

# RP를 이용한 미세기어 하우징 성형에 관한 연구

김성욱\* · 이기성\* · 이승수\* · 김민주\* · 전언찬\*\*

## A Study on the Forming of Fine Gear Housing using Rapid Prototyping

Kim Sung Wook\*, Lee Ki Sung+, Lee Seung Soo+, Kim Min Ju+, Jeon Eon Chan\*\*

### Abstract

In the study, we described on the 3D solid model be made on the AutoCAD had an effect on the deviation of form as RP manufactures the facetres. The STL file improved the deviation of form as the facetres value but the deviation of form have the difference a little as the RP system. In result, we ruled the correlation with the 3D solid model and the RP sample manufacturing, with manufacture RP sample according to facetres value in complex shape. And we developed the program which recombination the STL file that we make use of the AutoLISP.

**Key Words :** Optimum forming condition(최적성형조건), RP(Rapid prototyping : 급속성형), ADS(Automatic design system : 자동설계 시스템), Facetres(형상간격합수)

### 1. 서 론

제조분야에서 제품을 직접 생산하기 전에 이의 시작품을 제작하고 그 성능을 테스트함으로써 제품 설계와 생산의 주기를 단축하는 것이 대체를 형성하고 있다. 시작품 제작과정은 양산의 전 단계로서 설계를 검증하고, 가공공정을 결정하는 중요한 과정이다.<sup>1,2)</sup> 그러나 설계의 초기단계에서 그 형상 자체가 매우 다양하고 소량이므로 절삭가공이나 소성가공을 통한 시작품 제작은 비효율적이다. 특히 제품의 수명주기가 짧아짐에 따라 시작품 제작기간도 단축되어야 하는 어려움이 있으며, 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 RP(Rapid prototyping)가 새로이 부각되고 있다.<sup>2)-4)</sup> RP시스템은 '3차원 CAD 프로그램에서 디자인된 데이터를 이용하여 박막적층기법을 활용함으로써 원하는 시작품을 얻는 일련의 장비<sup>3,5,6)</sup>로 정의되며, RP를 이용해 시작품을 만들기 위해서는 3차원 설계 프로그램을 통한

모델링 작업과 RP 장비에서 사용되는 파일 포맷으로의 전환이 필요하다.<sup>3,5)</sup> 또한 3차원 모델을 RP 장비를 지원하는 STL 파일로 변환하고, 동일형상을 반복 성형하였을 때 시작품의 형상정밀도가 동일하게 나오지 않는 문제를 가지고 있다.<sup>1,2)</sup>

따라서 본 연구에서는 미세기어 펌프 하우징의 시작품 제작을 통해 3차원 모델과 성형모델과의 상관관계를 규명하고, 이를 조절할 수 있는 자동파일변환 프로그램을 개발하고자 한다.

### 2. RP 기법

널리 사용되고 있는 RP기법으로는 SLA(Stereo lithography apparatus), FDM(Fused deposition modeling), 그리고 SLS(Selective laser sintering) 및 LOM(Laminated object manufacturing)등이 있다. 각각의 특성이 다르므로 시작품의 요구성능에 따라 RP기법을 선정하여 사용하고 있는 추세이다.

본 연구에서는 경화성 수지에 레이저 광선을 주사하여 레이저 광선이 닿는 부분이 액체상태에서 고체상태로 경화되는 원리를 이용한 SLA를 사용하였다. Fig. 1은 SLA의 공정을 나타낸 것으로 액체상태의 경화성 수지

\* 김성욱, 동아대학교 대학원 기계공학과  
(luxer1979@hanmail.net)

주소 : 604-020 부산 사하 하단2동 동아대학교

+ 동아대 기계공학과 대학원

\*\*동아대학교 기계·산업시스템공학부

(Photo-sensitive liquid polymer)가 들어 있는 용기의 표면에 레이저 광을 선택적으로 조사하여 적층하는 방법으로 3D Systems, Quadrax, Sony 등에서 상용화하였으며, RP방법 중에서 가장 먼저 실용화된 방법이다.

