

Rapid Prototyping 을 이용한 인체 모형 제작

*방철배, ****김남국, **이동혁, ***김종효, ***강홍식, **민병구, *김영호, *강석호
*서울대학교 산업공학과, **의공학 교실, ***방사선학 교실, ****비트컴퓨터 기술연구소

Production of Implant Models using Rapid Prototyping

*C. B. Bang, ****N. K. Kim, **D. H. Lee, ***J. H. Kim, ***H.S.Kang, **B.G.Min, *Y.H. Kim, *S-H. Kang

*Department of Industrial Engineering, College of Engineering, Seoul National University;

**Department of Biomedical Engineering, College of Engineering, Seoul National University;

***Department of Radiology, College of Medicine, Seoul National University;

****BIT Computer Co., Ltd., Technical Institute

Abstract

Making physical models of human body is not only time-consuming but also very expensive since they are usually hand-made. This problem is doubled with implant fabrication because an implant is almost always custom-made. Recently, RP is emerging as an alternative, and many RP applications are proposed in the medical field. The major advantage of this approach is due to a significant reduction of both time and cost required for the production. However, the technology is not much in practical use yet, especially in Korea. In this paper, we provide a method of generating STL files that are the standard format to RP machines. The original data are obtained from two-dimensional slices of MRI/CT machine. Example bone models have been produced using a commercially available RP machine, and the results are presented.

Keyword: Rapid Prototyping, Implant, STL, Decimation, Marching Cubes

서 론

의료분야에서 rapid prototyping 기술의 도입이 최근 주목을 받고있다. X-ray나 CT 등 2차원 이미지만으로 환자의 상태를 정확히 진단하는 것은 매우 어렵다. 이를 해결하기 위해 볼륨 데이터를 이용한 3차원 시각화가 많이 연구되어 왔다. 그러나 3차원 시각화도 현실적인 공간감 및 입체감 부족, 접촉을 통한 정보 획득 불가능, 실제 수술시 3차원 공간과의 불일치 등의 문제가 있다. 그에 비해 실제적인 3차원 모형을 생성해 내는 RP의 장점은 여러 가지 면에서 앞의 문제를 해결할 수 있다. 특히 병원에서 수술 전에 환자의 두개골이나 특이한 임상 사례 등의 인체 모형을 통해 환자의 상태를 더 정확히 파악하고, 모의시술을 통해

미리 수술계획을 세운다면, 수술에 걸리는 시간을 단축시킬 수 있음은 물론이고, 수술 시에 발생할 수 있는 돌발사태에 능동적으로 대처함으로써 의사의 수술에 대한 자신감을 높일 수 있다. 연구에 의하면 이러한 시연을 통한 수술은 일반적으로 50% 이상의 수술 시간을 줄여줄 수 있다고 보고 되고 있다[5].

인간의 손상된 부위를 대체할 임플란트(implant)의 제작에 RP의 장점은 극대화 된다. RP 기술 이전에 임플란트를 제작하기 위해서는 의사가 X-ray 등의 사진을 통해 환자의 뼈에 대한 대략적인 정보를 얻고, 표준화된 임플란트를 바탕으로 각고, 구부리는 등의 작업을 반복적으로 수행하여 최종적인 임플란트를 만들게 된다. 그러나 RP 기계를 이용한다면 이러한 과정에 드는 시간과 비용을 대폭 절감할 수 있을 뿐 아니라 정확도에 있어서도 상당한 개선을 기대할 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고 아직 국내에서 RP를 이용한 임플란트의 제작에 관한 연구는 미비한 실정이다[5].

본 연구에서는 MRI의 2차원 영상자료로부터 RP 기계의 표준입력 파일인 STL 파일의 생성을 목표로 하고 있다. 이 논문에서는 Rapid Prototyping과 STL 파일의 특징에 대한 대략적인 설명과 이 연구의 핵심 기술인 Marching cubes 알고리즘 및 시스템 구현 방법을 제시하였다.

