

Bronze를 이용한 쾌속조형제조에 대한 연구 (A Study on the Manufacturing Rapid Prototype Using Bronze)

전병철(인하대 대학원), 김재도(인하대)

B.C. JUN(Graduate school, INHA Univ.), J.D. KIM(INHA Univ.)

ABSTRACT

The implementation of rapid prototyping technologies has been developed for automotive engineering by utilizing concurrent engineering principles integrated with selective laser sintering. The Selective Laser Sintering, in which a part is generated in layers from powder using a computer-controlled laser scanning apparatus and power feed system. An over view of the basic principles of SLS Machine operation is given. Binding mechanisms are described for powder which becomes thermally activated by the scanning laser beam ;viscous flow and melting of a low-melting-point phase in powder. The production of parts from metal is described, including post processing to improve structural integrity and induce a transformation.

Keyword : rapid prototyp(쾌속조형) , metal powder (금속분말) , SLS (선택적 레이저 소결법)

1. 서 론

오늘날 모든 기계산업분야 있어서 가장 중요하게 여기는 점은 빠른 시간 안에 품질이 우수하면서도 가능성이 뛰어난 제품을 제조하는 것이다. 따라서 모든 업체들은 과거에 비하여 R&D (Research and Development) Cost에 회사의 이익을 보다 많이 투자하고 있다. 즉 남보다 늦게 개발되어진다는 의미는 곧 회사의 운명과 직결된다는 마인드들이 점차 확대되고 있는 것이다. 소비자의 다양하면서 빠른 기호 변화를 따라잡으면서 빠른시간동안에 새로운 제품을 제작하는 것에 회사의 운명이 달려 있다고 할 수 있다^(1,2,3,4,5,6). 이러한 제품 디자인과 생산과의 연결고리안에서 존재하는 것이 쾌속조형법이다. 쾌속조형법이란 컴퓨터에 의해서 모델링 되어진 3차원 형상을 일정축을 기준으로 0.1mm정도의 간격으로 축을 기준으로 잘라내어 이 2차원적인 평면을 가지고 점차적으로 쌓아나가서 결국에는 3차원의 형상을 제작하는 방법이다. 그러나 기존의 쾌속조형법들은 단순히 보기 위한 것들을 만들어왔다. 현재에 와서는 단순한 외관뿐만이 아니라 기능성과 일정한 강도를 가진 즉 실제 금형에 좀더 가까운 제품을 제작하는 것으로 쾌속조형법이 발전하고 있다.

선진국의 경우 금형을 사용하는 거의 모든 회사들이 이 쾌속조형법을 이용하여 금형 제조에 활용함으로써 다른 업체와의 경쟁에서 보다 우월한 입지를 차지하고 있다^(7,8,9). 그러나 이와같이 개발되어진 쾌속조형법들은 많은 이점이 있음에도 불구하고 크게 활용이 되지 못하고 있는 것이 우리나라의 현실이다. 즉 개발되어진 장비를 이용하려면 쾌속조형품제작에 필요한 모든 재료들을 같이 구매하여야 하므로 장비 설치비 외에 재료비에 대한 부담이 더욱 커지는 것

이 현실이다. 광경화성재료나 폴리카보네이트와 같은 분말들은 특허문제로 인하여 모두 쾌속장비 회사에서 구입해야 하며, 또한 레이저 발진을 이용하기 위한 미러조정장치 또한 특허로 묶여 있는 상황이다⁽¹⁰⁾.

이에 본 연구에서는 국내에서 구하기 쉬우며 산소에 의한 산화정도가 적은 Bronze(청동)분말을 이용하여 선택적 레이저 소결에 대한 연구를 진행하였으며 기존의 방법과는 달리 X-Y Table을 이용하여 전체적인 장비를 제작하였다. 선택적 레이저 소결을 이용하게 되면 기존의 가공방법에 있어서 필요한 Jig&Fixture가 필용 없게 된다. 즉 소결되어지진 않는 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 프로토타입 과정뿐만 아니라 선 생산 단계의 제품까지도 제작이 가능한 장점을 가지고 있다. 즉 현재의 쾌속조형법의 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 쾌속조형품을 제작하는데 목적을 두고 있다.

