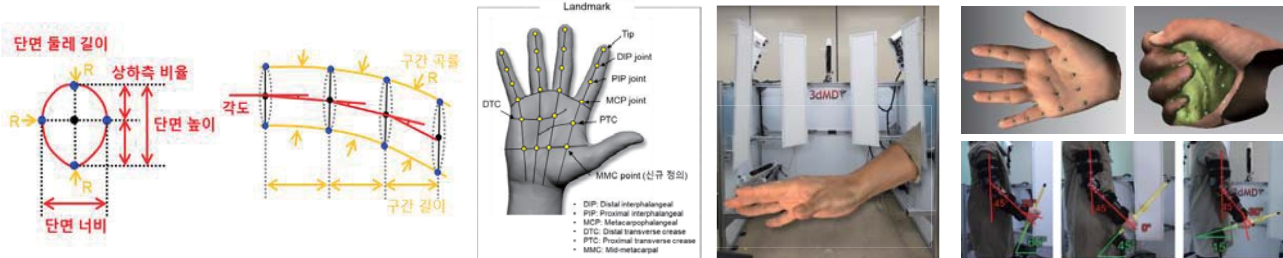


손목 동작(Adduction/Abduction)에 따른 Power Grip 내부 형상 변화 측정 및 분석



정하영¹, 문수진¹, 이원섭², 오지현¹, 김효진³, 유희천¹

¹ 포항공과대학교 산업경영공학과

² 한동대학교 ICT창업학부

³ 휴머노피아 제품개발팀

Global Contributor to Eco-Techno-Humanopia

Contents

- 연구 배경 및 필요성
- 연구 목적
- 연구 방법
 - Hand-handle interface 분석
 - Power grip 형상 측정 protocol
- 연구 결과
 - Static vs. Dynamic hand 형상 분석
 - 손목 자세별 hand dimension 분석
- 토 의

연구 배경

- Handle은 작업의 효율성을 높이기 위한 도구로 사용 목적 및 환경에 따라 다양한 형태로 설계됨
- 인간공학적 handle 개발을 위해 손 형상, grip 자세 및 사용 작업 등에 대한 세부 분석이 필요함



Drill



초음파 probe



청소기 handle

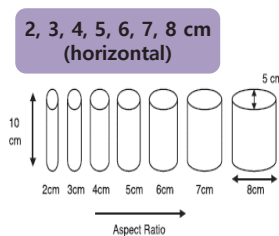
기존 Handle 설계 연구: 최적 형상 도출

- 최적 handle 형상 도출을 위해 2 ~ 8 level의 diameter 및 단면 형상에 대하여 객관적(EMG, grip force 등), 주관적 평가를 수행함 (Cuijpers et al., 2004; Dong et al., 2007; Herring et al., 2011; Kong and Lowe, 2005)

Various handle diameters



Kong and Lowe, 2005



Cuijpers, 2004

8 different shapes

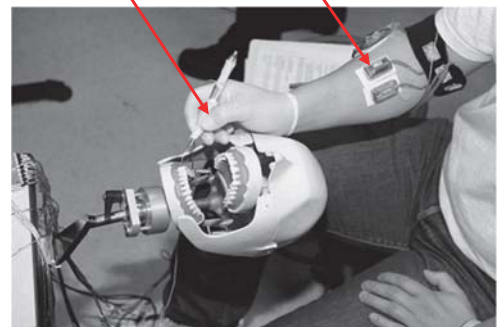


Herring, 2011

Ergonomic evaluation of scaling hand tool

Pressure sensor

EMG sensor

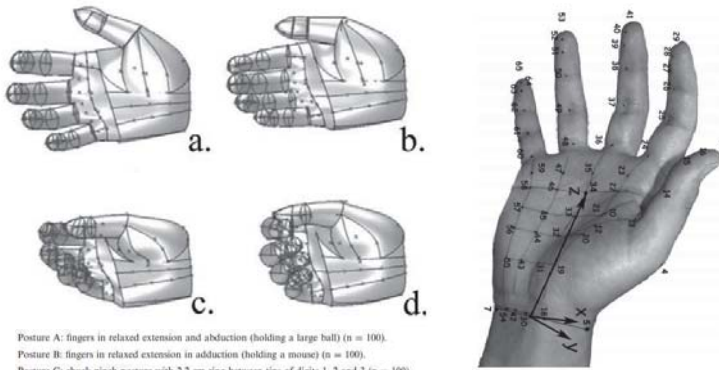


Dong et al. (2007)

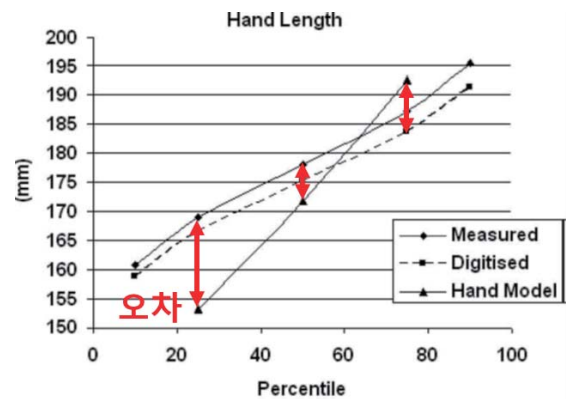
손 형상 분석 연구

- ❑ Rogers et al. (2008)는 grip을 고려한 hand dimension 측정을 위해 4가지 hand posture 및 66개의 hand landmark를 정의함
- ❑ 3D software를 이용하여 representative & scalable hand model을 개발하고 4가지 posture별 hand dimension을 측정함

Hand postures & landmarks (Rogers et al., 2008)



