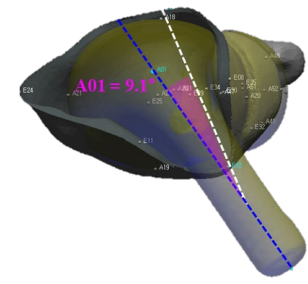
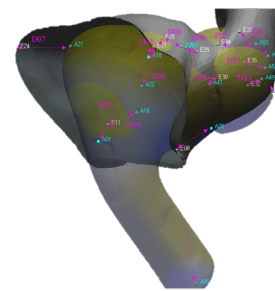
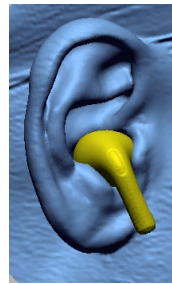
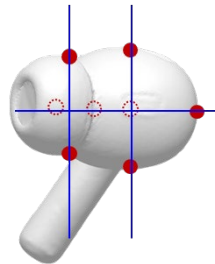
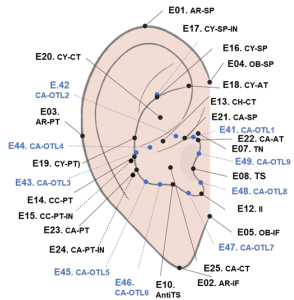


Analysis of Ear-Earbud Interface Features Using 3D Scan Data for the Development of a Wireless Earbud Virtual Try-On System

무선 이어버드 가상 착용 시스템 개발을 위한 3D 스캔 데이터 기반 귀-이어버드 인터페이스 특성 분석



최신아, 박종배, 이예진, 김민재, 유희천

포항공과대학교 산업경영공학과
인간공학설계기술 연구실

Contents

■ 서론

- 연구배경 및 필요성
- 연구 목적

■ 방법

- 3차원 ear-earbud 데이터 수집 및 처리
- Ear & earbud 측정 기준 및 항목 선정
- Ear-earbud 인터페이스의 거리 및 각도 측정
- 특징 착용 유형 예시

■ 토의

인간공학적 사용성 평가

- **사용성** (예: 착용감, 안정감, 압박감, 불편감)은 **사용자 경험의 중요한 요소**임
- **사용성 평가**는 인간공학적 착용형 제품의 **사용성**을 향상시키기 위해 다양한 분야에 유용하게 활용됨

제품 사용성



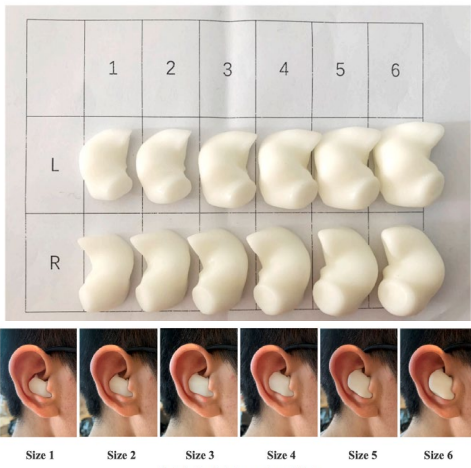
사용성 평가 실험



사용성 평가 방법

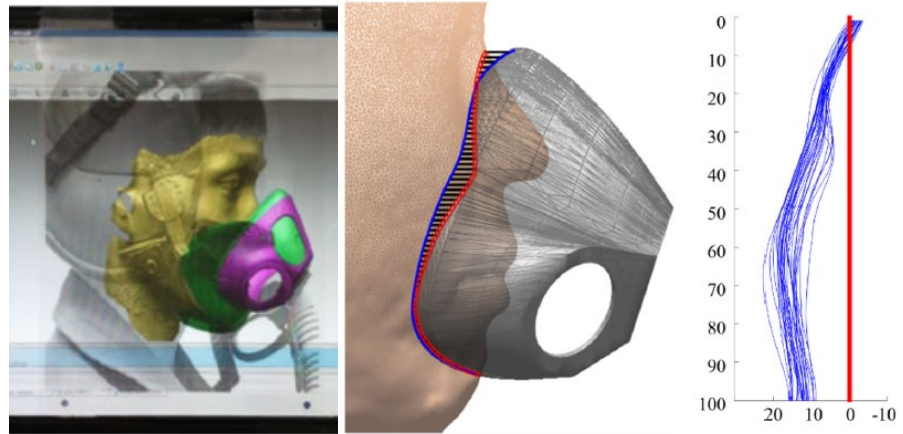
- ❑ **Prototype** 기반 사용성 평가는 **시간, 인력, 비용**이 많이 들고 조건에 맞는 실험 참여자 **모집**이 **어려움**
 - ❑ **가상 착용** 기반 사용성 평가는 **시간과 비용을 줄이고 대규모 데이터** 활용이 가능함
- ⇒ 가상 착용 기반 사용성 평가 시스템 개발 필요

Prototype 기반 사용성 평가



Fu & Luximon (2022)

가상 착용기반 사용성 평가

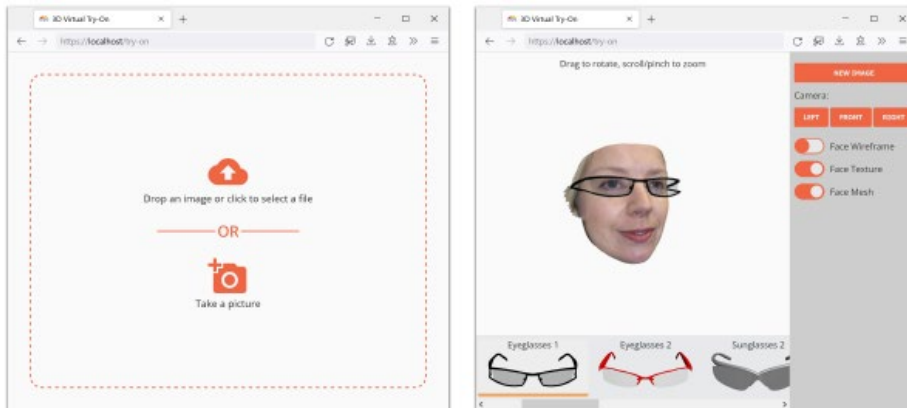


Lee et al. (2021)

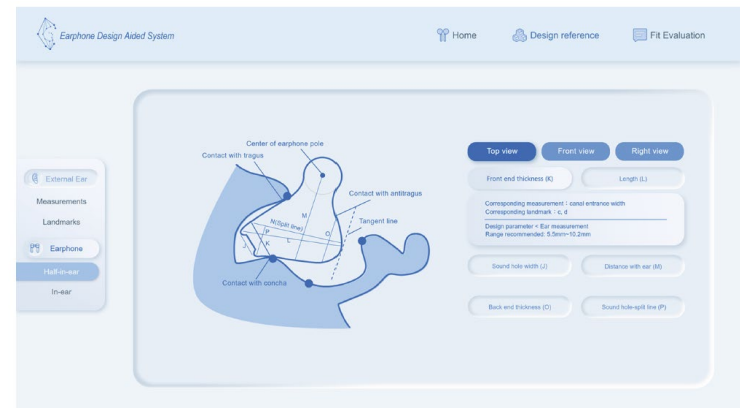
가상 착용 기반 사용성 평가 한계점

- 기존 가상 착용 기반 사용성 평가 방법은 **인간공학적 사용성 평가에 활용하기에** 여전히 **어려움이 존재함**
 - ✓ 자동화 수준 부족: 사진이나 3D 스캔 데이터 기반 수동 착용
 - ✓ 자동 착용 방법이 있으나 주로 **심미적 평가** 목적으로 사용되어 **가상 착의 정확도가 낮고** 다양한 인간공학적 사용성 평가를 수행하지 못함
- ⇒ 정확한 가상 사용성 분석을 이루기 위해서는 **실제 착용 3D 데이터**를 활용한 **착용 특성 분석**이 필요함

Eyeglasses virtual try-on application



Earphone design aided system



인간공학적 무선 이어버드 가상 착용 시스템 개발을 위해 귀-이어버드 인터페이스 특성 분석

1. Ear & earbud 측정 기준 및 항목 선정
2. 3차원 ear-earbud 데이터 수집 및 처리
3. Ear-earbud 인터페이스의 거리 및 각도 측정
4. 착용 특성 (거리 및 각도) 분석

연구 절차

S1. Ear-earbud 인터페이스 형상 측정 기준 정의

- ✓ Earbud 설계부위, 기준점, 기준선 정의
- ✓ Ear 세부부위, 기준점, 기준선 정의

S2. Ear-earbud 데이터 수집 및 처리

- ✓ 3D 스캔, 3D 데이터 전 처리 (정렬 및 병합)
- ✓ 기준점 입력

S3. Ear-earbud 인터페이스의 거리와 각도 측정

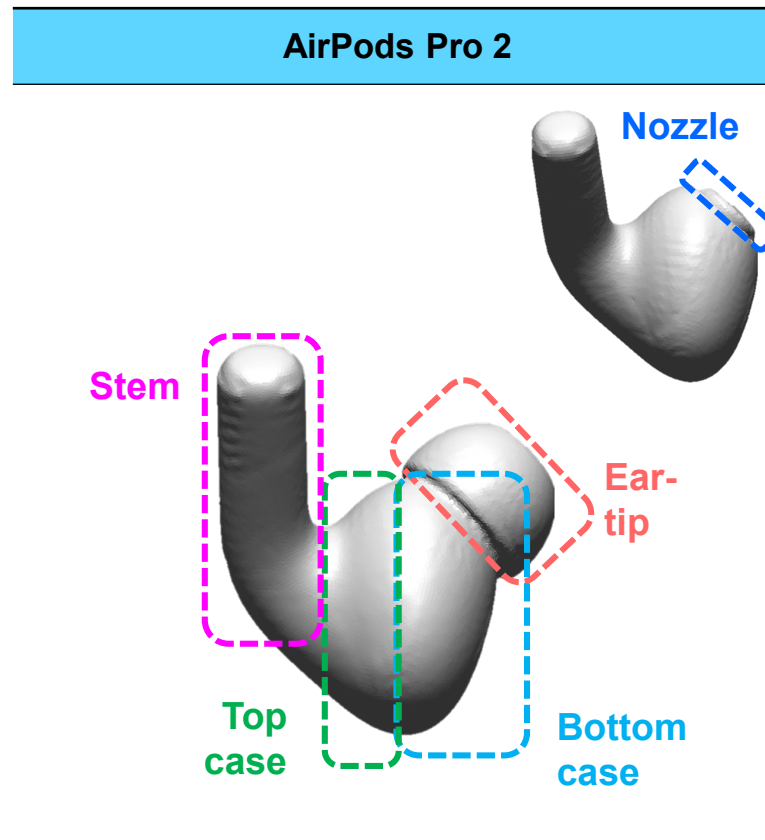
- ✓ Ear과 earbud 착용 관련된 기준점 및 기준선 선정
- ✓ 측정 거리와 각도 정의

S4. 착용 특성 (거리 및 각도) 분석

- ✓ 착용 거리와 각도 통계 분석
- ✓ 착용 유행 예시 파악

S1. Ear-earbud Interface 측정 기준 정의

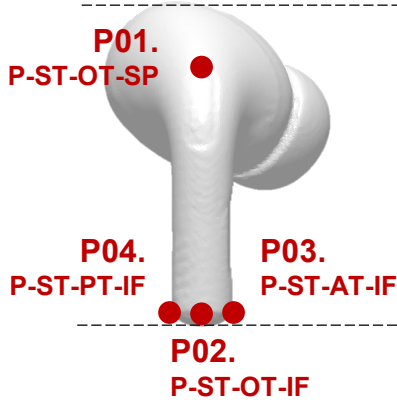
- Earbud의 설계 부위를 (1) ear-tip(ET), (2) nozzle(NZ), (3) bottom case(BC) -cavum concha 접촉부, (4) top case(TC), (5) stem(ST)으로 구분



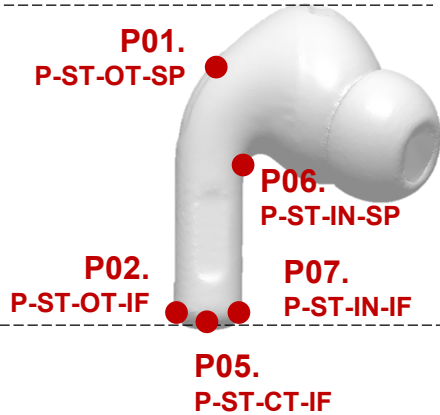
S1. Earbud 기준점 - AirPods Pro2 예시

□ Earbud 설계와 관련한 52개의 earbud 기준점 정의

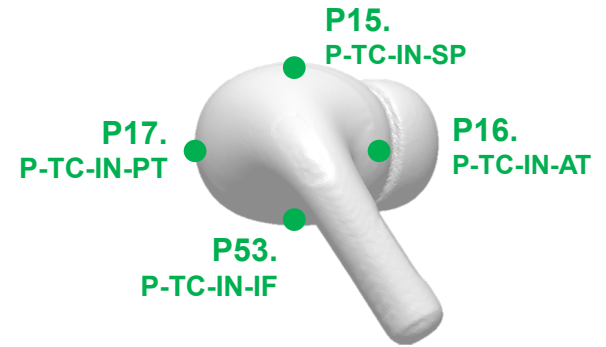
ST 정면



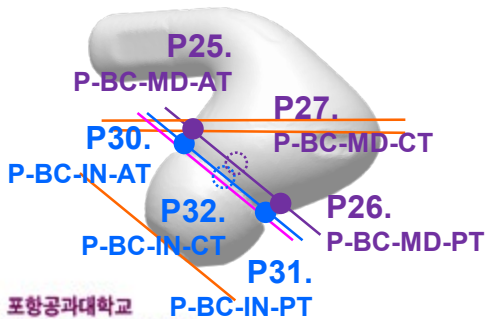
ST 측면



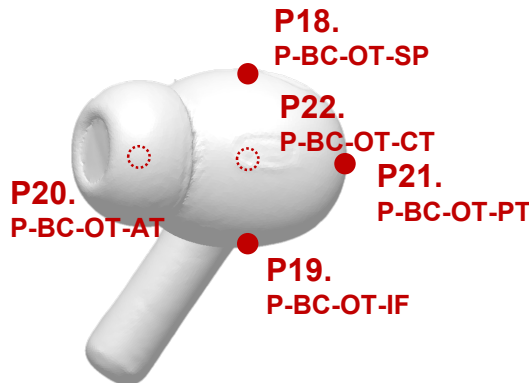
TC 정면



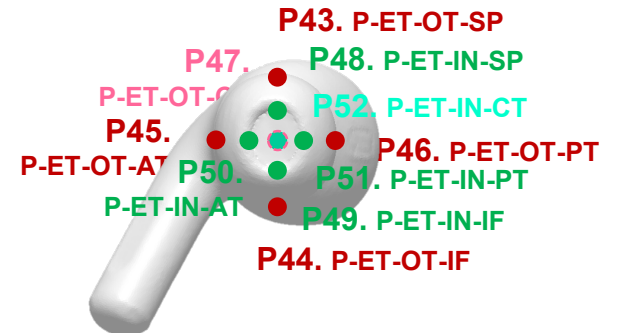
ET 평면



BC 정면

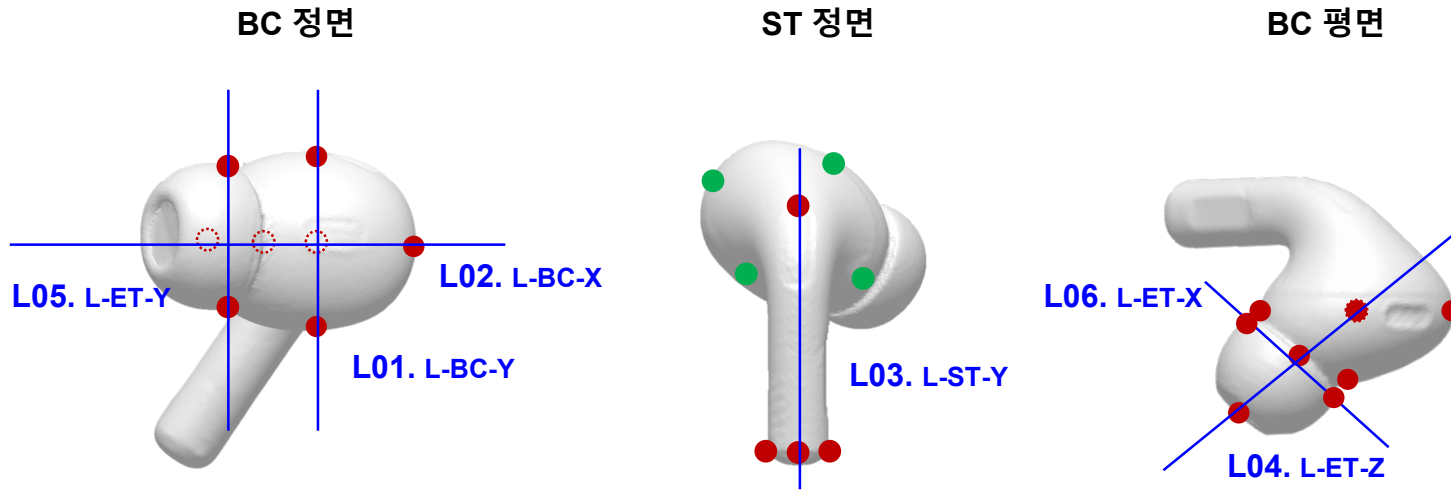


ET 정면



S1. Earbud 기준선 - AirPods Pro2 예시

□ Earbud 설계와 관련한 6개의 earbud 기준선 정의

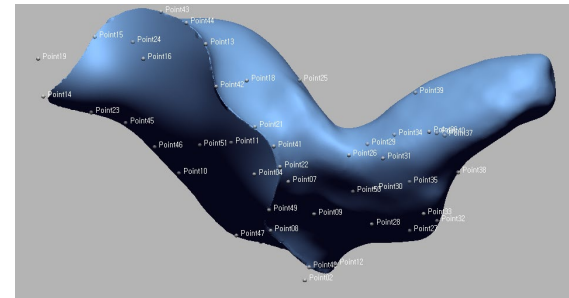
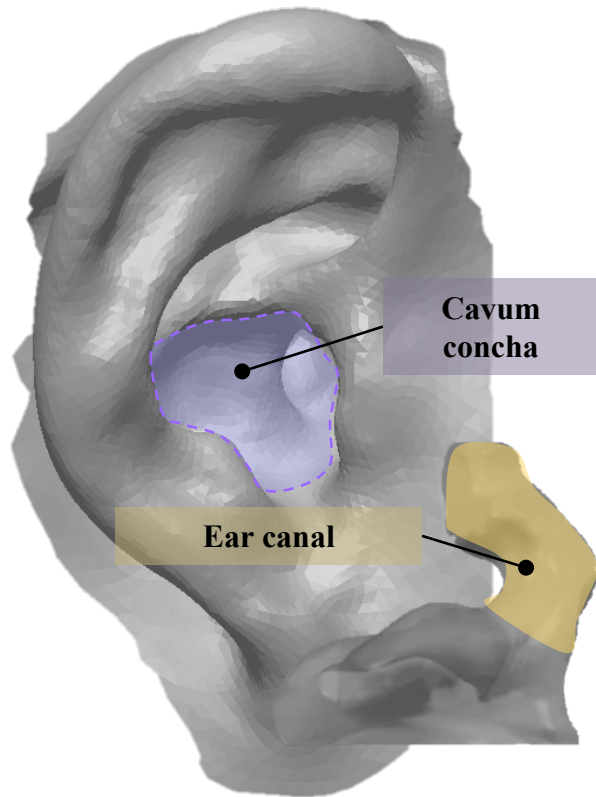


