

직접식 금속 적층공정을 이용한 금속 시제품 제작

김재도*, 박진용**, 조명우*

Solid Freeform Fabrication of Metal Prototype Using Direct Metal Shaping Process

Jae Do Kim*, and Jin Yong Park**, Myeong Woo Cho*

ABSTRACT

A fast and precise technique to make 3-dimensional object which is called direct metal shaping process is proposed. It is very useful technique in design and inspection. Using this developed system, a solid object is made. In experiment, test parts are built by varying three factors, laser power, scan path, scan speed. This process used device, which is different from the widely used in rapid prototyping in that powder feeding device is used. Spraying powder directly at the focused laser beam and then three dimensional object is made by the deposit of melted metal powder. The optimum scanning path is found to be zigzag path, which had little thermal affection on base metal. As a result of these experiments, it was found that optimum scanning speed is 15mm/sec and laser power is 50W. This constructed 3-dimensional object could be used in mold manufacturing directly.

Key Words : Rapid prototyping(쾌속조형법), Direct metal shaping process(직접식 금속 적층공정)

1. 서 론

현재의 제조업은 다양하고 신속하게 변화하는 소비자의 수요를 만족시키기 위하여 다품종 소량 생산 형태로 급속히 변화하고 있다. 이에 따라 요구되는 제품의 개발을 위한 기간도 단축되고 있으며, 또한 치열한 경쟁에서 생존하기 위한 원가절감에 대한 중요성이 더욱 부각되고 있는 실정이다. 기업의 경쟁력은 다양한 제품을 얼마나 빠른 시간 내에 값싸게 소비자에게 공급할 수 있는가에 달려 있다고 해도 과언이 아니며, 이를 위하여 제품개발 초기부터의 모든 단계를 효율화하여 제품경쟁력을 확보하기 위한 여러 방법들이 시도되고 있다.

기존의 쾌속 조형공정들은 단순히 디자인 검증이나 조립 검증 등을 하기 위한 것들을 제작해왔다. 현재에는 단순히 3차원 물체의 외관 확인 뿐만 아니라 조립성 평가 및 기구학적 평가를 위한 시작품으로서의 마스터 모델, 기능성과 주조품의 주형제작을 직접적으로 수행할 수 있는 방법들이 연구되고 있다.^{[1][2]}

본 연구에서는 직접적으로 금형 제작에 이용할 수 있는 쾌속 조형방법, 즉 직접식 금속 적층공정 (direct metal shaping process)을 이용하여 실제 3차원 물체를 제작하여 직접적인 금형 제조 가능성 및 형상의 기계적인 성질 향상을 위한 연구를 하고자 한다. 직접식 금속 적층에 대한 쾌속 조형장치를 보다 정밀도가 향상되고 기계적 성질이 우수한 소결 용융 제품을 얻을 수 있도록

* 인하대학교 기계공학과

** 인하대학교 기계공학과 대학원

시스템을 보완하고 더 나아가 금형제작 패턴으로 다양하게 활용할 수 있는 완벽한 장치로 구성하며, 직접식 금속 적층공정을 이용하여 형상체 제작시 발생할 수 있는 문제점의 해결 방안과 보다 우수한 형상체를 얻을 수 있는 최적의 가공조건 등을 연구하였다.

2. 직접식 적층 시스템

2.1 실험장치

2.1.1 직접식 금속 적층 시스템

기존의 쾌속 조형법과는 달리 분말 공급 장치를 이용하여 금속분말을 레이저의 조사점에 직접 분사하여 금속분말을 소결융융 시키면서 3차원 형상을 제작하는 방법이다. 기존의 쾌속조형 방법들은 재료 선택의 범위가 국한되어지고, 고가의 재료들을 사용해야 하며 무엇보다도 직접 실제 금형 제작에 적용할 수 없는 재료 등을 사용하고 있다. 직접식 금속 적층방법을 이용하게 되면 실제 금형 제작에 사용되는 금속재료를 사용할 수 있다.^{[5][6]}

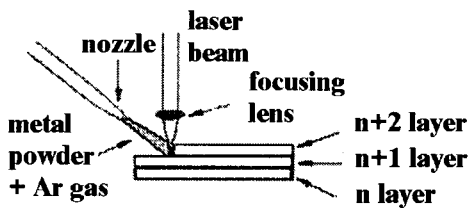


Fig. 1 Schematic diagram of direct metal shaping process

2.1.2 CAD System에서의 3차원 형상생성

현재 상용으로 쓰이고 있는 solid modeling S/W 를 이용하여 3차원 형상을 모델링 한 후 일정한 간격으로 층 분할한다. 레이저 주사경로를 생성하기 위해 분할된 단면 정보를 NC 데이터로 변환시키게 된다. 이렇게 생성된 NC 데이터는 기존의 가공경로가 아닌 가장 열변형이 적은 제품을 제작할 수 있는 형태로 생성된다.

