

Multi-Jet Modeling 3 차원 프린트를 위한 표면거칠기와 제작시간의 저감을 위한 모델 분할제작

김호찬*, 이인탁*, 이경창*, 이 석**, 이석희†

(2002년 11월 19일 접수, 2003년 2월 21일 심사완료)

Reduction of Surface Roughness and Build Time with Model Splitting Method for Multi-Jet Modeling 3D Printer Parts

Ho-Chan Kim, In-Tak Lee, Kyung-Chang Lee, Suk Lee and Seok-Hee Lee

Key Words : 3D Printer(3 차원 프린터), Model Splitting(모델 분할), Rapid Prototyping(쾌속조형),
Multi-Jet Modeling(멀티젯모델링)

Abstract

3D printers are widely used to verify the designs in the early stage of product development, and are required to have short build time. However, the build time is still too long for a quick design review for engineers. This research focuses on how to split the prototype in order to reduce the build time and improve surface roughness. In order to verify the feasibility of prototype splitting, the build time and the roughness have been experimentally measured for various parts and build orientations. Based on the experimental results an expert system was developed for splitting the original CAD model by using an efficient splitting method. It can recommend a splitting plane based on build time, surface roughness and the number of divided parts. It is shown that the model splitting reduces the build time significantly and improves surface quality without rough surfaces where the support was removed.

1. 서 론

산업기술의 급속한 발전과 소비자 요구의 다양화 및 기호 변화속도의 가속화에 따라 제품의 기능 및 외관의 개선과 개발은 치열한 경쟁환경에 처한 기업의 생존을 위한 필수 기능이다. 또한 고속의 제품 개발을 가능하도록 하기 위해서는 쾌속제품 개발(rapid product development)기술의 개발 및 활용이 필수적이다. 제품개발의 초기 단계인 개념설정에서부터 양산준비에 이르기까지 제품개발과정을 전체적으로 단축시킬 수 있는 핵심기술의 하나로써 쾌속조형(rapid prototyping)기술이 연구되고 있

으며, 기존의 목업(mock-up)제작방식으로 시작품을 제작하는 것보다 짧은 시간 내에 간편하게 시작품을 얻을 수 있어서 각광을 받고 있다.⁽¹⁾

쾌속조형시스템은 1987년 SLA 라는 광조형장치(stereolithography apparatus)가 처음으로 상용화된 이래 현재 수십 종의 장비가 개발되어 제품개발에 활용되고 있다. 또, 설계기간의 단축을 위한 컨셉트모델러(concept modeler)로서 쾌속조형장비의 수요가 증가함에 따라 다양한 3 차원 프린터들이 시장에 공급되고 있다. 이들 3 차원 프린터들은 다른 쾌속조형 장비들에 비하여 빠른 제작, 낮은 장비가격, 그리고 사용의 편리성 등의 장점을 갖는 반면, 지지대의 제거, 열악한 재료적 특성 및 표면후처리 등 여러 문제가 있으며, 제작 속도가 다른 기종에 비해 비교적 빠른 편이나 더 짧게 단축할 필요가 있다.

3 차원 프린터는 빠른 제작시간 및 청결한 사용환경으로 사무실에서도 사용할 수 있는 편리한 인터페이스와 간단한 사용법, 인터넷을 통한 원격제

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부
및 기계기술연구소

E-mail : schlee@hyowon.pusan.ac.kr

TEL : (051)510-1476 FAX : (051)514-0685

* 부산대학교 대학원

** 회원, 부산대학교 기계공학부

작 등의 장점을 가지고 있고, 3 차원 프린터의 주목적이라고 할 수 있는 설계형상의 확인, 간섭 검사, 설계 협의용 모델 등의 컨셉모델(concept model) 제작의 용도로서 활용되고 있다. 3 차원 프린터 중 Multi-Jet Modeling 기술을 사용하는 ThermoJet 은 위와 같은 다양한 장점을 보유한 반면에 여러 단점이 있다. 첫째, ThermoJet 프린터의 지지대(support) 생성 부분인 하부면과 상부면의 표면정밀도 차이가 극심하다. 둘째, 제작된 파트의 경도와 강도가 낮아 기능검사를 위한 시작품을 제작하기 어렵다. 셋째, 온도변화에 따른 수축과 팽창이 심하여 정밀도를 요하는 마스터 패턴으로 제작하기 어렵다. 넷째, 크기가 제한된 소형 모델만 제작할 수 있다. 이러한 단점들로 인하여 ThermoJet 은 설계평가를 위한 시작품 제작으로만 용도가 한정되고 있는 실정이다.

