

<원저>

DICOM 영상에 의한 STL 파일 구조가 보청기 이어 셸 제작에 미치는 영향

- Effect of the STereoLithography File Structure on the Ear Shell Production for Hearing Aids According to DICOM Images -

극동대학교 방사선학과

김형균

— 국문초록 —

의료용 디지털 영상 및 통신 표준 영상과 3차원 프린팅을 이용한 보청기 이어 셸 제작기술을 연구하였다. 이는 기존에 없는 새로운 적용방법이며 보청기 수요자의 안전, 감염, 제작시간, 진행 단계를 줄일 수 있는 적용기술이다. 연구는 의료용 디지털 영상 및 통신 표준 영상으로 스테레오리소그래피 파일을 만들기 위한 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm의 볼륨으로 획득한 값을 3차원 프린터로 출력 전과 후의 과정에서 형상표면에 미치는 영향을 실험하였다. 출력 전에는 스테레오리소그래피 파일구조에 대해 상대적 관계를 비교하였고, 출력 후에는 이어 셸 형상표면의 적층구조 간격을 현미경으로 확대하여 비교하였다. 스테레오리소그래피 파일구조 분석에서 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm의 순으로 삼각형 꼭지점, 5개 이상의 교차점, 최대 교차점의 개수가 많았으며 외이도 형상 자체의 굴곡도에 따라 Bending, Angle, Crest 영역 순으로 삼각형 구조가 조밀하게 분포하였다. 디지털 현미경에 의한 이어 셸 형상표면은 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm 순으로 적층구조 간격이 두껍게 나타났다. 이와 같이 스테레오리소그래피 표면구조는 3차원 이어 셸 형상의 굴곡도가 불규칙하고 스테레오리소그래피 파일을 만들기 위한 의료용 디지털 영상 및 통신 표준 데이터의 볼륨 값이 작을수록 교차하는 스테레오리소그래피 삼각형 구조는 조밀함을 알 수 있었다.

중심 단어: 보청기 이어 셸, 의료용 디지털 영상 및 통신 표준, 3차원 프린팅, 스테레오리소그래피, 형상표면

I. 서 론

2013년 우리나라 통계에 의하면 청력 문제로 보청기를 필요로 하는 사람이 약 200만 명에 달해 인구의 고령화와 더불어 그 수치는 급격하게 늘어날 것으로 판단된다¹⁾. 보청기 종류는 난청의 근본적 원인과 해부학적 위치에 따라 다양한 종류가 있지만 귓속형 보청기는 외부에 노출되지 않는 관계로 그 선호도가 매우 높다²⁾. 이러한 귓속형 보청기는 개개인의 외이도에 맞추어 제작되는 특수성으로 외형적 길이, 직경, 표면형태가 매우 중요하다³⁾. 보청기 착용에 대한

사용자 만족도 조사에 의하면 통증이나 불편 감을 호소하는 응답자가 24%에 달해 이러한 사실을 뒷받침하고 있다⁴⁻⁵⁾. 현재 일부 다국적 보청기 제조 기업에서는 고객의 귓속 모형을 3차원 데이터(3 Dimension; 3D)로 3D 프린팅 하여, 기존과 다른 방법으로 보청기를 제작하고 있다⁶⁾. 이 연구는 기존의 귓본을 만든 후 다시 스캐닝 하여 데이터화 하는 방법으로서 귓본을 채취하는 방법과 그 이후 3D 스캐닝 하는 복합적 기술이 필요하다.

최근 의료영상 기술은 인체의 3차원정보를 얇은 단면으로 형상화하여 나타낼 수 있는 기술을 가지고 있다. 2016년

This work was supported by the 2016 Far East University Research Grant(FEU2016R06)

Corresponding author: Hyeong-Gyun kim, Dept. of Radiological Science, Far East University 76-32 Daehakgil, Gangok-myeon, umseong-gun, Chungbuk-do, 27601, Korea/ Tel: +82-43-880-3242 / E-mail: jung7818@hanmail.net

