

## 자동설계 프로그램을 이용한 급속성형에 관한 연구

김세민\* · 이승수\* · 김민주\* · 주만식\* · 전언찬\*\*

### A Study on the Rapid Prototyping using Automatic Design Program

S. M. Kim, S. S. Lee, M. J. Kim, M. S. Joo\*, E. C. Jeon\*\*

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

#### Abstract

This study is the selection of optimum forming condition for RP system using ADS. Program using ADS reduces the required time for feedback between design and manufacturing of workpiece.

When we produce rapid prototype using RP system, we investigate the relationship between Facetres in system variable number of AutoCAD and circularity of rapid prototype, and we will find optimum forming condition in RP system.

#### 1. 서론

최근 제조 분야에서 제품을 직접 생산하기 전에 이의 시제품을 제작하고 그 성능을 테스트함으로써 제품 설계와 생산의 주기를 단축하는 경향을 보인다. 그러나 이러한 시제품 제작과정은 설계의 초기단계에서는 그 형상 자체가 매우 다양하고 소량이므로 비효율적이라는 문제가 있다. 특히 제품의 수명주기가 짧아짐에 따라 시제품 제작 기간도 단축되어야 하는 어려움이 있으며, 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 방법으로 RP가 각광받고 있다. RP(Rapid Prototyping) 시스템은 "3차원 CAD 소프트웨어에서 디자인된 데이터를 이용하여 박막적층기법을 활용함으로써 원하는 시제품을 얻는 일련의 장비"로 정의되며, RP를 이용해 시제품을 만들기 위해서는 3차원

모델러를 통한 작업이 필요하다.<sup>1,2)</sup> 하지만 3차원 모델을 만드는 작업은 고도의 전문성을 요구하기 때문에 누구나 쉽게 접근할 수 있는 방법으로서 ADS(Automatic Design System)가 연구되고 있다. ADS는 일반 사용자가 몇 가지 기계요소데이터를 입력함으로써 3차원 모델을 얻을 수 있는 시스템으로 AutoCAD상의 VisualLISP프로그램을 이용하여 구현이 가능하다. 현재 ADS를 이용한 설계, RP를 이용한 시제품 제작 및 CAM을 이용한 가공까지의 공정이 국내외 여러 대학 및 연구소에서 시도되고 있으나,<sup>3,4,5)</sup> 전공정을 완벽하게 포괄하는 연구는 아직까지 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 ADS를 이용한 설계, RP를 이용한 시제품 제작 및 CAM(Computer Aided Manufacturing)을 이용한 가공, 그리고 CAI(Computer Aided Inspection)를 통합하는 것을 최종목표로 한다. 그 첫 단계로서 ADS를 구현할 수 있는 프로그램을 만들어 설계에서 시제품 제작간의 피드백(feedback)에 소요되는 시간을 최소화하고자 한다. 그리고 ADS에 의해 생성되는 3차원 솔리드 모델(3D Solid Model)을 RP에서 사용되는 STL파일로 변환하여 쾌속 시제품을 제작하였을 때 AutoCAD상의 형상간격을 조정하는 시스템 변수인 facetres가 시제품의 진원도에 미치는 영향에 대하여 연구하고자 한다. 이를 통해 RP장비에서의 최적 성형조건을 찾아낼 수 있을 것으로 판단된다.

#### 2. 자동설계 프로그램의 예시

\* 동아대학교 대학원 기계공학과

AutoCAD상의 VisualLISP 프로그램을 이용하여 플랜지 커플링을 자동으로 모델링할 수 있는 자동설계프로그램을 작성하였다. 이 때 나타나는 입력창(DCL)을 Fig. 1에 나타내었다. 이는 유저(User)의 입력에 따라 자동으로 3차원 모델을 생성하는 프로그램으로 Fig. 2에서 보는 바와 같은 3D형상을 쉽게 얻을 수 있다. AutoCAD상의 형상조밀도 시스템 변수인 facetres를 조정함으로써 설계된 3차원 모델의 형상 간격을 조정할 수 있는데, 형상 조밀도가 높을수록 부드러운 면을 가진 형상을 얻을 수 있다. Fig.2의 (a)는 1, (b)는 5, (c)는 9의 형상조밀도를 주어 자동설계한 것이다. AutoCAD상의 시스템 변수인 형상간격은 디폴트(default)값이 0.1이고 최대 10까지 지정할 수 있다.

