

등고선 간격과 수직 방향 특징선을 이용한 RP파트의 Adaptive 단면화 방법

최광일*, 이관형**

An Adaptive Slicing Method Using both Contour Lines and Vertical Character Lines

Kwang-il Choi* and Kwan Heng Lee**

ABSTRACT

Several adaptive and direct slicing methods have been developed to make the slice data for RP parts with better accuracy and speed. This research deals with a new adaptive slicing algorithm that shows drastic improvement in computing time for calculating the slices of a part. First, it uses less number of sampling points for each slice in determining the thickness of the next slice. Secondly, the idea of contour map is utilized to determine the optimal sampling point on each slice. Thirdly, the calculation efficiency is further improved by introducing vertical character lines of the given part. The results in terms of accuracy and speed are compared with the existing methods.

Key words : Rapid prototyping, Direct and adaptive slicing, Contour and character lines, Computational efficiency

1. 서 론

1.1 Rapid prototyping 기술의 소개

RP는 3차원 CAD 모델을 2차원으로 단면화시켜 체계적으로 한 층씩 적층하여 실제 3차원 형상을 짧은 시간 내에 제작하는 기술이다. RP기술을 이용하면 1-2일 만의 짧은 기간 내에 파트를 만들어 내어 치수나 조립 가능성 여부 등을 확인할 수 있어서 비용 및 시간을 대폭적으로 줄일 수 있다. RP기술을 사용하여 실제 파트를 만드는 과정에는 데이터 준비 단계, 모델 제작 단계, 후처리 단계의 3단계로 나눌 수 있다. 먼저 데이터 준비 단계에서는 3차원 CAD소프트웨어 상의 모델을 RP장비의 표준 입력 파일인 STL파일로 변환한다. 이 STL파일은 모델의 표면을 작은 삼각형 패치(patch)들로 근사화하여 나타낸 것이다¹⁾. 이 파일을 RP장비로 입력하면 모델 제작 단계에서는 수평 단면화하고 먼저 맨 밑층의 단면부터 차례로 적층해

나간다. 맨 위층까지 차례로 모두 굳히면 꺼내어 후경화, 왁스 제거, 지지 구조 제거, 표면 처리 등의 후처리를 해주면 완성된 RP파트가 제작된다.

1.2 기존 연구 고찰

STL파일은 모델의 표면을 삼각형들의 패치(patch)로 둘러싸는 방식이라서 자유곡면이 많은 3차원 모델의 경우 STL파일로 변환되고 나면 파일의 크기가 엄청나게 증가한다. 이외에도 근사화로 인하여 정밀도가 떨어지고 기존의 topology도 없어진다²⁾. 이것은 정밀한 파트를 제작하거나 향상된 RP시스템을 개발하는데 주된 장애요소가 된다. 이런 문제들을 해결하기 위한 여러 방법들이 연구되어 왔는데 크게 adaptive 단면화 연구, direct 단면화 연구, direct&adaptive 단면화 연구로 분류할 수 있다.

1.2.1 Direct 단면화 방법

STL파일은 삼각형으로 이루어져 있기 때문에 단면을 구하면 항상 다각형이 되는데 꼭면이 많은 모델일수록 원래의 곡선 단면과의 차이 만큼의 에러가 생기게 된다. 삼각형 패치의 수를 줄이면 정밀도가

*학생회원, 광주과학기술원 기전공학과

**종신회원, 광주과학기술원 기전공학과

현저히 떨어지고, 반대로 삼각형 패치를 늘리면 그만큼 파일 크기가 증가함과 동시에 잘못된 정보를 갖는 STL파일이 만들어지기 쉬워서 문제가 된다. 이런 문제점을 해결하기 위한 방법으로 제안된 것이 direct 단면화 방법이다. 이 방법은 RP파트 제작을 위한 단면 정보를 만들 때 STL파일을 이용하지 않고 원래의 CAD 데이터에서 직접 단면 정보를 만들어냄으로써 다각형 근사화로 인한 문제점을 해결한다^[3,4].

