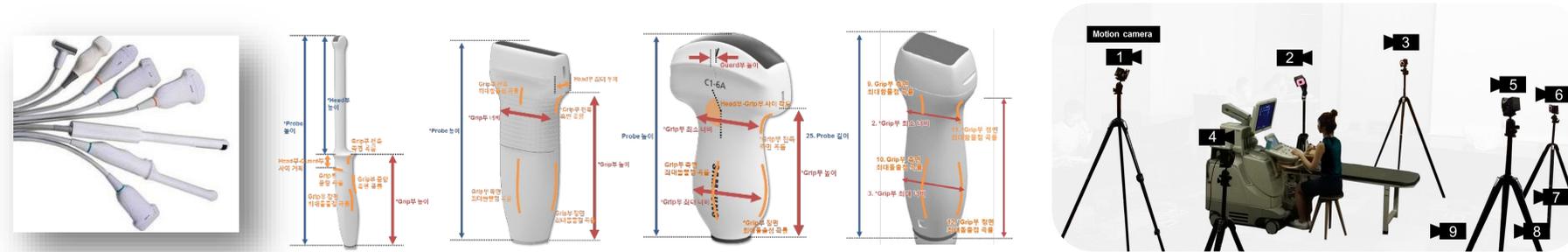


초음파 Probe의 인간공학적 설계 및 평가



유희천¹, 이나현¹, 문수진¹, 정하영¹,
전은진¹, 양샤오핑¹, 이승주², 문준필², 하길수²

1 포항공과대학교 산업경영공학과
인간공학설계기술 연구실
2 삼성메디슨 디자인 그룹

- I. 연구 개요
 - ✓ 연구 필요성
 - ✓ 연구 목적 및 연구 대상
- II. Probe의 인간공학적 설계 및 평가
 - S1. 사용 작업 분석
 - S2. 사용자 요구 사항 분석
 - S3. Probe 설계 특성 분석
 - S4. 설계 제원 Benchmarking
 - S5. 주관적 만족도 평가
 - S6. Probe 크기 및 형상 최적 설계
 - Benchmarking 기반 설계
 - Hand Data 기반 설계
 - S7. 최적 설계 검증 평가 및 분석
- III. Probe 설계 Guideline
- IV. Q & A

I. 연구 개요

- 초음파 scan 시 검사자들 중 90.4%가 **어깨(74.6%), 목(65.8%), 손목(49.7%) 등에 통증을 겪으며, 이 중 48%는 근골격계질환(WMSDs) 진단을 받음**(Evans et al., 2009)
- 유해 요인으로는 정적이고 부적절한 자세, 장시간 동안 지속적인 힘 사용, 부적절한 사용 환경 등이 있음 (DHHS, 2006).
- ⇒ 초음파 작업 시 **신체 부하에 대한 정량적 분석 연구 필요**
- ⇒ 사용 comfort 및 조작성 향상을 위한 probe의 **PUI 설계에 대한 인간공학적 연구 필요**

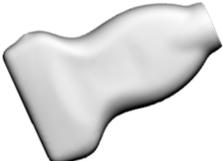
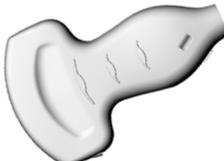
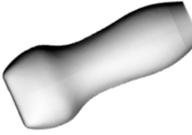
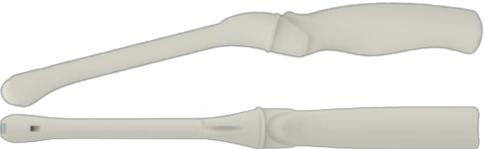


- Evans et al. (2009). Work-related musculoskeletal disorders among registered diagnostic medical sonographers and vascular technologists: A representative sample. *Journal of Diagnostic Medical Society*, 25, 287-299.
- DHHS (2006). Preventing work-related musculoskeletal disorders in sonography. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health.

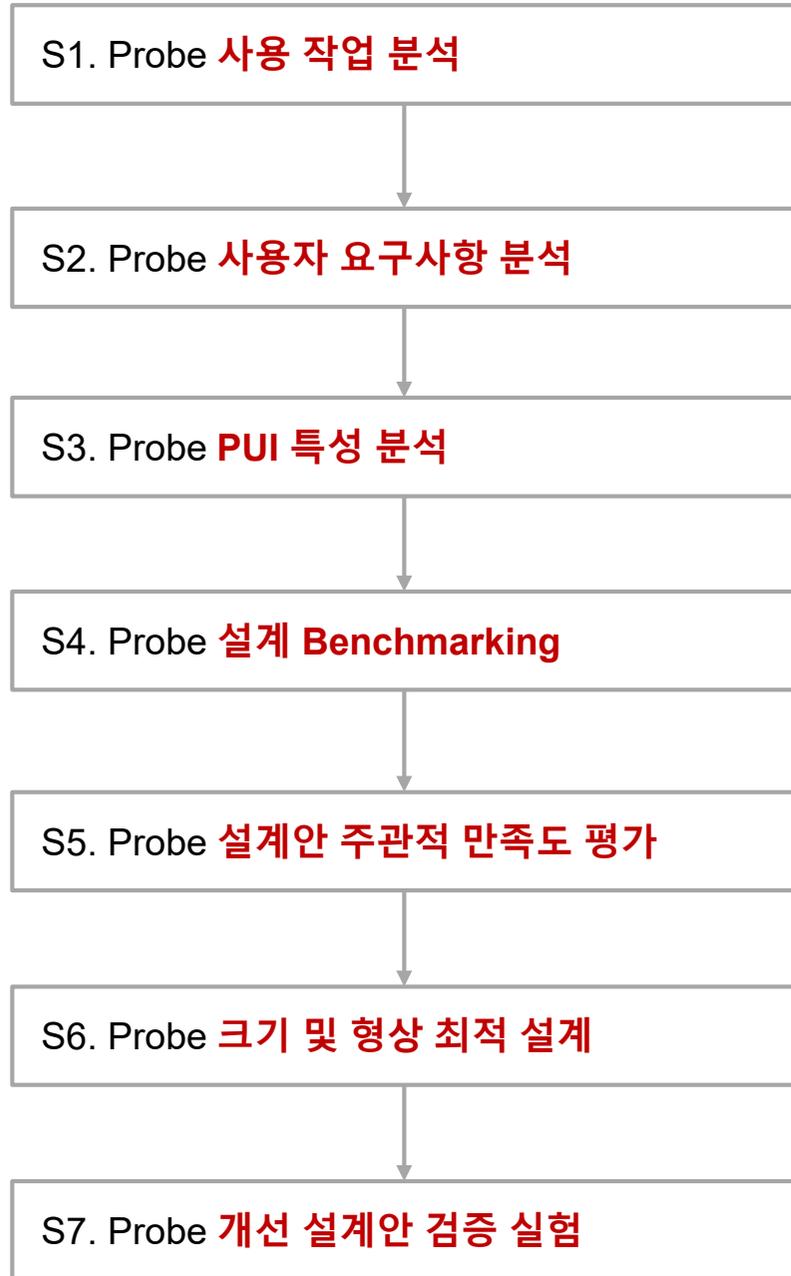
초음파 Probe의 인간공학적 최적 설계 및 검증, Stress 정량화 Protocol 개발

1. Vaginal, Linear, Convex, Phased Array **probe의 인간공학적 최적 설계 및 검증**: 사용
작업 분석, 사용자 needs 분석, PUI(physical user interface) 설계 특성 분석, 디자인
benchmarking, 인체측정학적 분석, 최적 설계, 인간공학적 검증
2. Probe **사용 작업 stress 정량화 protocol 개발**: Probe의 신체적 stress 정량적
평가(**주관적 방법 및 객관적 방법**) 최적 protocol 개발

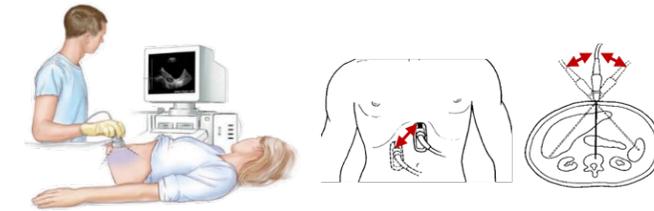
□ 총 4개 유형 probe, 17종 모델에 대해 심층 분석

제조사	Vaginal (5종)	제조사	Linear (5종)	Convex (4종)	Phased Array (3종)
SM 구형		SM	 L3-12A 50mm	 CA1-7A	 PA1-5A
SM 개발안		GE	 ML6-15D	 C1-6D	 M5Sc
GE-Straight		PL-1	 L12-5 50mm	 C5-1	 S5-1
GE-Curved		PL-2	 IV22	-	-
PL		TB	 Aplio500	 Aplio500	-

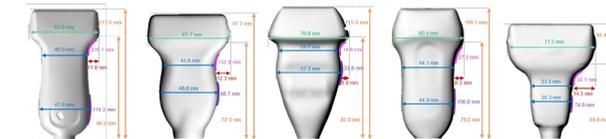
II. Probe 최적 설계 및 평가



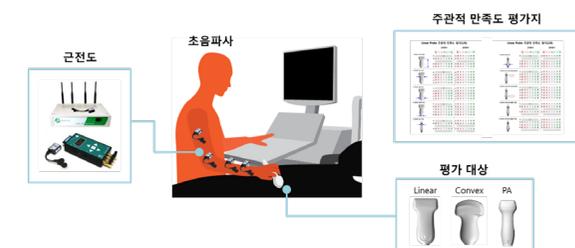
- S1. Probe 사용 작업 분석**
 - 환자 및 초음파사 검진 자세 분석
 - Probe 사용 용도 및 조작 동작 분석
- S2. Probe 사용자 요구사항 분석**
 - 초음파사, 의사 Interview
 - 사용자 needs 파악
- S3. Probe PUI 특성 분석**
 - 설계 인자 분석
 - 인체측정학적 인자, 역학적 인자, 감성 인자 분류
- S4. Probe 설계 Benchmarking**
 - Probe CAD 분석 및 3D scanning
 - 삼성 메디슨 및 경쟁사 제품 설계 제원 비교
- S5. Probe 설계안 주관적 만족도 평가**
 - 주관적 만족도 평가지 작성
 - 평가 결과 분석
 - 선호 설계안 선정
- S6. Probe 크기 및 형상 최적 설계**
 - 크기: 손 크기 인체측정 분석 기반
 - 형상: 선호 grip 자세 및 조작 동작 분석 기반
- S7. Probe 개선 설계안 검증 실험**
 - 실험 계획 (실험 인자, 인자수준, 종속변수)
 - 실험 환경 조성
 - 실험 참여자 모집
 - 인간공학적인 평가 실험 및 분석
 - 선호 설계 특성 파악
 - 설계안 신체적 stress 저감 검증



설문 사항 List	답변
연구 목적	Probe 사용자 요구 사항 분석
연구 방법	Probe 사용자 인터뷰, 설문 조사
Probe 조작 동작	Probe 조작 동작 분석, 사용자 요구 사항 분석
Probe 조작 용	Probe 조작 용도 분석



Linear Probe 주관적 만족도 평가지	Convex Probe 주관적 만족도 평가지
1. Probe 무게	1. Probe 무게
2. Probe 길이	2. Probe 길이
3. Probe 굵기	3. Probe 굵기
4. Probe 버튼 위치	4. Probe 버튼 위치
5. Probe 버튼 크기	5. Probe 버튼 크기
6. Probe 버튼 모양	6. Probe 버튼 모양
7. Probe 버튼 색상	7. Probe 버튼 색상
8. Probe 버튼 질감	8. Probe 버튼 질감
9. Probe 버튼 소리	9. Probe 버튼 소리
10. Probe 버튼 반응 속도	10. Probe 버튼 반응 속도
11. Probe 버튼 반응 정확도	11. Probe 버튼 반응 정확도
12. Probe 버튼 반응 지연	12. Probe 버튼 반응 지연
13. Probe 버튼 반응 안정성	13. Probe 버튼 반응 안정성
14. Probe 버튼 반응 편의성	14. Probe 버튼 반응 편의성
15. Probe 버튼 반응 직관성	15. Probe 버튼 반응 직관성
16. Probe 버튼 반응 학습 용이성	16. Probe 버튼 반응 학습 용이성
17. Probe 버튼 반응 신뢰성	17. Probe 버튼 반응 신뢰성
18. Probe 버튼 반응 만족도	18. Probe 버튼 반응 만족도
19. Probe 버튼 반응 선호도	19. Probe 버튼 반응 선호도
20. Probe 버튼 반응 사용 용이성	20. Probe 버튼 반응 사용 용이성
21. Probe 버튼 반응 사용 효율성	21. Probe 버튼 반응 사용 효율성
22. Probe 버튼 반응 사용 안전성	22. Probe 버튼 반응 사용 안전성
23. Probe 버튼 반응 사용 편의성	23. Probe 버튼 반응 사용 편의성
24. Probe 버튼 반응 사용 직관성	24. Probe 버튼 반응 사용 직관성
25. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	25. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
26. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	26. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
27. Probe 버튼 반응 사용 만족도	27. Probe 버튼 반응 사용 만족도
28. Probe 버튼 반응 사용 선호도	28. Probe 버튼 반응 사용 선호도
29. Probe 버튼 반응 사용 용이성	29. Probe 버튼 반응 사용 용이성
30. Probe 버튼 반응 사용 효율성	30. Probe 버튼 반응 사용 효율성
31. Probe 버튼 반응 사용 안전성	31. Probe 버튼 반응 사용 안전성
32. Probe 버튼 반응 사용 편의성	32. Probe 버튼 반응 사용 편의성
33. Probe 버튼 반응 사용 직관성	33. Probe 버튼 반응 사용 직관성
34. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	34. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
35. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	35. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
36. Probe 버튼 반응 사용 만족도	36. Probe 버튼 반응 사용 만족도
37. Probe 버튼 반응 사용 선호도	37. Probe 버튼 반응 사용 선호도
38. Probe 버튼 반응 사용 용이성	38. Probe 버튼 반응 사용 용이성
39. Probe 버튼 반응 사용 효율성	39. Probe 버튼 반응 사용 효율성
40. Probe 버튼 반응 사용 안전성	40. Probe 버튼 반응 사용 안전성
41. Probe 버튼 반응 사용 편의성	41. Probe 버튼 반응 사용 편의성
42. Probe 버튼 반응 사용 직관성	42. Probe 버튼 반응 사용 직관성
43. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	43. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
44. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	44. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
45. Probe 버튼 반응 사용 만족도	45. Probe 버튼 반응 사용 만족도
46. Probe 버튼 반응 사용 선호도	46. Probe 버튼 반응 사용 선호도
47. Probe 버튼 반응 사용 용이성	47. Probe 버튼 반응 사용 용이성
48. Probe 버튼 반응 사용 효율성	48. Probe 버튼 반응 사용 효율성
49. Probe 버튼 반응 사용 안전성	49. Probe 버튼 반응 사용 안전성
50. Probe 버튼 반응 사용 편의성	50. Probe 버튼 반응 사용 편의성
51. Probe 버튼 반응 사용 직관성	51. Probe 버튼 반응 사용 직관성
52. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	52. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
53. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	53. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
54. Probe 버튼 반응 사용 만족도	54. Probe 버튼 반응 사용 만족도
55. Probe 버튼 반응 사용 선호도	55. Probe 버튼 반응 사용 선호도
56. Probe 버튼 반응 사용 용이성	56. Probe 버튼 반응 사용 용이성
57. Probe 버튼 반응 사용 효율성	57. Probe 버튼 반응 사용 효율성
58. Probe 버튼 반응 사용 안전성	58. Probe 버튼 반응 사용 안전성
59. Probe 버튼 반응 사용 편의성	59. Probe 버튼 반응 사용 편의성
60. Probe 버튼 반응 사용 직관성	60. Probe 버튼 반응 사용 직관성
61. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	61. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
62. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	62. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
63. Probe 버튼 반응 사용 만족도	63. Probe 버튼 반응 사용 만족도
64. Probe 버튼 반응 사용 선호도	64. Probe 버튼 반응 사용 선호도
65. Probe 버튼 반응 사용 용이성	65. Probe 버튼 반응 사용 용이성
66. Probe 버튼 반응 사용 효율성	66. Probe 버튼 반응 사용 효율성
67. Probe 버튼 반응 사용 안전성	67. Probe 버튼 반응 사용 안전성
68. Probe 버튼 반응 사용 편의성	68. Probe 버튼 반응 사용 편의성
69. Probe 버튼 반응 사용 직관성	69. Probe 버튼 반응 사용 직관성
70. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	70. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
71. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	71. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
72. Probe 버튼 반응 사용 만족도	72. Probe 버튼 반응 사용 만족도
73. Probe 버튼 반응 사용 선호도	73. Probe 버튼 반응 사용 선호도
74. Probe 버튼 반응 사용 용이성	74. Probe 버튼 반응 사용 용이성
75. Probe 버튼 반응 사용 효율성	75. Probe 버튼 반응 사용 효율성
76. Probe 버튼 반응 사용 안전성	76. Probe 버튼 반응 사용 안전성
77. Probe 버튼 반응 사용 편의성	77. Probe 버튼 반응 사용 편의성
78. Probe 버튼 반응 사용 직관성	78. Probe 버튼 반응 사용 직관성
79. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	79. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
80. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	80. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
81. Probe 버튼 반응 사용 만족도	81. Probe 버튼 반응 사용 만족도
82. Probe 버튼 반응 사용 선호도	82. Probe 버튼 반응 사용 선호도
83. Probe 버튼 반응 사용 용이성	83. Probe 버튼 반응 사용 용이성
84. Probe 버튼 반응 사용 효율성	84. Probe 버튼 반응 사용 효율성
85. Probe 버튼 반응 사용 안전성	85. Probe 버튼 반응 사용 안전성
86. Probe 버튼 반응 사용 편의성	86. Probe 버튼 반응 사용 편의성
87. Probe 버튼 반응 사용 직관성	87. Probe 버튼 반응 사용 직관성
88. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	88. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
89. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	89. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
90. Probe 버튼 반응 사용 만족도	90. Probe 버튼 반응 사용 만족도
91. Probe 버튼 반응 사용 선호도	91. Probe 버튼 반응 사용 선호도
92. Probe 버튼 반응 사용 용이성	92. Probe 버튼 반응 사용 용이성
93. Probe 버튼 반응 사용 효율성	93. Probe 버튼 반응 사용 효율성
94. Probe 버튼 반응 사용 안전성	94. Probe 버튼 반응 사용 안전성
95. Probe 버튼 반응 사용 편의성	95. Probe 버튼 반응 사용 편의성
96. Probe 버튼 반응 사용 직관성	96. Probe 버튼 반응 사용 직관성
97. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성	97. Probe 버튼 반응 사용 학습 용이성
98. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성	98. Probe 버튼 반응 사용 신뢰성
99. Probe 버튼 반응 사용 만족도	99. Probe 버튼 반응 사용 만족도
100. Probe 버튼 반응 사용 선호도	100. Probe 버튼 반응 사용 선호도



□ 연구 대상 probe들에 대한 사용 용도, 조작 동작, grip 유형 조사

사용 용도

	Vaginal	Linear	Convex	Phased array
주 사용	자궁 scan 	유방 scan 근골격계 scan 뇌혈관 scan 경동맥 scan 	복부 scan 	심장 scan
부 사용		복부 scan 	유방 scan 혈관 scan 	

