

손 치수 측정을 위한 3차원 반자동 측정 방법 개발

Development of a 3D Semi-Automatic Measurement Protocol for Hand Anthropometric Measurement

^a윤성혜, ^b유희천

^aLG전자 MC사업부, ^b포항공과대학교 기계산업공학부

Abstract

인간공학적 제품 설계를 위해 다양한 손 치수 측정법이 개발되고 있다. 본 연구에서는 다양한 손 측정 항목들을 효율적으로 측정하기 위해 3D scanner를 이용하여 손 치수를 측정하는 3D 손 치수 측정법(3D-SAMP)을 개발하였다. 3D-SAMP는 (1) 손 석고본 제작, (2) 손 측정 참조점 표기, (3) 3차원 좌표 추출, 그리고 (4) 손 치수 도출 과정을 통해 손을 반자동으로 측정한다. 본 연구는 실험을 통해 반복성과 주관적 만족도 측면에서 3D-SAMP와 직접 측정법을 비교하였다. 평가 결과는 변동성 평가 기준 ($SD = 2 \text{ mm}$, $CV = 5\%$) 초과 항목의 수가 직접 측정(24개) 대비 3D-SAMP(2개)가 적어 3D-SAMP의 반복성이 좋은 것으로 나타났다. 또한, 측정 용이성 측면의 주관적 만족도는 3D-SAMP(5.2점)가 직접 측정법(4.3점)보다 우수한 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발된 효율적 손 치수 측정법인 3D-SAMP는 인간공학적 제품 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

1. 서론

인체 측정 자료는 제품 설계에 유용하게 활용되며, 손 인체 측정 자료는 hand-

held device의 인간공학적 형상 설계에 활용될 수 있다. 인체 측정 자료는 산업 제품(예: 제화, 자동차, 정보기기)의 형상 설계에 활용되며, 인체 측정 자료를 기반으로 설계된 제품은 인체 적합도와 사용 편리성 향상에 기여한다(Size Korea, 2006). 예를 들어, 박창규(2004)는 전신 측정 자료를 사용하여 인체 적합성이 높은 의복을 설계하였으며, García-Hernández et al.(2005)은 3차원 발 치수 및 형상을 기반으로 맞춤형 신발을 설계하였다. 특히, 손 측정 자료는 손에 잘 맞는 장갑, 마우스, 조종간 손잡이 등의 설계에 적용된다(최혜선 외, 2006). 권명숙 외(2005)는 장갑 설계를 위해 265명의 63개 손 부위를 직접 측정하였으며, 최혜선과 김은경(2004)은 30명의 37개 손 치수를 3D scanner를 사용하여 측정하였다.

손 측정 자료 획득 시 다양한 손 측정 방법이 활용되고 있으나 측정 용이성과 결과 활용도 측면에서 장단점이 있다. 대표적인 손 측정 방법으로는 직접 측정법, photography 측정법, 그리고 3D scan 기반 측정법이 있다. 직접 측정법은 측정이 용이하고 경제적이거나(손희정 외, 2003), 측정도구에 의한 피부 변형이나 측정자의 측정 숙련도에 따른 측정 오차 발생(한현숙 외, 2004)과 사후 측정치 결과에 오류가 발견되었을 때

측정 대상자의 손을 다시 측정해야 하는 불편함이 있다. Photography 측정법은 손을 촬영한 사진을 사용하여 손 치수를 측정하는 방법으로, 측정자와 측정 대상자의 대면 시간이 단축되며 언제든지 촬영된 사진을 활용하여 추가 측정 및 재측정이 가능하나 (Ozsoy et al., 2009), 손 측정 카메라 렌즈의 왜곡에 의해 측정 결과에 왜곡이 발생할 수 있으며 둘레 항목은 측정하기 어렵다(장명현 외, 1989). 마지막으로, 3D scan 기반 손 측정법은 측정 대상자의 손을 3D scan한 후 컴퓨터 상에서 손 치수와 형상을 획득하는 방법으로, 다양하고 세부적인 손 부위들을 효과적으로 측정할 수 있으나, scan 과정에서 손 움직임으로 인해 scan된 data의 품질이 낮아질 수 있다.

