

보청기용 범용 이어셸을 위한 설계 파라미터에 관한 연구

논 문
60-5-24

A Study on Design Parameters for Ready-made Ear Shell of Hearing Aids

에르덴바야르* · 전 유 용** · 박 규 석* · 송 영 록** · 이 상 민†
(Erdenebayar-Urtnasan · Yu-Yong Jeon · Gyu-Seok Park · Young-Rok Song · Sang-Min Lee)

Abstract -In this study, main parameters: aperture, first bend and second bend which express a structure of ear canal are extracted in order to modeling and manufacture the ready-made ear shells of hearing aids. The proposed parameter extraction method consists of 2 important algorithms, aperture detection and feature detection. In the aperture detection algorithm, aperture of 3-D scanned virtual ear impression and parameters relating to ear shell of hearing aid are determined. The feature detection algorithm detects first bend, second bend, and related parameters. Through these two algorithms, parameters for aperture, first bend, and second bend are extracted to model the ready-made ear shell of hearing aid. The values of these extracted parameters from 36 people's right ear impression are analyzed and measured statistically. As a result of the analysis, it has been found that it is possible to classify ready-made ear shell parameters by age and size. The ready-made ear shell parameters are classified 3-size for 20 years old and 2-size for 60 years old. Using 3D rhino program, virtual ready-made ear shell is reconstructed by parameters of every type, and simulated to model it. A final product was produced by transferring simulation result with rapid prototyping system. The modeled ready-made ear shell is evaluated with the objective and subjective method. Objective method is the comparison volume ratio and overlapped volume ratio of ear impression from randomly chosen 18 people and ready-made ear shell. And subjective method is that the final product of ready-made ear shell is used by users and the satisfaction number drawn from well fitting and comfortable testing was evaluated. In the result of the evaluation, it has been found that volume ration is 70%, big and middle size ready-made ear shell products are possible, and the satisfaction number is high.

Key Words : Ready-made ear shell, Aperture detection, Feature detection, Hearing aids, 3-D modeling

1. 서 론

최근 다양한 원인에 의해 난청인이 증가하고 그로인해 보청기 수요가 증가하였다. 그러나 한국인의 경우는 난청인의 수에 비해 보청기 사용률이 10% 미만으로 낮게 나타났다 [1]. 이는 보청기 착용에 대한 잘못된 인식에서 오는 거부감과, 수작업으로 제작해야 하는 보청기의 긴 제작과정과 높은 가격 때문이다 [2]. 이러한 보청기의 긴 제작과정과 높은 가격을 극복하기 위하여 개개인별 맞춤형 이어셸 제작 과정 없이 범용 이어셸(ready-made ear shell)을 제작하는 연구가 진행되어 왔다 [3].

범용 이어셸 제작을 위해서는 외이도(ear canal)의 해부학적 특성을 반영한 파라미터 도출이 필요하며, 파라미터 도출을 위해서 물리적 측정(physical measurement), 방사선 연구(radiologic study), 청각적 방법(acoustic method) 등이 이용된다 [4]. 그 중 물리적 측정은 컷본(ear impression)을 제

작하여 측정하는 방법으로 Johansen 등이 컷본에서 외이도 부피 및 길이를 추출하였으며 [5], Olivier 등은 턱의 움직임이 외이도의 변화와 체적에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 분석하였다 [6][7]. Coates와 Paulsen 등은 동적 형상 모델(active shape model)을 이용하여 컷본을 분석하였다 [8][9]. Paulsen은 컷본 형상모델(shape model)을 통계적으로 분석하여 해부학적으로 중요한 특성을 18개의 파라미터로 결정하였고 [10], Zouhar는 이관입구(aperture)를 외이도의 해부학적 중요 파라미터로 정의하여 [11] 이관입구를 효율적으로 탐지할 수 있는 이관입구 탐지 알고리즘(aperture detection algorithm)을 제안하였다 [12]. 그러나 위의 연구들은 컷본의 대표 파라미터인 이관입구를 나타내는 1개의 파라미터만 사용했기 때문에 정확성이 떨어지고, 외이도 내부의 굴곡에 대한 특성을 나타내는 일곡선(first bend) 등을 구별하지 못하는 단점이 있다.

본 연구에서는 보청기용 범용 이어셸 모델링을 위하여 외이도의 해부학적 특성에 따른 이관입구, 일곡선 및 이곡선(second bend) 등의 대표적인 파라미터 도출 방법을 제안한다. 그리고 추출된 파라미터를 이용하여 범용 이어셸 모델링을 진행한 후, 파라미터 추출에 사용되지 않은 이어셸과의 체적비, 체적일치비를 계산하여 추출된 공통 파라미터의 효율성을 평가하였으며, 20대와 30대 10명을 대상으로 쾌속조

* 정 회 원 : 인하대 전자공학과 석사과정

** 정 회 원 : 인하대 전자공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 인하대 전자공학과 교수

E-mail : sanglee@inha.ac.kr

접수일자 : 2010년 7월 27일

최종완료 : 2011년 1월 21일

형(rapid prototyping)을 통한 이어셀을 착용한 후 설문조사를 통해 사용자 만족도를 조사하였다.

