

FDM 장치에서 주사간격과 시작품의 경사가 표면거칠기에 미치는 영향

하만경*, 전재익**, 정진서***

The influence of surface roughness on injection interval and part angle at FDM

Man-Kyung Ha*, Jae-Uhk Jun**, Jin-Seo Chung***

Abstract

Nowadays, Industrial competition power is depended on that rapidly produce the customized products. Therefore, it is necessary to reduce period of product development. Thus, concurrent engineering that work many process at a time was appeared and Rapid prototyping was appeared, it is method that rapidly produce the prototype. If the graphic model was made by CAD, the prototype can be made in short term. That provide what the part was directly tested by the worker. It provide a worker with believable data.

We study on the influence of surface roughness on injection interval and part angle at FDM.

Key Words : RP(Rapid Prototyping, 쾌속조형), Concurrent engineering(동시공학), FDM(Fused Deposition Modeling, 수지압출식 쾌속조형), Injection interval(주사간격)

1. 서 론

현대 산업사회에서의 경쟁력은 다양하고 빠르게 변화하는 수요자들의 욕구에 부응하여 얼마나 단시간내에 많은 제품을 생산하는가에 달려있다. 그러므로 현대는 과거의 소품종 대량생산 체제에서 다품종 소량생산의 시대로 전환됨에 따라 제품개발에서 기간의 단축은 필수적인 것이 되었다.

이에 제품의 초기 개발부터 생산, 판매에 이르는 전과정에서 순차처리가 아닌 여러 과정을 동시에 처리하는 동시

공학이 등장하게 되었다.^(1,2)

또한, 생산라인은 기존의 방식을 그대로 동시공학에 적용할 수 있지만, 제품 개발 단계에서는 설계의 검토가 정확하고 신속하게 처리되는 것이 중요하므로 3D 그래픽 프로그램들이 나타났다. 그러나 그래픽에서는 발견되지 않거나 발견할 수 없었던 문제가 실제 생산에서 발생함으로써 그래픽작업 만으로 신뢰할 수 있는 자료를 확보할 수 없다.

이로 인해 급속조형법이 나타나게 되었고, 이것은 그래픽적으로 처리만 되어지면 짧은 기간 안에 시제품을 제작

* 부경대학교 기계공학부(hmk@pknu.ac.kr)
** 부경대학교 대학원
*** 부산기능대학 전산응용기계과

할 수 있고, 직접 시제품을 통한 검사가 이루어질 수 있으므로 신뢰성 있는 자료를 제공한다.^(3,4)

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

권광진과 하만경 등은 FDM장치에서 시제품을 제작하여 형상에 따른 표면 거칠기의 변화에 대하여 실험 평가하였다.⁽⁵⁾ 김준안은 SLA장치와 소프트웨어를 개발하고 조형정밀도 및 표면 거칠기 성능 향상을 위한 연구를 하였다.⁽⁶⁾ 최만성과 최배호는 LOM 시스템을 이용한 패턴제작에서 치수 정밀도와 기계적 강도에 관하여 연구하였다.⁽⁷⁾ N.P. Juster는 각 쾌속 조형장비별로 구분하여 장비들의 정밀도를 높이기 위해서 새로운 벤치마크(Bench mark)를 제안하고 쾌속조형을 이용해 파트를 제작하고 측정하여 파트의 크기별로 정밀도를 평가하였다.⁽⁸⁾ R. Ippolito는 3D Systems사에서 제안한 원래의 벤치마크를 사용하여 RP 기술의 치수 정밀도와 표면의 사상을 연구하였다.⁽⁹⁾

본 연구에서는 FDM장치를 이용하여 주사간격 변화에 따른 시제품 평면의 표면거칠기 변화와 다각면을 가지는 시제품에서 제품의 경사각의 변화가 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 변화시켜 주사하여 가공테이블에 용착, 적층, 접합하며

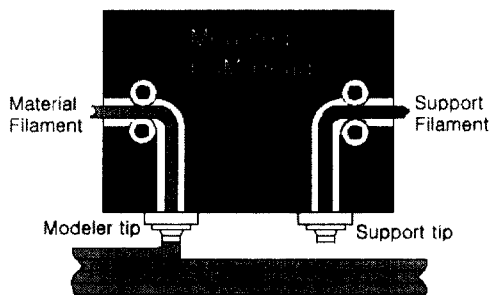


Fig.1 Structure of FDM system

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 담으면 화학적으로 분해되어 지지대가 깨끗이 제거되어 최종제품이 완성된다. 이와같은 FDM 장치의 기본 구조 및 원리를 Fig.1에 나타내었다.