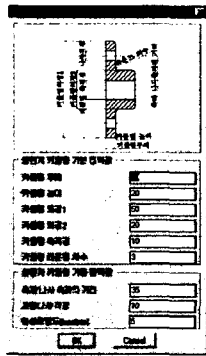
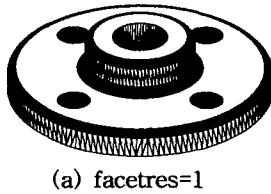
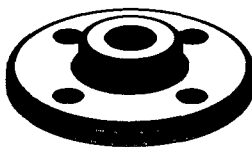


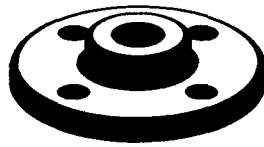
Fig. 1 Flange coupling program using VisualLISP



(a) facetres=1



(b) facetres=5



(c) facetres=10

Fig. 2 Solid models of flange coupling according to different facetres

### 3. 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 시제품의 요구성능에 따라 RP기법을 선정하여 사용하고 있는 추세이다. 본 실험에서는 광경화성 수지에 레이저 광선을 주사하여 레이저 광선이 닿는 부분이 액체 상태에서 고체상태로 경화되는 원리를 이용한 SLA를 사용하였다.

Fig. 3은 SLA의 공정을 나타낸 것으로 액체상태의 광경화성 수지(Photo-Sensitive Liquid Polymer)가 들어 있는 용기의 표면에 레이저 광을 선택적으로 조사하여 한층씩 적층하는 방법으로 3D Systems, Quadrax, Sony 등에서 상용화하였으며 RP방법 중에서 가장 먼저 실용화된 방법이다. SLA법은 한 층을 point by point 방식으로 선택적으로 단면형상대로 레이저 광을 조사하여 그 층이 경화되면 액상 고분자재료 표면 밑으로 가도록 밀받침(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 지지대(Support)가 필요하다.

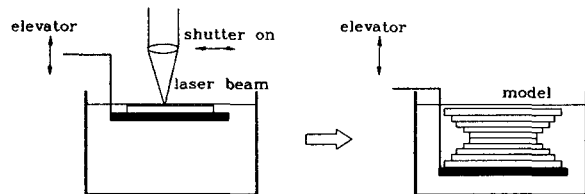


Fig. 3 Process of SLA

### 4. 실험장치 및 실험방법

#### 4.1 실험장치

본 실험에 사용된 시제품 제작기계인 SLA-250/50 시스템(3D systems사)을 Fig. 4에 나타내었다.

