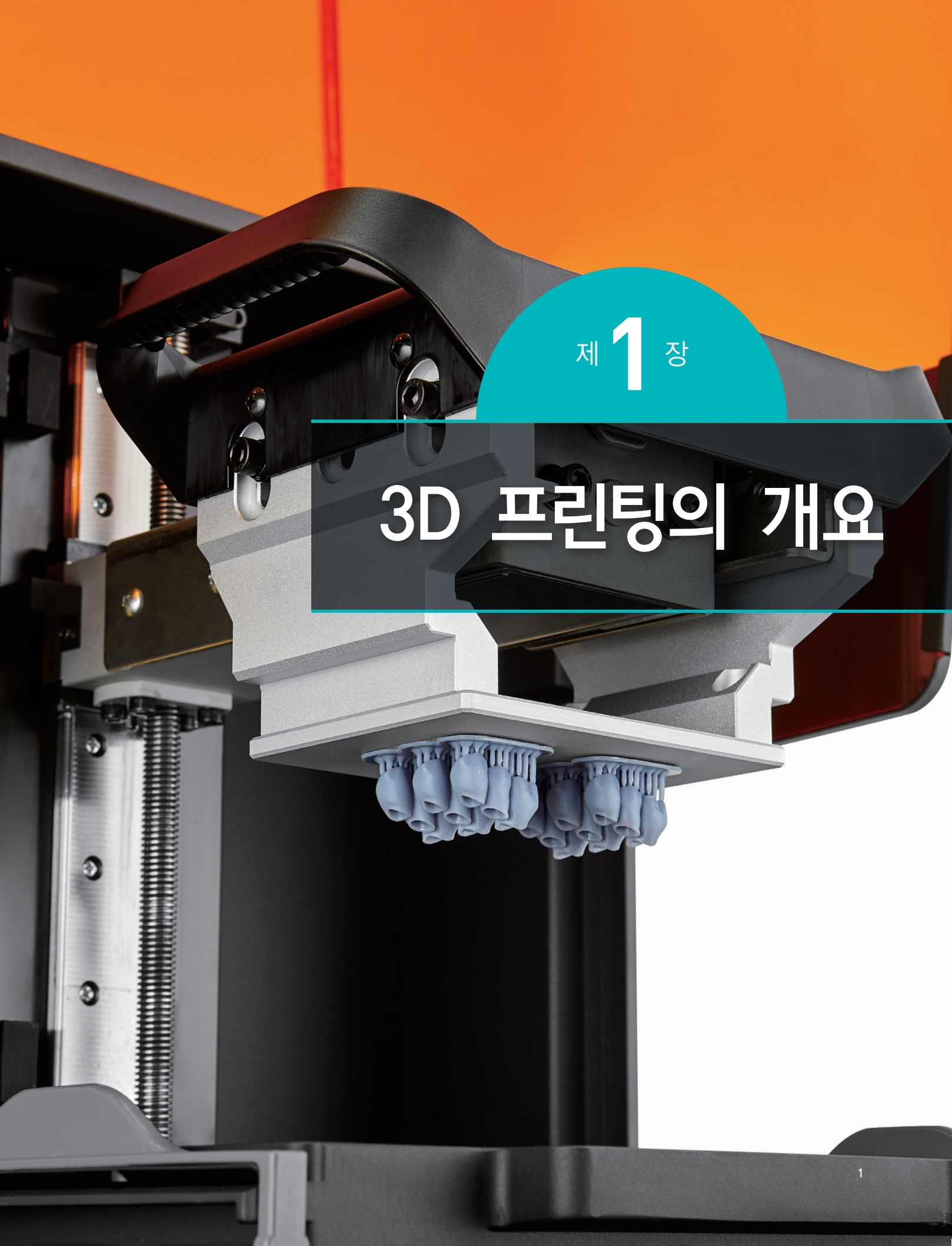
ASIGA MAX UV ····· 169

Ka:rv LP660 ····· 183

ZENITH 3D 프린터 ····· 205

참고문헌 ····· 216

찾아보기 ····· 217



제 1 장

3D 프린팅의 개요

3D 프린팅은 '소재를 층층이 쌓아 제작하는 방식'으로 이루어진다. 디지털 데이터화된 3차원 제품 디자인을 2차원 단면으로 연속적으로 재구성하여 소재를 한 층씩 적층하는 인쇄 방식이다.

이러한 특성을 '적층 가공(additive manufacturing; AM)'이라 하며, STL이라는 3차원 데이터 형태로 저장하여 3D 프린터를 통해 3차원 입체물로 제조하는 과정을 거치게 된다.