2.2 사용 소재

FDM 장치에서 현재 사용하는 소재는 ABS, Wax, 고무가 있다. 이것들은 열이 가해지면 액화되거나 부드러워진다. 이러한 수지들 중 대표적인 것으로 다음과 같은 수지가 이용되며 각각의 특징은 다음과 같다.

1) ABS(P400)

일반적으로 ABS 수지는 내구력 및 고강도의 모델재료이다. 그래서 쾌속조형시스템에서 기능성 시험이 가능한 시작품을 제작할 수 있다. 이런 ABS수지는 내충격성, 인성, 열안정성, 내화학성, 강성을 가지고 있어서 견본 부품의 기능 테스트 실행을 가능하게 한다. 그러므로 이 재료는 사출금형을 위한 시작 금형을 만들 필요를 없게 한다. 또한 경제적, 시간적 이익을 준다. 그리고 ABS 모델은 전통적인 방법의 주조에도 이용할 수 있다.

2) ABSi (P500)

ABSi수지는 ABS 수지의 특별한 종류로써 ABS와 같은 기능적 특성을 가지고 있으며, 첨가적으로 아이조드 충격 시험(Izod impact strength)에서 176 J/m (3.3 ft-lb/in)의 강도를 가지고 있어 쾌속조형에서 요구하는 가장 좋은 충격 강도를 가진다. 그리고 내 화학성이 있어 의료장비의 제작에 많이 사용한다.

3) Elastomer (E20)

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.

4) Investment Casting Wax (ICW 06)

이 산업 표준 investment casting wax는 재가 아주 적고,

깨끗한 표면을 가진다. 이것은 일반적인 인베스트먼트 주조공정에서 빠른 디악스를 할 수 있어 주조공정에서 이상적이다.⁽¹⁰⁾

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 FDM에서의 주사패턴을 나타내었다.

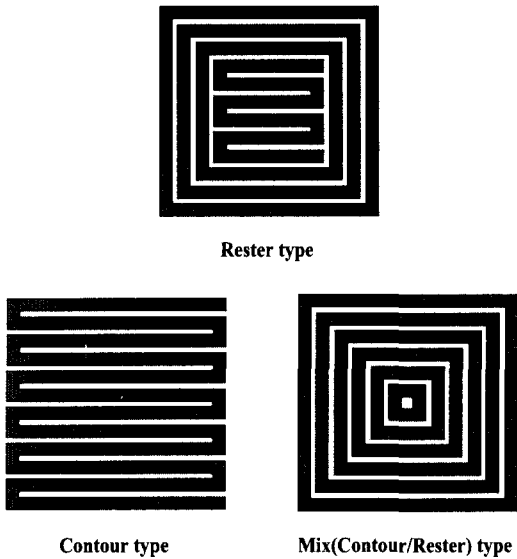


Fig.2 Injection pattern of FDM

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 왕복

형 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.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Stratasys사의 FDM 3000이라는 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 단면화된 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

Table 1 ABS(P400) Material Specification

Material Specification	Value
Tensile Strength(psi)	5,000
Elongation(%)	50.00
Softening Point(R&B)(F)	220
Specific Gravity (GMS/CM3)	1.05

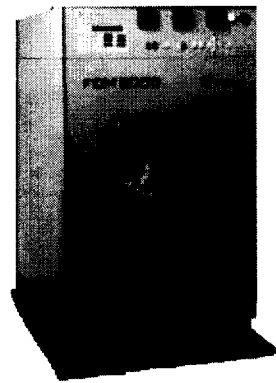


Fig. 3 Picture of FDM 3000

SML 파일로 저장되고 FDM 장치로 전송되어 제품으로 생산되어진다.⁹⁾

본 연구에서는 FDM 장치에서 일반적으로 사용되는 ABS(P400)수지를 시작품 재료로 사용하였다.

Table 1은 ABS(P400)의 물성치를 나타내고 있다. 실험장치인 FDM 장치를 Fig.1에 나타내었다.

3.2 실험방법

본 연구의 실험은 먼저 AutoCAD 프로그램을 사용하여 실험모델을 만들어 그 모델을 STL파일로 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 직경이 0.254mm인 텀 No.12를 선정하였다. 그리고 조형물의 주사간격을 2가지로 하여 똑같은 형태의 실험모델을 각각 3개씩 제작하였다.

주사간격의 변화는 각각 0.315mm와 0.515mm로 하였다.

실험모델은 사각뿔형을 기본으로 각각 면의 경사각이 다르도록 모델링 하였으며, 그 경사각은 5°에서 90°까지 5° 간격으로 기울기를 달리하여 총18단계의 각도를 생성시켰다.

실험에 이용한 다각면 모델의 모델링 형상을 Fig.4에 나타내었다.

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

표면거칠기 측정에는 Mitutoyo사의 축침식 표면조도계 Surfer-test 412 기종을 사용하였다.

