

RP를 이용한 미세기어 하우징 성형에 관한 연구

이승수[†] · 김민주^{**} · 박정보^{*} · 전언찬^{**}
(2003년 4월 8일 접수, 2003년 8월 7일 심사완료)

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

Lee Seung Soo, Kim Min Ju, Park Jeung Bo and Jeon Eon Chan

Key Words: Fine Gear Housing(미세기어 하우징), RP(Rapid Prototyping : 급속성형), Facetres
(형상간격함수), Shape Accuracy(형상정밀도)

Abstract

This paper describes the forming of fine gear housing using RP system. In order to apply 3D model formed through CAD software to RP system, it is necessary of transforming 3D model into STL file format. Besides, when the same shape is formed repetitively, we must solve the program that the shape accuracy of prototype is irregular. Therefore, we will make an experiment on influence of 3D model, file transformation and prototype on facetres, AutoCAD system value. On the basis of experimental result, we will develop an automatic file transformation program for RP. In the final process, we will manufacture on a better prototype according to the experiment result of fine gear housing.

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.⁽¹⁾ 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 많이 이용되고 있다.⁽²⁾

RP시스템은 '3차원 CAD 프로그램에서 디자인된 데이터를 이용하여 박막적층기법을 활용함으로써 원하는 시작품을 얻는 일련의 장비로 정의된다.'⁽³⁾ RP를 이용해 시작품을 만들기 위해서는 3차원 설계 프로그램을 통한 모델링 작업과 RP 장비에서 사용되는 파일 포맷으로의 전환이 필요하다.⁽⁴⁾ 또한 3차원 모델을 RP 장비를 지원하는 STL 파일로 변환하고, 동일형상을 반복 성형하였을 때 시작품의 형상정밀도가 동일하게 나오지 않는 문제를 가지고 있다.^(5,6)

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

2. RP 기법

널리 사용되고 있는 RP기법으로는 SLA(Stereo lithography apparatus), FDM(Fused deposition modeling), 그리고 SLS(Selective laser sintering) 및

[†] 책임저자, 회원, 동아대학교 기계공학과
E-mail : matisses@lycos.com
TEL : (051)200-6992 FAX : (051)200-7656
^{*} 삼척대학교 기계공학과
^{**} 동아대학교 기계·산업시스템공학부

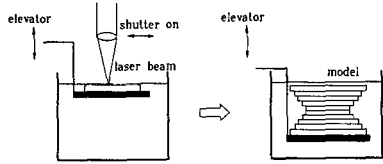


Fig. 1 Schematic diagram of SLA process



Fig. 2 Photography of RP system

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(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.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

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

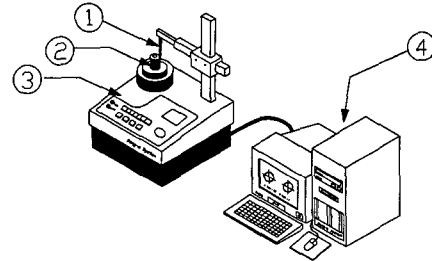


Fig. 3 Components of circular tester

Table 1 Specifications of circular tester

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 ²)

Fig. 3은 설계프로그램에서 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 tester : 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.

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 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

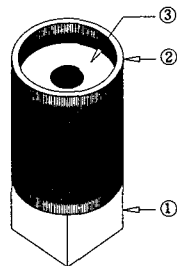


Fig. 4 Workpiece in RP system

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

3.3 실험방법

본 연구에서는 산업현장에서 널리 사용되는 설계프로그램인 AutoCAD를 이용하여 3차원 모델을 생성하고, 이를 RP 장비에 이용되는 STL 파일로 변환한다. 이 때 AutoCAD의 형상간격합수값인 facetres값이 변환된 STL파일의 정밀도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 형상간격합수값을 0.1부터 10까지 달리한 11개의 3차원 모델을 생성하고, STL file viewer를 통하여 확인하고자 한다. 그리고 형상간격합수값이 실제 모델에도 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 변환된 STL파일을 RP 장비에 전송하여 11개의 모델을 성형하고, 그 진원도를 JIS B 6201의 진원도 시험사항 및 측정 방법에 따라 테스트한다.

