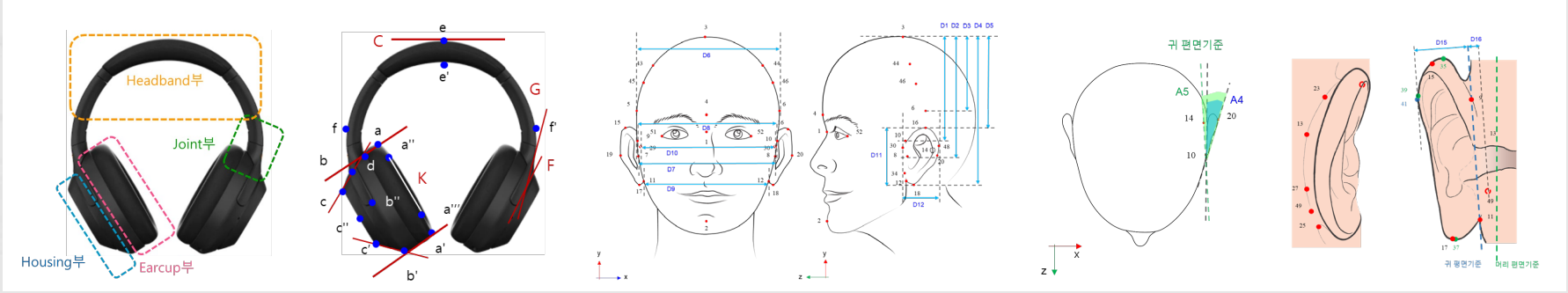
Anthropometric Analysis of 3D Head and Ear Scan Data for Ergonomic Design of Wireless Headset

무선 헤드셋의 인간공학적 설계를 위한 3차원 머리 및 귀 Scan Data 기반 치수 분석



최신아[1], 정하영[1], 우춘룡[1], 전은진[1],
진유림[2], 김예은[1], 김하림[1], 유희천[1]

[1] 포항공과대학교 산업경영공학과
[2]경북대학교 의류학과

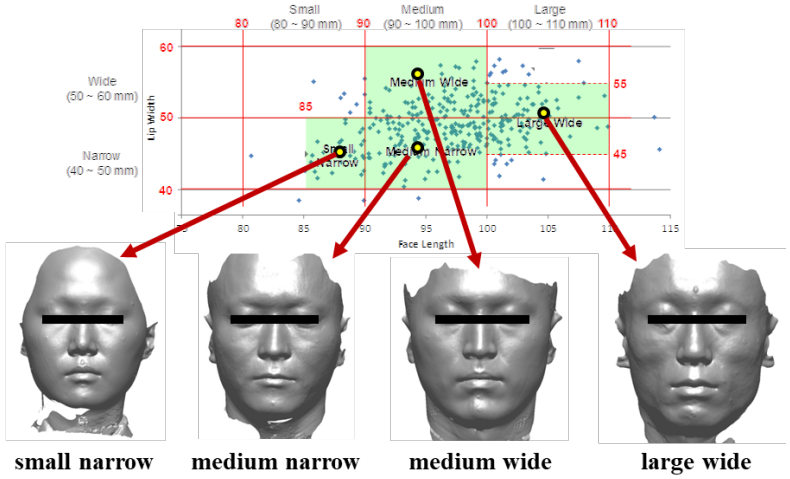
Contents

- **서론**
  - 연구배경 및 필요성
  - 연구 목적
- **방법**
  - 헤드셋 설계인자 정립
  - 인체 측정 항목 및 관련 랜드마크 선정
  - 데이터 수집 및 처리
  - 인체치수 측정 방법 구축
- **인체치수 측정 및 치수 분석 결과**
- **토의**

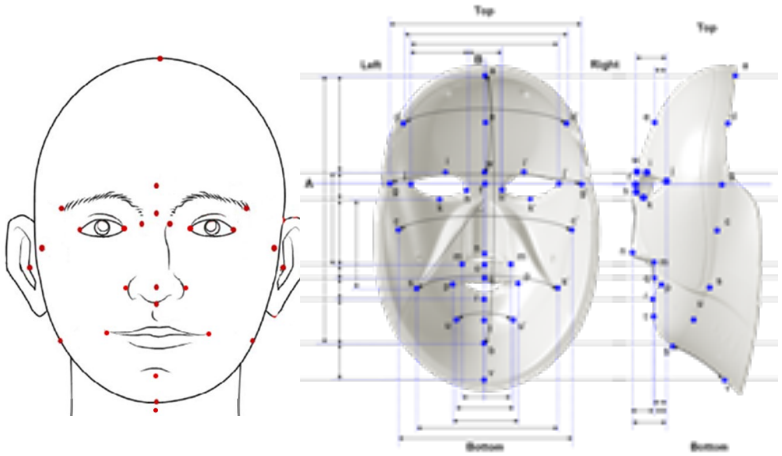
인간공학적 제품 디자인

- **3차원 인체 측정 데이터**는 인간공학적 **착용형 제품**의 **사용성**을 **향상**시키기 위해 다양한 분야에 유용하게 활용되고 있음

대표얼굴기반 치수체계



치수분석기반 제품 디자인



무선 헤드셋 제품

- 기존 무선 헤드셋의 **사용성 이슈**로는 **불편한 착용감**, 제품 **사이즈 부족**로 인한 **정수리 압박**(**짧은 헤어밴드**)과 **작은 이어컵**으로 인한 **귀통증 유발** 시킴

⇒ 무선 헤드셋 제품의 **사용성 향상**을 위해서는 제품 **형상**, **구조**, **크기** 측면을 고려한 **인간공학적 설계**가 **필요함**

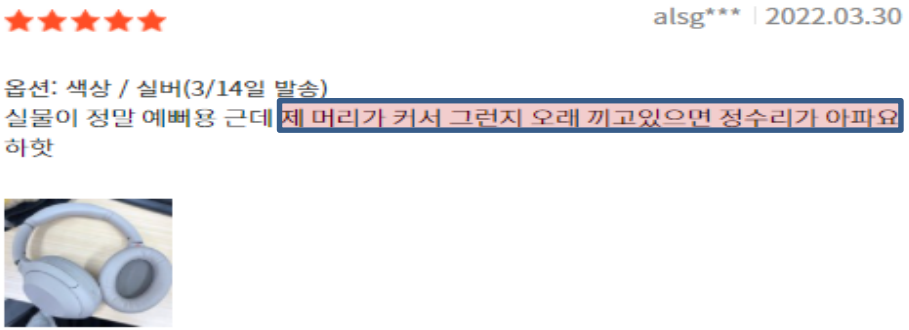
기존 무선 헤드셋 제품

SONY

APPLE

BOSE

착용감 보고 예시



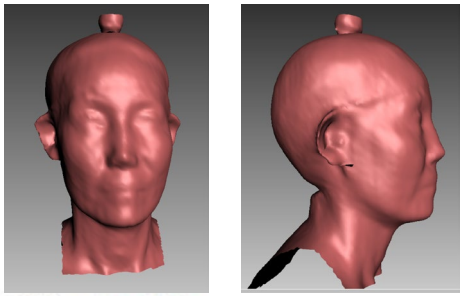
기존 연구 한계점

- 머리 부위는 안면과 귀 부위가 통합된 데이터가 부족하여 **무선 헤드셋 설계 적용**에 **한계**가 있는 실정임
  - ✓ **Size Korea** 및 **CAESAR** 인체측정 DB를 활용하기에는 **귀 크기** 및 **각도 관련 치수가 없음**
  - ✓ 기존 귀 측정 연구(Lee et al., 2018)에는 25개 **귀 치수만을 제공함**

인체 측정 DB

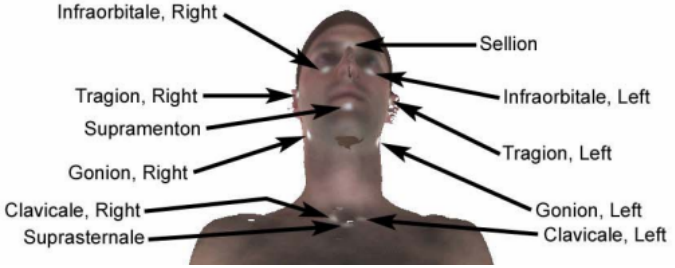
한국인 인체치수조사 Size Korea

6차 한국인 인체치수 조사 (2010 ~ 2014년; 3차원 측정; 7 ~ 85세, *n* = 4,419)



CAESAR 3-D Anthropometric Database

Civilian America and European Surface Anthropometry (2000년; 18 ~ 65세, *n* = 2,500 미국인)

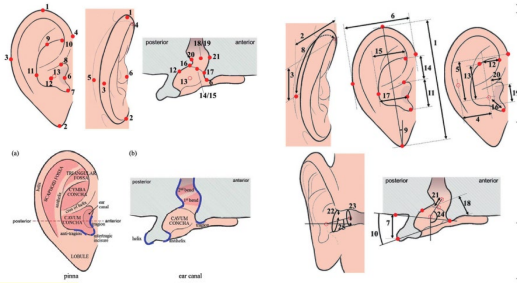


Anthropometric analysis of 3D ear scans of Koreans and Caucasians for ear product design

Wonsup Lee[a], Xiaopeng Yang[b], Hayoung Jung[b], Ilgeun Bok[c], Chulwoo Kim[c], Ochae Kwon[c] and Heecheon You[b]

[a]School of Global Entrepreneurship and Information Communication Technology, Handong Global University, Pohang, South Korea; [b]Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, South Korea; [c]Design Team, Mobile Communication Division, Samsung Electronics, Seoul, South Korea

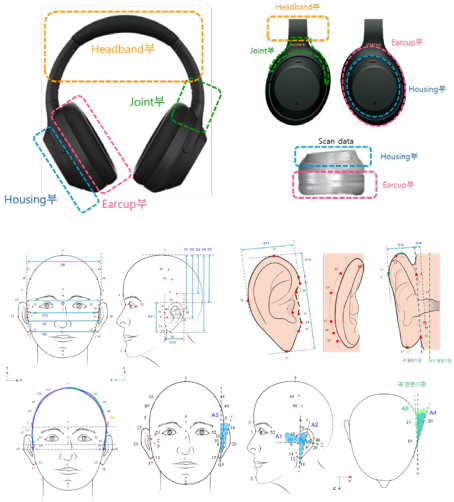
Korean (*n* = 230), Caucasian (*n* = 96) 나이: 20-59



