

# 오피스용 SFFS(Solid Freeform Fabrication System) 기술 개발

이원희, 이택민, 김동수 | 한국기계연구원

## 1. 서 론

기존의 쾌속조형 또는 3차원 조형시스템 등이 개발되어 시장에 진입한지 이미 10년의 세월이 지났으며, 그 동안 다양한 공정기술 및 재료기술의 개발을 통해 시스템의 성능 또한 많이 개선되어져 왔다. 최근에는 기계적, 열적 강성을 가지는 복잡한 형상의 제품을 빠르고 쉽게 제작 할 수 있음에도 불구하고, 아직 장비의 활용도는 일부 분야에 국한 되어져 있다. 이는 근본적으로 대부분의 장비의 크기가 대형이며 설치 환경 자체가 독립된 공간을 필요로 하고 있을 뿐만 아니라, 시스템의 가격이 고가(50K\$ ~ 1000K\$)이다 보니 일반 개인이나 사무실에서 쉽게 구입하여 다양한 분야에 적용하기가 어렵기 때문이다<sup>[1]</sup>.

그러므로 본 연구에서는 일반 가정이나 사무실 환경에서 복사기처럼 쉽게 사용할 수 있도록 시스템을 아주 작게 설계하였으며, 제작 시간을 줄이기 위해 멀티 헤드를 부착하여 병렬로 작업함으로써 해서 1~3 시간 이내로 단축시키고자 한다. 또한 기존 장비 최저 가격의 30~40%선에서 보급할 수 있는 오피스용 SFFS(solid freeform fabrication system)를 개발하고자 한다.

SFFS 기술은 기본적으로 설계된 제품 형상의 기하학적인 복잡성이나 반복성에 전혀 구애 받지 않으며, 그 어떤 임의형상도 조형이 가능한 장점으로 과거에는 제품의 설계단계에서 시제품 제작을 통한 형상을 검증하는데 주로 사용되어져 왔다<sup>[1]</sup>. 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 오피스용 SFFS는 기계적인 부품제작 뿐만 아니라 일상생활에서 사용되는 각종 액세서리 제작, 미술품 제작, 의학 분야에서의 치아 제작 등의 다양한 분야에 활용 가능하다<sup>[2][4]</sup>.

본 논문에서는 오피스용 SFFS의 기구부 설계 및 제어 시스템 구성에 대해 설명하고, 핵심기술인 ESD와 Piezo 헤드를 이용한 마이크로젯 기술에 대해 설명 하고자 한다.

## 2. 오피스용 시플레이터

오피스용 SFFS의 핵심기술 개발을 위해 시플레이터를 설계 및 제작하였다. 시플레이터를 이용하여 개발단계에서 요소기술의 성능시험을 수행하고, 시제품 제작에 활용하고자 한다.

### 2.1 기구부 설계

기구부는 실제 실물복제기의 성능과 밀접한 관계가 있으므로 각 유닛들이 독립적으로 속도 및 위치제어를 수행하는데 있어, 상호 간섭이 일어나지 않도록 설계 하여야 한다. 기구부는 메인 프레임과 두개의 림, 그리고 X,Y 스테이지로 구성되어져 있어 있다. 두개의 림 하단에 각각 스테핑 모터를 이용하여 빌딩룸(building room) 및 파우더룸(powder room)을 제어하도록 하였으며, X,Y축은 서보모터를 이용한 고속 위치 제어 시스템을 구성하였다. 또한 파우더룸에서 매 레이어 마다 일정량의 파우더를 빌딩룸으로 공급해 주기 위해 롤러장치를 추가 하였다. 롤러 장치는 직경 20mm 의 롤러에 감속 모터를 부착하여, 약 400rpm으로 회전하도록 설계하였다. 기타 액세서리 파트로는 마이크로젯 헤드의 세정제를 담고 있는 용액통과 헤드로 공급되는 접착용액을 보관하는 Binding chamber 그리고 임의형상 제작시 파우더룸 혹은 빌딩룸 주변으로 떨어지는 파우더를 모아주는 파우더 재생통(recycling box)이 하단부에 위치하도록 설계 하였다.

