

CO2레이저를 이용한 Selective Sintering System에 대한연구 A Study on Selective Sintering System using CO2 Laser

전병철* , 김봉채* , 김재도**
B. C. Jun* , B. C. Kim* , J. D. Kim**

* : 인하대학교 기계공학과

** : 인하대학교 기계공학과

ABSTRACT

Rapid prototyping is becoming an increasingly important technique involved in the design cycles of modern industry. The majority of the rapid prototyping systems currently available use photo-reactive resins and waxes as the raw materials. The models produced by these systems often have relatively poor mechanical and physical properties and as such have a limited application to the production of advance prototypes but are excellently suited to the manufacture of engineering prototypes.

This work identifies the need to produce near production grade advance prototypes from a variety of metals and a novel prototyping process based on the techniques of selective laser sintering and conventional machining is proposed. The integration of a carbon dioxide laser and a conventional machine tool to create the opto-mechanical by multi-layer sintering and some of the problems involved are also discussed.

Key word : Rapid Prototyping(쾌속조형법), Selective Laser Sintering (선택적 레이저 소결법)

제 1 장 서론 [1 - 12]

1.1 연구배경

오늘날 모든 산업 분야의 제조 업체들은 모든 제품의 수명과 개발시간이 이전에 비하여 빠른속도로 짧아지는 상황에서 예측할 수 없는 경쟁에 직면해 있다. 따라서 이들 업체들은 가능하면 단시간에 개선된 새로운 제품을 개발하여 출시하여야만 한다. 즉 소비자의 다양하면서 빠른 기호 변화를 어떻게 따라잡는가에 회사의 운명이 달려있다고 할 수 있다. 따라서 제품생산방식에 있어서 소품종 대량생산체제보다는 다양하면서도 빠른시간에 서로 다른 물품을 공급하는 다품종 소량생산체제로의 변화가 요구되고 있다. 이에 따른 제품개발기간의 단축과 원가 절감이 제시되었으며 이를 토대로 CALS라는 새로운 업체의 표준이 제시되고 있다. 즉 제품개발 초기부터 제품개발상의 모든 단계를 통합화하여 제품개발과정의 수정 보완 단계를 효율화하여 결과적으로 제품경쟁력을 향상시키고자 하는 노력이 계속적으로 이루어지고 있다.

최근 10년동안 급격히 부상하며 각광받고 있는 3차원 쾌속조형법(Rapid Prototyping Techniques)은 이런 동시 공학을 구현하는 대표적인 기술이라고 할 수 있으며, 현재 제품개발에 있어 매우 중요한 단계인 시작품(prototype)제작공정의 혁신을 주도하고 있다. 기존의 시작품 제작공정(NC가공등)에 비하여 3차원 쾌속조형법은 CAD데이터를 이용하여 빠르고 정확하게 복잡한 형상의 시작품을 만들 수 있다.

이러한 시작품 제작기간을 크게 단축했으며, 병행하여 경비의 절감을 가져왔다. 그리고 시작품의 수정, 보완이 용이하여 전 제작으로 제품개발 기간을 크게 줄이는 역할을 했다.

초기에 3차원 쾌속 조형법은 시작품의 디자인 검증이나 조도상 평가를 위해 개발되었으며, 광경화성 수지(Stereolithography), 종이(LOM), 왁스 및 일부 플라스틱소재 등(SLS, BPM, FDM등)과 같은 재료를 사용하여 Investment casting용의 마스터 모델등에 응용하기도 한다. 그러나 기술이 발전함에 따라 보다 보편적으로 널리 쓰이는 금속재료를 이용한 시작품 제작에 대한 연구가 진행중이다. 금속재료로

된 시작품은 기존의 기능뿐만 아니라 보다 나아가 강도나 인성평가와 같은 제품의 시험성 평가에도 응용될 수 있다. 또한 궁극적으로 직접 금형이나 실제품을 제작함으로써 그 응용범위를 극대화할 수 있다.

본 연구에서는 금속과 같은 기능성 재료로 제품의 CAD데이터로부터 직접 원하는 모양으로 만들 수 있는 새로운 3차원형상제조공정(SLS)에 대한 프로세스를 개발하고, 실제 실험 및 분석을 통하여 시작품의 제조가능성을 살펴보고자 한다.

