

# CO<sub>2</sub> 레이저에 의한 선택적 소결법

전 병철\*, 김 재도\*

## Selective Laser Sintering by CO<sub>2</sub> Laser

Byung-Cheol Jeon\*, Jae-Do Kim\*

### ABSTRACT

A prototyping process based on the technique of selective CO<sub>2</sub> laser sintering has been carried out using bronze powder. The integration of a CO<sub>2</sub> laser and a working table to create the opto-mechanical system has been constructed for making the multi-layer sintering. Three dimensional rapid prototyping process which has used the 40W CO<sub>2</sub> laser and bronze powder has been investigated experimentally. The optimal scanning method has been found to minimize the deflection and distortion by using the thermal strain method which the laser scans in the x and y directions repeatedly. The method of spreading powder has been improved by using the rubber knife of which the flexibility causes less wave of spreading powder.

**Key Words** : Rapid prototyping(쾌속조형), Selective laser sintering(선택적소결법), Laser(레이저)

### 1. 서 론

모든 기계산업 분야에 있어서 가장 중요하게 여기는 점은 빠른 시간 안에 품질이 우수하면서도 기능성이 뛰어난 제품을 제조하는 것이다. 따라서 모든 업체들은 과거에 비하여 R&D Cost에 회사의 이익을 보다 많이 투자하고 있다. 소비자의 다양하면서 빠른 기호 변화를 따라잡으면서 빠른 시간 동안에 새로운 제품을 제작하는 것에 회사의 운명이 달려 있다고 할 수 있다. 이러한 제품 디자인과 생산과의 연결고리 안에서 존재하는 것이 쾌속조형법이다. 쾌속조형법이란 컴퓨터에 의해서 모델링 되어진 3차원 형상을 일정 축을 기준으로 0.1mm 정도의 간격으로

잘라내고 이 2차원적인 평면을 가지고 점차적으로 쌓아 나가서 결국에는 3차원의 형상을 제작하는 방법이다. 기존의 쾌속조형법들은 단순히 보기 위한 것들을 만들어 왔다. 그러나 현재에 와서는 단순한 외관뿐만이 아니라 기능성과 일정한 강도를 가진 즉 실제 금형에 좀더 가까운 제품을 제작하는 것으로 쾌속조형법이 발전하고 있다.<sup>(1-7)</sup> 선진국의 경우 금형을 사용하는 거의 모든 회사들이 이 쾌속조형법을 이용하여 금형 제조에 활용함으로써 다른 업체와의 경쟁에서 보다 우월한 입지를 차지하고 있다. 그러나 이와같이 개발되어진 쾌속조형법들은 많은 이점이 있음에도 불구하고 크게 활용이 되지 못하고 있는 것이 우리나라의 현실이다. 즉 개발되어진 장비를 이용하려

\* 인하대학교 기계공학과

면 폐속조형품 제작에 필요한 모든 재료들을 같이 구매하여야 하므로 장비설치비 외에 재료비에 대한 부담이 더욱 커지는 것이 현실이다. 광경화성재료나 폴리프로필렌과 같은 분말들은 특허 문제로 인하여 모두 폐속장비 회사에서 구입해야 하며, 또한 레이저빔을 이용하기 위한 미러 조정장치 또한 특허로 묶여 있는 상황이다.<sup>(6-9)</sup> 이에 본 연구에서는 국내에서 구하기 쉬우며 산소에 의한 산화정도가 적은 Bronze(청동)분말을 이용하여 선택적 레이저 소결에 대한 연구를 수행하였으며 기존의 방법과는 달리 X-Y Table을 이용하여 전체적인 장비를 제작하였다. 기존의 미러조정장치를 이용하여 시작품을 제작하는 경우는 제품의 크기가 제한되며, 레이저의 초점에 대한 보정으로 인하여 제품 각 부분의 점도 및 강도 등이 달라지게 된다. 그러나 X-Y Table을 이용하여 제품을 제작하게 되면 제작되어질 제품의 크기에 제한이 없어지게 되며 보다 정밀한 제품을 제작할 수 있다. 선택적 레이저 소결을 이용하게 되면 기존의 가공방법에 있어서 필요한 Jig&Fixture가 필요 없게 된다. 즉 소결되어지지 않은 나머지 분말들이 Jig의 역할을 담당하게 되므로 복잡한 형상의 가공에 있어 RP시스템이 상대적으로 시간 및 비용을 절감할 수 있다. 이와 같이 금속재료를 이용한 소결법은 기능 패턴 이외에 프로토타입과정 뿐만 아니라 생산 단계의 제품까지도 제작이 가능한 장점을 가지고 있다. 현재의 폐속조형법의 이용 방법은 디자인 검증이나 조립 검증 등의 방법에 국한되어 이용되고 있는 실정이나 본 연구에서는 기능 테스트 (특히 열적, 기계적 성질), 공정 시험 등에 이용할 수 있는 폐속조형품을 제작하는 데 목적을 두고 있다.<sup>(10,16)</sup>

