

## FDM에서 이론적 면적오차법에 의한 구형제품의 표면예측

전재익(부경대 대학원 기계공학과), 권혁준(서라벌대학교), 김수광(부산정보대학교),  
김준안(경남정보대학교), 정진서(부산기능대학교), 하만경(부경대 기계공학부)

### Prediction of sphere surface by the theoretical area error at FDM

J. U. Jun(Mech. Eng. Dept., PKNU), H. J. Kwon(Auto. Eng. Dept., SC), S. K. Kim(Mech. Eng. Dept., BIT),  
J. A. KIM(Mech. Eng. Dept., KIT), J. S. Jung(Mech. Eng. Dept., PDPC), M. K. Ha(Mech. Eng. Dept., PKNU)

#### ABSTRACT

Fused deposition modelling(FDM) is a rapid prototyping(RP) process that fabricates part layer by layer by deposition of molten thermoplastic material extrude from a nozzle. RP system has many benefit. One of the benefit would be the ability to experiment with physical objects of any complexity in a relatively short period of time. But it has a matter of surface roughness and geometric accuracy. We study on Influence of angle of tangent line and area error on sphere surface roughness at fused deposition

Key Words : RP(Rapid Prototyping, 쾌속조형), FDM(Fused Deposition Modeling, 수지압출식 쾌속조형), Injection interval(주사간격), Angle of tangent line(접선기울기 )

#### 1. 서론

3차원 자유형상을 쉽게 제작할 수 있는 RP장치들은 빠른 시간에 시제품을 제작할 수 있다는 장점이 있는 반면에 시제품을 제작함에 있어서 층의 단면 형상을 적층하여 만들기 때문에 각 층간의 서로 다른 형상이 제품의 표면에 계단형상을 만들고 주사간격에 의한 섬유질 사이에서 울퉁불퉁한 엠보싱이 생긴다<sup>(1)</sup>. 그리고 경사진 평면이나 곡선부에는 계단형상이 나타난다. 이러한 계단형상과 울퉁불퉁한 엠보싱을 줄여 시제품의 표면거칠기를 향상시키기 위한 연구가 다양하게 전개되고 있다. 그 예로 H. Masood등은 적층시 발생한 계단 형상에 의해 발생하는 체적오차를 이용하여 표면 거칠기를 예측하고 비교하였다<sup>(2)</sup>. Mukesh K. Agrwala 등은 FDM 장치로 생성한 제품의 표면 과 내부에서 발생하는 문제점을 밝혔다<sup>(3)</sup>. R. Ippolito 등은 3D Systems사에서 제안한 원래의 벤치마크를 사용하여 RP기술의 치수 정밀도와 표면의 사상을 연구하였다.<sup>(4)</sup> 하만경, 전재익 등은 FDM장치에서 주사간격과 표면경사각이 표면거칠기에 미치는 영향을 연구하였다.<sup>(5)</sup> 신행재, 변홍석

등은 새로운 파트를 개발하여 각 RP장치에서의 형상 정밀도 및 표면 정도를 비교 평가하였다.<sup>(6-7)</sup>

본 연구에서는 FDM장치를 이용한 구형의 시제품에서 측정위치의 변화에 따른 측정범위에서의 평균 접선기울기가 시제품의 표면거칠기를 측정하고 면적 오차법을 이용하여 면적오차를 예측하는 프로그램을 만들어 면적오차와 표면거칠기의 관계를 분석하여 상호 관계를 연구하였다.

#### 2. 급속조형장치

##### 2.1 FDM의 구조 와 원리

FDM 장치는 크게 그래픽 모델을 처리할 컴퓨터와 실제 모델을 제작하는 장치로 구성되어 있으며, 모델을 제작하는 장치의 원리는 열에너지와 층 제조 기술을 토대로 하여, 스펀(Spool)에 감긴 필라멘트(Filament)형태의 재료를 헤드(Head)에서 가열 용융하여 반응용 상태로 만들어서 분사한다.

이렇게 FDM장치에서 용융된 재료가 각층의 형상으로 주사경로에 따라 분사되어 단면형상이 이루

어지면 냉각 응고되어 원하는 단면형상이 되고 이러한 과정이 반복되면서 원하는 3차원 모델이 되어지는 것이다.<sup>(8)</sup>

Fig. 1은 FDM장치의 기본적 구조와 작동원리를 나타내었다.