Received 26 January 2017; Revised 17 March 2017; Accepted 21 March 2017

김형균은 “인체의 3차원정보, 즉 디지털 영상 및 통신 표준 (Digital Imaging and Communications in Medicine; DICOM) 영상을 이용하여 외이도를 만들어 보청기를 제작하는 방법을 제시하였다⁷⁾. 이는 기존 컷본 채취 방법과 다른 3차원영상 정보를 이용하여 외이도를 추출하는 방법으로서 초기의 DICOM 영상데이터가 중요하다. 이에 본 연구는 3D 프린터 형상출력을 위한 스테레오리소그래피 (STereoLithography; STL) 파일 변환 과정에서 DICOM 데이터의 영상두께가 이어 셀 형상표면 및 그 과정에서 일어나는 모델링의 구조차이를 비교하고 새로운 기술적응에 대한 기초적인 설정 값을 만들고자 연구하였다.

II. 연구 및 방법

1. 전체과정 모식도

DICOM 영상과 3D 프린터로 보청기 이어 셀을 제작할 때 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm의 STL 파일 구조와 이어 셀 형상표면의 차이를 실험한 연구과정 전체 모식도이다(Figure 1).

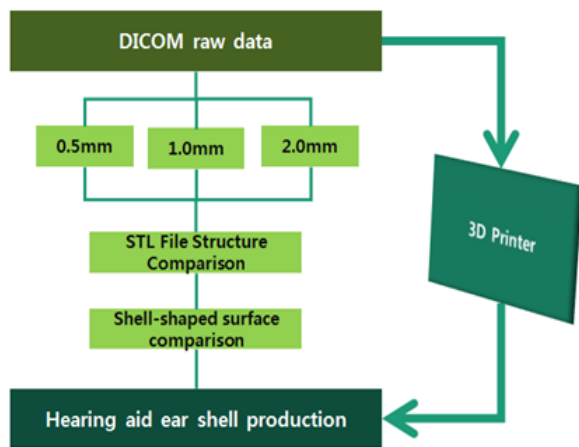


Figure 1 Schematic diagram for manufacturing the external form of a hearing aid



Figure 2 Multi Slice Computed Tomography (MSCT) Scanner and 3D Printer

2. 실험방법 및 장비

본 연구는 머리 측두부(Temporal) 전산화단층촬영(Computed Tomography; CT) 영상의 볼륨 데이터에서 해부학적구조의 영상밀도(Hounsfield Unit)와 동일한 문턱치 값(Threshold Value)을 이용하여 외이도를 추출 한 후 3D 프린터 출력이 가능한 STL 파일로 변환하였다⁸⁾. 그 후 외이도 모델링 표면구조를 각 두께별로 동일하게 병합(merge)된 상태에서 특징적인 3 곳의 Angle(A), Bending(B), 보청기가 출입하는 외이도 내측 Crest(C) 영역에 대해 다각형모드 (polygon mode)인 삼각형 등치선들의 관계를 비교하였다 (Figure 3).

연구에 사용된 실험장비는 의료영상 획득을 위한 CT (Aquilion ONE, Toshiba, Japan), 의료영상 외이도 형상 추출을 위한 3D 프로그램(Intuition Solutions, Terarecon, USA), 파일구조 분석을 위한 STL View(ModuleWorks GmbH, Germany)를 사용하였다. 또한 보청기 이어 셀 형상출력을 위한 3D 프린터(Desktop Digital Shell Printer Plus Envision TEC, Germany), 형상표면 측정을 위한 디지털 현미경(AM4113FI2T Dino-Lite Pro, AnMo Electronics Corporation, Taiwan)을 사용하였다(Figure 2, 4). 실험에 사용된 3D 프린터는 XY 해상도(Resolution)가 71 μm , 적층두께 25 μm -150 μm 이며, 디지털 현미경은 20x-50x, 최대 200배 배율(200x Magnification Rate)과 측정 시 고정된 상태에서 영상을 캡처(Capture) 할 수 있는 구조로 되어있