## 2. 선택적 폐속조형의 성형메카니즘

### 2.1 SLS의 원리

선택적 소결은 분말을 평면적으로 도포한 후 일정한 부위에 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 분말들을 소결하는 방법이다. 분말 소재를 나이프를 이용하여 도포한 후, CO<sub>2</sub> 레이저(에너지)를 열원으로 하여 분말을 녹여 하층과 용융하여 결합시킨다. 이것을 여러층 반복하여 원하는 원형 모델(prototype model)을 제작한다. 일반적인 소결방법은 분말에 가열을 한 후 일정 압력을 가하여 소결을 하게 되나 선택적 레이저 소결은 압력이 없는 상황에서 분말끼리 소결하여 접합하는 새로운 기술이다. 일반적인 소결은 분말입자끼리 압력과 온도에 의하여 둘러붙는 원리이지만

선택적 레이저 소결방법은 분말이 녹는 온도와 소결되는 온도 사이에서 각각의 분말들이 결합하게 되는 것이므로 일반적인 소결에 비하여 조금 다른 접합구조를 가지게 된다. 다시 말하면 분말끼리의 접합에 있어서 소결만이 아니라 용융되는 현상이 함께 존재하는 것이다.

외부의 압력을 받지 않는 상태에서의 소결은 분말 입자의 밀집성을 감소시킨다. 이에 대하여 Ashby<sup>(13)</sup>는 청동을 이용하여 완벽한 밀도에 접근하는 이론적인 소결 상태를 정의하였다. 또한 소결되기 위하여 레이저가 분말에 조사되는 시간도 밀집성에 매우 중요한 역할을 한다는 것을 알아내었다. 그래서 분말을 선택적으로 소결하는 방법에 있어서는 선처리 과정에서 분말에 균형적으로 열을 가하여 주는 것이 분말의 밀집성을 증가시킨다는 것을 알 수 있다. 또한 층과 층 사이의 접합을 위하여 분말에 국부적인 용융이 발생하거나 분말이 용융된 상태에서 접합되어야 한다. 첫번째 상태는 레이저에 의하여 조사된 에너지에 의하여 상층의 분말이 용융되어 기질 즉 하층부에 접합되는 경우이고, 두번째는 조사된 레이저의 에너지가 하층부의 분말까지도 용융할 수 있는 충분한 에너지가 공급되어 상층과 하층의 분말이 접합되는 경우이다. 첫번째 방법은 두 가지의 접합 가능성을 가지고 있다. 단순히 분말이 용융되어 열스프레이(thermal spray)와 같이 기계적인 힘으로 하층부에 접합되는 것과 소결 작용에 의하여 하층부의 안쪽 또는 위쪽에 용융 접합되는 것이다.

### 2.2 SLS의 변수

레이저 소결에 있어서 가장 중요한 변수는 Fig. 1에서와 같이 6개의 변수로 나누어진다. 첫번째로 중요한 변수는 레이저 빔이 조사되었을 때 분말에 얼마 만큼의 에너

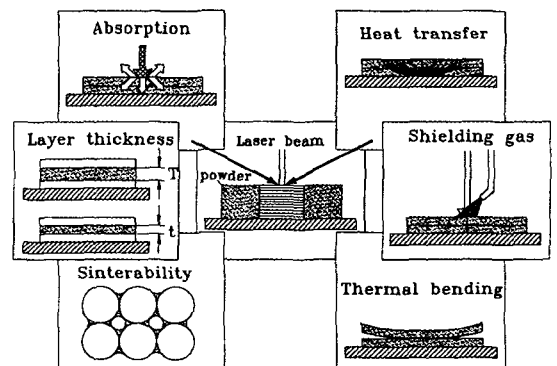


Fig. 1 Basic parameters of SLS

지가 흡수되어 소결이 되는 것인가 하는 것이다. 두번째는 흡수되어진 에너지가 어떻게 전달되어 상층의 분말과 하층의 분말이 결합되는 것인가에 대한 것이다. 이 두가지의 변수에 의하여 분말이 얼마나 잘 소결되는 지가 결정된다. 분말도포의 두께를 얼마나 할 것인가를 결정하는 것도 3차원 형상의 정밀도에 관계되는 중요한 변수이다. 네번째로는 보호가스량과 보호가스 분사방향을 결정하는 것과 분말의 소결성도 중요한 변수이다. 마지막으로 레이저의 조사 방향을 조정하여 열변형을 최소화하면서 3차원 형상을 제조하는 것이다. 이와 같은 레이저 소결 변수들간의 상호관계를 파악하여 가장 최적의 폐속조형품을 제작하는 실험을 실시하였다.

