

# FDM에서 주사량 변화가 쾌속조형물의 표면거칠기에 미치는 영향

## Influence of Injection Amount Variation on Surface Roughness at FDM

하만경, 전재익

M. K. Ha and J. U. Jun

**Key Words** : FDM(용착조형공정), Rapid Prototyping(쾌속조형), Road Width(주사간격), Slice Interval(층간격), Injection Amount(주사량)

**Abstract** : The principle of the FDM(fused deposition modeling) process is based on the layer by layer manufacturing technology, like other RP(rapid prototyping) process. In the FDM process, each layer may have different shape. Therefore, the built model may have stairs shape on its surface. This stairs shape is one of the serious problems in the FDM process. Thus in this study, cube models and spherical models were fabricated by FDM process to investigate the influence of injection amount on surface roughness. Models with various road width were also built to investigate the influence of road width on surface roughness. Surface roughness of the models was measured and analyzed. The result obtained in this study are expected to help selecting the part build orientation for optimum surface roughness.

### 1. 서 론

동시공학의 개념은 상품개발의 컨셉트를 결정하는 단계로부터 구체적인 의장 설계, 상품 설계, 금형 제작, 생산 준비에 이르는 각 프로세스에 있어서 업무를 동시 병행적으로 진행시킴으로 개발 기간을 단축하기 위한 것이다. 이런 동시공학에 가장 부합하는 것이 바로 RP(Rapid Prototyping) 기술이다.<sup>(1-2)</sup> 현재 상용화되고 있는 RP 기술은 광조형법(SLA: Stereo lithography), 용착조형공정(FDM: Fused Deposition Modeling), 선택적 레이저 소결법(SLS: Selective Laser Sintering), 3차원프린팅공정(3DP: 3 Dimensional Printing) 및 시트 적층공정(LOM: Laminated Objecting Manufacturing)등이 있다.<sup>(3-6)</sup> 여기서 FDM은 필라멘트형의 수지를 가열하여 단면 형상을 만드는 방식이다. FDM은 레이저를 사용하지 않는 수지압출을 이용한 적층방식으로 장치의 가격 및 유지비용에 있어서 유리하지만 적층방식과 수지간의 용착 상태에 따른 강도 및 제품

의 크기에서 문제를 가지고 있으며 특히 표면거칠기에 한계가 있는 것이 가장 큰 문제점이다. 이러한 문제는 모든 쾌속조형법에서 동일하게 나타나는 문제이며, 이러한 표면거칠기 문제를 해결하기 위한 국내외 RP장치의 정밀도 평가에 대한 연구를 살펴보면 R. Ippolite 등은 3D System사에서 정한 벤치마크용 파트를 이용하여 정밀도 및 표면거칠기를 평가하였다.<sup>(7)</sup> 그리고, N. P. Juster 등은 RP 공정의 정밀도를 비교하기 위해 시제품을 만들어 파트의 크기 별로 측정, 평가하였다.<sup>(8)</sup>

본 연구에서는 두 개의 주사노즐을 이용하여 주사량을 변화시키면서 시제품을 제작하여 제품의 평면과 곡면부위의 표면거칠기 변화를 측정하고 비교하였다. 그리고 측정비교 된 데이터를 기초로 하여 제품의 생산 시 보다 좋은 표면거칠기의 제품을 생산할 수 있는 데이터의 구축과 그 방향을 제시하였다.

### 2. FDM 장치

#### 2.1 FDM의 원리

FDM 장치의 재료는 실패에 실이 감겨져 있는 것 같은 형태로 되어있으며, 이 실패상의 재료는

접수일 : 2002년 1월 5일

하만경 : 부경대학교 기계공학부

전재익 : 부경대학교 대학원

FDM 헤드로 주입된다. 헤드는 재료를 용융 할 수 있는 온도로 가열되어 재료를 용융 시킨다. 이렇게 용융된 재료는 X Y방향으로 이동하는 헤드에서 노즐을 통하여 주사되고, Z 방향으로 베드(Bed)가 내려가면서 층단위로 단면 형상을 만든다. 이런 과정을 반복하여 Z(높이)방향으로 적층하게 되면 실제 모델이 만들어지게 된다.<sup>(9)</sup>

또한 조형물의 지지를 위하여 다른 노즐로 지지대를 생성시켜 지지대를 포함한 3차원 형태의 가공물을 만든다. 여기서 지지대(Support)를 포함하고 있는 제품을 용해액(Water based solution)에 담그면 지지대가 화학적으로 분해되어 지지대가 깨끗이 제거되어 최종제품이 완성된다.

