



Vaginal Probe의 인간공학적 설계 개선 및 평가

- Motion Analysis, EMG, 주관적 만족도 평가를 기반으로 -



2017. 04. 29

문수진¹, 이나현¹, 이승훈¹, 정하영¹, 이승주², 문준필², 유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학설계기술 연구실

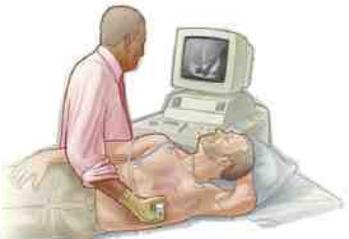
²삼성메디슨 디자인그룹

Contents

- **Introduction**
 - ✓ 연구 배경
 - ✓ 연구 목적
- **Method & Results**
 - S1. PUI 특성 분석 및 사용자 설문
 - S2. Probe 인간공학적 설계 개선
 - S3. 실험 및 분석 Protocol 개발
 - S4. 인간공학적 평가 및 분석
- **Discussion**

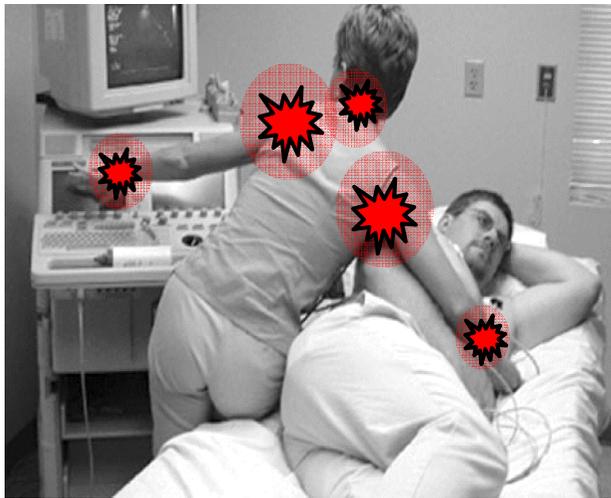
초음파 Probe

- 초음파 검사 시 검사자가 파지하고 환자 인체 부위에 접촉하여 초음파신호를 주고 받는 부품
- 종류: Linear array, convex, phased array, vaginal 등

구분	Linear	Convex	Phased Array	Vaginal
Image				
용도	혈관, 유방, 근골격계 	복부, 유방 	심장 	부인과, 비뇨기과 

연구 필요성 (1/2)

- 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)



- 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.

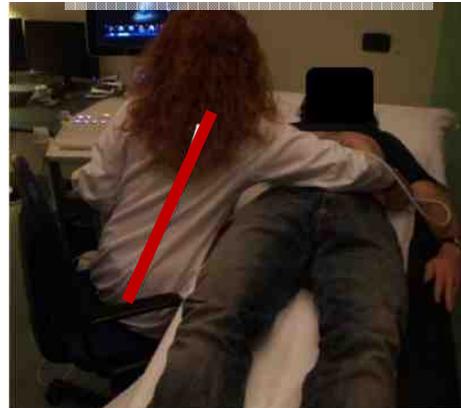
연구 필요성 (2/2)

- **유해 요인**으로는 (1) **정적이고 부적절한 자세**, (2) 장시간 동안 **지속적인 힘 사용**, (3) **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**

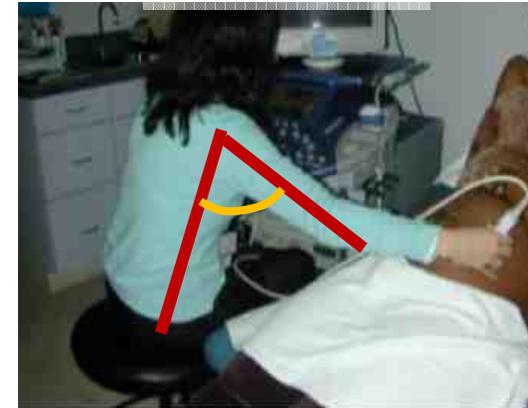
Trunk and neck twist



Spine displacement



Arm Abduction



초음파 작업 부하 평가 연구 문헌

- 기존 연구들은 초음파 scan 시의 신체부하를 정량화하기 위하여 적은 인원($M = 6.2$ 명, 1 ~ 11명)을 대상으로 주로 linear array, convex 유형을 사용하여 동작, 근전도, 힘, 만족도를 평가함
- 초음파 probe의 선호 설계 특성 분석 연구는 미흡한 실정임

Literature information		Participants		Task		Measures
Year	Title	n	Work experience	Probe type	Scan type	
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

- 평균 참여자 수: 6.2명(1 ~ 11명)
- 평균 경력: 9.8년

- Probe type
 - ✓ Linear array: 3건
 - ✓ Convex: 2건
- Scan type
 - ✓ Abdominal: 4건
 - ✓ Vascular: 4건

- Motion: 4건
- EMG: 2건
- Force: 1건
- Satisfaction: 1건

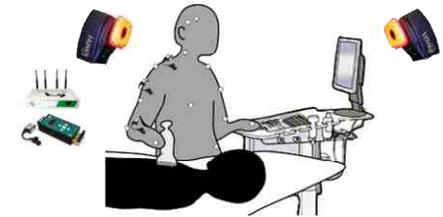
연구 목적

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

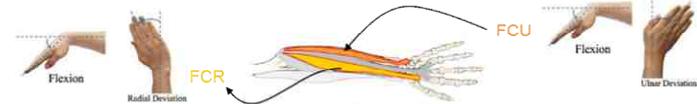
1. 초음파 probe의 **PUI 특성 파악**: PUI 설계 변수,
사용작업 특성, 사용환경 특성



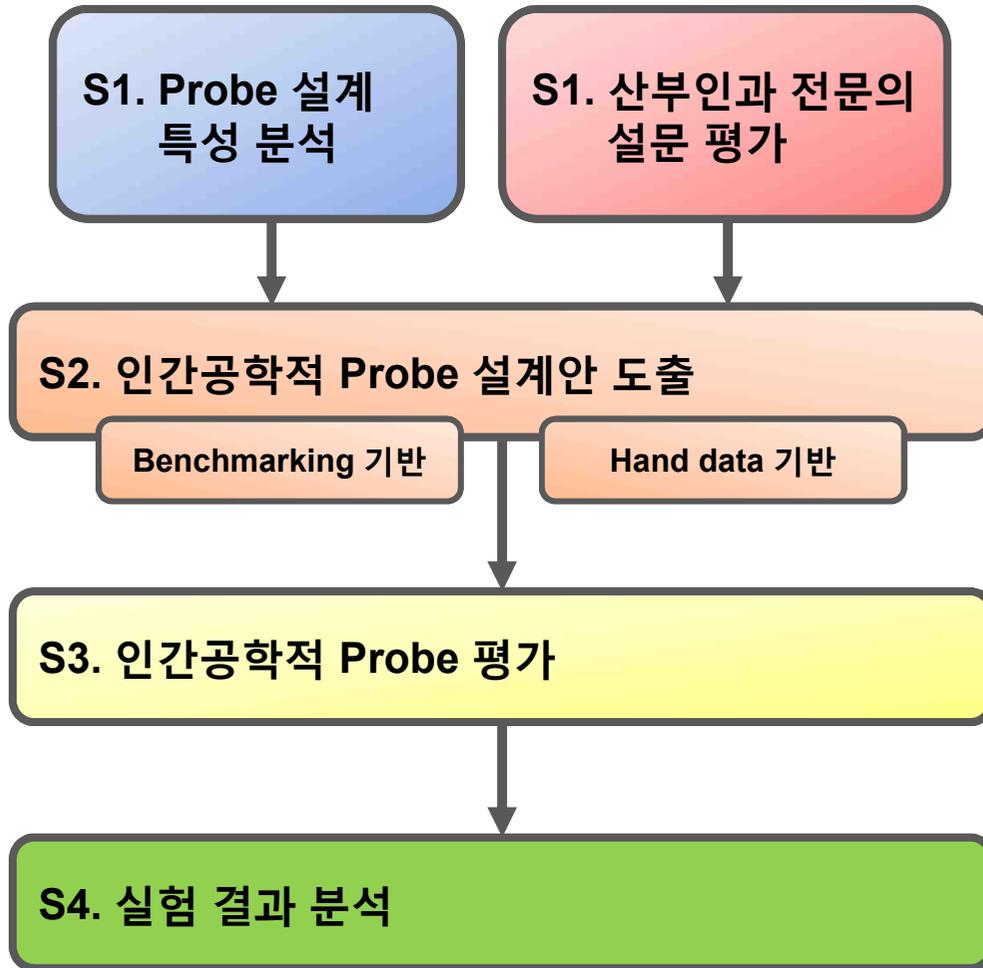
2. 초음파 probe의 PUI 품질에 대한 **인간공학적 정량화 protocol 개발**: 주관적/객관적 정량화 체계