3D scan 기반 손 측정법은 결과 활용도 측면에서 유용하지만 3차원 data의 품질 및 측정 용이성에 한계가 있다. 3D scan 기반 손 측정법은 다양한 손 부위의 치수 이외에도 3차원 손 형상(3D digital hand)을 획득할 수 있기 때문에 측정 data를 제품의 설계에 직접적으로 적용할 수 있다(Chang et al., 2007). 그러나, 손 치수에 대한 3D scan 기반 측정법은 손이 다른 인체 부위(예: 발, 얼굴)보다 미세한 움직임이 많고(김민효 외, 2001; 최혜선 외, 2006) 손 움직임을 방지하기 위해 손 지지대를 사용할 경우 지지대와 접촉으로 인한 피부 변형으로 인해 측정 오차가 커질 수 있다(Chang et al., 2007; Li et al., 2008). 또한, 3D scan기반 손 측정법은 필요한 손 치수 측정을 위해 컴퓨터 화면 상에서 일일이 수작업으로 필요한 측정 기준점을 지정해 주어야 하므로 상당한 처리 시간과 노력이 요구 된다.

본 연구는 기존 3D scan 기반 손 측정

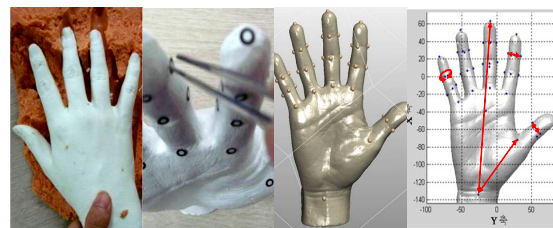
방법을 측정 효율성 측면에서 보완한 3D semi-automatic measurement protocol (3D-SAMP)을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 3D-SAMP는 실험을 통해 반복성과 주관적 만족도 측면에서 직접 측정법과 비교되었다.

2. 3D Semi-Automatic Measurement Protocol

본 연구에서 개발된 3D semi-automatic measurement protocol (3D-SAMP)는 그림 1과 같이 네 단계(손 석고본 제작, 손 측정 참조점 표기, 3차원 좌표 추출, 손 치수 도출)로 구성된다. 첫째 단계는 실험에 사용될 손 석고본을 제작한다. 둘째 단계는 3D scan용 sticker를 이용하여 손 석고본에 측정 참조점 (landmark)을 표기한다. 셋째 단계는 참조점이 표기된 손 석고본을 3D scan하여 측정 참조점들의 3차원 좌표를 자동으로 추출한다. 마지막 단계는 3차원 좌표들을 이용하여 손 측정 범주(길이, 너비, 두께, 둘레)별 치수를 자동으로 도출한다.

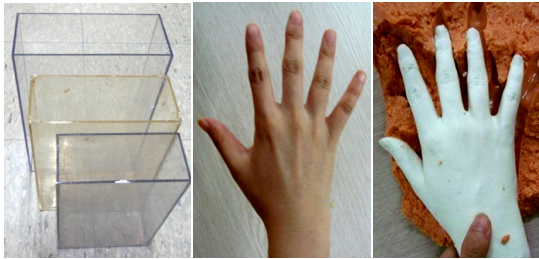
2.1 손 석고본 제작

3D scan 시의 손 움직임이나 피부 눌림을 방지하기 위해 측정 대상자의 손을 석고본으로 제작한다. 먼저, 손형상 틀 제작을 위해 alginate를 반죽(물: alginate = 1: 2)하여 손 크기에 적합한 투명 아크릴 용기에 채운다(그림 2 참조). 측정 대상자는 손 측정 표



