

레이저 소결 적층법을 이용한 정밀 형상 제작

Manufacture of Precision Model Using Laser Sintering Process

인하대학교 기계공학과 김 재도, 이 영곤, 권 택열

I. 서론

최근의 제조업계에서는 소비자의 다양한 욕구에 따라 소량의 다양한 제품이 생산되는 한편, 빈번하게 변경되는 소비자의 기호도 및 기능의 개선 등으로 인하여 제품의 사이클은 점점 짧아지고 이로 인한 설계 또한 신속히 이뤄질 필요성이 대두되어 상품 개발을 단기간에 성취 가능하게 하는 동시 공학(Concurrent engineering)이라는 개념이 폭넓게 도입되고 있다. 이러한 시스템의 하나로써 현재 쾌속 조형법은 기계가공 없이 레이저 혹은 원형모델 재질 그 자체를 이용하여 3차원 CAD/CAE/CAM 및 컴퓨터 그래픽스 데이터로부터 신속하게 원형모델을 제작함으로써, 모든 종류의 제품 개발에 필수적인 시작 모델을 단기간에 쉽고 자유롭게 만들 수 있도록 했다. 이로써 제품 초기 설계 단계에서 디자인이나 조립성, 기능성 등을 확인, 분석하고 후공정에서 발생할 수 있는 오류를 초기에 제거하여 최적의 데이터를 생산라인에 투입, 개발 기간의 단축과 비용 절감은 물론 제품의 확실한 정보를 신속하게 공유할 수 있는 이점 등으로 현재 전세계에서 활용되고 있는 동시공학의 필수 장비라 할 수 있다.

기본적으로 RP 프로세스는 제품 형상의 취득이 제품 재료의 변형 혹은 제거 등의 방법을 통하지 않은 재료의 적층에 의한 프로세스이고 그 사용재료 및 제작방식에 따라 LOM(Laminated Object Manufacturing, 3D Printing, SLS(Selective Laser Sintering), FDM(Fused Deposition Manufacturing), SGC(Solid Ground Curing) 등 여러 가지가 있다. 그러나 공통적으로 적층에 의한 형상 제작 방식 때문에 계단형 모양의 층이 지는 문제가 생기고 이것은 정밀한 형상제작을 하는 데에 있어서 RP 프로세스방식이 가지고 있는 어쩔 수 없는 단점으로 남아있다.

본 연구에서는 기존의 RP 프로세스 방식의 일정한 적층두께에 의한 형상 제작 방식 때문에 경사도에 따라 표면 거칠기가 달라지는 문제점을 해결하기 위하여 적층두께를 조절할 수 있는 실험장치를 사용하여 개선하고, 그 밖에 레이저 소결 적층방식의 형상 제작 방법의 개선 및 3차원 정밀 형상 제작을 위해 필요한 가공변수에 대해 연구하고자 한다.

II. 실험장치

2.1 분말도포장치

기존의 분말을 사용하는 쾌속조형장치의 적층시스템은 로울러와 엘리베이터 장치를 이용하여 0.1mm씩 정확한 제어에 의하여 쌓도록 되어 있다. 하지만 이러한 장치는 작은 형상을 제작하는 경우에 불필요한 부분에까지 도포할 뿐만 아니라 정확히 두께를 제어하는 것이 쉽지가 않고 정밀 형상을 제작하기 위한 두께 조절이 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 분말도포장치를 자체 개발하였다.

