

Rapid Prototyping을 이용한 임플란트 생성*

방 철배, 김 영호, 강 석호

서울대학교 산업공학과

Abstract

RP(Rapid Prototyping) 기술은 점점 그 활용범위를 넓혀가는 추세이며, 의료분야에서도 임플란트의 제작등에 RP 기술의 도입이 시도되고 있다. 뼈나 치아 등의 인체부속물들은 속성상 직접 그 형태를 파악하기가 힘들고, 따라서 그 대체물인 임플란트의 제작을 위해 MRI나 CT 등의 장비가 사용되고 있다. 의료분야에까지 이르는 RP의 활발한 활용에도 불구하고, 아직 국내에서는 RP에 대한 인식이 부족하고 그 활용에 대한 연구가 거의 없는 상황이다. 본 논문은 MRI, CT 등의 2차원 평면데이터로부터 직접 RP 기계의 표준입력파일인 STL 파일을 생성시키기 위한 방법을 제시한다. 그리고 MRI로 스캐닝된 사람의 머리 뼈 형상을 삼각메쉬 형태의 STL 파일로 변환하여 RP 기계를 통한 실물 모형 제작이 가능하도록 한 예를 설명하였다.

1. 서론

의료분야에서 rapid prototyping 기술의 도입은 최근에 매우 주목을 받고 있는 분야이다. X-ray나 CT만으로 환자의 상태를 정확히 진단하는 것은 매우 어렵다. 그에 비해 실제적인 모형을 생성해 내는 RP의 장점은 여러 가지 면에서 큰 장점을 줄 수 있다. 특히 병원에서 수술 전에 환자의 두 개골이나 뼈 등의 모형을 통해 환자의 상태를 더 정확히 파악하고, 시연을 통해 미리 수술계획을 세운다면, 수술에 걸리는 시간을 단축시킬 수 있음은 물론이고, 수술시에 발생할 수 있는 돌발사태에 능동적으로 대처함으로써 의사의 수술에 대한 자신감을 높일 수 있다. 연구에 의하면 이러한 시연을 통한 수술은 일반적으로 50% 이상의 수술시간을 줄여줄 수 있다고 보고 되고 있다 [5]. 인간의 손상된 부위를 대체할 임플란트의 제작에 RP의 장점은 극대화 된다. RP 기술

이전에 임플란트를 제작하기 위해서는 의사가 X-ray등의 사진을 통해 환자의 뼈등에 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 cube 알고리즘 및 시스템 구현 방법을 제시하였다.

2. 배경이론

2.1 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 병목현상을 유발한다. 80년대에 이르러 rapid prototyping이라는 새로운 시제품 제조 기술이 개발되었으며, 점차 짧아져 가는 제품수명주기와 복잡한 모델형상을 특징으로 하는 제품개발환경과 맞물려 점차 중요한 공정으로 인식되게 되었다. 모델이 다양화, 복잡화되어가고 모델의 수명은 점차 단기화 되어가고 있으며, 이로 인해 모델의 초단기 제작에 대한 필요성이 높아지고 있다. 이러한 환경에서 제조기업들이 능동적으로 경쟁력을 확보하기 위해서는 제품의 기획에서 생산에 이르

* 이 논문은 1997년 초고속 통신망 응용사업계획의 일환으로 수행되었음.

는 과정들을 혁신할 필요가 있고, 이를 위해 동시공학(concurrent engineering)은 한 가지 방법론으로 주목받고 있다[3].

RP는 모델이나 prototype의 제작, 기능 부품의 제작, 연마용 부품의 제작 등에 사용될 수 있다. RP 기술을 활용하면, 개발 기간을 혁신적으로 단축할 수 있고, 경비가 절감될 뿐만 아니라 개발 초기에 품질의 안정성을 확보함으로써 품질 향상에도 큰 도움을 줄 수 있다. RP의 기술은 30여 가지 이상 존재하지만, 기본적인 기술들은 다음의 몇 가지로 나눌 수 있다[2].

