

◆특집◆ NBiT 응용 잉크젯 프린팅 기술

잉크젯 기술을 이용한 3차원 프린팅 공정

이원희*, 김정수**, 김동수*, 이민철***

Three Dimensional Printing Process Using Ink Jet Technology

Won Hee Lee*, Jung Su Kim**, Dong Soo Kim* and Min Cheol Lee***

Key Words : SFFS(입의형상 제작 시스템), 3DP(3차원 프린팅), Ink jet(잉크젯), Photo-polymer resin(광 경화 수지)

1. 서론

최근에는 설계와 실제 제품과의 오차를 줄이고 제품의 개발 시간 단축을 위해 3차원 입의형상 제작시스템이 많이 사용되어지고 있다. 3차원 입의형상 제작시스템은 RP (Rapid Prototype) 혹은 SFFS (Solid Freeform Fabrication System)라 불리며 수 시간 이내에 입의형상을 고속 제작하는 시스템이다.^{1,2}

과거 3차원 입의형상 제작 시스템은 레이저 소결 방법을 이용한 대형 장비가 주로 사용되었으나, 최근에는 잉크젯 기술의 발전과 더불어서 사무실 환경과 같은 실내 환경에 적합한 소형 장비들이 주목을 받고 있다. 3DP (Three Dimensional Printing) 기술은 이러한 소형 SFFS의 대표적인 기술이며, 잉크젯 헤드를 이용하여 매 레이어 마다 접착제 또는 광경화성 수지를 선택적으로 분사하여 3차원 형상을 제작하는 방법이다.

3DP 기술의 활용에 의한 3차원 입의형상 제작

시스템의 장점은 일반 가정이나 사무실 환경에서 사용자가 요구하는 다양한 형상 제작물을 빠르고 손쉽게 제작하여 줌으로 해서 그 활용도가 급속도로 증가하고 있다.

본 글에서는 3DP 공정을 이용한 3차원 입의형상 제작 시스템의 핵심 부분인 프린트 헤드에 대한 설명과 더불어 각 공정의 특징을 파악하고 기존 공정들의 단점을 개선한 새로운 3DP 공정 기술을 소개하고자 한다.

2. 잉크젯 헤드 기술의 동향

2.1 연속분사 방식(Continuous Jet)

연속분사 방식은 산업용 인쇄에 많이 이용되는 분사 시스템이며, 한 번의 분사 신호에 대해 연속적인 분사가 이루어진다. 연속적으로 분사되는 드롭렛(droplets)에 선택적으로 전하를 가하고, 전하를 가진 드롭은 굴절판을 통과할 때, 반발력에 의해 드롭렛의 위치가 제어되는 방식이다. 이 기술의 특징으로는 고속 분사가 가능하나, 정밀도가 낮은 단점이 있다. Fig. 1은 연속분사 방식의 원리를 나타낸다.

2.1.1 이진분사 방식(Binary jet)

바이너리 분사방식은 대표적인 연속분사 중 하나이며, 여러 개의 분사 모듈을 일렬로 나열하여 인쇄 속도를 증가시킨 시스템이다. 대표적인 제조 회사

* 한국기계연구원 정보장비연구소
** 부산대학교 지능기계공학과 대학원
*** 부산대학교 기계공학부
Tel. 051-510-2439, Fax. 051-512-9835
Email mclee@pusan.ac.kr

이쪽 보행로봇의 제어, 차량 시뮬레이터 제어, 3차원 실물복제기 제어시스템 등 로봇 및 제어 분야에 관심을 두고 연구 활동을 하고 있다.