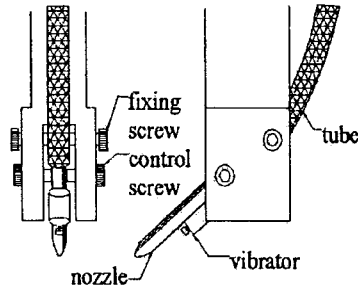


Fig. 1 Schematic diagram of powder spreading apparatus

Fig. 1은 분말도포장치의 시스템 구성을 나타내었다. 이 장치의 구성은 금속분말을 공급해 주는 tube와 분말이 나오는 노즐로 이루어져 있으며 노즐구멍에서 일정하게 분말이 나오도록 노즐에 편심이 된 소형 모터를 부착함으로써 진동에 의해 일정량의 분말을 도포하고 그 양은 screw로 조절한다. 노즐의 직경과 같은 간격으로 도포시키면서 가이드의 이송속도를 조절하여 적층두께를 정확히 조절할 수가 있고 실제 제작되는 부위에만 분말을 공급하기 때문에 분말의 낭비를 줄일 수가 있다.

Fig. 2는 분말도포장치와 보호가스인 질소를 레이저 조사점에 공급하도록 되어있는 장치의 실제 사진이다.

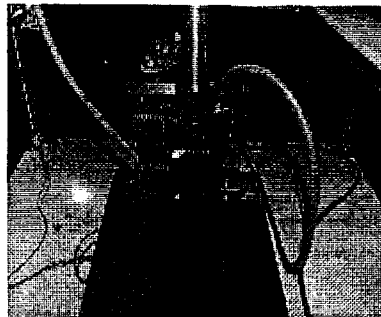


Fig. 2 Photograph of powder spreading system

2.2 레이저 소결 적층 시스템

레이저 소결 적층 시스템은 현재 널리 사용되고 있는 적층식 쾌속 조형법의 하나로써 금속분말을 0.1~0.2mm씩 도포하여 3차원 형상의 단면에 해당하는 부위에 보호가스(N_2)와 레이저 빛을 주사하여 분말 입자를 녹여 고형화시켜 적층함으로써 원형모형을 생성시키는 시스템이다. 이러한 레이저 소결 적층 시스템의 주요 구성은 120W CO_2 레이저, 알루미늄 금속분말을 공급하는 분말도포장치, 프로그램된 NC 테이더로 작동되는 구동부가 사용된다.

Fig. 3과 Table 1은 실험에 사용된 RP 시스템 사진과 장치 구성요소 사양을 보여주고 있다



Fig. 3 Photograph of laser sintering system

Table 1 Specification of laser sintering system

Method	Laser Beam Scanning
Laser	CO ₂ Laser (120W, TEM ₀₀)
Work Size	100mm×100mm×50mm
X-Y Table	Backlash of Ball Screw:0.01mm Repeat Location Accuracy:0.01mm
Controller	IBM Compatible Pentium PC

III. 실험방법

3.1 분말 도포 장치 실험

본 연구에서 사용하고 있는 재료는 비교적 용융점이 낮고, 국내에서 쉽게 구할 수 있는 알루미늄 분말을 이용하여 실험을 진행하였다(6-8). 알루미늄 분말입자의 크기는 약 $180\mu\text{m}$ (200mesh) 정도이다. 이 분말을 도포하는 가이드 이송속도의 변화와 노즐의 직경에 따른 도포 두께를 측정한다. 이때, 조정나사를 통해 분말이 노즐을 통해 일정하게 나오도록 한다. 이와 같이 정확한 적층 두께로 층을 깔고 레이저 출력을 120W로 선정한 다음 주사속도를 변화시키면서 소결된 이후의 두께와 도포시의 두께를 비교하고 최대로 적층될 수 있는 적층두께를 측정한다.

3.2 양끝 부분에서의 과용융 실험

X-Y 테이블 가이드는 STL파일로부터 변환된 NC코드에 의해 레이저의 열원을 작업대에 보낸다. 하지만 스텝모터를 사용하기 때문에 항상 시작과 끝에서 등속으로 움직일 수가 없다. 즉, 초기속도가 주어진 상태에서 가속도에 의해 최고속도에 이르렀을 때부터 등속으로 움직이게 된다. 이러한 문제점 때문에 지그재그 방식으로 레이저를 주사하여 형상을 적층하는 RP 시스템에서는 시작점과 끝점에서의 속도의 변화에 의해 레이저의 열이 형상의 양끝면에 지나치게 공급되어 소결된 금속분말이 과용융이 일어나 열변형 현상이 생기고 이것은 형상의 정밀도 유지에 중요한 영향을 미친다. 이러한 열변형을 줄이기 위하여 실제로 가이드의 속도가 변하는 구간과 과용융이 일어나는 구간을 비교하여 레이저 On/Off 스위치에 의해 등속구간에서 레이저가 주사되도록 하여 형상을 제작한다.

