

RP 공정의 정밀도 비교 평가

변홍석*, 신형재, 이관형 (광주과학기술원 기전공학과)

Comparison of Accuracy of RP Processes

Hong-Seok Byun, Heng-Jae Shin, Kwan-Heng Lee(K-JIST)

ABSTRACT

Dimensional accuracy and surface quality are very important in rapid prototyping especially when the models are used for the production of tools. This paper presents the development of benchmarking part to investigate dimensional accuracy and surface finish. A new test part is designed to perform benchmarking of major rapid prototyping processes such as selective laser sintering, laminated object manufacturing, stereolithography apparatus, and fused deposition modeling. The test part design includes basic manufacturing features such as holes, walls, squares, cylinder and etc. In addition, the small features are included in order to evaluate the fine details that can be manufactured by a specific RP process. The CMM program that automatically measures different features in the test part is also developed. The evaluation of accuracy as well as surface roughness are discussed for major rapid prototyping processes.

Key Words : Rapid prototyping(쾌속조형), Test part(테스트 파트), Surface roughness(표면거칠기), Accuracy (정밀도), CMM(3 차원 측정기)

1. 서론

오늘날 소비자의 기호에 따라 제품 모델의 다양화 및 빈번한 제품 설계 변경이 절실히 요구되고 있다. 이러한 현상들은 모든 산업전반에 걸쳐 뿌리를 내리고 있고, 경쟁이 치열해짐에 따라 산업체들은 제품의 설계에서부터 시작품 생산에 이르기까지 제품개발에 소요되는 시간과 비용을 절감하려고 하고 있다. 이러한 시장의 요구에 능동적으로 대처하기 위해서, 제품 적응력을 제고할 수 있는 쾌속조형시스템이 개발되었다. 쾌속조형기술은 1986 년 3D Systems사에서 처음 개발된 이래로 현재 SLA, FDM, SLS, LOM 등 장비를 포함하여 10 여 종류가 개발되었으며 90년대 후반에 쾌속조형기술이 급속히 성장하였고, 지금까지 많은 연구가 수행되어 오고 있다.

이들 중 정밀도 평가에 관련된 연구들을 살펴보면, N.P.Juster 등은 쾌속조형공정의 정밀도를 비교하기 위해서 test part를 제작하고 파트별 크기별로 측정, 평가하였다. R.Ippoliteo 등은 3D System사에서

고안한 벤치마크 파트를 사용하여 RP 공정의 치수 정밀도를 비교, 평가하였다. 그리고 S.Farentinos 등은 test part에 국한된 측정정보프로그램을 개발하여 각 장비에 제작된 파트를 측정하는데 사용하였고, 획득된 데이터를 서로 비교하였다. 그러나, 위의 논문에서 사용된 각 test part는 파트가 너무 커서 제작 시간 및 재료절약면에 부적합할 뿐만 아니라 불필요한 형상이 파트내에 포함되어 있거나 측정목적에 부합한 형상이 빠져 있어 정밀도 평가의 한계성을 드러냈다.

따라서 본 연구에서는 RP 공정의 정밀도를 더 세밀하게 평가하기 위해 통합된 test part를 제시하고자 하며, 이를 통해 국내의 가장 많이 쓰이고 있는 RP 공정에 대한 정밀도를 비교, 평가하고자 한다. 이를 통해 파트의 사용목적에 적합한 RP 선정에 기여할 것으로 사료된다.

2. Test part 설계

2.1 정밀도 평가를 위한 test part 설계

현재 3D systems 사의 사용자파트(user part)처럼 vendor 자체에서 test part를 사용하는 업체들이 많이 있다. 그러나 이런 파트들은 매우 단순하거나 측정 항목이 몇 가지 밖에 없어 전체적으로 정밀도 평가하는 데는 무리가 있다. 또한, 크기가 매우 커서 기준편의 힘에 의한 정확한 측정데이터를 획득하는데 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 여러 패속조형의 파트제작 공정을 파악하고 파트공간의 크기를 서로 비교하고 가장 적절한 test part의 크기를 결정하였다. 또한, 파트의 제작시간의 최소화, 재료 소비의 최소화, 측정 성분들의 배열성 고려, 측정의 용이성 및 실제제품의 파트형상 포함 등의 여러 가지 주요인자들을 고려하여 현재 사용되고 있는 패속조형공정에 적용될 수 있는 통합된 test part를 제작하였다. 이렇게 제작된 test part는 각각 비교될 RP 업체에 의뢰하여 제작되었다. 같은 공정이라고 하더라도 작업자의 능력에 따라 약간의 오차가 있을 수 있으나, 여기서는 숙련된 작업자가 최적으로 파트를 제작하였다고 가정하였다. 제작된 test part는 각 패속조형공정의 정밀도 비교를 위해 사용되었다.