2. 파라미터 도출 알고리즘

수작업으로 진행되었던 보청기 제작 작업이 디지털 기술 발전에 힘입어 최근 5년간 반자동 제작이 가능해졌다[13]. 따라서 보청기 제조의 디자인 및 제작 공정이 디지털로 수행되므로 에러가 줄어들며, 제품을 시장에 출하하는 시간을 대폭 단축할 수 있게 되었다. 그러나 아직도 보청기 제작 과정은 완전 자동화 되지 않았기 때문에 시간이 오래 걸리고 비용은 여전히 고가이다. 수작업으로 수행되고 있는 작업은 이어셀 제작 부분이며, 이러한 과정을 디지털화하고 자동화하기 위해 본 연구에서는 보청기용 범용 이어셀 모델링 위한 파라미터 도출 방법을 제시한다. 먼저 외이(external ear)의 해부학적 특성을 반영하여 범용 이어셀 모델링을 위한 파라미터를 표 1과 같이 정의한다.

표 1 범용 이어셀 제작을 위한 파라미터
Table 1 Parameters for ready-made ear shell

파라미터	파라미터 설명
c_a	이관입구면
c_f	일곡선면
c_s	이곡선면
d_F	c_f 과 c_s 의 간격 길이
d_A	c_f 과 c_a 의 간격 길이
a	이관입구면의 장축길이
b	이관입구면의 단축길이
a_f	일곡선면의 장축길이
b_f	일곡선면의 단축길이
a_s	이곡선면의 장축길이
b_s	이곡선면의 단축길이
θ	d_F 과 d_A 의 각도
θ'	일곡선면과 이곡선면의 각도
θ''	일곡선면과 이관입구면의 각도

표 1에서 이관입구면, 일곡선면, 이곡선면은 각각 이관입구, 일곡선, 이곡선의 위치를 면으로 나타낸 것으로, 각각 c_a , c_f , c_s 로 나타낸다. d_F 는 일곡선면에서의 중심점과 이곡선면의 중심점 사이 간격을 나타내며, d_A 는 일곡선면과 이관입구면의 중심점 사이 간격이다. a 와 b 는 이관입구면에서의 장축과 단축의 길이, a_f 와 b_f 는 일곡선면에서의 장축과 단축의 길이, a_s 와 b_s 는 이곡선면에서의 장축과 단축의 길이, θ , θ' , θ'' 은 각각 d_F 와 d_A 의 각도, 일곡선면과 이곡선면의 각도, 일곡선면과 이관입구면의 각도를 나타낸다. 그림 1은 표 1에서 설명한 파라미터를 입체적으로 나타낸 그림이다.

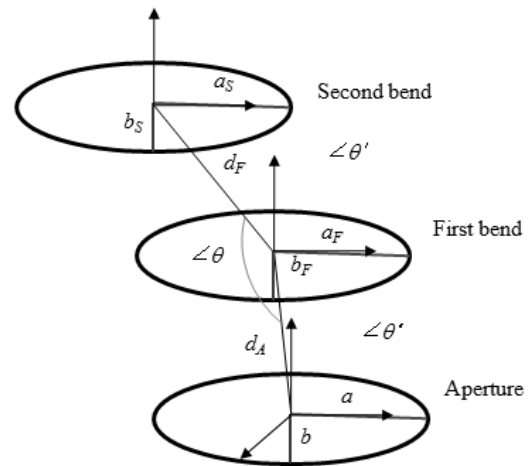


그림 1 범용이어셀 제작을 위한 파라미터 입체도
Fig. 1 3-D figure of parameters for ready-made ear shell

그림 1은 본 연구에서 제안하는 보청기용 범용 이어셀 모델링을 위한 파라미터 추출 시스템의 구성을 나타낸다. 파라미터 추출 방법은 이관입구 탐지(aperture detection), 특징 탐지(feature detection), 파라미터 분석 알고리즘 부분 및 3차원 시뮬레이션(3D simulation), 쾌속조형(rapid prototyping)과 테스트(testing) 부분으로 구성된다. 이관입구 탐지 단계는 외이도의 해부학적 특징 중 하나인 이관입구 부분을 찾고 관련 파라미터를 추출한다. 특징 탐지에서는 S자형 외이도의 굴곡에서 일곡선과 이곡선을 찾고 관련 파라미터를 추출한다. 파라미터 분석은 추출된 파라미터들의 측정값을 분석한다. 그리고 3차원 시뮬레이션은 측정된 파라미터 값들로 가상 이어셀(virtual ear shell)을 3차원 재구성하여 시뮬레이션 한다.

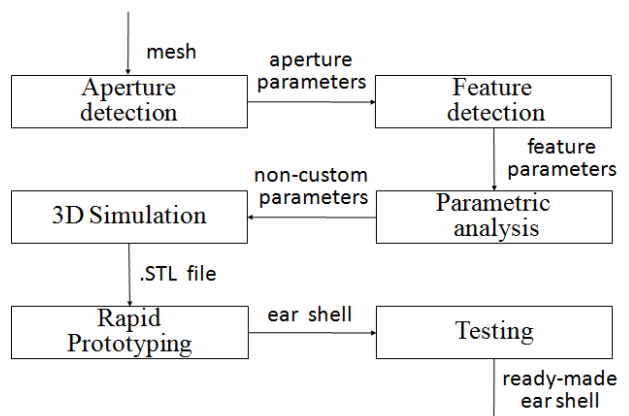


그림 2 범용 이어셀 모델링을 위해 제안된 방법
Fig. 2 Proposed method for ready-made ear shell modelling

