

FDM에서 Build Orientation이 쾌속조형물의 표면에 미치는 영향

Study on Surface Roughness by Build Orientation at FDM

전재역*, 서진호(부경대·원), 권광진(전신실업), 권혁준(서라벌대학)
정진서(부산기능대), 하만경(부경대학교)

Jae Uhk Jun · Jin Ho Seo(Pu-Kyung Graduated School), Kwang Jin Kwon(Junsin Co.),
Heok Jun Kwon(Seorable College), Jin Seo Chung(PuSan Polytechnic College), Man
Kyung Ha(PuKyung Univ.)

ABSTRACT : Fused deposition(FD) modeling by Stratasys Inc., is one of the material deposition subfamilies of solid freeform fabrication(SFF) technologies. In this process, build material in the form of a flexible filament, is heated to a semi-liquid state and extruded from a controlled deposition head onto a fixtureless table in a temperature controlled environment. The position of nozzle is computer controlled relative to the base, which allows geometric complex models to be made to precise dimensions. FDM provide what the part was directly tested by the worker. It provide believable data.

This Study is identify to surface roughness by build orientation adjustment. So, the paper is the study on surface roughness by build orientation at FDM.

1. 서론

FDM은 자유형상제작 기술중의 하나로 재료를 용융하여 분사하는 방식으로 제품을 제작한다. 이 공정에서 사용하는 재료는 실같은 형상을 하고 있으며 가열하면 용융 되므로 일정한 온도를 유지하여 반용융상태를 유지한다. 이런 상태의 소재는 실내온도가 자동 조절되는 챔버 속에서 자동 제어되는 헤드로부터 고정 테이블 위에 분

사된다. 분사된 소재는 원하는 자유형상으로 적층되어진다. 이러한 방식으로 3차원의 복잡한 형상의 모델을 제작 할 수 있다^(1,2). 그러나 이러한 적층 방식은 층의 발생으로 생기는 표면부분의 계단형상이 표면거칠기에 많은 영향을 미친다. 이러한 문제점은 여러 연구자들에 의해 연구되어지고 있다.

변홍석과 신행재 등은 새로운 파트를 개발하여 각 RP장치에서의 형상정밀도 및 표면 정도를 비교 평가하였다.^(3,4) Mukesh K. Agrwala 등은 FDM 장치로 생성한 제품의 표면 과 내부에서 발생하는 문제점을 밝혔다.⁽⁵⁾ R. Ippolito는 3D Systems사에서 제안한 원래의 벤치마크를 사용하여 RP 기술의 치수 정밀도와 표면의 사상을 연구하였다.⁽⁶⁾ 그리고 S. H. Masood는 제품의 제작 방향을 변화시켜 발생하는 체적 오차를 이용하여 표면거칠기 문제를 예측하고 실험하였다.⁽⁷⁾

본 연구에서는 FDM(Fused Deposition Model-ing)장치를 이용하여 제작하는 시제품에서 제작 자세의 변화에 따른 표면 거칠기를 비교하여 제작 자세를 변화시킴으로 표면 거칠기의 향상을 가져 올 수 있는가를 연구하였다.

2 FDM 장치

2.1 FDM의 원리

FDM장치는 일반적 형태로 가는 실(filament)

과 같은 고상의 열가소성 수지를 고온의 노즐헤드를 통해 액상으로 용융시킨 다음 주사하여 가공테이블에 용착, 적층, 접합시키며, 또한 조형물의 지지대를 위하여 다른 노즐로 지지대를 생성시켜 지지대를 포함한 3차원 형태의 가공물을 만든다. 여기서 지지대(Waterworks)를 포함하고 있는 제품을 용해액(Water-based solution)에 담구면 지지대가 화학적 분해되어 지지대가 깨끗이 제거되어 최종제품이 완성된다.^(8,9)

Fig. 1은 기본 구조 및 원리를 보여주고 있다.

