

# DICOM 영상을 이용한 외이도 음향해석 방법에 관한 연구

김형균  
극동대학교 방사선학과 교수

## A Study on the Acoustic Analysis Method of the External Ear Canal Using DICOM Images

Hyeong-Gyun Kim  
Professor, Department of Radiological Science, Far East University

요 약 머리 측두부 디지털 영상 및 통신 표준 영상을 이용한 외이도 길이, 상하 굴곡각도, 내·외경 비율에 따른 음향민감도를 외이도 모델링으로 시뮬레이션하고 측정하였다. 실험은 인간 가청주파수 기준으로 200Hz씩 증가하면서 1 파스칼의 압력으로 일정하게 전달된 주파수를 고막 음향크기로 나타내어 그 측정값들을 선형과 이차곡선 회귀분석으로 나타내었다. 그 결과 외이도 길이는 길수록, 외·내경 둘레의 비율은 높을수록 낮은 주파수에서 빠른 음향적 반응을 나타내었다. 회귀분석을 이용한 메타모델의 음향민감도 상관관계는 외이도 길이가 77%, 외·내경 비율 5%의 영향으로 나타났지만 상하 굴곡각도는 특별한 관계를 나타내지 못하였다. 이로써 인간의 청각음향 민감도는 외이도 길이가 길수록, 외·내경 둘레의 비율 차이가 높을수록 낮은 주파수에서 빠르게 반응하는 인자임을 알 수 있었다.

주제어 : 의료용 디지털영상 및 통신 표준영상, 외이도 모델링, 청각음향, 주파수, 회귀분석

**Abstract** This study simulated external ear canal modeling with different external ear canal lengths, vertical flexion angles, and inner/outer diameter ratios using digital imaging and communications in medicine(DICOM) of the head temporal region and measured the acoustic sensitivity. The experiment was performed by increasing the audible frequency for humans by 200 Hz and expressing the frequency constantly transmitted at 1 Pa as the eardrum acoustic volume and presented the measurements by linear and quadratic curve regression analysis. The results showed that the longer the external ear canal length and the higher the ratio of the outer/inner diameter, the faster the acoustic response at lower frequencies. The acoustic sensitivity correlation of the meta-model using regression analysis showed a 77% influence by the external ear canal length and 5% by the external/internal diameter ratio, while the vertical flexion angle did not show a significant relationship. This showed that auditory acoustic sensitivity of humans is a factor that reacts faster at a low frequency when the external ear canal length is longer and when the difference between the outer and inner diameter is higher.

**Key Words** : DICOM, external ear canal modeling, auditory acoustic, frequency, regression analysis

### 1. 서론

음향학에서 청각의 외부 및 내부에 대한 형태, 크기비

율에 대한 많은 연구들이 진행되었다[1-4]. 본 연구는 디지털 영상 및 통신 표준영상(Digital Imaging and Communications in Medicine; DICOM)을 이용하여 외이

\*This work was supported by the 2018 Far East University Research Grant(FEU2018R08)\*

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

Received December 12, 2018

Revised January 31, 2019

Accepted March 20, 2019

Published March 28, 2019

도를 3차원으로 추출하고 모델링을 만들어 형태학적 특징에 대한 음향해석 방법을 연구해 보고자 하였다. 외이도는 인체 외부 소리를 뇌로 전달해주는 경로이며, 자체적으로 증폭되는 구조로 되어있다. 따라서 외이도는 인체의 청각기관에 해당하며 이개에서 고막까지를 해부학적으로 외이도라 한다. 인체에서 청각기관으로 소리가 전달되는 방법은 측두부 골전도와 이개강(concha cavity) 및 외이도(external auditory canal) 음압을 증강시켜 고막(tympanic membrane)으로 전달되는 방법이 있다[5,6]. 청력기능을 확인하는 방법으로 공기가 전달되는 소리를 자신이 얼마나 잘들을 수 있는지 파악하는 기도 청력검사, 뼈를 통해 전달되는 소리를 확인하는 골도 청력검사 방법이 있다[7]. 이와 같이 전달 매개체를 측정하는 방법으로 음향 청력기능을 확인하지만 난청의 원인은 매우 다양하다고 알려져 있다[8,9]. 그중에서도 외이도 전달과정에 문제되는 경우를 전음성 난청이라 하고 달팽이관 및 청각신경이 원인인 경우를 신경성 난청으로 분류한다[10]. 본 연구는 그 중에서 전음성 난청으로 분류되는 외이도 부분의 굴곡각도 상하 비율, 외·내경 비율, 이개에서 고막까지 외이도 길이가 개인마다 차이가 나는 형상 특징이 고막 음향특성에 어떤 영향을 미치는지 알아보고자 하였다[11-13].

