

Polyamide-6 파우더를 이용한 SLS 공정 최적화 연구

*배성우¹, 김동수²

^{1,2} 한국기계연구원 정보장비연구센터

A Study on optimization of SLS process by using Polyamide-6 powders

*¹S. W. Bae, ²D. S. Kim

^{1,2} IT Machinery Research Center, KIMM

Key words : Polyamide-6(PA-6), SLS(Selective Laser Sintering 선택적 레이저 소결), SFF(Solid Freeform Fabrication: 임의형상제작)

1. 서론

3차원 임의형상 제작 시스템은 제조 공정에 따라 SLA(Stereo Lithographic), SLS(Selective Laser Sintering), 3DP(Three Dimensional Printing), LOM(Laminate Object Manufacturing) 등으로 나뉘며, 그 중 SLS는 정밀도가 우수하고 공정중에 지지대를 사용하지 않는 특징을 가지고 있다. SLS 시스템은 분말 적층을 위한 빌드룸과 피드룸의 위치제어 및 롤러의 속도제어, 분말의 소결을 위한 질소분위기 조성 및 온도제어, 레이저의 제적 생성 및 제어 등 다양한 요소기술로 이루어져 있다. SLS 공정을 이용한 3차원 임의형상 제작 시스템(SFF : Solid Freeform Fabrication)에서 시제품을 제작하려면 복사기의 토너 역할을 하는 레이저 소결용 분말재료가 필요하다. 이러한 분말을 이용하여 3차원 임의형상을 복제 및 성형하기 위해서는 파우더 룬에 있는 고분자 또는 메탈 분자를 롤러를 이용하여 평탄하게 펼친 후 CO₂ 레이저를 이용하여 소결하게 된다. 이러한 소결용에 적합한 재료를 만들기 위해서 여러 재료를 대상으로 다양한 분말 소재가 개발되고 있다. 레이저를 이용하여 소결될 수 있는 재료의 종류는 다양하지만, 만들고자 하는 제품의 기능이나 SFFS 장비의 특색에 따라 적합한 재료를 사용해야 최적의 SFFS 장비의 성능을 발휘시킬 수가 있다. 하지만 국내의 경우 아직 국산화 된 SFFS 장비가 없어 대부분 수입 제품에 의존하고 있는 실정이며 이러한 제품을 이용, 3차원 임의형상을 제작하기 위한 재료 또한 수입에 의존하고 있는 실정이어서 막대한 자금이 유출 되고 있다. 현재 국내에 보급된 SFFS 장비는 400여대로 연간 가동율이 7일 정도로 재료의 가격이 매우 높다. 현재 보급되고 있는 외국의 재료 (Polyamide-12)의 경우 22만원/kg인 반면 현재 개발하고자 하는 재료(Polyamide-6)의 경우 5만원/kg으로 4배 이상의 재료비 절감 효과를 기대할 수 있다. 뿐만 아니라 이로 인한 장비의 활용도 또한 크게 증대할 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 고가의 수입 재료를 대신 할 수 있는 재료의 개발을 통해 가격경쟁력 뿐만 아니라 레이저 소결을 재료로써의 가치를 창출하고자 다양한 조건을 변화시켜 가면서 최적의 SLS 공정에 적용 가능하게 하기 위한 연구를 행하였다.

2. 폴리아미드 -6 (Polyamide-6) 의 제조

파우더의 열적 특성, 입자 크기, 분산성 및 모양 등은 SLS 공정에서 고려되어야 할 파우더의 매우 중요한 요소이다. 쉽게 구할 수 있고 가격 또한 저렴한 Polyamide-6(이하 PA-6)는 열에 의해 유연해 지는 성질 및 주변의 수분을 잘 흡수하는 성질을 가지고 있기 때문에 분쇄하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 열에 의해 연화되지 않도록 액체 질소를 이용 급냉 시킨 후에 분쇄기를 통해 분쇄하는 저온 건식 분쇄법을 이용하였고, 제조된 PA-6에 흡수된 수분을 제거하기 위해 진공 건조법을 이용하여 수분을 제거하였다. 저온 건식 분쇄법을 이용하여 제조된 파우더의 정확한 입자크기, 입도분포를 알기 위하여 레이저 회절 분석기(Laser Scattering Particle size Analyzer)로 분석한 결과 입자 크기가 다르고 모양이 뾰족한걸 알 수 있었다 (Fig.1). 또한 분쇄한 PA-6 파우더의 평균 입자 사이즈가 100um 이상에 분포되어 있는 것을 알 수 있었다(Fig.2). SLS 공정에서 입자 모양이 spherical 한 경우 파우더를 flattening 할 때 가장 평탄한 조건을