### 2.3 제조 장치의 구성

Fig. 2는 제조 장치를 개략적으로 나타내고 있으며, 구체적으로 장치의 구성 요소들을 살펴보면 다음과 같다.

#### 1) 금속 분말 공급장치

금속 분말을 일정한 두께로 도포하는 장치로 나이프(knife)와 롤러(roller)를 이용한다.

#### 2) Z축 플랫폼 조정 장치

일정한 높이만큼 플랫폼을 Z축으로 이동시키는 장치로서 플랫폼, 모터, 접촉 센서로 구성된다.

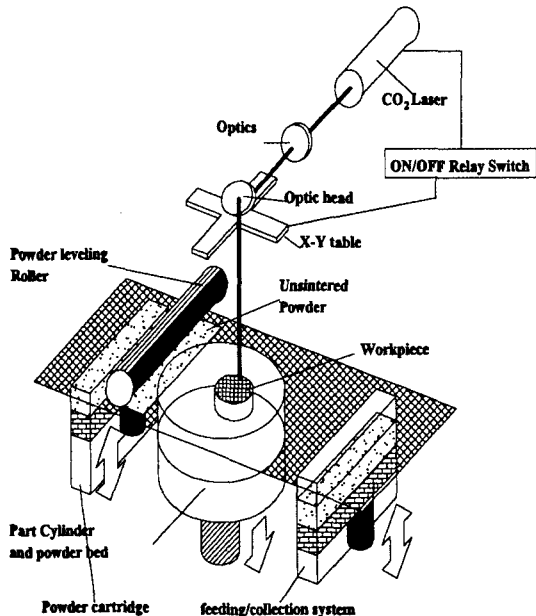


Fig. 2 Schematic diagram of selective laser sintering system

#### 3) CO<sub>2</sub> 레이저

TEM<sub>00</sub> 모드의 CW발진 형태를 띄고 있는 Sealed off DC Discharge방식의 40W CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하였다.

#### 4) X-Y 테이블

발생되어진 레이저 빔을 주어진 경로(path)에 따라 분말에 주사하도록 하는 장치로서, 두개의 전반사 미러와 한 개의 집속 렌즈를 X-Y테이블에 고정하여 금속 분말을 소결토록 하였으며, 금속의 소결 및 용융, 응고시 산화를 최소화 하기 위해 아르곤 가스를 분사 하였다.

#### 5) X-Y테이블 컨트롤러

X-Y테이블은 스텝 모터에 의하여 컨트롤되므로 PC의 LPT 포트를 이용하여 X와 Y의 양방향을 컨트롤 할 수 있는 보드를 제작하였다. 레이저를 단속할 수 있는 릴레이 스위치를 장착시켜 원하는 곳에서 켜지고 꺼지도록 하였다.

## 3 실험 재료 및 방법

### 3.1 실험 재료

실험에 사용된 금속분말은 Cu-Sn(청동)으로 청동은 원래 Cu-Sn을 기본으로 하는 합금의 명칭이었으나, 이외의 동합금 속에 청동이라고 칭하는 것이 있으므로 혼동되기 쉽기 때문에 Cu-Sn합금을 주석청동이라고 부르는 것이 바람직하다. 주석청동은 황동보다도 내식성이 좋고 내마모성도 좋으므로 10% Sn이내의 것을 각종 기계주물용, 기타 미술공예품 등에 사용하고 있다. 주석청동의 물리적 성질에서 비중은 순동에서 8.89, 20% Sn에서 8.85로 거의 변하지 않으며, 선팽창율도 순동이 16.8×10<sup>-6</sup>, 20% Sn청동이 18.7×10<sup>-6</sup>정도이다. 그러나 열전도도는 순동의 0.934cal/cm<sup>2</sup>/cm/sec/°C에서 10% Sn의 0.10cal/cm<sup>2</sup>/cm/sec/°C로 감소한다. 기계적인 성질은 600°C이하에서는 불균일한 조직을 가지나, 600°C이상에서 소둔하면 α단상이 되어 강도, 경도가 감소하고 연신이 증가하여 냉간 또는 열간가공도 할 수 있다.

### 3.2 실험 방법

Fig. 3은 본 제조 공정을 도식적으로 보여주고 있으며, 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

1단계: 나이프(knife)와 롤러(roller)를 이용하여 금속 분말을 일정한 두께(0.1mm)로 도포한다.