Errors between digital and real hand dimensions



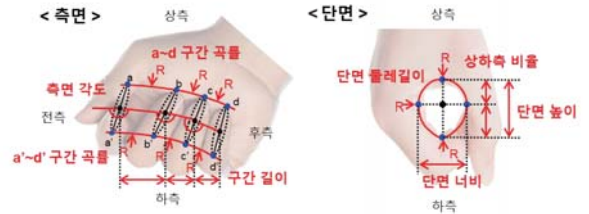
기존 연구의 한계점

- ❑ 기존 handle 설계 연구는 정적인 상황(shoulder: 0°, elbow: 90°)에서 extruded cylindrical handle을 대상으로 평가를 수행하여 실제 제품 사용 환경의 고려는 부족함
- ❑ 손 내측 형상 분석 연구는 추정된 3D hand model을 이용하여 hand dimension들의 치수를 추정하였으나 실측 값과의 오차가 크고 정확도가 낮음
- ❑ 제품의 design dimension과 hand dimension의 관계 규명이 부족함
- ❑ Handle을 사용하는 동적 상황(동작, 자세변화)에서의 손 형상 측정 연구는 부재함

손목 동작에 따른 Power Grip 내부 형상 측정 및 분석 방법 개발

1. Hand-handle Interface 분석

- Hand landmark, dimension 정리
- Handle dimension 정의
- Hand 및 handle 유관 dimension 선정



2. 손목 동작별 power grip 형상 측정 및 분석

- 손목 자세별 3차원 power grip 형상 측정 실험
- 3차원 hand scan data processing
- Hand dimension 측정 및 분석



S1. Hand-handle interface 분석

- Handle dimension 선정
- Hand dimension 선정
- Handle 유관 hand dimension 도출

S2. Power grip 형상 측정 protocol

- 손목 자세 및 power grip 선정
- 30명 대상 hand 3차원 scan 및 casting
- Hand scan data post-processing

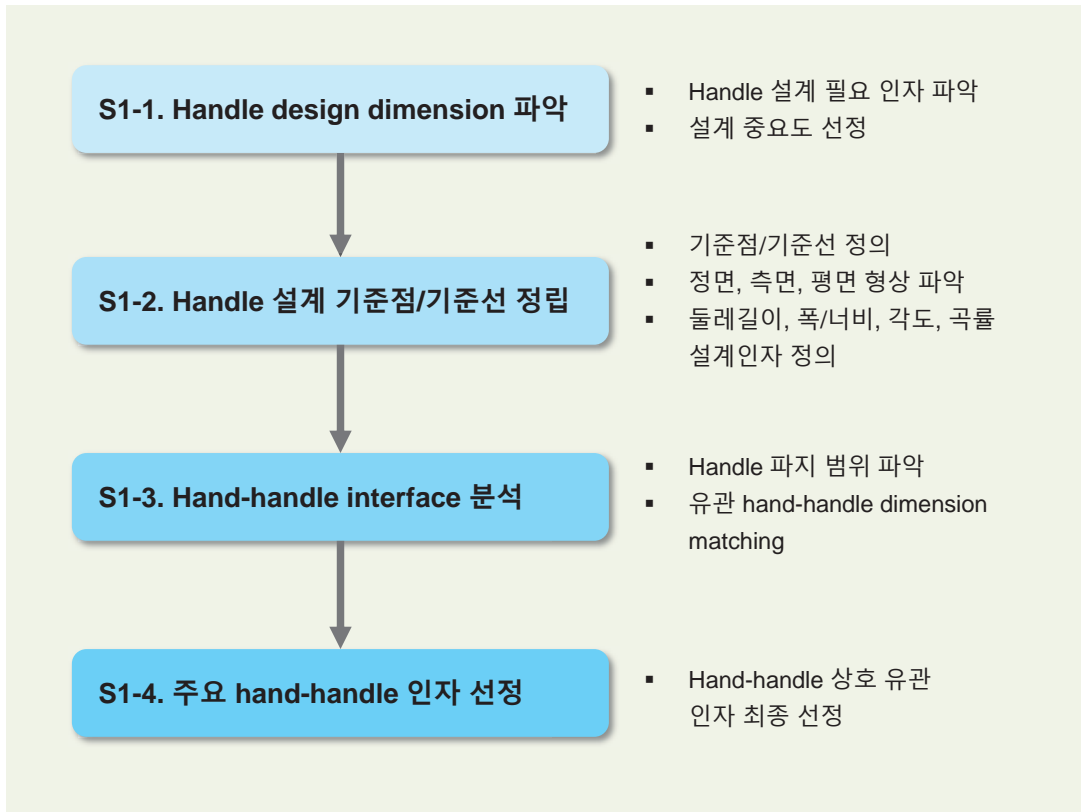
S3. 손목 자세별 power grip 형상 측정 실험

- Static, dynamic hand posture 측정
- Neutral 자세 대비 AD/AB시 손 형상 측정

S4. 손목 자세별 power grip 형상 변화 분석

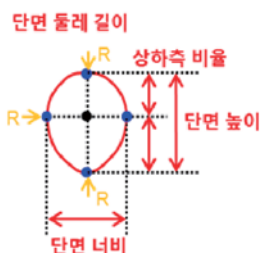
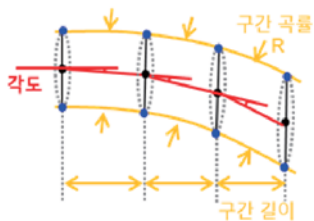
- 손목 자세별 hand dimension 측정 결과
- Handle design 적용 예시

