

3D layer 생성을 위한 RP 모델 분할 알고리즘 RP model decomposition algorithm for making 3D layer

이재호, 박준영
동국대학교 산업공학과

Abstract

Rapid Prototyping(RP)이란 3차원 솔리드 모델을 단면화한 뒤 하나씩 적층하는 가공방식을 총칭한다. 이때 단면화하는 방법에 따라서 uniform, adaptive slicing으로 나뉘며, 입력 모델에 따라서 direct slicing과 STL을 이용한 방식으로 나뉜다. 적층 방법에 따라서는 연속된 2D 윤곽을 기반으로 적층하는 vertical layer 방식과 인접한 두 개의 2D 윤곽들을 연결하여 만들어진 3D layer를 기반으로 가공하는 sloping layer 방식으로 나뉠 수 있다. 현재 상용 RP 시스템들에서는 거의 모든 경우 vertical layer 방식이 채택되어 사용되고 있다.

RP와 절삭 공정, 예를 들면 CNC 밀링의 장점을 효율적으로 결합하기 위해서는 임의의 복잡한 형상을 갖는 솔리드 모델을 정밀도에 제한이 없이 제조할 수 있어야 한다. 그러나 절삭 공정은 특별한 전문적 지식들을 필요로 한다. 또한 상용 RP에서 사용하는 순차적인 적층 작업으로는 가공할 수 없는 형상들이 많다. 대표적인 것으로 지지대를 필요로 하는 형상들이 있다. 이러한 형상들을 지원하기 위해서는 복잡한 3D 형상을 절삭 가능한 형식으로 분할하는 것과 적층 가능한 순서대로 공정 계획하는 것이 필요하게 된다. 본 연구에서는 SDM에서 제시된 3D 분할 방법이 솔리드 모델을 기반으로 전개되어 STL file과 같은 삼각 다면체 형식으로 근사화된 모델에 적용하기 어렵다는데 착안하여 STL file에서 읽어들이는 삼각 다면체 모델을 가공 가능한 3D 형상으로 분할하는 알고리즘을 제시하고자 한다.

Key Word: Rapid Prototyping, 3D layer, model decomposition

1. 서론

Rapid Prototyping(RP)이란 3차원 솔리드 모델을 단면화한 뒤 하나씩 적층하는 가공방식을 총칭한다. 이때 단면화하는 방법에 따라서 uniform, adaptive slicing으로 나뉘며, 입력 모델에 따라서 direct slicing과 STL 파일을 이용한 방식으로 나뉜다. 적층 방법에 따라서는 연속된 2D profile을 기반으로 적층하는 vertical layer 방식과 인접한 두 개의 2D Profile을 연결하여 만들어진 3D profile을 기반으로 가공하는 sloping layer 방식으로 나뉠 수 있다.

현재 상용 RP 시스템들에서는 거의 모든 경우 vertical layer 방식이 채택되어 사용되고 있다. 그 이유는 머신의 구성이 비교적 간단하며 상용화된 솔루션을 만들기가 용이해서이다. 그러나 SDM(shape deposition method) 방법론이나 Peow와 Hope의 연구와 같이 adaptive slicing 방법과 sloping layer 방법의 장점을 결합하면 RP의 적층 프로세스와 CAM의 정밀 가공의 장점을 동시에 구현한 시스템이 가능하다.[1]

2. 3D layer에 관한 고찰

3D layer를 사용하는 방식을 평가하기에 앞서 2-1/2D layer를 사용하는 상업용 RP 시스템의 장점

과 단점을 살펴보면 다음과 같다.[2]

- 장점
 - 1) 어떠한 형상이건 형상에 대한 특별한 고려없이 적층이 가능하다.
 - 2) 플라스틱부터 메탈(Al, Fe, Ni), 세라믹까지 대부분의 재료 영역을 커버하고 있다.
 - 3) 제작 시간이 비교적 빠르다. SLA(Strelithography)의 경우에 초기 머신의 30시간에서 현재 약 3시간 정도로 단축되었다.
- 단점
 - 1) 상용 시스템들은 uniform slicing을 사용하며 이는 전역적으로 계단 현상을 발생시킨다. 따라서 이를 제거하기 위한 후처리 공정을 필요로 한다. 계단 현상을 줄이기 위해서는 adaptive slicing을 사용하거나 매우 얇은 두께의 layer를 많이 사용해야 한다.
 - 2) 후처리 공정의 경우에 내부에 생기는 계단 현상에 관해서는 제거가 어렵다.
 - 3) 각각의 시스템은 자체 공정의 특성에 맞는 재료만을 지원한다. 따라서 CNC와 같은 재료상의 범용성이 적다.