1.2 연구 목적

가. 연구 목적

최근 자동차, 가전 관련 기업은 물론, 대다수의 제조 업체에서 신제품 개발 기간의 단축, 비용 절감, 소비자의 요구에 맞는 제품 출하의 요구가 증가함에 따라 SLS를 이용한 RP시스템의 기여 가능성이 높아지고 있다. 이는 RP시스템에 반드시 필요한 3D CAD의 일반적 보급 확대와 SLS를 이용한 RP시스템의 기술개발에 의한 정도의 실용화가 큰 영향을 미친 데 따른 것이다. 개발 기간의 단축, 원가 절감에는 여러 수단과 방법이 있다. 국내에서는 RP기법중 SLA (Stereolithography Apparatus) 를 이용한 원형 모델 설계 시스템은 도입이 되어 있으나, SLS(Selective Laser Sintering)을 이용한 RP기법은 연구 초기단계이고, 산업계에서는 선진국으로부터 기술을 도입하는 단계이다. 본 논문에서는 이와 같이 초기단계에 있는 SLS를 이용한 RP시스템에 대하여 논하려고 한다.

SLS(선택적 레이저 소결법)은 분말 소재를 롤러로 공급해서 탄산가스 레이저의 주사로 분말 온도를 순식간에 용융 온도까지 상승시켜, 하층과 용융결합시킨후 이것을 각층에 반복하는 RP의 한 기법으로서 국내에서는 아직까지는 연구가 이루어지지 않은 분야로서 수작업이나 CNC로 가공되어진 원형 모델에 비하여 정밀도는 조금 떨어지나 제작 속도, 무인가동음, 비용, 제작물의 복잡성 등에서 커다란 장점을 가지고 있다

현재까지 개발되어진 SLS RP시스템은 디자인 설계 엔지니어와 제조 엔지니어를 보다 가깝게 의견교환할 수 있도록 하여줄 뿐 아니라, 마케팅까지도 걸부시킬 수 있는 기회를 부여하여 고객과 공급자가 전자데이터를 통하여 보다 근접하게 개발 과정에 접근할수 있다. 또한 모든 관계자들이 디자인 설계를 이해하는데 SLS RP시스템이 도움을 줌으로써, 보다 나은 제품의 질을 위한 개발 프로세스에 혁신을 불러오도록 기여할 수 있다고 분석된다.

SLS RP시스템은 늘어나는 정보의 양과 의사 교환을 위한 수단으로써 원형 모델의 제작에 혁신을 가져왔다는 측면에서는 유용한 기술이라고 할 수 있다.

지금까지 사용되어진 RP시스템이 기존의 원형 모델 제작의 범위를 넘어 생산 제조와의 접근에 적극 활용될 수 있는 프로세스가 개발됨에 따라 RM(Rapid Manufacturing)으로의 응용이 더 한층 개발 환경을 부채질할 것으로 보인다.

나. 기대 효과

쾌속 조형법을 이용하면 다음과 같은 장점이 있다.

첫번째, 여러부품의 인원이 동시에 물체를 보면서 디자인이

나 이미지를 검토 평가하므로 디자인 점검이 신속하다.

두번째, 제조담당자가 사전에 점검하여 작업의 로스와 반복 작업을 줄여 비용절감에 기여한다.

세번째, 실제 장작성, 기능면을 사전에 검토하므로 설계오류와 최적설계에 한발 먼저 접근 할 수 있다.

네번째, 구조의 베이스 모델에 적용되는 모형의 대체품으로는 이미 실용화 되고있으며 정밀구조의 마스터 모델에도 이미 선진국에서 사용하고 있다.

다섯번째, CT스캔 데이터로 환부 모델을 만들어 수술방법등을 시뮬레이션 하는데 사용되며, 군사전략의 각종 지형모형, 화학구조물 생물의 모형등에도 이용되고 있다.

SLS를 이용한 RP 원형모델은 시작금형의 제작 및 시작 단계에서의 공법개발에 매우 중요한 역할을 수행할 수 있다. SLS RP시스템의 원형 모델들은 복잡한 형상의 하우징을 제작하는데 패턴으로 활용되어 기간을 단축하는데 기여한다. 일반적인 금형캐스팅 패턴을 제작하는데 기존에는 12~16주일이 소요되었으나 RP시스템의 기술 도입으로 초기 하우징을 제작하는데 4~6주일도 단축할 수 있다.