실험은 머리 측두부를 획득한 DICOM 영상에 대해 개인별 식별정보 없이 표면에 대한 영상재구성기법을 사용하여 형상특징이 반영된 모델링으로 시물레이션 하였다. 이는 외이도가 기질적인 질환이 배제된 형태적 차이가 음향특성에 어떻게 다른지 동일조건으로 비교하고자 함이었다. 실험에서 외이도는 개인마다 다른 형태적 특징이 있었으며 동일인이라도 양쪽 측정값은 다르게 나타났다. 이는 각 개인의 고유한 특성을 반영하는 것으로 청각 음향에 다르게 영향을 미칠 수 있다는 의구심으로 출발하였다.

DICOM 영상으로 외이도 모델링을 만든 후 음향 민감도를 시물레이션 한 본 연구는 새로운 융합기술 접근방법이 될 수 있다고 판단되었다.

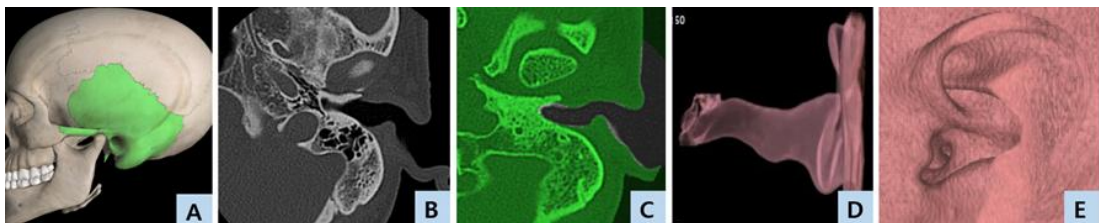
## 2. 연구 방법

### 2.1 실험과정

3차원 외이도 형상추출은 전산화단층촬영(computed tomography; CT)장치에서 0.5mm 볼륨스캔(volume scan)으로 획득된 DICOM 영상을 테라리컨(Terarecon) 프로그램 볼륨 렌더링(volume rendering)기법으로 63귀를 추출하였다[Fig. 1]. 추출된 63귀 외이도 형상은 길이, 상하부 굴곡각도, 내·외경 둘레를 측정 후 데이터를 자료화 하였다. 그 후 각 특징조건이 반영된 12귀 모델링에 대해 큰 값, 중간 값, 작은 값들을 각 조건별로 분류하고 스테리오 리소그래피 파일로 변환하였다. Fig. 2, Table 1 변환된 실험 모델링은 외부를 벽이란 조건을 설정하고 외이도 입구에서 고막방향으로 1 파스칼(pa)의 압력으로 주파수를 200HZ 씩 증가하면서 20KHZ 까지 음향크기를 측정하였다. Fig. 3 실험에 의해 측정된 값들은 청각음향의 민감도 차이를 외이도 길이, 굴곡각도 변화율, 내·외경 둘레 비율로 분류하고 그 상관관계를 회귀곡선으로 나타내어 메타모델 프로그램에서 음향해석 하였다.