2. 선택적 쾌속조형의 성형메카니즘

2.1 선택적 레이저 소결의 원리

선택적 소결은 분말을 평면적으로 도포한후 일정한 부위에 CO₂ 레이저를 이용하여 분말들을 소결하는 방법이다. 분말 소재를 나이프를 이용하여 도포한후, CO₂ 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 일정압력을 가하여 소결을 하게 되나 선택적 레이저 소결은 압력이 없는 상황에서 분말끼리 소결하여 집합하는 새로운 기술이다. 일반적인 소결은 분말입자끼리 압력과 온도에 의하여 들러붙는 원리이지만 선택적 레이저 소결방법은 분말이 녹는 온도와 소결되는 온도사이에서 각각의 분말들이 결합하게 되는 것이므로 일반적인 소결에 비하여 조금 다른 집합구조를 가지게 된다. 다시 말하면 분말끼리의 집합에 있어서 소결만이 아니라 용융되는 현상이 함께 존재하는 것이다. 외부의 압력을 받지않는 상태에서의 소결은 분말 입자의 밀집성을 감소시킨다. 이에 대하여 Ashby⁽¹¹⁾는 청동을 이용하여 완벽한 밀도에 접근하는 이론적인 소결 상태를 정의하였다. 또한 소결되기 위하여 조사되는 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 층사이의 집합을 위하여 분말에 국부적인 용융이 발생하거나 분말이 용융된 상태에서 집합되어야 한다. 첫 번째 상태는 레이저에 의하여 조사된 에너지에 의하여 상층의 분말이 용융되어 기질 즉 하층부에 집합되는 경우이고, 두 번째는 조사된 레이저의 에너지가 하층부의 분말까지도 용융할 수 있는 충분한 에너지가 공급되어 상층과 하층의 분말이 집합되는 경우이다. 첫 번째 방법은 두가지의 집합가능성을 가지고 있다. 단순히 분말이 용융되어 열스프레이(thermal spray)와 같이 기계적인 힘으로 하층부에 집합되는 것과 소결 작용에 의하여 하층부의 안쪽 또는 위쪽에 용융 집합되는 것이다.

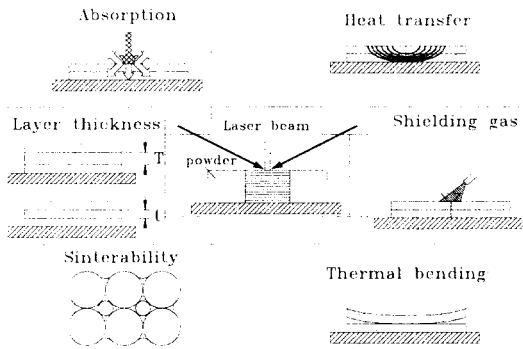


Fig. 1 Schematic diagram of experiment parameters

레이저 소결에 있어서 가장 중요한 변수는 Fig. 1에서와 같이 6개의 변수로 나뉘어진다. 첫 번째로 중요한 변수는 레이저 빔이 조사되었을 때 분말에 얼마만큼의 에너지가 흡수되어 소결이 되는 것인가 하는 것이다. 두 번째는 흡수되어진 에너지가 어떻게

전달되어 상층의 분말과 하층의 분말이 결합되는 것인가에 대한 것이다. 이 두 가지의 변수에 의하여 분말이 얼마나 잘 소결되는 지가 결정된다.

분말도포의 두께를 얼마로 할 것인가를 결정하는 것도 3차원 형상의 정밀도와 일치되는 중요한 변수이다. 네 번째로는 보호가스량과 보호가스 분사방향을 결정하는 것도 중요한 변수이다. 마지막으로 레이저의 조사 방향을 조정하여 열변형을 최소화하면서 3차원 형상을 제조하는 것이다.

이와 같은 레이저 소결 변수들간의 상호관계를 파악하여 가장 최적의 패속조형품을 제작하는 실험을 실시하였다.