만들 수 있으므로 파우더의 모양을 구형으로 만들고자 분쇄된 파우더를 오븐을 이용하여 파우더가 녹지 않고 유연성이 있을 때 stirring하여 구형으로 만드는 방법과 물과 PA-6 사이의 성질을 이용하여 분자를 구형으로 만드는 실험을 하였는데, 물과 PA-6를 넣고 온도를 120℃~140℃로 가열하여 파우더를 제조하였다. 또한 입자의 크기를 100um 이하로 만들기 위하여 100um 단위로 mesh된 거름 망을 이용하여 걸러내었다. 열처리를 통해 얻어진 파우더의 SEM사진을 보면 입자의 뾰족한 모양이 구형으로 변한 것을 알 수 있으며, 입자의 평균 입도가 100um이하에 많이 분포되어 있는 것을 알 수 있다(Fig.3, Fig.4).

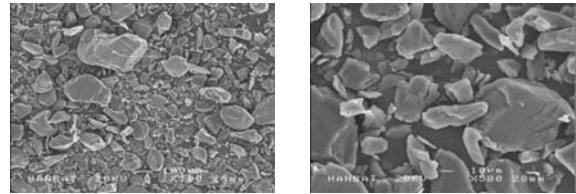


Fig. 1 Polyamide-6 파우더 SEM 사진

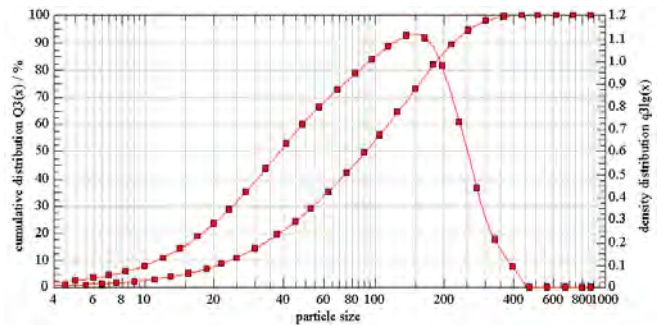


Fig. 2 Polyamide-6 파우더 입도분석

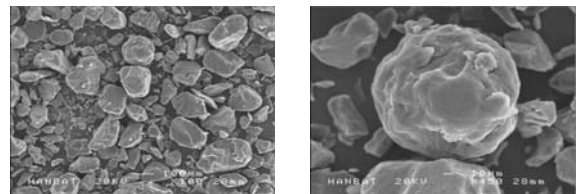


Fig. 3 열처리를 거친 Polyamide-6 파우더 SEM 사진

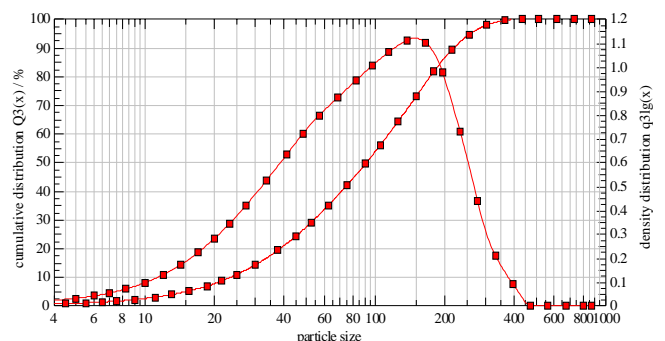


Fig. 4 100um mesh로 거른 후 PA-6의 입도분석

3. 폴리아미드-6 (Polyamide-6) 소결 변수 실험

실험은 개발된 PA-6 파우더만을 이용한 실험과, 현재 SLS 공정에서 사용되고 있는 외국 샘플(PA-12)와 개발된 PA-6를 각각 1:1의 비율로 섞어 비교 실험을 하였다. 실험에 사용된 2개의 샘플 파우더에 대한 Specification과 실험조건을 각각 Table.1과 Table.2에 나타내었다. SLS 공정에서 파우더의 소결을 위해 필수 조건으로는 파우더 표면 예열온도, Laser Power, Layer Thickness 등의 조건이 있다. 이러한 조건들을 다양하게 변화시켜 가면서 각각의 재료에 대한 소결 조건을 찾았으며, 파우더 표면의 예열온도는 재료의 Melting Point보다 5°C~8°C정도 낮은 온도를 시작점으로 하였으며, 특히 1:1 비율로 섞인 재료에 대해서는 Melting Point가 낮은 PA-12를 기준으로 해서 조건을 변화시켰다. 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 캐속조형 시스템으로 분말 적층을 위한 피드룸과 빌드룸의 위치제어 및 롤러의 속도제어, 분말의 소결을 위한 온도제어 및 질소 분위기 조성, 레이저의 캐직 생성 및 제어 등 다양한 요소기술들로 이루어져 있으며, Fig. 5와 같이 파우더의 공급 및 이송을 담당하는 적층부, 파우더의 예열을 위한 히팅부, 위크룸의 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.

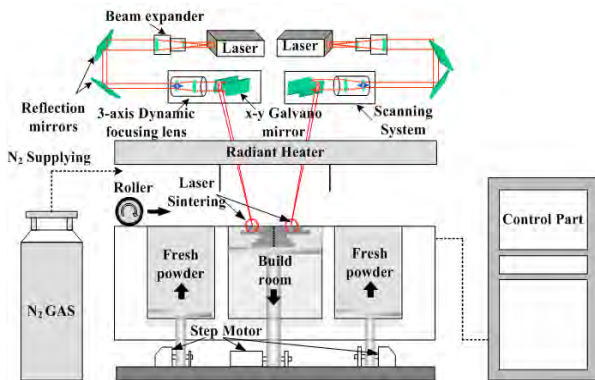


Fig. 5 Schematic diagram of Industrial SFF system

Table. 1 Specification of sample powder

	Particle size average(um)	Melting point(°C)
PA-6	80±5	223
PA-12	58	184
PA-6:PA-12=1:1	70±5	184

Table. 2 Sintering condition of an experimental