이러한 과정에는 20대 귀로부터 얻은 컷본 21개와 60대 귀로부터 얻은 15개의 컷본을 이용하여 진행되었다. 모든 컷본은 피험자의 오른쪽 귀에서 추출하였으며, 20대 피험자는 여자 10명, 남자 11명, 60대 피험자는 여자 9명, 남자 6명으로 구성되었다. 쾌속조형에서는 3차원 시뮬레이션 결과를 쾌속조형으로 제작하는 과정이며, 테스트 단계에서는 3차원

시물레이션 결과와 시물레이션에 사용되지 않은 컷본 사이의 체적비 및 체적일치비를 계산하여 추출된 파라미터의 효율성 객관적으로 평가하였으며, 쾌속조형 완성품을 착용하고 만족도 조사를 통해 주관적으로 완성품을 평가하였다.

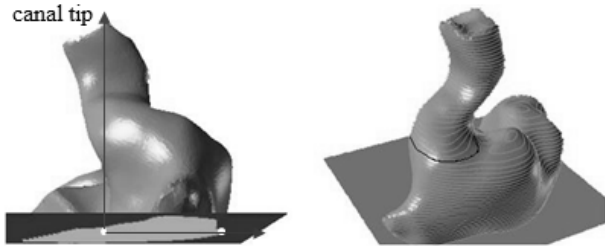


그림 3 3-D 스캔 된 컷본: (a) 기준 좌표 설정, (b) 컷본 윤곽선 절단

Fig. 3 3-D Scanned ear impression: (a) coordinate setting, (b) contour cutting of ear impression

컷본을 3차원 스캐닝하면 바닥면이 없고 속이 빈 3차원 입체 컷본을 얻게 되고 이는 그림 2와 같다. 그림 2(a)와 같이 컷본의 기준 좌표축을 잡기 위해서는 다음의 두 가지 방법을 제안한다. 첫째, 컷본 바닥면의 중심점으로부터 중심점과 가장 멀리 떨어진 둘레 위의 점까지의 선을 가로축으로 한다. 둘째, 바닥면의 중심점에 수직인 선 중 바닥면을 중심으로 관끝점(canal tip) 쪽에 존재하는 선을 세로축으로 한다. 그리고 세로축을 기준으로 단면 절단 스캐닝 한다. 컷본을 수직 단면으로 절단 스캐닝 하면 이관입구 부분과 이개강(concha) 부분이 합류하는 부분에서 절단면이 급격히 커지는 것을 확인 할 수 있다. 이것을 그림 2(b)에서 진한 실선으로 표시했다. 이에 본 논문에서는 해부학적 특성을 이용한 이관입구 탐지 알고리즘과 특징 탐지 알고리즘을 제안한다.

2.1 이관입구 탐지 알고리즘

Zouhar 등의 연구에서 제시한 이관입구 탐지 알고리즘은 외이도와 이개강을 구분하는 윤곽선을 이관입구면으로 정했기 때문에 일곡선면과 이관입구면을 정확히 구별하지 못하

여, 많은 경우 일곡선면을 이관입구면으로 정하는 단점이 있다[8]. 그러나 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 새로운 이관입구 탐지 알고리즘을 제안한다. 그림 4는 이관 입구 탐지를 위한 파라미터를 찾는 과정을 나타낸다. 그림 3의 세로축과 평행한 단면으로 절단한 절단면 세트를 c_i 라고 한다. 그림 4(a)와 같이 $i-1$ 번째 절단면인 c_{i-1} 의 둘레 r_{i-1} 와 i 번째 절단면인 c_i 의 둘레 r_i 의 차이 $r_i - r_{i-1}$ 는 컷본의 해부학적 특성상 두 번의 상대적인 큰 값을 갖고, 이 중 작은 색인은 외이도와 이개강을 구분하는 경계면으로 이개강이 시작되는 부분을 나타내며, 외이도가 끝나는 면을 c_A 로 정한다. 또한 큰 색인은 이개강과 이개정(cymba)을 구분하는 경계면으로 이개정이 시작되는 부분이며 이개강이 끝나는 면을 c_B 로 정한다. 만약 이개강의 구분이 불확실한 경우 이관입구면을 찾는 과정에서 오차가 발생 할 수 있기 때문에 그림 4(c)와 같이 내림차순 가중치 f_i 를 사용하여 이 문제를 해결하였다[8]. 본 과정은 식 1과 같은 식으로 정의할 수 있다.

$$pos = \operatorname{argmax}(f_i \cdot (r_i - r_{i-1})) - 1 \tag{1}$$

$$f_i = \frac{1-i}{2N}, \quad 2 \leq i \leq N$$

식(1)의 N 은 절단면의 총 개수, i 는 윤곽선 색인(index), r_i 는 i 번째 절단면의 둘레의 길이, f_i 는 내림차순 가중치이다. argmax 는 최대값을 나타내는 색인을 찾는 함수, pos 는 최대값을 나타내는 위치를 나타낸다.

