

## 응착조형법(FDM)에서 주사량이 시제품의 표면거칠기에 미치는 영향

### Study on surface roughness by extrusion quantity at FDM

전재억\*(부경대·원), 김준안(경남정보대), 정진서(부산기능대), 하만경(부경대학교)

Jae Uhk Jun(PuKyung Graduated School), Joon An KIm(Kyongnam Infor. College), Jin Seo Chung(PuSan Polytec. 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 robotically 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 experiment on surface roughness of part at FDM

이러한 쾌속 조형 장치의 시제품 제작은 하드웨어적인 면이나 소프트웨어적인 면에서 제품의 정밀도와 관계하여 많은 개선점을 가지고 있는 것도 현실이다. 그래서 이러한 문제에 대한 해결을 위해 많은 연구가 수행되어지고 있다.

변홍석과 신행재 등은 새로운 파트를 개발하여 각 RP장치에서의 형상정밀도 및 표면 정도를 비교 평가하였다.<sup>(3,4)</sup> Mukesh K. Agrwala 등은 FDM 장치로 생성한 제품의 표면 과 내부에서 발생하는 문제점을 밝혔다.<sup>(5)</sup> R.Ippolito는 3D Systems사에서 제안한 원래의 벤치마크를 사용하여 RP 기술의 치수 정밀도와 표면의 사상을 연구하였다.<sup>(6)</sup>

따라서 본 연구에서는 FDM(Fused Deposition Modeling) 장치를 이용하여 주사량을 변화시켜 시제품 평면의 표면거칠기 변화와 시제품의 경사면이 표면거칠기에 미치는 영향에 대하여 측정·비교·분석하였다.

## 1. 서론

Stratasys사의 응착조형법(FDM)은 자유형상제작 기술의 재료용융법 중 하나이다. 이 공정에서 유연한 필라멘트형상을 한 제품 제작용 재료는 가열되어져서 반응용 상태가 되고, 자동화된 로봇기술로 제어되는 헤드로부터 실내온도가 조절되어지는 챔버속에서 고정 테이블 위에 분사한다. 그 노즐의 위치는 정확한 치수로 만들기 위해서 베이스와 연계되어 제어되고, 복잡한 형상의 모델을 제작 할 수 있다.<sup>(1,2)</sup>

## 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 응착, 적층, 접합시키며, 또한 조형물의 지지를 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.<sup>(7-8)</sup>

Fig. 1은 기본 구조 및 원리를 보여주고 있다.

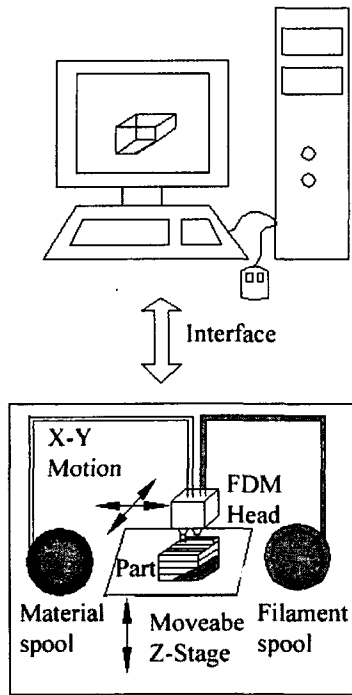


Fig. 1 Structure of FDM system

## 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, 내화학적, 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 수지는 고강성, 고경도, 저수축률, 빠른 응고성 때문

에 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 내화학적성이 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.

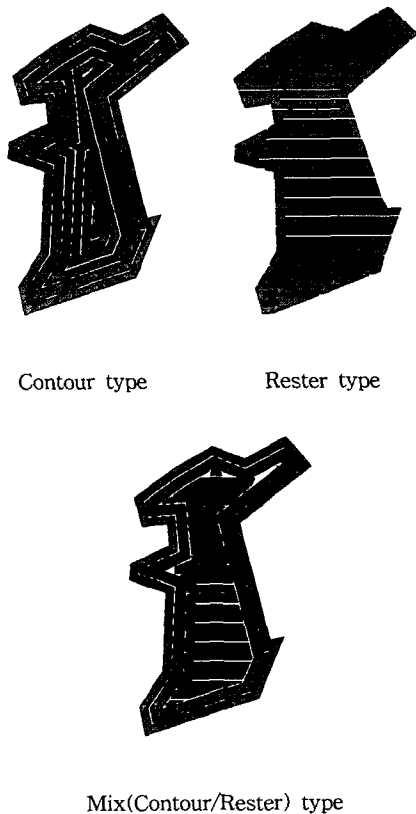


Fig. 2 Injection pattern of FDM

### 2.3 주사량 조절

본 연구에서 주사량의 조절을 위한 방법으로 주사 간격과 층간격을 조절하였다. 그것은 단위 체적당 주사량의 변화를 주기 위해서는 주사 간격의 변화와 층간격이 가장 영향을 미치기 때문

이다.