NC 데이터에서부터 쾌속제품 완성에 이르는 시스템을 구축한다. 데이터 파일의 생성과정을 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

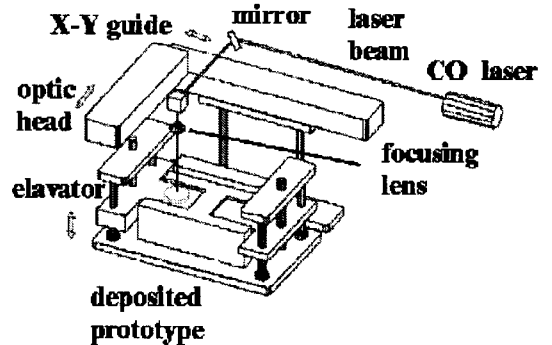


Fig. 2 Schematic diagram of direct metal shaping process system

- ① Solid modeling 프로그램에서 3차원 solid model 을 제작한다.
- ② 제작되어진 solid model을 2차원 단면으로 구성되어진 STL 파일로 변환한다.
- ③ 변환되어진 STL 파일을 이용하여 각각의 2차원 단면에 대한 가공 경로(NC data)를 생성한다.
- ④ 생성되어진 가공경로를 레이저 가공에 가장 최적의 가공경로 파일로 생성한다.
- ⑤ 생성되어진 가공 경로(NC 데이터)를 가공머신 컨트롤러에 입력한다.

Fig. 3는 위의 NC 데이터 파일 생성을 나타낸 그림이다. Solid Works 프로그램을 사용하여 위의 Fig. 4(a)와 같은 3차원 형상을 모델링 하였다. 모델링된 3차원 형상을 IGES 파일로 저장하였다. 저장된 IGES 파일을 DUCT5 프로그램을 이용하여 NC 데이터를 생성하였다.

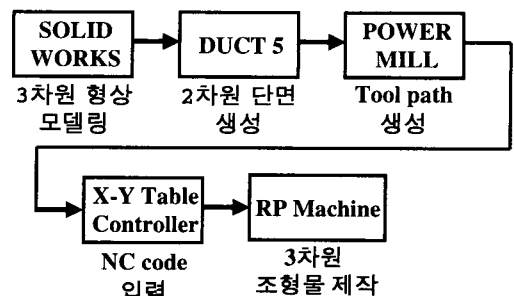


Fig. 3 Flowchart of NC data

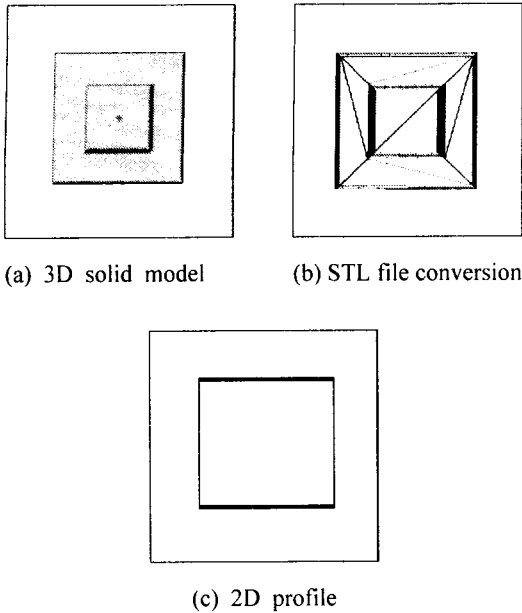


Fig. 4 Transformation between 3D model and 2D data

DUCT 프로그램은 CNC 가공용 경로만을 생성하므로 단면에 대한 레이저 가공경로 생성을 위해서는 생성된 NC 데이터를 변환해야 한다.