2단계: 도포된 금속 분말 표면에 레이저를 정해진 스캐닝 방법에 따라 주어진 층 형상으로 조사해 금속 분말을

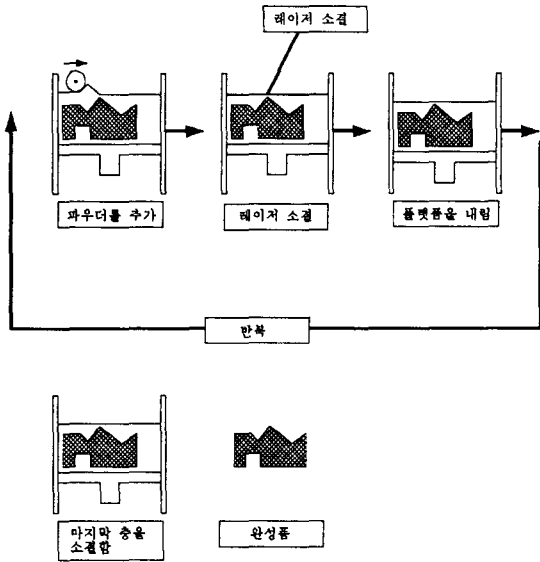


Fig. 3 Manufacturing process of selective laser sintering

소결시킨다. 이때, 금속의 산화를 억제하기 위하여 보호 가스(shielding gas)를 분사한다.

3단계: 이렇게 해서 한 층이 만들어지면, 일정한 높이(layer thickness)만큼 플랫폼을 내린다.

4단계: 1-3단계를 정해진 횟수만큼 반복한 다음, 플랫폼을 맨 처음 위치로 올리고 남아 있는 소결되지 않은 금속분말입자들을 제거하여 원하는 형상의 제품을 얻는다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 레이저 소결에 있어서의 보호가스의 영향

분말을 소결하는데 있어서 주위의 공기에 포함되어져 있는 산소, 습기 등은 분말의 소결을 방해하는 주된 인자이다. 산소와 습기 등은 분말과 반응하여 산화되거나 분말이 소결되지 못하고 타버리는 결과를 초래한다. 물론 완전한 진공의 상태에서 분말을 소결하는 것이 가장 좋을 것이나 장비를 제작하는 어려움이 있고 분말의 입자가 진공펌프의 필터를 막게되므로 진공의 어려움이 있다. 또한 레이저의 광학장비가 진공방안에 있어야 하므로 장치의 크기 또한 문제가 된다.<sup>(11,12)</sup> 이러한 문제를 해결하기 위하여 2가지의 대체 방안을 제시하여 실험을 실시하였다. 첫번째는 Fig. 4에서와 같이 소결되어지는 양단에 가스관을 일렬로 배치시킨 후 분말이 날리지 않을 정도의 가

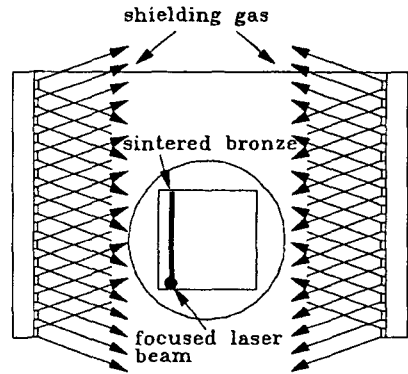


Fig. 4 Shielding gas system (bad type)

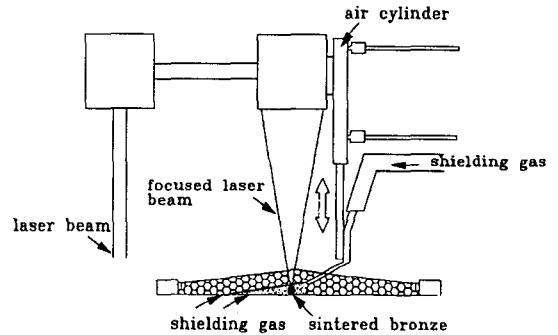


Fig. 5 Shielding gas system (good type)

스압으로 뿜어 주면서 실험하였다. 그러나 이와 같은 방법으로는 분말의 산화를 방지하지 못하였다.

두번째는 Fig. 5와 같이 집중된 레이저의 빔이 분말의 표면에 닿는 곳에 가스관을 설치하여 소결되는 방향으로 보호가스를 바로 불어주는 방법을 택하여 분말이 산화되지 못하도록 하였다. 두번째의 장치로 소결을 실험한 경우 전체적인 소결에 있어서 가장 좋은 소결이 되는 소결면을 얻을 수 있었다. 이 경우 사용한 보호가스는 순도 99.999(five nine)의 아르곤 가스를 이용하여 실험하였으며 분사되어지는 보호가스는 주위의 공기를 제거하면서 분말이 소결함에 있어서의 냉각을 돕는 작용을 한다. 보호가스를 집중점에 바로 분사하기 위하여 집속렌즈 옆에 공압실린더를 장착하여 레이저가 조사되는 순간에만 실린더가 아래로 내려가서 보호가스를 분사하도록 제작하였다. 보호가스 분사압력은 0.2~1.0kgf/cm<sup>2</sup>을 유지하면서 실시하였다. 가장 최적의 가스압은 0.5kgf/cm<sup>2</sup>이

있으며 0.6kgf/cm<sup>2</sup>이상의 압력에서는 분말들이 가스에 의하여 날리게 되므로 소결의 방해요인이 되고 0.4kgf/cm<sup>2</sup>이하의 압력에서는 소결이 진행되지 못하고 산화되는 결과를 나타내었다.

