

## 디지털 3 차원 실물복제기 시스템 및 공정기술 개발

김동수#, 이원희\*, 안영진\*, 장민호\*\*, 최경현\*\*\*

### Development of Digital 3D Real Object Duplication System and Process Technology

Dong Soo Kim<sup>#</sup>, Won Hee Lee<sup>\*</sup>, Young Jin Ahn<sup>\*</sup>, Min Ho Jang<sup>\*\*</sup> and Kyung Hyun Choi<sup>\*\*\*</sup>

#### ABSTRACT

Digital 3D Real Object Duplication System (RODS) consists of 3D Scanner and Solid Freeform Fabrication System (SFFS). It is a device to make three-dimensional objects directly from the drawing or the scanning data. In this research, we developed an office type SFFS based on Three Dimensional Printing Process and an industrial SFFS using Dual Laser. An office type SFFS applied sliding mode control with sliding perturbation observer (SMCSPO) algorithm for control of this system. And we measured process variables about droplet diameter measurement and powder bed formation etc. through experiments. In case of industrial type SFFS, in order to develop more elaborate and speedy system for large objects than existing SLS process, this study applies a new Selective Dual-Laser Sintering (SDLS) process and 3-axis Dynamic Focusing Scanner for scanning large area instead of the existing f lens. In this process, the temperature has a great influence on sintering of the polymer. Also the laser parameters are considered like that laser beam power, scan speed, and scan spacing. Now, this study is in progress to evaluate the effect of experimental parameters on the sintering process.

**Key Words :** RODS(Real Object Duplication System, 실물복제기), 3D Scanner(3 차원 스캐너), SFFS(Solid Freeform Fabrication System, 임의형상제작 시스템), MMJ(Multiple Micro Jet, 다중 마이크로젯), MSLS (Multi Selective Laser Sintering, 선택적 다중 레이저 소결)

#### 1. 서론

신제품 개발 과정에서 이루어지는 프로토타입의 빠른 제작 및 수정은 제품 개발기간 단축 및 제품의 시장경쟁력과 밀접한 관계를 가지고 있다

며, 1987년 미국의 3D Systems 사가 처음으로 SLA 제품을 시장에 선보인 이후 평균 18%의 고성장을 거듭하면서, 임의형상제작 장비(SFF: Solid Freeform Fabrication) 분야의 시장이 급속히 증가하고 있다.<sup>1</sup> 최근에는 3D CAD 파일을 이용한 임의형상 제작 뿐만 아니라 3 차원 형상의 물체를 신속하고 정밀

☞ 접수일: 2005년 9월 5일; 게재승인일: 2006년 2월 10일

# 교신저자: 한국기계연구원 정보장비연구센터

E-mail kds671@kimm.re.kr Tel. (042) 868-7152

\* 한국기계연구원 정보장비연구센터

\*\* ㈜솔루션닉스

\*\*\* 제주대학교 기계에너지시스템공학부

하게 스캐닝(Scanning), 네트워크를 통한 전송(Transfer), 복제(Duplication) 할 수 있는 복합기능의 임의 형상 제작 시스템에 대한 활발한 연구가 진행 중에 있다.<sup>1</sup> 또한 RP 기술의 발전에 따라 RP 공정에 적합한 재료 기술, CAD 데이터 생성기술, 공정기술 및 후처리 기술도 중요한 요소기술로서 연구되고 있다.<sup>1,2</sup> 임의형상제작 시스템은 제조 공정에 따라 SLA(Stereo Lithography Apparatus), SLS (Selective Laser Sintering), FDM(Fused Deposition Modeling), LOM(Laminated Object Manufacturing), LENS(Laser Engineering Net Shaping), 3DP(Three Dimensional Printing) 등으로 나뉘며 시제품의 설계검증 및 기능성 시험, 소량생산 등에 사용되고 있다.<sup>1,2</sup>

본 연구에서는 3D 스캐너, 임의형상제작 시스템 및 네트워크 등의 복합기능을 가지고 있는 디지털 3차원 실물복제기를 제작하였다.

오피스용 디지털 3차원 실물복제기(RODS)는 턴테이블(Turn Table)을 이용한 3D 스캐너 시스템과 3DP 공정기술을 이용한 오피스용 임의형상제작 시스템으로 구성하였다. 오피스용 SFF 시스템은 임의형상의 모델을 저가격, 고속 제작이 가능하도록 3 개의 프린터 카트리지를 사용하여 900 개의 노즐을 동시에 제어하였다. 그리고 공정 실험을 통해 기존의 3DP 공정기술 분석하였다.