S1. 손 석고 S2. 손 측정 S3. 3차원 S4. 손 치수
본 제작 참조점 표기 좌표 추출 도출

[그림 1] 3D semi-automatic measurement protocol



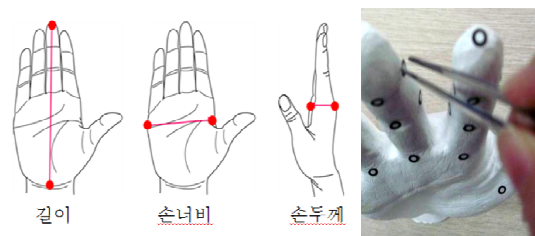
(a) 아크릴 용기 (b) 손 측정 표준 자세 (c) 완성된 손 석고본

[그림 2] 측정 대상자의 손 석고본 제작 과정

준 자세를 취하여 alginate 반죽으로 채워진 아크릴 용기 속에 손을 삽입하고 응고될 때 (약 3분)까지 움직이지 않는다. 석고를 반죽 (물: 석고 = 1: 3)하여 제작된 손형상 틀에 채우고 완전히 응고(약 15분)시킨 후, alginate 손형상 틀로부터 완성된 손 석고본을 분리한다.

2.2 손 측정 참조점 표기

손 측정 참조점(landmark)은 제작된 손 석고본에 3D scan용 sticker를 부착하여 표기된다. Sticker($\Phi=2.5$ mm)는 핀셋을 이용하여 손 석고본의 측정 참조점의 위치에 부착된다(그림 3 참조). 3D scan용 sticker는 다각도로 3D scan된 물체를 하나의 3차원 형상으로 병합하는 과정에서 좌표 참조를 위해 사용되는 것으로, 본 연구에서는 측정 참조점의 위치에 부착한다. Sticker 부착 시, 측정자



(a) 길이, 너비, 두께의 참조점 위치 예시 (b) 측정 참조점 부착 예시

[그림 3] 3D scan을 위한 참조점 표기 방법

는 sticker의 정중앙이 표기하고자 하는 측정 참조점에 최대한 정확히 위치하도록 한다.

2.3 3차원 좌표 추출

측정 참조점이 부착된 손 석고본의 3D scan을 통해 측정 참조점들의 3차원 좌표가 자동으로 추출된다. 손 석고본의 3D scan을 통해 그림 4.b와 같은 측정 참조점의 3차원 위치가 포함된 3D digital hand가 생성된다. 손 석고본에 부착된 측정 참조점들의 3차원 좌표값들은 3D scan software를 통해 자동으로 추출된다.

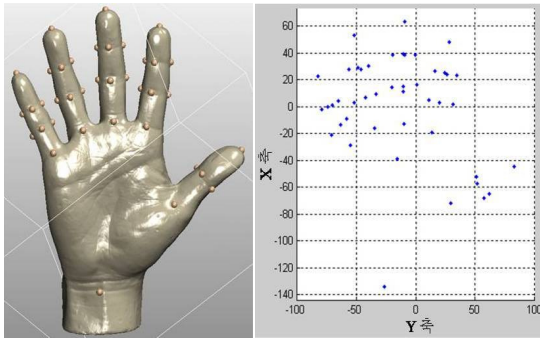
2.4 손 치수 도출

추출된 측정 참조점들의 3차원 좌표는 자동으로 identification되고 거리와 둘레가 자동으로 계산된다. 앞서 추출된 측정 참조점들은 3차원 좌표 정보만 보유하고 있기 때문에 각 참조점이 손의 어느 위치에 해당되는 것인지를 identification할 필요가 있다. 본 연구는 MATLAB™(The MathWorks, Inc., USA)으로 구현한 손 치수 자동 추출 program을 사용하여 측정 참조점들을 identification하였다(그림5 참조). Identification algorithm은 획득된 측정 참조점의 3차원 위치 특성(예: 중지끝점이 손 길이 방향으로 가장 돌출되어 있음)과 참조점들 간의 연관성(예: 하나의 손가락 마디에 표기된 측정



(a) 손 석고본의 3D scanning 모습 (b) 측정 참조점이 표기된 3D digital hand

[그림 4] 3D scan을 통한 3차원 좌표 자동 추출



[그림 5] 3D digital hand와 자동 identification된 측정 참조점 예시

참조점들은 서로 근접해 있음)을 이용하여 개발되었다. 마지막으로, identification된 측정 참조점들을 기반으로 손 측정 항목(길이, 너비, 두께, 둘레)별 손 치수들이 자동으로 계산된다.