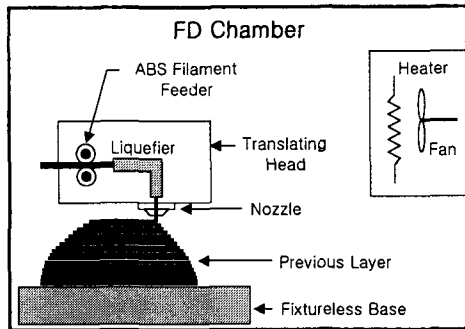


Fig. 1 Schematic of the FDM

## 2.2 면적 오차

FDM장치로 제작한 시제품은 각 층의 단면형상의 차이에 의해서 계단형상이 생성된다. 이렇게 생성된 계단형상은 구형의 경우 측정부위에 따라 달라진다. 그것은 모델링에 의해서 요구되어지는 표면과 실제 제작에서 나타난 제품의 표면에서 오차가 발생하는 것을 의미한다. 이러한 표면의 오차는 표면에 수직인 단면으로 절단하여 볼 때 단면곡선으로 나타나는데 피측정면의 평균표면에 직각방향의 면으로 피측정면을 절단하였을 때 그 단면에 나타나는 윤곽을 말한다. 이 곡선은 각 층간의 형상차이에 따라 나타나고 CAD에서 모델링한 형상의 표면과 Fig. 2에서 회색부위로 나타난 단면곡선의 면적 오차를 가진다. 이러한 면적 오차는 표면거칠기와 직접적인 관계를 가지고 있다. Fig. 3에서 두께가 일정한 수평한 층과 수평면을 기준으로 경사진 표면을 가진 물체를 예로 나타내었다.

표면에 발생한 한 층의 계단형상에 의한 면적 오차는 수평한 층과 경사면사이의 직각삼각형 abc의 면적과 같다. 이러한 오차는 층 두께와 제작 방향에 의한 경사각과의 관계로 표현되어질 수 있다.

한 층에서의 면적 오차는 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$Ae = \frac{1}{2}(ac)(bc) \quad (1)$$

제작될 제품의 높이(H)에 따라 층의 개수(n)은 다음의 식 (2)로 구할 수 있다.

$$n = H \cdot \sin \theta / t \quad (2)$$

여기서  $\theta$  는 경사각,  $t$  = 층 두께이다.

그리고  $bc = \frac{ac}{\tan \theta}$  이며,  $ac = t$ 이다.

그러므로 각 변수를 대입하면 다음 식(3)과 같다.

$$Ae = \frac{1}{2} \cdot \frac{t}{\tan \theta} \cdot t = \frac{t^2}{2 \tan \theta} \quad (3)$$

여기서 전체 면적오차를 구하기 위해 층의 개수(n)을 곱하면 다음 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$At = \frac{1}{2} \cdot \frac{t}{\tan \theta} \cdot t \cdot n = \frac{t^2}{2 \tan \theta} \cdot n \quad (4)$$

위 식(4)에서  $\theta$  가 '0'이 되면 n의 값도 '0'이 되어 거칠기 또한 '0'이 되므로 면적 오차가 발생하지 않는 것으로 나타나지만, 실제 제품에서는 면적 오차가 발생한다. 그것은 평면에서 섬유질의 간격에 의해서 생긴다.

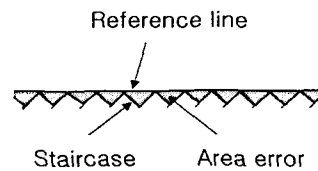


Fig. 2 Area error

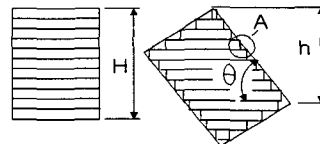
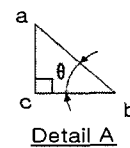


Fig. 3 Area error in a part oriented at an angle  $\theta$

## 3. 실험장치 및 실험방법

### 3.1 실험장치

본 연구에서는 실험 장치로 Stratasys사의 FDM 3000 이라는 모델을 사용하였다. 이 장치는 전처리부와 제작부 그리고 후처리부로 구성되어 있다. 전처리부는 컴퓨터를 이용하여 그래픽 작업을 하는 부분으로 사용하는 소프트웨어는 퀵슬라이스(Quick-Slice)라는 소프트웨어로 STL(Stereolithography)포맷으로 만들어진 그래픽 파일을 층(Layer)으로 변환하고, 슬라이싱 된 그래픽 데이터는 SSL 파일로 모델의 위치와 방향을 조절하여 배치하고 STL 파일의 오

