

# FDM에서 SLICE INTERVAL이 시작품의 표면에 미치는 영향

하만경\*, 전재익<sup>+</sup>

(논문접수일 2002. 4. 30, 심사완료일 2002. 7. 12)

## The Influence of Surface Roughness on Slice Interval Adjustment at FDM

Man-Kyung Ha\*, Jae-Uhk Jun<sup>+</sup>

### Abstract

The FD process is analogous to the direct piston extrusion process where the cold feed filament acts as a piston, extruding the molten filament from the heated liquefier through a nozzle. The extruded filament is deposited on top of fixtureless platform, where the liquefier and the nozzle move in X and Y direction control by computer based on the part geometry. After the first layer, the Z platform indexes down and the next layer get deposited on top of the first layer. the layer by layer building process introduces surface problem. This paper describes effect of slice interval of the parts built by fused deposition modelling rapid prototyping system.

**Key Words :** FDM(Fused Deposition Modeling, 수지압출식 패속조형), RP(Rapid Prototyping, 패속조형), Slice interval(층간격)

## 1. 서론

패속조형을 이용한 시작품의 제작은 동시공학(Concurrent Engineer)적 차원에서 아주 유용한 방법이다<sup>(1,2)</sup>. 그러한 패속조형법 중의 하나인 FDM (Fused Deposition Modeling)은 기존의 레이저를 이용하는 다양한 종류의 RP들에 비해 가격이 저렴하고 사용상의 환경오염 문제 등을 감소 시켜 주는 방법이다. 그러나 FDM은 소재를 노즐을 통하여 주사하는 방식으로 3차원 형상을 만들기 때문에 노즐의 직경의

한계에 의해 주사된 층간의 두께와 주사된 섬유질(Fiber)간의 간격 등에 의해 평면상태에 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점은 다른 종류의 RP에서도 발생하므로 이러한 문제에 대한 해결을 위해 많은 연구가 수행되어지고 있다<sup>(3,4)</sup>.

하만경, 전재익, 정진서는 FDM장치에서 주사간격과 시작품의 경사가 표면 거칠기에 미치는 영향에 대하여 실험 평가하였다<sup>(5)</sup>. 김준안은 SLA장치와 소프트웨어를 개발하고 조형정밀도 및 표면 거칠기 성능 향상을 위한 연구를 하였다<sup>(6)</sup>. 최만성과 최배호는 LOM 시스템을 이용한 패턴

\* 주저자, 부경대학교 기계공학부 (hmk@pknu.ac.kr)  
주소: 609-739 부산시 남구 용당동 산100번지, Tel: 051-620-1597  
<sup>+</sup> 부경대학교 대학원

제작에서 치수 정밀도와 기계적 강도에 관하여 연구하였다<sup>(7)</sup>. R. Ippolito는 3D Systems사에서 제안한 기본형의 벤치마크를 사용하여 RP 기술의 치수 정밀도와 표면의 사상을 연구하였다<sup>(8)</sup>. S.H. Masood는 FDM 장치를 이용하여 제작한 제품의 체적에러를 측정하고 표면거칠기를 향상하기 위한 방향과 위치 설정을 위해 이론적인 공식에 의하여 계산된 값과 비교하였다<sup>(9)</sup>.

본 연구에서는 FDM장치를 이용하여 제작한 여러 가지 각을 가지는 다각면 형상의 시제품에서 표면 거칠기를 측정하고 같은 형상으로 slice interval을 변화시켜 표면거칠기의 변화를 측정하여 slice interval이 표면거칠기에 미치는 영향에 대하여 실험을 통하여 비교·분석하였다.

## 2. FDM 장치

### 2.1 FDM의 원리

FDM장치의 일반적 형태는 가는 실(filament)과 같은 고상의 열가소성 수지를 고온의 노즐헤드를 통해 액상으로 변

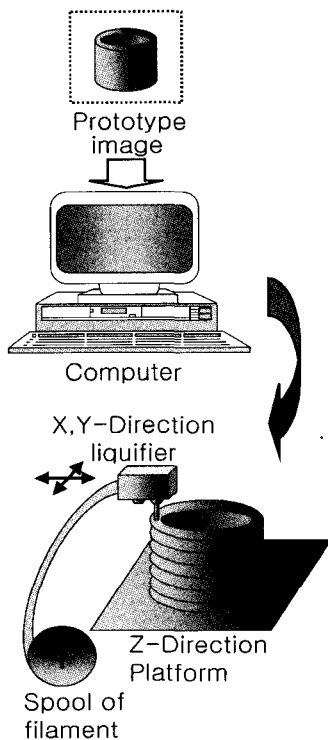


Fig. 1 Structure of FDM system

화시켜 주사하여 가공테이블에 용착, 적층, 접합하며 또한 조형물의 지지를 위하여 다른 노즐로 지지대를 생성시켜 지지대를 포함한 3차원 형태의 시제품을 만든다.