산업용 디지털 3차원 실물복제기는 로봇을 적용한 3D 스캐너 시스템과 SLS 공정을 채택한 산업용 SFF 시스템을 구축하여 각각의 요소기술과 공정기술을 개발하였다. 산업용 SFFS 는 대면적의 실물복제가 가능하도록 기존의 SLS 공정에 사용되고 있는  $f\theta$  렌즈 대신 3축 다이내믹 초점 스캐너(3-axis Dynamic Focusing scanner)를 사용하여 산업용 SFF 시스템을 제작하였다. 또한 폴리아미드 파우더(polyamide powder)를 출발원료로 선정하여 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 소결실험을 통해 소결특성을 고찰하였다.

## 2. 광학식 3D 스캐너 시스템

### 2.1 오피스용 3D 스캐너 시스템

오피스용 3D 스캐너 시스템(ARX)은 Fig. 1 과 같이 4축 시스템, ㈜솔루션닉스의 광학식 3D 스캐너, 시스템 제어와 측정 데이터로부터 3 차원 데이터를 획득하는 소프트웨어로 구성된다. Table 1은 측정에 사용된 광학식 스캐너와 4축 시스템의 사양을

Table 1 Specifications of ARX system

Items	Specifications
Scanning area (mm <sup>2</sup> )	150×110
Scanning distance (mm)	340
Measurement time (sec)	5
Resolution (pixels)	1280×960~1600×1200
Degree of freedom	4
Weight (kg)	40
Size (mm <sup>3</sup> )	564 × 1083 × 450

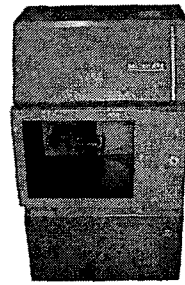


Fig. 1 ARX System

각각 나타내었다. ARX의 이동부는 1축의 수직 이동과 3축의 회전 이동이 가능하도록 구성되어 있으며 측정 시 사각(dead angle)을 최소화 하여 측정물의 모든 면을 측정할 수 있도록 설계 하였다.

#### 2.1.1 자동 측정 구현

자동측정을 위해서는 측정 시 측정 대상물의 가려지는 부분이 최소화 되도록 측정 경로와 위치를 결정해야 한다. 또한 측정 된 데이터는 자동으로 정렬되어야 한다. 본 논문에서는 시뮬레이터(simulator) 안에서 측정 경로(scanning path)를 쉽게 생성하고, 4축 시스템이 측정 경로에 따라 자동 측정 할 수 있도록 시스템을 구현하였다.

Fig. 2는 자동 측정 시스템의 전체적인 흐름을 나타낸다. 이렇게 획득된 측정 데이터는 품질 검사(quality inspection), 리버스 엔지니어링(reverse engineering), FEM 등 다양한 용도로 활용될 수 있으며, 본 연구에서는 임의형상제작 시스템에 적용하였다.

#### 2.1.2 측정 경로 생성 및 데이터 획득

측정 경로의 생성은 측정 대상물의 크기와 형

상에 따라 측정 경로를 생성하고 편집할 수 있도록 하였다. 측정된 데이터들을 정렬하기 위해 측정 대상물의 형상정보나 이송부의 위치 정보를 이용하는 방법이 있지만 정밀도가 낮기때문에 상대적으로 정밀도가 높은 마커 정렬(marker registering) 방법을 이용하였다. 여기서, 마커의 위치정보는 측정 데이터 정렬의 기준값으로 사용된다. Fig. 3(a)와 같이 측정 대상물을 고정하기 위해 제작된 지그 부분에 마커들을 부착하고 Photogrammetry 장비를 사용하여 각 마커들의 정밀한 위치 정보를 얻어낸다. Fig. 3(b)는 Photogrammetry 장비를 사용하여 획득한 마커들의 위치정보를 나타내며, 측정 시 함께 획득된 마커 정보를 이용함으로써 데이터를 자동 정렬하게 된다. Photogrammetry 장비는 사진 측량을 통해 3 차원 데이터를 획득할 수 있는 장비로 2m × 2m 영역을 측정할 경우 정밀도가 50um 정도의 오차를 갖는다.

Fig. 4는 본 연구에서 개발된 소형물 자동 측정 시스템을 이용하여 측정한 후 불필요한 데이터를 제거하고 병합한 결과를 보여주고 있다. 본 연구에 사용된 치아의 경우 총 14 회의 측정으로 전체 측정이 완료되었으며 측정 시간은 8 분으로 매우 빠른 시간 내에 측정 결과를 얻을 수 있었다.