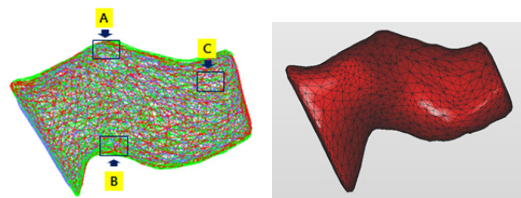


Figure 3 Three-Dimensional External Ear Canal Shape Structure(STL File Structure)

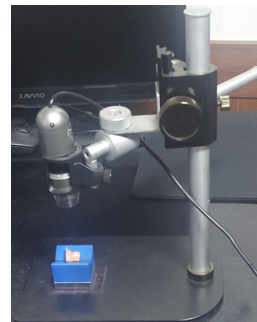


Figure 4 Hearing Aid Ear Shell Surface Measurement using digital microscope

다. 본 실험에서는 렌즈와 이어 셸 거리를 10 cm 고정 후 최적의 선명한 초점이 이루어지는 상태에서 영상을 캡처하였다(Figure 4).

3. 실험 분석

특징된 3곳 영역의 일정한 동일범위에 대해 5개 이상의 교차점 및 등치선이 완전한 그룹, 일부 등치선이 불완전한 그룹을 각 색깔(color)로 구분하였으며 최대 교차점에 대해서는 상대적 큰 원(circle)으로 표시하여 선택된 STL 파일 구조를 비교할 수 있도록 하였다(Figure 5). Angle 영역(A)은 0.5 mm, 2.0 mm에 대해 병합한 것으로 0.5 mm의 완전그룹을 초록색 원, 불완전그룹 노란색 원, 최대교차점을 노란색 큰 원으로 나타냈다. 2.0 mm는 완전그룹 파란색 원, 불완전그룹 보라색 원, 최대교차점은 초록색 큰 원으로 표시하여 병합된 동일 영역에 대해 그 차이를 비교할 수 있게 하였다(Figure 5a). Bending 영역(B)은 0.5 mm, 1.0 mm에 대해 비교하였으며 0.5 mm의 완전그룹은 초록색 원, 불완전 그룹은 노란색 원, 최대교차점은 초록색 큰 원으로 표시하였다. 1.0 mm의 완전그룹은 빨간색, 불완전그룹 아이보리색, 최대교차점은 빨간색 큰 원으로 표시하였다(Figure 5b). Crest 영역(C)은 1.0 mm 와 2.0 mm 로 비교하였으며 1.0 mm의 완전그룹은 빨간색, 불완전그룹은 아이보리색, 최대교차점은 아이보리색 큰 원으로 나타냈다, 2.0 mm 완전그룹은 파란색, 불완전그룹은 보라색, 최대교차점은 보라색 큰 원으로 표시하였다(Figure 5c). 이와 같이 동일하게 병합된 각 영역에 대해 등치선의 삼각형 관계를 비교하였다.

