산업용 SFF 시스템 개발

Development of Industrial SFF System

*배성우[1], #김동수[1], 유성연[2] , 최경현[3],

*S. W. Bae[1], #D. S. Kim(kds671@kimm.re.kr)[1] , S. Y Yoo[2], K. H. Choi[3]

[1] 한국기계연구원 나노융합기계연구본부, [2]충남대학교 기계설계공학과, [3]제주대학교 메카트로닉스공학과

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

1. 서론

최근 임의형상을 신속하게 제작하기 위한 쾌속 조형(RP : Rapid Prototyping) 기술이 다양한 분야에서 연구되고 있으며, 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있다[1]. 이러한 쾌속 조형 시스템에는 제조 방법에 따라 다양하게 나누어지며, 본 논문에서는 SLS(Selective Laser Sintering) 방식을 이용한 3차원 임의형상제작(SFF : Solid Freefrom Fabrication) 시스템을 대면적, 고속/고정밀 제작이 가능한 산업용 SFF 시스템 개발에 대해 언급하고자 한다.

SLS 공정을 이용한 산업용 SFF 시스템은 3차원 형상을 복제 및 성형하기 위해서 3차원 CAD 데이터 또는 3차원 스캐너에 의해 Scanning 된 데이터를 가공하자 하는 단면에 따라 얇게 절단하여 2차원 단면 데이터로 변환하고 파우더 룸에 있는 고분자 또는 메탈 분자를 롤러를 이용하여 평탄하게 도포한 후 CO_2 레이저를 이용하여 단면 형상대로 조사하여 소결하게 되고 이러한 과정을 반복하여 최종적으로 3차원 형상을 만드는 적층 가공 방식이다.

하지만 기존의 SLS 공정을 이용한 SFF 시스템의 경우, 조사되는 레이저의 빔 사이즈가 일정하여 넓은 2차원 단면 형상에 대해서는 문제가 없으나, 미세 부분을 가공하고자 할 때는 조사되는 레이저 빔 사이즈가 소결하고자 하는 미세부분 보다 크게 되는 경우가 종종 발생하게 되어 형상정밀도가 저하되는 문제점이 있었다[2].

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 가공하고자 하는 형상의 면적에 따라 각기 다른 크기의 레이저 빔을 조사하는 DMS(Digital Mirror System)을 개발하여 형상 정밀도 뿐만 아니라 제작 속도를 높이는 방안에 대해 연구를 진행하였으며, 이를 산업용 SFF 적용하여 대면적, 고속/고정밀 소결이 가능한 시스템을 개발하였다. 따라서 본 연구에서는 DMS를 적용한 산업용 SFF 시스템의 개발 내용 및 결과들에 대해 논하고자 한다.

2. 산업용 SFF 시스템 개발

산업용 SFF 시스템은 Fig. 1과 같이 파우더의 공급 및 이송을 위한 적층부, 파우더의 예열을 위한 히팅부, 워크룸의 질소분위기 형성을 위한 질소 공급부, 레이저를 조사하기 위한 레이저 부 및 전체 시스템 및 레이저 부를 제어하기 위한 제어부로 구성된다.