**2.2 산업용 3D 스캐너 시스템**

산업용 3D 스캐너는 ㈜솔루션닉스의 비접촉식 광학 스캐너인 Rexcan 460 과 로봇을 이용하여 3 차원 실물 자동측정 시스템을 구축하였다.

본 시스템은 로봇과 스캐너를 비롯한 하드웨어와 이를 제어하고, 자동으로 정렬된 3 차원 데이터를 획득하는 소프트웨어로 구분된다. 시스템에 사용된 로봇은 SAMSUNG FARMAN AW 1.0 이며, 로봇 전용 컨트롤러인 MMC 보드를 사용하여 구성하였다. Table 2 와 Table 3 은 Raxca 460 과 FARMAN AW1.0 의 사양을 각각 나타내며, Fig. 5 는 스캐너와 로봇으로 구성된 측정자동화 시스템이다.

**2.2.1 로봇시뮬레이터의 측정경로 생성**

산업체에서 측정하고자 하는 측정대상물의 대부분은 CAD 데이터를 가지고 있다. 본 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 CAD 데이터 포맷인 IGES, STEP, STL, OBJ 등을 활용하여 측정경로를 생성할 수 있다. 자동측정을 위해서는 로봇의 좌표계, 스캐너 좌표계 그리고 측정대상물의 좌표계를

Table 2 Specifications of optical 3D scanner

Items	Specifications
Measurement area (mm <sup>2</sup> )	300 × 225
Scanning distance (mm)	690
Measurement type	Structured lighted method
Texture mapping	24bit Gray
Resolution (pixels)	1392 × 1040
A light source	Halogen lamp
Size (mm <sup>3</sup> )	450 × 347.5 × 80

Table 3 Specification of robot

Items	Specifications
Repeatability (mm)	± 0.1
Degree of freedom	6
Load mess (kg)	125
Power (KVA)	1.6
Arm length (mm)	1339
Weight (kg)	125

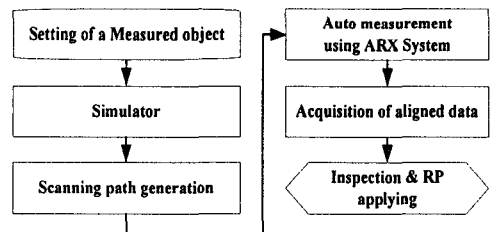


Fig. 2 Block diagram of auto measurement process

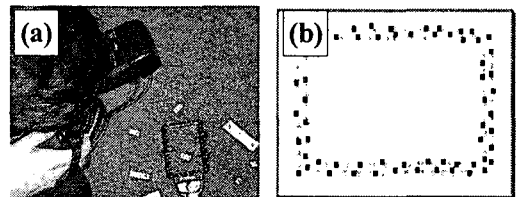


Fig. 3 Marker setting and the obtained marker frame

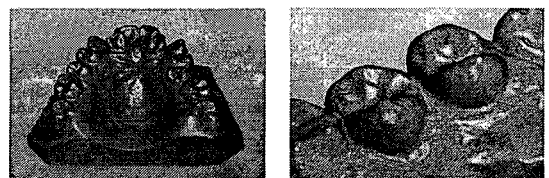


Fig. 4 The merged data after auto scanning

일치 시켜 스캐너에서 측정된 결과가 로봇 좌표계를 기준으로 자동으로 정렬되어야 한다. Fig. 6 은 자동 측정 시스템의 전체적인 흐름을 나타내며, 획득된 로봇의 이동 경로는 시뮬레이션 과정을 거쳐 충돌, 간섭 등이 배제된 완전한 경로로 수정된다.