Hand-handle Interface 분석 절차



Handle Design Dimension

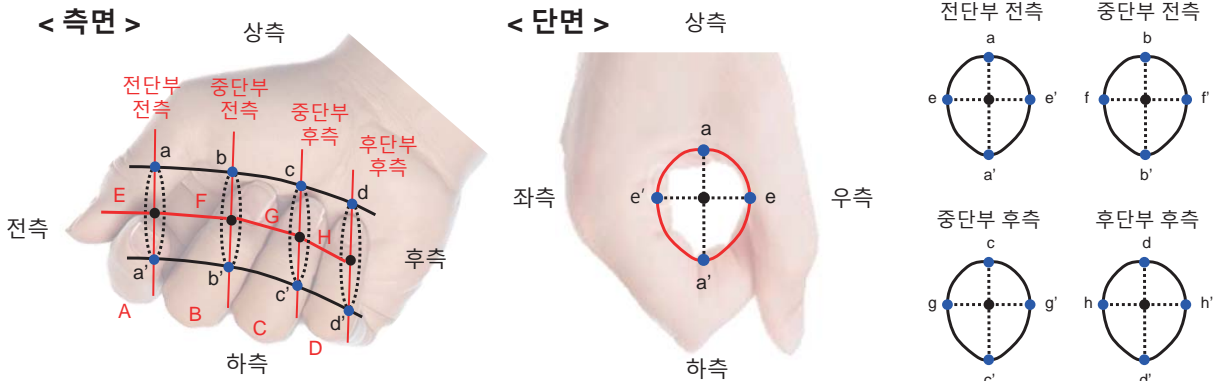
- 디자인 및 인간공학 전문가의 의견을 따라 **handle 설계 인자별 중요도가 평가됨**
 - 평가 기준: 설계 인자 변화 시 사용자가 느끼는 사용성, 감성에 미치는 영향의 정도
- 중요도 '상', '중'에 해당하는 **11종의 주요 설계 인자**가 선정됨



View	설계 인자	필수/선택	선정		
단면	길이	너비	필수	0	필수 선정
		높이	필수	0	
		둘레길이	필수	0	
		상하축 길이 비율	필수	0	
	곡률	상측점 곡률	선택	0	일부 선정
		하측점 곡률	선택	0	
		좌우측점 곡률	선택	0	
		상측 구간 곡률	선택		
측면	길이	구간 길이	선택	0	일부 선정
		곡률	측면 상측 점 곡률	선택	
	측면 상측 구간 곡률		선택	0	
	측면 상측 평균 곡률		선택		
	측면 하측 점 곡률		선택	0	
	각도	측면 하측 구간 곡률	선택	0	
측면 하측 평균 곡률		선택			

Handle 설계 기준점/기준선 정립 (1/2)

□ Handle 파지 시 각 손가락을 따라 handle을 4개의 단면선으로 구분하고 각 단면의 특징점을 기준점으로 선정함(기준점 16개, 기준선 8개)

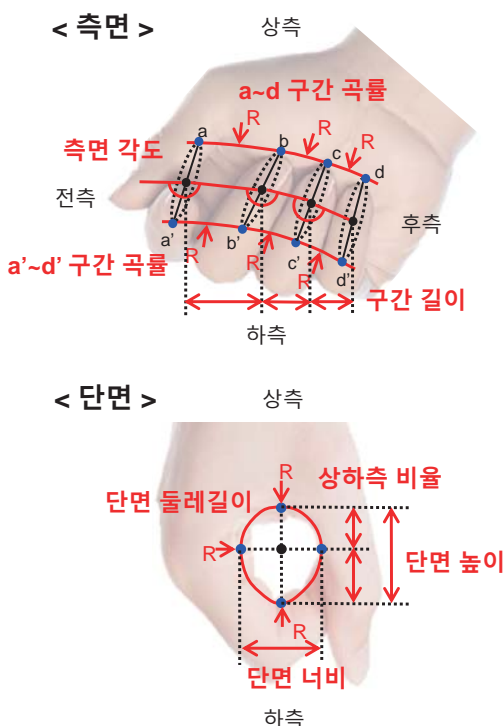


View	기호	명칭
측면))	A	전단부 전측 단면선
	B	중단부 전측 단면선
	C	중단부 후측 단면선
	D	후단부 후측 단면선
	E	Handle 방향선
	F	전단부 전측-중단부 전측 단면중심점 연결선
	G	중단부 전측-중단부 후측 단면중심점 연결선
	H	중단부 후측-후단부 후측 단면중심점 연결선

View	기호	명칭
측면))	a, a'	전단부 전측 최상/하측점
	b, b'	중단부 전측 최상/하측점
	c, c'	중단부 후측 최상/하측점
	d, d'	후단부 후측 최상/하측점
단면 ○	e, e'	전단부 전측 최좌/우측점
	f, f'	중단부 전측 최좌/우측점
	g, g'	중단부 후측 최좌/우측점
	h, h'	후단부 후측 최좌/우측점

Handle 설계 기준점/기준선 정립 (2/2)