### 2.2 실험장치

DICOM 의료영상은 머리 측두부를 다중검출방식의 CT(Aquilion ONE, Toshiba, Japan)장치에서 획득된 0.5mm 볼륨데이터를 사용하였다. DICOM 영상에서 3차원 외이도 추출과 디자인된 모델링의 스테레오리소그래피 파일변환은 Terarecon(AquariusNET, TERARECON, USA)프로그램을 사용하였다. 주파수 증가에 따른 음향



The head temporal region[14](A), DICOM 0.5 mm volume data(B,C) and the surface and inside of the extracted external ear canal(D,E)

Fig. 1. The external ear canal extraction process using DICOM volume data of the head temporal region

Table 1. Measurements of the shape characteristics including external ear canal length, angle, and the circumference of the inner/outer diameters

	File name	Age	Angle(°)				Length (mm)	Perimeter(mm)			
			Upper	Low	Difference	Ratio(%)		Out	Inner	Difference	Ratio(%)
Length (mm)	l-low-1	5	145	91.6	53.4	36.8	14.6	31.3	17.6	13.7	43.8
	l-mid-4	55	146	130	16	11.0	38.2	36	29.2	6.8	18.9
	l-sup-6	19	140	113	27	19.3	49.1	49.7	27.3	22.4	45.1
Angle (°)	a-low-1	27	118	127	-9	-7.6	44.8	30.2	21.7	8.5	28.1
	a-mid-3	40	139	116	23	16.5	41.5	33.4	19.5	13.9	41.6
	a-sup-5	14	140	78.3	61.7	44.1	43.5	43.4	23.3	20.1	46.3
Perimeter (mm)	p-low-1	55	146	130	16	11.0	38.2	36	29.2	6.8	18.9
	p-mid-4	22	139	126	13	9.4	38.6	37.5	23.8	13.7	36.5
	p-sup-6	21	154	153	1	0.6	46.4	48.8	25	23.8	48.8

크기측정은 ANSYS Mechanical(ANSYS Inc, USA)프로그램을 사용하였으며 메타모델(meta model)을 통한 시뮬레이션 음향민감도 해석은 OPTISLANG(Dynardo, Germany)프로그램을 사용하였다.

### 3. 결과

#### 3.1 외이도 음향측정값

특징별 분류된 각각의 외이도형상에 대해 인간 가청 주파수 범위를 설정하고 200Hz씩 주파수를 증가시켜 고막음향을 측정하였다. 각 주파수별로 측정된 결과들은 자료화하여 나타내었다[Table 2]. 전체적으로 저 주파수대에서는 높은 음향적 특성이 고 주파수대에서는 낮은 음향적 특성이 측정되었지만 높은 주파수에서 불규칙한 음향 값들이 분포되었다. Fig. 4

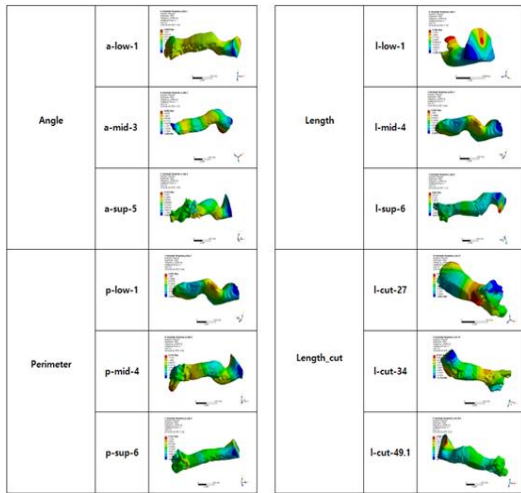


Fig. 2. Experimental modeling reflecting the shape characteristics of external ear canal (length, angle, inner and outer diameters)

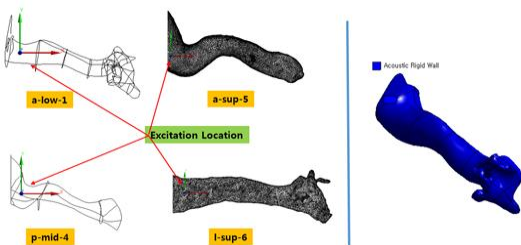


Fig. 3. The simulation process by increasing the frequency by 200Hz at a pressure of 1 Pa