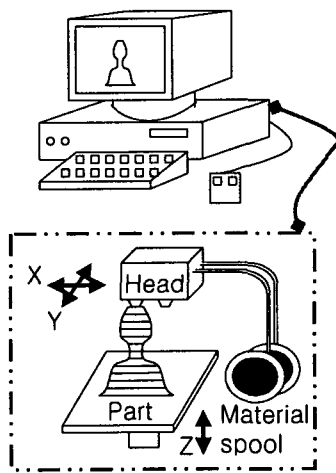


Fig. 1 Structure of FDM system

2.2 사용 소재

FDM 장치에서 사용하는 소재는 일반적으로 ABS, wax, 고무등이 있다. 이 소재들은 열이 가해지면 액화되거나 부드러워지는 것으로, 이용되고 있는 소재의 종류는 다음과 같다.

ABS(P400)은 쾌속 조형시스템에서 기능성 시험이 가능한 시작품을 제작할 수 있는 소재이다. 이 소재는 내충격성, 인성, 열안정성, 내화학성, 강성을 가지고 있어서 견본 부품의 기능 테스트에 사용할 수 있게 한다. 이 재료는 사출금형을 위한 시작 금형을 만들 필요를 없게 하므로 경제적 시간적 이익을 준다. 그리고 ABS 모델은 전통적인 주조방법에서도 이용할 수 있다.

사용자들은 ABS 모델에 기계가공, 드릴, 텀, 도색, 접착, 사포질 등을 할 수 있다. ABS 수지

는 고강성, 고경도, 저수축률, 빠른 응고성 때문에 사출금형에서 유용하며 또한 FDM에도 적합하다. 그리고 다양한 색상의 제품도 만들 수 있다.

ABSi(P500)은 ABS 수지의 특별한 종류로써 ABS와 같은 기능적 특성을 가지고 있으면서, 아이조드 충격시험(Izod impact strength)에서 176J/m (3.3ft-lb/in)의 강도를 가지고있어 ABS(P400)보다도 쾌속 조형에서 요구하는 가장 좋은 충격강도를 가진다. 그리고 내화학성이 있어 의료장비에도 사용한다.

Elastomer(E20)은 열가소성 폴리에스테르 고무로 기계적 강도와 내구성이 요구되는 유연성 있는 요소의 제작에 사용된다. 특히 이 소재는 seal, bushings, 보호용 장화, 호스와 튜브, 완충기, 등에 사용된다. 일반적으로 자동차, 전기, 기계, 전동구, 스포츠 상품, 신발, 비포장 운송기는 시작품의 재료 특성이 제품의 재료에 유사한 것을 필요로 한다. E20은 이런 유연성이 있는 테스트 제품설계에 사용할 수 있게 한다.

Investment Casting Wax (ICW 06)는 산업 표준 investment casting wax로, 재가 아주 적고, 깨끗한 표면을 가진다. 이것은 일반적인 인베스트먼트 주조공정에서 빠른 디왁스를 할 수 있어 주조공정에서 이상적이다.

이상의 소재 중에서 본 연구에서는 FDM 장치에서 일반적으로 사용되는 ABS(P400)을 사용하였다.

2.3 주사패턴

FDM 장치에서 주사 패턴은 3가지형태가 사용하며 그 3가지 패턴은 회전형(Contour type), 왕복형(Raster type), 혼합형(Mix type ; Contour/Raster)이다.

회전형은 2차원적으로 조형된 도형의 외곽을 따라 차례로 내부를 채우는 방식으로 그 조형물의 가장자리를 따라 회전하다 보니 시간이 다른 패턴에 비해 오래 걸린다. 그러나 조형물의 표면 거칠기는 제일 향상된 형태를 나타낸다.

왕복형은 2차원적으로 조형된 도형을 지그재그 모양으로 왕복하여 외곽과 내부를 채우는 방식이다. 이 방식은 조형물의 표면거칠기가 회전형에

비해 불량하게 된다.

그러므로 외곽면을 모두 지그재그로 하면 표면이 불량해지므로 일반적으로 최외곽은 회전형으로 한번 주사하고 내부를 왕복하여 채우는 방식을 많이 사용한다.