1.2.2 Adaptive 단면화 방법

RP파트를 만들 때 단면간의 간격을 일정하게 유지하는 방법을 uniform 단면화 방법이라고 한다. 이와 달리 단면을 만들 때 CAD데이터의 정보가 이용하여 모델 표면의 경사도에 따라 단면 간격을 조절하는 방법이 있는데 이를 adaptive 단면화 방법이라고 한다. Uniform 단면화 방법을 적용하면 모델 표면의 경사가 완만할수록 원래 모델과 RP 파트간의 에러는 커지게 되고 경사가 급한 곳은 상대적으로 에러가 작게 된다. 그러나 adaptive 단면화 방법을 적용하면, 경사가 완만한 곳의 단면 간격을 좁게 하고 경사가 급한 곳에서 단면 간격을 크게 하여서 전체적으로 에러의 양을 일정하게 한다.

Adaptive 단면화 방법을 적용하면 에러의 기준이 되는 cusp height가 일정하게 유지되도록 단면간의 거리를 정하기 때문에 모델의 부위간에 관계없이 에러 양을 일정하게 유지할 수 있고, 같은 에러를 갖는 파트를 만들 때는 단면의 수가 줄어들어 제작시간이 단축된다^[5]. 이것은 곧 같은 수의 단면으로 파트를 만들 때 더 정밀한 파트를 만들 수 있다는 뜻도 된다.

1.2.3 Direct & Adaptive 단면화 방법

이 두 방법들의 장점만을 사용한 향상된 방법을 direct & adaptive 단면화 방법이라고 한다.

Suh와 Wozny^[6]는 CAD 모델의 한 단면에서 다음 층의 높이를 결정하는 방법으로 단면 윤곽선의 곡률 변화에 따라 sampling point를 잡고 각 sampling point에서 수직 교선의 곡률, 수직 교선의 xy평면과의 각도, cusp height를 이용하여 다음 층의 높이를 구한 후 높이가 가장 낮은 것을 선택하는 방법을 사용하였다. 중요한 형상(peak feature)을 정확히 만들기 위한 방법으로 CAD 모델에서 구간을 나누어 구간별로 단면화 작업을 하는 방법도 제시하였다.

Kulkarni와 Dutta^[4]는 계단 현상과 containment 문제를 지적하고 이를 해결하기 위한 방법을 제시하였다. 후처리의 방식에 따라 polishing (removal case)을 할 때는 양의 tolerance 반을 갖는 파트를 만들고, coating (addition case)을 할 때는 음의 tolerance 만을

갖는 파트를 만드는 단면화 방식을 제시하였다.

Lee와 Yoo^[7]는 음의 tolerance와 양의 tolerance를 동시에 갖게 하는 양방향 단면화 방법을 제시하였다. 이 방법을 사용하면 제작 단계에서 중요 형상을 잘 표현하면서도 모델 전체의 에러 양을 절반 가량 줄이는 효과가 있다.

2. CAD 모델의 단면화 연구

2.1 단면화 작업의 절차

2.1.1 모델을 구간별로 나누기

어떤 형상을 RP 장비로 제작할 때, 평평한 면, 평평한 모서리, 뾰족한 침점 등의 특징 형상은 특별히 고려해주어야 하는 부분이다. 이러한 특징 형상들을 제대로 만들기 위해서는 특징 형상을 기준으로 구간을 나누고 각 구간에 대해서 단면화하는 방법을 사용하면 된다. 이렇게 하면 이 부분들의 정보를 최대한 잃지 않을 수 있다. 구간을 나눌 때는 CAD 모델의 꼭지점, 곡면, 모서리의 경계 z값을 사용한다.

2.1.2 모든 구간의 단면화 작업

단면은 밑 단면부터 위 단면 순으로 만들어진다. 먼저 단면 S_i 의 윤곽선을 따라가며 sampling point P_1, \dots, P_n 을 잡는다. 이 점들은 다음 층의 높이를 계산할 지점들이 된다. Sampling point가 정해지면 이 점들을 사용하여 다음 단면의 높이 Z_{i+1} 을 구한다. 한 sampling point에서 다음 단면까지의 거리를 구할 때는 에러의 기준이 되는 cusp height가 일정 기준값 이내에 오도록 되어 있다. 그런데 각 점에서 구한 수직 교선의 곡률, 수직 교선의 xy평면과의 각도 등이 모두 다르므로 높이도 다르게 나온다. 이 때 최소 높

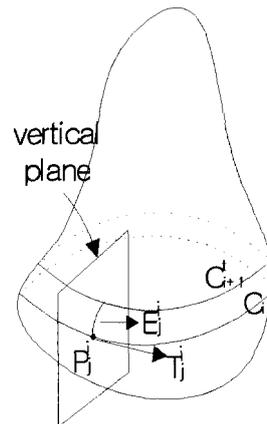


Fig. 1. Vertical intersection line E_j .

