

# 쾌속조형시 레진의 수축률을 고려한 형상오차보정에 관한 연구

이지용\*, 김태호<sup>+</sup>, 박재덕<sup>++</sup>, 박정보<sup>+++</sup>, 전언찬<sup>++++</sup>

## Study on the compensation of shape error using Shrinkage rate of resin in Rapid Prototyping

Lee Ji Yong\*, Kim Tae Ho<sup>+</sup>, Park Jae Duck<sup>++</sup>, Park Jung Bo<sup>+++</sup>, Jeon Eon Chan<sup>++++</sup>

### Abstract

Recently, the Rapid Prototyping System makes used of changing file format. The most problem is produced by this process. It is influenced by the precision of shape manufacturing. And It is most influenced by shrinkage rate within many elements influence the precision of 3D shape manufacturing. In result, the length strain in each axis cause at STL file transforming. It will compensate for utilizing the shrinkage rate.

**Key Words :** Rapid Prototyping(쾌속조형장치), shrinkage rate(수축률), length strain(길이변형량)

## 1. 서론

쾌속조형장치(Rapid Prototyping system : RP)는 절삭에 의한 형상제작이 아니라 박막을 적층시켜 형상을 만들어내는 방식으로 최초로 광중합방식을 이용하여 3D system사에서 SLA(Stereolithography Apparatus)방식이 개발되었고, 입력수단으로는 STL 파일포맷을 사용하고 있다.

RP는 절삭가공에 비하여 매우 짧은 시간에 형상을 성형할 수 있고 제품의 개발단계에서 생기는 설계상의 오류나 생산에 부적합한 요인을 조기에 발견할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Autocad, CATIA, Pro/Engineer, I-DEAS, MDT등 여러 종류의 3차원 CAD 설계프로그램들은 모두 STL 파일로 변환시킬 수 있는 변환기들을 지원하고 있다.

그러나 쾌속조형장치에 사용할 수 있는 파일포맷으로 변환하는 과정에서 많은 문제점들을 발생시킨다. 예를 들면 동일한 꼭지점의 중복, 면의 누락 등으로 자료의 양이 방대해지거나, 작은 각을 가진 예각삼각형으로 인해 연산과정 중에 오류가 발생하고, 특정한 형상의 경우 일정한 범위에서 치수오차를 발생시킨다. 이는 가공형상의 정밀도에 영향을 미칠 수 있다. 쾌속조형장치에서 얻어지는 3

\* 이지용, 동아대학교 대학원 기계공학과 (ppidaelee@hanmail.net)  
주소: 604-714 부산시 사하구 하단동 840  
+ 동아대 기계공학과 대학원  
++ 동아대 기계공학과 대학원  
+++ 삼척대 기계공학과  
++++ 동아대학교 기계·산업시스템공학부

차원 형상의 정밀도에 영향을 미치는 인자로는 레이저의 주사속도 및 세기, 경화방법(Hatch, Fill), overcure 그리고 수축률 등으로 나눌 수 있는데 이중에서도 수축률의 영향이 가장 크다.

STL 파일의 오류 수정과 수축률을 최소화하기 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행되어 왔다. 전북대학교에서는 위상정보가 없는 STL에 위상정보를 부여하여 기하학적 처리를 하기 위한 삼각형기반 형상모델의 데이터 구조를 제안하였고,<sup>(1)</sup> Delaunay 삼각형 분할을 적용하는 삼각형 패치를 재구성하는 방법을 제안하였다.<sup>(3)</sup> 동아대학교에서는 윈도우 프로그래밍 기법을 이용하여 구멍의 오류 형태를 분류하여 수정하였으며<sup>(2)</sup>, 아주대학교에서는 교차 다각형법에 의한 원 근사 방법을 적용하여 원의 형상오차를 줄여서 패속 조형장치의 형상오차를 줄이는 연구를 수행하였다.<sup>(4)</sup>

Chartoff 등은 수축과 뒤틀림을 적절한 레이저 스캐닝 속도에 의하여 줄이는 연구를 수행하였으며<sup>(5)</sup>, Jaynti 등은 공정변수를 다구찌 실험계획법을 이용하여 공정변수의 상대적 기여도를 정량적으로 구하였다.<sup>(6)</sup> 하지만 수축률 자체만으로 형상정밀도를 보정하는 연구는 많이 수행되고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 STL 파일변환시 생기는 각축의 길이변화량을 수축률을 이용하여 보정하고자한다.

## 2. 소프트웨어에 의한 오차

CAD시스템에서 설계된 3차원 곡면은 대부분 삼각형 패치로 근사화 하여 STL 포맷의 데이터 형식으로 패속조형장치에 보내져 조형이 이루어진다. 따라서 곡면과 삼각형 패치 근사와의 사이에는 치수 오차가 생긴다. CAD 데이터를 구하기 위해서는 역설계라는 과정이 필수적이다. 이렇듯이 CAD 데이터가 없는 제품이나 제품의 수정으로 인한 설계 변경 등의 경우 역설계가 필요하게 된다.