No	Code	기준선 명칭
L01	L-BC-Y	Bottom case 세로축
L02	L-BC-X	Bottom case 가로축
L03	L-ST-Y	Stem 세로축
L04	L-ET-Z	Ear-tip 깊이축 (P-ET-OT-CT와 P-ET-IN-CT연결선)
L05	L-ET-Y	Ear-tip 세로축
L06	L-ET-X	Ear-tip 가로축

S1. Ear-earbud Interface 측정 기준 정의

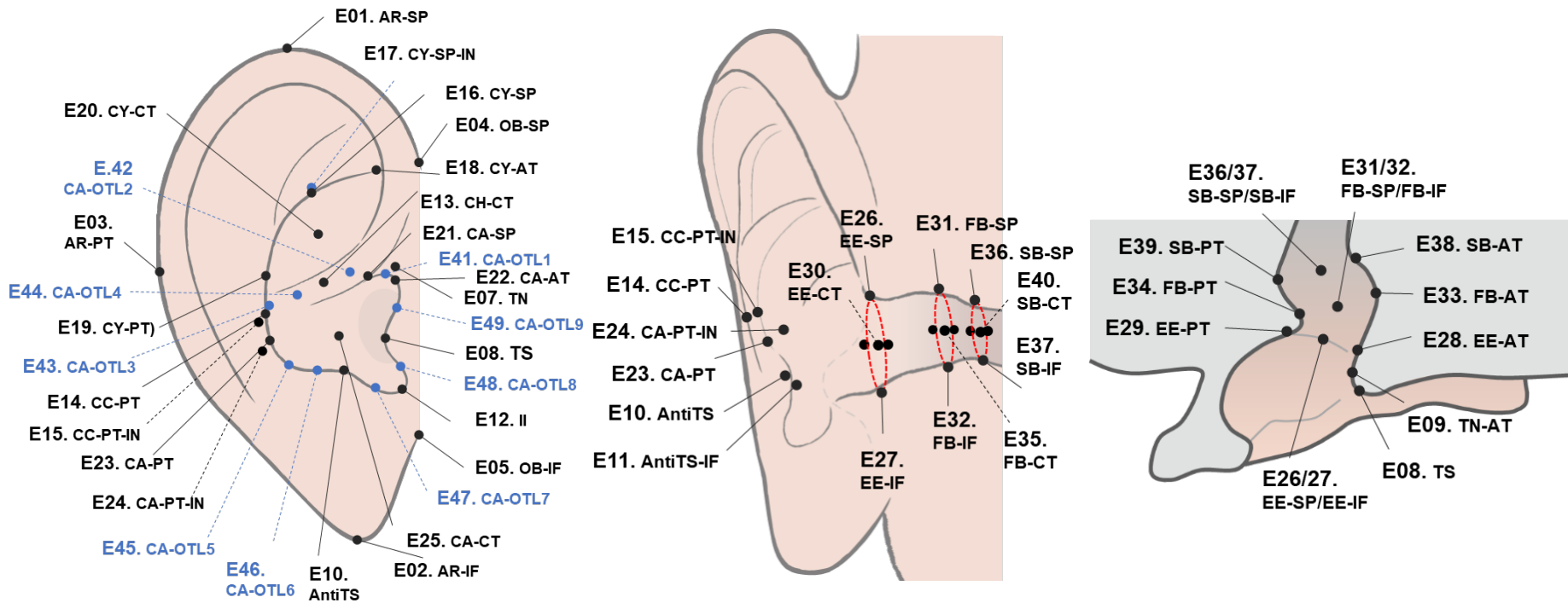
- Ear과 earbud 접촉이 발생하는 cavum concha(CA)와 ear canal(CN)에 대해 분석

측정 영역



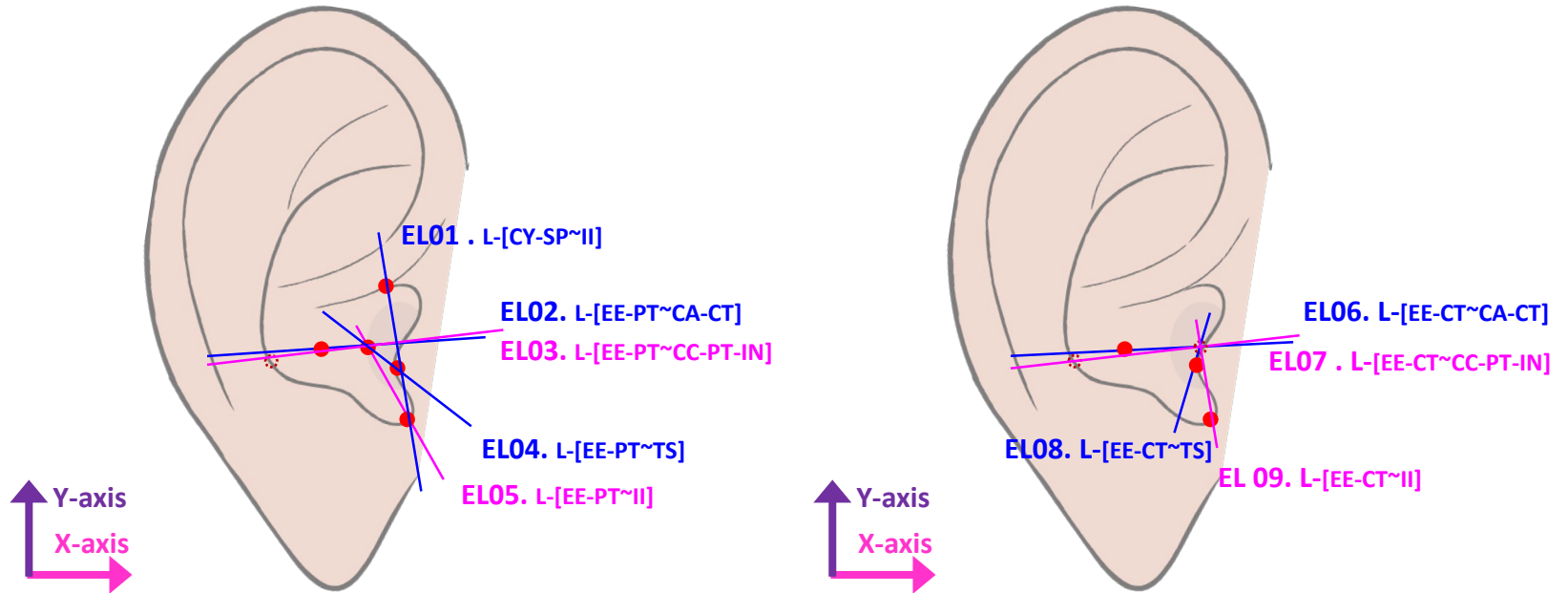
S1. Ear 기준점 - 예시

□ Earbud 착용 및 설계 관련한 50개의 ear 기준점 정의



S1. Ear 기준선 (1/2)

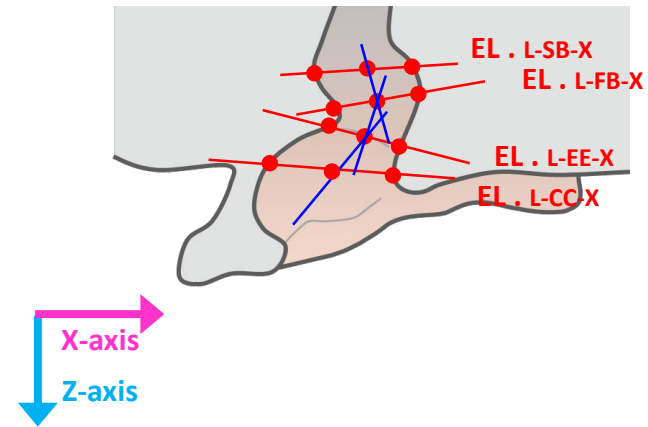
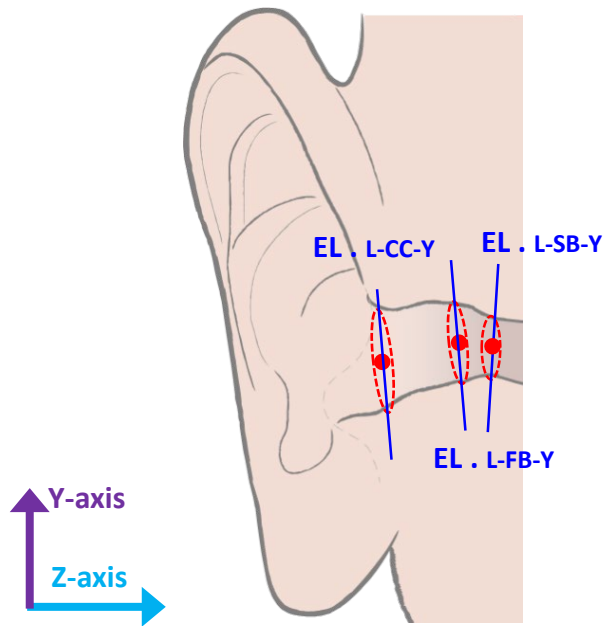
□ Earbud 착용 및 설계 관련한 19개의 ear 기준선 정의



No	Code	기준선 명칭
EL01	L-[CY-SP~II]	CY-SP와 II 연결선
EL02	L-[EE-PT~CA-CT]	EE-PT와 CA-CT 연결선
EL03	L-[EE-PT~CC-PT-IN]	EE-PT와 CC-PT-IN 연결선
EL04	L-[EE-PT~TS]	CY-SP와 TS 연결선
EL05	L-[EE-PT~II]	EE-PT와 II 연결선

No	Code	기준선 명칭
EL06	L-[EE-CT~CA-CT]	EE-CT와 CA-CT 연결선
EL07	L-[EE-CT~CC-PT-IN]	EE-CT와 CC-PT-IN 연결선
EL08	L-[EE-CT~TS]	EE-CT와 TS 연결선
EL09	L-[EE-CT~II]	EE-CT와 II 연결선

S1. Ear 기준선 (2/2)



No	Code	기준선 명칭
EL10	L-CC-X	Medial cavum concha 가로선
EL11	L-EE-X	ear-canal entrance 가로선
EL12	L-EE-Y	ear-canal entrance 세로선
EL13	L-FB-X	1 st bend 가로선
EL14	L-FB-Y	1 st bend 세로선

No	Code	기준선 명칭
EL15	L-SB-X	2 nd bend 가로선
EL16	L-SB-Y	2 nd bend 세로선
EL17	L-[CC~EE]-Z	Medial cavum concha과 ear-canal entrance 깊이선
EL18	L-[EE~FB]-Z	ear-canal entrance과 1 st bend 깊이선
EL19	L-[FB~SB]-Z	1 st bend과 2 nd bend 깊이선

S2. Ear-earbud 데이터 수집

- Eva scanner와 Spyder scanner를 사용하여 32명 실험참여자(남:여 = 26:6)의 ear, ear impression, earbud와 ear-earbud 에 대해 scan data 획득

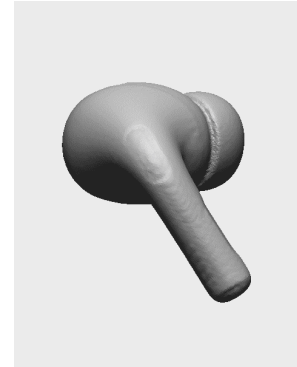
Eva scanner



Ear scan



Earbud scan (AirPods Pro2)



Ear-earbud scan



Spyder scanner



Ear impression



Ear canal scan

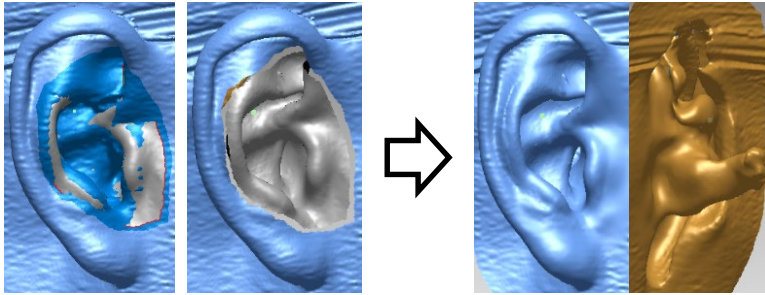


S2. Ear-earbud 데이터 처리: 정렬과 병합

- 실험 참여자의 제품 착용 상태에서의 ear, earbud 및 ear canal 형상을 정렬 및 병합 과정 통해 가상으로 귀 내부에 earbud 모델 안착

