

# DICOM 영상과 설계 모델링을 융합한 외이도의 형태적 변화 관찰 연구

김형균

극동대학교 방사선학과 교수

## An Observational Study on the Morphological Changes of the External Ear Canal by Converging DICOM Imaging and Design Modeling

Hyeong-Gyun Kim

Professor, Department of Radiological Science, Far East University

요 약 DICOM 영상은 인체의 진단과 치료에 중요한 역할을 하고 있으며 설계모델링은 목적에 따라 형상을 3차원으로 계획하는 기술이다. 본 연구는 이러한 두 가지 기술을 융합하여 외이도의 형태적 변화에 대한 횡단면, 부피, 표면적의 관계를 관찰하고자 하였다. 실험은 인체의 단면 획득 의료영상기술을 적용하여 19개의 외이도를 추출한 3차원 형상을 스테레오리소그래피, 3-매틱(matic) 프로그램으로 센터라인 생성 및 분할 기술을 적용하였다. 그 결과 외이도의 횡단면 구조는 타원형(38.5%), 반원형(28.2%), 혼재형(17.9%), 네모형(10.2%), 주름형(5.1%)등 다양한 형태가 나타났다. 또한 외이도 길이가 길수록 위상별 횡단면 면적은 크게 나타났으며 부피와 표면적은 고막방향으로 갈수록 감소하였지만 그 감소율은 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 외이도의 형태가 고막방향으로 갈수록 불규칙한 구조로 되어 있음을 나타냈다.

주제어 : 의료용 디지털영상 및 통신 표준영상, 외이도, 모델링, 횡단면 구조, 스테레오리소그래피

Abstract DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine) imaging plays a significant role in the diagnosis and treatment of the human body, and design modeling is a technology of planning shapes in three dimensions according to the purpose. In this study, we converge these two technologies to observe the relationships of the cross-section, volume, and surface area to the morphological changes of the external ear canal. The experiment applied medical imaging technologies to acquire sections of the human body to create and divide centerlines using 3D shapes extracted from 19 external ear canals by applying stereolithography and 3-matic program. The results showed that the cross-sectional structure of the external ear canal had various shapes, such as oval (38.5%), semicircular (28.2%), mixed (17.9%), square (10.2%), and wrinkled (5.1%). In addition, the cross-sectional area of each phase increased as the length of the external ear canal increased, and the volume and surface area decreased towards the direction of the eardrum. However, the surface area reduction rate was relatively low. This indicates that the structure becomes irregular towards the direction of the eardrum.

Key Words : DICOM, External ear canal, Modeling, Cross-section structure, Auditory sound

\* This work was supported by the 2019 Far East University Research Grant(FEU2019R05)

\*Corresponding Author : Hyeong-Gyun Kim(jung7818@hanmaill.net)

Received August 21, 2019

Revised September 24, 2019

Accepted November 20, 2019

Published November 28, 2019

## 1. 서론

인간수명 연장과 과학기술의 발전으로 개인의 맞춤형 연구들이 많이 진행되고 있다[1-5]. 그중에서 인간 청각 음향의 통로인 인체외이도는 개인적 특징으로 맞춤형 보청기 제작 시 형태적, 구조적 정보가 매우 중요하다. 이에 맞춤형 보청기 기술적용을 위한 외이도의 형태적 관찰 연구를 하고자 하였다.

인간이 외부의 소리를 인지하는 청각기관은 외이도를 통하여 소리를 증폭하고 전달하는 역할을 한다. 이러한 외이도는 고막까지 외부에 노출되어 있고 3 cm 전후의 관(tube) 구조를 형성하여 외부로부터 고막의 직접적인 손상을 보호한다. 또한 한쪽이 닫혀 공명 기능을 할 수 있으며 고막에 소리가 도달할 때는 주파수 범위로 증폭 되도록 되어 있다[6]. 이러한 소리 증폭의 중요한 기능을 하는 외이도는 그 구조가 개인마다 다른 형태를 가지고 있어 보청기 제작 시 관 구조 형태를 반드시 확인하여야 한다. 이에 많은 관련 연구자들은 음향특성 및 보청기 셀 제작을 위해 외이도의 형태, 크기에 대한 많은 연구들을 진행하여 왔다[7-10]. 그 중에서는 사체에서 외이도 모양을 획득 한 연구와 의료영상에서 외이도를 추출하고 실라스틱 관을 주입하는 방법의 연구들이 소개 되었다 [11-13].