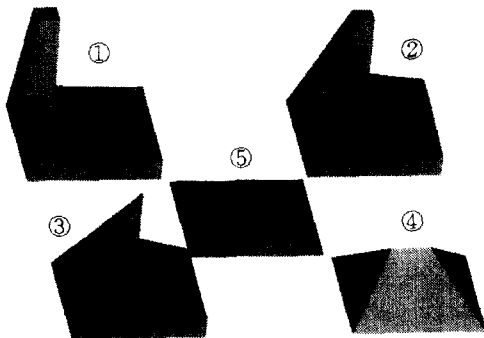


Fig.4 Test part modeling

Table 2에 표면조도계의 사양을 나타내었다.

Table 2 Measurement system

Metric system	R
Measuring speed	Auto
Measuring range	600 μ m
Cutoff value λ_c	0.8mm
Number of sampling lengths	5
Measurement parameter	Ra, Ry

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험결과

시작품의 주사간격 및 각도 변화 실험에서 얻어진 표면 거칠기 결과를 Table 3와 Table 4에 나타내었다.

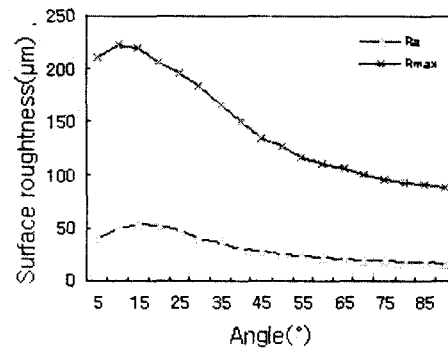


Fig.5 Roughness of inclined surface(Injection interval 0.315mm)

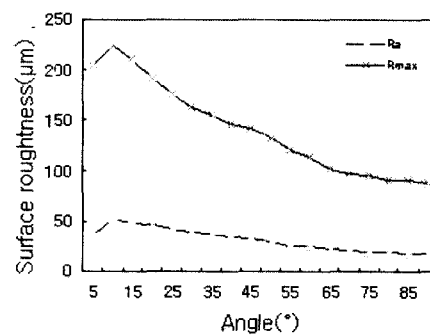


Fig.6 Roughness of inclined surfaces (Injection interval 0.515mm)

결과 데이터 값을 Fig.5, Fig.6에 그래프로 나타내었고, Fig.7 에는 Fig.5, Fig.6을 겹쳐서 비교하였다. Fig.4에서 ①, ②, ③, ④, ⑤번 부품에 대한 제작 시간을 Table 5와 Fig.8에 나타내었다.

4.2 실험의 고찰

실험의 결과에 나타난 것과 같이 단일 노즐에서 두 가지 타입의 주사간격 조절에 의한 5°에서 90°까지의 표면 거칠기 비교 실험에서는 시제품의 표면거칠기는 주사간격이 작은 경우에 약간 향상되는 경향이 것으로 나타났다. 이것은 노즐에서의 주사 간격은 경사면에서의 거칠기 감소에 필요한 계단형상의 세밀화에 영향을 미치기 때문으로 사료된다.

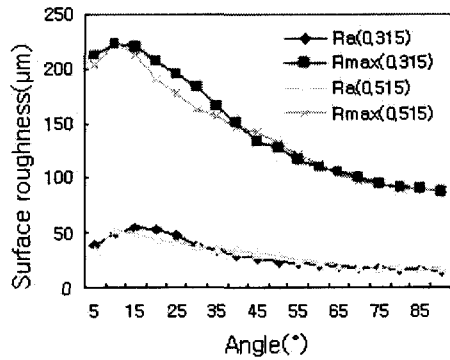


Fig.7 Comparison of roughness of inclined surfaces at injection interval 0.315 and 0.515mm

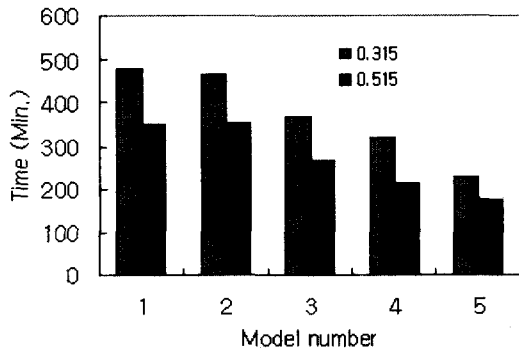


Fig.8 Comparison of Required time (Injection interval 0.315 and 0.515mm)

Table 3 Average roughness of inclined surfaces (Injection interval 0.315mm)