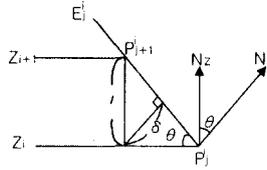


Fig. 2. Determining the height of the next slice when E_i is straight.

이를 선택해야만 모든 sampling point에서 계산한 여러양인 cusp height가 기준값 이내에 들어올 수 있게 된다. 위의 방식으로 모든 구간을 단면화 한다.

Fig. 1의 모델에서 C_i 의 단면이 있을 때, C_i 위의 P_i 위치에서의 다음 층 높이를 살펴보자. 우선 P_i 점에서 단면 C_i 의 접선 벡터(tangent vector) T_i 를 구한다. 다음으로 법선 벡터 성분이 T_i 가 되고 한 점 P_i 를 지나는 수직 평면(vertical plane)을 얻는다. 이 평면과 모델의 수직 교선인 E_i 를 이용하면 다음 층의 높이를 계산할 수 있다. 다음 층 단면의 높이는 E_i 의 종류에 따라 직선일 때(Fig. 2)와 곡선일 때(Fig. 3)로 구분하여 계산된다.

a. 수직 교선 E_i 가 직선일 때

Fig. 2의 경우에, 다음 층의 높이 l 은 다음 식으로 계산된다.

$$l = \begin{cases} \frac{\delta}{\cos\theta} = \frac{\delta}{N_z} & \text{if } N_z \neq 0 \\ L_{\max} & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 N 은 P_i 에서의 곡면 단위 법선 벡터, N_z 는 N 의 z방향 성분의 길이, θ 는 수직 교선과 수평면이 이루는 각, δ 는 최대 cusp height, L_{\max} 는 한 층이 가질 수 있는 최대 두께이다.

b. 수직 교선 E_i 가 곡선일 때

Fig. 3의 경우에 다음 단면 높이는 P_i 에서의 곡률

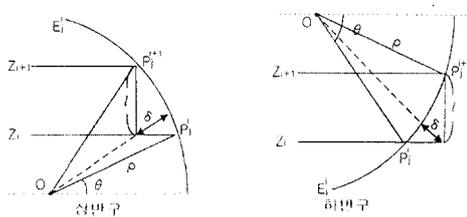


Fig. 3. Determining the height of the next slice when E_i is curved

반경 ρ 을 구하고 거기에 맞는 원을 근사화시켜 cusp height δ 가 일정 기준값 이내에 오도록 하여 l 을 결정한다. 이렇게 하여 l 을 구하면 최대 cusp height δ 가 항상 일정한 기준 이내에 오게 된다.

- 상반구에서의 다음 층 높이

$$l = -\rho \sin\theta + \sqrt{\rho^2 \sin^2\theta + 2\rho\delta - \delta^2}$$

- 하반구에서의 다음 층 높이

$$l = \begin{cases} +\rho \sin\theta - \sqrt{\rho^2 \sin^2\theta - 2\rho\delta - \delta^2} & \text{if } (\rho^2 \sin^2\theta - 2\rho\delta - \delta^2) \geq 0 \\ +\rho \sin\theta & \text{otherwise} \end{cases}$$

2.2 sampling point와 다음 단면의 높이 결정

한 단면이 정해지고 나면 다음 단면의 높이를 구하기 위해서 층간 거리를 구하는데, 이 때 다음 층 높이를 구할 위치를 sampling하는 방법을 사용한다.

C_i 의 단면을 구하고 sampling 작업을 통하여 다음 층의 높이를 계산할 위치들을 정한다. 구해진 P_1, \dots, P_n 의 각 점에서 다음 층의 높이를 구하고 그 중 높이가 가장 낮은 곳을 P_k 라고 할 때, 그 위치에서 다음 단면을 정하면 P_1, \dots, P_n 의 모든 점에서의 cusp height가 기준값 이내에 들어오게 된다.