쾌속조형 기법에 대한 연구는 기존에 상용화된 기술의 개선, 새로운 공정의 제안, 그리고 표준 파일 포맷인 STL 에 대한 개선으로 나눌 수 있다.

광조형장치를 위한 연구로서는 조형 정밀도와 조형 시간을 서로 별개의 항목으로 계산한 후 이들을 동시에 최적화 시키는 연구와⁽²⁾ 단면 데이터나 STL 로부터 부품의 성형시간을 계산하기 위하여 레이저 파워와 레이저 조사(照射)길이를 이용한 연구도 수행되었다.⁽³⁾ 표면품질, 조형시간, 지지대 중 하나의 인자를 선택하여 이를 convex hull 을 구성하는 모든 면의 법선벡터로부터 성형방향을 선정하는 연구도 수행되었으며,⁽⁴⁾ 공정 변수를 최적화 함으로써 생산성을 향상하고자 하는 연구도 수행되었다.⁽⁵⁾

선택적분말소결법과 같이 지지대가 요구되지 않는 공정에서 복수의 부품을 제작할 경우에 동일한 작업공간 내에서 동시에 제작하는 부품의 수를 극대화 함으로써 평균 제작시간을 단축하고자 하는 연구가 수행되었다.⁽⁶⁾

새로운 공정을 제안하는 연구로서는, 광조형법을 개선하여 외곽선은 얇게 여러 층을 쌓고 내부는 1 회에 다수의 층을 주사하여 정밀도를 유지하면서 성형시간을 단축시키려는 연구가 수행되었으며,⁽⁷⁾ 성형방향의 결정 기준으로서 성형시간, 계단 효과 그리고 지지대의 투영면적을 이용하는 가변층 두께 성형 장치에 대한 연구가 수행되었다.⁽⁸⁾ 또한, adaptive slicing 기법을 통하여 성형시간을 단축하고자 하는 연구가 수행되었다.⁽⁹⁾

쾌속조형표준 입력 파일 포맷인 STL 을 개선하고자 하는 연구도 다음과 같이 수행되었다. STL 파일의 중복된 정점을 줄이기 위해 위상정보가 부족한 STL 파일을 기초로 하여 정점, 모서리, 그리

고 면의 색인 리스트를 가진 facet solid entity 로 표현된 새로운 RPI 포맷 파일을 제안하는 연구가 수행되었다.⁽¹⁰⁾ STL 파일에 더 많은 위상정보를 부여하기 위한 삼각형 기반 형상모델링이 제안되었다.⁽¹¹⁾

본 연구는 대표적인 3D Printer 인 ThermoJet 을 대상으로 모델을 분할 제작 함으로써 가공시간의 단축 및 표면 정도의 개선을 도모하는 공정을 개발하기 위하여 수행되었다. 모델의 최적 분할을 위해 새로운 자료구조 및 알고리즘을 개발하여 최단의 제작시간과 최적의 표면정도를 얻을 수 있는 분할편을 자동으로 선택해주는 알고리즘을 개발하였다. 또한 그 결과를 적용하여 자동으로 모델을 최적 분할하는 소프트웨어를 개발하였으며 실험을 통하여 그 결과를 검증하였다.

2. 분할제작기법

2.1 제작방법

일반적인 쾌속조형 장치는 소형의 부품을 제작하기에 적합하도록 설계되므로 작업공간이 크지 않다. 따라서 작업공간보다 큰 부품을 제작하기 위해서는 모델을 분할하여 제작할 필요가 있다. 또한 분할제작을 통해 성형물의 전체 높이를 낮출 수 있으므로 제작시간을 단축시킬 수 있으며, 부품 표면에 발생하는 지지대 접촉 부위를 접합부위로 사용할 수 있어 정밀도 향상의 효과도 얻을 수 있다. 그러나, 쾌속조형기에 대한 비전문가인 CAD 사용자가 적절한 분할편을 선정하기에는 많은 어려움이 있으며, 쾌속조형장비를 운영하는 곳에서 모든 종류의 상용 CAD 를 보유할 수는 없으므로, 쾌속조형장비의 표준 파일 포맷인 STL 파일을 입력으로 하는 분할소프트웨어의 개발이 필요하다. 또한, 현재의 상업용 쾌속조형 시스템은 사용자에게 의한 기초적인 분할 방법만 지원하고 있으므로 실제로 사용하기에 매우 어렵거나 비효율적이다.