그림 5(b)는 경계면 c_A 와 c_B 를 연결하는 윤곽선을 찾는 과정을 나타낸다. 바닥면의 무게중심을 지나는 장축을 $\overrightarrow{pc_1}$, 그 축과 수직인 선을 $\overrightarrow{pc_2}$ 라고 한다. $\overrightarrow{pc_2}$ 와 평행하고, c_A 면의 무게중심과 외곽선을 지나는 직선이 만나는 점 v_a 와, $\overrightarrow{pc_2}$ 와 평행하고, c_B 면의 무게중심과 외곽선을 지나는 점 v_b 를 연결하여 l_{ab} 라고 하고, l_{ab} 를 포함하며 $\overrightarrow{pc_1}$ 과 꼬인 위치에 있는 평면을 이관입구면 A 라고 정한다. 이 면을 기준으로 컷본은 외이도와 이개로 나뉘며, 외이도 부분을 가상 이어셀이라 하고, 특징 탐지 알고리즘에서는 이 가상 이어셀의 좌표축을 새롭게 설정하여 일곡선면과 이곡선면을 결정한다.

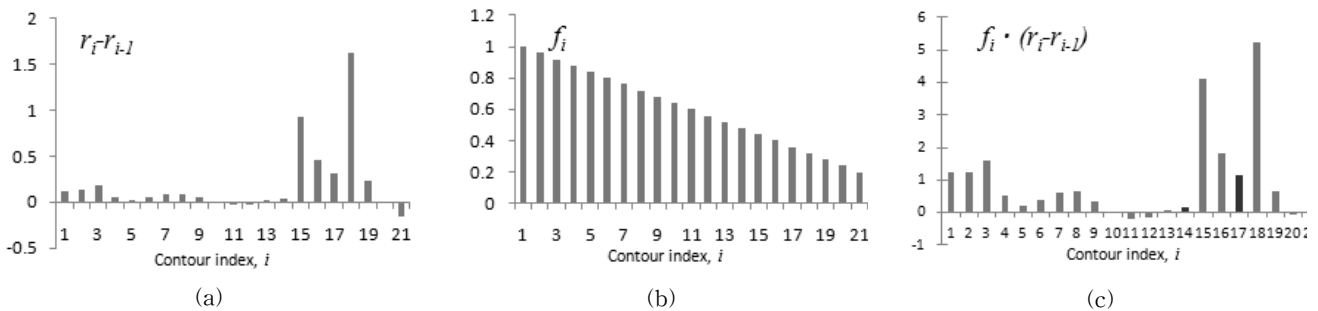


그림 4 식(1)의 계산 과정. (a) 가중치 곱한 결과, (b) 경계면 둘레 차이, (c) 내림차순 가중치
 Fig. 4 Calculation process of equation (1). (a) the results of multiplied by weighting, (b) circumference difference, (c) descending weights

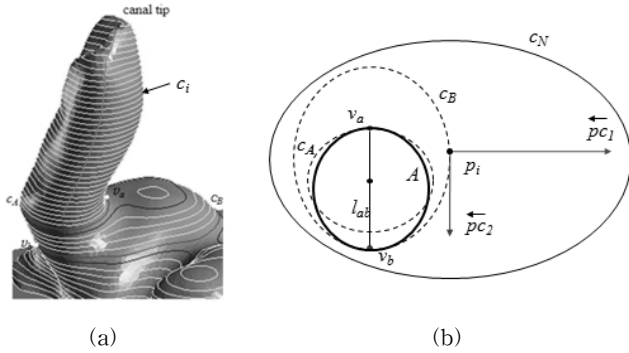


그림 5 식(1)의 계산 과정. (a) 경계면 설정 과정, (b) 이관입구 설정 과정

Fig. 5 Calculation process of equation (1). (a) the process of setting up boundaries, (b) aperture setting process

2.2 특징 탐지 알고리즘

그림 6은 가상 이어셀의 일곡선면(F)과 이곡선면(S)을 찾는 과정을 보여준다. F 와 S 는 외이도의 형태를 알기 위한 고유한 값이며, 이들을 찾기 위해 특징 탐지 알고리즘을 제안하였다. c_i 의 무게중심을 p_i 라 하고 이관입구면의 무게중심을 p_N 이라 하며, 가상 이어셀의 총 길이를 나타내는 직선인 관끝점과 p_N 을 연결하는 직선을 D 라고 하고, 가상 이어셀의 굴곡 특성을 나타내는 곡선인 p_i 들의 연결선을 C 라 한다. D 의 길이는 사람마다 컷본을 어떻게 제작하는가에 따라 다를 수 있지만 본 연구의 목적은 여러 가지 경우의 이어셀 중에서 보청기 이어셀 모델링 가능한 공통 영역을 찾는 것이므로 큰 문제가 되지 않는다.

