

자동설계 프로그램을 이용한 급속성형에 관한 연구

이승수*, 김민주+, 전연찬**

(논문접수일 2001. 12. 21, 심사완료일 2002. 8. 14)

A Study on the Rapid Prototyping using Automatic Design Program

Lee Seung Soo*, Kim Min Ju+, Jeon Eon Chan**

Abstract

A study is the selection of optimum forming condition for RP system. We develop the Automatic design program for machine element using visual LISP program in AutoCAD. Automatic design program reduces the required time for feedback between design and manufacturing of workpiece. Also we investigate the relationship between circularity of 3D solid model and circularity of rapid prototype using RP system, and we will find optimum forming condition in RP system.

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

1. 서론

최근 제조분야에서 제품을 직접 생산하기 전에 이의 시작품을 제작하고 그 성능을 테스트함으로써 제품 설계와 생산의 주기를 단축하는 경향을 보인다. 그러나 이러한 시작품 제작과정은 설계의 초기단계에서는 그 형상 자체가 매우 다양하고 소량이므로 비효율적이라는 문제가 있다. 특히 제품의 수명주기가 짧아짐에 따라 시작품 제작기간도 단축되어야 하는 어려움이 있으며, 이러한 문제점을 해결

할 수 있는 새로운 방법으로 RP(Rapid prototyping)가 각광받고 있다.

RP시스템은 “3차원 CAD 소프트웨어에서 디자인된 데이터를 이용하여 박막적층기법을 활용함으로써 원하는 시작품을 얻는 일련의 장비”로 정의되며, RP를 이용해 시작품을 만들기 위해서는 3차원 모델러를 통한 작업이 필요하다^(1,2,3).

하지만 3차원 모델을 만드는 작업은 고도의 전문성을 요구하기 때문에 누구나 쉽게 접근할 수 있는 방법으로서

* 주저자, 동아대학교 대학원 기계공학과 (matisses@lyeos.co.kr)
주소: 604-714 부산시 사하구 하단동 840번지, Tel: 051-200-6847
+ 동아대학교 대학원 기계공학과
++ 동아대학교 기계·산업시스템공학부

ADS(Automatic design system)가 연구되고 있다.

ADS는 일반 사용자가 몇 가지 기계요소데이터를 입력함으로써 3차원 모델을 얻을 수 있는 시스템으로 AutoCAD 상의 Visual LISP 프로그램을 이용하여 구현이 가능하다.

현재 ADS를 이용한 설계, RP를 이용한 시작품 제작 및 CAM(Computer aided manufacturing)을 이용한 가공까지의 공정이 국내외 여러 대학 및 연구소에서 시도되고 있으나,^(4,5,6) 전공정을 완벽하게 포괄하는 연구는 아직까지 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 ADS를 이용한 설계, RP를 이용한 시작품 제작 및 CAM을 이용한 가공, 그리고 CAI (Computer aided inspection)를 통합하는 것을 최종목표로 한다. 그 첫 단계로서 ADS를 구현할 수 있는 기계요소 자동설계프로그램을 개발하여 설계에서 시작품 제작간의 피드백(feedback)에 소요되는 시간을 최소화하고자 한다. 그리고 기계요소 자동설계프로그램에 의해 생성되는 3차원 솔리드 모델(Solid model)을 RP에서 사용되는 STL파일로 변환하여 쾌속 시작품을 제작하였을 때 AutoCAD상에서 구현되는 모델의 진원도를 결정하는 시스템 변수인 형상간격함수(facetres)가 시작품의 진원도에 미치는 영향에 대하여 연구하고자 한다. 이를 통해 RP장비에서의 최적 성형조건을 찾아내는 것을 목적으로 한다.

2. 자동설계 프로그램 개발 및 형상간격함수

기계요소를 설계하는데 있어서 사용자의 입력값에 따라 자동적으로 3차원 모델링하는 프로그램을 개발하기 위하여 본 연구에서는 AutoCAD상의 개발 프로그램인 Visual LISP을 사용하였다. 그리고 기계요소자동설계프로그램을 개발하기 위해 Fig. 1과 같은 순서로 작업을 진행하였다.