본 연구에서는 이개에서 고막까지 외이도의 정확한 추출을 위해 개인 식별 정보가 포함되지 않은 디지털 영상 및 통신 표준영상(Digital Imaging and Communications in Medicine; DICOM)을 이용하여 외이도 장축(long axis)의 횡단면 위상변화를 관찰하여 소리의 증폭되는 형태적 변화들을 관찰하고자 하였다. 이는 다른 연구에서 외이도의 길이, 각도, 내, 외경을 주로 비교하였지만 본 연구에서는 면적, 부피, 표면적의 값들을 실험모델로 하였다[9]. 이러한 공간 측정으로 외이도 내부의 상관관계들을 시뮬레이션 해 볼 수 있는 기초자료들을 확보할 수 있다. 이러한 연구실험은 3차원 모델링 분석기능과 3차원영상 세분화 기술들이 동반 발전하기 때문에 가능한 부분이다[14].

인간의 신체구조는 여러 과학적 원리가 적용된 고등동물의 형태를 띠고 있다. 그 중에서도 인간의 뇌(brain), 위(stomach), 방광(bladder) 등은 일정한 부피에 분포된 주름(folds)이 표면적을 높여 효율적인 기능을 할 수 있다. 그와 마찬가지로 인체의 소리를 듣는 청각기관의 내부의 형태 구조도 음향과의 상호관계를 알 수 있는 중요한 관점이라 판단되어 실험을 하게 되었다.

DICOM 영상은 인체의 진단과 치료에 주로 사용되지만 볼륨데이터를 포함하고 있어 3차원 형상을 효율적으로 만들어 낼 수 있다. 설계모델링은 목적에 따라 계획하는 기술로 이 두 가지를 융합하면 외이도의 형태변화를 정밀하게 파악할 수 있고 향후 컷속 보청기의 음향해석 기초 정보로 활용할 수 있으리라 판단한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 실험 과정

Fig. 1은 전체적인 실험과정을 나타냈다. Fig. 2는 외이도 추출과정으로 머리 측두부 볼륨데이터(volume data) DICOM 영상 세분화(segmentation) 기술을 나타내고 있다. 추출된 외이도 형상은 STL(Stereolithography) 파일 변환하고 3-matic(ver. 13, Materialise, Belgium) 설계 프로그램으로 3 mm 간격의 횡단면 구간(위상별) 분할을 하였다. 이러한 기준으로 면적, 부피, 표면적의 변화들을 측정하고 분석하였다.

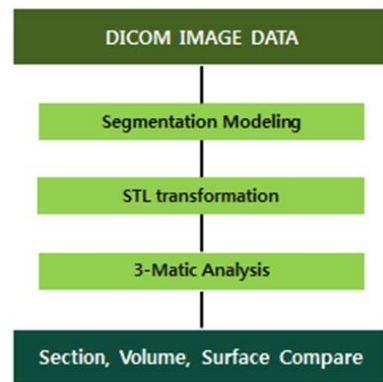


Fig. 1. Overall experimental diagram

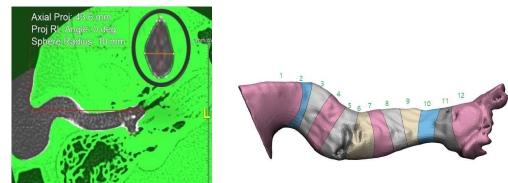


Fig. 2. External ear canal segmentation of DICOM image and cross-section by phase

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 Centerline 생성 및 stl 분할

추출된 19귀는 비식별 정보의 DICOM 영상으로 Table 1과 같이 나이, 성별, 길이 분포들을 반영하였다. 또한 외이도 장축(long axis) 중심라인은 3-matic P/G의 센터라인(centerline) 생성 및 센터라인 기반 stl 분할 커팅 기능으로 Fig. 3과 같이 추출된 외이도를 스테레오 리소그래피 파일변환 후 설계기술과 융합하여 위상(phase)을 모델링 하는 방법으로 진행하였다.