RP장비에 의한 가공은 형상간격합수값의 차이에 따른 CAD모델의 진원도가 제품의 진원도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 원통형상으로 가공하며, 초기에 진원이 형성되지 않기 때문에 Fig. 4에서와 같이 지지부를 동반하여 성형한 후 지지대를 제거한다. 성형순서는 약 8mm의 지지대(①)를 먼저 생성하고 회전하면서 테두리(②)를 적층하고, 아래에서 위쪽으로 성형한다. 그리고 성형시 시작품이 경화되는 과정에서 힘이나 굽힘

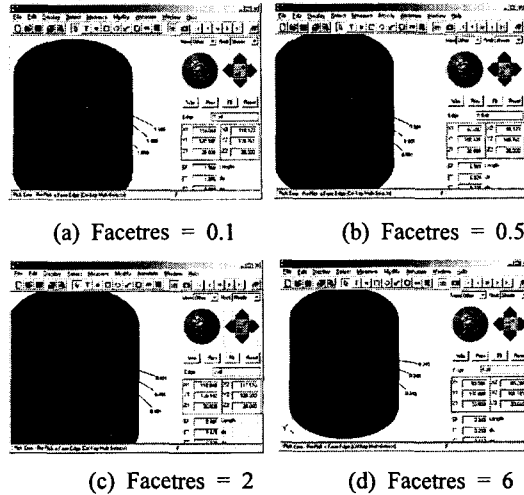


Fig. 5 Shape of STL file for facetres value

이 발생하기 때문에 이를 방지하기 위하여 모델의 크기를 최소화하고, 원통의 내경과 외경사이의 두께를 증가시키는 방법을 사용한다.

다음으로 형상간격합수값과 STL file의 영향 및 실제 시작품의 영향을 파악한 후 형상간격합수값의 변환과 파일변환을 동시에 수행할 수 있는 파일 자동변환프로그램을 개발하며, 이를 통해 복잡한 모델에의 적용을 기어하우징 시작품 제작을 통해 확인하고자 한다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 파일변환시 형상간격합수값과 모델의 정밀도

AutoCAD 프로그램을 이용하여 3차원 모델을 생성할 경우 시스템변수인 형상간격합수(facetres) 값에 따라 모델의 정밀도가 결정된다. RP 장비에 사용되는 파일양식인 STL 파일로 변환할 경우 형상간격합수 값의 영향을 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에 사용된 3차원 모델은 외부 직경이 20 mm, 내부 직경이 10 mm인 중공축이고, 길이가 20 mm인 3D 요소이다. 형상간격합수 값이 증가할수록 3차원 모델의 정밀도가 증가하는 것과 같이 이를 파일변환한 경우도 동일한 현상을 나타냄을 확인할 수 있다. 그리고 형상간격합수에 따른 선분의 수와 선분의 길이를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 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

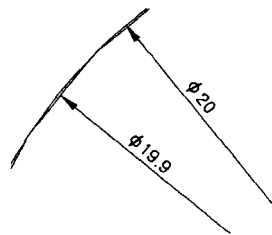


Fig. 6 Real circle and shape of STL at facetres value 0.1

Fig. 6은 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 경우 형상간격함수값이 형상 정밀도에 영향을 미침을 확인할 수 있다.

4.2 형상간격함수값과 RP 시작품의 정밀도

Fig. 7은 형상간격 함수값을 달리하면서 자동설계프로그램을 이용하여 3차원 솔리드 모델들을 생성하고, 이를 STL 파일포맷으로 RP시스템에 공급한 후 시작품을 급속성형한 다음 각각의 진원도를 측정한 것이다.