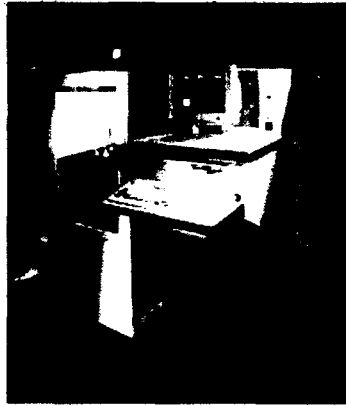


Fig. 4 Photography of RP system

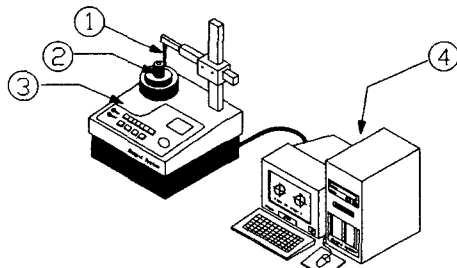


Fig. 5 Schematic diagram of circular test

Fig. 5는 자동설계 프로그램에서 모델링한 데이터를 RP에서 받아 가공한 시제품(②)의 진원도를 프로브(①)에 의해 측정하는 장치이다. 본 실험에 사용된 진원도 측정기는 Mitsutoyo사의 Circular Testor(③)로 에어 베어링에 의해 지지되는 원형 테이블이 회전하면서 진원도를 측정한다. 데이터의 검출은 2차원 프로브법을 사용하고, 진원도 데이터의 처리는 LSC법을 사용하여 컴퓨터 시스템(④)에 의해 디스플레이 한다. 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	$\pm 1,000 \mu m$
Spindle revolution	6 rpm
Air pressure	390 kPa(4 kgf/cm <sup>2</sup> )

#### 4.2 실험재료

본 실험에 사용된 시제품 제작재료인 광경화성 수지는 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 광경화성 수지(SL 5220 Resin)의 경화 후 물성치를 나타내었다.

Table 2. Typical properties (Post Cured Part)

Tensile strength	62 MPa
Tensile modulus	2,703 MPa
Elongation at break	8.3 %
Impact strength	37 J/m
Shore hardness	86

#### 4.3 실험방법

Fig. 6은 본 실험의 실험순서를 나타낸 것으로 본 실험은 AutoCAD상에서 VisualLISP 프로그램을 이용하여 자동설계 프로그램을 만들고, 이 프로그램을 이용하여 3차원 솔리드 모델을 제작한다. 이 때 3차원 솔리드 모델의 형상간격에 영향을 주는 시스템변수인 facetres를 조절하여 외형은 같지만 면의 부드러운 정도가 다른 모델을 각각 생성한다.

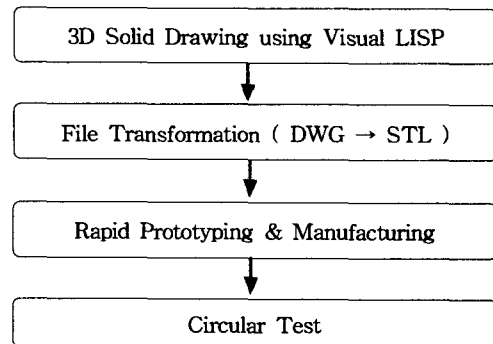


Fig. 6 Flowchart of experiment

AutoCAD상의 시스템 변수인 형상간격의 디폴트 값이 0.1이고, 최대값이 10이므로, 형상조밀도의 값을 0.1과 1부터 1씩 증가하는 값으로 설정하여 모델을 생성하였다. 따라서 11개의 모델을 가지고 실험한다. 그리고 이를 RP장비가 인식하는 STL파일로 변환하는 과정을 거친 후 RP장비에서 시제품을 급속 성형한다. 이 때 시제품이 경화되는 과정에서 뒤틀림이 발생하기 때문에 이를 방지하기 위하여 모델의 크기를 최소화하고, 원통의 내경과 외경사이의 두께를 증가시켰다.

RP장비에 의한 가공은 형상간격이 제품의 진원도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 원통형상으로 가공하며, 초기에 진원이 형성되지 않기 때문에 Fig. 7에서와 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.

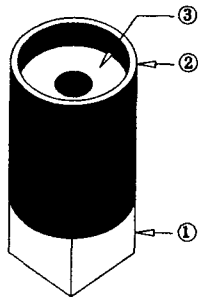


Fig. 7 Workpiece in RP system

## 5. 실험결과 및 고찰

### 5.1 ADS와 RP시스템

ADS를 구현하는 프로그램을 AutoCAD상의 프로그래밍 언어인 VisualLISP을 사용하여 작성한 결과 제품의 모델링에 소요되는 시간을 대폭 줄일 수 있었다. 실제로 3D 모델을 생성하기 위해 인재를 교육하는데 소요되는 시간과 경비는 상당하다. 이를 유저가 쉽게 몇 개의 요소만을 입력하여 설계할 수 있는 ADS를 구현함으로써 최소화하고, RP시스템에서 피드백 되는 정보를 다시 입력창에 대입함으로써 설

계와 시제품 제작간의 간극을 최소화하였다.