4.2 레이저 소결에 있어서 분말도포두께의 영향

레이저 소결에 있어서 분말은 일정한 두께로 도포되어야 한다. 만약 분말의 두께가 너무 두껍게 도포되면 분말의 상층과 하층이 소결되어 결합하지 못하게 되므로 최종적으로 두층이 벗겨지게 된다. 또한 너무 얇게 되면 결합에 있어서 문제는 발생하지 않으나 레이저의 에너지에 의하여 소결되지 못하고 용융되어지는 단점이 있다. 이에 가장 최적의 분말 도포 두께를 결정하는 것이 중요하다.<sup>(14-15)</sup>

일반적으로 패속조형에 있어서 가장 최적의 층간격은 0.1mm로 결정되어져 있다. 그러나 곡면이 아닌 형상에서 0.1mm라는 단위는 제작시간을 늘리게 되므로 각각의 모양에 따른 최적의 두께를 미리 산정하여 놓는 것이 전

체 제작시간을 줄이는 요소라고 생각된다. 실험 결과 레이저 소결된 한층은 0.1mm~0.2mm정도의 두께를 가지게 된다. 이에 상황에 따라 레이저의 파워를 적절하게 조절하여 조사하게 되면 제작시간을 단축하면서 훌륭한 소결체를 제작할 수 있다. 이 간격보다 크게 분말을 도포하게 되면 소결되어진 두 층사이에 잔여 분말이 존재하게 되어 층과 층이 결합하지 못하게 된다.

각층간을 결합하기 위하여 레이저출력을 10W에서 40W사이로 조정하고 X-Y테이블의 속도를 1m/min ~ 2.5m/min 사이에서 속도를 조정하여 가장 최적의 소결점을 찾고자 하였다. 실험 결과로서 가장 소결이 잘 되고 각층간의 결합이 잘 된 것은 표 1을 참고하여 레이저출력을 35W로 지정하고 X-Y테이블의 속도를 1.5m/min으로 하였을 때임을 알 수 있다.

4.3 레이저 소결에 있어서 분말도포 방식의 영향

분말을 얼마나 균일하게 도포하는가에 따라서 실험 결과가 달라지게 된다. 이에 분말도포 방식에 있어서도 다음의 두 가지 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 첫번째를 기존의 패속조형방식에서 많이 이용하고 있는 roller를 이용하여 분말을 도포 하는 실험을 실시하였다. 그러나 이 방법은 금속 분말과 금속의 roller가 서로 전자기적인 현상에 의하여 들러붙는 현상이 발생하여 Fig. 6(a)에서와 같이 도포되어진 표면이 심하게 굴곡을 이루게 되었다. 이 굴곡의 발생은 추후 레이저가 조사되어질 부분에 직접적으로 작용하게 되며 이부분은 하층부와 소결이

Table 1. Result of sintering process

레이저파워(W) / 테이블속도	10	15	20	25	30	35	40
1.0m/min	×	×	△	△	○	○	×
1.5m/min	×	×	×	△	△	◎	×
2.0m/min	×	×	×	×	△	△	×
3.0m/min	×	×	×	×	×	△	×

소결상태 (◎ : 매우 좋음, ○ : 잘됨, △ : 보통, × : 안됨)