연구 목적

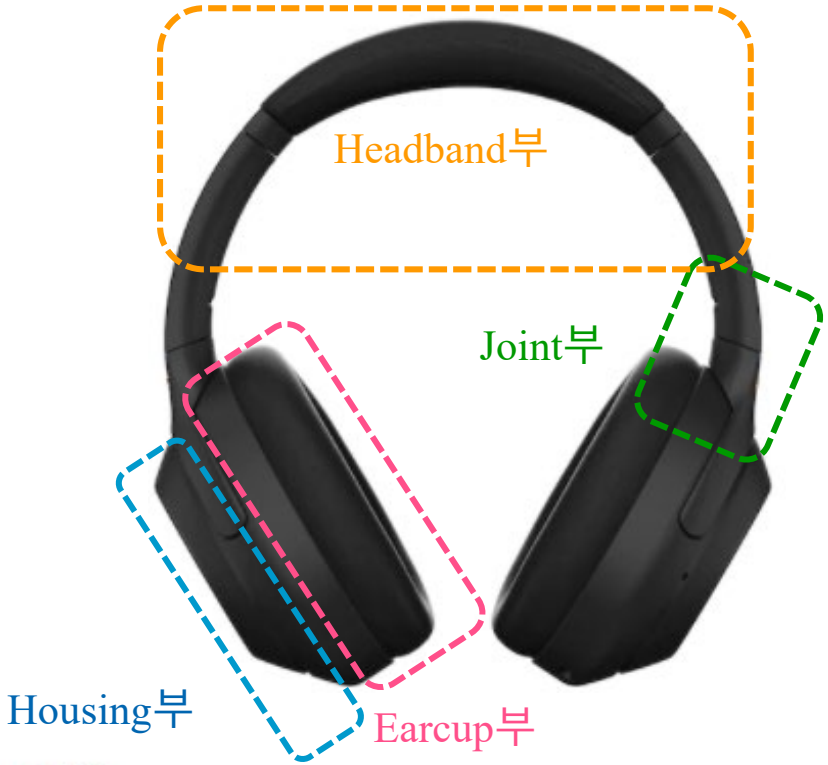
인간공학적 무선 헤드셋 설계를 위한
머리 및 귀 통합 3차원 스캔 데이터 기반 **인체 치수 분석**

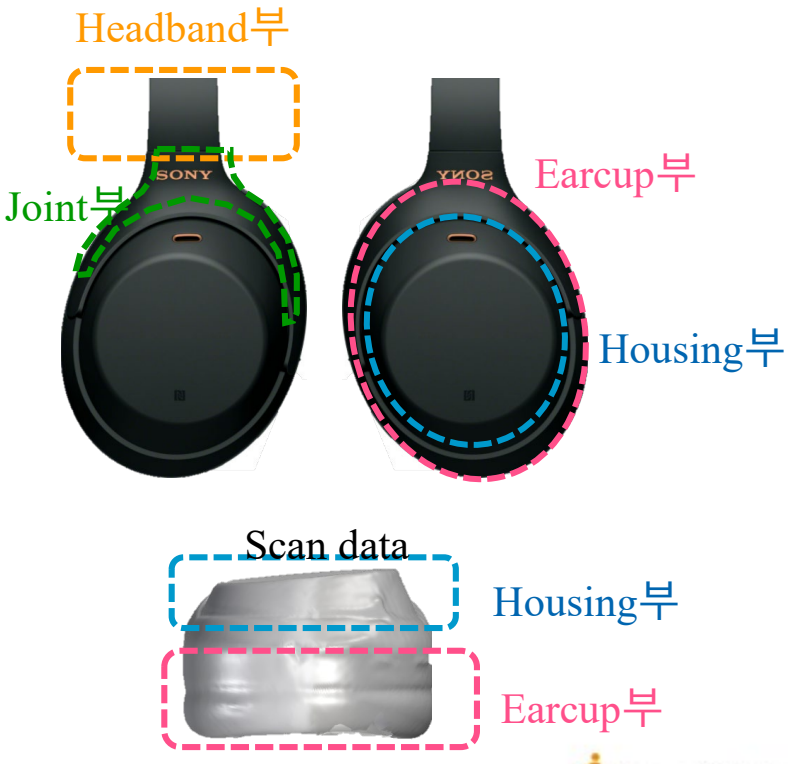
1. Benchmarking기반 **헤드셋 설계인자** 정립 및 설계 제원 치수 측정
2. **인체 측정 항목** 및 관련 **landmark** 선정
3. 3차원 인체 형상 데이터 기반 **인체치수 측정**



S1. 기존 제품 설계인자 정립

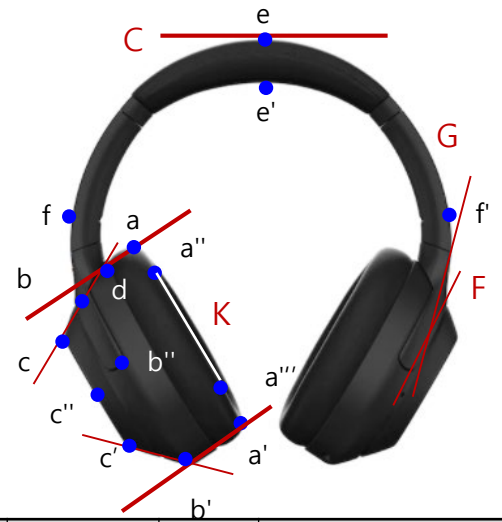
- 무선 헤드셋을 (1) **earcup부**(earpad, earcup, cover, speaker unit) (2) **housing부**, (3) **headband부**(headband, head cushion, slide), (4) **joint부**(joint, joint arm) 로 구분하여 설계 인자 정의

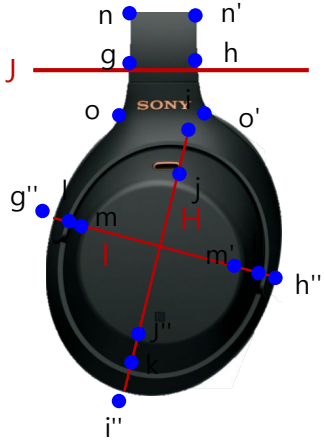


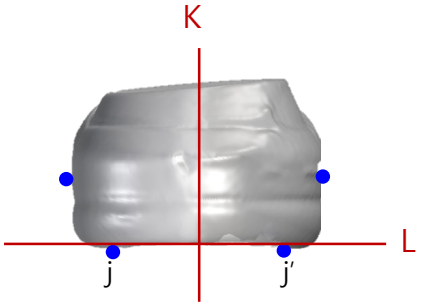


S1. 기준점/기준선 정립

❑ **정면 기준**, **측면 기준**, **평면 기준** 무선 헤드셋 **기준점/기준선** 정립





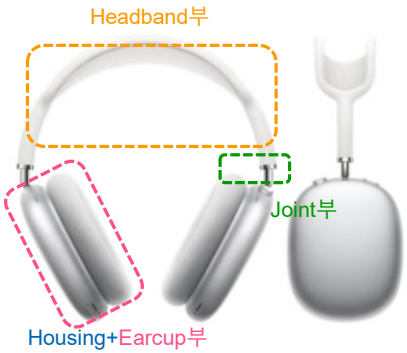
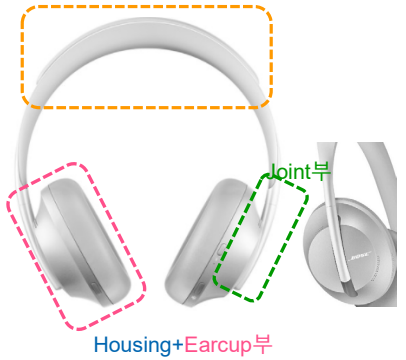


View	Part	기호	명칭
정면	Earcup부	a, a'	Earcup부 최전측점, 최후측점
		a'',a'''	Earpad 내측 최전측점, 최후측점
		b, b'	Earcup부 전측점/후측점
		a', b'	Earcup부 전측 최좌측점/최우측점
		b, d	Earcup부 기울기
		A, B	Earcup부 상측, 하측 경계선
		D	Earcup부 기울기 경향선
		K	Earpad부 내측 길이방향 경계선
	Housing부	b, b'	Housing부 최전측점, 최후측점
		c, c'	Housing부 전측점/후측점
		c'', b''	Housing부 좌측/우측 최대 돌출점
		E	Housing부기울기 경향선
	Headband 부	e, e'	Headband부 외측/내측 최대돌출점
		F, f'	Headband부 최자측점/최우측점
		C	Headband부 상측 경계선
	Joint부	G	Joint부 최대 기울기 경향선
		F	Joint와 Headband 부착 기울기 경향선

View	Part	기호	명칭
측면	Earcup부	i, i'	Earcup부 전측 최전측점/최후측점
		g'', h''	Earcup부 전측 최자측점/최우측점
		j, j'	Earpad부 내측 최자측점/최우측점
		H	Earcup부 최대길이 지점 단면선
		I	Earcup부 최대너비 지점 단면선
		K	Earpad부 내측 길이방향 경계선
	Housing부	i,k	Housing부 전측 최전측점/최후측점
		L, l'	Housing부 전측 최자측점/최우측점
		m, m'	Speaker uint 전측 최전측점/최후측점
		H	Housing부 최대길이
		I	너비 지점 단면선
	Headband부	g,h	Headband부와 슬라이딩 연결부 최대 너비
		n, n'	Headband부 최상측 밴드 너비
		J	Headband와 슬라이딩 연결부 단면선
	Joint부	g,o	Joint부 내측 굴곡점까지의 길이
		g, g''	Joint부 죄측 외관선 길이
		h, h''	Joint부 우측 외관선 길이
		J	Headband와 슬라이딩 연결부 단면선

