

FDM에서 단면오차법을 이용한 표면예측

전재익*, 김수광(부산정보대 기계자동차계열), 황범모, 박추명(부경대 대학원 기계공학과),
하만경(부경대 기계공학과)

An Estimation on Area Error For Surface Roughness Advancement of Rapid Prototype by FDM

J. U. Jun, S. K. Kim(Mech. Eng. Dept., BIT), Y. M. Hwang, H. M. Park(Mech. Eng. Dept., PKNU of
Gra. School), M. K. Ha(Mech. Eng. Dept., PKNU)

ABSTRACT

As SLA(Stereolithography), SLS(Selective Laser Sintering), LOM(Laminated Object Manufacturing), FDM(Fused Deposition Modeling) etc. The FDM system (the heart of a study and is developed by Stratasys co. Ltd. in U.S.) is small and cheap R.P. The material filament is heated until the material reaches a near-liquid state, it is pumped through a nozzle and become hard with a shape required, and this nozzle move pumping on the previously deposited material. Such FDM system that choice deposition type with X-Y plater obtain the thin continue layer by decreasing amount of extrusion or to control the injection amount when the head slow down at the corner, but in the process that fusion wax or resin become hard, deformation occur and it will affect the shape accuracy and the surface roughness. Such effect will depreciate quality and reliability of the product. Therefore, when the product made in actuality, the fundamental study on the basis geometry(surface, volume, line, angle) must be proceeded and it have been research by many Free Form Fabrication scholars. So, this basic object study purpose to obtain the fundamental geometry data and to enhance the surface roughness of the shape. And an operator can use the data for the progress of the surface roughness. This study research the estimation and application of the prototype surface roughness by adjustment the injection amount. And basic of this research, describe the gutter of prototype surface roughness and also used this result to estimate the surface of prototype.

Key Words : SLA (광조형장치), SLS (선택적 소결법), LOM (막판적층법), FDM (용착조형법), Slice Interval (층간격), Root Width (주사선폭), Injection Amount (주사량)

1. 서론

직접품 제작에서 기간의 단축을 총 생산기간의 단축에 중요한 문제가 되어, 실제 생산현장에서 연 제품의 연속이질 여까지, 실제 및 생산까지의 간 격에 있어 생산에 관련된 많은 오차를 줄이는 데도 상당의 큰 영향을 미친다. 그러므로, 직접품의 제작은 제품생산에서 완제품의 생산성 및 경제성을 증진하는 데도 유용하게 적용된다.^{1,2)} 또한, 제품의 설계에서 생산까지를 동시에 할 수 있는 동적설계직접 생산은 거의 일반화 되어가고 있다.³⁾ 이에 따라 직접

품의 직접품을 제작할 수 있는 방법으로 자유조형법(rapid prototyping)의 필요성이 대두되며, 이에따라 여러 가지 자유조형법의 개발하였으나 대표적으로 많이 이용되는 방법으로는 SLA, SLS, LOM, FDM 등의 방법이 있다.⁴⁾ 그러므로, 이러한 분야에 자유조형법 개발분야의 진행되어 필요는 비록적으로 확대되고 있다.⁵⁾

그러나 이들 자유조형법에 의한 조형물은 조형정밀도 및 표면상태가 직접작품에 의한 가공물의 정밀도 수준에 크게 미달하여 별도의 후처리 가공 단계가 요구된다.

이에 따라 본 연구에서는 계속조형물의 표면을 단면오차법을 이용하여 예측하며, 이를 기초로 하여 조형물의 표면정도를 향상시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 또한, 본 연구에서는 계속조형물의 표면을 예측하기 위하여 먼저 시작점을 제작하여 표면상태의 변화를 관찰하고 이에 따라 단면 오차법을 적용을 위한 수식을 전개하였으며, 이를 토대로 플랜트(CAD)를 이용하여 프로그래밍하여 계속조형물의 표면은 단면오차법을 이용하여 예측하였다.