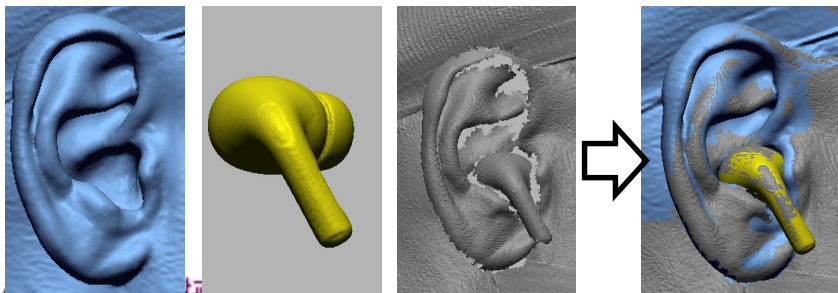
① 귀 형상 병합

Ear scan과 ear canal scan 형상 정렬 및 병합



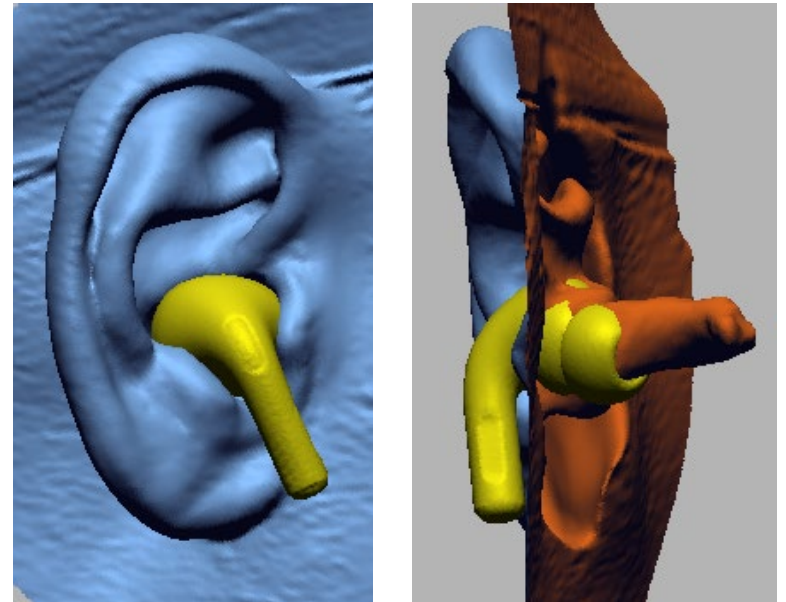
② 귀 형상 정렬

병합된 ear, earbud는 ear-earbud scan에 정렬



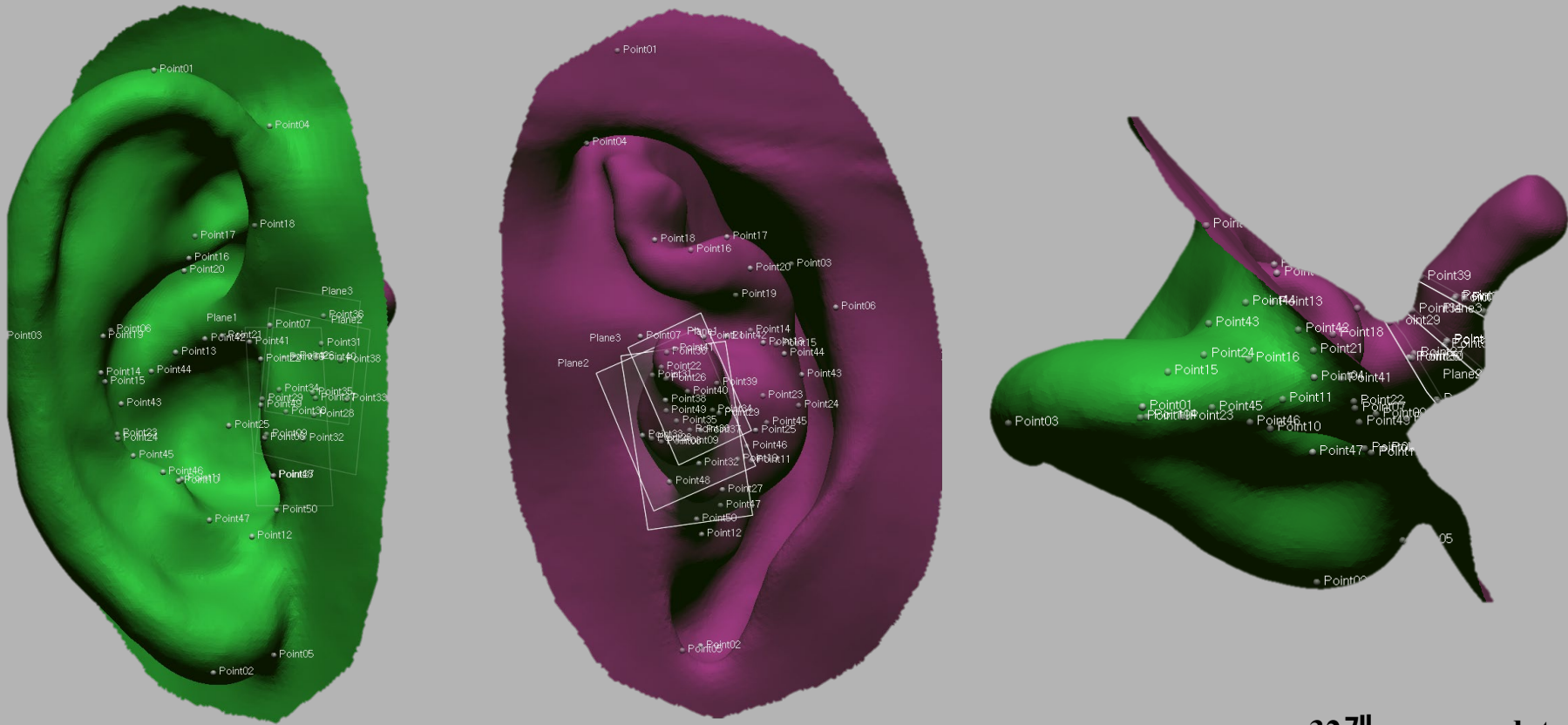
③ Earbud 모델 ear에 안착

Scan 데이터기반 가상 착용



S2. Ear-earbud 데이터 처리: Ear기준점 입력

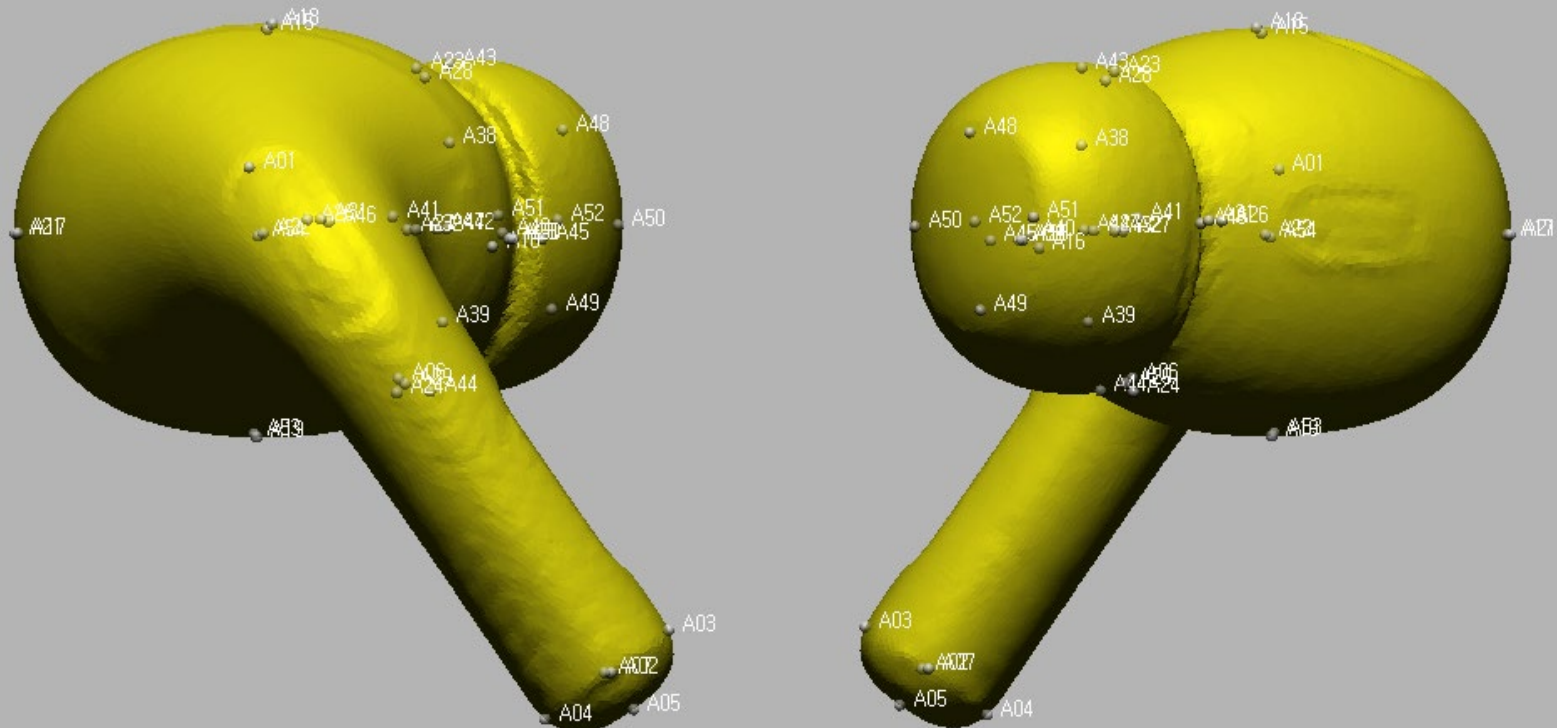
- Geomagic DX S/W를 사용하여 **50개의 ear 기준점들을 수동 표시**



32개 ear scan data

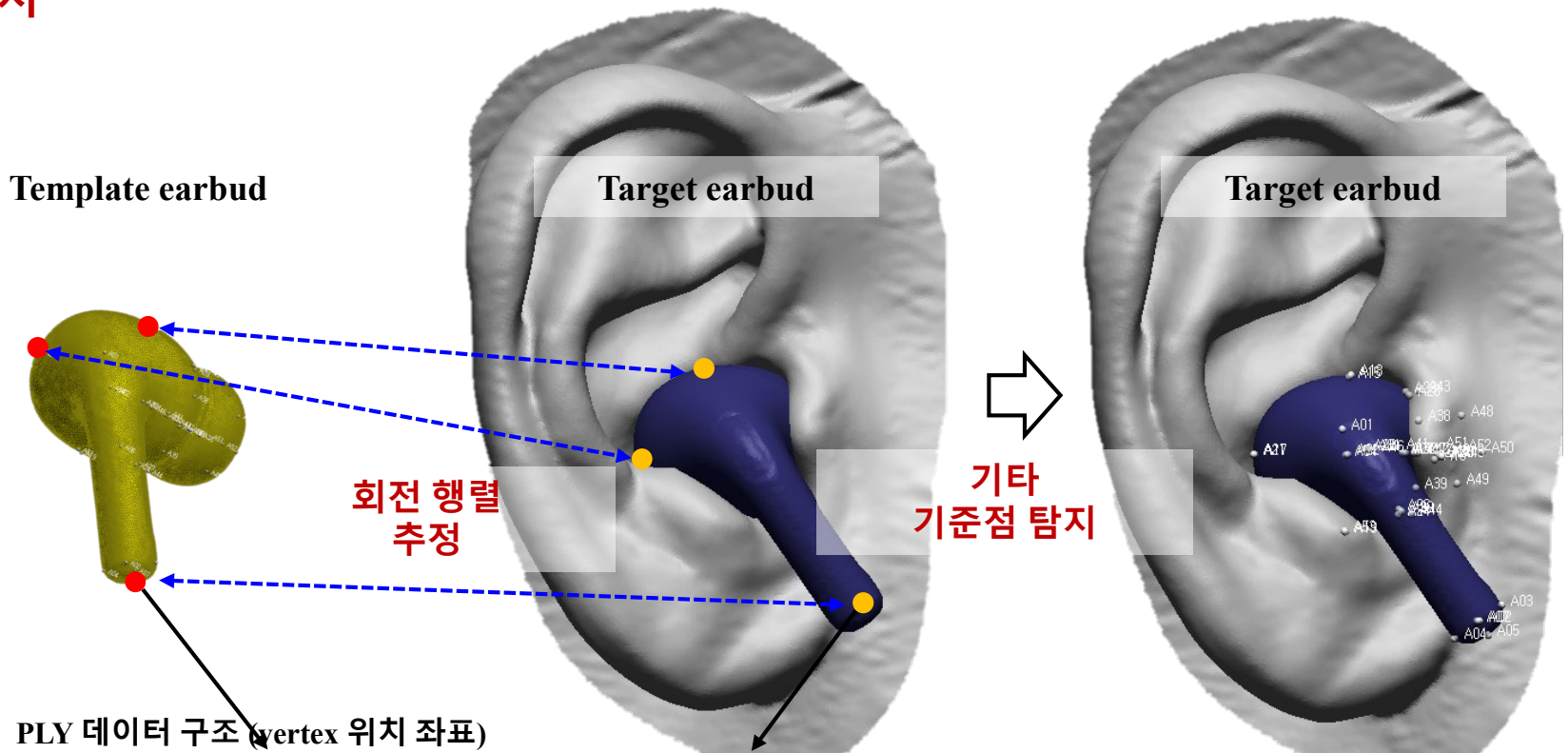
S2. Ear-earbud 데이터 처리: Earbud기준점 탐지 (1/2)

- 1) Geomagic DX S/W를 사용하여 **52개의 earbud 기준점**을 수동 표시



S2. Ear-earbud 데이터 처리: Earbud기준점 탐지 (2/2)

- 2) Target earbud와 template earbud 간에 3개의 통일된 index를 가진 기준점의 **회전 행렬 추정** (Horn's quaternion-based algorithm)을 통해 target earbud의 기준점 **자동 탐지**



PLY 데이터 구조 (vertex 위치 좌표)

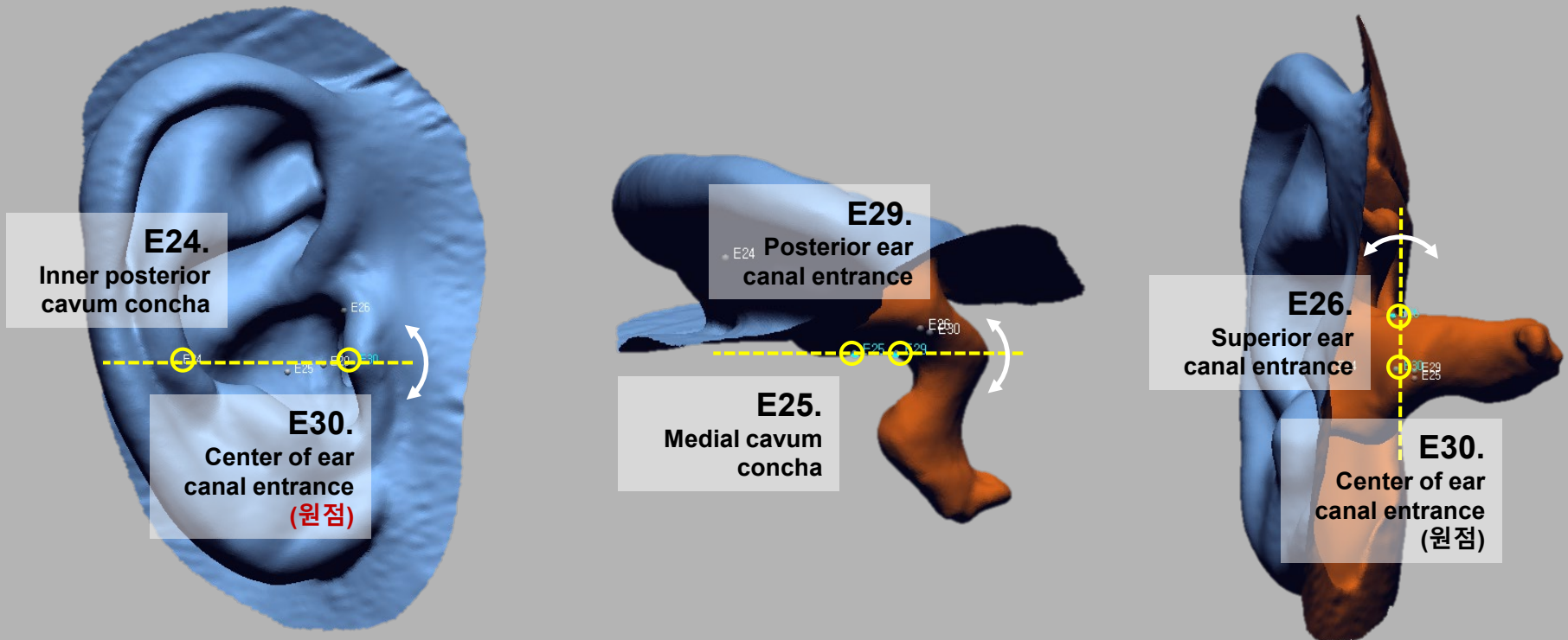
통일
index

-0.345537	-6.251917	3.615143	-1.114968	-6.617892	3.028605
-3.233400	-6.603318	1.253314	-0.709806	-6.390293	3.057276
-5.296907	-5.473379	-0.161725	-0.345537	-6.251917	3.615143



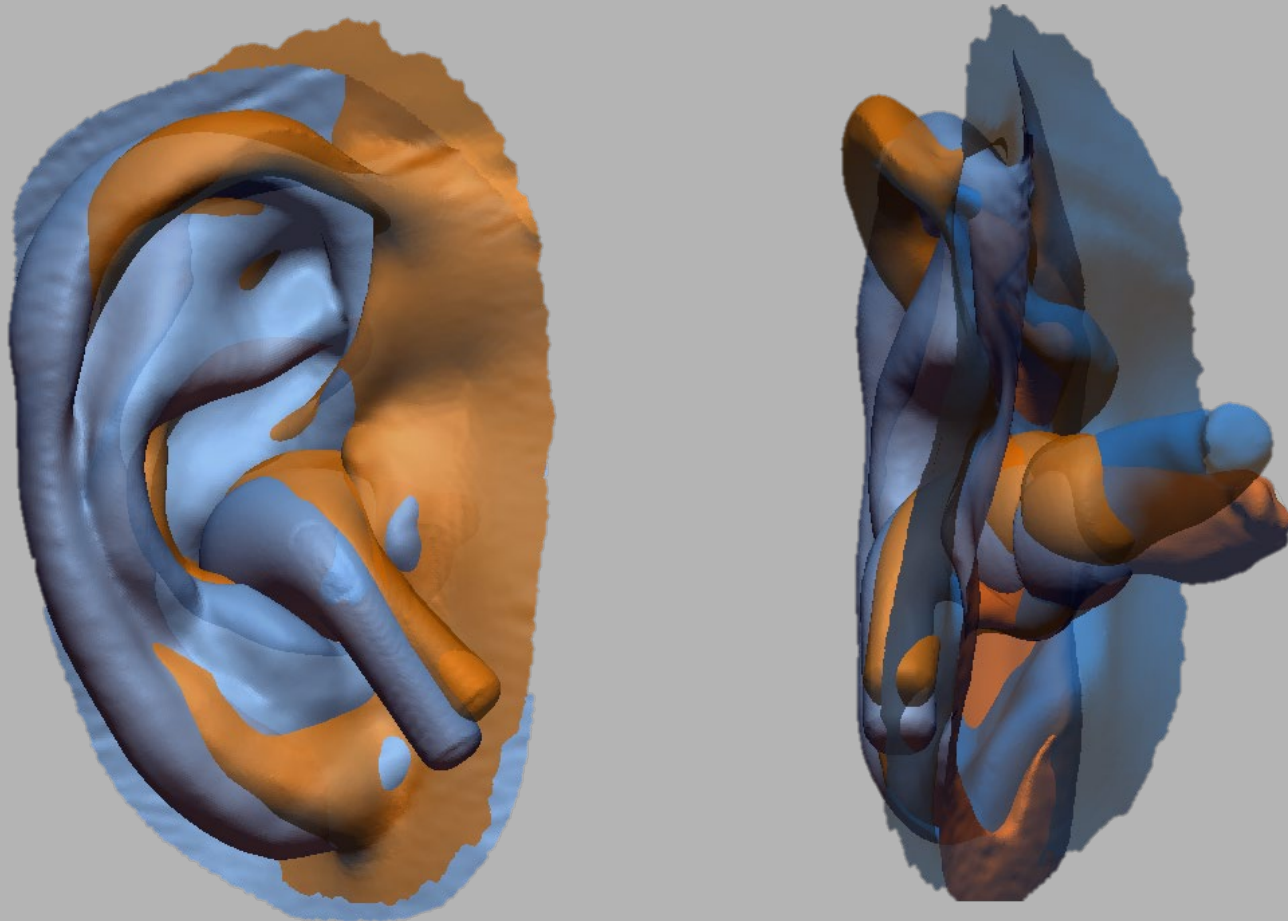
S2. Ear-earbud 데이터 처리: 정렬 (1/2)

