

손 치수 측정을 위한  
3 차원 반자동 측정 방법 개발

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

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

by  
**Sunghye Yoon**

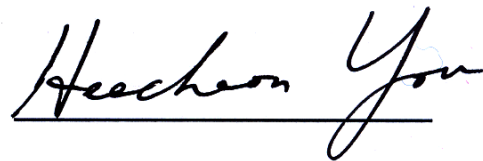
**Department of Industrial & Management Engineering,  
(Human Factors and Ergonomics Program)  
Pohang University of Science & Technology**

**A thesis submitted to the faculty of Pohang University of Science  
& Technology in partial fulfillment of the requirements for the  
degree of Master of Science in the Industrial & Management  
Engineering (Human Factors and Ergonomics Program)**

**Pohang, Korea**

**December 29, 2009**

**Approved by**

A handwritten signature in black ink that reads "Heecheon You". The signature is written in a cursive style and is positioned above a solid horizontal line.

**Heecheon You, Major Advisor**

# 손 치수 측정을 위한 3차원 반자동 측정 방법 개발

윤 성 혜

위 논문은 포항공대 대학원 석사 학위논문으로 학위논문  
심사위원회를 통과하였음을 인정합니다.

2009년 12월 29일

학위논문심사 위원회

위원장

유 희 천



위 원

장 수 영



위 원

정 민 근



**MIE**                    **윤성혜, Sunghye Yoon, Development of a 3D Semi-Automatic**  
**20080216**           **Measurement Protocol for Hand Anthropometry, 손 치수 측정을 위한 3차원 반자동 측정 방법 개발, Department of Industrial & Management Engineering, 2010, 93p, Advisor: Heecheon You, Text in Korean.**

### **Abstract**

Anthropometric data is applied to designing product size and shape to develop body fitness and comfort of product. These days, anthropometric data have been obtained through 3D scanner to get human body size and shape together. To utilize the 3D measurement protocol, hand sway and hand skin deformation must be removed during 3D scanning. And the efficiency of landmarking must be evaluated. This research is performed to develop a 3D measurement protocol for hand anthropometry.

At first, the spot of landmarks for the 3D scanning measurement is defined. The landmarks defined previously are not appropriate for the 3D hand measurement protocol. Referring to 8 documents, 169 measurement items for hand anthropometry are collected and 97 landmarks are defined. The landmarks are coded to be understood and used more easily.

Second, a 3D semi-automatic measurement protocol (3D-SAMP) is developed to overcome the existing disadvantages of the 3D scanning measurement protocol. The 3D-SAMP is composed of 4 steps (1. Producing a hand plaster & 3D scanning, 2.

Landmarking, 3. Extracting 3D coordinates, 4. Extracting hand size). Through 3D scanning a hand plaster, the hand sway and deformation could be prevented. The automatic extraction of size based on the landmarks makes the 3D-SAMP effective.

Lastly, 20 persons measured 52 measurement items of 1 person's hand 3 times respectively by 3D-SAMP & manual measurement to evaluate the 3D-SAMP. The two measurements are compared in aspect of mean difference, repeatability, time required and subjective rating. 11 items are significantly different comparing the results of two measurements. The repeatability of a 3D-SAMP (intra measurer SD = 0.70, inter measurer SD = 0.75) is higher than a manual measurement (intra measurer SD = 1.35, inter measurer SD = 1.76). There is no significant difference on the time required to measure 52 items through the manual measurement (mean = 17 min. 49 sec., SD = 4 min. 58 sec.) and the 3D-SAMP (mean = 17 min. 48 sec., SD = 4 min. 31 sec.). The subjective rating (1: very dissatisfied, 7: very satisfied) of the 3D-SAMP (mean = 4.30, SD = 0.82) is higher than the manual measurement (mean = 5.18, SD = 0.83).

In summary, the spot of landmarks for a 3D hand measurement protocol are defined and a 3D-SAMP is developed by using a hand plaster and semi-automatic size extraction program. Through 3D-SAMP, 3D hand shape data can be extracted without hand sway and skin deformation.

# 목차

<b>Abstract</b> .....	<b>iv</b>
<b>1. 서론</b> .....	<b>1</b>
1.1. 연구 배경 및 필요성.....	1
1.2. 연구 목표 .....	5
1.3. 논문 구성 .....	6
<b>2. 문헌 조사</b> .....	<b>8</b>
2.1. 인체 측정법 분류 및 특징.....	8
2.2. 3D Scanning 기반 측정법.....	11
2.3. 손 치수 측정법.....	13
<b>3. 3D 손 측정 참조점 정의</b> .....	<b>16</b>
3.1. 손 치수 측정 항목 조사.....	16
3.2. 3D 손 측정 참조점 정의.....	16
<b>4. 3D Semi-Automatic Measurement Protocol (3D-SAMP) .....</b>	<b>21</b>
4.1. 손 석고본 제작 및 Scanning.....	22
4.2. 참조점 표시.....	24
4.2.1. 길이, 너비, 두께 측정을 위한 참조점 표시.....	24
4.2.2. 둘레 측정을 위한 참조점 표시 .....	25
4.3. 3D 좌표 추출.....	26
4.3.1. 길이, 너비, 두께 측정을 위한 3D 좌표 추출.....	26

4.3.2.	둘레 측정을 위한 3D 좌표 추출.....	27
4.4.	손 치수 추출.....	28
4.4.1.	길이, 너비, 두께 항목 측정을 위한 손 치수 추출.....	28
4.4.2.	둘레 측정을 위한 손 치수 도출 .....	29
<b>5.</b>	<b>3D-SAMP 비교 평가.....</b>	<b>31</b>
5.1.	실험 참여자.....	31
5.2.	측정 변수 .....	31
5.3.	실험 장비 .....	36
5.3.1.	직접 측정법 .....	36
5.3.2.	3D-SAMP .....	37
5.4.	실험 환경 .....	38
5.5.	수행 작업 .....	38
5.6.	실험 설계 및 Data 처리 .....	40
5.7.	평가 기준 .....	41
<b>6.</b>	<b>결과.....</b>	<b>44</b>
6.1.	측정치 차이.....	44
6.2.	반복성 .....	44
6.2.1.	측정자 내 반복성 .....	44
6.2.2.	측정자 간 반복성 .....	48
6.3.	소요시간 .....	51
6.4.	주관적 만족도.....	51

7. 토의.....	53
8. 결론.....	57
<b>References.....</b>	<b>59</b>
<b>부록.....</b>	<b>63</b>
부록 1. 참조점 Code 설정 규칙.....	63
부록 2. 참조점 Code.....	65
A. 길이 항목.....	65
B. 너비 항목.....	68
C. 두께 항목.....	71
D. 둘레 항목.....	73
부록 3. 직접 측정법과 3D-SAMP의 결과치.....	78
A. 길이 항목.....	78
B. 너비 항목.....	80
C. 두께 항목.....	81
D. 둘레 항목.....	82
부록 4. 실험 동의서.....	83
부록 5. 실험 지침서.....	84
부록 6. 주관적 만족도 평가지.....	86
부록 7. 측정 항목 및 측정치 기입 양식.....	88
부록 8. 3D Scanning 손 측정용 참조점 위치 안내 양식.....	92
A. Sticker 부착 Guideline.....	92



**B. PC<sup>g</sup> Landmarking Guideline ..... 93**

## 표 목차

표 2-1. 인체 측정법의 분류 .....	9
표 2-2. 측정법에 따른 장단점 .....	10
표 3-1. 손 측정 항목 수집을 위한 참고 문헌 및 측정 항목 수.....	17
표 3-2. 참조점 code 설정 규칙 예시.....	19
표 3-3. 참조점 정의 및 code 예시.....	20
표 4-1. 측정 항목에 따른 측정 protocol.....	23
표 4-2. 손 치수 추출 방법 .....	30
표 5-1. 선정된 측정 항목 .....	33
표 5-2. 평가 기준 .....	43
표 6-1. 유의한 차이가 파악된 항목 및 측정치 차이.....	45
표 6-2. 측정자 내 표준편차 범위에 따른 측정 항목 수.....	47
표 6-3. 측정자 내 변동계수 범위에 따른 측정 항목 수.....	48
표 6-4. 측정자 간 표준편차 범위에 따른 측정 항목 수.....	49
표 6-5. 측정자 간 변동계수 범위에 따른 측정 항목 수.....	50

## 그림 목차

그림 1-1. 인체 측정 자료가 설계에 반영된 사례.....	2
그림 1-2. 손 측정 자료의 제품 설계 반영 사례.....	3
그림 2-1. 3D scanner 및 scan 된 data 예시.....	9
그림 2-2. 3D scanning 기반 측정법의 연구 예 .....	12
그림 2-3. 손 치수 측정법 .....	13
그림 2-4. 3D scanning 기반 손 측정법의 연구 사례 .....	15
그림 3-1. 손 측정을 위한 참조점 정의 연구 사례.....	18
그림 4-1. 3D-SAMP 절차 .....	22
그림 4-2. 측정 대상자의 손과 동일한 형상의 손 석고본.....	23
그림 4-3. 3D scanner 와 추출된 손 형상 .....	24
그림 4-4. 참조점 표시 예(길이, 너비, 두께).....	25
그림 4-5. 참조점 표시 예(둘레).....	26
그림 4-6. 3D 좌표 추출(길이, 너비, 두께).....	27
그림 4-7. 3D 좌표 추출(둘레).....	28
그림 4-8. MATLAB 을 이용한 손 치수 자동 추출(길이, 너비, 두께).....	29
그림 4-9. MATLAB 을 이용한 손 치수 자동 추출(둘레) .....	30
그림 5-1. 직접 측정법에 사용된 도구 .....	36
그림 5-2. 3D-SAMP 에 사용된 도구 .....	37
그림 5-3. 실험 환경 .....	38

그림 5-4. 측정치 기록 양식 예 .....	39
그림 5-5. 참조점 위치 안내 양식 예 .....	39
그림 6-1. 측정 항목별 측정자 내 표준편차.....	46
그림 6-2. 측정 항목별 측정자 내 변동계수.....	47
그림 6-3. 3D-SAMP 측정치 중 측정자 내 반복성이 낮은 항목.....	48
그림 6-4. 측정 항목별 측정자 간 표준편차.....	49
그림 6-5. 측정 항목별 측정자 간 변동계수.....	50
그림 6-6. 3D-SAMP 측정치 중 측정자 간 반복성이 낮은 항목.....	51
그림 6-7. 각 측정 항목에 따른 주관적 만족도.....	52
그림 6-8. 선호하는 손 측정법 조사 결과.....	52

# 1. 서론

## 1.1. 연구 배경 및 필요성

인체 측정 자료는 제품 설계에 활용되어 제품의 인체 적합도와 사용 편리성을 향상시키기 때문에 다수의 국가가 인체 측정 자료를 획득하기 위해 인체 측정을 실시하고 있다. 미국은 US Army (Gordon et al., 1988)를, 영국은 Size UK (2001)를 통하여 자국민의 인체 측정을 실시하고 있다(유희천 외, 2004). 우리나라는 Size Korea (2006) 사업을 통해 다년간 한국인의 인체 측정 자료를 구축해 왔으며, 구축된 자료는 한국 산업 제품(예: 제화, 자동차, 자전거)의 개발을 위해 활용되고 있다. 인체 측정 자료를 기반으로 설계된 제품 및 생활 환경은 인체 적합도와 사용 편리성 향상에 기여한다(Size Korea, 2006). 예를 들어, 박창규(2004)는 인체 적합성이 높은 의복을 설계하기 위해 전신 측정 자료를 사용하였으며, Jose et al.(2005)은 맞춤형 신발 설계를 위해 3D 발 형상을 획득하고 발 치수를 측정하였다. 또한 최혜선 외(2006)는 손 측정 자료를 기반으로 착용성이 높은 장갑을 설계하였다(그림 1-1 참조).