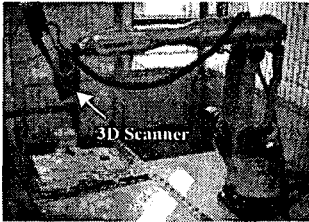


Fig. 5 Robot control and auto scanning

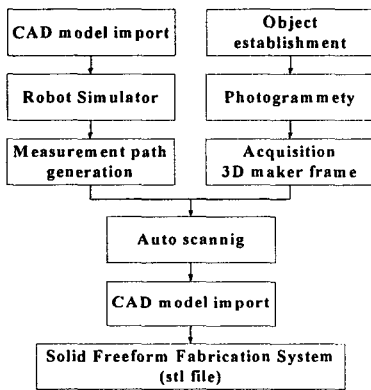


Fig. 6 Block diagram of auto scanning system

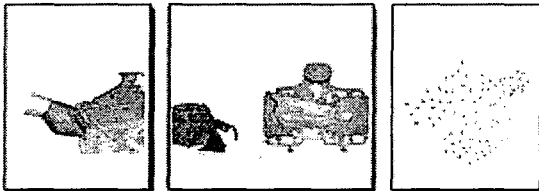


Fig. 7 Acquisition marker frame using Photogrammetry

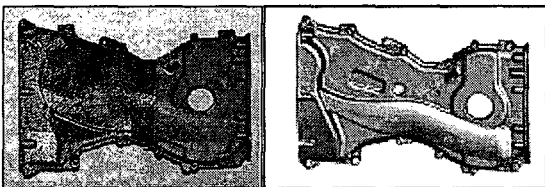


Fig. 8 Result of auto scanning data

### 2.2.2 마커프레임 및 데이터 획득

측정 대상물의 형상 정보나 로봇 좌표계를 이용하여 정렬할 수도 있지만, 측정 정밀도를 만족시키기 위해 본 연구에서는 각각의 측정 데이터를 정렬하는 방법으로 Fig. 7 과 같은 Photogrammetry 시스템을 적용하였다. 로봇과 스캐너의 치수정보를 이용하여 좌표계를 동기화시킨 후 로봇을 수동으로 제어하여 측정대상물의 임의의 위치를 측정한다. 이렇게 획득된 데이터로부터 각 좌표계가 동기화 되면 CAD 데이터를 기준으로 생성된 측정 경로를 따라 로봇이 이동하면서 측정을 하게된다. Fig. 8 은 측정된 결과를 나타내며, 동기화된 좌표계를 이용하여 CAD 데이터 상에서 측정 위치에 따른 결과를 바로 확인할 수 있다.

## 3. 오피스용 임의형상 제작 시스템

### 3.1 3DP 공정

오피스용 SFF 시스템은 3DP 공정 기술을 기반으로 개발되었다. 3DP 공정이란, Fig. 9 와 같이 파우더 위에 임의형상의 최하위 단면정보를 2 차원 프린팅 하고, 프린팅 된 단면 위에 다시 일정량의 파우더를 적층한 뒤, 다음 레이어에 해당되는 단면 정보를 프린팅 함으로써 3 차원 형상을 제작하는 공정을 말한다. 파우더 베드 위에 프린터 헤드를 통해서 잉크대신 저점성의 접착제를 분사하게 된다. 그러나 사용되는 접착재료가 프린터 헤드를 통해서 분사되기 위해서는 물에 가까운 극 저점성일 수밖에 없어, 접착된 부분 또한 높은 강도를 기대하기 어렵다. 따라서 제작완료 후 3 차원 구조물에 순간접착제를 이용하여 외각부분을 코팅함으로써, 외부 형상을 보다 단단하게 할 수 있다.

### 3.2 프린터 헤드

본 연구에서는 저점성의 접착제를 분사할 수 있는 써멀 버블젯(Thermal bubble jet) 방식의 프린터헤드를 사용하였다. 써멀 버블젯 방식의 프린터헤드는 챔버 또는 노즐 내에 히터를 설치하고 절연시킨 다음, 히터에 순간적인(2~5um) 펄스를 가하여 히터의 온도를 270~310℃ 정도로 높여 줌으로써 챔버 또는 노즐 내에 순간적으로 버블을 형성하는 방식을 말한다.<sup>2</sup>

본 연구에서는 HP 45 시리즈의 프린터헤드를 사용하였고, Table 4 에 사양을 나타내었다. HP45

프린터헤드는 하나의 카트리지가당 300 개의 노즐을 가지고 있어, 다수의 헤드를 사용할 경우, 고속 프린팅이 가능하다. Fig. 10 은 본 연구에 사용된 프린터헤드를 나타낸다.

Table 4 Sepecification of print head system

Items	Specificatons
Nozzle diameter (um)	40
The number of nozzles	300/cartridge, total 900
The number of cartridges	3EA (Max 12EA)
Printing width	0.5inch/cart., total 1.5inch
Resolution (um)	42.3 (600×600 dpi)
Communication port	Ethernet, RS-232C, DIO