층간격은 각 층의 두께를 의미하는 것이다. 이것은 주사노즐의 분사직경과도 관계가 있다.

주사간격은 각 주사된 소재간의 간격으로 아래의 Fig. 3에서 나타내고 있다.

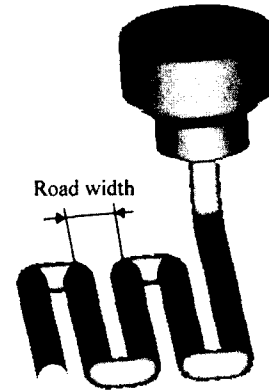


Fig. 3 Road width

## 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

Auto CAD 프로그램을 사용하여 실험모델을 만들고, 그 모델을 STL (Stereo lithography)파일

로 변환한 후 본 실험장비가 제공하는 퀵 슬라이스(QuickSlice)라는 프로그램을 이용하여 FDM 장치에 필요로 하는 포맷으로 변환한 후 FDM 장치로 실험모델을 제작하였다.

실험에서 FDM장치의 노즐은 한 개로 고정하였다. 그리고 층간간격을 2가지로 하였고 각 층간격에 따라 주사간격을 2가지로 하여 총 4개의 제품을 만들었다.

주사량 조절을 위한 층간간격은 0.254와 0.3556로 하였고 주사간격의 변화는 각각에 0.315mm와 0.515mm로 하였다.

실험모델은 직사각형의 윗면이 평면과 1.5도 3도 그리고 5도에서 90도까지 5도 간격으로 기울기를 달리하여 총21단계의 각도를 생성시켰다.

실험에 이용한 모델의 모델링 형상을 Fig. 4에 나타내었다.



Fig. 4 Test part modeling

그리고 시작모델의 각에 대한 표면거칠기를 측정하여 시작품의 각에 대한 표면거칠기를 비교하였다. 그리고 표면거칠기 측정에는 Mitutoyo 사의 측정식 표면조도계 Surfer 800 기종을 사용하였다.

Table 1에 표면조도계의 사양을 나타내었다.

Table 1 Measurement system

Metric system	R
Measuring speed	Auto
Measuring range	600 $\mu$ m
Cutoff value $\lambda c$	0.8mm
Number of sampling lengths	5
Measurement parameter	Ra, Ry

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 실험결과

시작품의 주사량 및 각도 변화에 대한 실험에 의해서 얻어진 표면 거칠기에 대하여 Table 2와 Table 3에 표시하였다.

그리고 각 R Profile 데이터 값을 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 그래프로 나타내었다.

Table 2 Result data of experiment

Slice Interval	0.3556(mm)			
	0.8170(mm)		0.4150(mm)	
Road Width				
Angle( $^{\circ}$ )	Ra( $\mu$ m)	Rmax( $\mu$ m)	Ra( $\mu$ m)	Rmax( $\mu$ m)
0	14.41	69.36	17.46	65.85
1.5	18.00	97.00	23.00	123.00
3	23.14	115.57	31.94	158.21
5	27.78	134.12	35.28	174.25
10	43.72	171.18	43.25	188.94
15	50.33	210.22	51.6	230.6
20	47.37	200.13	43.98	218.95
25	43.11	194.25	44.49	209.14
30	41.21	186.69	41.12	197.86
35	40.3	172.39	38.79	194.69
40	38.32	162.43	37.52	183.48
45	35.53	144.37	36.12	168.49
50	33.8	143.33	34.33	153.23
55	32.66	140.9	34.68	141.37
60	31.75	138.17	32.25	135.15
65	29.74	132.43	28.43	124.35
70	26.15	126.27	24.32	117.85
75	25.09	122.42	28.1	113.95
80	24.64	115.21	24.68	111.15
85	24.01	112.72	20.94	105.45
90	23.74	112.03	22.89	98.15

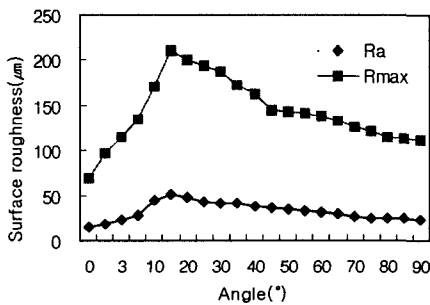
### 4.2 실험의 고찰

결과에서 나타난 것과 같이 한 개의 노즐에서 두 가지 형태의 주사간격·조정에 의한 표면거칠기 비교실험에서는 주사간격이 좁을수록 시제품의 표면거칠기는 개선되는 것으로 나타났다. 이것은 노즐에서의 주사된 소재간의 간격이 좁아짐으로 소재사이의 풀이 두 소재의 겹침으로 깊이가 낮아진 것으로 사료된다.