1 3D 프린팅의 개요

- 3차원 형상 데이터를 기반으로 2차원 단면 데이터를 생성하여 소재를 얇은 막의 형상으로 적층하는 방식으로 실물을 제작하는 기술
- 레진, 금속, 세라믹 등 다양한 바이오 소재 개발

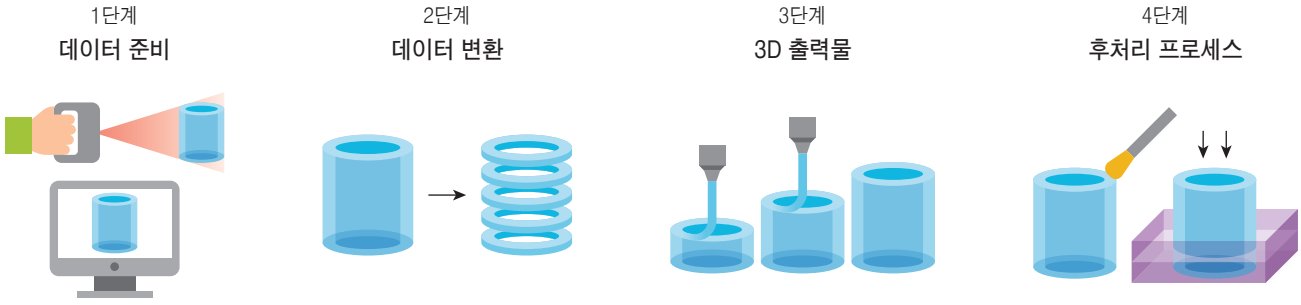


그림 1-1. 3D 프린팅의 과정.

2 3D 프린팅의 개발 연혁

- 1984년 Charles Hull이 디지털 데이터로부터 3D 제품을 인쇄할 수 있는 Stereo Lithography를 개발
- Charles Hull은 3D Systems를 설립하고 1992년 SLA(Stereo Lithographic Apparatus) 개발 이후 지속적인 발전을 거듭하였으며, 3D 프린팅 기술은 의학, 항공, 자동차, DIY(do-it-yourself), 보석류 등 다양한 분야와 생산 시스템 발전에 기여

1) 3D 프린터의 출현과 역사

- 1984년 미국 3D Systems의 Charles Hull이 RP 시스템을 최초 발명
  - 최초의 광경화 방식(SLA) RP(rapid prototyping) 시스템

- 1981년 일본의 Hideo Kodama 박사
  - 기능성 포토폴리머 RP 시스템 기술 개발
- 1991년 Stratasys의 FDM 방식 3D 프린터 개발
  - 2009년 Stratasys 보유 FDM의 기술특허 만료
  - 3D 프린터 시장 확대

2) 3D 프린팅과 제조업

- 3D 프린팅 기술은 주요 산업뿐만 아니라 개인 생산(personal manufacturing) 시대의 개막을 촉진. 소비자의 아이디어가 바로 소비자가 되는 새로운 유통 구조의 형성 가능
- 만드는 즐거움: 개인 취미 생활의 활성화, DIY족의 증가 및 교육기관과 학생들의 3D 프린터에 대한 구매 증가 예상
  - 시장조사기관 SmarTech: 개인 제작 취미와 이들이 속한 'Maker Community'를 3D 프린팅의 주요 수요층으로 지목
  - 나만을 위한 제품: 세상에서 하나밖에 없는 자신의 취향대로 디자인된 제품을 손쉽게 제작. Shapeways의 새로운 사업 모델은 개인의 아이디어와 디자인을 이용하여 자신의 제품을 만들도록 지원