다음은 자동설계 프로그램의 한 예로써 플랜지 커플링을 구현하는 VisualLISP 프로그램을 나타내었다.

#### 5.1.1 플랜지 커플링 소스코드

```
(defun c:fcoupling()
  (setq dcl_id (load_dialog "c:/vlisp/fcoupling01.dcl"))
  (if (not (new_dialog "fcoupling01" dcl_id))(exit))
  (setq key_name "fcoupling01")
  (start_image key_name)
  (setq sld_name "c:/vlisp/fcoupling01.sld")
  (slide_image 0 0 (dimx_tile key_name)
    (dimy_tile key_name) sld_name)
  (end_image)
```

(setq key01 "10") ; 플랜지 커플링 두께

#### 5.1.2 플랜지 커플링 DCL 소스코드

```
fcoupling01 :dialog( label = "플랜지 커플링";
  :boxed_column( image( key="fcoupling01";
  height = 14; aspect_ratio = 1; color = 0;
  allow_accept = true;)
  )
  :column(
  :boxed_column (
  label = "플랜지 커플링 기본 입력값 ";
```

### 5.2 3D 솔리드 모델의 형상간격과 RP제품의 진원도

Fig. 8은 ADS를 통하여 생성된 3D 솔리드 모델을 RP에서 급속성형하여 각각의 진원도를 측정한 것이다. 각각의 그림에 작용하는 조건 변수는 AutoCAD상의 시스템 변수인 facetres이다. .

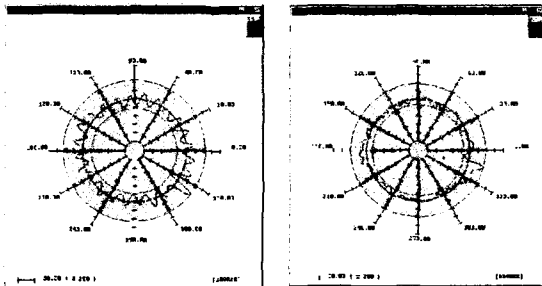
본 연구에서는 0.1, 1, 2,....., 9, 10을 적용하여 3D 모델링 및 시제품 제작을 하였다.

형상간격이 0.1일 때에는 진원도 데이터 산들의 간격이 넓고, 이는 평균 진원도가 나빠지는 원인이 된다. 형상간격이 10일 때에는 데이터 산들의 간격이 좁고, 프로파일(profile)이 그리는 산과 골간의 간격이 점진적으로 줄어들어 진원도가 작아지는 것을 볼 수 있다.

특히 형상간격의 값이 점진적으로 증가하면 프로파일(profile)이 그리는 원이 점점 타원화 되어 가는 경향을 읽을 수 있는데 이는 RP 시스템의 디바이드(divide) 능력이 가지는 한계 때문으로 판단되

어진다. 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 Pb와 Ti같은 부 재료를 혼합하여 강성을 부여하는 것과 같은 새로운 방법을 모색하여야 할것으로 판단된다.



(a) facetres=0.1 (b) facetres=10  
Fig. 8 Roundness according to facetres value

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

Fig. 9는 3D 솔리드 모델의 형상조밀도에 따른 RP 제품의 진원도를 나타낸 그림이다.

형상조밀도가 디폴트 값인 0.1부터 2까지 점점 증가함에 따라 진원도의 크기가 급격히 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 형상조밀도 값이 3이상부터는 작은 폭의 점진적 상승을 나타내는데, 기계의 디바이드 영역과 상관관계가 있을 것으로 판단되어진다.

