

SLS 공정에서 Laser beam spot size에 따른 소결 특성 비교

Compare with Sintering Characteristics along a Laser beam spot size in the SLS process

*배성우¹, #김동수², 김준우³, 최현철⁴, 최경현⁵

*S. W. Bae¹, #D. S. Kim(kds671@kimm.re.kr)², J. W. Kim³, H. C. Choi⁴, K. H. Choi⁵
^{1,2#},^{3,4} 한국기계연구원 정보장비연구센터, ⁵제주대학교 메카트로닉스공학과

Key words : SLS(Selective Laser Sintering), SFF(Solid Freeform Fabrication), DMS(Digital Mirror System), Laser beam spot size

1. 서론

최근 SLS(Selective Laser Sintering)을 이용한 SFF(Solid Freeform Fabrication)시스템에서 빠른 제작 및 수정은 제품 개발 기간 단축에 따른 제품의 시장 경쟁력과 밀접한 관계를 가지고 있으며^{[1][2]}, 형상정밀도는 제품의 질(Quality)을 높이는 중요한 결정 요소라 할 수 있다. 기존의 SLS 공정을 이용한 3차원 임의형상제작 시스템에서는 슬라이싱 된 단면 형상에 대해 레이저를 조사할 때 레이저 빔 스팟 사이즈가 일정한 관계로 빠른 제작 및 수정이 가능할 수는 있었으나 제품의 질을 높이는 형상정밀도가 저하되는 단점을 가질 수 있다. 예를 들어, 슬라이싱 된 단면 형상에 대해 정확하게 레이저가 조사 되었다 하더라도 과도한 소결 온도라든지 높은 레이저 파워 등의 이유로 파우더 표면에서의 열확산 현상에 의해 Boundary 부분에서 형상정밀도가 떨어지게 되며 특히 이러한 특징들은 미세한 부분을 가공할 때 뚜렷이 나타난다.

따라서 본 논문에서는 이러한 현상들을 감소시키고자 슬라이싱 된 하나의 단면에 대해 다양한 레이저 빔 스팟 사이즈를 이용하여 소결을 행하기 위한 DMS(Digital Mirror System)을 적용하기 위한 기초단계로 레이저 빔 스팟 사이즈에 따른 소결 특성에 대한 연구를 수행하였다.

2. Spot size 측정

DMS(Digital Mirror System)을 구축하기 위해 선행되어야 할 중요한 요소는 가변형 빔 익스펜더를 적용하였을 때 실제 계산한 데이터와의 비교 검증 및 가변형 빔 익스펜더의 작동상태, 현 시스템과의 호환성 등을 검증하기 위해 레이저 스팟 사이즈를 실제로 측정해 보는 것이다. Fig. 1은 스팟 사이즈를 측정하는 순서를 나타낸 것이다. 먼저 빔 익스펜더 Control 프로그램을 이용하여 원하는 배율로 맞춘 후, 기구부 프로그램을 이용하여 Sintering 준비를 한 다음 레이저 Control 프로그램을 이용하여 Scan speed, Scan space, Laser power 등을 조절 하게 되며 최종적으로 스팟 사이즈를 측정하게 된다. 스팟 사이즈는 Microscope를 이용하여 측정하였으며, 이러한 순서를 반복하여 전체 배율에 관한 스팟 사이즈를 측정하였다.

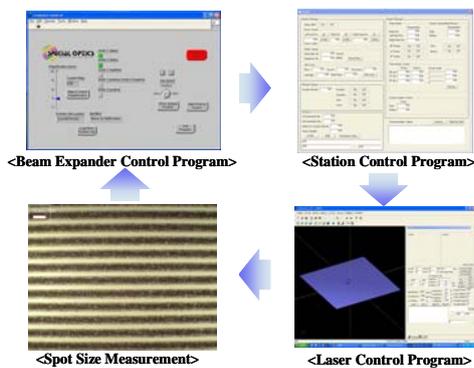


Fig. 1 Spot size measurement

스팟 사이즈 측정시 조사되는 레이저의 열에너지에 의해 열 확산 현상을 최소화 하고자 다양한 필름 용지를 사용하여 측정하

였으며, 측정결과 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었던 SH-71S(Coating Film)를 사용하였다. 측정 조건 및 결과는 Table. 1과 같으며, Fig. 6에 측정된 결과를 보여주고 있다.

