

SLS에서의 정밀도 향상을 위한 실험적 연구

신동훈*(인하대 대학원), 전병철(인하대 대학원), 김재도(인하대)

An Experimental Study for Accuracy Enhancement of SLS

D. H. Shin(Inha Univ.), B. C. Jeon(Inha Univ.), J. D. Kim(Inha Univ.)

ABSTRACT

Selective laser sintering(SLS) is a solid freeform fabrication process whereby a part is built layerwise by scanning a powder bed. The properties of metal powder are dependent on the heat, it is not easy to do the exact error compensation with analysis and estimation by modeling. This paper suggests that the error is compensated by experimental method and then the accuracy of shape is enhanced by revising of STL file. Also bonding force is measured by an experiment with change of process path.

Key Words : Selective laser sintering(선택적소결법), Error Compensation(오차보정), Accuracy Enhancement(정밀도 향상)

1. 서론

쾌속조형기술은 설계된 제품 형상의 기하학적인 복잡성이나 반복성에 전혀 구애 받지 않고 그 어떤 제품 형상도 조형이 가능하다. 물론 초기에 이 기계 장치의 발명 목적은 'RP'라는 용어가 시사하듯이 컴퓨터나 수작업에 의해 설계된 제품 형상을 신속하게 관능 감각을 통해서 관찰하고 그에 따른 형상 설계의 내용을 검증하기 위함이었다. 그러나 이 기술이 최근 그 발전의 행보를 빨리함에 따라 기존에는 상상할 수도 없었던 복잡한 제품 형상의 신속한 모형 제작을 요하는 MEMS분야, 의학분야와 같은 고정밀 제품에 쾌속조형기술을 이용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 쾌속조형기술을 이용하여 고정밀을 요하는 실제품의 제작에 적용하기 위해서는 시작품의 정밀도 문제를 우선적으로 해결해야 한다. 이러한 정밀도 문제는 특히 MEMS나 의공학등의 고정밀 분야에서 오늘날 중요하게 대두되고 있다.

SLS(Selective Laser Sintering)는 분말 소재를 레이저의 주사로 분말 온도를 순식간에 용융 온도까지 상승시켜 하층과 용융 결합시킨 후 이것을 각층에 반복하는 RP의 한 기법으로서 수작업이나 CNC로 가공되어진 원형 모델에 비하여 정밀도는 조금 떨어

지나 제작 속도, 무인 가동율, 비용, 제작물의 복잡성 등에서 커다란 장점을 가지고 있다.^[1-2] 또한 SLS는 기존의 쾌속조형법에서 사용되는 어떠한 재료보다도 재료의 사용범위가 넓다는 것이 장점이다. 기존의 쾌속조형기술들은 재료 선택의 범위가 매우 국한되어진다. 즉 기존의 고분자 재료, 청동, 철등 재료의 제약이 따르게 된다. 그러나 SLS를 이용하게 되면 실제 금형 제작에 사용되는 재료들을 사용할 수 있다는 장점이 있다.^[3-6]

이러한 장점에도 불구하고 SLS에서는 정밀도의 문제점이 있다. 이를 위해 열적 모델링을 이용한 해석을 통해 오차를 미리 예측하여 형상을 제작할 수도 있으나 분말을 소재로 하는 SLS의 방법에 있어서 금속분말은 비선형적인 요소들이 많아 모델링을 통한 해석 및 예측으로는 완벽한 오차보정이 힘들다. 따라서 본 연구에서는 금속분말의 소결용융시 발생하는 오차를 실험적으로 규명하여 오차보정하는 것에 초점을 맞추었다. 본 연구는 SLS공정에 대한 쾌속조형장치에서 금속분말의 소결용융시 발생하는 오차를 실험적 방법을 통해 분석하고 STL file을 재해석하여 성형품의 정밀도를 향상하고 가공경로 변화를 통해 적층시의 결속력을 강화하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

레이저 소결용용 적층 시스템은 직접 제작하였으며 120 W의 CO₂레이저를 사용하였다. 이 레이저는 TEM₀₀ 모드의 원형빔이다. X-Y 테이블은 백래쉬로서 0.01 mm이며 정밀도 0.01 mm의 가이드를 사용하였다. 또한 정밀형상 제작을 위하여 가이드 이송에 의한 진동으로 발생하는 오차를 줄이기 위해 형상물의 받침대를 본체로부터 완전히 분리하여 진동을 방지하였다.