활용성 높은 손 측정 자료를 획득하기 위해 다양한 손 측정법이 연구되고 있다. 손 측정 자료는 손 보호 제품(예: 장갑)과 손으로 조작하는 제품(예: 마우스, 헬리콥터 조종간 손잡이)을 설계하기 위해 유용하게 활용된다(정화성 외, 2003; 그림 1-2 참조). 예를 들어, 권명숙 외(2005)는 장갑 설계를 위해 일반인 265명을 대상으로 63개 손 부위를 직접 측정법으로 측정하였으며,

Greiner et al.(1991)은 미군 1,000명을 대상으로 직접 측정법과 photography 측정법을 사용하여 67개 항목의 손 치수를 측정하였다. 또한 최혜선과 김은경(2004)은 3D scanning 기반 측정법으로 일반인 30명을 대상으로 37개 부위의 손 치수를 도출하고 장갑 설계에 활용하였다.

대표적인 손 치수 방법에는 직접 측정법, photography 측정법 그리고 3D scanning 기반 측정법이 있으며, 각 측정법은 측정 용이성 및 측정 결과 활용도 측면에서 장단점이 있다. 첫째, 직접 측정법은 측정이 용이하고 경제적이다(손희정 외, 2003). 반면 측정도구에 의해 피부의 눌림이 발생할 수 있으며, 측정자의 측정 숙련도 수준에 따라 측정 오차가 발생할 수 있다(한현숙 외, 2004). 또한 사후 측정치 결과에 오류가 발견되었을 때, 재 측정을 위해 측정



(a) 발 치수를 신발 설계에 적용한 예 (Jose et al, 2005)  
 (b) 손 치수를 장갑 설계에 적용한 예 (최혜선 외, 2006)

그림 1-1. 인체 측정 자료가 설계에 반영된 사례



(a) 기능성 골프 장갑 (b) 인체 공학적 mouse (c) 헬리콥터 조종간 손잡이

그림 1-2. 손 측정 자료의 제품 설계 반영 사례

대상자를 재소하여 측정해야 하는 불편함이 있으며 인체의 형상 정보는 획득하지 못하는 단점이 있다. 둘째, photography 측정법은 손 정면 또는 측면의 사진을 획득하고 획득된 이미지를 기반으로 인체 형상을 파악하는 방법이다. Photography 측정법은 사진을 기반으로 손 치수를 측정하기 때문에 측정자와 손 측정 대상자가 측정을 위해 인체를 접촉하는 시간이 단축되며(Ozsoy et al., 2009), 추후 손 측정 대상자가 없더라도 사진을 이용하여 추후에 재 측정이 가능하다. 반면 photography 측정법은 카메라 렌즈의 왜곡에 의해 촬영 결과에 왜곡이 발생할 수 있으며, 둘레 치수 획득이 불가능하다(김철중 외, 1989). 마지막으로 3D scanning 기반 손 측정법은 손 측정 대상자의 손을 3D scanner를 통해 디지털화한 후, 획득된 손 형상을 기반으로 손의 치수를 획득하는 방법이다. 3D scanning 기반 손 측정법은 손 치수와 함께 3D 디지털 손 형상 정보를 제공하며, 획득된 손 형상 정보는 제품의 형상 설계에 직접적으로 적용이

가능하다(Chang et al., 2007). 측정 결과에 오류가 발견되었을 경우는 손 측정 대상자가 없더라도 획득된 3D 디지털 손 형상 정보를 이용하여 재 측정할 수 있다. 또한 획득된 손 형상을 기반으로 복잡한 측정 부위의 치수를 용이하게 획득할 수 있다는 장점이 있다. 반면 3D scan 과정에서 손 측정 대상자의 손 흔들림으로 인해 3D scan된 손 형상이 실제 손과 차이가 나타날 수 있다. 손 흔들림을 방지하기 위해 손 지지대를 사용할 경우는 손 측정 대상자의 피부가 손 지지대와 맞닿아 피부 눌림이 발생하기 때문에 측정 오차가 생길 수 있다(Li et al., 2008). 따라서 다양한 부위의 손 치수와 형상 등의 활용도 높은 손 측정 자료를 동시에 획득하기 위해서는 3D scanning 기반 손 측정법이 보완될 필요가 있다.

3D scanning 기반 측정법이 손 측정에 범용적으로 사용되기 위해서는 세 가지 측면에서 보완이 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 3D scanning 기반의 손 측정을 위해 3D 손 측정 참조점을 정의할 필요가 있다. 다수의 기존 연구에서는 직접 측정법과 photography 측정법으로 손을 측정하기 위해 손의 참조점 또는 참조선을 정의하고 있으나(Greiner, 1991; 최혜선 외, 2006), 3D scanning 기반 측정법으로 손을 측정하기 위한 측정 참조점의 정의에 대한 연구는 미흡하다. 따라서 다양한 손 부위를 3D scanning 기반 측정법으로 측정하기 위해서 다양한 항목에 대해 3D 손 측정 참조점을 정의할 필요가 있다.

둘째, 손 흔들림과 피부 눌림을 방지하기 위해 손을 3D scan하는 방법의 개선이 필요하다. 손은 다른 인체 부위(예: 발, 얼굴)보다 흔들림이 많아서 실제 사람의 손을 3D scan 하게 되면 data의 품질이 좋지 않고 실제 손 형상과



오차가 발생할 수 있다(류경옥 외, 2003). 또한 손의 흔들림 방지를 위해 손 지지대를 사용할 경우는 지지대에 닿는 손 부위에 피부 눌림이 발생하여 측정치에 오차가 발생할 수 있다(Li et al., 2008). 따라서 3D scan을 할 때 발생할 수 있는 손의 흔들림과 피부 눌림을 방지할 수 있는 방안이 필요하다

셋째, 측정자와 손 측정 대상자가 빠른 시간 내에 용이하게 손을 측정할 수 있어야 한다. 직접 측정법은 측정이 간편하고 측정 도구의 사용법이 직관적이기 때문에 가장 보편적으로 사용되고 있다(Ozsoy et al., 2009). 따라서 3D scanning 기반 손 측정법이 보편화되기 위해서는 측정자가 간편하게 손 치수를 획득할 수 있도록 측정법이 보완될 필요가 있다.

## 1.2. 연구 목표

본 연구에서는 기존 3D scanning 기반 손 측정법을 보완하여 측정 반복성과 효율성이 높은 3D-semi automatic measurement protocol (3D-SAMP)을 개발한다. 이를 위해 본 연구는 다음과 같은 세 가지 세부 목표를 포함한다. 첫째, 다양한 손 부위를 3D scanning 기반 측정법으로 측정하기 위해 3D 손 측정 참조점을 정의한다. 본 연구에서는 8개의 기존 논문 및 보고서(권명숙 외, 2005; 류경옥, 서미아, 2004; 임지영, 2005; 최혜선 외, 2006; Garrett, 1970; Greiner, 1991; Hidson, 1991; Robinette & Annis, 1986)를 참고하여 손 측정 항목을 수집하고 수집된 측정 항목을 3D scanning 기반 측정법을 통해 측정할 수 있도록 3D 손 측정 참조점을 정의한다. 참조점에는 code를 부여하여 측정자가 용이하게 참

조점을 인지하고 사용할 수 있도록 한다.

둘째, 기존 3D scanning 기반의 손 측정법을 보완하여 3D semi-automatic measurement protocol (3D-SAMP)를 개발한다. 3D scanning 기반 인체 측정법을 손 치수 측정에 적용하기 위해서는 3D scan 단계에서 발생할 수 있는 손 형상의 변형을 최소화하고, 3D scan data의 품질을 향상시켜야 한다. 또한 측정자의 노력과 소요 시간 측면에서 3D scanning 기반 손 측정법의 측정 효율성이 향상될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 손 석고본을 사용하여 3D scan 시에 발생할 수 있는 손 흔들림을 제거하여 3D scan data의 품질을 향상시키고 손 지지대에 의한 측정 오차를 줄이고자 한다. 또한 반자동(semi-automatic) 측정을 통해 3D scanning 기반 손 측정법의 효율성을 높이고자 한다.

마지막으로, 개발된 3D-SAMP의 성능을 평가하기 위해 3D-SAMP는 직접 측정법과 비교 평가한다. 20명의 측정자를 모집하고 모집된 측정자들이 1명의 손 측정 대상자 52개 손 부위를 두 가지 측정법으로 3번씩 반복 측정하여 평가한다. 두 가지 측정법은 측정치 차이, 반복성, 소요시간, 주관적 만족도 측면에서 비교 평가한다.

### 1.3. 논문 구성

본 논문은 8개의 장과 8개의 부록으로 구성되어 있다. 제 1장은 연구의 배경, 필요성과 목적을 서술하고 있으며, 제 2장은 문헌 조사를 통해 파악된 기존의 인체 측정법의 특징과 장점과 단점에 대해 설명하고 있다. 제 3장은

3D scanning 기반의 손 측정을 위해 필요한 3차원 손 측정용 참조점을 정리하였으며, 제 4장은 효율적인 손 측정을 위해 개발된 3D-SAMP의 절차에 대해 정의하고 있다. 제 5장은 4장에서 개발된 3D-SAMP를 검증하기 위해 직접 측정법과 비교 평가하는 실험에 대해 서술하고 있으며, 제 6장은 5장에서 실험한 실험 결과를 보여주고 있다. 제 7장은 본 연구의 특징, 의의, 한계에 대해 토의하고 있고, 8장은 본 연구의 결론을 서술하고 있다. 마지막으로, 부록은 각 장에서 서술된 구체적인 내용 또는 분석 정보를 제시하고 있다.

## 2. 문헌 조사

인체 측정의 오류를 최소화하고 반복성이 높은 인체 측정치를 효율적으로 획득하기 위해 다양한 인체 측정 방법이 개발되고 있다. 인체 측정 방법은 획득된 인체 자료의 형태에 따라 1차원, 2차원 그리고 3차원 측정법으로 분류되며 각 측정법은 정확성과 결과 활용성 측면에서 장단점이 있다. 인체 측정법 중 인체 형상과 치수를 동시에 획득하기 위해 최근 사용되고 있는 3D scanning 기반 측정법은 scan 방법과 효율성 측면에서 보완되고 평가되어야 할 필요성이 있다. 따라서 본 장에서는 문헌 조사를 통해 다양한 인체 측정법의 장단점과 손의 측정법을 파악하였다.

### 2.1. 인체 측정법 분류 및 특징

인체 측정법은 표 2-1과 같이 획득된 인체 자료의 형태에 따라 1차원, 2차원 그리고 3차원 측정법으로 분류된다. 1차원 측정법은 1차원적 수치인 인체의 크기를 획득하여 인체 형태를 파악하는 방법이다. 예를 들어, 1차원 측정법 중 직접 측정법은 caliper와 줄자 등의 측정 도구를 인체에 직접 밀착시켜 인체의 높이, 둘레, 두께 등의 수치를 획득하는 방법이다. 2차원 측정법은 인체의 2차원 이미지를 획득하여 인체 크기를 파악하는 방법이다. 예를 들어, 2차원 측정법 중 photography 측정법은 인체의 정면 또는 측면 사진을 획득하여 다양한 인체 치수 정보를 파악하는 방법이며(손희정 외, 2003), scan 측정법은 2차원

scanner를 통해서 인체의 단면 이미지를 획득하여 인체 크기를 파악하는 방법이다(박재경 외, 2002). 또한 silhouette 측정법은 인체의 그림자를 통해 인체의 크기 및 형상을 파악하는 방법이다(김철중, 1989). 3차원 측정법은 입체적인 인체 형태를 그대로 포착해서 인체의 크기와 형태를 파악하는 방법으로 3D scanning 기반 측정법이 대표적이다(김철중, 1989; 송영준 외, 2005). 3D scanning 기반 측정법은 인체의 형상을 3D scanner를 통해 획득하고 획득된 3D data를 통해 인체의 크기와 형상을 파악하는 방법이다(그림 2-1 참조).