조작 동작

	동작
Sliding	
Tilting	
Rotation	
Compression (Push)	
Rocking	

조작 Grip 유형

Power grip 상: 1 finger / 하: 4 fingers	Pinch grip		
	Narrow grip 전: 4 finger / 후: 1 fingers	Wide grip 좌: 4 finger / 우: 1 fingers	Pen grip 좌: 1 finger / 후: 4 fingers
 Vaginal 	 Linear Convex 	 Linear Convex 	 Phased Array

□ **Vaginal probe 사용 의사(n = 3), Linear, Convex, PA 초음파 기사와 의사(n = 5) interview**를 통한 probe 사용성 관련 문제점 및 요구 사항 파악

설문 항목 예시

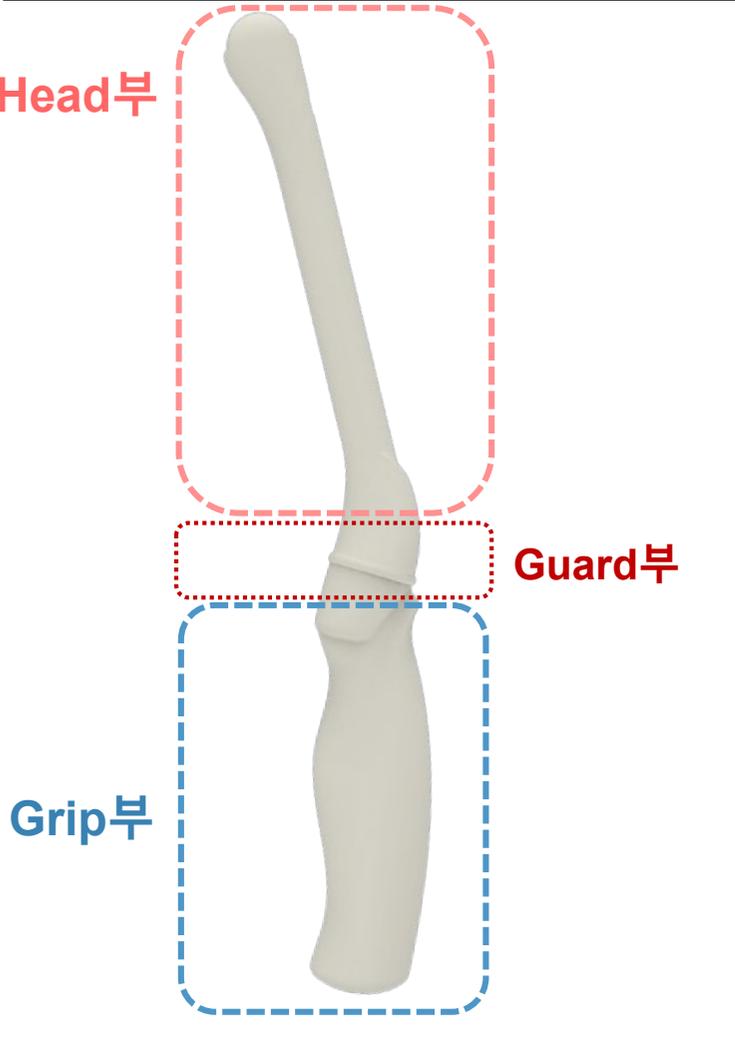
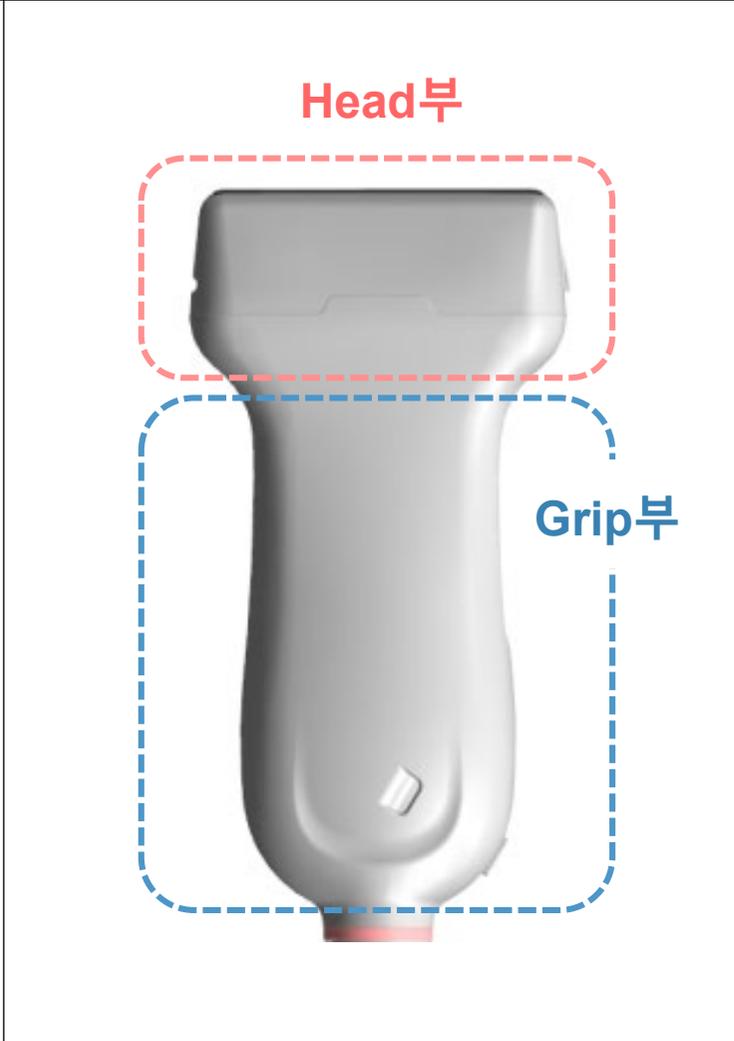
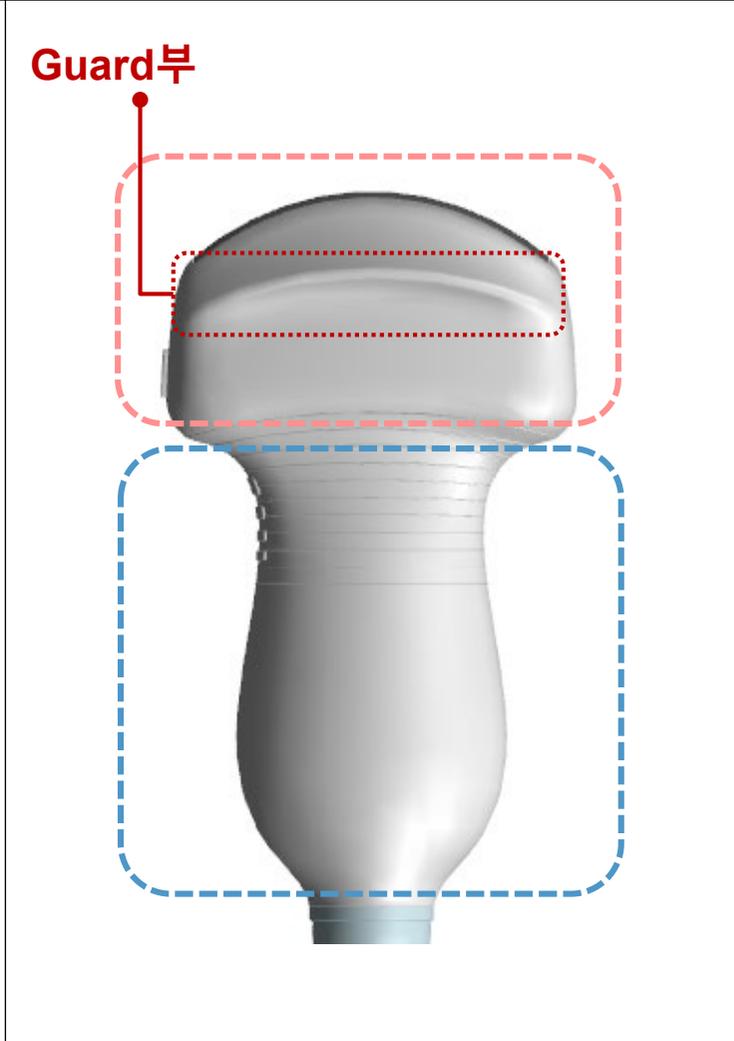
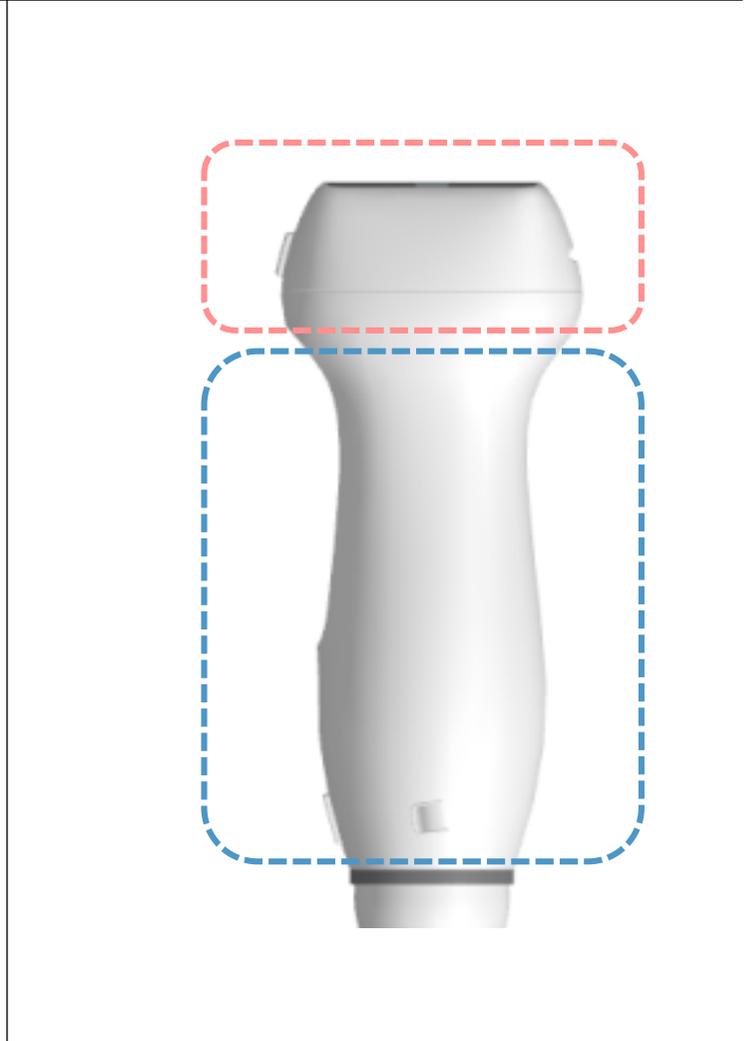
설문 답변 예시

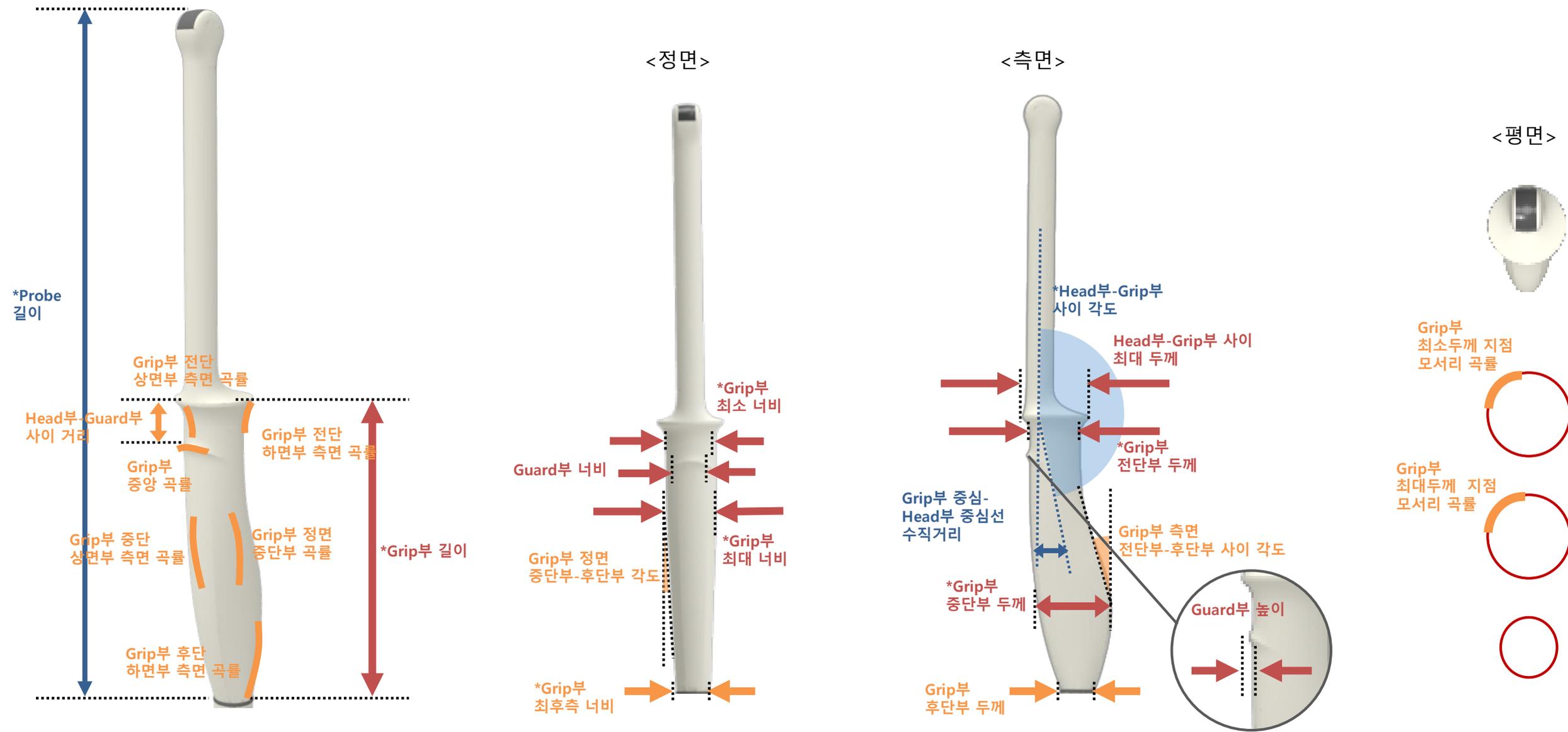
※ 응답자: S병원 초음파 진단의 1명 (혈관, 근골격계, 유방(Linear), 복부(Convex)), 초음파 기사 4명 (경동맥(Linear), 심장(Phased array))

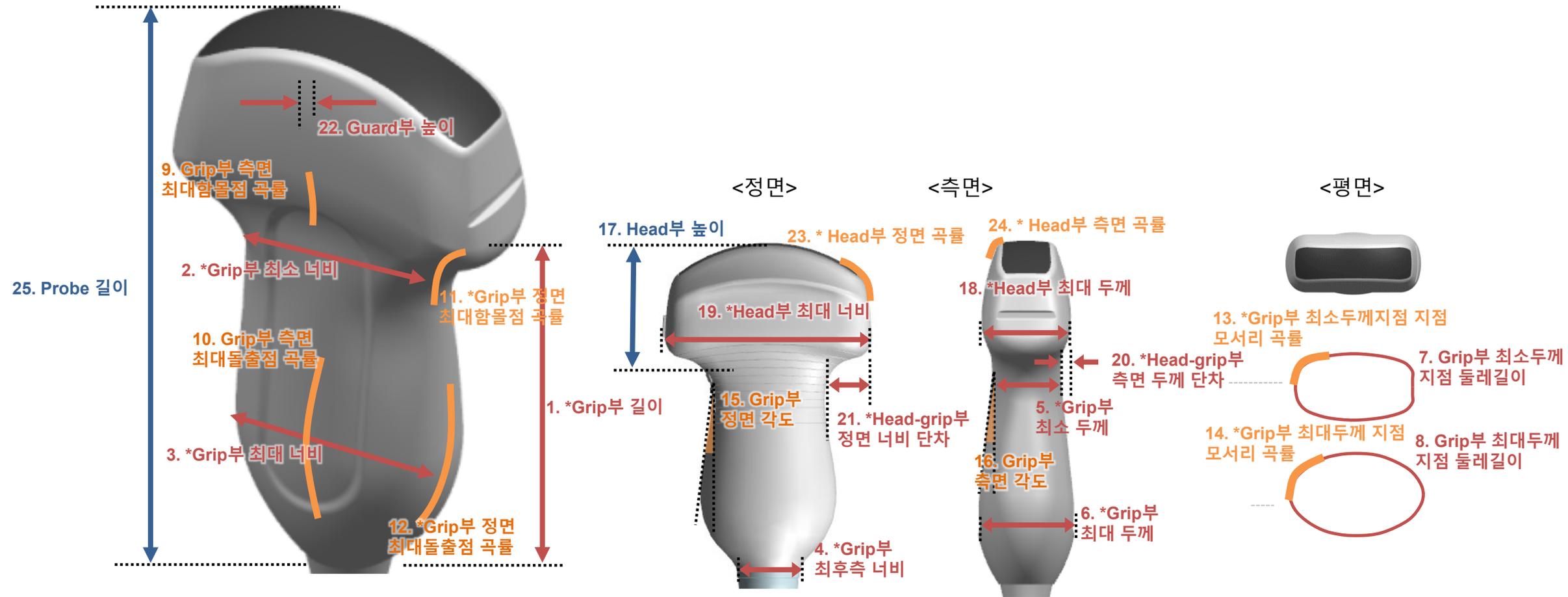
설문 사항 List		답변		
사용 특성	작업 환경	주요 진단과		
		Probe 유형별 사용 경험 brand		
		검사 시 환자 자세		
		Cable support 사용 여부		
	Probe 조작 동작	사용 동작(e.g., sliding, holding, rotating, tilting, rocking)		
		주요 동작(e.g., holding, rotating)		
		신체 부하가 높은 동작		
Probe 조작 힘	사용 힘 정도			
사용성	초음파 스캔 시 불편 사항	불편 신체 부위, 부적절한 자세 등		
	Probe 설계 관련 의견 및 요구 사항	Grip부	길이, 너비, 두께, 곡률	
		Head부	길이, 너비, 두께, 곡률	
			길이, 너비, 두께, 곡률의 중요 정도	
		Guard부	위치, 형상, 크기	
			중요도	
	Direction marker	선호 형태(양각/음각)		
	선호 재질 및 표면	플라스틱: 경질(유광) vs. 경질(무광) vs. 연질		

항목	Linear & Convex	Phased Array	
Probe 유형별 사용 경험 brand	• Philips (선호), GE, Toshiba, SuperSonic	• Philips, GE	
Cable support 	• Cable이 무겁고 작업에 방해가 됨 → 현존 cable support 사용 시 cable이 서로 꼬여 control이 더욱 불편해 짐	• Probe가 가벼워 cable support 사용하지 않음	
신체 부하가 높은 조작 동작 	• 유방, 복부 검사 시 Compression, rocking 동작 (특히 환자의 왼쪽 부위)	• Compression	
불편 신체 부위 	• 어깨, 목, 손목	• 어깨, 목, 손목, 허리	
설계	Grip부 	• 길이↑, 두께↓ • 작은 것 선호	-
	Head부 	• 大: 검사 부위가 많이 보여서 좋음 • 小: 무게가 가볍고 밀착이 좋음 • 무겁지 않은 것 선호	• 곡률이 너무 둥근 형상은 지지가 어려워 비선호
	Guard부 	• 사용 중 미끄러지면 환자 불쾌 및 제품 손상을 초래하므로 중요한 요소가 될 수 있음 • Guard부 유무에 큰 차이를 느끼지는 못하지만 guard부가 있는 것 선호	• Guard부 유무에 큰 차이를 느끼지는 못하지만 guard부가 있는 것 선호
선호 재질 	• 경질(무광)이 기스가 잘 안 나고 좋지만 사용 측면에서는 큰 차이 없음	-	