Table 2. Acoustic sound measured at the eardrum

L-cut-27		L-cut-34		L-cut-49	
FREQ	REAL	FREQ	REAL	FREQ	REAL
200	149.499	200	145.381	200	142.656
400	137.504	400	133.418	400	130.735
600	130.537	600	126.505	600	123.893
800	125.648	800	121.693	800	119.182
1000	121.912	1000	118.057	1000	115.68
1200	118.918	1200	115.188	1200	112.98
1400	116.447	1400	112.869	1400	110.869
1600	114.37	1600	110.972	1600	109.225
1800	112.604	1800	109.417	1800	107.976
2000	111.092	2000	108.152	2000	107.08
2200	109.796	2200	107.143	2200	106.519
2400	108.69	2400	106.368	2400	106.294
2600	107.753	2600	105.817	2600	106.429
2800	106.971	2800	105.488	2800	106.981
3000	106.337	3000	105.388	3000	108.063
3200	105.846	3200	105.539	3200	109.909
3400	105.497	3400	105.975	3400	113.091
3600	105.294	3600	106.763	3600	119.731
3800	105.245	3800	108.019	3800	129.742
4000	105.367	4000	109.977	4000	114.824
4200	105.682	4200	113.197	4200	109.412
4400	106.23	4400	119.705	4400	106.068
4600	107.071	4600	131.107	4600	103.724
4800	108.315	4800	115.226	4800	102.014
5000	110.163	5000	109.615	5000	100.773
5200	113.077	5200	106.07	5200	99.9241
5400	118.534	5400	103.479	5400	99.4371
5600	174.995	5600	101.455	5600	99.3154
5800	117.483	5800	99.8211	5800	99.5998
6000	111.008	6000	98.4786	6000	100.386
6200	107.063	6200	97.3693	6200	101.879

\* FREQ: Frequency(Hz)  
\* REAL: Realsound(dB)

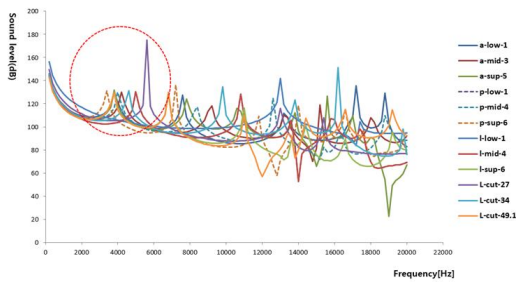


Fig. 4. Graph simulating the acoustic size for each frequency by modeling each external ear canal