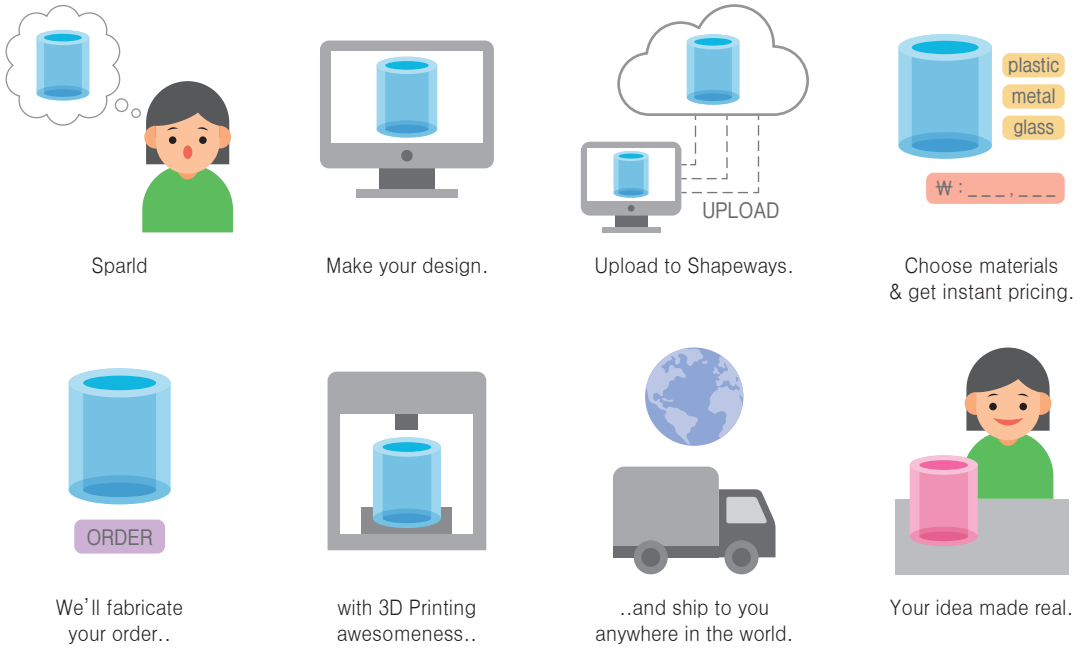


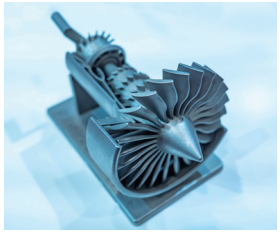
그림 1-2. Shapeways의 새로운 사업모델.

• 구매의 불편함 해소: 소비자 입장에서 구매와 소비의 시간적·공간적 간격을 제거, 재고 부족 및 단종의 문제점 해결 등 이점

– 3D 프린팅은 방위산업, 항공 산업, 자동차 산업 및 건강 산업 등 다양한 산업에 활용 가능성을 증명하며 급격하게 발전

3 3D 프린팅의 활용 분야

표 1-1. 3D 프린팅의 활용 사례

활용 분야	사례	이미지	활용 분야	사례	이미지
자동차	대시보드, 보디패널 등 시제품 제작		항공/우주	알루미늄 동체, 무인 정찰기, 주요 부품(보잉) 제작	
의료	인공치아나 인공뼈, 인공관절 같은 보형물 제작		건축	건축 모형 제작	
패션	구두 등 시제품 견본 제작		엔터테인먼트	영화용 캐릭터 제작 (리얼스틸 로봇)	
완구	완구류 모형 제작		소비자/가전	GPS 디바이스 등 각종 소비자/가전 모형 제작	

- 자동차 분야: 대시보드, 보디패널 등의 시제품 제작에 활용
- 항공/우주 분야: 알루미늄 동체 제작, 무인 정찰기 등의 제작에 활용. 특히, 보잉사는 항공기의 주요 부품 제작에 직접 이용
- 의료 분야: 인공치아, 인공뼈, 인공관절 등의 보형물, 치아보철물 제작에 활용
- 건축 분야: 건축 모형 제작에 활용
- 기타: 구두 시제품 제작, 영화용 캐릭터 제작, 완구류 모형 제작 및 GPS 디바이스 등 각종 가전 모형 제작 등에 활용
- 전통 제조업에서 개발 과정의 모형(prototype) 제작에는 고급 인력 및 고비용이 필요할 뿐만 아니라, 개발 경쟁에서 우위를 점하기 위한 시간과의 경쟁이 중요. 이에 3D 프린터를 사용하면 고품질 모형을 한 번에 제작하고 시간을 절약할 수 있어 미래 제조업에서 핵심기술로 발전할 것으로 전망
- 현재의 3D 프린터 시장은 소비자/가전 분야, 의료 분야 및 자동차 분야의 시장 규모가 크며, 향후에는 자동차 분야와 항공 분야의 시장 비율이 크게 증가할 것으로 예상되고, 의료 및 치과 분야는 무한한 성장 잠재력 보유