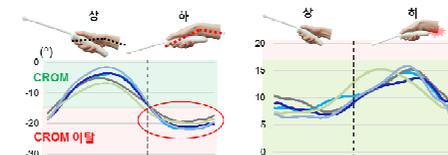
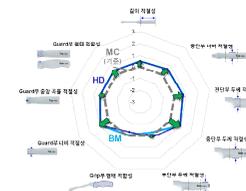
3. 정립된 정량화 protocol 적용을 통한 **선호 PUI 설계 특성 분석**



연구 절차

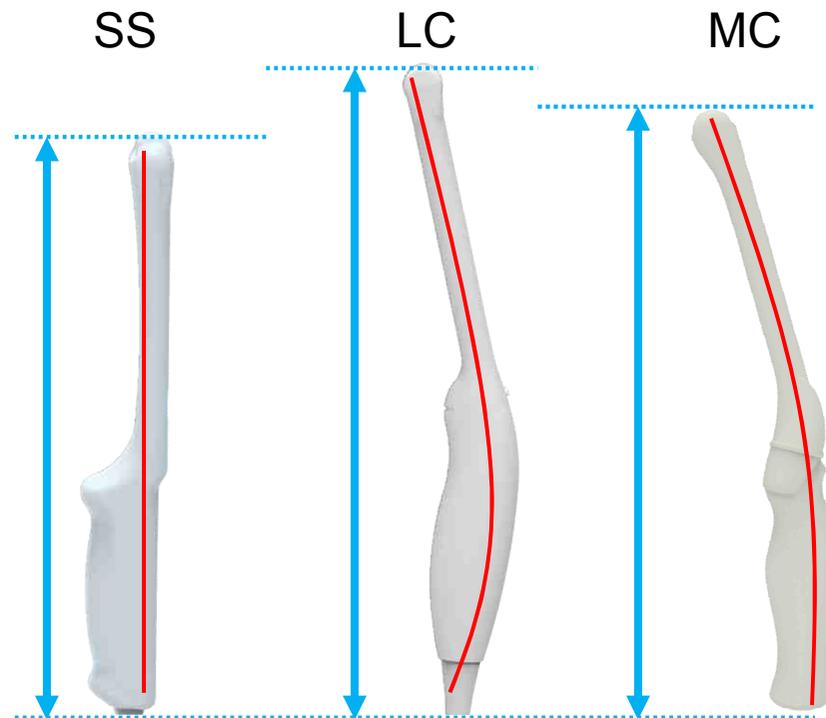


크기 및 형상의 인간공학적 설계



연구 대상

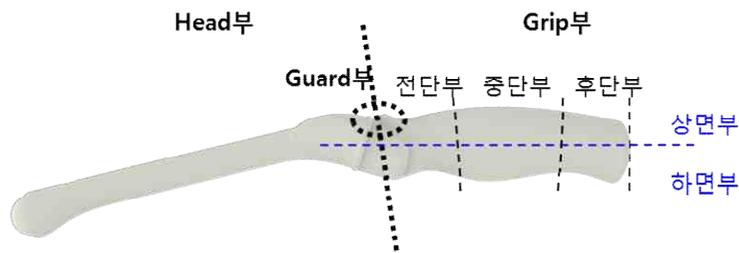
- 길이와 형상 측면에서 차이가 있는 기존 probe 3가지 선정
 - ✓ Short-straight (SS): 길이가 짧고 곧은 형상의 vaginal probe
 - ✓ Long-curved (LC): 길이가 길고 구부러진 형상의 vaginal probe
 - ✓ Medium-curved (MC): 중간 정도의 길이에 구부러진 형상의 vaginal probe



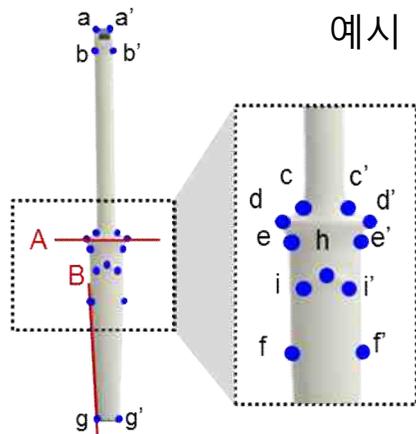
S1. PUI 설계 특성 분석: Probe 설계 인자

- Grip부: 전후 위치 - 전단부, 중단부, 후단부; 상하 위치 - 상면부, 하면부
- Grip부 및 guard부 설계인자 24개 선정하여 단면 길이, 곡률 등 설계 제원 분석

Part 구분



기준점/기준선 정립



설계 인자 정립

평가 부위	No.	설계 인자	Image
Grip부	1	Grip부 길이	
	2	Grip부 전단부 너비	
		⋮	⋮
	7	Grip부 중단부 두께	
		⋮	⋮
	11	Head부-Grip부 사이 각도	
	12	Grip부 정면 중단부 곡률	
		⋮	⋮

S1. 산부인과 전문의 설문 평가

- 목적
 - ✓ **Vaginal probe 사용성 관련 문제점 및 요구 사항 파악**
 - ✓ Vaginal probe의 **우수 설계 특성 파악**
- 평가 참여자: Vaginal probe 사용 산부인과 전문의
- 평가 대상: Vaginal probe **3종** (SS, LC, MC)

설문 항목

설문 사항		
작업 환경	조용파 장비, bed, stool 배치	
	Bed 유형(일반 의료용 bed/전용 bed)	
	...	
사용 특성	...	
	Probe 조작 동작	
사용성	조용파 스캔 시 불편 사항	
	불편 신체 부위, 부적절한 자세 등	
	Grip부	길이, 너비, 두께, 곡률
	Head부-grip부 사이	각도

	Probe 설계 관련 의견 및 요구 사항	Head부
	...	Guard부
	...	의료용 condom 고정부
신호 재질 및 표면	플라스틱: 경질(유광) vs. 경질(무광) vs. 연질	

Vaginal Probe 주관적 만족도 평가(3/6)