3D-SAMP 비교 평가

2.5 실험 참여자

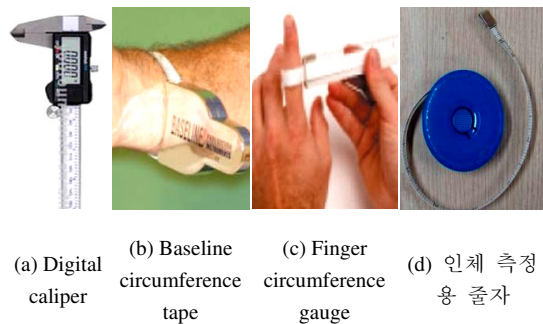
평가 실험은 1명의 측정 대상자와 20명의 측정자를 대상으로 수행되었다. 실험에 앞서, 측정 대상자의 손을 석고로 제작하고 효율적인 실험을 위해 30개의 동일한 손 석고본을 제작하였다. 측정자는 남자 12명과 여자 8명이 모집되었으며 평균 나이는 만 26세(SD = 2.2)이다. 측정자는 경험 수준을 통제하기 위하여 손 측정 경험이 없는 사람으로 모집하였으며, 실험 시작 전에 약 30분 정도 직접 측정과 3D-SAMP 측정에 대한 훈련을 받았다.

2.6 실험 장비

손 직접 측정을 위해 다양한 측정 도구(digital caliper, baseline circumference tape, finger circumference gauge, 인체 측정용 줄자)를 사용하였다. 손의 길이, 너비, 그리고 두

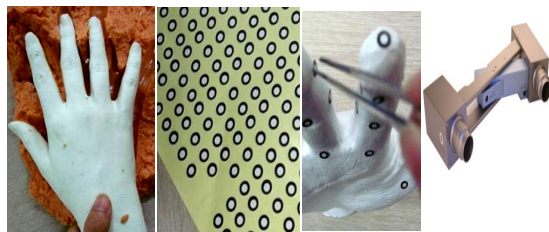
께는 digital caliper인 CP-20PS (Mitutoyo Corp., USA)를 사용하여 측정되었으며(그림 6.a 참조), 둘레는 각 측정 둘레 부위에 따라 적합한 측정 줄자를 사용하였다. 손목 둘레는 그림 6.b에 예시한 것과 같은 baseline circumference tape (Fabrication Enterprises Inc., USA)을 이용하여 측정하였으며, 손가락 둘레는 그림 6.c에 예시한 것과 같은 finger circumference gauge (Fabrication Enterprises Inc., USA)를 사용하여 측정하였다. 그리고, 손 둘레 측정을 위해서는 그림 6.d에 예시한 것과 같은 인체 측정용 줄자를 사용하였다.

3D-SAMP 적용을 위해서는 측정 대상자의 손 석고본, 측정 참조점 표기 sticker, 핀셋, 그리고 3D scanner를 사용하였다. 측정 참조점은 손 석고본의 참조점 위치에 그림 7.b에서 예시한 것과 같은 3D scan용 sticker를 이용하여 부착되었다. 측정자는 손 석고



(a) Digital caliper (b) Baseline circumference tape (c) Finger circumference gauge (d) 인체 측정용 줄자

[그림 6] 직접 측정법에 사용된 측정 도구



(a) 측정 대상자의 손 석고본 (b) 3D scan용 sticker (c) Sticker 부착용 핀셋 (d) 3D scanner Rexcan 560

[그림 7] 3D-SAMP에 사용된 측정 도구

본에 sticker를 용이하게 부착할 수 있도록 핀셋을 사용하였다(그림 7.c 참조). Sticker가 부착된 손 석고본은 3D scanner인 Rexcan 560 (Solutionix Corp., 한국)과 3D scan software인 ezScan (Solutionix Corp., 한국)을 활용하여 scan되었다.