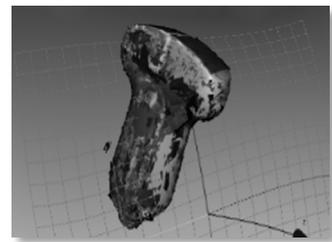
□ Probe를 **grip부(검사자 파지부)**, **head부(환자 신체 접촉부)**, **guard부(힘 지지 및 미끄럼 방지부)**로 구분하여 설계인자 정의

Vaginal (설계인자 24개)	Linear (설계인자 21개)	Convex (설계인자 25개)	Phased Array (설계인자 21개)
			



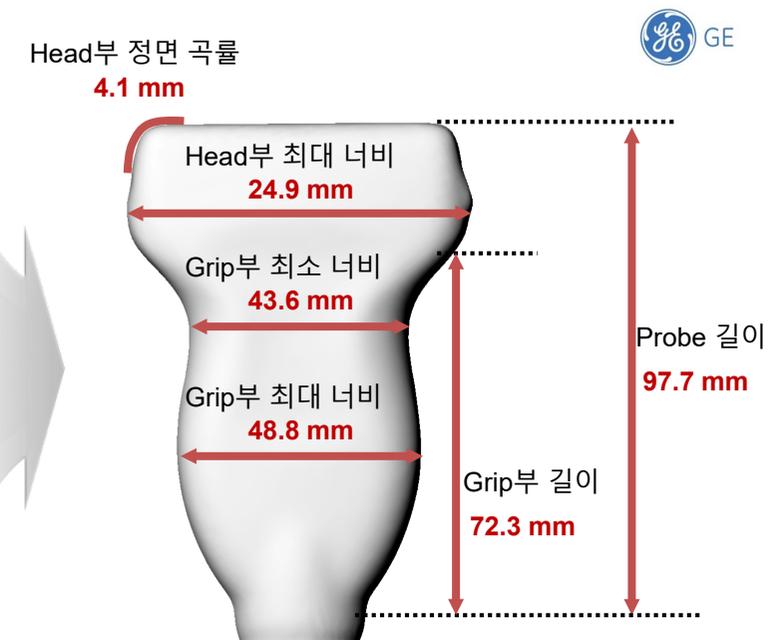


□ 3D scan 및 CAD data 기반으로 probe 설계인자(e.g., 단면 길이, 곡률, 위치, 각도, 조절범위 등)의 설계 제원 측정 및 분석



	삼성메디슨	GE	Philips	Toshiba
Linear				
Convex				
PA				

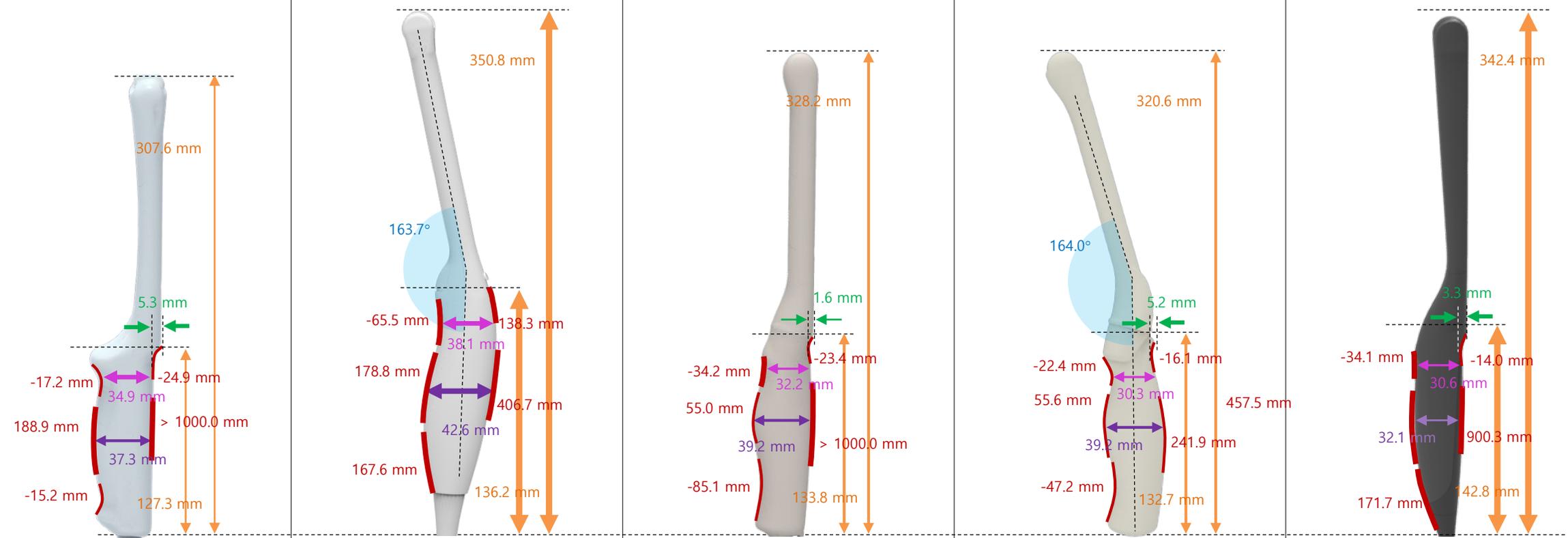
설계 제원 분석 예시



□ 설계 측정치 비교 분석을 통한 vaginal probe 모델별 설계 특성 파악

	단위	PL	SM 구형	GE-Straight	GE-Curved	SM 개발안
전체/Grip부 길이	mm	Short (기준)	Long (+43.2/+8.8)	Medium (+20.6/+6.4)	Medium (+13.0/+5.3)	Long (+34.8/+15.4)
Head부-Grip부 사이 각도	°	Straight (기준)	Curved (-16.3)	Straight	Curved (-16.0)	Straight
Grip부 전단부 두께	mm	Medium (기준)	Thick (+3.2)	Thin (-2.7)	Thin (-4.6)	Thin (-4.3)
Grip부 중단부 두께	mm	Medium (기준)	Thick (+5.3)	Medium (+1.9)	Medium (+1.9)	Thin (-5.2)
Grip부 전단부/ 중단부/후단부 곡률	mm	High 오목/ Medium 볼록/High 오목	Low 오목/Medium 볼록/볼록	Medium 오목/High 볼록/Medium 오목	High 오목/High 볼록/High 오목	Medium 오목/Low 볼록/볼록
Guard부 높이	mm	High (기준)	-	Low (-3.7)	High (0.0)	Medium (-1.9)

Image



- 목적: Probe의 선호 설계 특성 파악
- 실험 참여자: 초음파 기사, 초음파 기기 사용 의사 (V: 7명, L: 7명, C: 6명, P: 6명)
- 평가 방법: 주관적 만족도 설문 평가지 (7점 척도로 절대평가 및 상대평가)

주관적 만족도 평가지

Subject No. _____

성년월일: _____ 초음파기기 사용경력: _____ year
 키: _____ cm 몸무게: _____ kg
 손길이: _____ mm 손너비: _____ mm

Vaginal Probe 주관적 만족도 설문 안내

본 설문은 원형이 다른 vaginal probe 5가지 세트를 대해 주관적 만족도를 평가합니다. 각 세트를 터치 및 4음의 초음파 시의 소리 등기를 위해 부속 후 받기해주십시오. 먼저 각 세트를 1번부터 7번까지 순서대로 사용 후 A 세트를 기준으로 1에서 B, C, D, L 세트를 3번부터 7번까지 순서대로 평가하십시오. 항목에 대해 설명이 필요한 경우 연락주세요.

Vaginal Probe 주관적 만족도 평가(1/6)

항목	상대평가	절대평가
1. Probe 전체 길이 적절성	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
2. Grip부 길이 적절성	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
3. Grip부 손안부 너비 적절성	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
4. Grip부 전면부 두께 적절성	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
5. Grip부 중단부 두께 적절성	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5

Linear Probe 주관적 만족도 평가(1/6)

항목	상대평가	절대평가
1. Grip부 길이 적절성	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
2. Grip부 최소 너비	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
3. Grip부 최대 너비	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
4. Grip부 최후측 너비	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
5. Grip부 최소 두께	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5

Linear Probe 주관적 만족도 평가(2/6)

항목	상대평가	절대평가
6. Grip부 최대 두께	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
7. Grip부 최소 두께 지점 율률감도	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
8. Grip부 최대 두께 지점 율률감도	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
9. Grip부 측면 최대 율률감도	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5
10. Grip부 측면 최대 율률감도	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5	A: 5, B: 5, C: 5, D: 5, E: 5

주관적 만족도 평가 환경



- 각 probe 유형에 대해 **benchmarking(BM) 기반, hand data(HD) 기반 개선 설계안 개발**

Vaginal

Linear

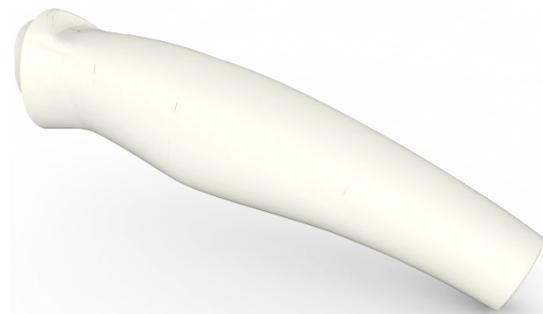
Convex

Phased Array

Benchmarking 기반
개선안 (BM)

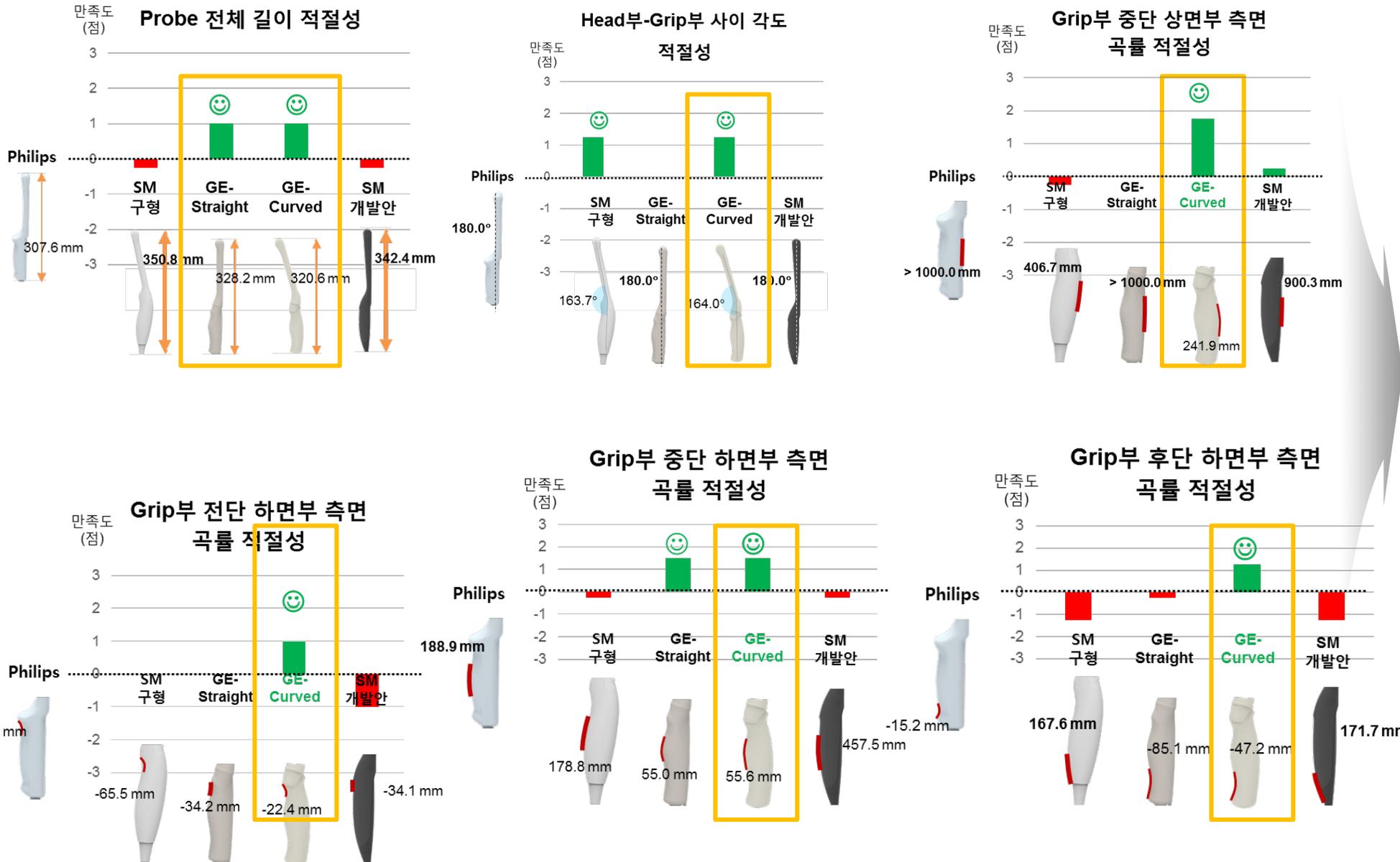


Hand data 기반
개선안 (HD)



□ Vaginal probe 5종에 대한 주관적 평가 결과를 기반으로 선호 설계 특성을 파악하여 기존 SM 설계에 대한 개선 방향 설정

설문결과

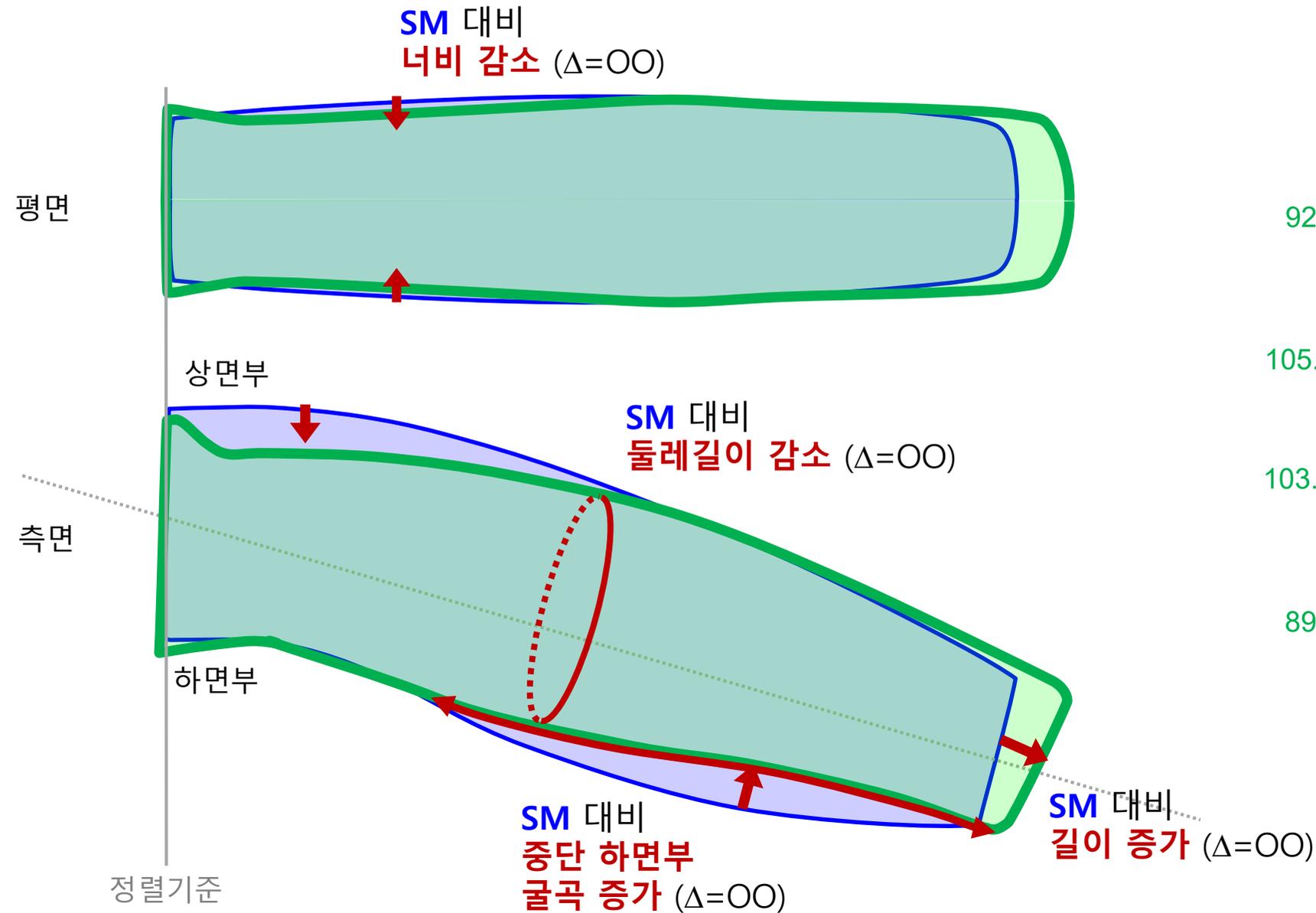


개선방향

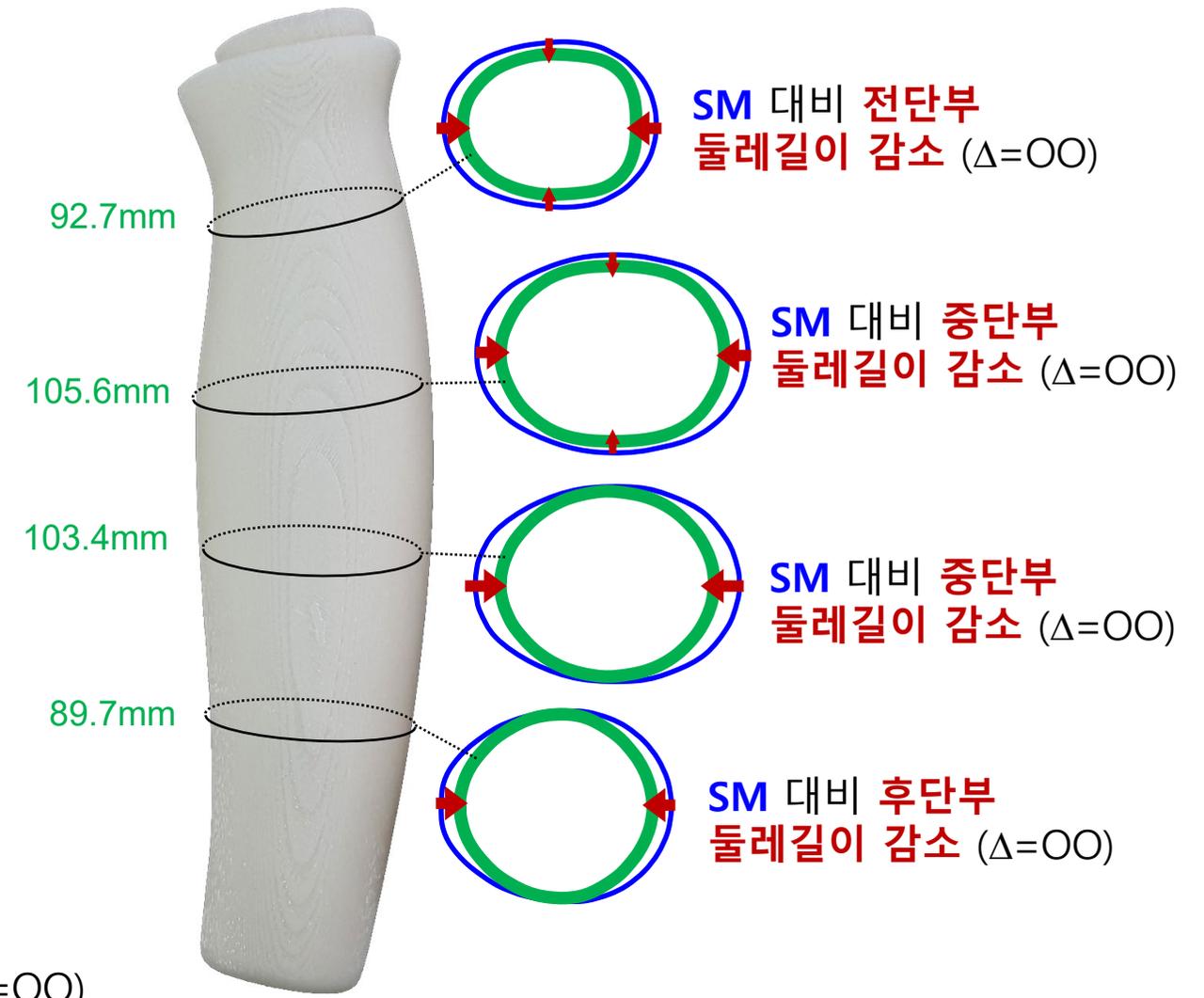
설계 인자	단위	기존 SM	개선 방향
Probe 전체 길이	mm	Long (342.4)	↓ 14.2~21.8 (Medium (320.6~328.2))
Head부-Grip부 사이 각도	mm	Straight (180.0)	↓ 16.2~16.3 (Curved (163.7~164.0))
Grip부 중단 상면부 측면 곡률 적절성	mm	Large (900.3)	↓ 658.4 (Small (241.9))
Grip부 전단 하면부 측면 곡률 적절성	mm	Large (34.1)	↓ 11.7 (Small (22.4))
Grip부 중단 하면부 측면 곡률 적절성	mm	Large (457.5)	↓ 401.9~402.5 (Small (55.0~55.6))
Grip부 후단 하면부 측면 곡률 적절성	mm	Large (171.7)	↓ 218.9 (Small (-47.2))