먼저 자동설계할 대상물체를 선정한다. 그리고 ISO, JIS 및 KS등을 참조하여 대상물체의 규격을 결정한다.

다음으로 입력창(DCL)을 구성하는 프로그램을 작성한다. 이 때 입력창의 상단에 대상물체를 슬라이드 파일로 만들어 생성될 요소의 형태를 사용자에게 미리 보여준다. 그리고 입력창을 주 프로그램에 링크시키고, 생성될 요소의 모델링 방법을 결정한 후 이를 프로그래밍한다. 자동설계프로그램에서 가장 중요한 부분이 이 모델링 방법의 결정으로 새로운 모델을 생성시킴에 있어서 항상 새로운 수학적·기하학적 알고리즘을 적용하여야 하며, 프로그래머의 경험치가 상당히 중요하다.

이와 같은 전반적인 과정을 확인하고, 입력창에 치수 및 모델의 규격을 입력한 후 모델이 생성되는 과정 전체를 확인함으로써 기계요소자동설계프로그램을 완성한다.

기계요소 자동설계프로그램의 개발과정을 2D 형상의 키 홈(Key way)과 축(shaft) 구멍을 설계하는 경우를 예를 들어 기술하고자 한다.

먼저 대상물체 선정 후 입력요소를 결정한다. 키 홈과 축 구멍을 설계하는데 있어 입력요소는 키의 폭과 높이, 그리고 축 경이다. 이를 모델링하기 위해서는 요소 각 부분의 정확한 좌표값이 필요하다. 입력요소만을 가지고 요소 각 부분의 좌표값을 산정하기 위해서는 수학적 개념인 사인과 코사인으로 변환하여 초기에 어떠한 값이 입력되더라도 연동하여 그 크기 및 기하학적 좌표값이 변화할 수 있도록 하는 수식을 정립하여야 한다.

입력요소의 수학적 변환을 Fig. 2에 나타내었다. 중심점을 (0, 0)으로 하였을 때 식 (1)은 그림상의 P₁점의 Y축 좌표를 구하는 식이며, X축 좌표는 w/2이다. 식 (2)는 θ값을 구하는 데 사용된다. 따라서 P₁점의 좌표는 (Rsinθ, Rcosθ)이다.

$$\cos \theta = \frac{X}{R} \Leftrightarrow X = R \cos \theta \quad (1)$$

$$\sin \theta = \frac{w}{2R} \Leftrightarrow \frac{w}{2} = R \sin \theta \quad (2)$$