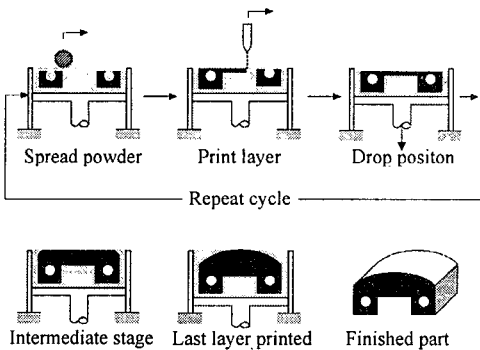


Fig. 9 The sequence of operation in 3DP<sup>2</sup>

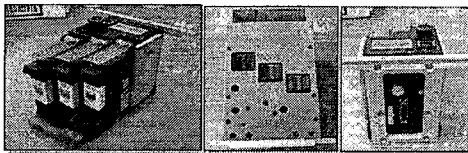


Fig. 10 The structure of print head system

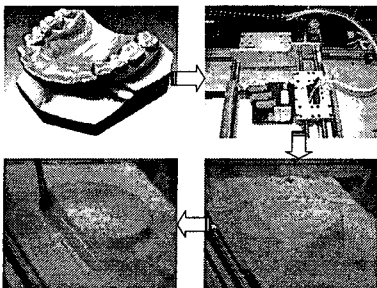


Fig. 11 The fabrication process of the 4<sup>th</sup> specimen

제어장치는 INCJET사의 IMAGER를 사용하였으며, 오피스용 SFF 시스템에서 접착액을 프린팅 할 수 있도록 프린터 시스템을 통합 하였다.<sup>3</sup>

### 3.3 임의형상 제작 실험

개발된 오피스용 SFF 시스템을 이용하여 시제품 제작 실험을 수행하였다.<sup>4</sup> 1 차 시제품 제작에서는 레이어 두께를 300um 로하고, 프린팅 분해능은 600×600dpi, 펄스시간(Fire pulse length)를 2us 로 설정하여 드롭렛의 직경이 약 55um 인 조건에서 실험을 수행하였다. 실험결과 레이어 두께에 비해 상대적으로 바인더의 분사 량이 너무 작아 표면에 만 경화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 그 결과 각 레이어 사이에 비접착 영역이 존재하게되어 층 분리 현상이 발생하였다. 레이어 두께가 작으면 작을수록 제품의 정밀도 및 단차현상을 줄일 수 있기 때문에, 2 차 시제품 제작 실험에서는 레이어 두께를 50um 로 설정하고, 그 외 조건은 1 차 실험과 동일한 조건에서 실험하였다. 첫 번째 레이어에서 프린팅을 하고, 다음 레이어의 파우더 베드를 생성하고 2 차 프린팅을 하는데까지는 순조롭게 진행 되었으나, 3 차 파우더 베드를 생성하는 과정에서 롤러에 의해 Z 축으로 가해지는 압력의 영향으로 기 제작된 하부 구조물의 붕괴 현상이 발생하였다. 그리고 레이어 두께를 100um, 드롭렛 직경을 80um, 프린팅 분해능은 동일하게 600×600dpi 로 설정하여, 재 실험을 수행하였다. 2 차 실험에서 3 차원 구조물 제작에는 성공하였으나, 길이 방향으로 약 1.3 배 늘어나는 현상이 발생하였다. 이는 프린팅 분해능과 엔코더 펄스가 일치하지 않아 발생된 문제이며, 1, 2 차 실험에서 사용된 엔코더 펄스는 463ppi(pulse per inch) 이나, 프린팅 분해능은 600dpi(300 or 600 dpi 선택가능)로 설정하였다. 3 차 시제품 제작 실험에서는 치수 변형을 방지하기 위하여 엔코더 펄스를 300dpi 로 낮추고 프린팅 분해능 또한 300dpi 로 설정하였다. 그리고 분사량을 최대(100um)로 하였으며, 그 외 조건은 2 차 실험과 동일하게 하였다. 실험결과 치수 변형은 없으나, 600dpi 에서 300dpi 로 낮추므로 인해 상대적으로 분사량이 적어 결합력이 약해졌다. 이는 레이어들간의 층 결합은 가능한 정도였으나, 프린팅 분해능이 낮아지면서 드롭렛들 간의 간격이 넓어 매우 약하게 결합되었다. Fig. 11 과 같은 4 차 시제품 제작에서는 오피스용 3D 스캐너

시스템에서 스캐닝된 치아 형상의 모델을 제작해 보았으며, 실험조건은 다음과 같다. 레이어 두께를 100 $\mu$ m, 분사량 제어 요소인 펄스시간을 5 $\mu$ s, 드롭렛의 직경을 100 $\mu$ m, 레이어 횡수를 340 회, 제품크기 70 $\times$ 55 $\times$ 34mm, 프린팅 분해능을 600 $\times$ 600 dpi 로 설정하였다. 4 차 시제품 제작에서는 엔코더를 교체하여 엔코더 펄스를 630ppi, 프린팅 분해능을 300 에서 600dpi 로 올리고 동일한 영역 내에 바인더 분사 량의 증가로 3 차원 치아형상 구조물이 이전 실험보다 많이 단단하게 제작 되었다. 그리고 Fig. 12 와 같이 후처리 또한 시제품의 손상 없이 깨끗 하게 처리 할 수 있었다.

