

# SLS 공정을 이용한 SFF 시스템의 구조해석에 대한 연구

## A study on structural analysis of SFF system using SLS process

\*배성우<sup>1</sup>, #김동수<sup>2</sup>, 유성연<sup>3</sup>

\*S. W. Bae<sup>1</sup>, #D. S. Kim(kds671@kimm.re.kr)<sup>2</sup>, S. Y. Yoo<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> 한국기계연구원 나노융합기계연구본부, <sup>3</sup>충남대학교 기계설계공학과

Key words : SFF(Solid Freeform Fabrication), SLS(Selective Laser Sintering), Structural analysis

### 1. 서론

본 연구에서 개발하고자 하는 SLS 공정을 이용한 산업용 SFF 시스템은 현대 산업에서의 소비자의 다양한 욕구를 만족시키기 위해 다품종 소량 생산에 따른 신제품의 개발 주기 기간 단축 경쟁에서 살아남기 위한 Prototype의 빠른 제작과 수정을 위한 시스템 개발에 대한 연구이다.

임의형상제작(Solid Freeform Fabrication) 시스템은 임의형상을 3차원 스캔이나 설계를 통하여 확보된 3차원 모델 3차원 모델링을 임의의 얇은 두께로 절단하고, 절단된 면을 2차원 단면 데이터로 변환한 후 여러 가지 방법을 통하여 적층해감으로써 3차원 입체형상을 제작하는 시스템이다. SFF 시스템은 일반 절삭가공 등에 비해 제작 속도가 빠를 뿐만 아니라 언더컷 등이 발생하여 절삭가공으로 불가능한 모형 등 어떠한 임의의 형상도 제작 가능한 것이 최대의 장점이다. 적층 공정에 따라 SLA(Stereo Lithographic Apparatus), SLS(Selective Laser Sintering), FDM(Fused Deposition Modeling), 3DP(Three Dimensional Printing), LOM(Laminated Object Manufacturing) 등으로 나뉜다.<sup>[1-2]</sup>

본 연구에 적용된 SFF 공정은 SLS(Selective Laser Sintering) 공정으로 SLS 공정은 미세분말(폴리머, 세라믹, 금속분말 등)을 레이저를 조사하여 단면형상을 소결시킨 뒤 다시 그 위에 일정한 두께의 미세분말을 적층하는 과정을 반복하여 3차원 형상을 제작하는 공정으로, 소결공정에서 소결되지 않은 분말이 형상의 지지대 역할을 함으로써 별도의 지지대가 불필요한 것이 장점이다. SLS 시스템을 이용한 산업용 SFF 시스템은 분말 적층을 위한 빌드룸(build room)과 피드룸(feed room)의 위치제어 및 분말을 평탄화하는 롤러의 속도제어, 분말의 소결을 위한 질소분위기 조성 및 온도제어, 레이저의 궤적 생성 및 제어 등 다양한 요소기술로 이루어져 있다. 특히, 레이저를 이용해 분말을 소결할 때, 분말의 Melting Point와 레이저 주사 강도를 고려하여 build room의 온도 분위기를 조성해야 하는데, 보통 150℃ 이상의 고온에서 제작하고자 하는 모델의 크기에 따라 달라지기는 하나 평균 4시간 이상의 고온에서 소결에 이루어진다. 이 때문에 SLS 공정을 이용한 산업용 SFF 시스템을 제작 시 높은 온도에 의한 시스템의 구조적인 변화로 인해 분말을 공급해 주는 feeding room의 변위 및 롤러의 회전수 변화 등의 기계적인 오차에 의한 정밀 제작의 문제점을 야기 시킬 수 있다. 이러한 오차들은 feed room과 build room의 z축 방향의 수직 이송부의 위치제어와 롤러의 회전 방향과 수평 방향의 이송부의 속도제어를 통해 분말의 적층 두께인 0.1mm 정도의 일정유지가 불가능하게 할 뿐만 아니라 분말 표면의 고른 적층을 방해하여 결과적으로 제작하고자 하는 형상의 정밀도가 저하되는 문제를 발생시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 개발하고자 하는 산업용 SFF 시스템을 대상으로 유한요소 해석을 통하여 강도가 약한 부위를 도출하고 그 성능을 평가함으로써, 최적의 시스템을 구현하고자 하는 연구를 수행하였다.

