

선택적 레이저 소결

노정우·김주한·이철구

An Overview of Selective Laser Sintering

Jung-Woo Rho, Joohan Kim and Chulku Lee

1. 서론

레이저는 에너지를 미세하게 조절하여 재료를 가공할 수 있는 장점을 가지고 있기에 레이저가 발명된 다음부터 많은 관련 응용기술이 연구 발전되어 왔다. 선택적 레이저 소결 (Selective Laser Sintering)은 레이저를 이용한 재료가공의 한 가지 방법으로 레이저의 선택적 에너지 전달 기능을 이용해 분말 등의 재료를 선택적으로 고형화시키는 기술을 말한다. 이는 재료의 표면 처리를 목적으로 하는 레이저 클래딩(Laser cladding)과 유사한 기술이지만 단순히 표면처리만을 주 목적으로 하는 레이저 클래딩에서 발전하여 특수한 목적의 형상을 소결 접착의 형식으로 만드는 것을 말한다. 이러한 선택적 레이저 소결은 부품 및 시작품 제작이 복잡하거나 비싼 장비를 사용하지 않고도 신속하고 경제적인 방법으로 해결하려는 경향이 증가함에 따라, 쾌속조형기술(Rapid-prototyping)로 연구 발전되어 왔고 이는 3D CAD 도면으로부터 직접 고형의 물리적 모델을 만드는 공정이다. 쾌속조형기술이 소개된 것은 대략 20년 전이며, layer-by-layer, 3D modeling 가공에 직접 이용되고 있다. 이러한 쾌속조형기술은 스테레오리소그래피(stereolithography), 3D 프린팅 (3D printing), 레이저 직접 제작 (Laser direct fabrication), FDM (Fused Deposition Modeling) 등 다양한 다른 용어로 불리우게 되었지만 기본 원리는 선택적 레이저 소결 (SLS)과 동일하다. 단 선택적 레이저 소결(SLS)의 경우 그 재료의 선택범위가 금속 또는 세라믹 분말 등으로 제한되어 사용되는 경우도 있으나 넓은 의미에서는 고형분말뿐만 아니라 액체 또는 기체상태의 재료도 그 범위 안에 들 수 있다. 또한 선택적 레이저 소결 (SLS)은 부분적 용융이나 아니면 완전한 용융이나에 따라 선택적 레이저 용융(SLM) 등의 명칭으로 구분되

어 지기도 한다¹⁾.

본 논문에서는 지금 까지 연구 및 소개된 선택적 레이저 소결의 기술 개요, 응용 분야 및 현황 등을 제시하고자 한다.

2. 선택적 레이저 소결의 기술 개요

2.1 재료

SLS는 분말로 만들 수 있고 열에 의해 녹거나 소결되어지는 성질을 가진다면 거의 모든 재료에 대해 사용될 수 있다. 이 점이 SLS가 가진 가장 큰 장점 중에 하나이다. 현재 SLS에 사용되는 재료의 종류는 polymer, reinforced and filled polymers, metals, hard metals, cermets, foundry sand 등 있다¹⁻³⁾. 또한, 재료의 혼합여부에 따라 mixture of powders, single component powder, pre-alloyed powder로 나뉘어 지기도 한다^{1,3)}. Fig. 1에서 SLS에 쓰이는 재료가 분류되어 있다²⁾.

2.2 Binding Mechanism

레이저 소결에 있어 입자간 결합은 다양하게 이루어진다. 고체입자간의 결합(Solid state sintering(SSS))은 상승된 온도에 의해 표면 또는 입자 경계 부를 따라 존재하는 각각의 입자 사이에 목 형성이 이루어지면서 소결되어진다³⁾. SSS의 장점은 넓은 범위의 다양한 재료들에 대해 이 방법이 사용 가능하다는 것이다. 하지만 SSS의 경우 소결 속도가 느리고, 완성이 되기까지 많은 시간이 소요된다. 그러므로 이를 위해 원자확산속도를 증가시키고, 적당한 레이저 스캔속도를 얻기 위하여 분말재료의 예열을 하기도 한다⁵⁾. 액상 소결(Liquid phase sintering(LPS) - partial melting)은 입자재정립 속도가 빠르고, 액체유동이기 때문에 대