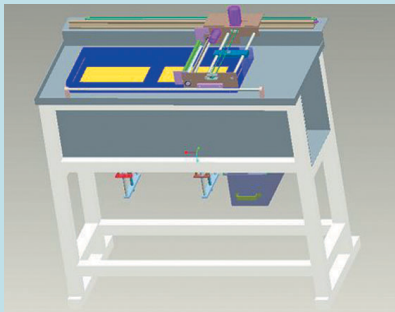


그림 1. 오피스용 시뮬레이터의 3차원 모델

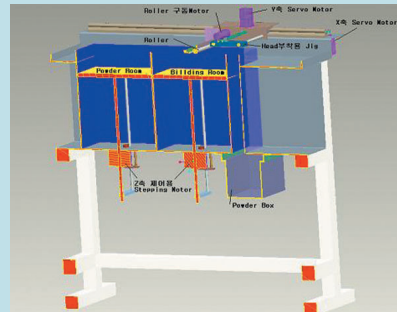


그림 2. 3차원 모델의 단면도

표 1. 오피스용 시뮬레이터의 기구부 사양

Items	Unit	Specifications
Work volume	(W×H×L)	300 × 400 × 300
Dimension	(W×H×L)	1,000 × 1,200 × 608
Roller Size	(mm)	Diameter : 20, Length : 320
X,Y축 구동 방식	-	Timing belt type
Z축 구동 방식	-	Ball screw type



그림 3. 오피스용 시뮬레이터 (좌: 시뮬레이터 기구부, 우: 제어부)

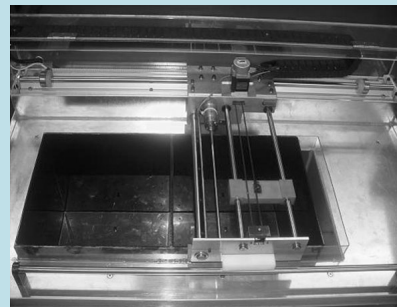


그림 4. 시뮬레이터의 상판 모습

## 2.2 제어 시스템 설계

오피스용 시뮬레이터의 제어 시스템을 그림 5와 같이 구성하였다. 시뮬레이터 시스템의 목적이 실물 복제기의 요소기술 개발을 위한 시험용 장치이므로, 각종 알고리즘 개발 및 제어부를 쉽게 업그레이드 할 수 있도록 MMC 보드를 이용한 PC기반의 제어시스템을 구축하였다.

MMC 보드는 로봇 자동화에 주로 사용되는 다축 제어 장치로서 PC에서 쉽게 액츄에이터를 제어할 수 있도록 인터페이스 시켜주는 장치이다. 본 연구에서는 서보모터와 스텝모터를 각각 2개씩 사용하였으며, 1개의 DC 감속모터와 8개의 근접센서를 이용하여 X,Y,Z 3축을 제어하였다. X,Y 이송 테이블에 마이크로렛 헤드를 부착시켜

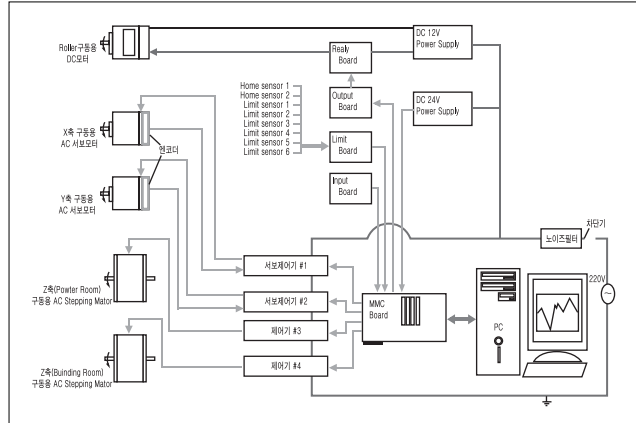


그림 5. 제어 시스템 개념도

고속, 고정밀 위치제어를 수행하게 된다. Z축은 한 레이어에서 작업이 완료된 후, 다음 레이어로 전환될 때 수십 미크론 정도의 위치 제어만 요구 되므로 볼-스크류 일체형 스텝 모터를 이용하였다. 마지막으로 롤러 구동용 모터에는 일반 DC 감속모터를 이용하여 제어 시스템을 구축하였다.