2. 금속조형장치

2.1 FDM의 구조와 원리

FDM 장치는 크게 그래픽 보편을 처리할 컴퓨터와 실제 모델을 제작하는 장치로 구성되어 있으며, 모델을 제작하는 장치의 원리는 열에너지와 용 재료기술을 토대로 하여, 스폰(Spout)에 감긴 필라멘트(Filament)형태의 재료를 헤드(Head)에서 가열 용융하여 단면을 상태로 만들어서 분사한다.

이렇게 FDM장치에서 용융된 재료가 각종의 움직임으로 주사강도에 따라 분사되어 단면형상이 이루어지면 냉각 응고되어 원하는 단면형상이 되고 이러한 과정이 반복되면서 원하는 3차원 모델이 되어지는 것이다.

Fig. 1은 FDM장치의 기본적인 구조와 작동원리를 나타내었다.

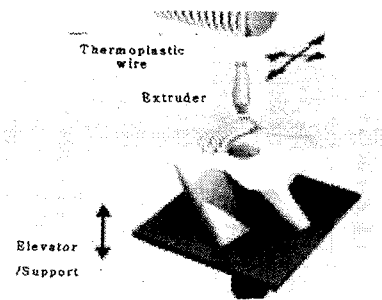


Fig. 1 Schematic of the FDM

2.2 면적 오차

FDM에서 시작점의 세수는 층간각과 주사강도의 경우가 각각 별개로 적용하여 표면을 형성하게 되므로 이 두 변수를 같이 조정함에 따라 표면은 낮아지게 된다. 따라서 여러 가지 형태로 이 두 변수가 조정된 때 단면오차법에 의하여 표면을 예측하기 위한 식을 제시해보도록 개발하였다. 그리고 모델의 예측을 위하여 중립적으로 단면적오차를 다음과 같이 정의하였다.

Fig. 2에서 보듯이 실제 요구되는 길이인 cd 와 제 단면상에서의 길이는 상당한 오차가 발생한다. 이러한 오차를 개선하기 위해서 빗길 길 면적역사 ABCD의 부분 원형의 면적을 계산 방식으로 구할 수 있다. 먼저 원의 S_1 다음과 같다.

$$S = S_0 + S_p$$

여기서, 빗부분의 면적 S_0

$$S_0 = 2r^2 \cdot \sin \theta - \frac{1}{2} \cdot 2r^2 \cdot \frac{2r}{\tan \theta} \\ = 2r^2 \cdot \left(\sin \theta - \frac{1}{\tan \theta} \right)$$

이므로, 이빨부분면적 S_p 은 다음과 같다.

$$S_p = \left(\frac{2r}{\tan \theta} - r \cdot \sin \theta \right) \cdot r \cdot \cos \theta$$

이다.

그러므로 전체 면적오차 $S_{err} = S_{SA} - S_B - S_C - S_D$ 이다.

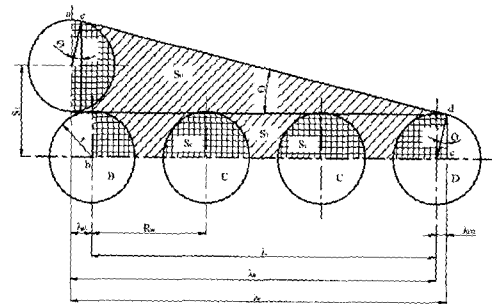


Fig. 2 Area error model

여기서는 몇 가지의 경우가 있을 수 있다. 먼저 A, B, C, D 모두 있을 경우와 A, B, D가 있을 경우 그리고 A, D만 있을 경우 이렇게 3가지의 경우가 있다.

공통적으로, A와 D는 항상 있으므로 면적을 구하면 다음과 같다.

A의 면적 S_{A1} :

$$S_{A1} = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \frac{\pi}{1} = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \frac{\pi}{2} \\ = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

이다.