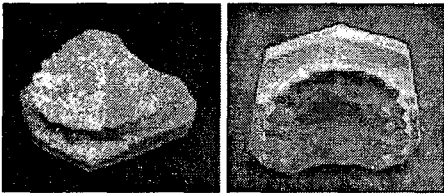


Fig. 12 The 4<sup>th</sup> specimen

#### 4. 산업용 임의형상제작 시스템 개발

##### 4.1 산업용 임의형상제작 시스템

산업용 임의형상제작 시뮬레이터는 Fig. 13 과 같이 파우더의 공급 및 이송을 담당하는 기구부, 파우더의 예열을 위한 히팅부, 워크룸의 질소분위기를 형성하기 위한 질소 공급부, 듀얼레이저를 구현하기 위한 레이저부, SFF 시스템의 모든 장치를 제어하기 위한 제어부 등으로 구성된다. SLS 의 공정에서 폴리아미드 파우더를 사용하여 레이저 소결을 할 경우 파우더의 예열을 위해 150 $^{\circ}$ C 이상의 빌드룸 온도와 184 $^{\circ}$ C 정도의 소결온도가 요구된다.<sup>5</sup>

파우더의 적층방법으로는 롤러의 역회전을 통해 파우더를 고르게 적층하는 롤러 메카니즘을 적용하였다. SLS 공정을 위한 히터부는 Fig. 14 와 같은 복사열을 이용하여 빌드룸과 피드룸의 파우더를 예열하는 히터 시스템을 선정하였다. 그리고 히터부의 정확한 제어를 위해 PID 제어방법을 적용하여 1 $^{\circ}$ C 이내의 온도제어가 가능하도록 히터부를 제작 하였다. 레이저부의 경우 Fig. 15 와 같이 듀얼 레이저(dual laser) 소결방식을 구현하기 위해 최적의 레이저 헤드 유닛을 설계하였고, 듀얼레이저를 이용하여 500 $\times$ 800 $\times$ 500(mm<sup>3</sup>, W $\times$ D $\times$ H) 크기의 시제

품을 제작할 수 있도록 레이저부를 3 축 다이내믹 초점 렌즈를 이용하여 제작하였다. Fig. 16 은 본 연구에 사용된 레이저부의 개략도로 레이저 엔진, 스캐너, 빔 익스팬더, 반사거울 등으로 구성된다. 레이저 헤드에서 조사되는 레이저 빔의 직경 (1/e<sup>2</sup>)은 1.8mm $\times$ 0.2mm 이므로, 소결을 위한 레이저 빔의 스팟

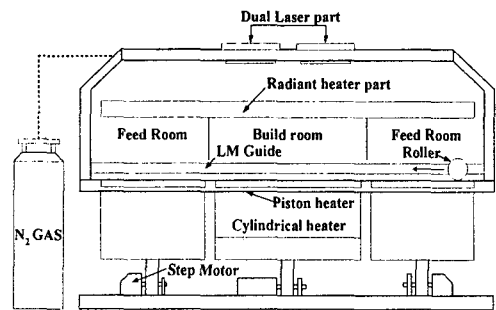


Fig. 13 Schematic diagram of industrial SFF system

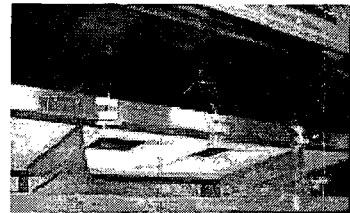


Fig. 14 Radiant heater part for SLS process

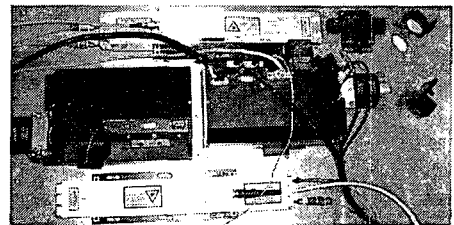


Fig. 15 Dual laser system

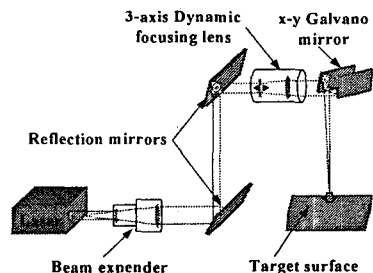


Fig. 16 Schematic diagram of laser part

크기(spot size)인 500um 를 얻기 위해 조사되는 레이저 빔의 직경을 빔 익스팬더를 이용하여 증가시켰다.

