

## 새로운 원 근사방법을 적용한 RP Part 제작에 관한 연구

홍민성\*, 신근하\*, 박시준\*\*, 최상련\*\*\*, 오철호\*\*\*

### A Study on RP Part Production Using New Circle Approximation Method

Minsung Hong\*, Keunha Shin\*, Sijun Park\*\*, Sangryun Choi\*\*\*, Cheolho Oh\*\*\*

\* 아주대학교 공과대학 기계 및 산업공학부

\*\* 아주대학교 공과대학 기계공학과 대학원

\*\*\* (주)삼성전기 금형개발실

#### Abstract

The STL file format is an approximation of 3-D model with triangular facets. STL is a standard input file format of Rapid Prototyping(RP) equipment. In computer graphics, a circle has been approximated with an inscribed polygon, which causes an error between the real and approximated circles.

In this study, an intersecting polygon has been used to approximate the circle and applied to produce more accurate RP part. The newly proposed method shows its excellence in part accuracy.

**Keywords** : STL (Stereolithography), Rapid prototyping (쾌속조형), Inscribed polygon (내접다각형), Intersecting polygon (교차다각형), Part accuracy (형상정밀도)

#### 1. 서론

최근 시장의 경쟁력을 높이고 고품질의 신제품을 더욱 빠른 시간에 개발하기 위해 쾌속조형 기술이 많이 사용되고 있다. STL 파일형식은 RP 장비의 표준 입력 파일형식으로써, 1987년 최초의 RP 장비인 Stereolithography Apparatus(SLA) 방

식을 지원하기 위해서 생겨났다. STL 파일은 3차원의 닫혀진 surface 모델을 삼각형의 작은 면으로 근사화 시킨 것으로, 삼각형의 세 꼭지점의 좌표와 삼각형을 이루는 면의 법선벡터로 구성되어 있다.<sup>1)</sup> CAD 모델로부터 STL 파일로 변환중에 꼭지점의 중복, 면의 누락이나 중복, 예각 삼각형을 포함하는 등의 많은 오류를 포함하고 있지만, 아직까지 현장에서 많이 사용되고 있는 것이 사실이다. 또한 AutoCAD, Pro/ENGINEER, CATIA, I-DEAS 등과 같은 많은 상용 CAD 소프트웨어들이 STL 파일 출력을 위한 변환기를 지원하고 있다.

지금까지 컴퓨터 그래픽 상에서 원이 표현될 경우에는 원의 호에 내접하는 다각형으로 근사되어졌다. 그러므로 내접된 다각형과 실제 원과는 오차가 발생하게 된다.<sup>2)</sup>

본 논문에서는 원의 호를 교차하는 다각형으로 원을 근사하는 방법을 사용하여 이것을 STL 파일형식의 원에 적용함으로써 보다 정확한 RP 파트의 제작을 도모하였다.

우선 시뮬레이션을 통해 기존의 방법과 새롭게 제시된 방법으로 원을 근사하고, 3차원 CAD 소프트웨어인 Pro/ENGINEER를 사용하여 각각의 방법으로 원형상의 파트를 모델링 하였다. 또한 이로부터 STL 파일을 출력하고, RP 장비에 입력하여 실제 파트를 제작한 후, 이를 3차원 측정기를 통하여 얻은 데이터로부터 새로운 방법의 효용성을 규명하였다.

## 2. 새로운 원 근사방법

컴퓨터 그래픽 상에서 원이 근사될 경우 지금까지는 내접다각형(*inscribed polygon*)법을 사용해 왔다. 본 논문에서 사용되는 새로운 방법은 교차다각형(*intersecting polygon*)법으로써, Fig. 1에 두 방법의 차이를 나타내었다.

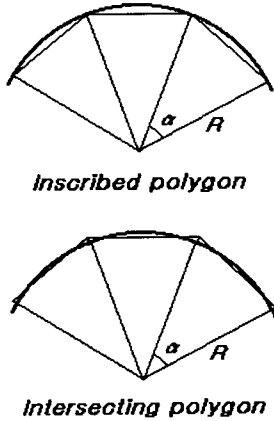


Fig. 1 Traditional and new circle approximation method

기존방법에서의 최대오차는 원호와 그것에 내접하는 다각형의 변과의 최대수직거리(*Chord Height*)이며, 새로운 방법에서의 최대오차는 원호를 교차한 다각형의 꼭지점과 원호와의 수직거리가 된다.