이때, D의 면적은 중심점이 일치하지 않는 경우 중 중심 사이의 간격이 반지름을 넘어가지 않는 것 $(hg < r)$ 로 하여

D의 면적(S_{D1})은 중심점을 기준으로 S_{D1} , S_{D2} 로 나누어 계산한다.

$$S_{D1} = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma - r^2 \cdot \gamma$$

$$S_{D2} = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta - r^2 \cdot \theta$$

중심점 간격이 r 에 같거나 더 클 경우 $(hg \geq r)$ 라

$$S_{\theta} = -\frac{\pi}{4} r^2$$

$$S_{\theta'} = \frac{1}{2} r^2 \cdot \sin \theta' + \cos \theta' \cdot r^2 \cdot \alpha$$

따라서 SD = ns(S_θ + S_{θ'})

C의 면적 S_c는

$$S_c = \frac{r_c^2 \cdot \pi}{2} r^2$$

B의 면적 S_b

$$SB = n(S_{\theta} + S_{\theta'})$$

$$S_{\theta'} = r^2 \cdot \beta' + \frac{1}{2} r^2 \cdot \sin \beta' + \cos \beta'$$

$$S_{\theta} = \frac{1}{2} r^2 \cdot \sin \gamma_1 + \cos \gamma_1 + r^2 \cdot \gamma_1$$

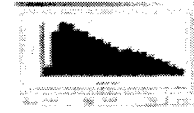
3. 주사량변화를 이용한 표면예측

3.1 표면예측

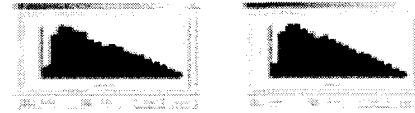
정의된 주사량의 이론치를 소프트웨어(C++) ver.5.1을 이용하여 프로그래밍 하였다. 시뮬레이션은 위치의 주사각과 증감각을 다양하게 적용하여 여러 조건에서의 실험결과를 나타내었으며, 그 실험조건을 Table 1에 나타내었다. 주사량 변화의 시뮬레이션은 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과를 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 나타내었다.

Table 1 Condition of simulation model

No.	Slice interval	Road width	
1	0.254	0.315	a
		0.417	b
		0.515	c
		0.615	d
		0.715	e
		0.815	f
2	0.3526	0.415	g
		0.515	h
		0.615	i
		0.715	j
		0.815	k
		0.915	l
3	0.315	0.615	m
		0.715	n
		0.815	o
		0.915	p
		1.015	q
		1.115	r



(a) Road width 0.315

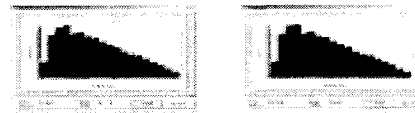


(b) Road width 0.417 (c) Road width 0.515

Fig. 3 Graph of area error simulation (Slice interval 0.254mm)

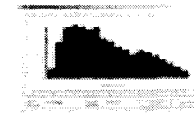


(d) Road width 0.615

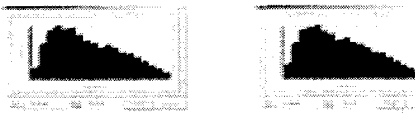


(e) Road width 0.715 (f) Road width 0.815

Fig. 4 Graph of area error simulation (Slice interval 0.254mm)

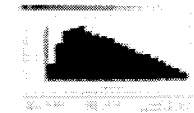


(g) Road width 0.415

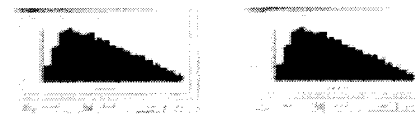


(h) Road width 0.515 (i) Road width 0.615

Fig. 5 Graph of area error simulation (Slice interval 0.3556mm)



(j) Road width 0.715



(k) Road width 0.815 (l) Road width 0.915

Fig. 6 Graph of area error simulation (Slice interval 0.3556mm)

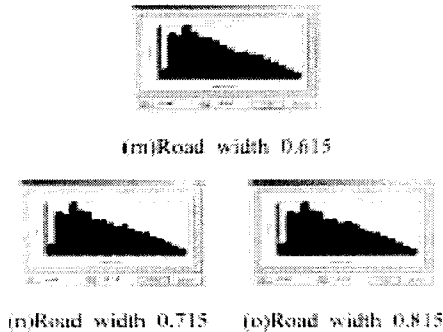


Fig. 7 Graph of area error simulation
(Slice interval 0.505mm)