류를 수정할 수 있다. 그리고 서포트(support)를 생성하며, 주사 패턴, 팁(Tip)의 종류 그리고 주사간격 등을 설정한다. 이러한 과정을 거친 데이터는 최종적으로 SML(Stratasy Modeling Language)파일로 저장되어 FDM 장치로 전송됨으로 제품을 제작하게 된다.<sup>(9)</sup>

면적 오차의 예측을 위해서 만든 프로그램은 볼랜드 C++빌더5를 이용하여 제작하였다. 이 프로그램은 입력받는 인자로 층간격과 측정범위만을 인자로 가진다.

### 3.2 실험방법

실험모델은 AutoCAD를 이용하여 모델을 생성하고 STL파일로 저장하였다. 이 모델은 지름이 55mm인 반구형으로 되어 있다. 아래 Fig. 4은 실험에 사용한 그래픽 모델이다.

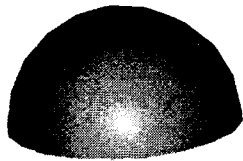


Fig. 4 Experiment models of FDM

이 그래픽 파일을 렉슬라이스라는 소프트웨어에서 층과 층으로 변환하고 주사량과 주사간격을 설정한 데이터를 FDM 3000장치에 전송하여 실험모델을 만들었다.

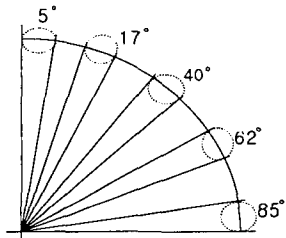


Fig. 5 Angles of tangent line

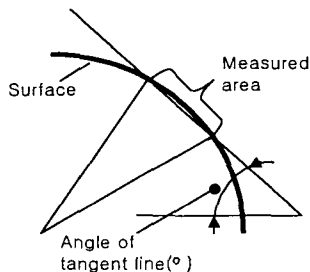


Fig. 6 Deciding angle of tangent line

측정위치는 Fig. 5에 나타난 것과 같이 다섯 부분의 표면거칠기를 측정하여 시작품의 곡면부에서 접선기울기에 따른 표면거칠기를 비교하였다. 접선기울기는 Fig. 6에 나타난 것 같이 측정범위에서의 평균치로 설정하였다. 표면거칠기 측정에는 측정식 표면조도계 Surf 800기종을 사용했다.

면적오차법을 적용한 면적오차의 예측은 예측 프로그램을 이용하여 주사간격이 0.245일 때 와 0.3556일 때의 두 경우로 실행하였다.

Table 1 Injection conditions

	Nozzle No.	Slice interval	Road width
A	#16	0.3556	0.415
B			0.817
C			0.407
D	#12	0.2540	0.802
E			0.315
F			0.407
G			0.515

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 실험결과

곡면부의 접선기울기에 따른 표면거칠기값의 측정에서 얻어진 값을 층간격에 따라 분류하여 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9에 나타내었다. 각 그래프의 조건은 Table 1에 나타내었다.

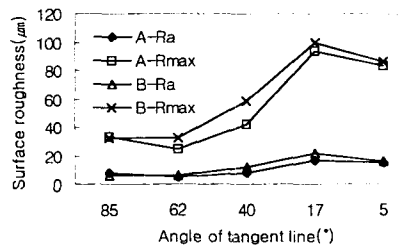


Fig. 7 Surface roughness in different angles

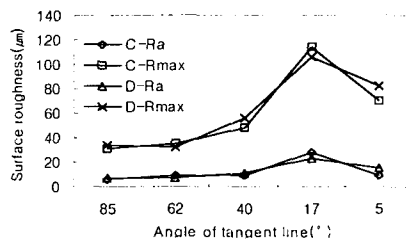


Fig. 8 Surface roughness in different angles

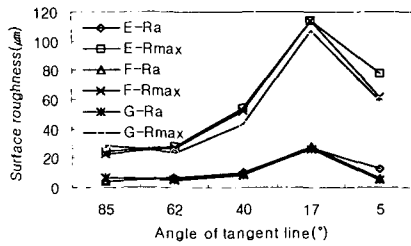


Fig. 9 Surface roughness in different angles 접선기울기에 따른 표면거칠기값의 예측실험에서 얻어진 그래프를 Fig.107, Fig. 11에 나타내었다.