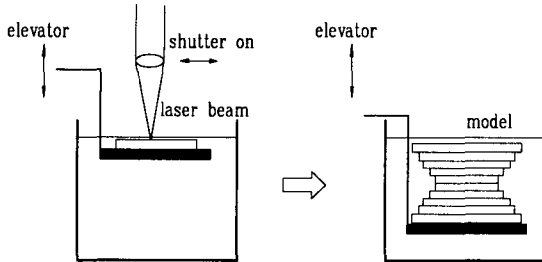


Fig. 1 Process of SLA

SLA법은 한 층을 점 대 점(Point by point)방식으로 선택적으로 레이저 광을 조사하여 그 층이 경화되면 액상 고분자재료 표면 밑으로 가도록 밀반침(platform)을 용기속으로 내린다. 그리고 용기의 표면에 다시 레이저 광을 조사하여 그 다음 층을 만드는 방법으로 3차원 형상을 적층해 나간다. 액체 속에서 적층하므로 복잡한 형상의 경우에는 지지대가 필요하다.

### 3. 실험장치 및 실험방법

#### 3.1 실험장치

본 실험에 사용된 시작품 제작기계인 SLA- 250/50 시스템(3D systems사)을 Fig. 2에 나타내었다.

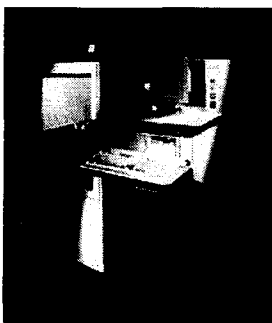


Fig. 2 Photography of RP system

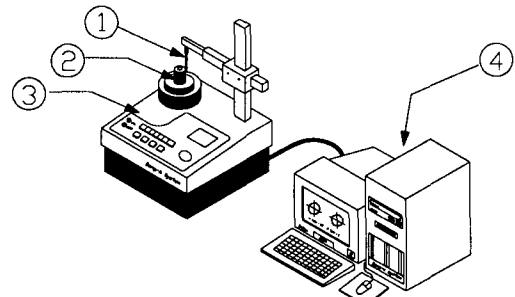


Fig. 3 Schematic diagram of circular test

Fig. 3은 자동설계프로그램에서 모델링한 데이터를 이용하여 RP에서 가공한 시작품(2)의 진원도를 프로브(1)에 의해 측정하는 시스템을 나타내고 있다.

본 실험에 사용된 진원도 측정기는 Mitsutoyo사의 진원도 측정기(Circular testor : 3)로 에어 베어링에 의해 지지되는 원형 테이블이 회전하면서 진원도를 측정한다. 데이터의 검출은 2차원 프로브법을 사용하고, 진원도 데이터의 처리는 LSC (Least square center)법을 사용하여 컴퓨터 시스템(4)에 의해 출력한다. 그리고 진원도 측정기의 사양을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specifications of circular testor

Items	Unit
Maximum diameter of measurement	280 mm
Maximum load of measurement	20 kg
Measuring range	$\pm 1,000 \mu\text{m}$
Spindle revolution	6 rpm
Air pressure	390 kPa(4 kgf/cm <sup>2</sup> )

#### 3.2 실험재료

본 실험에 사용된 시작품 제작재료인 경화성수지는 특정 파장의 빛을 받게 되면 액체에서 고체로 경화되는 특성이 있다. 특히 빠른 속도의 레이저를 받으면 빛에 노출된 부분만 굳어지고, 노출되지 않은 부분은 액체로 남아 재사용이 가능하며 노출시간, 빛의 주사속도 및 재료의 특성 등에 따라 경화되는 깊이 조절이 가능하다. 또한 층과 층 사이에 우수한 접착력이 있어 층을 쌓아 3차원 형상을 만들기 용이한 장점을 가지고 있다.

Table 2에서는 본 연구에 사용한 경화성수지(SL 5220 Resin)의 경화 후 물성치를 나타내었다.

Table 2 Typical properties (Post cured part)

Tensile strength	62 MPa
Young modulus	2.703 MPa
Elongation at break	8.3 %
Impact strength	37 J/m
Shore hardness	86

### 3.3 실험방법

Fig. 4는 본 실험의 실험순서를 나타낸 것으로 본 실험은 산업현장에서 널리 사용되는 설계프로그램인 AutoCAD에서 3차원 모델을 만들고, AutoCAD의 개발자 프로그램인 VisualLISP을 이용하여 파일 자동변환 프로그램을 개발하여 RP 장비에 사용되는 STL파일을 생성한다. 이 때 3차원 솔리드 모델의 진원도에 영향을 주는 시스템변수인 형상간격함수값을 조절하여 외형은 같지만 진원도가 다른 모델을 각각 생성한다.