RP시스템에서는 모델 형상에 관계없이 지그(JIG)가 필요치 않으나, CNC가공에서는 조금 복잡한 형상이라면 지그를 필요로 한다. 따라서 복잡한 형상의 가공에 있어 RP시스템이 상대적으로 시간 및 비용을 절감할 수 있다.

또한 디자인 설계 엔지니어와 레이아웃 담당자들은 SLS RP시스템을 활용함으로써 효과적으로 구성 부품들의 사전 조립 단계에서 설계를 검증(모델 최적화)할 수 있으며, 디자인 설계 개발 도구로써 RP시스템을 이용하여 최적의 결과가 나올 수 있도록 반복, 평가 최적화 작업을 진행할 수 있다.

1.3 연구 내용

CO₂ 레이저를 이용하여 청동과 알루미늄의 분말(50 μ m)을 이용하여 선택적인 레이저 소결을 실행하였다. 선택적 레이저 소결법은 분말 소재를 롤러로 공급하며, CO₂ 레이저 에너지로 분말을 녹여 하층과 용융하여 결합시킨다. 이것을 여러 층 반복하여 원하는 원형 모델(Prototype Model)을 제작한다.

다음의 표1은 프로토타입을 개발하는데 필요한 재료 및 과정 등을 정리하여놓은 표이다.

| 제품 개발 과정 | | | | |
|-----------|-------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|
| 개념 선정 | 신 개발과정 | 기능 패턴 과정 | 프로토타입 과정 | 선 생산단계 |
| 프로토타입과 특성 | | | | |
| | design model | functional prototype | technical prototype | pre-production part |
| 초기필요조건 | 시각과 촉각 | 기능적이고 기하학적 | 연속적인 제작품과의 유사성 | 연속적인 제작품과 동일 |
| 재료 | 모델용 특수재료 | 모델용 특수재료 / 제조용과 비슷한 한 재료 | 제조용과 동일한 재료 | 제조용과 동일한 한 재료 |
| 제조과정 | 수작업 / 모델제조용 전용 기술 | 수작업 / 모델제조용 전용 기술 | 제조과정 / 신제조용 도구 | 제조과정과 도구 이용 |
| 필요한 갯수 | 1 | 2~5 | 3~20 | 500개 이상 |

Table 1. Comparison of rapid prototyping processes and material

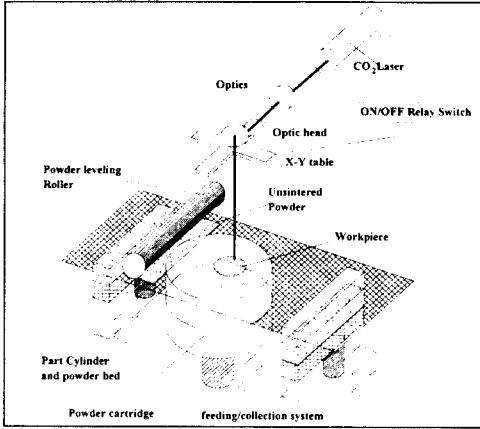


Fig. 2-2 Schematic diagram of selective laser sintering system

제 3장 시작품 제조공정

3.1 청동분말을 이용한 시작품 제작

본 연구에서는 청동분말(50 μ m)을 이용하여 박스형상을 제작하였으며, Fig. 3-1은 각 층 형상의 제조공정을 보여준다. 청동은 구리에 비하여 산화되는 경향이 적으며 저출력의 레이저에 의한 성형성이 좋으므로 본 공정에 의해 제작된 시작품은 그 응용가능성이 매우 크다고 볼수 있다.

또한 성형이 되어진 층에 있어서의 공동이 적으므로 소결이 끝난 후에도 산화의 걱정이 적으며, 제작되어진 시작품의 강도 또한 청동으로 주조된 제품강도의 65%까지 나오게된다. 성형시간은 3시간이 소요되었으며 제작되어진 시작품의 치수는 가로 4cm \times 세로 4cm \times 높이 1cm 이다.

