

# SLS 공정을 이용한 산업용 임의형상제작 시스템에 관한 연구

김동수\*, 임현의, 김성종(한국기계연구원)

A Study on the Industrial Type SFF System using SLS Proecess

D. S. Kim(KIMM, Advanced Industrial Technology Dept.), H. E. Lim(KIMM) S. J. Kim(KIMM)

## ABSTRACT

A real object duplication system (RODS), including three dimensional (3D) scanner and solid freeform fabrication system (SFFS), is a device to make three-dimensional objects directly from the drawing or photo data. A Selective Multi-Laser Sintering (SMLS) process designed in this paper is by which computer images received using 3D scanner are built up from polymer powder on building room of large size using dual laser at industrial type SFF system. Using the process can rapidly produce real object duplication components of industrial type such as cylinder, engine block, chassis of automobile, etc. In this paper, the industrial type SFF system using SMLS process is manufactured and the system is satisfied with high precision and high speed processing technique. To research characteristics of each part for the industrial type SFF system, a structure and thermal analysis and test of each part is carried out. Also, to achievement of high performance for industrial type SFF system, design and fabrication for the structure, heater, nitrogen supply, laser and control part are carried out.

**Key Words :** Real Object Duplication System (실물복제기), Industrial Type SFF System (산업용 임의형상제작시스템), Selective Laser Sintering (선택적 레이저 소결)

## 1. 서론

인터넷의 발전과 함께 최근에는 글로벌 생산 체제가 확산되면서 서로 떨어진 지역간의 협업(collaboration)을 위하여 정보공유가 필수적인 조건이 되면서 3D 스캐너와 임의형상 제작시스템(SFFS)으로 이루어진 디지털 3차원 실물복제기에 대한 요구가 더욱 증대되고 있다.

산업용 임의형상 제작시스템(SFFS)은 산업현장에서 신제품 개발 과정에서 3D 형상을 신속하게 제작 및 수정을 할 수 있는 시스템을 말한다. 기존의 유사한 공정기술에는 LOM (Laminated Object Manufacturing), SLA (Stereo- lithography), SLS (Selective Laser Sintering) 등 여러 가지 방법이 있다. 그 중에서도 SLS 공정은 지지대를 사용하지 않고 분말가루를 적층하여 프로토타입을 만들 수 있다는 장점 때문에 많이 사용되고 있으며, SLA와 SLS는 가공정밀도와 정확도가 우수하다는 특징을 가지고 있으며, 오피스용으로 사용되는 3DP와 Objet은 다수의 헤드를 사용함으로써 제작 속도가 빠른 장점이 있

다. 본 논문에서는 산업용 임의형상제작시스템의 요소기술에 대해 설명하고자 한다.

## 2. 산업용 SFFS 구성요소

### 2.1 기구부

SLS는 컴퓨터 이미지가 부가적인 기구나 사람의 손을 이용하지 않고 분말가루(powder)로부터 구조물이 만들어지는 공정을 일컫는 말이다[1]. 이러한 공정을 만들기 위해서는 그에 상응하는 기구부가 설계되어져야 한다. 기구부는 Fig. 1에서 보여지는 것과 같이 피드(feed) 실린더의 z축 구동 메카니즘을 위한 스텝모터, 파트(building) 실린더의 z축 구동 메카니즘을 위한 스텝모터, 서보 모터를 이용한 수평운동과 롤러 메카니즘등으로 구성되어 있다. 여기서, 롤러 메카니즘은 롤러의 선속도, 회전속도, 공급비(feed ratio), 롤러 거칠기, 레이어 두께등과 같은 몇가지의 변수를 가지고 있으며 이에 의한 영향이 지배적이기 때문에 반드시 고려되어져야 한다.

## 2.2 히터부

히터부는 Fig. 2에서 보여지는 것과 같이 복사열을 이용하여 제작부의 온도를 일정하게 유지시켜주는 부분이다. 이부분의 온도는 아주 중요한 역할을 하게 되는데 설정온도보다 1도만 흔들려도 제작된 제품의 물성에 치명적인 영향을 미치게 되므로 고정밀 제어 알고리즘이 요구되어진다. 히터의 사양은 현재 판형 히터를 이용하는데, 넓은 면적에 복사열을 3℃의 오차범위에서 가열할 수 있는 것이 장점이다. 그리고, 출력은 6.6 kW급으로 피딩룸과 빌딩룸의 온도 제어를 따로 할 수 있도록 제작하였으며, 추후 온도 변화의 민감성에 대비할 수 있도록 빌딩룸내에서의 온도제어도 가능하게 제작하였다.