Fig. 4(b)는 3차원 솔리드 모델링 데이터를 2차원 단면화일로 변환한 그림이다.

2.1.3 분말공급장치

금속분말을 직접 레이저 조사점에 공급하기 위해 분말공급장치를 제작하였다. 제작된 분말공급장치는 스크류의 회전으로 인해 분말을 이송시킨다. 스크류는 DC모터에 의해 구동되며 DC모터의 전압을 조절하여 스크류의 회전속도를 조절할 수 있도록 제작하였고, 분말 이송관에서 분말직체를 막고 금속분말의 산화를 방지하기 위하여 아르곤 가스를 분말 이송관 안으로 공급하였다.

이와 같이 제작된 분말공급장치는 레이저빔 조사점에 금속분말과 보호가스가 함께 분사될 수 있도록 하였다. 레이저 빔 초점에 분말을 직접 공급, 도포하기 때문에 기존의 나이프나 롤러를 이용할 때 보다 분말을 도포하기가 쉬웠다. 또한 소결용융 되어질 부분에만 분말이 도포되므로 분말의 낭비를 막을 수 있었고, 분말공급장치의 스크류 회전수를 조절함으로써 분말공급량을 조절할 수 있었다.

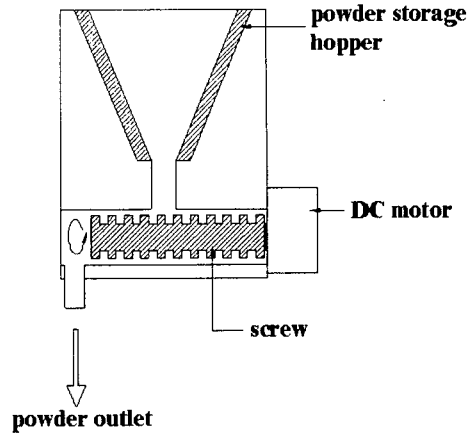


Fig. 5 Schematic diagram of the powder feeding device

2.2 실험방법

2.2.1 금속분말의 성질과 가공조건

본 연구에서 사용하고 있는 재료는 실제 금형에 이용할 수 있는 비교적 용융점이 낮고, 국내에서 쉽게 구할 수 있는 알루미늄 분말을 이용하여 실험하였다. 알루미늄 분말입자의 크기는 약 $180\mu\text{m}$ 정도이다. 이와 같은 분말을, 소결용융 적층하게 되면 비교적 분말 사이의 공극이 작아지게 된다. 이렇게 공극의 크기가 줄어들게 됨으로서 강도 및 표면 거칠기가 향상 되게된다.^{[3][4]}

2.2.2 직접식 금속 적층방법의 형상제조 과정

직접식 금속 적층공정을 이용하여 소결용융 실험을 진행하기 위해서 필요한 시스템을 살펴보면 분말공급장치, 120W CO₂ 레이저, 프로그램된 NC 데이터로 작동될 수 있는 구동부가 사용된다.

형상제조 과정을 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

- ① 분말공급장치를 X-Y Table 위에 설치한다.
- ② 상용 CAD System을 이용하여 solid model 를 만들고 그 모델을 Z축 방향으로 분할하여 층 간격을 0.1mm 로 분할한다.
- ③ 분할된 단면의 2차원 단면정보를 NC 데이터로 변환하고 레이저빔 조사경로를 생성한다.
- ④ 분말공급장치에서는 직접 레이저빔 초점에 알루미늄 분말과 아르곤 가스를 공급한다
- ⑤ ③에서 생성된 조사경로를 따라 레이저 빔을 분사되고 있는 알루미늄 분말에 조사하여 NC 데이터에

의해 지정된 부분만을 선택적으로 소결 용융 시킨다.

- ⑥ 선택적으로 소결용융된 형상체를 승강장치를 이용하여 Z축으로 정확히 0.1mm 하강시킨다.
- ⑦ ⑤의 방법을 반복하여 금속분말을 소결용융시킨다.
- ⑧ 모델링된 형상체가 완성될 때까지 ④~⑥과정을 반복 작업한다.
- ⑨ 플랫폼을 맨 처음 위치로 이송시킨 후 소결용융되지 않은 금속분말들을 제거한 후 원형 모델의 제품을 얻는다.