적층부는 CAD 데이터나 3차원 Scanning 이미지를 이용하여 파우더로부터 3차원 형상을 가공할 때 파우더의 적층을 위한 z축의 제어와 롤러를 이용한 x축의 파우더 이송을 위해 각각 스텝모터와 서보모터를 이용하여 정밀 제어를 하였다. 또한 SLS 공정 중 발생할 수 있는 Curling 현상을 방지하고 보다 정밀한 가공정밀도를 위해 파우더의 예열이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 복사열을 이용하여 빌드룸과 피드룸의 파우더를 예열하는 히터 시스템을 적용하였고 이들의 정밀 제어를 위해 PID 제어 방법을 적용하여 1℃ 이내의 온도제어가 가능하도록 히터부를 제작하였다. 질소 공급부(Fig. 2)는 시스템 내부에서 레이저 소결시 발생할 수 있는 미소 폭발에 따른 그을음을 억제하고 파우더의 날림으로 인한 스캐너 렌즈부에 점착을 방지하기 위해 워크룸 및 스캐너 렌즈부에 질소를 공급하는 역할을 하며, 워크룸 내에 95% 이상의 질소분위기가 유지 될 수 있도록 산소센서를 이용하여 5%이하의 산소를 검출할 수 있도록 하였다. 레이저부는 3축 다이나믹 초점 렌즈를 사용하여 레이저 빔을 조사할 때 발생하는 빔 사이즈의 찌그러짐 현상을 방지하기 위하여 렌즈의 초점 거리를 가변 할 수 있도록 하였으며, 일정한 레이저 빔의 사이즈를 형상의 면적에 따라 가면할 수 있도록 가변형 빔 익스펜더를 이용하여 미세한 부분의 형상에 대해서는 작은 레이저 빔을, 큰 해칭(hatching)면에 대해서는 굵은 레이저 빔을 조사하여 전체적인 형상정밀도 및 제작 속도를 향상 시킬 수 있는 DMS를 적용하였다.

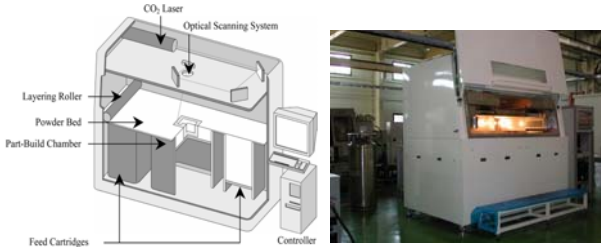

Fig. 1 Schematic diagram of Industrial SFF system

Fig. 2 Oxygen sensor and LCD monitoring board

3. 산업용 SFF 시스템 성능 평가

SFF 시스템에서 빌드룸은 가공하고자 하는 형상의 절단된 단면의 두께 만큼 스텝 구동으로 하강시켜야 한다. 따라서 빌드룸의 수직이송부의 안정성은 제품의 형상정밀도를 향상시키는 주요 요소라 할 수 있다. 따라서 개발된 산업용 SFF 시스템의 수직이송부(z축)의 정밀도 측정을 행하였으며, 측정방법 및 측정결과를 각각 Fig. 3와 Table. 1에 나타내었다. 또한 스트로크 1,000mm당 0.07mm 이내의 정밀도를 갖는 Absolute linear scale를 피드백 시스템으로 적용하여 z축의 치수정밀도를 보정할 수 있게 하였다.

Fig. 3 Measurement of z-axis resolution

Table. 1 Result of z-axis resolution

	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회
80㎛	80	80	80	80	90	90	90	80	80	90
100㎛	100	100	110	110	110	100	100	100	100	100
150㎛	140	140	150	150	150	150	160	160	150	150

Fig. 4와 같이 복사열을 이용하여 빌드룸과 피드룸의 파우더를 예열하는 히터 시스템을 적용하였다. 히터 시스템의 성능을 평가

하기 위해 실제 소결 공정 중 온도 변화를 측정하였다. Fig. 5에 실제 소결실험 중 히터의 성능변화를 그래프로 나타내었으며, 1℃이내에서 온도 제어가 가능함을 확인할 수 있었다. 또한 빌드룸에서 소결품에 대해 파우더 표면과 내부온도차의 편차를 줄이기 위해 실린터 히터를 빌드룸 외부에 설치하여 소결 시 발생할 수 있는 열응력에 의한 변형을 방지 할 수 있도록 하였다. 실린더 히터의 제어는 K타입의 Thermocouple로부터 감지된 온도 값을 Relay를 이용하여 on/off 제어하였다.