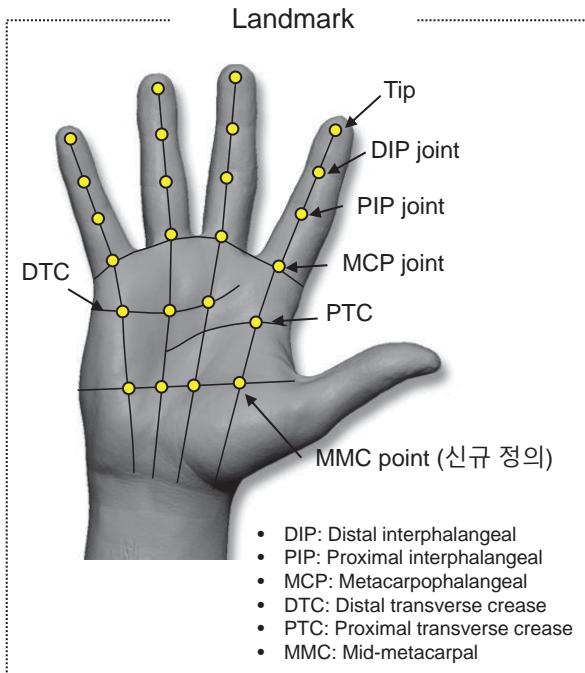
□ 정립된 기준점과 기준선을 기반으로 총 40개 설계 인자를 정립함



No.	View	설계인자	Image	기준점/기준선	설명
1	단면	전단부 전측 단면 높이		a (전단부 전측 최상측점) a' (전단부 전측 최하측점)	기준점 a, a' 사이의 직선거리
2	단면	중단부 전측 단면 높이		b (중단부 전측 최상측점) b' (중단부 전측 최하측점)	기준점 b, b' 사이의 직선거리
3	단면	중단부 후측 단면 높이		c (중단부 후측 최상측점) c' (중단부 후측 최하측점)	기준점 c, c' 사이의 직선거리
4	단면	후단부 후측 단면 높이		d (후단부 후측 최상측점) d' (후단부 후측 최하측점)	기준점 d, d' 사이의 직선거리
5	단면	전단부 전측 단면 너비		e (전단부 전측 최좌측점) e' (전단부 전측 최우측점)	기준점 e, e' 사이의 직선거리
6	단면	중단부 전측 단면 너비		f (중단부 전측 최좌측점) f' (중단부 전측 최우측점)	기준점 f, f' 사이의 직선거리
7	단면	중단부 후측 단면 너비		g (중단부 후측 최좌측점) g' (중단부 후측 최우측점)	기준점 g, g' 사이의 직선거리
8	단면	후단부 후측 단면 너비		h (후단부 후측 최좌측점) h' (후단부 후측 최우측점)	기준점 h, h' 사이의 직선거리

Hand Landmarks & Dimensions

□ Hand 및 handle dimension 분석을 위한 **hand landmark 총 24개** 및 **hand-handle dimension 총 40개**를 선정함(Greiner, 1991; Hidson, 1991, Lee et al., 2018, Yun, 2013)

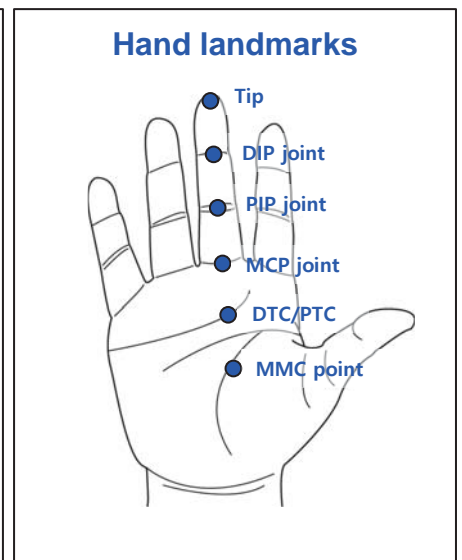
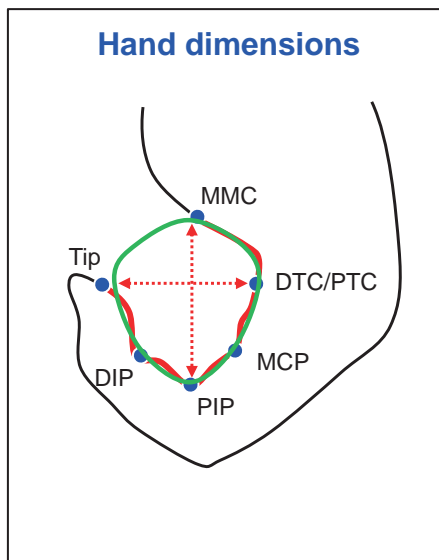
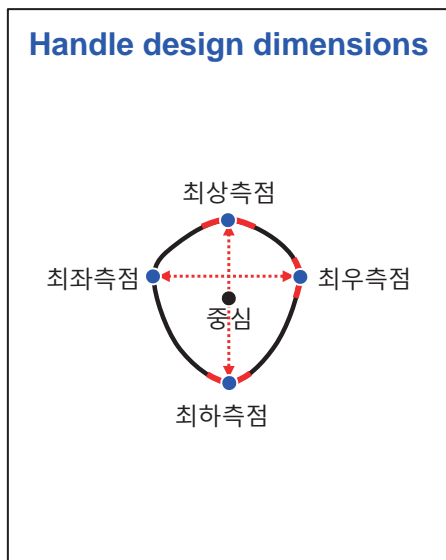