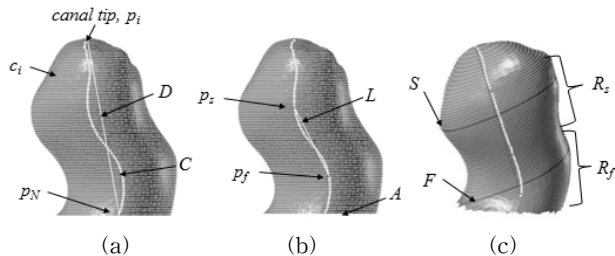


그림 6 특징 탐지 알고리즘 과정 (a) 절단면 세트의 중심선, (b) 윤곽선의 중심점, (c) 일곡선과 이곡선

Fig. 6 The processing of feature detection algorithm. (a) center line of contour set, (b) center point of contour, (c) first bend and second bend

그림 6(a), (b)와 같이 곡선 C 와 직선 D 의 간격이 최대가 되는 두 점을 p_f 와 p_s 라고 한다. 이 점들은 일곡선과 이곡선의 중심점을 나타낸다. F 와 S 를 설정하기 위해 그림 6(c)와 같이 D 의 길이를 분할하는 관심 영역(R)을 지정했다. R_f 는 일곡선을 결정하는 관심 영역 범위로 가상 이어셀의 전체 길이 D 의 20~60% 범위이며, R_s 는 이곡선을 결정하는 관심 영역 범위로 D 의 40~80% 범위로 결정된다. p_f 은 R_f 에, p_s 는 R_s 에 존재하며, p_f 와 p_s 두 점을 직선으로 연결한 선 L 에 직교하도록 가상 이어셀을 다시 단면 절단한다. 다시 절단된

단면에서 중심점을 찾고, p_f 와 관끝점을 연결하는 선과 가장 먼 점을 이곡선의 중심점으로 놓는다. 이러한 과정을 반복하여 파라미터를 재설정하는데, 이 알고리즘을 두 번 이상 반복하게 되면, L 의 길이가 일정해짐을 확인할 수 있다. L 이 일정할 때의 p_f 를 포함하는 절단면 c_f 를 일곡선으로, p_s 를 포함하는 절단면 c_s 를 이곡선으로 한다.

3. 실험 결과 및 평가

본 연구에서는 보청기용 범용 이어셀의 모델링을 위한 파라미터 추출 방법을 제안하였다. 추출된 파라미터의 효율성을 평가하기 위해 36개의 컷본으로부터 추출된 파라미터를 이용하여 시뮬레이션한 이어셀과 실제 이어셀 사이의 체적비 및 체적일치비를 계산하고, 완성품의 만족도를 설문을 통해 조사하였다. 이러한 평가를 위해 제안한 알고리즘을 이용하여 파라미터를 추출하고, 추출한 파라미터를 이용하여 이어셀을 3차원 시뮬레이션 하였으며, 쾌속 조형으로 범용 이어셀을 제작하였다.

3.1 파라미터 추출

공통 파라미터를 추출하기 위해 각 피험자의 컷본에서 이관입구 탐지 알고리즘과 특징 탐지 알고리즘을 이용하여, 표 1에서 정의된 파라미터인 이관입구면과 일곡선면까지 간격(d_A), 이관입구면과 이곡선면까지의 간격(d_F), 외관입구면, 일곡선면, 이곡선면의 장축(a, a_F, a_S)과 단축(b, b_F, b_S) 길이, 그리고 이곡선면의 중점, 일곡선면의 중점과 이관입구의 중점을 이은 선의 내각(θ)과 면의 각도(θ', θ'')를 X축 기준으로 추출하였다. 파라미터를 분석한 결과를 바탕으로 외이도 크기에 해당하는 일곡선면과 이곡선면의 장/단축의 길이의 평균이 유의하게 다르다고 판단되는 점($p < 0.05$)을 기준으로 60대 피험자의 경우 2개의 크기로 범용 이어셀을 제작하였고, 20대의 경우는 3개의 크기로 범용 이어셀을 제작하였다. 60대와 20대 각각의 크기별 범용 이어셀의 크기는 표 2와 같다.

표 2 범용 이어셀을 위해 추출된 파라미터 결과 값
Table 2 Parameter value for ready-made ear shell

파라미터 \ 셸 크기	20대			60대	
	대	중	소	대	소
a (mm)	6.7	5.9	5.2	7.1	6.3
b (mm)	4.4	4.4	3.7	4.7	3.9
a_F (mm)	5.4	4.8	4.5	5.6	4.5
b_F (mm)	4.5	3.9	3.6	4.2	3.3
a_S (mm)	4.8	4.7	3.6	5.3	4.0
b_S (mm)	4.2	3.8	3.5	4.0	3.4
d_A (mm)	5.0	4.6	4.0	6.7	4.4
d_F (mm)	5.5	5.1	4.7	6.0	4.0
θ (°)	152	144	137	145	139
θ' (°)	18	10	16	14	13
θ'' (°)	32	41	48	45	57

3.2 3차원 시뮬레이션 및 캐속 제작

그림 7은 범용 이어셀을 모델링한 결과를 나타낸다. 외이 해부학적 구조상 외이도는 전체적으로 타원형의 원통형 모양을 가졌다. 따라서 범용 이어셀을 이관입구, 일곡선과 이곡선을 타원형 면으로 설계하였으며, 이 3면을 기준면으로 상하 굴곡이 있으므로 이관입구에서 일곡선까지 간격(d_A)과 일곡선에서 이곡선까지 간격(d_F)을 원통형의 관으로 연결하여 재구성하였다. 그리고 고막형(completely in the canal, CIC) 보청기 착용 시, 보청기와 외이도에 틀이 있는 경우 음향 피드백(acoustic feedback) 현상이 발생할 수 있으며, 폐쇄 효과(occlusion effect)가 저하되어 증폭도가 저하될 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 보청기를 기준으로 외부와 내부가 완전히 분리되어야 하며, 간격이나 각도가 사람마다 다르기 때문에 일곡선을 기준으로 각도(θ)나 간격(d_A , d_F)을 결정하였다. 이것은 이러한 현상들에 있어서 일곡선이 중요한 역할을 하기 때문이다. 이곡선은 고막에서 5mm 정도의 간격을 가지며, 고막을 손상시키지 않는 범위 내에서 최대한 이어셀을 고막과 근접하기 위해 본 연구에서는 이곡선으로부터 고막쪽으로 2mm 지점까지만 이어셀을 시뮬레이션 하였다.