Table 1. Basic information values used in research experiments (male: 10, female: 9)

age	>10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	total
Np	2	2	3	3	2	2	2	1	2	0	19
Al (mm)	>13	14	26	34.8	46.1	total					
Np	0	1	3	8	7	19					

\* age = by age group (e.g. >10 = 10 years old, 10 = 10-19 years)  
 \* >13 = Less than 13mm  
 \* Np = Number of human ears  
 \* Al = Ear canal average length

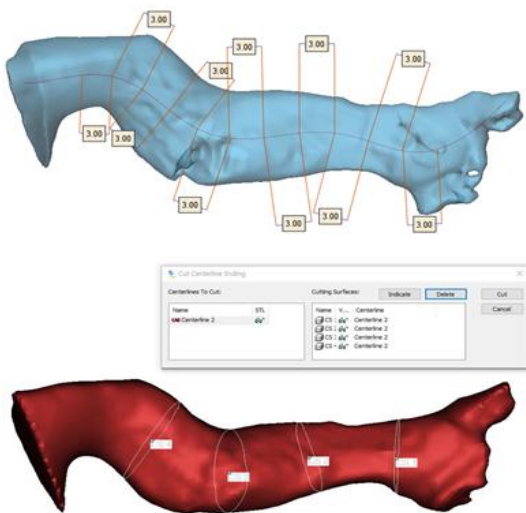


Fig. 3. The centerline of the horizontal axis and centerline-based stl segmentation process

2.2.2 외이도 형태분류 기준

3-matic stl 분할로 나타난 횡단면 형태를 Fig. 4와 같이 타원형(oval), 네모형(square), 반월형(semicircle), 주름형(folds), 혼재형(other)으로 분류하였다. 이는 실험으로 나타난 형태모양을 객관화된 사물 형상화와 유사

한 기준으로 분류하였다. 그 중 반월형은 한 변의 직선과 다른 변이 타원인 경우이고 주름형은 고랑과 이랑이 있는 경우로 분류하였으며 형태가 뚜렷하지 않은 불규칙한 경우를 혼재형(기타형)으로 분류하였다.

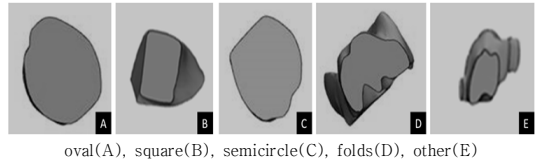


Fig. 4. Criteria for classifying the shapes of the external ear canal in the experiment

3. 결과

3.1 외이도 횡단면 특징 구조

Fig. 5는 외이도 길이가 A(14mm), B(28mm), C(34mm), D(49mm)를 센터라인과 직각인 3mm 위상간격으로 나타난 횡단면이다. 이와 같이 나타난 형상들을 Fig. 4의 분류방법으로 비교한 결과 외이도 횡단면은 타원형(oval) 38.5%(15), 반월형(semicircle) 28.2%(11), 혼재형(other) 17.9%(7), 네모형(square) 10.2%(4), 주름형(folds) 5.1%(2) 순으로 Table 2와 같이 나타났다. 그 결과 외이도 길이가 가장 긴 D(49mm)는 주름형태(2회)가 보였으며 외이도 길이가 상대적으로 높은 C, D에서는 혼재형(other) 비중이 높았다. 또한 반월형(semicircle)은 외이도가 시작되는 위상에서 주로 나타났다.

Table 2. Total number of cross-sectional shapes of the external ear canal (number of sides)

	14mm	28mm	34mm	49mm	total
oval	1	4	4	6	15
square	1	0	2	1	4
semicircle	3	4	2	2	11
folds	0	0	0	2	2
other	0	1	2	4	7
total	5	9	10	15	39