표 2-1. 인체 측정법의 분류

측정법	설명	측정법 종류
1차원 측정법	인체의 1차원 수치를 획득하여 인체 크기 파악	• 직접 측정법
2차원 측정법	2차원 이미지를 획득하여 인체 크기 파악	• Photography 측정법 • 2D scan법 • Silhouette 측정법
3차원 측정법	인체의 3차원 형태를 포착하여 인체 크기 및 형태 파악	• 3D scanning 기반 측정법

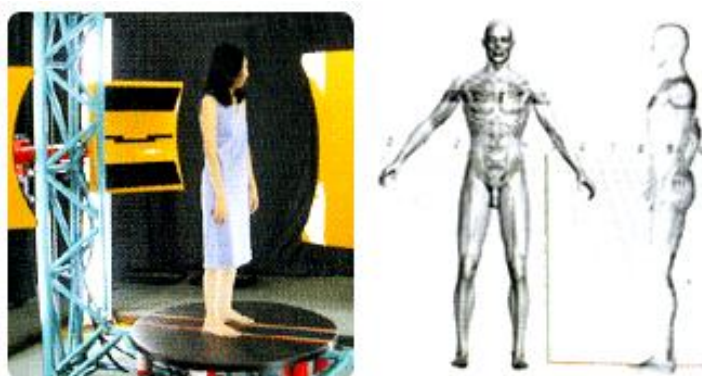


그림 2-1. 3D scanner 및 scan된 data 예시

조사된 세 가지 인체 측정법(직접 측정법, photography 측정법, 3D scanning 기반 측정)은 표 2-2에 제시한 것과 같이 정확성, 활용성 그리고 효율성 측면에서 장점과 단점이 있다. 측정법 중 가장 보편적으로 사용되는 직접 측정법은 측정 방법이 용이하고 경제적이다(손희정 외, 2003). 반면, 손 측정 대상자의 피부가 측정 도구에 의해 눌러 측정 오차가 발생할 수 있다(한현숙 외, 2004). 직접 측정법은 측정자가 측정 도구를 사용하여 측정 대상자의 손을 직접 측정하는 방법이기 때문에 측정 시간이 길어질 경우는 측정자와 측정 대상자가 모두 피로함을 느낄 수 있다. 또한 측정자의 숙련도에 따라 오차가 발생하기 쉬우며(손희정 외, 2003), 측정 자료가 1차원 수치에 국한되어 활용도가 낮다.

표 2-2. 측정법에 따른 장단점

측정법	장점	단점
직접 측정법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 측정 용이</li> <li>• 경제적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 측정 도구에 의한 피부 눌림</li> <li>• 측정자의 숙련도에 따른 오차 발생</li> <li>• 재 측정 불가능</li> <li>• 측정 대상자와 측정자의 대면 시간에 의한 피로감</li> </ul>
Photography 측정법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경제적</li> <li>• 재 측정 가능</li> <li>• 측정자가 측정 대상자와 접촉하는 시간이 단축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 둘레 측정이 불가능</li> <li>• 카메라의 사양이나 lens의 왜율에 따른 측정 오차</li> </ul>
3D scanning 기반 측정법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다양한 부위의 인체 치수 획득 가능</li> <li>• 인체 치수 외에 형상 획득 가능</li> <li>• 재 측정 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인체 흔들림 및 그림자로 인한 3D scanning data의 품질 저하</li> <li>• 지지대에 의한 피부 눌림으로 인체 변형</li> </ul>

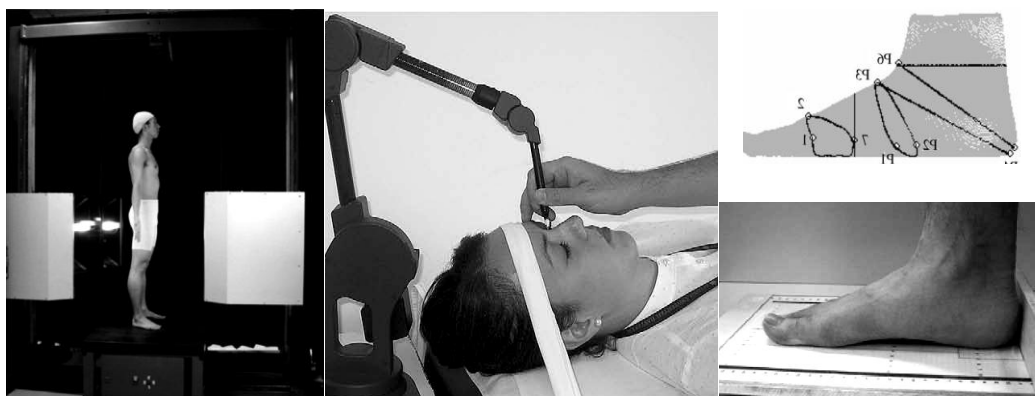
대표적 2차원 측정법인 photography 측정법은 경제적이고, 측정자가 측정 대상자와 접촉하는 시간이 직접 측정법보다 단축된다는 점에서 측정이 편리하다(Ozsoy et al., 2009). 또한 photography 측정법은 획득된 사진을 사용하기 때문에 사후 재 측정이 편리하다. 반면 2차원 형상을 이용하여 인체를 측정하기 때문에 들레 측정이 불가능하며, 카메라의 사양이나 렌즈의 왜율 때문에 측정 오차가 발생할 수 있다(김철중 외, 1989).

마지막으로, 3D 측정법 중 대표적인 3D scanning 기반 측정법은 3D scanner를 통해 인체의 3D 형상을 획득하고 인체 크기를 파악하는 방법으로 인체의 3D 형상을 획득할 수 있다는 장점 때문에 연구가 활발히 진행되고 있으나 정확성 및 측정 효율성 보완을 위해 지속적인 연구가 필요하다. 따라서 인체 치수 외에 형상을 함께 획득할 수 있으며, 인체 형상을 활용하여 인체 치수 외에 부피, 표면 면적 등을 함께 획득할 수 있다. 또한 사후에 측정 결과에 오류가 발견되었을 때도 인체의 3D 형상이 저장되어 있기 때문에 재 측정이 가능하다. 그러나 인체의 흔들림 및 그림자로 인해 3D scan 시 어려움이 있다. 따라서 3D scanning 기반 측정법은 개선을 위해 지속적인 연구가 필요하며, 특히 손 측정을 위한 3D scanning 기반 측정은 아직 연구가 미흡하다.

## **2.2. 3D Scanning 기반 측정법**

3D scanning 기반 측정법은 제품 설계에 적용이 가능한 인체 형상을 제공하기 때문에 최근 연구가 활발히 진행되고 있다. Lu et al.(2008)은 3D scanning

기반 측정법을 사용하여 전신의 3D 형상을 한 후, 자동 치수 획득 program을 통해 12개(손, 발 제외) 인체 치수를 추출하였다(그림 2-2 참조). 획득된 인체 치수는 직접 측정법을 통해 도출된 측정치와 비교 평가하였다. 비교 결과 12개 중 5개의 변수가 직접 측정치와 10 mm 정도의 차이가 있는 것으로 파악되었다. Ozsoy et al.(2009)은 3D scanning 기반 측정법으로 얼굴의 22개 변수(예: total ear height, nose length)를 측정하였다. 직접 측정치와 비교한 결과 22개 중 16개 측정 항목이 직접 측정치와 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ ). 또한 22개 중 15개 측정 항목에서 3D scanning 기반 측정치의 변동성(mean CV = 8.7 %)이 직접 측정치의 변동성(mean CV = 9.8 %)보다 낮았다. Channa et al.(2006)은 신발 설계를 위해 3D scanning 측정법을 기반으로 발 형상과 18개의 발 치수를 획득하고 직접 측정치와 비교하였다. 비교 결과 1개 항목(heel width)에서만 유의한 차이가 나타났으며( $p < 0.05$ ), 전반적으로 두 가지 측정법으로 획득한 측정치가 유의한 것으로 파악되었다.



(a) 전신 측정  
(Lu et al., 2008)

(b) 얼굴 측정  
(Ozsoy et al., 2009)

(c) 발 측정  
(Channa et al., 2006)

그림 2-2. 3D scanning 기반 측정법의 연구 예



### 2.3. 손 치수 측정법

손 치수는 그림 2-3과 같이 직접 측정법, photography 측정법 그리고 3D scanning 기반 측정법을 통해 획득되고 있다. 최혜선 외(2006)는 직접 측정법을 통해 성인 남녀 1,000명을 대상으로 58개(길이 33개, 너비 13개, 두께 2개, 둘레 10개) 손 부위를 측정하였다. 류경옥(2003)은 photography 측정법과 직접 측정법을 통해 74개 항목(길이 44개, 너비 13개, 두께 5개, 둘레 22개)의 손 치수를 획득하기 위해 손 측정 자세와 참조점을 제안하였다. Li et al.(2009)은 3D scanning 기반 측정법을 통해 64개 항목(길이 20개, 너비 15개, 두께 14개, 둘레 15개)의 손 치수를 획득하였다.



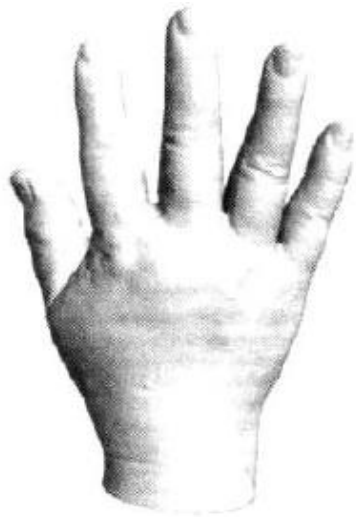
(a) 직접 측정법

(b) Photography 측정법

(c) 3D scanning 기반 측정법

그림 2-3. 손 치수 측정법

최근에는 활용성 높은 손 치수와 손 형상 자료를 동시에 획득하기 위해 3D scanning 기반 손 측정법이 연구되고 있다. 최혜선 외(2004)는 장갑 설계를 위해 3D scanning 기반 측정법으로 손 형상을 획득하고 획득된 디지털 손 형상을 기반으로 37개(길이: 14개, 너비: 12개, 두께: 2개, 둘레: 9개) 손 치수를 측정하였다(그림 2-4 (a) 참조). 최혜선 외(2004)는 손 형상을 획득하기 위해 손 측정 대상자의 손을 직접 3D scan하였으며, 손 치수는 측정자가 3D 형상 제어 program을 사용하여 손 형상에 참조점을 표기한 후, 참조점 간의 거리를 화면 상에서 간접 측정하는 방식을 통해 획득하였다. 획득된 측정치를 평가하기 위해 직접 측정치와 비교한 결과, 37개 중 2개 항목(손 길이, 손바닥 길이)이 직접 측정치와 10 mm 이상의 차이가 나타나는 것으로 파악되었다. Li et al.(2008)은 제품 설계에 필요한 손의 형상을 획득하고 64개(길이: 20개, 너비: 15개, 두께: 14개, 둘레: 15개)의 손 치수를 측정하기 위해 3D scanning 기반 측정법을 사용하였다. 손의 흔들림 없이 손을 3D scan하기 위해 손 측정 대상자가 손을 유리 지지대에 올려두고 3D scan하였다(그림 2-4 (b) 참조). 손 치수를 추출하기 위해서 측정자는 3D 형상 제어 program을 통해 획득된 손 형상에 참조점을 표시하였다. 표시된 참조점을 기반으로 3D 형상 제어 program에서 제공되는 tool을 통해 각각의 손 치수가 획득되었다. 획득된 측정치를 직접 측정치와 비교한 결과 64개 중 25개 항목이 직접 측정치와 유의한 차이( $p < 0.05$ )가 있었으며, 그 중 손목둘레는 직접 측정치와 10 mm 이상이 차이가 나는 것으로 파악되었다. 그러나 Li et al.(2008)은 유리 지지대에 의한 손의 피부 눌림 현상이 발생한다고 보고하였다.



