

# SLS 공정을 이용한 산업용 SFF 시스템 개발

## Development of Industrial SFF System Using the SLS Process

\*배성우<sup>1</sup>, #김동수<sup>1</sup>, 이두용<sup>2</sup>, 방영길<sup>3</sup>, 김형일<sup>4</sup>

\*S.W. Bae<sup>1</sup>, #D.S.Kim(kds671@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, D.Y.Lee<sup>2</sup>, Y.K.Bang<sup>3</sup>, H.I.Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 나노기계연구본부, <sup>2</sup> 한국과학기술원 기계공학과, <sup>3</sup> (주)라이온캡텍, <sup>4</sup> 충남대학교 공업화학과

Key words : SLS(Selective Laser Sintering), SFF(Solid Freeform Fabrication), DMS(Digital Mirror System), Polyamide-12

### 1. 서론

제품 개발 과정에서 이루어지는 시제품의 빠른 제작 및 수정은 제품 개발기간 단축에 따른 제품의 시장경쟁력과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 다양한 공정 및 소재를 이용한 임의형상제작 시스템(SFFS: Solid Freeform Fabrication System)의 수요가 지속적으로 증가하고 있다.<sup>1,2</sup>

SLS(Selective Laser Sintering) 시스템은 분말적층을 위한 피드롤과 빌드롤의 위치제어 및 롤러의 속도제어, 분말의 소결을 위한 온도제어 및 질소 분위기 조성, 레이저의 궤적 생성 및 제어 등 다양한 요소기술들로 이루어져 있다.

본 연구에서는 SLS 공정을 이용하여 실물복제가 가능하도록 기존 SLS 공정에서 사용하고 있는 단일 레이저 spot size 대신에 DMS(Digital Mirror System)를 적용하였으며, 상용 재료 및 개발 재료의 소결 특성을 비교 분석하였다. 이를 통해 최종적으로 개발된 산업용 SFF 시스템의 성능 검증을 하였다.

### 2. 산업용 SFF 시스템

산업용 SFF 시스템은 Fig. 1과 같이 파우더의 공급 및 이송을 담당하는 적층부, 파우더의 예열을 위한 히팅부, 워크롤의 질소분위기를 형성하기 위한 질소 공급부, 레이저 궤적 생성을 위한 제어 및 시스템부 등으로 구성된다. 파우더의 적층을 위한 z축 구동을 위해 스텝모터를 사용하였으며, 롤러의 정확한 수평운동을 위해 AC 서보 모터를 이용한 LM가이드를 사용하였고, 롤러가 역회전하여 고르게 적층하는 롤러 메커니즘을 적용하였다. 한편, 파우더의 예열은 복사열을 이용한 히터 시스템 및 PID 제어 방법을 적용, 1°C 이내의 온도제어가 가능하도록 제작하였으며, 파우더 표면온도와 내부 온도 차를 최소화하기 위해 빌드룸에 판형히터(Piston Heater), 실린더형히터(cylindrical heater)를 설치하여 소결 시 발생할 수 있는 컬링(curling)을 방지 할 수 있도록 하였다. 소결시 95% 이상의 질소분위기 조성을 위해 산소센서를 이용하여 5%이하의 산소를 검출함으로써 질소분위기 조성여부를 확인 할 수 있도록 하였다. 또한 조사되는 레이저의 경우 3축 다이나믹 초점 렌즈를 이용하여 제작하였으며, 소결을 위한 레이저 빔의 다양한 스팟 크기를 얻기 위해 가변형 빔 익스팬더를 이용하여 DMS 시스템을 구축하였다.<sup>3</sup>

### 3. Digital Mirror System

디지털 미러 시스템은 서로 다른 크기와 복잡도를 갖는 영역에 다른 빔 스팟 사이즈와 스캔 스페이싱(Scan spacing), 스캔 스피드(Scan speed)를 사용하는 시스템이다. 빔 스팟 사이즈의 변경은 가변형 빔 익스팬더(Variable Beam Expander)를 사용하고 각각의 빔 스팟 사이즈에 대해 스캔 스페이스 및 스캔 스피드를 조절하여 최종적으로 소결 및 제작을 하게 된다.