2.1.1 SLS 의 열에너지 전파

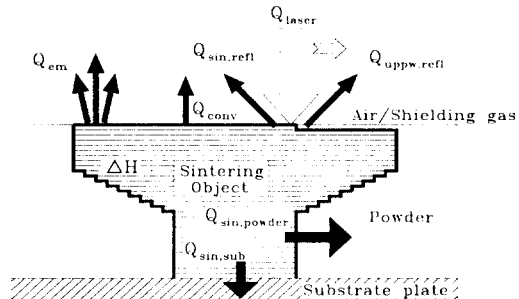
SLS 과정 중에서 레이저빔, 분말, 소결체간의 상호작용에서 발생하는 에너지 전파를 관찰하는 것은 매우 중요하다. 이와 같은 상호작용중 소결체의 분말 표면층의 에너지 전파 Q_L 은 다음과 같이 정의할 수 있다.⁽¹⁴⁾

$$Q_L = A \cdot I \cdot A_s - Q_{str} - Q_{conv}$$

- A: 흡수율
- I: 레이저 빔의 강도
- A_s : 레이저빔이 조사된 면적
- Q_{str} : 복사열의 방출에 의한 열에너지 손실
- Q_{conv} : 대류에 의한 열에너지 전파

Q_L 로 인하여 레이저빔의 반응하에 있는 체적요소의 엔탈피가 증가된다. 레이저 빔이 멀리 움직이게 되면 체적요소는 냉각이 된다. 그러므로 움직일때 에너지 전파의 절반은 상호작용 전에 일어나게 된다.

용융상태에 도달할때의 물체에 흡수된 에너지는 잠열로 축적된다. 이로 인한 Q_L 은 위의 5개항으로 정의된다. 다음의 Fig. 2는 레이저가 조사되는 동안의 에너지전파의 균형에 대한 그림이다. 레이저에 의한 열에너지인 Q_{laser} 는 조사되는 레이저의 에너지 E_d 와 조사된 소결체의 표면적 A_b 그리고 조사시간 t 에 의해서 결정된다.



- em : emission , uppw : upper powder , refl : reflection
- conv : convection, powder : powder , v_s : scanning speed
- sin : sintered object, sub : substrate

Fig. 2 Energy transport diagram during laser sintering

$$Q_{\text{laser}} = \frac{E}{t} = \frac{E_d \cdot A_b}{t} = \frac{P_L}{v_s \cdot h_s} \cdot \frac{A_b}{t}$$

E : 빔에너지
 P_L : 빔출력
 v_s : 레이저 스캐닝 속도
 h_s : 레이저 빔의 두께

레이저빔을 움직이면 각각의 조상된 라인이 된다. 레이저빔의 두께는 집속된빔의 크기를 조정하여 조절한다. 레이저빔이 닿은 부분이 소결이 되고 점차 소결되지 않은 분말로 이동하면서 소결을 진행한다. 이 때 레이저빔의 모든 에너지가 분말에 전달되는 것은 아니다. 아직소결이 진행되진 않은 부분에서는 레이저빔 에너지의 반사가 일어난다. 이것은 분말의 광학적인 현상과 레이저빔의 파장에 의존한다. 또한 분말과 소결체의 온도에 의해서도 일어난다. 조사되어진 부분에서 일어나는 소결과 에너지의 반사와의 관계는 다음과 같다.

$$Q_{\text{sin.refl}} = Q_{\text{laser}} \cdot R_{\text{sin}}$$

R_{sin} : 소결된 범위의 반사도

이를 정리하면

$$Q_{\text{uppw.refl}} = Q_{\text{laser}} \cdot R_{\text{powder}}$$

R_{powder} : 분말의 반사도

이상항하에서 분말을 소결시키려면 추가 엔탈피가 필요하게 되며, 분말의 용융온도까지 가기 위해서는 그이상의 엔탈피가 필요하다. 용융에 필요한 엔탈피는 용융된 상태에서 잠열의 형태로 축적되어 있다. 이 엔탈피는 분말이 응고되면 자유롭게 되는데 전체적인 열에너지 전파의 균형에는 고려되지 않는다. 표면에서 조사되어진 많은량의 에너지는 소결체의 표면에서 소결체의 내부까지 전파된다. 이것은 전체적인 소결체의 엔탈피의 증가를 가져온다. 이것을 기준으로 제작하고 있는 층에 대한 서로 다른 시간대의 엔탈피 시스템을 계산할 수 있다.

$$\Delta H = \frac{d \left(\int_{T_2}^{T_1} c \cdot m \cdot dT \right)}{dt}$$

c : 열용량
 m : 소결된 구조체의 질량
 T₁ : 레이저에 조사된 분말층 앞부분의 온도
 T₂ : 레이저에 조사된 분말층 뒷부분의 온도

이것에 대하여 소결층 하부서 모재에 이르는 에너지 변화를 발견할 수 있다. 에너지변화는 진행표면에서 수직으로 진행되며, 이것을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$Q_{\text{sin.sub}} = -\lambda_s u_b \cdot \left(\frac{v_2 - v_1}{s} \right) \cdot A_b$$