데이터 파일의 생성과정은 AUTO CAD로 Z축이 일정한 2차원의 도면을 작성하여 이를 DXF 포맷의 파일로 출력한다. 생성되어진 DXF화일을 제작되어진 프로그램을 이용하여 입력받아 이를 토대로 각 실험인자의 데이터가 입력된다. 이 입력된 데이터를 이용하여 X-Y테이블을 구동하여 3차원 물체를 제작하게 된다.

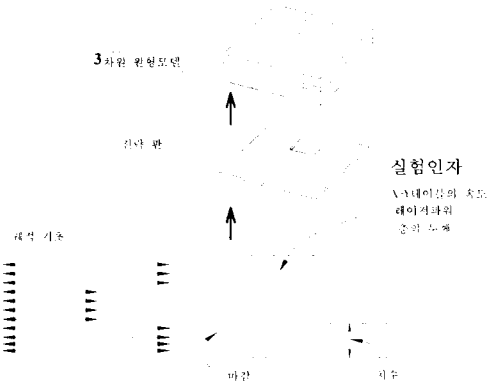


Fig. 3-1 Schematic diagram of laser sintering process

레이저를 주사하는 방식에 있어서는 X-Y테이블 방식과 갈바노미러 조정장치에 의한 방식이 있는데 본 실험에서는 X-Y테이블을 이용한 주사방식을 선택하였다.

이방식의 장점과 단점은 표2과 같다.

| 형식 | 장점 | 단점 |
|------------|---|---|
| X-Y 플랫폼 방식 | - 레이저 빔과 파우더 사이의 거리가 일정하므로 제품의 입도가 높다. - 대형 모델도 정도가 균일하다. - 설치구조가 간단하다. | - 주사속도가 낮다. - 조형에 많은 시간이 걸린다. - 큰 정소가 요구된다. |
| 갈바노 미러 방식 | - 주사속도가 빠르다. - 조형시간이 짧다. | - 정도가 떨어진다. - 정기적인 청소 필요 - 크기에 제한이 있다. |

Table. 2 Comparison of scanning method according to rapid prototyping

3.2 시작품의 금속학적 관찰

Fig. 3-2(a) 는 구리분말이 소결되었을때의 조직사진이다. 레이저에 의한 열집중현상이 발생하였을 경우는 Fig. 3-2(b)와 같은 결과의 조직사진이 나타나게 되고 열집중현상을 제거하였을 경우 Fig. 3-2(c) 와 Fig. 3-2(d) 와 같은 형태의 조직을 나타내게 된다.

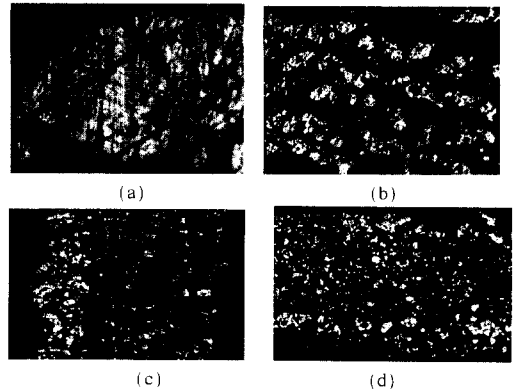


Fig. 3-2 Macrosections of sintered bronzes (x25)

Fig. 3-3은 제작되어진 시작품의 표면을 나타내는 것으로 이전의 수지계열의 제품에서 이용되는 소결에 국한되는 것이 아니라 금속분말이 소결이 됨은 물론 완전한 용융이 아닌 소결과 용융의 중간단계에 이르러서야 완전한 제품의 제작이 가능하다는 것을 알 수 있다.

금속분말이 완전용융이 되면 표면장력에 의하여 분말용융액이 응고, 수축 또는 팽창하게되어 시작품의 강도 및 형상에 많은 영향을 줄수 있다.



Fig. 3-3 Photograph of sintered bronze

기존의 SLS방법은 광조형수지나 폴리카보네이트 또는 왁스를 이용하여 소결하는 방법을 이용하였다. 이와 같은 프라스틱계열의 재료들은 금속재료에 비해 강도가 많이 떨어지게 되므로 선개발과정이나 기능 패턴과정까지로 사용이 제한되어져 있다.

그러나 금속재료를 이용한 소결법은 기능 패턴이외에 프로토타입과정뿐만 아니라 선 생산단계의 제품까지도 제작이 가능한 장점을 가지고 있다.