RP와 절삭 공정, 예를 들면 CNC 공정의 장점을 효율적으로 결합하기 위해서는 임의의 복잡한 형상을 갖는 솔리드 모델을 형상에 대한 제약 없이 제조할 수 있어야 한다. 이를 위해서 3D layer를 구현하기 위한 연구들이 시작되었다. 그러나 정밀 절삭 공정을 구현하기 위해서는 특별한 전문적 지

식들을 필요로 한다. 또한 단순히 상업용 RP 시스템에서 채택하고 있는 순차적인 적층 공정과 절삭 방식을 결합하는 것으로는 지지대를 필요로 하는 형상을 구현하기는 어려운 실정이다. 따라서 3D layer를 사용하여 가공형상을 절삭 가공이 가능한 형상으로 분할하고 구간 별로 적층해 가되, 지지대를 필요로 하는 형상이 감지되면 지지대 형상을 만들어가면서 적층하는 것이 필요하다. 이를 위해서 Prinz 등은 SDM(Shape Deposition Manufacturing) 방법을 제안하였다. 그러나 SDM에서 제시한 3D 분할 방법은 B-rep 솔리드 모델 기반이므로 STL file의 경우에는 적용하기 어렵다는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 다면체 형식으로 구성된 형상을 가공 가능한 3D part로 분할하는 알고리즘을 제시하고자 한다.

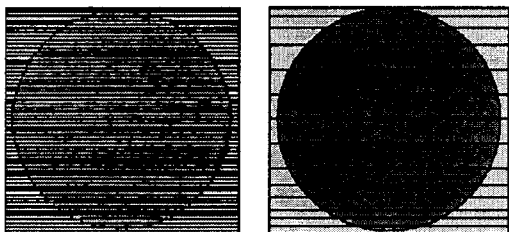
2.1 3D layer에 관한 선행 연구들

3D layer로 전체 모델을 적층하는 여러 가지 시도들이 있었다. Hope는 4축 워터 젯을 이용한 sloping layer 적층 시스템을 개발하였고[3], Peow는 SLA에서 사용하는 액상의 플라스틱을 레이저로 광경화시킨 layer로 적층하고 이를 다시 5축 사이드 밀링으로 절삭하여 계단 현상이 제거된(step free)형상을 구현하는 시스템을 개발하였다.[4] Prinz 등은 SDM 시스템을 통해서 CAD 모델을 절삭 가공이 가능한 3D layer로 분할한 뒤 FDM에서 사용하는 것과 유사한 적층하고 CNC 밀링 공정을 이용해서 제거하는 반복적인 공정을 개발하였다.[5]

본 연구에서는 prinz등이 제안한 CAD 모델을 절삭 가공 가능 영역과 불가능 영역으로 분할한 뒤 가공이 가능한 3D layer로 모델을 분할하는 방식이 타당하다고 보고 ACIS 커널에서 제공하는 실루엣 에지(silhouette edge)를 찾기 힘든 근사화된 곡면인 STL file을 입력 데이터로 분할하는 알고리즘을 제시하고자 하였다. 그 이유는 peow와 Hope의 방식의 경우에 support structure가 필요한 형상에 대한 고려가 없기 때문이다.

2.2 3D layer과 adaptive slicing의 연계 문제

Adaptive slicing은 3D layer의 분할을 위해서도 사용될 수 있는데 [그림 1]와 같이 adaptive slicing의 목적이 layer의 개수를 줄이는데 있기 때문이다. 3D layer를 사용하는 경우에는 layer의 개수를 줄이는 adaptive slicing의 전략이 한번에 가공 가능한 영역을 최대화하는 전략과 연결된다. 이는 전체 가공 시간의 단축에 중요한 요인이 된다.



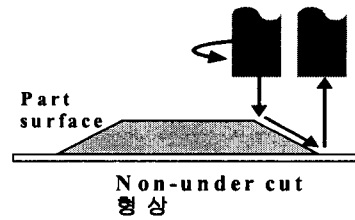
[그림 1] uniform과 adaptive 단면화의 비교

2.3 가공 가능한 3D layer의 평가

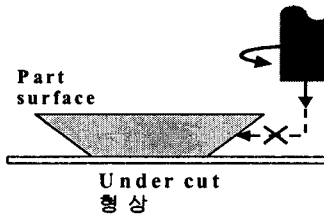
일반적으로 임의의 복잡한 형상을 3축이나

5축으로 다 가공할 수는 없다. RP에서 절삭 공정과의 결합을 위해서는 적층 방향에 수직인 공구의 진입위치에서 밀링 가공이 가능한 영역과 불가능한 영역으로 분할해야 된다. [그림 2]는 절삭 가능성의 여부로 분할하는 도식이다.