4 3D 프린팅의 발전 방향

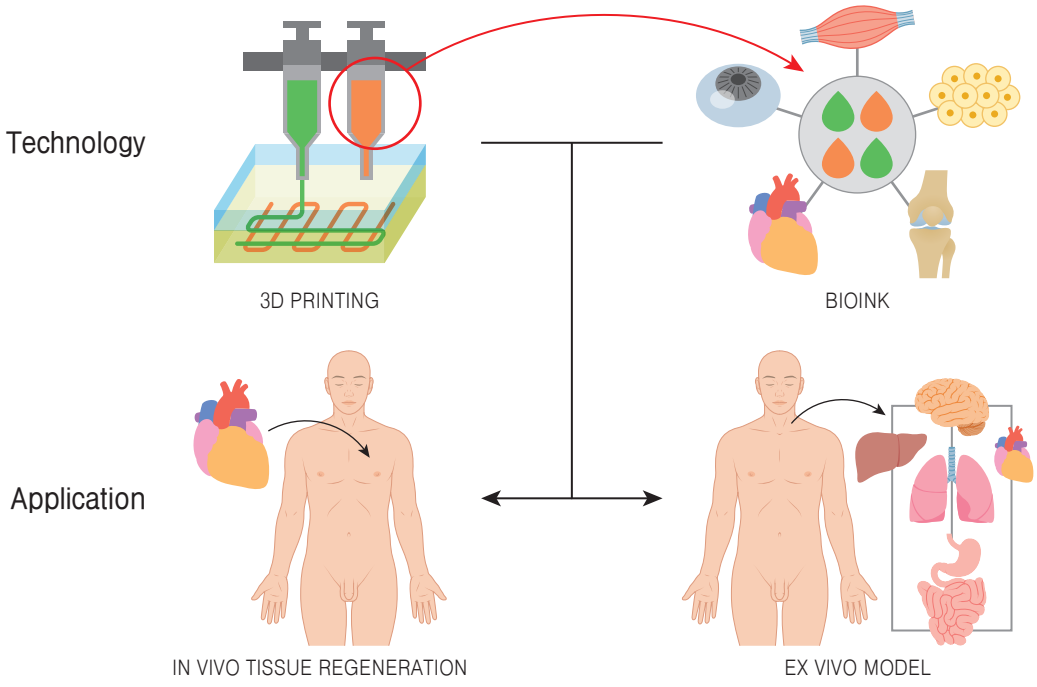


그림 1-3. 의료 분야의 3D 프린팅 기술 활용.

인공지능을 비롯한 데이터 기반 기술들이 등장하자 산업 구조가 완전히 달라지고 있다. 일자리 문제 등 사회적 고민이 더 앞서 있다는 느낌을 지우기 어렵지만 산업계의 변화는 활발하다.

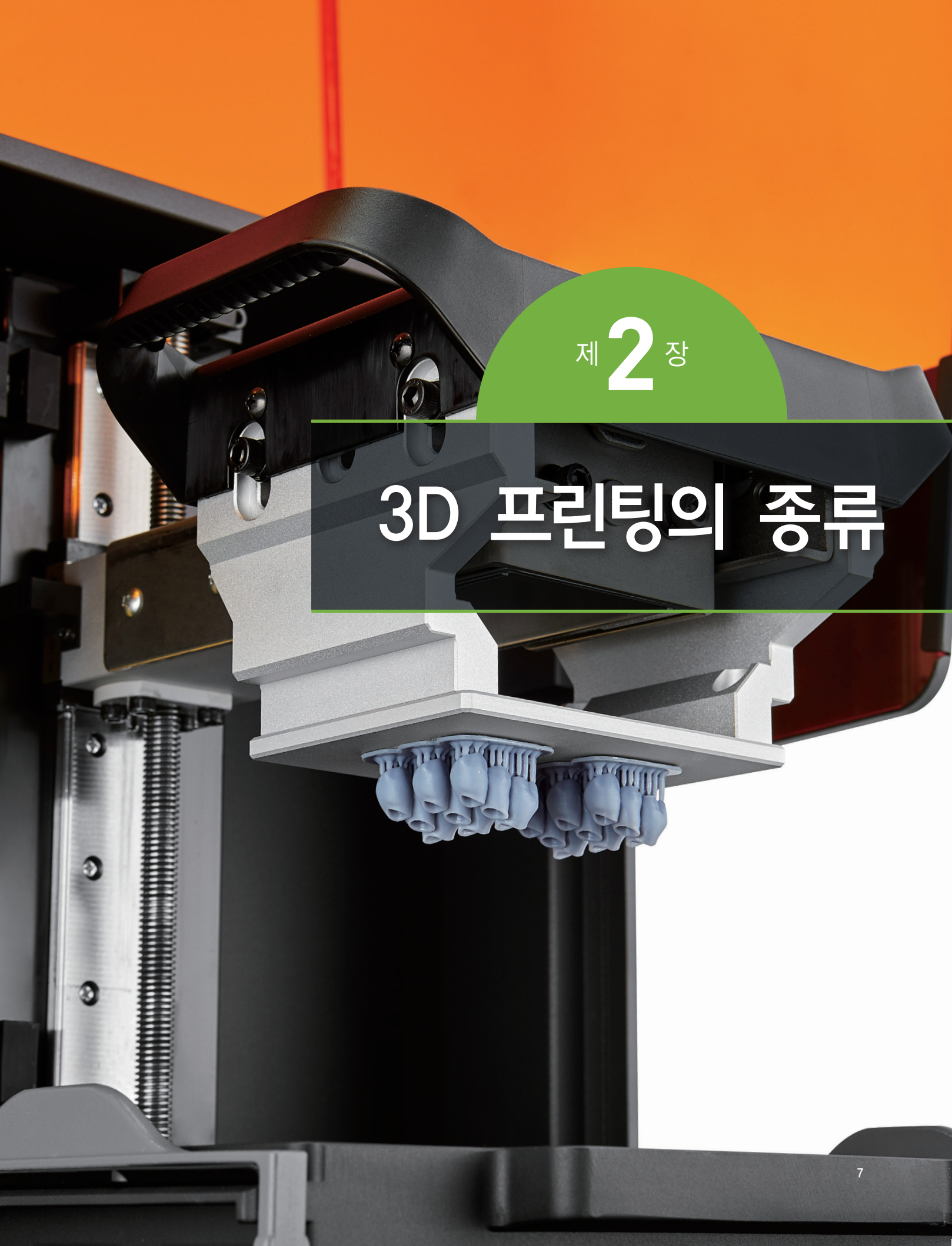
이를 대표하는 주요 키워드가 바로 '맞춤 기반 소량 생산'이다.