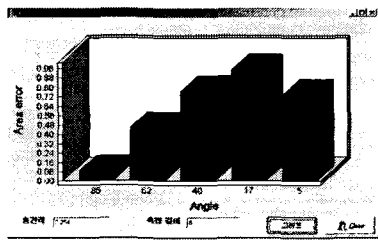


Fig. 10 Graph of Area Error Program (Slice Interval 0.254mm)

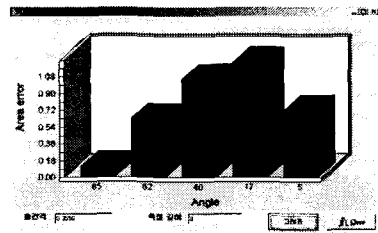


Fig. 11 Graph of Area Error Program (Slice Interval 0.3556mm)

#### 4.2 실험의 고찰

본 실험에서 반구형 급속조형물의 측정위치에서의 접선 기울기가 변화됨에 따라 표면거칠기는 달라지는 것으로 나타났다. 이것은 제품표면에 발생하는 계단 형상이 표면의 기울기에 따라 표면거칠기에 영향을 미치는 것으로 경사각이 클수록 층간의 형상차이가 적어지므로 접선 기울기가 클수록 거칠기가 좋아지는 것으로 판단 할 수 있다. 그리고 면적오차법을 적용한 프로그램에서는 실제 실험에서 발생한 표면거칠기와 면적오차가 유사한 패턴으로 나타나는 것은 표면거칠기에 영향을 미치는 인자들로 층간격과 경사각이 가장 중요한 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

본 연구는 FDM장치를 이용한 반구형의 급속시작품에서 측정부의 접선기울기의 변화에 따라 표면거칠기를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실험에서 반구형의 측정부 접선기울기 변화에 따라 표면거칠기는 주사 조건(노즐의 종류, 층간격과 주사간격) 변화에는 거의 일정하였다.

2. 전체적으로 17° 부근에서 가장 큰 거칠기 값이 나타났다.

3. FDM의 패속조형물 제작에서 여러 가지 주사 조건에 대한 표면상태변화 보다 구형체의 계단형상에 의한 표면변화가 표면상태에 더 큰 영향을 미친다.

그러므로 곡면부가 있는 패속조형물의 제작에서는 곡면부의 표면거칠기를 개선하기 위해서 접선 기울기가 17° 부근이 되지 않도록 하여야 한다.

#### 참고문헌

1. Chua chee kai and Leong kah fai, "Rapid prototyping," John Wiley & Sons, Inc, pp.95, 1997.
2. S. H. Masood, W. Rattanawong and P. Lovenitti, "Part build Orientations Based on volumetric Error in fused deposition modelling," International Journal Advanced Manufacturing Technology, pp. 162-168 2000.
3. Mukesh K. Agarwala, Vikram R. Jamalabad, Ahmad Safari, Philip J. Whalen and Stephen C. Danforth, "Structural quality of parts processed by fused deposition," Rapid Prototyping Journal, volume 2. Number 4, pp. 4-19, 199.
4. R.Ippolito, L.Luliano, and Politecniodi Torino, "Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish," Annals of CIRP, Vol.44, pp.157-160, 1995.
5. 하만경, 전재억, 정진서, "FDM 장치에서 주사간격과 시작품의 경사가 표면거칠기에 미치는 영향," 한국 공작기계학회, 제 10권 제 5호, pp.104-109, 2001
6. 변홍석, 신행재, 이관행 "RP 공정의 정밀도 비교 평가," 한국정밀공학회 2000년도 추계학술대회는 문집, pp.330-333, 2000
7. 양동렬, 손현기, "패속제품(RP)을 위한 패속조형 기술의 최근동향," 한국 정밀공학회지, 제 17권, 제 10호, pp.5-10, 2000.
8. 이은덕, "패속 조형 기술의 동향," 월간 프레스 기술, pp.15-28, 2001.
9. Edit by Stratasys Co., "FDM 3000 Manual", pp. 91-98, 2001.