- 실험 참여자들의 ear scan data를 **cavum concha의 수평면**, **ear canal entrance 수직 방향**을 기준으로 정렬



S2. Ear-earbud 데이터 처리: 정렬 (2/2)

□ Ear-earbud 정렬 결과 예시

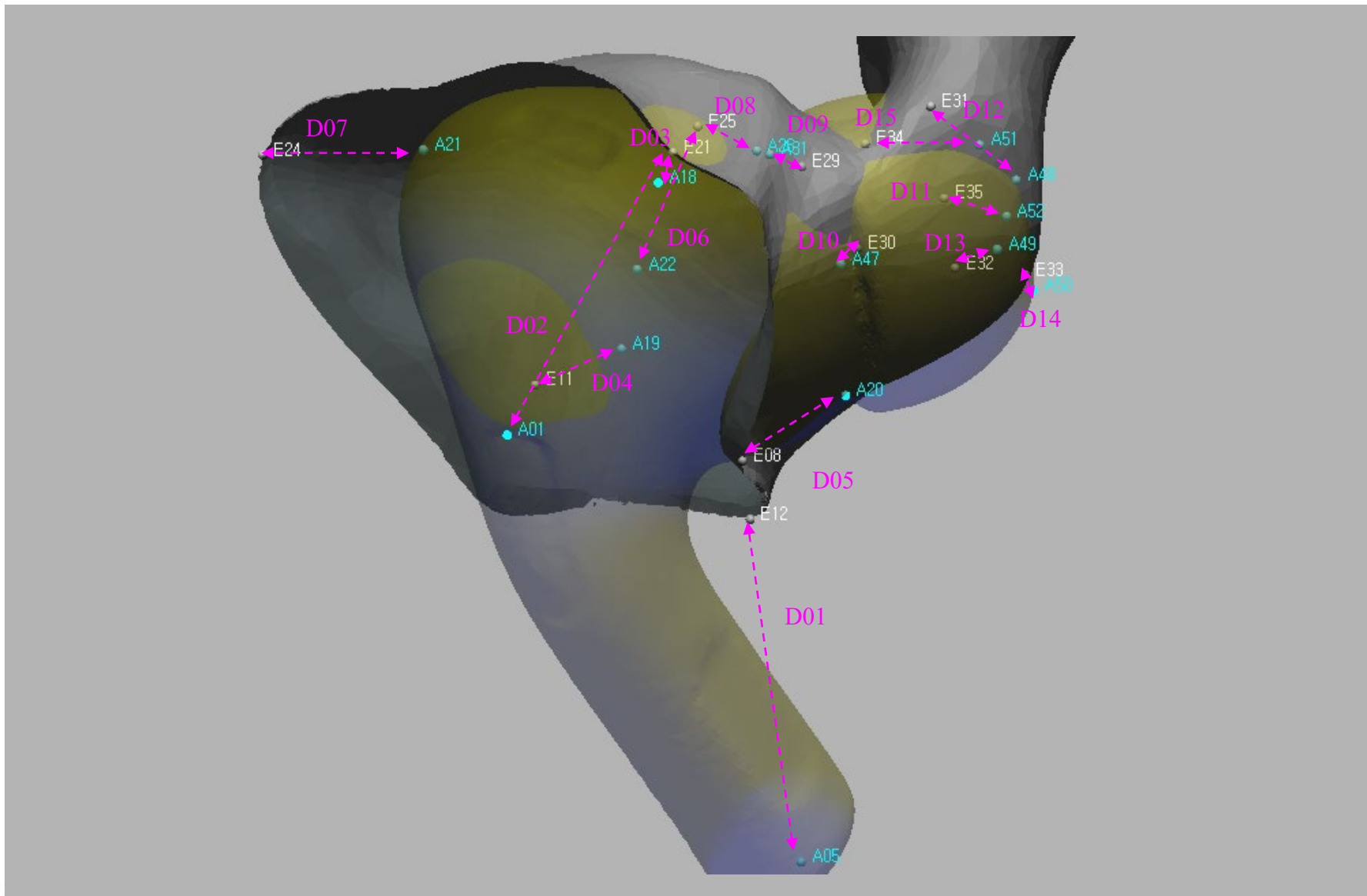


S3. Ear-Earbud 착용 특성 관련 기준점 (1/2)

□ Earbud 기준점과 대응하는 ear 기준점 선정

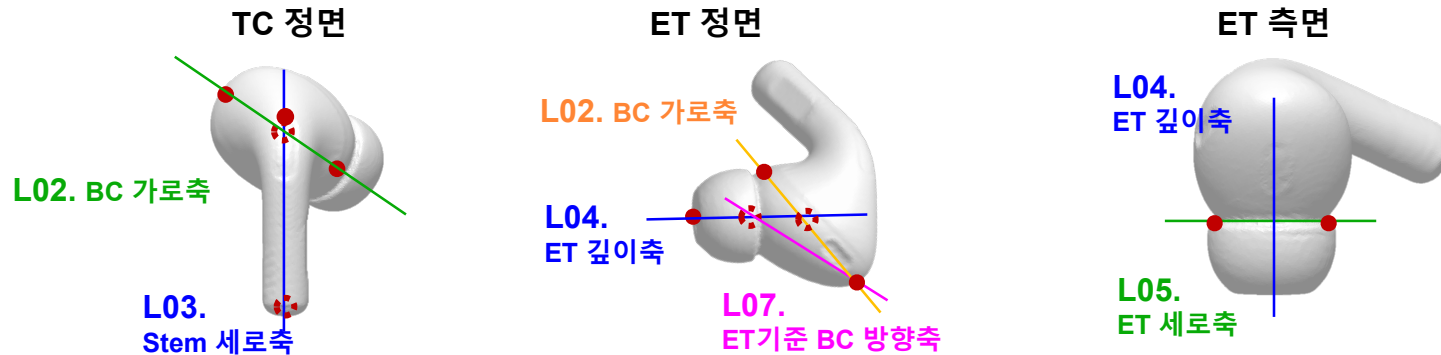
No.	Earbud			Ear		
	No	Code	기준점	No	Code	기준점
D01	P05	P-ST-OT-SP/ P-ST-CT-IF	Stem 외측 상측점/ Stem 중간 하측점	E12	II	Incisura intertragica
D02	P01	P-TC-OT-SP/ S-TC-Y-IN	Top case 외측 상측점/ Top case 세로 내측면	E21	CA-SP	Superior cavum concha
D03	P18	P-BC-OT-SP	Bottom case 외측 상측점	E21	CA-SP	Superior cavum concha
D04	P19	P-BC-OT-IF	Bottom case 외측 하측점	E11	AntiTS-IF	Inferior anti tragus
D05	P20	P-BC-OT-AT	Bottom case 외측 전측점	E08	TN-AT	Anterior tragus
D06	P22	P-BC-OT-CT	Bottom case 외측 중심점	E25	CA-CT	Medial (cavum) concha
D07	P21	P-BC-OT-PT	Bottom case 외측 후측점	E24	CA-PT-IN	Inner posterior cavum concha
D08	P26	P-BC-MD-PT	Bottom case 중간 후측점	E25	CA-CT	Medial (cavum) concha
D09	P31	P-BC-IN-PT	Bottom case 내측 후측점	E29	EE-PT	Posterior ear-canal entrance
D10	P47	P-ET-OT-PT	Ear-tip 외측 중심점	E30	EE-CT	Center of ear-canal entrance
D11	P52	P-ET-IN-PT	Ear-tip 내측 중심점	E35	FB-CT	Center of 1st bend
D12	P48	P-ET-IN-SP	Ear-tip 내측 상측점	E31	FB-SP	Superior 1st bend
D13	P49	P-ET-IN-IF	Ear-tip 내측 하측점	E32	FB-IF	Inferior 1st bend
D14	P50	P-ET-IN-AT	Ear-tip 내측 전측점	E33	FB-AT	Anterior 1st bend
D15	P51	P-ET-IN-PT	Ear-tip 내측 후측점	E34	FB-PT	Posterior 1st bend

S2. Ear-Earbud 착용 특성 관련 기준점 (2/2)



S2. Ear-Earbud 착용 특성 관련 기준선 (1/4)

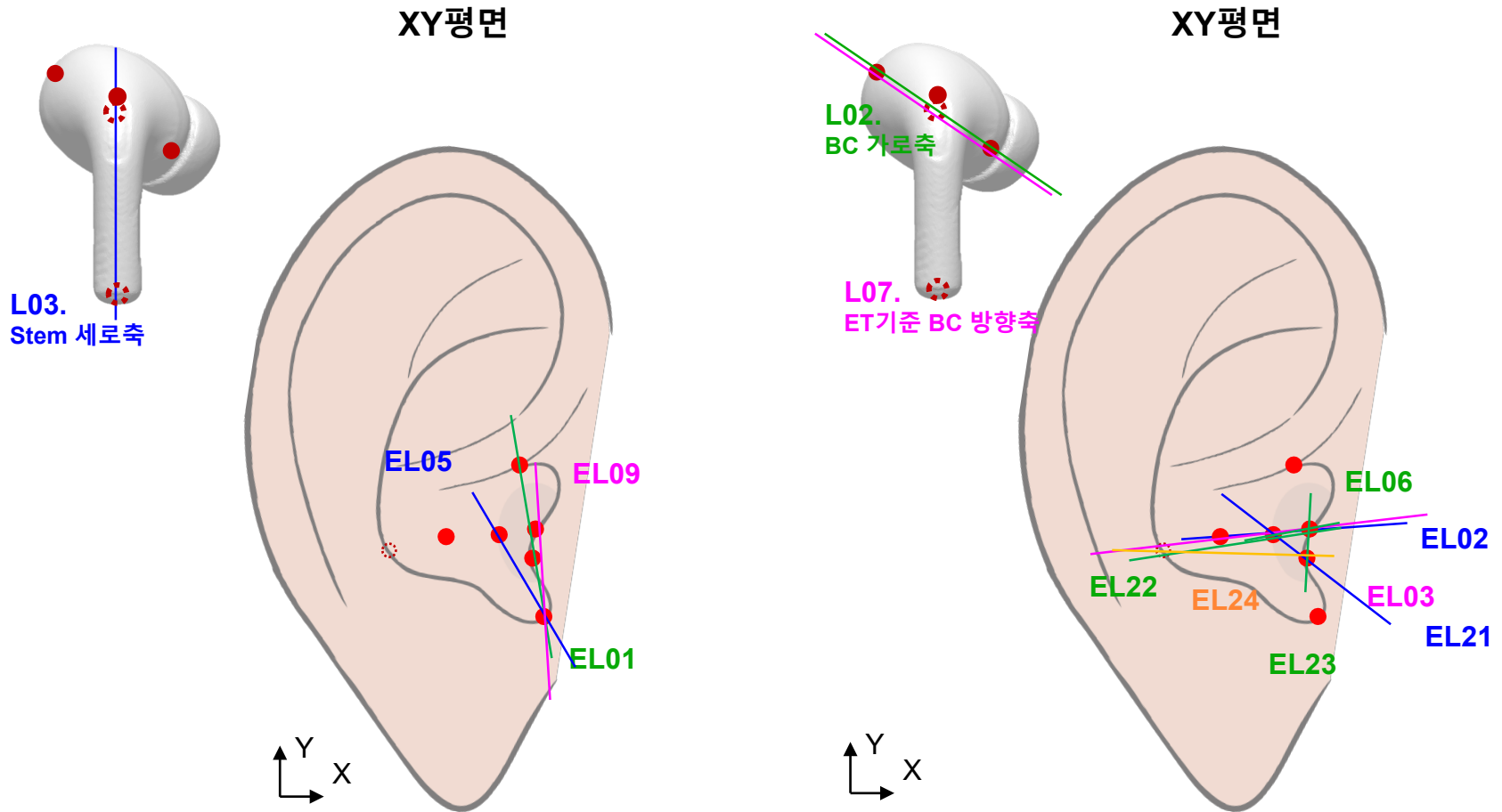
□ Ear-earbud 착용 관련 earbud 기준선 정의



No	Code	명칭	기준점
L02	L-BC-X	BC 가로축	P21~ P22
L03	L-ST-Y	Stem 세로축	P01 ~ P05
L04	L-ET-Z	ET 깊이축	P47 ~ P52
L05	L-ET-Y	ET 세로축	P47 ~ P43
L07 (신규)	-	ET기준 BC 방향축 ([ET 외측 중심점] ~ [BC 외측 후측점] 연결선)	P47 ~ P21

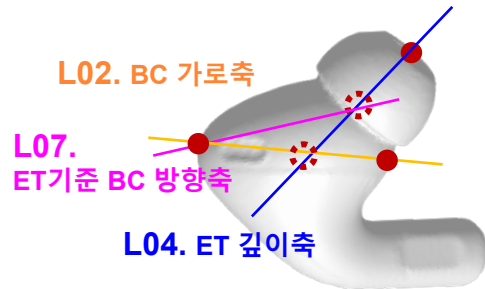
S2. Ear-Earbud 착용 특성 관련 기준선 (2/4)

□ Earbud 기준선 관련 ear 기준선 정의

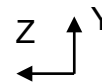
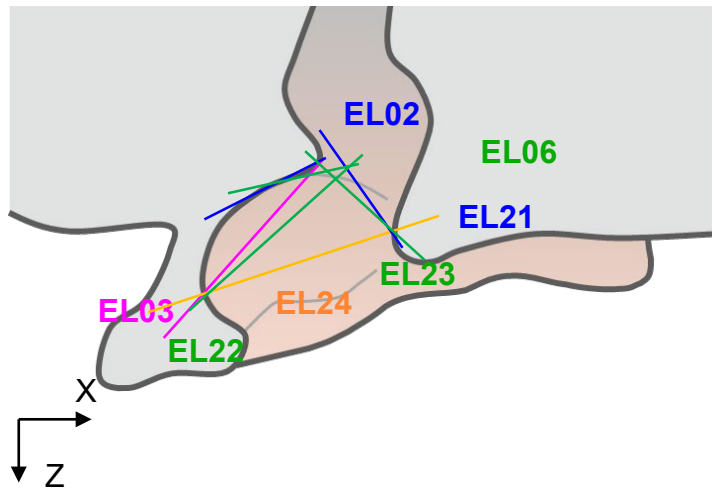
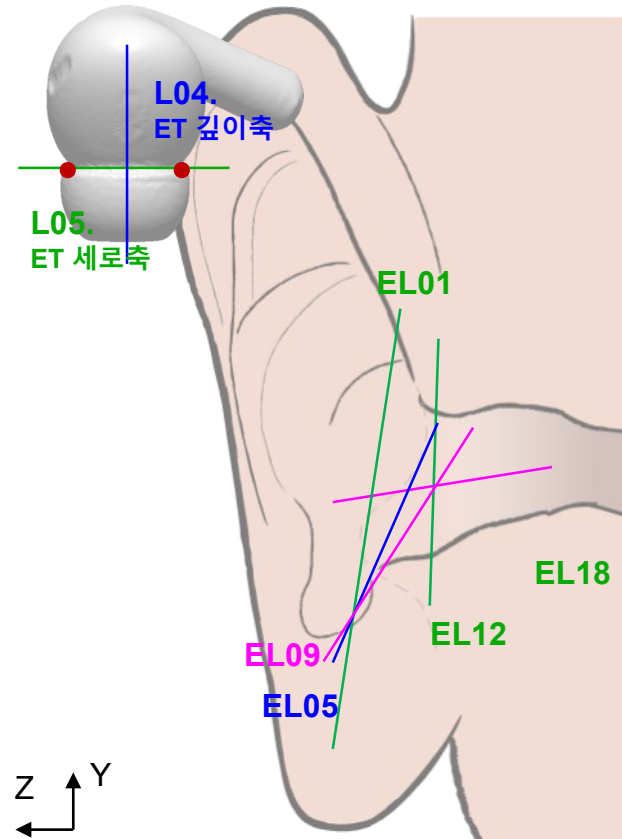


S2. Ear-Earbud 착용 특성 관련 기준선 (3/4)

XZ평면



YZ평면



S2. Ear-Earbud 착용 특성 관련 기준선 (4/4)

