

쾌속 조형 기술의 의료 분야 적용

이종기¹⁾, 김종세²⁾, 김철영²⁾, 김남국²⁾

¹⁾ 서울대 치과대학, ²⁾ 사이버메드

Rapid Prototyping in Medical Application

Jongki Lee¹⁾, Jongse Kim²⁾, Cheol Young Kim²⁾, Namkuk Kim²⁾

¹⁾ Dental College, Seoul National University, ²⁾ Cybermed Inc.

Abstract - 쾌속조형기술은 제품 설계나 기타 물체의 형상 데이터로부터 광경화성 수지, 금속 등 다양한 재료를 이용하여 수 시간 내에 실물 모형을 제작할 수 있는 기술이다. 쾌속조형기술은 주로 자동차나 제품의 모형제작에 주로 사용되어 왔다. 사이버메드에서는 인체에 대한 3차원 형상화 기술과 쾌속조형기술을 이용하여 개인별로 상이한 인체 골격에 대한 비교적 저렴한 비용으로 실물 모형을 제작할 수 있는 기술을 개발하여, 국내 및 일본의 병원에서 수술 계획 및 모형 수술에 직접 적용하고 있다. 이 논문은 쾌속 조형 기술, 인체의 3차원 형상화 기술의 개요와 그 동향, 그리고 이를 결합한 수술용 인체 골격모형의 제작 기술과 적용 사례에 대해서 기술하였다.

1. 서 론

의료 분야에서는 인체에 대한 3차원 형상화에 대한 관심이 지대하였으며, 많은 연구[3]와 여러 가지 3차원 진단시스템[7,8]이 개발되어 사용되고 있다.

그러나 컴퓨터에 의한 시각화만으로는 복잡한 인체 구조를 이해하고 실제 시술에 응용하는 것에 한계가 있다. 인체 조직에 대한 실물 모형이 있는 경우, 모의 수술(model surgery)이 가능하며, 사전에 수술용 임플란트를 제작, 시험, 평가하는 것이 가능하다.

인체 골격의 실물 모형을 제작하여 의료에 활용하기 위한 많은 시도가 이루어져 왔는데, 주로 사용된 방법이 NC(Numerical Control) 장비를 이용한 절삭가공방법이다[4]. 이 방법은 복잡한 형태에 대해서는 적용이 제한되며, 장기간의 제작 시간과 비용이 소요되는 단점이 있다. 이에 반해 쾌속 조형 기술은 기존의 가공 공정에 비해서 다음과 같은 장점을 가진다.

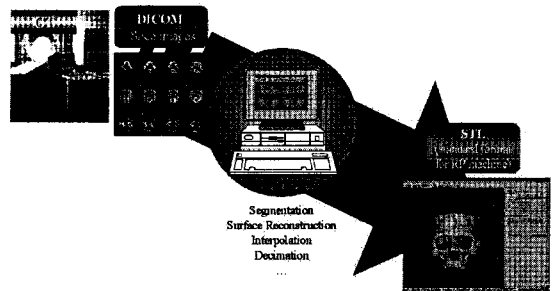
- 적층 제작(layer by layer) 방식이므로 NC와 같은 기존 방법으로는 가공할 수 없는 복잡한 형상도 쉽게 생성할 수 있다.
- 제작 시간을 획기적으로 단축할 수 있으며, 제작 시간은 형상의 복잡도에 상관없이 일정하다.
- 다수의 모형을 동시에 제작할 수 있으며, 제작비용과 기간을 절감할 수 있다.

이 논문은 쾌속 조형 기술을 이용한 인체 조직의 실물 모형의 제작에 대한 기술과 의료 분야의 응용 사례를 다루고 있다. 먼저 2장에서는 인체 실물 모형 제작에 필요한 기술의 개요를 설명하였으며, 3장에서는 여러 가지 의료 분야 응용 사례를 소개하였다. 마지막으로 4장에서 실제 사이버메드사의 의료 RP 서비스에서 발생한 문제점과 해결 방안에 대해서 간략하게 소개하였다.