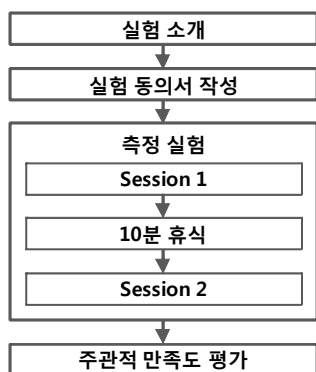
2.7 실험 방법

측정자는 직접 측정법과 3D-SAMP를 적용하여 측정 대상자의 52개 손 부위를 3회씩 측정하였다. 손 측정 항목 선정을 위해 8개의 기존 연구(권명숙 외, 2005; 류경옥과 서미아, 2004; 임지영, 2005; 최혜선 외, 2006; Garrett, 1970; Greiner, 1991; Hidson, 1991; Robinette and Annis, 1986)를 참조하여 165개 손 측정 항목(길이: 112개, 너비: 18개, 두께: 17개, 둘레: 18개)을 파악하였다. 본 연구의 실험을 위해서는 파악된 전체 손 측정 항목들 중 측정 부위가 서로 유사하지 않은 52개 측정 항목(길이: 27개, 너비: 11개, 두께: 7개, 둘레: 7개)을 선정하였다. 실험은 실험 소개 및 실험 동의서 작성, 손 측정법 숙지, 측정 실험, 그리고 주관적 만족도 평가의 순서로 진행되었다(그림 8 참조). 측정 실험은 2개의 session(직접 측정과 3D-SAMP 측정)으로 구성되었으며, 각 session 사이에

10분의 휴식 시간이 주어졌다. 또한 실험 순서에 의한 효과를 상쇄하기 위해 측정자별, 측정 횟수별(3회; 24시간 간격), 그리고 측정 실험 session별 직접 측정과 3D-SAMP 측정의 순서를 다르게 하였다. 실험이 종료된 후에 측정자는 각 측정법의 측정 용이성에 대한 만족도를 평가하였다.

2.8 평가 척도

본 연구는 직접 측정법과 3D-SAMP의 활용도 및 측정 효율성 비교를 위해 두 가지 평가 척도(반복성, 주관적 만족도)를 선정하였다. 반복성은 측정자 내 변동성(intra-measurer variability)과 측정자 간 변동성(inter-measurer variability)을 통해 평가된다. 변동성은 추출된 측정값들의 분산을 의미하며, 변동성이 작을수록 반복성이 큰 것으로 분석된다(Li et al., 2009; Weinberg et al., 2005). Weinberg et al.(2005)는 손 측정 시 변동성 평가 지표로 표준편차(standard deviation; SD)가 2 mm를 초과한 경우 변동성이 큰 것으로 평가하였으며, Li et al.(2009)은 변동계수(coefficient of variation; CV)의 백분율이 5%를 변동성 평가 기준으로 제시하였다. 또한, 평가된 측정법의 용이성에 대한 주관적 만족도를 7점 척도(1점: 매우 불만족, 7점: 매우 만족)로 평가하였다.



[그림 8] 실험절차

3. 평가결과

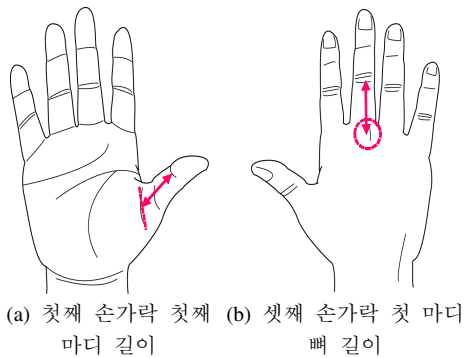
3.1 반복성

측정자 내 및 측정자 간 변동성은 3D-SAMP가 직접 측정법보다 표준편차와 변동계수의 백분율 측면에서 변동성이 낮게 파악되어 3D-SAMP의 반복성이 좋은 것으로 평가되었다. 측정자 내 표준편차(intra SD)는 10개의 직접 측정 항목에서 변동성 평가