기준 평면	No	Code	기준선 명칭	기준점
XY평면	EL01	L-[CY-SP~II]	[Superior cymba concha (@ Counter-helix level)]와 [incisura intertragica] 연결선	E16 ~ E12
	EL05	L-[EE-PT~II]	[Posterior ear-canal entrance] 와 [incisura intertragica] 연결선	E29 ~ E12
	EL09	L-[EE-CT~II]	[Center of ear (canal) entrance] 와 [incisura intertragica] 연결선	E30 ~ E12
	EL02	L-[EE-PT~CA-CT]	[Posterior ear-canal entrance] 와 [medial cavum concha] 연결선	E29 ~ E25
	EL03	L-[EE-PT~CC-PT-IN]	[Posterior ear-canal entrance] 와 [inner posterior cavum concha] 연결선	E29 ~ E24
	EL21 (신규)	-	[Posterior ear-canal entrance] 와 [anterior tragus] 연결선	E29 ~ E09
	EL06	L-[EE-CT~CA-CT]	[Center of ear (canal) entrance]와 [medial cavum concha] 연결선	E30 ~ E25
	EL22 (신규)	-	[Center of ear (canal) entrance] 와 [inner posterior cavum concha] 연결선	E30 ~ E24
	EL23 (신규)	-	[Center of ear (canal) entrance] 와 [anterior tragus] 연결선	E30 ~ E09
EL24 (신규)	-	[Anterior tragus]와 [inner posterior cavum concha] 연결선	E09 ~ E24	
XZ평면	EL02	L-[EE-PT~CA-CT]	[Posterior ear-canal entrance] 와 [medial cavum concha] 연결선	E29 ~ E25
	EL03	L-[EE-PT~CC-PT-IN]	[Posterior ear-canal entrance] 와 [inner posterior cavum concha] 연결선	E29 ~ E24
	EL21 (신규)	-	[Posterior ear-canal entrance] 와 [anterior tragus] 연결선	E29 ~ E09
	EL06	L-[EE-CT~CA-CT]	[Center of ear (canal) entrance]와 [medial cavum concha] 연결선	E30 ~ E25
	EL22 (신규)	-	[Center of ear (canal) entrance] 와 [inner posterior cavum concha] 연결선	E30 ~ E24
	EL23 (신규)	-	[Center of ear (canal) entrance] 와 [anterior tragus] 연결선	E30 ~ E09
	EL24 (신규)	-	[Anterior tragus]와 [inner posterior cavum concha] 연결선	E09 ~ E24
YZ평면	EL12	L-EE-Y	ear-canal entrance 세로선	E26 ~ E30
	EL18	L-[EE~FB]-Z	ear-canal entrance과 1st bend 깊이선	E30 ~ E35
	EL01	L-[CY-SP~II]	[Superior cymba concha (@ Counter-helix level)]와 [incisura intertragica] 연결선	E16 ~ E12
	EL05	L-[EE-PT~II]	[Posterior ear-canal entrance] 와 [incisura intertragica] 연결선	E29 ~ E12
	EL09	L-[EE-CT~II]	[Center of ear (canal) entrance] 와 [incisura intertragica] 연결선	E30 ~ E12

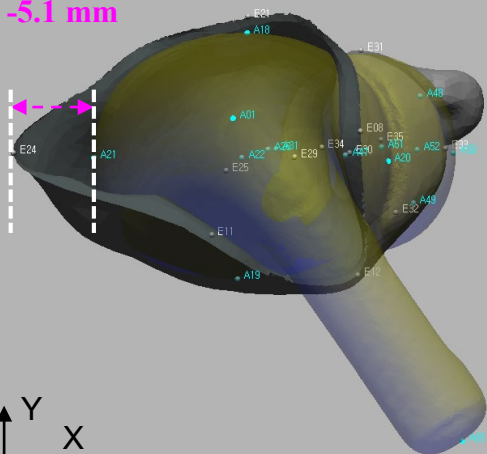
S3. Ear-Earbud Interface의 거리 측정

- Ear-earbud 대응 기준점 간에 **유클리드 거리** (ED: Euclidean distance) 및 **X, Y, Z 축 방향** 상의 **투영 거리** (PD: projected distance) 측정

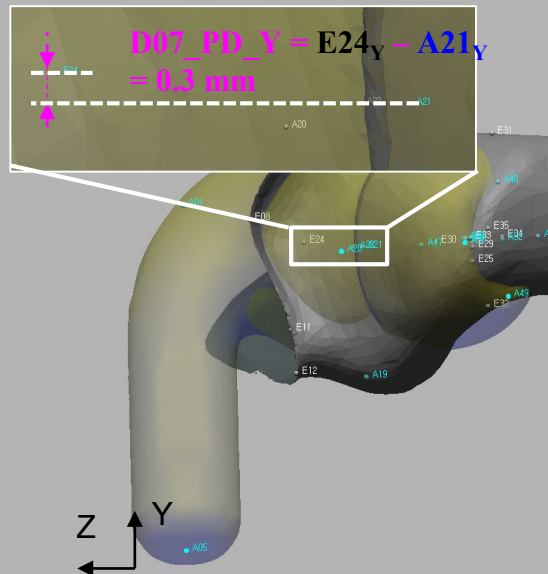
S01의 D07의 측정 예시

No	측정 항목	ED	PD_X	PD_Y	PD_Z
S01	D07	6.1 mm	-5.1 mm	0.3 mm	3.4 mm

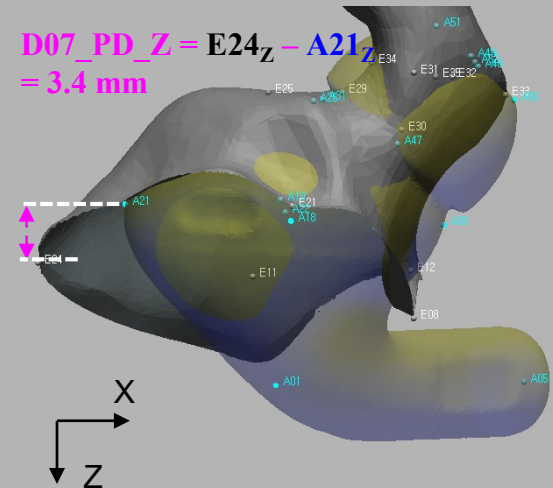
$$D07_PD_X = E24_x - A21_x = -5.1 \text{ mm}$$



$$D07_PD_Y = E24_y - A21_y = 0.3 \text{ mm}$$



$$D07_PD_Z = E24_z - A21_z = 3.4 \text{ mm}$$



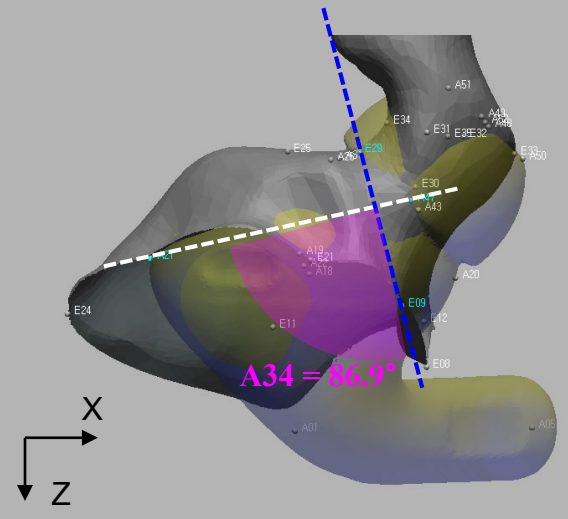
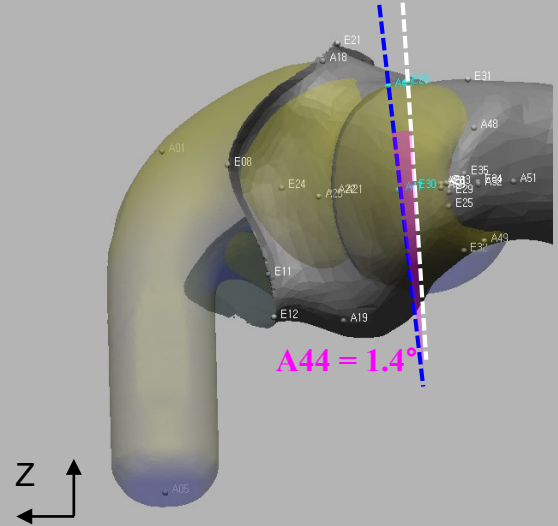
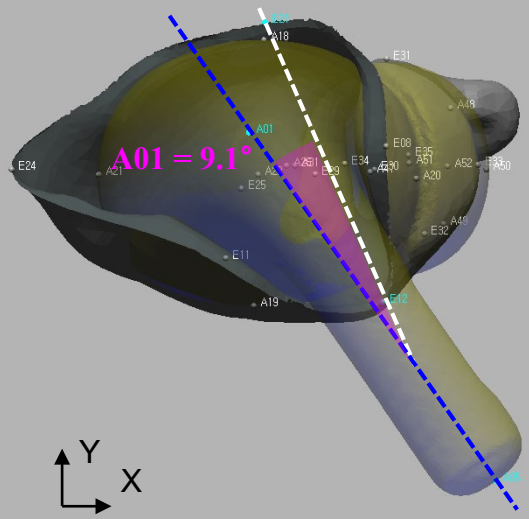
S3. Ear-Earbud Interface의 거리 측정

□ Ear-earbud 대응 기준선 간에 ear기준선 부터 earbud 기준선의 **회전 내각** 측정

✓ 내각: ear기준선 기준 시계방향 “-”; 반시계방향 “+”;

S01의 D07의 측정 예시

No	기준 평면	측정 항목	Angle
S01	XY평면	A01	9.1°
S01	YZ평면	A44	1.4°
S01	XZ평면	A34	86.9°



S3. Ear-Earbud Interface의 거리 & 각도 측정: 결과 예시

□ Ear-earbud 간의 대응하는 거리 & 각도 측정 예시 (개인별)

n = 32

거리

Measures	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
D01_ED	14.0	11.7	14.1	12.6	14.5	13.2	14.9	14.2	11.7	13.1	14.7	15.8	15.2	13.7	14.1	12.8	12.9	15.1	14.6	16.0
D01_PD_X	-6.6	-4.5	-10.8	-8.7	-8.0	-5.9	-9.7	-10.1	-6.4	-5.5	-1.5	-10.3	-8.7	-6.8	-7.6	-6.5	-4.3	-4.7	-8.0	-2.5
D01_PD_Y	10.5	7.7	5.7	8.4	10.3	7.3	8.1	6.0	7.4	10.7	10.2	3.2	10.0	9.5	9.8	6.2	9.8	4.9	10.5	11.4
D01_PD_Z	-6.5	-7.5	-7.1	-3.2	-6.3	-9.3	-8.0	-8.0	-6.4	-5.2	-10.4	-11.5	-7.5	-7.0	-6.7	-9.1	-7.2	-13.4	-6.3	-11.0

...

...

각도

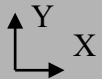
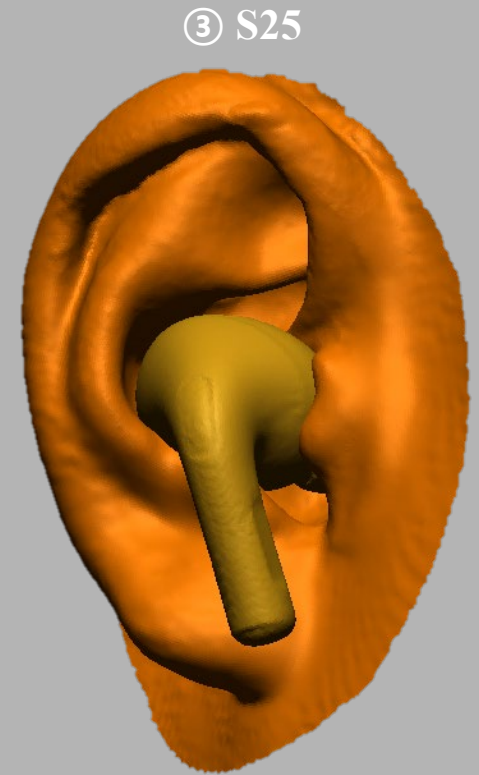
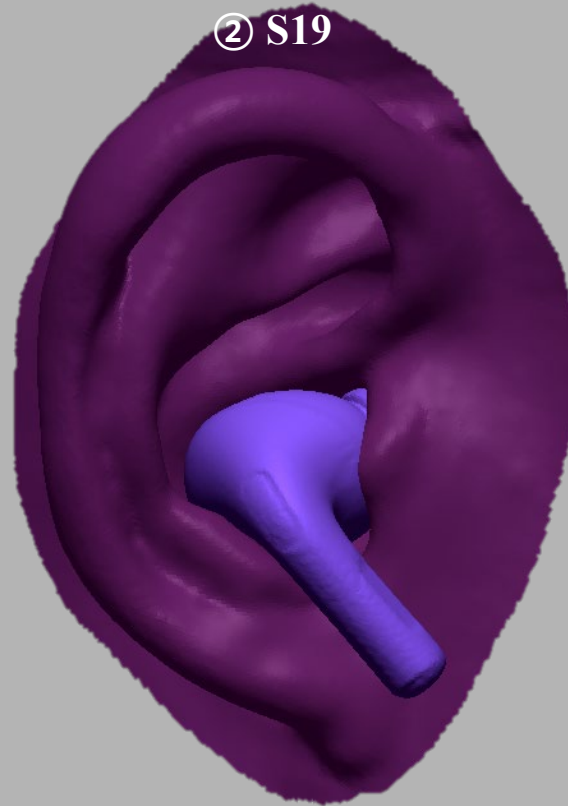
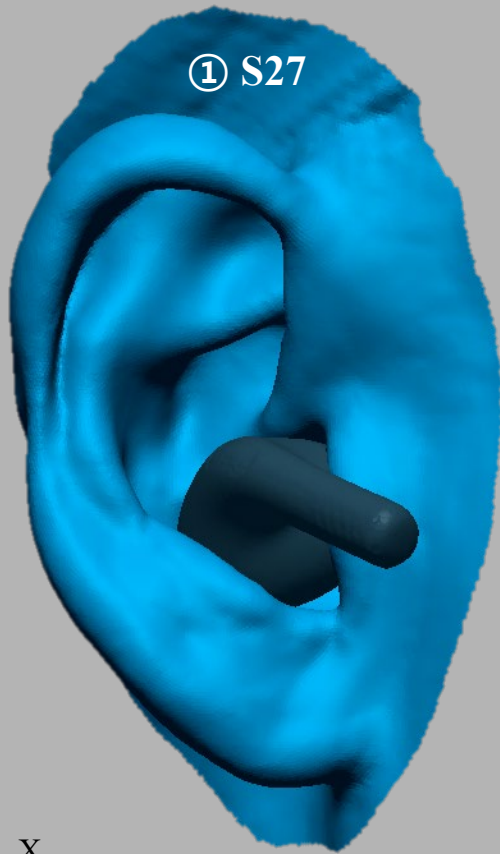
A01	9.1	5.1	29.2	24.2	18.6	0.5	33.7	15.4	17.9	15.5	0.4	30.6	22.7	8.2	21.8	27.4	3.5	16.1	29.4	4.8
A02	7.3	-21.4	42.6	35.9	45.0	11.3	47.9	33.7	37.9	39.1	29.7	41.4	44.0	18.7	31.7	32.1	17.9	34.5	56.6	25.3
A03	31.6	4.9	54.7	48.5	59.5	32.1	59.2	55.0	53.6	54.4	47.0	59.7	64.3	42.0	44.5	46.3	38.1	54.1	66.4	42.3
A04	-11.1	18.8	-40.4	-11.4	-29.5	-11.0	-23.2	-16.7	-16.6	-1.5	-47.1	-27.0	-44.1	-12.0	-17.7	-17.9	6.5	-23.2	-3.1	-9.7

...

...

