

# 포토폴리머 레진을 이용한 3차원 프린팅 시스템의 개발 Development of 3D Printing System Using a Photopolymer Resin

\*김정수<sup>1</sup>, #김동수<sup>1</sup>, 이민철<sup>3</sup>

\*J. S. Kim<sup>1</sup>, #D. S. Kim(kds671@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, M. C. Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 정보장비연구센터, <sup>2</sup>부산대학교 기계공학부

Key words : UV curing, Photopolymer resin, 3D printing, SFF system

## 1. 서론

최근에는 CAD로 디자인 된 3차원 모델을 빠른 시간에 입체 형상으로 구현이 가능한 기술 중의 하나인 3차원 프린팅 기술이 산업 전반에 크게 활용되고 있다. 이는 RP(Rapid Prototyping) 혹은 SFF(Solid Freeform Fabrication) 시스템이란 이름으로 산업용과 오피스용으로 각각의 환경에 적합하게 개발되고 있으며 주로 산업용은 부품 파트로써 대체가 가능한 입체 형상물의 제작이 가능하며 오피스용은 컨셉 모델러로써 입체 형상의 외형을 파악하기 위한 목적으로 이용되고 있다.

본 논문에서는 이중 오피스 타입의 시스템으로써 개발되고 있는 3차원 프린팅 기술을 소개하고 그 기술을 이용한 시스템을 개발 하였다. 3차원 프린팅 기술은 현재 여러 가지 방법이 이용되고 있지만 대표적으로 크게 2가지 기술로 나눌 수가 있다. 첫째는 MIT에서 개발된 파우더 기반의 3차원 프린팅 기술로써 점성이 물에 가까운 접착액을 이용하여 이를 layer by layer 방식으로 3차원 모델의 형상의 단면을 프린팅 기법을 이용하여 파우더를 접착해서 쌓아가는 방식이다. 다른 하나는 현재 이스라엘에서 개발된 poly jet 방식으로 photopolymer resin을 이용하여 플레이트 바닥에 입체 형상의 단면을 프린팅하고 그 위에 UV 빛을 조사하여 굳게 만들어서 적층하는 방식이다. 본 논문에서는 두 번째 방법인 UV 경화 기법을 이용한 오피스용 3차원 프린팅 시스템을 개발하고 실험하였다.

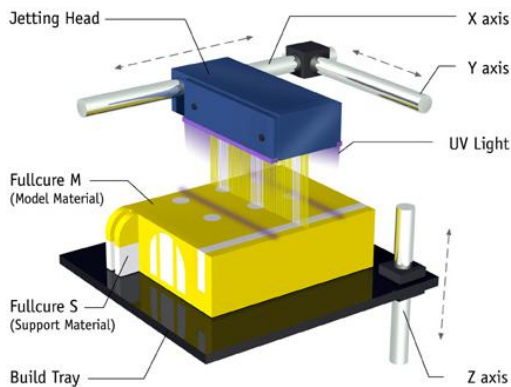


Fig. 1 Poly jet 3D printing Method

## 2. UV 경화를 이용한 3차원 프린팅 시스템

UV 경화를 이용한 3차원 프린팅 기법은 그림 1과 같은 poly jet 방식으로 평평한 플레이트 바닥면에 CAD로부터 추출된 3차원 입체 형상에 대한 단면을 photopolymer resin으로 프린팅을 한 후 그 위에 UV 램프를 이용하여 경화를 하고 다시 그 위에 다음 층의 단면을 프린팅 한 후 경화를 시켜 쌓아 올라가는 방법이다. UV 경화를 이용한 3차원 프린팅 기법은 파우더 기반에서 접착액의 프린팅을 통한 3차원 프린팅 기법에 비해 그 강도가 우수하고 후처리 공정이 존재하지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 제작된 3차원 형상물의 기계적 구동성을 구현 할 수 있어 최근의 SFF system 시장에서 크게 각광을 받는 기술이다. 하지만 UV 경화 시스템의 경우 photopolymer resin의 높은 점성으로 인해 피에조 프린트 헤드 시스템을 사용해야 하며 이는 장비의 구조적 복잡함과 기술적 어려움으로 나타난다.