질대평가	상대평가
11. Grip부 중간부-후단부 부분 적도 적합성	A: 5, 4, 3, 2, 1, 0 B: 5, 4, 3, 2, 1, 0 C: 5, 4, 3, 2, 1, 0
12. Head부-Grip부 사이 각도 적합성	A: 5, 4, 3, 2, 1, 0 B: 5, 4, 3, 2, 1, 0 C: 5, 4, 3, 2, 1, 0
13. Grip부 형태 적합성	A: 5, 4, 3, 2, 1, 0 B: 5, 4, 3, 2, 1, 0 C: 5, 4, 3, 2, 1, 0
14. Grip부 전단부 보사리 곡률 적합성	A: 5, 4, 3, 2, 1, 0 B: 5, 4, 3, 2, 1, 0 C: 5, 4, 3, 2, 1, 0
15. Grip부 중단부 보사리 곡률 적합성	A: 5, 4, 3, 2, 1, 0 B: 5, 4, 3, 2, 1, 0 C: 5, 4, 3, 2, 1, 0

주관적 만족도 평가 환경



S2. 인간공학적 Probe 설계안

- Vaginal probe 3종 (SS, LC, MC) 중 주관적 만족도 평가를 통해 도출된 가장 선호되는 probe 1종(MC) 선정

SS



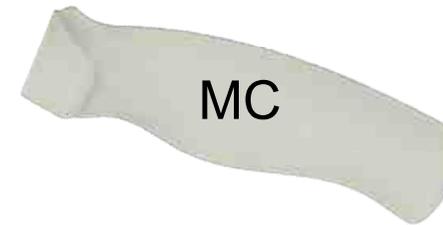
LC



MC

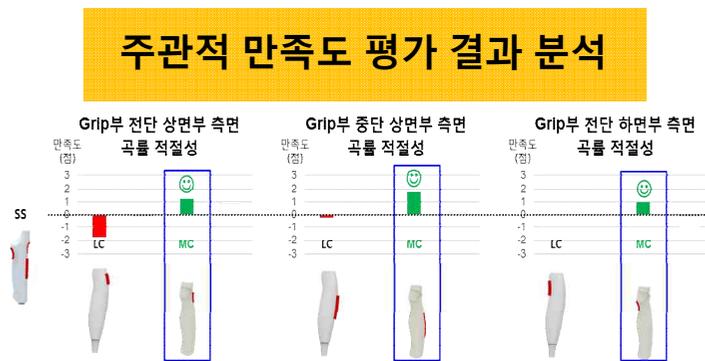


MC



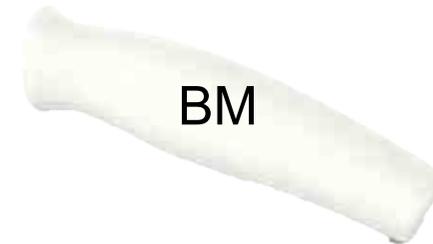
S2. 인간공학적 Probe 설계안: Benchmarking 기반

- 주관적 만족도 평가 결과 분석을 통해 설계인자별 개선 방향을 탐색하여 benchmarking 기반 설계안 개발



개선 방향 탐색

설계 인자	단위	기준	개선 방향
Probe 전체 길이	mm	Long	↓ Medium
Grip부 길이	mm	Long	-
Head부-Grip부 사이 각도	°	Straight	↓ Curved
Grip부 전단 상면부 측면 곡률 적절성	mm	Small	-
Grip부 중단 상면부 측면 곡률 적절성	mm	Large	↓ Small
Grip부 전단 하면부 측면 곡률 적절성	mm	Large	↓ Small
⋮	⋮	⋮	⋮



S2. 인간공학적 Probe 설계안: Hand Data 기반

- 한국인과 미국인의 세번째 손가락 평균 길이를 고려하여 probe의 전단부, 중단부, 후단부 둘레길이 결정

Hand data 활용 logic 수립



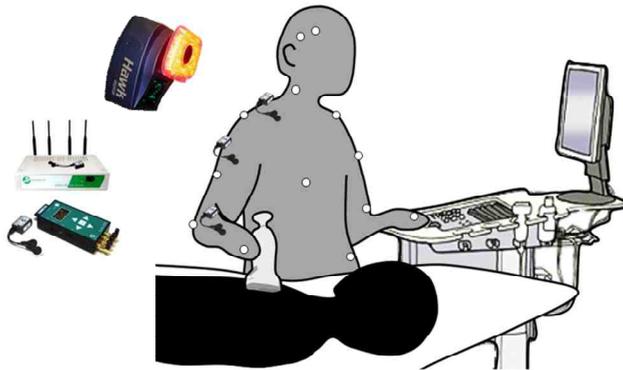
USA & Korea hand data

	ID	Hand Dimensions	US Army				Korean			
			US Army Data (Year 1991)		Ratio to D3		Korean Data (Year 2008)		Ratio to D3	
			composite (fm = 11)	SD	mean	Diff. from D3	composite (fm = 11)	SD	mean	Diff. from D3
Length	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	66.0	4.8			68.8	3.7		
	10	D2 Length	72.5	4.8	0.90	-8.1	68.8	4.3	0.9	-7.7
	22	D3 Length	80.5	5.3	1.00	0.0	76.3	4.3	1.0	0.0
	34	D4 Length	75.7	5.1	0.94	-4.8	72.0	4.3	0.9	-4.3
	46	D5 Length	61.5	4.8	0.76	-19.0	57.0	4.5	0.7	-19.0
	12	D2 Tip to Wrist Crease Length	179.0	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							
Link Length	17	D3 Link Length	104.3	6.7	0.99	-0.8	104.3	6.7		
	29	D3 Link Length	105.1	6.7	1.00	0.0				
	41	D4 Link Length	102.1	6.2	0.97	-3.0				
	53	D5 Link Length	81.8	5.7	0.78	-23.3				
	13	D2 Proximal IPJ Breadth	21.3	1.5						
25	D3 Proximal IPJ Breadth	20.9	1.5							
37	D4 Proximal IPJ Breadth	19.8	1.4							
49	D5 Proximal IPJ Breadth	17.9	1.2							

S3. 인간공학적 평가

- 목적: Vaginal probe의 인간공학적 사용성 평가를 통한 개선 설계 검증 및 선호 설계 특성 파악
- 실험 참여자: 초음파 기사, 초음파기기 사용 의사
- 평가 대상: Vaginal probe 3종 (기존 설계 1종, 신규 개선안 2종)
- 평가 방법
 1. 객관적 평가: 사용 동작, 근전도(EMG) 측정
 2. 주관적 평가: 주관적 만족도 설문 평가

사용 동작 및 근전도



주관적 만족도



S3. 실험 및 분석 Protocol 개발: Apparatus

Motion Analysis

Hawk system
(Motion Analysis, USA)

Sampling rate = 50 Hz



EMG Analysis

Telemyo DTS Telemetry
(Noraxon, USA)