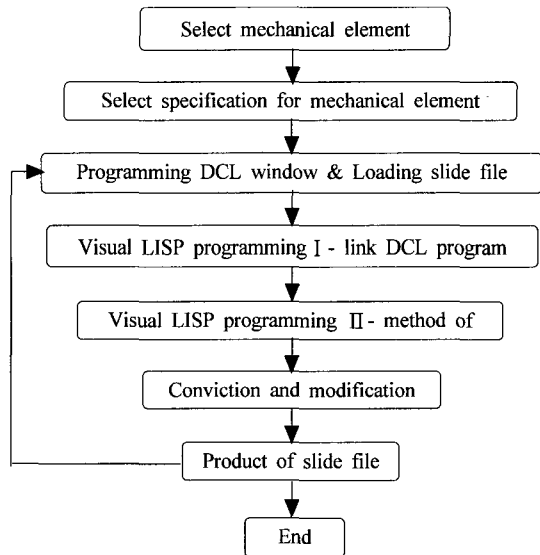


Fig. 1 Flowchart for automatic design program

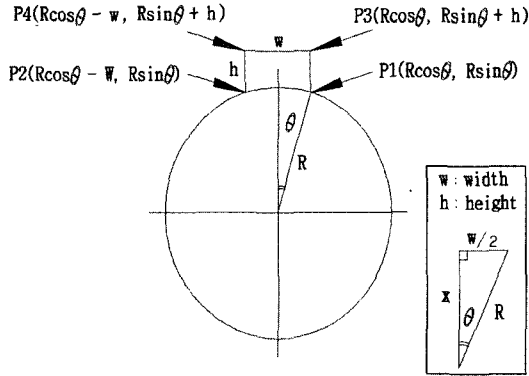


Fig. 2 Mathematical transformation of positional coordinate

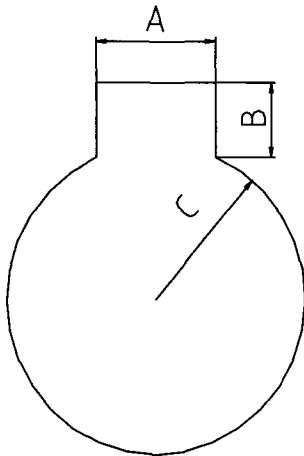


Fig. 3 Slide file

P_2 , P_3 및 P_4 점의 좌표는 P_1 점을 기준으로 높이 값 h 와 폭 값 w 를 가감하여 구할 수 있다.

다음으로 대화 입력창인 DCL프로그램을 작성한다. 이때, 사용자에게 실제 대상물의 입력위치를 알려주는 슬라이드 파일을 생성하여 DCL프로그램에 링크시킨다. Fig. 3에 키 홈과 축 구멍의 슬라이드 파일을 나타내었다. A는 키 홈의 폭, B는 키 홈의 높이, 그리고 C는 축 구멍의 반경이다.

Fig. 4에 대화입력창을 설계하는 DCL프로그램을 나타내었으며, 이를 AutoCAD상에서 실행시킨 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 6은 메인 프로그램을 나타낸 것으로 Fig. 2의 방법을 통해 획득된 네 점들의 기하학적 좌표를 이용하여 모델

```

Keyhome : dialog ( label = "keyhome drawing" ;
:boxed_column {
:image (key="ibutt1"; height = 10; aspect_ratio = 1.65;
color = 0; allow_accept = true;}
:row{
:column(label = "keyhome";
:edit_box (label = "A 키의 폭"; key = "va"; edit_width = 10;)
:edit_box (label = "B 키의 높이"; key = "vb"; edit_width = 10;)
:edit_box (label = "C 키 홈의 반경"; key = "vc"; edit_width =10;)
:text(label = ""; key = ""; height = 0.5;)
)
}
}
ok_cancel:
)
    
```

Fig. 4 DCL program for key way and shaft hole

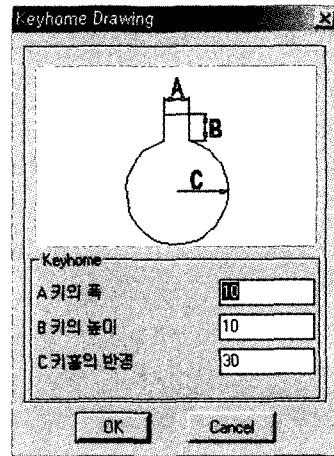


Fig. 5 Dialog box of key way and shaft hole using visual LISP

링하는 기법을 포함하고 있다. 그리고 Fig. 7은 입력창에 치수를 기입하고, 실행한 결과화면이다. 이 모든 과정이 AutoCAD를 실행한 상태에서 수행된다.

AutoCAD상의 Visual LISP 프로그램을 이용하여 상기와 같은 방법을 적용하여 플랜지커플링 자동설계프로그램을 개발하였다.

Fig. 8은 플랜지커플링 자동설계프로그램의 입력창을 나타내고 있다. 그리고 사용자가 입력창에 치수를 입력하여 실행한 결과인 3차원 물체를 Fig. 9에 나타내었다.