2.2 Test part 모델링

Test part는 선형 및 기하학 정밀도, 표면사상 등을 검사하기 위해 홀, 사각(square), 얇은 벽, 반구 등이 포함되어 있다. 패속조형공정은 제한된 파트공간 내에서 재료를 일정한 두께로 쌓아 올려가면서 파트를 제작한다. 파트를 만들 때 각 패속조형공정의 파트제작 방식에 따라서 크기가 매우 작은 형상이 잘 만들어지지 않거나 아예 처음부터 형상을 만들지 못하는 경우도 있다. 그래서 이러한 미세형상의 생성여부를 판단하기 위해서 2mm 이하의 작은 미세형상도 테스트파트 내에 포함시켰다.

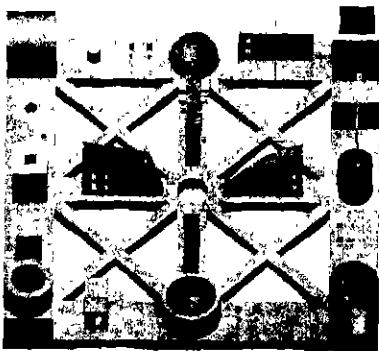


Fig. 1 Test part

Fig. 1은 테스트파트의 형상을 보여주고 있다. 홀,

사각과 같은 미세형상이 X, Y, Z 방향에 따라서 각각 배열되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 형상을 통해 파트 제작의 치수 한계성을 검사할 수 있을 것이다.

3. Test part 제작

3.1 장비 선정 및 파트제작

80년대 중반에 처음 3D systems사에서 패속조형 기술을 만든 이후 많은 RP 공정들이 개발되었으며, 90년대 들어와 급속하게 성장하였다. 국내도 세계 시장과 보조를 맞추어 90년대 들어 빠르게 보급되었다. 99년도 기준으로 국내 RP 공정별 시장 점유율을 살펴보면 아래의 Fig. 2와 같다.

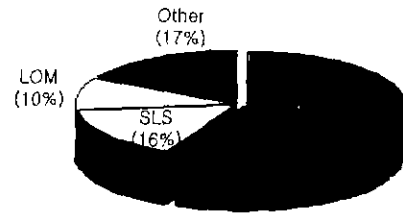


Fig. 2 Domestic market of RP

Fig. 2을 보면, 99년도를 기준으로 SLA공정이 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 것을 알 수 있으며 다음으로 FDM, SLS 순으로 나타났다. 이것은 세계시장의 순위와 큰 차이가 없다. 따라서 본 연구에서 RP 공정의 정밀도 비교 평가를 국내시장에서 가장 많이 보급되어 있는 네가지인 SLA, FDM, SLS, LOM를 선정하였다. 아래의 Table 1은 선정된 장비와 재료를 나타낸 것이다.

Table 1. Rapid prototyping techniques

Technique	Material	Vendors
SLA350	SL5610	3D Systems
FDM8000	ABS	Stratasys
SLS2500	Duraform P/A	DTM
LOM1030	Paper	Helisys

설계된 test part는 위의 선정된 장비를 보유하고 있고 몇 년간 많은 경험을 가지고 있는 업체에 제작 의뢰하였다.

3.2 평가항목

RP 공정의 정밀도 비교 평가는 테스트 파트내에 포함된 사각, 홀, 실린더, 구 등과 같은 형상에 대한 정밀도를 비교함으로써 평가를 하게 된다. 각각의 형상(feature)들에 대해 적용될 수 있는 기하학 정밀도를 아래의 Table 2에 정리하였다.