본 시뮬레이터는 100 - 150℃정도의 범위에서 온도를 제어하려고 한다. 이 온도는 레이저에 의해서 소결되는 폴리머 파우더의 유리전이온도 근방에 놓여있는 온도이다.

## 2.3 질소부

질소 공급은 시스템의 내부에서 레이저 소결시 발생할 수 있는 작은 폭발을 방지하기 위하여 사용되어지고, 또한 레이저를 보호해 주는 렌즈부의 청결을 유지하기 위하여 렌즈에 묻어있는 파우더를 제거해주는 역할을 한다.

레이저 소결시 발생할 수 있는 작은 폭발을 방지하기 위하여 소결을 시작하기 전에 내부에 질소를 투입하여 95%질소와 5%산소의 비율을 맞추어 준 후에 작업을 시작할 수 있도록 하여야 한다. 즉, 이러한 조건이 맞지 않는다면 소결이 되지 않는 부분에서의 그을음 현상이 나타나 시제품에 많은 영향을 끼치게 된다.



Fig. 1 Step motor, LM Guide, Roller mechanism of structural part



Fig. 2 Heating system of Industrial type SFFS

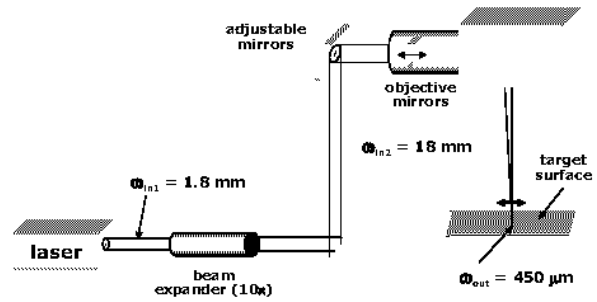


Fig. 3 Schematic diagram of laser system

## 2.4 레이저부

레이저부는 Fig. 3에서 보여지는 것과 같이 스캐너, 스캔반경(SCR), 스캔시간(SP), 스텝크기(SS), 갈바노미러(또는 베리어스캔), 빔확장기(beam expander), 레이저 엔진부, 스폿크기(spot size)등으로 구성되어 있다.

본 시스템에 적용된 Fig. 3의 개략도를 보면 기존에 사용되고 있는 f $\theta$  렌즈가 아닌 다이내믹 초점렌즈를 사용하는 것을 볼 수 있다. 이는 대면적에 레이저를 조사할 시에 발생하는 레이저의 찌그러짐 현상을 렌즈의 초점거리의 변화를 이용하여 방지하기 위한 것으로 기존 장비와의 차별을 시도하였다. 레이저의 출력은 50W급으로 CO2 타입의 레이저를 사용하였다. 이는 파우더와의 반응성이 우수하기 때문이다. 또한, 펄스타입에 비하여 파우더에 가해지는 충격이 적으므로 소결시 외부로의 충격을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문이다.

## 3. 파우더 소결 실험

### 3.1 실험조건

레이저를 이용하여 파우더를 소결할 때 발생할 수 있는 여러 가지 변수에 대해서 알아보고, 국내에서 개발하려고 하는 파우더의 레이저 소결 여부를 판단하기 위하여 저렴한 비용으로 실험을 수행할 수 있는 간이 레이저 실험 장비를 개발하였다.



Fig. 4. Test apparatus using SLS process

Fig. 4의 산업용 임의형상 제작시스템은 틀러 메카니즘을 이용하여 소결용 파우더를 베드에 균일한 두께 (대략 150 $\mu$ m)로 펼친 후에 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 펼쳐진 파우더에 임의의 형상을 조사하고, 레이저 조사가 완료되면 동일한 방법으로 파우더 위에 새로운 파우더를 틀러 메카니즘을 이용하여 적층한 후 레이저로 조사한다. 이러한 반복적인 작업을 통하여 3차원 임의형상을 제작하는 것이다.

본 논문에서 수행하고자 하는 파우더가 적절하게 소결이 되는지 여부를 판단하기 위한 간이 실험을 수행할 수 있는 장비로서 다음과 같은 실험조건으로 실험하였다.

- 1) 습도는 100%, 온도는 상온
- 2) 8mA 정도의 레이저 파워 사용 (18W정도)
- 3) 틀러의 회전속도는 170 rpm
- 4) 틀러와 기구부 베드의 간격은 250 $\mu$ m (측정치)
- 5) DuraForm Polyamide 재활 파우더 사용

### 3.2 실험결과

이상과 같은 조건으로 SLS 공정을 이용하여 파우더의 소결 여부 및 소결시 발생할 수 있는 변수에 대해서 실험을 수행한 결과를 Fig. 5에서 보여주고 있다. 본 실험을 통하여 우리는 몇가지의 중요한 요소 및 공정기술을 확인할 수 있다.