- Stereolithography

포토폴리머(photopolymer)는 자외선 레이저 광선에 노출되면 경화된다. 이러한 성질을 이용하여 최초의 맨 아래층부터 내부를 해치 패턴으로 광선을 쏘여서 경화시키며, 엘리베이터에 의해 층층히 위쪽으로 이동하여 입체형상을 만들어간다.

- Solid ground curing

액체 폴리머를 사용하는 점에서는 앞의 Stereolithography와 유사하다. 그러나 수직뿐만 아니라 수평적인 이동도 하며, 레이저 빔을 사용하는 대신 UV-lamp를 사용한다는 점에서 다르다.

- Selective laser sintering

오스틴 소재 텍사스 대학에서 개발한 프로세스로 분말소재의 소결 기법으로 액체 폴리머를 사용하는 대신 서로 다른 소재의 분말을 사용한다. 이 분말을 로울러를 이용하여 플랫폼에 깔고루 뿌린다.

- Laminated object manufacturing

이는 박막(foil)을 잘라붙이는 방법이다. 박막의 하면에는 접합제(binder)가 존재하는데, 이것을 로울러로 압박하여 가열함으로써 이전의 박막에 붙도록 한다. 박막은 레이저에 의해 조각면(slice)의 궤적을 따라서 절단된다.

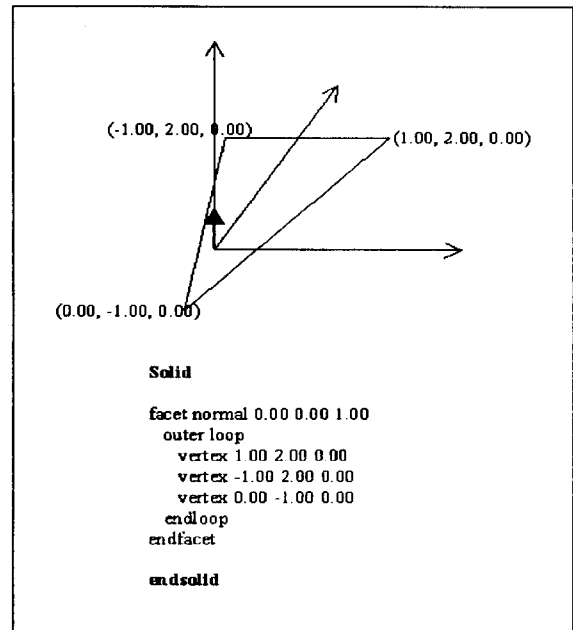
- Fused disposition method

반액체상태의 열가소성수지를 한번에 한층씩 FDM 헤드를 통해 아주 얇은 층으로 압출 성형된다. 이런 식으로 지지대 없이 바로 모델을 위로 만들어 나간다.

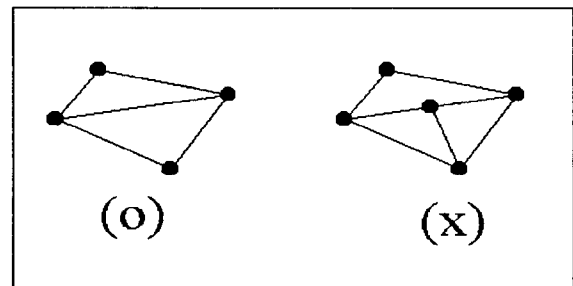
2.2 STL Format

대부분의 RP 기계는 STL format (STereo-Lithography format)을 입력으로 받아들인다. STL format은 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 파일의 예제를 보여준다. STL 파일에서 가장 많이 발생하는 에리 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 올바른 형태와 이 규칙을 위반한 경우의 예를 보여준다.