Fig. 1 Test part for surface roughness

따라서, STL 데이터의 효율적 분할과 분할면 선택 알고리즘에 대한 연구와 분할 제작 이후의 접합기술과 그 정밀도에 대한 검토가 필요하다. 아래에는 본 연구에서 제안하는 모델 분할 제작 공정을 나열하였고 연구에서 대상으로 사용된 부품을 Fig. 1에 나타내었다.

- 가. 제작할 모델을 분할한다.
- 나. 분할된 모델들을 ThermoJet으로 제작한다.
- 다. 제품이 완성되면 냉각기로 부품의 온도를 낮춘 뒤 지지대를 제거하고 약품을 이용하여 표면처리를 실시한다.
- 라. 모델을 접합한다.

분할제작기법에서 오차가 발생할 수 있는 수작업공정은 지지대의 제거와 분할된 부품의 접합이다. 컨셉트 모델은 정밀도보다 짧은 시간 내에 형상을 확인하는 용도이므로 지지대의 제거가 편리하고 접합이 용이하도록 평면으로 절단하여 분할하는 것이 좋다.

2.2 분할제작의 타당성

ThermoJet은 아래 단면에서 비어 있던 영역 위에 새로운 단면을 쌓기 위해서 지지대가 반드시 필요하다. 그러나 지지대와 부품의 접합부위에 생성된 burr는 표면 거칠기를 악화시키는 주요 원인이며 재료의 특성상 사상작업은 매우 어렵다. Fig. 1은 이러한 ThermoJet 부품의 표면 거칠기를 면의 각도에 따라 측정하기 위하여 설계된 부품이며 면의 각도에 따른 거칠기를 Fig. 2에 나타내었다. 지지대가 형성되는 100° 이상의 면이 매우 거침을 Fig. 2에 나타난 표면 거칠기의 측정 결과를 통해 알 수 있다. 따라서 모델을 분할하여 제작한 이후에 다시 접합될 영역에만 지지대가 생성되도록 성형방향을 정하면 표면 거칠기가 매우 크게 향상될

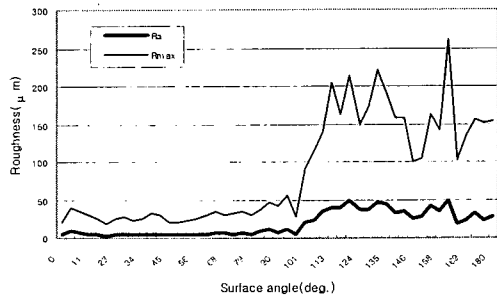


Fig. 2 Roughness of the inclined facets

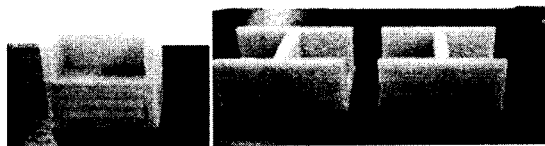
수 있다. Fig. 1의 테스트 파트를 수평면에 평행하게 2 등분하여 아래쪽 부품을 뒤집어서 성형하면 평균 거칠기가 18.3 μm에서 5.5 μm로 향상되며, 최대 높이도 214 μm에서 41 μm로 크게 개선된다.

분할제작의 또 한가지 장점은 제작 시간이 단축된다는 것이다. 일반적으로 ThermoJet을 이용하여 부품을 제작하는데 필요한 소요시간은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 체적이 작을 경우 다소 편차가 있다.

$$T = t_c + t_s \frac{V_b}{d} + t_d \frac{h_b}{d} + t_o \tag{1}$$

이때, T는 부품의 전체 성형시간, t_c는 헤드 청소 시간, t_s는 단위면적당 도포 시간, V_b는 지지대를 포함한 바운딩박스(bounding box)의 체적, d는 층 두께, t_d는 층당 대기시간, h_b는 바운딩 박스의 높이, t_o는 기타 소요시간이다. 식 (1)의 성형시간에서 모델의 분할로 변화하게 되는 항목은 V_b와 h_b이며, V_b는 분할한 제품의 바운딩박스의 체적이므로 분할된 조각들을 적절히 배치하면 원래의 체적에 비하여 감소시킬 수 있으며, 바운딩 박스의 높이 h_b는 현저하게 감소하게 되어 총 성형시간은 크게 감소하게 된다.