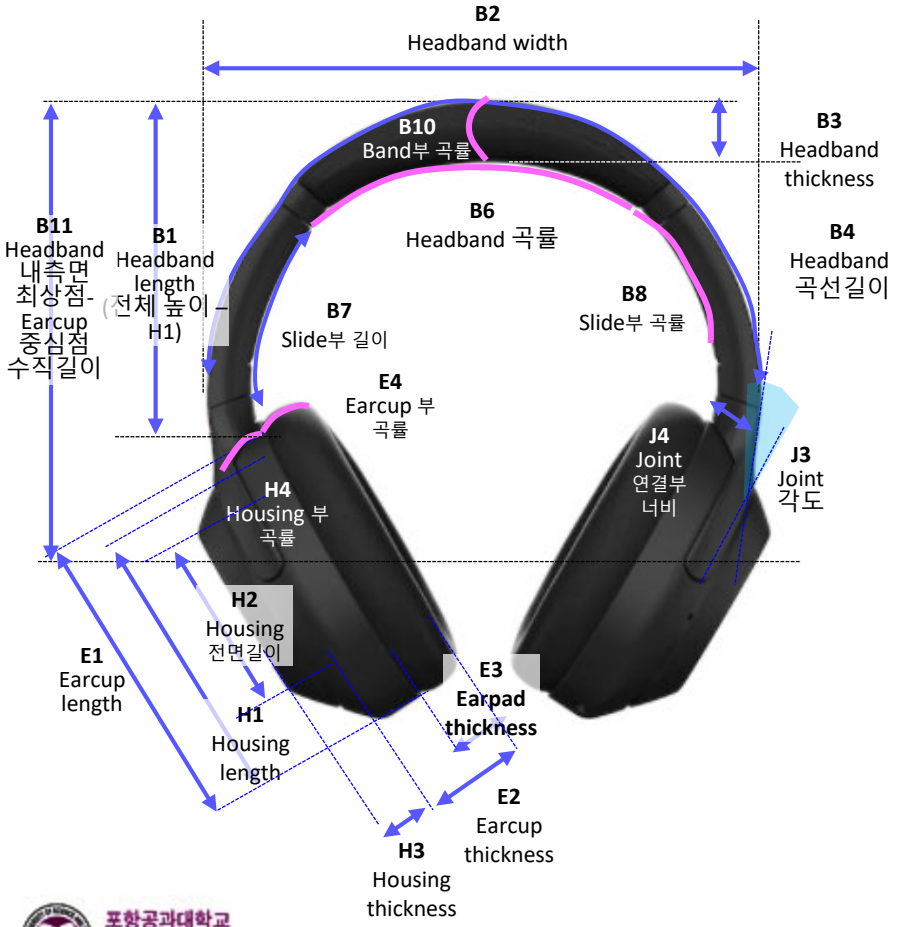
S1. 각종 헤드셋 설계인자 비교

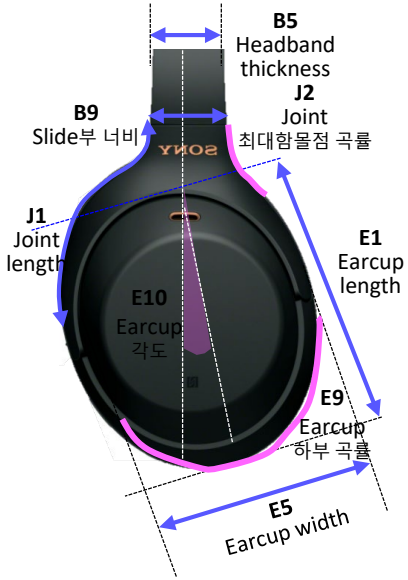
❑ 각종 헤드셋 설계인자 비교통해 **최종설계인자 도출**

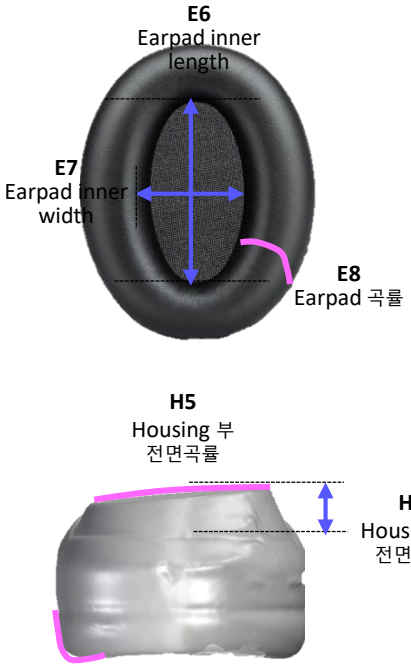
제품명	기존제품		
	AirPods Max-실버	소니 WH-1000XM4	BOSE 블루투스 헤드폰
이미지			
설계인자 특이점	- Earcup부+ Housing부 - (earpad, earcup, cover, speaker uint) - Headband부(headband, headcushion, slide) - Joint부(Jiont) I 형상 - Housing과 Earcup부 불필요 기준점 삭제	- Earcup부(earpad, earcup, cover, speaker uint) - Housing부 - Headband부(headband, headcushion, slide) - Joint부(Jiont, joint arm) Y자 형상	- Earcup부(earpad, earcup, cover, speaker uint) - Housing부 - Headband부(headband, headcushion, slide) 원형 형상 - Joint부(Jiont) I 형상으로 Earcup부 중앙 부위와 결합 - Housing과 Earcup부 불필요 기준점 삭제

S1. 무선 헤드셋 설계인자 도출

❑ 무선 헤드셋 **earcup부**, **housing부**, **headband부**, **joint부**의 설계 인자 분석 결과 총 **30개 설계인자**를 확인하고 부위별 위치 및 명칭 표기



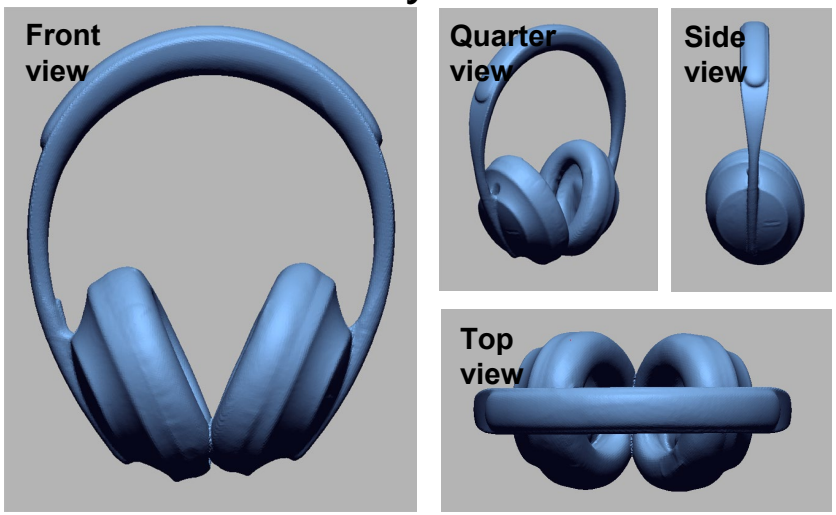




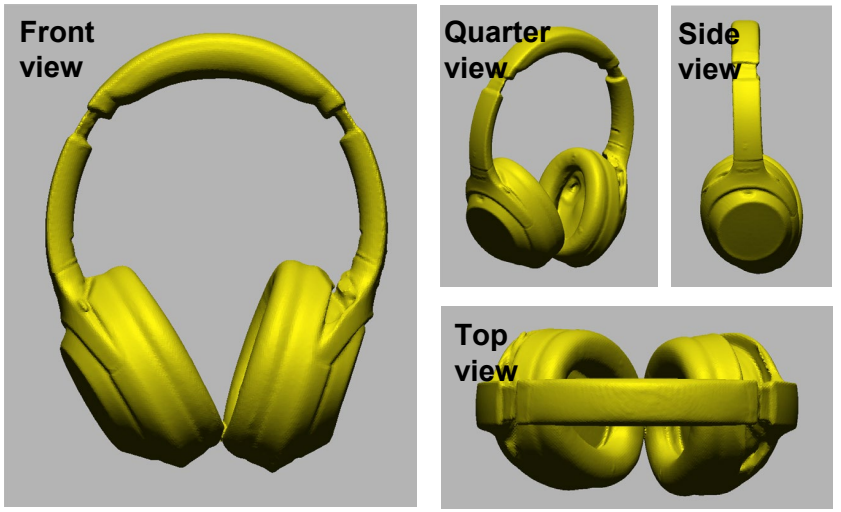
S1. 설계 제원별 치수측정

❑ 제품 3자지 스캔해서 CAD software를 이용하여 **설계 제원별 치수 측정**

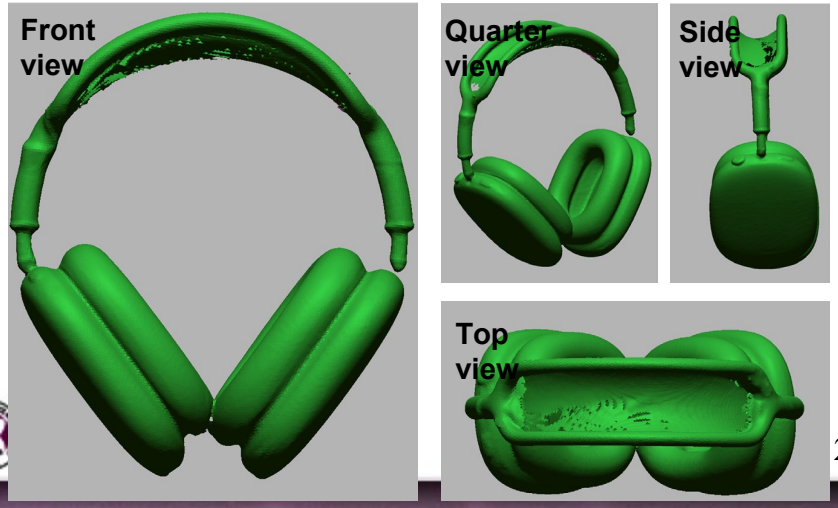
3D scan: Sony WH-1000XM4



3D scan: BOSE 700 UC



3D scan: Apple AirPods Max



Surface data

S1. 설계 제원 치수측정: Earcup 및 pad (예시)

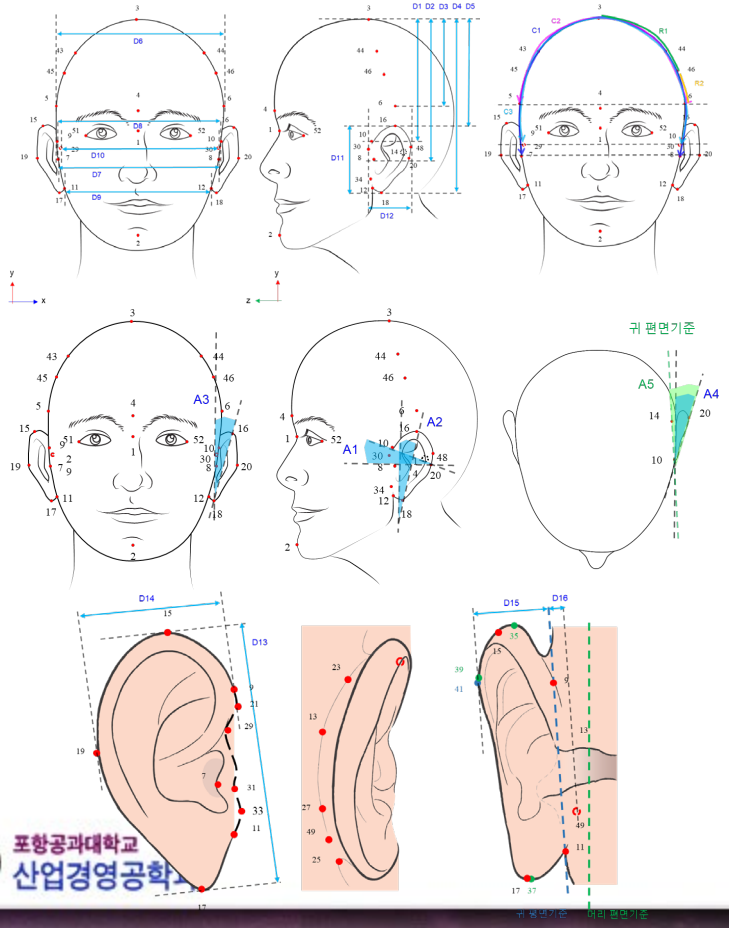
❑ 무선 헤드폰 부품별 주요 **설계 제원** ($n = 30$) **치수측정** 결과

설계 변수	단위	Image	Apple	Bose	Sony
Earcup 높이	mm		98.3	98.0	100.0
Earcup 너비	mm		83.8	79.0	79.0
Earcup 두께 (내부 깊이)	mm		28.0	19.9	22.6
Pad 두께	mm		20.0	14.3	13.7
Earcup 외측면 모서리 곡률	mm		10.6	5.3	14.3
Pad 내부 공간 높이	mm		57.2	60.0	63.5
Pad 내부 공간 너비	mm		38.2	40.0	40.0

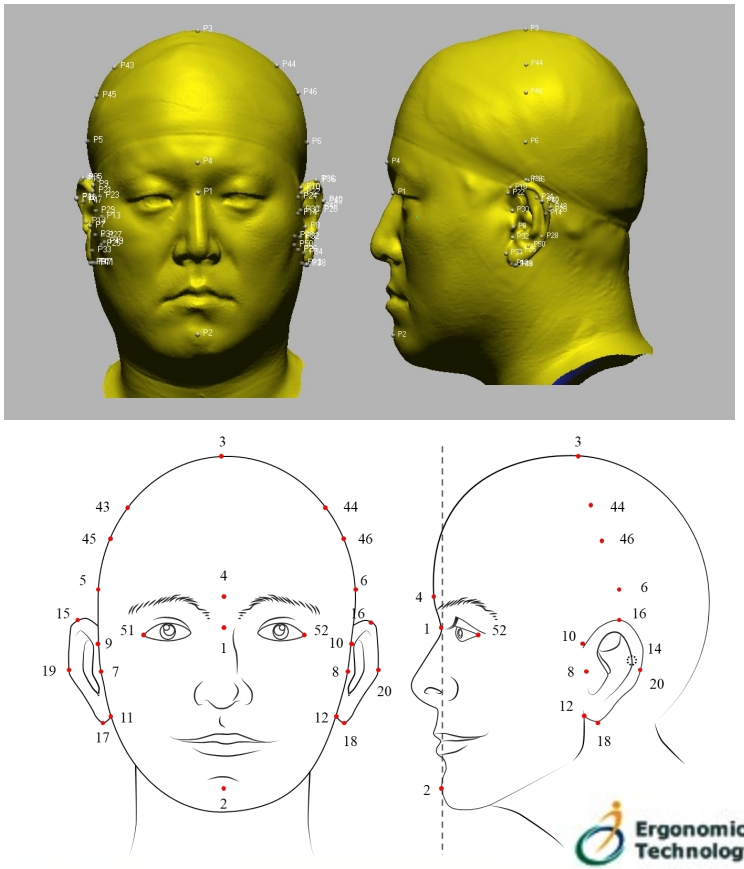
S2. 인체 측정 항목 및 관련 Landmark 선정 (Summary)