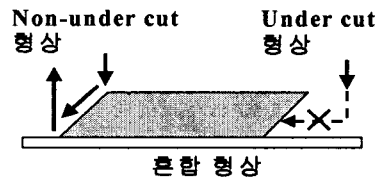
이를 위해서는 절삭 가능 형상(non-undercut shape)과 절삭 불가능 형상(undercut shape), 그리고 두 가지가 혼재되어 있는 복합 형상(both shape)으로 모델을 분류하는 것이 필요하다. 이 중에서 절삭 가능 형상은 그대로 절삭용 공구경로가 생성되며, 절삭 불가능 형상은 지지대(support structure)를 이용해서 가공한다. 마지막으로 혼합 형상은 위의 두 가지 형상 기준으로 다시 분할한다.



(a) 절삭 가능 형상



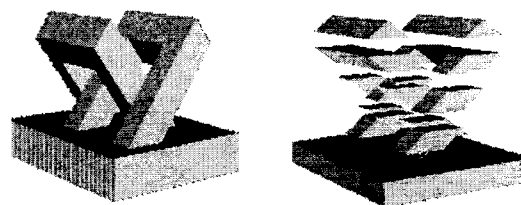
(b) 절삭 불가능 형상



(c) 혼합 형상

[그림 2] (a) 절삭가능 형상 (b) 절삭불가능 형상 (c) 혼합 형상

분할을 위해서 SDM의 경우는 [그림 3]과 같이 모델의 실루엣 에지들을 찾아서 ray-cast에 투영된 실루엣 에지 loop간의 포함 관계를 이용해서 분할 영역을 지정하였다.[6]

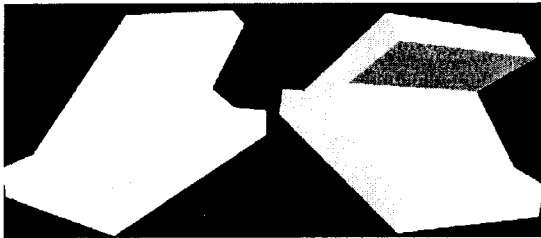


[그림 3] CAD 모델과 3D layer로의 분할도

본 연구에서는 STL에서 추출한 삼각 다면체 형상으로부터 모델을 분할하는 것을 시도한다. 다면체 모델을 사용하는 장점은 공구의 간섭이 간편하고 알고리즘이 견고하기 때문이다.

3. RP model의 분할

RP model로는 [그림 4]에서 보는 바와 같이 표준 RP 입력 파일인 STL 파일을 사용하였다. 모델의 분할을 위해서 필요한 기준은 모델이 가공 가능한 영역이 적층 방향에 대해서 어디까지인가와 형상이 가공불가능(undercut)인 경우에 필요한 지지대(support structure)는 어떤 형상으로 생성되어야 하는가에 관한 정보가 필요하다. 이를 위해서는 원래 모델로부터 구간별로 3D shape으로 분할된 영역을 추출해야한다. 본 연구에서는 3축 볼 앤드 밀이 절삭 공구가 적층 방향의 수직으로부터 진입한다고 가정하고 있다.



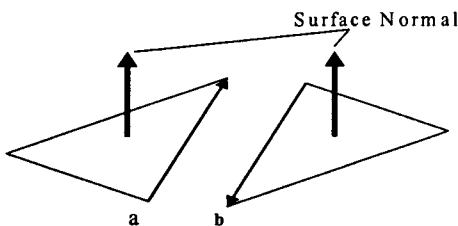
[그림 4] 입력 RP 모델

가공 가능한 영역을 찾기 위하여 다음과 같은 순서로 작업을 진행한다.

- step 1. model을 전부 포함하는 bounding Box를 설정한다.
- step 2. 적층 방향 벡터 d를 설정한다. 이때, 적층 방향은 z축과 평행하므로 $d=(0, 0, 1)$ 이다.
- step 3. $z = z_{min}$ 에서부터 삼각 다면체의 법선 벡터와 적층 방향 벡터 d를 곱한다.
- step 4. 가공가능 영역, 가공불가능 영역과 모델 분할 영역으로 분류된다.
- step 5. 혼합 형상인 경우에 모델 분할 영역은 가공 가능 형상과 가공 불가능한 형상으로써 분류되며 모든 영역이 분할될 때까지 계속 분할된다.