AutoCAD상의 시스템 변수인 형상간격 함수값의 기본값은 0.1이고, 최대 값이 10이다. 따라서 이를 0.1과 1부터 1씩 증가하는 값으로 설정하여 모델을 생성하였다. 따라서 11개의 모델을 가지고 실험한다. 그리고 RP장비에서 시작품을 급속 성형한다. 이 때 시작품이 경화되는 과정에서 뒤틀이나 굽힘이 발생하기 때문에 이를 방지하기 위하여 모델의 크기를 최소화하고, 원통의 내경과 외경사이의 두께를 증가시켰다.

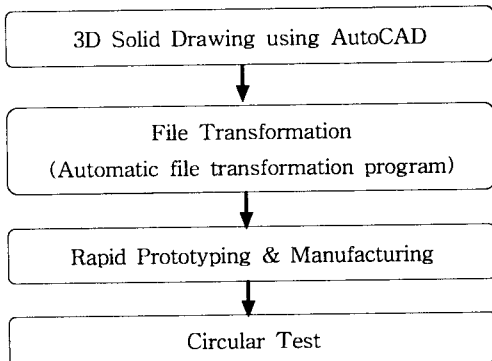


Fig. 4 Flowchart of experiment

RP장비에 의한 가공은 형상간격함수값의 차이에 따른 CAD모델의 진원도가 제품의 진원도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 원통형상으로 가공하였으며, 초기에 진원이 형성되지 않기 때문에 Fig. 5에서와 같이 지지부를 동반하여 성형한 후 지지대를 제거한다. 성형순서는 약 8mm의 지지대(①)를 먼저 생성하고 회전하면서 테두리(②)를 적층하고, 아래에서 위쪽으로 성형한다.

성형된 11개의 모델의 진원도를 JIS B 6201의 진원도

시험사항 및 측정방법에 따라 진원도 측정기에서 측정하고, 그 데이터를 분석하여 본 실험에 사용된 RP장비의 최적 성형조건을 찾는다.

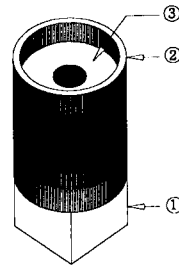
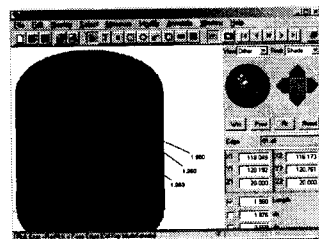


Fig. 5 Workpiece in RP system

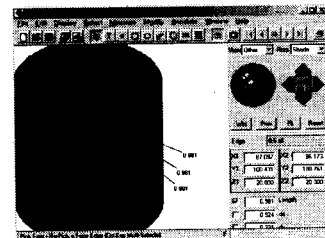
## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 파일변환시 형상간격함수값과 모델의 정밀도

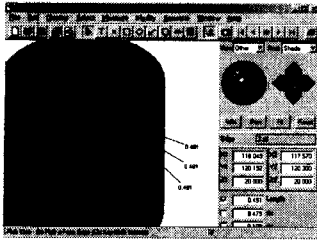
AutoCAD 프로그램을 이용하여 3차원 모델을 생성할 경우 시스템변수인 형상간격함수(facetres) 값에 따라 모델의 정밀도가 결정된다. RP 장비에 사용되는 파일양식인 STL 파일로 변환할 경우 형상간격함수 값의 영향을 Fig. 6에 나타내었다.



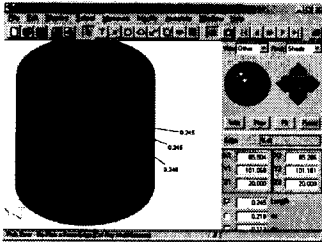
(a) Facetres = 0.1



(b) Facetres = 0.5



(c) Facetres = 2



(d) Facetres = 6

Fig. 6 Shape of STL file for facetres value

Fig. 6에 사용된 3차원 모델은 외부 직경이 20 mm, 내부 직경이 10 mm인 중공축이고, 길이가 20 mm인 3D 요소이다.