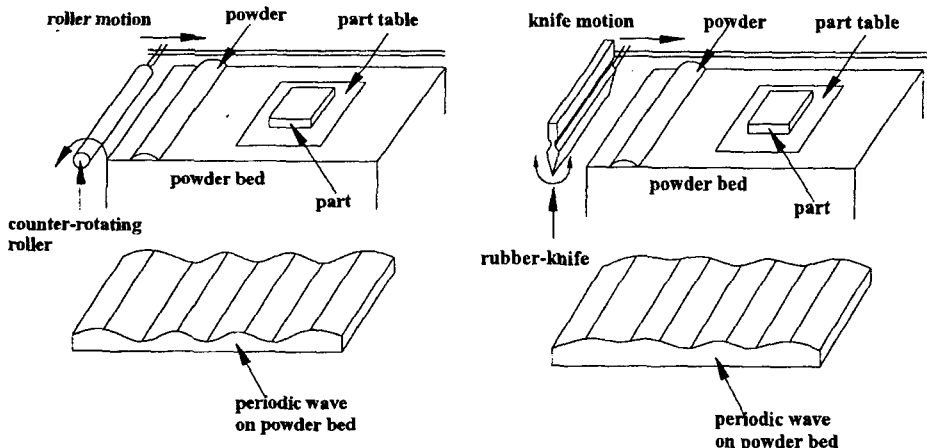


Fig. 6 Powder spreading method (a) by roller, (b) by rubber knife

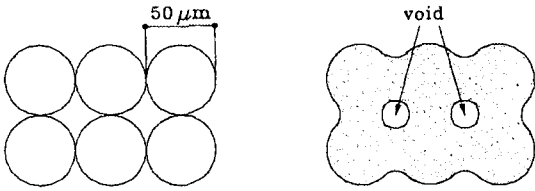


Fig. 7 Single model of sintering powder

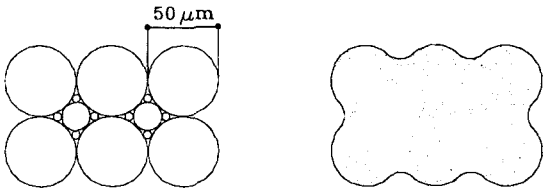


Fig. 8 Multiple model of sintering powder

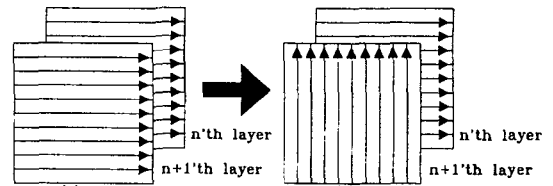
되지 못하여 최종적으로는 이탈되는 현상을 초래하게 된다. 그래서 유연성있는 고무 knife를 제작하여 기존의 knife의 문제를 해결함과 동시에 roller에 의하여 발생되어지던 분말도포시의 굴곡현상을 Fig. 6(b)와같이 현저하게 줄일 수 있었다.

#### 4.4 레이저 소결에 있어서 분말의 소결정도의 영향

분말입자의 크기는 약 50 $\mu$ m정도(325mesh)이다. 이와 같은 분말을 소결하게 되면 Fig. 7처럼 분말의 사이 사이에 공극이 존재하게 된다. 이와 같은 공극은 전체소결체의 강도를 저하시키는 중요한 요인이며 소결체의 표면 거칠기가 좋지 않게 된다. 이를 해결하기 위해서는 50 $\mu$ m의 분말이외에 더 작은 크기의 분말을 함께 섞어서 도포하게 되면 Fig. 8과 같이 공극을 작은 분말들이 채우게 되므로 표면거칠기가 향상 됨은 물론 소결체의 강도 또한 증가하게 된다.

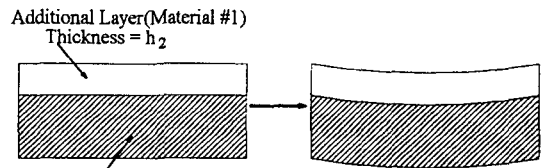
#### 4.5 레이저 소결에 있어서 레이저 조사 방법의 영향

레이저 소결은 분말에 레이저가 조사될 때 열이 발생하게 되므로 열에 의한 변형이 생기게 된다. 이러한 열변형을 최소화하기 위하여 레이저의 조사방법을 달리하면서 실험을 실시하였다. 처음에는 단일방향으로만 레이저를 조사하여 3차원 형상을 제작하였다. 그러나 이 방법은 소결된 면의 양끝단에 열에너지가 집중하게 되어 양 끝단이 휘게 된다. 이러한 휨을 방지하기 위하여 여러 가지 레이



(a) one directional scanning , (b) alternative directional scanning

Fig. 9 Scanning strategy of SLS-Process



(a) add new sintered layer,

(b) after cooling

Fig. 10 Distortion induced by thermal contraction

저 조사방법이 연구되었다. 그 중에서 가장 양호한 방법은 처음의 레이저 조사 방향과 다음 층의 레이저 조사 방향을 90°로 달리하여 조사하는 방법이다. 이 방법은 소결면의 양끝단에 열이 균일하게 분포하게 되어 양끝단의 휨이 현저하게 줄어들을 알 수 있었다.