2. 인체 실물 모형 제작 기술

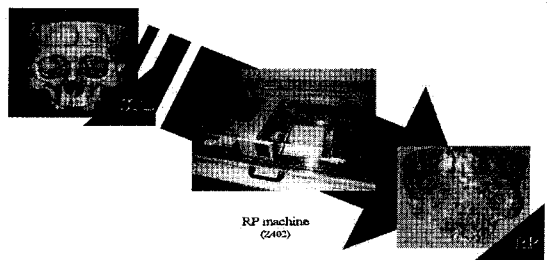
2.1 기술 개요

개인별 인체 조직의 3차원 실물 모형을 제작하기 위해서는 인체 조직의 형상 데이터 획득 및 3차원 형상 재건(reconstruction) 과정과 3차원 형상으로부터 쾌속조형기술을 이용하여 실물 모형을 생성하는 과정을 거쳐야 한다. 각 과정은 다음 [그림 1]과 [그림 2]에 도시되어있다.



[그림 1] 인체 영상 획득 및 3차원 형상 재건 과정

[그림 1]은 CT와 같은 영상을 생성하는 장비로부터 획득한 다수의 slice 영상으로부터 쾌속 조형 기술을 활용하기 위한 STL 데이터를 생성하기 위한 과정을 도시하였다. 이 과정은 일반적으로 일련의 DICOM slice 이미지를 읽어서 인체의 특정한 부위를 분리하고 (Segmentation), 3차원 형상을 생성 (Surface recon.), 단순화(decimation)나 보간(interpolation) 등 형상 데이터에 대한 적절한 가공과 최종적으로 STL 포맷으로 변환하는 소프트웨어에 의해 이루어진다.



[그림 2] 쾌속조형기를 이용한 실물 모형의 생성과정

[그림 2]는 그림 1의 과정에서 생성된 STL 데이터를 쾌속조형기에 upload하여 실물 모형으로 제작하는 과정을 보인 것이다.

일례로 사이버매드에서는 자체 개발한 V-works™(7) 소프트웨어를 이용하여 CT영상으로부터 STL 파일을 생성하며, 이를 여러 가지 쾌속 조형 장비를 이용하여 실물 모형을 생성한다.

2.2 쾌속 조형 기술

쾌속조형기술은 1986년 SLA(Stereo Lithography) 공정이 개발된 이후 최근까지 20여 가지 이상의 공정이 상용화되어 사용되고 있다. 주요한 쾌속 조형 공정에 대한 자세한 설명은 참고문헌[6]에 나타나 있다.

쾌속조형기술은 제조 방식상 적층적인 방법(Layer-by-layer)을 사용한 제조 기법으로 보통 한 층씩을 쌓아 올려서 모델을 제작한다. 일반적인 2차원 Printing을 3차원으로 확대해서 두께를 두고 2차원을 적층하는 3차원 Printing이라고 생각하면 이해하기 쉬울 것이다.



[그림 3] 쾌속 조형 기술의 제조 방식

[그림 3]은 골프 클럽을 쾌속 조형 기술로 제작하는 과정을 나타낸 것이다. 3차원 모델의 한 층을 만들고 모형을 층의 두께만큼 내리고 다시 층을 만들어 쌓아가면서 3차원 모델을 생성할 수 있다.

쾌속 조형 기술을 위해서는 STL 형태의 3차원 형상 데이터를 준비해야 한다. STL 포맷은 3차원 surface model 방식의 데이터 포맷이다. 초기에는 3D System사의 SLA 장비에 사용된 포맷이었지만, 현재는 쾌속 조형 기술에 대한 업계 표준이 되었으며, 많은 CAD나 역공학 소프트웨어가 지원하고 있다.