AutoCAD상의 시스템변수인 형상간격합수를 조정함으로써 설계된 3차원 모델의 진원도를 조정할 수 있는데, 이 시스템변수의 기본값은 0.1이고 최대 10까지 지정할 수 있

```

(defun c:key()
  (setvar "cmdecho" 0)
  (if (/= (keyhome_dcl) 0) (keyhome_dwg) )
  (princ)
  )

(defun c:keyhome()
  (setq dcl_id (load_dialog "d:/vlisp/dcl/keyhome.dcl"))
  (if (not (new_dialog "keyhome" dcl_id)) (exit))

  (setvar "osmode" 0)

  (setq key_name "ibutt1")
  (start_image key_name)
  (setq sld_name "d:/vlisp/sld/keyhome.sld")
  (slide_image 0 0 (dimx_tile key_name) (dimy_tile key_name)
  sld_name)
  (end_image)

  (setq va "10" vb "10" vc "30")
  (set_tile "va" va)
  (set_tile "vb" vb)
  (set_tile "vc" vc)
  (mode_tile "va" 2)
  (action_tile "va" "(setq va $value)")
  (action_tile "vb" "(setq vb $value)")
  (action_tile "vc" "(setq vc $value)")

  (setq init (start_dialog))
  (if (= init 1) (ok_func) (prompt "\n Cancel"))
  )
  
```

Fig. 6 Automatic design program for Key way and shaft hole

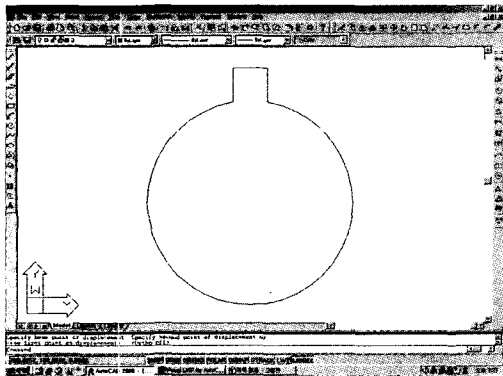


Fig. 7 Key way and shaft hole model using Automatic design program

다. 형상간격함수값이 0.1에서 점진적으로 증가할수록 부드러운 면을 가진 형상을 얻을 수 있다. 형상간격함수는 모델의 진원도에 영향을 미치는 시스템

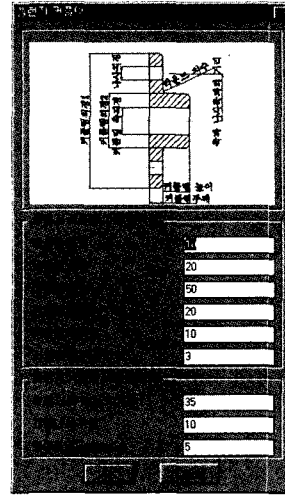
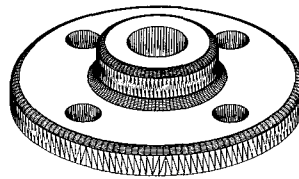
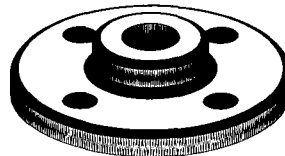


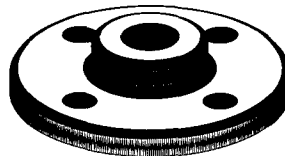
Fig. 8 Flange coupling program using VisualLISP



(a) facetres=1



(b) facetres=5



(c) facetres=10

Fig. 9 Solid models of flange coupling according to different facetres

변수이다. 이는 디스플레이 화면이 무한히 많은 격자들로 구성되어 있기 때문에 이 미소격자들 사이를 계단형으로 진

행함으로써 원을 나타내며, 이 간격을 최소한으로 줄이게 되면 좀더 원에 근접한 형상을 얻을 수 있다는데 기인한다. 따라서 형상간격함수값이 증가할수록 모델의 진원도가 향상된다. Fig. 9의 (a)는 1, (b)는 5, 그리고 (c)는 10의 형상간격함수값을 주어 자동설계한 것이다.