[그림 1] stl 파일의 구조

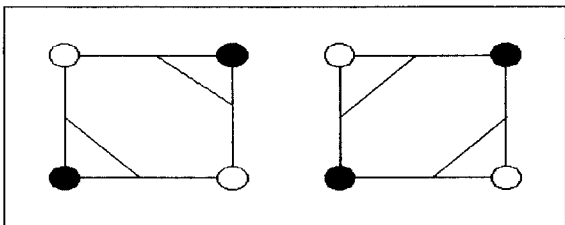


[그림 2] vertex-to-vertex 규칙

2.3 Marching cube 알고리즘

Marching cube 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 경우의 테이블을 만들 수 있고, 이를 이용하여 모델의 외곽을 근사하게 생성할 수 있다. 이러한 marching cube 방식은 매우 현실적이고 단순하므로 2차원 단면 정보에서 3차원 형상데이터를 추출하는 데에 널리 사용되고 있다[7].

그러나 marching cube 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 cube에 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, 즉 [그림 3]과 같은 경우 형상에 대한 정확한 정보를 얻을 수 없어 표면에 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 cube를 수정한 여러 알고리즘이 제시되어 왔으며, 일반적으로 원래의 marching cube의 기본 형상 테이블에 [그림 4]의 추가적인 경우를 더함으로써 해결가능하다고 알려져 있다[4].

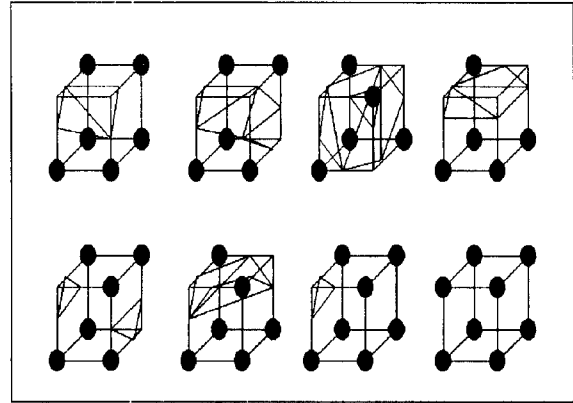


[그림 3] 모호한 평면

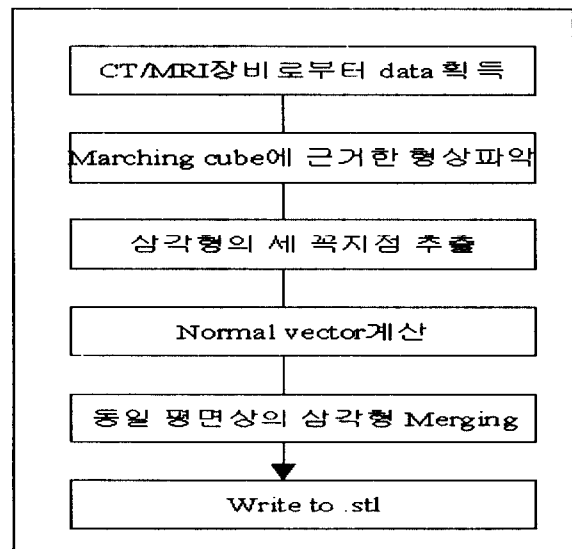
3. 구현

RP 기계에 입력으로 들어가게 될 STL 파일을 생성하기 위해, MRI 자료로부터 2차원 단면자료를 추출한다. 이를 바탕으로 하여, marching cube 알고리즘을 적용하면 뼈에 대

한 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. 이러한 STL 파일 생성 과정이 [그림 5]에 나타나 있다.