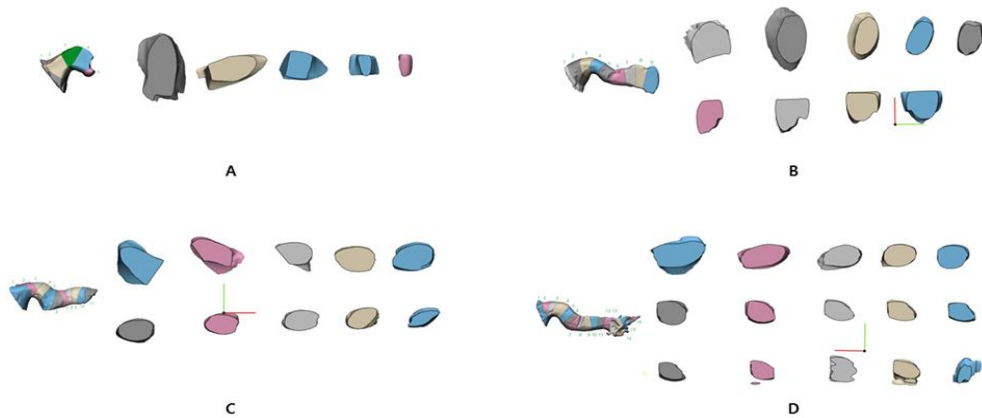


Fig. 5. Cross-sectional shape structure for the external ear canal length. The external ear canal lengths(A: 14mm, B: 28mm, C: 34mm, D: 49mm) show four different cross-sectional shapes.

### 3.2 외이도 횡단면 변화 값 비교

외이도 길이에 대한 위상 횡단면을 비교하기 위해 Table 3과 같이 분류하여 나타냈다. 19귀 외이도 길이 4단계(10, 20, 30, 40mm) 평균값은 A는 14mm, B는 26mm, C는 34.8mm, D는 46.1mm 이다. 이와 같은 실험값으로 길이에 대한 횡단면 크기를 Fig. 6과 같이 비교한 결과 모든 위상에서 외이도 길이가 길수록 횡단면 면적이 높게 고막방향으로 갈수록 작게 나타났다. 그 비율은 길이가 짧은 A에서 가장 크게 보였지만 감소비율 정도를 객관화하기 위해 처음과 마지막 위상 값을 이용한 감소율(Section ratio; SR)을 Table 3의 방법으로 비교하였다. 그 결과 분류된 4단계 모두에서 50% 이상의 횡단면 감소율을 보였으며 기울기가 가장 큰 A(14mm)에서는 86.1%로 가장 높게 나타났다.

Table 3. Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>) values for each external ear canal phase

Phage	A(14/1)	B(26/3)	C(34.8/8)	D(46.1/7)
1	72.1	95.3	118.5	126.2
2	42.6	82.5	91.8	101.2
3	26.1	56.7	70.3	85.7
4	10	59.0	62.3	78.5
5		51.8	60.9	75.3
6		51.1	59.8	67.8
7		47.5	56.6	58.9
8			53.2	88
9			41.8	48.3
10				46
11				47.7
S.R(%)	86.1	50.2	64.7	63.5

\* A, B, C, D = (Average length of external ear canal / number of ears measured)

\* S R = Section ratio (%) = [phage (frist - last) / frist] \* 100

\* □ = No measurement value

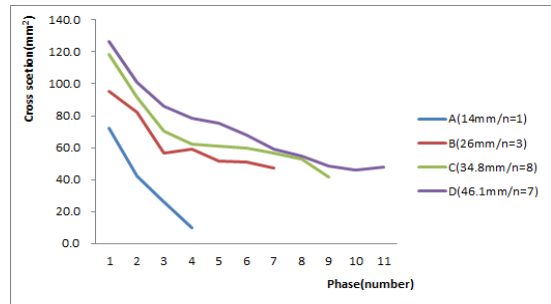


Fig. 6. Cross-sectional comparison by phase for external ear canal length

### 3.3 외이도 위상별 부피, 표면적 변화 값 비교

외이도 외부에서 고막방향의 형태적 변화를 추론하기 위해 실험한 19귀 각 구간의 측정값 기준으로 표면적을 부피로 나누어 상호 관계를 비교하였다. 그 값이 1일 때 표면적과 부피가 동일(Fig. 7, 빨간 점선)하다는 가정 하에 고막방향의 형태적 변화를 Fig. 7과 같이 분산그래프로 나타내어 선형추세선 비교를 하였다. 그 결과 외이도 길이가 가장 짧은 14mm(빨간 실선)는 급격한 기울기를 나타내었지만 그 외 18귀는 빨간 점선 가까워서 위상이 높아질수록 1보다 큰(빨간 화살표) 기울기를 나타내었다. 또한 Fig. 8과 같이 실험한 외이도 대부분 구간에서 표면적이 부피 값보다 높게 나타났으나 외이도 길이가 상대적으로 긴 C, D의 첫 구간(녹색 점선 원)에서는 부피 값이 더 높은 현상이 나타났다.