원과 다각형의 교차된 면적이 최소가 되게 하는 생각으로부터, 새로운 방법에서의 원호를 교차한 다각형의 꼭지점과 원호와의 수직거리  $x$ 는 다음과 같이 구해진다.<sup>3)</sup>

$$x = \left( \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{1 + \cos \frac{\alpha}{2}} \right) R \quad (1)$$

여기서  $\alpha$ 는 다각형 변의 두 꼭지점과 원의 중심이 이루는 선분의 사이각이며,  $R$ 은 원의 반지름이다.

새로운 방법의 적용을 위해서 반지름은 다음과 같이 증가되어야 한다.

$$R + x = \frac{2}{1 + \cos \frac{\alpha}{2}} R \quad (2)$$

식(2)에 의해 증가된 반지름을 사용하여 기존의 내접다각형법을 적용함으로써 새로운 방법의 구현이 가능하다.

새로운 방법에 의한 최대오차는 다음과 같다.

$$e = \left( \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{1 + \cos \frac{\alpha}{2}} \right) R \quad (3)$$

그리고 기존의 방법에 의한 최대오차는 다음과 같다.

$$e' = \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) R \quad (4)$$

이들의 비를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{e}{e'} = \frac{1}{1 + \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (5)$$

일반적으로  $\alpha$ 가 매우 작으므로, 최대오차항의 비는 약 1/2이다. 이것은 아무리 오차가 크더라도 기존방법의 오차량의 반 정도라는 것을 의미한다.

컴퓨터 프로그래밍을 사용하여 기존의 내접다각형법과 새로운 교차다각형법이 어떻게 원을 근사하는지를 알아보았다. Fig. 2에 반지름 20인 원을 40각형부터 150각형까지 근사한 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

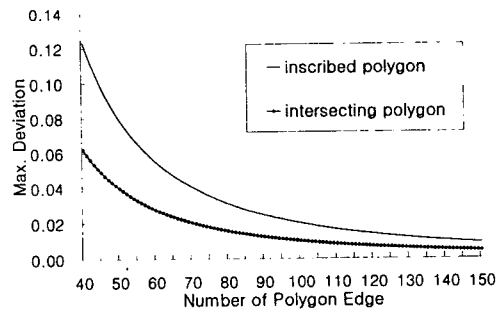


Fig. 2 Result of simulation

Fig. 2로부터 새로운 방법의 최대오차량은 기존 방법의 절반정도라는 것을 알 수 있다.

### 3. STL 파일형식에의 적용

STL 파일형식에서 원은 다각형으로 근사된 뒤 삼각형으로 나뉘어지게 된다. 여기서 원 근사 정밀도는 원을 근사한 다각형의 변의 개수로 결정된다. 3차원 CAD 소프트웨어인 Pro/ENGINEER에서는 Chord Height와 Angle Control이라는 매개변수에 의해 근사다각형의 변의 개수를 정의한다.<sup>4)</sup>

Chord Height는 근사다각형의 변의 개수를 정의하는데 있어서 큰 비중을 차지하는 변수로서, 모델크기에 상대적이다. 이것은 원의 호와 근사다각형의 변과의 최대거리로, 내접다각형법에서의 최대오차이다. 즉, Chord Height가 작을수록 근사된 원의 오차는 감소한다. Chord Height의 하한값은 모델크기와 정확도의 함수이고, 상한값은 모델크기값이다. 여기서 모델크기는 모델 전체를 둘러싸는 상자의 대각선거리로 정의된다. Fig. 3에 Chord Height의 정의를 나타내었다.

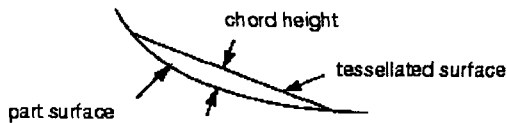


Fig. 3 Chord Height

Angle Control은 골프공의 홈과 같은 모델내의 작은 원 형상을 추가로 정밀하게 세분하는 기능을 갖는다. 이것은 0.0~1.0의 값을 갖는데, 보통 기본값(0.5)을 사용한다.

본 연구를 위해 Microsoft Visual Basic 5.0을 사용하여 새로운 반지름을 계산하는 프로그램을 작성하였다. 이를 사용하여 윈도우즈 환경하에서 원의 새로운 반지름값을 즉각적으로 모델링에 적용할 수 있도록 하였다. Fig. 4에 모델링 작업을 나타내었다.