혼합형은 2차원화된 조형물에서 최 외곽의 어느 정도 두께는 회전형 방식으로 주사하고 그 나머지 내부는 왕복형 방식으로 채운다. 원칙적으로 왕복형과 혼합형은 구분되나 실제 왕복형의 제작에서는 조형되는 시작품의 표면 거칠기가 불량하게 되어 가장자리를 한번 정도만 주사하게 되므로 수 차례 이상 외곽을 순차적으로 회전적층하고 내부를 채우는 혼합형과 구별된다.

Fig. 2에 FDM에서의 주사패턴을 나타내었다.

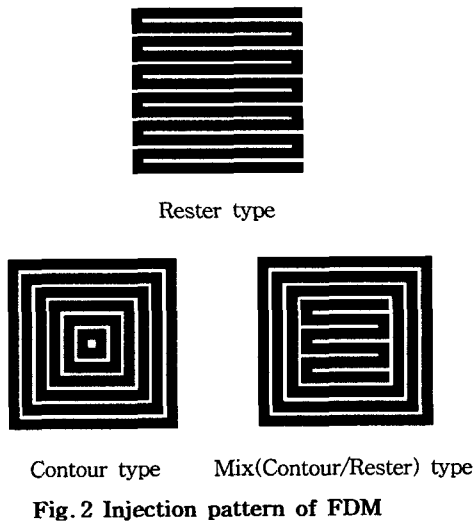


Fig. 2 Injection pattern of FDM

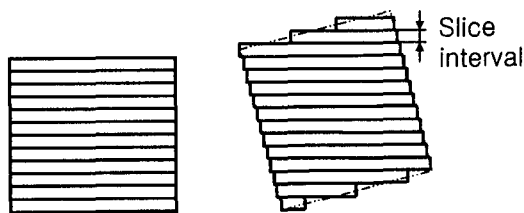


Fig.3 Build position

2.3 Build position

build position은 제작하고자 하는 제품을 챔버 내에 배치하는 방법을 말한다. 이것은 제품이 베

드에 평행한 층단위로 적층되기 때문에 그 배치 방법에 따라 발생하는 계단 형상이 달라진다. Fig. 3에서 사각형 물체를 평행하게 배치한 것과 기울여 배치한 것의 계단형상의 차이를 나타내었다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험 장치

본 연구 사용된 실험 장치는 Stratasys 사의 FDM 3000 이라는 모델로 그 크기는 660(w)×1067(h)×914(d)mm이고 이 장치를 이용하여 제작할 수 있는 최대 부품의 크기는 254×254×406mm이다. 이 장치에는 PC가 제공된다. 이 PC는 STL 포맷으로 만들어진 그래픽 파일을 퀵슬라이스(QuickSlice)라는 소프트웨어를 이용하여 STL 파일의 단면형상으로 변환한다. 그렇게 슬라이싱된 그래픽 데이터는 SSL 파일로 저장된다. 이 과정에서 모델을 배치하고 STL 파일의 오류를 수정한다. 다음 과정으로 서포트(support)를 생성하고 주사 패턴, 팁(Tip)의 종류 등을 설정한다. 이러한 일련의 과정을 거친 데이터는 최종적으로 SML 파일로 저장되어 FDM 장치로 전송되어 시제품으로 제작되어진다.

3.2 실험 방법

실험 모델은 Auto CAD 프로그램을 사용하여 모델링하였고, 그 모델을 STL (Stereolithography)파일로 변환하여 FDM장치에서 사용하는 데이터 형식으로 변환시키는 프로그램인 퀵 슬라이스(QuickSlice) 이용하여 FDM 장치에 필요로 하는 포맷으로 변환한 후 FDM 장치로 실험모델을 제작하였다.

실험에서 FDM장치의 노즐은 두 개를 이용하였다. 그리고 층간격과 주사간격을 설정하였다. 다음의 Table 1은 각 노즐에 대한 층 간격과 주사간격을 나타낸 것이다.

실험모델은 직사각형의 윗면이 평면과 10도에서 90도까지 10도 간격으로 기울기를 달리하여 총 9단계의 각도를 생성시켰다.