3.3 적층두께와 경사도에 따른 표면거칠기

적층식 패속조형방법은 근본적으로 경사진 면에서 적층두께에 따라 표면 거칠기가 달라지는 특성이 있다. 적층두께가 얇을수록 표면조도는 향상되지만 가공작업시간이 오래 걸리고 그 점을 보완하기 위해 적층두께를 두껍게 한다면 표면조도가 나빠지게 되며 층이 지게 된다. 그래서 Fig. 4와 같은 경사진 형상을 제작하여 일정한 적층두께에서 경사도에 따른 표면조도를 측정하고 적층두께를 다르게 했을 때와 비교하여 적층두께의 조절에 의하여 일정한 표면조도를 가지는 3차원 형상을 얻을 수 있도록 한다.

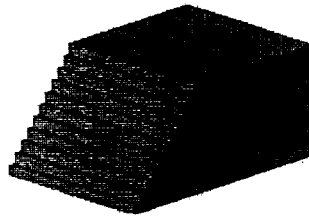


Fig. 4 Inclined test part

IV. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 레이저의 주사속도를 30mm/s로 하고 분말도포장치의 노즐 직경을 0.8mm와 1mm로 하였을 때 분말의 도포 속도에 따른 도포 두께의 결과를 나타낸다. 측정은 50번 정도 도포하여 1번 도포한 두께를 구한 것이다. 직경 1mm의 노즐일 때의 도포두께가 0.8mm의 도포두께보다 2배 정도 더 두꺼움을 알 수가 있고 분말의 시간에 대한 분말 공급량을 일정하게 하였을 때, 분말을 고르게 공급하기 위한 가이드의 이송속도에 따라 정확한 적층두께를 얻을 수가 있었다.

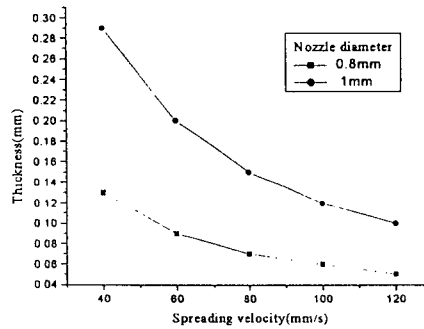


Fig. 5 Result of measurement for powder spreading thickness

Table 2는 노즐 직경 1mm의 도포 두께에서 레이저를 30mm/s의 주사속도로 금속분말을 소결시켰을 때, 소결된 형상의 1층에 대한 두께를 측정하는 것이다. 도포 속도가 200~100mm/s까지는 소결된 분말의 두께가 0.01mm 정도로 도포 두께보다 두꺼워 짐을 알 수가 있다. 그리고, 100mm/s보다 느려지게 되면 그 두께가 크게 늘어나게 되는데, 도포 두께가 두꺼워지면서 레이저가 소결시킬 수 있는 두께가 되지 못하기 때문에 층간 결합이 약해지면서 사이가 조금씩 벌어지게 된다. 레이저의 주사속도를 40mm/s로 하였을 때는 도포속도가 100mm/s에서 층 사이가 벌어지기 시작하였고 20mm/s로 하였을 때는 레이저의 열원의 지나친 공급으로 소결하려는 분말 주

변까지 소결시키게 되어 정확한 형상을 얻을 수가 없었다.