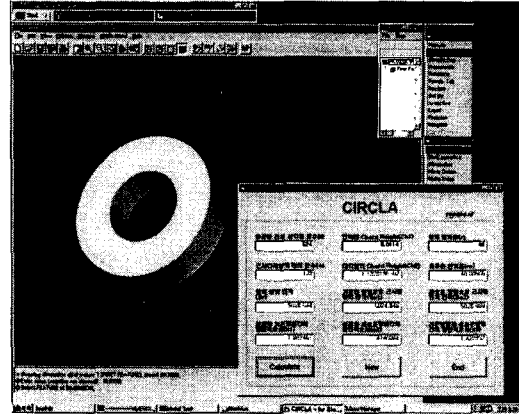


Fig. 4 Modeling process

### 4. RP Part 제작 실험

실제 파트는 3차원 CAD 소프트웨어인 Pro/ENGINEER를 사용해서 모델링을 하였으며, 모델링된 파트는 새로운 방법이 외경과 내경에 어떤 영향을 미치는가를 알아보기 위해 가운데 구멍이 있는 도넛 형태로 하였다. 이것의 공칭치수는 Table 1과 같다.

Table 1. Nominal dimension of part

	Outer diameter	Inner diameter	Thickness
Part 1	80	40	20
Part 2	30	20	5

(unit : mm)

그리고, 새로운 방법을 사용하기 위해 식(2)를 사용하여 증가된 치수는 Table 2와 같다.

Table 2. New dimension of part

	Outer diameter	Inner diameter	Thickness
Part 1	80.01133	40.01117	20
Part 2	30.00412	20.00408	5

(unit : mm)

Part 1에서 외부원은 132각형, 내부원은 94각형

으로 근사되었으며, Part 2에서는 각각 134각형, 110각형으로 근사되었다.

실험에 사용된 RP 장비는 SLS(Selective Laser Sintering)방식인 DTM사의 Sinterstation™ 2500을 사용하였다.<sup>5)</sup>

SLS방식은 수지분말을 한층씩 적층하여 레이저로 소결하는 방식으로, 이것의 특징으로는 사용재료가 다양하고, 치수정밀도가 우수하며, 지지대가 필요없고, 금속분말을 레이저로 소결하여 직접 금형을 제작하는 기술인 RT(Rapid Tooling)가 가능하다는 것 등을 들 수 있다.

RP에서는 열수축에 의한 scale과 레이저 반경만큼 안쪽으로 작업을 해야하는 offset이 제작된 파트의 정밀도에 영향을 미치므로, 이것들의 계산이 중요하다. 본 연구에서는 DTM사에서 제공하는 계산방법에 따라 Tree part를 제작하고, 그것으로부터 얻은 scale 1.0212, offset 0.0125의 값을 사용하여 작업하였다.

작업시 베드의 중심에 가까이 배치된 파트의 성형후 정밀도가 뛰어나므로, 파트는 베드의 중심에 가깝게 배치될수록 좋다. 이것은 레이저 주사가 갈바노미터 미러의 회전에 의하여 이루어지므로, 실린더의 중심에서 벗어날수록 레이저의 단면은 원형에서 타원형으로 변화되기 때문이다.<sup>6)</sup>

제작위치에 따른 레이저빔의 단면변화를 보완하기 위해, 비교되는 파트들을 Fig. 5와 같이 대칭되는 위치에 놓고 작업하였다.

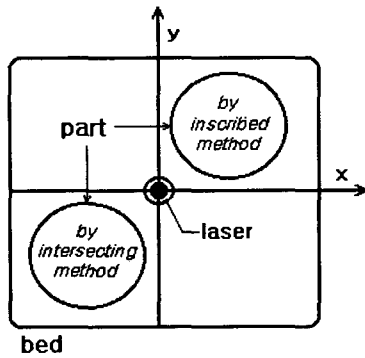


Fig. 5 Positioning of part

Fig. 6에 이러한 과정으로 제작된 파트의 형상을 나타내었다. 사용된 수지분말은 DuraForm GF이며, 이것의 특징은 뛰어난 기계적 성질을 갖는 매끈한 표면의 파트를 얻을 수 있다는 것이다.