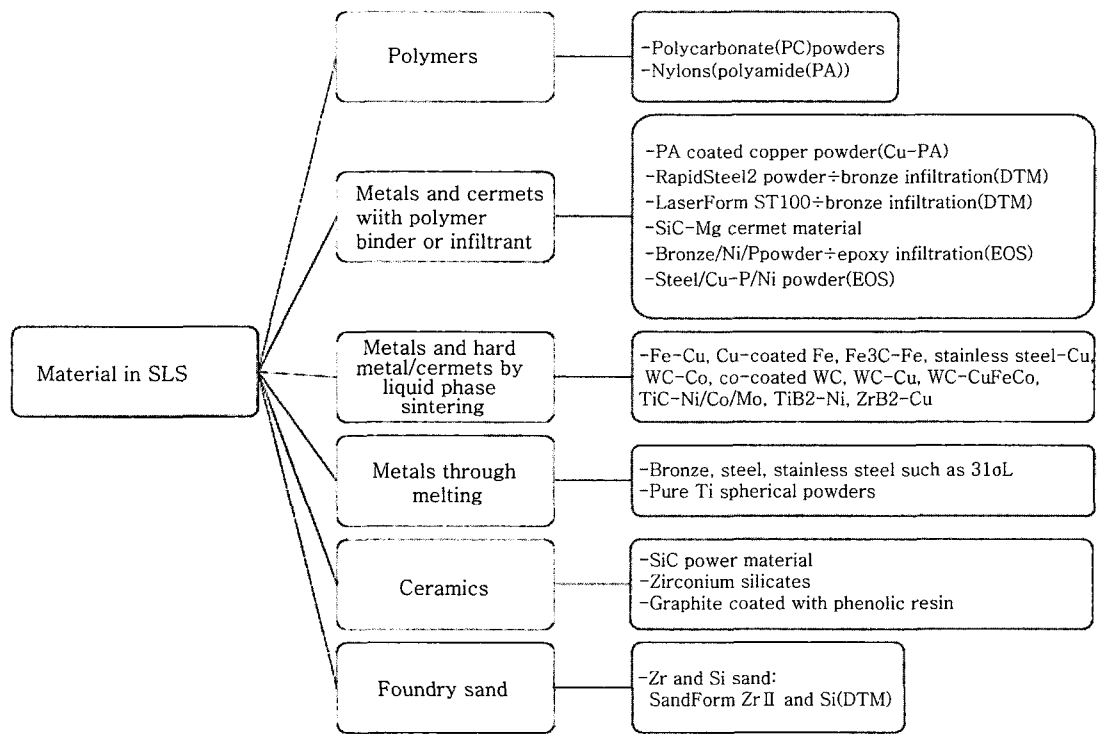


Fig. 1 Classification of materials in selective laser sintering (SLS)

량의 재료이송이 가능하며, SSS 보다 급속조형(rapid form)을 더 신속히 할 수 있다. LPS 는 녹는점이 낮은 재료와 녹는점이 높은 재료가 복합되어 있는 상태에서, 열에 의해 녹는점이 낮은 재료는 녹지만, 녹는점이 높은 재료는 고체 상태로 존재하게 된다. 이 때 액체 상태로 존재하는 녹는 점이 낮은 재료가 접합제와 같은 역할을 하여 고체상태의 녹는 점이 높은 재료와 서로 결합하면서 소결이 되는 원리이다⁴⁻⁶⁾. LPS는 크게 2가지로 나뉘어지게 되는데, 접합제 역할을 하는 재료(binder material)와 구조 역할을 하는 재료(structural material)가 다른 것에 대한 소결로써 복합분말(composite powder)의 소결이 그 것이다. 다른 하나는 binder material과 structural material이 구분이 없는 것으로, binder material와 structural material로 구분하기보다, 녹는 재료와 녹지 않은 재료의 영역간의 구분에 의해 판별된다. 이러한 이유 때문에 부분 용융 (partially melting) 이라 불려진다⁵⁾.