III. 결 과

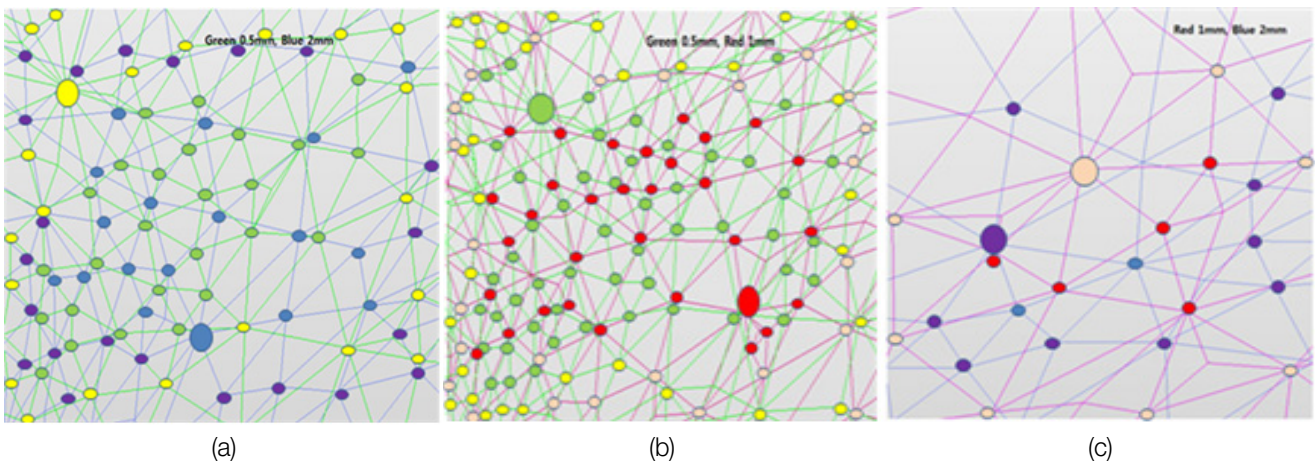
1. STL 파일구조 비교

실험분석에 의해 STL 파일구조의 특징 값을 비교한 결과 등치선 삼각형 구조크기는 각 영역에서 다양한 차이로 나타났으나 측정된 3곳의 교차점, 최대교차점 수는 Bending, Angle, Crest 영역 순으로 높게 나타났다. 이는 0.5 mm 완전 그룹기준으로 볼 때 Bending 62%, Angle 32%, Crest 6%의 분포 차이이며, 불안전그룹의 최대교차점 측정에서도 동일한 순으로 나타났다. 영상 두께 차이에 대한 비교에서는 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm 순으로 교차점, 최대교차점 수가 높게 나타났다. 최대교차점으로 분석해 보면 Angle 영역에서 0.5 mm가 2.0 mm에 비해 4개, Bending 영역에서 0.5 mm가 1.0 mm에 비해 5개, Crest 영역에서 1.0 mm가 2.0 mm에 비해 3개의 높은 수치이다(Table 1). 이와 같이 3곳 측정에서 의료영상두께가 낮을수록 등치선의 교차점 및 최대교차점 수가 많이 나타남을 알 수 있었다.

2. 이어 셸 형상표면의 적층구조

DICOM 영상의 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm 두께로 만들어진 STL 파일에 대해 동일 조건의 3D 프린터로 각각 출력된 이어 셸 형상표면은 시각, 촉각적 구분이 어려워 디지털 현미경 측정기로 형상표면을 측정하였다. 측정은 렌즈와 이어 셸 거리를 10 cm 고정 후 최적의 선명한 초점상태에서 영상을 캡처한 후 비교하였다(Figure 4).

측정에 필요한 동일한 구역을 디지털 현미경으로 40x(40

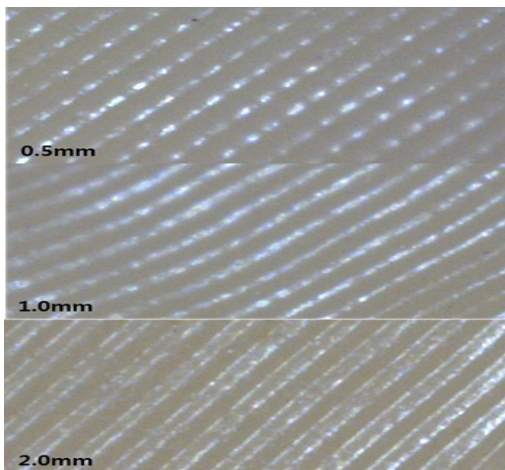


(a) Compared to the 0.5 mm and 2.0 mm in thickness image angle area, (b) Compared to the 0.5 mm and 1.0 mm in thickness image banding area, (c) Compared to the 1.0 mm and 2.0 mm in thickness image crest area

Figure 5 STL File Structure Merged into Angle, Banding, and Crest area According to Image Thickness

Table 1 STL Modeling Structure Comparison Value

| Area | Thickness | Triangle point (5 or more) | | Maximum intersection (line count) |
|-------------|-----------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| | | Full form | Incomplete form | |
| Angle (A) | 0.5 mm | 26 | 22 | 14 |
| | 2.0 mm | 18 | 22 | 10 |
| Bending (B) | 0.5 mm | 51 | 33 | 15 |
| | 1.0 mm | 32 | 25 | 10 |
| Crest (C) | 1.0 mm | 5 | 8 | 10 |
| | 2.0 mm | 2 | 10 | 7 |

**Figure 6** Hearing Aid Ear Shell Output Surface Printed by 3D Printer

배 확대율) 확대한 형상표면은 경사진 사선방향의 줄무늬 형태로 나타났다. 캡처된 영상의 정성적 상대평가 결과로는 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm 순으로 간격 두께가 두껍게 나타났다. 이는 동일한 환경에서 동일한 3D 프린터 및 재료로 출력한 것으로 의료영상 두께가 높을수록 적층구조 간격이 크게 나타나는 것을 알 수 있는 결과이다(Figure 6).