형상간격함수 값이 증가할수록 3차원 모델의 정밀도가 증가하는 것과 같이 이를 파일변환한 경우도 동일한 현상을 나타냄을 확인할 수 있다. 그리고 형상간격함수에 따른 선분의 수와 선분의 길이를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Segment length and polygon for facetres value

Facetres value	0.1	0.5	2	6
Segment length	1.960	0.981	0.491	0.245
Polygon	32	64	128	256

Fig. 7은 형상간격함수 값이 0.1일 때 직경 20 mm의 진원과 STL 파일의 형상을 비교한 것으로 0.1 mm의 오차를 나타내고 있다. 따라서 RP 시스템에 적용할 수 있는 STL 파일의 경우는 형상간격함수 값이 형상 정밀도에 영향을 미침을 확인할 수 있다.

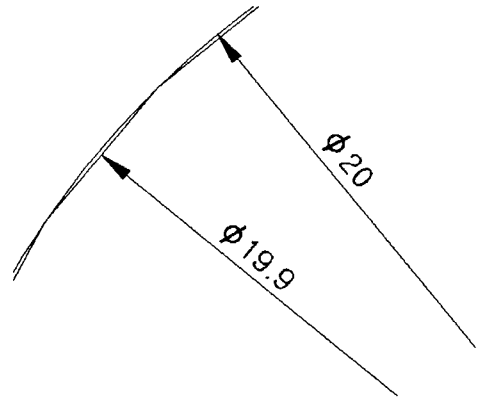


Fig. 7 Real circle and shape of STL at facetres value 0.1

#### 4.2 형상간격함수값과 RP 시작품의 정밀도

Fig. 8은 형상간격함수값을 달리하면서 자동설계프로그램을 이용하여 3차원 솔리드 모델들을 생성하고, 이를 STL 파일포맷으로 RP시스템에 공급한 후 시작품을 급속성형한 다음 각각의 진원도를 측정해본 것이다.

형상간격함수값이 0.1일 때에는 진원도 데이터 산들의 간격이 넓다. 이는 평균 진원도가 나빠지는 원인이 되며, 이 때의 진원도 값은 약 82  $\mu\text{m}$ 이다.

형상간격함수값이 10일 때에는 데이터 산들의 간격이 좁고, 프로파일(profile)이 그리는 산과 골간의 간격이 점진적으로 줄어들어 진원도가 작아지는 것을 볼 수 있으며, 이 때의 진원도 값은 66  $\mu\text{m}$ 이다.

특히 형상간격함수값이 점진적으로 증가할수록 진원도를 나타내는 프로파일 점점 타원화되어 가는 경향이 나타난다. 이는 RP시스템의 분할(division) 능력이 가지는 한계 때문으로 판단되어진다. 즉 제공되는 3D 솔리드 모델의 형상조밀도가 어느 이상으로 조밀하더라도, 기계에서 소화할 수 있는 한계치를 벗어나면 아무 의미가 없음을 나타낸다. 그리고 프로파일의 찌그러짐은 RP장비인 SLA 시스템에서 급속성형의 원료인 광경화성 수지가 강성이 없고, 경화과정에서 휨이나 비틀림이 발생하였기 때문으로 판단되어진다. 본 연구에서는 경화과정의 휨이나 비틀림을 줄이기 위하여 성형물의 크기를 최소화하고, 원통의 내경과 외경사이에 충분한 두께를 부여하였다.

하지만 진원도 그림에서 발생하는 이러한 찌그러짐은 성형재료 자체에 납(Pb)과 티타늄(Ti)같은 부 재료를 혼합하여 강성을 부여하는 것과 같은 새로운 방법을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

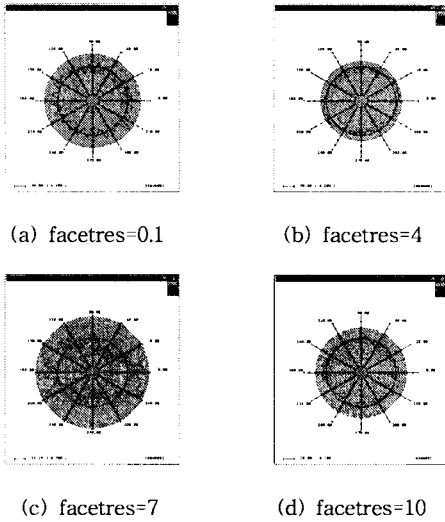


Fig. 8 Roundness according to facetres value

RP 시스템의 최적 성형조건을 진원도와 평균 진원도를 비교 분석하여 구할 수 있다. Fig. 9와 Fig. 10에 진원도와 평균 진원도값을 각각 나타내었다.