- 무선 헤드셋 **디자인 설계변수기반**으로 **인체변수**(길이, 너비, 둘레, 각도, 곡률) **26개**, **landmark 52개** (48개 측정점, 4개 참조점) 선정

인체변수

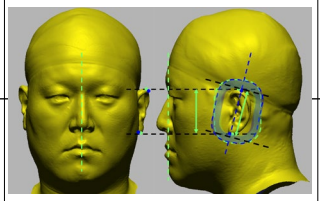
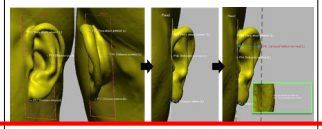
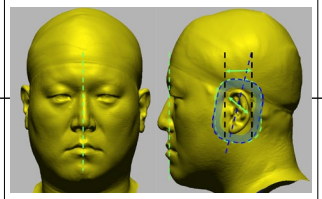
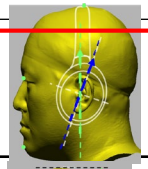


Landmark



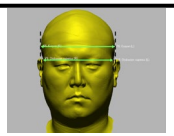
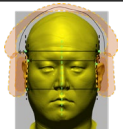
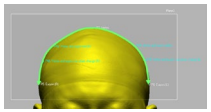
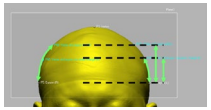
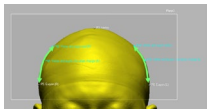
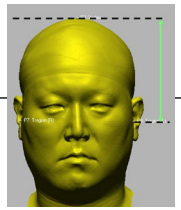
S2. 인체 변수 선별 (1/2)

❑ 무선 헤드셋 설계변수기반으로 해당 **인체변수&landmark** 선별 및 **설계식** 정의

부품	기호	설계 변수	Image	인체 변수	Landmark	Image	설계식
Earcup	E1	Earcup 높이		귀 수직길이 귀 길이	귀 제일 위점, 아래점 귓바퀴위점, 귀아래점		= E6 + E12 *2
	E2	Earcup 너비		귀 수평너비 귀 너비	귀 제일 앞점, 뒤점 귓바퀴위뿌리점, 귓바퀴 뒤점		= E7 + E12 *2
	E3	Earcup 두께 (내부 깊이)		귀 두께 (평면에서 수직 거리)	Pinna attach anterior, otobasion inferius, otobasion posterius		= 귀 두께 + 여유길이
	E6	Pad 내부 공간 높이		귀 길이	귓바퀴위점, 귀아래점		= 귀 수직길이/귀길이 + 2* 여유길이 (위/라래)
	E7	Pad 내부 공간 너비		귀 너비	귓바퀴위뿌리점, 귓바퀴 뒤점		= 귀 수직길이/귀너비 + 2* 여유길이 (좌/우)
	E10	Band 중심선 대비 earcup 측면 tilt 각도		머리 수직 방향과 귀 방향 각도 (A14)	코뿌리점, 앞턱끝점 귓바퀴위점, 귀아래점		= 머리 수직 방향과 귀 방향 각도
Head-band	HB1	Headband 수직 길이		머리마루점-귓바퀴위점 수직길이	머리마루점, 귓바퀴위점		=머리마루점-귓바퀴위점 수직길이 + 여유길이

S2. 인체 변수 선별 (2/2)

❑ 무선 헤드셋 설계변수기반으로 해당 **인체변수&landmark** 선별 및 **설계식** 정의

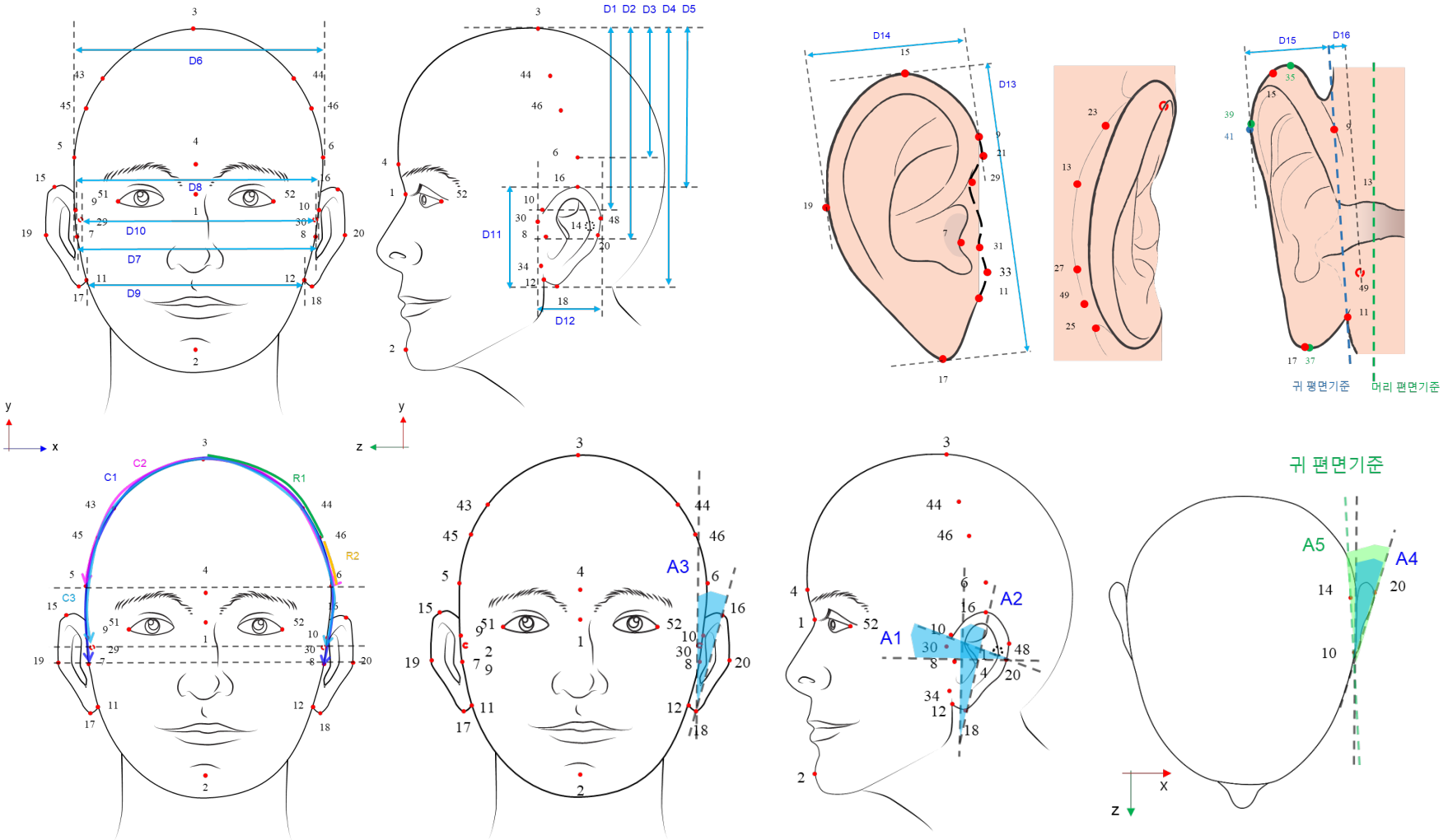
부품	기호	설계 변수	Image	인체 변수	Landmark	Image	설계식
Head-band	HB2	Headband 최대 너비		머리너비, 머리 수평길이	머리옆점, otobasion superious, otobasion inferius		머리너비, 머리 수평길이 참조
	HB4	Headband 둘레		귀구슬점(좌)-귀구슬점(우)호길이	귀구슬점, 머리마루점		귀구슬점(좌)-귀구슬점(우)호길이 참조
	HB6	Headband 내측면 곡률		머리옆-점 머리마루점 연결 선의 곡률(위단)	머리마루점, Vertex and euyon 중간점		≤ 머리옆점-머리마루점 연결 선의 곡률
	HB7	Headband slide 부 길이		머리 옆 하단 곡률, 머리마루점-귓바퀴위점 수직길이	머리마루점, 귓바퀴위점, Vertex and euyon 중간점, curvature change점, 머리 옆점		머리 옆 하단 곡률, 머리마루점-귓바퀴위점 수직길이 참조
	HB8	Headband slide부 곡률		머리 옆 하단 곡률	Vertex and euyon 중간점, curvature change점, 머리 옆점		≤ 머리 옆 하단 곡률
	HB11	Headband 내측면 최상점-Earcup 중심점 수직길이		머리마루점-귀구슬점 수직길이	머리마루점 정렬점 (귀구슬점 or 귀 길이 방향1/2 중점)		= 머리마루점-귀구슬점 수직길이 + 여유길이
	HB12	Headband 길이 조절범위		머리마루점-귀구슬점 수직길이	머리마루점 정렬점 (귀구슬점 or 귀 길이 방향1/2 중점)		= (머리마루점-귀구슬점 수직길이 -1/2* E1 –B3 + 여유길이)범위

S2. 인체 변수: Summary (1/2)