기본 원리를 Fig.1에 나타내었다.

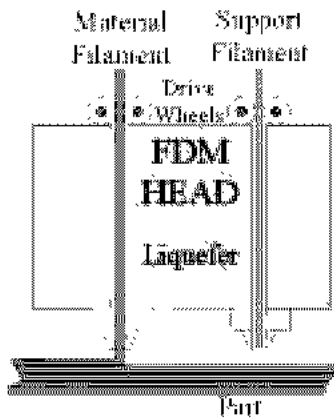


Fig. 1 Structure of FDM system

### 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 ABS 수지다. ABS 수지는 내구력이 좋고, 고강도의 재료로 폐속조형시스템에서는 기능성 시험을 위한 시제품을 제작하는데 적합하다. 그리고 ABS 수지를 이용하여 시제품을 만들면 시작 금형을 만들 필요가 없으므로 사출금형 제작에 필요한 시간과 비용을 절감 할 수 있다. ABS 모델은 전통적인 방법에서 목형 대신 이용되기도 한다.

### 2.3 주사간격과 층간격

주사간격(Road width)과 층간격(Slice interval)은 폐속조형 법에서 중요한 요소이다. 주사간격은 주사된 수지의 섬유질(Fiber)간의 간격을 말하므로

제작된 제품의 다공성을 결정하고 제품의 강도를 좌우한다. 층간격은 각 층간의 간격을 나타내는데 노즐의 직경에 따라서 절정 범위가 다르다. Fig. 2에서 주사간격과 층간격을 나타낸다.

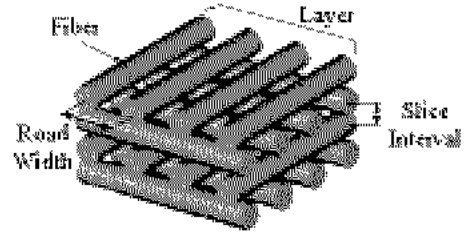


Fig. 2 Schematic of internal architecture

### 2.4 주사패턴

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

왕복형은 슬라이싱(Slicing)에 의해 2차원적으로 조형된 단면형상을 지그재그방식으로 왕복하여 채우는 방식이다. 이 방식은 조형물의 표면의 거칠기가 회전형에 비해 불량하다.

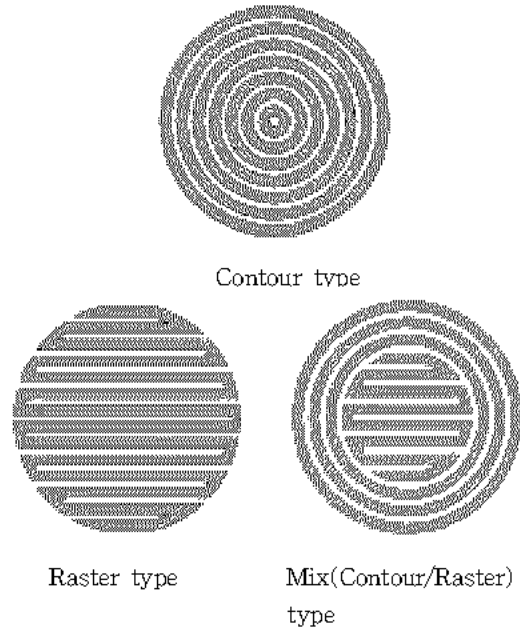


Fig. 4 Injection pattern of FDM

그러므로 일반적으로 최외곽은 회전형으로 한번 주사하고 내부를 왕복하여 채우는 방식을 사용한다. 회전형은 슬라이싱에 의해 2차원적으로 조형된 단면형상의 외곽을 따라 차례로 내부를 채우는 방

식으로 그 조형물의 가장자리를 따라 회전하므로 다른 패턴에 비해 시간이 오래 걸린다. 그러나 조형물표면의 거칠기는 가장 향상된다.

혼합형은 슬라이싱에 의해 2차원적으로 조형된 단면형상을 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 혼합형과는 구별된다.