(a) 3D scanner를 통해 획득된 손 형상 (b) 유리 지지대를 이용한 3D 손 scan법  
(최혜선 외, 2004) (Li et al., 2009)

#### 그림 2-4. 3D scanning 기반 손 측정법의 연구 사례

손 치수와 손 형상을 동시에 획득하기 위해 기존의 3D scanning 손 측정법이 활용되고 있으나 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 손은 흔들림이 다른 인체 부위보다 많고 손가락 사이에 그림자가 쉽게 드리워지기 때문에 3D scan에 어려움이 있다(김민효 외, 2001; 최혜선 외, 2006). 따라서 3D scan data의 품질 저하로 인해 측정 오차가 발생하기 쉽다. 둘째, 손 흔들림을 방지하기 위해 지지대를 사용하는 경우는 지지대와 손이 맞닿는 부위에 피부 변형이 일어나서 측정 오류가 발생할 수 있다. Li et al.(2008)과 Chang et al.(2007)은 손 흔들림을 방지하기 위해 유리 지지대를 사용하여 손을 scan 하였으나, 지지대와 손이 맞닿은 부분의 피부가 눌러 측정 오차를 일으킬 수 있다.

### 3. 3D 손 측정 참조점 정의

본 장에서는 기존 문헌을 참고하여 손 측정 항목을 수집하고 수집된 손 측정 항목을 3D scanning 기반 측정법으로 측정 할 수 있도록 3D 손 측정 참조점을 정의하였다. 기존에 손 측정을 위해 제안된 측정 참조점과 참조선은 3D scanning 기반 손 측정용으로는 적합하지 않다. 따라서 본 장에서는 다양한 손 측정 항목을 수집하고 수집된 손 측정 항목을 3D scanning 기반 손 측정법으로 측정하기 위해 3D 손 측정 참조점을 체계적으로 종합하였다. 또한 참조점은 code화 하여 측정자가 용이하게 사용할 수 있도록 하였다.

#### 3.1. 손 치수 측정 항목 조사

본 연구에서는 손 측정 항목을 체계적으로 정리하기 위해 표 3-1과 같이 손 측정 항목을 정의하고 있는 8개의 관련 문헌을 참조하여 169개 손 치수 측정 항목을 수집하였다. 수집된 169개 손 측정 항목 중 길이는 116개, 너비는 18개, 두께는 17개이며, 둘레 항목은 18개로 구성되어 있다.

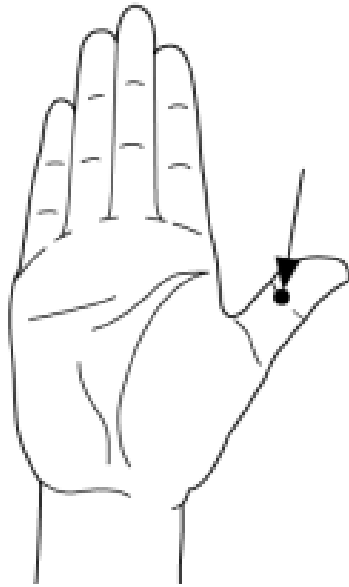
#### 3.2. 3D 손 측정 참조점 정의

다수의 문헌에서는 손 측정을 위해 측정 참조점과 참조선을 정의하고 있으나, 3D scanning 기반 손 측정을 위한 참조점 정의에 대한 연구는 미흡하다. 최혜선 외(2006)는 60개 손 측정 항목을, 류경옥과 서미아(2003)는 86개 손 측

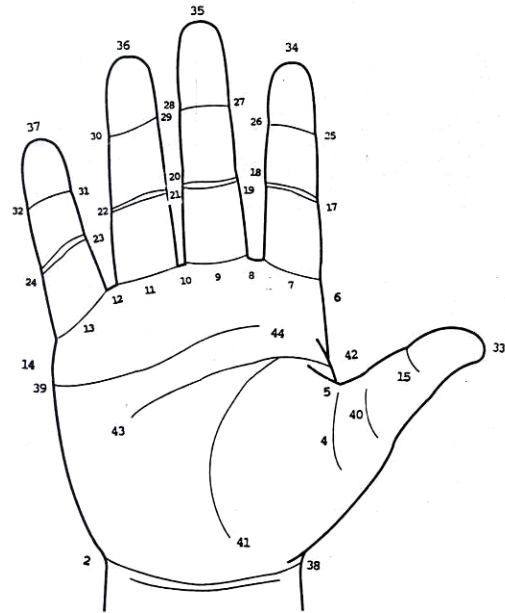
표 3-1. 손 측정 항목 수집을 위한 참고 문헌 및 측정 항목 수

번호	저자	년도	측정법	측정 항목 수
1	권명숙 외	2005	직접 측정법	63개
2	류경옥과 서미아	2003	직접 측정법, photography 측정법	86개
3	임지영	2005	직접 측정법	51개
4	최혜선 외	2006	직접 측정법	60개
5	Greiner	1991	직접 측정법, photography 측정법	67개
6	Garrett	1970	직접 측정법 Photography 측정법	56개
7	Hidson	1991	3D scanning 기반 측정법	48개
8	Robinette & Annis	1986	직접 측정법	22개

정 항목을 직접 측정법으로 측정하기 위해 손 측정 참조점 및 참조선을 정의하였다(그림 3-1 참조). 또한 Greiner (1991)는 직접 측정법과 photography 측정법을 통해 67개 손 측정 항목을 측정하기 위해, Garrett (1970)은 photography 측정법을 통해 56개 항목을 측정하기 위해 참조점 및 참조선을 정의하였다. 그러나 3D scanning 기반 손 측정을 위한 참조점 정의에 대한 연구는 미흡하다. Li et al.(2008)이 3D scanning 기반 손 측정법을 평가하기 위해 64개 손 부위에 대해 3D 손 측정 참조점을 정의하였으나, 다양한 손 측정 항목을 측정하기 위해서는 추가적인 3D 손 측정 참조점의 정의가 필요하다.



(a) 직접 측정법을 위한 참조점 정의의 예(최혜선 외, 2006)



(b) Photography 측정법을 위한 참조점 및 참조선 정의(Greiner, 1991)

그림 3-1. 손 측정을 위한 참조점 정의 연구 사례

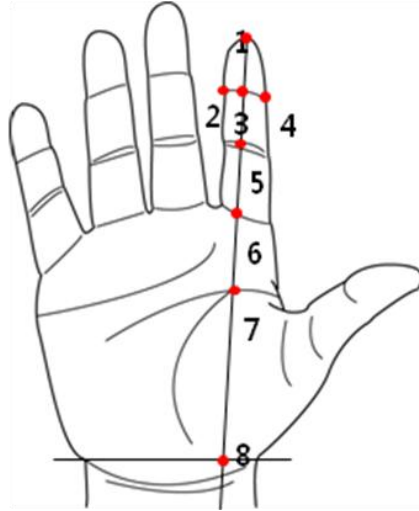
본 연구에서는 기존 문헌을 참고하여 수집된 169개 손 측정 항목을 3D scanning 기반 측정법으로 측정하기 위해 3D 손 측정 참조점을 정의하였다. 3D scanning 기반 측정법은 인체 치수를 획득하기 위해 인체 형상에 참조점을 표기하고 표기된 참조점 사이의 거리를 계산하여 인체 치수를 획득하는 방식이므로 모든 기준이 점으로 표기되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 기존 문헌에서 제시하고 있는 참조점과 참조선을 참조하여 169개 항목을 측정하기 위해 필요한 측정 참조점을 제시하였다(부록 2 참조). 또한 측정자가 참조점을 쉽게 인지하고 손 측정 시 효과적으로 사용할 수 있도록 앞서 정의된 각 참조점을 code화 하였다(표 3-2, 부록 1 참조).

표 3-2. 참조점 code 설정 규칙 예시

측정 부위	code	세부측정 부위1	code	세부측정부위2						
				중앙점 (M)	왼쪽점 (L)	오른쪽점 (R)	손등점 (D)	교차점 (X)	수직선 (V)	
손 가 락	Index	D <sub>2</sub>	Tip	D <sub>2</sub> T	D <sub>2</sub> TM	-	-	-	-	-
			DIP	D <sub>2</sub> D	D <sub>2</sub> DM	D <sub>2</sub> DL	D <sub>2</sub> DR	D <sub>2</sub> DD	-	-
			PIP	D <sub>2</sub> P	D <sub>2</sub> PM	D <sub>2</sub> PL	D <sub>2</sub> PR	D <sub>2</sub> PD	-	-
			MCP	D <sub>2</sub> M	D <sub>2</sub> MM	D <sub>2</sub> ML	D <sub>2</sub> MR	D <sub>2</sub> MD	-	-
			Knuckle	D <sub>2</sub> K	-	-	-	D <sub>2</sub> KD	-	-
손바닥	P	Crotch 1	PC <sub>1</sub>	PC <sub>1</sub> M	-	-	-	-	-	
		Life line	PL	-	-	-	-	PLX	-	
		Intelligence line	PI	-	-	-	-	PIX	-	
		Heart line	PH	-	-	-	-	PHX	-	
손목	W	Wristline	WW	WWM	WWL	WWR	WWD	-	-	
		Baseline	WB	-	-	-	-	WBX	WBV	

표 3-3. 참조점 정의 및 code 예시

관련 그림



번호	Code	정의
1	D <sub>2</sub> TM	손바닥을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락의 끝점
2	D <sub>2</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
3	D <sub>2</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점
4	D <sub>2</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
5	D <sub>2</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
6	D <sub>2</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
7	PLX <sub>D2</sub>	둘째 손가락 끝점으로부터 손가락 중앙으로 선을 그었을 때 Intelligent line 과 만나는 점
8	WBX <sub>D2</sub>	둘째 손가락 끝점에서부터 손가락의 중앙 점을 따라 흐르는 선과 wrist crease base line 이 만나는 점(편 손)



#### 4. 3D Semi-Automatic Measurement Protocol (3D-SAMP)

본 연구에서는 기존 3D scanning 기반 측정법의 문제점을 보완하여 3D semi-automatic measurement protocol (3D-SAMP)을 개발하였으며 개발된 3D-SAMP는 그림 4-1과 같이 4단계 (1. 손 석고본 제작 및 scanning 단계, 2. 참조점 표시 단계, 3. 3D 좌표 추출 단계, 4. 손 치수 도출 단계)로 구성된다. 첫째, 손 석고본 제작 및 scanning 단계에서는 손 흔들림과 피부 눌림 없이 손을 3D scan하기 위해 손 측정 대상자의 손과 동일한 형상의 손 석고본을 제작하고 제작된 석고본은 둘레 측정을 위해 3D scanner를 활용하여 3D scan 한다. 둘째, 참조점 표시(landmarking) 단계에서는 길이, 너비, 두께 항목의 참조점 표시를 위해 손 석고본의 참조점 부위에 sticker형 marker를 부착한다. 둘레는 인체 표면을 둘러싼 표면 거리를 추출해야 하기 때문에 3D 형상 제어 program을 사용하여 scan된 3D 손 형상에 참조점을 표시한다. 셋째, 3D 좌표 추출 단계에서는 marker가 부착된 손 석고본을 3D scan하여 길이, 너비, 두께 항목에 해당하는 참조점의 상대적 위치를 추출한다. 또한 둘레는 3D 형상 제어 program을 활용하여 단계 2에서 표시된 참조점을 기반으로 둘레를 형성하고 있는 좌표 균집을 추출한다. 마지막으로 손 치수 도출 단계에서는 추출된 3D 좌표를 기반으로 길이, 너비, 두께 그리고 둘레의 치수를 자동으로 도출한다.

