

공정에서 새로운 재료의 적용 및 성능평가 Application and Performance valuation of the Materials in the process

*배성우¹, #김동수², 방영길³, 박창현⁴, 김형일

*S. W. Bae¹, #D. S. Kim(kds671@kimm.re.kr)², Y. K. Bang³, C. H. Park⁴, H. I. Kim⁵

^{1,2} 한국기계연구원 정보장비연구센터, ^{3,4}(주)라이온캡텍, ⁵충남대학교 정밀화학공업과

Key words : SFF(Solid Freeform Fabrication), SLS(Selective Laser Sintering), Polyamide-12, Metal Powder

1. 서론

최근 임의형상 제작을 신속하게 제작하기 위한 쾌속 조형(RP : Rapid Prototype) 기술이 다양한 분야에서 연구되어져 오고 있으며, 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되어 지고 있다⁽¹⁾. 이러한 쾌속 조형 시스템에는 제조 방법에 따라 다양하게 분리되며, 여기에서는 현재 개발된 SLS(Selective Laser Sintering)제조 공정을 이용한 3차원 임의형상제작(SFF : Solid Freeform Fabrication) 시스템에 대해 언급하기로 한다.

SLS 공정을 이용하여 3차원 임의형상을 만들기 위해서는 복사기의 토너 역할을 하는 레이저 소결용 분말재료가 필요하다. 이러한 분말을 이용하여 3차원 임의형상을 복제 및 성형하기 위해서는 파우더 룬에 있는 고분자 또는 메탈 분자를 풀러를 이용하여 평탄하게 펼친 후 CO₂ 레이저를 이용하여 소결하게 된다. 이러한 소결용에 적합한 재료를 만들기 위해 여러 재료를 대상으로 다양한 분말 소재가 개발되고 있으며, 개발된 재료들은 재료의 특성상 일정의 강도 및 SLS 소결 특성에 적합하여야만 SFF 시스템 장비의 특색에 따라 최적의 성능을 발휘시킬 수가 있다.

하지만 국내의 경우 아직까지 국산화된 SFF 장비가 없어 전량 수입에 의존하고 있으며, 이러한 장비를 이용하여 3차원 임의형상을 제작하기 위한 재료 또한 장비와 함께 Package화 해서 판매하기 때문에 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 현재 국내에 보급된 SFF 장비는 400여대로 연간 가동율이 7일 정도일 만큼 고가의 재료로 인한 피해가 크다 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 기술로 개발된 SFF 장비 뿐 만 아니라 국내에 보급된 SFF 장비에도 적용 가능한 레이저 소결용 재료를 개발하여 가격경쟁력 뿐 만 아니라 고가의 수입 재료에 대응 할 수 있는 재료를 개발하고자 폴리아미드 파우더(고분자 분말) 및 메탈파우더를 개발된 SFF 시스템에 적용 및 평가를 통해 적용 가능여부를 판단하고자 하였다.

2. 폴리아미드-12의 제조

파우더 제조시 고려되어야 할 중요 항목으로는 파우더의 열적 특성, 입자 크기, 분산성, 모양 및 최소한의 부피변화 등으로 이러한 물리·화학적 안정성을 향상시키는 방법이 중요하다. 본 연구에서는 그 동안 축적된 노하우를 바탕으로 제조된 분말의 치수안정성, 적층면의 평활성, 레이저 소결 및 재료의 보관 과정에서 분말입자의 산화에 의한 변질을 최소화하기 위한 일련의 방법이 필요하다. 파우더 제조는 국내에 수입된 파우더와 가장 비슷한 조건을 얻을 수 있도록 제조하였다.

폴리아미드-12의 제조는 고압반응기(Autoclave)에 고분자수지와 선택적으로 핵제 및 각종첨가제를 넣고 혼합용매와 분산안정제와 함께 가온하여 용해시킨 후, 단계적으로 온도를 내리면서, 핵 형성단계, 성장단계, 결정화단계를 일정시간 동안 진행 후 70℃이하로 냉각하여 반응을 완료시켰다. 다음으로 교반기가 장착된 별도의 용기에 옮기고 일정시간 동안 정체시킨 후 각종 첨가제를 투입하고 교반하면서 감압(200~400 mmHg)하에서 2시간이상 건조하여 용제의 함량이 0.5%이하인 SLS 소결용 재료를 제조하였다. Fig. 1에 고압반응기(Autoclave : 50L)를 나타내었으며, Fig. 2에 제작된 폴리아미드-12의 SEM 사진을 나타내었다. SEM 분석 결과 입자의 형상이 구형으로 얻어진 것을 알 수 있다.