Table 2 Relation between type of features and evaluation list

Feature	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Square	✓	✓	✓		✓	✓				
Cylinder	✓		✓	✓					✓	✓
Angle							✓			
Wall	✓									
Sphere								✓		
Base surface	✓	✓	✓		✓	✓				
Hole	square	✓	✓	✓	✓					
	round				✓				✓	✓

A: Linear accuracy E: Parallelism I: Cylindricity
 B: Squareness F: Flatness J: Circularity
 C: Perpendicularity G: Angularity
 D: Concentricity H: Sphericity

4. 결과

평가항목에 맞추어 제작된 test part 를 3 차원 측정기(CMM)를 통해서 측정하여 각 공정의 형상정밀도를 평가하고자 하였다. Fig. 3 은 표면 거칠기 평가를 위해 거칠기 측정방향을 나타낸 것이다. 여기서 Y 방향은 파트의 윗면을 나타내고, Z 방향은 재료 적층방향을 나타낸다. 먼저 X 방향 거칠기 측정 결과를 살펴보면, SLS 및 LOM 값이 SLA 나 FDM 보다 큰 값을 보였다. 입자가 큰 재료일수록 거칠기가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다

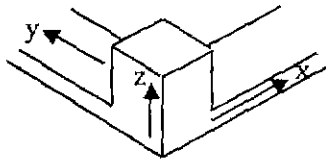


Fig. 3 measurement direction for surface roughness, Ra

Table 3 Surface roughness

		5	10	15	20	25	30(μm)
① X direction	SLA	■					
	FDM	■	■				
	SLS	■	■	■			
	LOM	■	■	■	■		
② Y direction	SLA	■					
	FDM	■	■	■	■	■	■
	SLS	■	■	■			
	LOM	■	■	■	■		
③ Z direction	SLA	■					
	FDM	■	■	■	■	■	■
	SLS	■	■	■			
	LOM	■	■	■	■	■	■

Table 3 은 각 공정의 X, Y, Z 방향으로 표면거칠

기를 평가한 결과를 나타낸 것이다. 위의 측정값은 세번씩 측정하여 평균하여 산출하였다.

그리고 Y 방향으로 측정된 결과는 FDM 을 제외한 나머지 공정이 모두 10μm 이하의 좋은 표면거칠기를 나타내었다. 그러나, FDM 의 경우는 표면거칠기가 다른 공정에 비해 3~4 배이상 크게 나타났다. 이것은 FDM 파트 제작공정에서 알 수 있는데, 다른 공정과 달리 필라멘트에서 소재가 나오면서 지그재그방식으로 적층함으로 표면의 사이의 공간이 생겨 거칠기를 크게 증가시켰다고 할 수 있겠다. 마지막으로 재료의 측정방향과 같은 Z 방향의 거칠기에 대한 평가를 보면, SLA 공정을 제외한 나머지 세공정의 값이 매우 큰 거칠기를 나타내었다. 그래서 결과적으로 표면거칠기 평가한 결과 SLA 공정이 가장 좋은 표면거칠기를 나타내었다.

Table 4 Manufacturing limitation of small features

Feature	Size	Direction	SLA	SLS	FDM
Square/Cycle	>1mm		○	○	○
	0.5	x,y,z	○	○	○
	0.2	x,y	✗	✗	✗
Wall	>1mm	x,y,z	○	○	○
	0.5	x,y	○	○	✗
		z	○	○	○
	0.2	x,y	✗	✗	✗
		z	○	○	○
Rectangular Hole	>1mm	x,y,z	○	○	○
	0.5	x,y	○	○	○
		z	✗	✗	○
	0.2	x,y,z	✗	✗	✗
Circular hole	>1mm	x,y,z	○	○	○
	0.5	x	✗	○	○
		y	✗	✗	○
		z	✗	✗	✗
	0.2	x,y,z	✗	✗	✗

각 공정의 파트제작의 치수한계성을 평가하기 위해서 test part 내 사각, 실린더, 홀과 같은 미세 형상을 x, y, z 방향으로 각각 배열시키고 파트를 제작을 하였다. 위의 Table 4 는 각 공정별 미세형상의 제조 가능한 치수를 보여주고 있다. SLS, SLA 의 사각, 실린더인 경우, x, y 방향에서 형상이 만들어지지 않았고, z 방향에 놓인 0.2mm 치수의 형상은 만들어졌다. 그러나 치수가 CAD 데이터보다 2 배 이상 더 큰 0.45mm-0.5mm 범위내에서 형상이 만들어졌음을 알 수 있었다. 그리고 얇은 벽과 홀인 경우도 치수별로 형상 제조가능성을 검토 하였다. 미세형상의 제조 가능성을 평가한 결과 최종적으로, 공정에 파트형상 및 공정에 따라 약간의 차이는 보였지만, 위의 세 공정의 제조 가능한 치수의 한계성은 1mm 정도임을 알 수 있었다.