Sampling rate = 1,000 Hz



Satisfaction Analysis

Evaluation sheet

3-point bipolar scale

No	Item	Unit	Scale			Score
			1	2	3	
1	Hand force	N	100	200	300	
2	Hand force	N	100	200	300	
3	Hand force	N	100	200	300	
4	Hand force	N	100	200	300	
5	Hand force	N	100	200	300	
6	Hand force	N	100	200	300	
7	Hand force	N	100	200	300	
8	Hand force	N	100	200	300	
9	Hand force	N	100	200	300	
10	Hand force	N	100	200	300	
11	Hand force	N	100	200	300	
12	Hand force	N	100	200	300	
13	Hand force	N	100	200	300	
14	Hand force	N	100	200	300	
15	Hand force	N	100	200	300	
16	Hand force	N	100	200	300	
17	Hand force	N	100	200	300	
18	Hand force	N	100	200	300	
19	Hand force	N	100	200	300	
20	Hand force	N	100	200	300	
21	Hand force	N	100	200	300	
22	Hand force	N	100	200	300	
23	Hand force	N	100	200	300	
24	Hand force	N	100	200	300	
25	Hand force	N	100	200	300	
26	Hand force	N	100	200	300	
27	Hand force	N	100	200	300	
28	Hand force	N	100	200	300	
29	Hand force	N	100	200	300	
30	Hand force	N	100	200	300	

Phantom

Phantom



S3. 주관적 만족도 평가지

- 인체측정학적 측면, 생체공학적인 측면, 감성적 측면을 고려하여 초음파 probe의 주관적 만족도 평가 항목 선정 및 평가지 제작

주관적 만족도 평가 항목

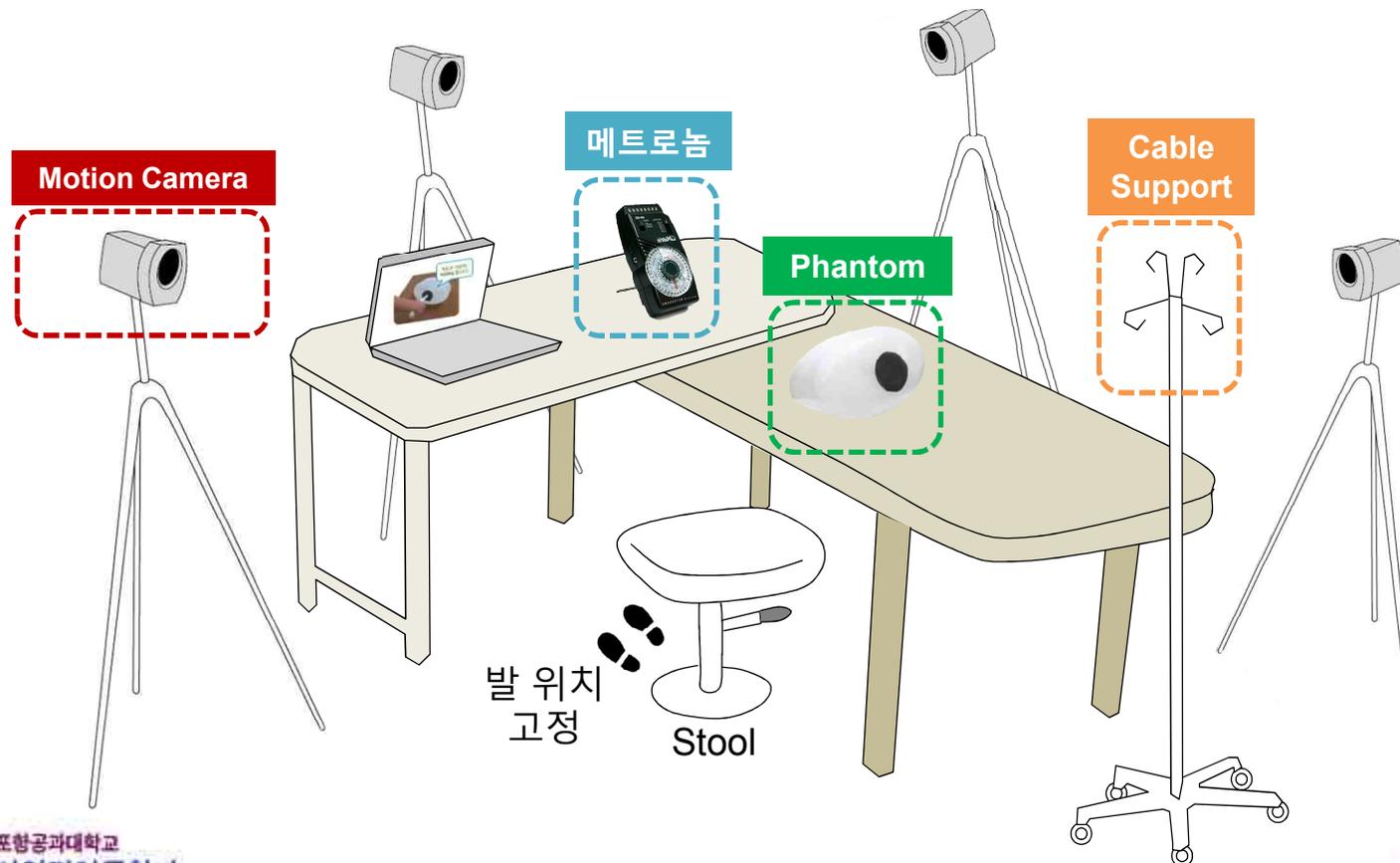
사용성 Measure		항목
인체측정학적 측면	크기 적절성	Grip부 길이 적절성
	형태 적합성	...
생체역학적 측면	자세 적합성	파지 자세 적합성
	각도 적절성	...
	힘 사용 적절성	...
	압력 분산 적절성	...
	조작 용이성	...
감성적 측면	곡률 적절성	Grip부 전단부 모서리 곡률 적절성
	그립감	...
전반적 만족도		전반적 만족도

평가 설문지 예



S3. 사용성 평가 환경

- ❑ Cable이 사용성에 영향을 미치는 것을 제외하기 위해 **cable support 사용**
- ❑ 원하는 위치 및 높이로 stool 조정 및 고정
- ❑ 메트로놈을 이용하여 사용자의 task 수행 속도 control