Table 2 Comparison of thickness after laser sintering

Spreading velocity(mm/s)	Spreading thickness(mm)	Sintered thickness(mm)
60	0.2	0.24
80	0.15	0.19
100	0.12	0.13
120	0.1	0.11
150	0.09	0.1
200	0.08	0.09

Table 3 Comparison of over melted width and velocity varied width

Acceleration (mm/ms ²)	Over melted width(mm)	Velocity varied width(mm)
±0.1	4.9	4.5
±0.2	2.3	2.2
±0.3	2	1.5
±0.4	1.9	1.1
±0.5	1.8	0.9
±0.6	1.8	0.7
±0.7	1.8	0.6

Table 3은 초기속도 2.5mm/s, 최고속도를 30mm/s로 하고 가감속도를 변화시켰을 때 가감속도에 의해 속도가 변하는 구간 폭과 실제 과용융 현상이 발생된 구간 폭을 비교한 것이다. ±0.1~±0.4mm/ms에서는 속도가 변하는 구간의 길이 만큼 분말의 과용융 현상이 일어났고 ±0.5mm/ms 이후에서는 과용융 구간 길이가 1.8~1.9mm로 일정하였다. 그 이유는 소결 용융 현상은 열을 가하여 좁으므로 분말입자사이의 접촉면에서 표면적을 감소시키기 위한 물질 이동의 확산현상이 일어나는데 높은 레이저 출력에 의해 접촉면의 목 부분에서의 확산속도가 매우 빠르기 때문에 레이저 주사속도가 조금이라도 느려지게 되면 적당한 강도 및 표면을 가지기 위한 주사속도에서 소결이 이루어지지 못하고 분말입자가 구형태로 빠르게 성장하여 과용융 현상이 일어나는 것이다. 그리고 분말에 집중되는 레이저의 열원이 영향을 미치는 부분이 일정하기 때문에 가감속구간의 길이가 짧아져도 주위 분말이 일정하게 과용융되는 것을 알 수가 있다

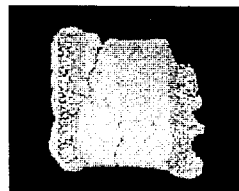


Fig. 6(a) Over melted part

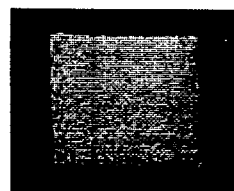


Fig. 6(b) Laser on/off part

Fig. 6은 0.1mm씩 10층을 쌓아 15mm×15mm×1mm의 형상을 제작한 결과이다. (a)는 양끝에서의 속도의 변화에 의해 생긴 과용융된 부분을 나타내고 그러한 현상 때문에 열변형이 심하게 나타나 형상면에 균열이 생기는 것을 알 수가 있다. (b)는 등속구간에서 레이저 On/Off 스위치로 레이저의 열원을 단속하여 만든 형상이다. 열변형이 발생하지 않아 정밀한 치수로 형상 제작이 가능하다.

Table 4 Result of measurement for surface roughness



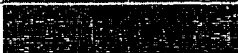


Side slope angle	Feed speed :15mm/s Sintered thickness : 0.1mm	Surface roughness R _a (μm)
10°		100
30°		136
45°		142
60°		120
80°		94

Table 4는 0.1mm로 적층한 형상의 옆면 경사도에 따른 표면 조도를 측정된 값이다. 표면조도 측정기의 이송속도는 15mm/s로 하였고 표면조도 측정방법은 10점 평균 거칠기값 Rz(단위 μm)를 사용하였다(9). 경사도가 45° 일 때 표면거칠기 값이 142 μm로 가장 거칠었다. 그것은 경사면의 형상이 실제 미세한 계단형 층을 형성하므로 수평으로 놓고 표면조도를 측정하면 산과 골의 깊이 차이가 45° 에서 가장 커지기 때문인 것으로 사료된다.