□ 개선 BM 설계안은 기존 SM에 비해 전반적으로 크기를 감소시키고 중단 하면부의 굴곡을 오목한 방향으로 변경

SM 대비 BM 형상 비교

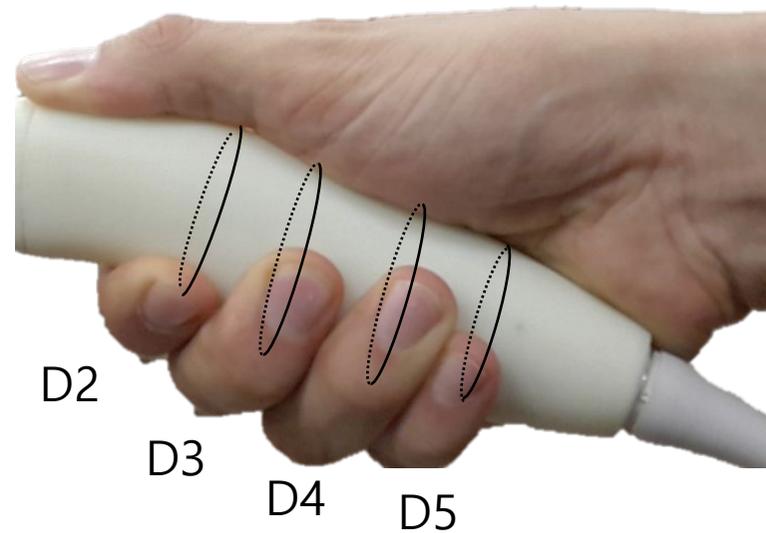


BM 개선안

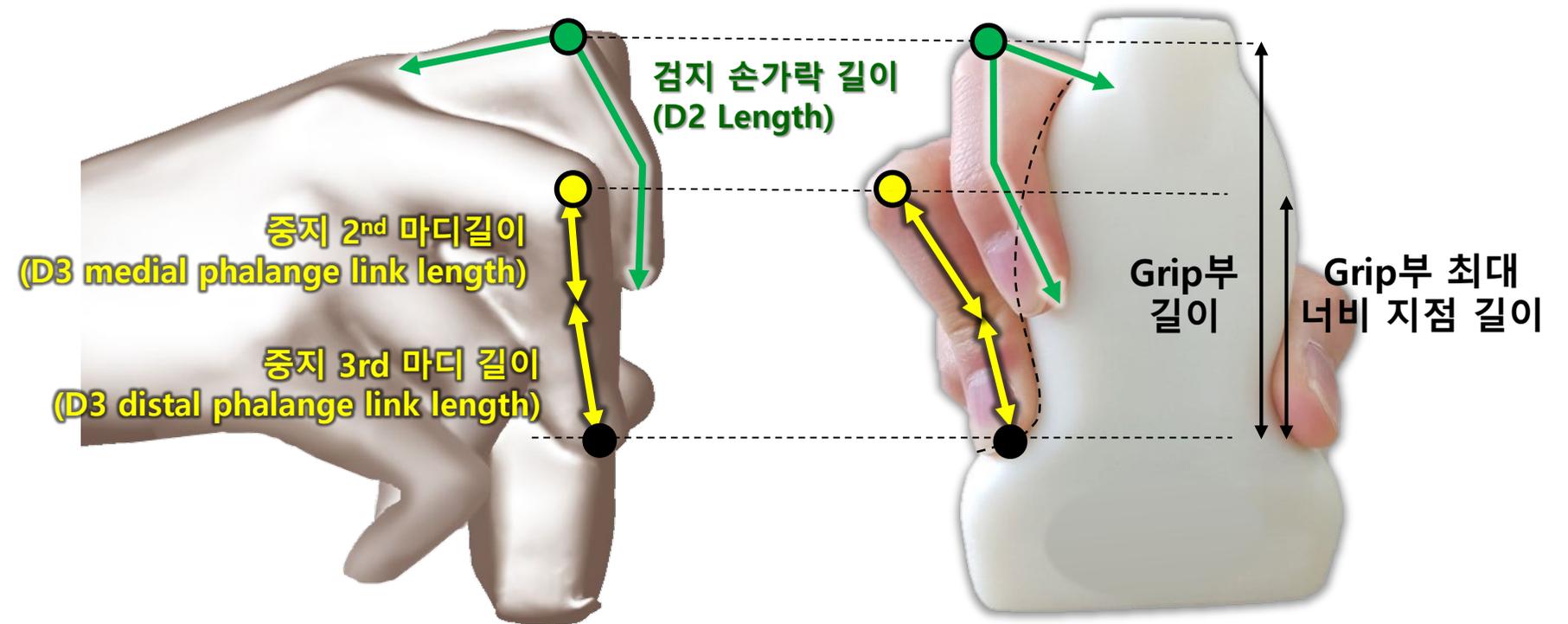


- ❑ **Vaginal** probe: Power grip 자세 시 **연관된 손가락 부위의 hand data**를 고려하여 grip부 전단부, 중단부, 후단부 둘레 결정
- ❑ **Linear/Convex/PA** probes: Pinch grip 시 **선호 자세와 연관된 손가락 부위의 hand data**를 고려하여 grip부 주요 길이 결정

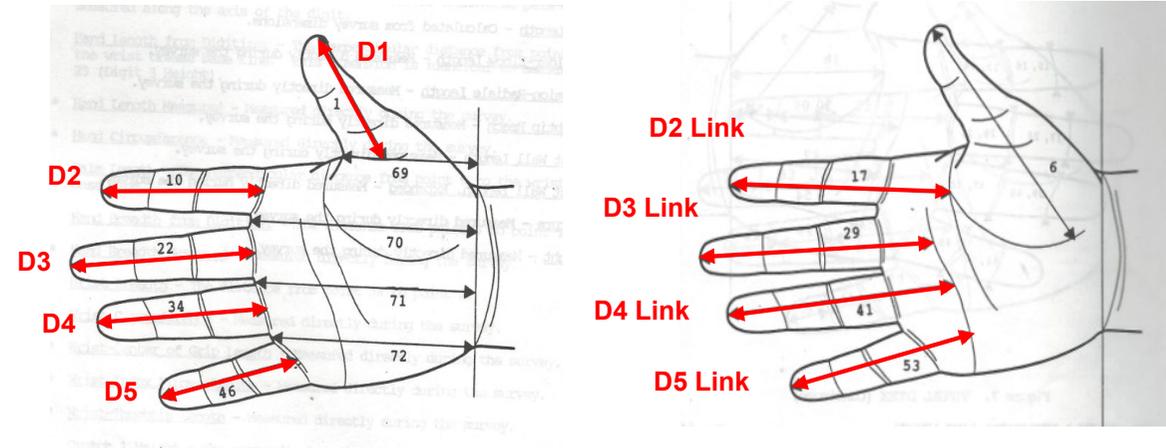
Vaginal probe



Linear/Convex/PA probe



□ 미국인과 한국인의 **hand data** 평균값, 손가락 길이 비율/차이, grip 자세 특성 기반의 선호 grip 둘레 추정식을 개발 및 적용하여 개선안 도출



손가락 길이 비율 적용

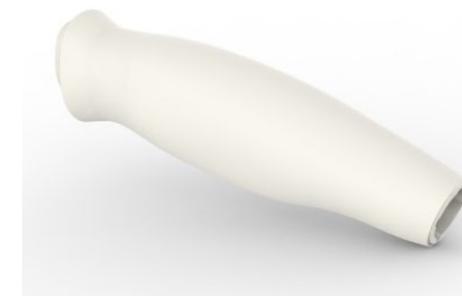


❖ 선호 grip 둘레 추정식

- ✓ 정방향: Deformed-D3 Link + Palm-Touch Link + Clearance
 - ✓ Twist 방향: Deformed-D3 Link + Palm-Touch Link + Clearance + Twist = D3 Link
- | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 60% | 25% | 10% | 5% | 100% |
| × D3 Link |

- 미국인 & 한국인 hand data 평균값
- 손가락 길이 비율/차이
- Grip 자세

손가락 길이 차이 적용



□ 선호된 middle finger point (D3) 둘레(103.7 mm)를 기준으로 손가락 길이 비율 및 차이 data를 적용하여 다른 finger point들(D2, D4, D5)의 grip 둘레 결정

- Length & link length data of D2 to D5
- US Army data & Korean data
- Ratio & difference of finger length

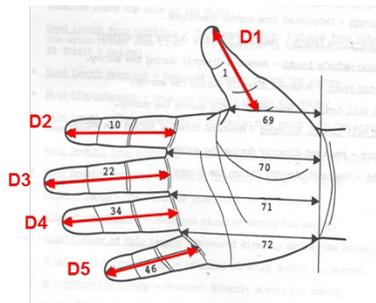
US Army

Korean

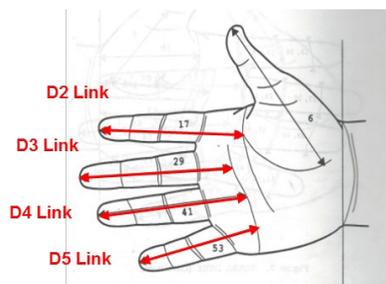
Ratio/Difference

Ratio/Difference

ID	Hand Dimensions	US Army Data (Year 1991)				Handle Size 103.7		Korean Data (Year 2008)					
		`composite (f:m = 1:1)		Ratio to D3	Diff. from D3	Based on Ratio	Based on Diff.	composite (f:m = 1:1)		Ratio to D3	Diff. from D3	Based on Ratio	Based on Diff.
		mean	SD					mean	SD				
59	Hand Length	187.4	9.9					177.3	8.1				
61	Palm Length	105.7	5.9										
63	Hand Breadth	85.0	4.0					81.8	3.9				
1	D1 Length	66.6	4.8					58.8	3.7				
10	D2 Length	72.5	4.8	0.90	-8.1	93.3	95.7	68.6	4.3	0.9	-7.7	93.2	96.0
22	D3 Length	80.5	5.3	1.00	0.0	103.7	103.7	76.3	4.3	1.0	0.0	103.7	103.7
34	D4 Length	75.7	5.1	0.94	-4.8	97.5	98.9	72.0	4.3	0.9	-4.3	97.8	99.4
46	D5 Length	61.5	4.8	0.76	-19.0	79.2	84.7	57.0	4.5	0.7	-19.3	77.5	84.4
12	D2 Tip to Wrist Crease Length	177.6	9.6										
24	D3 Tip to Wrist Crease Length	186.5	10.1										
36	D4 Tip to Wrist Crease Length	177.0	10.0										
48	D5 Tip to Wrist Crease Length	152.7	9.6										
17	D2 Link Length	104.3	6.7	0.99	-0.8	102.9	102.9						
29	D3 Link Length	105.1	6.7	1.00	0.0	103.7	103.7						
41	D4 Link Length	102.1	6.2	0.97	-3.0	100.7	100.7						
53	D5 Link Length	81.8	5.7	0.78	-23.3	80.7	80.4						
13	D2 Proximal IPJ Breadth	21.5	1.5										
25	D3 Proximal IPJ Breadth	20.9	1.5										
37	D4 Proximal IPJ Breadth	19.9	1.4										
49	D5 Proximal IPJ Breadth	17.9	1.2										

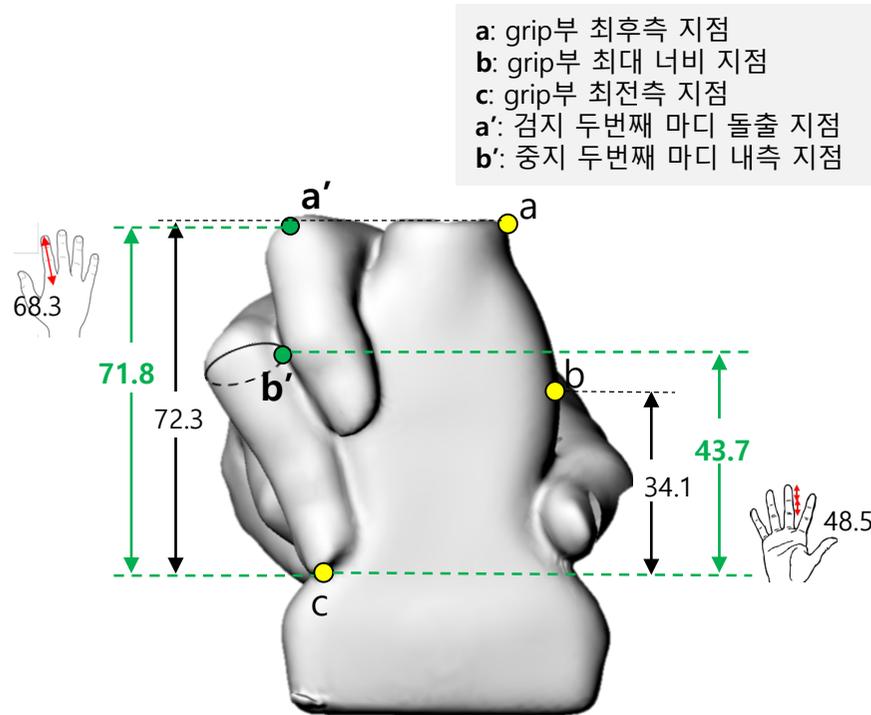


Length

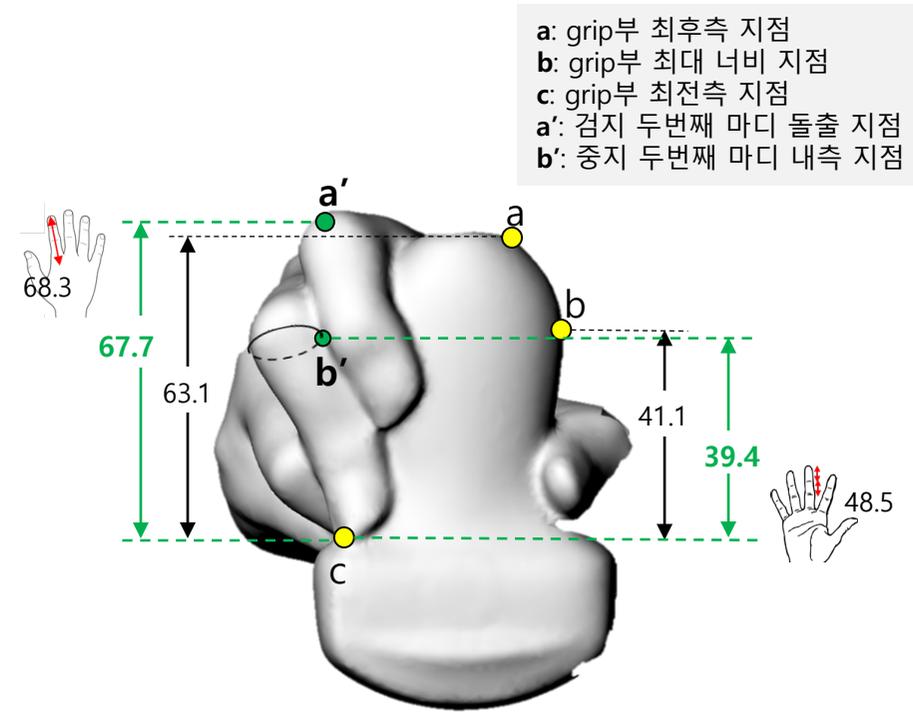


Link Length

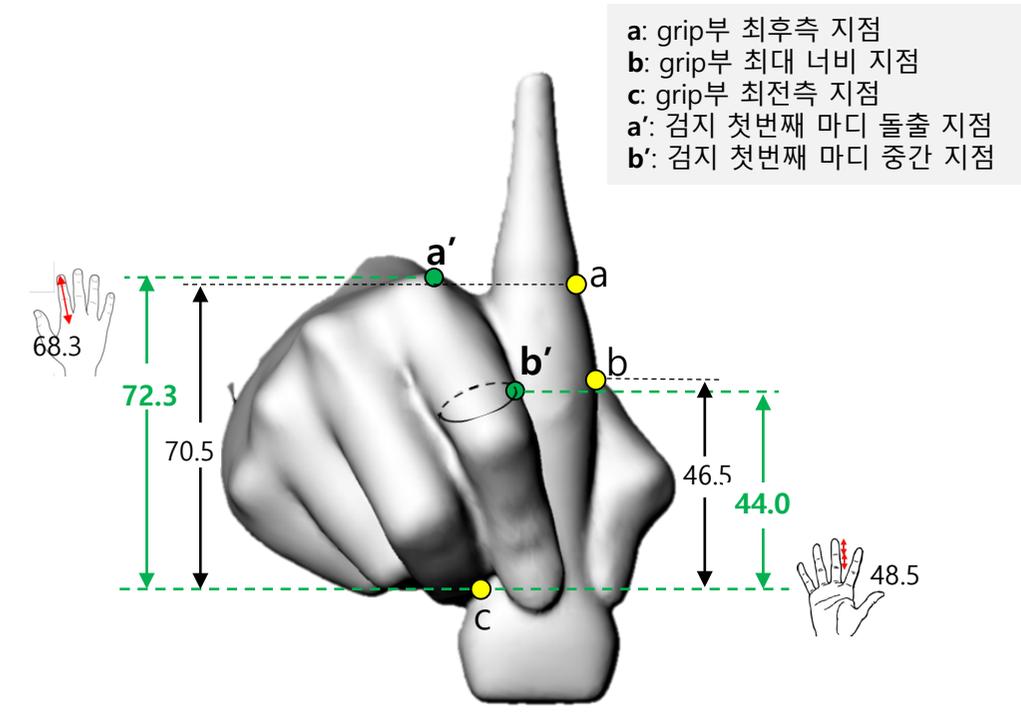
□ 특정 hand 크기의 사용자가 선호한 grip 설계에 대해, **파지 시 scanning된 3D hand-probe 형상 자료를 사용하여 probe 설계 참조점 위치(a, b)와 hand 상의 참조점 위치(a', b')의 관계를 관련 손가락 길이의 비율로 분석**