Fig. 4 Radiant heater for build room and feed room

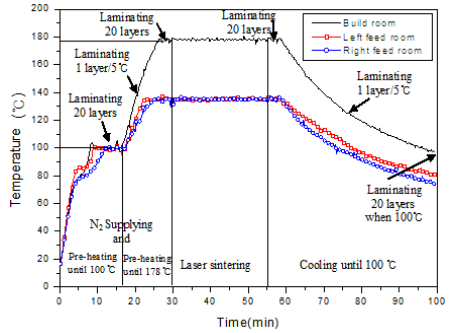

Fig. 5 Performance evaluation of radiant heater

레이저부의 성능평가는 DMS를 적용하기 위한 빔 익스펜더 및 미소 폭발에 의한 스캐너부의 점착을 방지하기 위한 Protective windoe의 장착 여부에 따라 소결 공정시 필요한 레이저 파워의 안정성 여부를 검증하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 검증 결과 레이저 파워의 안정성이 확보됨을 확인 할 수 있었다.

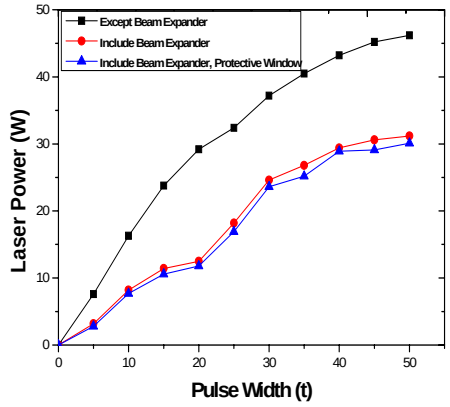

Fig. 6 Performance evaluation of laser power stability

4. 소결 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 두었으며, 실험결과 일정 이상의 강도를 보임을 알 수 있었다[3].

이러한 결과를 바탕으로 DMS를 이용하여 보다 복잡한 형상에 대한 소결 실험을 진행하였다. 소결 모델로는 먼저 형상 정밀도를 측정하기 위해 스케일 바를 제작하였으며, 복잡한 형상에 대한 소결 특성을 파악하기 위해 미션 커버를 제작하였다. Fig. 7에 제작된 결과를 나타내고 있으며, Fig. 8은 제작된 스케일바의 치수를 측정하기 위한 원본 CAD 파일을 보여주고 있으며, Table. 2에 치수 측정 결과를 나타내었다. 측정결과 최대 440㎛에서 최소 10㎛의 치수 오차 발생하였으며, 이는 소결시 소결된 층과 소결되고자 하는 층 사이의 열 수축에 따른 치수 변형을 확인할 수 있었으나, 대부분의 오차가 250㎛ 이내로 확인되었다.

Fig. 7 Manufactured scale bar and mission cover

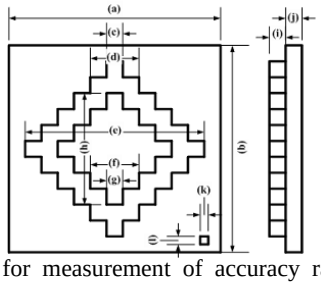

Fig. 8 CAD file for measurement of accuracy ratio

Table. 2 Result of accuracy ratio

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

5. 결 론

본 연구에서는 SLS 공정을 이용한 산업용 SFF 시스템을 개발하고자 산업용 SFF 시스템의 각 파트에 대한 성능 평가를 통하여 전체 시스템의 안정성을 확인하였고 특히 치수정밀도 및 제작속도를 높이기 위해 개발된 DMS 시스템을 적용하여 복잡한 형상을 제작해 공정 조건을 확립하고 이를 검증하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SLS 공정을 이용한 산업용 SFF 시스템을 개발하였다.
2. 개발된 산업용 SFF 시스템의 성능 평가를 통해 안정성을 입증하였다.
3. 치수정밀도 및 제작속도 향상을 위해 개발된 DMS를 적용하여 공정 조건을 확립하였으며 이를 검증하였다.

후기

이 논문은 2009년도 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.D.S. Kim, S.W. Bae and K.H. Choi, "Application and performance evaluation for the DMS system in the SLS process", International Journal of Modern Physics B, 22, 9, 1833~1838, 2008.
3.K.H. Choi, H.C Kim, Y.H. Doh, and D.S. Kim "Novel scan path generation method based on area division for SFFS", Journal of Mechanical Science and Technology, 23, 1~7, 2009.