2.3 인체 실물 모형 제작을 위한 소프트웨어 기술

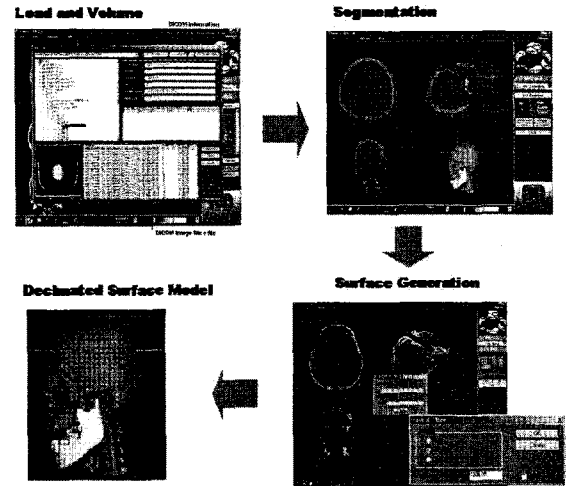
2.1절에서 언급하였듯이 실물 모형 제작을 위해서는 CT나 MR과 같은 의료 영상 장비로부터 얻은 데이터를 STL형태의 3차원 Surface model로 변환할 수 있는 소프트웨어가 필요하다.

CT나 MR과 같은 장비는 일반적으로 Axial Slice Image를 제공하며, 이를 격자 형태의 voxel로 이루어진 Volume 데이터로 변환할 수 있다. 이런 Volume 데이터로부터 Surface Model을 얻기 위해서는 같은 밀도값을 가지는 영역을 분리하여 이를 surface model로 바꾸는 방법이 사용된다. 이를 Isosurface Extraction 방법이라고 하며, Marching Cube 알고리즘[2]이 대표적인 방법이다.

실제 응용되는 모형은 촬영된 인체에서 관심 있는 조직이며, 이를 분리하는 방법을 Segmentation이라고 한다. 가장 일반적인 Segmentation 방법은 Isosurface Extraction에 사용된 동일한 밀도값의 영역을 설정하는 Thresholding 방법이며, 이외에도 각 Image slice를 수정하거나 관심 영역을 설정하는 여러 가지 segmentation 방법이 개발되고 있으며, 이렇게 분리된 영역에 대해서 Isosurface Extraction과 동일한 방법으로 surface model을 생성할 수 있다.

Isosurface extraction 방법에 의해 생성된 surface model은 많은 polygon surface로 구성된다. 주어진 오차 범위 내에서 polygon의 수를 줄이는 방법을 decimation이라고 하며 여러 가지 방법이 개발되어 있다[1]. Decimation을 적용하면, 생성된 STL 파일의

크기가 감소하며, 이는 쾌속 조형 공정을 단축하는 효과를 가져온다. 다음 [그림 4]에 인체 실물 모형을 위한 소프트웨어의 일종인 V-works(7)를 통한 일련의 과정이 예시되어 있다. DICOM Image를 읽어 Volume을 구성하고 사용자가 Segmentation을 행한 후 Surface model을 생성하고 이를 STL로 export하는 과정을 거쳐게 된다.

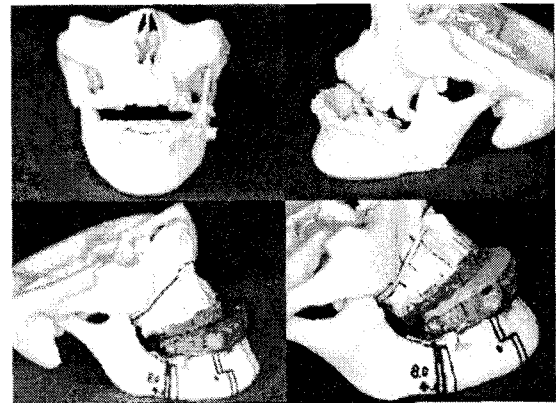


[그림 4] 인체 모형 제작을 위한 데이터 처리

3. 인체 실물 모형의 의료 분야 응용 사례

실물 모형의 의료 분야 응용에 대해서는 아직 체계적인 연구가 부족한 실정이다. 주로 병원, 연구기관, 쾌속 조형 서비스 업체 등에서 특정 사례 위주로 발표되고 있다. 현재 주요한 응용 분야는 각종 수술 계획이나 임플란트 제조이다. 실제 환자의 골격 모형을 이용한 수술 계획과 모의 수술을 통해 평균적으로 30% 이상의 수술 시간 단축 효과를 얻을 수 있다고 보고되고 있다[4].

본 장에서는 몇 가지 모의 수술 및 수술 계획 사례와 임플란트 제작 사례를 예시하였다.