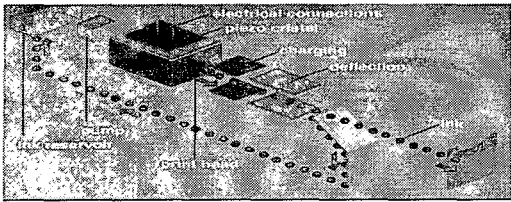


Fig. 1 Continuous jet

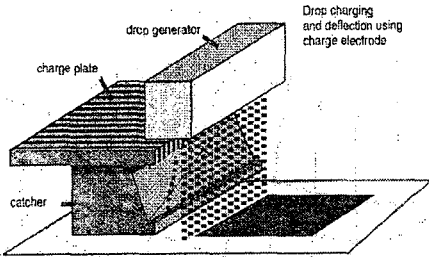


Fig. 2 Binary jet

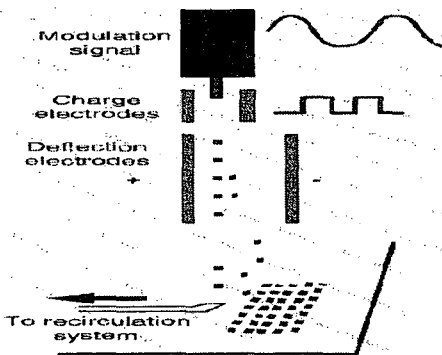


Fig. 3 Multi-level type

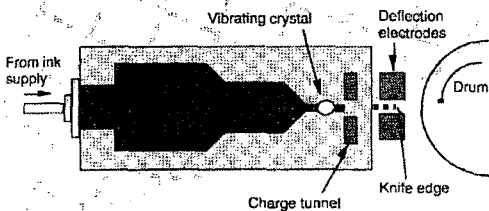


Fig. 4 Hertz type

는 Scitex digital printing, Videojet 등이 있으며, 특징은 멀티 노즐의 헤드를 가지고 있으며, 드롭렛의

크기는 35pl 이상, 100kHz 이상의 주파수를 가지며, 해상도는 중간정도 수준인 것으로 알려져 있다. Fig. 2는 이진분사 방식의 개념도 이다.

2.1.2 Multi-level & Hertz

Multi-level 분사방식의 대표적인 제조회사는 Videojet, Domino, Image, Willet, Linx 등이 있다. 특징은 단일 혹은 멀티 노즐의 사용이 가능하고 드롭렛의 크기는 35pl, 주파수는 60kHz 이상이나 출력 이미지의 품질은 상대적으로 낮다. Hertz식 분사방식의 대표적인 제조회사는 Iris Graphics, Stork, Du Pont 등이 있다. 단일 혹은 멀티노즐이 가능하고 드롭렛 크기는 10pl이며, 주파수는 1MHz까지 가능할 뿐만 아니라 인쇄품질 또한 상대적으로 높은 특징이 있다. Fig. 3과 4는 Multi-level과 Hertz식 분사 시스템의 개념도 이다.

2.2 단일분사 방식(Impulse Jet)

단일분사 방식은 다른 말로는 DoD(Drop on Demand)라고 한다. 연속분사 방식은 한 번의 신호에 의해 연속적으로 분사 되지만, 단일분사 방식은 신호를 가할 때 마다 한 개의 드롭을 분사하는 방식이다. 이 방식을 이용한 주요 기술로는 써멀 버블(Thermal/bubble jet)분사 방식과 피에조(Piezoelectric jet) 분사 방식이 있다. 연속분사 방식에 비해 상대적으로 저속인 반면 고 정밀 프린팅이 가능한 특징이 있다.

2.2.1 써멀/버블젯 방식

프린터 헤드의 챔버내에 마이크로 히터가 장착되어 있으며, 히터에 전류를 순간적으로 가하면 (2~10 μs) 히터의 표면 온도(350~400°C)가 급상승하여 히터 표면에 기포(bubble)가 발생하게 된다. 그러므로 챔버내의 압력 상승으로 챔버내에 있던 잉크 중 일부가 노즐을 통해 분사되어진다. 분사와 더불어 기포가 소멸되고, 노즐에 일부 남아있던 잉크는 챔버 내부로 리턴 되면서 노즐에 메니스커스(meniscus)가 형성되며 분사된 작은 드롭들과 완전히 분리된다. 대표적인 제조회사는 Cannon, HP, Lexmark, Olivetti, Xerox 등 이다.