Fig. 3에는 분할제작기법의 제작시간, 재료소비량 그리고 접합 정밀도를 실험하기 위한 테스트 파트를 보이고 있다. Table 1에는 그 제작시간을 나타내었으며, 분할 제작으로 인하여 35~45%의 제작시간이 감소하였다. 3D printer는 주로 컨셉모델러로 사용되기 때문에 요구되는 치수정밀도는 높지 않아 접합시 발생하는 두께의 변화에 크게 영향을 받지 않았다. Table 2에 접합실험의 결과를 보였으며, 시안아크릴레이트(cyanoacrylate) 접착제와 양쪽 접합면들을 녹여서 붙일 경우(heat adhesion) 적층두께가 0.1mm 임을 고려하면



(a) Test part (b) Divided parts
Fig. 3 Test parts for evaluation

Table 1 Comparison of build time

	1 ea. in a batch	5 ea. in a batch
full	5hr 5min	5hr 16min
divided parts	2hr 45min	3hr 29min
ratio	54%	66%

만족스러운 접착이 가능하다. 이상과 같은 실험으로부터 정밀도를 크게 악화시키지 않으면서 성형 시간을 단축할 수 있고 표면거칠기도 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 부수적인 장점으로 상대적으로 큰 부품의 제작도 가능한 점과 지지대 형성영역에 대한 후가공시간이 크게 줄어드는 점을 들 수 있다.

Table 2 Adhesion error unit: mm

experiment number	cianoacrylate adhesive	epoxy adhesive	heat adhesion
1	0.023	0.041	0.014
2	-0.047	0.048	-0.018
3	0.037	0.084	-0.055
4	0.074	0.077	-0.050
5	-0.007	0.038	-0.013
6	0.050	0.108	-0.038
7	-0.022	0.095	-0.051
8	0.017	0.182	-0.064
9	0.011	0.122	-0.068
10	-0.053	0.020	0.023
average	0.034	0.081	0.040

3. 모델의 최적 분할

이러한 분할제작의 장점을 취하기 위해서는 모델된 CAD data를 처리하여 모델을 분할하여야 하는데 이 연구에서는 거의 모든 패속조형에서 사용되는 STL 형식을 기초로 Boundary Representation (B-Rep)방식의 자료구조를 개발하였다. STL 포맷을 B-rep 으로 변환하고 지정된 면에 따라 모델을 분할하는 알고리즘을 개발하였으며 분할면을 보다 합리적으로 선정하는 알고리즘을 제시하였다.

3.1 BFS 자료구조

BFS(Boundary representation For STL)는 반 모서리(half edge) 자료구조를 STL 파일에 효율적으로 적용되도록 변형한 것이다. 반 모서리 자료구조는 면을 표현하기 위하여 반 모서리와 루프(loop)를 이용한다. STL 에서는 모든 면이 삼각형이므로 항상 3 개의 반 모서리로 이루어진 루프의 집합으로 볼 수 있다. BFS 에서는 면을 루프 대신 삼각형의 리스트로 표현한다. Fig. 4는 BFS의 자료구조를 표현한 것이다. 모델(CBFSolid)은 면(CBFSFace)의 리스트로 표현이 되며 또한 삼각형(CBFSTriangles)의 리스트, 모서리(CBFSEdge) 리스트, 정점