S3. 객관적 평가 Scenario

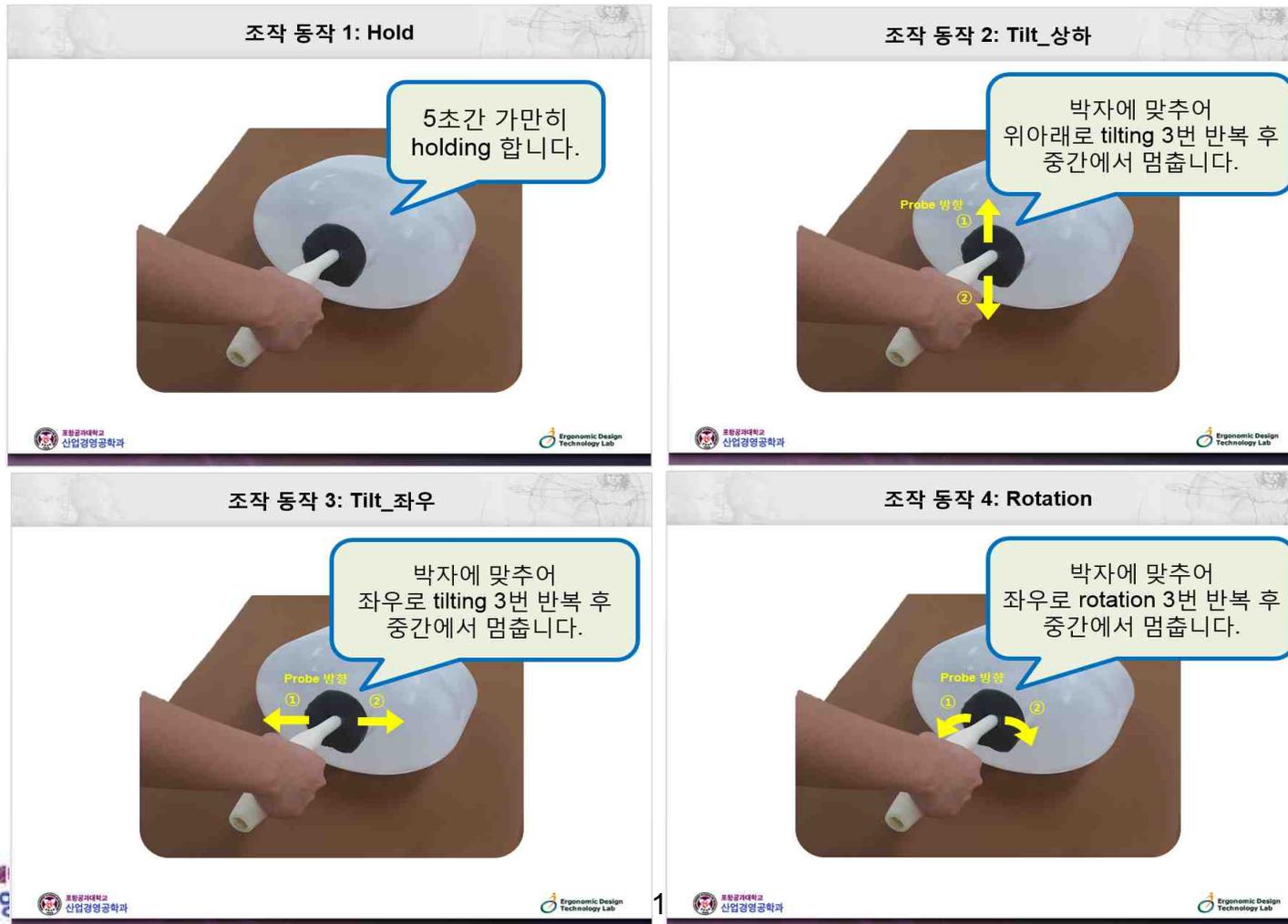
- 사용성 평가 24 조건(probe 3종 x 검사 자세 2가지 x 검사 동작 4가지)에 대해 3회 반복 평가 (약 20분 소요)



24조건 3회 반복 (24조건 × 동작별 15 sec. × 3회 = 약 20 min. 소요)

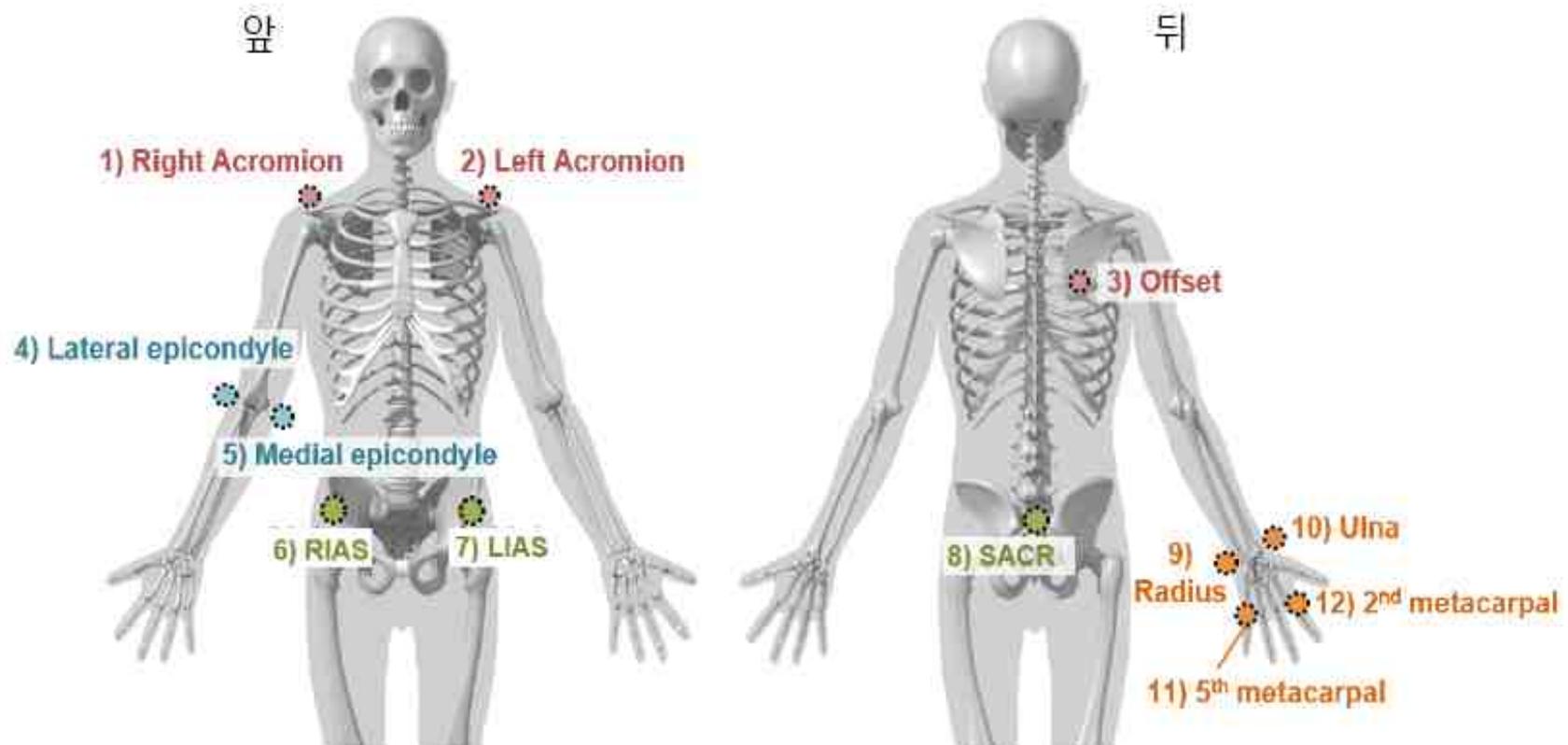
S3. 평가 Task

- Phantom을 대상으로 실제 검사 시와 유사하게 hold, 상하 tilt, 좌우 tilt, rotation 동작 수행



S3. 동작 분석 Marker Set

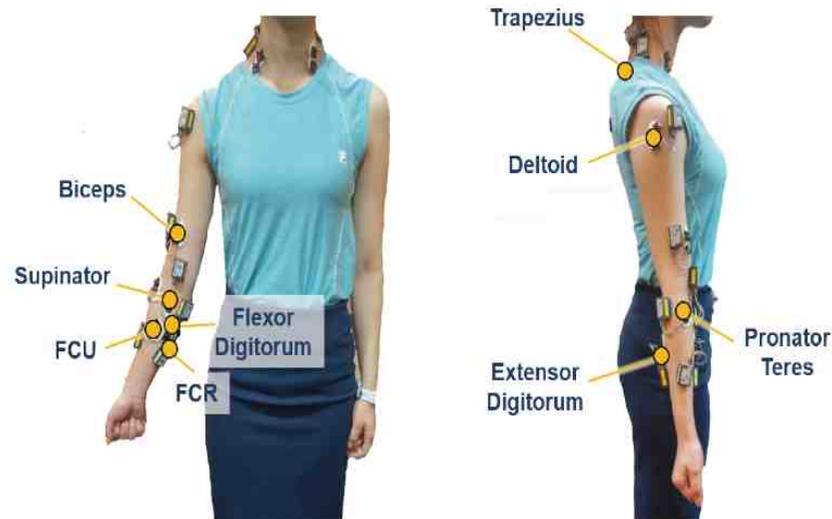
- 손목 및 상체 동작을 분석하기 위하여 12개의 marker 부착



S3. Electromyography: Electrode 부착 위치 & MVC

- Probe 사용 시의 주요한 9가지 근육 선정
- 측정된 EMG의 normalization을 위하여 각 근육별 MVC(maximum voluntary contraction; 최대 자발적 수축) 측정