먼저 Digital Mirror System은 주사 경로를 입력 받은 다음 주사 미러와 Expander를 초기화 시키고 슬라이싱된 단면에 대한 scanner, Expander, Laser 정보를 입력하게 된다. 입력된 데이터를 바탕으로 Hatching 면과 Boundary를 차례로 소결한 후 이 후 공정은 기존 연구와 마찬가지로 베드 제어기(bed controller)로 새로운 파우더 도포를 위한 신호를 보내고 도포 완료 신호가 입력될 때까지 대기하게 된다. 이 때 mirror를 home에 위치시키고 정렬 한 후 다음 층을 가공하게 된다.

### 4. 임의형상제작실험

DMS가 적용된 레이저 제어 프로그램을 이용하여 임의형상을 제작하였다. 제작된 모델은 미션커버 및 스케일바 모델로 영역 분할 정도에 따라 각기 레이저 빔의 크기를 달리하여 조사하였으며, Table. 1 및 Fig. 2에 각각 제작 조건 및 결과를 나타내었다. 제작결과 원하는 형상을 그대로 복원할 수 있었으며, 이러한 제작된 모델에 대한 형상 정밀도를 측정하기 위하여 Fig. 3과 같은 조건에 의해 각각에 대해 형상 정밀도를 측정하였다. 형상 정밀도 측정결과 DMS를 이용해서 임의형상 제작시 최대 440µm에서 최소 10µm의 치수 오차 발생하였으나 대부분의 오차가 250µm이내임을 확인할 수 있었다.

DMS를 적용해서 공정시간을 비교해보고자 Fig. 4와 같은 키 모델을 제작하였다. 각각의 제작 조건은 Table. 2와 같으며, 제작 결과 같은 두께를 갖는 소결품 제작 공정시 기본 알고리즘 보다 약 2배 이상의 공정 시간 단축 효과를 볼 수 있었으며, 하나의 layer 당 이득시간은 약 4초 정도로 시간을 단축 할 수 있었다. 왼쪽부터 기본 알고리즘, 고정된 스캔 스피드, 변경된 스캔 스피드를 적용한 결과를 나타낸다.

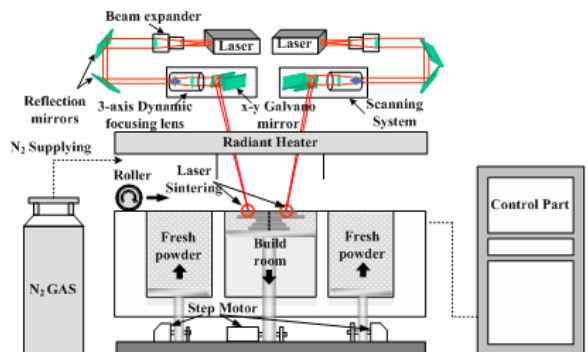


Fig. 1 Schematic of Industrial SFF system

Table. 1 Fabrication condition

	Specialty part	Mid part	Hatching part
Temperature	176 °C		
Scan Speed	6m/s	5m/s	4m/s
Spot size (Magnification)	0.3mm (x8)	0.5mm (x5)	0.8mm (x3)
Scan space	0.3mm		
Laser power	18 Watts		
Layer Thickness	100µm		

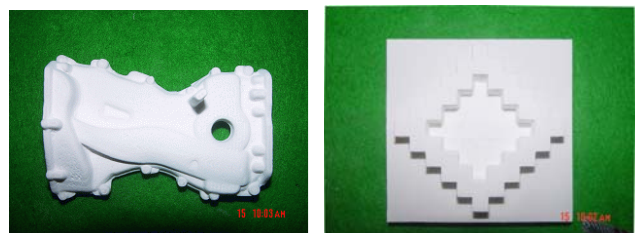
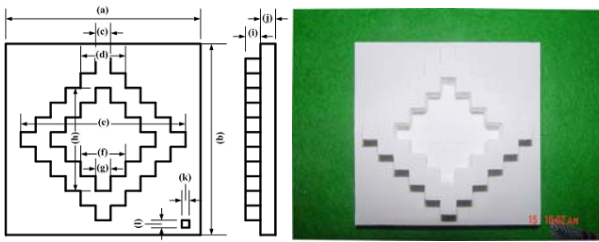