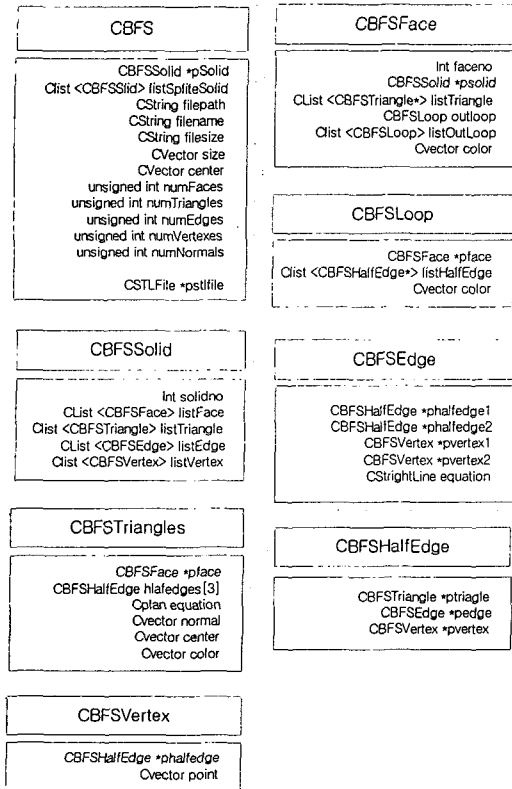


Fig. 4 BFS data structure

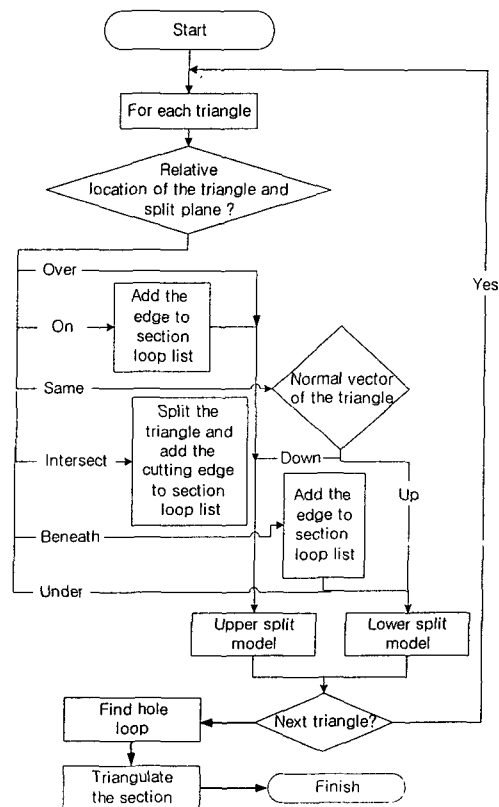


Fig. 5 Split algorithm

(CBFSVertex) 리스트를 포함하게 된다. 또한, 면은 삼각형의 리스트로 구성되며 외부 루프와 내부 루프의 리스트 포인터를 가지고 있다. 각 삼각형은 3 개의 정점을 시작점으로 하는 반 모서리 (CBFSHalf Edge)를 구성요소로 가진다. 루프 (CBFSLoop)는 삼각형의 반 모서리 포인터의 리스트로 표현이 된다. BFS 에서 데이터의 입출력은 자료구조를 유지하기 위해서 BFS 에 맞게 변경된 오일러 조작자(Euler Operation)를 이용한다.

3.2 모델의 분할

모델의 분할과정은 분할면이 xy 평면과 평행하게 되도록 모델을 회전시킨 후에 주어진 높이에 따라 모델을 분할하고 아래쪽 분할모델을 뒤집어 놓음으로써 수행된다. BFS 는 삼각형 기반의 자료구조이므로 모델의 분할 역시 삼각형을 기준으로 수행하며, 오일러 조작자를 이용하는 분할 알고리즘을 통해 이루어 진다. 분할을 수행하는 과정은 Fig. 5 의 순서도에 나타낸 바와 같이 각각의 삼각형들을 분할면과의 상대적 위치에 따라 상위 또는 하위

삼각형 군(群)으로 분류하여, 분할면과 교차되는 삼각형을 분할하고, 분할 단면 루프의 내 외부를 구분한 뒤, 단면 루프가 이루는 다각형을 삼각분할하는 과정으로 이루어 진다. 내부 루프는 두 개의 반모서리를 외부모델로 이어 줌으로써 외부 루프로 통합하며, Delanunay 삼각분할을 통하여 삼각형으로 만든 후 상 하 반대의 방향으로 두 분할 모델에 각각 추가한다.

3.3 분할면의 선정

모델을 분할제작하기 위해 사용자가 임의의 분할평면을 선택할 수도 있지만, 사용자의 주관적인 판단은 장비의 특성 및 모델의 상태를 정확히 반영하기 어려우므로, 분할면을 선정하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 분할면은 지지대가 생성되는 영역이므로 모델의 다른 면들이 최상의 표면거칠기를 갖도록 선택해야 하며, 모델 제작시간이 짧아지도록 선택하는 것이 필요하다. 따라서, 목적함수는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Minimize T(P) = \alpha \cdot \frac{r_p}{r_d} + \beta \frac{t_p}{t_d} + \gamma \frac{n_p}{n_d} \quad (2)$$

이때, T(P)는 분할평면 P 에 대한 목적함수의 평균값이며, α 는 표면거칠기에 대한 가중치, β 는 제작시간에 대한 가중치, 그리고 γ 는 잘려진 파트의 수에 대한 가중치이며, 이들 가중치로 해당 항목의 중요도를 사용자가 결정하도록 하였다. 또한, r_p 는 분할평면이 P 일 때의 평균거칠기, t_p 는 분할평면이 P 일때의 제작시간 예측값, n_p 는 분할평면이 P 일때의 분할된 파트의 수량을 나타내고, 각 항목에 대하여 하첨자 d 는 사용자에 의해 정해지는 기준 값을 나타낸다.