그림 7은 범용 이어셀 시뮬레이션 결과를 나타내며, 60대의 범용 이어셀이 (d),(e)와 같이 상대적으로 더 많이 굴곡이 작은 대신 크기는 크다는 것을 확인 할 수 있으나 (a), (b), (c)와 같이 20대의 범용 이어셀은 굴곡이 크고, 크기는 비교적 작은 것으로 나타났다.

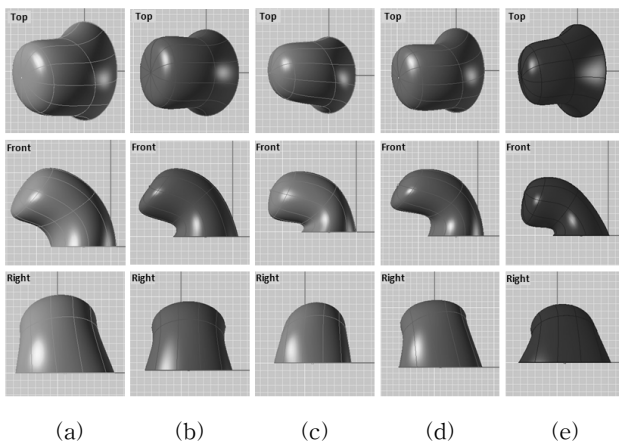


그림 7 범용 이어셀 모델링 결과; (a), (b), (c)는 각각 20대용 대, 중, 소, (d), (e)는 각각 60대용 대, 소를 나타내며, 위쪽부터 상측면, 전면, 측면을 나타냄

Fig. 7 Result of ready-made ear shell modelling; (a), (b), (c) is large, medium and small size for the in their 20s, and (d), (e) is large and small size for the their 60s respectively, and it is the upper-side, the front and the side from left

실제 범용 이어셀 조형 과정은 .stl 확장자로 저장된 3차원 시뮬레이션 결과 파일을 캐속조형시스템을 사용하여 제작되며, 만족도 평가를 위해 모델링된 범용 이어셀을 캐속조형시스템으로 고무 재질을 써서 몰드 형태로 조형하였다.

제작된 범용 이어셀은 그림 8과 같다.

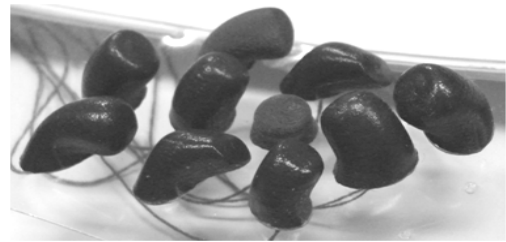


그림 8 캐속조형시스템 결과물
Fig. 8 The results of RP system

3.3 3차원 시뮬레이션 평가

3차원 시뮬레이션 결과인 범용 이어셀을 객관적으로 평가하기 위해서 범용 이어셀과 시뮬레이션에 사용하지 않은 컷본 중 무작위로 선택된 컷본 사이의 체적비[14] 및 체적일치비를 계산하였다. 범용 이어셀과 컷본을 비교하기 위해, 컷본을 일곡선과 이곡선의 반지름을 기준으로 20대는 대, 중, 소로 분류하고, 60대는 대, 소로 분류하였다. 크기를 분류한 컷본을 범용 이어셀과 비교하기 위해, 20대와 60대 각각에서 9개의 컷본을 사용하였다.

표 3 컷본과 범용 이어셀의 체적비 및 체적일치비
Table 3 Volume ratio and volume match ratio between the ear impression and ready-made shell

Ear Impression No.	Ear Shell Size	체적비(%)	체적 일치비(%)	
20대	Y01	S	83.9	75.9
	Y02	S	96.6	71.6
	Y03	S	87.7	99.6
	Y04	M	84.9	94.1
	Y05	M	99.7	98.2
	Y06	L	91.4	99.7
	Y07	L	95.9	97.7
	Y08	L	97.6	90.3
	Y09	L	95.6	75.7
평균 ± 표준편차		92.6±7.1	84.7±13.1	
60대	O01	L	81.9	77.9
	O02	L	83.9	84.1
	O03	L	91.3	77.8
	O04	L	96.4	67.3
	O05	L	95.4	87.0
	O06	L	94.8	88.7
	O07	M	86.3	99.2
	O08	M	93.5	85.0
	O09	M	84.4	84.0
평균 ± 표준편차		89.7±7.6	83.4±15.8	

표 3은 선택된 범용 이어셀과 각 컷본을 비교한 시뮬레이션 평가결과로 범용 이어셀과 컷본의 체적비 및 체적일치비를 나타낸 것이다. 체적비는 범용 이어셀 체적과 컷본 체적의 비를 백분율로 나타낸 것이고, 체적일치비는 컷본과 범용