Fig. 10은 3D 솔리드 모델의 형상조밀도에 따른 RP 제품의 평균진원도를 나타낸 그림이다. 형상조밀도 값이 2인 부분까지 평균진원도가 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 평균진원도는 얼마나 균일하게 프로파일을 형성하는가 하는 정도를 나타내기 때문에 진원도에 비해서 형상정밀도를 보다 잘 나타낼 수 있다. 하지만 평균적으로 균일하게 나타나는 프로파일이 크게 튀는 한 부분을 가지더라도 평균진원도는 좋게 나타난다.

따라서 진원도와 평균진원도를 비교-분석하여 형상정밀도를 판단하는 것이 가장 최적이라고 할 수 있다. 이에 따라 본 실험에 사용된 RP 제품의 진원도와 평균진원도를 분석하였을 때 facetres가 2인 부분이 최적 성형조건임을 알 수 있다.

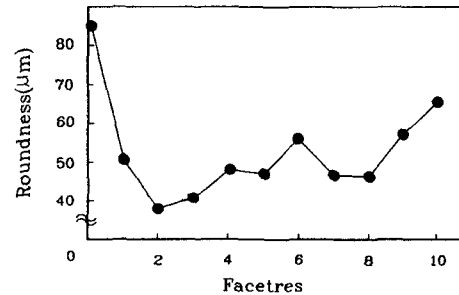


Fig. 9 Relation between facetres values and roundness

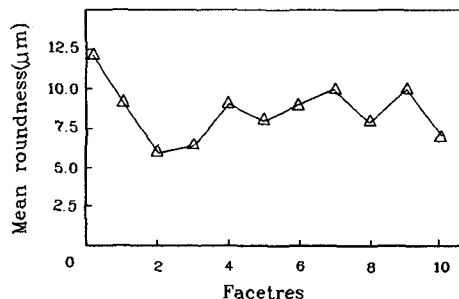


Fig. 10 Relation between facetres values and mean roundness

## 6. 결론

AutoCAD상의 VisualLISP 프로그램을 이용하여 형상간격에 관계된 시스템 변수인 facetres를 0.1과 1부터 10까지 1간격으로 주고, 3D 솔리드 모델을 생성하였다. 그리고 생성된 3D 솔리드 모

펠들을 STL 파일로 변환 후 RP 시스템으로 가공하여 시작품을 만들고, 각각의 형상간격 변화에 따른 진원도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) RP 시스템을 효과적으로 지원하기 위한 3D 모델링 기법의 하나로 ADS를 제시하였으며, 모델링 하는데 소요되는 시간 및 비용을 절감할 수 있었다.
- 2) 자동설계프로그램과 RP시스템의 결합을 통해 설계와 시제품 제작간의 피이드 백을 원활히 수행할 수 있었다.
- 3) 3D 솔리드 모델이 가지는 형상간격이 가공 기계의 형상간격에 영향을 미침을 확인하였다.
- 4) RP에서 성형된 모델의 진원도와 평균 진원도의 측정에 의해 최적 성형조건을 구할 수 있으며, 본 실험에서는 기기의 디바이드 능력을 감안할 때 형상간격이 2일 때가 최적 성형조건임을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- 1) 윤정호, 전형환, 안상훈, 조명철 3차원설계/RP/CAE/3차원 금형설계/제작정보일원화시스템 개발, 한국CAD/CAM학회논문집, 제2권, 제1호, pp. 35~43, 1997
- 2) 허정훈, 이진우, "SLA를 이용한 신속시작작업에서 최적성형방향의 결정", 한국정밀공학회지, 제13권, 제4호, pp.163~172, 1996
- 3) 강원주, 김준완, 이석희, 백인환, "쾌속 조형시스템의 제작 및 성능평가에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제16권, 제4호, pp. 19~26, 1999
- 4) Kail, C.C. and Fail, L.K., Rapid Prototyping, Principles and Application in Manufacturing. John Wiley & Sons Inc., 1997
- 5) Paul. F. Jacobs, Rapid Prototyping & Manufacturing, 1st edition, SME, 1992(A), 제20권, 제5호, pp.1582~1589, 1996