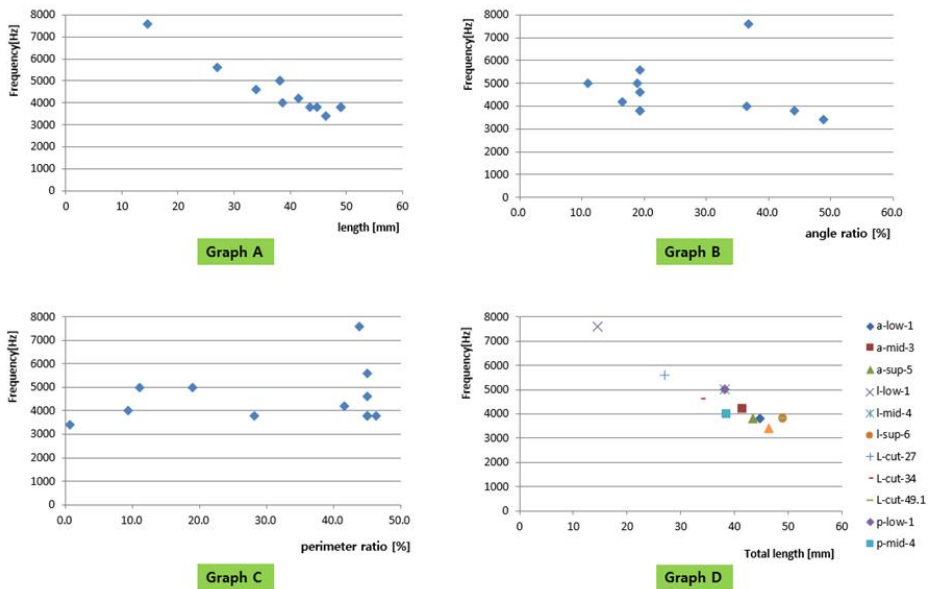
### 3.2 외이도특징의 선형적 관계

측정된 결과 값들을 분석하여 Fig. 4의 첫 번째 민감도 반응(빨강 원점선)을 나타내는 피크 값을 찾아 외이도 길이, 굴곡 각도, 내·외경 비율의 음향적 특징을 주파수 별로 비교하였다. 전체적으로 3 ~ 6KHz 의 주파수 분포대를 보였으며 2차원 그래프로 비교하였다. Fig. 5 외이도 길이는 짧을수록 높은 주파수 반응을 보였으며 길이가

길수록 낮게 나타났다. 굴곡각도, 내·외경 비율은 측정값들이 산발적인 분포도를 나타내었다[Fig. 5, Graph B-C]. 전체적인 실험결과 외이도 길이에 대한 상관관계가 높아 실험에 사용된 전체 실험모델링의 외이도 길이에 대한 반응 주파수를 비교하였다. Fig. 5, Graph D 또한 상관관계를 비교하기 위해 선형(linear correlation)과 이차곡선(quadratic correlation)에 대한 회귀분석(regression cover)으로 나타내었을 때 R, R<sup>2</sup>값은 외이도 길이 0.9, 0.8 굴곡 각도비율 0.4, 0.5, 내·외경 비율 0.6, 0.7 값을 나타내었다. Fig. 6

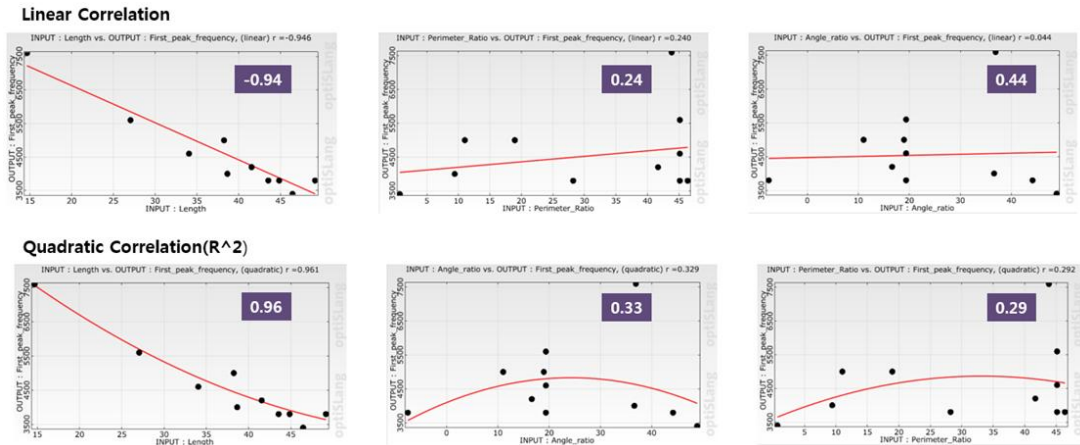
### 3.3 음향민감도 분석

선형분석 결과를 바탕으로 고막에서 반응하는 첫 번째 피크 주파수를 각 외이도 특징들과 비교하기 위해 메타모델(meta model)을 통한 시뮬레이션을 하였다. 그 결과 외이도 길이는 77%, 내·외경 비율은 5%, 굴곡 각도 비율은 주파수 반응에 대한 민감도를 나타내지 못하였다. 본 연구의 메타모델 정확도는 78%로 나타났다. Fig. 7