λ_{sub} : 모재의 열전도도
 v₂ : 모재하부의 온도
 v₁ : 모재상부의 온도
 s : 온도차 사이의 거리
 A_b : 소결체 하부의 면적

분말과 소결체사이의 에너지 이동을 관찰하면 소결체의 높이가 커질수록 소결체 위에 존재하는 분말층

표면의 열이동은 커지게 된다. 따라서 Q_{sin,powder}를 구할 수 있다. 이때 소결체의 상층에서 에너지의 방출이 일어난다. 따라서 방출되는 열에너지를 구하면 다음과 같다.

$$Q_{\text{em}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A_b$$

ε : 스펙트럼의 방출도
 σ : Stefan-Boltzmann 상수
 T : 소결체에서 반사되어진 온도
 A_b : 소결체 하부의 면적

이후에 일어나는 대류에 의한 열이동을 관찰할 수 있다. 즉 소결점에 뿌려지는 보호가스의 영향으로 소결체 주위에는 자연대류가 발생한다. 보호가스가 충분한 높이와 속도로 분사되면 소결체의 상부표면에는 대류현상이 발생한다.

$$Q_{\text{conv}} = \alpha \cdot (v_{s,0} - v_{f,\infty}) \cdot A_b$$

α : 열전달계수
 v_{s,0} : 물체의 하부온도
 v_{f,∞} : 유체의 온도
 A_b : 소결체 하부의 면적

따라서 레이저가 조사되는 동안의 소결체에 대한 모든 열에너지는 다음과 같다.

$$Q_{\text{laser}} + Q_{\text{sin.refl}} + Q_{\text{uppw.refl}} + Q_{\text{em}} + Q_{\text{sin.powder}} + Q_{\text{sin.sub}} = \Delta H \quad \text{---}$$

Fig. 3과 같이 조사가 종료되면 소결체의 가장 윗면은 냉각이 되면서 에너지가 방출된다.

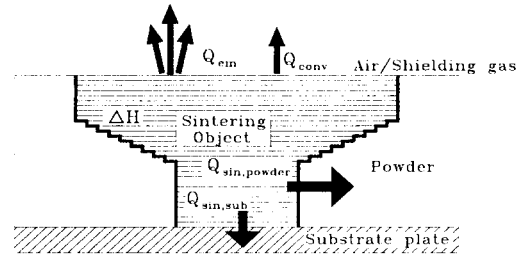


Fig. 3 Energy transport diagram after laser sintering and before powder spreading

$Q_{\text{em}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{sin.powder}} + Q_{\text{sin.sub}} = \Delta H \quad \text{---} \quad \Delta H < 0$
 그 다음 소결되어진 층 바로 윗부분으로 분말이 공급되면 소결체가 냉각된다. 이와같은 구조를 Fig. 4에 나타내었다. 즉 분말이 공급되게 되면 열방출과 직접대류에 의해 표면의 열이 방출되지 않고 서로 상쇄되게 된다.

$$Q_{\text{sin.uppw}} + Q_{\text{sin.powder}} + Q_{\text{sin.sub}} = \Delta H \quad \text{---} \quad \Delta H < 0$$

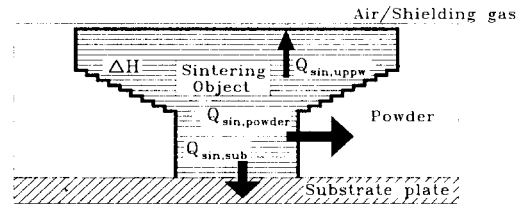


Fig. 4 Energy transport diagram after powder spreading and before laser sintering

2.1.2 도포된 분말의 에너지 전파

도포되어져 있는 청동의 분말은 분말사이에 미세한 구멍들이 존재하게 된다. 이러한 분말들의 구멍으로 인하여 복잡한 수식이 전개되지만 정확한 수식을 구해내는 것이 매우 중요하다. 놓여져 있는 분말들을 계산하여 보면 재료사이에는 2상의 경계가 존재하게 되며 이사이에 영향을 주는 열전도도를 계산하면 다음과 같다.