S4. Ear-Earbud Interface의 거리 & 각도 측정: 착용 유형 예시

□ 거리 및 각도 측정 결과 통해 착용 유형 파악

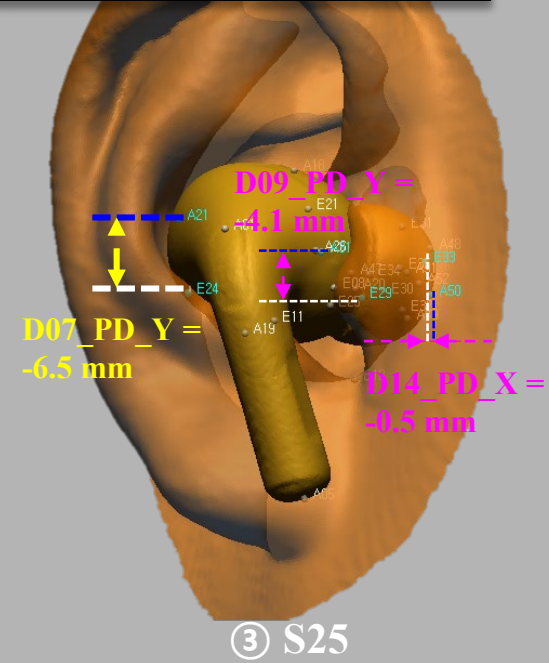
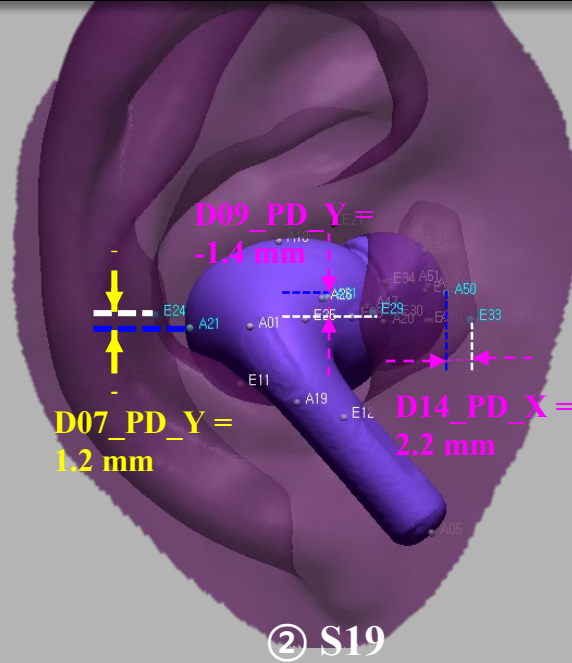
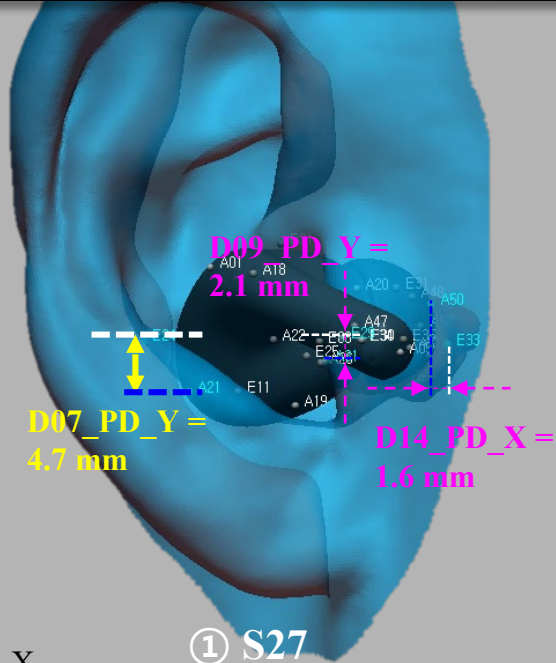


S4. Ear-Earbud Interface의 착용 유형: 측정 예시 (1/5)

□ 거리 측정 척도 중 변동 큰 척도 측정 예시

	평균	SD	Min	Max	Range	P2.5	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97.5	CV
D14_PD_X	0.3	1.2	-1.5	4.3	5.8	-1.3	-1.2	-1.0	-0.5	0.0	0.8	1.8	2.3	2.8	4.5
D07_PD_Y	0.1	2.4	-6.5	4.7	11.2	-4.2	-3.4	-2.5	-1.3	0.2	1.4	2.8	4.2	4.4	19.4
D09_PD_Y	0.1	1.5	-4.1	2.1	6.2	-3.0	-2.5	-1.7	-0.6	0.3	1.3	1.7	2.0	2.1	11.7

	Earbud 기준점			Ear 기준점		
D07	P21	P-BC-OT-PT	Bottom case 외측 후측점	E24	CA-PT-IN	Inner posterior cavum concha

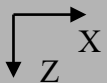
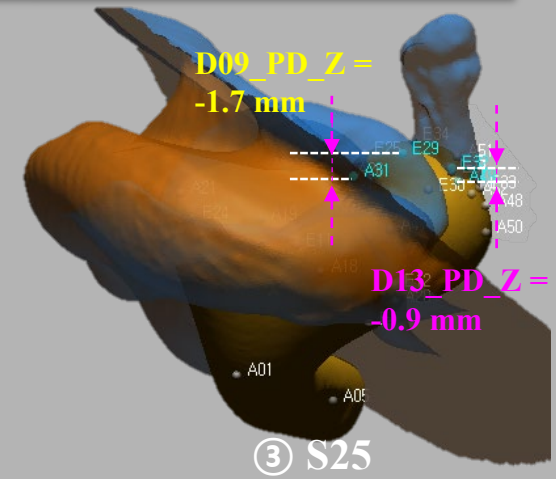
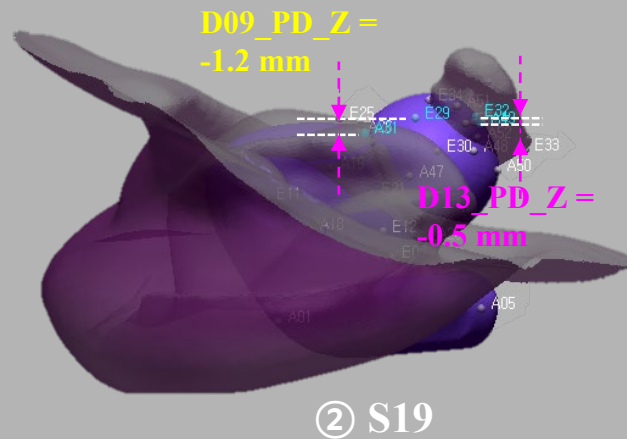
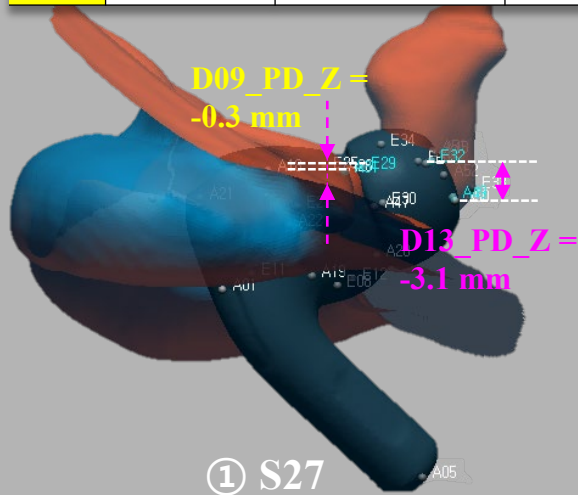


S4. Ear-Earbud Interface의 착용 유형: 측정 예시 (2/5)

□ 거리 측정 척도 중 변동 큰/작은 척도 측정 예시

	평균	SD	Min	Max	Range	P2.5	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97.5	CV
D13_PD_Z	0.2	1.4	-3.1	2.4	5.6	-3.1	-2.6	-1.4	-0.5	0.4	1.4	1.9	2.2	2.4	6.0
D09_Z_D	-0.9	0.7	-2.6	0.8	3.4	-2.4	-2.2	-1.7	-1.2	-0.8	-0.4	0.1	0.2	0.3	-0.9

	Earbud 기준점			Ear 기준점		
D13	P49	P-ET-IN-IF	Ear-tip 내측 하측점	E32	FB-IF	Inferior 1st bend
D09	P31	P-BC-IN-PT	Bottom case 내측 후측점	E29	EE-PT	Posterior ear-canal entrance

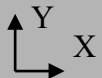
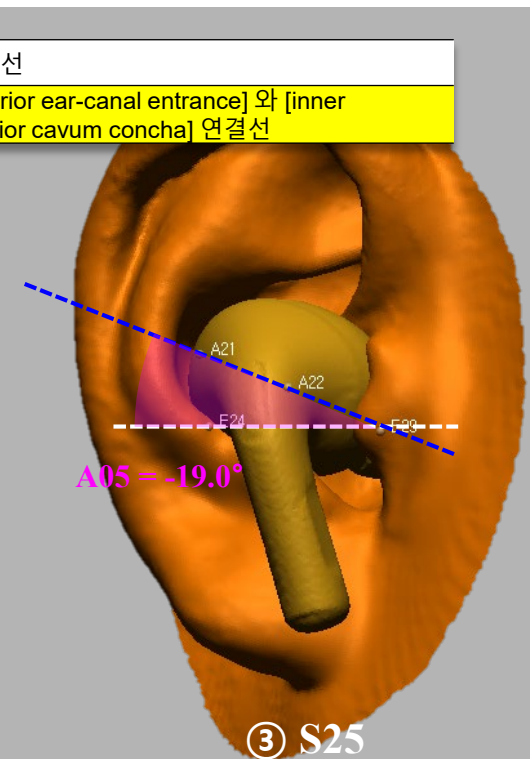
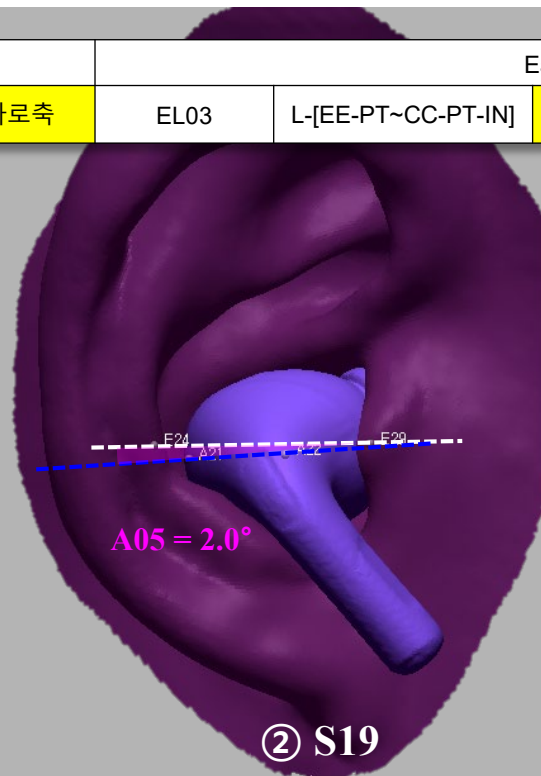
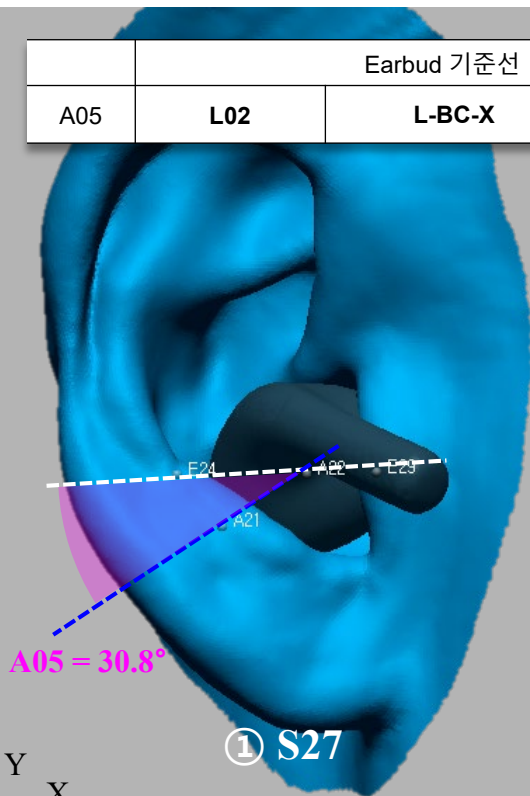


S4. Ear-Earbud Interface의 착용 유형: 측정 예시 (3/5)

□ 각도 측정 척도 중 변동 큰 척도 측정 예시

	평균	SD	Min	Max	Range	P2.5	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97.5	CV
A05	-1.2	11.4	-27.1	30.8	57.9	-21.3	-19.2	-12.6	-7.9	-2.6	6.4	9.3	14.3	20.9	-9.9

A05	Earbud 기준선			Ear 기준선		
	L02	L-BC-X	BC 가로축	EL03	L-[EE-PT~CC-PT-IN]	[Posterior ear-canal entrance] 와 [inner posterior cavum concha] 연결선

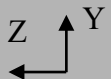
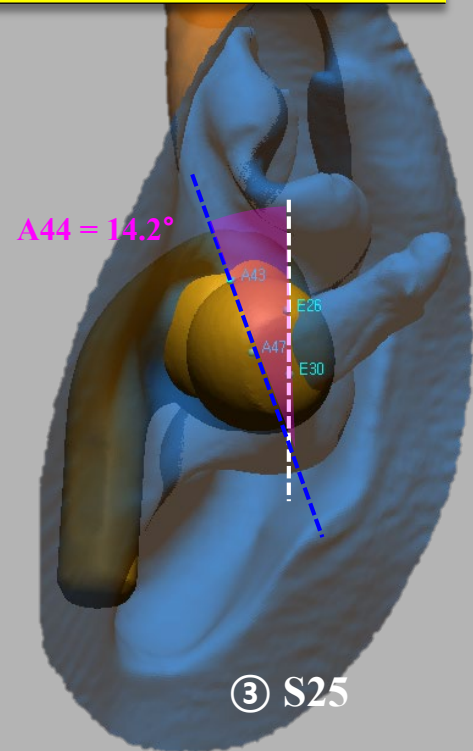
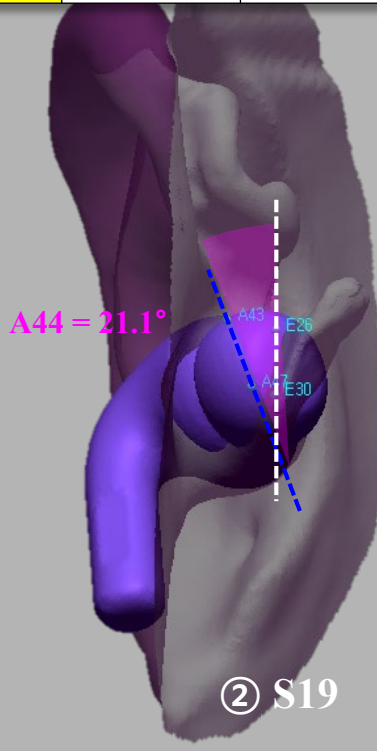
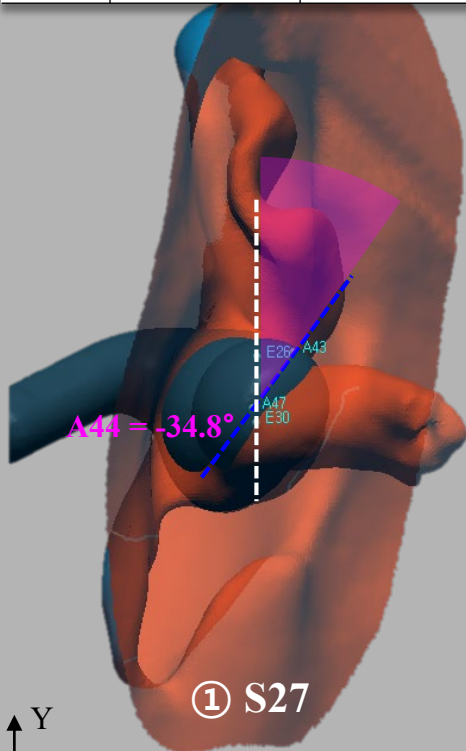


S4. Ear-Earbud Interface의 착용 유형: 측정 예시 (4/5)

□ 각도 측정 척도 중 변동 큰 척도 측정 예시

	평균	SD	Min	Max	Range	P2.5	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97.5	CV
A44	5.1	11.1	-34.8	22.0	56.8	-12.7	-6.2	-6.0	-1.7	4.0	12.8	17.6	20.5	21.3	2.2

	Earbud 기준선			Ear 기준선		
A44	L05	L-ET-Y	ET 세로축	EL12	L-EE-Y	ear-canal entrance 세로선

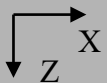
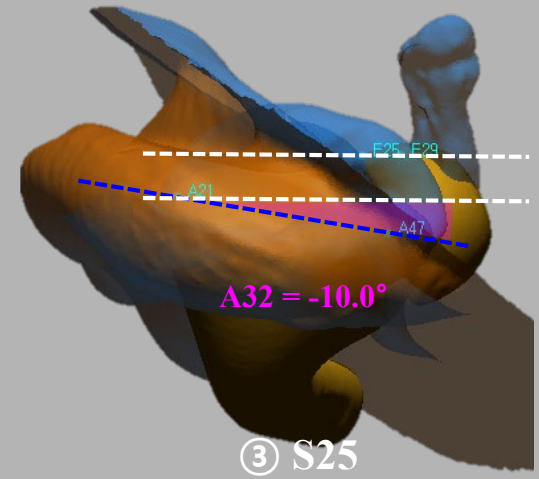
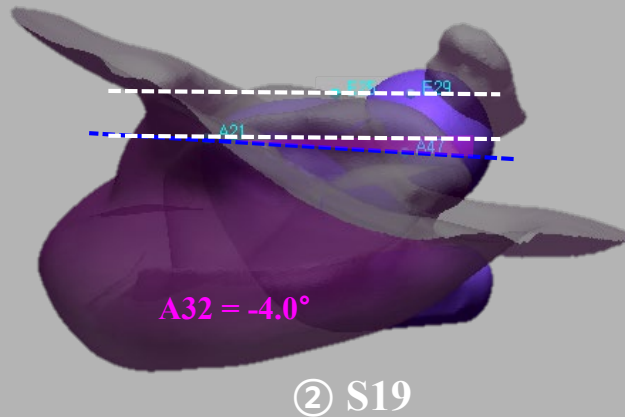
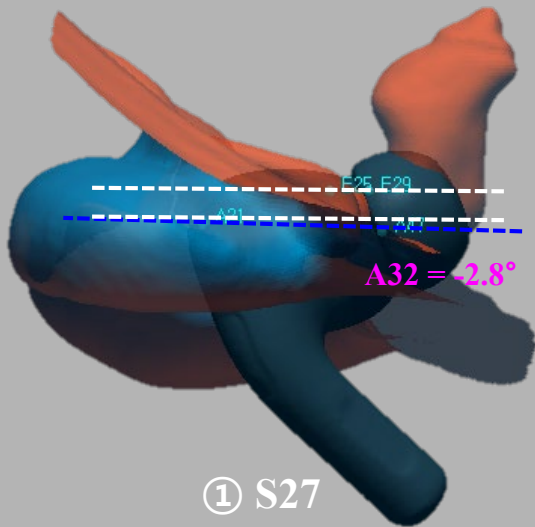


S4. Ear-Earbud Interface의 착용 유형: 측정 예시 (5/5)

□ 각도 측정 척도 중 변동 큰 척도 측정 예시

	평균	SD	Min	Max	Range	P2.5	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97.5	CV
A32	2.8	9.0	-12.6	19.3	31.9	-11.9	-11.4	-9.9	-4.2	2.5	10.8	13.6	17.2	18.6	3.2

		Earbud 기준선		Ear 기준선	
A32	L07 (신규)	-	ET기준 BC 방향축	EL02	L-[EE-PT~CA-CT] [Posterior ear-canal entrance] 와 [medial cavum concha] 연결선



토의

- ❑ **Ear-earbud 인터페이스의 거리 및 각도 측정**을 통한 다양한 귀 형태 고려한 **가상 착용 시스템 개발 기초 마련**
 - ✓ 총 15개 ear-earbud 대응 거리 유클리드 거리 및 투영 거리 측정
 - ✓ 총 48개 ear-earbud 대응 기준선 내각 측정

- ❑ **Ear-earbud 인터페이스 측정 결과를 가상 착용 시스템 개발에 유용하게 활용 가능**
 - ✓ 귀 cavum concha 및 canal부의 치수 측정 데이터를 결합하여 착용 유형 파악
 - ✓ 측정 결과를 바탕으로 시뮬레이션 및 머신러닝 기법을 이용한 다양한 귀 형태 이어버드 착용 위치 예측 모델 개발

추후 연구

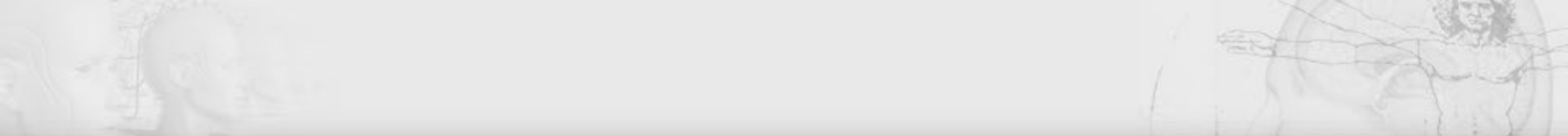
- ❑ Ear-earbud 인터페이스의 다양한 **측정 데이터(거리, 면적, 부피 등) 확보**
- ❑ Ear-earbud 인터페이스 측정 결과를 바탕으로 **군집 분석**을 통한 **착용 유형 분류**
- ❑ **착용 유형**에 따른 **귀 치수 & 형태 유형** 간 **상관성 분석**
- ❑ **착용 유형 판별 모델** 및 **유형별 가상 착용 알고리즘 개발**

Q&A

경청해 주셔서 감사합니다.