View	상계 연차	Hand 연관
길이	전단부 전측 단면 너비	Digit 2 tip to PTC
	중단부 전측 단면 너비	Digit 3 tip to DTC
	중단부 후측 단면 너비	Digit 4 tip to DTC
	후단부 후측 단면 너비	Digit 5 tip to DTC
	전단부 전측 단면 높이	Digit 2 PIP joint to MMC point
	중단부 전측 단면 높이	Digit 3 PIP joint to MMC point
	중단부 후측 단면 높이	Digit 4 PIP joint to MMC point
	후단부 후측 단면 높이	Digit 5 PIP joint to MMC point
	전단부 전측 둘레길이	Digit 2 내측 단면 둘레길이
	중단부 전측 둘레길이	Digit 3 내측 단면 둘레길이
	중단부 후측 둘레길이	Digit 4 내측 단면 둘레길이
	후단부 후측 둘레길이	Digit 5 내측 단면 둘레길이
	전단부 전측 상하측 길이 비율	Digit 2 단면 높이선 및 너비선 교차점 기준 상측 길이 : 하측 길이
	중단부 전측 상하측 길이 비율	Digit 3 단면 높이선 및 너비선 교차점 기준 상측 길이 : 하측 길이
	중단부 후측 상하측 길이 비율	Digit 4 단면 높이선 및 너비선 교차점 기준 상측 길이 : 하측 길이
후단부 후측 상하측 길이 비율	Digit 5 단면 높이선 및 너비선 교차점 기준 상측 길이 : 하측 길이	
곡률	전단부 전측 상측점 곡률	Digit 2 MMC point 주변 곡률
	중단부 전측 상측점 곡률	Digit 3 MMC point 주변 곡률
	중단부 후측 상측점 곡률	Digit 4 MMC point 주변 곡률
	후단부 후측 상측점 곡률	Digit 5 MMC point 주변 곡률
	전단부 전측 하측점 곡률	Digit 2 PIP joint 주변 곡률
	중단부 전측 하측점 곡률	Digit 3 PIP joint 주변 곡률
	중단부 후측 하측점 곡률	Digit 4 PIP joint 주변 곡률
	후단부 후측 하측점 곡률	Digit 5 PIP joint 주변 곡률
	전단부 전측 최우측점 곡률	Digit 2 PTC 주변 곡률
	중단부 전측 최우측점 곡률	Digit 3 DTC 주변 곡률
중단부 후측 최우측점 곡률	Digit 4 DTC 주변 곡률	
후단부 후측 최우측점 곡률	Digit 5 DTC 주변 곡률	
측면	전단부 측면 구간 길이	Digit 2-3 내측 단면 중심 사이 수평 길이
	중단부 측면 구간 길이	Digit 3-4 내측 단면 중심 사이 수평 길이
	후단부 측면 구간 길이	Digit 4-5 내측 단면 중심 사이 수평 길이
	전단부 측면 상측 구간 곡률	Digit 2-3 MMC point 연결 곡선의 곡률
	중단부 측면 상측 구간 곡률	Digit 3-4 MMC point 연결 곡선의 곡률
	후단부 측면 상측 구간 곡률	Digit 4-5 MMC point 연결 곡선의 곡률
각도	전단부 측면 하측 구간 곡률	Digit 2-3 PIP joint 연결 곡선의 곡률
	중단부 측면 하측 구간 곡률	Digit 3-4 PIP joint 연결 곡선의 곡률
	후단부 측면 하측 구간 곡률	Digit 4-5 PIP joint 연결 곡선의 곡률
각도	전단부 측면 각도	Handle 방향선 - digit 2-3 내측 단면 중심 연결선 사이 각도
	중단부 측면 각도	Digit 2-3 내측 단면 중심 연결선 - digit 3-4 내측 단면 중심 연결선 사이 각도
	후단부 측면 각도	Digit 3-4 내측 단면 중심 연결선 - digit 4-5 내측 단면 중심 연결선 사이 각도

Hand-handle Interface 분석 예

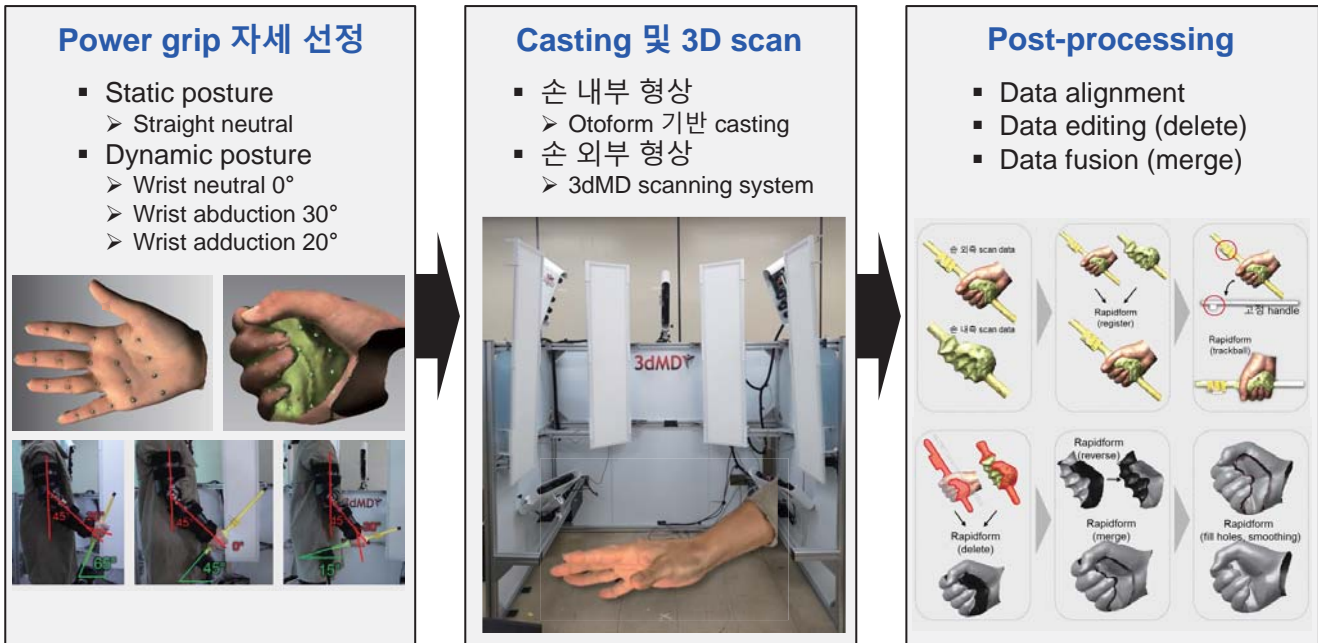
□ Handle design dimension에 상응하는 **hand dimension**이 선정됨