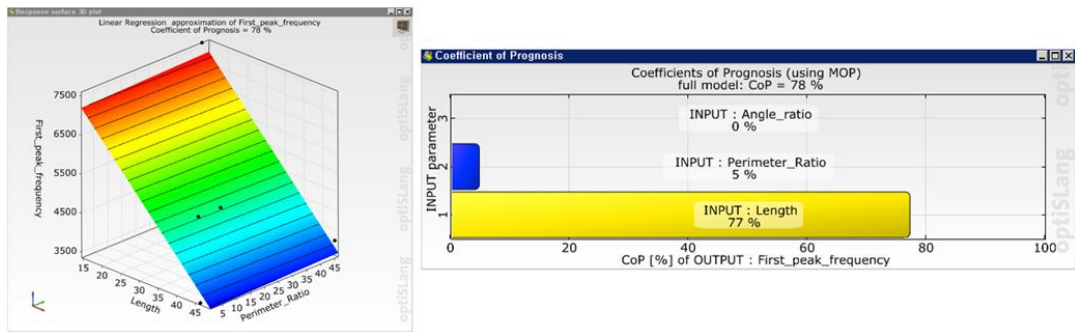
The 1<sup>st</sup> peak response frequency according to the external ear canal length(Graph A). The 1<sup>st</sup> peak response frequency according to the external ear canal angle(Graph B). The 1<sup>st</sup> peak response frequency according to the inner and outer diameters of the external ear canal(Graph C). The 1<sup>st</sup> peak response frequency according to the external ear canal length for the entire experimental modeling(Graph D)

Fig. 5. The 1<sup>st</sup> peak response frequency graph classified by length, angle, and inner/outer diameter of the external ear canal



The figure above shows the linear regression analysis, and the figure below shows the quadratic curve regression analysis graph.

Fig. 6. The regression cover graph for linear correlation and quadratic correlation



The figure on the left is a 3D graph showing the effect of length, angle, and inner/outer diameters of the external ear canal on acoustic sensitivity through meta-model. The figure on the right is a graph showing the frequency sensitivity for each shape condition.

Fig. 7. The simulation result graph through meta-model

#### 4. 고찰

사람마다 다른 특징들을 가진 외이도는 그 형태, 모양에 따라 다양하였으며 개인마다 다른 이러한 특징들이 청각음향에 어떠한 영향을 주는지 모델링 시뮬레이션을 통하여 알아보려 하였다. 이러한 연구들은 오래전부터 다양하게 시도되어 왔는데 사체에서 귓본을 얻고 의료영상에서 추출하고 실라스틱 관을 주입하는 방법 등의 지난 사례들이 있었다[15-17].

인체구조는 그 모양과 형태가 어떠한 목적과 연결되어 있는 경우가 많다. 특히 돌기뼈, 결절등은 인체 구조물의 부착점 또는 기능으로 그 모양이 유리한 형태들을 하고 있다. 이와 같이 외이도는 우리 인체의 청각을 담당하는 기관으로서 외부에 표출된 이개에서부터 그 모양이

음향을 모으는 구조로 되어있으며 그와 연결된 고막까지는 그 내경이 점점 작아지는 관의 구조로 소리를 증폭하는 역할을 하고 있다. 중이 부분에서도 작은 구조물인 이소골 3개의 뼈가 시소 형태로 소리를 전달할 수 있는 특수한 모양을 가지고 있다. 내이는 달팽이관이라는 특수한 형태가 전달된 소리 주파수를 구분하는 역할을 담당하고 있다.

이와 같이 각자의 기능에 최적화 되어 있는 외이도가 길이와 굴곡각도, 내·외경이 서로 다른 구조에서 청각음향 민감도가 어떻게 다른지 본 연구에서 찾고자 하였다.

본 연구에서 개인마다 다른 인체 외이도 내부구조를 사실적으로 모델링하여 시뮬레이션 할 수 있었던 것은 인체의 횡단면을 더욱 세밀하게 영상화할 수 있는 기술

이 있었기 때문에 가능하였다. 그 기술은 최근의 다평면 검출시스템이 가능한 전산화 단층기술로 0.5mm 이하의 용적자료(volume data) 획득과 DICOM 영상으로의 3차원재구성 기능이 가능하였기 때문이다[18,19]. 또한 본 연구에서 시행한 음향특성에 대해 시뮬레이션을 구조 해석할 수 있었던 것은 DICOM 영상을 활용한 관련연구들이 많아지기 때문이다. 이는 융합학문의 발전된 중요한 사례들이며 이를 통해 새로운 과학이 창조될 수 있는 기회와 원동력이 될 수 있다고 생각한다[20].