기존의 분말을 사용하는 고속조형장치의 적층시스템은 롤러와 엘리베이터 장치를 이용하여 0.1mm 씩 정확한 제어에 의하여 쌓도록 되어 있다. 하지만 이러한 장치는 작은 형상을 제작하는 경우에 불필요한 부분까지 도포할 뿐만아니라 정확히 두께를 제어하는 것이 쉽지가 않고 정밀 형상을 제작하기 위한 두께 조절이 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 1과 Fig. 2와 같은 분말공급장치를 개발하였다. 이 장치의 원리는 금속분말을 tube를 통해 노즐에 공급하고 노즐에 편심이 된 소형 모터를 부착함으로써 진동에 의해 일정량의 분말을 노즐의 직경과 같은 간격으로 도포시키면서 가이드의 이송속도를 조절하여 적층두께를 정확히 조절할 수가 있고 실제 제작되는 부위에만 분말을 공급하기 때문에 분말의 낭비를 줄일 수가 있다. 또한 보호가스(Ar)를 분말 이송관과 함께 제작, 결속시켜 분말 도포와 같은 방향이 되도록 분사하였다.

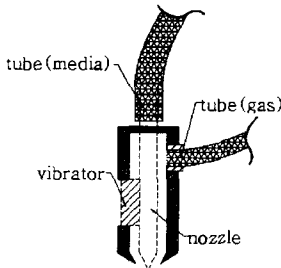


Fig. 1 Diagram of powder spreading apparatus



Fig. 2 Photograph of powder spreading apparatus

2.1 실험방법

2.1.1 각 형상의 X-Y 길이에 따른 수축률 측정

Fig. 3과 같이 각 길이별로 형상을 제작하였다. X방향으로는 20 mm로 일정하게 제작하고 Y방향으로 1 mm부터 20 mm까지 차례로 제작하였다. 이렇게 제작한 시편은 휨(curling)현상이 발생하여 정확한 수축률 측정이 어려워 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 X-Y방향으로 격자를 이용해 각각 측정하여 수축률을 알아보고 오차보정을 통해 STL file을 재해석하였다. 이후 재해석한 데이터로써 형상을 다시 제작하여 오차보정 이전의 시편과 비교하여 보고 최종적으로 3차원 형상을 제작하였다.

2.1.2 가공경로 변화에 따른 적층 실험

한층 적층시마다 Fig. 5를 반복하였다. 우선 5(a) 경로로 한층을 적층하고 그 다음 Fig. 5(b) 경로로 한층을 적층하며 계속해서 이 과정을 반복하여 적층이 끝난 후 하나의 경로로만 적층한 것과 결속력을 비교하여 보았다.

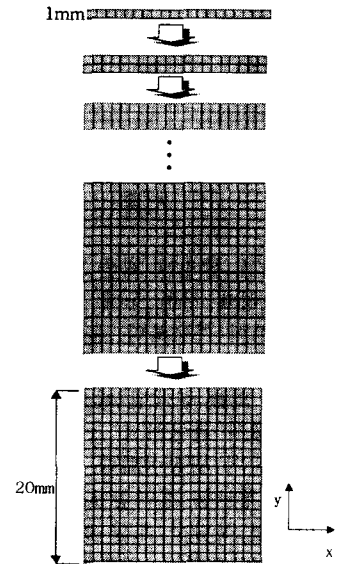


Fig. 3 Test models for accuracy compensation

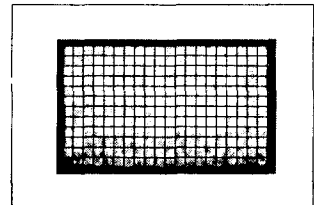
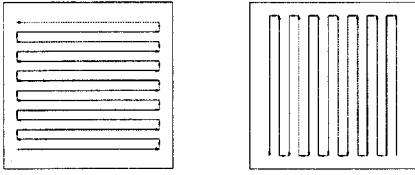


Fig. 4 Test specimen for accuracy compensation



(a) X path of laser scanning (b) Y path of laser scanning

Fig. 5 Laser scanning methods

3. 실험결과 및 고찰

3.1 레이저 소결용융후 X-Y축의 수축률

Fig. 6은 시편의 크기를 X방향으로는 20mm로 일정하게 하고 Y방향으로 1mm부터 20mm까지 1mm 간격의 시편을 각각 제작하여 오차를 측정 한 결과를 나타낸다. 모든 시편들에서 X방향으로 0~5 mm와 15~20mm(0~25%, 75~100% 구역) 사이에서, 즉 양가장자리에서 오차가 많이 발생했다. 오차는 최대 8.5%이다.

