

# 손 치수 측정을 위한 3차원 반자동 측정 방법 개발

이원섭<sup>1</sup> · 윤성혜<sup>2</sup> · 유희천<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>포항공과대학교 기계산업공학부 / <sup>2</sup>LG 전자 MC 사업부

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

Wonsup Lee<sup>1</sup> · Sunghye Yoon<sup>2</sup> · Heecheon You<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Mechanical and Industrial Engineering,

Pohang University of Science and Technology, Pohang, Gyeongsangbuk-do, 790-784, Korea

<sup>2</sup>Department of Mobile Communication, LG Electronics, Seoul, 153-801, Korea

Measurement protocols for hand anthropometry have been studied for ergonomic product design. The present study developed a 3D semi-automatic measurement protocol (3D-SAMP) which semi-automatically measures various hand dimensions using a 3D scanner. The 3D-SAMP was compared with the conventional direct measurement method (DMM) to examine its effectiveness. The 3D-SAMP consists of (1) fabricating a plaster cast of the hand, (2) placing landmarks on the plaster hand, (3) scanning the plaster hand with a 3D scanner, (4) identifying automatically the positions of the landmarks on the digital hand, and (5) extracting automatically hand anthropometric measurements (lengths, widths, thicknesses, and circumferences). An evaluation experiment conducted in the study found the 3D-SAMP preferred to the DMM in terms of reliability (the number of dimensions exceeding the variability criteria  $SD=2$  mm and  $CV=5\%$  : 3D-SAMP = 2 and DMM = 24) and ease of measurement (3D-SAMP = 5.2 and DMM = 4.3 out of 7). The 3D-SAMP can be applied to ergonomic design of a hand-held product.

**Keyword:** Hand anthropometry, 3D measurement, Semi-automatic measurement protocol

### 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 경제적 이나(손희정 외, 2003), 측정도구에 의한 피부 변형이나 측정자

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0012291).

\* 연락저자 : 유희천 교수, 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산31번지 포항공과대학교 산업경영공학과,

Fax : 054-279-2870, E-mail : hcyou@postech.ac.kr

투고일(2010년 12월 01일), 심사일(1차 : 2011년 01월 27일), 게재확정일(2011년 02월 14일)

의 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 가능하다(Ozsoy *et al.*, 2009), 손 측정 카메라 렌즈의 왜곡에 의해 측정 결과에 왜곡이 발생할 수 있으며 둘째 항목은 측정하기 어렵다(장명현 외, 1989). 마지막으로, 3D scan 기반 손 측정법은 측정 대상자의 손을 3D scan한 후 컴퓨터상에서 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 손형상(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(김민호 외, 2001; 최혜선 외, 2006) 손 움직임을 방지하기 위해 손 지지대를 사용할 경우 지지대와의 접촉으로 인한 피부 변형으로 인해 측정 오차가 커질 수 있다(Chang *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008). 또한, 3D scan 기반 손 측정법은 필요한 손 치수 측정을 위해 컴퓨터 화면 상에서 일일이 수작업으로 필요한 측정 기준점을 지정해 주어야 하므로 상당한 처리 시간과 노력이 요구된다.

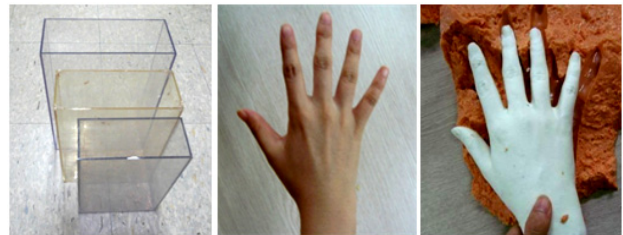
본 연구는 기존 3D scan 기반 손 측정 방법을 측정 효율성 측면에서 보완한 3D semi-automatic measurement protocol(3D-SAMP)을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 3D-SAMP는 실험을 통해 반복성과 주관적 만족도 측면에서 직접 측정법과 비교되었다.

## 2. 3D Semi-Automatic Measurement Protocol

본 연구에서 개발된 3D-SAMP는 <그림 1>과 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 범주별(길이, 너비, 두께, 둘레)로 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 표준 자세를 취하여 alginate 반죽으로 채워진 아크릴 용기 속에 손을 삽입하고 응고될 때까지(약 3분 소요) 자세를 유지한 후 손을 뺀다. 마지막으로, 제작된 손형상 틀에 석고를 반죽(물 : 석고=1 : 3)하여 채우고 완전히 응고(약 15분 소요)시킨 후, alginate 손형상 틀로부터 완성된 손 석고본을 분리한다.