2.2.2 피에조젯 방식

피에조 재료를 사용하는 방식으로 최근에는 SOHO(Small Office and Home Office)를 중심으로

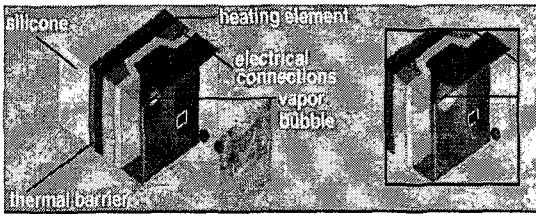


Fig. 5 Thermal/Bubble Jet

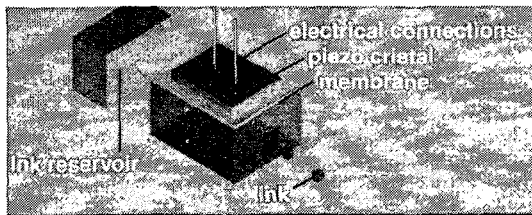


Fig. 6 Piezo Jet

활발한 연구가 진행되고 있다. 작동원리는 피에조 재료에 전류를 가하면 피에조 효과에 의해 변위가 발생하고, 함께 부착되어져 있는 멤브레인(membrane)이 휘게 된다. 이 때 챔버 내의 압력 상승으로 인해서 챔버 내의 잉크 중 일부가 노즐을 통해 분사 된다. 그리고 전류를 차단시키면 멤브레인이 플랫(flat)해 지면서 잉크통(reservoir)에 있던 잉크가 챔버 내로 유입되며, 노즐 끝단에 메니스커스가 형성된다. 피에조 재료는 PZT ceramic이 많이 사용되며, 대표적인 제조회사는 Epson, Xaar, Hitachi-Koki, Toshiba, Spectra, Tekronix, Brother, Seiko, Konica, Inkjet Technologies, Picojet, Compaq/Oki, Aprion 등 이다. Fig. 5와 6은 써멀/버블젯 방식과 피에조젯 방식의 프린터 헤드의 구조를 나타낸다.

3. 3DP 공정

3.1 파우더 기반의 3DP 공정

3DP 기술 중 대표적인 공정 방법 중의 하나는 파우더 기반의 3DP라고 할 수 있다. 파우더 기반의 3DP공정은 다른 3DP 공정 기술에 비해 임의 형상물을 제작하는 시간이 빠르며 비교적 저가로 원하는 형상물의 제작이 가능하다. 하지만 파우더를 접착하는 방식이기 때문에 형상물의 강도가 약하여 제작 후 강도 향상을 위한 후처리 작업이 존재하며, 이러한 작업을 위해 제작물이 일정 강도를 가

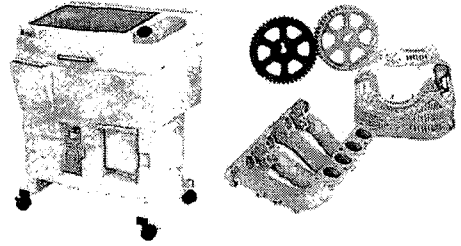


Fig. 7 Z310 model in Zcorp

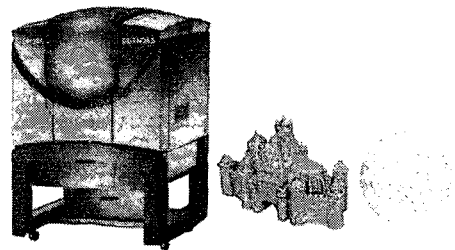


Fig. 8 Eden 260 model in Objet Geometries

지기 위한 건조시간이 프린팅 시간만큼이나 필요로 할 때도 있다. 대표적인 파우더 기반의 3DP 장비는 미국 Zcorp.사가 있으며, Fig. 7은 Z310모델을 나타낸다.

3.2 Poly-jet 공정

Poly-jet 공정 방법은 기존에 파우더 기반에서의 약한 강도 개선 및 정밀도에서 장점을 가지며 UV 경화가 가능한 광 경화성 수지를 분사한 후 이를 경화 시키고 적층을 하여 3차원 형상물을 제작하는 방법이다. 강도가 상당히 높고 후처리가 거의 필요 없다는 점에서 파우더 기반의 3DP 공정보다 우수하지만 시스템 구현이 복잡하고 분사되는 광 경화성 수지의 양이 극히 적어 제작 시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있다. 또한 형상물의 재질이 UV 재료로 제한되기 때문에 재료 선택의 한계가 있다. 대표적인 Poly-jet 공정의 3DP 장비는 Fig. 8과 같이, 이스라엘 Objet Geometries사의 Eden260 모델을 들 수 있다.