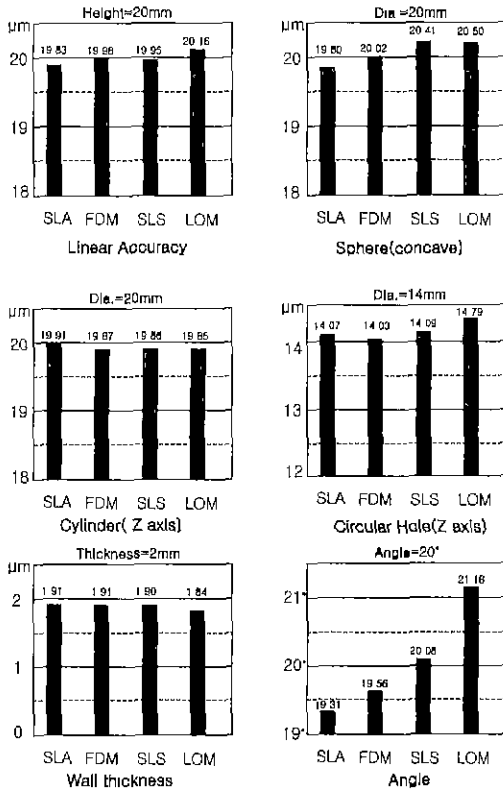


Fig. 4 Measurement results

Fig. 4 는 test part 의 형상들을 측정 한 결과 값을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프상에서 볼수 있듯이, 다른 파트 정밀도에 비해 각도에 대한 정밀도가 낮은 값을 나타내었다. 그리고 형상에 따라 정밀도 순위가 차이를 보이고 있지만, 전체적으로 SLA 공정이 가장 좋은 정밀도를 나타냈으며, 다음으로는 FDM, SLS 였고, LOM 공정의 정밀도가 가장 낮게 나왔다.

5. 결론

본 연구에서는 RP 공정의 정밀도 비교 평가하기 위해서 다년간의 RP 파트를 만들어 왔던 업체에 test part 주문 의뢰하였고, 숙련된 작업자가 최적 상태에서 test part 를 제작하였다. 그리고 국내외 시장에서 가장 많이 보급되어 있는 네 가지 공정에 test part 를 적용하여 정밀도 및 표면 거칠기를 비교 평가하였다. 측정결과, 정밀도 및 거칠기면에서 가장 좋은 값을 나타낸 것은 SLA 공정으로 나타났으며, 미세형상 제조가능한 치수한계성 평가에서는 공정별 큰 차이가 없었음을 알 수 있었다. 그러나 이들 결과데이터를 보고 파트제작의 우위를 결정한다는 것은 큰 오류를 범하는 것 같다. 실제 제작될 파트

가 기능성 테스트 파트인가, 개념모델인가, 조립테스트인가, 파트제작 비용이 얼마인가, 제작시간이 어느정도인가 등에 따라 공정별 다른 장점들을 가지고 있기 때문에 소비자의 요구사항에 맞게 얼마나 충족시켜 주는냐에 달려 있다고 보겠다. 향후에는 파트의 사용목적에 대한 장비선정 시스템을 개발하는 것이 중요하리라고 생각된다.

참고문헌

1. 양동렬, 손현기, “ 쾌속제품(RPD)을 위한 쾌속조형기술의 최근동향 ”, 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 10 호, pp. 5-10, 2000.
2. 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.
3. R.Ippolito, L.Iuliano, and Politecnio di Torino, “ Benchmarking of Rapid prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish”, Annals of the CIRP, Vol.44, pp.157-160, 1995
4. http://www.pml.com/accuracy_study.html
5. R.I. Campbell, M.R.N. Bernie, “ Creating a Database of Rapid Prototyping System Capabilities”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 61, pp. 163-167, 1996.
6. S. O. ONUH and K. K. B. HON, “ Optimising build parameters for improved surface finish in stereolithography”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 38, No. 4, pp. 329-392, 1998.
7. Jack G. Zhou, Daniel Herscovici, Calvin C. Chen, “ Parametric process optimization to improve the accuracy of rapid prototyped stereolithography parts”, International journal of machine tools & manufacture, Vol. 40, pp. 363-379, 2000.
8. 변홍석, 신행재, 이관행, “ 시작품의 형상정밀도 평가에 관한 연구”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp.307-310, 2000.