- 단면 너비: tip to DTC/PTC 길이
- 단면 높이: MMC to PIP joint 길이
- 둘레 길이: MMC to tip 둘레길이



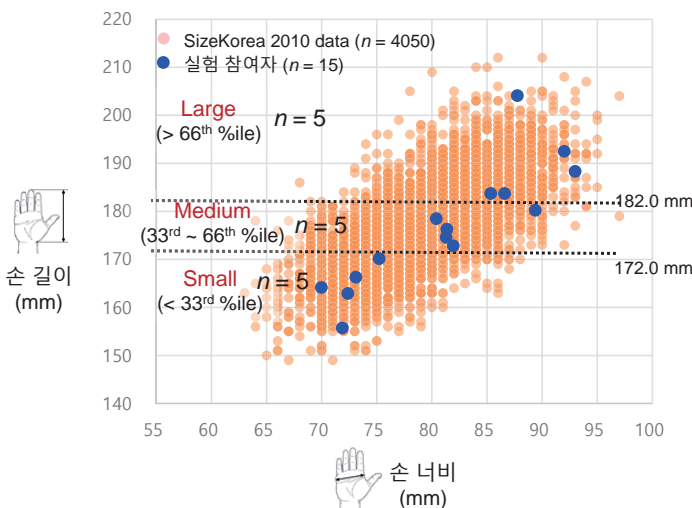
Power Grip 형상 측정 Protocol

- ❑ 3D scanning, casting 방법을 적용하여 다양한 자세 별 손 내외측 3차원 형상 측정
- ❑ 개별 측정된 3D hand data는 post-processing을 수행하여 fusion data로 통합



실험참여자

- ❑ 한국인 남녀 20~50대 손 길이 분포를 고려하여 **small**($< 33^{rd}$ %ile) 5명, **medium**($33^{rd} \sim 66^{th}$ %ile) 5명, **large**($> 66^{th}$ %ile) 5명의 실험참여자 모집(2010 SizeKorea 인체측정 data 참조)
 - Age: 27.2 ± 8.1 years
 - Hand length: 177.9 ± 12.3 mm



Subject	Hand size	Hand length	Hand width
S01	L	204.8	86.5
S02	S	164.3	70.1
S03	L	184.3	87.1
S04	M	179.6	81.2
S05	M	181.0	89.0
S06	S	163.6	72.7
S07	M	175.8	81.8
S08	M	177.7	81.9
S09	S	168.4	73.4
S10	L	184.3	85.9
S11	S	157.5	72.1
S12	L	193.0	92.1
S13	S	171.8	75.3
S14	M	173.5	82.1
S15	L	189.5	93.2
Total		177.9	81.6