❑ 무선 헤드셋 설계변수 관련 **인체변수**(길이, 너비,둘레, 각도, 곡률) **26개** 선정

No.	Code	구분	인체 변수	측정/계산 방법
1	D1	머리 기준 수직 수평 길이	머리마루점 – 코뿌리점 수직길이	머리마루점(P3) – 코뿌리점(P1) 수직길이 (Y축방향)
2	D2		머리마루점 – 귀구슬점 수직길이	머리마루점(P3) – 귀구슬점(P7/P8) 수직길이 (Y축방향)
3	D3		머리마루점 – 머리기준 귀아래점 수직길이	머리마루점(P3) – 머리기준 귀아래점(P37/P38) 수직길이 (Y축방향)
4	D4		머리마루점 – 머리기준 귀위점 수직길이	머리마루점(P3) – 머리기준 귀위점 (P35/P36) 수직길이 (Y축방향)
5	D5		머리마루점 – 머리옆점 수직길이	머리마루점(P3) – 머리옆점(P5/P6) 수직길이 (Y축방향)
6	D6		머리 너비	양쪽 머리옆점(P5/P6) 사이의 수평거리(X축방향)
7	D7		귀구슬사이너비	양쪽 귀구슬점(P7/P8) 사이의 수평거리(X축방향)
8	D8		귓바퀴위뿌리점 사이너비	양쪽 귓바퀴위뿌리점 (P9/P10) 사이의 수평거리(X축방향)
9	D9		귓바퀴아래뿌리점 사이너비	양쪽 귓바퀴아래뿌리점 (P11/P12) 사이의 수평거리(X축방향)
10	D10		귓바퀴앞 함몰된 위점사이너비	양쪽 귓바퀴앞 함몰된 위점(P29/P30) 사이의 수평거리(X축방향)
11	D11		귀 수직길이(머리기준귀위점 – 머리기준귀아래점 수직길이)	머리기준귀위점 (P35/P36) – 머리기준귀아래점(P37/P38) 수직길이 (Y축방향)
12	D12		귀 수평너비	머리기준 귀 가장앞점 (ㅂ)이나 귀앞부착점아래(P33/P34) 비교) 머리기준귀뒤점(P47/P48) 수평거리(Z축방향)
13	D13	직선 거리	귀길이	귀위점(P15/P16)과 귀아래점(P17/P18) 직선거리
14	D14	방향 거리	귀너비	귓바퀴위뿌리점(P9/P10) – 귀뒤점 (P19/20)의귀길이 방향의 세로 방향 거리
15	D15	점과 평면 간 거리	귀 두께 (평면에서 수직 거리)	귀평면기준면점(P41/P42)과 귀기준평면 (귀앞부착점위 귀아래점 (P21/P22), 귓바퀴라래뿌리점(P11/P12), 귓바퀴뒤뿌리점(P13/P14)) 수직거리
16	D16		귀 뒤 누설 거리	P49/50
17	C1	둘레	귀구슬점(우)-귀구슬점(죄)호길이	귀구슬점(우)(P7) – 머리마루점(P3) – 귀구슬점 (좌)(P8)
18	C2	둘레	머리옆점 (우)- 머리옆점 (좌)호길이	머리옆점(P5) – 머리마루점(P3) – 머리옆점(P6)
19	C3	둘레	귓바퀴앞 함몰된 위점 (우/좌)호길이	귓바퀴앞 함몰된 위점(P29) – 머리마루점(P3) – 귓바퀴앞 함몰된 위점(P30)
20	A1	각도	귀 수평 회전 각도 (side view)	측면에서 귀 짧은 방향 (귀바퀴위뿌리점(P9/P10)-귀뒤점(P19/P20)) ~ 머리 수평방향 (Z축)간의 각도
21	A2	각도	귀 수직 회전 각도 (side view)	측면에서 귀 긴 방향(귀위점(P15/P16)-귀아래점(P17/P18)) ~ 머리수직방향 (Y축) 간의 각도
22	A3	각도	귀 회전 각도 (front view)	정면에서 귀 방향(귀위점(P15/P16)-귀아래점(P17/P18))) ~ 머리수직방향 (Y축) 간의 각도
23	A4	각도	귀 절대평면 대비 회전 각도 (top view)	위면에서 짧은 방향 (귀바퀴위뿌리점(P9/P10)-귀뒤점(P19/P20)) ~ 머리 수평방향 (Z축)간의 각도
24	A5	각도	귀 머리대비 회전 각도 (top view)	위면에서 머리평면(귀바퀴위뿌리점(P9/P10)-귀뒤점(P19/P20))~ 머리평면방향 (귀앞부착점 위 귀아래점 (P21/P22), 귓바퀴아래뿌리점(P11/P12), 귓바퀴뒤뿌리점(P13/P14))간의 각도
25	R1	곡률	머리 위단 곡률	머리마루점과 머리 옆점평면과 머리표면의 교체선의 곡률(위단) (머리마루점 ~ 머리마루점 – 머리옆점 중간점 (우/좌))
26	R2	곡률	머리 옆단 곡률	머리마루점과 머리 옆점평면과 머리표면의 교체선의 곡률(옆단) (머리마루점 – 머리옆점 중간점 (우/좌) ~ 머리옆점 (우/좌))

S2. 인체 변수: Summary (2/2)

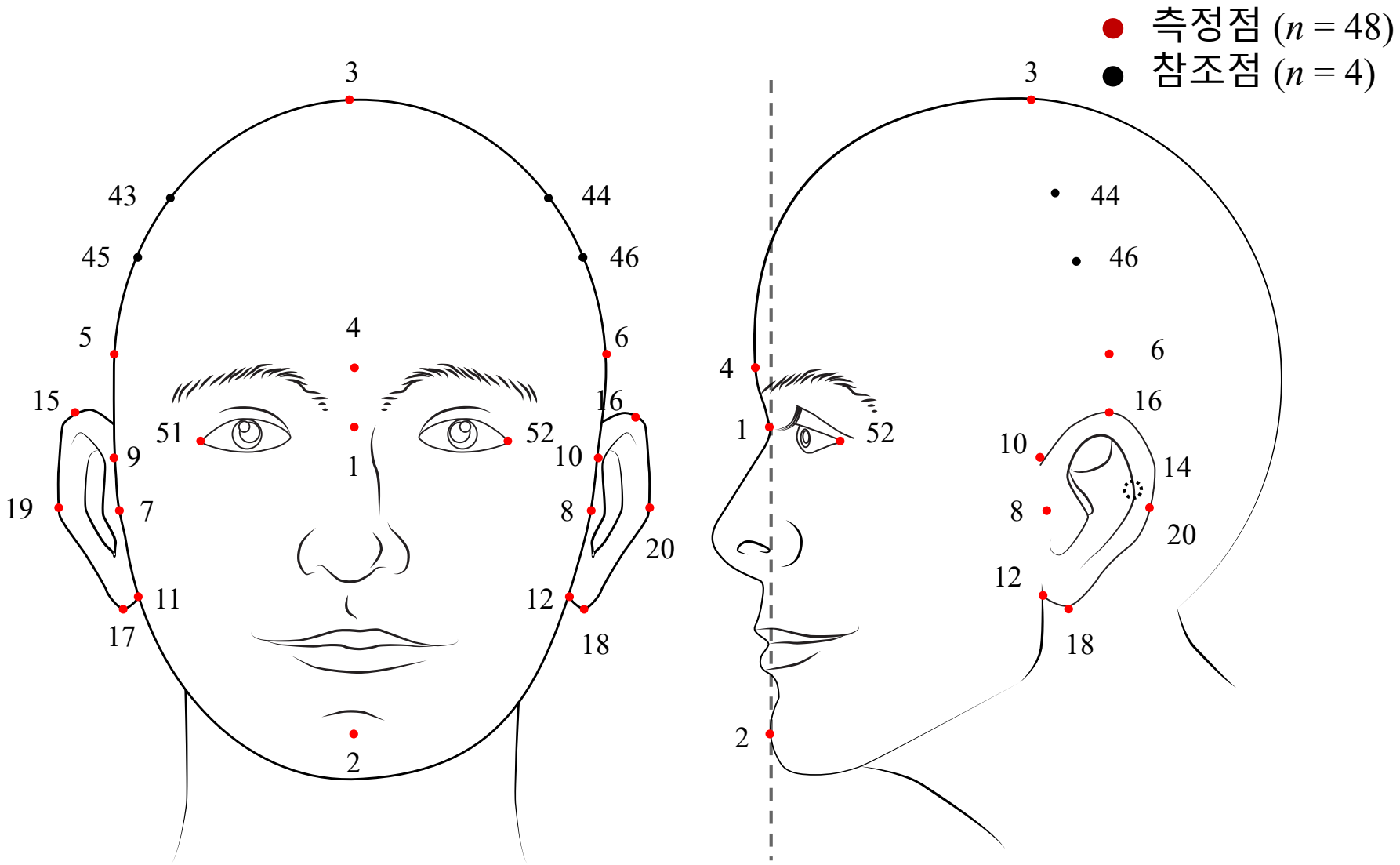


S2. Landmark: Summary (1/2)

❑ 인체변수 측정을 위한 **52개 landmark** (측정점: 48, 참조점: 4) 선정

No.	구분	기준점		정의
1	머리	코뿌리점	Sellion	코의 위 부분에서 코뼈의 가장 깊게 들어간 곳.
2		앞턱끝점	Promentale	아래턱뼈 부위 정중선 상에서 가장 앞쪽
3		머리마루점	Vertex	머리수평면을 유지할 때 머리 부위 정중선 상에서 가장 위쪽
4		눈살점	Glabella	눈 위 두드러진 뼈 사이의 이마뼈 중간에서 가장 앞쪽으로 돌출한 곳
5/6		머리옆점 (우/좌)	Euryon (R/L)	귀 위 부위(관자뼈 부위)에서 가장 가쪽으로 돌출된 곳
7/8	귀	귀구슬점 (우/좌)	Tragion/Bitragion (R/L)	귀의 귀구슬과 머리의 연결부분에서 가장 위쪽
9/10		귓바퀴위뿌리점 (우/좌)	Otobasion superius (R/L)	위쪽 귀바퀴가 끝나 머리피부와 만나는 점
11/12		귓바퀴아래뿌리점 (우/좌)	Otobasion inferius	아래쪽 귀바퀴가 끝나 머리피부와 만나는 점
13/14		귓바퀴뒤뿌리점 (우/좌)	Otobasion posterius	귀바퀴뿌리의 뒤쪽 가장 뒷면점
15/16		귀위점 (우/좌)	Superior auricle (R/L)	귓바퀴 가장 긴 축에서 가장 높은점 (The highest point of the ear pinna on its long axis)
17/18		귀아래점 (우/좌)	Inferior auricle (R/L)	The lowest point of the ear pinna on its long axis.
19/20		귀뒤점 (우/좌)	Posterior auricle (R/L)	The farthest point from the head on the lateral location of the ear pinna.
21/22		귀앞부착점위 귀아래점 (우/좌)	Pinna attach anterior upper (R/L)	귀 위부분 앞쪽 귀바퀴가 끝부위에 머리피부와 만나는 가장 앞점
23/24		귓바퀴위뿌리점- 귓바퀴뒤점 중간점 (우/좌)	Pinna attach mid1(otobasion superious and posterius) (R/L)	귀바퀴와 머리피부의 연결지정에서 귓바퀴위뿌리점과 귓바퀴뒤점의 중간점
25/26		귓바퀴뒤 함몰된점 (우/좌)	Pinna attach posterior valley (R/L)	뒤쪽 귀바퀴가 끝 부위에 머리피부와 만나는 깊게 들어간 곳
27/28		귓바퀴뒤점 – 귓바퀴뒤 함몰된점 중간점 (우/좌)	Pinna attach mid2(otobasion posterius, Pinna attach posterior valley) (R/L)	귀바퀴와 머리피부의 연결지정에서 귓바퀴뒤점 - 귓바퀴뒤 함몰된점 중간점의 중간점
29/30		귓바퀴앞 함몰된 위점 (우/좌)	Pinna attach superior valley (R/L)	앞쪽 위부분 귀바퀴가 끝부위에 머리피부와 만나는 깊게 들어간 곳
31/32		귓바퀴앞 함몰된 아래점 (우/좌)	Pinna attach inferior valley (R/L)	앞쪽 아래부분 귀바퀴가 끝부위에 머리피부와 만나는 깊게 들어간 곳
33/34		귀앞부착점아래 (우/좌)	Pinna attach anterior lower (R/L)	귀 아래부분 앞쪽 귀바퀴가 끝나 머리피부와 만나는 가장 앞점
35/36		머리기준귀위점 (우/좌)	Head based ear superius	머리기준으로 (코뿌리점과 앞턱끝점 수직방향 정렬) 귀부위에서 가장 위점
37/38		머리기준귀아래점 (우/좌)	Head based ear inferius	머리기준으로 (코뿌리점과 앞턱끝점 수직방향 정렬) 귀부위에서 가장 아래점
39/40		머리기준먼점 (우/좌)	Head based ear farthest	머리기준으로 (코뿌리점과 앞턱끝점 수직방향 정렬) 귀부위에서 머리과 가장 먼점
41/42		귀평면기준먼점 (우/좌)	Ear based farthest from head	귀기준으로 (귓바퀴아래뿌리점, 귓바퀴뒤뿌리점, 귀앞부착점위 귀아래점) 귀에서 머리와 가장 먼점
43/44	머리	머리마루점 – 머리옆점 중간점 (우/좌)	Vertex and euyon mid	머리마루점 – 머리옆점 (좌/우) 평면과 머리표면 교차선의 중간점
45/46		머리옆 곡률 변화점 (우/좌)	Vertex and euyon curvature change	정면머리기준 머리마루점 – 머리옆점 (좌/우) 평면과 머리표면 교차선에서 정면기준 곡률 바뀐 점
47/48	귀	머리기준귀뒤점 (우/좌)	Head based ear posterius	머리기준으로 (코뿌리점과 앞턱끝점 수직방향 정렬) 귀에서 측면 가장 뒤점
49/50	귀	귓바퀴뒤 함몰점 2	Pinna attach posterior valley 2 (R/L)	귓바퀴뒤 함몰점과 귓바퀴뒤점 – 귓바퀴뒤 함몰점 중간점 사이의 가장 깊게 들어가는 점
51/52	눈	눈초리점 (우/좌)	Outer canthus (R/L)	눈의 위쪽과 아래쪽 눈꺼풀이 만나서 형성된 눈의 가쪽 구석점(오른/왼)