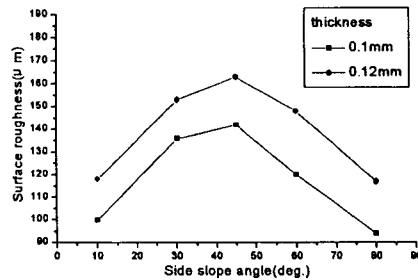


Fig. 7 Comparison of surface roughness for thickness

Fig. 7은 0.1mm 와 0.12mm로 적층했을 때의 표면거칠기를 비교한 것이다. 0.12mm의 두께로 10° 와 80° 로 적층했을 때, 0.1mm의 30° 와 60° 의 표면거칠기와 어느정도 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 점을 이용하여 경사도에 따라 분말의 도포속도를 다르게 하여 적층두께를 조절한다면 일정한 표면거칠기를 가지는 형상을 제작할 수가 있을 것이다. Fig. 8은 SLS장치에 의해 실제로 제작한 형상의 사진이다.

V. 결론

본 연구에서는 레이저 소결 적층법을 이용하여 열변형을 줄이기 위한 방법과 RP장치의 적층에 의한 특성을 분석하여 3차원 정밀형상을 제작할 수 있도록 가공 공정 및 변수를 실험을 통해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 적층식 RP 시스템에서 항상 일정한 두께로 형상을 제작하는 문제점을 분말도포장치를 개

발하여 가이드의 이송속도 조절에 의해 분말의 도포두께를 조절하고 소결 후의 적층두께와 최대로 적층할 수 있는 두께를 측정함으로써 적층두께를 조절할 수 있고 일정한 두께를 가지는 형상을 제작할 수 있었다.

2] Zigzag방식의 레이저 주사경로가 갖는 문제점인 가이드의 속도변화에 의해 양끝에서 생기는 과용융 현상을 가이드의 속도변화 구간과 과용융 구간 길이를 비교하여 레이저 On/Off장치를 통해 등속구간에서 형상을 제작함으로써 열변형을 줄일 수 있었다.

3] 옆면이 경사진 형상을 경사도와 적층두께를 다르게 하여 제작하고 그 때의 표면 거칠기를 측정식 측정기를 사용하여 측정하였다. 같은 적층두께에서 경사도가 45° 에 가까울수록 표면거칠기가 나빠짐을 알 수 있었고 경사도의 변화에 따라 적층두께를 조절하면 일정한 표면 거칠기를 가지는 형상의 제작 가능성을 실험을 통해 확인하였다.

VI. 참고문헌

1. 양동열, "쾌속 3차원 조형법의 소개와 쾌속 금형제작에의 응용," 제1회 쾌속 3차원 조형 및 금형기술혁신 심포지움, pp. 1-14, 1995
2. Paul, F., Jacobs, "Rapid prototyping & Manufacturing," McGraw-Hill inc, pp. 1-23, 1992.
3. Paul, F., Jacobs, "Stereolithography and other RP&M Technologies," ASME, pp. 1-25, 1996.
4. 이은덕 외 3인, "신경망을 이용한 광조형 작업변수 결정," 쾌속시작기술연구회 1999년도 춘계학술대회 논문집, pp. 61-68, 1999.
5. M., J., Wozny, "Data Driven Solid Freeform Fabrication," IFIP Transactions B-3 : Human Aspect in Computer Integrated Manufacturing, pp.71-82, 1992.
6. David, miller, Carl, Deckard, and John, Williams, "Variable beam size SLS workstation and enhanced SLS model," Rapid prototyping Journal, Volume 3, Number 1, pp. 4-11, 1997.
7. J., Mazumder, J., Choi, Nagarathnam, J., Koch, and Tool steel for 3-D Components," JOM, Volume 49, Number 5, pp. 55-60, 1997.
8. Ian, Gibson, Dongping, Shi, "Material properties and fabrication parameters in selective laser sintering process," Rapid prototyping Journal, Volume 3, Number 4, pp. 129-136, 1997.
9. 백대균, 고태조, 김희술, "정면밀링 작업에서 절삭력을 이용한 On-Line 표면 조도 감시에 관한 연구," 한국정밀공학회지 제14권, 제1호, pp. 185-192, 1997.