**4.2 폴리아미드 파우더의 소결 변수 실험**

CO<sub>2</sub> 레이저의 파장은 10.6um 로 레이저 소결 공정에 사용되는 폴리머(polymer)는 대부분 C-C 또는 C-O 결합으로 이루어져있으며, 조사된 광의 파장이 10um 근처인 경우 진동이 급격하게 증가 하면서 용융된다.<sup>6,7</sup> 소결 변수 실험을 위해 사용된 출발원료로 Table 5 와 같은 물성을 가지는 폴리아미드 파우더를 사용하였고, Fig. 17 에 제품 제작을 위한 SLS 공정의 전체 흐름을 나타내었다. 먼저 질소 주입을 통해 95% 이상의 질소 분위기를 조성한 후 빌드룸과 피드룸의 파우더 표면의 온도를 각각 제어한다. 그 후 파우더의 적층과 CO<sub>2</sub> 레이저 빔의 조사를 반복하여 다층의 임의 형상을 제조하게 된다. 폴리아미드 파우더의 소결을 위해 Table 6 과 같이 워크룸의 온도, CO<sub>2</sub> 레이저의 조사 간격, 조사 속도, 레이저 빔 파워를 변수로 하여

Table 5 Specification character of polyamid powder

	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Particle size average(um)	Melting point (°C)
Polyamide powder	0.59	58	184

Table 6 Test condition of sintering variable

Variables	Test condition	Results
Temperature (°C)	150~165	155~160
Scan speed (m/s)	1~10	3.5~10
Layer thickness (mm)	100~150	100
Scan space (mm)	0.1~0.5	0.3~0.5
Laser power (Watts)	10~20	12~18

Table 7 Sintering condition of specimens

Variables	The 1 <sup>st</sup> specimen	The 2 <sup>nd</sup> specimen
Temperature(°C)	165	165
Scan speed(m/s)	5	6
Layer thickness(mm)	100	100
Scan space(mm)	0.3	0.3
Laser power(Watts)	15.4	17.2

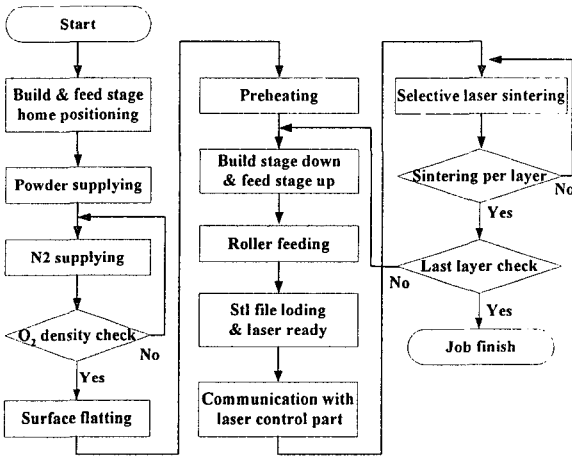


Fig. 17 Block diagram of SLS process

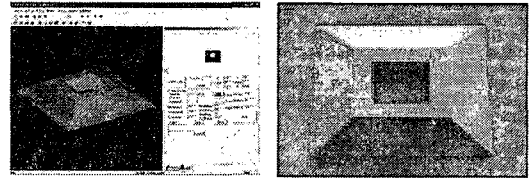


Fig. 19 The 1<sup>st</sup> fabricated sample from CAD data

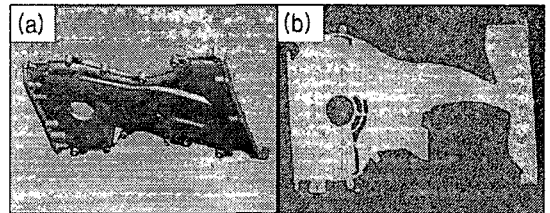


Fig. 20 The 2<sup>nd</sup> fabricated sample from scanning data

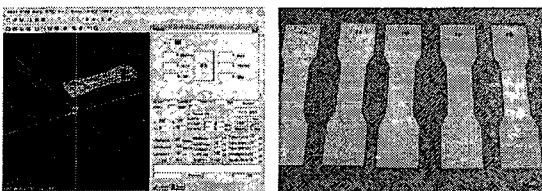


Fig. 18 Fabricated specimens for variable test

동일한 형상을 가지는 시편에 대해 소결 변수 결정 실험을 반복 수행하였다. Fig. 18 은 간단한 CAD 모델을 이용하여 소결 변수 실험을 한 후 제작된 샘플들을 나타낸다. 소결 변수 실험을 통하여 얻은 변수값들을 이용하여 Fig. 19 와 같은 1 차 모델을 제작하였다.