[그림 5] 구강악안면 수술 모형

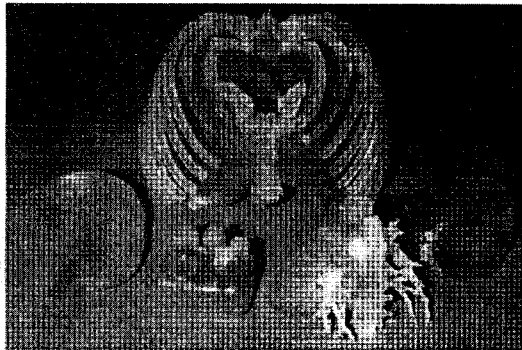
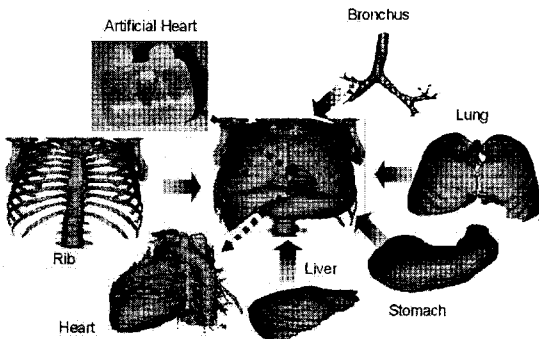
3.1 모의 수술 사례

[그림 5]는 상악과 하악을 절개하는 구강악안면 수술을 위한 실물 모형이다. 제작된 모형에 대해서 수술 계획을 세웠으며, 실제로 절개하여 움직여 봄으로써 수술 후 결과를 사전에 검증한 사례이다.



[그림 6] 신경외과 수술 모형

[그림 6]은 신경외과의 뇌혈관 수술을 위한 실물 모형이다. 실제 수술에서 뇌혈관이 부어 오른 위치와 형태가 매우 중요하며, 모형을 통해서 시각적으로 확인한 사례이다.

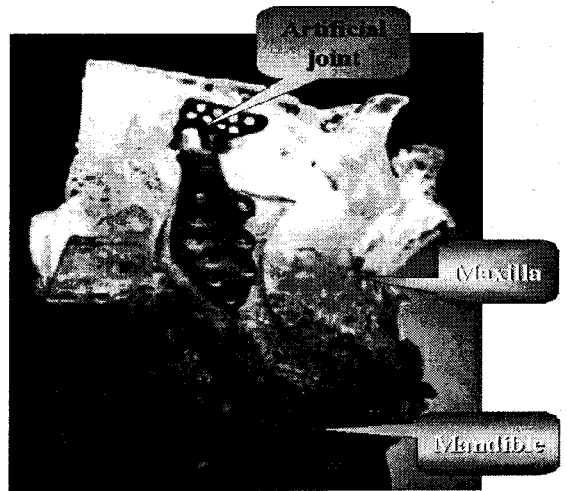


[그림 7] 인공 심장 수술

[그림 7]은 인공 심장 수술을 위한 TAH(Total Artificial Heart) Fitting Trial 사례이다. 인공 심장은 실제 인체내에서 작동하기 때문에 기술적인 특성 뿐만 아니라 사람마다 다른 장기들의 크기와 위치에 따라 적절한 설계가 필요하다. 이 사례는 인공심장이 적절한 크기와 형태로 설계되었는지 Total Fitting Trial을

한 것이다.

3.2 임플란트 제작 사례



[그림 8] Artificial TMJ Implant

[그림 8]은 턱관절 기형 환자에 대하여 실물 모형에 대하여 인공 관절을 제작하고 이를 모형에 부착하여 검증해 본 사례이다.



[그림 9] Maxillo Facial Surgery Implant

[그림 9]는 두개골 함몰 부위를 반대쪽 두개골에서 추출하여 Mold 모형을 만들고, 이를 이용하여 Implant를 만든 사례이다.

4. 인체 실물 모형 제작의 문제점과 해결 방안

쾌속 조형 기술을 이용한 인체 실물 모형이 상업적으로 적용되기 위해서는 기술적, 경제적으로 여러 가지 문제가 존재한다.