실험에 이용한 모델의 모델링 형상을 Fig. 4에 나타내었다.

Table 1 Condition of rapid prototyping

Nozzle No.	Slice interval	Road Width
#12	0.2540	0.315
		0.417
		0.515
#16	0.3556	0.8170
	0.2540	0.4150
		0.8020

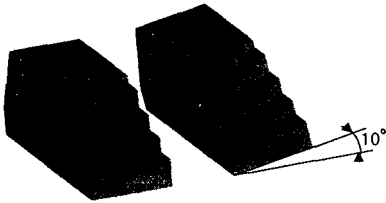


Fig. 4 Test part modeling

제품의 build position을 달리하여 동일한 제품을 제작하였다. Build position을 달리한 각각의 시작모델의 경사면에 대한 표면거칠기를 측정하여 같은 경사각을 가지는 경사면에서의 표면거칠기를 비교하였다. 표면거칠기 측정에는 Mitutoyo사의 축침식 표면조도계 Surfer 800 기종을 사용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 실험결과

서로 다른 build position에 따른 폐속조형품의 주사량 및 각도를 변화시켜 제작한 폐속조형품을 Fig. 5에 나타내었다. 그리고 데이터 값을 Fig. 6, Fig.7, Fig. 8, Fig. 9, Fig.10, Fig. 11, Fig. 12에 그래프로 나타내었다.

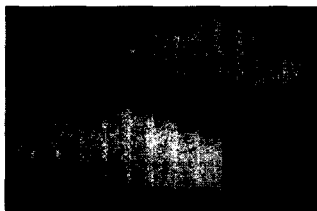


Fig. 5 Rapid prototyping of test part model

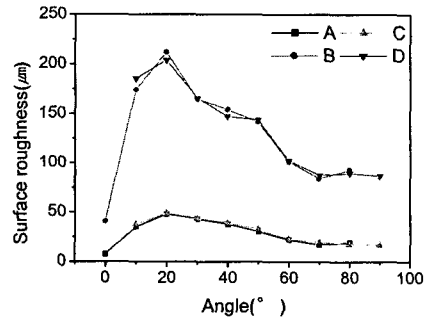


Fig. 6 Result of adjustment angle (#12, R0.315)

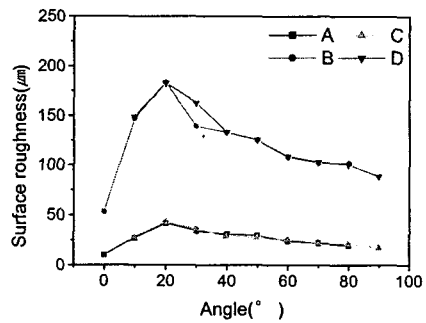


Fig. 7 Result of adjustment angle (#12, R0.417)

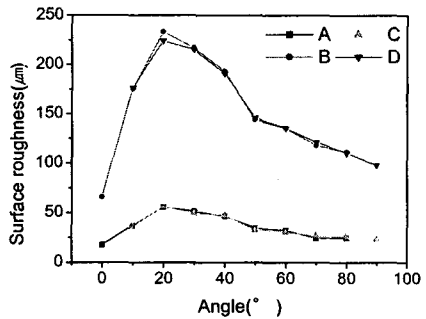


Fig. 8 Result of adjustment angle (#12, R0.515)

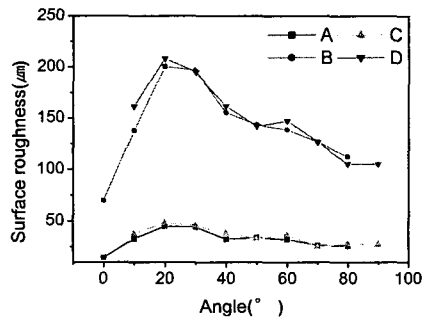


Fig. 9 Result of adjustment angle (#16, S0.3556 R0.817)