Fig. 1 Autoclave (capa. 50L)

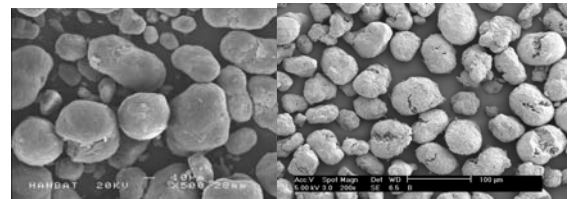


Fig. 2 SEM of Polyamide-12

3. 메탈 파우더의 제조

메탈파우더 제조는 Core-Shell 구조를 갖는 형상의 분말을 제조하기 위해 캡슐 제조법을 활용하였다. 각 성분의 적절한 함량 및 형상 제어의 원활성을 위하여 여러 가지 첨가제의 특성을 비교 검토하여 실험을 진행하였다. 제조공정은 형상제어와 건조가 한 반응기에서 동시에 이루어지므로 단순공정에 의한 제조방법을 구현하였다. Shell을 형성하는 고분자 수지는 폴리에틸렌(PE)와 폴리프로필렌(PP)을 사용하여 제조한 결과 비교적 연질의 수지로 소결조건에 맞지 않았으며, 또한 극성기가 없기 때문에 메탈 분말의 표면에 용착이 이루어 지지 않음을 알 수 있었다. 메탈 파우더는 Shell 재질에 따라 3가지 종류로 제작하였으며, Fig. 3에 제조된 메탈 파우더의 형상 분석을 나타내었다.

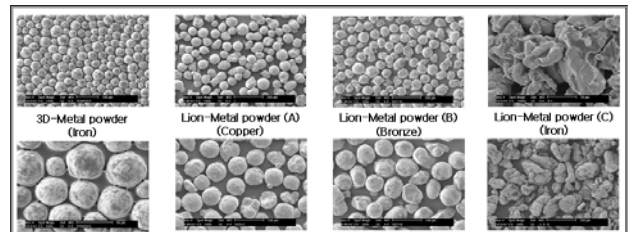


Fig. 3 SEM of Metal powder

4. 소결 실험

실험은 개발된 PA-12 파우더를 이용하여 진행 하였으며, 실험에 사용된 2개의 샘플 파우더에 대한 Specification과 실험조건을 각각 Table.1에 나타내었다. SLS 공정에서 파우더의 소결을 위해 필수 조건으로는 파우더 표면 예열온도, Laser Power, Layer Thickness 등의 조건이 있다. 이러한 조건들을 다양하게 변화시켜가면서 각각의 재료에 대한 소결 조건을 찾았으며, 파우더 표면의 예열온도는 재료의 Melting Point보다 5℃~8℃정도 낮은 온도를

시작점으로 하였으며, Laser Power 및 Layer Thickness는 각각 파우더 표면의 예열 온도와 Laser Power의 상관관계, 입자 크기에 따라 변화시켜가면서 실시하였다.

또한 실험은 자체 개발한 산업용 SFF 시스템을 이용하여 최적 공정 조건을 찾았다. 산업용 SFF 시스템은 CO₂ Laser를 이용한 SLS 공정에 기반을 둔 채속조형 시스템으로 분말 적층을 위한 피드림과 빌드림의 위치제어 및 롤러의 속도제어, 분말의 소결을 위한 온도제어 및 질소 분위기 조성, 레이저의 궤적 생성 및 제어 등 다양한 요소기술들로 이루어져 있으며, Fig. 4와 같이 파우더의 공급 및 이송을 담당하는 적층부, 파우더의 예열을 위한 히팅부, 워크림의 질소분위기를 형성하기 위한 질소 공급부, 레이저를 조사하기 위한 레이저부, 레이저 유닛 및 전체 시스템을 제어하기 위한 제어부 등으로 구성되며, 특히 기존의 SLS 공정에서 사용하고 있는 fθ 렌즈 대신에 3축 다이나믹 초점 스캐너(s-axis dynamic focusing scanner)를 적용하여 시스템을 구축하였다.