### 2. 산업용 SFF 시스템의 구조

산업용 SFF 시스템은 산업용 SFF 시스템의 전체 크기는 2500(W)×1560(D)×2300(H) mm이며 Table 1에 구조부를 구성하고 있는 알루미늄 프로파일의 사양을 나타내었다.

본 시스템의 경우 듀얼레이저를 이용하여 800(W)×500(D)×600(H) mm의 임의형상을 제작할 수 있도록 빌드룸을 설계하였다. 이러한 빌드룸에 파우더를 공급하기 위한 피드룸의 크기는 400(W)×500(D)×600(H) mm으로 빌드룸의 좌우측에 2개를 설치하였다. 또한, 장비 위쪽에 레이저부를 설치하여 워크룸으로 레이저가 조사될 수 있도록 구현하였으며, 레이저부의 크기는 2200(W)×680(D)×347(H) mm이다.

기구부는 LM 가이드와 서보모터를 이용하여 롤러 메카니즘을 구현하였으며, 파우더의 적층방법으로는 서보모터를 이용하여 롤러를 역회전 시키는 방법을 사용하였다. 또한, 스텝모터와 감속기를 이용하여 Z축으로의 정확한 제어를 수행하였으며, 파우더의 적층두께를 최적화할 수 있도록 적층부를 구성하였다.

히팅부는 복사열을 이용하여 파우더를 예열하는 시스템을 선정하였다. 본 시스템에서 히터부의 역할이 가장 중요하기 때문에 유한요소 해석을 통하여 히터의 용량을 결정하였다. 유한요소 해석결과 파우더의 표면을 예열하기 위해 빌드룸과 피드룸에 2.2kW급의 히터 각각 2개씩 총 8.8kW급 히터의 설치를 하였다.

레이저부의 경우 500(W)×800(D)×500(H) mm의 시제품을 제작할 수 있도록 듀얼레이저 소결방식의 레이저 헤드 유닛을 설계하였으며, CO<sub>2</sub> 레이저 발생기, 빔익스펜더, 반사미러, 다이 나미 포커싱 시스템으로 장치를 구성하였다. Fig. 1에 산업용 SFF 시스템을 나타내었다.

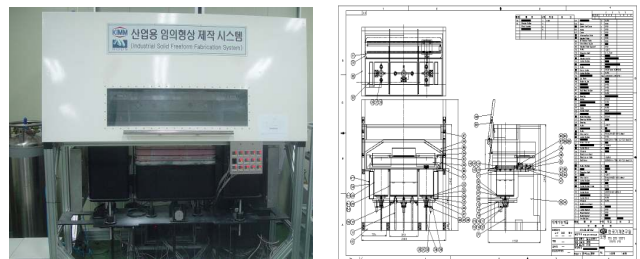


Fig. 1 Layout of Industrial SFF system

Table 1. Parts list of apparatus

Part Name	Part Size	Specification
Main Frame	2500(W)×1560(D)×2300(H)	알루미늄프로파일
Build Room	800(W)×500(D)×600(H)	알루미늄프로파일
Feed Room	400(W)×500(D)×600(H)	알루미늄프로파일
Side Basket	140(W)×600(D)×640(H)	알루미늄프로파일
Laser Space	2200(W)×680(D)×347(H)	알루미늄프로파일

### 3. 산업용 SFF 시스템의 유한요소해석 모델링

산업용 SFF 시스템의 구조해석을 위한 유한요소해석 전후처리는 전용 S/W인 HYPERMESH를 사용하여 유한요소 모델링을 수행하였으며, 구조해석 및 평가에는 상용 유한요소해석 S/W인 ANSYS를 사용하였다. Fig. 2에 유한요소 모델링한 결과를 나타내었다.