4차 산업혁명은 '환경에, 필요에, 취향에' 맞춰 원하는 제품을 큰 부담 없이 만들어 내는 방향으로 나아가고 있기 때문이다. 그게 바로 '스마트 팩토리'이다. 그리고 이를 뒷받침하는 기술이 3D 프린팅이다.

1) 의료 산업에서의 3D 프린팅 활용과 전망

급속도로 발전하고 있는 3D 프린팅을 인공장기 제작 및 의약품 출력에 적극 활용할 것으로 전망된다. 타 산업에서와 마찬가지로 기존에 사용하던 프로세스를 바꿀 것으로 예상되며, 의료 산업의 발전에 크게 기여할 것으로 보인다.

① 바이오 잉크
② 인공혈관
③ 인공간
④ 의약품 프린팅



제 2 장

3D 프린팅의 종류

1 3D 프린팅의 경화 방식에 따른 분류

표 2-1. 3D 프린팅의 경화 방식

Powder Bed Fusion	SLS	금속, 고분자, 세라믹 분말	베드에 도포된 파우더(분말)에 선택적으로 레이저를 조사. 소결하고, 파우더를 도포하는 공정을 반복하여 적층
	SLM		도포된 금속 파우더에 선택적으로 고출력 Ytterbium-Fibre 레이저를 조사하여 용융시키는 방식으로 적층. 금속 파우더가 용융되는 동안 산화방지를 위해 불활성 가스(아르곤, 질소)가 챔버 내에 공급
	EBM		고진공 상태에서 전자 빔을 활용하여 금속 파우더를 용해하는 방식으로 적층
Directed Energy Deposition	LDP (LENS)	금속 분말	지지대 역할 금속 표면에 고출력 레이저 빔을 조사하여 일시적으로 용융 풀을 생성하고, 여기에 금속 분말을 공급하여 클래딩 층을 형성(DMT로도 알려짐)
Material Jetting	FDM	광고분자	가는 실(필라멘트) 형태의 열가소성 물질을 노즐 안에서 녹여 얇은 필름 형태로 출력하는 방식으로 적층 노즐은 플라스틱을 녹일 수 있을 정도의 고열을 발산하며 플라스틱은 상온에서 경화
	PolyJet	광고분자	광경화와 잉크젯 방식의 혼합
	MJM		프린터 헤드에서 광경화성 수지와 wax를 동시분사 후, UV light로 고형화하는 방식으로 적층. 광경화성 수지는 모델의 재료이며, wax는 지지대로 사용
Binder Jetting	3DP	회반죽 (석고, 고분자)	노즐에서 액체 상태의 컬러 잉크와 경화물질을 분말 원료에 분사하는 방식으로 적층
Sheet Lamination	LOM, VLM	종이, 금속, 폼 (foam)	모델의 단면 형상대로 절단된 점착성 종이, 플라스틱, 금속 라미네이트층 등을 접착제로 접합하여 조형
Vat Photopoly merization	SLA, DLP	광고분자	액체 광경화성 수지가 담긴 수조 안에 저전력, 고밀도의 UV 레이저를 투사하여 경화시키는 방식으로 적층 조형판 위에 지지대(받침대)를 조성하고 조형하고자 하는 모델의 아랫부분부터 경화, 적층

2 3D 프린팅의 분류

- 소재의 종류, 제품 가공 방식에 따른 분류
  - 상용화가 많이 된 방식으로 크게 4가지 종류로 분류함

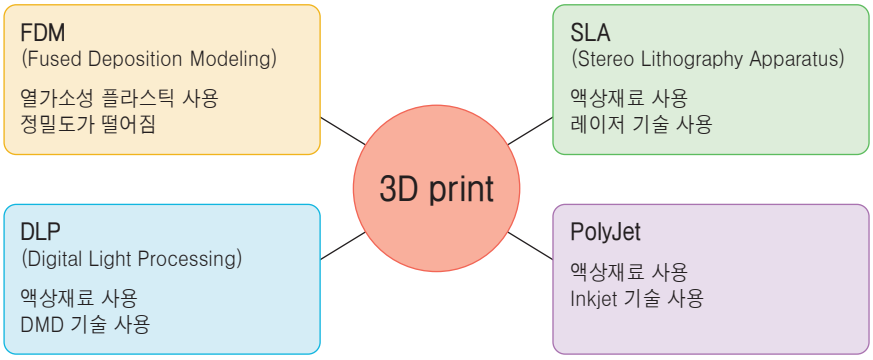


그림 2-1. 3D 프린팅의 종류.