본 연구는 한국연구재단의 중견연구자 지원사업(NRF-2022R1A2C1013198), 국가표준기술개발 및 보급의 국가표준기술력 향상사업(20011781), 그리고 한국산업기술진흥원의 2023년 산업혁신인재성장 지원사업(P0008691)을 받아 수행된 연구임.

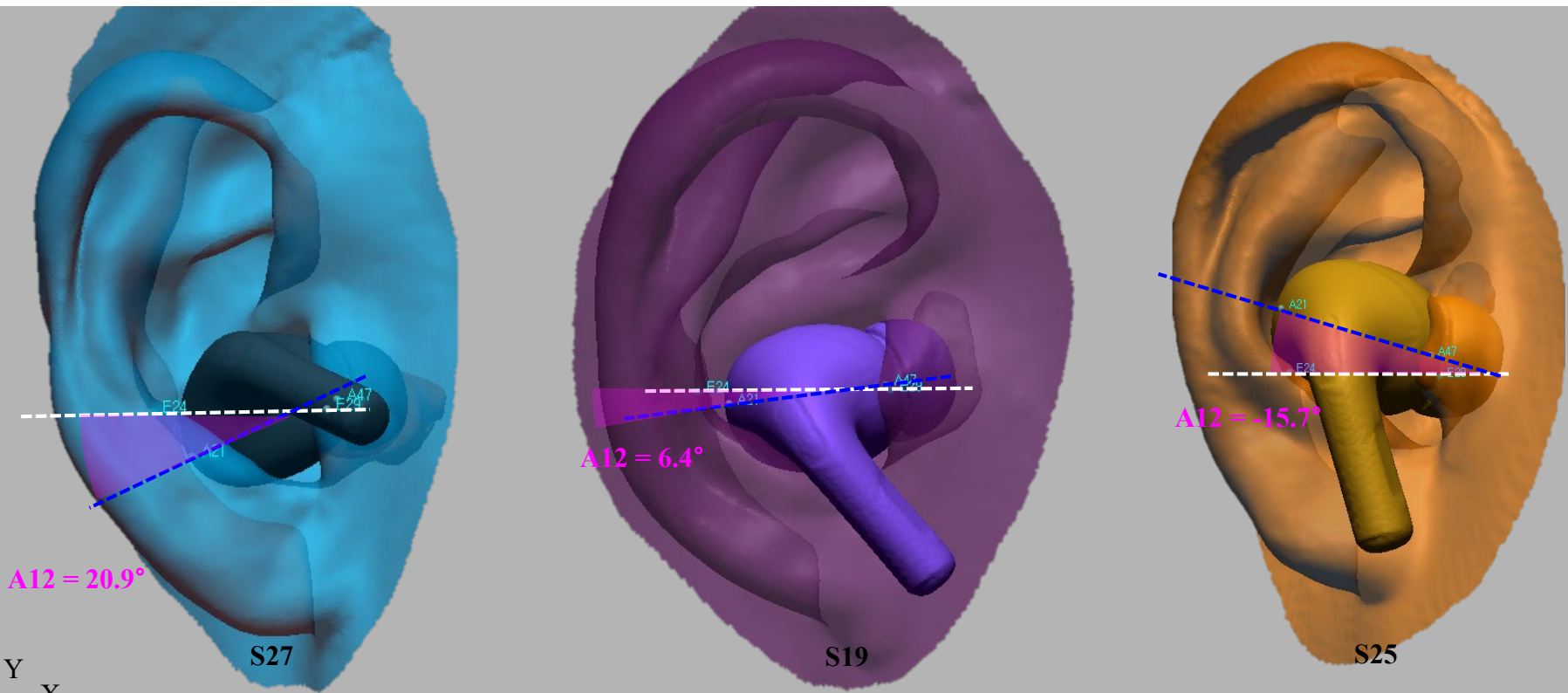


Appendix

S3. Ear-Earbud Interface의 거리 & 각도 측정: 착용 예시

□ 각도 측정 척도 중 변동 큰 척도 측정 예시

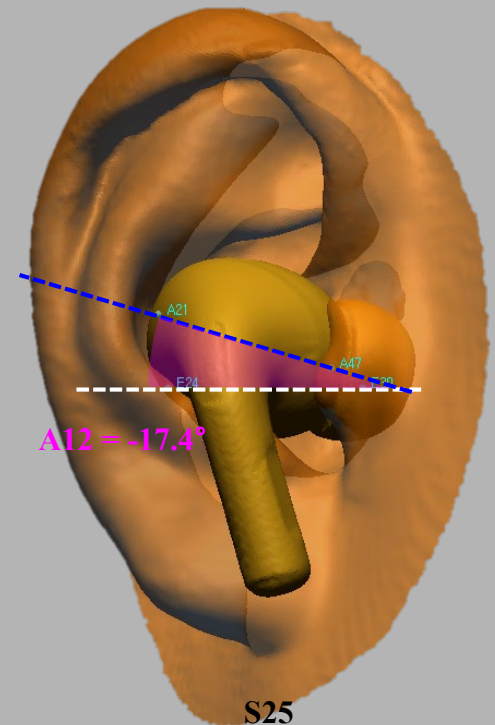
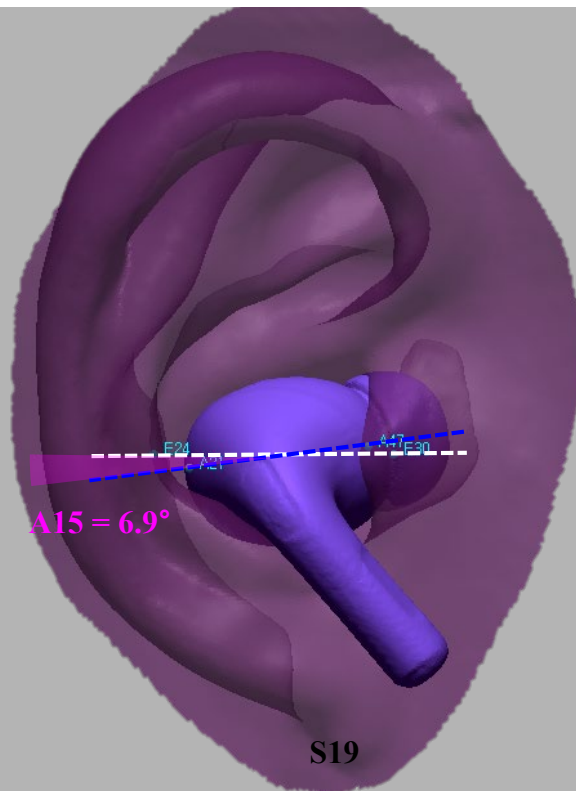
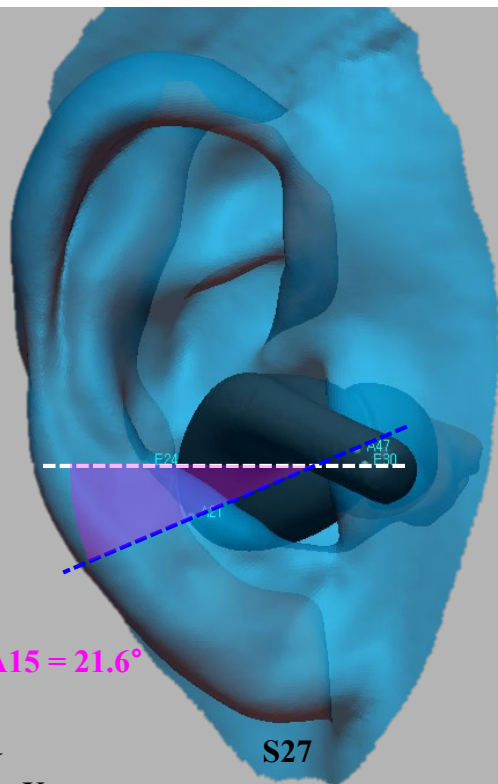
	평균	SD	Min	Max	Range	P2.5	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97.5	CV
A12	-0.8	9.7	-21.7	20.9	42.6	-19.4	-17.0	-11.8	-7.0	-0.5	6.4	8.9	12.2	16.4	-11.7



S3. Ear-Earbud Interface의 거리 & 각도 측정: 착용 예시

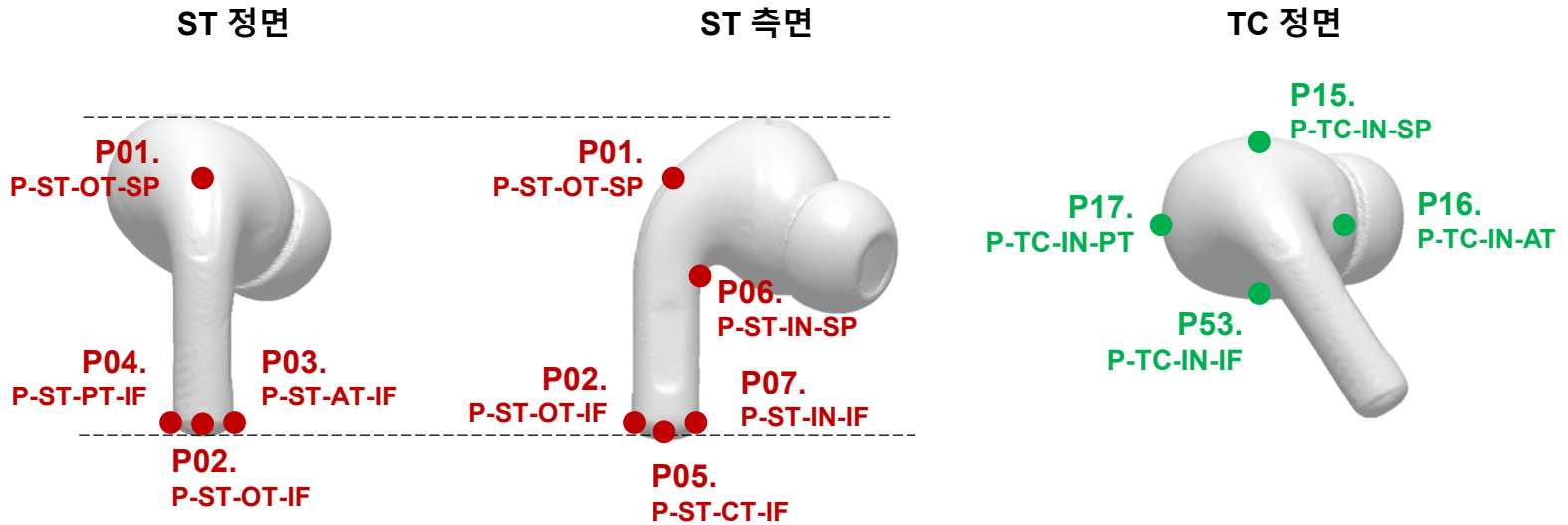
□ 각도 측정 척도 중 변동 큰 척도 측정 예시

	평균	SD	Min	Max	Range	P2.5	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97.5	CV
A15	1.1	9.2	-17.4	21.6	38.9	-14.8	-12.0	-9.1	-6.4	0.2	8.1	10.5	15.4	20.6	8.1



S1. Earbud 기준점 - AirPods Pro2 (1/3)

□ Earbud 설계와 관련한 52개의 earbud 기준점 정의

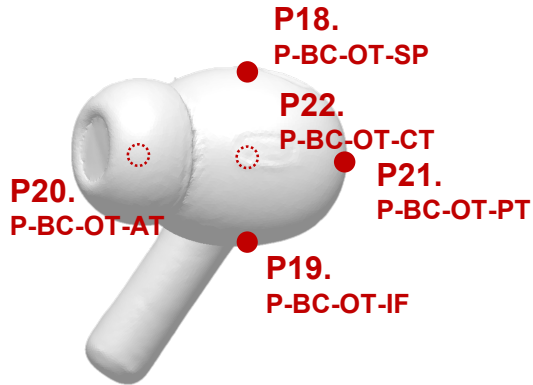


No	Code	기준점 명칭
P01	P-ST-OT-SP	Stem 외측 상측점
P02	P-ST-OT-IF	Stem 외측 하측점
P03	P-ST-AT-IF	Stem 전측 하측점
P04	P-ST-PT-IF	Stem 후측 하측점
P05	P-ST-CT-IF	Stem 중간 하측점
P06	P-ST-IN-SP	Stem 내측 상측점

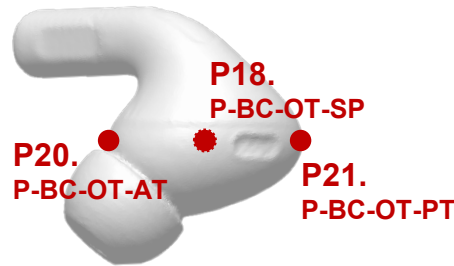
No	Code	기준점 명칭
P07	P-ST-IN-IF	Stem 내측 하측점
P15	P-TC-IN-SP	Top case 내측 상측점
P53	P-TC-IN-IF	Top case 내측 하측점
P16	P-TC-IN-AT	Top case 내측 전측점
P17	P-TC-IN-PT	Top case 내측 후측점

S1. Earbud 기준점 - AirPods Pro2 (2/3)

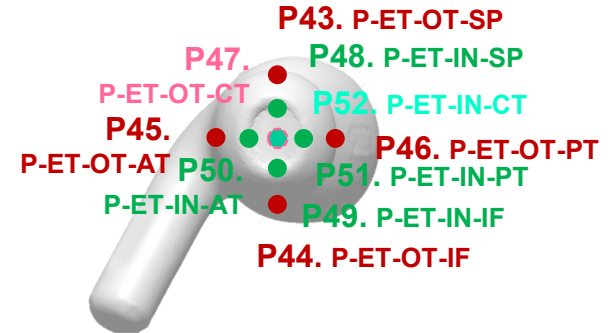
BC 정면



BC 평면



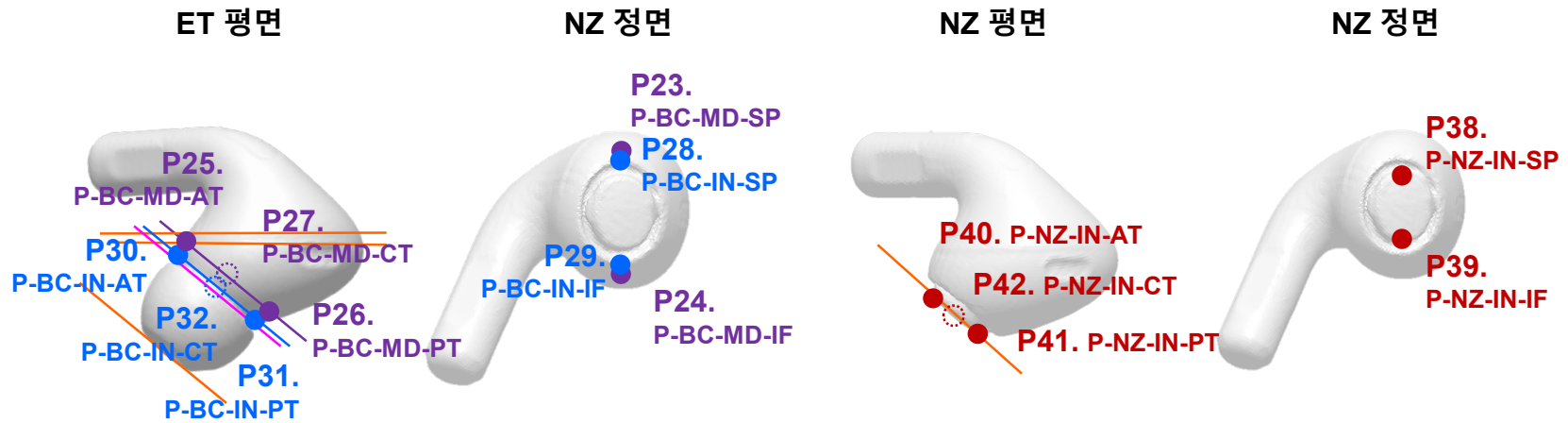
ET 정면



No	Code	기준점 명칭
P18	P-BC-OT-SP	Bottom case 외측 상측점
P19	P-BC-OT-IF	Bottom case 외측 하측점
P20	P-BC-OT-AT	Bottom case 외측 전측점
P21	P-BC-OT-PT	Bottom case 외측 후측점
P22	P-BC-OT-CT	Bottom case 외측 중심점
P43	P-ET-OT-SP	Ear-tip 외측 상측점
P44	P-ET-OT-IF	Ear-tip 외측 하측점
P45	P-ET-OT-AT	Ear-tip 외측 전측점