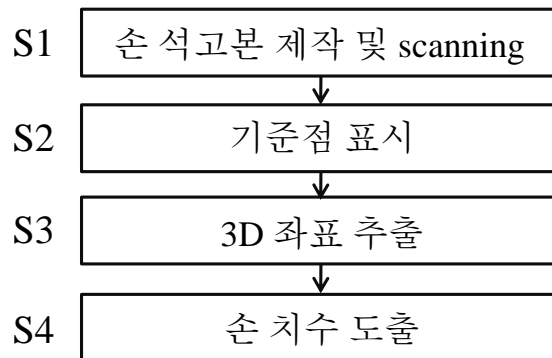


그림 4-1. 3D-SAMP 절차

#### 4.1. 손 석고본 제작 및 Scanning

손 석고본 제작 및 scanning 단계는 손 측정 대상자의 손과 동일한 형상의 손 석고본을 제작하고 3D scan하는 단계이다. 3D scan을 실시할 때 손 흔들림에 의해 발생하는 손 형상 data의 품질 저하와 손 지지대에 의한 피부의 눌림을 방지하기 위해 손 측정 대상자의 손 형상을 석고로 제작한다. 손 석고본 제작을 위하여 첫째는 alginate를 물과 반죽하고 반죽된 alginate (alginate: 물 = 1: 2)를 손 형상 제작 틀에 채운다. 둘째, 손 측정 대상자는 최혜선 외(2006)가 제안한 손 측정 자세를 취하고 alginate로 채워진 손 형상 제작 틀에 손을 삽입한다. 셋째, alginate가 응고된 후(약 2분 소요)에 손 측정 대상자는 손을 빼고 손 형상 틀에 물과 반죽된 석고(석고: 물 = 3: 1)를 채운다. 마지막으로, 석고가 응고(약 15분 소요)되면 손 형상 제작 틀과 alginate를 제거하여 손 석고본을 획득한다(그림 4-2 참조). 제작된 손 석고본은 3D scanner를 통해 3D 손 형상으로 디지털화 된다(그림 4-3 참조).

표 4-1. 측정 항목에 따른 측정 protocol

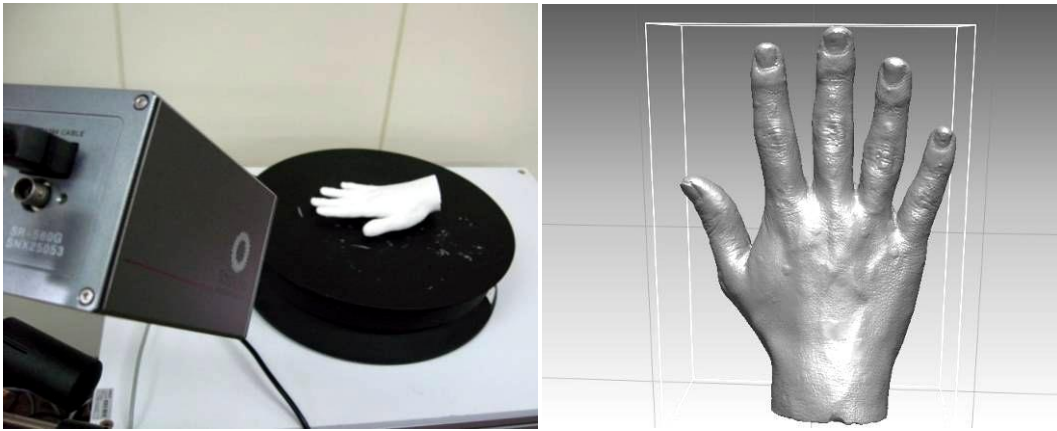
단계	측정 항목	
	길이, 너비, 두께	둘레
손 석고본 제작 및 scanning	측정 대상자의 손 석고본 제작	측정 대상자의 손 석고본 제작 및 제작된 석고본 3D scanning
참조점 표시	손 석고본의 참조점 위치에 marker 부착	3D scan된 손 형상에 참조점 표시 (RapidForm)
3D 좌표 추출	손 석고본을 3D scanning	참조점을 기반으로 둘레 curve를 구성하는 점 추출
손 치수 도출	참조점을 기반으로 손 치수 자동 도출 (MATLAB <sup>®</sup> )	추출된 좌표 간의 거리 합 도출 (MATLAB)



(a) 측정 대상자의 손

(b) 손 석고본

그림 4-2. 측정 대상자의 손과 동일한 형상의 손 석고본



(a) 손 석고본 3D scanning

(b) 3D scan된 손 형상

그림 4-3. 3D scanner와 추출된 손 형상

## 4.2. 참조점 표시

본 단계는 측정자가 손 형상에 측정 참조점을 표시하는 단계이며 길이, 너비 그리고 두께 항목은 2개의 참조점을, 둘레 항목은 4개의 참조점을 표시한다. 길이와 너비, 두께 항목은 2개의 참조점을 표시하고 표시된 2개의 참조점 사이의 직선 거리를 통해 측정치를 도출할 수 있으나, 둘레 항목은 인체의 표면을 둘러싼 표면 거리를 구해야 하기 때문에 4개의 참조점을 표시한다. 따라서 본 연구에서는 길이, 너비 그리고 두께 측정을 위한 접근법과 둘레 측정을 위한 접근법을 다르게 하였다.

### 4.2.1. 길이, 너비, 두께 측정을 위한 참조점 표시

길이, 너비, 두께 항목의 참조점 표시를 위해 측정자는 sticker형 marker

를 손 석고본에 부착한다(그림 4-4 참조). 길이, 너비 그리고 두께는 2개 참조점 사이의 직선거리를 측정하기 때문에 측정 항목의 각 끝점에 참조점을 표시한다. 참조점을 표시하기 위해 측정자는 제작된 손 석고본에 sticker형 marker를 부착하여 참조점의 위치를 표시한다.

#### 4.2.2. 둘레 측정을 위한 참조점 표시

둘레 항목은 3D scan된 손 형상에 참조점을 표시한다. 둘레는 길이, 너비, 두께 항목과 다르게 인체의 표면을 둘러싼 표면 거리를 구해야 하기 때문에 측정자는 3D 형상 제어 program(예: RapidForm)을 사용하여 디지털 손 형상에 4개의 참조점을 표시한다(그림 4-5 참조).

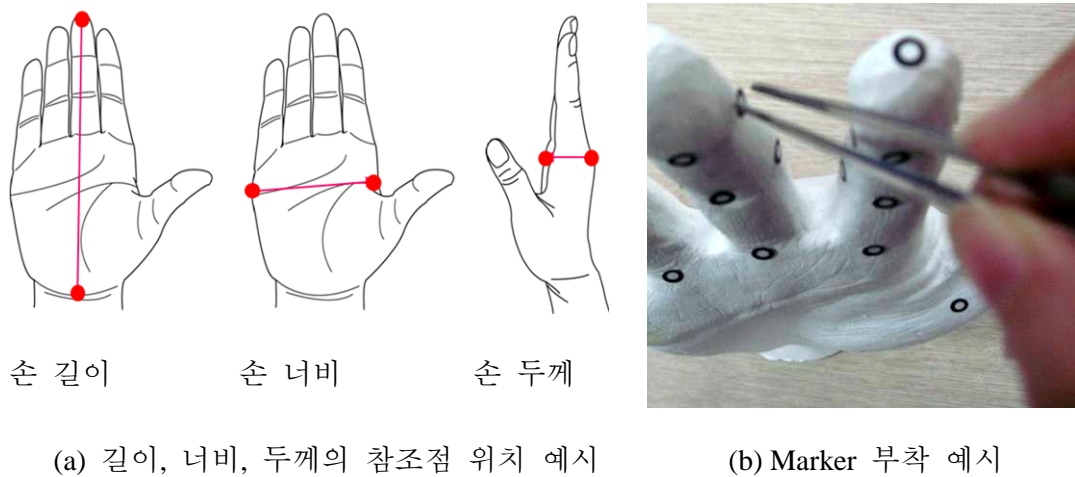
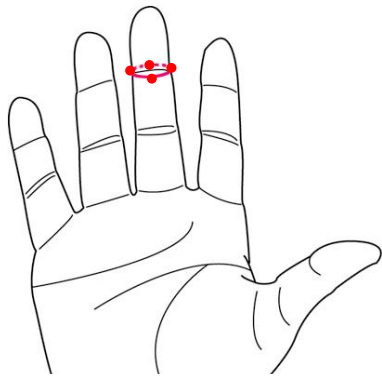
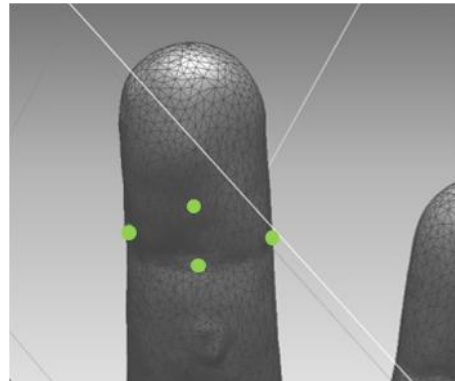


그림 4-4. 참조점 표시 예(길이, 너비, 두께)



(a) 둘째의 참조점 예시



(b) 참조점 landmarking 예시  
(3D 형상 제어 program)

그림 4-5. 참조점 표시 예(둘레)

### 4.3. 3D 좌표 추출

길이, 너비 그리고 두께 항목은 3D scan을, 둘레 항목은 3D 형상 제어 program을 통해 3D 좌표를 획득한다. 길이, 너비와 두께 항목은 marker가 부착된 손 석고본을 3D scan하여 참조점의 상대적 좌표를 획득할 수 있다. 둘레의 경우는 표시된 참조점을 기반으로 3D 형상 제어 program에서 인체를 둘러싼 둘레를 생성한 후, 생성된 둘레를 대표하는 좌표 점들을 획득한다.

#### 4.3.1. 길이, 너비, 두께 측정을 위한 3D 좌표 추출

길이, 너비 그리고 두께는 marker가 부착된 손 석고본을 3D scan하여 참조점의 상대적 좌표를 추출한다. 손 형상을 3D scan 하기 위해 손 석고본을 자동 회전판(revolving plat) 위에 올려둔 후, 3D scanner를 통해 손 형상과 marker 좌표를 디지털화 한다. 자동 회전판이 360° 회전되면서 손 석고본이 3D scan되

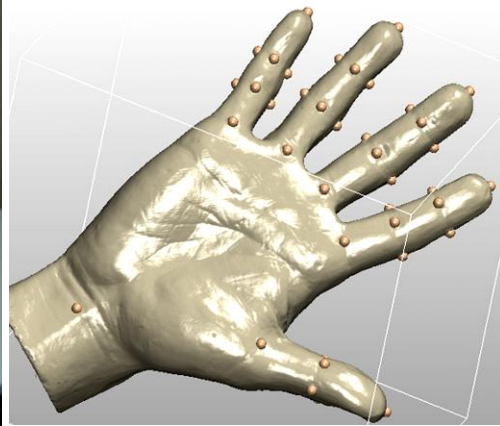
어 손 형상과 marker의 상대적 좌표가 추출된다(그림 4-6 참조).

#### 4.3.2. 둘레 측정을 위한 3D 좌표 추출

둘레의 경우는 3D 형상 제어 program을 통해 4개의 참조점을 기반으로 인체를 둘러싼 선을 생성하고 선을 대표하는 3D 좌표를 도출한다. 먼저 표시된 4개의 참조점을 기반으로 인체의 표면을 지나면서 각 참조점과의 거리가 가장 짧은 NURBS curve가 생성되도록 한다. 그리고 3D 형상 제어 program을 통해 둘레 선에 포함되어 있는 3D의 점들을 도출한다. 이때 도출되는 점들은 NURBS curve를 대표하는 조정점(control point) 이다(그림 4-7 참조).