이어셀의 겹치는 부분의 체적과 범용 이어셀 체적의 비를 백분율로 나타낸 것이다. 체적비가 높은 경우 컷본과 범용 이어셀의 체적이 비슷하다는 것을 의미하며, 체적일치비가 높은 경우 범용 이어셀이 귀에 쉽게 삽입할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 체적비가 높다고 해서 체적일치비가 반드시 높은 것은 아니다. 표 4에 나타난 체적비와 체적일치비 결과 중에서 체적비가 높지만 체적일치비가 낮은 경우와 그 반대의 경우를 볼 수 있다. 표 3에 나타난 체적비는 모두 80% 이상이고 체적일치비는 특정한 피험자의 컷본을 제외하고 대부분 약 70% 이상을 유지하고 있으며, 평균은 20대와 60대 모두에서 84% 이상인 것을 확인 할 수 있다. 또한 20대의 경우에서 60대의 경우보다 평균 체적비 및 평균 체적일치비가 약간 높은 것을 볼 수 있고, 표준편차도 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 20대에서 범용 이어셀이 더 잘 맞으며, 개인별 차이도 더 작다는 것을 의미한다.

표 4 범용 이어셀의 선호도 평가표

Table 4 The preference questionnaire of ready-made ear shells

Patients	Ear Shell Size	Accuracy	Usability
P01	L	4.7	5.0
P02	L	5.0	5.0
P03	S	3.3	4.3
P04	S	3.7	3.7
P05	S	4.0	4.3
P06	L	4.3	4.7
P07	L	4.3	5.0
P08	M	3.3	3.0
P09	M	4.3	4.0
P10	S	4.3	5.0
평균 ± 표준편차		4.12±0.9	4.4±0.6

3.4 만족도 평가

만족도 평가는 20대와 30대 10명을 대상으로 진행하였다. 평가 방법은 먼저, 외이도 검사를 통하여 피험자 외이도의 귀지 등 이물질이나 이상이 있는지 검사한 후 대, 중, 소형 범용 이어셀을 귀에 넣어 보고 어떤 것이 가장 적합한지 정한다. 그 중 본인 귀의 가장 잘 맞는 범용 이어셀을 착용한 상태에서 평가 항목별로 평가를 진행한다. 여기서 본인 귀에 잘 맞는다는 것은 착용한 범용 이어셀이 외이도 밖으로 돌출되지 않고, 귀에서 쉽게 빠지지 않는 상태를 의미한다. 평가 항목은 크게 정확성(accuracy)과 유용성(usability) 2가지로 나눌 수 있으며, 정확성은 귀에 잘 맞는지, 이어셀을 착용하기 전보다 소리가 잘 들리지 않는지, 본인의 목소리가 크게 들리는 지에 대해 평가하는 항목이며, 유용성은 말할 때 불편하지 않는지, 머리를 돌릴 때 불편하지 않는지, 입을 크게 벌릴 때 불편하지 않는지에 대해 평가하는 항목이다. 표 4는 범용 이어셀의 선호도 평가를 나타낸다. 평가항목 당 각각 3개의 질문에 대해 1부터 5까지 점수를 주었고, 평가항목 별 점수 평균으로 그 항목의 선호도를 정하였다. 점수가 높을 수록 만족도가 높다는 것을 의미하며, 귀에 잘 맞

는지에 대한 질문 결과인 정확도는 평균 4.12로 조사되었으며, 사용하기에 유용한지에 대한 결과인 유용성은 평균 4.4로 조사되었다. 이러한 결과는 제안된 방법에 의해 제작된 범용 이어셀을 사용하는데 문제가 없을 것이라는 것을 나타낸다고 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 제안하는 이관입구 탐지와 특징 탐지 알고리즘으로 표 1과 같이 정의된 11개의 파라미터를 추출하였으며, 추출된 파라미터는 범용 이어셀의 주요 특성인 이관입구, 일곡선과 이곡선 부분에 해당 된다. 무작위로 선택된 컷본과의 체적비 및 체적일치비가 80% 이상으로 나타났으며, 제품 선호도 평가는 평균 4점 이상의 높은 점수로 조사되었다. 선호도 참가자들의 40%가 소형 범용 이어셀의 속하고 나머지 60%가 대, 중 형의 속하여 비교적 높은 평가 점수를 보였다. 이러한 평가 결과에서 범용 이어셀 모델링을 위해 추출된 파라미터들이 공통 성분을 나타내고 타당성이 있는 것을 확인하였다. 그러나 선호도 평가에 참석한 참가자들한테 범용 이어셀이 너무 작은 느낌, 모델의 다양성 조금 부족이라는 개선 사항이 나왔고 또한 표 3에서 대부분의 컷본에서는 80% 이상의 체적비와 체적일치비를 보였으나, 몇몇의 컷본에서 잘 맞지 않는 문제가 드러났다. 이는 본 연구에서 제안한 범용 이어셀 파라미터 수치가 모든 피험자의 귀와 일치하지 않는다는 것을 의미하며, 이런 문제점들을 개선하기 위해 추후 더 많은 크기와 모양으로 분류하여 세분화된 범용 이어셀을 제작해야 할 것이다.