▶ Electrode 부착 & MVC 측정



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

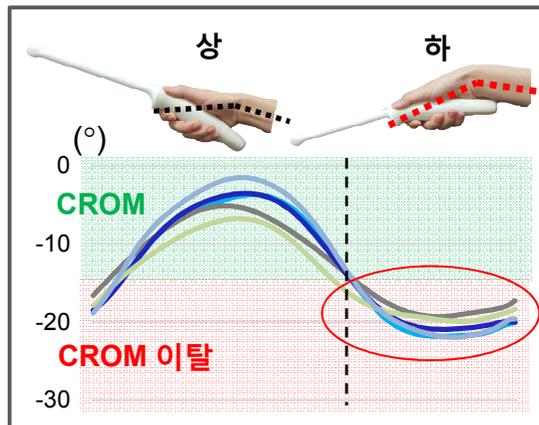
S4. 실험 결과 분석 방법 (1/2)

- ❑ 주관적 만족도 분석: 설계인자별 점수 평균(Mean) 및 표준편차(SD) 분석
- ❑ 손목 동작 분석
 - ✓ Task별 손목 각도 변화 패턴 및 주요 동작(e.g., 상하 tilt → radial/ulnar dev.) 파악
 - ✓ 편안한 동작 범위(comfortable range of motion, CROM) 이내/이탈 구간 분석
- ❑ EMG 분석: task별 근 수축 변화 패턴 파악 및 high muscular load 구간 분석

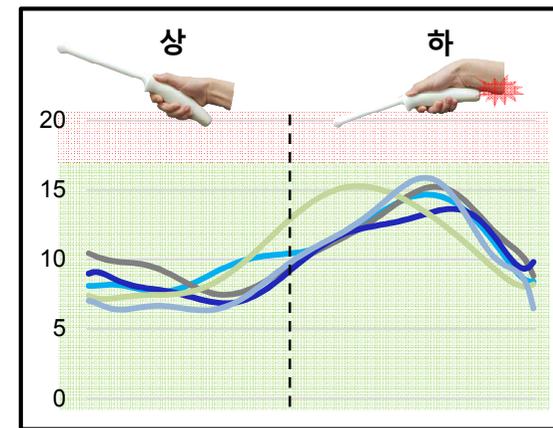
주관적 만족도 점수 Mean/SD

No.	평가 항목	평가 항목	M		SD		SP	
			A	B	A	B	A	B
1	Head부	Head부 최대 두께 적합성	3.5	-1.5	1.7	0.6	0.9	0.3
2	Head부	Head부 형태 적합성	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Grip부	Grip부 높이 적합성	4.0	-3.0	1.2	0.0	0.6	0.0
4	Grip부	Grip부 최소 너비 적합성						
5	Grip부	Grip부 최대 너비 적합성						
6	Grip부	Grip부 최소 두께 적합성						
7	Grip부	Grip부 최대 두께 적합성						
8	Grip부	Grip부 최후속 두께 적합성						
9	Grip부	Grip부 형태 적합성						
10	Grip부	Grip부 직경 안쪽 정도 적합성						
11	Grip부	Grip부 직경 바깥 정도 적합성						
12	Grip부	Head부-Grip부 사이 각도 적합성						
13	Grip부	Grip부 압력 분산 적합성						
14	Grip부	Grip부 안쪽 끝선 곡률 적합성						
15	Grip부	Grip부 직경 최대불충분 곡률 적합성						
16	Grip부	Grip부 직경 최대충분 곡률 적합성						
17	Grip부	Grip부 최소우레 치장 오차의 곡률 적합성						
18	Grip부	Grip부 최대우레 치장 오차의 곡률 적합성						
19	Shoulder부	Shoulder부 높이 적합성						
20	Shoulder부	Shoulder부 형태 적합성						
21	손목	Probe 높이 적합성						
22	손목	자세 적합성						
23	손목	힘 사용 적합성						
24	손목	요격 용이성						
25	손목	그립감						
26	손목	손목의 안정도						

상하 tilt 시 radial/ulnar deviation



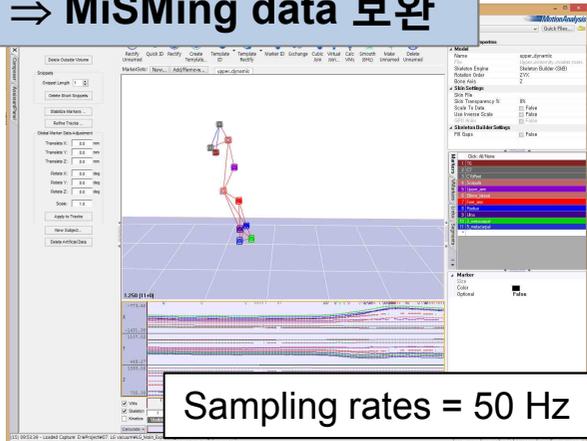
상하 tilt 시 %MVC (%): FCU



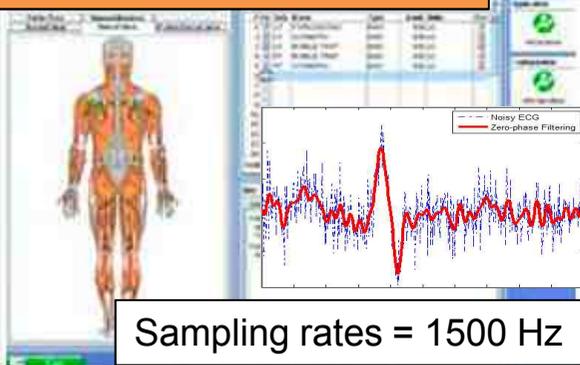
S4. 실험 결과 분석 방법 (2/2)

S1. Pre-proceSMing

Motion capture
⇒ MiSMing data 보완

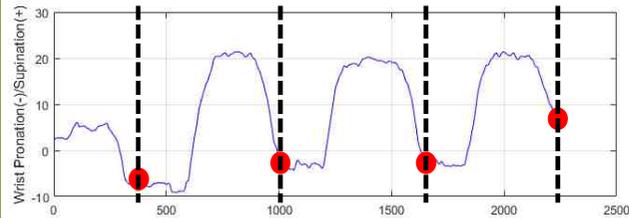


EMG
⇒ Rectification & filtering

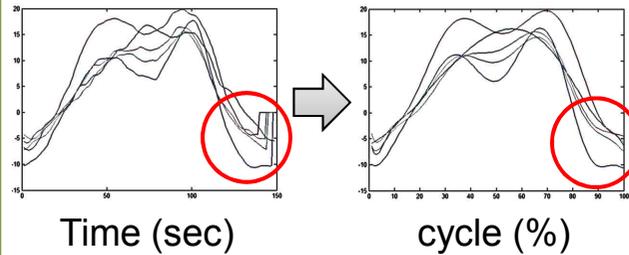


S2. Synchronization

S1. Data trim



S2. Time synchronization

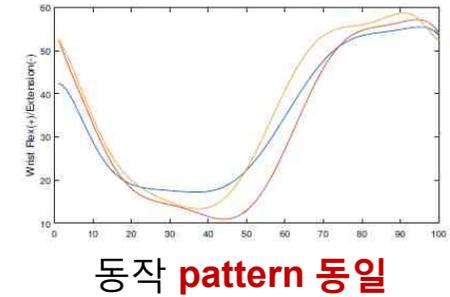


<Data 처리 방법>
⇒ 자체 개발
matlab code 사용

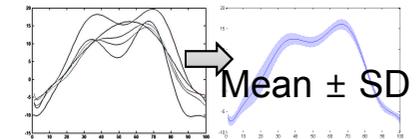
- barwitherr.m
- ImportData.m
- MotionEMG_Analysis.m
- MVC_Cal.m
- polyfit.m
- selectdata.m
- shadedErrorBar.m
- TimeNormalization.m