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 시작품의 요구성능에 따라 RP기법을 선정하여 사용하고 있는 추세이다.

본 실험에서는 경화성 수지에 레이저 광선을 주사하여 레이저 광선이 닿는 부분이 액체상태에서 고체상태로 경화되는 원리를 이용한 SLA를 사용하였다.

Fig. 10은 SLA의 공정을 나타낸 것으로 액체상태의 경화성 수지(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.

SLA법은 한 층을 점 대 점(Point by point)방식으로 선택적으로 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 지지대가 필요하다.

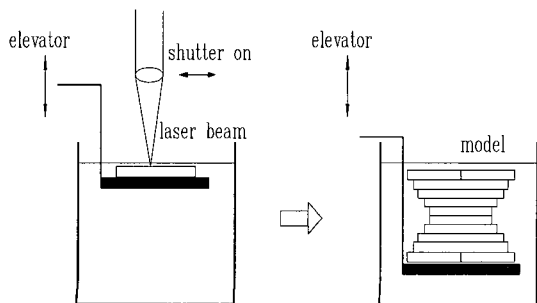


Fig. 10 Process of SLA

4. 실험장치 및 실험방법

4.1 실험장치

본 실험에 사용된 시작품 제작기체인 SLA-250/50 시스템(3D systems사)을 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 12는 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 공기 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.

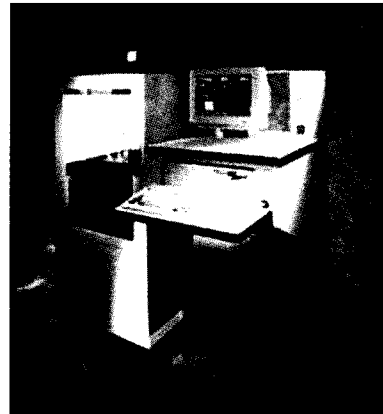


Fig. 11 Photography of RP system

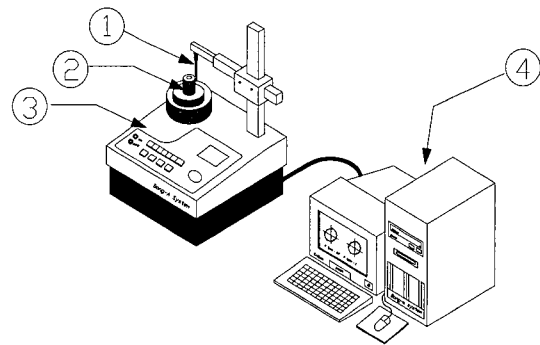


Fig. 12 Schematic diagram of circular test

Table 1 Specifications of circular tester

Items	Unit
Maximum diameter of measurement	280mm
Maximum load of measurement	20kg
Measuring range	± 1,000 μm
Spindle revolution	6rpm
Air pressure	390 kPa(4 kgf/cm ²)

4.2 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

4.3 실험방법

Fig. 13은 본 실험의 실험순서를 나타낸 것으로 본 실험은 AutoCAD상에서 Visual LISP 프로그램을 이용하여 자동설계프로그램을 개발하고, 이를 이용하여 3차원 솔리드 모델을 제작한다. 이 때 3차원 솔리드 모델의 진원도에 영향을 주는 시스템변수인 형상간격함수값을 조절하여 외형은 같지만 진원도가 다른 모델을 각각 생성한다.