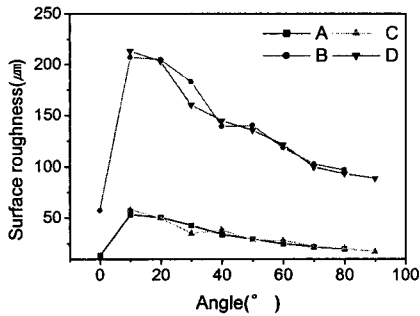


Fig. 10 Result of adjustment angle
(#16, S0.3556 R0.415)

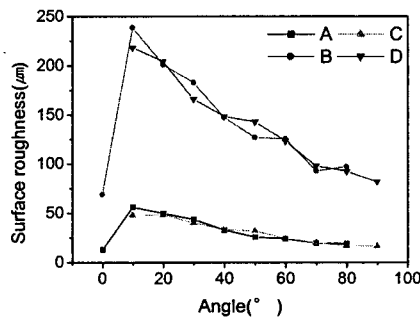


Fig. 11 Result of adjustment angle
(#16, S0.2540 R0.4070)

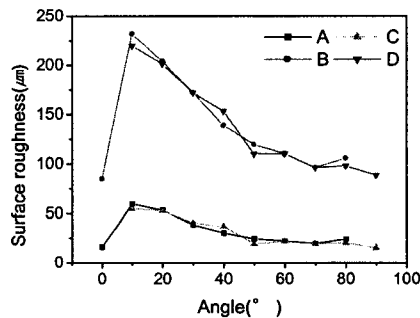


Fig. 12 Result of adjustment angle
(#16, S0.2540 R0.8020)

4.2 실험의 고찰

결과에서 나타난 것과 같이 여러 가지 조건에서 똑같은 형상을 자세를 변화시켜 제작함으로써 각각의 표면 거칠기가 같은 기울기일 경우 거의 일정하게 나타났다. 제작 자세가 변화하여도 형상이 같고 있는 기울기가 표면거칠기에 가장 영향을 주는 요인이기 때문에 사료된다.

5. 결론

본 연구는 FDM장치를 이용한 금속시작품에서 제작 자세의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

실험에서 #12번 노즐을 이용하여 주사간격을 달리하여 각각의 제작 자세를 변화시켜 측정된 결과 주사 간격이 변화하여도 동일한 조건에서 표면의 기울기가 같을 경우 거의 비슷한 표면거칠기 값이 나타났다.

실험에서 #16번 노즐을 이용하여 층각격과 주사간격을 달리하여 각각의 제작 자세를 변화시켜 측정된 결과 층간격과 주사 간격이 변화하여도 표면의 기울기가 같고 동일한 조건에서는 제작 자세가 변화하여도 거의 비슷한 표면거칠기 값이 나타났다.

향후 이러한 연구를 바탕으로 하여 시제품의 제작을 위해 제작 자세를 교정하여 최적의 표면 거칠기를 얻을 수 있는 소프트웨어의 개발이 필요하다 하겠다.

참고 문헌

- 1) Jose F. Rodriguez, James P. Thomas and Jhon F. Renaud, "Mechanical behavior of acrylonitrile butadiene styrene(ABS) fused deposition materials. Experimental investigation," Rapid Prototyping Journal, Volume7. Number 3, pp. 148-158, 2001.
- 2) Chua chee kai and Leong kah fai, "Rapid prototyping," John Wiley & Sons, Inc, pp.95, 1997.
- 3) 변홍석, 신행재, 이관행 "RP 공정의 정밀도 비교 평가" 한국정밀공학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp.330-333, 2000
- 4) 변홍석, 신행재, 이관행 "시작품의 형상정밀도 평가에 관한 연구" 한국정밀공학회 2000년도 춘계학술대회논문집, pp.307-310, 2000
- 5) 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.

6) R.Ippolito, L.Juliano, and Politecnodi Torino, "Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish", *Annals of CIRP*, Vol.44, pp.157-160, 1995.

7) 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.

8) Edit by Stratasys Co. "FDM 3000 Manual", pp. 91-98, 2001.