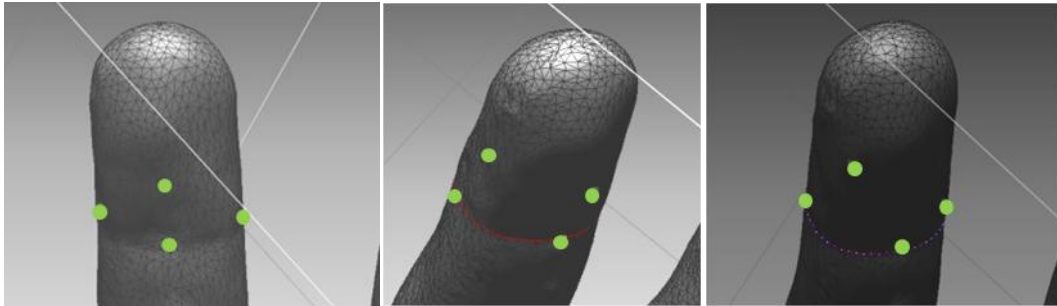


(a) 손 석고본 scanning



(b) Scan된 손 형상과 marker 위치

그림 4-6. 3D 좌표 추출(길이, 너비, 두께)



(a) 참조점 표기 (b) NURBS curve 형성 (c) 선을 대표하는 점 추출

그림 4-7. 3D 좌표 추출(둘레)

#### 4.4. 손 치수 추출

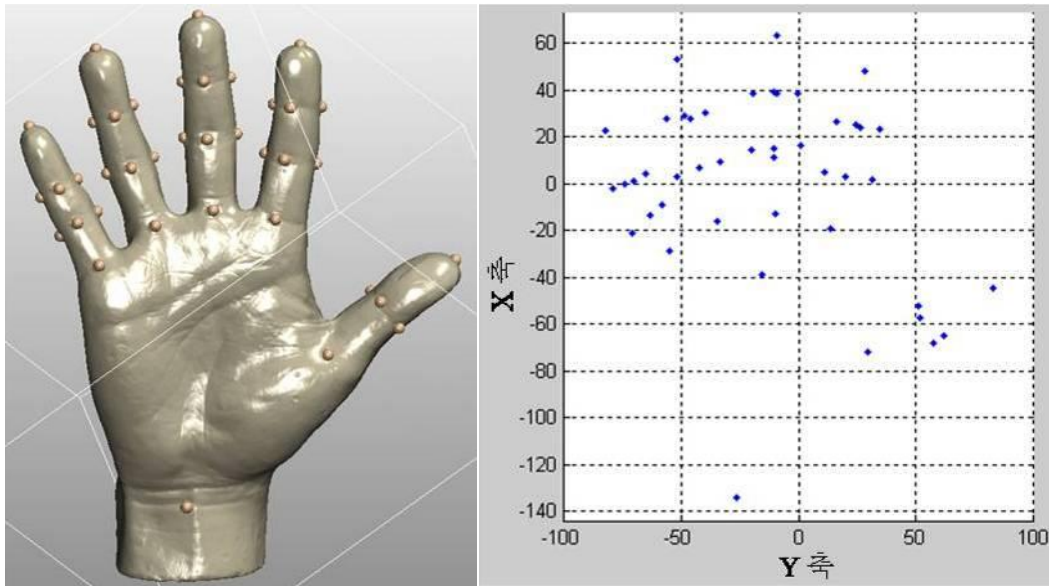
손 치수 도출 단계는 3D 좌표 추출 단계에서 추출된 3D 좌표 점을 기반으로 각 측정 항목의 치수를 자동으로 도출하는 과정이다. 길이, 너비와 두께는 MATLAB을 통해서 추출된 좌표를 각 측정 항목에 해당하는 참조점으로 정의한 후, 두 참조점의 거리를 추출한다. 둘레는 3D 형상 제어 program을 통해 추출된 각 좌표 군집 간의 거리를 합하여 값을 추출한다.

##### 4.4.1. 길이, 너비, 두께 항목 측정을 위한 손 치수 추출

길이, 너비, 두께는 추출된 좌표 간의 거리를 계산하여 손 치수를 획득한다. 단계 3에서 획득된 좌표 data는 MATLAB을 통해 좌표 간 위치 및 거리 특성을 이용하여 각 측정 항목에 해당하는 참조점으로 인식(identification)된다(그림 4-8 참조). 인식된 각 좌표 간의 거리는 거리 공식(식 4-1 참조)에 의해 자동 도출된다(표 4-2 참조).

$$\sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2} \quad (\text{식 4-1})$$





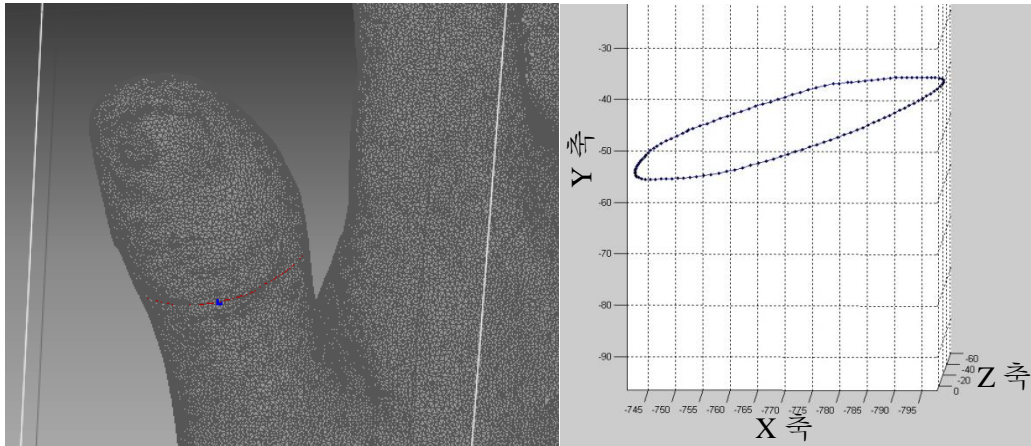
(a) 추출된 3D 손 형상과 marker 좌표

(b) 좌표 인식 예 (MATLAB)

그림 4-8. MATLAB을 이용한 손 치수 자동 추출(길이, 너비, 두께)

#### 4.4.2. 둘레 측정을 위한 손 치수 도출

둘레는 3D 좌표 추출 단계에서 획득한 점들을 보정한 후, 점들 간의 거리 합을 도출하여 획득한다. 3D 좌표 추출 단계에서 생성된 NURBS curve는 4개의 참조점을 기반으로 생성된 선이기 때문에 한 평면 상의 존재하지 않는다. 둘레는 인체 한 부위의 수준에서 수평으로 인체 표면을 따르는 닫힌 선(정명숙, 2002)을 의미하기 때문에 추출된 점들을 least square method algorithm을 통해 한 평면 상의 둘레로 정사영(normal projection) 시킨 후(그림 4-9 참조), 정사영 된 점 간의 거리 합을 MATLAB을 통해 자동으로 추출한다(표 4-2 참조)



(a) 참조점을 기반으로 생성된 들레

(b) 좌표 인식 및 치수 도출 (MATLAB)

그림 4-9. MATLAB을 이용한 손 치수 자동 추출(들레)

표 4-2. 손 치수 추출 방법

측정 항목	손 치수 추출 방법
길이, 너비, 두께	<ol style="list-style-type: none"> <li>좌표 간 위치 및 거리 특성을 이용하여 손끝 점부터 손가락 별 마디 좌표들을 파악 (예: Y max = 중지 끝점, 중지 끝점을 제외한 Y 값 중 중지 끝보다 X 값이 큰 좌표 = 검지 끝점)</li> <li>각 좌표 점들 간의 거리 값 추출</li> </ol>
들레	<ol style="list-style-type: none"> <li>3D 좌표 추출 단계에서 추출된 3D 좌표 점(x, y, z)들과 임의의 평면 사이의 거리(<math>Ax + By + Cz + D</math>)의 합 도출</li> <li>임의의 평면 중 좌표 점들과 거리 합이 가장 작은 평면(<math>Ax + By + Cz + D = 0</math>) 생성</li> <li>추출된 3D 좌표를 생성된 평면 상에 정사영 (예: <math>x \Rightarrow A \times (-Ax - By - Cz - D) / (A^2 + B^2 + C^2) + x</math>)</li> <li>정사영 된 3D 좌표 점들간의 거리 합 추출</li> </ol>

## 5. 3D-SAMP 비교 평가

3D-SAMP는 직접 측정법과 비교 실험을 통해 평가되었다. 비교 실험을 위해 본 연구에서는 1명의 측정 대상자와 20명의 측정자를 모집하였다. 20명의 측정자는 측정 대상자의 52개 손 부위를 3D-SAMP와 직접 측정법을 통해 3번 씩 측정하였다.

### 5.1. 실험 참여자

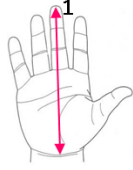
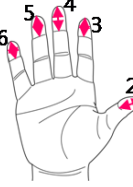
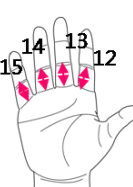
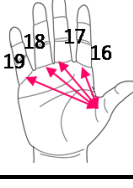
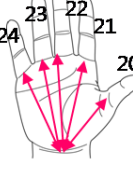
본 연구에서는 비교 실험을 진행하기 위해서 1명의 손 측정 대상자(손을 제공하는 사람)와 20명의 측정자(손을 측정하는 사람)를 모집하였다. 손 측정 대상자는 27세의 남자이며, 키는 180 cm이고 몸무게는 77 kg이었다. 손 측정자는 남자 12명과 여자 8명이 모집되었으며, 평균 나이는 만 26세(SD = 2.2)였다. 측정자는 모두 이전에 손 측정 경험이 없었으며, 실험을 시작하기 전 모든 측정자는 의무적으로 30분 동안 손 측정법에 대한 훈련을 받았다.

### 5.2. 측정 변수

비교 실험에서 측정자가 측정해야 할 손 측정 변수는 다양한 측정 항목이 골고루 포함되도록 4가지 기준에 의해 52개 항목이 선정되었다. 첫째, 8개의 기존 연구 문헌(권명숙 외, 2005; 류경옥, 서미아, 2004; 임지영, 2005; 최혜선 외, 2006; Garrett, 1970; Greiner, 1991; Hidson, 1991; Robinette & Annis, 1986)을

참조하여 길이, 너비, 두께 그리고 둘레 측정 항목 수의 비율을 파악하였으며 파악된 측정 항목의 비율과 비례하도록 길이, 너비, 두께 그리고 둘레의 항목 수를 선정하였다. 둘째, 기존 문헌 중 다수의 논문에서 중복 측정하고 있는 항목을 우선적으로 선정하였다. 예를 들어, 본 연구에서는 8개 논문 및 보고서에서 측정 중인 첫째 손가락 첫째 관절너비를 측정 항목으로 선정하였다. 셋째, 본 실험에서 실시하고 있는 측정법과 동일한 측정법(1차원 측정법 및 3D scanning 기반 측정법)으로 측정된 측정 항목을 우선적으로 선택하였다. 마지막으로 Size Korea에서 용역사업으로 실시된 보고서(최혜선 외, 2006)에서 제시하고 있는 손 측정 변수를 우선 순위로 채택하도록 하였다. 반면 포함 관계에 있거나 correlation이 높은 항목은 제거하였다. 예를 들어, 첫째 손가락 길이는 첫째 손가락 첫째 마디길이를 포함하고 있으므로 실험변수에서 제외하였다. 선정된 손 측정 항목은 표 5-1과 같다. 1-27번 항목(27개 변수)은 길이에 해당하는 측정변수이며, 28-38번 항목(11개 변수)은 너비에 해당하는 변수이다. 39-45(7개 변수)번 항목은 두께, 46-52번 항목(7개 변수)은 둘레에 해당하는 변수다.