Fig. 9(a)와 같은 방법으로 면에 대하여 한방향만으로 레이저 소결을 행하였을 경우 Fig. 10(b)와 같이 열에 의한 휨변형이 발생하게 되어 최종적으로 만들어진 모형이 휘게되는 현상이 나타나게 되었다. 이를 개선하기 위하여 공정의 개선이 필요하게 되었다. 소결하기 위하여 조사되는 레이저의 방향을 일정한 방향으로만 조사하는 것이 아니고 Fig. 9(b)와 같이 하층과 상층 사이의 레이저의 조사방향을 조정하여 Fig. 11(b)와 같이 제작되어진 물체의 열변형을 최소화하는 방법을 제안하였다. Fig. 12에서 각각의 조사방법에 대한 치수의 오차정도를 나타내고 있다. 제작한 물체는 40mm×40mm×5mm의 3차원 박스형태이고 각층의 도포두께는 0.1mm로 지정하였다. 한방향만으로 레이저를 조사하여 실험한 경우에는 층이 쌓여갈수록 치수의 오차정도가 점점 더 커지고 있음을 알 수 있으며 50층 정도를 쌓게되면 양단의 휨변형에 의하여 끝단에서 약 50%정도의 치수오차를 가지게 된다.

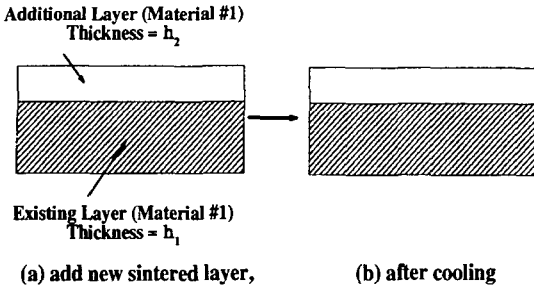


Fig. 11 Improved method to reduce the distortion

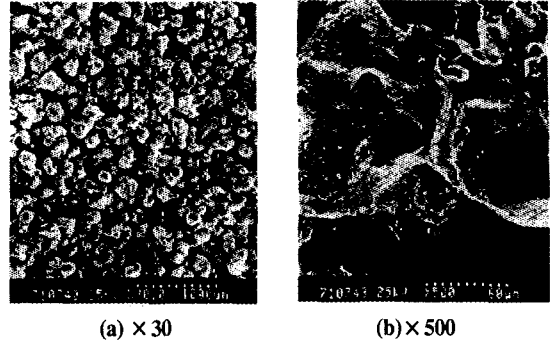


Fig. 13 SEM micrographs of sintered bronze

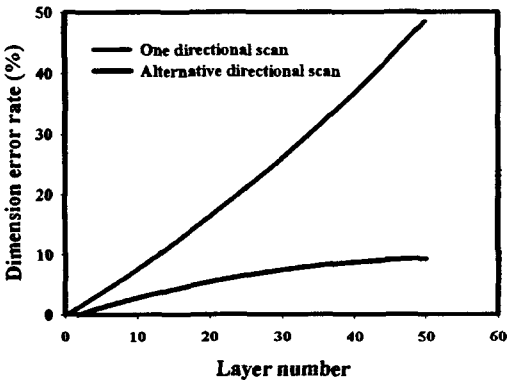


Fig. 12 Comparison of dimension error rate for laser scanning method

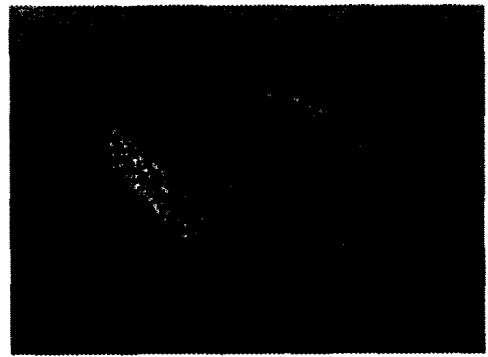


Fig. 14 Example of box-shaped within a hole with laser-sintered bronze

즉 도포되어진 각 층의 끝단은 각각의 z축 위치에 고정되어져 있어야 하나 그러지 못하고 힘에 의하여 정해진 치수보다 위쪽에 위치하게 되는 것이다. 그러나 조사방향을 각 층마다 조정하여 조사한 경우에는 층이 쌓여지더라도 휨변형을 적게 받으므로 끝단의 치수오차 정도가 10%를 넘지 않게 되어 정밀한 제조방법에 조금 더 다가갈 수 있다.