1) FDM(Fused Deposition Modeling)

(1) 기본 원리

- 가는 실(필라멘트) 형태의 열가소성 재료를 노즐 안에서 녹여 출력하는 방식
- 압출 적출 방식으로 고온과 고압으로 재료를 작은 구멍으로 밀어내서 한 층 한 층 쌓는 방식. 최근 보급형 3D 프린터에 사용되는 대부분의 방식이며 열가소성 플라스틱류인 ABS, PLA, 나일론(nylon), 레이우드(laywood) 재료를 출력
- 초콜릿이나 반죽처럼 점성이 있는 식재료를 출력하는 방식에 적합

(2) 장점

- 장치의 구성요소가 비교적 간단하여 장비 가격과 유지보수 비용 저렴
- 다양한 소재 적용이 가능하며 대형화에 용이함

(3) 단점

- 출력 결과물의 정밀도가 떨어지고 표면이 거침
- 제작 속도가 매우 느림
- 가정용, 취미 용도로 사용이 국한되고 있음

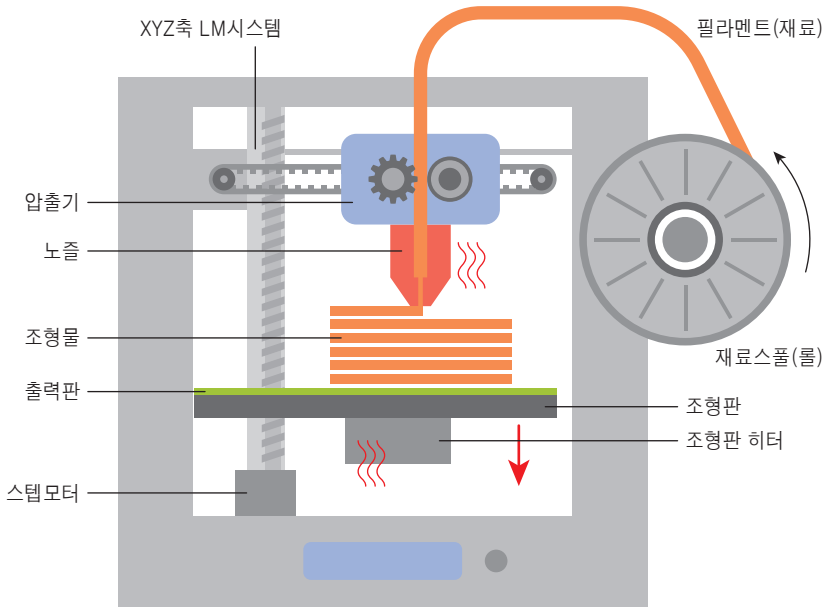


그림 2-2. FDM의 기본 원리.

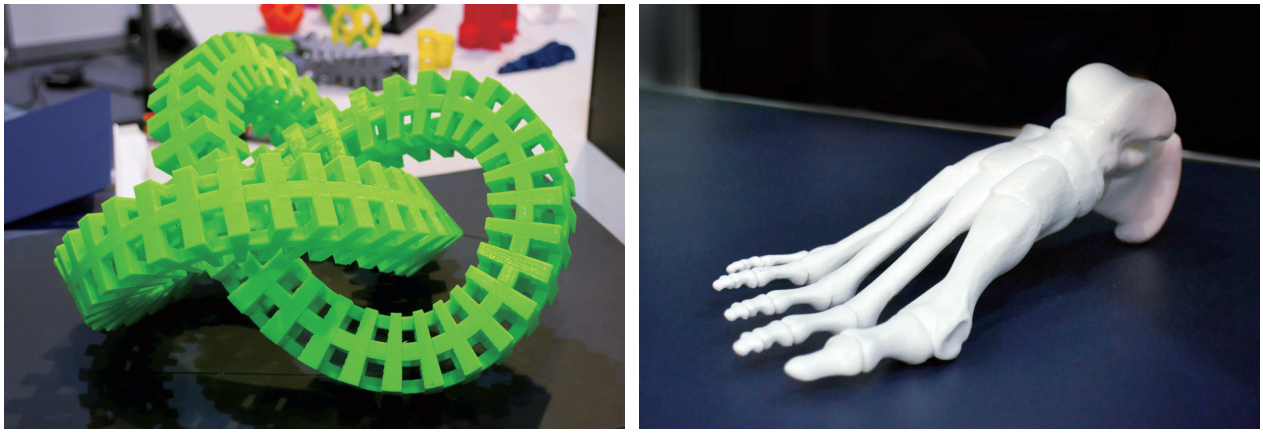


그림 2-3. FDM 방식의 출력물.