[그림 4] 추가적인 경우

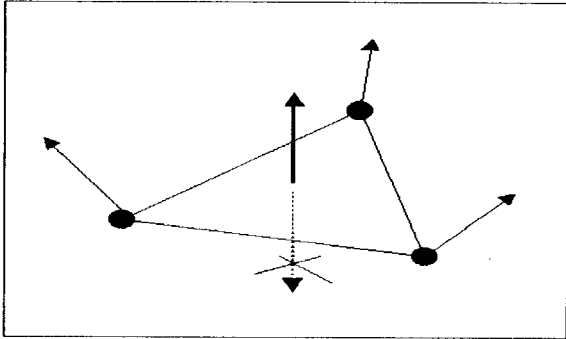


[그림 5] STL 파일 생성 과정

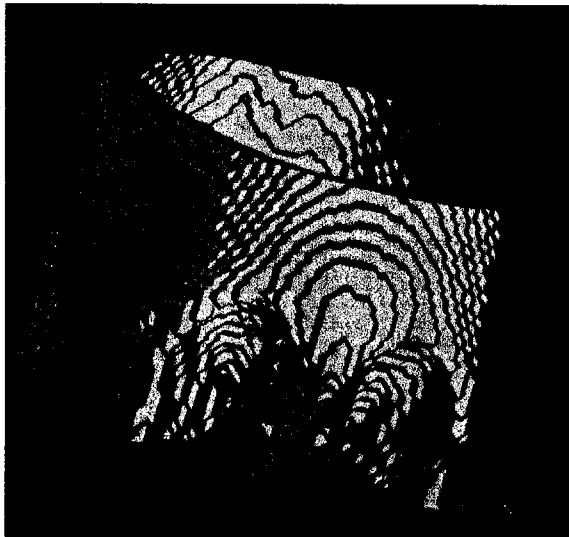
삼각형의 평면에 수직인 법선벡터는 삼각형을 이루고 있는 꼭지점들의 외적을 통해서 구하는데, 각 꼭지점의 밀도로부터 얻어지는 점들의 법선벡터들과 내적이 양인 값을 얻어서 평면의 내부와 외부를 구별한다 [그림 6].

[그림 7]과 [그림 8]에는 인간의 머리뼈 중의 일부를 MRI 자료를 입력자료로 하여 생성한 STL 파일을 보여주고 있다. STL 파일이 나타내는 형상을 보기 위한 도구로는

materialise사에서 shareware로 제공하고 있는 magicView software을 사용하였다.



[그림6] 법선벡터 생성

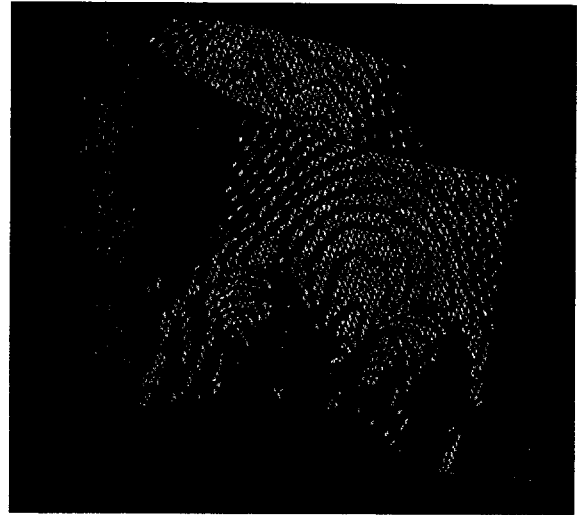


[그림 7] Rendering한 머리뼈 STL 파일

4. 결론 및 추후연구과제

본 연구에서는 의료분야에서 임플란트의 제작에 RP 기술을 이용하기 위하여 MRI/CT의 2차원 단면 자료를 직접 RP 기계의 입력할 수 있도록 표준입력자료 형태인 STL 파일로 변환하였고, 이에 관련한 기본적인 기술들을 제시하였다. 국내외적으로 관심이 고조되고 있는 의료/진료의 분야의 공학적 접근에 관련하여 새로운 분야로서의 가능성을 제시하는데 의의를 가질 수 있으리라 여겨진다. 아직 더욱 복잡한 형태의 모델(손목뼈등)에 관한 연구나 과도한 자료의 양, 정확성의 문제에 대한 연구

가 더 이루어져야 하며, 최종적으로는 실질적인 뼈의 형상을 제작하여 상업적인 가능성도 검토해야 할 것이다.



[그림 8] Triangularized 머리뼈 STL 파일

참고문헌

- [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, 기계설계학과 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, 1987