제어 프로그램에서는 축에 대한 기본적인 게인 튜닝과 리미트 스위치 지정 및 각 축별로 가감속 및 제어 모드 등을 설정할 수 있다. 주요 역할은 4축 위치제어를 수행하는데 있으며, 위치 제어에 필요한 궤적 데이터 생성은 그래픽 S/W인 Rapidform의 Slicing 데이터로부터 얻을 수 있다<sup>[3]</sup>.

## 2.3 시뮬레이터 전용 그래픽 S/W

오피스용 실물복제기의 시뮬레이터를 정밀하게 제어하기 위해서는 S/W기능이 중요하다. 3D 스캐너 또는 CAD 파일을 시스템으로 읽어 들일 때, STL 파일 뿐만 아니라 DXF, CLI, SLI, SLC 등의 다양한 RP 포맷을 지원한다. S/W의 주요기능으로는 3D Image를 재현하는 기본적인 기능과 3D 스캐닝 과정에서 발생할 수 있는 Noise 등에 대한 필터링 기능, 임의 오브젝트 추가, 삽입 기능 등이 있다. 또한 실물복제기에서 요구되는 조밀한 면으로 이루어진 일정한 두께의 닫힌 구조의 입체형상을 만들 수 있도록 임의의 두께를 지정할 수 있는 Thickening

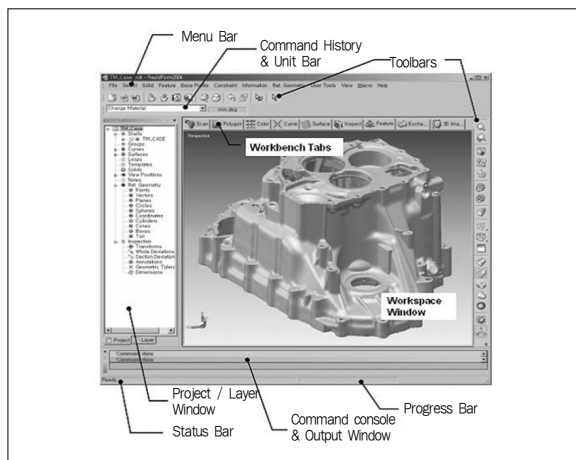


그림 6. Rapidform의 GUI 환경

기능과 실물복제기 제어를 위한 3D면 Slicing 기능이 가능

하다<sup>3)</sup>. 각 레이어 별로 Slicing 데이터를 가지고 궤적생성 프로그램인 RapidGen을 통해 궤적을 생성한 다음 최종적으로 오피스용 시뮬레이터의 X, Y, Z 축의 위치를 제어할 수 있다.

Thickening 명령은 두께를 가지고 있지 않은 입체 shell을 일정한 두께를 가진 입체로 만들어 주는 기능임. 아래의 그림은 골프 헤드에 적용한 예를 보여주고 있다.

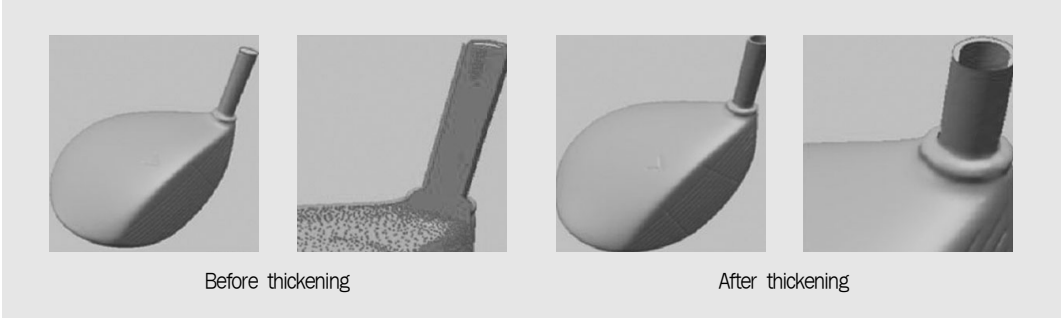


그림 7. Thickening 명령 사용 예

임의 형상 제작의 정확성과 효율성은 작업 공간 내에 물체의 배열 방식에 많이 좌우 된다. 어떻게 제품을 배열을 할 것인가에 따라 작업 시간이나, 가공 후 그 품질이 달라지는데, 명확한 선택은 제품의 높이를 낮추는 것이 가공 시간을 줄일 수 있는 방법이다. 그러므로 작업영역을 정의할 수 있을 뿐만 아니라, 그 공간 내에 다 수의 제품을 효과적으로 배치할 수 있는 기능이 요구된다. 아래의 그림은 손, 머리, 뼈 등의 크기가 다른 3가지 물체를 Work volume 기능을 이용하여 최적 배치한 결과를 보여주고 있다.