여기서 문제시되는 것은

- Sampling point를 단면 C_i 의 어떤 위치에 어느 정도의 빈도로 잡을 것인가?
 - Sampling point의 모든 점에서 다음 층의 높이를 계산할 때의 많은 계산량과 소요되는 시간을 어떻게 줄일 것인가?
- 이다.

Sampling point가 최적 sampling point인지 아닌지를 판별하는 방법과 sampling point를 적게 잡으면서도 정밀도를 향상시킬 수 있는 방법 순으로 살펴보도록 하겠다.

Fig. 4의 (a)에서 보는 바와 같이 모델을 수평으로 잘라 만든 C_i 와 이에 연속된 C_{i+1} 단면이 있다고 하자. C_i 단면의 각 sampling point에서 수직 교선을 만들어 C_i, C_{i+1} 과의 교점인 P_i, P_{i+1} 를 구했을 때, 경사가 급한 곳일수록 두 점간의 xy평면거리인 h 가 작게 되고 완만한 곳일수록 거리는 커지게 된다. Sampling point들 중에서 다음 층의 높이가 작게 계산되는 곳은 수직 교선의 경사가 완만한 곳들이고, 이런 곳에서는 h 의 값이 크게 되므로 sampling point들 중 h 의 값이 가장 크게 되는 P_k 를 선택하여 다음 층의 높이를 계산하면 이 높이는 C_i 의 모든 점에서 구한 높이 중 가장 낮은 부분을 구한 것으로 볼 수 있다. Sampling point에서 cusp height를 만족하도록 계산

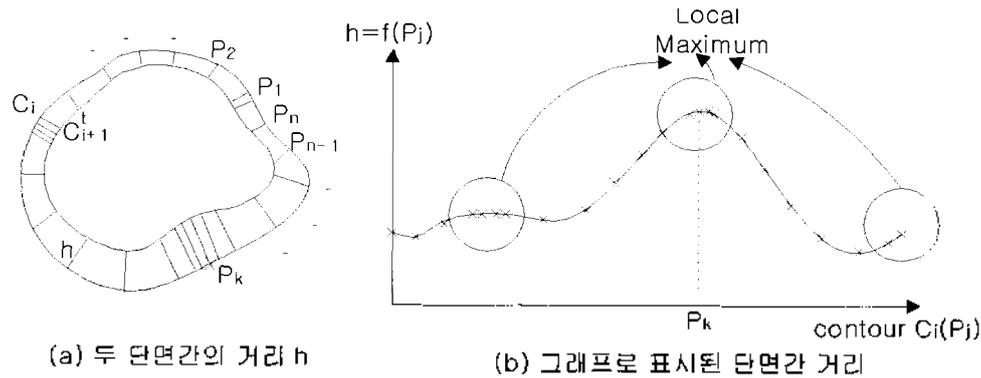


Fig. 4. Obtaining the height of the next slice.

된 높이보다 더 낮은 높이에서 다음 단면을 결정하게 되므로, 이 지점에서는 항상 기준 cusp height를 만족하게 된다. 따라서 P_k 에서 계산된 높이가 가장 낮으므로 다른 모든 sampling point에서는 기준 cusp height를 만족하게 된다. 이렇게 하여 계산 시간이 많이 소요되는 다음 층 높이 계산을 모든 점에서 하지 않고 간단한 h 계산만을 통하여 P_k 의 위치를 구할 수 있다.

C_i 다음의 임시 단면 C_{i+1} 의 높이는 단면들간의 평균 높이로 정할 수 있다. 만일 두 단면간의 간격을 너무 크게 하면, 두 단면 사이에서 수직 교선의 모양이 바뀌어 단면간의 간격 h 가 이 지점 수직 교선의 기울기를 제대로 반영하지 못할 수 있다. 임시 단면까지의 간격을 너무 작게 할 경우에도 실제 다음 단면의 높이 지점에서 얻어지는 결과와 차이가 날 수 있기 때문에 동일한 문제가 발생한다. 반면, 다음 층이 정해질 것으로 예상되는 높이에서 C_{i+1} 를 정하면, h 의 값이 다음 층 높이까지의 기울기를 잘 반영한다. 따라서 평균 단면 간격(예: 0.13 mm)을 사용하는 것이 바람직하고 경우에 따라서는 바로 전 층에서 구한 단면 간격 정보를 추가로 사용하여 알고리즘의 효율을 향상시킬 수도 있다.