Fig. 5에서 보이는 것과 같이 레이저로 파우더를 소결하게 되면 두 개의 물체가 반응하여 연소가스가 발생하는 것을 눈으로 확인할 수 있다. 이는 레이저가 상온에서 파우더를 소결할 때에 발생하는 그으름으로서 반드시 산소의 양을 적게하여 질소 분위기에서 작업을 해야만 한다는 것을 보여주고 있다. 또한, 이러한 그으름은 대기오염의 주범이 될 수 있기 때문에 대기로 보내질 때에 필터를 사용하여야 한다.

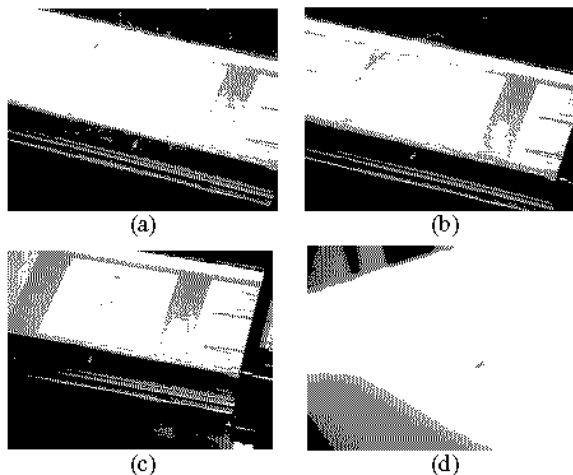


Fig. 5 SLS process of Industrial type SFFS

Fig. 5에서 (d) 공정 즉, 소결이 완료된 시점에서 의 형상을 보면 표면에 부드럽게 접착이 되어 있지를 못하고 하늘을 향해 형상이 올라가 있는 것을 확인할 수 있다. 이것이 소결시 온도와 주변온도의 차에서 발생하는 열변형인 것이다. 따라서, 레이저 소결시 상온이 아닌 소결시 발생하는 온도와 유사한 온도로 주변을 계속 유지해 주는 것이 중요한 파라미터가 될 수 있다는 것을 보여주고 있다.

## 4. 파우더 소결 정도 비교 실험

### 4.1 실험조건

레이저 소결실험을 통하여 발생된 몇가지의 파라미터를 적용하여 간이 실험장치를 수정/보완하였다. 우선, 온도에 의한 영향을 고려할 수 있도록 히팅장치를 부착하였고, 파우더의 소결시 발생할 수 있는 그으름을 방지하고 레이저 렌즈를 보호하기 위하여 질소를 투입하기로 하였다. 하지만 본 시스템은 현재 발생되고 있는 문제점을 완벽히 보완하여 제작하는데에는 많은 어려움이 따르기 때문에 최대한 유사한 형상을 모사한 것에 불과하다. 따라서, 이러한 파라미터에 의한 실험을 수행하기 이전에 이미 제작되어져 있는 파우더와 본 논문에서 개발한 파우더의 소결 정도 및 입자 크기에 대한 분석을 먼저 수행하였다.

Fig. 6은 히팅장치와 질소 투입구를 추가하여 수정/보완된 간이 실험장치의 사진이다. 그러나, 위에서 언급되었듯이 파라미터 실험을 수행하기에 앞서서 기존의 파우더 생산 업체인 3D System(미국), EOS INT(독일), 덕우(국내), 티오켄(국내개발업체)등에서 제조되는 파우더에 대한 소결 정도를 측정해 보았다.

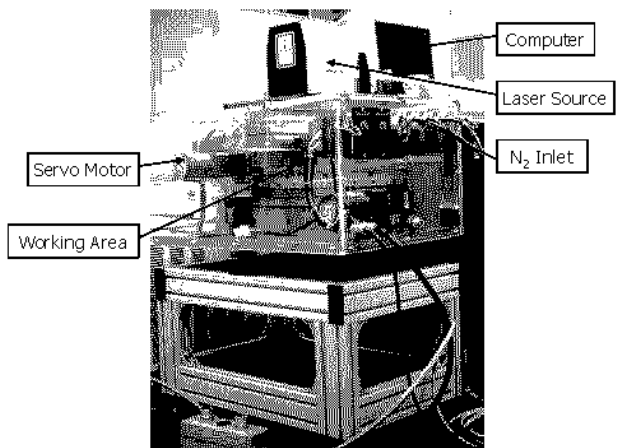


Fig. 6. Test apparatus using SLS process including heating system and nitrogen system

4개 회사의 파우더 실험 조건은 다음과 같다.