Table. 1 Measurement condition

Mag.	Cal.data (um)	laser power (W)	Scan speed (m/s)	Scan space (mm)	Result (um)
x3	833.4	30	0.5	1.5	855.2
x4	625	30	0.5	1.5	641.2
x5	500	30	1.0	1.5	499
x6	416.6	30	1.5	1.5	410.9
x7	357.2	30	1.5	1.5	377.6
x8	312.6	30	1.5	1.5	333.2

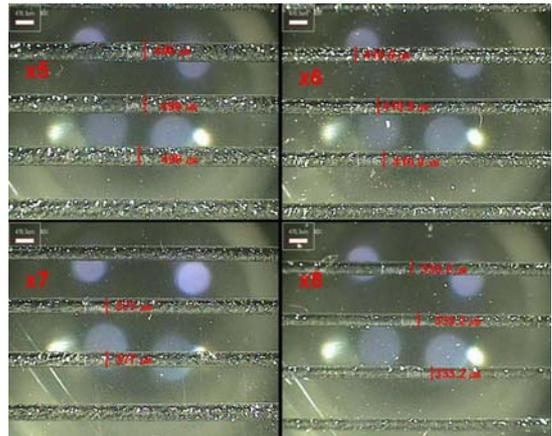


Fig. 2 Result of spot size Measurement(SH-71S coating film)

스팟 사이즈 측정 결과 계산된 값과 측정값의 차이가 거의 없는 것을 확인 할 수 있었으며, 현 시스템에 적용 가능함을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 하여 각각의 스팟 사이즈에 대해 시편을 제작하여 소결 특성을 고찰하였다.

3. 소결 특성 실험

DMS(Digital Mirror System)을 구축하여 레이저 빔 스팟 사이즈를 변경해 가며 소결하였을 때 그 소결 특성을 파악하기 위해 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈에 대해 소결 실험을 행하였다. 특히 powder에 전달되는 에너지 밀도의 양에 따른 over sintering 및 curling 발생되는 정도, 제품의 형상정밀도, 강도 등의 분석에 중점을 두었다.

여기에서 슬라이싱 된 하나의 단면에 대해 다양한 레이저 빔 스팟 사이즈를 적용하여 파우더가 받는 에너지 밀도가 동일하게 유지되기 위한 방법은 2가지 정도로 요약 될 수 있다. 하나는 동일한 Scan Speed에 Laser power 및 Scan Space를 달리 하는 방법과, 다른 하나는 동일한 Laser power에 Scan Speed 및 Scan Space를 달리하여 파우더가 받는 에너지 밀도를 같게 하는 방법이 있다. 이 2가지 방법에 의해 파우더가 받는 에너지 밀도의 양을 보상에 줄 수 있으며, 본 연구에서는 다소 용이한 후자의 방법을 선택하여 실험을 행하였다. 또한 기존의 연구에서 얻어진 결과를

바탕으로 Laser power(18W), Layer thickness(100 μ m), Build room Temp.(178 $^{\circ}$ C)는 동일 조건으로 하여 실험을 행하였다.^{[3],[4]} 특히 DMS(Digital Mirror System)에 적용하고자 하는 레이저 빔 스팟 사이즈의 크기와 Scan Speed는 제작 공정 시간 단축을 위해 기존의 연구에서 고찰한 조건을 바탕으로 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈에 대해 일정한 값을 바탕으로 실험을 행하였다. Table. 2에 소결 특성 실험을 하기 위한 실험 조건을 나타내었으며, 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈 이상의 Scan Space를 갖는 조건에 대해서는 시편을 제작하지 않았다. Fig. 3에 제작된 시편을 보여주고 있다.