방 법

Rapid Prototyping

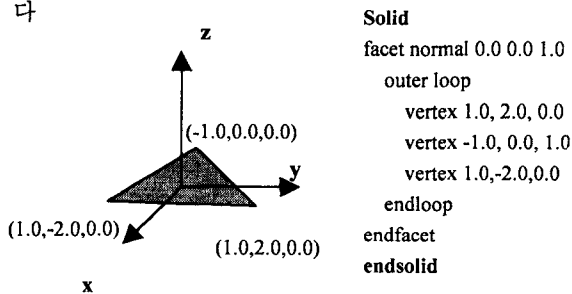
제품 개발 과정에서 시제품(prototype)을 제작하는 것은 매우 중요한 의미를 가진다. 시제품을 통해서 개발자는 제품 디자인에 관한 정보 및 제조 과정에 대한 피드백을 얻게 된다. 그러나 prototyping은 많은 시간과 비용을 필요로 하는 작업이며, 제품주기에서 병

목현상을 유발한다. 80년대에 이르러 rapid proto-typing 이라는 새로운 기술이 개발되어 시제품 제조 기간을 획기적으로 단축할 수 있는 길이 열리게 되었다. RP는 모델이나 prototype 제작, 기능부품 제작, 연마용 부품 제작 등에 사용될 수 있다. RP 기술을 활용하면, 개발 기간을 혁신적으로 단축할 수 있고, 경비가 절감될 뿐 아니라 개발 초기에 품질의 안정성을 확보함으로써 품질 향상에도 큰 도움을 줄 수 있다. RP 기술은 30여 가지 이상 존재하지만, 기본적인 기술들은 다음의 몇 가지로 나눌 수 있다[2].

- SLA : 액상 재료를 굳혀 붙이는 방법
 - SLS : 분말가루를 녹여 붙이는 방법
 - LOM : 박막을 붙이는 방법
 - FDM : 압출성형방법
- 본 연구에서는 SLA 방법을 사용하였다.

STL Format

대부분의 RP 기계는 STL 포맷(Stereo-Lithography format)을 입력으로 받아들인다. STL 포맷은 binary와 ASCII의 두 가지 형태로 사용된다. ASCII 파일은 "solid"라는 keyword로 시작해야 하며, "endsolid"로 끝나야 한다. 이 두 keyword 사이에는 solid 모델의 표면을 정의하는 삼각형들이 나열되어야 한다. 각 삼각형들은 삼각형의 꼭지점을 이루는 세 점의 xyz 좌표를 갖고, 표면의 법선벡터(normal vector)를 기술해야 한다. 이 법선벡터는 단위길이를 가지며 오른손법칙을 따른다. [그림 1]에는 기본도형과 이를 묘사하는 ASCII 형태의 STL 파일 예제를 보여준다. STL 파일에서 가장 많이 발생하는 예리 중 하나는 vertex-to-vertex 규칙을 어김으로써 나타난다. 즉, STL 파일 내의 모든 이웃하는 두 삼각형은 정확히 두 개의 점을 공유해야 한다. [그림 2]는 이 규칙을 위반한 경우의 예를 보여준다



[그림 1] STL 파일의 구조



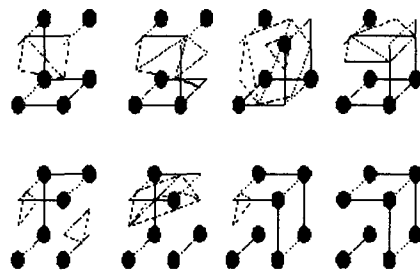
모서리에 교점이 생기는 경우 면 내부를 관통한 경우는 한 모서리에 세면이 만나는 경우 구멍이 생기는 경우

[그림 2] vertex-to-vertex rule 위반

Marching cubes 알고리즘

Marching cubes 알고리즘은 2차원 단면정보로부터 복셀(voxel) 3차원 형상을 추출하는 휴리스틱 알고리즘이다. 이 알고리즘은 3차원 볼륨 데이터의 단위인 복셀들이 서로 독립이며, 윤곽선이 복셀들과 교차하는 곳에서 나타나는 형상은 유한하다는 가정에서 출발한다. 이로부터 모든 가능한 경우의 6면체의 위상 상태를 나열하는 테이블을 만들 수 있고, 이를 이용하여 모델의 외곽을 근사하게 생성할 수 있다. 이러한 marching cubes 방식은 매우 현실적이고 단순하므로 2차원 단면 정보에서 3차원 형상데이터를 추출하는 데에 널리 사용되고 있다[7].