2.3 실험변수

금속분말의 일정량을 분말공급장치에서 공급하면서 레이저 출력을 일정 범위 내로 설정한 다음 조사속도(10~20mm/sec)를 변화시키면서, 소결 용융된 알루미늄 분말 층의 미세구조와 소결 용융되는 폭과 층 두께, 레이저 출력과 주사속도와와의 상호관계, 레이저 빔의 크기, 분말공급량, 분말 입자의 크기, 조사경로의 변화에 따라 형상체 변형에 미치는 영향 등의 가공변수들 사이 관계를 비교 검토해 보면서 최적의 분말 소결 용융상태를 측정하였다.⁽⁷⁾⁽⁸⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 1차원 실험

알루미늄 분말의 소결용융 유무 파악을 위해 1차원 실험을 하였다.

Fig. 6의 그래프는 비교적 낮은 출력의 레이저 빔이 조사속도가 증가함에 따라 레이저로 조사된 소결용융선의 넓이는 0.55mm 정도까지 감소하였다. 층두께의 변화는 매우 미세하여 측정이 불가능하였다. 위 결과에 의해 조사속도와 소결용융선의 넓이는 레이저 출력과 밀접한 관계가 있는데, 알맞은 레이저 출력이 공급되지 않는다면 소결 용융 반응이 진행되지 않았다. 즉 레이저 출력이 분말을 녹일 정도의 온도까지 집중되지 않아 분말들이 소결 용융되지 못했거나, 소결 용융된 분말에서 열변형이 발생하여 분말사이의 소결 용융진행을 방해한다. 그러므로 레이저 출력에 비해 조사속도가 빨라지면 소결 용융 반응이 진행되지 않고 조사속도가 너무 느리면 소결 용융된 분말의 열변형으로 인해 형상체에 심한 변형이 발생하게 된다. 평면에 소결 용융된 소결 용융선의 넓이와 층

두께의 형성정도를 측정, 평가하여 레이저 출력과 조사속도를 조절함으로써 소결용융 상태를 제어할 수 있었다. 그러므로 보다 우수한 소결용융 상태를 얻기 위해서는 레이저 출력과 조사속도가 중요한 변수로 형상체 제작에 많은 영향을 미치고 있음을 관찰하였다.

3.2 2차원 평면실험

3.2.1 조사 경로 변화에 의한 치수변화

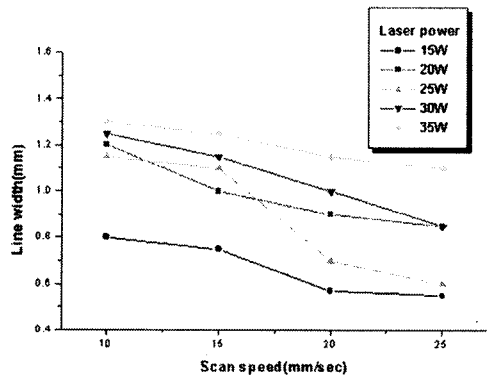


Fig. 6 Relationship between laser parameter and line width

레이저 빔으로 분말을 소결용융 시키게 되면 많은 열적 변형을 받게 되어 제작될 형상체에 심한 변형이 발생할 것이다. 보다 적은 열변형을 받는 조사 경로를 찾기 위해 fig.7 과 같은 조사경로로 평면을 제작하였다.

Fig. 7에서의 조사 경로를 가지고 20x 20mm의 정사각형을 제조하였을 때의 단면 변화율을 측정하였다. Fig. 7의 (a)와 (b) 같은 평면의 단면정보를 생성한 다음 2차원 형상체를 제조하였다.

위 실험결과와는 조사 경로를 15mm/sec로 고정시키고, 레이저 출력을 변화시켜 단면의 변형정도를 측정하는 실험이다. Fig. 8에서 보면 (a)가 (b)보다 단면 변형율이 크게 나타났다. 하지만 소결된 후의 형상체의 전체 모양과 소결용융 정도는 훨씬 더 우수함을 알 수 있었다.

특이한 점은 (a)의 경우 단면적이 증가하는 경향을 보이는 반면에, (b)는 단면적이 감소하는 경향을 보였다. 이러한 이유는 (a)의 경우는 첫라인을

소결용융한 후 바로 옆 두 번째 라인을 소결 용융하므로 라인과 라인 사이의 온도차가 크게 형성되지 않지만 (b)의 경우에는 라인과 라인 사이의 온도차가 많이 발생하므로 소결용융시 비교적 열변형이 크게 작용되었다고 사료된다.