IV. 고 찰

3차원 의료영상 기술이 도입된 초기부터 최영규는 “컴퓨터 그래픽스나 가상환경 등의 분야에서 환자를 진단하고 치료하는 거 못지않게 3차원 의료영상 기술이 가치 있는 기술이 될 수 있다.”고 주장한 바 있다⁹⁾. 이와 같이 3차원 의료영상기술을 이용한 보청기 이어 셸 제작연구는 기존방법에 대한 새로운 적용방법으로 컷본 채취 과정이 필요 없는 컴퓨터 그래픽스 기술로서 김형균은 2016년 처음 발표하였다⁶⁾. 이는 3차원 의료영상으로 보청기 이어 셸 형상을 모델

링하고 3D 프린터로 출력하여 이어 셸을 완성하는 방법이다. 그러나 이 방법은 아직 완성제품의 사례가 없어 보청기로서의 최종판단은 유보적이며, 적용기준에 대한 기초적인 설정 값이 없다. 따라서 본 연구를 통해 의료영상 두께가 형상표면에 미치는 정도를 알아보고 3차원 의료영상 획득정보에 대한 기준을 정립하고자 하였다.

박형준은 3차원 물체의 형상 모델링은 시스템에 따라 다양한 포맷으로 저장되지만 보청기 이어 셸 형상을 출력하기 위해서는 STL 파일 포맷(.stl 확장자를 갖는 파일)을 주로 사용하며 STL 파일은 삼각형들이 연결되어 있는 메쉬(mesh)로 물체의 형상을 표현한다고 하였다¹⁰⁾. 의료영상 기술을 이용한 본 연구는 이러한 메쉬에 의한 형상표현을 비교한 것으로 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm 영상 두께를 선택하였다. 실험에 사용된 3 개의 영상 획득은 0.5 mm 볼륨 데이터 영상에서 1.0 mm, 2.0 mm 재구성영상(reconstruction image)으로 획득하였다. 3가지 영상두께의 STL 파일구조는 삼각형 모형으로 동일하게 표현되었지만 그 크기와 교차점 개수는 각각 다르게 나타나 영상두께에 대한 분포 차이를 비교할 수 있었다. 실험에서 Bending, Angle, Crest 영역은 보청기 착용 시 위치고정이나 통증 유발을 일으키는 중요한 부분으로서 형상표면이 매우 중요하기 때문에 선택되었다(Figure 3). 현재 귓속형 보청기는 인체의 연부조직에 삽입되어 사용하는 것으로 외형의 형태가 매우 중요하다. 따라서 본 연구자는 의료영상을 이용한 보청기 제작의 새로운 기술완성을 위하여 연구를 계속 추진해 나갈 것이다.

V. 결 론

3차원 의료영상과 3D 프린팅을 이용한 보청기 이어 셸 제작방법에 대해 DICOM 데이터의 변수에 따른 모델링 구조와 형상표면에 대한 실험을 하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 3차원 의료영상에서 동일한 두께로 얻은 STL 파일구조라도 형상표면의 삼각형 모양은 균일하지 않았으며 3차원 입체형상의 굴곡에 따라 다르게 나타났다. 본 연구에서는 Bending, Angle, Crest 영역 순으로 삼각형 구조수가 많이 분포되어 형상이 복잡할수록 삼각형 구조는 조밀해짐을 알 수 있었다.
2. 3차원 의료영상 두께차이에 대한 보청기 이어 셸 형상표면은 시각, 촉각으로는 구분이 어려웠으나 디지털 현미경으로 표면을 확대한 영상에서 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm 순으로 표면 적층구조 간격이 크게 나타났다.
3. 3차원 의료영상 두께차이를 이용한 3곳의 중요부분에 대한 STL 표면구조를 비교한 결과 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm 순으로 교차점 및 최대교차점 수가 많이 나타나 삼각형 구조의 분포도가 높음을 알 수 있었다.