S2. Landmark: Summary (2/2)



S2.설계식 정의

❑ **설계 대상의 특성**을 고려하여 인간공학적 **설계원칙** 및 **유관 인체 측정 치수 적용**

Design Principles	설명
Design for Extreme Individual	인체 측정 변수의 **최소값(e.g., 5th%ile) 또는 최대값(e.g., 95th%ile)**을 설계 변수에 적용
Design for Adjustable Range	인체 측정 변수의 **범위(e.g., 5th%ile ~ 95th%ile)**를 설계 변수의 조절 범위에 적용
Design for the Average	인체 측정 변수의 **평균값(50th%ile)**을 설계 변수에 적용

인간공학적 설계원칙 적용 예: Pad 내부공간 설계

Pad 내부공간 너비

설계 원칙: Design for Extreme Individual

Pad 내부공간 너비> 귀너비**(95th %ile)** + **여유량**

(기준 인체 치수) **(사용 특성)**

S3. 3D 데이터 수집 및 처리: 실험 참여자

- **성별**, **연령**과 **인종**을 고려하여 실험 참여자 모집

  ($n = 200$, 여성:남성 = 1:1, 20 ~ 30대, $n_{\text{한국인}} = 160$, $n_{\text{서양인}} = 40$)

실험 참여자

인종	성별	통합		소계	합계
		20대	30대		
한국인	남자	40	40	80	160
	여자	40	40	80	
서양인	남자	10	10	20	40
	여자	10	10	20	
합계		100	100	200	**200**

S3. 3D 데이터 수집 및 처리

- 얼굴/귀 형상 측정 및 분석을 위해 **3D 스캔**, **3D스캔 후처리** 및 **랜드마크 입력** 수행
- 한 데이터 얻는데 **1h~1.5h 소요**

3D 데이터 스캔 및 처리 절차

(1h~1.5h)

S1. 3D 두상 및 귀 스캔 수행

(10~20 min)

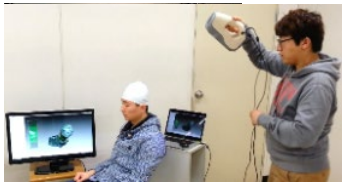
S2. 3D스캔 후처리

(30~40 min)

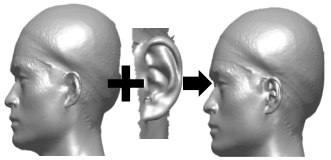
S3. Landmark 입력

(20~30 min)

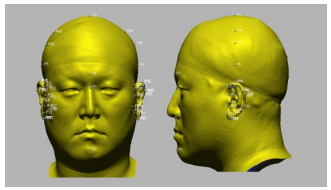
- 3dMD과 Artec Scanner 이용하여 3D스캔 수행



- Trimming, re-meshing, and smoothing
- 두상과 귀 형상 병합



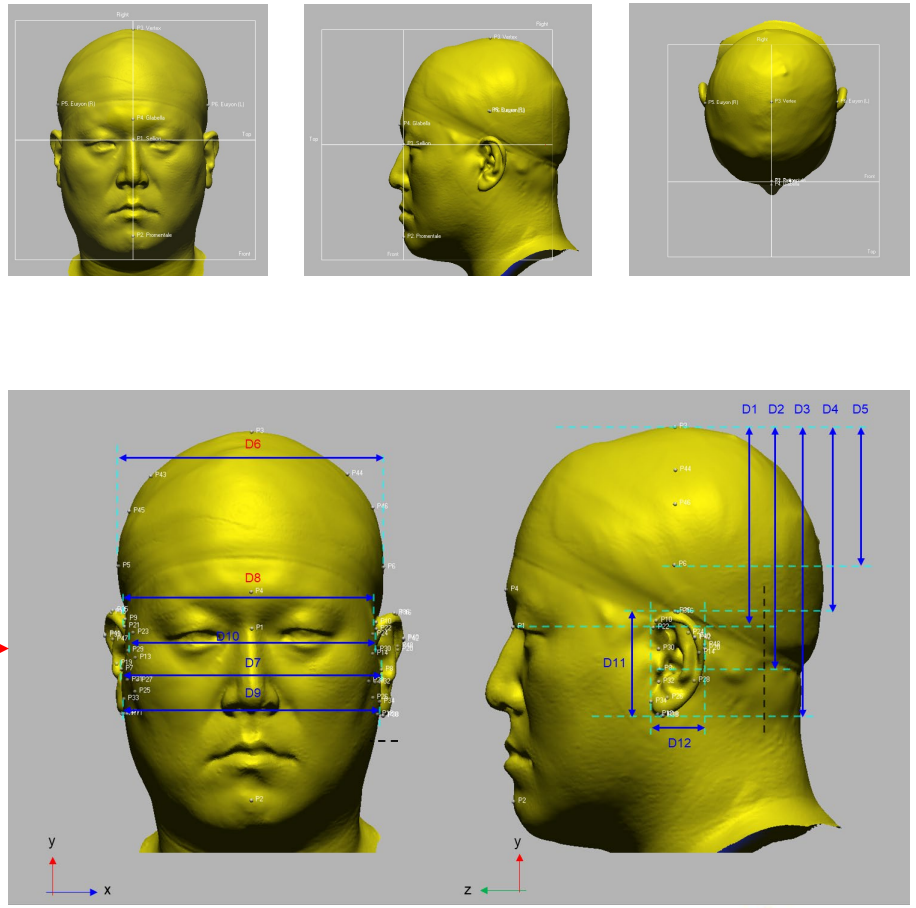
- Landmark (n = 52) Geomagic X S/W를 이용하여 입력



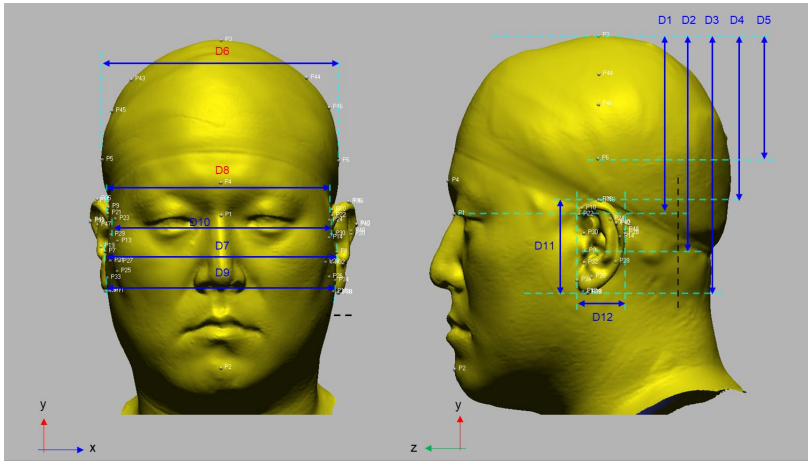
S4. 인체치수 측정 방법 구축 및 측정

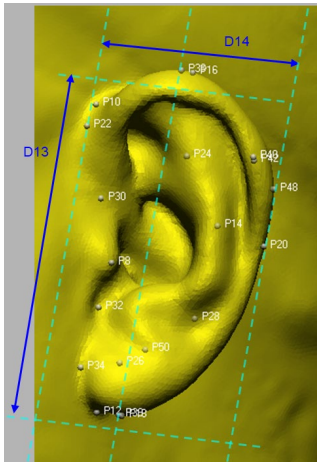
- **MATLAB**을 활용한 **인체치수 측정** (수직길이, 수평거리, 직선거리, 점과 평면 수직길이, 각도, 둘레, 곡률)

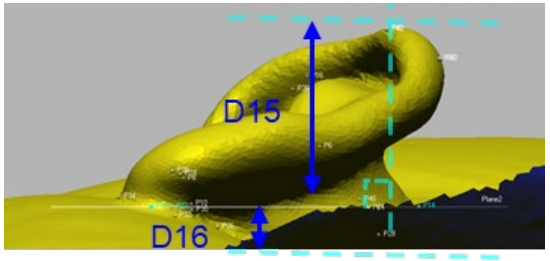
```
% D5 - 머리마루점-머리옆점 수직길이
L_temp1 = norm(LM(3,2) - LM(5,2));
L_temp2 = norm(LM(3,2) - LM(6,2));
Measurement(i,5) = (L_temp1 + L_temp2)/2;

% D6 - 머리 너비 (머리옆점 수평거리) = horizontal (
Measurement(i,6) = norm(LM(6,1) - LM(5,1));

% D7 - 귀구슬사이너비 (Bitragion breadth) = horizo
Measurement(i,7) = norm(LM(7,1) - LM(8,1));

% D8 - 귓바퀴위뿌리점 사이 너비
Measurement(i,8) = norm(LM(9,1) - LM(10,1));

% D9 - 귓바퀴아래뿌리점 사이 너비
Measurement(i,9) = norm(LM(11,1) - LM(12,1));

% D10 - 귓바퀴앞 함몰된 윗점사이너비
Measurement(i,10) = norm(LM(29,1) - LM(30,1));

% D11 - 귀 수직길이
L_temp1 = norm(LM(35,2) - LM(37,2));
L_temp2 = norm(LM(36,2) - LM(38,2));
Measurement(i,11) = (L_temp1 + L_temp2)/2;

% D12 - 귀 수평너비
L_temp1 = norm(LM(21,3) - LM(47,3));
L_temp2 = norm(LM(22,3) - LM(48,3));
A1 = (L_temp1 + L_temp2)/2;
L_temp3 = norm(LM(33,3) - LM(47,3));
L_temp4 = norm(LM(34,3) - LM(48,3));
B1 = (L_temp3 + L_temp4)/2;
AN = max([A1;B1]);
Measurement(i,12) = AN;
```



치수측정 결과: Summary (예시)







(단위: 길이 mm, 각도 deg.)