Grip부 설계 제원	개선	Hand data 기반 적용값
Grip부 최대 너비 지점 길이 (b-c)	b'-c	0.90 * (중지손가락 2번째 + 3번째 마디 길이)
Grip부 길이 (a-c)	a'-c	1.05 * (검지손가락 길이)



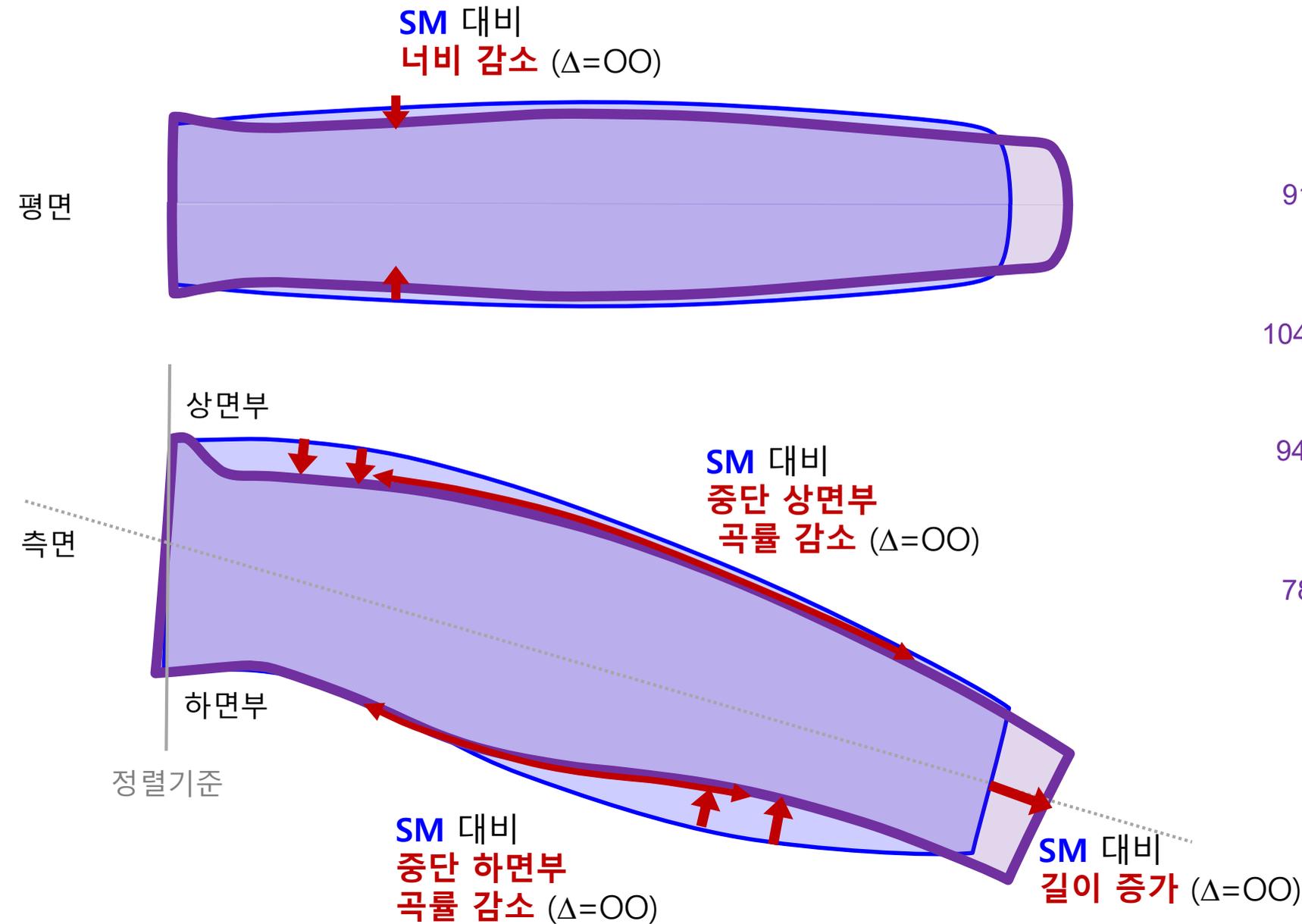
Grip부 설계 제원	개선	Hand data 기반 적용값
Grip부 최대 너비 지점 길이 (b-c)	b'-c	0.81 * (중지손가락 2번째 + 3번째 마디 길이)
Grip부 길이 (a-c)	a'-c	0.99 * (검지손가락 길이)



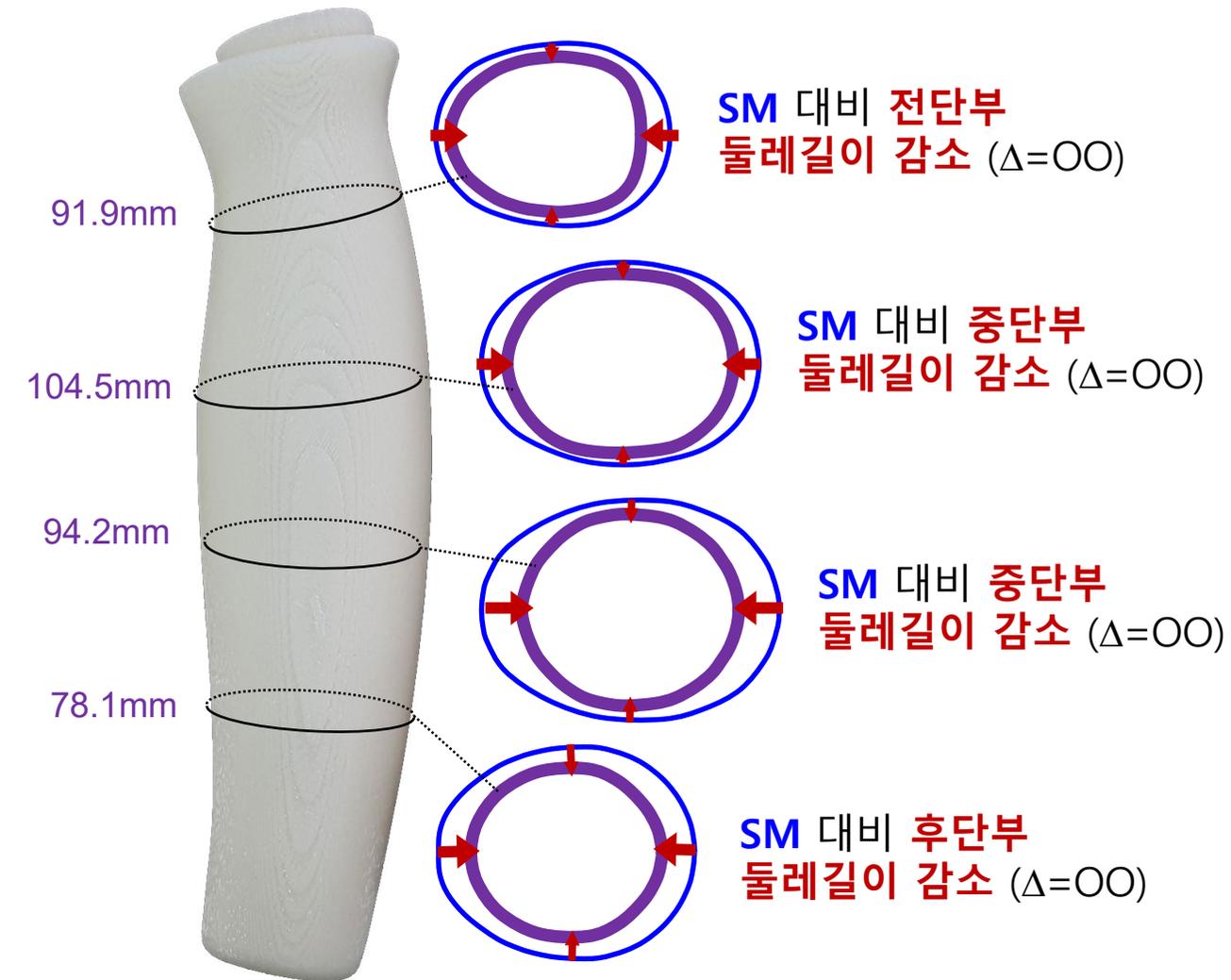
Grip부 설계 제원	개선	Hand data 기반 적용값
Grip부 최대 너비 지점 길이 (b-c)	b'-c	0.91 * (검지손가락 2번째 + 3번째 마디 길이)
Grip부 길이 (a-c)	a'-c	1.06 * (검지손가락 길이)

□ 개선 HD 설계안은 기존 SM에 비해 전반적으로 크기를 감소시키고 중단 하면부의 굴곡을 오목한 방향으로 변경

SM 대비 HD 형상 비교

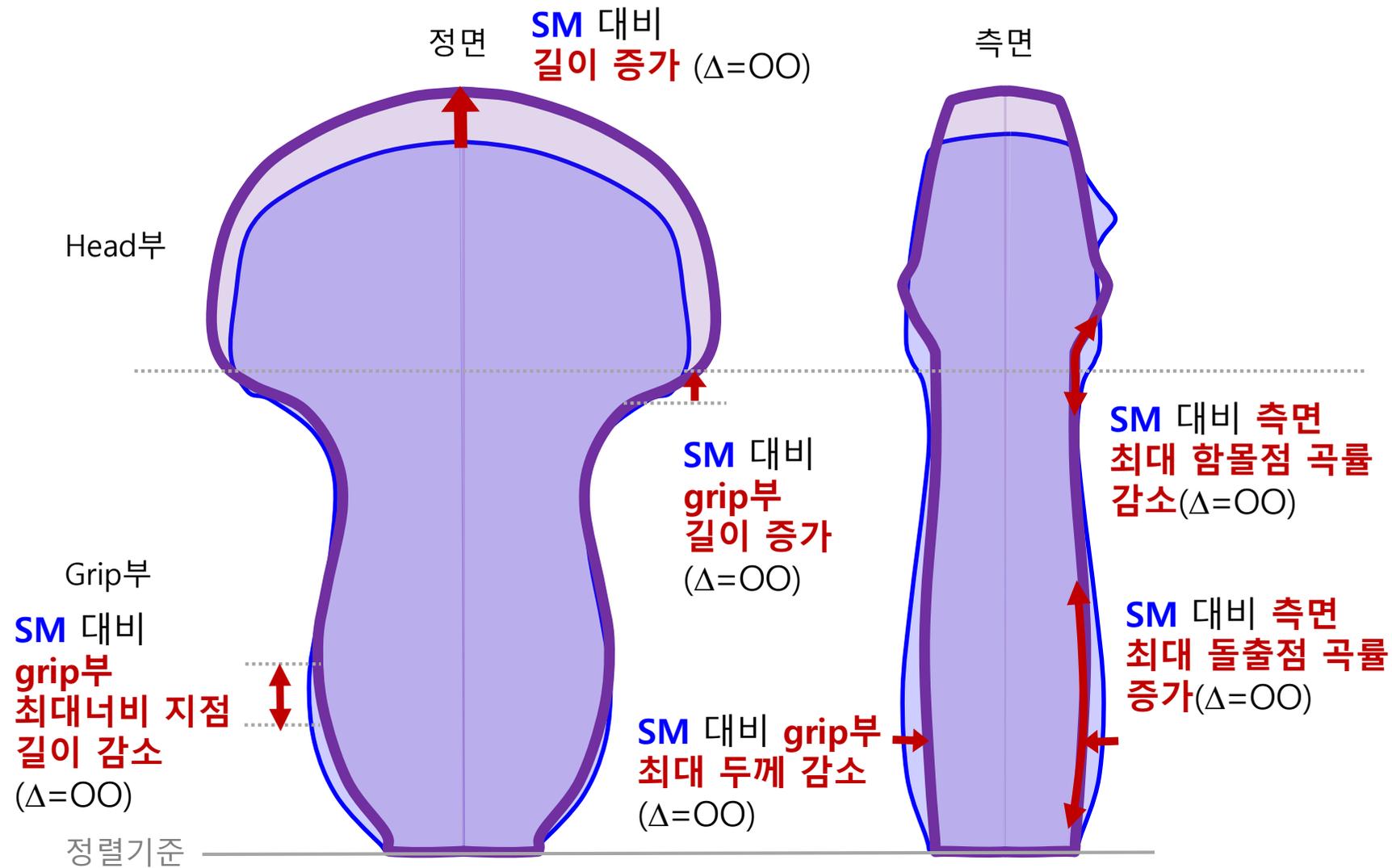


HD 개선안



- 개선 HD 설계안은 기존 SM에 비해 전반적으로 크기를 증가시키고, grip부 최대 길이 및 최대너비 지점 길이를 감소시키며, 측면 최대 함몰점을 오목하게 하고, grip부 최대 두께를 감소시키며, 최대 돌출점 곡률을 완화시키도록 변경