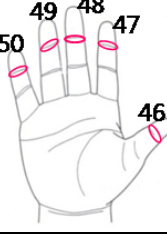
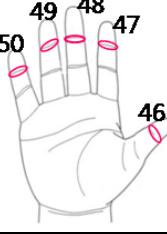
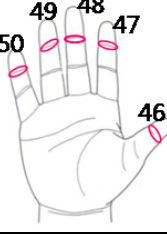
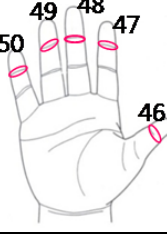
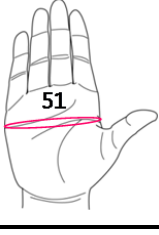
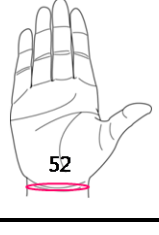
표 5-1. 선정된 측정 항목

분류	번호	측정 항목	관련 그림
길이	1	손길이	
	2	첫째 손가락 둘째 마디길이	
	3	둘째 손가락 셋째 마디길이	
	4	셋째 손가락 셋째 마디길이	
	5	넷째 손가락 셋째 마디길이	
	6	다섯째 손가락 셋째 마디길이	
	7	첫째 손가락 첫째 마디길이	
	8	둘째 손가락 둘째 마디길이	
	9	셋째 손가락 둘째 마디길이	
	10	넷째 손가락 둘째 마디길이	
	11	다섯째 손가락 둘째 마디길이	
	12	둘째 손가락 첫째 마디길이	
	13	셋째 손가락 첫째 마디길이	
	14	넷째 손가락 첫째 마디길이	
	15	다섯째 손가락 첫째 마디길이	
	16	첫째 손가락 첫째 마디-둘째 손가락 첫째 마디직선길이	
	17	첫째 손가락 첫째 마디-셋째 손가락 첫째 마디직선길이	
	18	첫째 손가락 첫째 마디-넷째 손가락 첫째 마디직선길이	
	19	첫째 손가락 첫째 마디-다섯째 손가락 첫째 마디직선길이	
	20	손목중심점 - 첫째 손가락 첫째 마디직선길이	
	21	손목중심점 - 둘째 손가락 첫째 마디직선길이	
	22	손목중심점 - 셋째 손가락 첫째 마디직선길이	
	23	손목중심점 - 넷째 손가락 첫째 마디직선길이	
	24	손목중심점 - 다섯째 손가락 첫째 마디직선길이	

(계속)

분류	번호	측정 항목	관련 그림
길이	25	셋째 손가락 셋째 마디 뼈길이	
	26	셋째 손가락 둘째 마디 뼈길이	
	27	셋째 손가락 첫 마디 뼈길이	
너비	28	첫째 손가락 둘째 관절너비	
	29	둘째 손가락 셋째 관절너비	
	30	셋째 손가락 셋째 관절너비	
	31	넷째 손가락 셋째 관절너비	
	32	다섯째 손가락 셋째 관절너비	
	33	둘째 손가락 둘째 관절너비	
	34	셋째 손가락 둘째 관절너비	
	35	넷째 손가락 둘째 관절너비	
	36	다섯째 손가락 둘째 관절너비	
		37	손 너비
	38	손목 너비	
두께	39	첫째 손가락 둘째 관절두께	
	40	둘째 손가락 셋째 관절두께	
	41	셋째 손가락 셋째 관절두께	
	42	넷째 손가락 셋째 관절두께	
	43	다섯째 손가락 셋째 관절두께	

(계속)

분류	번호	측정 항목	관련 그림			
두께	44	손 두께				
	45	손목두께				
둘레	46	첫째 손가락 둘째 관절둘레				
	47	둘째 손가락 셋째 관절둘레				
	48	셋째 손가락 셋째 관절둘레				
	49	넷째 손가락 셋째 관절둘레				
	50	다섯째 손가락 셋째 관절둘레				
	51	손 둘레				
	52	손목 둘레				

### 5.3. 실험 장비

#### 5.3.1. 직접 측정법

직접 측정법으로 손을 측정하기 위해 측정자는 digital calipers, baseline circumference tape, finger circumference gauge, 인체 측정용 줄자를 사용하였다. 손의 길이와 너비, 두께는 digital caliper(CP-20PS, Mitutoyo Corp., USA)를 사용하여 측정되었다(그림 5-1 (a) 참조). 둘레는 각 측정 둘레 부위에 따라 적합한 측정 줄자를 사용하였다. 손목은 baseline circumference tape (Fabricatoin Enterprises Inc., USA), 손가락은 finger circumference gauge (Patterson Medical Products Inc. , USA)를 사용하여 측정하였으며, 손 둘레를 측정할 때는 인체 측정용 줄자를 사용하여 측정되었다(그림 5-1 (b), (c), (d) 참조).

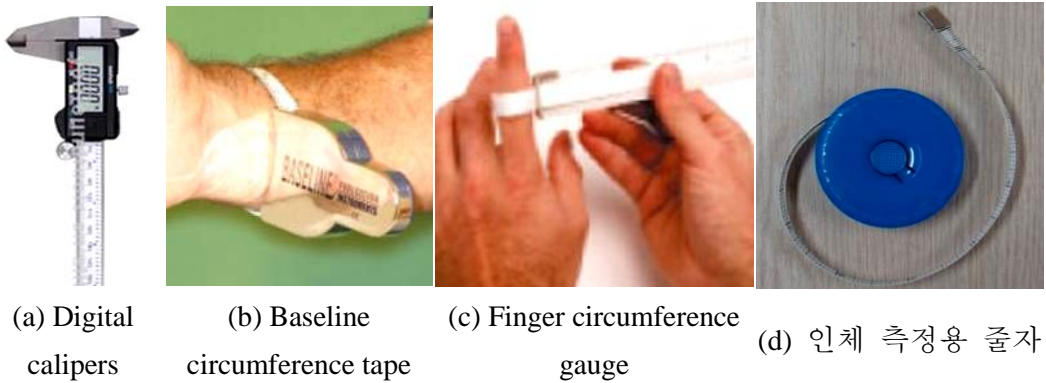


그림 5-1. 직접 측정법에 사용된 도구



### 5.3.2. 3D-SAMP

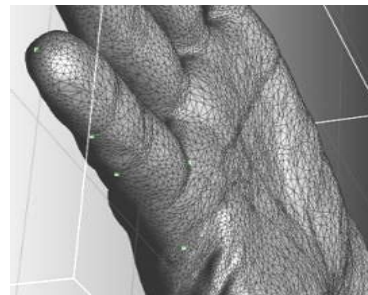
측정자는 3D-SAMP를 통해 길이, 너비, 두께 항목을 측정하기 위해서 sticker형 marker와 핀셋, 3D scanner를 사용하였으며, 둘레를 측정하기 위해서 3D 형상 제어 program인 RapidForm (INUS Technology, Inc., Korea)을 사용하였다. 측정자는 손 석고본의 참조점 위치에 sticker형 marker를 부착하여 길이, 너비 그리고 두께 항목의 참조점을 표시하였다(그림 5-2 (a) 참조). 측정자가 sticker형 marker를 손 석고본에 용이하게 부착할 수 있도록 핀셋을 제공하였다(그림 5-2 (b) 참조). Marker가 부착된 손 석고본은 3D scanner (Rexcan 560, SOLUTIONIX CORP.)를 통해 3D 손 형상으로 scan되었다. 둘레를 측정하기 위해서 측정자는 RapidForm을 사용하여 scan된 손 형상에 둘레 참조점을 표시하고 인체를 둘러싼 선을 생성한다(그림 5-2 (c) 참조).



(a) Sticker형 marker



(b) 핀셋



(c) RapidForm

그림 5-2. 3D-SAMP에 사용된 도구

#### 5.4. 실험 환경

측정자와 손 측정 대상자가 편안한 자세로 실험에 임할 수 있는 환경을 구축하였다. 편안한 실험을 위해 직접 측정법과 3D-SAMP 측정법을 동시에 수행할 수 있는 책상을 준비하였다(그림 5-3 참조). 측정자가 직접 측정을 할 수 있도록 직접 측정을 위한 측정치 기입 양식(그림 5-4, 부록 7 참조)와 측정 도구가 책상 위에 준비되었다. 또한 측정자가 3D-SAMP를 실시할 수 있도록 3D 손 측정 참조점 위치 guideline (그림 5-5, 부록 8 참조)과 측정 도구, 3D 형상 제어 program인 RapidForm이 설치된 컴퓨터가 책상 위에 제공되었다.

#### 5.5. 수행 작업

측정자는 직접 측정법과 3D-SAMP를 이용하여 손 측정 대상자 1명의 52개 손 부위를 3회 반복 측정하였다. 직접 측정법을 통해 손을 측정하기 위해 측정자는 Size Korea가 제안하고 있는 손 측정 방법에 의거하여 손 측정 대



(a) 직접 측정법

(b) 3D-SAMP

그림 5-3. 실험 환경



번호	측정 항목	관련 그림	측정치 (mm)
1	손길이		
2	첫째 손가락 둘째 마디길이		
3	둘째 손가락 셋째 마디길이		
4	셋째 손가락 셋째 마디길이		
5	넷째 손가락 셋째 마디길이		
6	다섯째 손가락 셋째 마디길이		

그림 5-4. 측정치 기록 양식 예

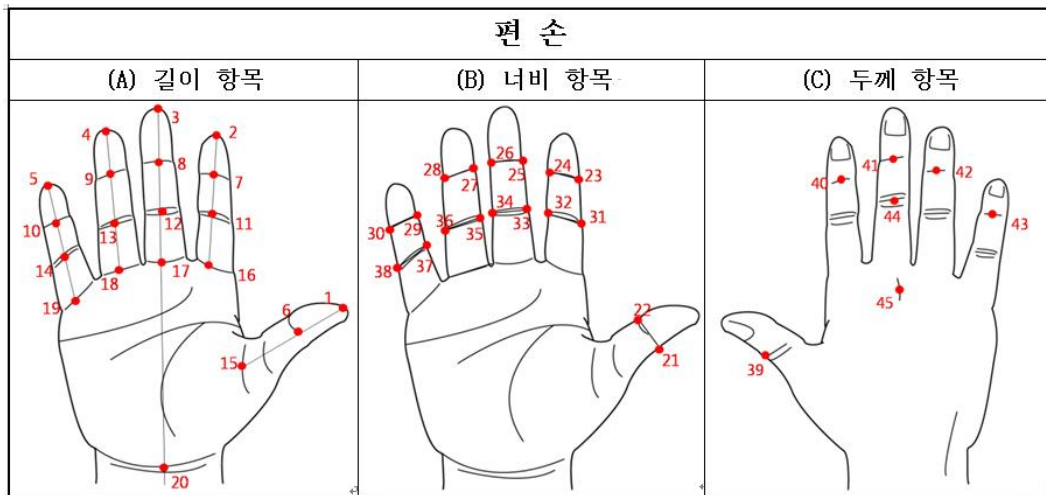


그림 5-5. 참조점 위치 안내 양식 예

상자의 손을 측정하였다. 측정자는 손 측정 대상자에게 적절한 손 자세를 취하도록 지시한 후, 손 측정 대상자의 손에 참조점을 표시하였다. 측정자는 표시된 참조점을 기반으로 측정 도구를 사용하여 손을 측정하고 획득된 치수를 측정치 기입 양식에 기록하였다. 3D-SAMP를 통해 손의 길이, 너비 그리고 두께를 측정하기 위하여 측정자는 편 손과 모은 손의 손 석고본에 53개의 sticker형 marker를 부착하였으며 둘레를 측정하기 위하여 RapidForm을 이용하여 3D scan된 손 형상에 24개의 참조점을 표시하였다.