#### 4.6 금속화적인 고찰

각각의 분말들을 소결한 후에 소결되어진 면에 대하여 SEM(주사전자현미경)으로 측정하였다. Fig. 13(a)는 30배율의 SEM사진이다. 이 사진을 보면 각 분말들의 소결함에 있어서 압축소결에 비해서 균대균대 공극이 존재하는 것을 볼 수 있다. 레이저에 의한 소결이 압축에 의한 영향을 받지 않는 것도 있지만 사용되어진 청동(Cu-Sn)에 있어서 레이저가 조사되는 동안에 분말에 포함되어져 있는 Sn성분이 소결 중에 증발되어져 없어진 것으로 사

료된다. Fig. 13(b)는 500배율의 SEM사진이다. 각 분말들은 소결작용에 의하여 정상적인 소결형태를 이루면서 붙어있는 것을 확인할 수 있다. 즉 각 분말들이 용융은 도까지는 도달하지 않고 바로 그전의 상태에 이르러 서로 소결되어 접합되었다는 것을 알 수 있다. Fig. 14는 최종적으로 제작되어진 소결체의 그림을 나타내고 있다. 소결체의 크기는 20mm×40mm×4mm이며 각 층간의 두께는 0.1mm이며 약 50층을 쌓았을 때의 최종 결과이다.

#### 결론

1. 본 연구에서는 금속분말을 이용한 폐속조형방법에 대한 최적의 조건을 설정하고 그 조건을 이용하여 폐속조형품을 제작하였다.
2. 금속분말의 결합이 가능하도록 주요 변수들의 적용방법을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 소결을 위한 최적의 보호가스압력은 0.5kgf/cm<sup>2</sup>이며 레이저 집속점에 보호가스를 직접 분사하는 것이 가장 최적의 소결결과를 나타내었다.
  - (2) 레이저 조사방식에 있어서 양방향으로 조사방향을 바꾸어가면서 조사하는 것이 열변형을 최소화하는 방법이라는 것을 알 수 있었다.
  - (3) 분말도포 방식은 톨러에 의한 방식보다 유연한 나이프를 이용하는 것이 분말도포 정도에 더 좋다는 것을 알 수 있었으며 도포 두께는 0.2mm 이하에서 가장 소결이 잘되는 것을 알 수 있었다.
3. 본 연구에서 제시되어진 각 공정변수들을 이용함으로써 가장 최적의 조형품을 제작하는데 활용될 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구 조성비 (기계공학 : ME96-E-25)에 의하여 연구되었으며, 이에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Azari M, Manufacturing Data System Based on STEP, Department of Manufacturing System, IVF-KTH Stockholm, 1994.
2. Brown S. Simulation of Solid Freeform Fabrication, Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, Texas, 1993.
3. Crawford R, Computer Aspects of Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, Texas, 1993.
4. Dolenc A, Software Tools for Rapid Prototyping Technologies in Manufacturing PhD thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki, 1993.
5. Holmer B, Apelskog-Killander L, Paim G, *Some Practical Experiences of SLS-Selective Laser Sintering*, Proceeding of the 2nd Scandinavian Rapid Prototyping Conference, Aarhus, 1993.
6. Nelson J. C. and Barlow J. W, Relating Operational Parameters between SLS Machines Which Have Different Scanner Geometries and Laser Spot Sizes, Proceedings SFF Sympo-

- sium, Austin, 1992.
7. Palm G, Experiences of SLS-Selective Laser Sintering, Dept. of Manufacturing Systems, IVF-KTH, Stockholm, Internal report, 1994.
8. *The Sinterstation 2000 System User's Guide*, DTM Corp, 1993.
9. Vancraen W, Swaelens B, Pauwels J, Contour Interfacing in Rapid Prototyping-Tools That Make It Work, Proceedings of the 3rd European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, Nottingham, 1994.
10. G. Beamam, J. J. Barlow, J. W. Bourell and Marcus, H. L. "Laser Processing in Solid Freeform Fabrication," *International Conference on Beam Processing of Advanced Materials*, TMS Meeting, 1994.
11. 신민철, 손현기, 양동열, "Experimental Study of Direct Metal Prototyping Process," *한국정밀공학회 95년도 추계학술대회 논문집*, pp. 169-175, 1995.
12. E. D. Dickens, G. A. Taylor, F. W. Kunig, A. J. Magistro, E. M. Weissman and T. R. Hradek, "Method of Recovering Recyclable Unsintered Powder from the Part Bed of Selective Laser-Sintering Machine," United States Patent 5, 304-329, Filed: November 23, Issued: April 19, 1992.
13. Ashby M. F, "A first Report on Sintering Diagrams," *Acta Met*, Vol. 22, pp. 112-117, 1974.
14. German R. M, "Powder Metallurgy Science," Princeton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1993.
15. James Christian Nelson, *Selective Laser Sintering: A Definition of the Process and a Imperical Sinterical Model*, Phd thesis the University of Texas at Austin, 1993.
16. 전병철, 김봉채, 김재도, "CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 Selective Laser Sintering에 대한 연구," *한국 정밀 공학회 96년도 춘계학술대회 논문집*, pp.181-185, 1996.
17. Yong-Ak Song, "Selectives Lasersintern Metallischer Prototypen," RWTH Aachen, 1996.