- 1) 이전 실험 조건과 동일
- 5) 4개 회사의 파우더를 사용
- 6) 레이저 렌즈를 보호하기 위하여 질소를 0.2 bar, 25 lpm 투입
- 7) 20 mm 원형을 소결하였으며 소결 간격은 0.5, 1, 1.5, 2, 3 mm 간격으로 제작 생성하여 소결

#### 4.2 실험결과

이상과 같은 조건으로 SLS 공정을 이용하여 4개 회사 3D System(미국), EOS INT(독일), 덕우(국내), 티오캠(국내개발업체) 파우더의 소결 정도를 확인할 수 있었다. 온도 조건이 중요하지만 동일한 상온의 조건에서 온도에 대한 민감성을 확인하기 위하여 상온을 사용하였다.

실험을 수행한 결과 3D System사의 파우더가 온도의 가장 민감하게 변형을 하였으며, EOS INT사의 파우더가 상온에서도 어느 정도의 형상을 유지하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 국내 개발 파우더인 티오캠 파우더의 경우 소결이 잘 일어나지 않는 것을 확인하였다.

Fig. 7은 본 논문에서 선정된 4개 회사의 파우더를 소결 간격 0.5 mm 에서 3 mm 까지 조건을 변경하면서 얻은 결과 사진이다. 또한, Fig. 8은 4개 회사의 입자를 분석한 분석표를 보여주고 있다. 본 그림에서 확인할 수 있듯이 동일한 폴리아미드 파우더인데도 소결되는 정도가 다르다는 것을 확인할 수 있다.

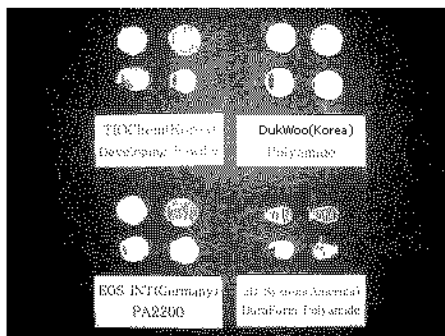


Fig. 7 Comparison of sintering condition

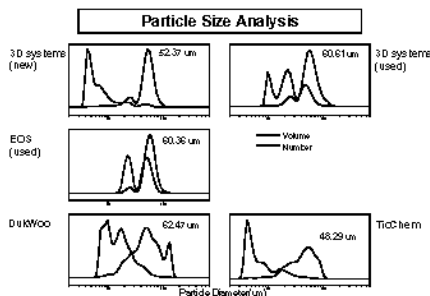


Fig. 8 Comparison of particle size

본 논문에서 사용되고 있는 4개 회사의 파우더에 대한 입자 분석을 수행해 본 결과 대략 60 um의 입자 크기를 보였으며 국내 개발 업체인 티오캠의 파우더의 경우 50 um정도로 입자 크기가 다소 작은 것을 확인할 수 있다. 또한, 파우더의 입자 크기 분포가 균일한 회사도 있고 불균일한 회사도 있는 것을 입자 분석표를 보면 알 수 있다. 이렇듯 파우더의 크기가 균일해야지만 반드시 소결이 잘 되는 것은 아니라는 결론을 얻을 수 있었으며, 입자 크기에 관해서는 레이저의 소결 조건과 파우더의 적층 두께등을 고려하여 자체적으로 최적화해 나가야 한다.

#### 5. 결론

산업용 임의형상 제작시스템은 대면적의 초기 대량물을 빠른 시간 안에 제작해봄으로서 설계자가 검토/평가하여 최적의 제품을 생산할 수 있도록 도와주기 위한 시스템으로서 이를 제작하기에 앞서 여러 가지 파라미터에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폴리아미드 파우더는 열적 변형에 민감한 반응을 보이기 때문에 빌딩룸에서의 제작 온도와 주변 온도와의 차를 최소한으로 해야한다.
2. 레이저와 파우더가 반응하여 발생하는 유독가스를 방지하기 위하여 산소량을 작업공간에서 최소량으로 해야 한다. 따라서, 질소 95%정도를 투입하여 질소환경 하에서 작업을 수행하면 소결시 유독가스의 양이 현저히 줄어들 것이다.
3. 국내외에서 개발되었거나 개발중인 파우더의 소결 여부를 실험해 본 결과 3D System사의 파우더가 온도의 가장 민감하게 변형을 하였으며, EOS INT사의 파우더가 상온에서도 어느 정도의 형상을 유지하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 국내 개발 파우더인 티오캠 파우더의 경우 18 W 정도의 레이저 파워에서 소결이 잘 일어나지 않는 것을 확인하였다.

#### 후기

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

#### 참고문헌

1. James, C. N., "Selective laser sintering ; a definition of the process and an empirical sintering model", Dissertation, University of Texas at Austin, 1993.