Fig. 9는 3차원 솔리드 모델의 형상간격에 따른 RP 제품의 진원도를 나타낸 그림이다.

형상간격함수값이 0.1부터 2까지 점점 증가함에 따라 진원도 값의 크기가 급격히 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 형상간격함수값이 3이상부터는 작은 폭의 점진적 상승을 나타내는데, 기계의 성형능력과 상관관계가 있을 것으로 판단되어진다.

Fig. 10은 3D 솔리드 모델의 형상간격에 따른 RP 제품의 평균 진원도를 나타낸 그림이다. 형상간격함수값이 2인 부분까지 평균 진원도가 급격히 감소함을 알 수 있고, 3이상부터는 상승과 하강을 반복함을 볼 수 있다.

진원도는 프로파일이 그리는 최대치와 최소치의 간격을 나타내므로 진원도 자체만으로는 형상정밀도가 좋다고 판단할 수 없다. 이에 비해 평균 진원도는 얼마나 균일하게 프로파일을 형성하는가 하는 정도를 나타내기 때문에 진원도에 비해서 형상정밀도를 보다 잘 나타낼 수 있다. 하지만 평균적으로 균일하게 나타나는 프로파일일 크게 튀는 한 부분을 가지더라도 평균 진원도는 좋게 나타난다.

따라서 진원도와 평균 진원도를 비교-분석하여 형상정밀도를 판단하는 것이 가장 최적이라고 할 수 있다.

이에 따라 본 실험에 사용된 RP 제품의 진원도와 평균 진원도를 분석하였을 때 형상간격 함수값이 2일 때 RP시스템에서 급속성형된 모델의 진원도와 평균진원도 값이 가장 낮고, 형상이 진원에 가깝다는 것을 알 수 있다. 따라서 CAD시스템에서 모델링을 수행함에 있어서

형상간격함수값을 2로 하는 것이 시작품의 진원도를 향상시키는 최적성형조건임을 알 수 있다.

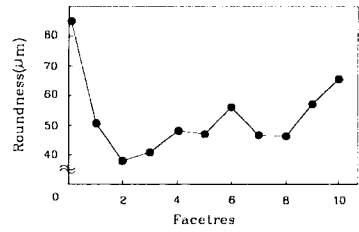


Fig. 9 Relation between facetres values and roundness

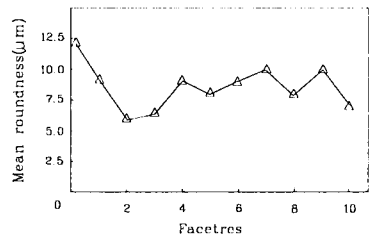


Fig. 10 Relation between facetres values and mean roundness

### 4.3 파일 자동변환 프로그램

본 연구에서는 우선 AutoCAD 프로그램을 통해 생성된 파일을 RP 가공용 파일인 STL 파일로 변화시키기 위해서 프로그램을 개발하였으며, 이는 AutoCAD상에서 구현되도록 하였다. Fig. 11에 그 대화상자를 나타내었다. AutoCAD 상에서 생성되는 3D 요소의 경우 생성 좌표에 음의 좌표가 포함되어져 있거나 분리된 복합체의 경우는 STL 파일로 변화되지 않는다. 그래서 호출된 3D 요소의 좌표를 정렬해서 음의 좌표를 제거해 주어야 한다. 그리고 상기한 데이터를 기준으로 본 연구에서 개발한 RP용 파일 변환프로그램에서 형상간격함수 값의 기본설정을 2로 하였다.