$$\lambda_0 = V_s \cdot \lambda_s + V_g \cdot \lambda_g$$

$$\lambda_u = \frac{\lambda_s \cdot \lambda_g}{V_s \cdot \lambda_s + V_g \cdot \lambda_g}$$

λ_0 : 상부경계치의 유효 열전도도

λ_u : 하부경계치의 유효 열전도도

V_s : 고체의 부피

λ_s : 고체의 열전도도

V_g : gas의 부피

λ_g : gas의 열전도도

2.1.3 온도장에 대한 연구

재료의 상호작용에 의하여 내부에 존재하는 온도장에서의 에너지전파에 대한 크기를 알아낼 수 있다. 즉 앞절에서 다룬 에너지 전파에 대한 수식들을 다시 검토해보면 그것이 가능하다. Herziger는 사용되는 레이저빔의 강도에 대한 연구를 통하여 다음과 같은 식을 구체화하였다.

$$\frac{t_c \cdot a}{\omega_f^2} \leq 10^{-3}$$

t_c : 레이저빔의 반응시간

a : 재료의 열확산도

ω_f : 집중된 빔의 반경

위의 식을 시편에 대해서 정리하면

$$\frac{t_c \cdot a}{h_b^2} \leq 0.1$$

h_b : 시편의 높이

레이저빔이 시편의 한 면에 t 시간동안 조사되며, 레이저 빔강도 I_0 가 일정하다고 가정하면 시편상에서 흡수된 레이저빔이 표면에서 열로 바뀌면 반-무한(Semi-infinite)재료에서 일정한 열 선속(flux)로 가열시키는 결과가 되어 재료의 내부와 표면에서 온도는 시간에 따라 다음과 같다.

$$T(z, t) = \left(\frac{2 \cdot A \cdot I_0}{\lambda} \right) \cdot \sqrt{a \cdot t} \cdot \text{ierfc} \left[\frac{z}{2 \cdot (a \cdot t)^{1/2}} \right]$$

$$\text{ierfc}(x) = \int_x^\infty \text{erfc}(x') dx'$$

$$\text{erfc}(x) = 1 - \text{erf}(x) = \frac{2}{\phi} \int_x^\infty e^{-(x')^2} dx'$$

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\phi} \int_0^x e^{-(x')^2} dx'$$

$$\text{erf}(0) = 0, \text{erf}(\infty) = 1, \text{erf}(-x) = -\text{erf}(x)$$

$$\text{erfc}(0) = 1 \text{ and } \text{erfc}(\infty) = 0$$

A : 흡수율

I_0 : 레이저빔의 최대강도

λ : 재료의 열전도도

a : 재료의 열확산도

2.1.3 레이저 소결에 있어서의 보호가스의 영향

분말을 소결하는데 있어서 주위의 공기에 포함되어져 있는 산소, 습기 등은 분말의 소결을 방해하는 주요한 인자이다. 산소와 습기등은 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.

이러한 문제를 해결하기 위하여 2가지의 대체 방안을 제시하여 실험을 실시하였다.

첫 번째는 Fig. 5에서와 같이 소결되어지는 양단에 가스관을 일렬로 배치시킨후 분말이 날리지 않을 정도의 가스압으로 뽑어 주면서 소결을 실험하였다. 그러나 이와 같은 방법으로는 분말의 산화를 방지하지 못하였다. 그래서 두 번째는 Fig. 6과 같이 집중된 레이저의 빔이 분말의 표면에 닿는 곳에 가스관을 설치하여 소결되는 방향으로 보호가스를 바로 불어주는 방법을 택하여 분말이 산화되지 못하도록 하였다.

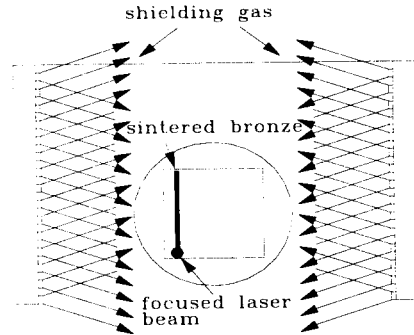


Fig. 5 Shielding gas system (bad type)

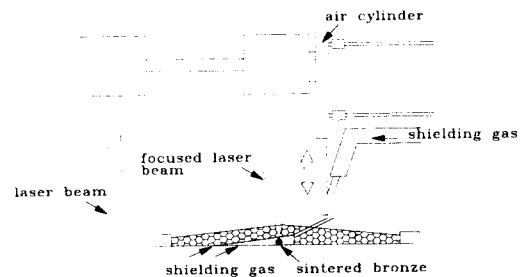


Fig. 6 Shielding gas system (good type)