3.1 전체 구간의 분할

입력된 STL file에서 [그림 5]와 같이 읽어들이는 삼각 면들을 검사하여 xy와 평행한 평면 영역을 찾는다. 이때 평행한 면이 존재하는 $z=h$ 의 높이가 분할을 위한 중요한 기준이 된다. 만일 전부가 꼭면인 경우 다음 단계로 넘어간다.

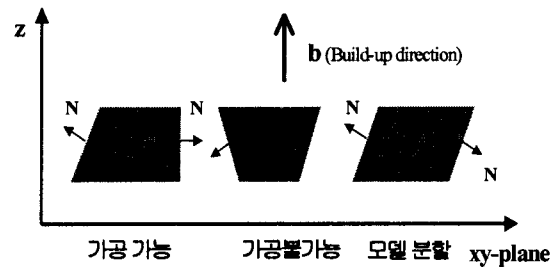


[그림 5] STL에서의 삼각 면과 법선 벡터

3.2 가공 가능 영역과 불가능 영역의 분류

가공 가능한 영역은 진입 공구가 CC(Cutter Contact)점에서 삼각다면체를 따라 내려가면서 가공이 가능한 삼각 다면체들의 집합으로 분류된다. 각 삼각다면체의 법선 벡터의 z성분의 값은 0보다 크다. 만일 진입 공구가 삼각다면체를 따라가면서 가공이 안되고 공구가 반전되어야하는 영역이 발생하면 즉 z 성분이 0보다 작은 삼각다면체이면 그때는 가공 불가능 영역으로 분류된다. 이렇게 분류하는 이유는 불가능 영역의 경우 공구가 밑에 적층된 layer를 간섭하기 때문이다.

[그림 6]은 가공 가능 영역과 불가능 영역에서의 삼각형과 법선 벡터의 z성분 값의 변화이다. 이 그림에서 삼각형들의 법선 벡터에 의해서 가공과 불가능영역을 분할하는 도식이다. 그림에서 S를 연속된 두 개의 단면 간에 존재하는 삼각 다면체들의 집합이라고 하면,

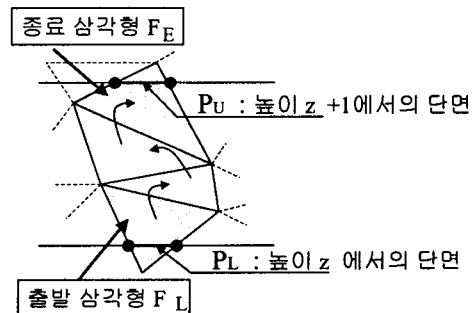


[그림 6] 법선 벡터를 이용한 가공성 평가

- a) S는 영역 S를 구성하는 모든 삼각형에서 $N(x, y, z) \cdot b < 0$ 인 경우에는 가공 불가능(undercut) 꼭면이다.
- b) S는 영역 S를 구성하는 모든 삼각형에서 $N(x, y, z) \cdot b \geq 0$ 인 경우에는 가공 가능(non-undercut) 꼭면이다.
- c) 만일 S가 두 가지를 동시에 가지고 있는 경우에는 혼합 형상이기 때문에 위의 두 가지 형상으로 분할된다.

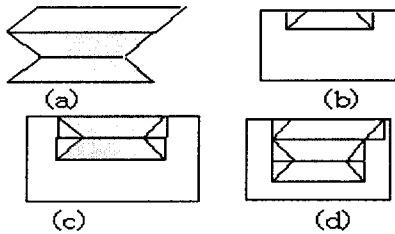
3.3 혼합 영역의 분할 방법

혼합 영역에서는 $N(x, y, z) \cdot b = 0$ 인 삼각형들을 찾는다. 이 삼각형들은 바로 모델의 실루엣 라인에 근사화된 facet들이다. 따라서 이 삼각형들을 따라가면서 혼합 모델을 분할한다. 이때 [그림 7]과 같이 출발에서 종료까지의 검색은 인접한 삼각형과 공유하는 에지를 중심으로 z성분 값이 큰 삼각형으로 찾아 올라가는 방법을 사용하였다.[7]