AutoCAD상의 시스템 변수 형상간격함수값의 기본 값이 0.1이고, 최대 값이 10이다. 따라서 이를 0.1과 1부터 1씩 증가하는 값으로 설정하여 모델을 생성하였다. 따라서 11

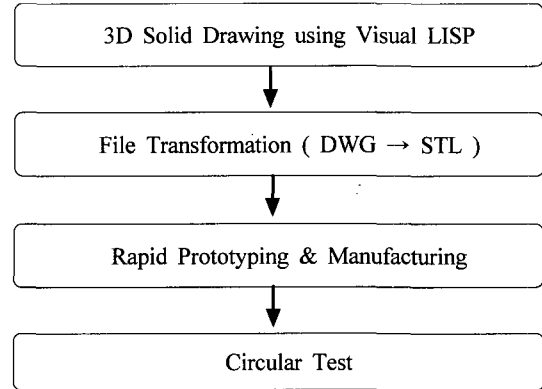


Fig. 13 Flowchart of experiment

개의 모델을 가지고 실험한다.

그리고 이를 RP장비가 인식하는 STL파일로 변환하는 과정을 거친 후 RP장비에서 시작품을 급속 성형한다. 이 때 시작품이 경화되는 과정에서 뒤틀이나 굽힘이 발생하기 때문에 이를 방지하기 위하여 모델의 크기를 최소화하고, 원통의 내경과 외경사이의 두께를 증가시켰다.

RP장비에 의한 가공은 형상간격함수값의 차이에 따른 CAD모델의 진원도가 제품의 진원도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 원통형상으로 가공한다.

그리고 초기에 진원이 형성되지 않기 때문에 Fig. 14에서와 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.

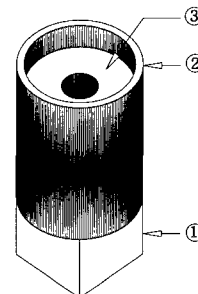


Fig. 14 Workpiece in RP system

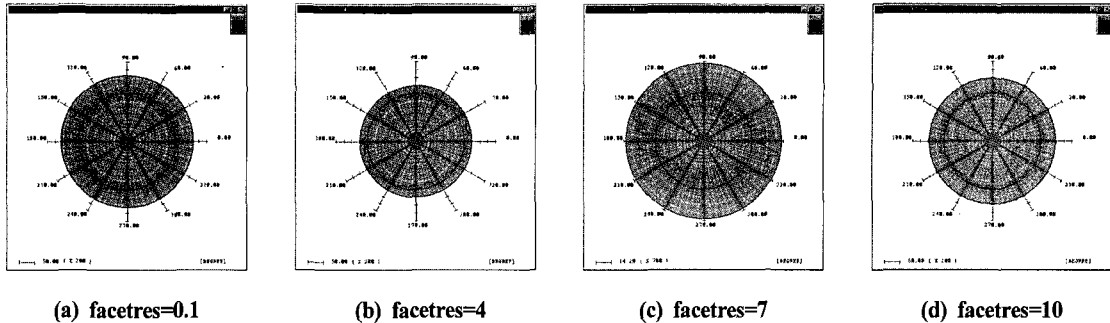


Fig. 15 Roundness according to facetres value

5. 실험결과 및 고찰

Fig. 15는 형상간격합수값을 달리하면서 자동설계프로그램을 이용하여 3차원 솔리드 모델들을 생성하고, 이를 STL 파일포맷으로 RP시스템에 공급하여 시작품을 급속성형한 다음 각각의 진원도를 측정된 것이다.

형상간격합수값이 0.1일 때에는 진원도 데이터 산들의 간격이 넓다. 이는 평균 진원도가 나빠지는 원인이 되며, 이때의 진원도 값은 약 82 μ m이다.

형상간격합수값이 10일 때에는 데이터 산들의 간격이 좁고, 프로파일(profile)이 그리는 산과 골간의 간격이 점진적으로 줄어들어 진원도가 작아지는 것을 볼 수 있으며, 이때의 진원도 값은 66 μ m이다.

특히 형상간격합수값이 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 원리인 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.

RP 시스템의 최적 성형조건을 진원도와 평균 진원도를

비교 분석하여 구할 수 있다. Fig. 16과 Fig. 17에 진원도와 평균 진원도값을 각각 나타내었다.

Fig. 16은 3차원 솔리드 모델의 형상간격에 따른 RP 제품의 진원도를 나타낸 그림이다.