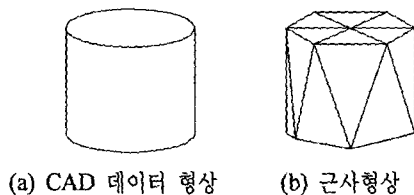


Fig. 1 Triangle patch approximation

Fig. 1은 CAD 데이터를 STL파일로 변환했을 때 모습을

보여주고 있다. 근사형상은 3차원 CAD 모델러의 시스템변수에 의하여 근사를 정밀하게 하면 근사 오차는 감소하나 많은 양의 삼각형이 발생하여 데이터량이 증가하고 처리 시간이 길어지는 단점이 있다. 그리고 일반적으로 주사기구는 곡선을 묘화하기가 곤란하기 때문에 주사궤적이 곡선으로 주어져 있더라도 실제로 주사되는 주사궤적은 선분의 조합으로 이루어진다.

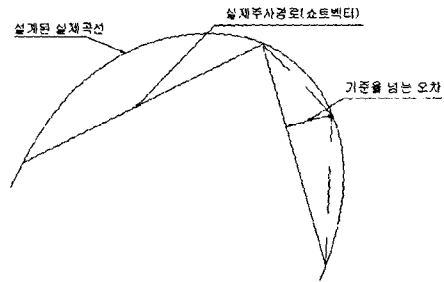


Fig. 2 Error of short vector

Fig. 2는 실제곡선과 실제주사경로 사이에 생기는 오차를 나타내는 그림으로 오차가 실제 허용 범위를 넘을 때 보간점을 설정하여 쇼트 벡터를 분할해 가면서 근사 오차를 감소시킬 수 있다.

## 3. 수축률

광경화반응에서 형상에 영향을 미치는 가장 큰 인자는 수축률이다. 수축률이 큰 수지는 변형량도 크다. 이러한 현상에 따르면 광 주사되고 있는 부분은 처음에 반경화하여 아래에 있는 기존 경화층에 부착된다. 그리고 부착부는 경화반응에 의하여 더욱 수축하고, 그 결과로 아래층과 함께 전체가 위쪽 방향으로 변형이 이루어지는 특징을 가지고 있다. 이러한 원인은 경화시 수축에 의해 기존 경화부가 변형하는 것으로 최초로 경화할 때는 액중에 있으므로 어떤 구속도 없이 평면을 유지하며 경화하지만 다음 층에 경화가 이루어지면 기존 경화층의 부동, 노광부분이 수축상태가 되어 전체적으로 변형이 이루어지며, 경화변형은 균일한 노광량을 계속적으로 실시할 때, 그리고 순차적으로 주사노광할 때 상하부분과 수평부분으로 변형이 생긴다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 기존의 경화부분과 노광부분의 접촉을 피하고, 수축률이 적은 수지를 사용하므로 오차를 줄일 수 있다.

## 4. 실험장치 및 방법

### 4.1 실험장치

본 실험에 사용된 장비인 VIPER si 장비는 레이저 크기와 적층 높이에 따라 두 가지 타입(HR type, NR type)으로 적층조형이 가능하다.

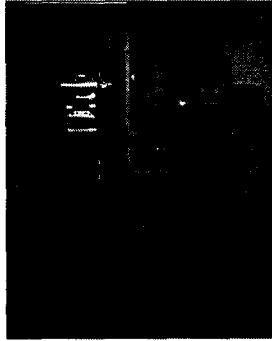


Fig. 3 Photography of RP system (VIPER si)

본 연구에 사용된 실험장치는 3D systems사의 VIPER si 장비이며, Fig. 3에 실험장치를 나타내었다.

쾌속조형장치에 사용된 재료인 경화성수지는 특정 파장의 빛을 받게 되면 액체에서 고체로 경화되는 특성을 가지며, 빠른 속도의 레이저를 받으면 빛에 노출된 부분만 굳어지고, 노출되지 않은 부분은 액체로 남아 재사용이 가능하다. 그리고 노출시간, 빛의 주사속도 및 재료의 특성 등에 따라 경화되는 깊이 조절이 가능할 뿐 아니라 층과 층 사이에 우수한 접착력이 있어 적층하여 3차원 형상을 만들기 용이한 장점을 가지고 있다.

Table 1 Typical properties (Post cured part)

Tensile strength	69 - 73 MPa
Young modulus	3186 MPa
Elongation at break	4.7 - 6.4 %
Impact strength	37 J/m
Shore hardness	86

Table 1에 본 연구에 사용된 재료인 경화성수지(Accura SI 40)의 경화 후 물성치를 나타내었다.