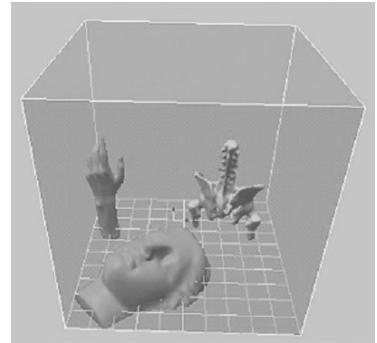


그림 8. Work volume 명령 사용 예

Slicing 기능은 단면을 이루는 축인 Z축을 따라 원하는 두께만 큼씩 Slicing 할 수 있는 기능이며, Slicing 두께는 제작품의 정밀도 및 제작 시간과 밀접한 관계가 있으므로 주의해서 결정해야 한다. 단면을 나누고 그 단면 데이터를 Text 파일로 저장하여, 제어 시스템에서 궤적생성에 사용된다.

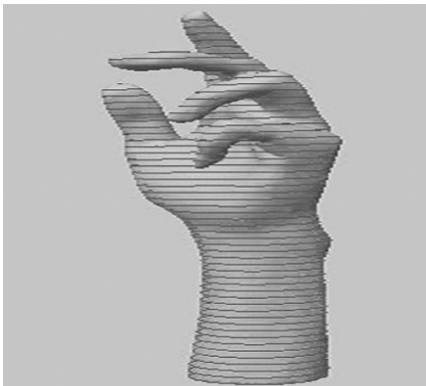


그림 9. Slicing 된 물체

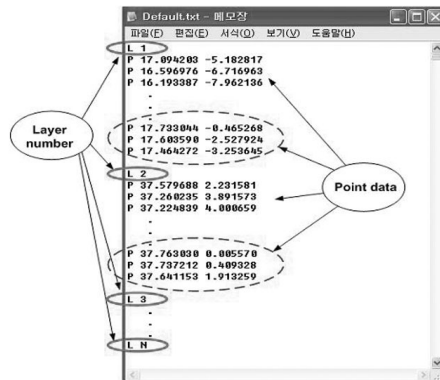


그림 10. Slicing된 파일 구조

### 3. 마이크로젯 기술

오피스용 SFFS의 가장 핵심기술은 빌딩룸의 파우더에 선택적으로 접착용액(binding material)을 분사하는 마이크로젯 헤드이다. 본 연구에서는 마이크로젯 헤드로 ESD(electro static deposition)를 이용한 Mask-jet 과 Ink-jet 프린터에 널리 사용되는 상용 Piezo 헤드를 이용한 Piezo-jet을 각각 사용하고자 한다.

#### 3.1 Mask-jet

Mask-jet은 일반 프린터에 사용되는 Thermal-jet이나 Piezo-jet 방식이 아닌 ESD를 이용한 새로운 개념의 분사 시스템이며, 그림 11에 개념도를 나타내었다. 상부에 ESD 또는 SAW-ED(surface acoustic wave with electrospray deposition)를 장착하여 분사원(jetting source)으로 사용하고, 하부 노즐 앞에 초 미세 단일 홀을 뚫은 마스크를 부착한다. 그리고 마스크에 나노 액츄에이터를 부착하여 X, Y축으로 마스크를 제어함으로써 임의형상 패터닝을 구현하는 기술을 말한다. Mask-jet을 이용할 경우 나노 정밀도를 가지는 초 미세 부품까지도 가능할 것으로 기대된다<sup>[5]</sup>.