Table. 2 Condition of Sintering Test

spot size (μ m) / Magnification	Scan Speed(m/s)	Scan Space(mm)
300 / x8	7	0.2
		0.3
500 / x5	5	0.3
		0.5
800 / x3	2	0.6
		0.8
		0.8



Fig. 3 Fabrication sample

4. 소결 특성 실험 결과

기존 공정조건으로 제작된 시편을 기준으로 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈에 따라 제작된 시편의 기계적 강도를 비교해 보았다. 인장 강도 측정은 Instron 5538 만능시험기를 이용하였으며, 각 스팟 사이즈 별로 4회씩 실험하여 그 평균값을 데이터화 하였다. Fig. 3은 데이터 결과를 그래프로 도시 한 것이다.

각각의 레이저 빔 스팟 사이즈에 대해 제작한 시편의 인장강도 시험 결과를 Table. 3에 나타내었다. 시험 결과 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈에 따른 Scan space의 중첩 비율에 대해 레이저 빔 스팟 사이즈가 작은 것이 강도가 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 기존 시편인 C와 비교해 보았을 때 30% 정도의 수준이며, 레이저 조사 시 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈에 대해 Scan space의 영향보다는 Scan speed의 영향이 클 것으로 예상 된다.

Table. 3 Tensile Stress Test

	A	B	C	D	E	F
condition	300 μ m/ 0.2mm	300 μ m/ 0.3mm	500 μ m/ 0.3mm	800 μ m/ 0.5mm	800 μ m/ 0.6mm	800 μ m/ 0.8mm
Max. load(kN)	0.533	0.637	1.43	2.78	2.39	1.20

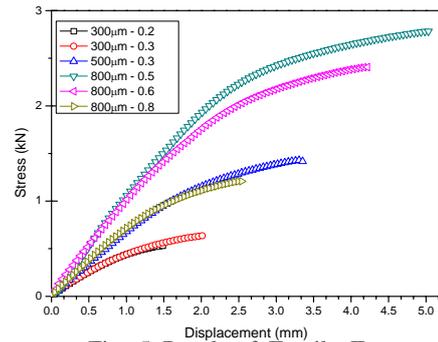


Fig. 5 Result of Tensile Test

5. 결론

DMS(Digital Mirror System)을 구축하기 위한 기초실험 단계로 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈에 따른 빔 스팟 사이즈 측정 및 샘플을 제작해보고 그 소결 특성을 파악하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 레이저 빔 스팟 사이즈 측정 결과 이론적으로 계산된 값과 크게 차이가 나지 않음을 확인 할 수 있었다.
2. 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈를 이용하여 시편을 제작 할 수 있었다.
3. 각각의 레이저 빔 스팟 사이즈를 이용하여 기존공정 연구를 통해 얻어진 데이터와의 비교 검증을 행하였으며, 일정 이상의 인장 강도를 보유함을 확인 할 수 있었다.
4. 기존의 시스템에 DMS(Digital Mirror System)을 구축할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

후기

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

참고문헌

1. Brown, H. R., Macromolecules, 22, 2859., 1989.
2. Giannelis, E. P., Krishnamoorti, R., Manias, E., Adv. Polym. Sci., 138, 107., 1999.
3. S.W. Bae, D.S Kim, C.H. Kim, J.D. Cho and B.O. Choi, "Design and Evaluation of Digital Mirror System for Industrial SFF system", RODS 4th Workshop, pp.65~70, 2006.
4. 김동수, 배성우, 김충환, 최병오, 최경현, "듀얼 레이저를 이용한 산업용 SFF 시스템 개발," 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 193~194., 2006.