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

그림 2. 측정 대상자의 손 석고본 제작 과정



S1. 손 석고본 제작

S2. 손 측정 참조점 표기

S3. 3차원 좌표 추출

S4. 손 치수 도출

그림 1. 3D semi-automatic measurement protocol

2.2 손 측정 참조점 표기

손 측정 참조점(landmark)은 제작된 손 석고본에 3D scan용 sticker를 부착하여 표기된다. Sticker( $\phi = 2.5\text{mm}$ )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, 측정자는 sticker의 정중앙이 표기하고자 하는 측정 참조점에 최대한 정확히 위치하도록 한다.

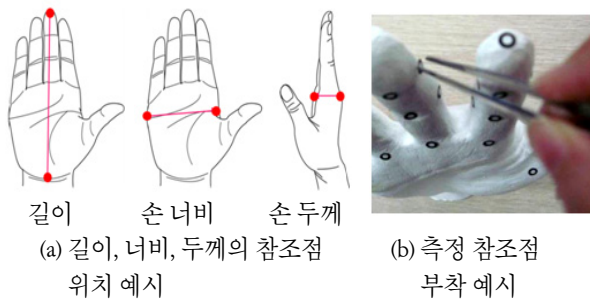


그림 3. 3D scan을 위한 참조점 표기 방법

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(b)>와 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 파악되고 거리와 둘레가 자동으로 계산된다. 앞서 추출된 측정 참조점들은 3차원 좌표 정보만 보유하고 있기 때문에 각 참조점이 손의 어느 위치에 해당되는 것인지를 파악할 필요가 있다. 본 연구는 MATLAB™(The MathWorks, Inc., USA)으로 구현한 손 치수 자동 추출 program을 사용하여 측정 참조점들을 파악하였다(<그림 5> 참조). 참조점 자동 파악 algorithm은 획득된 측정 참조점의 3차원 위치 특성(예 : 중지끝점이 손 길이 방향으로 가장 돌출되어 있음)과 참조점들 간의 간격 특성(예 : 하나의 손가락 마디에 표기된 측정 참조점들은 서로 근접해 있음)을 이용하여 개발되었다. 마지막으로, 파악된 측정 참조점들을 기반으로 손 측정 항목(길이, 너비, 두께, 둘레)별 손 치수들이 자동으로 계산된다.

3. 3D Semi-Automatic Measurement Protocol

3.1 실험 참여자



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

그림 4. 3D scan을 통한 3차원 좌표 자동 추출

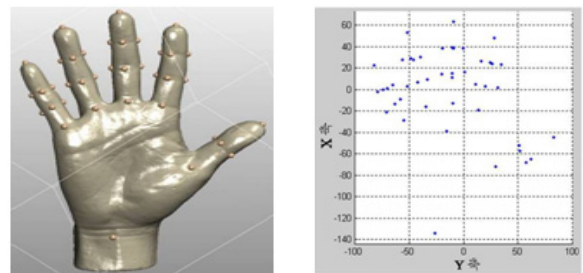


그림 5. 3D digital hand와 자동 identification된 측정 참조점 예시

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.

3.2 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 두께는 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(b)>에 예시한 것과 같은 baseline circumference tape(Fabricatoin Enterprises Inc., USA)을 이용하여 측정하였으며, 손가락 둘레는 <그림 6(c)>에 예시한 것과 같은 finger circumference gauge(Fabricatoin Enterprises Inc., USA)를 사용하여 측정하였다. 그리고, 손 둘레 측정을 위해서는 <그림 6(d)>에 예시한 것과 같은 인체 측정용 줄자를 사용하였다.

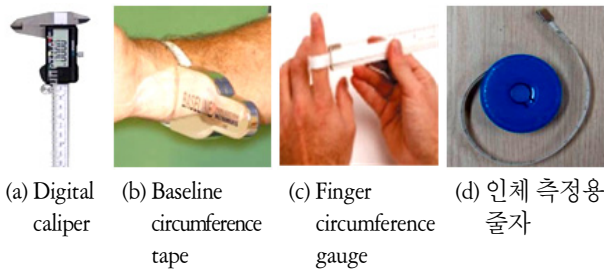


그림 6. 직접 측정법에 사용된 측정 도구

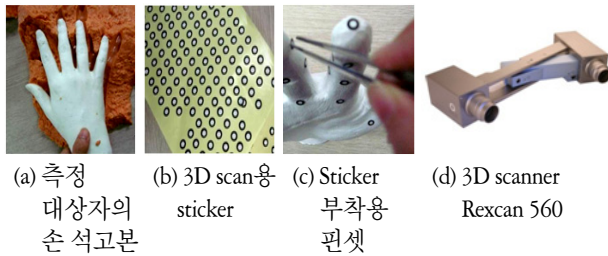


그림 7. 3D-SAMP에 사용된 측정 도구

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(b)>에서 예시한 것과 같은 3D scan용 sticker를 이용하여 부착되었다. 측정자는 손 석고본에 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.