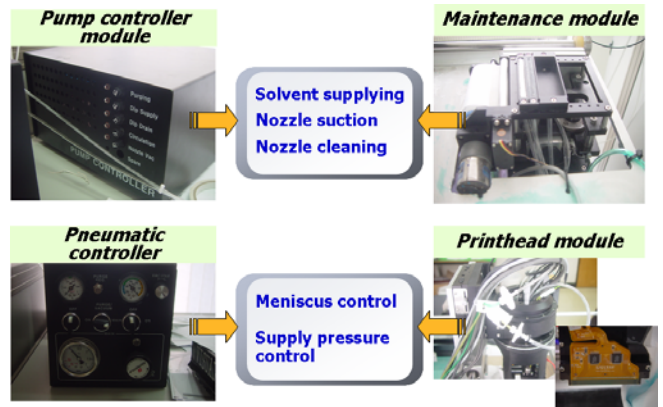


Fig. 2 System utility modules



Fig. 3 2head SFF system using UV curing method

UV 경화를 이용한 3차원 프린팅 기법을 적용한 SFF 시스템의 경우 피에조 헤드를 사용하기 때문에 공압 제어 장치와 헤드 제어 장치를 포함한다. 또한 헤드 표면의 메니스커스를 유지하기 위하여 분사 드랍 측정 장치와 분사량 조절을 위한 AWG(Arbitrary Waveform Generation) 제어 장치를 포함 하였다.

그림 2는 시스템의 각 구성부를 나타낸다. 공압 조절 장치를 통해 photopolymer resin이 피에조 효과에 의해 분사 될 수 있도록 노즐 관내에서 메니스커스를 유지하도록 컨트롤 된다. 그림 3은 2개의 프린트 헤드로 구성된 SFF 시스템을 나타낸다. 헤드 양쪽 측면에 각각 UV 램프를 부착하여 프린팅 후에 바로 경화가 일어날 수 있도록 구현 하였으며 헤드 표면 측정을 위한 카메라 시스템을 추가 하였다.

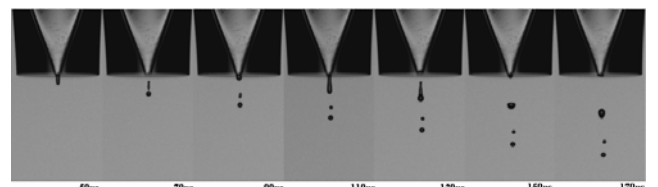


Fig. 4 Single drop jetting experiment

## 3. 실험

3차원 형상물을 제작하기 위해서는 기본적으로 프린트 헤드로부터 photopolymer resin의 분사량을 조절하고 그에 따른 특성을 분석 하여야 한다. 그림 4는 싱글 노즐의 전압에 따른 분사 실험을 수행한 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 실제 싱글 드랍은 입력 파형에 의해서 발생되는 메인 드랍 이외에도 발생되는 새틀라이트 드랍이 존재한다. 따라서 멀티 노즐의 경우 노즐 막힘 현상이라든지 드랍량의 불규칙적인 요소가 발생하는 현상

이 나타난다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점의 해결 방안으로 멀티 노즐에 대해 랜덤 프린팅 기법을 적용하였다. 이는 각 레이어의 프린팅 마다 헤드노즐을 랜덤하게 쉬프트 시켜서 불량 노즐에 대해 혹은 불규칙적인 드랍양에 대해서도 안정적인 프린팅 표면을 가지는 효과를 보여준다. 그림 5는 랜덤 프린팅 기법을 나타낸다.

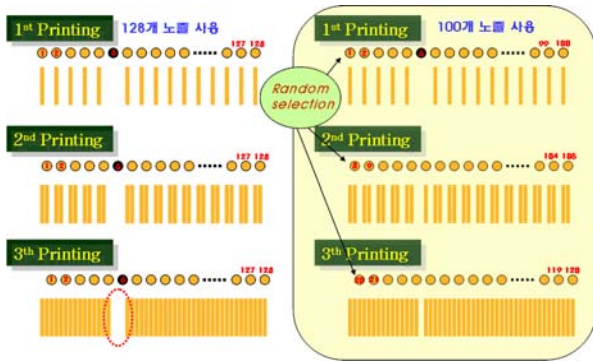


Fig. 5 Random printing method

시스템에 사용된 헤드의 경우 헤드당 128개의 노즐을 가지고 있으며 이중 100개의 노즐을 프린팅에 사용하고 28개에 대해 랜덤하고 쉬프트 시켜 프린팅 하는 방법을 구현 하였다.