전체의 평균 표면거칠기는 삼각형별로 Fig.2의 측정값을 선형보간하여 거칠기 값을 구한 후 이를 식 (3)과 같이 면적에 대하여 평균함으로써 구할 수 있다.

$$r_p = \frac{\sum_i (r_{i,p} \cdot a_i)}{\sum_i a_i} \quad (3)$$

이때, $r_{i,p}$ 는 분할면이 P 인 경우에 분할된 모델에서의 삼각형 i 의 거칠기를 뜻하며, a_i 는 삼각형 i 의 면적이다. 제작시간은 분할된 모델들에 대하여 식 (1)을 적용하여 얻을 수 있으며, 부품의 숫자는 분할면에서 발생한 독립된 외부루프의 개수의 2

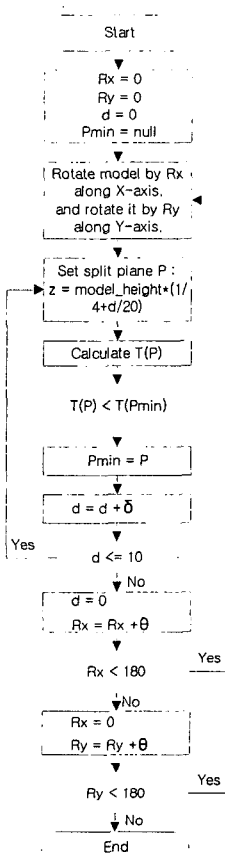


Fig. 6 Selection of split plane

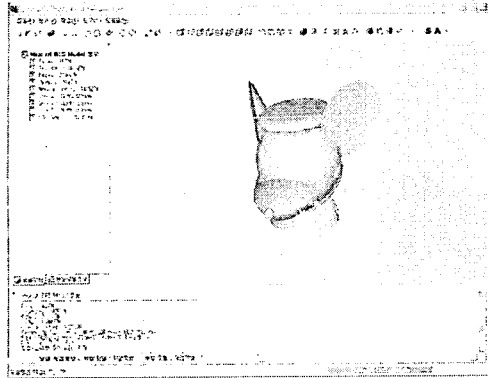


Fig. 7 Software for model splitting

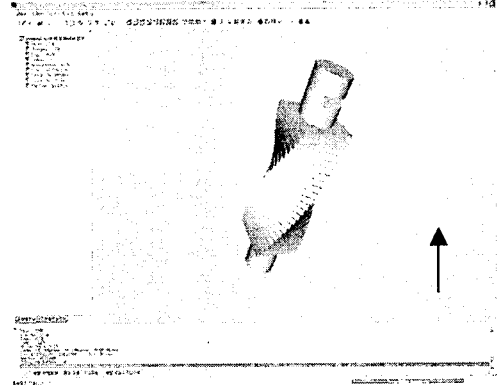


Fig. 8 Part for verification

배이다.

분할 평면을 x , y 및 z 축에 대하여 회전 및 병진이동으로 표현하면 그 연산과정이 복잡하므로 Fig. 6 에 보인 바와 같이 모델은 x 축 및 y 축에 대하여 θ 만큼씩 회전하게 되며, 분할 평면은 모델의 각 회전된 방향에 대해 xy 평면과 평행한 상태로 아래에서 위로 $\delta/2.5^\circ$ 씩 상승하면서 목적함수를 계산하여 적합한 분할면을 선정한다. 분할된 모델들은 절단면이 아래를 향하도록 회전되므로 모델의 회전은 x , y 각 축에 대하여 $0\sim 180^\circ$ 씩이면 모든 방향을 고려할 수 있다. 또한 탐색공간의 해상도는 1 회 병진비율 δ 와 회전량 θ 를 통하여 조절 할 수 있다.

4. 적용결과

4.1 실험을 통한 검증

본 논문에서 제안한 분할제작기법과 알고리즘을 검증하기 위하여 Visual C++를 이용하여 Windows 환경에서 동작하는 소프트웨어를 개발하였다. 모델형상의 가시화를 위하여 OpenGL 라이브러리를 사용으며, Fig. 7 에는 그 실행화면을 보인다.

Fig. 8 에 보인 모델을 이용하여 본 연구에서 개발된 성과를 검증하였다. 분할면 선정의 적합성을 테스트하기 위하여 길이 방향축을 수평면으로부터 50° 경사지도록 회전시킨 모델을 사용하였으며, 표면거칠기 가중치 α 는 0.3, 제작시간 가중치 β 는 0.4, 분할 개수 γ 는 0.3, 희망 거칠기 r_d 는 $10\ \mu\text{m}$, 희망 제작시간 t_d 는 3시간, 희망 분할 개수 n_d 는 2 개, 병진 탐색 해상도 δ 은 0.2 로 높이의 1%씩, 회전탐색 해상도 θ 는 1° 를 사용 하였다. 자동 분할면을 선정된 결과는 Fig. 9 에 보인 바와 같이 모델의 길이 방향축이 수평면 위로 변경되어 분할 되었다. Fig. 10 (a)에는 분할되어 제작 된 파트