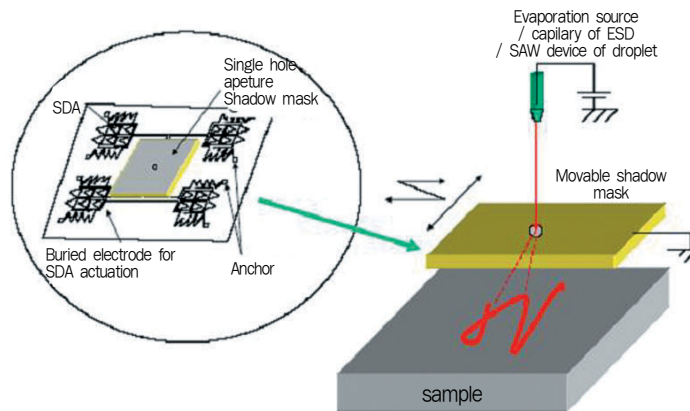


그림 11. Mask-jet의 개념도

#### 3.2 Piezo-jet

Mask-jet기술 개발과 병행하여, 현재 주로 프린터에 널리 사용되고 있는 Piezo를 이용한 Inkjet 프린터 헤드에 저 점도의 접착용액을 이용하여 실험을 수행하였다. 본 실험의 목적은 잉크에 비해 상대적으로 점성이 높은 접착용액을 기존의 잉크젯 헤드를 이용하여 분사 할 수 있는가를 확인하는데 있으며, 가능할 경우 오피스용 SFFS의 X,Y 스테이지에 부착하여 임의형상 제작에 활용할 계획이다. 그림 12는 실험에 사용된 Piezo type의 Inkjet 헤드의 구성도이며, 하단부에 한 줄로 64개의 노즐이 배치되어져 있으며, 분사를 위한 Piezo 액츄에이터가 각 분사 챔버의 한쪽 면에만 설치되어져 있는 Side shoot 형태의 분사헤드이다. 그러나 헤드의 집적도를 높이기 위해 Piezo 액츄에이터를 앞, 뒤 면에 나누어 배치하였다. 그리고 표 2에 Piezo 헤드의 구체적인 사양을 제시하였다.

표 2. Piezo 헤드의 사양표

항 목	단 위	사 양
Number of nozzle	-	64
Nozzle pitch	mm	0.677
Nozzle diameter	$\mu\text{m}$	60
resolution	dpi	400
Frequency	kHz	6
Linear velocity	m/s	4
Drop velocity	m/s	6~12
Voltage level	V	65~80
Drop volume	pl	240

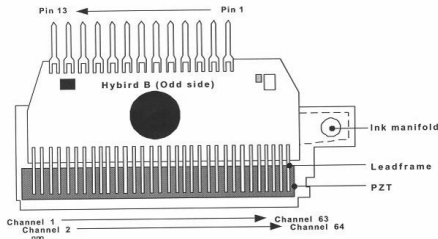


그림 12. Piezo type Inkjet 헤드의 구성도

실험에 사용된 분사헤드의 시험 장치는 그림 13과 같다. 본 실험에서 사용한 접착용액의 점도는 13 mPa·s 이며, 표면장력은 33 mN/m 이다. Piezo 헤드의 분사 주기는 6kHz로 설정하였으며, 모든 노즐이 동시에 분사되도록 하였다.