Fig. 4에 FDM에서의 주사패턴을 나타내었다.

### 2.5 계단형상

쾌속조형법에서는 각 층간의 형상 차이에 의해서 계단형상이 발생한다. 경사면과 구형에서 발생하는 일반적인 계단형상을 간략히 나타내면 Fig. 5와 같다. 그러나 FDM에서는 원형 노즐에서 주사하므로 계단형상에 각이 없고 원형의 라운드(Round)가 저있다.

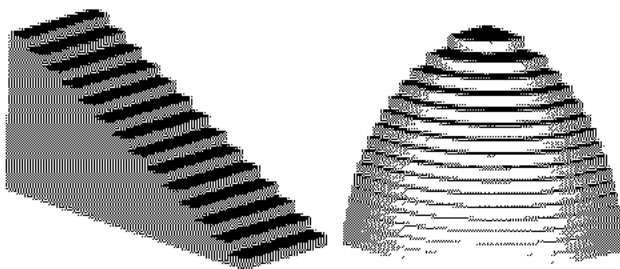


Fig. 5 Stair stepping

## 3. 실험 장치 및 실험 방법

### 3.1 실험 장치

본 연구에서 사용한 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 연결되어 있다. 이 PC는 STL (Stereo lithograph) 포맷으로 만들어진 그래픽 파일을 퀵슬라이스(QuickSlice)라는 소프트웨어를 이용하여 STL 파일을 단면형상으로 변환한다. 이러한 과정에서 모델의 위치를 설정하고 STL 파일의 오류를 수정하고 서포트(Support)를 생성하고 주사 패턴, 팁(Tip)의 종류 등을 설정한다. 이러한 일련의 과정을 거친 데이터는 최종적으로 SML(Stratasys Modeling Language) 파일로 저장되고,

FDM 장치로 전송되어 제품으로 생산되어진다.<sup>(10)</sup> 실험에 이용한 FDM 장치를 Fig. 6에 나타내었다.

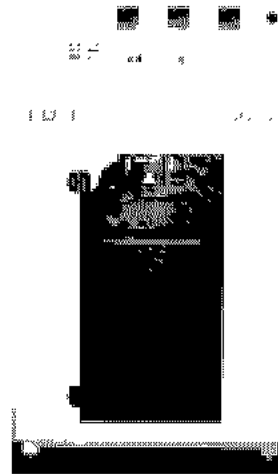


Fig. 6 Photo of FDM 3000

### 3.2 실험 방법

본 연구의 실험은 먼저 AutoCAD 프로그램을 사용하여 실험 모델을 만들어 그 모델을 STL파일로 저장한 후 본 실험장비가 제공하는 프로그램인 퀵슬라이스를 이용하여 FDM 장비에 필요로 하는 포맷으로 변환하여 FDM 장치에 데이터를 전송하여 실험모델을 만들었다.

모델제작에서는 두 가지 노즐을 사용하여 각 노즐에 맞는 층간격을 설정하고 각 층간격에서 주사간격을 조절하여 제작하였다. 노즐의 종류와 층간격과 주사간격을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Condition of injection

Nozzle No.	Slice interval(mm)	Road Width(mm)
#12	0.2540	0.315
		0.417
		0.515
#16	0.3556	0.8170
		0.4150
	0.2540	0.4070
		0.8020

실험모델은 구형의 지름은 25mm로 하였고, 육면체는 20×35×20mm로 모델링 하였다.

실험에 이용한 육면체와 구형의 모델링 형상을 Fig. 7에 나타내었다.

시작모델의 표면거칠기를 측정하여 시작품의 주사간격의 변화에 대한 표면거칠기를 비교하였다. 측정 위치는 구형의 경우 중심의 수평에서 45°방향에 해

당하는 표면의 표면거칠기를 측정하였다. 그리고, 육면체는 상부 평면의 표면거칠기를 측정하였다. 측정 중 피측정물이 약간 기울어짐에 의해 발생할 것으로 생각되는 오차는 중심선 평균거칠기(Ra)와 최대높이(Rmax)의 특성상 문제가 되지않는다. 중심선 평균거칠기는 중심선으로부터 상하의 면적의 합을 기준 길이로 나누는 방식으로 피측정물이 기울어진다고 해도 측정값에 영향을 주지 않는다. 최대높이 또한 최고치와 최저치의 차를 나타내는 것으로 약간의 피측정물의 기울어짐은 영향을 미치지 않는다.