의료 분야의 적용에 있어서 가장 큰 문제점은 실물 모형의 정확도이다. 인체 실물 모형의 정확도는 CT나 MR과 같은 장비 자체의 정확도, 촬영 프로토콜, STL 모형 생성시의 정확도, RP 장비의 정확도에 따라 결정된다.

실제 Dry Skull을 이용하여 단층 촬영을 하고 3D 모델을 생성하고 이를 제작하여 각각의 3차원 모델을 측정할 결과 약 1%정도의 오차를 가지고 있는 것으로 판명되었다. 즉 10cm정도의 길이에 약 1mm정도의 오

차이다. 이 정도의 오차는 특별한 의료 응용을 제외하고는 일반적인 의료분야에 적용 가능하다는 소견이다[5].

다른 문제점은 RP 모형을 얻기 위한 사진 데이터 획득과 관련된 것이다. 병원에서 사용하는 CT나 MR장비들이 표준화된 DICOM Image를 사용하지 않는 경우이다. 결국 범용 서비스를 위해서는 개별 장비 포맷을 지원하거나 DICOM 표준 포맷으로 변환하는 기술이 필요하다.

또 다른 문제는 촬영 프로토콜의 문제인데, 일반적인 진단방사선과의 CT 촬영 시, 방출되는 방사능의 양 때문에 3-4mm정도의 촬영을 선호하게 된다. 이는 실물 모형의 정확도에 문제를 발생시킬 수 있다. 이 문제는 패속 조형 모형 제작을 위한 각 병원의 촬영 장비와 적절한 촬영 프로토콜을 선택함으로써 해결할 수 있다. 즉 각 병원의 진단방사선과의 사진 협조 체계가 중요하다. 다행히 최근에는 방사능의 양이 증가하지 않아도 좀 더 정밀하게 촬영할 수 있는 환경으로 변화하고 있다.

마지막으로 비용의 문제로서 CT나 MR의 촬영 비용과 상대적으로 고가인 패속 조형 장비의 감가상각비 등으로 인해 실물 모형이 다소 비싸다는 점이다. 다수의 모형을 동시에 제작하는 운영 능력과 응용별로 적절한 장비와 재료를 사용하는 등 서비스의 경제성에 대한 고려가 필요하다.

아직까지 패속 조형 기술을 이용한 실물 모형을 의료 분야에 적용하는 것은 초보 단계의 수준이라고 할 수 있다. 보다 정밀한 인체 실물 모형의 제작 기술, 생체 적합 재료로 구성된 모형을 만들기 위한 몰드 제작 기술, 다양한 수술 방식에 대한 수술 템플릿 제작 기술 등 의료 분야에서 패속 조형 기술의 응용 분야를 넓히기 위한 많은 노력이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] L. Kobbelt, S. Campagna, and H.P.-Seidel, "A general framework for mesh decimation", In *Proceedings of Graphics Interface '98*, pp. 43-50, 1998
- [2] W. E. Lorensen and H. E. Cline, "Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. In M. C. Stone, editor, *Computer Graphics(SIGGRAPH '87 Proceeding)*, Volume 21, pp. 163-169, 1987
- [3] B. Girod, G. Greiner, H. Niemann, *Principles of 3D Image Analysis and Synthesis*, Kluwer Academic Publishers, pp. 252-278, 2000.
- [4] J. Thomas Lambrecht, *3D Modeling Technology in Oral and Maxillofacial Surgery*, Quintessence Publishing Co., pp. 36-50, 1995
- [5] 최진영, 최경호, 김남국 등, "Prototyping으로 제작한 3D Medical Model의 오차측정에 관한 연구(임상적용 및 가능성 사례)", *대한구강악안면외과학회지*, 25권, pp. 295-303, 1999.
- [6] 양동열, 안동규, "패속조형 공정의 기술 동향 및 시장의 변화", *CAD&Graphics*, 2001.10월호, pp. 50-57, 2001
- [7] V-works, Cybermed Inc., <http://www.cybermed.co.kr/cyberimagination/overview.html>
- [8] Advantage Workstation, GE Medical, http://www.gemedicalsystems.com/it_solutions/rad_pacs/products/aw/index.html