No	Code	기준점 명칭
P46	P-ET-OT-PT	Ear-tip 외측 후측점
P47	P-ET-OT-CT	Ear-tip 외측 중심점
P48	P-ET-IN-SP	Ear-tip 내측 상측점
P49	P-ET-IN-IF	Ear-tip 내측 하측점
P50	P-ET-IN-AT	Ear-tip 내측 전측점
P51	P-ET-IN-PT	Ear-tip 내측 후측점
P52	P-ET-IN-CT	Ear-tip 내측 중심점

S1. Earbud 기준점 - AirPods Pro2 (3/3)

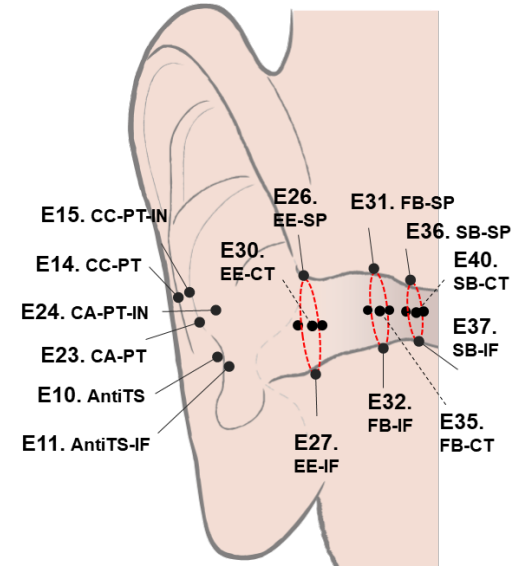
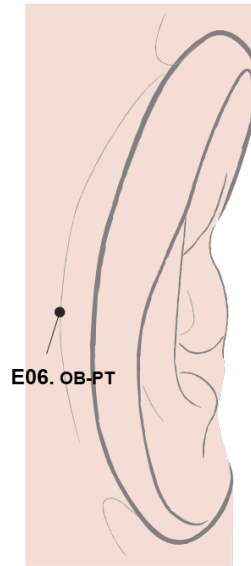
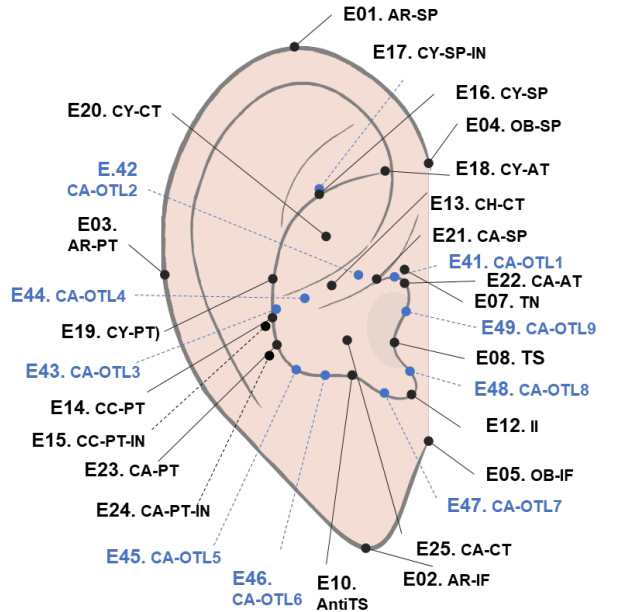


No	Code	기준점 명칭
P23	P-BC-MD-SP	Bottom case 중간 상측점
P24	P-BC-MD-IF	Bottom case 중간 하측점
P25	P-BC-MD-AT	Bottom case 중간 전측점
P26	P-BC-MD-PT	Bottom case 중간 후측점
P27	P-BC-MD-CT	Bottom case 중간 중심점
P28	P-BC-IN-SP	Bottom case 내측 상측점
P29	P-BC-IN-IF	Bottom case 내측 하측점
P30	P-BC-IN-AT	Bottom case 내측 전측점

No	Code	기준점 명칭
P31	P-BC-IN-PT	Bottom case 내측 후측점
P32	P-BC-IN-CT	Bottom case 내측 중심점
P38	P-NZ-IN-SP	Nozzle 내측 상측점
P39	P-NZ-IN-IF	Nozzle 내측 하측점
P40	P-NZ-IN-AT	Nozzle 내측 전측점
P41	P-NZ-IN-PT	Nozzle 내측 후측점
P42	P-NZ-IN-CT	Nozzle 내측 중심점

S1. Ear 기준점 (1/4)

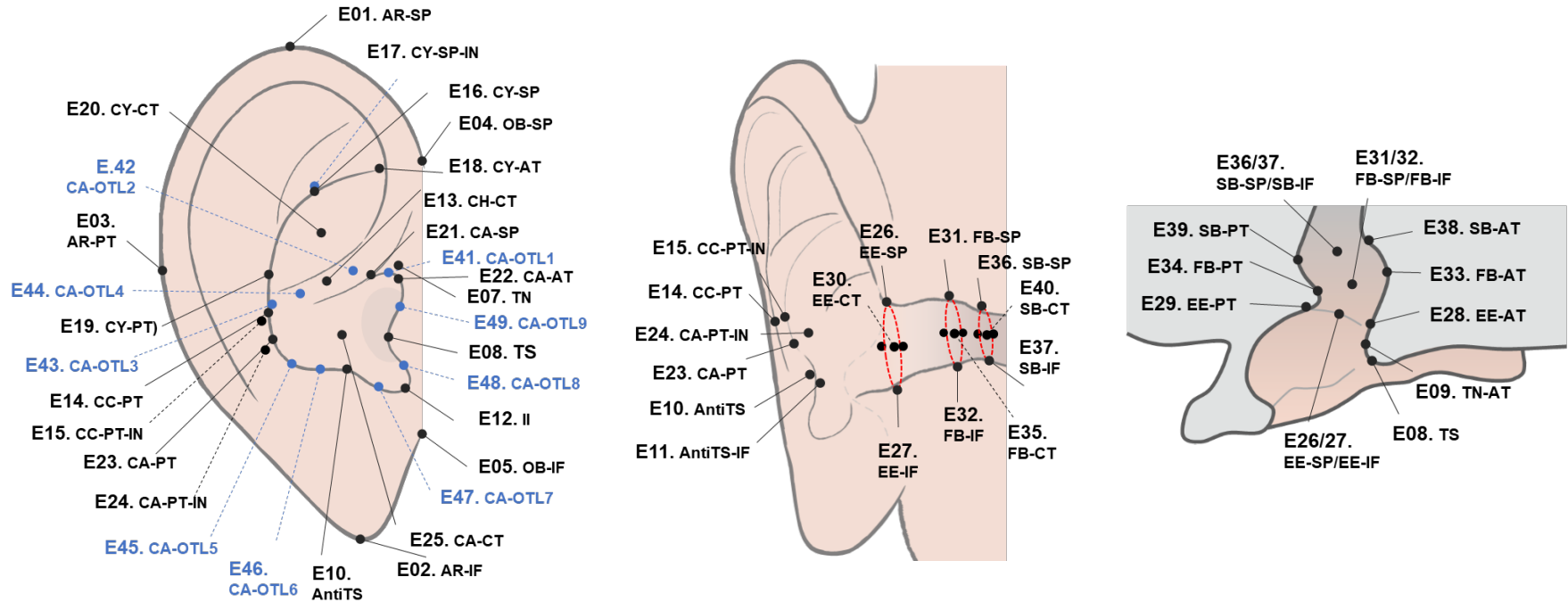
□ Earbud 착용 및 설계 관련 ear geometry 분석을 위해 **50개**의 ear 기준점 정의



No	구분	Code	기준점 명칭
E01	Overall	AR-SP	Superior auricle
E02		AR-IF	Inferior auricle
E03		AR-PT	Posterior auricle
E04		OB-SP	Otobasion superius
E05		OB-IF	Otobasion inferius
E06		OB-PT	Otobasion posterius
E07	Tragus	TN	Tragion

No	구분	Code	기준점 명칭
E08	Tragus	TS	Tragus
E09		TN-TS	Anterior tragus
E10		AntiTS	Anti-tragus
E11		AntiTS-IF	Inferior anti-tragus
E12		II	Incisura intertragica
E13	Concha	CH-CT	Mid crus helix
E14		CC-PT	Posterior concha (@ anti-helix level)

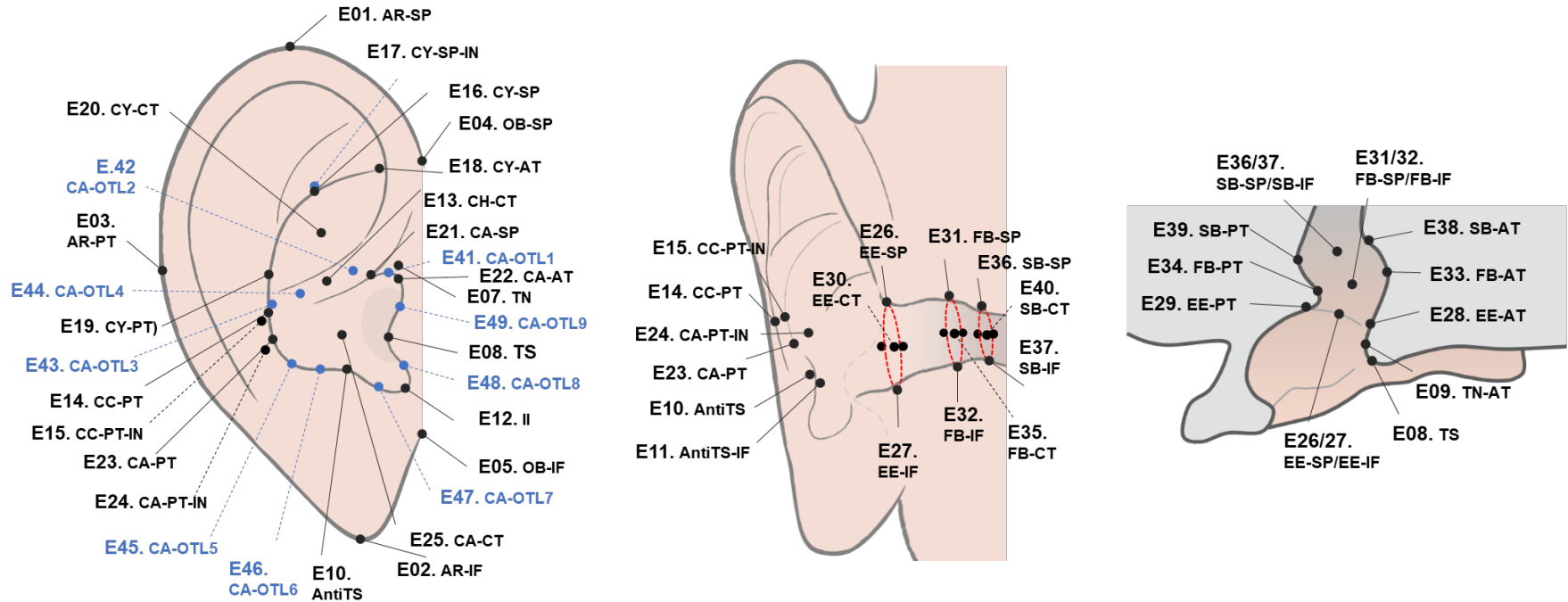
S1. Ear 기준점 (2/4)



No	구분	Code	기준점 명칭
E15	Concha	CC-PT-IN	Inner posterior concha
E16		CY-SP	Superior cymba concha (@ anti-helix level)
E17		CY-SP-IN	Inner superior cymba concha
E18		CY-AT	Anterior cymba concha
E19		CY-PT	Posterior cymba concha (@ anti-helix level)
E20		CY-CT	Medial cymba concha
E21		CA-SP	Superior cavum concha

No	구분	Code	기준점 명칭
E22	Concha	CA-AT	Anterior cavum concha
E23		CA-PT	Posterior cavum concha (@ anti-helix level)
E24		CA-PT-IN	Inner posterior cavum concha
E25		CA-CT	Medial cavum concha
E50		CA-IF	Inferior cavum concha
E26	Canal	EE-SP	Superior ear-canal entrance
E27		EE-IF	Inferior ear-canal entrance
E28		EE-AT	Anterior ear-canal entrance

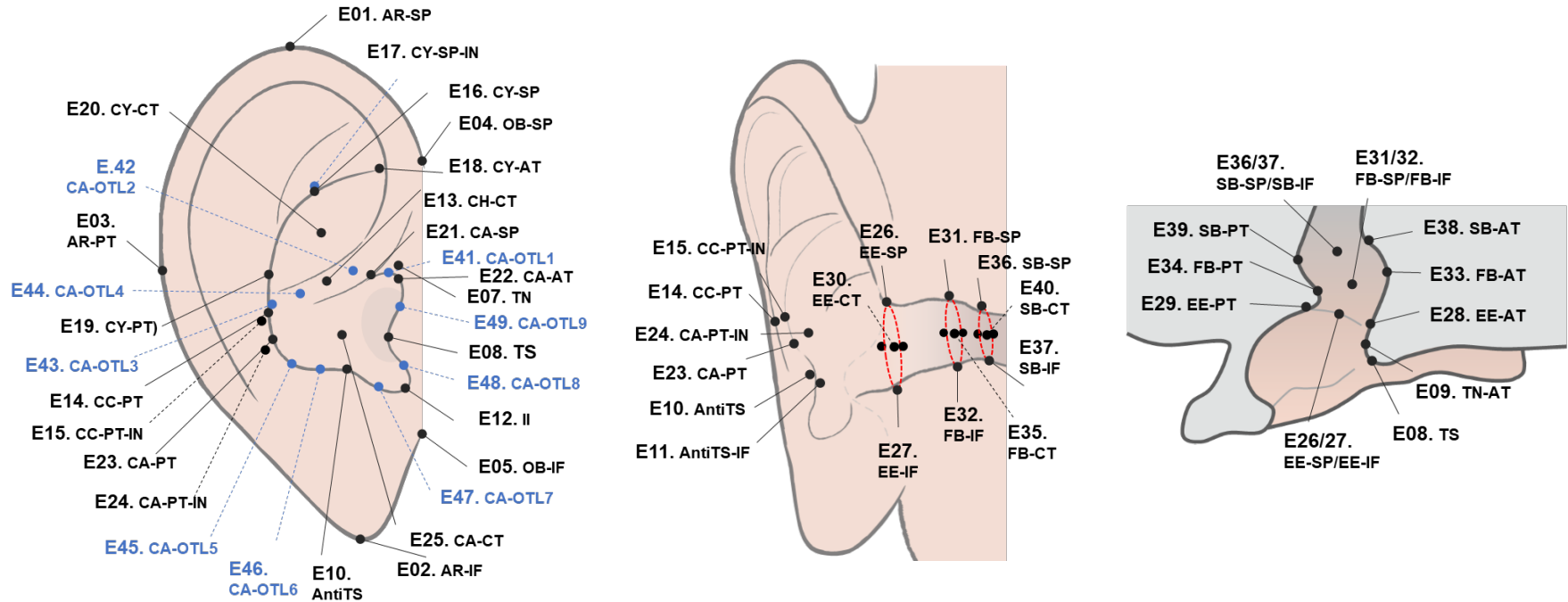
S1. Ear 기준점 (3/4)



No	구분	Code	기준점 명칭
E29	Canal	EE-PT	Posterior ear-canal entrance
E30		EE-CT	Center of ear-canal entrance
E31		FB-SP	Superior 1st bend
E32		FB-IF	Inferior 1st bend
E33		FB-AT	Anterior 1st bend
E34		FB-PT	Posterior 1st bend
E35		FB-CT	Center of 1st bend

No	구분	Code	기준점 명칭
E36	Canal	SB-SP	Superior 2nd bend
E37		SB-IF	Inferior 2nd bend
E38		SB-AT	Anterior 2nd bend
E39		SB-PT	Posterior 2nd bend
E40		SB-CT	Center of 2nd bend

S1. Ear 기준점 (4/4)



No	구분	Code	기준점 명칭
E41	Concha	CA-OTL1	Incisura anterior auriculae
E42		CA-OTL2	The middle point between "incisura anterior auriculae" and "mid crus helix at crus helix level"
E43		CA-OTL3	Crus concha interaction
E44		CA-OTL4	The middle point between "crus concha interaction" and "mid crus helix"

No	구분	Code	기준점 명칭
E45	Concha	CA-OTL5	The strongest anti-helical curvature
E46		CA-OTL6	The middle point between "the strongest anti-helical curvature" and "anti-tragus"
E47		CA-OTL7	The middle point between "anti-tragus" and "incisura intertragica"
E48		CA-OTL8	The lowest point on the lower border of tragus
E49		CA-OTL9	The highest point on the higher border of tragus