다음으로는 sampling point를 결정하는 방법을 설명하도록 하겠다.

Sampling point를 잡는 방법으로는 C_i 단면 윤곽선을 따라가며 C_{i+1} 과의 xy평면 수직 거리인 $h=f(P_j)$ 의 그래프를 그리는 방법이 사용될 수 있다.

목적 함수: maximize $f(P_j)$

을 만족하는 P_j 를 구하면 이 지점이 다음 단면의 높이를 결정할 최적 sampling point P_k 가 된다. P_k 을 출발점으로 하여 미리 정한 거리만큼 지난 위치에서

P_2 의 $f(P_2)$ 를 구하여 그 크기를 비교한 후 만일 증가 추세이면, 계속 일정 간격으로 sampling point를 잡으면서 $f(P_j)$ 의 값을 비교하고 감소하는 점이 일어질 때까지 계속한다. 만일 감소하는 점이 일어지면 바로 앞 1-2점과의 중간에 여러 점을 sampling하여 local maximum 값을 구한 후 이를 저장해 둔다. 감소 추세에서는 일정간격으로 sampling하다가 다시 증가 추세로 되면 앞의 방법을 반복하여 다시 local maximum을 구한다. 이런 식으로 하여 Fig. 4의 (b)처럼 산봉우리 부분에서 얻어진 local maximum중 최대 값을 갖게 하는 sampling point의 위치를 구하고 이 위치에서 공식에 따라 다음 층의 높이를 결정하면 된다. 이 방법을 적용한 결과를 계속해서 설명하도록 하겠다.

단면간의 거리가 커질수록 한 모델의 전체 단면수는 그만큼 줄게 되는데 이것은 곧 기준 cusp height를 정하고 단면화를 할 때, 단면의 수가 적을수록 최적 sampling point P_k 를 정확히 찾지 못해 정밀도가 떨어진다는 것을 의미하고 단면의 수가 많을수록 P_k 를 정확히 찾아서 정밀도가 높다는 것을 말해준다. 따라서 단면의 수가 많을수록 정밀도가 커져서 알고리즘이 좋다는 것을 알 수 있다.

기존의 곡률 반경을 이용한 방법에서는 수평 단면의 cusp height의 값이 작을수록 한 단면 윤곽선에서의 sampling point가 많이 잡히고 시간이 많이 걸리면서 정확해진다. 개선된 방법에서는 sampling point간의 기본 간격을 작게 할수록 많은 수의 sampling point가 잡히고 다음 층의 높이가 정확히 계산된다.

이 논문에서 제시된 방법을 구현하기 위해 C/C++ 언어와 ACIS® CAD 커널을 사용하였고, SGI Indigo 2에서 컴파일한 후 실행하였다. 실험에 사용된 Free-form 모델은 가로와 세로의 폭이 40 mm이고 높이가

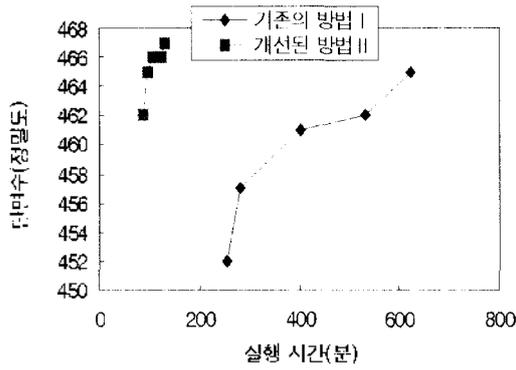


Fig. 5. The relation between the execution time and the accuracy of method I and II.

60 mm이다.