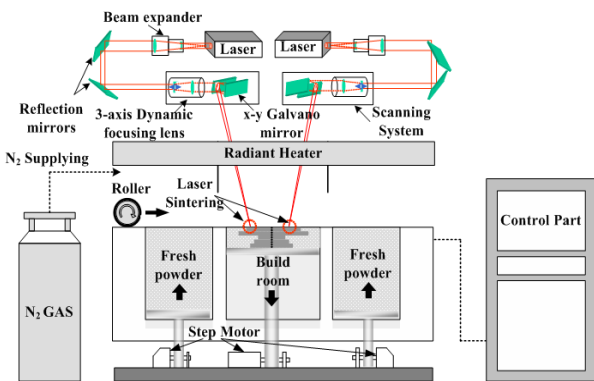


Fig. 4 Schematic diagram of Industrial SFF system

Table. 1 Specification of polyamide/metal powders

	Particle size average(um)	Melting point(℃)
PA-12 powder	40~50	184
Metal powder	10~70	150~200

Table. 1과 같은 2종류의 파우더를 가지고 Table. 2와 같은 조건으로 시편 제작 실험을 행하였다.

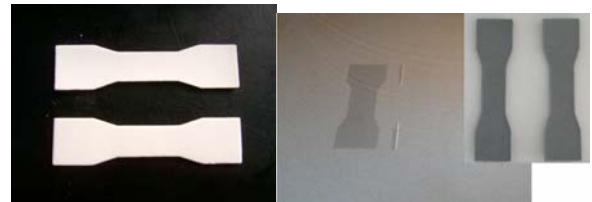
Table.2 Sintering condition of samples

Variable	PA-12 powder	Metal powder
Temp.(℃)	160~180	160~210
Scan speed(m/s)	6~7	2~5
Scan space(mm)	0.3	0.3
Laser power(W)	16~18	18~22
Layer thickness(mm)	100	100

Table. 2와 같이 다양한 조건으로 시편 제작을 실험한 결과 개발된 SFF 시스템에서의 최적의 조건을 찾을 수 있었다. 특히, 개발된 2종류의 파우더의 경우 소결 온도 및 적층 두께, 레이저 파워 등의 중요 변수에 대해 국내에 전량 수입되고 있는 외국 재료와 비슷한 조건을 가지고 있음을 알 수 있었으며, Table. 3에 최적 공정 조건을 나타내었으며, Fig. 5에 제작된 시편을 보여주고 있다. 향후 제작된 시편의 강도 측정 및 형상 정밀도 측정, 그리고 재현성의 발현 여부에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table.3 Sintering condition of Specimens

Variable	PA-12 powders	Metal powders
Temp.(℃)	178	186
Scan speed(m/s)	6	5
Scan space(mm)	0.3	0.3
Laser power(W)	18	20
Layer thickness(mm)	100	100



(a) Polyamide-12 powders (b) Metal powders
Fig. 5 Fabricated specimens

. 결론

본 연구에서는 SLS 공정을 이용하여 개발된 3차원 임의형상 제작 시스템의 성형재료로 소결 특성과 기계적 물성이 우수한 고분자/메탈복합 파우더의 소결 특성 및 적용 평가를 위한 실험을 수행하였다.

본 연구 결과를 통해 얻어진 결과를 바탕으로 향후 제작된 형상의 기계적 물성 측정, 형상정밀도, 재현성의 발현에 대한 구체적인 실험을 계획 중에 있다. 그리고 개발이 완료되면, 경제적, RP 산업계의 원활한 성장이 예상되며, 본 연구 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 제조된 2종류의 파우더를 가지고 개발된 3차원 임의형상 시스템에 적용가능함을 확인 할 수 있었다.
- 2) 제조된 2종류의 파우더를 가지고 시편을 제작, 개발된 시스템에서 최적의 조건을 찾을 수 있었다.

후기

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

참고문헌

1. Terry T. Wohlers, "Wohlers Report 2005" Wohlers Associates, 2005
2. James, C.N., "Selective Laser Sintering: A Definition of the process and an Empirical Sintering Model", PhD Thesis, *Texas A&M University*, May 1993
3. John, D.W. and Carl, R.D., "Advances in Modeling the Effects of Selected Parameters on the SLS process", *additive manufacturing*, Vol.4, pp.90-100, 1998
4. Aref-Azar, A, Hay, J.N., Marden, B. J. and Walker, N. *Journal of Materials Science* 1980, **15**, 637
5. Ghijssels, A., Groesbeek, N. and Yip, C.W. *Journal of Materials Science* 1982, **23**, 1913
6. Orientation of the lamellar crystals in polyamide 12/ Dosiere, M.(*Polymer*, v.34 no. 15, 1993, pp.3160-3167)