S3. Data 추출

S1. Outlier 제거



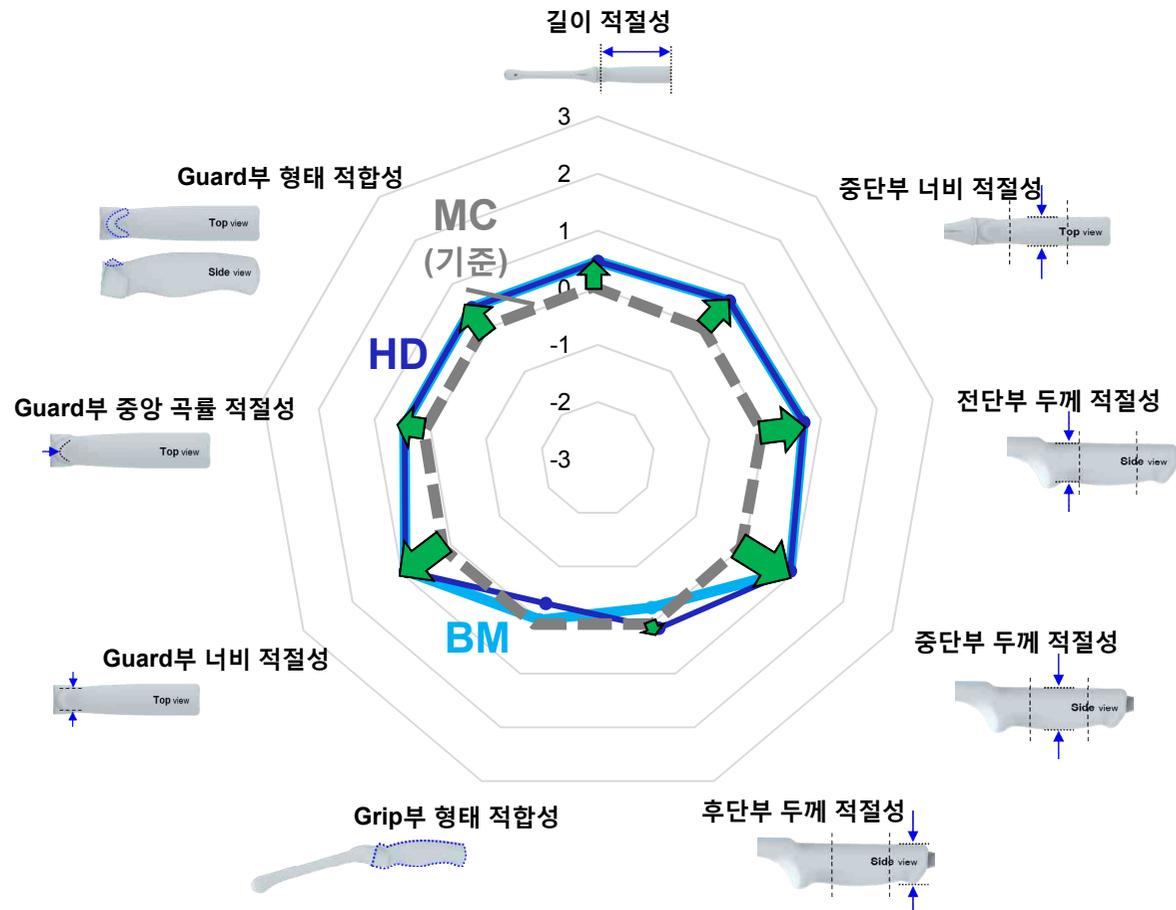
S2. Data 평균화



S4. 주관적 만족도

MC: Med-curved (기준)
 BM: Benchmarking based
 HD: Hand data based

- BM, HD handle의 주관적 만족도는 MC 대비 **grip부 길이/너비/두께, guard부 너비/곡률/형태** 측면에서 **높음**



S4. CROM 이내 비율

MC: Med-curved (기준)
 BM: Benchmarking based
 HD: Hand data based

□ MC 대비 BM와 HD handle의 CROM 이내 비율

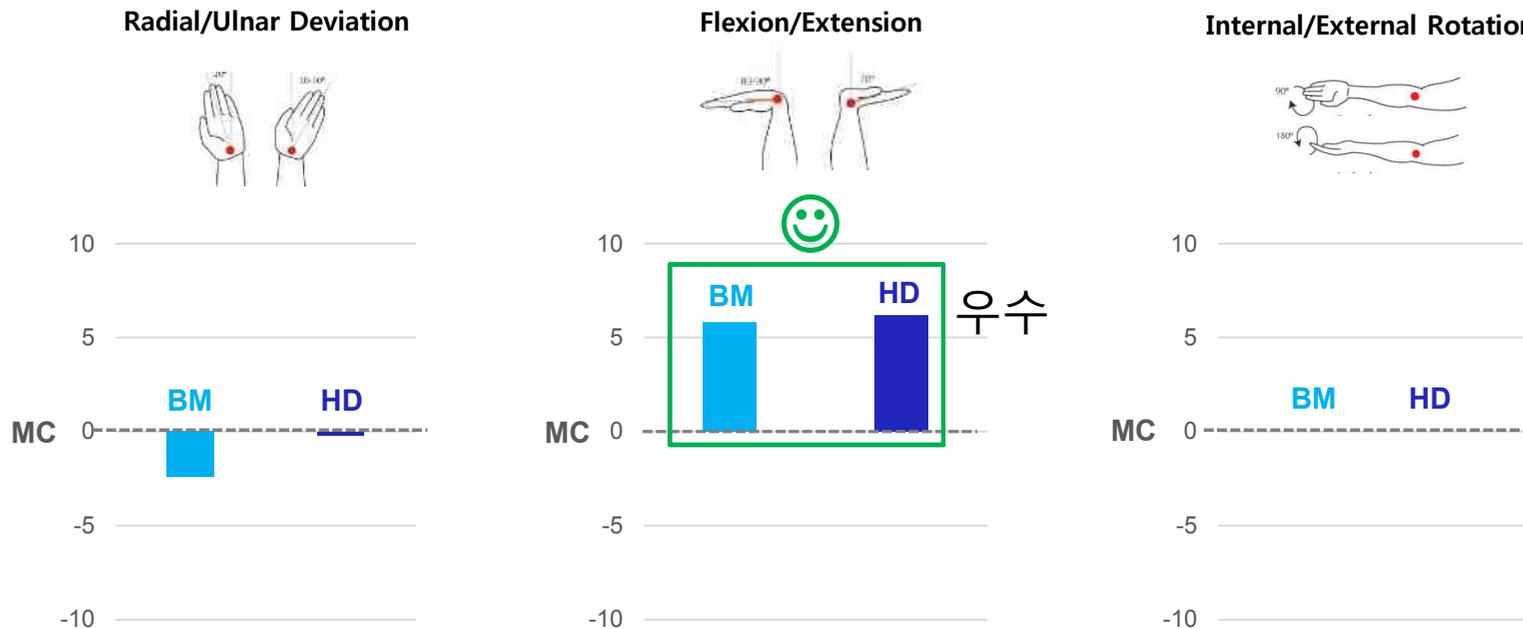
✓ Radial/ulnar deviation: $MC \cong HD > BM$