Fig. 5는 기존의 point-sampling방법 I과 개선된 방법 II간의 실행시간대 단면수(정밀도)의 관계를 보여주는 그래프이다. 개선된 방법 II에서는 130분 정도의 실행 시간이면 단면의 수가 가장 많은 467개가 만들어진다. 반면, 기존의 방법 I의 경우는 460분 이상 프로그램을 실행해야 465개정도 만들어진다. 생성된 단면수가 462개일 때의 실행시간을 비교해 보면 방법 II가 방법 I보다 6배 정도의 속도 향상이 있었다. 이처럼 개선된 방법이 기존의 방법보다 짧은 시간에 더 좋은 정밀도를 낼 수 있는 것은 최적 sampling point P_k 를 더 잘 찾으면서 sampling point당 실행 시간도 1/5 이하로 더 짧기 때문이다. 실제로 adaptive 단면화 방법을 적용할 경우 uniform 단면화 방법보다 단면의 수가 수십 퍼센트 줄어서 제작 시간도 크게 줄기 때문에, 여기서 약간의 단면수 증가로 인한 제작 시간의 증가는 별로 문제가 되지 않는다¹⁶⁾. 방법 I을 사용한 것이 467개의 단면수를 얻지 못함에 비해 방법 II의 경우는 이 단

면수를 생성해내었으므로 정밀한 파트를 만들 때는 개선된 방법 II가 더 이상적이라고 결론을 내릴 수 있다.

2.3 Character line을 사용한 단면화 방법

모델을 모두 단면화 한 후 다음 층의 높이를 결정했던 최적 sampling point들을 선으로 이어 보면 경사가 완만한 위치를 따라가며 부드러운 곡선이 만들어지는데 이 선분을 character line이라고 한다. 이 선위의 점들은 앞에서 설명했던 C_i, C_{i+1} 단면간의 xy 평면 거리 h 가 최대가 되는 P_k 지점들이 된다.

최적 sampling point는 character line이나 그 근방에서 정해지므로 단면화 작업을 시작하기전 이 line을 미리 예측할 수 있다면, 다음 층의 높이를 결정할 최적 sampling point를 구할 때 앞에서 설명한 $h=f(P)$ 함수 곡선을 사용하는 대신 좀 더 효율적인 방법으로 구할 수 있다.

한 구간을 일정 간격으로 자르되 간격을 크게 하여 자르고, 자른 각 단면에서 다음 층의 높이를 결정할 최적 sampling point를 구하여 연결한다. 이것을 초기 character line이라고 한다. Character line을 만들고 나면 단면화작업을 해 나갈 때 다음 층의 높이를 결정할 최적 sampling point를 character line이 있는 곳이나 그 근처에서만 찾는다. 초기 character line을 얻기 위해 구간을 자르는 단면간의 간격은 모델에 따라 달라진다. 모델 표면의 굴곡이 심하면 간격을 작게 하고, 굴곡이 많지 않으면 간격을 크게 한다. 이들 단면 사이에서 실제 character line의 끊어진 부분이 생길 경우 각 단면에서 구한 최적 sampling point간의 거리가 단면간의 거리보다 훨씬 커지게 된다. 이런 부분에서는 예전처럼 character line을 사용하지 않는 방법을 이용하여 단면화 작업을 해

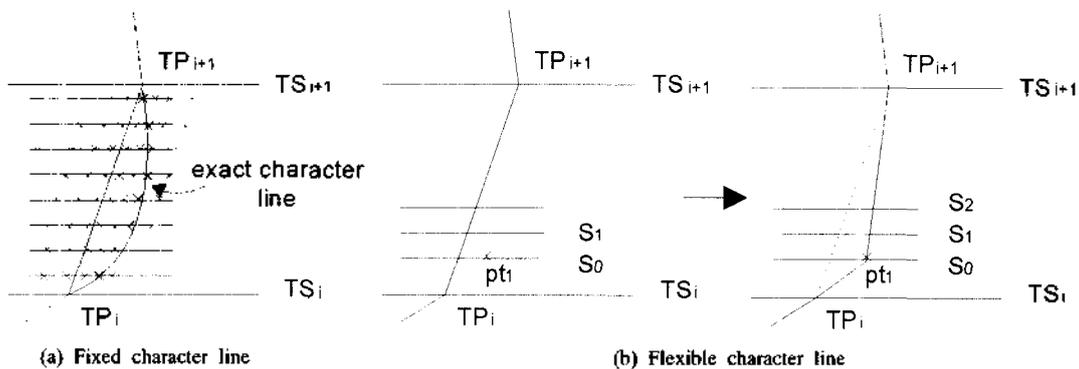


Fig. 6. Character line and sampling points.