또한 Fig. 20(a)에서 보여주는 것과 같이 3 차원 스캐너에 의해서 스캐닝 된 임의형상에 대한 STL 파일을 산업용 SFF 시스템으로 전송하여 Fig. 20(b)에 보여주는 것과 같이 2차 모델을 제작하였다. 그러나 산업용 3D 스캐너 시스템으로부터 스캐닝 된 이미지의 메시(mesh) 데이터가 조밀하지 못하였기 때문에 형상의 일부가 정확하게 제작되지 않았다. 따라서 3 차원 임의형상에 대한 STL 화일의 정확도를 높이고 임의형상제작 시스템의 정밀도를 높이기 위해서 지속적인 실험이 요구된다.

### 5. 결론

본 논문에서는 3D 스캐너와 오피스용 SFF 시스템, 산업용 SFF 시스템을 제작하여 각각의 핵심요소기술을 파악하고 공정기술을 개발하였다.

3DP 공정 기반의 오피스용 SFF 시스템은 구동 펄스 길이에 따른 드롭렛의 직경을 측정하여, 물러 및 이송속도 등의 변수에 따라 파우더베드의 표면 상태 측정실험을 수행하였다. 또한 임의형상 제작 실험을 수행하여 3 차원 구조물을 성공적으로 제작하였다. CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 산업용 임의형상제작 시스템은 각파트별 해석과 실험을 통하여 시스템의 요소기술을 개발하고 듀얼레이저와 다이내믹 초점렌즈를 이용하여 대면적의 실물복제가 가능한 시스템을 구축하였다. 본 연구를 위해 선정된 출발 원료인 폴리아미드 파우더와 3 차원 스캐너를 이용해 얻은 STL 데이터로부터 임의의 형상을 제작할 수 있는 네트워크 기반의 3 차원 실물복제 시스템을 도입하여 실물복제를 하였다.

### 후 기

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

### 참고문헌

1. Terry, T. Wohlers, “Wohlers Report 2003,” Wohler Associates, 2003.
2. Paul, A. Williams, “A New Process To Fabricate Prototypes Directly From CAD Model,” PhD. Thesis, MIT, pp. 2-3, 1990.
3. Kim, J. S., “The Control of SFFS in the Office Environment and It’s Integration,” PNU M.S. Thesis, pp. 35~39, 2004.
4. Lee, W. H., Kim, D.S. and Lee, M.C., “Development of a SFF System Based on Three Dimensional Printing Process,” Korean CAD/CAM conference, 2005.
5. James, C.N., “Selective Laser Sintering: A Definition of the process and an Empirical Sintering Model,” PhD Thesis, The Univ. of Texas at Austin, May 1993.
6. John, D.W. and Carl, R.D., “Advances in Modeling the Effects of Selected Parameters on the SLS process,” Rapid Prototyping Journal, Vol.4, pp.90-100, 1998.
7. Benda, J., “Temperature Controlled Selective Laser Sintering,” Proceeding of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Univ. of Texas at Austin, TX, Vol.5, pp.277-284, 1994.
8. Festa, R., Manca, O. and Naso, V., “A Comparison between Models of Thermal Fields in Laser and Electron Beam Surface Processing,” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.31, pp.99-106, 1998.
9. Badrinarayan, B., “Study of the Selective Laser Sintering of Metal-polymer powders,” PhD Thesis, The Univ. of Texas at Austin, December, 1995.
10. Chang, M.H., Yoo, H.W., “Development of measurement path setting automation techniques for Full 3D automated measurement,” Papers collection from 2nd Digital 3D Real Object Duplication System(RODS) Development Workshop, Korea Institute of Machinery and Materials, 2004.
11. Miller, D., Deckard, C. and Williams, J., “Various beam size SLS workstation and enhanced SLS model,” Rapid Prototyping Journal, Vol.3, No.1, pp.4-11, 1997.
12. Chua, C. K., Leong, K. F. and Lim, C. S., “Rapid Prototyping: Principles and Applications,” World Scientific Publishing, 2nd Edition, 2003.
13. Chen, K., “INTELLIGENT SCANNING IN SELECTIVE LASER SINTERING,” The Univ. of Texas at Austin, Ph. D. Thesis, 1998.
14. Kim, D.S., Lim, H.E. and Kim, S.J., “A Study on the industrial type SFFS using SLS Process,” KSPE Fall conference, pp.1299-1302, 2004.