✓ Flexion/extension: $HD \cong BM > MC$

✓ Internal/external rotation: $HD \cong BM \cong MC$

} HD & BM 전반적 우수

MC 대비 CROM 이내 비율(%)

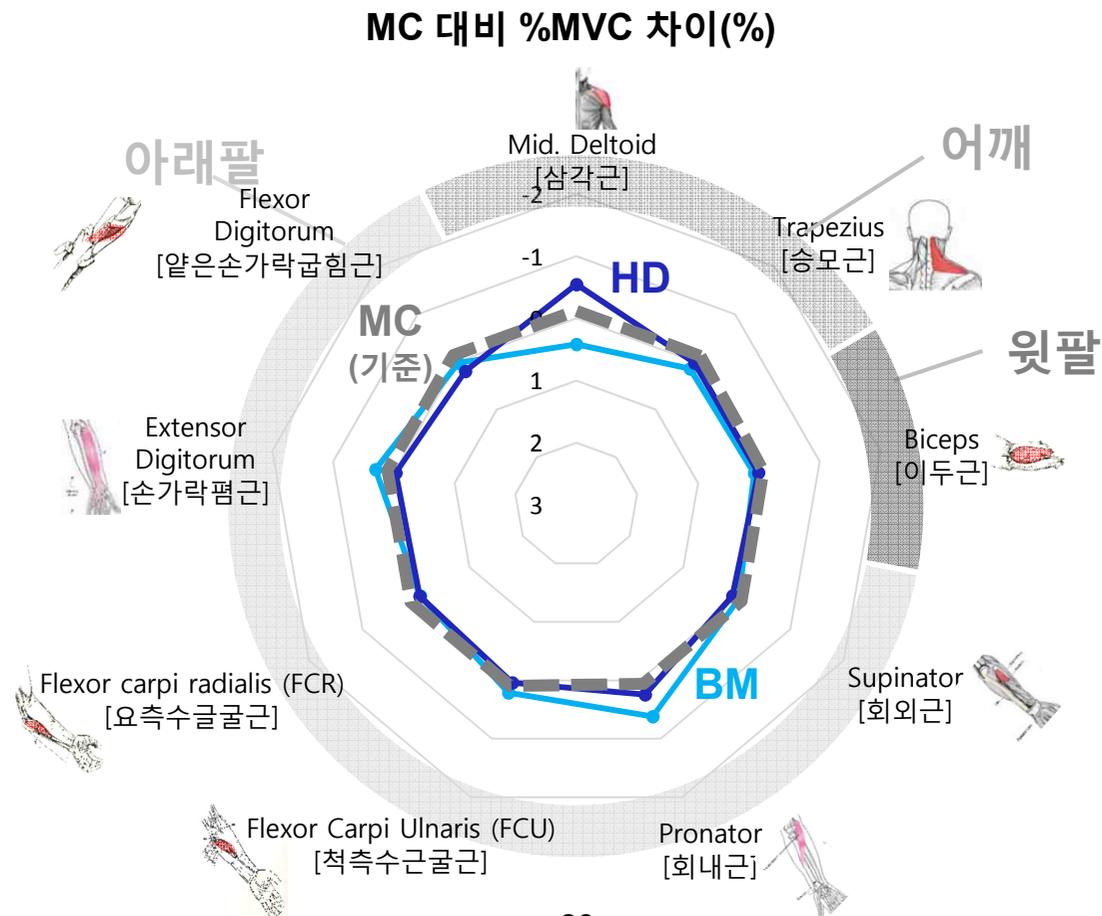


S4. %MVC

MC: Med-curved (기준)
 BM: Benchmarking based
 HD: Hand data based

□ MC, BM, HD는 유사한 힘이 사용됨: MC ≅ BM ≅ HD

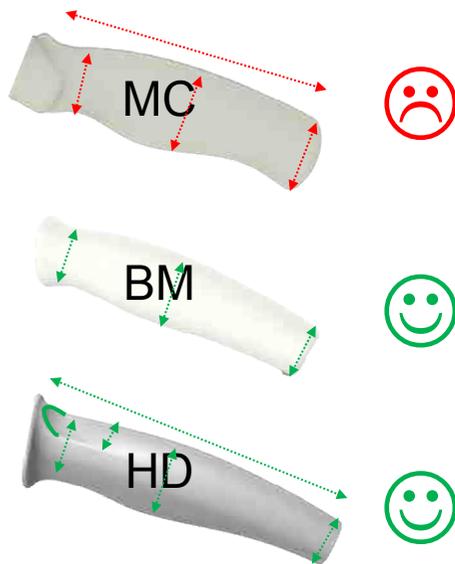
⇒ Vaginal probe는 조작 시 작은 힘이 사용되기 때문으로 사료됨



Discussion (1/2)

□ Vaginal probe PUI 선호 설계 특성 파악

- ✓ 평가를 통해 benchmarking 및 hand data 기반 설계안이 더 선호됨을 검증함
- ✓ MC probe를 기준으로 길이/너비/곡률 측면에서는 증가, 두께 측면에서는 감소하는 방향으로 설계하는 것이 선호됨



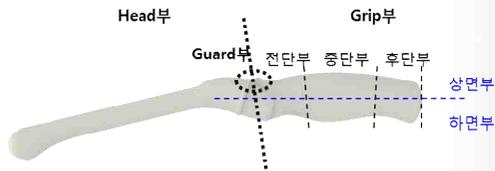
설계 제원	그림	선호 방향 (MC probe 기준)
Grip부 길이		증가
Grip부 중단부 너비		증가
Grip부 전단부 두께		감소
Grip부 중단부 두께		감소
Grip부 후단부 두께		감소
Guard부 너비		증가
Guard부 중앙 곡률		증가

Discussion (2/2)

❑ Vaginal probe PUI 평가 protocol 정립

- ✓ Vaginal probe의 주요 설계 인자 정립 및 PUI 설계 특성 파악
- ✓ 객관적(EMG, Motion), 주관적 사용성 평가 방법을 종합적으로 고려
- ✓ 다른 유형의 probe 및 유사한 handle 제품의 사용성 평가에 적용 가능

PUI 특성 분석



평가 protocol



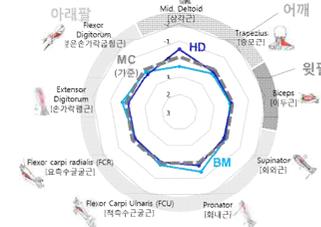
객관적 평가

사용성 Measure	항목
인체측정학적 측면	크기 적절성 형태 적합성 저세 적합성
생체역학적 측면	손목 움직임 조작 용이성
감성적 측면	직물 적절성 그립감
전반적 만족도	전반적 만족도

주관적 평가

결과 분석

EMG (%MVC)



Subjective Satisfaction



질의 응답

경청해 주셔서 감사합니다.