M사의 RSM 보청기 전용 소프트웨어를 이용하여 보청기 부품을 범용 이어셀에 배치해본 결과 모델링된 5개의 범용 이어셀 중 하나만 부품배치 공간이 부족한 것으로 확인되었고, 나머지 4개는 부품을 배치하여 제품을 완성하는데 어려움이 없는 것으로 확인되었다. 이는 20대와 30대의 경우 60대보다 외이도의 크기가 상대적으로 작아서 발생하는 문제로 기술 발전으로 인하여 보다 작고 고성능의 보청기 부품이 개발될 것으로 기대되며, 그로인해 소형 범용 이어셀도 제품성을 갖게 될 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 제작된 범용 이어셀은 보청기 착용자를 위한 것이지만, 세분화 되면 보청기뿐만 아니라 이어폰에 응용하여 착용자의 귀에 잘 맞는 이어폰 제작이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2009년 정부(보건복지가족부)의 재원으로 한국보건산업진흥원의 지원(과제번호 A091039)을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] 보건복지가족부, 2008년도 국민건강영양조사, p.5, Dec, 2009.
- [2] 허민정, 김리석, 안성우, 부성현, “보청기와 인공와우 기기에 대한 대학생들의 인식 및 태도,” 한국특수교육문

제연구소, The Journal of Special Education: Theory and Practice., vol. 9, No. 3, pp.61-81, 2008.

- [3] R.M. Ghent, V.H. Bray, and P.J. Murphy, "Description, Rationale, and Efficacy of a Digital, Non-Custom, Instant-Fit CIC Hearing Aid," AAA 14th Annual Convention, Philadelphia, Pennsylvania, April 17-20, 2002.
- [4] H.S. Jeong, H.E. Koo, S.M. Lee, S.K. Koo, S.H. Lee, and T.H. Yu, "Changes in Resonance Frequency and Length of External Auditory Canal Related to the Age," Korean J. Otolaryngol., vol 44, pp.144-7, 2001.
- [5] P.A. Johansen, "Measurement of the Human Ear Canal," Acoustica., vol. 33, pp.349-51, 1975.
- [6] R. Oliveira, B. Hammer, A. Stillman, J. Holm, C. Jons, and R. Margolis, "A Look at Ear Canal Changes with Jaw Motion," Ear and Hearing., vol. 13, No. 6, pp.464-466, 1992.
- [7] R. Oliveira, M. Babcock, M. Venem, G. Hoeker, B. Parish, and V. Kolpe, "The Dynamic Ear Canal and Its Implications," Hear Reviews., vol. 2, no. 2, pp.18-19, 2005.
- [8] T. Cootes, D. Cooper, C. Taylor, and J. Graham, "Active shape models-their training and application," Computer Vision and Image Understanding., vol. 61, pp.38-59, 1995.
- [9] R.R. Paulsen, and K.B. Hilger, "Shape Modeling Using Markov Random Field Restoration of Point Correspondences," IPMI 2003, Lecture Notes in Computer Science., vol. 2732, pp.1-12, 2003.
- [10] R. Paulsen, R. Larsen, C. Nielsen, S. Laugesen, and B. Ersboll, "Building and Testing a Statistical Shape Model of the Human Ear Canal," Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention., vol. 24, No. 1, pp.373-380, 2002.
- [11] C. Pirzanski, and B. Berge, "Ear canal dynamics: Facts versus perception," The Hearing Journal., vol. 58, No. 10, Feb. 2005.
- [12] A. Zouhar, T. Fang, G. Unal, and G. Slabaugh, "Anatomically Aware, Automatic, and Fast Registration of 3D Ear Impression," Third International Symposium on 3D Data Processing Visualization, and Transmission, Chapel Hill, USA, pp. 240-247, June. 2006,
- [13] C. Pirzanski, "Despite new digital technologies, shell modelers shoot in the dark," The Journal of Hearing., vol. 59, No. 10, Oct. 2006.
- [14] G. Unal, "Nonparametric joint shape learning for customizes shape modeling," Comp. Med. Imaging Graph., pp.10, 2009.

저 자 소 개



에르덴바야르

2007년 몽골 후레정보통신대학교 컴퓨터공학 학사 졸업, 2010년 인하대학교 전자공학과 석사 졸업, 2010년~현재 몽골 후레정보통신대학교 의료공학과 신입교수



전 유 용 (全 庾 鏞)

2006년 전북대학교 생체정보공학부 학사 졸업, 2009년 인하대학교 전자공학과 석사 졸업, 2009년~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정



박 규 석 (朴 奎 錫)

2010년 인하대학교 전자공학부 학사 졸업, 2010년~현재 인하대학교 전자공학과 석사과정



송 영 록 (宋 泳 錄)

2001년 인천대학교 정보통신공학부 학부 졸업, 2003년 인천대학교 정보통신공학과 석사 졸업, 2009년 인천대학교 정보통신공학과 박사 졸업, 2009년~현재 인하대학교 정보전자공동연구소 연구교수



이 상 민 (李 相 旻)

1987년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업, 1989년 인하대학교 전자공학과 석사 졸업, 2000년 인하대학교 전자공학과 박사 졸업, 1989년 1월~1994년 7월 LG 이노텍 선임연구원, 1995년 1월~2002년 3월 삼성종합기술원 책임 연구원, 2002년 4월~2005년 2월 한양대학교 의공학교실 연구교수, 2005년 3월~2006년 8월 전북대학교 생체정보공학부 조교수, 2006년 9월~현재 인하대학교 전자전기공학부 부교수