여기서 지지대(Support)를 포함하고 있는 제품을 용해액(Water - based solution)에 담그면 화학적으로 분해되어 지지대가 깨끗이 제거되어 최종제품이 완성된다. FDM장치의 기본 구조 및 원리를 Fig. 1에 나타내었다.

### 2.2 사용 소재

FDM 장치에서 현재 사용하는 재료로는 ABS, wax, 고무 등이 있으며, 이 재료들은 열이 가해지면 액화되거나 부드러워진다. 본 실험에서 사용한 소재는 현재 가장 많이 이용되고 있는 P400이라는 소재로 ABS 수지다. ABS 수지는 내구력이 좋고, 고강도의 재료로 쾌속조형시스템에서는 기능성 시험을 위한 시작품을 제작하는데 적합하다. 그리고 ABS 수지를 이용하여 시제품을 만들면 시작 금형을 만들 필요가 없으므로 사출금형 제작에 필요한 시간과 비용을 절감할 수 있다. ABS 모델은 전통적인 방법에서 목형 대신 이용되기도 한다.

ABSi (P500) 소재는 ABS 수지의 특별한 종류로서 ABS와 같은 기능적 특성을 가지고 있으며, 첨가적으로 아이조드 충격시험(Izodimpact strength)에서 176 J/m (3.3 ft-lb/in)의 강도를 가지고 있어 쾌속조형에서 요구하는 가장 좋은 충격강도를 가진다. 그리고 내 화학성이 있어 의료장비에 사용한다.

Elastomer (E20)소재는 열가소성 폴리에스테르 고무는 기계적 강도와 내구성이 요구되는 유연성 있는 요소로 사용된다. 이것은 Seal, Bushings, 보호용 장화, 호스와 튜브, 완충기, 등에 사용된다. 자동차, 전기, 기계, 전동구, 스포츠 상품, 신발, 비포장 운송기에서 제품의 재료에 유사한 시작품을 요구한다. E20은 이런 유연성이 있는 테스트용 제품의 제작에 사용할 수 있다.

Investment Casting Wax (ICW 06)소재는 산업 표준 investment casting wax와 같은 소재로 재가 아주 적고, 깨끗한 표면을 가진다. 그러므로 일반적인 인베스트먼트 주조 공정에서 빠른 디왁스(De wax)를 할 수 있어 주조공정에 아주 적합하다<sup>(10)</sup>.

### 2.3 주사패턴

FDM 장치에서 주사 패턴은 3가지 형태가 사용되며, 그 3가지 패턴은 회전형(Contour type), 왕복형(Raster type), 혼합형(Mix type; Contour/Raster)이다. Fig. 2에 FDM에서

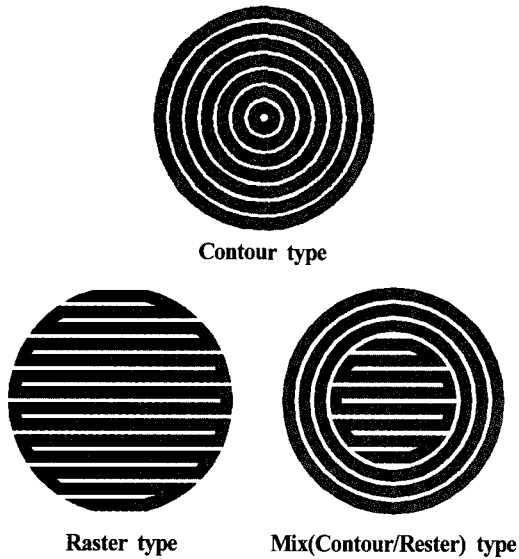


Fig. 2 Injection pattern of FDM

의 주사패턴을 나타내었다.

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

왕복형은 2차원적으로 조형된 도형을 지그재그모양으로 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 회전 적층하고 내부를 채우는 혼합형과 구별된다. Fig. 3에 FDM장치를 이용하여 제작한 제품의 단면형상을 15배 확대한 사진이다.