형상간격합수값이 0.1부터 2까지 점점 증가함에 따라 진원도 값의 크기가 급격히 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 형상간격합수값이 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. 형상간격합수값이 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 프로파일이 크게 튀는 한 부분을 가지더라도 평균 진원도는 좋게 나타난다.

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

이에 따라 본 실험에 사용된 RP 제품의 진원도와 평균 진원도를 분석하였을 때 형상간격합수값이 2일 때 RP시스템에서 급속성형된 모델의 진원도와 평균진원도 값이 가장 낮고, 형상이 진원에 가깝다는 것을 알 수 있다. 따라서 CAD 시스템에서 모델링을 수행함에 있어서 형상간격합수값을 2로 하는 것이 시작품의 진원도를 향상시키는 최적성형조건임을 알 수 있다.

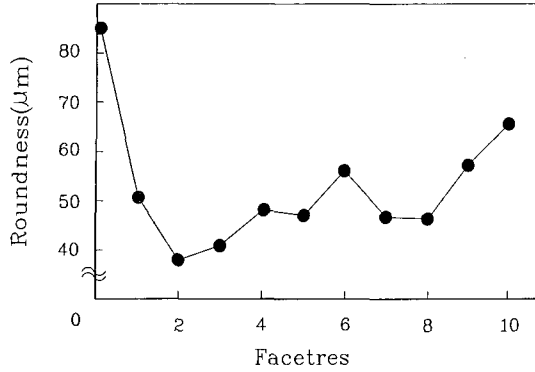


Fig. 16 Relation between facetres values and roundness

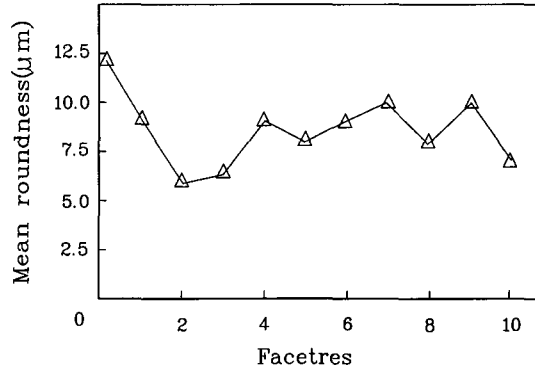


Fig. 17 Relation between facetres values and mean roundness

6. 결론

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

- (1) RP시스템을 효과적으로 지원하기 위한 3D 모델링 기법의 하나로 ADS를 제시하였으며, 이를 통해 모델링 시간을 절감할 수 있었다.
- (2) 자동설계프로그램과 RP시스템의 결합을 통해 설계와 시작품 제작간의 피드백을 원활히 수행할 수 있었다.
- (3) 3차원 솔리드 모델이 가지는 진원도가 RP제품의 진원도에 일정부분 영향을 미침을 확인하였다.
- (4) 진원도와 평균 진원도의 측정-비교를 통해 최적 성형조건을 구할 수 있었으며, RP시스템의 성형성능을 감안할 때 형상간격합수값이 2일 때가 최적성형조건임을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) 윤정호, 전형환, 안상훈, 조명철 3차원설계/RP/CAE/3차원금형설계/제작정보일원화시스템 개발, 한국CAD/CAM학회논문집, Vol. 2, No. 1, pp. 35~43, 1997.
- (2) 허정훈, 이진우, "SLA를 이용한 신속시작작업에서 최적성형방향의 결정", 한국정밀공학회지, Vol. 13, No. 4, pp. 163~172, 1996.
- (3) 홍민성, 신근하, 손승요, "교차다각형법에 의한 원 근사 방법을 적용한 RP Part 제작에 관한 연구", 한국공작기계학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 68~74, 2000.
- (4) 강원주, 김준완, 이석희, 백인환, "패속 조형시스템의 제작 및 성능평가에 관한 연구", 한국정밀공학지, 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.