[표 1] 표준편차의 변동성 평가 기준에 따른 측정 항목 수

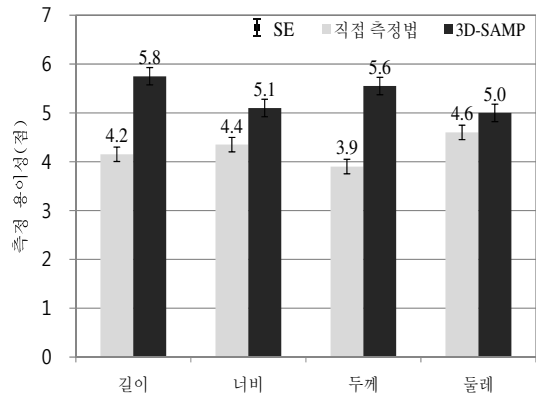
평가 기준		SD (mm)			CV (%)					
		0~1	1~2	>2	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5
직접 측정법	측정자 내 변동성	42	10	-	11	18	13	8	1	1*
	측정자 간 변동성	37	14	1*	12	24	11	3	1	1*
3D-SAMP	측정자 내 변동성	22	14	11*	-	5	13	16	8	14*
	측정자 간 변동성	27	15	6*	1	13	11	18	5	4*

*: 평가 기준(SD = 2 mm, CV = 5 %)을 초과한 측정 항목 수



(a) 첫째 손가락 첫째 마디 길이 (b) 셋째 손가락 첫 마디 뼈 길이

[그림 9] 3D-SAMP 변동성의 평가 기준 초과 항목



[그림 10] 측정 용이성 비교

기준(2 mm)을 초과한 반면, 3D-SAMP의 모든 항목은 평가 기준보다 작았다(표 1 참조). 측정자 내 변동계수(intra CV)는 4개의 직접 측정 항목과 1개의 3D-SAMP 항목(첫째 손가락 첫째 마디 길이; 그림 9.a 참조)이 변동성 평가 기준(5 %)을 초과하였다. 측정자 간 표준편차(inter SD)는 15개의 직접 측정 항목과 1개의 3D-SAMP 항목(셋째 손가락 첫 마디 뼈 길이; 그림 9.b 참조)에서 변동성 평가 기준을 초과하였다. 마지막으로, 측정자 간 변동계수(inter CV)는 14개의 직접 측정 항목과 1개의 3D-SAMP 항목(첫째 손가락 첫째 마디 길이)이 변동성 평가 기준을 초과하였다.

3.2 주관적 만족도

측정 용이성에 대한 주관적 만족도는

그림 10에 예시된 것 같이 직접 측정법 대비 3D-SAMP가 전반적으로 높은 점수를 나타내었다. 3D-SAMP의 종합적인 주관적 만족도(평균 = 5.2점, 표준편차 = 0.8)는 직접 측정법(평균 = 4.3점, 표준편차 = 0.8) 보다 상대적으로 높은 것으로 파악되었다($t(19) = -5.4, p < 0.001$). 평가 범주별 통계적인 차이는 길이($t(19) = -4.9, p < 0.001$)와 두께($t(19) = -4.00, p < 0.001$) 항목에서만 유의하였으며, 너비($t(19) = -2.0, p = 0.065$)와 두께($t(19) = -0.9, p = 0.397$)에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

4. 토의

본 연구는 비교적 정확하고 측정이 용이한 3D semi-automatic measurement protocol (3D-SAMP)을 개발하여 다양한 손 측정 항목들을 반자동으로 측정하였다. 3D-SAMP는

측정 대상자의 손을 직접 3D scan하지 않고 손 석고본을 제작하여 3D scan하였다. 손 석고본은 alginate를 이용함으로써 손 형상과 최대한 동일하게 제작되었다. 본 연구는 손 석고본을 사용하였기 때문에 3D scan 시의 손 움직임이나 손 지지대에 의해 발생할 수 있는 피부 변형을 방지할 수 있었다. 또한, 3D-SAMP는 3D scan용 sticker로 측정 참조점을 표기함으로써 3D scan 시 측정 참조점들의 3차원 좌표를 자동으로 획득할 수 있었다. 획득된 측정 참조점들 간의 52개 측정 항목(길이, 너비, 두께, 둘레)은 MATLAB으로 구현된 program을 통해 자동으로 도출되었다.