구조 해석 모델을 실제 산업용 SFF 시스템에 최대한 가깝게 근사시키기 위하여 삼각형과 사각형의 shell element를 혼합 사용하였고, 등방성 재질의 쉘 요소인 SHELL 63을 적용하였다. Table 2는 산업용 SFF 시스템의 물성치를 나타낸 것으로, 스테인레스강(STS 304)으로 build room, feed room을 제작하였고, 알루미늄

압출재(Al 60601)로 지지대를 제작하였다. Fig. 3은 지지대의 단면을 나타낸 것으로 단면 사이즈가 80×120이고 산업용 SFF 시스템의 하단을 지지하는데 사용하였으며, 그 외에 30×60, 40×40, 40×80, 80×80 부재를 사용하였다.

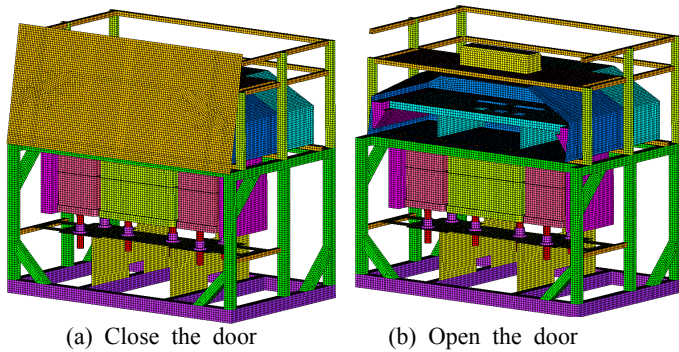


Fig. 2 Finite element model of Industrial SFF system

Table. 2 Property of Industrial SFF system

	$E(kgf/mm^2)$	$\nu$	$\sigma_T(kgf/mm^2)$	$\sigma_L(kgf/mm^2)$
STS 304	21406.7	0.3	21	53
Al 60601	7135.6	0.33	21.9	26.5

여기에서,  $E$ 는 탄성계수,  $\nu$ 는 뺀아송비,  $\sigma_T$ 는 항복응력,  $\sigma_L$ 는 인장응력이다.

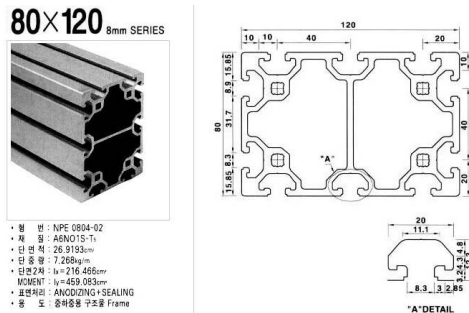


Fig. 3 Cross section of Al 6061 buttress

#### 4. 산업용 SFF 시스템의 유한요소해석 및 결과

자중을 받고 있는 산업용 SFF 시스템을 대상으로 항복강도를 적용하여 구조해석을 하였다.

Fig. 4는 산업용 SFF 시스템의 자중 W1g를 부하하여 구조해석한 후 Von-Mises 응력으로 나타낸 것으로, 위쪽에서 보았을 때 (a)와 아래쪽에서 보았을 때 (b) 응력이 크지 않은 것으로 나타났다. Table 2에서 알 수 있듯이, 스테인레스강(STS 304)의 항복응력은 21 kgf/mm<sup>2</sup>이고 알루미늄 압출재(Al 60601)의 항복응력은 21.9 kgf/mm<sup>2</sup>이다. Fig. 4에서 최대응력은 2.45 kgf/mm<sup>2</sup>으로 Build Room이 연결된 부위에서 발생하였으며 STS 304 항복응력(21 kgf/mm<sup>2</sup>)의 11.7%에 해당하므로 이 부위는 재료의 강도조건을 만족한다고 할 수 있다.