간격 조정 실험에서 평면의 표면 조도는 같은 조건에서 층간격이 작을수록 표면거칠기가 향상되었다. 그리고 거칠기 값의 향상 폭은 주사간격 조정에 의한 값 보다 크게 나타났다.

구형제품 제작의 실험결과는 여러 가지 조건의 실험에서 표면거칠기 값이 일정한 형태를 나타내지 않고 있다. 그러나 FDM 장치를 이용한 층간격과 주사간격 조정 실험은 실험에 이용된 두 가지 변수 모두가 시제품의 표면정도에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

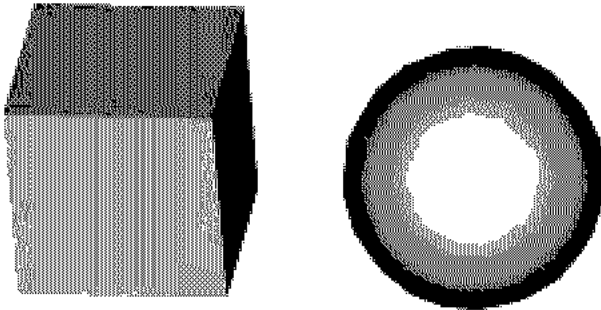


Fig. 7 Models of test part

표면거칠기 측정에는 Mitutoyo사의 축침식 표면조도계 Surfer 414 기종을 사용하였다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

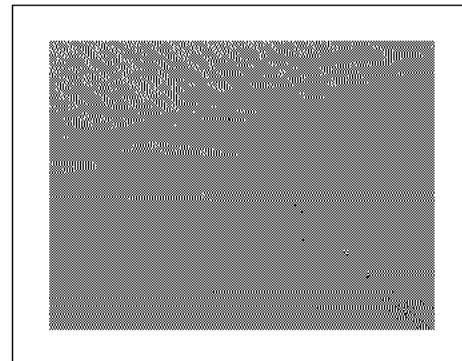
##### 4.1 실험결과

본 실험에서 제작된 #12번 노즐을 이용하여 제작한 시제품의 평면의 표면의 사진을 Fig. 8에 나타내었다. 아래에 R은 Road Width를 나타낸다.

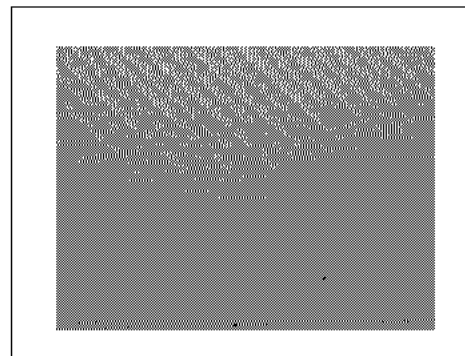
##### 4.2 실험의 고찰

시제품의 주사간격의 변화에 대한 평면에서의 표면거칠기를 Fig.8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11에 나타내었다. Fig.8, Fig. 9에는 직육면체의 윗면을 측정된 실험 데이터를 나타내었고 Fig. 10, Fig. 11에는 25mm의 구에 대한 표면거칠기 측정데이터를 나타내었다.

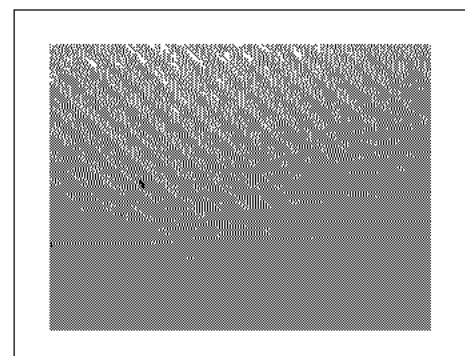
주사간격 조정에 의한 2차원 평면의 표면 조도 분석 실험에서는 주사간격이 작을수록 시제품의 표면거칠기가 향상되었다. 그러나 향상 폭은 크지 않은 것으로 나타났다. 적층시 주사간격 조절을 이용한 주사량조정에 의한 표면 거칠기 변화는 크게 만족할 만큼의 좋은 결과를 얻지 못하겠지만 미소한 효과는 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 층