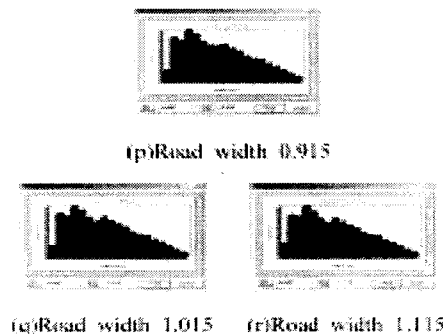


Fig. 8 Graph of area error simulation
(Slice interval 0.505mm)

3.2 시뮬레이션의 결과 고찰

이 시뮬레이션의 결과에 의하면 주사값격이 커질수록 단면오차는 커지고 이에 따라 표면의 상태도 좋지 못하게 나타나고 있으며, 또한 층간격의 증가에 따라 표면연속도가 저지되며, 표면도 나빠지는 것을 알 수 있다. 또한 지름값이 커지는 단의 기울기역 의하여 변칙오차가 변하는 형태를 같이 표시하고 있으며 이것으로 표면의 거칠기가 시료품의 표면질도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그리고, 한 점의 주사간격과 층간격을 각각 조정하여 얻은 실험의 결과와 거의 일치하는 형태를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한, 제품의 제작시간과 표면거칠기는 층간격과 주사간격의 변화와 함께 같이 변화해 되므로, 매우된 결과를 시료품의 제작에 적용하여, 시공자의 작업환경에 맞는 가장 적합한 값을 선택한다면, 시공을 제작에서 적용자가 필요로 하는 표면을 가장 효율적으로 만들기에 수 있을 것이다.

4. 결론

고속조형물의 제작에서 그 형상과 주사각변화에

따른 변화의, 표면의 상태를 형성하기 위한 시공을 표면도를 프로그램의 제작을 통해 다음의 같은 결론을 얻었다.

1. 주사각 변화에 따른 시공품의 표면거칠기, 층간격과 주사간격이 커질수록 나빠진다.
2. FDM 방식에서 시공품의 경사가 90°보다 15°까지 작아 거칠에 따라서 저지되는 나빠지고, 15°에서 25°까지의 기울기역의 가장 나쁜 거칠기 값을 가지고, 25°이상의 각도에서는 점점 더 작아 거칠에 따라서 표면거칠기는 향상되었다.
3. 제작 방법에 따른 이론적 단면 주사선에서의 면적오차 모의실험에서는 경사각이 0°에서 15°까지는 단면오차를 저지고 25° 무늬를 형성으로 경사각도가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났다.
4. 이론적 단면적선의 면적오차법에 의한 표면거칠기의 예측이 실제 조형물의 가 및의 기울기면 대 단면적에서 적합한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Chua chee kai and Leong kah hai, "Rapid prototyping", John Wiley & Sons, pp. 7-9, 1997
2. 양동일, 손원기, "제조제조(RP)을 위한 제조조형기술의 최근동향", 한국생산공학학회지, 제 17권, 제 10호, pp. 5-10, 2000
3. 이윤남, "제조조형 기술의 동향" 일간 엔지니어 기술 Vol. 14, No 3, pp. 15-28, 2001.
4. Chua chee kai and Leong kah hai, "Rapid prototyping," John Wiley & Sons, Inc, pp.95, 1997.
5. S. H. Mazoud, W. Rattanawang and P. Laveratri, "Part build Orientations Based on volumetric Error in fused deposition modelling," International Journal Advanced Manufacturing Technology, pp. 162-168 2000.
6. Mukesh K. Agarwala, Vikram B. Jarralabad, 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, 1990
7. R.Ippolito, L.Luliana, and Politecnodi Torino, "Denchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish," Annals of CIRP, Vol.44, pp.157-160, 1995.
8. 이관영, "위약의 Rapid Tooling 응용 사례", 제 2회 제조조형 및 금형기술 정보제공, 한국과학기술진흥, 1997
9. 장희준, 이근홍, 전희성, 홍창규 "직접 조형의 공한 FAN 시공품 제작 방식에 관한 연구" 제조기술진흥연구회 1999년도 춘계학술대회, pp. 7-12, 1999