측정 반복성 측면에서 직접 측정법 대비 3D-SAMP가 변동성이 낮고 반복성이 높은 것으로 나타나 측정치의 일관성 측면에서 측정법의 유용성이 검증되었다. 3D-SAMP는 피부 변형이나 손 자세의 변화가 발생하지 않는 손 석고본을 사용하였으므로 손 반복 측정 결과에 일관성이 높았다. 3D-SAMP는 2개 항목(첫째 손가락 첫째 마디 길이, 셋째 손가락 첫 마디 뼈 길이)에서만 측정치의 변동성이 평가 기준을 초과하였다. 첫째 손가락 첫째 마디 길이가 변동성 평가 기준을 초과한 원인은 첫째 손가락 첫째 마디 손금의 중심 위치가 모호하여 sticker 부착 시 측정자마다 차이를 보였기 때문으로 파악된다. 또한 셋째 손가락 첫 마디 뼈 길이는 측정자 간의 표준편차(2.01 mm) 측면에서 평가 기준인 2 mm (Weinberg et al., 2005)를 다소 초과하였나 그 차이가 미비하다. 변동성이 평가 기준을 초과한 원인은 셋째 손가락의 손등 관절(knuckle) 부위에 sticker 부착 시 측정자마다 위치를 정확하게 파악하지 못하였기 때문으로 파악된다. 측

정 부위에 따른 3D-SAMP의 측정 방법을 일반화하기 위해서는 측정 참조점 표기 위치가 모호할 수 있는 항목들에 대한 측정 방법 보완이 필요하다.

측정 용이성의 주관적 만족도는 직접 측정법(4.3 점) 대비 3D-SAMP(5.2 점)가 높게 평가되었다. 실험의 debriefing 결과, 직접 측정법의 만족도가 낮은 이유는 측정자와 측정 대상자의 대면 시간이 길고, 여러 측정 도구를 사용하기 때문인 것으로 파악되었다. 또한 직접 측정법은 측정이 진행되는 동안의 손 피부 움직임으로 인해 측정이 한 번에 이루어지지 않거나 측정치가 쉽게 변화하여 측정 결과에 대한 확신이 낮은 것으로 나타났다. 반면, 손 석고본을 사용하는 3D-SAMP는 측정 대상자와의 대면 시간이 불필요하고 측정 도구가 간편한 이유로 직접 측정법에 비해 선호되었다.

본 연구는 3D-SAMP의 일반화를 위하여 다양한 손 측정 항목에 대한 평가 검증이 요구된다. 본 연구는 문헌 조사를 통해 파악된 165개(길이: 112개, 너비: 18개, 두께: 17개, 둘레: 18개) 손 측정 항목 중 52개(길이: 27개, 너비: 11개, 두께: 7개, 둘레: 7개) 항목을 선택하였다. 따라서 본 연구의 결과를 일반화하기 위해서는 전체 손 측정 항목 중 본 연구에서 측정하지 않은 나머지 항목들을 포함하여 추가 실험이 요구된다.

인체 측정 결과는 측정자의 경험 및 측정 수준에 영향을 받을 수 있으므로 측정자의 측정 수준(예: 측정 참조점 표기 수준, 측정 도구 사용 수준)을 파악할 필요가 있다. 손 직접 측정 시의 측정 오차에는 측정자의 계측 오류(측정 참조점 표기 오류, 측정 도구 사용 오류)와 측정 시의 피부 변형에 따른 측정치 오류가 혼재되어있다. 반면, 3D-

SAMP는 3D scan에 의해 정확한 측정치가 도출되므로, 측정자가 측정 참조점을 표기하는 것에 대한 측정 오차만이 발생한다. 따라서, 3D-SAMP 측정치 대비 손 석고본의 직접 측정치(손 석고본에 부착된 측정 참조점을 측정 도구로 계측)를 비교함으로써 손 직접 측정 시의 피부 변형에 따른 측정치 오류를 제외하고 측정자의 측정 도구 사용에 의한 오차(측정자의 도구 사용 수준)를 파악할 수 있다. 또한, 손 직접 측정과 손 석고본의 직접 측정치 비교를 통해서도 피부 변형에 따른 측정치 오차를 예측할 수 있다.