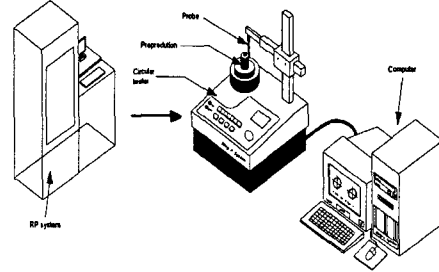


Fig. 4 Schematic diagram of circular test

설계프로그램에서 모델링한 데이터를 이용하여 쾌속조형장치(RP system)에서 가공한 시작품(Preproduction)의 진원도를 프로브(Probe)에 의해 측정하는 시스템을 나타내고 있다.

본 실험에 사용된 진원도 측정기는 Mitsutoyo사의 진원도 측정기(Circular tester)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 시스템에 의해 출력한다. 그리고 진원도 측정기의 사양을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Specifications of circular tester

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

## 4.2 실험방법

본 연구는 STL파일 변환 시 생기는 치수오차와 수축률을 이용하여 다음과 같은 방법으로 오차보정을 하였다.

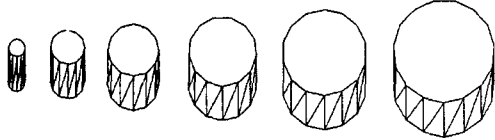


Fig. 5 Dimension CAD Model of experiment

Fig.5는 시편을 나타낸 그림으로 직경 5 mm~30 mm, 높이 10 mm의 원통직경을 왼쪽부터 순서대로 모델링 하였다. 그림에서 보는바와 같이 원의 형상이 다각형으로 근사화된 것을 볼 수 있다.

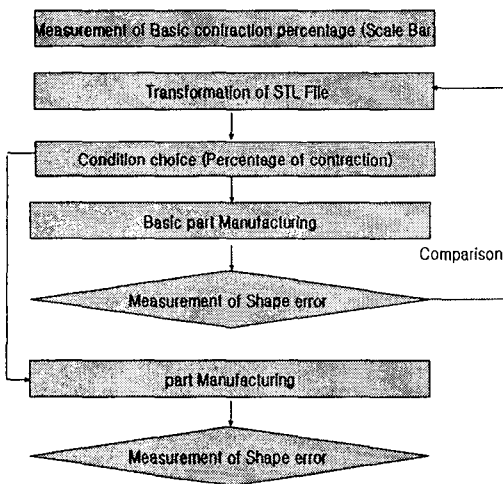


Fig.6 Flowchart of experiment method

Fig. 6은 실험방법의 플로차트로서 스케일바를 이용하여 기본수축률을 측정하기 위해서 시편을 제작한 후 오차를 측정하였다. 그리고 원기둥 형상을 3차원 CAD 프로그램을 이용하여 패속조형장치에서 사용할 수 있는 STL 파일로 변환하여 측정된 오차와 기본 수축률을 이용하여 시편을 제작한 후 오차를 측정하였다. STL파일 변환 시 생기는 오차를 보정하고 보정된 수축률을 주어 시편을 제작한 후 가공

오차를 측정하였다.

## 5. 실험결과 및 고찰

### 5.1 STL파일 변환시 오차

일반적인 3차원 CAD 프로그램에서는 STL 파일변환기를 기본적으로 탑재하고 있다. 하지만 원형형상의 경우 진원이 아닌 원에 내접하는 다각형으로 근사화 된다. 그리고 특정범위에서 X축과 Y축의 오차가 생겼다. 이것은 원의 좌표점인 X좌표와 Y좌표가 ( $R\sin\theta$ ,  $R\cos\theta$ )와 같이 극좌표로 구할 수 있는데 이를 패속조형장치에서 가공할 수 있는 절대 좌표로 변환할 때 생기는 오차로 생각되어진다.

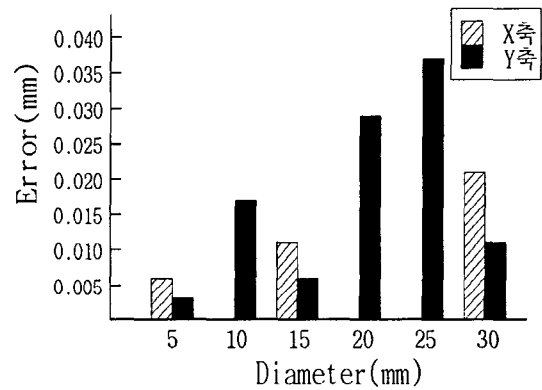


Fig. 7 Error on STL file transformation(X axis, Y axis)

Fig. 7은 5 mm~30 mm까지의 원형형상을 STL 파일로 변환했을 때 X축과 Y축의 오차를 나타내고 있다. STL 파일은 X축보다 Y축에서 오차가 더 많이 발생함을 알 수 있다.