Fig. 5는 산업용 SFF 시스템의 자중 W1g를 부하하여 구조해석한 후 변위를 나타낸 것이다. 위쪽에서 보았을 때 변위가 크게 변하는 부위는 레이저 엔진과 레이저 파워 공급 장치이다. 이는 레이저 엔진의 중량이 6.6 kg이고 레이저 파워 공급 장치의 중량이 7.3 kg으로 Working Room의 윗 판에 무게가 집중되어 아래쪽으로 처짐이 생기기 때문이다. 최대 처짐은 Working Room의 윗 판의 가운데 부위에서 발생하였으며 처짐량은 1.29 mm으로 매우 적어 구조 측면에서 안전하다고 할 수 있다.

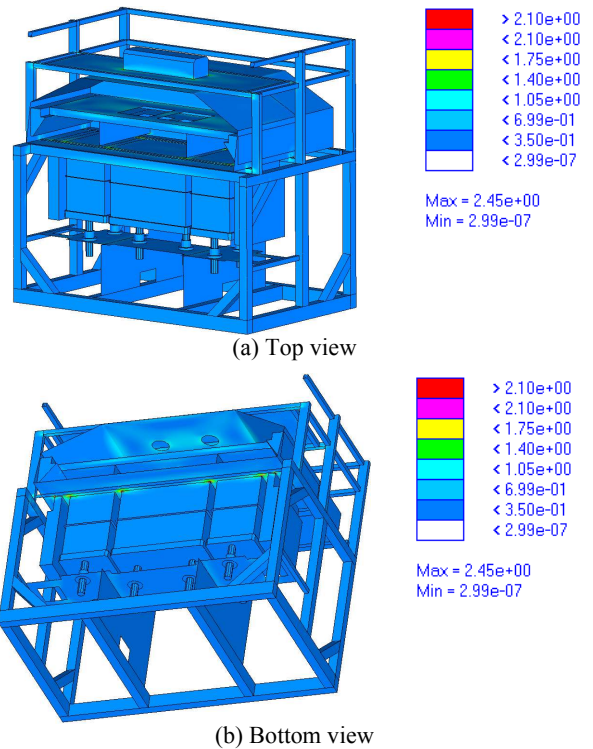


Fig. 4 Von-Mises stress distribution of Industrial SFF system

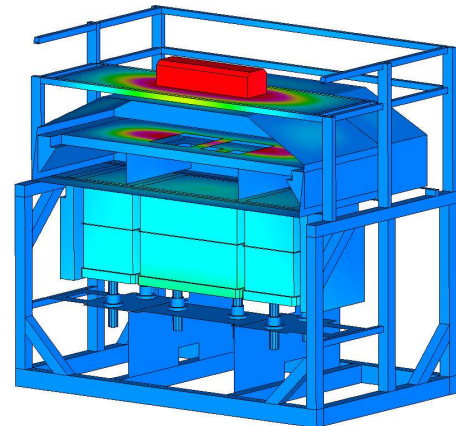


Fig. 5 Displacement distribution of Industrial SFF system

#### 5. 결론

산업용 SFF 시스템의 자중 W1g를 부하하여 구조해석한 후 Von-Mises 응력으로 나타낸 결과 위쪽에서 보았을 때 아래쪽에서 보았을 때 응력이 크지 않은 것을 알 수 있었으며, 최대응력은 2.45 kgf/mm<sup>2</sup>으로 Build Room이 연결된 부위에서 발생하였으며 STS 304 항복응력(21 kgf/mm<sup>2</sup>)의 11.7%에 해당하므로 이 부위는 재료의 강도조건을 만족함을 알 수 있었다.

또한 산업용 SFF 시스템의 자중 W1g를 부하하여 구조해석한 후 변위의 최대 처짐은 Working Room의 윗 판의 가운데 부위에서 발생하였으며 처짐량은 1.29 mm으로 매우 적어 구조 측면에서 안전함을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Steven Ashley, "Rapid Prototyping System", Mechanical Engineering, pp. 34~43, 1991.
2. Forderhase, P. McAlea, K., Michalewicz, M., Ganninger, M. and Firestone, K., "SLS™ prototypes from Nylon", Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 102~109, 1994.