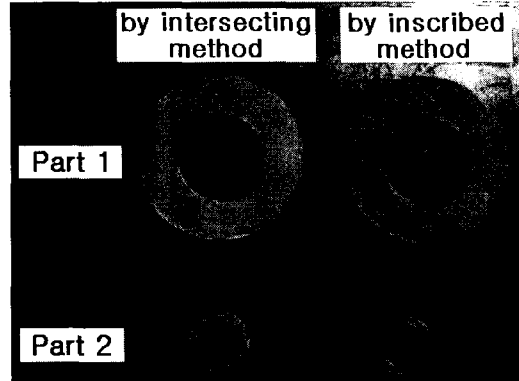


Fig. 6 Shape of part

## 5. 실험결과 및 고찰

실험에 의해 제작된 파트의 측정에는 측정오차  $\pm 0.00005\text{mm}$ 인 접촉식 3차원 측정기를 사용하였으며, Fig. 7과 같이 원의 중심으로부터  $22.5^\circ$  씩 시계방향으로 돌아가며 8개 지점의 지름을 측정하였다.

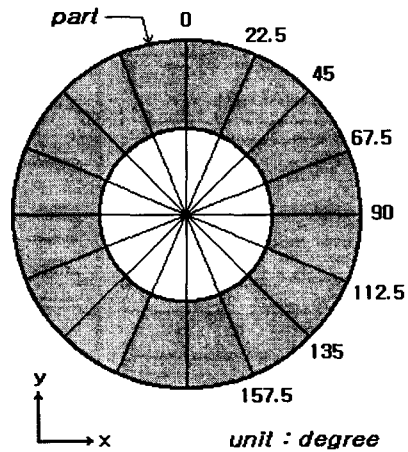


Fig. 7 Measured point

Fig.8~11에 측정된 결과를 그래프로 나타내었다.

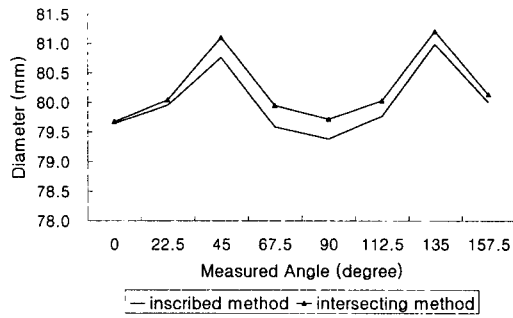


Fig. 8 Outer diameter of Part 1

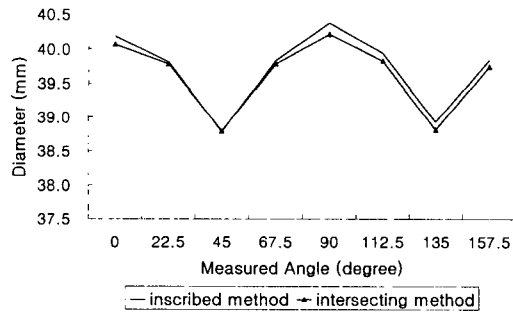


Fig. 9 Inner diameter of Part 1

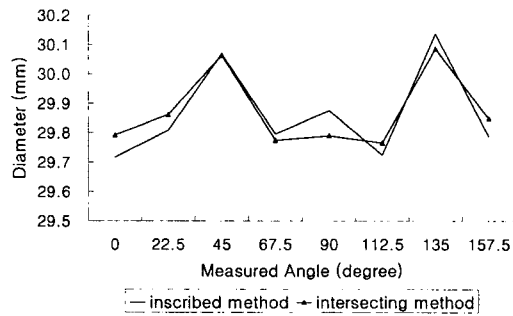


Fig. 10 Outer diameter of Part 2

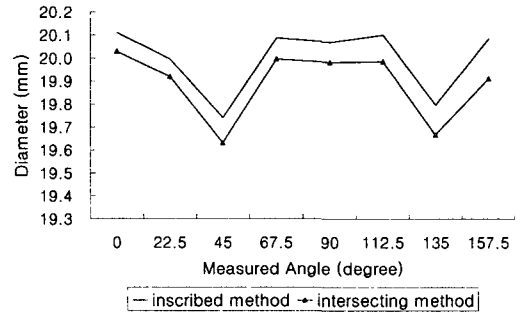


Fig. 11 Inner diameter of Part 2

위의 결과에서 45° 와 135° 에서 peak point가 발생하는 것을 관찰할 수 있는데, 이것은 레이저의 진행이 raster scan방식을 따르기 때문에, 위의 각도에서는 레이저 스캔직경이 조금씩 밖으로 벗어나게 되므로 이것이 증첩되어 수지분말이 덧붙여 성형되기 때문이다. Fig. 12에 이것을 그림으로 나타내었다.