본 연구의 실험결과 STL 표면구조는 3차원 이어 셸 형상의 굴곡도가 세밀할수록 DICOM 데이터 두께가 낮을수록 교차하는 삼각형 구조는 조밀하였다. 이것은 3D 프린터로 출력된 표면 적층구조 간격과 동일한 결과이며 0.5 mm 영상두께가 형상표면에 상대적으로 높은 결과임을 나타내는 반증이기도 하다.

REFERENCES

1. Yungchul Park, Yonghyeon Baek: The latest digital hearing aid technology trends, Korea Information Processing Society Review, 21(5), 35-41, 2014
2. SoonSuck Jarng, KyoungSuck Kim, You Jung Kwon: PCB Layout for Digital Hearing Aids, The Korean Society of Mechanical Engineers, Spring and Autumn Korean Society of Mechanical Engineers Conference, 1012- 1015, 2004
3. Soon Suck Jarng: Digital Hearing Aid Face plate Manufacturing using FPCB, The Korean Institute of Electrical Engineers, Information and Control Symposium, 335-336, 2011
4. Se jin Oh: Introduction to Hearing Aids, Sigma Press, 1-258, 2015
5. Jeong hun An, Yun hee Kim, Hye seon Seo, et al: Domestic aids Use of hearing loss and failure analysis, State Institute of Health and Medical Research Report, 1-273, 2011
6. Siemens Hearing Aid: 3D printer for medical use Customized hearing aids, Kyunghyang Newspaper, November 14, 2013, http://news.khan.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=201311140905432&code=900303, March 15, 2017
7. Kim HG: A Novel Modeling Method for Manufacturing Hearing Aid Using 3D Medical Images, Journal of Radiological Science and Technology, 39(2), 259-264, 2016
8. Dong Won Kang, Eunbo Kang, Inseok Kang, et al: Computed Tomography, Daihak Book, 398-402, 2015
9. Young gyu Choi: Research Trends of Surface Modeling Technique for 3D Visualization of Medical Images, The Korean Institute of Electrical Engineers, 45(8), 30-35, 1996
10. Park Hyung Jun: STL output in real world. CDE review, 11(3), 6-11, 2005

•Abstract

Effect of the STereoLithography File Structure on the Ear Shell Production for Hearing Aids According to DICOM Images

Hyeong-Gyun Kim

Dept. of Radiological Science, Far East University

A technique for producing the ear shell for a hearing aid using DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) image and a 3D printing was studied. It is a new application method, and is an application technique that can improve the safety and infection of hearing aid users and can reduce the production time and process stages. In this study, the effects on the shape surface were examined before and after the printing of the ear shell using a 3D printer based on the values obtained from the raw data of the DICOM images at the volumes of 0.5 mm, 1.0 mm, and 2.0 mm, respectively. Before the printing, relative relationship was compared with respect to the STL (STereoLithography) file structure; and after the printing, the intervals of the layered structure of the ear shell shape surface were compared by magnifying them using a microscope. For the STL file structure, the numbers of triangular vertices, more than five intersecting points, and maximum intersecting points were large in the order of 0.5 mm, 1.0 mm, and 2.0 mm, respectively; and the triangular structure was densely distributed in the order of the bending, angle, and crest regions depending on the sinuosity of the external auditory meatus shape. As for the ear shell shape surface examined by the digital microscope, the interval of the layered structure was thick in the order of 2.0 mm, 1.0 mm, and 0.5 mm. For the STL surface structure mentioned above, the intersecting STL triangular structure was denser as the sinuosity of the 3D ear shell shape became more irregular and the volume of the raw data decreased.

Key Words : Hearing aid ear shell, Digital Imaging and Communication in Medicine, 3D Printing, STereoLithography, Shape surface