### 3. 실험장치 및 실험방법

#### 3.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Stratasys 사의 FDM 3000

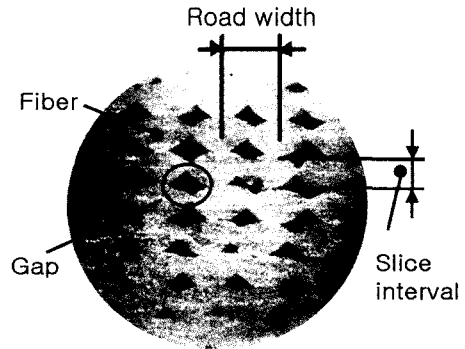


Fig. 3 Cross section of part

이라는 모델로 그 크기는 660(w)×1067(h)×914(d)mm이고 이 장치를 이용하여 제작할 수 있는 최대 부품의 크기는 254×254×406mm이다. 이 장치는 PC를 사용하여 STL (StereoLithography) 포맷으로 만들어진 그래픽 파일을 퀵슬라이스(QuickSlice)라는 소프트웨어를 이용하여 STL 파일을 단면형상으로 변환한다. 그렇게 단면화 된 그래픽 데이터는 SSL 파일로 저장된다. 이 과정에서 모델을 배치하고 STL 파일의 오류를 수정한다. 다음 과정으로 지지대를 생성하고 주사 패턴, 팁(Tip)의 종류 등을 설정한다. 이러한 일련의 과정을 거친 데이터는 최종적으로 SML 파일로 저장되고 FDM 장치로 전송되어 제품으로 생산되어진다<sup>(9)</sup>. 본 연구에서는 FDM 장치에서 일반적으로 사용되는 ABS (P400)을 사용하였다. Table 1에 ABS(P400)의 물성치를 나타내었다. 그리고 실험장치인 FDM 장치를 Fig. 4에 나타내었다.

Table 1 ABS(P400) material specification

Material Specification	Value
Tensile Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	351.55
Elongation(%)	50.00
Softening Point(R&B)(°C)	104.44
Specific Gravity (GMS/CM3)	1.05

#### 3.2 실험방법

시제품의 형상 모델링을 위하여 먼저 AutoCAD 프로그램을 사용하여 실험모델을 만들어 그 모델을 STL(Stereo lithograph)파일로 변환한 후 본 실험장치가 제공하는 퀵슬라이스(QuickSlice)라는 프로그램을 이용하여 FDM 장

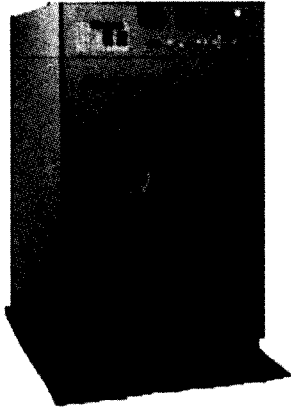


Fig. 4 Picture of FDM 3000

비에서 필요로 하는 SML(Stratasy Modeling Language) 포맷으로 변환한 후 FDM 장치로 실험모델을 제작하였다.

Fig. 5에는 실험에 적합한 모델의 형상을 나타내었다.

실험에서 사용한 FDM장치의 노즐은 현재 범용적으로 널리 사용되고 있는 No. 16 팁을 선정하였다. No. 16 팁은 층간격을 0.254와 0.3556으로 하여 사용할 수 있다. 그리고 조형물의 층간격과 주사간격을 2가지로 하여 똑같은 형태의 실험모델을 각각 4개씩 제작하였다.

Slice Interval(층간격)과 Road Width(주사간격)을 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 Slice interval이 다를 때 주사간격이 차이가 나는 것은 Slice interval의 설정에 따라 주사간격의 크기가 변화였고 또한 소프트웨어에서 일정한 값을 지원하지 않기 때문에 일치시키지 못하였으나 가장 유사한 값으로 설정하였다.

실험모델은 직사각형으로 되어 있는 모델을 각도를 돌려 가면서 붙여놓은 형상이다. 경사각은 0°, 1.5°, 3°와 5°에서 90°까지 5°간격으로 기울기를 달리하여 총21단계의 각

Table 2 Condition of injection

(mm)			
Nozzle No.	Road Width	Model No.	Slice interval
#16	0.4070	1	0.2540
	0.4150	2	0.3556
	0.8020	3	0.2540
	0.8170	4	0.3556



Fig. 5 Test part modeling

도를 생성시켰다.

그리고 시작모델의 경사각에 대한 표면거칠기를 측정하여 각각의 각에 대한 표면거칠기를 비교하였으며, 각 모델의 제작시간도 비교하였다.