참고문헌

- [1] 권명숙, 최인순, 정기수, 양민재 (2005). 손 형태의 특징 및 장갑의 치수 설정에 관한 연구. *한국의류학회지*, 55(6), pp.24-37.
- [2] 김민효, 남윤자 (2001). 인체측정용 3D 스캐너 제작. *대한인간공학회지*, 20(3), pp.77-88.
- [3] 류경옥, 서미아 (2004). 한국 성인 여성의 손 계측 연구: 장갑의 치수 설정을 중심으로. *복식문화연구*, 12(2), pp.262-278.
- [4] 박창규 (2004). 의류·패션 산업에서의 3D 및 디지털 응용기술의 현황. *패션정보와 기술*, 1, pp.96-100.
- [5] 손희정, 김효숙, 최창석, 손희순, 김창우 (2003). 디지털 카메라를 이용한 2D 인체계측법 연구. *복식문화연구*, 11(1), pp.11-19.
- [6] 임지영 (2005). 장갑 패턴 개발을 위한 손의 유형 분류. *대한가정학회지*, 43(8), pp.115-122.
- [7] 장명현, 김진호, 김철중 (1989). 영상처리를 이용한 인체 간접 측정기술 개발 연구. *대한인간공학회지*, 8(2), pp.35-41.
- [8] 최혜선, 김은경 (2004). 장갑의 적합성 향상을 위한 손부위 2차원 및 3D 계측정보 DB 구축에 관한 연구: 손의 유형분석 및 3D 입체형상 분석을 중심으로. *한국의류학회지*, 28(9-10), pp.1300-1311.
- [9] 최혜선, 이경화, 강여선, 김은경 (2006). 장갑 설계를 위한 손부위 측정 프로토콜 개발. 한국인 인체치수조사사업 부문 학술연구용역사업 결과보고서.
- [10] 한현숙, 남윤자 (2004). 체표면적 측정을 위한 3D 스캔법의 적합성에 대한 연구. *한국섬유공학회지*, 41(3), pp.223-229.
- [11] Chang, C. C., Li, Z., Cai, X., and Dempsey, P. (2007). Error control and calibration in three-dimensional anthropometric measurement of the hand by laser scanning with glass support. *Journal of the International Measurement Confederation*, 40(1), pp.21-27.
- [12] García-Hernández, J., Heras, S., Juan, A., Paredes, R., Nácher, B., Alemany, S., Alcántara, E., and González, J. C. (2005). The MORFO3D foot database. In *Proceedings of Pattern Recognition and Image Analysis*.
- [13] Garrett, J. W. (1970). *Anthropometry of the Hands of Male Air Force Flight Personnel (Report AMRL-TR-69-42)*. Wright-Patterson Air Force Base, OH: Aerospace Medical

Research Laboratory, Aerospace Medical
Division, Air Force Systems Command.

Journal of Human Biology, 17(3), pp.368-
371.

- [14] Greiner, T. M. (1991). *Hand Anthropometry of US Army Personnel*. U.S. Army Natick Research. Development and Engineering Center. Natick: MA. (NTIS No. ADA244533).
- [15] Hidson, D. (1991). *Development of a Standard Anthropometric Dimension Set for Use in Computer-Aided Glove Design*. DREO Technical Note 91-22, Defense Research Establishment OTTAWA.
- [16] Li, Z., Chang, C. C., Dempsey, P. G., Ouyang, L., and Duan, J. (2008). Validation of a three dimensional hand scanning and dimension extraction method with dimension data. *Ergonomics*, 51(11), pp.1672-1692.
- [17] Ozsoy, U., Demirel, B. M., Yildirim, F. B., Tosun, O., and Sarikcioglu, L. (2009). Method selection in craniofacial measurements: Advantages and disadvantages of 3D digitization method. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 37(5), pp.285-290.
- [18] Robinette, K. M. and Annis, J. F. (1986). *A Nine-Size System for Chemical Defense Gloves*. Technical Report (AAMRL-TR-86-029) (ADA173 193).
- [19] Size Korea (2006). Size Korea homepage. Retrieved November 14, 2009 from <http://sizekorea.kats.go.kr/>.
- [20] Weinberg, S. M., Scott, N. M., Neiswanger, K., and Marazita, M. L. (2005). Intraobserver error associated with measurements of the hand. *American*