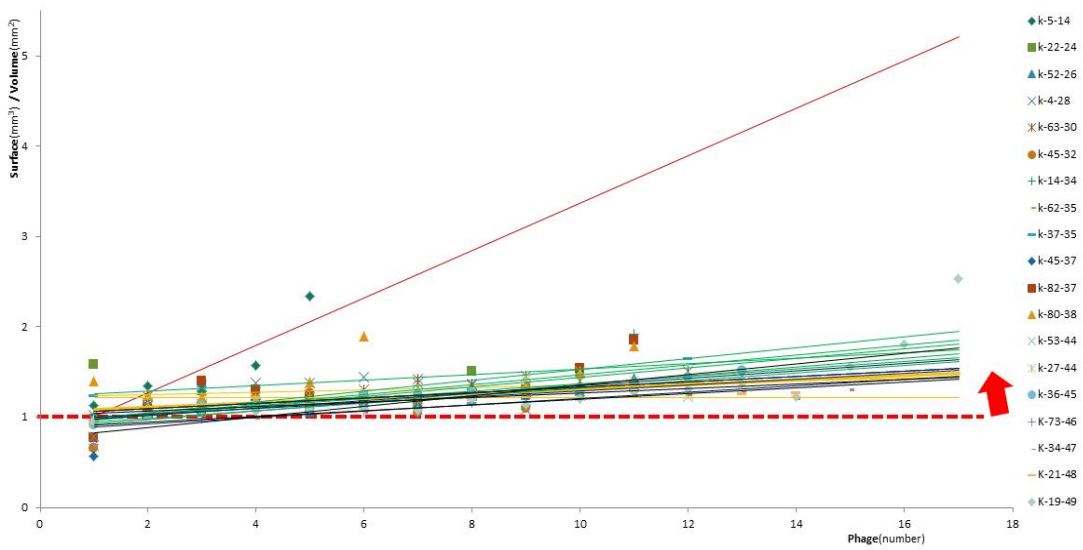


Fig. 7. Correlation variance graph of surface area and volume for each phase of 19 external ear canals

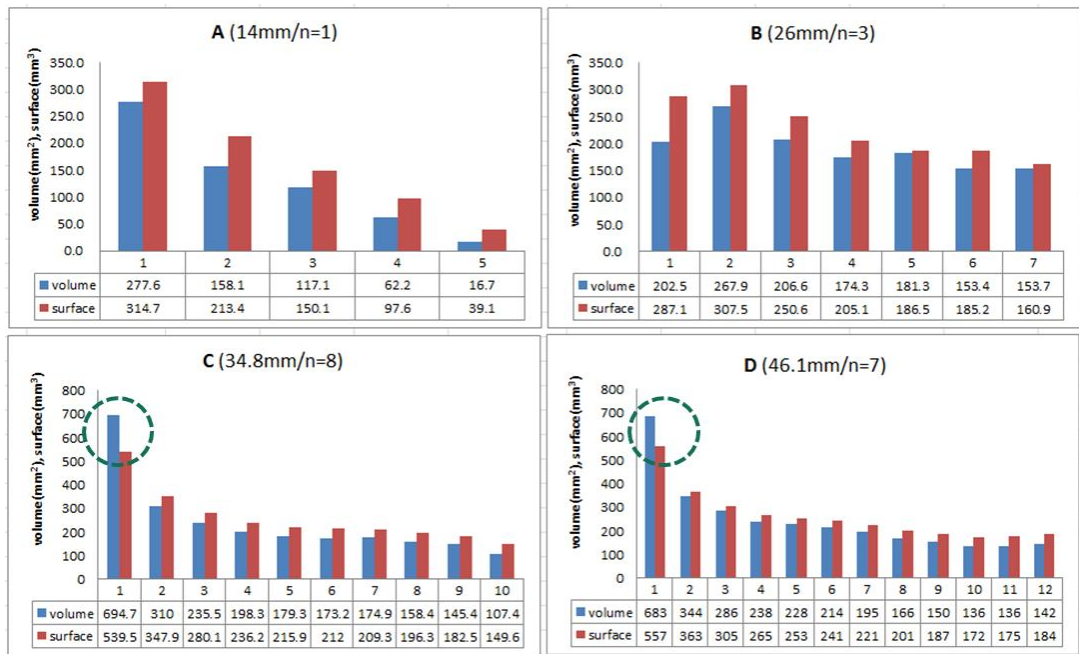


Fig. 8. Graph comparing the surface area and volume measurements of each section of the external ear canal