Apparatus

팔꿈치 보조기



- 팔꿈치 각도 조절 및 고정

Handle 각도 조절기

- Handle 각도 조절기: 손목 각도 조절 및 고정
- 디지털 각도계: 각도 확인



Otoform Casting Material & Pen

- Otoform: hand casting
- Pen: hand landmarking



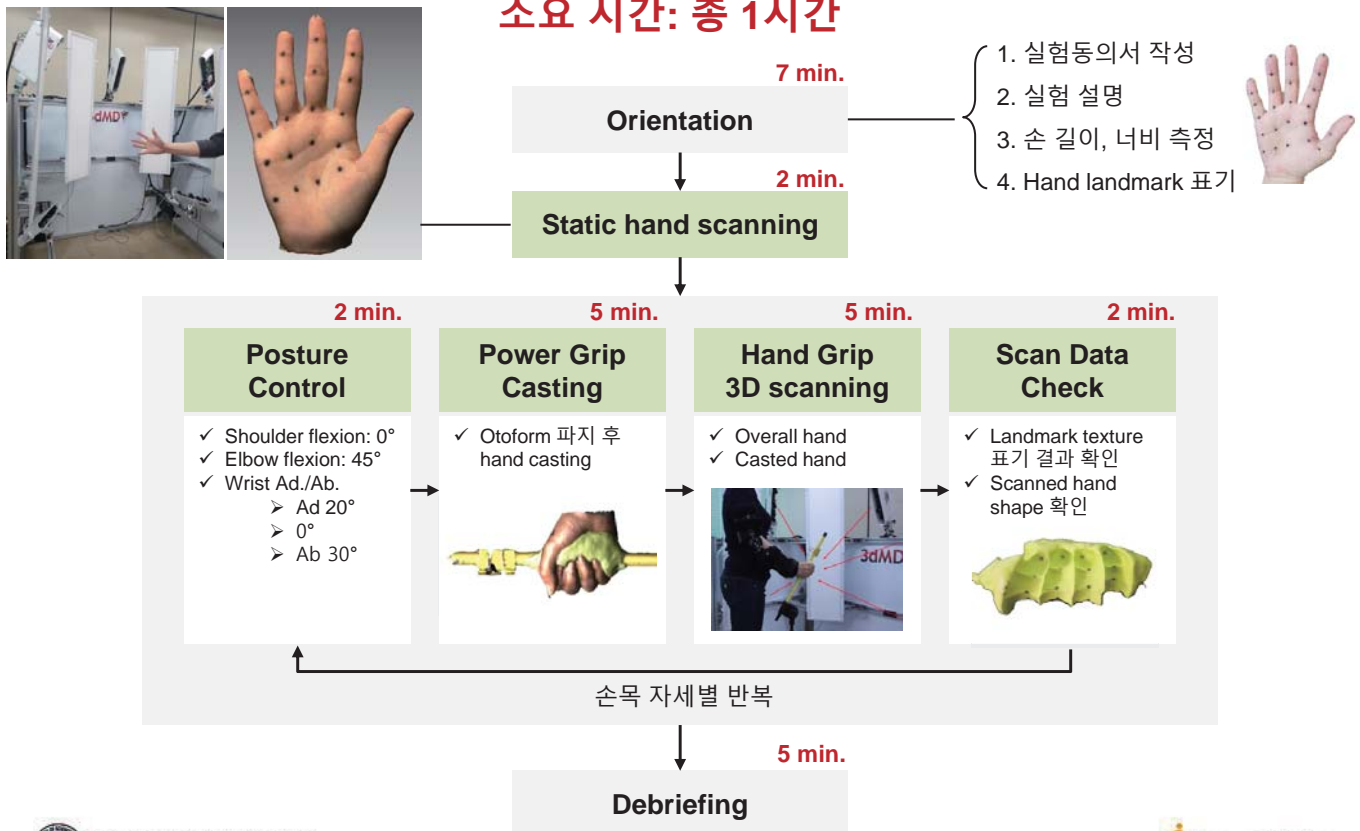
3dMD Hand Scanning System

- Hand 3D scanning



Experimental Procedure

소요 시간: 총 1시간



Power Grip Task

- 각도 조절기에 부착된 casting material을 자연스러운 power grip 자세로 파지함

Casting material (Otoform, Germany)



Power grip 자세 측정 예



Hand Grip 3D Scanning

- 손을 편 자세, power grip 자세의 손 형상이 3D scanning system을 이용하여 측정됨

Static straight hand



손 전반 형상 Scan 결과



Power grip overall hand



손 전반 형상 Scan 결과



Power grip inner hand



손 내부 형상 Scan 결과



Hand Data Processing

1. Overall hand 및 casting hand는 공통 영역을 기준으로 정렬됨
2. Hand 내측 및 외측의 불필요 영역 제거 후 fusion hand data 도출
3. Fusion hand의 texture 정보를 기반으로 landmark 삽입

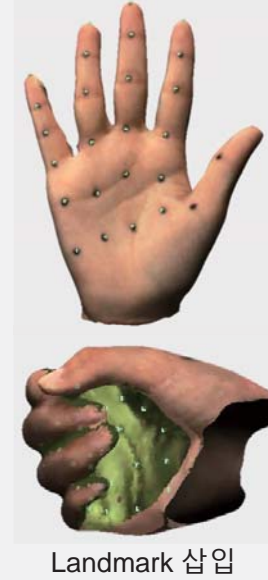
S1. Hand data alignment



S2. Hand data fusion



S3. Landmark 삽입



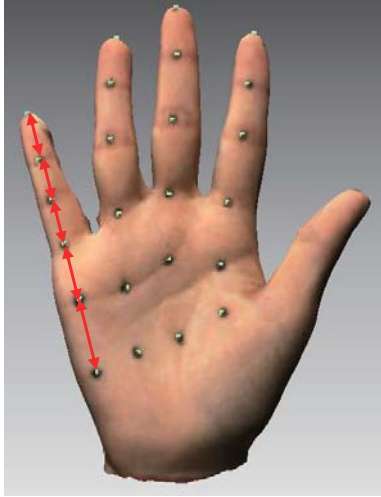
Hand Fusion 결과 예

Handle angle	Wrist Ad./Ab.	Hand 외측 scan data	Hand 내측 scan data (Otoform)	Fusion 결과
65°	Ad 20°			
45°	0°			
15°	Ab 30°			

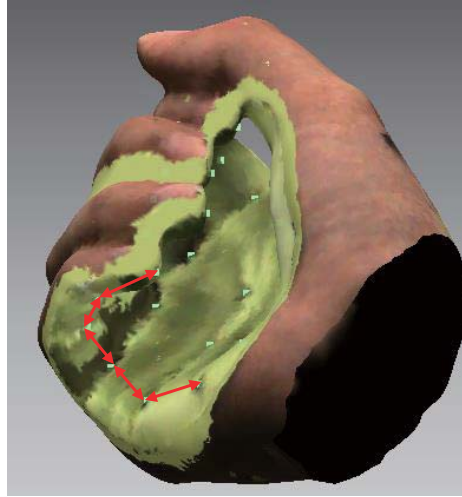
Power Grip 형상 분석 방법

- Hand landmark(.igs)와 hand fusion data(.ply)를 이용하여 **landmark 간 직선 거리 및 손 표면 거리**를 측정(with Matlab)
- 기본 자세(straight neutral) 및 power grip 자세(Wrist neutral, Ab 20°, Ad 30°) 시 hand dimension 측정

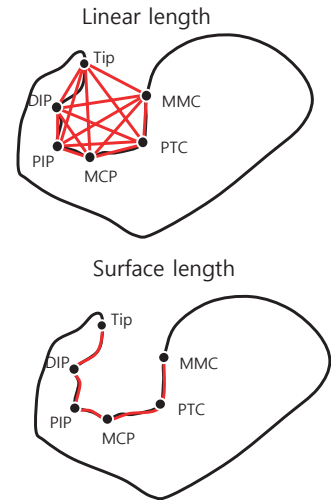
기본 자세(Straight neutral)



Power grip 자세



직선 거리 및 표면 거리



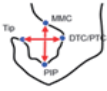




Power Grip 형상 분석 결과: Static vs. Dynamic

- Static posture 대비 **dynamic posture** 시 hand dimension 변화율은 손 내부 너비 64.7%~73.9%, 높이 43.1%~54.4%, 표면 둘레 29.9% ~ 36.5%
- Handle grip 시 너비 측면의 길이 변화가 가장 큰 것으로 파악됨