3.3 Hybrid 3DP 공정

현재 한국기계연구원에서 개발하고 있는 시스템으로 기존 파우더 기반의 3DP 공정과 Poly-jet 공정을 결합한 Hybrid 타입의 새로운 3DP공정기술이다. Hybrid 3DP 공정 방법은 파우더(석회 및 녹말



Fig. 9 3DP system based on the powder

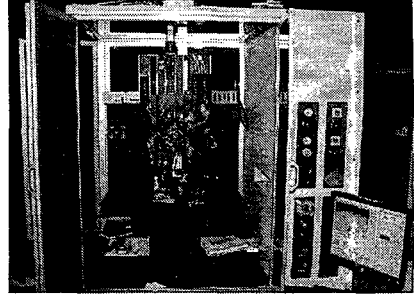


Fig. 11 Poly-jet system

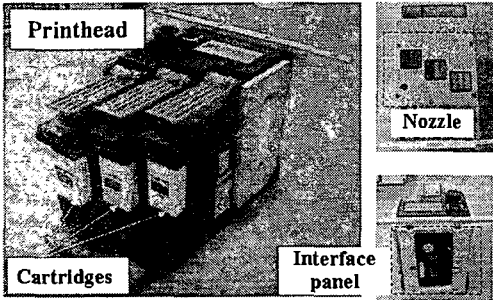


Fig. 10 Print head of thermal bubble jet in HP

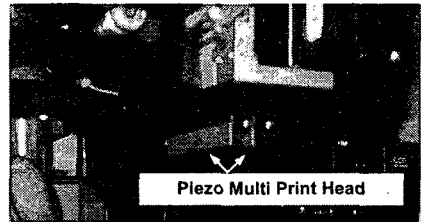


Fig. 12 Print head of piezo jet in Dimatix

혼합물, 메탈 등) 위에 광 경화성 수지를 분사하고, 매 레이어 마다 분사된 수지를 UV램프로 경화 시켜 3차원 형상물을 제작함으로써 분사량이 적은 기존 Poly-jet 공정의 느린 제작 시간과 약한 강도를 가지는 파우더 기반의 3DP 공정의 단점을 개선한 방식이다.

4. 잉크젯 헤드를 이용한 3DP 시스템

4.1 써멀/버블젯 헤드를 이용한 3DP 시스템

써멀/버블젯 프린트 헤드를 이용하여 파우더 기반의 3DP 시스템을 구축하고 임의의 형상 제작 실험을 수행 하였다. Fig. 9는 HP사의 써멀/버블젯 프린트 헤드를 적용한 3DP 시스템이다. Fig. 10은 시스템에 적용된 HP사의 써멀/버블젯 프린트 헤드를 나타내며 하나의 헤드당 3개의 카트리지로 구성되어 있으며, 한 번에 1.5인치씩 고속 프린팅이 가능하다. 제작물의 치수 오차는 X,Y,Z 각각 200×200×800 μm 이내 였으며, 강도 저하로 후처리 시간이 많이 필요로 하는 특징이 있다. 또한 후처리 시 작업자의 숙련도에 따라 제작물의 치수오차 및 표면 거칠기 등의 성능이 영향을 받는다.

4.2 피에조젯 헤드를 이용한 Poly-jet 시스템

멀티 노즐을 갖는 피에조젯 방식의 헤드를 이용하여 Poly-jet 공정을 적용한 3DP 시스템을 구현 하였다. Poly-jet의 경우 파우더 없이 분사된 레진(resin)만으로 3차원 구조물을 만들어야 함으로 여러 개의 헤드를 사용한 멀티 헤드로 구성하며, Z축의 분해능(10~30μm)이 다른 공정보다 월등히 뛰어난 것이 특징이다. Fig. 11은 2개의 헤드를 적용한 Poly-jet 시스템이며, Fig. 12는 Poly-jet 공정을 위한 Dimatix사의 프린터 헤드이다. Poly-jet 공정의 핵심 기술은 레진 프린팅 후 평탄화 및 두께를 제어하는 기술이다.

4.3 디스펜서를 이용한 3DP 시스템

디스펜서를 이용하여 파우더 기반에서의 Hybrid 타입의 3차원 프린팅 기법에 대한 기초연구를 수행하였다. 파우더로 녹말혼합 파우더를 사용 하였다. 이는 녹말혼합 파우더가 석회혼합 파우더에 비해 광 경화성 수지가 잘 스며들기 때문에 분사된 드롭이 파우더 표면에서 뭉치지 않고 열에도 비교적 둔감하여 UV 경화 시 발생하는 램프의 복사열에 대한 변형을 최소화 할 수 있기 때문이다. Fig. 13은 디스펜서를 이용한 3DP 시스템이다. 디스펜서를 이용한 3DP 시스템으로부터 Hybrid 타입의 3차원 프린팅 공정에 관한 기초 연구를 통해 새로운 공정 기법에 대한 가능성을 검증 하였다.