그러나 marching cubes 방식은 몇 가지 단점을 가지고 있다. 첫째는 복셀마다 모두 모델을 생성하기 때문에 자료의 양이 너무 커지며, 이에 따른 계산 비용도 많이 든다는 것이다. 이를 해결하기 위해 marching cubes에 의해 생성되는 삼각메쉬의 수를 줄이는 방법이 많이 연구되었다. 두 번째 문제점은 모호한 면이 생길 수 있다는 것이다. 대각선 방향의 점들이 임계치 이상의 값을 가질 경우 형상에 대한 정확한 정보를 얻을 수 없어 표면상에 구멍이 생길 수도 있다. 이는 단순한 형상을 보여주는 데는 큰 문제로 보이지 않을 수도 있지만, 실제 생성된 3차원 형상자료로부터 RP 기계를 통해 임플란트를 생성할 경우 예기치 못한 큰 장애가 발생할 수도 있다. 이를 해결하기 위해 원래의 marching cubes를 수정한 여러 알고리즘이 제시되어 왔으며, 일반적으로 원래의 marching cubes의 기본 형상 테이블에 [그림 3]의 추가적인 경우를 더함으로써 해결가능하다고 알려져 있다[4].



[그림 3] 추가적인 경우

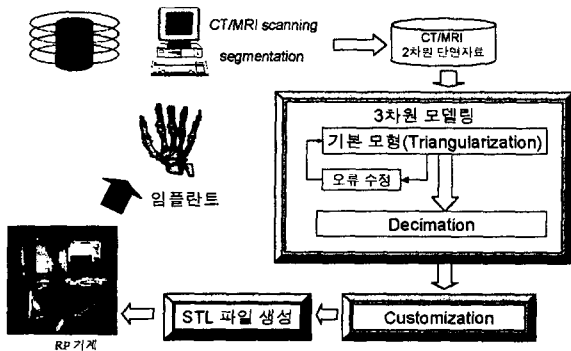
Decimation

marching cubes algorithm에 의해 생성되는 삼각형의 수는 굉장히 많기 때문에 이를 저장하는 데이터 파일의 양도 커지게 된다. 그러나 이 삼각형들은 불필요한 정보를 가지고 있는 경우도 있다. 예를 들어 동일 평면상에 놓인 삼각형들을 병합하여 더 큰 삼각형으로 표현하여 데이터의 양을 줄일 수 있다. 또한 동일 평면상의 삼각형들이 아니라 하더라도 삼각메쉬들 주변의 평면과 이루는 각이 사용자가 제시하는 값보다 작다면 이를 평면으로 간주할 수 있다. 이 방법을 이용하여 모델의 형상을 유지하면서 데이터의 양을 줄일 수 있다. Decimation 과정은 marching cubes algorithm의

단점중의 하나로 제기되었던 과도한 자료 양의 문제에 대한 해결책으로 본 연구에서 사용되었다.

시스템 구성

RP 기계에 입력으로 들어가게 될 STL 파일을 생성하기 위해, CT 자료로부터 2차원 단면자료를 추출한다. 이를 바탕으로 하여, marching cubes 알고리즘을 적용하면 뼈에 대한 삼각메쉬들을 얻는다. 이 삼각메쉬들을 구성하고 있는 각 꼭지점을 통해 삼각형의 표면에 대한 법선벡터를 외적을 통해 구할 수 있다. 이렇게 구해진 삼각형의 꼭지점에 대한 좌표와 법선벡터들을 파일에 기록하여 STL 파일을 생성해낸다. 전체 시스템의 구성이 [그림 4]에 나타나 있다.