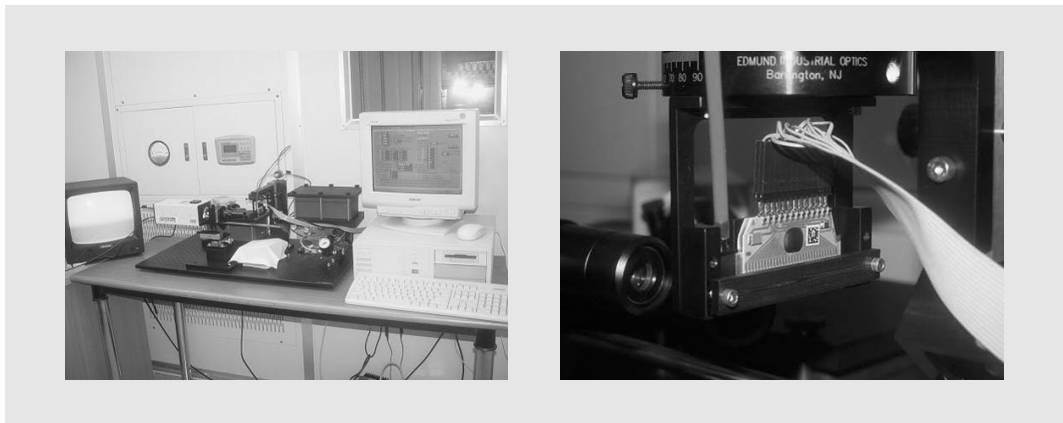


그림 13. Piezo 헤드 분사 시험장치

그림 14. 실험에 사용된 Piezo 헤드

Piezo 방식의 헤드를 시험한 결과를 그림 14~15에 나타내었다. 그림 14는 10 $\mu\text{s}$  간격으로 고속CCD카메라로 8 회에 걸쳐 한 프레임에 담은 결과이다. 시험결과 드롭의 속도는 약 5 m/s 임을 확인하였다.

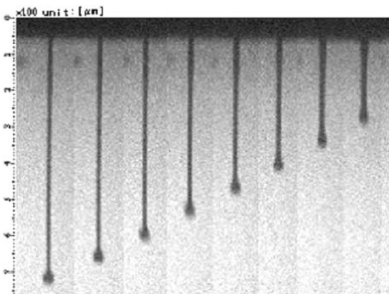


그림 15. 접착용액 시험결과(10 $\mu\text{s}$ 간격)

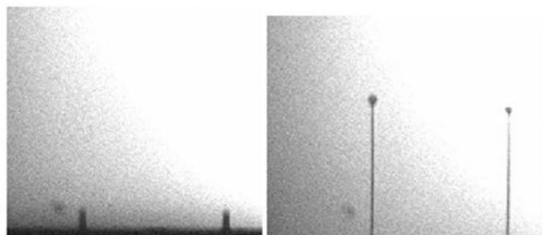


그림 16. 접착용액 시험결과(90 $\mu\text{s}$ 간격)

Piezo type의 헤드에 저 점성의 접착용액을 공급하여 시험한 결과 디지털 3차원 실물복제기에 적용 가능할 것으로 생각 된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 현재 개발 중인 디지털 3차원 실물복제기의 한 부분인 오피스용 SFFS 개발을 위한 전 단계로 오피스용 시뮬레이터를 개발하였다. XY 스테이지의 서보제어 및 각종 제어실험 등의 요소기술을 시뮬레이터에 적용시켜 부분적인 성능시험을 수행할 수 있도록 구성하였다. 향후, 오피스용 시뮬레이터에 Piezo-jet 헤드와 Mask-jet 헤드를 장착하여, 임의형상을 제작 해 보고자 한다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부의 “디지털 3차원 실물복제기 요소기술 개발” 과제 지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] “디지털 3차원 실물복제기 개발” 산업기술개발사업 연구기획보고서, 산업자원부, 2002.
- [2] 김동수, “디지털 3차원 실물복제기 개발”, 산업기술개발 사업계획서, 산업자원부, 2002.
- [3] 배석훈, “Rapidform2004”, 아이너스기술, 2003.
- [4] McGurk, M., Airnis, A. A., Potamianos, P., and Goodger, N.M., “Rapid Prototyping Techniques For Anatomical Modelling In Medicine”, Ann, Royal Coll. Surgery Engl, 79, 167-174, 1997.
- [5] B.Kim, B. Otter, J. Sanderink, M. Smithers and J. Brugger, “Dry lift-off patterning on fragile surfaces using MEMS shadow masks”, EUROSENSORS XIV, Denmark, 2003.



이 원 희

· 한국기계연구원 첨단산업기술연구부 연구원  
· 관심분야 : SFFS, Microjet, MEMS  
· E-mail : ellbin@kimm.re.kr



이 택 민

· 한국기계연구원 첨단산업기술연구부 선임연구원  
· 관심분야 : Manufacturing, MEMS, Microjet, Machining, FA, IMS  
· E-mail : taikmin@kimm.re.kr



김 동 수

· 한국기계연구원 첨단산업기술연구부 사업총괄책임자  
· 관심분야 : 실물복제기, Microjet, Microvalve  
· E-mail : kds671@kimm.re.kr