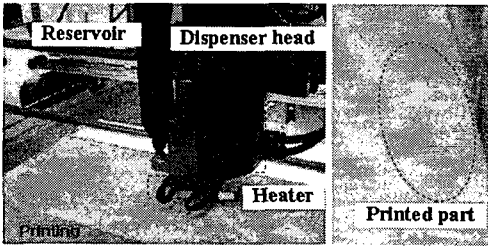


Fig. 13 UV curing system with dispenser

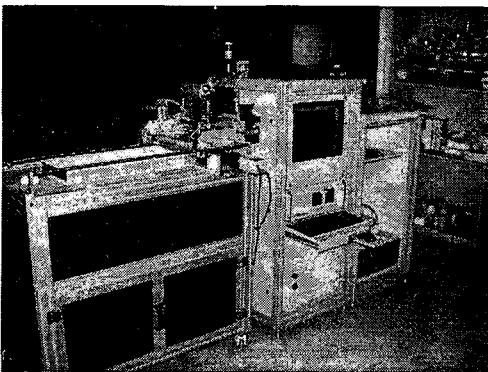


Fig. 14 Hybrid 3DP system

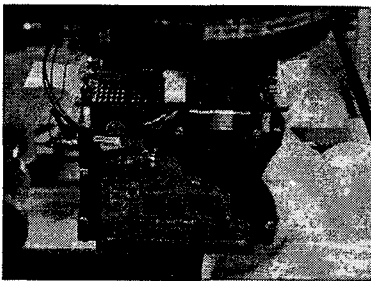


Fig. 15 Piezo single head of Spectra

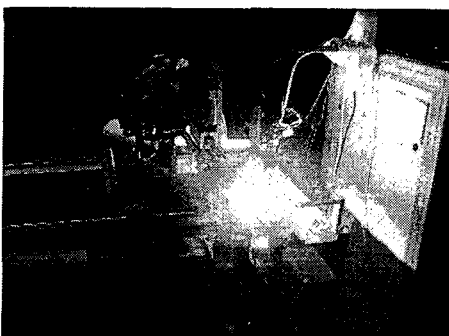


Fig. 16 Hybrid 3DP process on the metal powder

4.4 피에조 헤드를 이용한 Hybrid 3DP 시스템

디스펜서를 이용한 3DP 시스템은 임의형상제작에 있어 많은 어려움이 존재한다. 싱글 노즐의 한계 및 작동 주파수가 낮기 때문에 제작 시 상당한 시간이 소요되며, 분사량이 많으므로 적층 두께를 크게 가져야 한다.

피에조젯 방식의 프린트 헤드는 써멀/버블젯 프린트 헤드에 비해 상대적으로 고 점도(15cPs이하) 잉크의 프린팅이 가능하다. 또한 헤드를 일정 온도로 가열하여 분사하기 때문에 광 경화성 수지의 점성을 낮추어서 다양한 파우더에 분사가 가능하다.

Hybrid 타입의 새로운 3DP 공정은 피에조젯 프린트 헤드와 UV 경화 시스템을 적용하여 파우더 기반의 3DP 공정을 결합한 방식이다. 파우더를 이용하여 기존 Poly-jet 공정의 얇은 적층 두께에 대한 한계를 극복함과 동시에 제작물의 재료 선택의 폭이 넓어졌다. Fig. 14는 이를 적용하여 개발된 Hybrid 3DP 시스템이다.

4.5 시편을 이용한 3DP 공정의 특성 비교

앞서 설명된 파우더 기반의 3DP 공정과 디스펜서를 이용한 3DP 공정, 그리고 피에조 헤드를 이용한 Hybrid 3DP 공정에서 동일한 시편의 크기를 제작하여 강도를 측정함으로써 제작된 형상물에 대한 기계적 강도를 비교 예측할 수 있다. Poly-jet 공정의 경우 그 강도적인 특성이 단순히 경화된 광 경화성 수지의 특성에 의존하기 때문에 강도적인 측면에서는 파우더 기반의 공정보다 현저히 높다. 본 글에서는 Hybrid 3DP 공정이 파우더 기반에서 얼마나 광 경화성 수지의 경화 강도 특성이 반영되는지에 대한 비교를 하였다.