2) SLA(Stereo Lithography Apparatus)

(1) 기본 원리

- 광경화성 재료에 레이저의 점광원을 조사하고 재료를 경화 및 적층하여 출력하는 방식
- 사진을 인화하는 방식과 흡사하며, 실리콘 액체 레진에 레이저 광선을 노출시켜 경화시키면서 적층하는 비교적 최신 방식. 원료나 프린터의 가격이 FDM 방식보다 고가이지만 100배 정도 더 정교한 결과물을 만들어 품질이 매우 우수함
- 원료로는 실리콘, 광경화성 수지(photopolymer), 카본 등을 사용

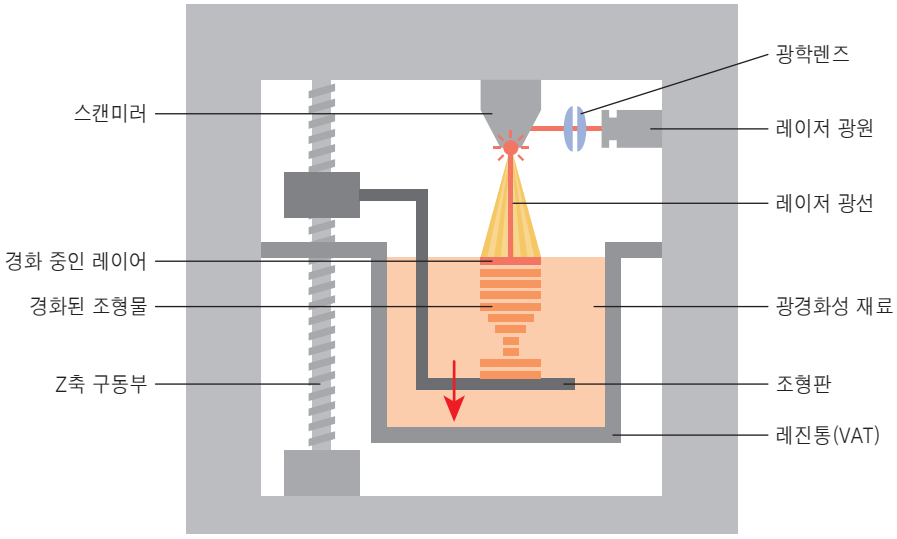


그림 2-4. SLA의 기본 원리.

(2) 장점

- 정밀도가 높으며 표면 조도가 우수함
- 액상 재료를 사용하는 DLP, PolyJet에 비해 가격이 저렴함
- 벡터 기반으로 좌표를 그대로 이어 곡선형 출력에 용이

(3) 단점

- DLP 대비 출력 속도가 느림
- 레이저 수명이 상대적으로 짧고, 유지보수 비용 높음

그림 2-5. SLA 방식의 출력물.

3) DLP(Digital Light Processing)

(1) 기본 원리

- 광경화성 재료(액상 합성수지)에 조형하고자 하는 모양의 빛을 DMD(digital micromirror device)를 이용하여 조사하고 재료를 경화 및 적층하여 출력하는 방식(mask 단위로 2차원 형상을 동시 출력)
- 면을 픽셀 형식의 빛을 조사시켜 굳히기 때문에 3D 출력물의 측면 부분에 층이 생길 수 있음

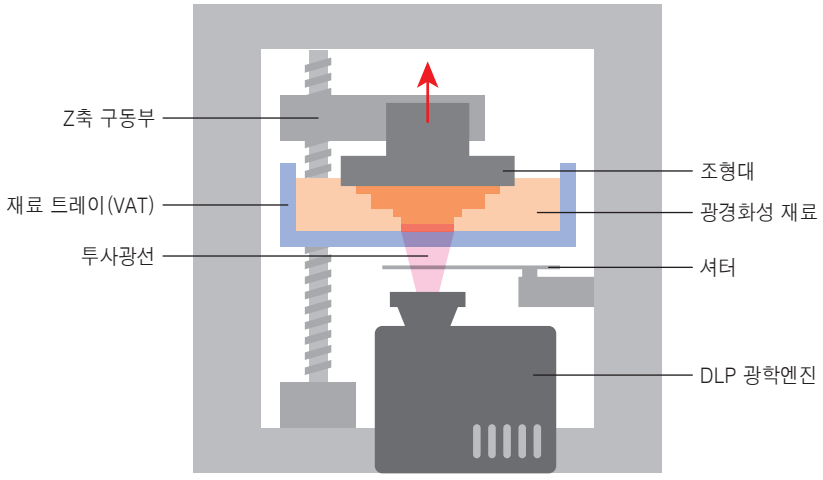


그림 2-6. DLP의 기본 원리.

(2) 장점

- 정밀도가 높으며 표면 조도가 우수함
- 각 레이어를 한 번에 조사하여 출력이 빠름. SLA 방식 대비 1.5~2배 이상 빠름
- 광원의 수명이 김

(3) 단점

- 조형 가능한 크기 제한

4) PolyJet

(1) 기본 원리

- 이스라엘의 Objet(현 Stratasys에 인수됨)에서 2001년에 발표한 기술
- 광경화 방식과 잉크젯 방식의 혼합된 3D 프린팅
- 잉크젯 헤드를 이용하여 광경화성 재료를 분사하고 자외선으로 경화시키면서 출력하는 방식

그림 2-7. DLP 방식의 출력물. (출처: 3DHUB)