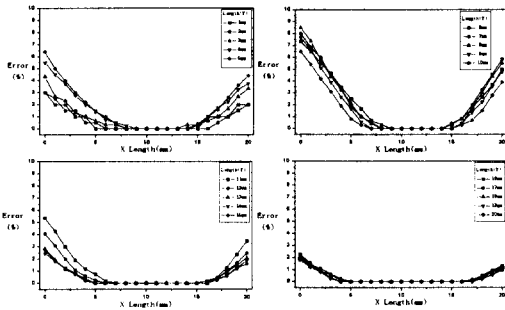


Fig. 6 Error with shrinkage rate

10±5mm 부분에서는 1/100단위로 측정 한 결과, 거의 발생하지 않았다. 이것은 분말이 가지고 있는 공극들이 소결용융 과정을 거쳐 분말이 액상으로 바뀔 때 주변의 영향을 많이 받는 양가장자리 부분이 가운데 부분보다 더 수축한 것으로 사료된다. Fig. 7은 실제 시편의 양가장자리에서의 수축을 나타내는 사진이다.

시편크기 별로는 1mm부터 8mm의 시편까지는 오차가 증가하다가 그 이후로는 시편의 크기가 커짐에 따라 오차는 감소한다. 이것은 분말이 가지고 있는 공극들이 소결용융하여 액상으로 변화한 후 냉각에 의해 고체화될 때 밀도가 증가하여 수축이 일어나는 것이 시편의 크기가 커짐에 따라 이전에 소결용융된 분말들의 응집력이 커져 수축이 줄어드는 것으로 사료된다.

또한 Fig. 7과 같이 레이저 조사 방향으로는 수축이 거의 일어나지 않았다. 이것은 레이저 조사 방향의 수직 방향으로 첫 경로를 소결용융 한 후 옆 경로를 소결용융하므로 첫 번째 경로와 두 번째 경로 사이의 온도차가 커 소결용융시 열변형에 의해 수축이 일어나지만 레이저 조사 방향의 경우에는 한 경로이므로 온도차가 크지 않아 수축이 거의 일어나지 않은 것으로 사료된다.

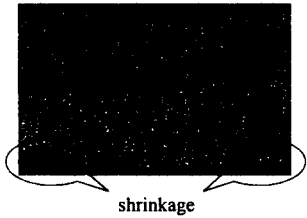


Fig. 7 Photograph of shrinkage

3.2 오차보정에 의한 형상 제작

Fig. 8은 레이저 소결용융 실험후 X-Y 길이에 따른 오차를 측정하여 오차보정에 의한 STL file의 재해석을 통해 제작한 형상들이다. 그림에서 오차보정에 의한 STL file의 재해석을 통해 양가장자리에서, 즉 X방향의 0~25% 구역, 75~100% 구역에서 수축해 의한 휨현상이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 양가장자리에서의 STL file 변형으로 형상의 가운데 부분에 또다른 열영향이 발생하여 불규칙한 오차가 발생하였으나 그 오차는 1% 미만으로써 정밀도에는 크게 영향을 미치지 않을 것이다.

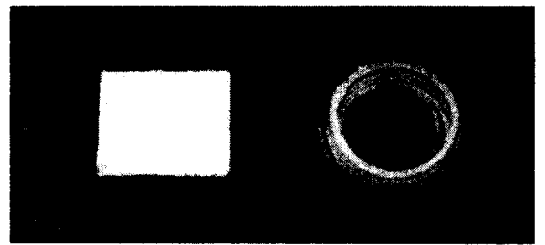
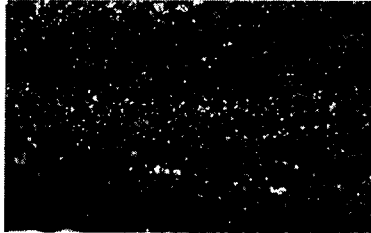