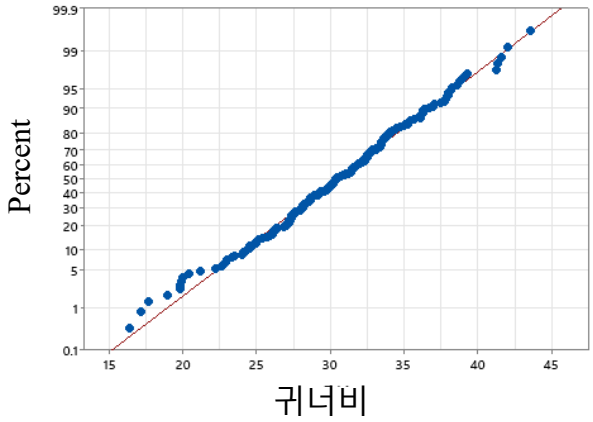
Code	Variable	Min	5th %ile	10th %ile	25th %ile	50th %ile	75th %ile	90th %ile	95th %ile	Max	Mean	SD	CV
D9	귓바퀴아래뿌리점 사이너비	203.2	389.4	395.2	409.4	424.1	439.6	453	458.9	479.3	420.8	39.1	0.1
D10	귓바퀴앞 함몰된 위점사이너비	126.3	249.9	258.9	271.1	289.2	303.5	316.2	321.9	345.4	285.3	30.7	0.1
D11	귀 수직길이 (머리기준귀위점 – 머리기준귀아래점 수직길이)	194.3	373.8	380.2	394	408.4	424.1	436.9	445.1	460.1	404.7	37.9	0.1
D12	귀 수평너비	16.4	23	27.4	35.7	44.1	53.2	57.6	59.6	74.8	43.6	11.4	0.3
D13	귀길이	0.3	6.2	7.9	10.7	14.6	18.4	23.3	25.5	30.3	15	6	0.4
D14	귀너비	2.1	8.5	10.2	13	16.1	20	22.6	24.2	29.8	16.4	4.9	0.3
D15	귀 두께 (평면에서 수직 거리)	1.3	4.3	6.2	10.3	17	25.4	31.8	34.2	40.1	18	9.5	0.5
D16	귀 되 누설 거리	2	9.6	11.5	15.6	21.2	27.3	33.8	37.7	44.5	22	8.6	0.4

착용 수용률: Pad 내부공간 너비 vs. 귀너비

- (설계식) Pad 내부공간 너비 = **95th %ile 귀 너비(38.4 mm)** + **여유공간**
- **Sony (58 mm)** > **Bose (47 mm)** > **Apple (45 mm)** >> **95th %ile 귀너비**

⇒ **적정 여유공간 분석** 후 pad 내부공간 너비 **↓조절 필요 예상**

Probability plot of 귀너비 (normal)

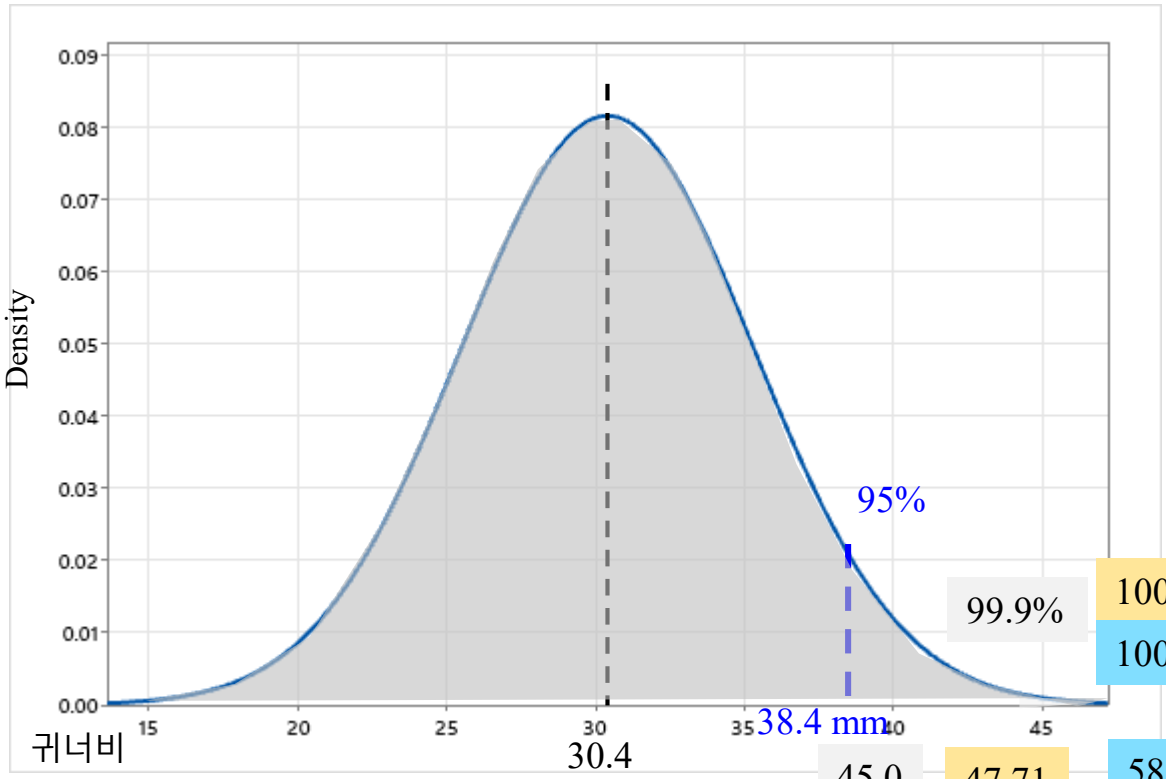


귀너비 (n = 200)

Mean ± SD: 30.4 ± 4.9

Normality test: p = 0.420

Distribution plot of 귀너비

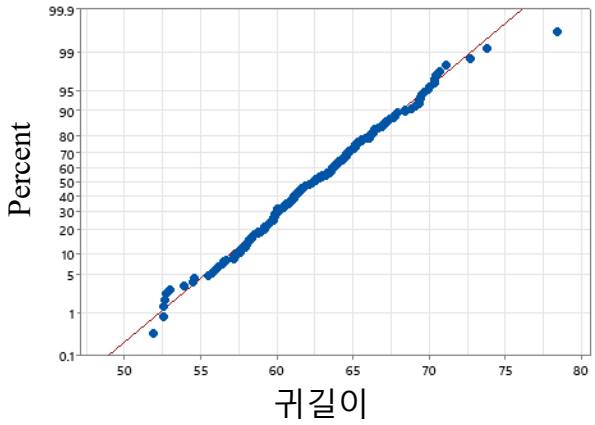


착용 수용률: Pad 내부공간 높이 vs. 귀길이

- (설계식) Pad 내부공간 높이 = 95th %ile 귀 길이(69.7 mm) + 여유공간
- **Sony (81.5 mm) > 95th %ile 귀길이 > Bose (67.4 mm) > Apple (64 mm)**

⇒ **적정 여유공간 분석** 후 pad 내부공간 높이 **↑조절 필요 예상**

Probability plot of 귀길이 (normal)

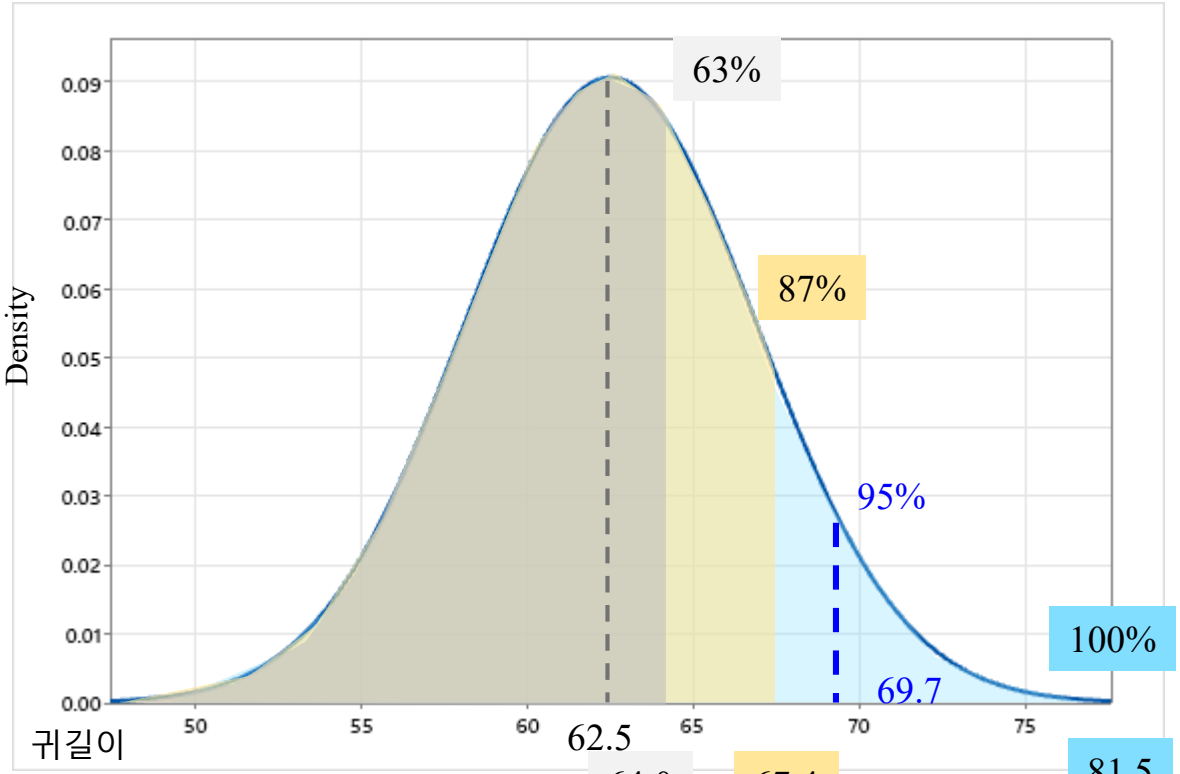


귀길이 (n = 200)

Mean ± SD: 62.5 ± 4.4

Normality test: p = 0.543

Distribution plot of 귀길이

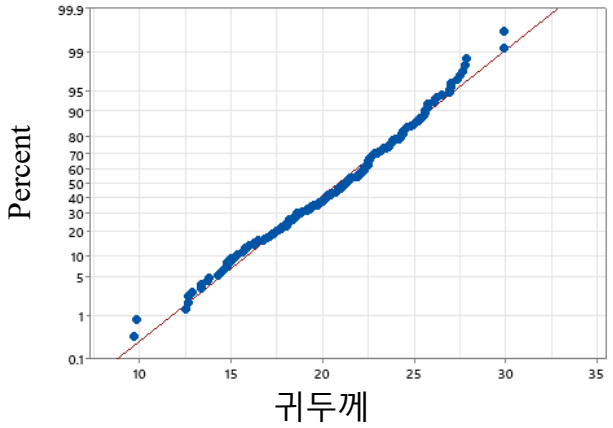


착용 수용률: Pad 내부공간 두께 vs. 귀두께

- (설계식) Pad 내부공간 두께 = 95th %ile 귀 두께(27.2 mm) + 여유공간
- Apple (28.0 mm) > **95th %ile 귀두께** > Sony (22.6 mm) > Bose (19.9mm)

⇒ **적정 여유공간 분석** 후 pad 내부공간 두께 **↑조절 필요 예상**

Probability plot of 귀두께 (normal)