파우더 기반의 3DP 공정의 경우 석회혼합 파우더 위에 바인더를 분사하여 시편을 제작하고 이를 후처리 하여 공정상의 최대 강도 특성을 가지도록 하였고, 디스펜서를 이용한 3DP의 경우 높은 점성의 광 경화성 수지에 의해 녹말혼합 파우더 기반에서 시편을 제작 하였다. 또한 새로운 방식의 피에조젯 방식의 프린트 헤드를 이용한 Hybrid 3DP 공정의 경우 기존 어떠한 3DP 공정에서도 불가능했던 메탈 파우더를 이용하여 시편을 제작함으로써 강도특성 뿐만 아니라 사용자의 다양한 목적에도 부합됨을 평가 하였다. Fig. 16은 메탈 파우더 위에 Hybrid 3DP 공정 과정을 나타내며 Fig. 17은 각 공정에 의해 제작된 시편을 나타낸다. (a)는 디

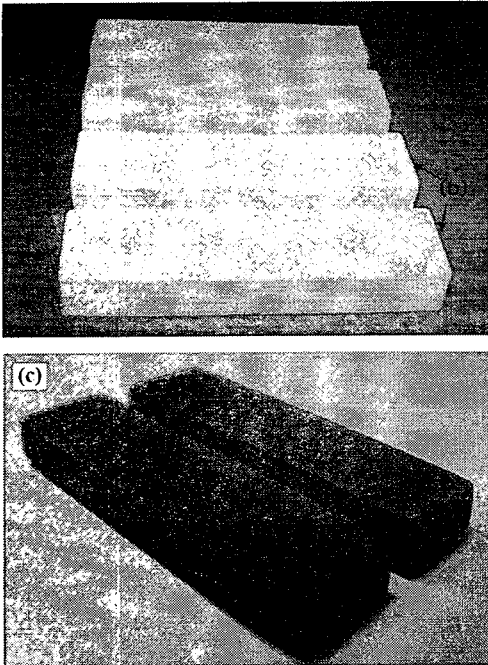


Fig. 17 Fabricated specimens. specimens fabricated by the Hybrid 3DP process using a dispenser(a) and a piezo head(c). (b) specimens fabricated by the conventional 3DP process

스펜서를 이용하여 제작된 Hybrid 공정에서의 제작 시편이며 (c)는 피에조젯을 이용하여 Hybrid 공정에 의해 메탈파우더로 제작한 시편이다. (b)는 기존 3DP 공정에 의해 제작된 시편이다.

5. 결론

최근에 잉크젯 기술이 산업 현장에서 다양하게 활용되고 있다. 이러한 측면에서 기존 3차원 입의 형상 제작 시스템의 3DP 공정에 이용되는 잉크젯 기술에 대한 분석과 이를 바탕으로 하여 파우더 기반의 3DP 시스템과 Poly-jet 시스템을 개발 하였다. 또한 기존 공정의 단점을 개선하기 위한 새로운 방식의 Hybrid 3DP 공정을 제안하고, 시스템을 개발 하였다. 파우더 기반의 3DP 공정에 비해 Hybrid 3DP 공정에 제작된 시편의 항복 응력은 약 17배의 향상을 보였으며, 최대 응력에서도 10배 이상의 향상을 보였다. 또한 휨 강도 시험에서는 약 7배의 향상을 나타내었다. Hybrid 3DP 공정은 기존 파우

더 기반의 3DP 공정 보다 향상된 강도의 제작물은 물론, 메탈 파우더를 이용한 형상물 제작 등 기존 3DP 공정에 불가능 했던 소재에 대한 활용이 가능하여 3차원 입의형상제작 시스템의 새로운 가능성으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 “디지털 3차원 실물복제기 개발”과제 지원으로 이루어졌으며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Wohlers, T. T., “Wohlers Report 2003,” Wohlers Associates, 2003.
2. Yan, X. and Gu, P., “A review of rapid prototyping technologies and systems,” Compute Aided Design, Vol. 28, No. 4, pp. 307~318, 1996.
3. Chang, C.C., “Rapid prototyping fabricated by UV resin spray nozzles,” Rapid Prototyping Journal, Vol. 10, No. 2, pp. 136~145, 2004.
4. Williams, P. A., “A New Process To Fabricate Prototypes Directly From CAD Model,” PhD. Thesis, MIT, pp. 12-17, 1990.
5. Lee, W. H., Kim, D. S. and Lee, M.C., “Development of a SFF System Based on Three Dimensional Printing Process,” 2005 Society of CAD/CAM engineer, pp. 550-557, 2005.
6. Lee, E. R., “Microdrop Generation,” CRC press, pp. 15-29, 2003.
7. Bredt, J. F., “Binder Stability and Binder/Powder Interaction in Three-Dimensional Printing,” PhD Thesis, MIT 1995.