2.3 가공 변수

레이저 소결 부의 품질은 적절한 가공변수들의 선택에 의해 결정된다. 레이저 출력, spot 크기, 스캔 속도, 스캔 횟수 등의 기계 변수뿐만 아니라, 레이저의 파장 및 재료의 종류, 재료 혼합비, 입자의 크기 등과 같은

분말의 성질도 변수가 된다. 이는 SLS 가공이 에너지 밀도에 의해서만 제어되는 것이 아니라, 레이저와 재료 간의 상호작용 또한 밀접하게 연관되어있기 때문이다^{2,3,7,8)}.

3. 응용분야 및 현황

3.1 응용 분야

3.1.1 시제품 제작(Trial product manufacture)

쾌속시작공정 (Rapid Prototyping)으로 알려져 있으며 상업적으로 가장 성공한 분야로 설계의 평가 및 시제품 제작에 앞서 시제품을 제작하여 이를 먼저 사전 평가해 보고, 결점을 보완하는 작업을 하는 것에 이용될 수 있다. 이는 비용절감을 이룰 수 있으며, 시제품 제작단계까지에 이르는 시간을 단축시킬 수 있다. 빠르고 유연한 작업이 가능한 점이 큰 장점이다. 조립과정이 없어도 조인트가 있어 움직이는 물체를 생산할 수 있고, 높은 정밀도를 가지고 제품생산이 가능하다^{1,2,10)}.

3.1.2 주형제작

주형과 sand cores 제작을 할 수 있다. 주물사를 이용한 복잡한 형상의 주형을 생산하여 높은 품질의 주물 생산에 이용될 수 있다. 또한 알루미늄과 마그네슘을 이용한 경량구조물제작에 있어 성능이 우수하다¹⁰⁾.

3.1.3 의학용품 제작

개인의 특성의 반영이 필수적인 것의 제작에 매우 이
상적이다. 주문 제작하는 임플란트 기구제작에 사용될
수 있다⁹⁻¹⁰⁾. 높은 정밀도와 우수한 표면품질을 얻을
수 있다. 공동형성, 언더컷 등을 제작하는 것은 기존의
방법으로 제작이 어려우나, SLS를 이용하면 쉽게 제작
가능하다. 또한 최근에는 생분해 가능한 폴리머를 이용
한 인체 뼈 조직의 스케폴드 제작 등이 심도 깊게 연구
되어지고 있다¹¹⁾.

3.1.4 전자 부품의 제작

전자 산업의 급속한 발전과 함께, 시장의 빠르고 짧은
R&D 원형제작기간, 전자장비원가절감요구에 어떻
게 답하는 가는 매우 중요해 졌다. 페이스트 상태의
conductor composition (conductor paste) 을 모재
위에 코팅한 후, SLS를 이용하여 선 가공 및 패터닝가공
을 통해 전도체를 가공할 수 있고 이를 통해 정밀도가
높은 전도체를 가공할 수 있다¹²⁻¹³⁾. 또한 세라믹을 모
재로 한 metal-insulator-metal(MIM) 형식의 thick
film capacitor 에 대한 연구가 이루어진 바 있다¹⁴⁾.

3.2 산업계 동향

SLS는 이 기술을 상업화한 DTM사의 rapid tooling
과 laser sintering 기법을 개발한 독일의 EOS 사의
metal sintering 기술 등이 현재 이용되고 있다. 현재
시장에서 사용되는 상업적인 SLS 기계로는 DTM 사의
Sinterstation 2000/2500 과 EOS 사의 FORGIMA
P 100, EOSINT P 390/700/730, EOSINT M
270, EOSINT S 750이 있다¹⁻¹⁰⁾.