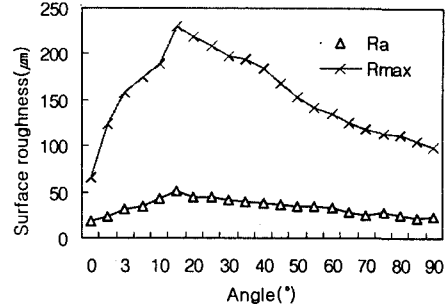
**Table 3 Result data of experiment**

Slice Interval	0.2540			
Road Width	0.8170(mm)		0.4070	
Angle(°)	Ra(μm)	Rmax(μm)	Ra(μm)	Rmax(μm)
0	17.24	82.12	9.83	53.67
1.5	22.00	100.00	23.41	93.00
3	30.48	140.21	25.13	114.85
5	32.45	163.21	31.08	144.13
10	38.37	192.16	36.5	158.1
15	48.98	218.85	44.13	190.3
20	47.78	211.95	41.56	183.15
25	48.09	203.05	38.16	153.5
30	43.07	188.42	33.99	139.15
35	42.9	173.24	30.55	128.25
40	37.73	164.9	34.42	127.58
45	32.82	159.35	29.44	121.4
50	30.55	141.75	29.59	120.1
55	30.56	125.2	28.68	113.65
60	25.09	108.1	24.05	107.7
65	23.15	101.93	26.8	109.1
70	20.25	93.79	21.72	101.9
75	22.5	87.4	21.3	100.65
80	19.22	87.36	19.34	101.8
85	22.21	85.41	18.41	95.71
90	18.6	78.71	16.58	92.8

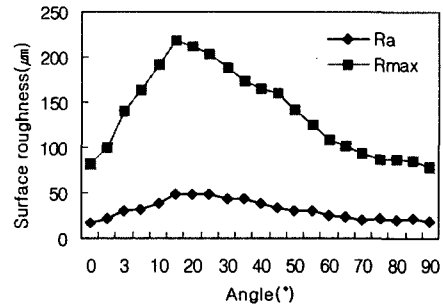
층간격의 변화에서는 층간의 간격이 좁을수록 거칠기가 향상되는 형태를 보이고 있다. 이는 층간의 간격은 적층방식에서 발생하는 층간의 치수 차이에 의한 단위길이에 대한 계단형상 수가 변하기 때문으로 판단된다.



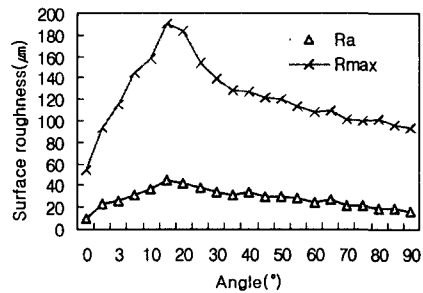
**Fig. 5 Result of adjustment angle**



**Fig. 6 Result of adjustment angle**



**Fig. 7 Result of adjustment angle**



**Fig. 8 Result of adjustment angle**

## 5. 결론

본 연구는 FDM장치를 이용한 금속시작품에서 주사량 변화와 각도변화에 따른 표면거칠기변화를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

실험에서 한 개의 노즐에 대한 주사량 변화에 의한 표면거칠기변화는 주사간격이 좁을수록, 층간격이 좁을수록 좋은 것으로 나타났다.

시제품의 경사면의 각도의 변화에 의해서 발생하는 표면거칠기의 변화는 90° (수평상태)에서 가장 좋은 것으로 나타났고 0° 에서 15° 까지 계속적으로 나빠지고 그 후부터 점진적으로 좋아지는 것으로 나타났다.

향후 이러한 기초연구를 바탕으로 하여 시제품의 생산에서 표면거칠기가 고려되어야 할 곳에 대한 적용과 소프트웨어적인 발전과 하드웨어적인 발전에 도움이 되리라 생각된다.

#### 참고 문헌

1) Jose F. Rodríguez, 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.Luliano, 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) FDM 3000 Manual

8) 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.