Hand dimension	Handle dimension	Static	Dynamic		
			Ad 20°	0°	Ab 30°
<p>Tip to PTC 직선 거리</p>	D2*	90.9	30.1 66.9% ↓	27.8 69.4% ↓	28.3 68.9% ↓
	D3*	99.7	30.0 69.9% ↓	28.1 71.8% ↓	27.3 72.6% ↓
	D4*	98.4	28.1 71.5% ↓	26.6 73.0% ↓	25.7 73.9% ↓
	D5*	76.6	27.1 64.7% ↓	26.4 65.5% ↓	23.6 69.2% ↓
<p>PIP to MMC 직선 거리</p>	D2*	68.6	33.2 51.6% ↓	33.8 50.7% ↓	35.4 48.4% ↓
	D3*	82.3	37.8 54.1% ↓	39.6 51.9% ↓	40.3 51.0% ↓
	D4*	78.2	35.7 54.4% ↓	38.5 50.8% ↓	37.1 52.6% ↓
	D5*	64.1	33.4 47.8% ↓	36.5 43.1% ↓	33.1 48.5% ↓
<p>Tip to MMC 표면 거리</p>	D2*	117.9	81.8 30.6% ↓	79.6 32.5% ↓	79.5 32.6% ↓
	D3*	135.8	87.3 35.7% ↓	87.2 35.8% ↓	86.2 36.5% ↓
	D4*	129.8	84.7 34.7% ↓	86.2 33.6% ↓	83.8 35.4% ↓
	D5*	106.0	71.6 32.5% ↓	74.3 29.9% ↓	69.6 34.4% ↓

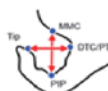




Power Grip 형상 분석 결과: Neutral vs. Ab/Ad (1/2)

- Wrist neutral (0°) 대비 Ad 20° 시 손 내부 너비 2.4% ~ 8.4% ↑, 높이 1.9% ~ 8.4% ↓
- Wrist neutral (0°) 대비 Ab 30° 시 손 내부 너비 2.9% ~ 10.8% ↓, 높이 손 전측(digit 2 ~ 3) 2.0% ~ 4.6% ↑, 후측(digit 4 ~ 5) 3.5% ~ 9.5% ↓

Hand dimension		Handle dimension	Ad 20°	0°	Ab 30°
 * p<0.05					
Tip to PTC 직선 거리	D2*	전단부 전측 단면 너비	29.4 8.4% ↑	26.9	29.8 1.8% ↑
	D3*	중단부 전측 단면 너비	31.0 6.9% ↑	27.0	27.4 2.9% ↓
	D4*	중단부 후측 단면 너비	28.5 5.6% ↑	25.0	26.8 3.4% ↓
	D5*	후단부 후측 단면 너비	25.6 2.4% ↑	25.5	25.9 10.8% ↓
PIP to MMC 직선 거리	D2*	전단부 전측 단면 높이	37.6 1.9% ↓	32.4	32.3 4.6% ↑
	D3*	중단부 전측 단면 높이	42.0 4.5% ↓	38.3	37.5 2.0% ↑
	D4*	중단부 후측 단면 높이	38.0 7.2% ↓	36.0	37.2 3.5% ↓
	D5*	후단부 후측 단면 높이	34.1 8.4% ↓	33.9	35.0 9.5% ↓

Power Grip 형상 분석 결과: Neutral vs. Ab/Ad (2/2)

- Wrist 0° 대비 Ad 20° 시 tip to MMC 표면 거리 digits 4, 5에서 각각 1.8%, 3.6% ↓, Ab 30° 시 digits 4, 5에서 각각 2.8%, 6.3% ↓
- Tip to MMC 표면 거리는 손 전측(digits 2, 3)에서는 모든 자세에서 서로 유사
- Tip to MMC 표면 거리는 손 후측(digits 4, 5)에서 0°에서 가장 크고, Ab 30°에서 가장 작음

Hand dimension		Handle dimension	Ad 20°	0°	Ab 30°
 * p<0.05					
Tip to MMC 표면 거리	D2	전단부 전측 둘레길이	78.7 2.8% ↑	78.5	83.7 0.1% ↓
	D3	중단부 전측 둘레길이	85.7 0.2% ↑	86.1	88.8 1.1% ↓
	D4*	중단부 후측 둘레길이	81.5 1.8% ↓	84.7	88.6 2.8% ↓
	D5*	후단부 후측 둘레길이	67.1 3.6% ↓	73.0	75.3 6.3% ↓

Discussion (1/2)

□ Hand-handle interface 분석을 통해 주요 hand dimension 선정

- 기존 문헌을 참조하여 hand landmark, hand dimension 정리
- Handle dimension, hand dimension간 연관성 분석, 중요도 평가 수행
- Handle 설계 관련 주요 hand dimension 11종 최종 선정

□ Power grip 내부 형상 측정 protocol 제안

- 3D scanning 및 casting 방법을 이용한 power grip 내부 형상 측정 방법 제안
- Texture를 포함한 hand fusion data를 이용하여 정밀하게 손 변화 양상이 측정됨

□ 자연스러운 power grip 자세의 hand fusion data 구축

- 온전한 형태의 손 내측 및 외측 3d scan data가 post-processing에 의해 도출됨
- Digital human model 기술(e.g., template registration)을 이용하여 자세 분석 가능

Discussion (2/2)

□ 다양한 손 자세 변화에 따른 손 내측 형상 변화 양상 분석

- 기존 측정 자세(static straight posture) 및 동적 자세(dynamic grip posture) 고려
- 손목 abduction / adduction에 따른 손 내측 형상 변화 분석

□ 연구 한계점 및 추후 연구

- 손목을 제외한 팔꿈치(45°), 어깨(0°)가 고정된 상태에서 측정이 수행됨
- 더 많은 실험참여자($n = 30$)를 대상으로 손 형상 변화 양상 분석 필요
- 직선길이, 표면길이 외 부피, 체표면적 등의 3차원 dimension에 대한 추가 분석

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