Variable	PA-6	PA-6:PA-12 (1:1)	PA-12
Temp.(°C)	190~215	178~190	170~184
Scan speed(m/s)	2~7	2~7	2~7
Scan space(mm)	0.3	0.3	0.3
Laser power(W)	18~25	18~25	15~20
Layer thickness(mm)	100~150	100~150	100~150

4. 임의형상 제작실험

각각의 제조된 파우더를 이용하여 다양하게 소결 변수 실험한 결과 Table.3과 같은 조건을 찾을 수 있었으며, 제작된 샘플 사진을 보여주고 있다.(Fig. 6)

Table.3 Sintering condition of samples

Variable	PA-6	PA-6:PA-12 (1:1)	PA-12
Temp.(°C)	195	185	178
Scan speed(m/s)	6	6	6
Scan space(mm)	0.3	0.3	0.3
Laser power(W)	18	23	18
Layer thickness(mm)	150	100	100



Fig. 6 Fabricated sample of PA-6, 5:5, PA-12

5. 결론

본 연구를 통해 얻어진 결과를 바탕으로 복잡한 임의형상 제작 및 PA-6와 PA-12의 분자 구조가 합해진 파우더를 이용하여 소결실험을 행하고, PA-6 파우더 원재료의 강도 및 습기를 감소시키기 위한 첨가제를 추가하여 소결 실험을 행하고자 한다.

SLS 공정에서 사용되는 재료비의 절감을 위해 개발된 PA-6 파우더를 가지고 다양하게 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) PA-6 파우더를 SLS 공정에 적용 가능함을 확인 할 수 있었다.
- 2) PA-6와 PA-12의 형상 비교시 많은 차이가 나지 않음을 알 수 있었다.
- 2) PA-6와 PA-12를 혼합했을 때의 소결 온도 및 적층 조건을 찾을 수 있었다.

후기

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

참고문헌

1. James, C.N., “Selective Laser Sintering: A Definition of the process and an Empirical Sintering Model”, PhD Thesis, *The University of Texas at Austin*, May 1993
2. John, D.W. and Carl, R.D., “Advances in Modeling the Effects of Selected Parameters on the SLS process”, *Rapid Prototyping Journal*, Vol.4, pp.90-100, 1998
3. Aref-Azar, A, Hay, J.N., Marden, B. J. and Walker, N. *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Edn* 1980, **18**, 637
4. Ghijssels, A., Groesbeek, N. and Yip, C.W. *Polymer* 1982, **23**, 1913
5. Orientation of the lamellar crystals in polyamide 12/ Dosiere, M.(*Polymer*, v.34 no. 15, 1993, pp.3160-3167)