- 헤드를 통해 액체를 분사하는 것은 잉크젯 방식과 유사하며 포토폴리머를 미세하게 분사하여 광경화하는 것은 SLA/DLP의 광경화 방식과 유사
- 별도의 수조탱크가 필요 없는 것이 차이이고 이로 인해 재료의 낭비가 줄어들게 됨

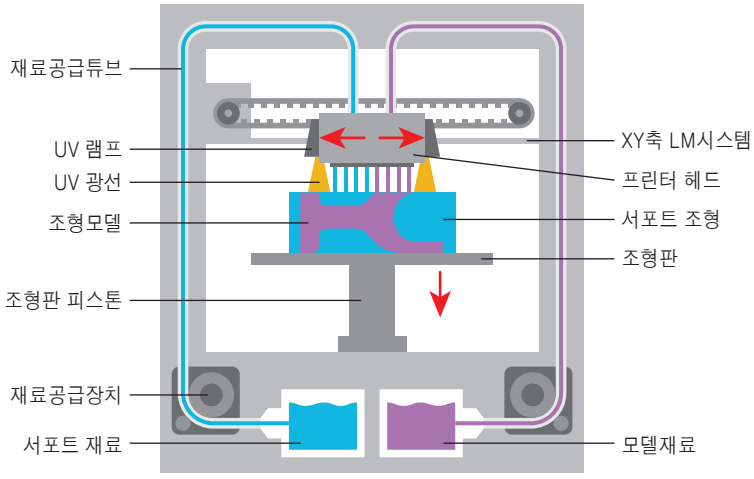


그림 2-8. PolyJet의 기본 원리.

(2) 장점

- 정밀도가 매우 높음
- 복잡한 형상과 까다로운 디테일, 매끄러운 표면 제작이 가능함
- 서포트(support)를 따로 붙이지 않아 후처리가 간단함
- 서포트에 의한 출력 형상 제한이 적음

- 조형 속도가 빠름

(3) 단점

- 장비 가격이 비쌈
- 사용할 수 있는 소재가 제한적임
- 서포트 제거 과정이 번거로움
- 출력물의 수명이 짧음
- 재료 가격이 매우 비쌈

그림 2-9. PolyJet 방식의 출력물. (출처: Stratasys)

5) SLS(Selective Laser Sintering)

(1) 기본 원리

- 분말 형태의 원료를 얇게 적층하고 그 위에 레이저 혹은 수지를 분사하여 굳혀 가면서 적층시키는 방식
- 원료로는 열가소성 플라스틱류 분말, 금속류 분말, 세라믹 분말 사용
- 최근 선보인 'Chefjet' 3D 프린터는 설탕가루가 원료가 되며 인공색소와 향을 첨가하여 다양한 컬러와 다양한 맛의 출력물을 만들어 낼 수 있음

(2) 장점

- 자체 지지 방식, 그에 따른 자유로운 설계
- 후처리 과정의 시간과 노력을 절약

- 항상 일관성 있는 결과물

(3) 단점

- 높은 가격
- 넓은 설치 공간 필요
- 각종 후처리 장비 필요

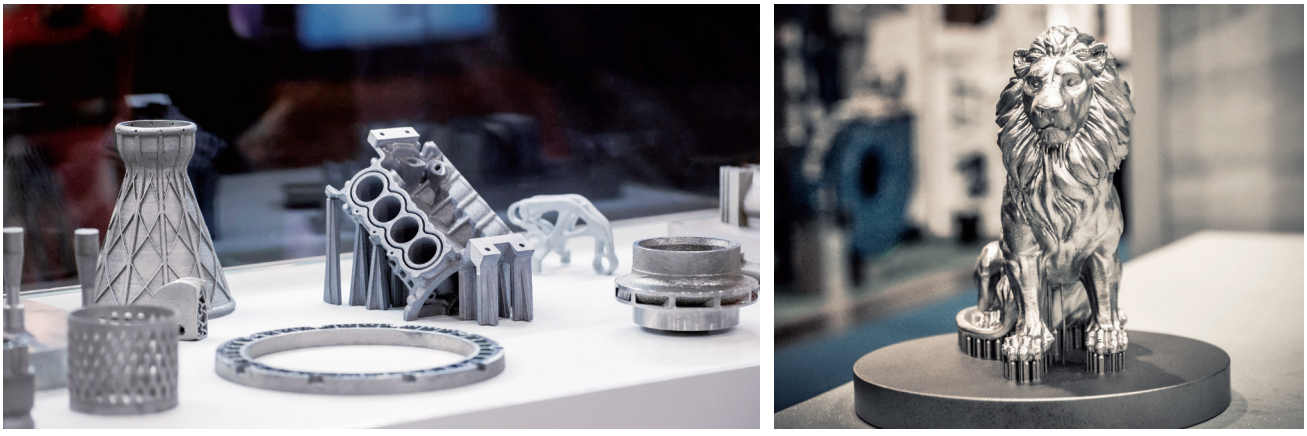


그림 2-10. SLS 방식의 출력물.