Angle(°)	Ra	Rmax
5	39.2	212.32
10	50.12	224.1
15	54.8	220.7
20	52.59	207
25	46.84	195.62
30	39.14	183.8
35	34.44	166.25
40	29.96	150.7
45	27.43	134.2
50	24.18	127.8
55	22.73	117.6
60	21.67	110.65
65	20.3	106.55
70	19.23	100.5
75	18.76	95.1
80	17.5	92.35
85	17.78	90.52
90	15.4	87.3

Table 4 Average roughness of inclined surfaces (Injection nozzle dia. 0.515mm)

Angle(°Δ)	Ra	Rmax
5	35	204
10	52.87	225.4
15	48.6	212.7
20	45.1	191.2
25	40.66	177.5
30	38.7	163.46
35	36.13	156.3
40	33.81	146.38
45	32.31	142.27
50	29.6	132.4
55	25.4	121.8
60	24.59	113.8
65	21.37	102.8
70	20.4	97.2
75	18.89	94.4
80	19.56	90.8
85	17.69	90.3
90	18.03	88.1

Table 5 Required time
(Injection interval 0.315 and 0.515mm)

Model number	unit(min.)	
	0.315(mm)	0.515(mm)
1	477	348
2	466	352
3	367	266
4	319	213
5	227	176

또한, 다각면 조형물 제작에서의 실험결과는 데이터와 같이 15°를 전후하여 가장 표면거칠기가 나쁘고 90°까지 점차 개선된다. 이는 다각면 형상의 시제품에서 각이 작을 수록 적층되는 층과 층의 수평적 간격이 줄어들므로 거칠기가 약 15°까지 나빠지는 현상이라 판단된다.

그러나, 15°이상에서는 계단형상의 특성상 각 적층 두께에 따라 계단의 끝점과 골의 깊이가 짧아짐에 의해 나타난 현상이다. 그러므로 15°보다 큰 각에서는 그 깊이가 짧아지게 되어 표면거칠기가 향상된다.

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

제작 시간의 비교에서는 주사간격이 0.315보다 0.515에서 최소 22%이상의 시간 절감 효과를 볼 수 있다. 이것은 주사간격이 넓으므로 같은 면적에 대한 주사 레적이 짧아지기 때문에 주사 시간이 짧아지는 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 FDM장치를 이용한 급속시작품의 제작에서 주사간격 변화와 각도변화에 따른 표면거칠기 변화를 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 다각형의 조형물 실험결과에서는 15°를 전후하여 표면거칠기가 가장 불량하고 이 각을 기점으로 90°까지 점차 감소한다.
- (2) 단일 노즐에 대한 주사간격의 변화실험에서는 표면거칠기가 향상되는 것으로 나타났다. 그러나 표면거칠기의 향상의 폭은 그다지 높지 않았다.
- (3) 각 모델의 제작시간에 대한 평가실험에서는 주사간격이 넓어짐에 따라 평균 27%의 제작 시간이 감소되었다.

본 연구에서는 단순한 각면을 이용하였다. 그러므로 평면과 곡선면 등과 같은 형상의 변화와 지지대 등에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 그리고 결과에서 알 수 있는 15°에서 거칠기가 나빠지는 원인을 분석하여 수식화하여 예측이 가능하도록 하는 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- (1) 양동렬, 손현기, "패속제품(RP)을 위한 패속조형기술의 최근동향", 한국정밀공학회지, 제 17권, 제 10호, pp.5-10, 2000.
- (2) 강재훈, 이찬홍, 신보성, 송창규 "직접 절삭을 위한 FAN 시작품 제작 방식에 관한 연구" 패속시작기술 연구회 1999년도 춘계학술대회, pp. 7-12, 1999.
- (3) 정해도 역, "적층시스템: 3차원 카피기술의 신 전개" 성안당 pp.155-161, 1996.
- (4) Chua Chee Kai, Leong Kah Fai " Rapid Prototyping", John Wiley & Sons, pp.7-9,1997.
- (5) 권광진, 외 4인 "FDM 장치에서 주사량과 시제품의 경사가 표면거칠기에 미치는 영향" 한국공작기계학회 2001년도 춘계학술대회 논문집, pp.300 -305, 2001.
- (6) 김준안 "급속시작을 위한 광조형시스템 개발 및 성능향상에 관한 연구" 부산대학교 생산기계공학과, 박사학위 논문, 1997.
- (7) 최만성, 최배호 "LOM 시스템을 이용한 패턴제작에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제 18권, 제 3호, pp.47-52, 2000.
- (8) N.P. Juster and Accuracies from Layer Manufacturing". Annals of the CIRP, Vol T.H.C. Childs, Linear and Geometric. 43, pp.163-166, 1994.
- (9) 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.
- (10) edit part, "FDM 3000 Manual." Strasys, co. pp.91-95, 2001.