#### 4. 고찰

보청기 제작 후 성능분석을 위한 피팅은 매우 중요하다. 그 중에서 실이측정피팅(REM fitting) 이득을 계산은 2cc, 1cc로 고정된 상태에서 측정하기 때문에 실제 개인별 피팅에서 많은 오차가 발생할 수 있다[15]. 이는

보청기 착용 후 외이도의 여유 공간을 사전에 알아 낼 수 있는 방법이 없기 때문이다. 그러나 본 연구의 DICOM 방법은 이계에서 고막까지 외이도 모델링이 가능하고 전체적 형태 분석이 가능하기 때문에 보청기 착용 전에 외이도 내 여유 공간의 부피를 시뮬레이션 할 수 있으며 고막으로 음향 증폭이 되는 형태적 구조를 사전 판단할 수

있다. 또한 의료영상 기반 프로그램에서 외이도 내부 형태를 측정하기 위한 2차원적 측정에 비해 설계모델링을 통한 3차원 형태 측정은 획득하고자 하는 정보의 값을 고도화 할 수 있다[16,17]. 특히 일정영역의 부피, 표면적에 대한 변화는 외이도의 청각음향 구조를 객관화 할 수 근거로 활용할 수 있어 개인별 맞춤 시 사전 시뮬레이션 할 수 있는 중요한 정보가 될 수도 있다. 이는 기존 물리적 측정을 위한 Johansen 등의 귓본(ear impression) 제작 실험보다 더 많은 정보량을 사전 제공 할 수 있다 [18,19].

본 연구 실험에서 사용된 외이도 센터라인은 3-matic 센터라인 생성 및 센터라인 기반 stl 분할 기능으로 장축을 자동연결 하는 방법을 사용하였으나 모델링 표면에 따라서 깔끔하게 나오거나, 가지(branch)가 여러 개 생성 되는 경우가 있었다. 이는 각 위상에서 정확한 면적, 부피, 표면적을 정할 때 기준점이 될 수 있기 때문에 모델링 표면을 부분적으로 편집하여 솔리드 상태에서 센터라인을 만든 후 기존 3차원 외이도를 대입하는 기술방법을 적용하였다. 이는 실험에서 볼륨 값 차이를 방지하고 정확한 센터라인을 잡기 위한 방법이었다.

본 연구는 기존의 측정방법인 길이, 각도, 내외경의 형태적 관찰 연구[9,11,13]에 비해 부피(mm<sup>3</sup>), 표면적(mm<sup>2</sup>), 단면적(mm<sup>2</sup>)을 비교하여 청각 구조를 좀 더 객관적 구조로 표현할 수 있었다. 그 결과 위상구간별 부피에 대한 표면적, 단면적의 변화가 규칙적이지 않고 다양한 구조를 나타내는 형태임을 알 수 있었다.

인체의 한정된 공간에서 많은 기능을 유지하기 위한 방법이 다양하게 존재하겠지만 동일한 공간적 부피의 표면적 변화는 기능적인 부분을 유추할 수 있는 근거가 될 수 있다. 이와 같이 본 연구에서 확인된 외이도 구조는 부피, 표면적 변화가 고막방향으로 갈수록 상대적으로 높게 나타나 소리가 증폭되고 공명이 일어나는 음향특성 구조를 추가적으로 알 수 있는 근거를 제공하였다.

## 5. 결론

인체 외이도 형상을 분석하기 위해 의료영상, 귓본채취, 검안경등의 많은 도구들이 이용되었지만 본 연구에서는 DICOM 영상과 설계모델링을 융합한 방법으로 외이도 형태를 관찰 하였다. 그 결과 외이도 횡단면 구조는 타원형(38.5%), 반원형(28.2%), 혼재형(17.9%), 네모형(10.2%), 주름형(5.1%)등 다양한 모양이 존재함을 알 수