전 세계적으로 SLS 기술 이용 폭이 넓어지고, 제품
에 대한 시장(소비자)의 요구가 다양해짐에 따라 SLS
시장규모는 빠르게 성장하고 있다. 이를 증명하듯,
EOS 사의 2006/2007 총 수입은 59.7 백만 유로로
전년도비 14% 증가를 보고하였다¹⁰⁾.

국의 시장은 여러 기업에서 실제 제품의 설계용이
및 원가절감을 위해 SLS 기술이 활발히 이용되고 있
다. Hettich Zentrifugen사에서는 원심분리기 상자
를 laser sintering으로 제작하여 조립 및 마무리 공
정을 줄일 수 있었고¹⁰⁾, Tecnologia & Design 사
에서는 새로운 디자인의 고무부츠의 바닥모형주형을
제작하여 사출성형주형으로 사용하였다¹⁰⁾. 또한 Sirona
사에는 개개인에게 맞는 임플란트 치아를 제작하여
기술적으로나 상업적으로 SLS 기술이 매우 실용적임

을 보이고 있다¹⁰⁾.

4. 연구 방향

4.1 제품생산의 직접화 추구

모델링 또는 시작품이 아닌 직접 제품을 생산하는 방
식은 제품의 설계를 유연하게 하고, 조립 및 마무리 공
정 등을 줄여 공정의 단순화를 꾀해 초기제품생산시간
을 줄일 수 있다. 하지만 대량생산에 있어서는 크게 장
점을 나타낼 수 없으므로 고가의 소량 다품종 생산에
유리하다. 이에 대한 대표적 예로 앞에서 설명하였듯이
생체 및 의학용품 (Bio-product) 등이 현재 가장 유망
한 생산적용분야로 여겨진다.

4.2 소결재료 개발

사용되는 분말의 가격은 비싼 편이며, 이 분말의 중
류에 따라 제품의 적용범위 또한 달라지게 되므로, 분
말의 개발은 SLS 기술을 어디에 어떻게 적용할 수 있
는가에 대하여 매우 중요하다. 그러므로 분말 제조에
대해 연구와 개발이 필요하다²⁾.

4.3 데이터 변환기술의 개발

데이터변환기술은 의료시장으로의 SLS의 적용에 있
어서 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 특히 의료용
의 CT/MRI장비를 이용하여 측정된 데이터들을 3D 정
보로 변환하는 경우 그 기술의 난이도가 높고, 이 작업
에 용이한 소프트웨어가 드물다. 즉, CT/MRI장비로부
터 측정된 데이터들을 STL로 변환하여야 하는데 이 과
정은 매우 복잡하여 이를 의료계에서 수용하는데 있어
기술적 문제가 되고 있다¹⁵⁾. 그러므로 이에 대한 연구
와 기술 개발이 추가로 요구된다.

4.4 공정조건의 최적화

공정조건의 조합에 의해 소결부의 품질은 결정된다.
공정조건의 조합이 서로 어떤 관계를 이루며 가공에 영
향을 미치는 지에 대한 연구를 통해 SLS의 가공정확도
를 높이고, 소결 부의 품질을 향상시켜야 한다. 이는
앞으로의 시장에서 SLS의 장점을 부각시키고, 단점을
보완하여 SLS의 가공품질을 높여 최종적으로 소비자에
대한 만족도를 높이게 되어, 기술시장에서 SLS 기술의
시장확대를 도모하는 중요한 역할을 할 것이다.