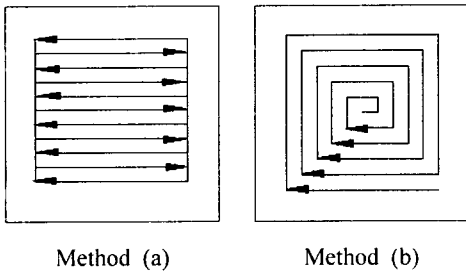


Fig. 7 Scan path methods

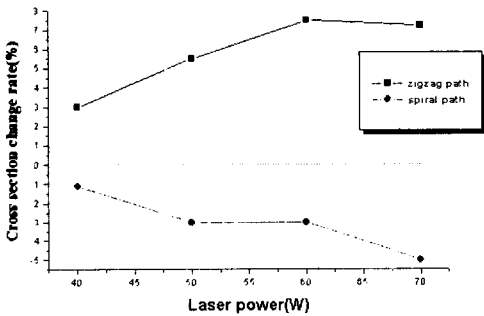


Fig. 8 Changing of cross section according to laser power

(a)를 사용하여 소결용융시, 최적의 소결용융 조건을 살펴보면, 조사 속도는 15mm/sec이고, 레이저 출력이 50W일 때 형상체의 변형정도에 비해 소결용융정도, 강도 등이 우수하였다. 측정은 각층을 소결 용융시킨후 평면에 대한 전체 변형률을 측정하였다.

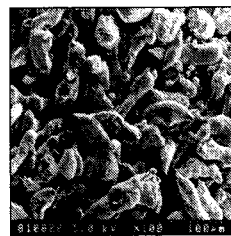
Fig. 9는 fig. 7의 (a)를 사용한 형상체 표면의 SEM사진이다. 실험결과에서 얻은 최적 조건으로 소결용융 시킨 알루미늄 분말(fig. 9 (c), (d))이다.

Fig. 9의 (a), (b)는 비교적 낮은 레이저 출력 때문에 각 분말들이 완전히 소결용융 하지 못함에 따라 비교적 많은 공극이 존재함을 알 수 있다. 그러나 fig. 9의 (c)와 (d)에서는 각 분말들이 비교적 많은 소결용융이 진행되어 우수한 분말 결합 상태를 이룬것을 확인할 수 있다. 또한 이렇게 결

합된 형성체는 공극이 작아 강도가 커진 것을 관찰할 수 있었다.

실험에 사용한 알루미늄 분말입자의 크기가 크기 때문에 분말의 소결용융 진행이 우수하여도 공극의 크기는 어느 정도 이상은 줄어들지 않았다. 입자의 크기가 작고, 균일한 크기의 분말을 사용하면 공극의 크기를 줄일 수 있을 것이다. 이 실험에 사용된 분말을 가지고 소결 용융 정도에 따라 공극의 크기와 그에 따른 강도는 같은 분말 크기에서 레이저 출력을 향상시켜 분말을 완전히 소결용융시킬 경우 공극의 크기가 현저히 감소되어 형성체의 강도가 그렇지 못한 경우보다 향상될 것이다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

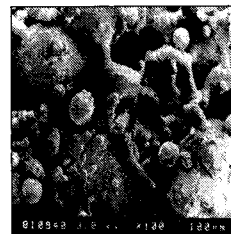
Fig. 9(d)는 최적의 소결용융 조건(레이저 출력: 50W, 조사 속도: 15mm/sec)에서 제작된 형상의 표면 모습이다. 위의 fig. 9 (b)와 비교해서 분말사이의 소결정도가 훨씬 많이 진행을 하였고, 공극의 크기가 작아진 모습을 볼 수 있다.



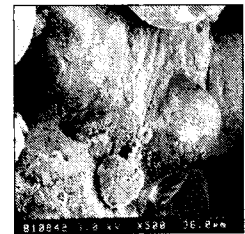
(a) 배율(×100)
Laser power: 35W



(b) 배율(×500)
Laser power: 35W



(c) 배율(×100)
Laser power: 50W



(d) 배율(×500)
Laser power: 50W

Fig. 9 SEM of surface for direct metal shaping process with aluminum powder

3.3 3차원 적층실험

2차원 평면실험 결과를 토대로 3차원 적층 실험을 하였다. 위의 Fig. 10은 CAD system을 이용하여 형상체의 3차원 Solid model을 생성하였고, fig. 11은 직접 금속적층 방법을 이용하여 생성한 최종 형상체이다.