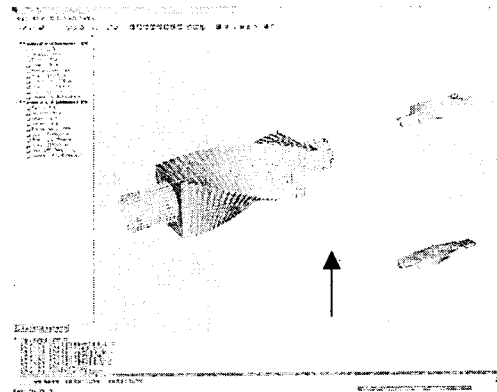


Fig. 9 Split process

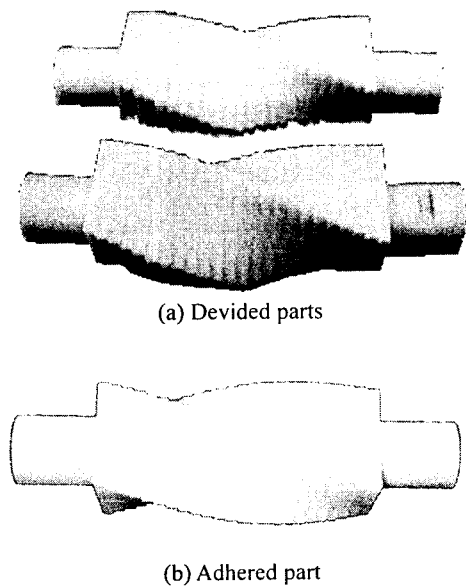


Fig. 10 Verification part produced by ThermoJet

Table 3 Results of verification part

	Original model	Automatically divided model	Reduction
Height	141.8 mm	33.2 mm	76.6%
Build time	10hr 19min 8sec	3hr 7min 54sec	69.6%
Material used for support	106.0 g	24.1g	77.3%
Rmax	206 μm	46 μm	77.7%
Ra	18.2 μm	5.4 μm	70.3%

Table 4 Results of gear shift knob

	Original model	Automatically divided model	Reduction
Height	105.2 mm	40.4 mm	61.6%
Build time	7hr 22min 36sec	3hr 36min 58sec	50.9%
Material used for support	52.6 g	24.8g	52.8%
Rmax	214 μm	42 μm	80.4%
Ra	17.7 μm	4.8 μm	72.9%

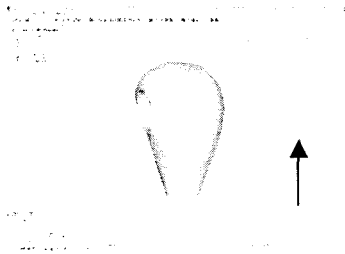
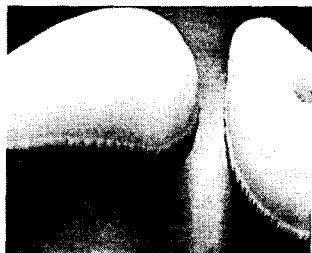


Fig. 11 Gear shift knob model



(a) Divided parts



(b) Adhered part

Fig. 12 Gear shift knob produced by ThermoJet

를 보이고 있으며, Fig. 10 (b)는 시안아크릴레이트로 접착한 후의 파트이다. 파트의 제작시간이 10시간 19분에서 3시간 8분으로 15%로 감소하였으며, 평균거칠기 또한 18.2 μm 에서 5.4 μm 로 약 27%로 감소하는 등 본 연구를 적용하지 않은 경우에 비하여 공정 개선의 효과가 매우 큼을 Table 3에 정리된 결과로 나타내었다.

4.2 실제 부품 제작에의 적용

테스트 파트가 아닌 실제 현장에서 사용되는 모델을 대상으로 실험을 수행하기 위하여 Fig. 11에 보인 자동변속기 손잡이를 분할제작기법을 사용하여 제작하였다. 표면거칠기 가중치 α 는 0.6, 제작시간 가중치 β 는 0.2, 분할 개수 γ 는 0.2, 희망 거칠기 r_d 는 8 μm , 희망 제작시간 t_d 는 4시간, 희망 분할 개수 n_d 는 2개, 병진 탐색 해상도 δ 은 0.4로 높이의 2%씩, 회적탐색 해상도 θ 는 2°를 사용하였다. Fig. 12(a)에는 분할되어 제작된 모델을 보이고 있으며, Fig. 12(b)에는 지지대를 제거하고 시안아크릴레이트(cyanoacrylate)로 접착한 후의 파트를 보인다. 실제적인 형상을 사용한 경우에도 검증을 위한 테스트와 유사한 개선효과가 나타났으며, 이를 Table 4에 보인다.