두 번째의 장치로 소결을 실험한 경우 전체적인 소결에 있어서 가장 좋은 소결이 되는 소결면을 얻을 수 있었다. 이 경우 사용한 보호가스는 순도 99.99999(five nine)의 아르곤 가스를 이용하여 실험하였으며 분사되어지는 보호가스는 주위의 공기를 제거하면서 분말이 소결함에 있어서의 냉각을 돕는 작용을 한다. 보호가스를 집속점에 바로 분사하기 위하여 집속렌즈 옆에 공압실린더를 장착하여 레이저가 조사되는 순간에만 실린더가 아래로 내려가서 보호가스를 분사하도록 제작하였다.

2.1.4 레이저 소결에 있어서 분말도포두께의 영향

레이저 소결에 있어서 분말을 일정한 두께로 도포되어야 한다. 만약 분말의 두께가 너무 두껍게 도포되면 분말의 상층과 하층이 소결되어 결합하지 못하게 되므로 최종적으로 두 층이 벗겨지게 된다. 또한 너무 얇게 되면 결합에 있어서 문제는 발생하지 않으나 레이저의 에너지에 의하여 소결되지 못하고 용융되어질 단점이 있다. 이에 가장 최적을 분말 도포 두께를 결정하는 것이 중요하다^(12,13).

일반적으로 쾌속조형에 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 전체 제작시간을 줄이는 요소라고 생각된다. 실험의 결과 레이저 소결된 한 층은 0.1mm~0.4mm 정도의 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 층 사이에 잔여 분말이 존재하게 되어 층과 층이 결합하지 못하게 된다.

2.1.5 레이저 소결에 있어서 분말의 소결정도의 영향

분말입자의 크기는 약 50 μm 정도(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 μm 의 분말이외에 더 작은 크기의 분말을 함께 섞어서 도포하게 되면 Fig.8과 같이 공극을 작은 분말들이 채우게 되므로 표면 거칠기가 향상됨은 물론 소결체의 강도 또한 증가하게 된다.

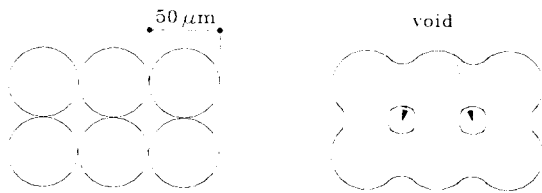


Fig. 7 Single model of sintering powders

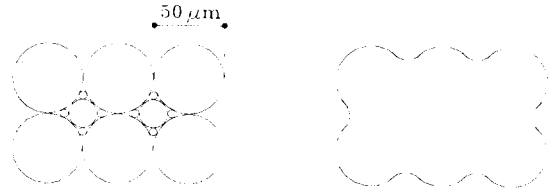


Fig. 8 Multiple model of sintering powders

2.1.6 레이저소결에 있어서 레이저 조사방법의 영향

레이저소결은 분말에 레이저가 조사될 때 열이 발생하게 되므로 열에 의한 변형이 생기게 된다. 이러한 열변형을 최소화 하기 위하여 레이저의 조사방법을 달리하면서 실험을 실시하였다. 처음에는 단일방향으로만 레이저를 조사하여 3차원 형상을 제작하였다. 그러나 이방법은 소결된 면의 양끝단에 열에너지가 집중하게 되어 양끝단이 휘게 된다. 이러한 힘을 방지하기 위하여 여러 가지 레이저 조사방법이 연구되었다. 그중에서 가장 양호한 방법은 처음의 레이저 조사방향과 다음층의 레이저 조사방향을 90°로 달리하여 조사하는 방법이다. 이방법은 소결면의 양끝단에 열이 균일하게 분포하게 되어 양끝단의 힘이 현저하게 줄어들음을 알 수 있었다.