표면거칠기 측정에는 Mitutoyo사의 축침식 표면조도계 SV-414 기종을 사용하였다.

Table 3에 측정장치의 사양을 나타내었다.

Table 3 Measurement system

Metric system	R
Measuring speed	Auto
Measuring range	600 μm
Cutoff value λc	0.8mm
Number of sampling lengths	5
Measurement parameter	R <sub>a</sub> , R <sub>y</sub>

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 실험결과

실험에서 제작한 시제품을 Fig. 6에 나타내었다.

1번 조건으로 제작한 시작품의 경사에 대한 표면을 0°에서 90°까지 15°간격으로 현미경으로 10배 확대하여 촬영한 사진을 Fig. 7에 나타내었다.

### 4.2 실험의 고찰

실험의 결과에 나타난 것과 같이 단일 노즐에서 두 가지 타입의 층간격 조정에 의한 5°에서 90°까지의 표면거칠기 비교 실험에서는 시제품의 표면거칠기는 층간격이 작은 경우에 향상되는 것으로 나타났다. 이것은 적층된 층 두께에 의해 경사면에서의 계단형상의 크기가 바뀌기 때문에 표면거칠기 향상을 위한 계단형상의 세밀화에 영향을 주는 것으로 사료된다.

또한, 각각의 경사면의 표면거칠기 측정결과에서는 20°를 전후하여 가장 표면거칠기가 나쁘고 90°까지 점차 개선된다. 이는 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 경사면에서 경사각이

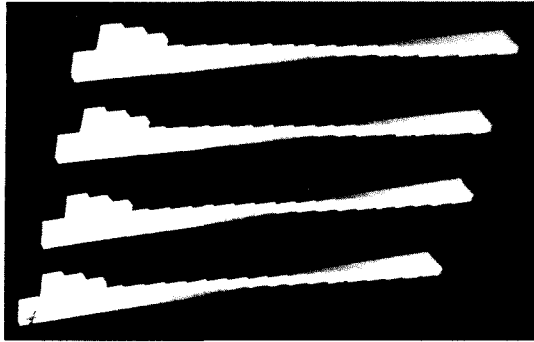


Fig. 6 Test part

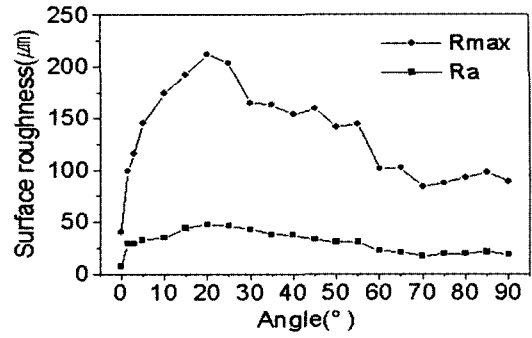


Fig. 8 Roughness of inclined surfaces (Model No. 1)

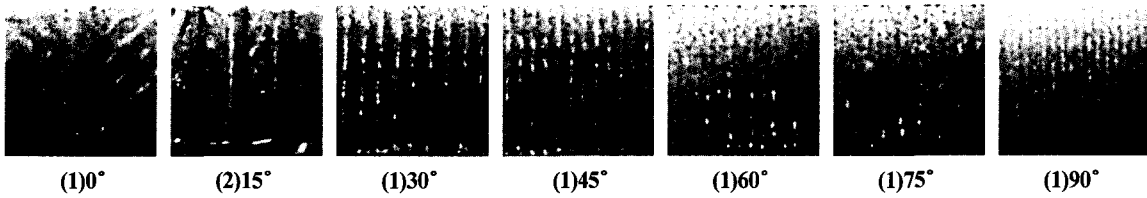


Fig. 7 Inclined surfaces

Table 4 Average roughness of inclined surfaces (Model No. 1)

Slice Interval	0.2540(mm)	
Road Width	0.4070(mm)	
Angle(° )	Ra(μm)	Rmax(μm)
0	7.235	40.55
1.5	29.075	99.3
3	29.3	116.1
5	32.445	145.2
10	35.02	174.2
15	44.21	192.05
20	47.775	211.95
25	46.4	203.05
30	43.07	164.7
35	38.1	163.1
40	37.73	154.3
45	32.82	159.35
50	30.55	141.75
55	30.555	144.25
60	22.255	101.05
65	20.57	101.9
70	16.925	83.85
75	19.13	87.4
80	19.215	93
85	21.05	97.55
90	18.6	88.75