형상간격함수값이 0.1일 때에는 진원도 데이터 산들의 간격이 넓다. 이는 평균 진원도가 나빠지는 원인이 되며, 이 때의 진원도 값은 약 82 μm이다. 그리고 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 μm이다. 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 조밀하더라

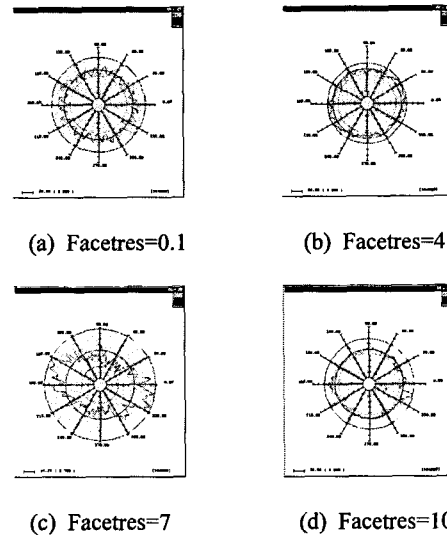


Fig. 7 Roundness according to facetres value

도, 기계에서 소화할 수 있는 한계치를 벗어나면 아무 의미가 없음을 나타낸다. 그리고 프로파일의 찌그러짐은 RP장비인 SLA 시스템에서 급속성형의 원료인 광경화성 수지가 강성이 없고, 경화 과정에서 휨이나 비틀림이 발생하였기 때문으로 판단되어진다. RP 시스템의 최적 성형조건을 진원도와 평균 진원도를 비교 분석하여 구할 수 있다. Fig. 8과 Fig. 9에 진원도와 평균 진원도값을 각각 나타내었다.

Fig. 8은 형상간격함수값의 변화에 따른 RP 제품의 진원도를 나타낸 그림이다. 형상간격함수값이 0.1부터 2까지 점점 증가함에 따라 진원도 값의 크기가 급격히 작아지는 것을 확인할 수 있다. 형상간격함수값이 3이상부터는 작은 폭의 점진적 상승을 나타내는데, 기계의 성형능력과 상관관계가 있을 것으로 판단되어진다. Fig. 9는 형상간격함수값의 변화에 따른 RP제품의 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 프로

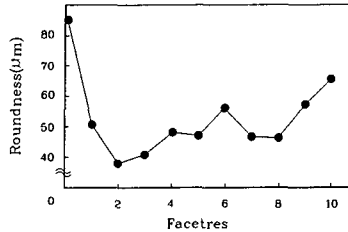


Fig. 8 Relation between facetres values and roundness

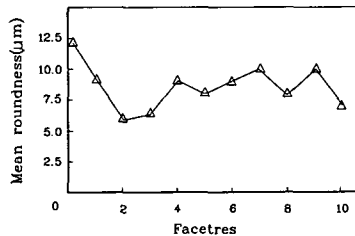


Fig. 9 Relation between facetres values and mean roundness

파일이 크게 되는 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 형상간격 함수 값이 2일 때 RP시스템에서 급속성형된 모델의 진원도와 평균진원도 값이 가장 낮고, 형상이 진원에 가깝다는 것을 알 수 있다. 따라서 CAD시스템에서 모델링을 수행함에 있어서 형상간격 함수 값을 2로 하는 것이 시작품의 진원도를 향상시키는 최적성형조건임을 알 수 있다.

4.3 파일 자동변환 프로그램

본 연구에서는 우선 AutoCAD 프로그램을 통해 생성된 파일을 RP 가공용 파일인 STL 파일로 손쉽게 변화시키기 위해서 프로그램을 개발하였으며, 이는 AutoCAD상에서 구현되도록 하였다.

Fig. 10에 그 대화상자를 나타내었다. AutoCAD 상에서 생성되는 3D 요소의 경우 생성 좌표에 음의 좌표가 포함되어져 있거나 분리된 복합체의 경우는 STL 파일로 변화되지 않는다. 그래서 호

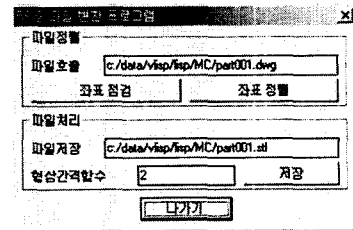


Fig. 10 Dialog box of conversion program for RP file using Visual LISP

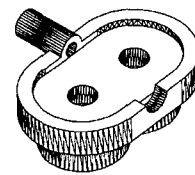


Fig. 11 Shape of gear pump housing

출된 3D 요소의 좌표를 정렬해서 음의 좌표를 제거해 주어야 한다. 그리고 상기한 데이터를 기준으로 본 연구에서 개발한 RP용 파일 변환프로그램에서 형상간격함수 값의 기본설정을 2로 하였으며, 사용자가 임의대로 변경할 수 있도록 하였다.