[그림 7] 혼합 형상의 분할을 위한 기준

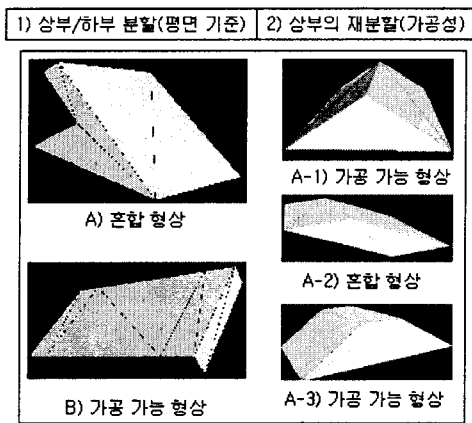
혼합 영역을 분할하게 되면 가공가능영역과 가공 불가능 영역으로 나뉘게 되므로 가공 가능 영역은 공구반경만큼 offset된 새로운 삼각면을 생성한다. 새로운 삼각면 위에서 공구경로가 생성된다. 가공불가능 영역은 반대로 support material을 위한 경로를 생성하게 된다. 모든 영역에 대한 작업이 끝나면 [그림 8]과 같은 공정계획을 수립하게 된다.



[그림 8] (a) 원래 모델 (b)-(d) 단계별 적층순서

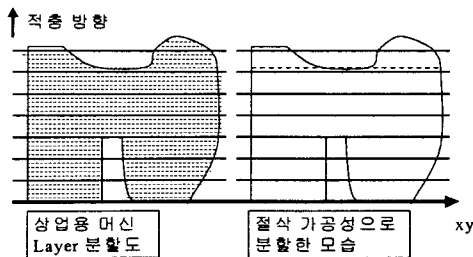
3.4 가공성 평가

전체 형상에 대한 분류 작업이 끝나면 분류된 형상들이 실제로 가공될 수 있는 형상인지를 판별해야 한다. 이 작업에 의해 공정계획이 수립된다. 그러나 공정계획은 적층 시스템의 종류에 종속적이기 때문에 형상의 분할만을 고려하였다. [그림 9]는 분할된 형상의 단계별 분할도이다.



[그림 9] 형상의 단계별 분할도

복잡한 형상의 경우 분할을 위한 최적의 적층 방향을 찾는 것도 중요하다. 본 연구에서는 xy 평면과 평행한 면을 가장 많이 갖는 방향을 적층 방향으로 삼았지만 실제로는 모델의 분할과 local geometry와는 밀접한 관계에 있으므로 이에 관한 고려가 필요하다.



[그림 10] 상업용 머신과 본 연구의 차이점

[그림 10]은 상업용 머신의 분할도와 본 연구에서 사용한 분할도와의 차이점을 보여주고 있다.

4. 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 절삭공정과 적층 공정을 결합하기 위해서 다면체 모델을 절삭가공이 가능한 영역으로 분할하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 모델의 가공 가능성을 다면체모델의 법선 벡터와 인접한 삼각 다면체들의 분류에 의해서 평가하였다. 본 알고리즘의 수행시 모델의 complexity가 복잡한 경우에 매우 많은 개수의 layer로 분할하게 되는 문제가 발생하였다. 이는 결과적으로 적층 시간에 좋지 않은 영향을 미치게 되었다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 향후, 한번에 절삭되는 volume을 기반으로한 optimal part orientation을 찾는 알고리즘을 적용하여 layer의 개수를 줄이는 방안이 개발되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Jacob. P. F., and Broke. J. J, Vergest. J.S.M. "A comparison between zero and first order approximation algorithms for layered manufacturing", Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No. 4, pp 144 - 149, 1997.
- [2] Kruth J. P. and Leu. M. C, T. Nakagawa, "A Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping", Journal of the CIRP, Vol. 47, pp 525 - 540, 1998.
- [3] Hope, R. L., Roth, N. and Jacobs, P. A., "Adaptive Slicing with Sloping Layer Surface", Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No. 3, pp 89 - 98, 1997.
- [4] Peow, N., Wei, F., Jiguo, Z. and Haiqing, G., "Motion compensation for five-axis rapid prototyping" Rapid Prototyping Journals, Vol. 4, No. 2, pp 68-79, 1998.
- [5] Chang Y. C, Prinz, "Automotive Layer Decomposition for additive/subtractive Solid Free form Fabrication", Proc. Solid Freeform Fabrication Symposium, pp 111-120, 1999.
- [6] Rawaswami, K. and Prinz. F. Yamaguchi. Y., "Spatial Partitioning of Solids for Solid Free form Fabrication", Fourth Symposium on Solid Modeling and Application, pp 346-353, 1997
- [7] Justine, T, Jan, H. B., "Local Adaptive slicing", Rapid Prototyping Journal, Vol. 4, No. 3, pp 118-127, 1998.