SM 대비 HD 형상 비교

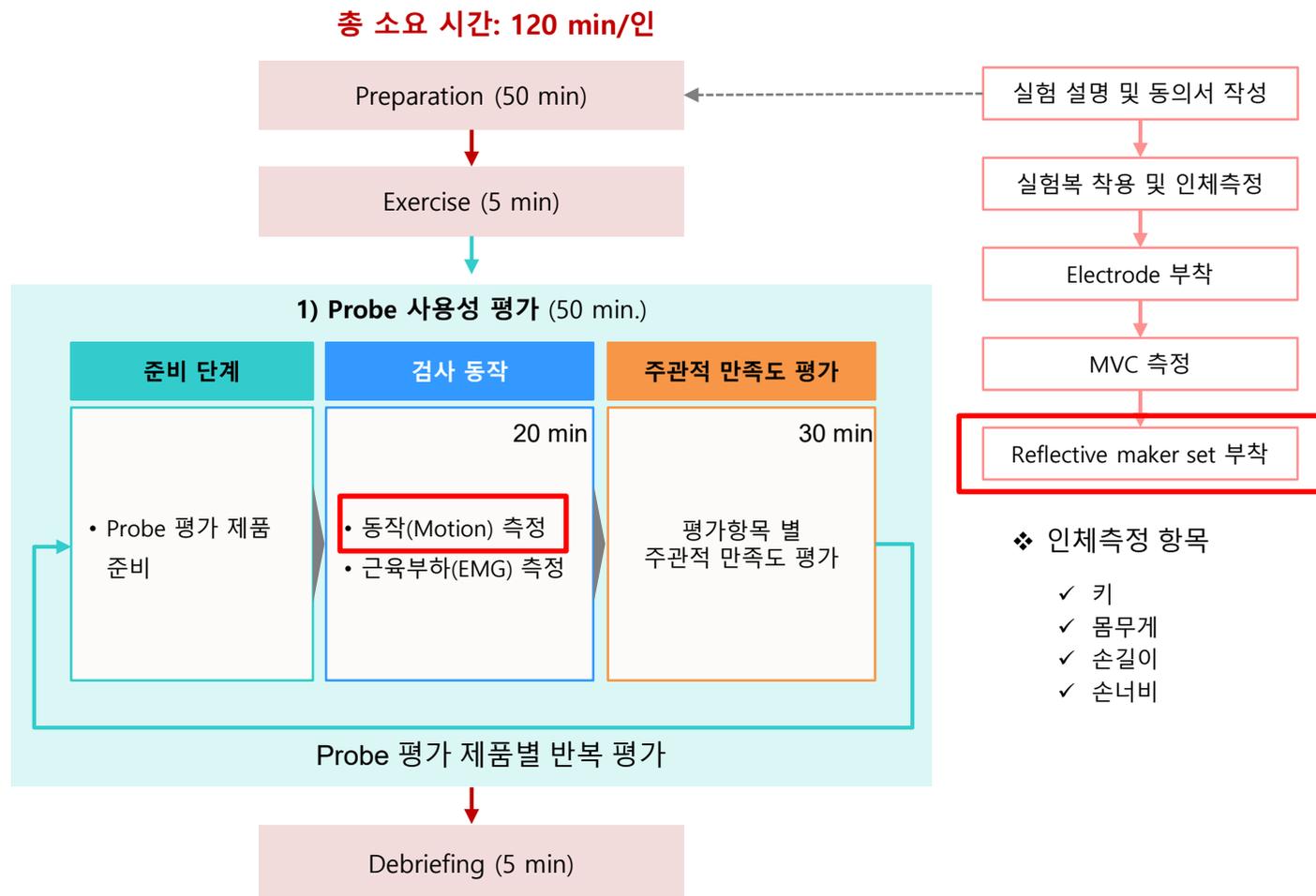


HD 개선안

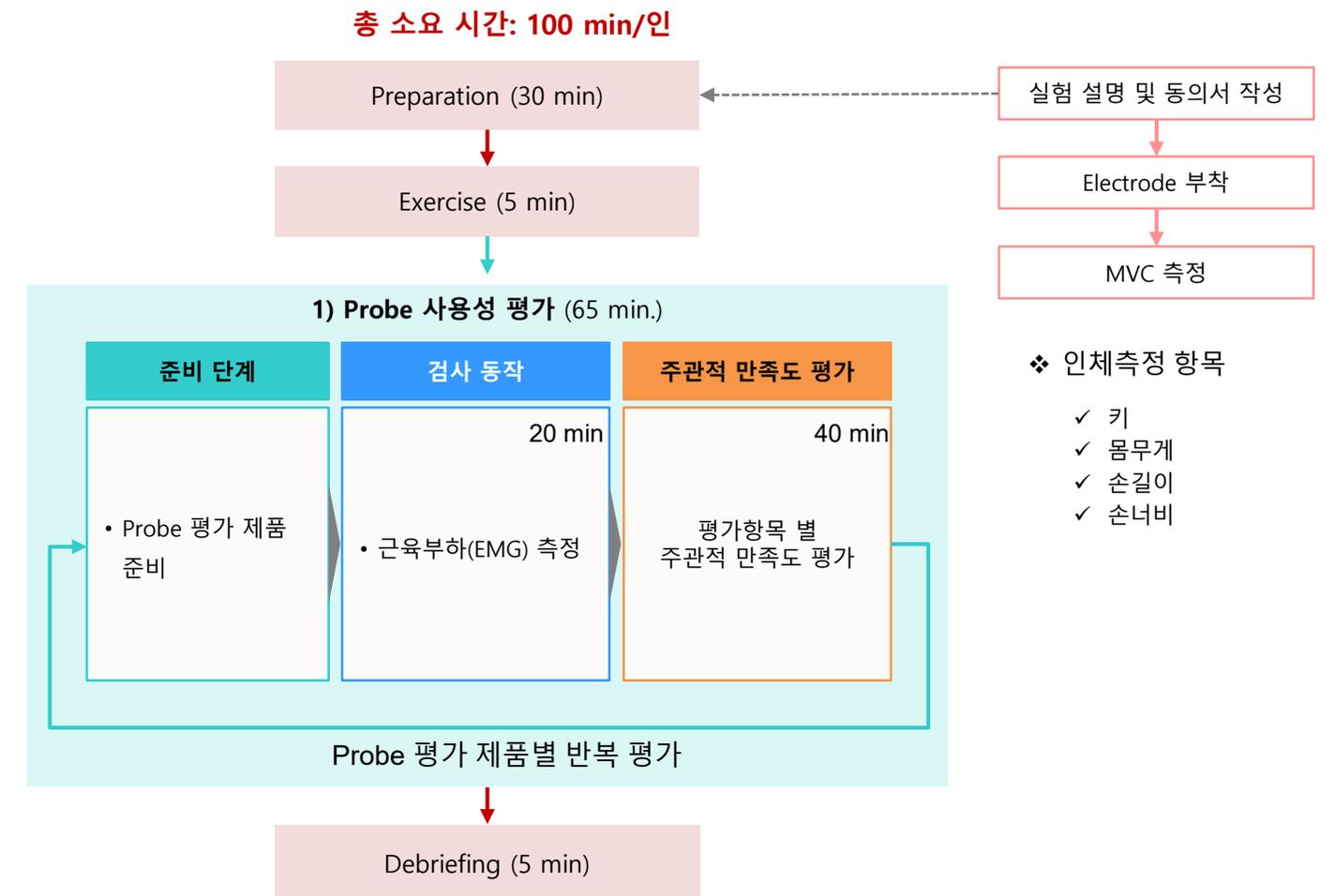


- 본 실험은 준비 단계, task 수행, 주관적 만족도 평가 등을 포함하여 약 2시간 소요

Vaginal Probe

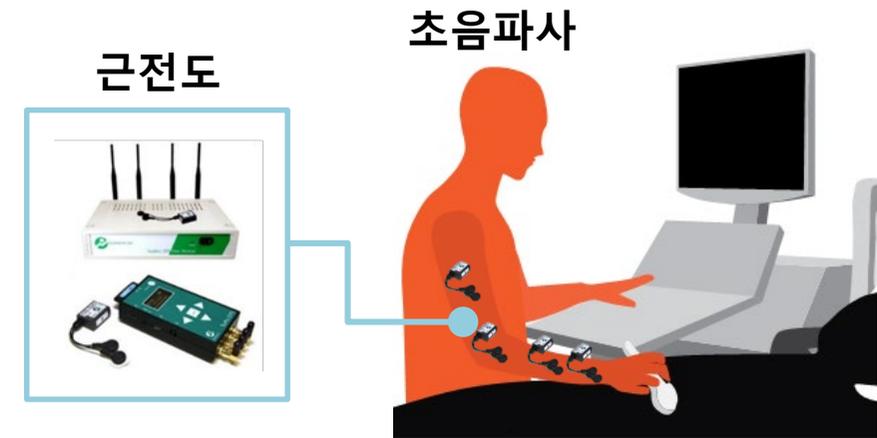
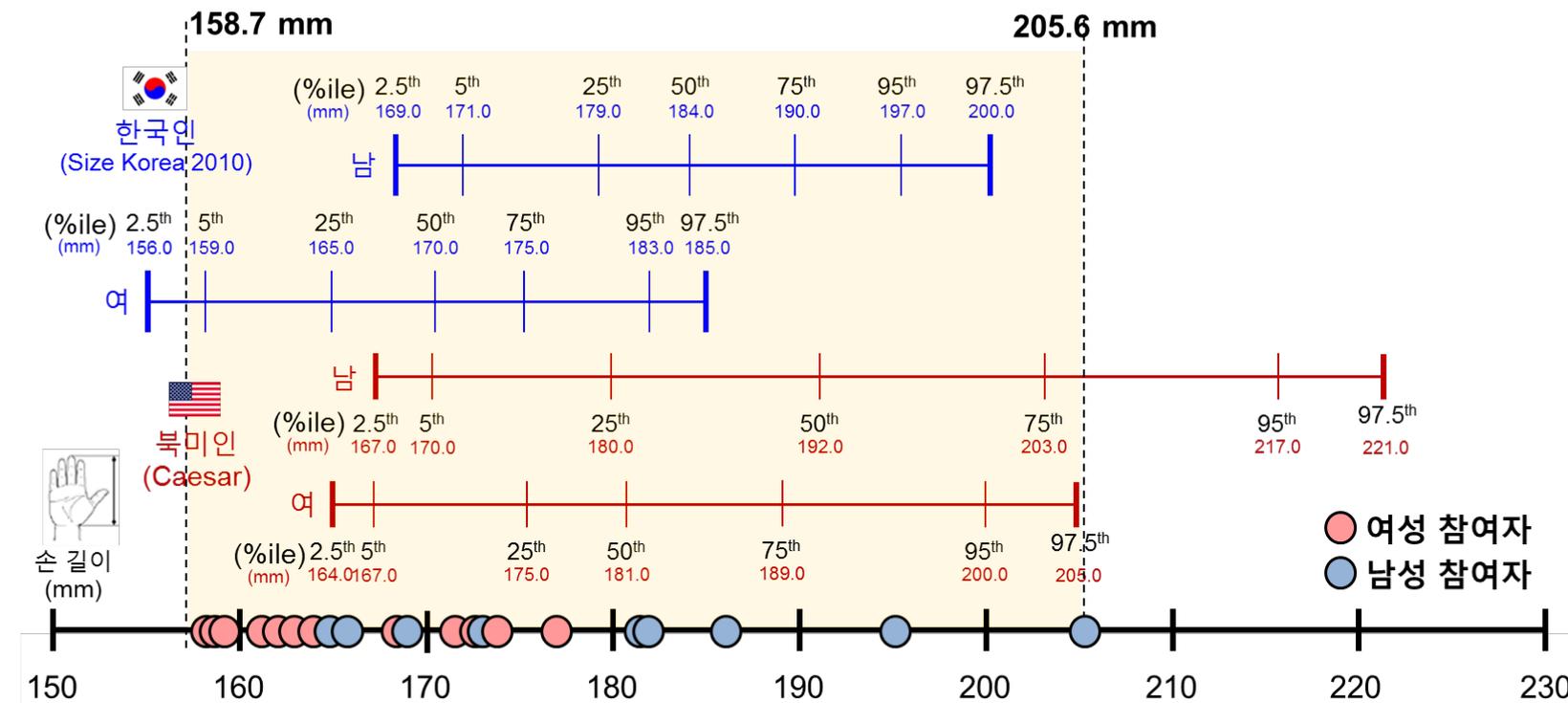


Linear/Convex/PA Probe



- 목적: 타사 및 자사 기존 probe 대비 개선안의 사용성 개선 효과 검증
- 평가 대상: Linear 4종, Convex 4종, Phased Array 3종
- 평가 방법
 - 객관적 평가: 근전도 측정
 - 주관적 평가: 주관적 만족도 설문 평가
- 초음파 기기 사용 의사: Linear 10명, Convex 9명, PA 10명
 - 나이: 32.6 ± 6.8 세
 - 경력: 6.8 ± 3.8 년
 - 손 길이: 172.6 ± 12.0 mm

주관적 만족도 평가지

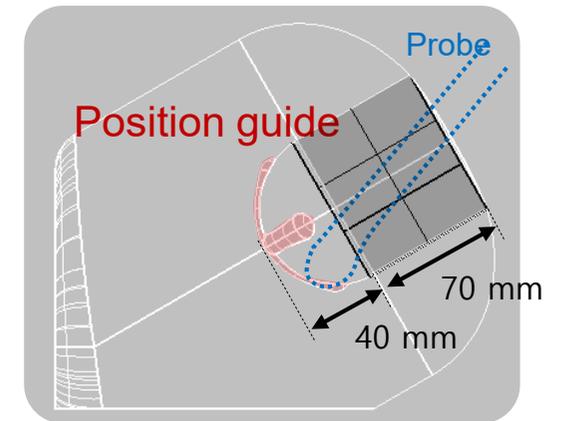




평가용 Phantom

전체적 크기, probe 삽입구 높이/깊이/각도 등에 대해 의사에게 적절성 검토 받음

- Probe 삽입 깊이: 70 mm
- Position guide: 상하 좌우 track 2 mm 음각, track 양단 4.5 mm 음각

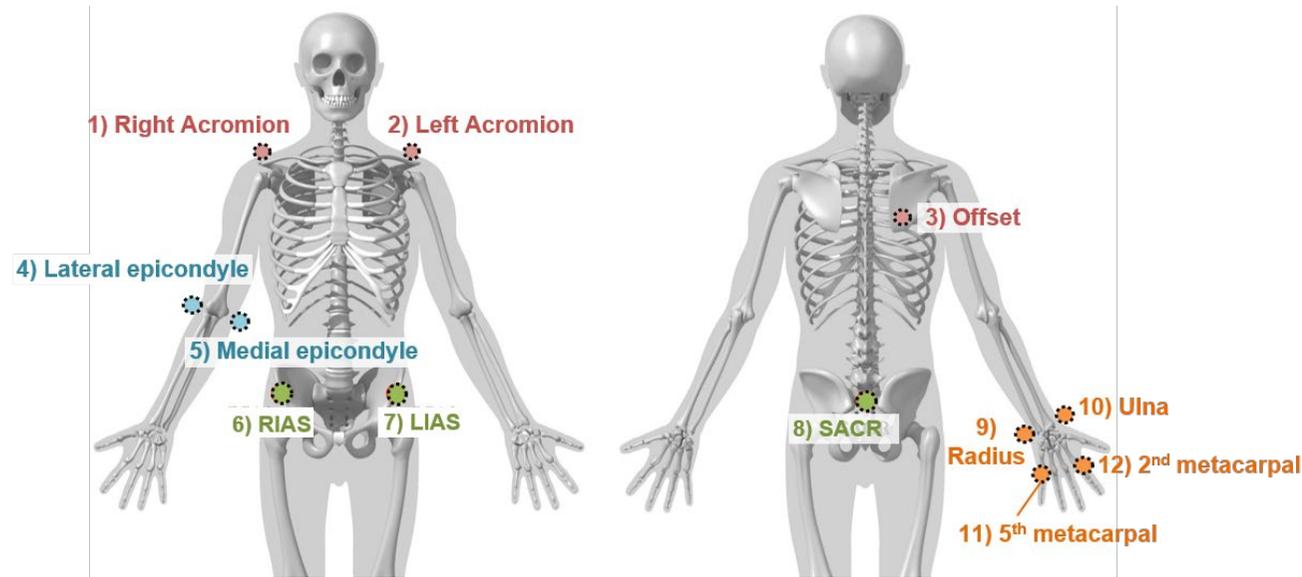


평가 Task

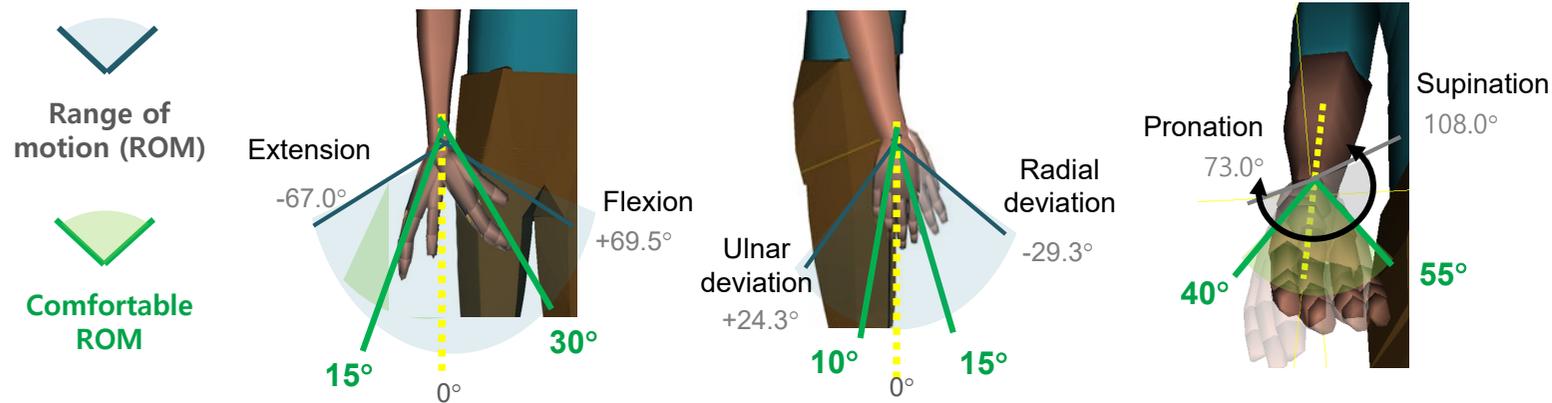
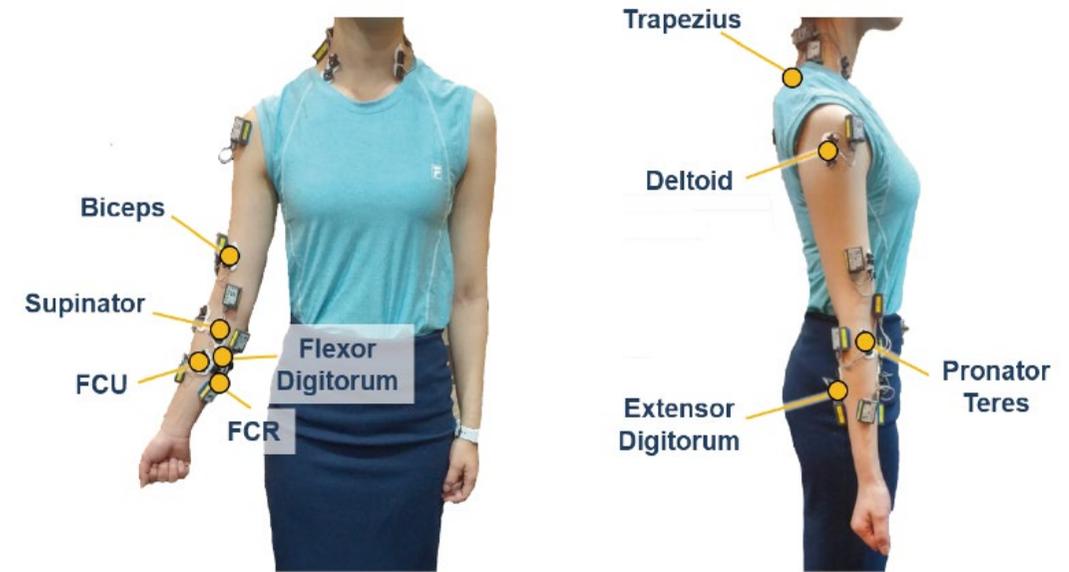


- 동작의 CROM(comfortable range of motion) 분석을 위해 신체 12가지 부위에 동작 분석 marker 부착
- Probe 사용 시 주요한 9가지 근육을 선정하여 electrode를 부착하고 MVC (maximum voluntary contraction; 최대 자발적 수축) 측정

동작 분석 marker 부착 위치

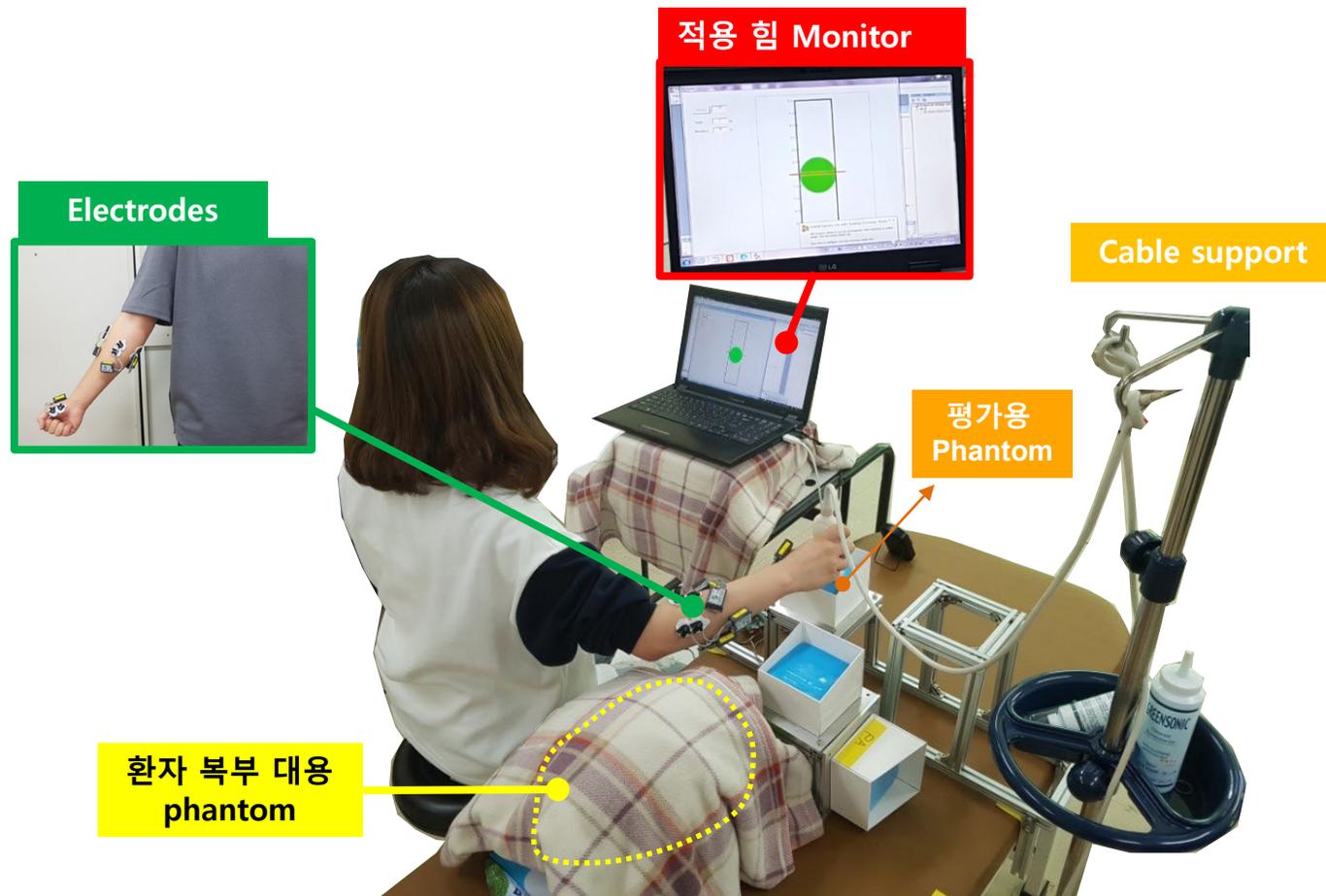


Electrode 부착 위치

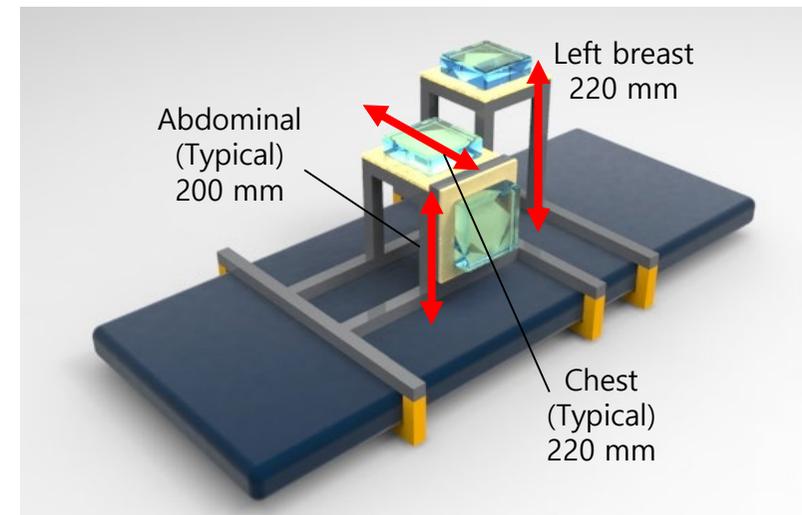


Shoulder		Arm		
Deltoid	Trapezius	Biceps	Supinator	
Arm				
Pronator Teres	Flexor Carpi Ulnaris(FCU)	Flexor Carpi Radialis(FCR)	Extensor Digitorum	Flexor Digitorum