(a) R 0.315



(b) R 0.417



(c) R 0.515

Fig. 8 Surface of test part

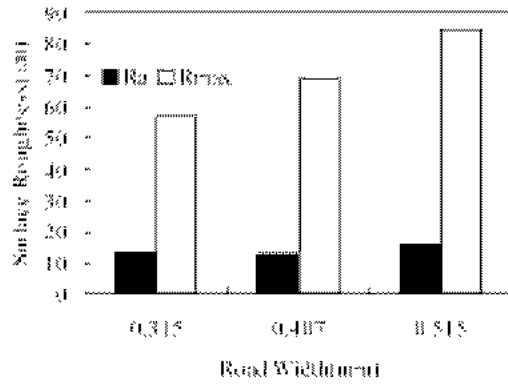


Fig. 8 Comparison of surface roughness (Slice interval 0.254(mm), plane, #12)

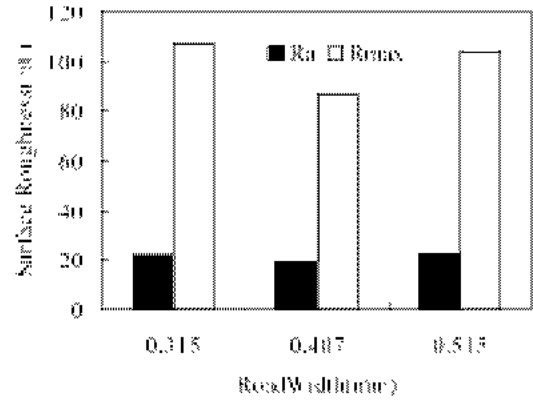
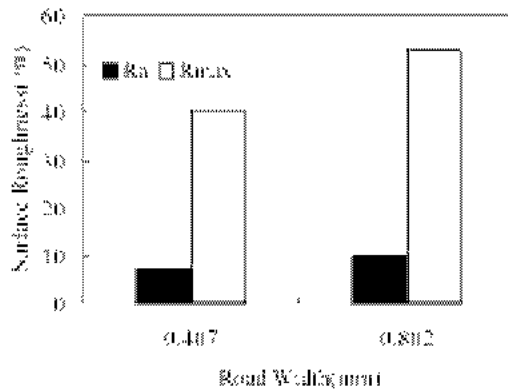
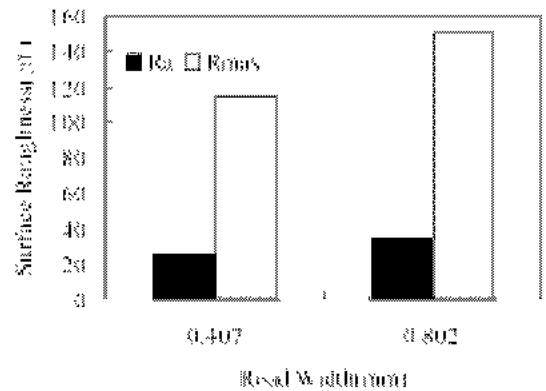


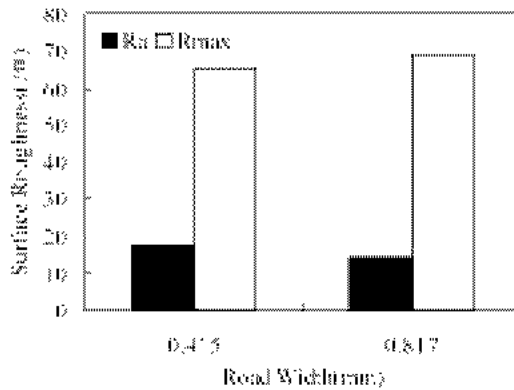
Fig. 10 Comparison of surface roughness (at Slice interval 0.254(mm), Sphere, #12)



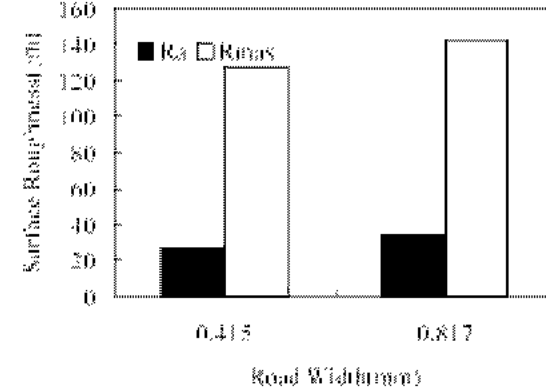
(a) Slice interval - 0.3556(mm)