### 3.3 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.

### 3.4 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)은 손 측정 시 변동성 평가 지표로 표준편차(standard deviation; SD)가 2mm를 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 만족도를 7점 척도(1점 : 매우 불만족, 7점 : 매우 만족)로 평가하였다.

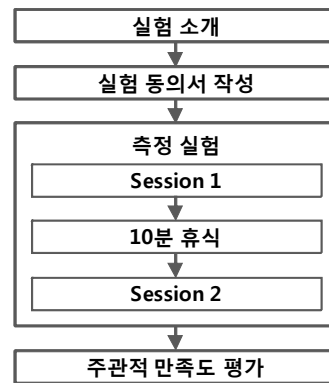


그림 8. 실험 절차

## 4. 평가 결과

### 4.1 반복성

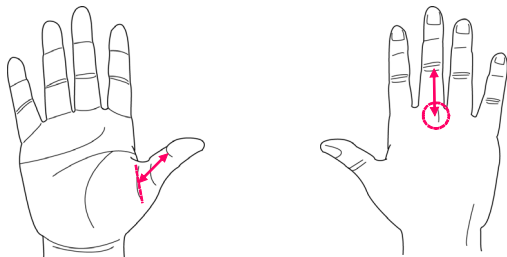
측정자내 및 측정자간 변동성은 3D-SAMP가 직접 측정법보다 SD와 CV의 백분율 측면에서 변동성이 낮게 파악되어 3D-SAMP의 반복성이 좋은 것으로 평가되었다. 측정자내 SD (intra-SD)는 10개의 직접 측정 항목에서 변동성 평가기준(SD = 2mm)을 초과한 반면, 3D-SAMP의 모든 항목은 평가 기준보다 작았다(<표 1> 참조). 측정자내 CV(intra-CV)는 4개의 직접 측정 항목과 1개의 3D-SAMP 항목(첫째 손가락 첫째 마디 길이, <그림 9(a)> 참조)이 변동성 평가기준(CV = 5%)을 초과하였다. Inter-SD는 15개의 직접 측정 항목과 1개의 3D-SAMP 항목(셋째 손가락 첫 마디 뼈 길이, <그림 9(b)> 참조)에서 변동성 평가기준을 초과하였다. 마지막으로, inter-CV는 14개의 직접 측정 항목과 1개의 3D-SAMP 항목(첫째 손가락 첫째 마디 길이)이 변동성 평가 기준을 초과하였다.



표 1. 표준편차(SD)의 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*

주) \*변동성 평가기준(SD = 2mm, CV = 5%)을 초과한 측정항목 수.



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

그림 9. 3D-SAMP 변동성의 평가 기준 초과 항목

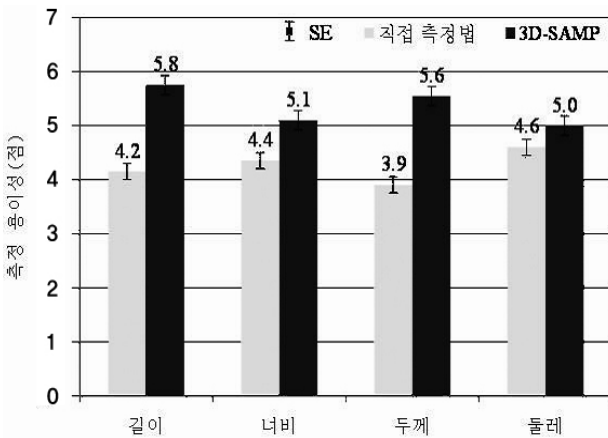


그림 10. 측정법의 측정 용이성에 대한 주관적 만족도

#### 4.2 주관적 만족도

측정 용이성에 대한 주관적 만족도는 <그림 10>과 같이 직접 측정법 대비 3D-SAMP가 전반적으로 높은 점수를 나타내었다. 7점 척도를 사용하여 측정 용이성을 평가한 결과, 3D-SAMP에 대한 전반적인 만족도(평균 = 5.2, SD = 0.8)는 직접 측정법(평균 = 4.3, SD = 0.8) 보다 상대적으로 높은 것으로 파악되었다( $t(19) = -5.37, p < 0.001$ ). 평가 범주별 주관적 만족도의 통계적인 차이는 길이( $t(19) = -4.88, p < 0.001$ )와 두께( $t(19) = -4.00, p < 0.001$ ) 항목에서만 유의하였으며, 너비( $t(19) = -1.96, p = 0.065$ )와 두께( $t(19) = -0.87, p = 0.397$ )에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

#### 5. 토 의

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 지지대 사용에 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 inter-SD(2.01mm) 측면에서 평가 기준인 2mm(Weinberg *et al.*, 2005)를 다소 초과하였으며, 이의 원인은 셋째 손가락의 손등 관절(knuckle) 부위에 sticker 부착 시 측정자마다 위치를 정확하게 파악하지 못하였기 때문으로 파악된다. 측정 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(4.3점) 대비 3D-SAMP(5.2점)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 측정치에 대한 측정자의 확신이 낮

은 것으로 나타났다. 반면, 손 석고본을 사용하는 3D-SAMP는 측정 대상자와의 대면 시간이 불필요하고 측정 도구가 간편한 이유로 직접 측정법에 비해 선호되는 것으로 파악되었다.