이에 현재까지 사용되고 있는 수지계열의 재료가 아닌 금속분말을 이용하여 프로토타입을 제작하는 실험을 실시하였다.

실험의 방법은 Fig. 1-1과 같이 진행되었다.

첫번째, 레이저의 스폿을 고정하여 한 점의 소결이 이루어지는가를 실험하였다.

두번째, 레이저를 한방향으로 이동하여 하나의 직선이 이루어지는 가를 실험하였다.

세번째, 위의 두결과가 이상적으로 나오므로 레이저를 X축과 Y축으로 움직여서 하나의 층을 제작하는 실험을 하였다.

네번째, 모든 결과의 실험인자들을 결합하여 box형태의 물체를 제작하는 실험을 행하였다.

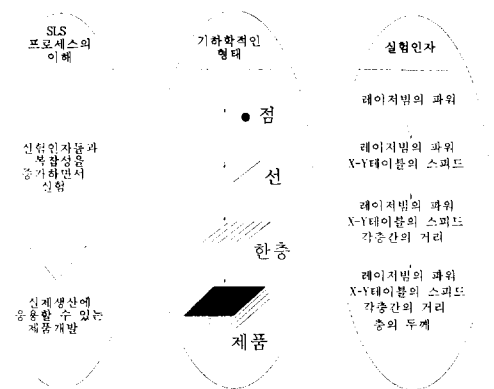


Fig. 1-1 Processing diagram of selective laser sintering

제 2 장 패속조형법을이용한 형상 제조 공정

2.1 제조 공정

본 연구에서는 금속분말(청동분, 알루미늄분)을 소재로 한 패속조형제조 공정을 개발하였으며 그 기본 원리는 선택적 레이저 소결법(Selective Laser Sintering)을 이용하고 있다.

Fig. 2-1 은 본 제조 공정을 도식적으로 보여주고 있으며, 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

1단계: 나이프를 이용하여 깎아낸후 롤러(roller)를 이용하여 금속분말을 일정한 두께로 도포한다.

2단계: 도포된 금속분말표면에 레이저를 정해진 스캐닝 방법에 따라 주어진 층형상으로 주사해 금속분말을 소결시킨다. 이때, 금속의 산화를 억제하기 위하여 보호가스(shielding gas)를 분무한다.

3단계: 이렇게 해서 한층이 만들어지면, 일정한 높이(Layer thickness)만큼 플랫폼을 내린다.

4단계: 1-3단계를 정해진 횟수만큼 반복한 다음, 플랫폼을 맨 처음 위치로 올리고 남아 있는 소결되지 않은 금속분말입자들을 제거하여 원하는 형상의 제품을 얻는다.

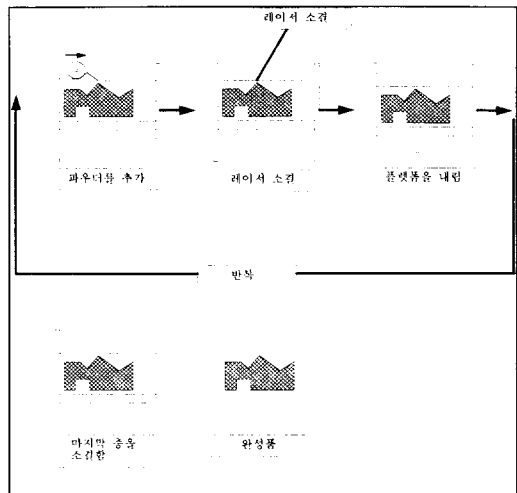


Fig.2-1 Manufacturing process of selective laser sintering

2.2 제조 장치의 구성

Fig. 2-2는 제조장치를 개략적으로 나타내고 있으며, 구체적으로 장치의 구성 요소들을 살펴보면 다음과 같다.

1) 금속분말 공급장치

금속분말을 일정한 두께로 도포하는 방법으로 롤러(roller)를 이용한다.

2) Z축 플랫폼 조정장치

일정한 높이만큼 플랫폼을 Z축으로 이동시키는 장치로서 플랫폼, 모터, 접촉센서로 구성된다.

3) CO2 레이저

TEM₀₀ 모드의 CW발진형태를 띄고 있는 Sealed off DC Discharge방식의 40W 이산화탄소레이저를 이용하였다..