### 5.2 수축률에 의한 길이오차보정

수축률은  $\frac{\text{CAD modeling 치수}}{\text{가공 후 실제치수}}$ 로 구해지며, 기본 수축률을 이용하여 형상제작시 가공상의 오차가 0.1 mm가 나타났다. 이를 보정하기 위해 STL파일 변환 시 X축과 Y축에서 발생하는 길이 오차를 기본수축률에 포함시켜 보정 수축률을 형상가공에 적용한 후 가공상의 오차를 0.02 mm 이하로 줄일 수 있었다.

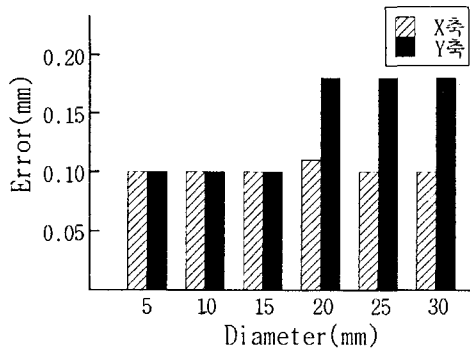


Fig.8 After manufacturing(Normal shrinkage rate)

Fig. 8은 기본수축률을 이용하여 형상을 가공한 후 측정 결과를 나타냈었다. X축보다는 Y축의 형상 크기가 작은 것보다 큰 것의 오차가 많이 발생함을 알 수 있었고, X축 보다 Y축에서 더 많은 길이방향의 오차가 발생하였다.

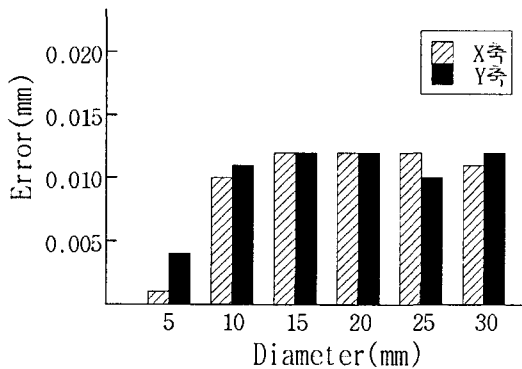


Fig. 9 After manufacturing(compensation shrinkage rate)

Fig. 9은 보정수축률을 주어서 얻어진 형상을 측정한 결과, 전체적으로 작은 형상일수록 미세한 길이의 변화로도 형상에 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있으며, 파일변환 시 생기는 길이오차를 수축률로 보정함으로써 형상의 정밀도를 높일 수 있었다.

## 6. 결론

STL 파일 변환 시 생기는 오차와 수축률의 보정을 통하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 원형형상에서 STL파일의 경우 파일변환 시 일정범위에서 X축과 Y축 방향에서 오차가 발생하였다. 이는 원의 X,Y 좌표는 극좌표로 표시되는데 실제 형상의 가공에서는 절대좌표로 변환하기 때문에 생기는 오차라고 생각된다.
2. 기본수축률을 이용하여 얻어진 형상치수에 파일 변환 시 생기는 오차를 수축률을 이용하여 보정하고 형상을 가공함으로써 가공상의 오차를 20  $\mu\text{m}$ 이하로 줄일 수 있었다.

## 참고문헌

1. H. C. Choi, 1997, "Creation of Topological Information from STL Using Triangle Based Geometric Modeling " KSPE Vol. 14, NO. 2, PP 136~144
2. J. B. Park, Y. J. Son, S. K. Kim, E. C. Jeon, J. W. Kim, 1999 " A Study on DB Construction for Error Modification of STL Format and Efficiency by Shape Restoration", KSPE, Vol.16, No.9, PP. 143~148
3. T. S. Myung, H. C. Chae, O. H. Kim, 1996 " Application of Delaunay Triangulation on RP" KSPE, Vol. 8, No. 3, PP. 35~41
4. M. S. Hong, K. H. Shin, S. G. Son, 2000, "A study on RP Part Production Using Intersecting Circle Approximation Method" Vol. 9, No. 1, PP. 68~74
5. R. P. Chartoff, L. Flach, P. Weissman, 1995, "Meterial and Process parameter that affect accuracy in stereo-lithography," The sixth international conference on rapid prototyping
6. S. Jayanthi, M. Keefe, E. P. Gargiulo, 1994 "Studies in stereolithography : Influence of process Parameters on curl distortion in photopolymer models," Solid freeform fabrication system, PP. 21~63