5. 결 론

SLS는 레이저를 통한 가공에 있어서 상업적으로 성공하고 있는 특수 가공 분야이며 앞으로도 그 발전 가능성이 크다. 초기의 SLS는 폴리머를 재료로 한 시작 모델 제작 등에 이용되었으나 현재에 있어서는 금속 재료 등의 실제 최종 생산품의 제작에 가능하다. 재료의 소량 다품종의 제품생산에 있어서 그 장점을 가질 수 있으며 특히 생체 및 의학용품 등이 본 공정의 장점을 최대한 이용할 수 있는 분야로 여겨진다. SLS는 직접 생산, 소결 재료의 개발, 관련 데이터 변화 기술, 공정 기술의 개발 등이 연구 대상으로 여겨질 수 있다.

참 고 문 헌

1. M. Shiomin : Rapid manufacturing of metal components by laser forming, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **46** (2006), 1459-1468
2. J. P. Kruth, X. Wang, T. Laoui and L. Froyen : Lasers and materials in selective laser sintering, *Assembly Automation*, **23-4** (2003), 357-371
3. M. Agarwala, D. Bourell, J. Beaman, H. Marcus and J. Barlow : Direct selective laser sintering of metals, *Rapid Prototyping Journal*, **1-1** (1995), 26-36
4. K. Murali, A. N. Chatterjee, P. Saha, R. Palai, S. Kumar, S. K. Roy, P. K. Mishra and A. Roy Choudhury : Direct selective laser sintering of iron-graphite of powder mixture, *Journal of Materials Processing Technology*, **136** (2003), 179-185
5. J-P. Kruth, P. Mercelis, J. Van Vaerenbergh, L. Froyen and M. Rombouts : Binding mechanisms in selective laser sintering, *Rapid Prototyping Journal*, **11-1** (2005), 26-36

6. N. Tolochko, S. Mozzharov, T. Laoui and L. Froyen : Selective laser sintering of single- and two-component metal powders, *Rapid Prototyping Journal*, **9-2** (2003), 68-78
7. X. Li, H. Li, J. Liu, X. Qi and X. Zeng : Conductive line preparation on resin surfaces by laser micro-cladding conductive pastes, *Applied Surface Science*, **233** (2004), 51-57
8. K. Korda's, K. Bali, S. Leppa`vuori, A. Uusim`aki and L. Na`nai : Laser direct writing of copper on polyimide surfaces from solution, *Applied Surface Science*, **154-155** (2000), 399-404
9. H. Seiji : Titanium Implant Produced by Using Selective Laser Sintering Method, *Titanium Japan*, **50-4** (2002), 309-313
10. <http://www.eos.info>
11. J. M. Williams, A. Adewunmi, R. M. Scheka, C. L. Flanagan, P. H. Krebsbach, S. E. Feinberg, S. J. Hollistera, and S. Das : Bone tissue engineering using polycaprolactone scaffolds fabricated via selective laser sintering, *Biomaterials*, **26-23** (2005), 4817-4827
12. X. Li, X. Zeng, H. Li and X. Qi : Laser direct fabrication of silver conductors on glass boards, *Thin Solid Films*, **483** (2005), 270-275
13. X. Li, H. Li, Y. Chen and X. Zeng : Silver conductor fabrication by laser direct writing on Al₂O₃ substrate, *Applied Physics A (Materials Science & Processing)*, **79-8** (2004), 1861-1864
14. Y. Cao, X. Li and X. Zeng : Frequency characteristics of the MIM thick film capacitors fabricated by laser micro-cladding electronic pastes, *Materials Science and Engineering B*, **150-3** (2008), 157-162
15. <http://huniv.hongik.ac.kr/%7Erpcad/rpcenter/rpnews/rpreport0208/rpreport0208.htm>



- 노정우
- 1986년생
- 서울산업대학교 기계공학과
- 레이저 정밀 프로세싱
- e-mail : njwice@snut.ac.kr



- 이철구
- 1949년생
- 서울산업대학교 기계공학과
- 레이저 가공, 용접공정
- e-mail : chullee@snut.ac.kr



- 김주한 (교신저자)
- 1971년생
- 서울산업대학교 기계공학과
- 레이저 정밀 프로세싱
- e-mail : joohankim@snut.ac.kr