Fig. 8 Photograph of the error compensated specimens

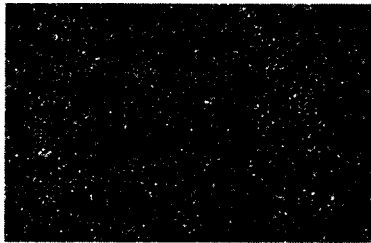
3.2 가공경로 변화에 따른 적층 실험

Fig. 9(a)는 Fig. 5(a)의 경로로 즉, 하나의 경로로만 적층한 형상의 옆면을 나타내고, Fig. 9(b)는 Fig. 5의 (a)와 (b)를 한 층씩 번갈아 가면서 적층한 형상의 옆면을 나타낸다. Fig. 9(a)에서 층과 층 사이에 틈이 발생함을 알 수 있다. 반면에 Fig. 9(b)에서는 약간의 물결 현상은 생겼으나 층과 층 사이에 틈이 발생하지 않아 Fig. 9(a)보다 결속력이 강한 것으로

나타났다. 위의 결과를 볼 때 금속분말을 이용한 폐속조형법에서는 한 층씩 적층할 때마다 그 경로를 서로 수직으로 바꿔가며 제작한다면 결속력이 강한 형상을 제작할 수 있을 것이다.



(a) By the only X path



(b) By the X path and Y path

Fig. 9 The specimen is made with scanning method

4. 결론

본 연구에서는 SLS(Selective Laser Sintering)방식의 폐속조형법에서 수축(shrinkage)에 의해 발생하는 오차를 보정하여 3차원 형상을 제작하는데 있어서 정밀도를 향상시켜 고정밀분야 적용의 가능성을 확인해 보고 또한 가공 경로의 변화에 따른 적층 실험을 통해 층간의 결속력 강화를 확인하기 위해 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SLS 방식의 폐속조형법에서 여러 길이의 시편을 제작하여 수축에 의한 오차를 측정된 결과 각 시편들의 양가장자리에서 오차가 크게 발생했으며 그 비율은 평균 0~25%, 75~100% 구역이었다. 각 시편들 크기별로는 시편의 크기가 작아질수록 오차가 크게 발생하였으며 레이저 주사 방향으로 는 거의 오차가 발생하지 않았다.
2. 레이저 소결용융 실험후 X-Y 길이에 따른 오차를 측정하여 오차보정에 의한 STL file의 재해석을 통해 형상을 제작하여 본래의 STL file 데이터와 거의 일치하는 형상을 얻을 수 있었다.
3. 레이저 소결용융시 가공경로를 각 층마다 서로 수직인 방향으로 바꿔가며 적층함으로써 형상체의

결속력, 소결용융 정도, 강도 등의 면에서 우수한 형상을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 청동 분말을 이용하여 레이저 소결용융 시킨 결과이기 때문에 알루미늄이나 철, 아연 분말등 청동 이외의 분말에 대해서는 새로운 실험적 연구를 통해 각 금속분말의 수축에 의한 오차를 규명하여야 할 것이다. 물론 열적 모델링을 이용한 해석을 통해 오차를 미리 예측하여 형상을 제작할 수도 있으나, 금속분말은 비선형적인 요소가 많기 때문에 해석을 이용하는 방법보다는 실제적인 실험적 연구의 반복을 통해 예측하는 것이 보다 정밀한 형상을 제작할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Xiaoming Deng and Joseph J. Beaman., "Application of Factorial Design in Selective Laser Sintering", In Solid Freeform Fabrication Symposium, Vol. 3, pp. 154-160, 1992.
2. Paul Forderhase, "Sinterstation 2000 Scanner Optimization", Internal Document on DOE Studies on Dimensional Accuracy, 1994.
3. 박정환, "신제품 개발 프로세스의 혁신", 기계기술, pp. 92-106, 1997.
4. 전병철, 김제도, "CO₂레이저에 의한 선택적 소결법", 한국정밀공학회지, 제15권, 7호, pp. 18-25, 1998.
5. 김제도, 명경화, 전병철, "TrueForm과 폴리프로필렌 분말을 이용한 선택적 레이저 소결법", 대한기계학회 논문집, 제23권, 10호, pp. 1693-1701, 1999.
6. 최두선, 신보성, 신명우, "3차원 광조형법", 한국기계연구원 CAD/CAM 그룹, pp. 21-29, pp. 83-102, 1997.