본 연구는 3D-SAMP의 일반화를 위하여 다양한 손 측정 항목에 대한 확장 및 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 기술 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 존재되어 있다. 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

- 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), 21-27.
- Choi, H. and Kim, U. (2004), The database development of 2-D hands measurement for improving fitness of gloves-focused on the ages from 18 to 64 of male and female adults, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 28(3-4), 509-520.
- Choi, H., Lee, K., Kang, Y., and Kim, U. (2006), Development of Hand Measurement Protocol for Glove Design. Seoul, South Korea : Size Korea.
- 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*.
- Garrett, J. W. (1970), Anthropometry of the Hands of Male Air Force Flight Personnel (Report AMRL-TR-69-42), Dayton, OH : Aerospace Medical Research Laboratory, Aerospace Medical Division, Air Force Systems Command, Wright-Patterson Air Force Base.
- Greiner, T. M. (1991), Hand Anthropometry of US Army Personnel (NTIS No. ADA244533), Natick, MA : U. S. Army Natick Research, Development and Engineering Center.
- Han, H. and Nam, Y. (2004), The suitability of 3-dimensional body scan method in measuring body surface area, *Textile Science and Engineering*, 41(3), 223-229.
- Hidson, D. (1991), Development of a Standard Anthropometric Dimension Set for Use in Computer-Aided Glove Design (DREO Technical Note 91-22), Ottawa, ON : Defense Research Establishment Ottawa.
- Jang, M., Kim, J., and Kim, C. (1989), A study on the non-contact body measurements using image processing, *Journal of the Ergonomic Society of Korea*, 8(2), 35-41.
- Kim, M. and Nam, Y. (2001), Development of three dimensional scanner for anthropometric measurement, *Journal of the Ergonomic Society of Korea*, 20(3), 77-88.
- Kwon, M., Choi, I., Chung, G., and Yang, M. (2005), A study on establishment of glove size system and hand shape, *Journal of the Korean Society of Costume*, 55(6), 24-37.
- 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), 1672-1692.
- Lim, J. (2005), Classification of hand types for the development of glove patterns, *Journal of Korean Home Economics Association*, 43(8), 115-122.
- 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), 285-290.
- Park, C. (2004), Application of human body measurement technology in clothing and fashion industry, *Fashion Information and Technology*, 1, 96-100.
- Robinette, K. M. and Annis, J. F. (1986), A Nine-Size System for Chemical Defense Gloves (AAMRL-TR-86-029), Springfield, VA : National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce.
- Ryu, K. and Suh, M. (2004), A study on the measurement of Korean women's hand : focusing on glove size, *The Research Journal of the Costume Culture*, 12(2), 262-278.
- Size Korea (2006), Size Korea homepage, Retrieved November 14, 2009 from <http://sizekorea.kats.go.kr/>.
- Son, H., Kim, H., Choi, C., Sohn, H. and Kim, C. (2003), A study on a measurement method for 2D anthropometry using digital camera, *The Research Journal of the Costume Culture*, 11(1), 11-19.
- Weinberg, S. M., Scott, N. M., Neiswanger, K. and Marazita, M. L. (2005), Intraobserver error associated with measurements of the hand, *American Journal of Human Biology*, 17(3), 368-371.



**이 원 섭**

한동대학교 산업정보디자인학부 학사  
현재 : 포항공과대학교 산업경영공학과 박사  
과정  
관심분야 : 인간공학적 제품 설계, 3차원 스캐  
닝, 3차원 인체 모델 기반 제품 설계



**유 희 천**

펜실베니아 주립대학교 산업공학과 박사  
현재 : 포항공과대학교 산업경영공학과 교수  
관심분야 : 인간공학적 제품설계 기술, 사용자  
중심의 제품설계, 가상 환경 기반  
인간공학적 제품 설계 및 평가, 사  
용성 공학, 근골격계질환 예방 및  
통제



**윤 성 혜**

한동대학교 산업정보디자인학부 학사  
현재 : LG 전자 MC 사업부  
관심분야 : 인간공학적 제품 설계, 인간공학  
디자인, 3차원 손 치수 분석