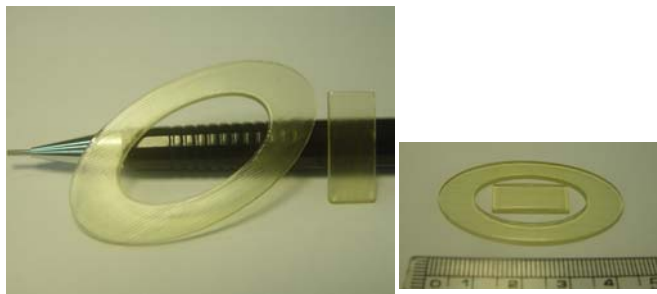


Fig. 6 Fabricated 3D part

Table 1 Fabrication condition

Print Head	Spectra SL 128 (max. 90pl)
Jetting voltage	140V (Max.)
Rising & Duration Time	5us
Delay Time	6.5us
Photopolymer Resin	Fullcure720(Objet)
Printing Speed	20sec/layer
Printing Resolution	600x1600dpi
Roller Contact	1회/왕복프린팅
Layer Thickness	20um
Layer Count	60layer

그림 6은 제작된 3차원 형상 모델을 나타내며 제작 조건은 테이블 1과 같다. 앞선 싱글 드랍 실험을 통해 결정된 최대 분사량의 조건으로 140V의 피에조 공급전압과 5us의 rising, duration time, 6.5us의 delay time의 펄스 파형이 결정 되었다. 프린팅 스피드는 한 레이어당 약 20초 정도가 소요되었으며 프린팅 분해능은 600x1600dpi로 프린팅하였고 왕복 프린팅당 롤러로 표면에 압력을 가하여 각 레이어당 20um의 두께를 가지도록 구현하였다.

제작 결과 3차원 입체 형상물은 잘 제작이 되었으나 느린 속도로 인해 약 30분의 제작 시간 동안 1.2mm 정도의 높이를 보였다. 이는 시스템은 2헤드로 구성되었으나 임의의 3차원 형상물을 얻기 위해서는 하나의 빌드 재료와 다른 하나의 서포트 재료로 분사를 해야 하기 때문에 실제로는 싱글 헤드로 형상물을 제작해야 했고 레이어 두께가 약 20um로 정밀하기 때문에 그에

따라 나타난 결과라 볼 수 있다.

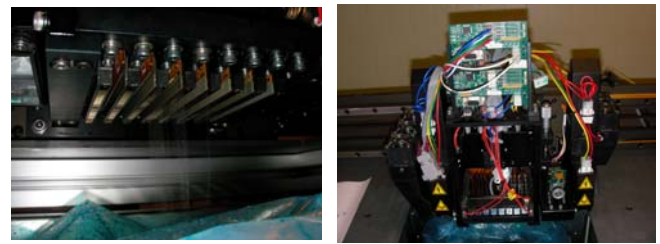


Fig. 7 8 heads 3D printing system

UV 경화 기법을 이용한 3차원 프린팅 기술은 적층 높이가 상당히 작기 때문에 서포트, 빌드 프린팅 헤드를 각각 멀티로 구현을 하여야 한다. 그림 7은 8개의 헤드를 이용하여 구성된 멀티 프린트 헤드 시스템을 나타낸다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 UV 경화 기법을 이용한 3차원 프린팅 기술을 구현한 SFF 시스템을 개발 하였다. 2개의 피에조 헤드를 이용하여 구성하였으며 헤드는 약 140V의 전압과 각각5us, 6.5us의 rising time과 delay time을 가지는 분사 펄스 입력에서 최대의 분사 드랍양을 나타내었다. 또한 레이어 적층 방식에서 불량 노즐에 대한 3차원 입체 형상 제작의 오차를 없애고자 랜덤 프린팅 기법을 적용하여 실제 3차원 형상물을 제작하였다. 현재 시스템은 2개의 헤드로 상당히 느린 속도로 제작이 가능하나 차후 4개 혹은 8개의 헤드를 통해 서포트와 빌드 헤드를 각각 멀티로 구현하여 실험을 할 계획이다.

#### 후기

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

#### 참고문헌

1. Terry T. Wohlers, "Wohlers Report 2003" Wohlers Associates, 2003.
2. X. Yan and P. Gu, "A review of rapid prototyping technologies and systems," Compute Aided Design, Vol. 28, No. 4, pp. 307~318, 1996.
3. C.C. Chang, "Rapid prototyping fabricated by UV resin spray nozzles," Rapid Prototyping Journal, Vol. 10, No. 2, pp. 136~145, 2004.