(a) Slice interval - 0.3556(mm)



(b) Slice interval - 0.2540(mm)



(b) Slice interval - 0.2540(mm)

Fig. 9 Comparison of surface roughness (Slice interval 0.3556, 0.2540, Plane, #12)

Fig. 11 Comparison of surface roughness (Slice interval 0.3556, 0.2540, Sphere, #16)

그러므로 FDM장치를 이용한 쾌속조형제품의 제작에서는 이 두 가지의 조형 변수를 적절히 적용하면 보다 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 논문은 FDM장치를 이용하여 급속 조형되는 시제품의 제작에서 층간격 과 주사간격의 변화를 통한 주사량 조절에 따른 시제품의 표면 거칠기

변화에 대한 분석 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 층간격 변화에 따른 직육면체의 표면 정도 분석 실험에서는 층간격이 작아짐에 따라 그 제품의 표면거칠기 값도 감소하였다.
- 2) 주사간격 변화에 따른 직육면체의 표면 정도 분석 실험에서도 주사간격이 작아짐에 따라 제품의 표면거칠기 값이 감소되었다.
- 3) 3차원 구형 시제품의 제작 실험에서는 층간격과 주사간격이 감소함에도 불구하고 표면 거칠기 값의 변화는 일정한 형태를 나타내지 않는다.
- 4) 결론적으로 본 실험에서 행한 층간격과 주사간격의 변화에 의한 주사량 조정 실험에서는 2차원 평면체의 표면 거칠기는 주사량 조정에 의해 보다 나은 표면 거칠기를 얻을 수 있으나, 구형체의 제작에서는 주사량 조정만으로는 표면 거칠기가 향상되지 않았다.

또한 시제품의 표면 정도의 향상 폭을 증가시키기 위해서는 여러 가지 조건에서의 표면거칠기에 대한 다양한 실험이 수반되어야 하며, 이러한 데이터를 기반으로 한 FDM 장치와 소프트웨어의 개발에 대한 다양한 연구가 더 많이 수행되어야 할 것이다. 그리고 차후 연구 방법의 하나로 적층 계단형상의 차를 줄이기 위하여 다양한 직경의 노즐 적용 및 정확한 분사량의 제어 등의 주사량 제어 소프트웨어의 개발과 노즐의 정확한 위치를 제어할 수 있는 장치의 개발 등에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 논문은 2001학년도 부경대학교 기성회 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

## 참고 문헌

1. 강재훈, 이찬홍, 신보성, 송창규, "직접 절삭을 위한 FAN 시제품 제작 방식에 관한 연구", 쾌속시작기술연구회 1999년도 춘계학술대회 논문집, pp. 7~12, 1999
2. 정해도 역, "적층시스템: 3차원 카피기술의 신전개", 성안당, pp. 155~161, 1996
3. 양동렬, 손현기, "쾌속제품(RP)을 위한 쾌속조형기술의 최근동향", 한국정밀공학회지, 제17권, 제10호, pp. 5~10, 2000

4. 이은덕, "쾌속 조형 기술의 동향" 월간 프레스기술, 제 3월호, pp. 15~28, 2001
5. 하만경, 전재익, 정진서, "FDM 장치에서 주사간격과 시제품의 경사가 표면거칠기에 미치는 영향" 한국공작기계학회논문집, Vol. 10, No. 5 pp. 104~109, 2001
6. 심운섭, "RP산업의 또 다른 대안, NC", CAD & Graphics, 제 10월호, pp. 62~64, 2001
7. R. Ippolito, L. Iuliano and P. Torino, "Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish", Annals of CIRP, Vol. 44, pp. 157~160, 1995
8. N. P. Juster, "Accuracies from Layer Manufacturing". Annals of the CIRP, Vol T. H. C. Childs, Linear and Geometric. Vol. 43, pp.163~166, 1994
9. C. K. Chua and K. F. Leong, "Rapid Prototyping", John Wiley and Sons, Inc., pp. 7~9, 1997
10. Stratasys Co. "FDM 3000 Manual", pp. 91~98, 2001