준다. 그러나 굴곡이 심한 모델에서 단면간의 간격을 크게 하면 그 만큼 끊어진 영역이 증가하기 때문에 효율이 떨어지게 된다. 따라서 이 값을 잘 정해야 한다. 이 실험에서는 단면간의 간격으로 2 mm를 사용했다.

Character line이 이미 만들어져 있고 그 사이를 단면화해 나갈 때의 방법은 2가지로 생각해 볼 수 있다.

첫 번째 방법은 Fig. 6의 (a) 경우인데 character line 주위의 몇몇 군데에서만 다음 층 높이를 계산해 보아서 제일 좋은 점을 선택한다. 두 번째 방법은 Fig. 6(b) 경우로서 단면화 과정 중에 character line을 계속 변화시켜 가는 방식이다. S_0 면에서 다음 층인

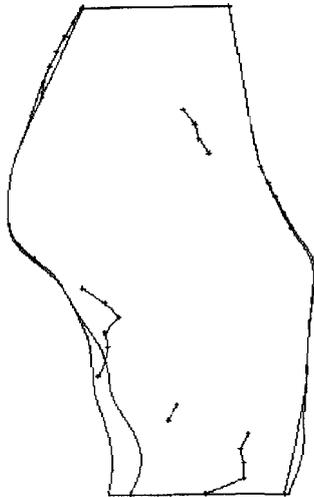


Fig. 7. Initial character line of freeform model.

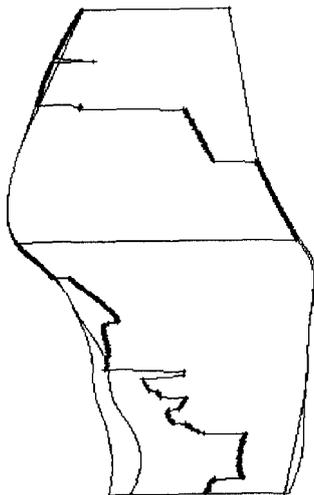


Fig. 8. Final character line of freeform model.

S_1 면까지의 높이가 pt_1 에서 결정된다면, TP와 pt_1 을 잇는 새로운 line을 만들어서 character line을 변경한다. 이렇게 하면 S_1 에서 S_2 까지의 높이를 결정하는 곳의 점은 새로운 line의 근방에서 구하는 방식대로 하면 된다.

Fig. 7-9는 각각 단면을 만들 때 다음 층의 높이를 구할 최적 sampling point들을 이어 놓은 character line들과 이 때 구한 단면들을 보여준다.

Fig. 10에서 방법 II는 개선된 point-sampling법을 사용한 경우이고 방법 III은 여기에다가 character line을 추가로 사용한 경우이다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 sampling point간의 기본 간격을 크게 했을 때는 character line을 사용한 방법이 사용하지 않은 방법보다 실행 시간이 87분에서 71분으로 줄면서도 단면수는 오히려 462개에서 465개로 늘었다. Sam-

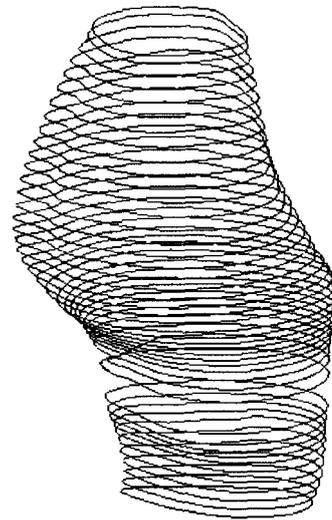


Fig. 9. Slices of freeform model.

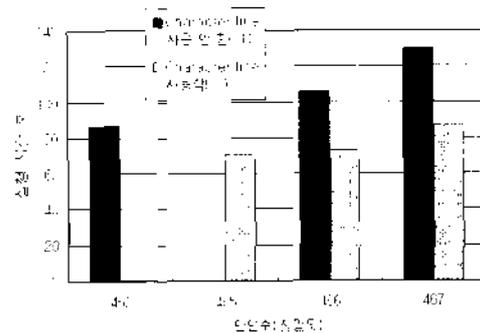


Fig. 10. Comparison of the execution time of method II and III.

pling point수가 줄어든 것은 character line을 사용하였기 때문이고, 단면수가 늘어난 것은 character line 주위에서 sampling point를 기존의 방법보다 약간 더 잡아 sampling point간의 거리를 짧게 했기 때문이다. Sampling point간의 기본 간격을 크게 할 때는 sampling point수와 실행 시간은 줄었지만 단면수는 그대로 유지했다.