4) X-Y 테이블

발생되어진 레이저빔을 주어진 길(path)에 따라 분말에 주사하도록 하는 장치로서, 두개의 전반사 미러와 한개의 집속렌즈를 X-Y테이블에 고정 하여 금속분말을 소결토록 하였으며, 금속의 소결 및 용융, 응고시 산화를 최소화 하기 위해 아르곤 가스를 분사할 수 있다.

5) X-Y테이블 콘트롤러

스텝모터를 이용한 X-Y테이블은 PC의 LPT1 포트를 이용하여 X와 Y의 양방향으로 콘트롤할수 있는 보드를 제작하였다. 또한 최소단위로 움직이게 되어 있는 Y축에서 발생하는 열집중 현상을 제거하기 위하여 레이저를 ON/OFF할 수 있도록 릴레이 장치가 부착되어있다.

Fig3-4(a)와 (b)는 제작되어진 시작품을 나타낸 그림이다.

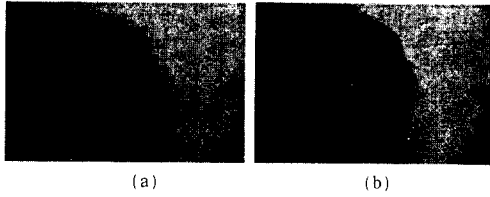


Fig. 3-4 Box-shaped prototypes laser-sintered with bronze

제 4장 결론

본 연구에서 얻은 결론은 종합하여 정리하면 다음과 같다.

1. 금속재료(청동)를 이용한 쾌속조형법의 개념과 장치의 설계 및 제작을 통하여 금속에 의한 3차원 형상제조의 타당성을 입증하였다.
2. 시작품의 표면특성과 층간의 결합력을 높이기 위하여 X-Y 테이블의 이송속도 및 주사방식의 ON/OFF를 통한 콘트롤방법을 제안 검증하였다.
3. 청동분말을 이용한 제조공정에 대한 최적변수를 찾고 이를 바탕으로 3차원 형상을 제조하여 본 실험의 타당성을 검증하였다.

참고문헌

- [1] Azari M, Manufacturing Data System Based on STEP, Department of Manufacturing System, IVF-KTH, Stockholm, 1994
- [2] Brown S, Simulation of Solid Freeform Fabrication, proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, Texas, 1993
- [3] Crawford R, Computer Aspects of Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, Texas, 1993
- [4] Dolenc A, Software Tools for Rapid Prototyping Technologies in Manufacturing, PhD thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki, 1993
- [5] Holmer B, Apelskog-Killander L, Paim G, Some Practical Experiences of SLS- Selective Laser Sintering, Proceeding of the 2nd Scandinavian Rapid Prototyping Conference, Aarhus, 1993
- [6] Nelson J. C. and Barlow J. W, Relating Operational Parameters between SLS Machines Which Have Different Scanner Geometries and Laser Spot Sizes, Proceedings SFF Symposium, Austin, 1992
- [7] Palm G, Experiences of SLS-Selective Laser Sintering, Dept. of Manufacturing Systems, IVF-KTH, Stockholm, Internal report, 1994
- [8] The Sinterstation 2000 System User's Guide, DTM Corp, 1993
- [9] Vancraen W, Swaelens B, Pauwels J Contour Interfacing in Rapid Prototyping-Tools that make it work,

Proceedings of the 3rd European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, Nottingham, 1994

- [10] Kevin Jakubenas and H. L. Marcus, "Selective Laser Pyrolysis for Solid Free-Form Fabrication of Silicon Carbide", Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, 1994, Editors: H. L. Marcus, J. J. Beaman, J. W. Barlow, D. L. Bourell, and R. H. Crawford, University of Texas, Austin, TX, August 8-10, 1994.
- [11] G. Beaman, J. J. Barlow, J. W. Bourell and Marcus, H. L. "Laser Processing in Solid Freeform Fabrication," International Conference on Beam Processing of Advanced Materials, TMS Meeting
- [12] 신민철, 손현기, 양동열, "Experimental Study of Direct Metal Prototyping Process", 한국정밀공학회 95년도 추계학술대회 논문집, pp.169-175, 1995