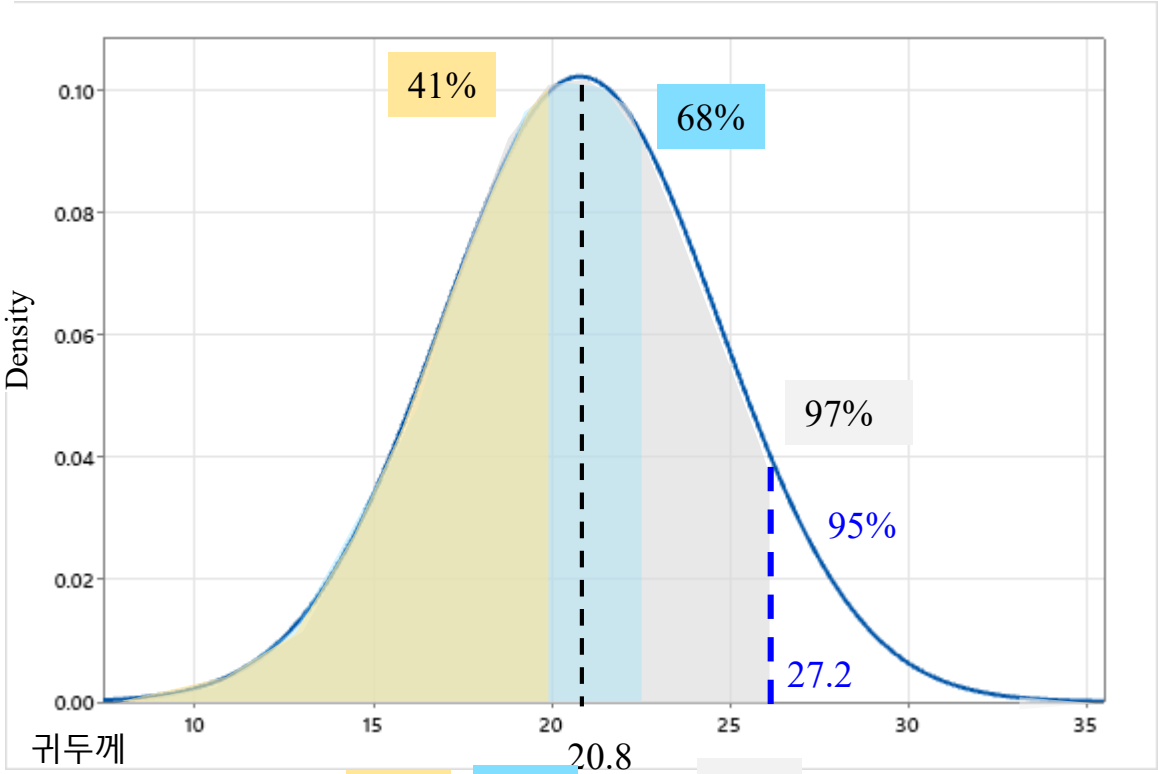


귀두께 (n = 200)

Mean ± SD: 20.8 ± 3.9

Normality test: p = 0.06

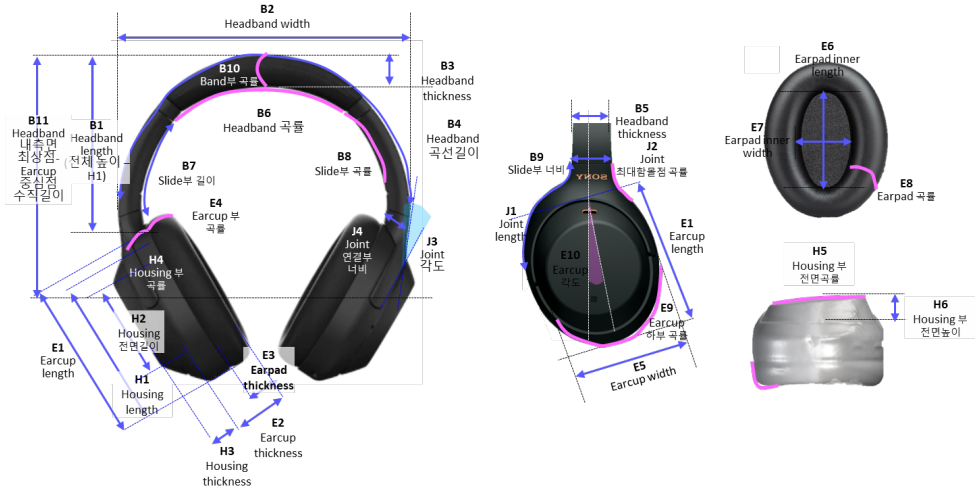
Distribution plot of 귀 두께



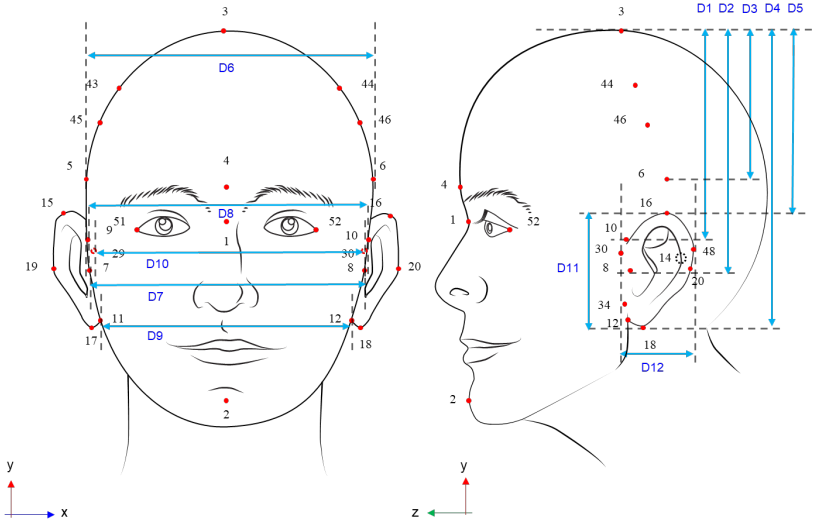
Discussion (1/2)

- 무선 헤드셋 제품의 주요 **설계인자**와 **유관 인체 변수**를 mapping하며 정립됨
- **200명 얼굴과 귀 통합** 3차원 **형상** 및 **landmark** ($n = 52$) 데이터 ($n = 200$) 구축하며 무선 헤드셋관련 **설계 치수측정** 됨

설계인자



인체변수

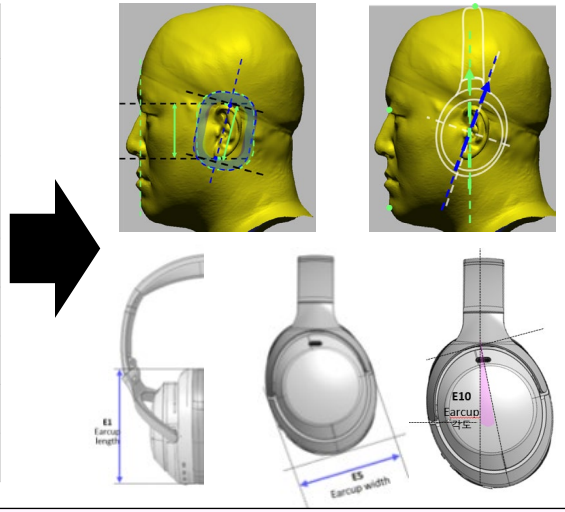


Discussion (2/2)

- 3차원 치수측정 결과는 인간공학적 **무선 헤드셋 설계**에 유용하게 활용가능
- 설계 대상의 특성을 고려하여 인간공학적 **설계원칙** 및 **유관 인체 측정 치수** 적용 가능

인체변수 적용

Code	Variable	Min	5th %ile	10th %ile	25th %ile	50th %ile	75th %ile	90th %ile	95th %ile	Max	Mean	SD	CV
D9	귓바퀴아래뿌리점 사이너비	203.2	389.4	395.2	409.4	424.1	439.6	453	458.9	479.3	420.8	39.1	0.1
D10	귓바퀴앞 함몰된 위점사이너비	126.3	249.9	258.9	271.1	289.2	303.5	316.2	321.9	345.4	285.3	30.7	0.1
D11	귀 수직길이(머리기준귀위점–머리기준귀아래점 수직길이)	194.3	373.8	380.2	394	408.4	424.1	436.9	445.1	460.1	404.7	37.9	0.1
D12	귀 수평너비	16.4	23	27.4	35.7	44.1	53.2	57.6	59.6	74.8	43.6	11.4	0.3
D13	귀길이	0.3	6.2	7.9	10.7	14.6	18.4	23.3	25.5	30.3	15	6	0.4
D14	귀너비	2.1	8.5	10.2	13	16.1	20	22.6	24.2	29.8	16.4	4.9	0.3
D15	귀 두께 (평면에서 수직거리)	1.3	4.3	6.2	10.3	17	25.4	31.8	34.2	40.1	18	9.5	0.5
D16	귀 뒤 누설 거리	2	9.6	11.5	15.6	21.2	27.3	33.8	37.7	44.5	22	8.6	0.4

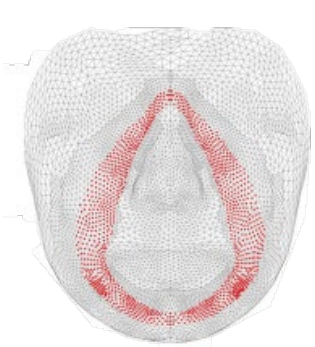


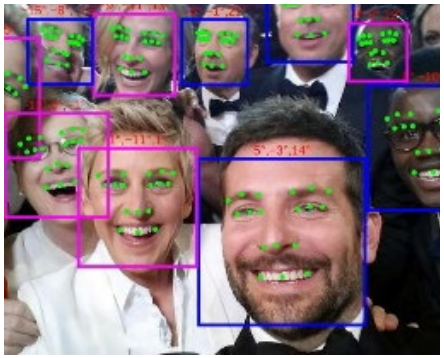
Design Principles	설명
Design for Extreme Individual	인체 측정 변수의 **최소값(e.g., 5th%ile) 또는 최대값(e.g., 95th%ile)**을 설계 변수에 적용
Design for Adjustable Range	인체 측정 변수의 **범위(e.g., 5th%ile ~ 95th%ile)**를 설계 변수의 조절 범위에 적용
Design for the Average	인체 측정 변수의 **평균값(50th%ile)**을 설계 변수에 적용

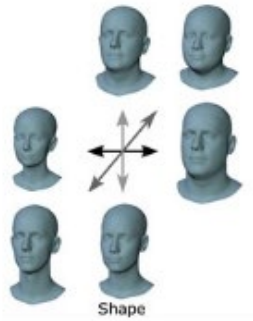
Application

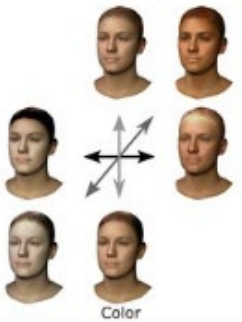
- 수집된 **3D 형상** 및 **landmark** 데이터 세트 **제품 설계평가**, **인간공학 제품 설계**, **안면 인식**, **변형** 및 **reconstruction** 등에 **활용 가능**

데이터 활용 예시









Limitation & Future Work

- Limitation
  - ✓ 치수 대표성 증가시키기 위해 한국인/외국인 **데이터 더 수집** 필요
  - ✓ 측정결과는 **기존 databas와** 비교를 통한 **검증** 필요
  - ✓ 치수측면에서만 설계방향 제시하는데 **실험을 통해** 설계치수 **최적화 필요**
- Future work
  - ✓ 무선 헤드셋의 **디자인 가이드** 개발: 설계 대상의 특성을 고려하여 인간공학적 설계원칙 및 유관 인체 측정 치수 적용

Q&A

경청해 주셔서 감사합니다.