만일 조형물을 분할 할 경우에 3D Printer에서 한번에 제작할 수 없게 되면 추가적으로 많은 제작시간을 요구하게 되므로 반드시 분할 제작이 유리한 것은 아니다. 그러나 이러한 경우에도 역시 지지대의 제거와 표면 거칠기의 향상을 위해서 분할하여 제작을 선택할 수 있다. 또한 본 연구에서 사용한 접착제인 시안아크릴레이트는 순간접착제의 일종이므로 접합을 위한 시간은 매우 작다.

5. 결론

본 연구는 3D Printer를 대상으로 모델을 분할 제작함으로써 가공시간의 단축 및 표면 정도의 개선을 도모하는 공정을 개발하기 위하여 수행되었다. 또한, 모델의 최적 분할을 위해 새로운 자료구조 및 알고리즘을 개발하여 최단의 제작시간과 최적의 표면정도를 얻을 수 있는 분할면을 자동으로 선택해주는 알고리즘을 개발하였다. 제시된 모델 분할기법을 이용할 경우 50%이상의 제작시간 단축, 70% 이상의 파트 표면거칠기 향상, 77%이상의 후가공필요 표면적 저감 및 50%이상의 지지대 재

료 사용량 절감 등의 다양한 효과를 얻을 수 있음을 실험과 이론적 모델을 통하여 검증하였다. 차 후에는 3D Printer 로 제작된 프로토타입에 적합한 폐속금형을 제작기법을 개발하는 것이 필요하다.

참고문헌

- (1) Jacob, Paul F., 1992, *Rapid Prototyping & Manufacturing : Fundamental of Stereo Lithography*, SME press, Society of Manufacturing Engineers, 1st Edition.
- (2) Cheng, W., Fuh, J. Y. H., Nee, A. Y. C., Wong, Y. S., Loh, H. T. and Miyazawa, T., 1995, "Multi-Objective Optimization of Part Building Orientation in Stereolithography," *Rapid Prototyping Journal*, MCB Press, Vol. 1, No. 4, pp. 12~23.
- (3) Giannatsis, J., Dedoussis, V. and Laios, L., 2001, "A Study of the Build-time Estimation Problem for Stereolithography Systems," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 17, Issue 4, pp. 295~304.
- (4) Lan, P., Chou, S., Chen, L. and Gemmill, D., 1997, "Determination of Fabrication Orientations for Rapid Prototyping with Stereolithography Apparatus," *Computer-Aided Desing*, Vol. 29, No. 1, pp. 53~62.
- (5) Hur, Sung-Min, Oh, Do-Keun, Choi, Kyung-Hyun and Lee, Seok-Hee, 2000, "Optimization of Build Parameters in SLS Process," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 24, No. 3, pp. 769~776.
- (6) Hur, Sung-Min, Choi, Kyung-Hyun, Lee, Seok-Hee and Chang, Pok-Keun, 2001, "Determination of Fabricating Orientation and Packing in SLS Process," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 112, Issues 2-3, pp. 236~243.
- (7) Jeng, Jeng-Ywan, Wang, Jia-Chang and Lin, Tsung Te, 2000, "A New Flexible Layer Fabrication Method for the Jet Deposition System to Accelerate Fabrication Speed," *Rapid Prototyping Journal*, MCB Press, Vol. 6, No. 4, pp. 226~234.
- (8) Hur, J. H. and Lee, K. W. , 1996, "Determination of Optimal Build-up Direction for Stereolithographic Rapid Prototyping," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 163~173.
- (9) Choi, K. I. and Lee, K. H., 1998, "An Adaptive Slicing Method Using both Contour Lines and Vertical Character Lines," *Transactions of the Korean CAD/CAM Society*, vol.3, no. 1, pp. 15~21.
- (10) Wozny, M. M., 1992, "Data Driven Solid Freeform Fabrication," *IFIP Transactions B-3: Human Aspects in Computer Integrated Manufacturing*, pp. 71~82.
- (11) Chae, H. C., 1997, "Creation of Topological Information from STL Using Triangle Based Geometric Modeling," *Transactions of the KSPE*, Vol. 14, No. 2, pp. 136~144.