기존에 이루어지는 청력검사들은 그 평가가 형태적인 모양과 구조가 동일하다는 가정이 내포되어 있어 기질적인 원인에 대해서만 다루었지만 본 연구를 통해 형태적인 구조차이가 기본적인 청각음향에 영향을 줄 수 있으며 그중에서도 외이도 길이의 차이는 개인마다 다른 음향적 영향이 나타날 수 있음을 확인하였다[21].

## 5. 결론

DICOM 볼륨데이터 영상으로 외이도 모델링의 음향적 특징들을 분석한 결과 인간이 들을 수 있는 첫 피크 반응민감도는 외이도 길이가 77%의 영향을 미쳤으며 길이가 길수록 낮은 주파수에서 빠른 민감도를 나타내었다. 또한 외이도 내부의 내·외경 비율은 5%의 민감도, 상하부 굴곡 각도 비율은 별다른 영향을 나타내지 못하였다. 이로써 인간의 청각음향 민감도는 외이도 길이가 많은 영향을 나타내는 인자임을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- [1] H. J. Kang, K. S. Hu, W. C. Song, H. J. Kwon, D. K. Park, H. J. Sohn, K. S. Koh, S. H. Han, D. J. Park, R. H. Chung, H. J. Kim, (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.
- [2] 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>
- [3] 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>
- [4] J. H. An, Y. H. Kim, H. S. Seo, et al, (2011) Domestic aids Use of hearing loss and failure analysis, *State Institute of Health and Medical Research Report*, 1-273.
- [5] Shaw EAG, (1975). The external ear: The new knowledge, *Scandinavian audiology*, 5, 24-50.
- [6] 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.
- [7] <http://healthy-sori.tistory.com/27>
- [8] Yamasoba T, Lin FR, Someya S, Kashio A, Sakamoto T, Kondo K. (2013), Current concepts in age-related hearing loss: *epidemiology and mechanistic pathways*. *Hear Res*, 303, 30-38. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.01.021>
- [9] Prisman E, Ramsden JD, Blaser S, Papsin B, (2011). Traumatic perilymphatic fistula with pneumolabyrinth: *diagnosis and management*. *Laryngoscope*, 121, 856-859. DOI : <https://doi.org/10.1002/lary.21439>
- [10] [www.amc.seoul.kr/asan/main.do](http://www.amc.seoul.kr/asan/main.do)
- [11] S. S. Jang, (2011). Digital Hearing Aid Face plate Manufacturing using FPCB, *The Korean Institute of Electrical Engineers, Information and Control Symposium*, 335-336.
- [12] S. J. Oh, (2015). Introduction to Hearing Aids, *Sigma Press*, 1-258.
- [13] E. H. An, Y. H. Kim, H. S. Seo, et al, (2011) Domestic aids Use of hearing loss and failure analysis, *State Institute of Health and Medical Research Report*, 1-273.
- [14] <http://applications.3d4medical.com/eula>
- [15] 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.
- [16] Johansen PA, (1975). Measurement of the human ear canal, *Acoustica*, 33, 349-351. DOI : <http://www.riss.kr/link?id=A100404939>
- [17] 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.
- [18] 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 : <http://www.riss.kr/link?id=A103842954>

- [19] 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 : <https://doi.org/10.15207/jkcs.2016.7.1.089>

- [20] S. G. Oh & J. H. Kim. (2018). A Comparative Study on the Characteristics of Friction with/without shoes by Analyzing Bio-signals during walking, *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(6), 59-66.

DOI : <http://www.earticle.net/Article/A343756>

- [21] J. M. Yon, J. H. Lee, D. H. Kim & O. K. Lee. (2016). Influence of stress and pure tone audiometry on noise-exposed dental laboratory technicians by dental instrument, *Journal of Digital Convergence*, 14(4), 363-370.

DOI : <http://www.earticle.net/Article/A271690>

김 형 균(Hyeong-Gyun Kim)

[정회원]



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

· E-Mail : [jung7818@hanmail.net](mailto:jung7818@hanmail.net)