4.4 기어펌프 하우징 시작품 제작

AutoCAD상에서 3차원 모델을 생성하고, 파일 자동변환 프로그램에서 이를 변환한 후 RP 시스템을 사용한 극소형 기계부품의 시작품을 제작하였다. Fig. 11은 기어펌프 하우징의 3차원 모델을 나타낸 것으로 하우징 길이는 6.8 mm이다.

Fig. 12는 파일 자동변환프로그램을 통해 STL 파일로 변환시켜 RP로 시작품을 제작한 형상을 나타내고 있다. 이 때 형상간격 함수 값을 변화시키면서 파일변환을 시도하였다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 형상간격함수 값의 변화에 따라 RP 시작품의 형상에 미치는 영향이 큼을 알 수 있으며, 최적성형조건인 형상간격함수 값 2일 때 CAD 상에서 구현한 모양과 거의 일치함을 알 수 있다. 그리고 최적 조건에서 생성된 RP 시작품 역시 후처리 공정이 필요하다고 판단된다. Fig. 12의 (a)와 (c)에서 보이는 결과는 RP가 시작품을 만들 때 외부형상을 성형한 후 내부를 충전하는 과정 중 경화전에 액체상태로 이탈해서 발생한 것으로 판단된다.



(a) Facetres value = 0.1



(b) Facetres value = 2



(c) Facetres value = 5

Fig. 12 Shapes of RP products

5. 결 론

3차원 솔리드 모델의 진원도를 결정하는 시스템 변수인 형상간격함수값을 변화시키면서 RP 장비에 사용되는 STL 파일변환과 시작품 제작 및 측정을 통해 최적성형조건을 산출하고, 이를 토대로 파일자동변환프로그램 개발하여 복잡한 모델의 RP 시작품 제작에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) RP에 이용되는 STL 파일의 정밀도는 모델링시 사용되는 형상간격함수값의 영향을 받음을 확인하였다.

(2) 형상간격함수값을 달리한 시작품의 진원도

와 평균 진원도의 측정-비교를 통하여 최적성형조건을 선정하였으며, RP시스템의 성형성능을 감안할 때 형상간격함수값이 2일 때 시작품의 형상정밀도가 가장 높음을 알 수 있다.

(3) 실험을 통해 얻어진 데이터를 토대로 RP용 파일 자동변환프로그램을 개발하였다. 이를 통해 사용자가 시작품 성형시 정밀한 모델을 쉽고 빠르게 얻을 수 있다.

(4) 복잡한 형상의 RP 시작품 제작시 파일 자동변환프로그램을 사용함으로써 모델과 시작품의 일치율을 실현하였고, 미세기어펌프 제작의 토대를 마련하였다.

참고문헌

- (1) Jeong-Ho Yoon, Hyung-Hwan Jeon, Sang-Hoon An, Myung-Cheol Joe, 1997, "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.
- (2) Jung-hoon Hur, Kun-woo Lee, 1996, "Determination of Optimal Build-up Direction for Stereolithographic Rapid Prototyping," *Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 163~172.
- (3) Min-sung Hong, Keun-ha Shin, Seung-yo Son, 2000, "A Study on the RP Part Production Using Intersecting Circle Approximation Method," *Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 1, pp. 68~74.
- (4) Won-Joo Kang, Jun-An Kim, Seok-Hee Lee, In-Hwan Paik, 1999, "A Study on the Manufacture and the Performance Evaluation of Stereolithography System," *Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 16, No. 4, pp. 19~26.
- (5) Kail, C.C. and Fail, L.K., 1997, "Rapid Prototyping, Principles and Application in Manufacturing," John Wiley & Sons Inc.
- (6) Paul, F. Jacobs, 1996, "Rapid Prototyping & Manufacturing," 1st edition, SME, 1992(A), Vol. 20, No. 5, pp. 1582~1589.