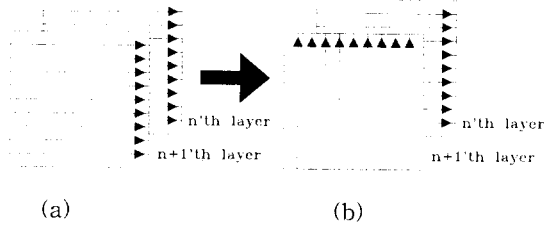


Fig. 9 Scanning strategy of SLS-Process

- (a) unidirectional scanning
- (b) bidirectional scanning

3. 실험결과

3.1 분말의 소결

각각의 분말들을 소결한 후에 소결되어진 면에 대하여 SEM(주사전자현미경)을 측정하였다.

Fig. 10(a)는 30배율의 SEM사진이다. 이 사진을 보면 각 분말들의 소결함에 있어서 압축소결에 비해서는 군데군데 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 Sn 성분이 소결중에 증발되어져 없어진 것으로 사료된다.

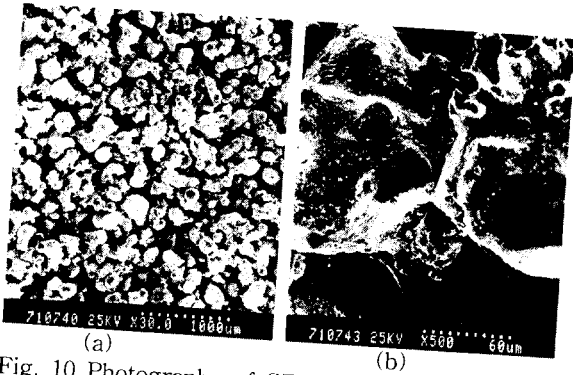


Fig. 10 Photographs of SEM

Fig. 10(b)은 500배율의 SEM사진이다. 각 분말들은 소결작용에 의하여 정상적인 소결형태를 이루면서 붙어있는 것을 확인할 수 있다. 즉 각 분말들이 용융도까지는 도달하지 않고 바로 그전의 상태에 이르러 서로 소결되어 접합되었다는 것을 알 수 있다. Fig. 11은 최종적으로 제작되어진 소결체의 그림을 나타내고 있다. 현재 각층간의 두께는 0.1mm이며 약 50층을 쌓았을때의 최종결과 있다.



Fig. 11 Sintered object by SLS

결론

1. 레이저를 소결하기 위한 최적의 조건을 설정하고 그 조건을이용하여 패속조형품을 제작하였다.
2. 분말의 소결에 의한 각 열에너지들의 이동에 대한 기초적인 연구를 실시하여 실험에 도입하였다.
3. 패속조형을 제작하기 위한 각 변수들의 영향을 조사하여 실험에 도입하였다.

참고문헌

(1) Brown S, Simulation of Solid Freeform Fabrication, Proceedings of solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, Texas, 1993.

(2) Crawford R, Computer Aspects of Solid Freeform Frabrication Symposium, Austin, Texas, 1993

(3) Dolenc A, Software Tools for Rapid Prototyping Technologies in Manufacturing PhDthesis, Helsinki University of Technology, Helsinki,1993

(4) 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.

(5) Nelson J. C. and Barlow J. W, Relating Operational Parameters between SLS Machine Which Have Different Scanner Geometries and Laser Spot Sizes, Proceedings SFF Symposium, Austin, 1992.

(6) Palm G, Experiences of SLS-Selective Laser Sintering, Dept. of Manufacturing Systems, IVF-KTH, Stockholm, Internal report, 1994.

(7) 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.

(8) 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.

(9) 신민철,손현기,양동열, "Experimental Study of Direct Metal Prototyping Process", 한국정밀 공학회 95년도 추계학술대회 논문집, pp.169-175, 1995,

(10) E.D.Dickens, G.A. Taylor, F.W. Kunig, A.J.Magistro,E.M.Weissman,andT.R.Hradek, "Method of Recovering Recyclable Unsintered Powder from the Part Bed of Selective Laser Sintering Machine", United States patent 5, pp. 304-329, Field: November 23, 1994.

(11) Ashby M.F, "A First Report on Sintering Diagrams",Acta Met,Vol.22, pp,112-117,1974.

(12) German R.M,"Powder metallurgy science", Princeton,New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1993.

(13) 전병철,김봉채,김재도, "CO₂ 레이저를 이용한 Selective Laser Sintering에 대한 연구", 한국정밀공학회 96년도 춘계학술대회 논문집, pp.181-185, 1996.

(14) Yong-Ak Song, "Selectives Lasersintern Metallischer Prototypen", RWTH Aachen, 1996