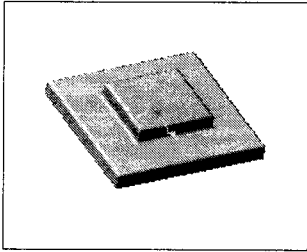


Fig. 10 3D object generated from CAD system
(20×20×10mm)

실제 형상인 Fig. 11에서 양쪽 모서리의 변형은 레이저 주사시 ON/OFF 제어를 하지 않아 변형이 나타났으나 이를 제외한 나머지 부분에서는 비교적 변형이 적게 나타나 치수에 대한 정밀도는 양호하였다.

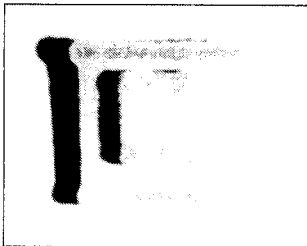


Fig. 11 3D object generated from direct metal shaping process system

4. 결 론

본 연구에서는 직접식 금속 적층 공정을 할 수 있는 장치를 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직접식 금속 적층을 할 수 있는 장치를 보완 제작하였고, 3차원 형상체를 제작하기 위한 각각의 변수들의 영향을 조사하여 실제 3차원 형상제작에 적용하였다.
2. 직접식 금속 적층의 적정 조건은 조사 속도는 15mm/sec이고, 레이저 출력이 50W일 때

임을 확인할 수 있었다.

3. 조사경로에 따른 3차원 형상의 변형정도를 측정된 결과 zigzag 조사경로가 최적의 레이저 조사경로로 확인되었다.
4. 상용 CAD 시스템에서 3차원 형상을 모델링하고, NC 데이터에서부터 캐속제품 완성에 이르는 시스템을 구축하였다.

후 기

본 연구는 학술진흥재단 과학기술 기초 중점 연구비 지원 (과제번호 1998-018-E00148)에 의하여 연구하였습니다. 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 손현기, 양동열, "직접식 조형법의 금속분말 적층부 소결에 관한 연구," 한국정밀공학회 97년도 춘계학술대회논문집, pp. 552-556, 1997.
2. J. Mazumder, J. Choi, Nagarathnam J. Koch, and D. Hetzner, "The Direct Metal Deposition of H13 Tool steel for 3-D Components," JOM, Vol. 49, No. 5, pp. 55-60, 1997.
3. I. Gibson, D. Shi, "Material properties and fabrication parameters in selective laser sintering process," Rapid prototyping Journal, Volume 3, Number 4, pp. 129-136, 1997.
4. N. K. Vail, W. Wilke, H. Bieder, G. Junemann, "Interfacing Reverse Engineering Data to Rapid Prototyping," Solid Freeform Fabrication Symposium, August 12-14, pp. 481-490, 1996.
5. 전병철, 김봉채, 김재도, "CO₂ 레이저에 의한 선택적 소결법에 대한 연구," 대한기계학회 추계학술대회논문집, pp. 1100-1105, 1996.
6. T. Fuesting, L. Brown, S. Das, N. Harlan, G. Lee, "Development of Direct SLS Processing for Production of Cermet Composite Turbine sealing Component- Part I," Solid Freeform Fabrication Symposium, August 12-14, pp. 39-55, 1996.
7. S. Pak and G. Nisnevich, "Control parameters & material selection criteria for fused deposition

- modeling," The Fifth International Conference on Rapid Prototyping, pp. 163-170, 1994.
8. E. A. Griffin and S. McMillin, "Selective Laser Sintering and Fused Deposition Modeling Process for Functional Ceramic Parts," Solid Freeform Fabrication Proceedings, pp. 25-30, 1995.
 9. K. Jakubenas and H. L. Marcus, "Selective Area Laser Deposition of Titanium Tetrachloride," Solid Freeform Fabrication Proceedings, pp. 381-388, 1995.
 10. 김재도, 명경학, 전병철, "The Characteristics of Selective Laser Sintering in TrueForm and Polypropylene," 대한기계학회논문집 A권, 제 23권, 제10호, pp. 1693-1701, 1999.