[그림 4] 시스템 구성

처리 결과

[그림 5]에는 머리뼈와 손뼈의 Segment된 MRI/CT 자료(서울대학병원 제공)를 입력자료로 하여 생성한 STL 파일을 보여주고 있다. STL 파일이 나타내는 형상을 보기 위한 도구로는 materialise사에서 제공하고 있는 magicView software을 사용하였다. [그림 6]은 직접 SLA기계(SLA-500)를 이용하여 만들어진 형상을 보여주고 있다. 소재는 엑폭시를 사용하였다. 특히 손 모형은 28개의 각각의 뼈들로 Segment 되고 STL 모델링 되어 있는 모델이다.

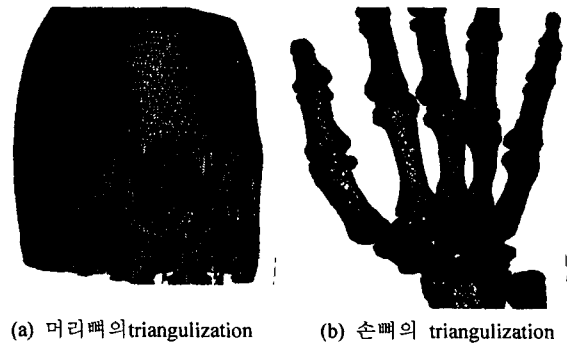
결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 의료분야에서 임플란트의 제작에 RP 기술을 이용하기 위하여 MRI/CT의 2차원 단면 자료를 직접 RP 기계에 입력할 수 있도록 표준입력자료 형태인 STL 파일로 변환하였고, 이에 관련된 기술들을 제시하였다.

의료분야에서 환자의 상태나 골격 등에 대한 지식은 매우 중요한 정보이다. 의료 행위가 시작된 때부터 계속적으로 요구되어온 사항이 바로 환자의 내부 상태에 대한 정확한 정보이고, 이를 위해 컴퓨터의 도움으로 2차원 형상 나아가 3차원 형상에 대한 개발이 시도되었다. 이런 모든 연구의 목적은 환자와 똑같은

형상을 가진 실제적인 물체의 생성이며, RP 기술을 이용하면 이것이 가능할 뿐만 아니라, 그 과정에 걸리는 시간도 단축시킬 수 있다. 지금까지 수행되어 온 연구들은 아직 방산의 일각일 뿐이며, 아직도 의료분야에서의 RP 기술의 이용은 무궁무진한 활용범위를 가지고 있다.

앞으로 STL 파일형태 이외의 다른 형식의 출력을 가능하도록 하고, 이미 만들어진 기본 모형의 파라메트릭 확장을 통해 뼈의 형상을 자유 자재로 바꿀 수 있는 방법에 대한 연구가 진행될 것이다. 또한 수술의 연습도구으로써 절단과 같은 오퍼레이션을 가능하도록 하여 효과를 확인할 수 있도록 할 계획이다.



[그림 5] STL 파일 Triangles 시각화



[그림 6] RP로 제작된 신체 모형

참고 문헌

- [1] 김남국, 김영호, 강석호, 조현정, 웹상에서의 CT/MRI 볼륨데이터를 이용한 상호적이고 협동적인 3D 그래픽 원격 진료 환경, 대한의료정보학회지, vol3, 1, 1997.
- [2] 허정훈, 신속시작작업을 위한 CAD 시스템의 개발, 서울대학교, 기계설계 석사논문, 1996
- [3] A.L.Jacob, B.Hammer, First experience in the use of stereolithography in medicine, 3D system
- [4] C.Montani, R.Scateni, R.Scopigno, Discretized Marching Cubes, 1994
- [5] Paul F.Jacobs, Medical application of stereolithography for RP&M, 3D system
- [6] Paul Ning, Jules Bloomenthal, An evaluation of implicit surface tilers, IEEE, CG&A, 17, 16, 1993
- [7] Willam E.Lorensen, Harvey E.Cline, Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm, Computer Graphics, vol21, 4, 1989