두 방법의 실행시간을 비교한 Fig. 10을 보면, sampling point간의 기본 간격을 크게 하여서 sampling point의 수가 작을 때는 약간의 속도 향상만이 있었으나 sampling point의 수가 많아질수록 그 효과가 커지는 것을 볼 수 있다. 이것은 character line을 사용한 방법 III을 사용할 때 모델의 크기에 관계없이 character line 근처에서 일정한 개수의 sampling point만을 정해서 사용하지만, character line을 사용하지 않는 방법 II에서는 모델이 커질수록 한 단면에서의 sampling point수도 그 만큼 증가하기 때문이다. 일반적으로 모델의 크기가 커질수록 character line을 사용한 효과도 더 커지게 된다.

3. 결 론

Adaptive 단면화 방법은 기본적인 이론이 정립되었음에도 불구하고 아직 실현시키기에는 문제점이 있었다. 이런 점을 감안하여 본 논문에서는 정밀도와 실행 속도 향상이라는 큰 주제에 대하여 설명을 했다. 다음 층의 높이가 결정될 최적 sampling point를 정확히 찾아야 adaptive 단면화 과정에서 정밀도를 유지할 수 있다. 첫 번째 개선된 방법에서는 sampling point를 필요 이상으로 늘리지 않으면서 최적 sampling point를 빨리 찾을 수 있게 했고, 다음 층 높이가 계산에 드는 시간도 혁신적으로 줄였다. 특히 이 방법은 곡면이 많고 모델이 클수록 효과가 잘 나타난다. 두 번째 방법에서는 character line의 개념을 사용하여 최적 sampling point를 훨씬 쉬우면서도 빠르게 찾을 수 있게 했다. 이 line을 보면 다음 층의 높이가 계산되는 최적 sampling point들이 어느 위치에 있는지 금방 알 수 있다. 이 두 가지 방법을 통하여 정밀도를 향상시키면서도 실행 시간을 크게 줄였는데 이는 adaptive 단면화 방법을 현실화시키는데 큰 역할을 할 것이다.

참고문헌

1. Sterolithography Interface Specification, 3D Systems, Inc., July 1988.
2. Yan, X. and Gu, P., "A Review of Rapid Prototyping Technologies and Systems", *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 4, pp. 307-318, 1996.
3. Jamieson, R. and Hacker, H., "Direct Slicing of CAD Models for Rapid Prototyping", *Internet Conference*, 1995.
4. Kulkarni, P. and Dutta, D., "An Accurate Slicing Procedure for Layered Manufacturing", *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 9, pp. 683-697, 1996.
5. Dolenc, A. and Mäkelä, I., "Slicing Procedures for Layered Manufacturing Techniques", *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 2, pp. 119-126, February 1994.
6. Suh, Y.S. and Wozny, M.J., "Adaptive Slicing of Solid Freeform Fabrication Processes", *Proc of Solid Freeform Fabrication Symp.* 8-10 August 1994, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, 1992, pp. 404-411, 1994.
7. Lee, K.H. and Yoo, I., "An Extended Slicing Method for Rapid Prototyping", *Proceedings of The International Conference On Manufacturing Automation*, 28-30 April 1997, The University of Hong Kong, pp. 449-454, 1997.



최 광 일

1996년 고려대학교 산업공학과 학사
 1998년 광주과학기술원 기전공학과 석사
 1998년~현재 광주과학기술원 위촉연구원
 관심분야: Reverse Engineering, Rapid Prototyping



이 관 행

1976년 서울대학교 섬유공학과 학사
 1982년 서울대학교 산업공학과 석사
 1988년 미국 North Carolina State대 산업공학과 박사
 1988년~1994년 미국 Northern Illinois대 조교수
 1995년~현재 광주과학기술원 기전공학과 부교수
 관심분야: CAD/CAM, Rapid Prototyping & Manufacturing, Reverse Engineering, Medical Applications