Table 5 Average roughness of inclined surfaces (Model No. 2)

Slice Interval	0.3556(mm)	
Road Width	0.4150(mm)	
Angle(° )	Ra(μm)	Rmax(μm)
0	17.46	65.85
1.5	29.2	116
3	31.935	128.7
5	35.275	149.1
10	36.755	174.9
15	51.596	217.1
20	55.6	233.1
25	52	224.4
30	51.2	217.1
35	50.7	211.2
40	46.3	192.95
45	42.9	180.95
50	34.325	143.8
55	32.7	142.3
60	32.25	135.15
65	28.43	124.35
70	24.315	117.85
75	28.096	113.95
80	24.68	111.15
85	20.94	105.45
90	22.91	98.15

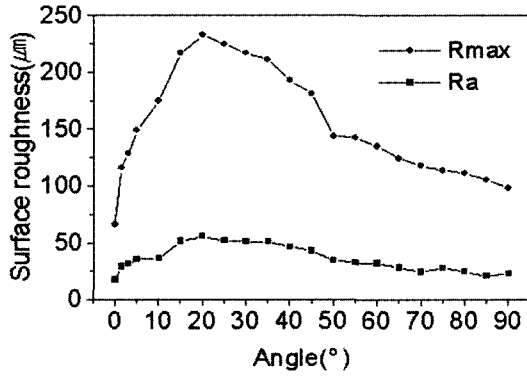


Fig. 9 Roughness of inclined surfaces (Model No. 2)

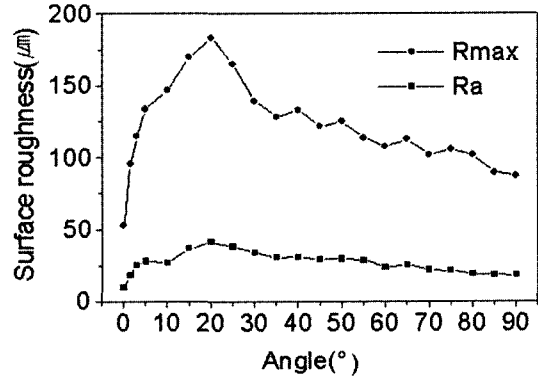


Fig. 10 Roughness of inclined surfaces (Model No. 3)

Table 6 Average roughness of inclined surfaces (Model No. 3)

Slice Interval	0.2540(mm)	
Road Width	0.8020(mm)	
Angle(°)	R <sub>a</sub> (μm)	R <sub>max</sub> (μm)
0	9.825	53
1.5	18.6	95.4
3	25.13	114.85
5	28	133.5
10	27	146.8
15	36.7	169.8
20	41.555	183.15
25	38.16	165
30	33.985	139.15
35	30.55	128.25
40	30.8	132.8
45	29.435	121.4
50	29.59	125.1
55	28.675	113.65
60	24.05	107.7
65	25.4	112.4
70	21.72	101.9
75	21.295	105.6
80	19.34	101.8
85	18.41	89.5
90	18.1	87.1

Table 7 Average roughness of inclined surfaces (Model No. 4)

Slice Interval	0.3556(mm)	
Road Width	0.8170(mm)	
Angle(°)	R <sub>a</sub> (μm)	R <sub>max</sub> (μm)
0	14.41	69.36
1.5	22.4	110.03
3	23.14	115.57
5	27.78	118
10	32.36	137.4
15	40.9	163.7
20	44.8	200.13
25	48	214.63
30	44	196.4
35	42.83	183.4
40	38.32	162.43
45	35.53	144.37
50	33.8	143.33
55	32.66	140.9
60	31.75	138.17
65	29.74	132.43
70	26.15	126.27
75	25.09	121.9
80	25.64	112.03
85	26.01	114
90	25.74	112.03

작을수록 적층되는 층과 층의 수평 간격이 넓고 경사각이 높아질 수록 층과 층사이의 수평간격이 줄어들므로 거칠기가 점점 개선되어야 한다. 그러나 거칠기가 약 20° 이하에서 개선되어지는 현상은 측정장치의 측정범위와 표면거칠기에서의 기준길이에 의해 특정 거리 이상에서는 표면거칠기가

점점 향상되는 현상이라 판단된다.

그리고 조형물의 표면거칠기의 향상을 위한 방안으로서 15° ~ 25° 를 전후한 조형물의 제작에서는 적층두께를 조정하는 등의 기계적 조작이 필요할 것으로 사료된다.