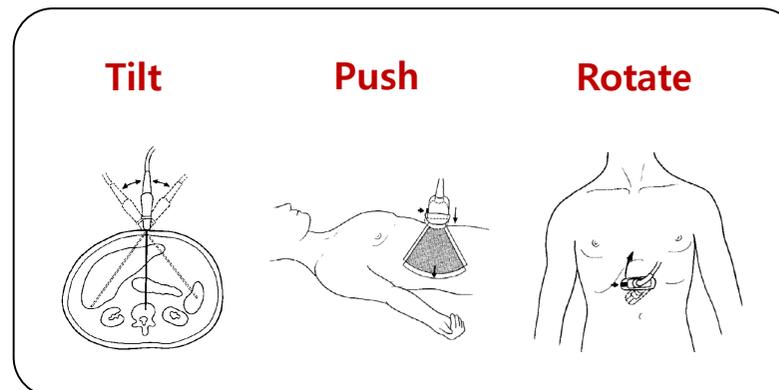
- 평가 layout: Probe 사용자(검사자) 좌측, phantom 우측 배치
- 평가 task: Tilt, Push, Rotate
- 평가 grip 자세: pinch grip (wide, narrow), pen grip



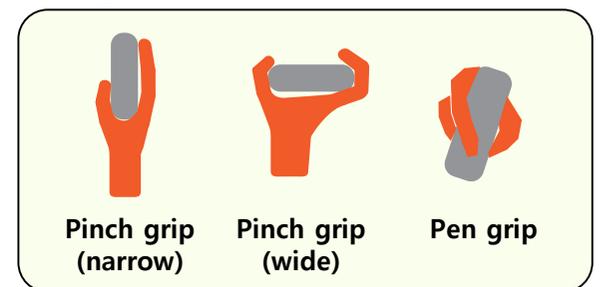
평가용 Phantom



평가 Task



Grip 자세



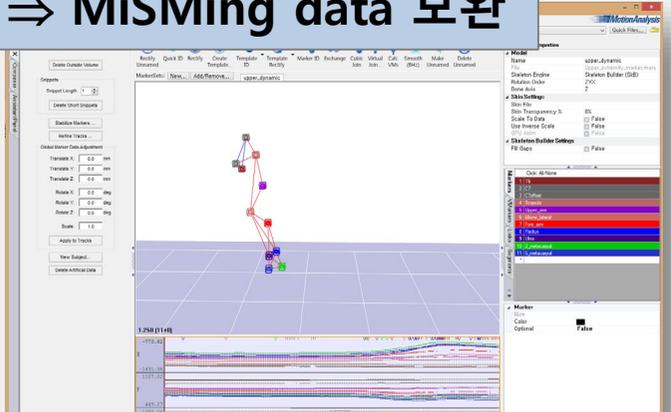
Probe 사용자(검사자)

- 파지 자세: pinch (narrow/wide), pen grip
- 조작 손: 오른손

□ 측정된 근전도 data는 rectification 및 filtering을 통해 pre-processing 되고, task 동작 및 동작 cycle별로 분할 및 평균하여 분석

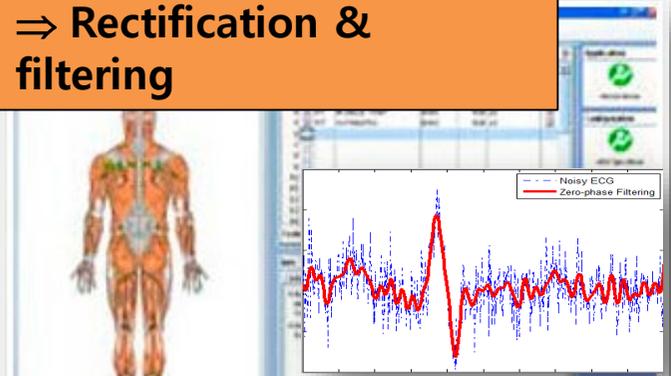
S1. Pre-proceSMing

**Motion capture
⇒ MiSMing data 보완**



Sampling rates = 50 Hz

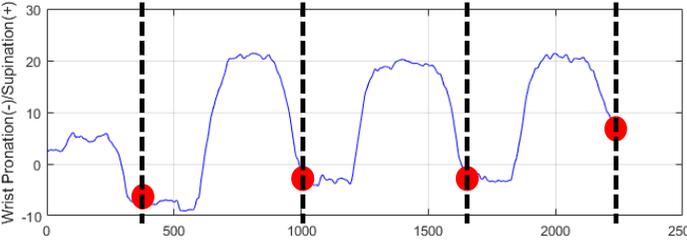
**EMG
⇒ Rectification & filtering**



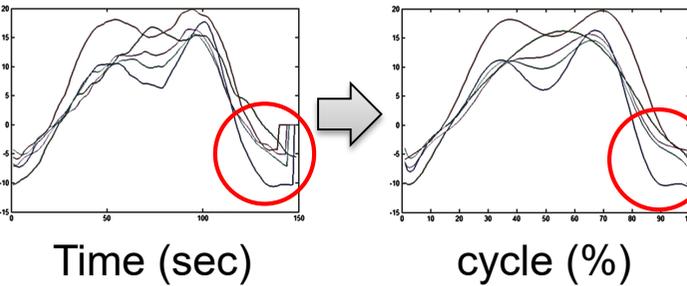
Sampling rates = 1500 Hz

S2. Synchronization

S1. Data trim



S2. Time synchronization

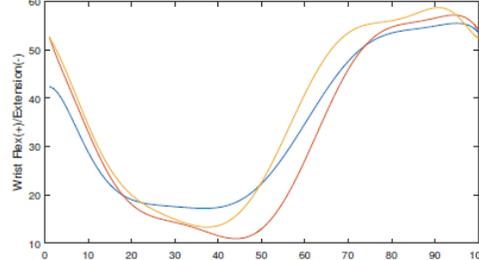


<Data 처리 방법>
⇒ 자체 개발
matlab code 사용

- barwitherr.m
- ImportData.m
- MotionEMG_Analysis.m
- MVC_Cal.m
- polyfit.m
- selectdata.m
- shadedErrorBar.m
- TimeNormalization.m

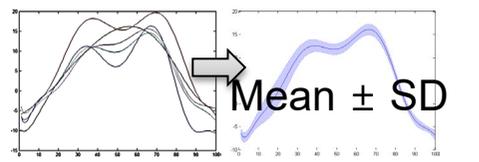
S3. Data 추출

S1. Outlier 제거



동작 pattern 동일

S2. Data 평균화



Mean ± SD

주관적 만족도 평가 항목

평가 부위	사용성 Measure	항목
Grip부	크기 적절성	Grip부 길이 적절성
		Grip부 최소 너비 적절성
		Grip부 최대 너비 적절성
		Grip부 최후측 너비 적절성
		Grip부 최소 두께 적절성
		Grip부 최대 두께 적절성
		Grip부 최소 두께 지점 둘레길이 적절성
		Grip부 최대 두께 지점 둘레길이 적절성
	곡률 적절성	Grip부 측면 최대 함몰점 곡률 적절성
		Grip부 측면 최대 돌출점 곡률 적절성
		Grip부 정면 최대 함몰점 곡률 적절성
		Grip부 정면 최대 돌출점 곡률 적절성
		Grip부 최소 두께 지점 모서리 곡률 적절성
		Grip부 최대 두께 지점 모서리 곡률 적절성
	각도 적절성	Grip부 정면 각도 적절성
Grip부 측면 각도 적절성		
형태 적합성	Grip부 형태 적합성	
Head부	크기 적절성	Head부 높이 적절성
		Head부 최대 두께 적절성
		Head부 최대 너비 적절성
		Head-grip부 측면 두께 단차 적절성
		Head-grip부 정면 너비 단차 적절성
		Head부 guard 높이 적절성
곡률 적절성	Head부 정면 곡률 적절성	
	Head부 측면 곡률 적절성	
전반	크기 적절성	Probe 전체 길이 적절성
	압력 분산 적절성	Grip부 압력 분산 적절성
	자세 적합성	자세 적합성
	힘 사용 적절성	힘 사용 적절성
	조작 용이성	조작 용이성
	그립감	그립감
	전반적 만족도	전반적 만족도

평가 설문지 예

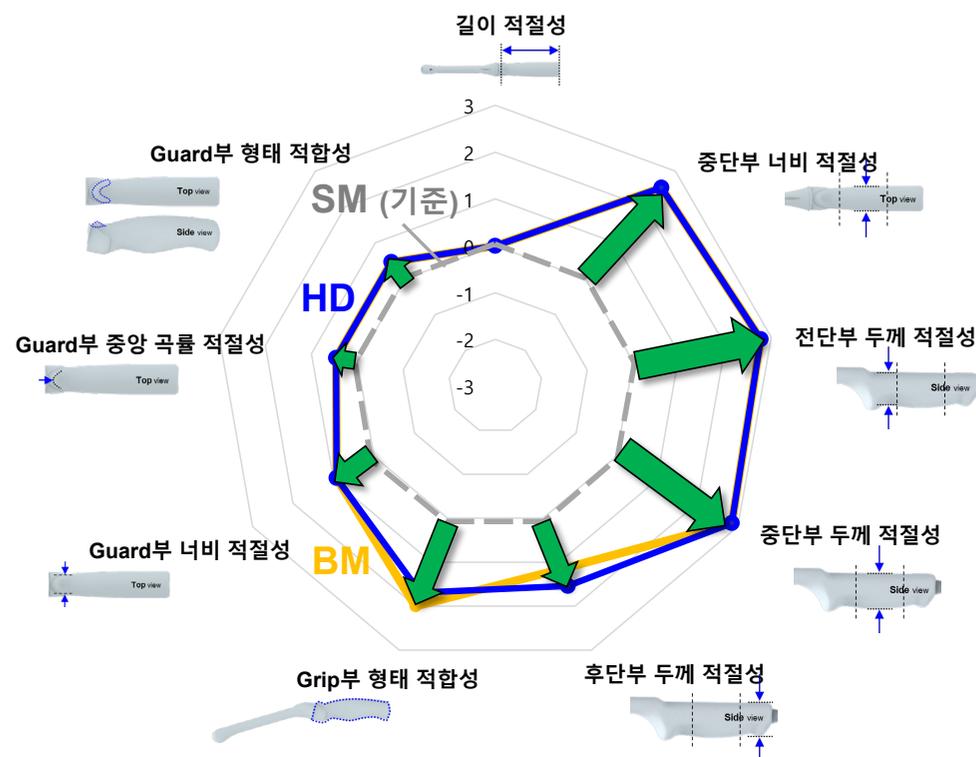
The figure displays three examples of subjective satisfaction questionnaires for different probe types: Linear Probe, Convex Probe, and Phased Array. Each questionnaire includes a header for subject information (Subject No., age, gender, height, weight, hand length, and hand width), a title, and a detailed description of the evaluation method. The evaluation method for Linear Probe involves comparing 5 probe types (A-E) based on 15 items. Convex Probe involves comparing 4 types (A-D) based on 17 items. Phased Array involves comparing 3 types (A-C) based on 16 items. Each item is rated on a 5-point Likert scale (1: Not at all, 2: Slightly, 3: Moderately, 4: Quite, 5: Very).

Vaginal Probe 검증 결과

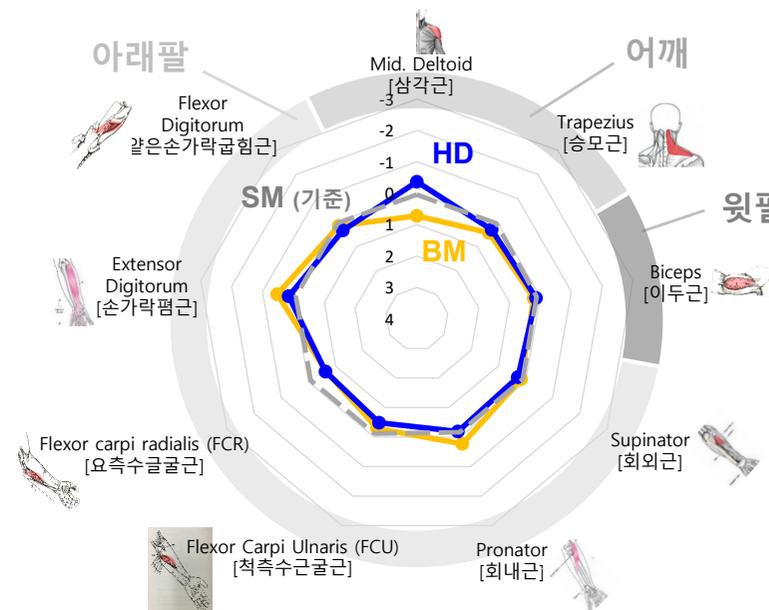
□ SM 대비 주관적 만족도 33.7% 우세, 근육부하는 동등 수준, 동작은 5.4% 우세

비교 제품	주관적 만족도	근육부하 (EMG)	동작 (Motion)
Hand Data 	매우 우세 +++	동등 -	약간 우세 +
기준: SM 	33.7% 높음 (7점 척도 기준 평균 +1.3점)	근육사용량 차이 < 0.8%	동작 최대 5.4% 향상 (편향 각도 최대 4.0° 작음)

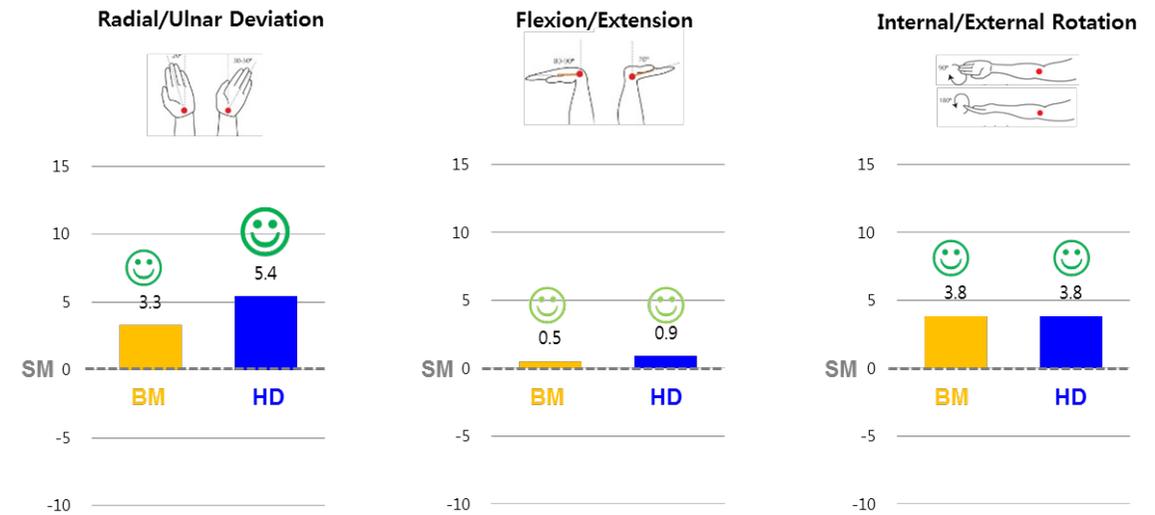
(1) 주관적 만족도



(2) 근육 부하 (EMG)



(3) 동작 범위

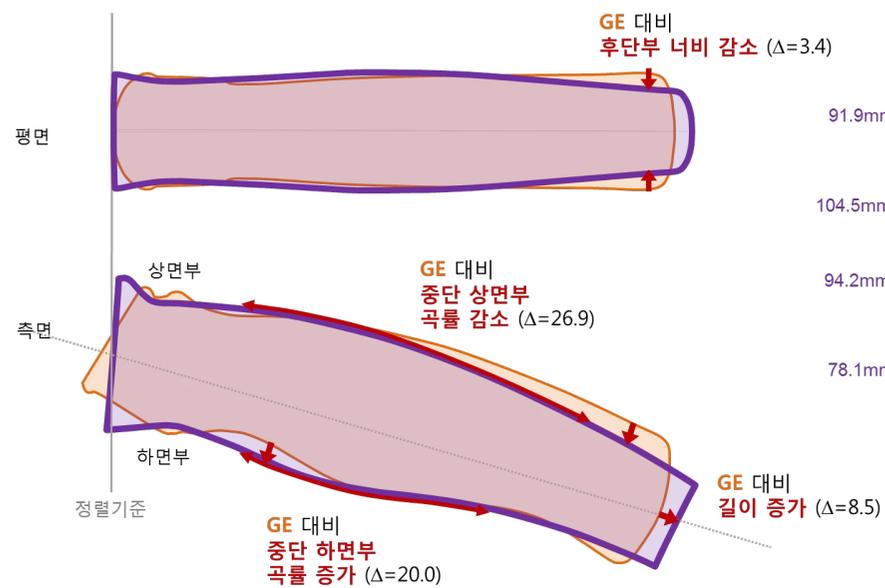


SM: 삼성메디슨
 BM: Benchmarking based
 HD: Hand data based

- HD 개선안은 GE의 적정 grip 크기를 기반으로 손가락 길이 비율과 조작 자세에서 hand grip 내부 형상을 반영한 grip 형상 최적화로 주관적 만족도 및 동작 측면에서 개선 효과 창출

HD 개선안	비교 제품	주관적 만족도	근육부하 (EMG)	동작 (Motion)	핵심 설계
	GE	우세 ++	동등 -	약간 우세 +	- Grip 크기: GE 기반 적정 grip 크기
	SM	매우 우세 +++	동등 -	약간 우세 +	- Grip 형상: 손가락 길이 비율, 조작 자세에서 hand grip 내부 형상 반영