있었다. 또한 외이도 길이가 길수록 위상별 횡단면 은 크게 나타났으며 부피에 대한 표면적 값은 외이도 입구보다 고막방향으로 갈수록 크게 나타나 내부로 갈수록 불규칙 형태임을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- [1] T. H. Kim et al. (2019). A Review of Three-Dimensional Printing Technology for Medical Applications. *Journal of the Korean Society of Radiology*, 80(2), 213-225. DOI : 10.3348/jksr.2019.80.2.213
- [2] H. Dodziuk. (2016). Applications of 3D printing in healthcare. *Kardiochir Torakochirurgia Pol.*, 13(3), 283-293. DOI: 10.5114/kitp.2016.62625
- [3] F. Rengier et al. (2010). 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 5, 335-341. DOI: 10.1007/s11548-010-0476-x
- [4] G. B. Kim et al. (2016), Three-Dimensional Printing: Basic Principles and Applications in Medicine and Radiology. *Korean Journal of Radiology*, 17(2), 182-197. KMDID : 0880420160170020182
- [5] H. G. Kim. (2016). A Novel Modeling Method for Manufacturing Hearing Aid Using 3D Medical Images. *Journal of radiological science and technology*, 39(2), 257-262. DOI : 10.17946/JRST.2016.39.2.15
- [6] T. Wright. (2005). *Deafness & Tinnitus, Academia*, 29-30.
- [7] H. J. Kang et al. (2006). Physical Anthropologic Characteristics of the Auricle through the Metric and Non-metric Analysis in Korean Young Adults, *The Korean Journal of Physical Anthropology*, 19(4), 255-265.
- [8] S. O. Jang & B. Y. Choi. (2003). Surgery of ear deformity and auricle, Department of Otorhinolaryngology, *Seoul National University College of Medicine, Otolaryngology Head and Neck Surgery Seoul Symposium*, 8, 1-23. DOI : <https://doi.org/10.1080/10255842.2012.723700>
- [9] H. G. Kim. (2017). A Study of the Characteristics of the Human External Auditory Canal Using 3-Dimensional Medical Imaging. *Journal of the Korea Society of Radiology*, 11(6), 467-473. DOI : <http://www.riss.kr/link?id=A103842954>
- [10] J. H. An et al. (2011). *Omestic aids Use of hearing loss and failure analysis*, State Institute of Health and Medical Research Report, 1-273.
- [11] S. D. Heo, J. H. Lee, S. M. Jeon & I. H. Kim. (2010). Resonance in the Concha Cavity is Associated with the Size of the Pinna, *Korean Journal of Communication Disorders*, 15, 107-113.

- [12] P. A. Johansen. (1975). Measurement of the human ear canal, *Acoustica*, 33, 349–351.
- [13] D. P. Egolf, D. K. Nelson, H. C. Howell & V. D Larson. (1993). Quantifying earcanal geometry with multiple computer-assisted tomographic scans, *J Acoust Soc Am*, 93, 2809–2819.
- [14] S. K. Choi & C. G. Kim. (2009). Surface Rendering in Abdominal Aortic Aneurysm by Deformable Model. *Journal of the Korea Contents Association*, 9(6), 266-274. DOI : 10.5392/JKCA.2009.9.6.266
- [15] S. J. Oh. (2015). *Introduction to Hearing Aids*, Sigma Press, 358–362.
- [16] J. H. Yoon, T. J. Ji, J. Yoon & H. G. Kim. (2017). A Convergence Study on the 5-axis Machining Technology using the DICOM Image of the Humerus Bone, *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(11), 115–121. DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.11.115
- [17] K. B. Kim & E. H. Goo. (2016). Image Evaluation for A Kind of Patient Fixing Pad in 64 Multi-Channel Detector Computed Tomography, *Journal of the Korea Convergence Society*, 7(1), 89–95. DOI : 10.15207/jkcs.2016.7.1.089
- [18] P. A. Johansen. (1975). Measurement of the Human Ear Canal, *Acoustic*, 33, 349–351.
- [19] R. Oliveira, M. Babcock, M. Venem, G. Hoeker, B. Parish & V. Kolpe. (2005). The Dynamic Ear Canal and Its Implications, *Hear Reviews*, 2(2), 18–19.

김 형 균(Hyeong-Gyun Kim)

[장학]



- 2013년 2월 : 국립금오공과 대학교  
지능기계공학과 (공학석사, 공학박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 극동대학교 방  
사선학과 교수
- 관심분야 : 방사선영상, 3D 프린터,  
응용 모델링

· E-Mail : jung7818@hanmail.net