제작 시간의 비교에서는 층간격과 주사간격이 클수록 제

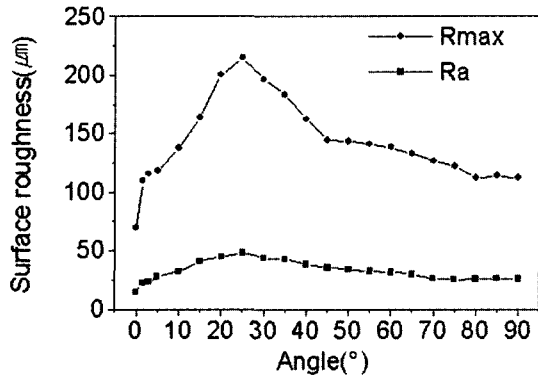


Fig. 11 Roughness of inclined surfaces (Model No. 4)

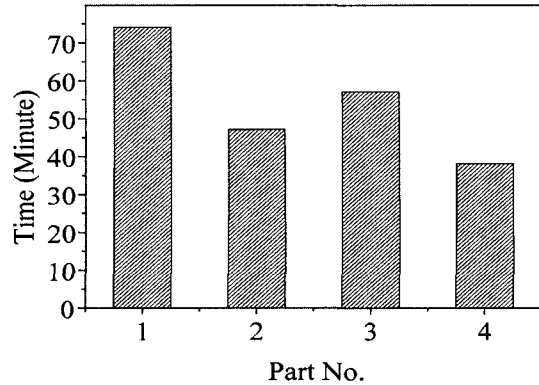


Fig. 12 Required build time

작시간이 감소함을 알 수 있다. 이것은 층간격과 주사간격이 넓으므로 같은 체적에 대한 주사 횟수가 적어지기 때문에 주사 시간이 짧아지는 것으로 사료된다.

### 5. 결론

본 연구는 FDM장치를 이용한 시제품의 제작에서 층간격 변화에 의한 경사면을 가진 시제품의 표면거칠기 변화를 측정 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 층간격변화에 의한 실험에서는 층간격이 적을수록 표면거칠기가 좋아진다.
- (2) 시제품의 표면거칠기는 15° ~ 25°의 경사면을 가질 때 가장 좋지 못했다.
- (3) 제작 시간비교에서는 주사간격이 넓을수록 시간이 줄어든다.

이상의 결과에서 시제품의 제작에서 층간격을 넓게 할수록 표면거칠기는 나빠지지만 제작에 필요한 시간은 감소한다. 그러므로 시제품의 제작에서 요구하는 조건에 따라 표면거칠기와 제작에 걸리는 시간을 비교하여 적합한 조건을 설정하는 것이 좋다.

### 참고 문헌

(1) 정해도 역, “적층시스템: 3차원 카피기술의 신 전개”

성안당, pp. 155 ~ 161, 1996.

(2) Chua Chee Kai, Leong Kah Fai “Rapid Prototyping”, John Wiley & Sons, pp. 7 ~ 9, 1997.

(3) 양동렬, 손현기, “쾌속제품(RP)을 위한 쾌속조형기술의 최근동향”, 한국정밀공학회지, 제17권, 제10호, pp. 5 ~ 10, 2000.

(4) 강재훈, 이찬홍, 신보성, 송창규 “직접 절삭을 위한 FAN 시제품 제작 방식에 관한 연구” 쾌속시작기술연구회 1999년도 춘계학술대회, pp. 7 ~ 12, 1999.

(5) 하만경, 전재익, 정진서 “FDM장치에서 주사간격과 시제품의 경사가 표면거칠기에 미치는 영향”, 한국공작기계학회논문집, 제10권, 제3호, pp. 104 ~ 109, 2001.

(6) 김준안 “급속시작을 위한 광조형시스템 개발 및 성능향상에 관한 연구” 부산대학교 생산기계공학과, 박사학위논문, 1997.

(7) 최만성, 최배호 “LOM 시스템을 이용한 패턴제작에 관한 연구” 한국정밀공학회지, 제18권, 제3호, pp. 47 ~ 52, 2000.

(8) R.Ippolito, L.Iuliano, 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.

(9) S. H. Masood, W. Rattanawong and P. Lovenitti, “Part Build Orientation Based on Volumetric Error in Fused Deposition Modelling”, Adv Manuf Technol, 16, pp. 162 ~ 168, 2000.

(10) Stratasys Co., “FDM 3000 Manual”, pp. 91 ~ 98, 2001.