Fig. 2 Fabrication Model using the DMS system



구분	a	b	c	d	e	f
크기	96	96	7.2	21.6	79.2	21.6
치수	95.8	95.7	7.39	21.85	79.21	21.16
오차	0.2	0.3	-0.19	-0.25	-0.01	-0.44
구분	g	h	i	j	k	L
크기	7.2	50.4	12	12	3.6	3.6
치수	7.18	50.5	12.4	12.1	3.66	3.71
오차	-0.18	-0.1	-0.4	-0.1	0.06	-0.11

Fig. 3 Result of Dimension Errors

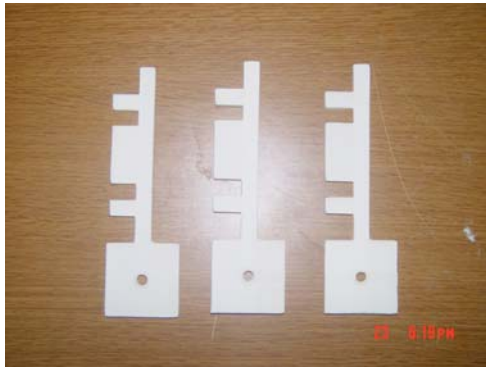


Fig. 4 Fabrication Model

Table. 2 DMS application condition

	Basic algorithm	DMS application (Fixed)	DMS application (Variableness)
Spacing (spot size)	0.3(0.5)	0.3(0.3) 0.3(0.6) 0.6(0.8)	0.3(0.3) 0.3(0.6) 0.6(0.8)
Speed	5m/s	5m/s	6m/s 5m/s 4m/s
Total processing time	390198ms	211881ms	189063ms

5. 새로운 파우더 개발 및 소결 실험

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 정제시킨 후 각종첨가제를 투입하고 교반하면서 감압(200~400 mmHg)하에서 2시간이상 건조하여 용제의 함량이 0.5%이하인 SLS 소결용 재료를 제조하였다. Fig. 5에 제작된 폴리아미드-12의 SEM 사진을 나타내었다. SEM 분석 결과 입자의 형상이 구형으로 얻어진 것을 알 수 있다.

실험은 개발된 PA-12 파우더를 이용하여 진행 하였으며, 실험에 사용된 2개의 샘플 파우더에 대한 Specification과 실험조건을 각각 Table. 3에 나타내었다. SLS 공정에서 파우더의 소결을 위해 필수 조건으로는 파우더 표면 예열온도, Laser Power, Layer

Thickness 등의 조건이 있다.<sup>4</sup> 이러한 조건들을 다양하게 변화시켜 가면서 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. Fig. 6은 제작된 시편을 나타내고 있다.

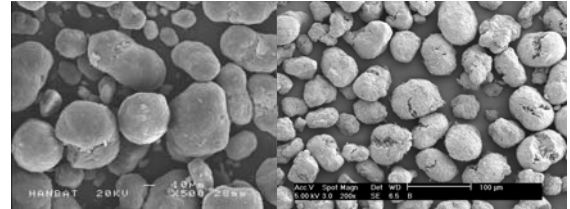


Fig. 5 SEM of polyamide-12

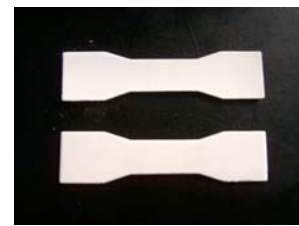


Fig. 6 Fabricated specimens

Table. 3 Sintering condition of polyamide-12

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

6. 결론

본 논문에서는 DMS를 이용한 SLS 공정 기반의 임의형상제작 시스템 제작하고, 산업용 임의형상 제작 시스템에 필요한 새로운 재료를 개발 및 적용 실험을 수행하였다.

1) DMS를 적용하여 복잡한 임의형상을 제작하였고, 형상치수 정밀도를 측정하였으며, 공정 시간을 모델별로 비교 검토하였다.

2) 새로운 개발 재료에 대한 소결 공정 및 소결 특성을 고찰하였으며, 개발 재료가 개발된 산업용 SFF 시스템에 적용가능함을 확인하였다.

후기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. M60602000002-06E0200-00210).

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, The University of Texas at Austin, May 1993
3. 김동수, 배성우, 김충환, 최병오, 최경현, "듀얼 레이저를 이용한 산업용 SFF 시스템 개발" 한국 정밀공학회 춘계 학술대회논문집, pp. 193~194, 2006.
4. 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