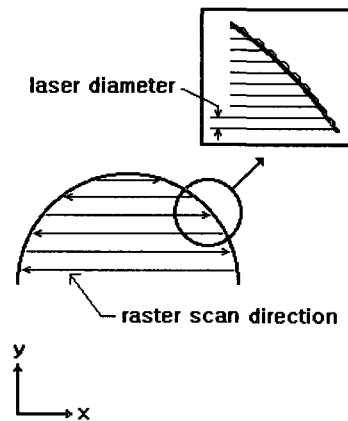


Fig. 12 Raster scan in circle

따라서, 파트의 곡부적인 곡면형상의 경우 X-Y 축에 대하여 45° 방향을 피해서 배치를 함으로써 형상정밀도를 높일 수 있다.

위와같은 경우의 장비상의 오차를 제외하고 실험결과를 살펴본 결과, 치수정밀도에 있어서 기존의 방법과 새로운 방법 모두 전체적으로 허용 오차 범위내( $\pm 0.3\text{mm}$ )에 들어오는 좋은 결과를 보였다.

외경의 경우는 새로운 방법의 치수가 기존의 방법보다 조금 크게나온 것을 알 수 있고, 내경의 경우는 그 반대인 것을 알 수 있다. 새로운 방법을 사용한 파트에서 내경이 작게나온 이유는 커진 반지름만큼 재료의 양이 줄어들므로, 그만큼 수축이 덜 발생하였기 때문이다.

RP에서는 실제의 형상과약은 물론, 조립성 평가와 기능성 평가가 매우 중요하다.<sup>7)</sup> 따라서 래핑등의 후처리 가공이 필요하게 된다. SLS 방식으로 제작된 파트는 다른방식으로 제작된 파트에 비해 강도, 내열성, 내화학적, 내수성이 강하므로, 시제품의 조립성, 기능성 테스트가 수월하다.

후가공 여유를 생각할 때, 외경의 치수는 약간 크게, 내경은 약간 작게 나오는 것이 바람직하다. 그러므로, 새로운 방법을 사용하여 제작한 파트의 치수는 좋은 경향을 보인다고 할 수 있다.

또한, 치수를 중히 여기기 때문에 래핑이 일반화 되어있는 RT에 적용할 경우, 좋은 결과를 얻을 수 있을것으로 기대된다.

## 6. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 시뮬레이션 결과, 컴퓨터 그래픽 상에서 새로운 원 근사방법인 교차다각형법이 기존의 원 근사방법인 내접다각형법에 비해 실제원에 가까운 원을 근사한다.
2. 새로운 원 근사방법을 RP 장비의 표준 입력 파일형식인 STL 파일형식에 적용한 결과 좋은 경향의 치수를 갖는 RP 파트를 얻을 수 있었다.
3. 제작된 원형상의 RP 파트를 측정해본 결과, X-Y축에 대하여 45° 방향의 치수에서는 오차가 크게 발생한다는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Jacobs, P. F., Rapid Prototyping and Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography, SME, 1992.
2. Ibrahim Zaid, CAD/CAM Theory and Practice, MGH, 1995.
3. L. Yong-Kui, "Algorithm for Circle Approximation and Generation", Computer-Aided Design, Vol. 25, No. 3, pp. 169~171, 1993.
4. Parametric Technology Co., Pro/ENGINEER Interface Guide Release 20.0, 1998.
5. DTM Co., The Sinterstation™ 2500 System Selective Laser Sintering Guide to Materials & User's Guide, 1997.
6. 장복근, 허성민, 최홍태, 이석희, 장태식, 이일엽, "SLS에서의 조형자세 및 배치 결정에 관한 연구", 한국정밀공학회 '98년도 추계학술대회는 문집, pp. 637~640, 1998.
7. 양동열, 손현기, 정준호, "쾌속제품개발에서 쾌속조형과 2차공정의 역할", 한국정밀공학회 '98년도 춘계학술대회 논문집, pp. 927~931, 1998.