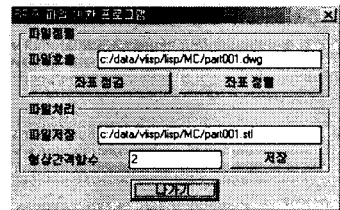


Fig. 11 Dialog box of conversion program for RP file using Visual LISP

#### 4.4 기어펌프 하우징 시작품 제작

AutoCAD상에서 3차원 모델을 생성하고, 파일 자동변환 프로그램에서 이를 변환한 후 RP 시스템을 사용한 극소형 기계부품의 시작품을 제작하였다. Fig. 12는 기어펌프 하우징의 3차원 모델을 나타낸 것으로 하우징 길이는 6.8 mm이다.

Fig. 13은 파일 자동변환프로그램을 통해 STL 파일로 변환시켜 RP로 시작품을 제작한 형상을 나타내고 있다. 이 때 형상간격 함수값을 변화시키면서 파일변환을 시도하였다. Fig. 13에서 보는 것과 같이 형상간격함수 값에 따라 RP 시작품의 형상에 미치는 영향이 있음을 알 수 있으며, 최적 조건인 형상간격함수 값이 2일 때 CAD상에서 구현한 모양과 거의 일치함을 알 수 있다. 그리고 최적 조건에서 생성된 RP 시작품 역시 후처리 공정이 필요하다고 판단된다. Fig. 13의 (a)와 (c)에서 보이는 결과는 RP가 시작품을 만드는 과정에서 외곽형상을 만든 후 내부를 충전하는 과정에서 경화되기 전에 액체상태로 이탈해서 발생하는 것으로 판단된다.

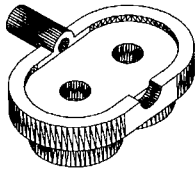


Fig. 12 Shape of gear pump housing



(a) Facetres value = 0.1



(b) Facetres value = 2



(c) Facetres value = 5

Fig. 13 Shapes of RP products

#### 5. 결론

기계요소 자동설계프로그램을 이용하여 3차원 솔리드 모델의 진원도를 결정하는 시스템 변수인 형상간격함수를 0.1과 1부터 10까지 1간격으로 주고, 3차원 솔리드 모델을 생성하였다. 그리고 이를 STL파일로 변환 후 RP 시스템으로 가공하여 시작품을 만들고, 각각의 형상간격함수값 변화에 따른 진원도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 3차원 솔리드 모델이 가지는 형상간격함수에 따라 STL파일의 형상정밀도에 영향을 미친다.
- 2) 진원도와 평균 진원도의 측정-비교를 통하여 최적성형 조건을 구하였으며, RP시스템의 성형성능을 감안할 때 형상간격함수 값이 2일 때 최적 성형조건임을 알 수 있었다.
- 3) AutoCAD 프로그램을 통해 생성된 파일을 RP 가공용 파일변환 프로그램을 개발하였다.
- 4) 복잡한 RP시작품 제작에서 형상간격함수값이 2일 때 CAD상에서 구현한 모양과 거의 일치하였다.

#### 참고문헌

- 1) Jeong-Ho Yoon, Hyung-Hwan Jeon, Sang-Hoon An, Myung-Cheol Joe "Development of the Integrated Information System for 3D Product Design/RP/CAE/3D Mold Design/Tooling, Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 2, No. 1, pp. 35~43, 1997
- 2) Junghoon Hur, Kunwoo Lee, "Determination of Optimal Build-up Direction for Stereolithographic Rapid Prototyping", Korean Society of Precision

Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 163~172, 1996

3) Minsung Hong, Keunha Shin, Seungyo Son, "A Study on RP Part Production Using Intersecting Circle Approximation Method", Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 9, No. 1, 68~74, 2000

4) Won-Joo Kang, Jun-An Kim, Seok-Hee Lee, In-Hwan Paik, "A Study on the Manufacture and the Performance Evaluation of Stereolithography System", Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 4, pp. 19~26, 1999

5) Kail,C.C. and Fail, L.K., "Rapid Prototyping, Principles and Application in Manufacturing." John Wiley & Sons Inc., 1997

6) Paul. F. Jacobs, Rapid Prototyping & Manufacturing, 1st edition, SME, 1992(A), Vol. 20, No. 5, pp.1582~1589, 1996