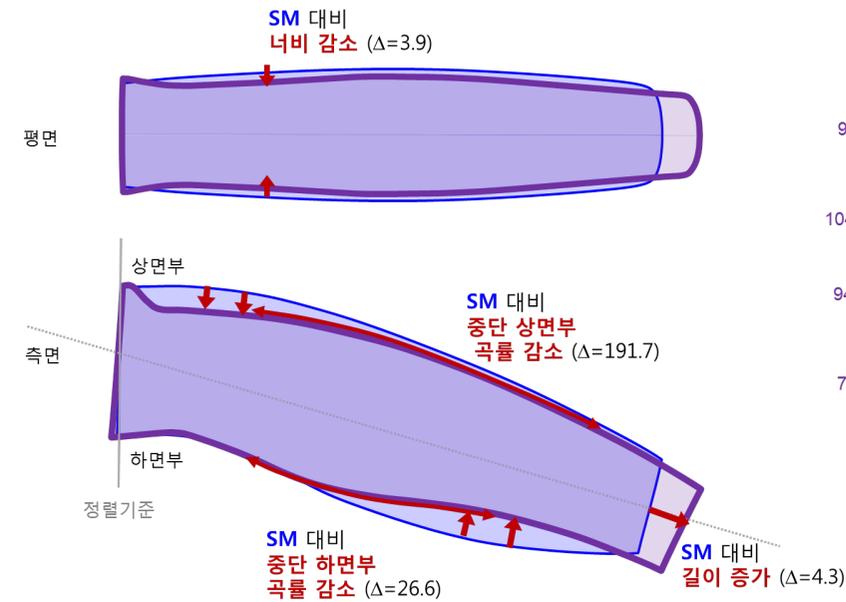
GE 대비 HD 형상 비교



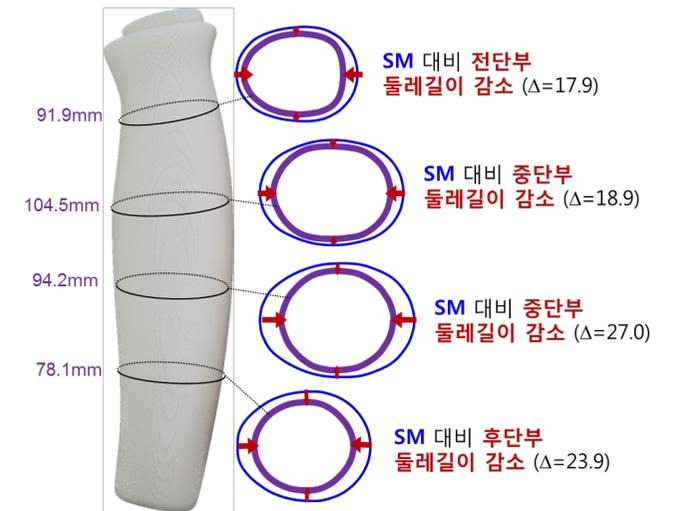
HD 개선안



SM 대비 HD 형상 비교

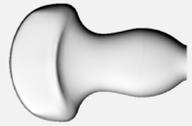


HD 개선안



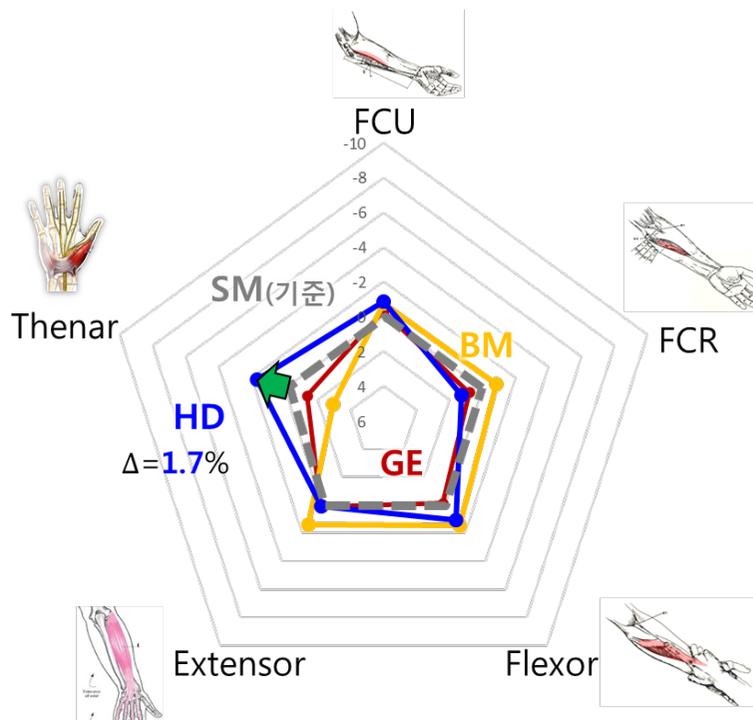
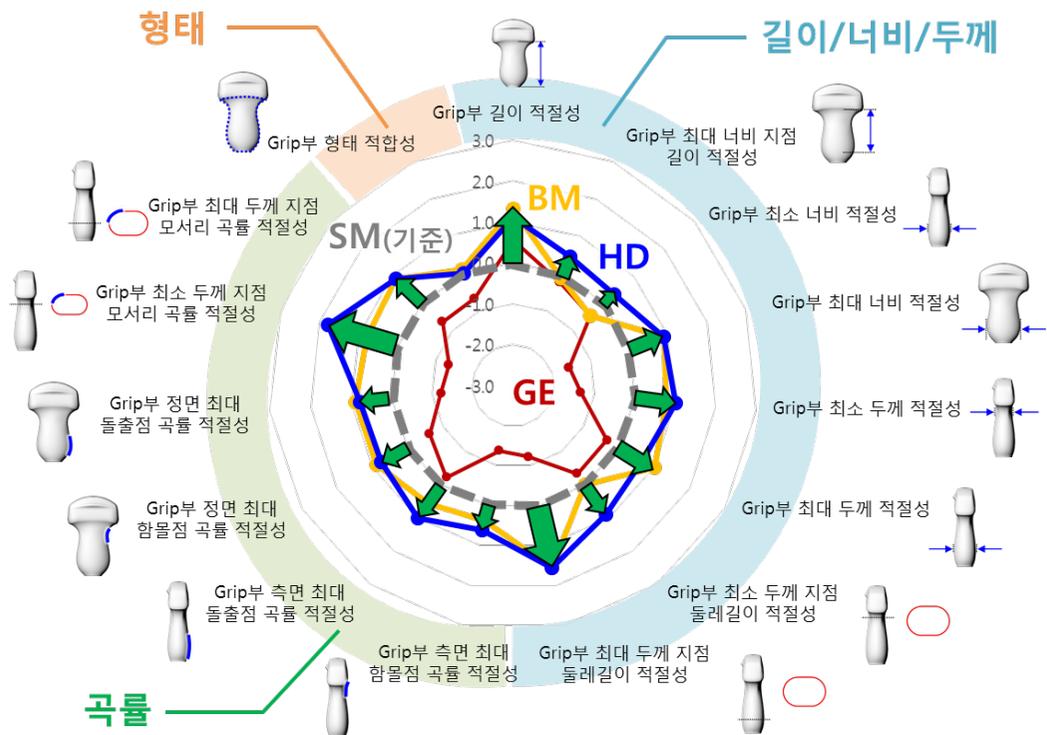
Convex Probe 검증 결과

□ SM 대비 주관적 만족도 24.4% 우세, 근육부하는 전반적으로 1.7% 우세하며, wide-grip push 경우 3.6%로 효과 증가

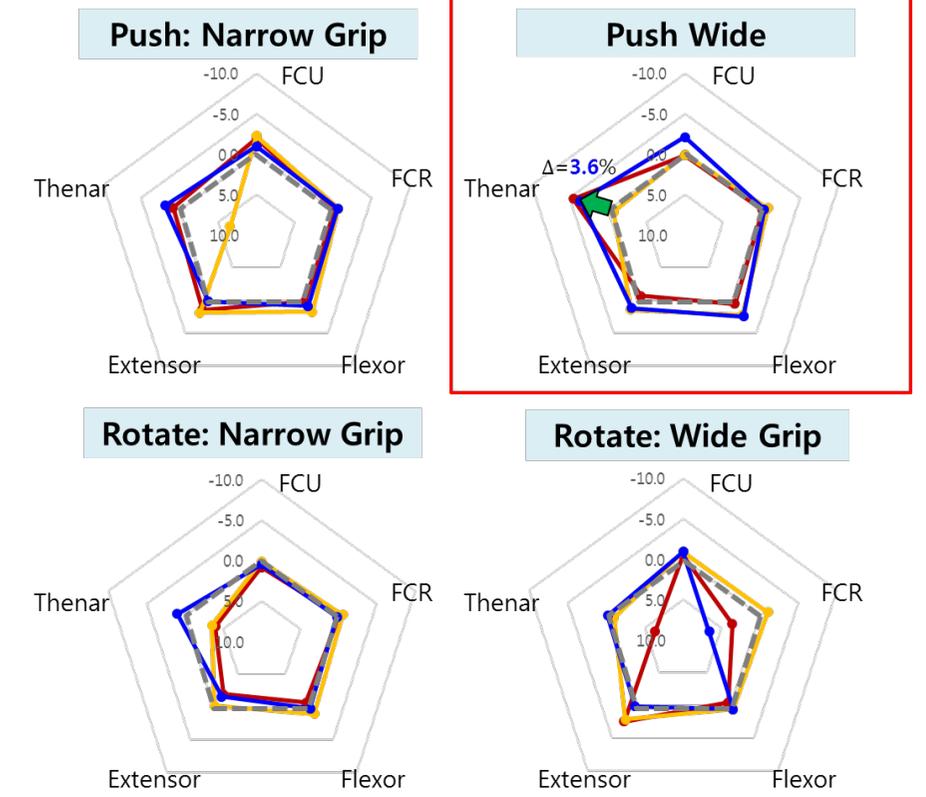
비교 제품	주관적 만족도	근육부하 (EMG)
Hand Data 	우세 ++	약간 우세 +
기준: SM 	24.4% 높음 (7점 척도 기준 평균 +1.0점)	손 근육 사용량 차이 1.7% (wide-grip push 동작 시 3.6%)

(1) 주관적 만족도

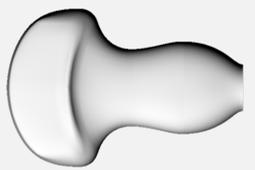
(2) 근육 부하 (EMG)



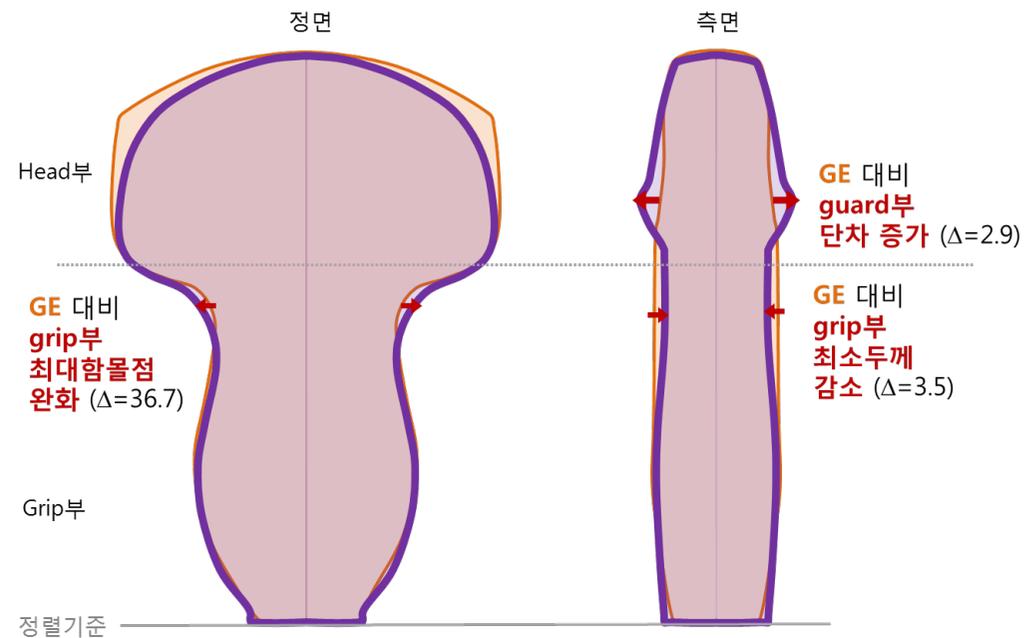
GE: GE-curved (기준)
SM: 삼성메디슨
BM: Benchmarking based
HD: Hand data based



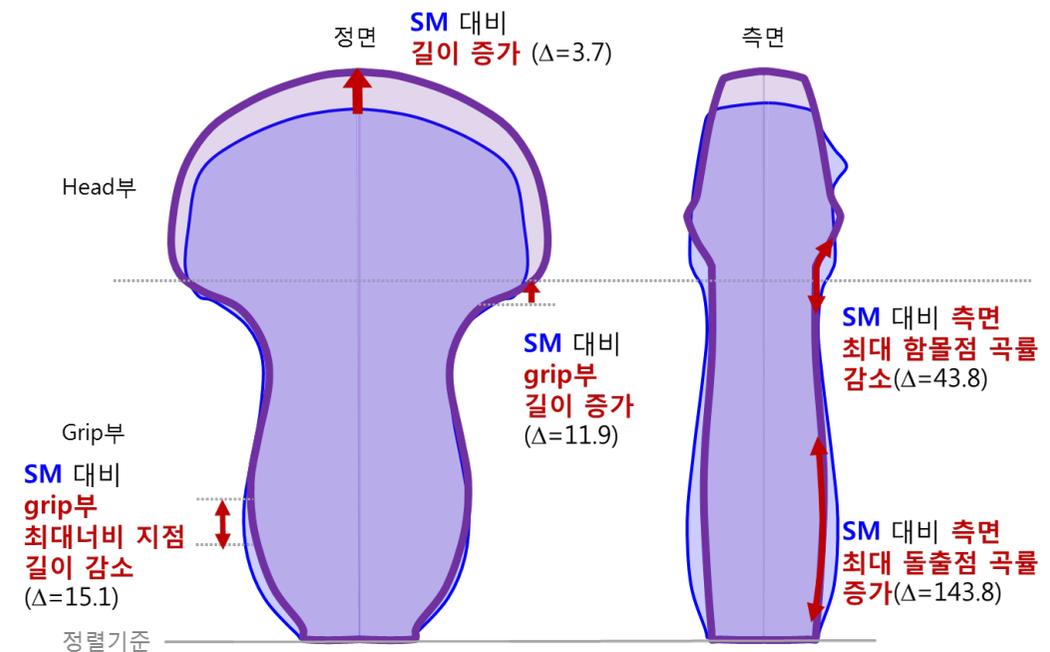
- HD 개선안은 선호 grip 자세를 기반으로 손가락 길이와 적정 비율을 반영한 grip 크기 설계와 효과적 힘 전달을 위한 적정 head-grip 측면 단차, 함몰점, grip 두께 설계를 통해 주관적 만족도 및 근육 부하 측면에서 개선 효과 창출

HD 개선안	비교 제품	주관적 만족도	근육부하 (EMG)	핵심 설계
	GE 	매우 우세 +++	우세 ++	- Grip 크기: 선호 grip 자세를 기반으로 grip 길이와 최대 너비 위치 결정
	SM 	우세 ++	약간 우세 +	- Grip 형상: 효과적 힘 전달을 위한 적정 head-grip 측면 단차, 함몰점, grip 두께 설계

GE 대비 HD 형상 비교



SM 대비 HD 형상 비교



분산 분석(ANOVA) 결과



- 초음파 probe의 **인간공학적 검증 실험에서 고려된 인자들의 객관적 평가 결과와 주관적 평가 결과에 대한 통계적 유의성 여부를 파악**하기 위해 Minitab 16.0을 활용하여 분산 분석 실시

객관적 평가 시 고려된 인자

No	인자 (Factor)	유형	수준	인자 수준 (Factor Levels)
1	Product (제품)	고정(fixed)	4	SM, GE, BM, HD
2	Task (작업)	고정(fixed)	3	Tilt L/R, Tilt F/B, Rotate
3	Grip (Grip 유형)	고정(fixed)	2	Narrow, Wide
4	Hand Size (손 크기)	고정(fixed)	3	Small, Medium, Large
5	Subject (참여자)	변량(random)	8 ~ 9	S01 to S09

주관적 평가 시 고려된 인자

No	인자 (Factor)	유형	수준	인자 수준 (Factor Levels)
1	Product (제품)	고정(fixed)	4	SM, GE, BM, HD
2	Hand Size (손 크기)	고정(fixed)	3	Small, Medium, Large
3	Subject (참여자)	변량(random)	8 ~ 9	S01, S03 to S09

객관적 평가 ANOVA 예시: Thenar – Linear Probe

요인 (Source)	제곱합 (SS)	자유도 (df)	평균제곱 (MS)	F _o	P-value
Product	638.39	3	176.67	2.79	0.045*
Task	471.5	2	50.14	0.79	0.456
Grip	78.94	1	78.94	1.24	0.267
HS	1237.18	2	618.59	0.16	0.856
Subject(HS)	19216.67	5	3843.33		
Product × Task	149.51	6	15.64	0.25	0.96
Product × Grip	20.12	3	6.71	0.11	0.957
Product × HS	317.74	6	52.96	0.83	0.546
Error	6279.19	99	63.43		
Total	28409.24	127			

주관적 평가 ANOVA 예시: 전반적 만족도 – Linear Probe

요인 (Source)	제곱합 (SS)	자유도 (df)	평균제곱 (MS)	F _o	P-value
Product	32.875	3	10.958	7.92	<0.01*
HS	1.192	2	0.596	0.21	0.819
Subject(HS)	20.333	7	2.905		
Error	37.375	27	1.384		
Total	91.775	39			

- Linear probe 검증 실험에서 **Probe 설계(Product)**는 객관적 평가 결과에서는 **thenar muscle**에서만 유의하고, 주관적 평가 결과에서는 **63%(14/22)의 평가척도들에서** 유의한 것으로 파악 됨.
- Hand size(HS)**는 객관적 평가 결과 및 주관적 평가 결과에 유의한 인자가 아닌 것으로 파악 됨

Muscles	Factor						
	Product	Task	Grip	HS	Product x Task	Product x Grip	Product x HS
FCU		*					
FCR		**	**				
Flexor		**	**				
Extensor		**	**				
Thenar	*						

No.	평가 항목	Product	HS
1	Grip부 길이 적절성		
2	Grip부 최후측 너비 적절성		
3	Grip부 최대 두께 적절성	*	
4	Grip부 최소 두께 지점 둘레길이 적절성	**	
5	Grip부 최대 두께 지점 둘레길이 적절성		
6	Grip부 측면 최대 함몰점 곡률 적절성	**	
7	Grip부 측면 최대 돌출점 곡률 적절성	**	
8	Grip부 정면 최대 함몰점 곡률 적절성	**	
9	Grip부 정면 최대 돌출점 곡률 적절성		
10	Grip부 최대 두께 지점 모서리 곡률 적절성		
11	Grip부 최대 너비 지점 길이 적절성		
12	Grip부 형태 적합성	*	
13	Head부 최대 두께 적절성		
14	Head-grip부 측면 두께 단차 적절성	**	
15	Head-grip부 정면 너비 단차 적절성		
16	Probe 길이 적절성	*	
17	압력 분산 적절성	**	
18	파지 자세 적합성	**	
19	힘 사용 적절성	**	
20	조작 용이성	**	
21	그립감	**	
22	전반적 만족도	**	

* < 0.05
** < 0.01

III. 최적 설계 및 허용 설계 Guideline

View	설계인자		단위	SM	GE	BM	HD	Guideline	
	명칭	그림						Min.	Max.
Grip부	Grip부 길이		mm	136.2	132.7	140.5	140.5	136.2	140.5
	Grip부 중단부 너비		mm	33.0	29.3	30.9	29.1	29.1	30.9
	Grip부 전단부 두께		mm	38.1	30.3	28.5	28.5	28.5	30.3
	Grip부 중단부 두께		mm	42.6	39.2	36.6	36.2	36.2	36.6
	Grip부 후단부 두께		mm						
	Grip부 전단 상면부 측면 곡률		mm						
	Grip부 중단 상면부 측면 곡률		mm						
	Grip부 전단 하면부 측면 곡률		mm						
	Grip부 중단 하면부 측면 곡률		mm						
	Grip부 후단 하면부 측면 곡률		mm						
	Grip부 중단부-후단부 사이 정면 각도		° (deg.)						
	Head부-Grip부 사이 각도		° (deg.)						
	Grip부 전단부 모서리 곡률		mm						
	Grip부 중단부 모서리 곡률		mm						
Guard부	Guard부 너비		mm						
	Guard부 중앙 곡률		mm						