## 5.6. 실험 설계 및 Data 처리

본 실험에서는 20명의 측정자가 직접 측정법과 3D-SAMP를 사용하여 손 측정 대상자 1명의 52개 손 부위를 3회 반복 측정하였다(within-subject design). 실험 순서에 의한 효과를 상쇄하기 위해 10명의 측정자는 1회 측정 시 직접 측정법을 우선적으로 실시하고 3D-SAMP를 실시하였으며, 2회 측정 시에는 3D-SAMP를 먼저 실시하였으며, 3회 측정 시에는 직접 측정을 먼저 실시하였다. 나머지 10명의 측정자는 1회 측정 시 3D-SAMP를 우선적으로 실시하였다. 실험을 실시하는 동안 측정자는 양손을 자유롭게 사용할 수 있었으며, 측정자의 판단에 따라 재 측정 또는 참조점 재 표기가 허용되었다. 또한 측정자가 각 측정법을 3번 반복 실시하는 동안 발생할 수 있는 참조점의 위치 및 치수 기억이 다음 측정에 미치는 영향을 방지하고자 측정자는 24시간의 간격을 두고 반복 측정을 실시하였다. 각 측정법을 통해 손을 측정하기 위해서 손 측정

대상자는 측정 시마다 최혜선 외(2006)가 제안한 손 자세와 최대한 동일하게 손 자세를 취하도록 하였다.

획득된 손 치수 data를 분석하기 전, 측정 자료의 신뢰도를 높이기 위해 평균 및 표준편차를 고려하여 이상 data를 분류하였다. 본 연구에서는 평균을 기준으로 표준편차와 2배 이상 차이가 나는 값들을 이상 data로 간주하였다. 본 실험 data에서는 이상 data가 발견되지 않았으므로 직접 측정법을 통해 도출된 측정치 중 측정치 기입 양식에 기록되지 않은 3개 측정치와 3D-SAMP를 통해 도출된 측정치 중 유실된 1개 data를 제외하고는 모든 측정치가 분석에 사용되었다.

## 5.7. 평가 기준

본 연구에서는 직접 측정법과 개발된 3D-SAMP를 비교 평가하기 위해 표 5-2와 같이 4가지 평가 척도(측정치 차이, 반복성, 측정 소요시간, 주관적 만족도)를 선정하였다.

첫째, 3D-SAMP를 통해 추출된 측정치의 특성을 파악하기 위해 3D-SAMP 측정치와 직접 측정치의 차이를 비교하였다. 두 가지 측정법을 통해 도출된 측정치의 평균이 통계적으로 유의한지 알아보기 위해 *paired t-test* ( $p < 0.05$ )를 실시하였다. Li et al.(2009)의 문헌을 참조하여 통계적으로 유의한 항목 중 2 mm 이상의 차이가 나는 항목을 최종적으로 유의한 차이가 있는 항목으로 판단하였다.

둘째, 측정치의 반복성을 평가하기 위해 두 가지 측정법을 통해 추출된

측정치에 대한 측정자 내 변동성(*intra measurer variation*)과 측정자 간 변동성(*inter measurer variation*)을 기준으로 정하였으며, 변동성이 작으면 반복성이 큰 것으로 간주하였다. 측정자 내 변동성은 측정자 내 표준편차(*intra measurer SD*)와 측정자 내 변동계수(*intra measurer CV*) 백분율을 통해 평가되었으며, 측정자 간 변동성의 기준은 측정자 간 표준편차(*inter measurer SD*)와 측정자 간 변동계수(*inter measurer CV*) 백분율을 통해 파악되었다. 평가 기준은 Weinberg et al.(2005)과 Li et al.(2009)의 논문을 참고하여 측정자 내 표준편차와 측정자 간 표준편차가 2 mm 보다 높거나, 측정자 간 변동계수와 측정자 내 변동계수의 백분율이 5%를 넘으면 측정치의 변동성이 높고 반복성은 낮은 것으로 간주하였다.

셋째, 측정자가 두 가지 측정법을 통해서 52개의 항목을 측정 완료하는데 소요되는 시간을 측정하고 비교하였다. 직접 측정법의 경우는 측정자가 52개 항목을 측정하고 배부된 종이에 측정치를 기입하는데 소요되는 시간을 측정하였으며, 3D-SAMP의 경우는 측정자가 길이, 너비 그리고 두께 항목을 측정하기 위해 marker를 손 석고본에 부착하는 과정과 둘레를 측정하기 위해 RapidForm에 참조점을 표시하는데 소요되는 시간을 측정하였다. 각 소요시간 차이는 *paired t-test* ( $p < 0.05$ )를 통해 분석되었다.

넷째, 실험이 완료된 후 측정자는 두 가지 측정법을 사용하여 길이, 너비, 두께 그리고 둘레 항목을 측정할 때의 측정이 용이한 정도를 7점 척도(1점: 매우 불만족, 7점: 매우 만족)로 평가하였으며, 도출된 평가 점수는 *paired t-test* ( $p < 0.05$ )를 통해 분석되었다. 또한 측정자는 선호하는 손 측정법을 선택하였다(부록 7 참조).

표 5-2. 평가 기준

평가 기준	설명	분석 방법 / 기준
측정치 차이	3D-SAMP 측정치 - 직접 측정치	Paired <i>t</i> -test ( $p < 0.05$ )   측정치 차이   > 2 mm
반복성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 측정자 내 변동성 분석</li> <li>• 측정자 간 변동성 분석</li> </ul>	SD > 2 mm (Weinberg et al., 2005) CV > 5 % (Li et al., 2009)
측정 소요시간	-	Paired <i>t</i> -test ( $p < 0.05$ )
주관적 만족도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 측정 용이성 평가(7점 척도)</li> <li>• 선호 측정법 선택</li> </ul>	Paired <i>t</i> -test ( $p < 0.05$ )

## 6. 결과

개발된 3D-SAMP는 4가지 평가 기준(측정치 차이, 반복성, 소요시간, 주관적 만족도)에 의해 직접 측정법과 비교 평가되었다. 3D-SAMP의 측정치 특성을 파악하기 위해 측정치 차이와 반복성을 비교 평가하였으며, 3D-SAMP의 효율성을 평가하기 위해 소요시간, 주관적 만족도를 비교 평가하였다.

### 6.1. 측정치 차이

3D-SAMP를 통해 추출된 각 항목의 측정치 평균과 직접 측정법을 통해 추출된 각 항목의 평균을 비교한 결과, 52개 중 11개의 측정 항목이 유의한 차이가 있는 것으로 파악되었다( $p < 0.05$ ,  $| \text{측정치 차이} | > 2 \text{ mm}$ ). 11개 항목 중 길이가 3개, 너비가 2개였으며, 두께 항목은 6개였다. 유의한 차이가 있는 항목들의 측정치 차이는 표 6-1와 같다. 예를 들어, 길이 중 ‘손목중심점 - 첫째 손가락 첫째 마디직선길이’는 3D-SAMP 측정치가 직접 측정치보다 2.1 mm가 더 작게 측정되었다.

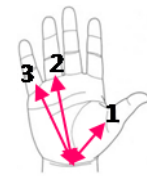
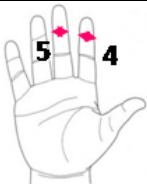
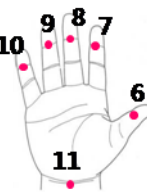
### 6.2. 반복성

#### 6.2.1. 측정자 내 반복성

측정자 내 반복성은 측정자 내 표준편차와 측정자 내 변동계수를 기준으로 비교 평가하였으며 평가 결과, 3D-SAMP 측정치의 측정자 내 반복성이



표 6-1. 유의한 차이가 파악된 항목 및 측정치 차이

분류	측정 항목 수	유의한 항목 수	유의한 항목	측정치 차이 (3D-SAMP- 직접 측정치(mm))	관련 그림
길이	27	3	손목중심점 - 첫째 손가락 첫째 마디직선길이	-2.10	
			손목중심점 - 넷째 손가락 첫째 마디직선길이	-2.42	
			손목중심점 - 다섯째 손가락 첫째 마디직선길이	-3.45	
너비	11	2	둘째 손가락 셋째 관절너비	2.50	
			셋째 손가락 셋째 관절너비	2.53	
두께	7	6	첫째 손가락 둘째 관절두께	3.17	
			둘째 손가락 셋째 관절두께	2.06	
			셋째 손가락 셋째 관절두께	2.58	
			넷째 손가락 셋째 관절두께	3.12	
			다섯째 손가락 셋째 관절두께	2.77	
			손목두께	4.42	
둘레	7	0	-	-	-
합계	52	11	-	-	-

직접 측정치의 측정자 내 반복성보다 높았다. 직접 측정치의 경우, 52개 중 10개 항목의 측정자 내 표준편차가 2 mm보다 큰 반면, 3D-SAMP 측정치 중에는 측정자 내 표준편차가 2 mm보다 큰 항목이 없었다(그림 6-1, 표 6-2 참조). 또한 직접 측정치 중 측정자 내 변동계수가 5 %보다 큰 항목이 4개인 반면, 3D-SAMP 측정치 중 측정자 내 변동계수가 5 %보다 큰 항목은 1개(첫째 손가락 둘째 마디 길이, 측정자 내 변동계수 = 7.12 %; 그림 6-3 참조) 파악되었다(그림 6-2, 표 6-3 참조)

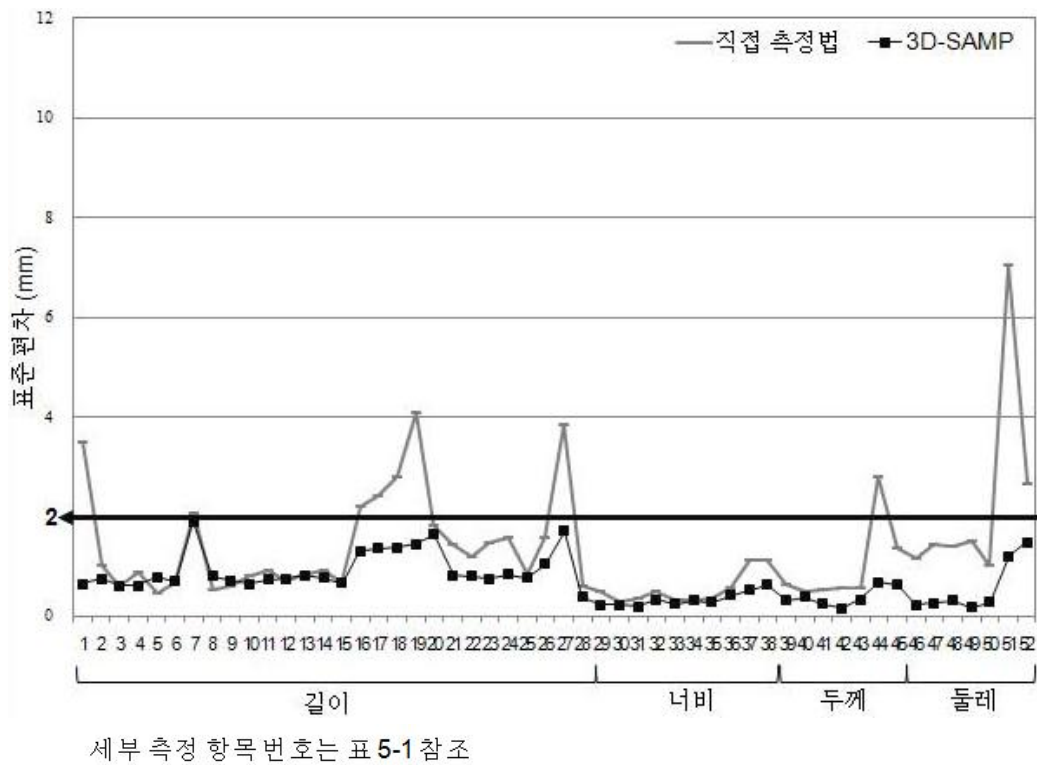
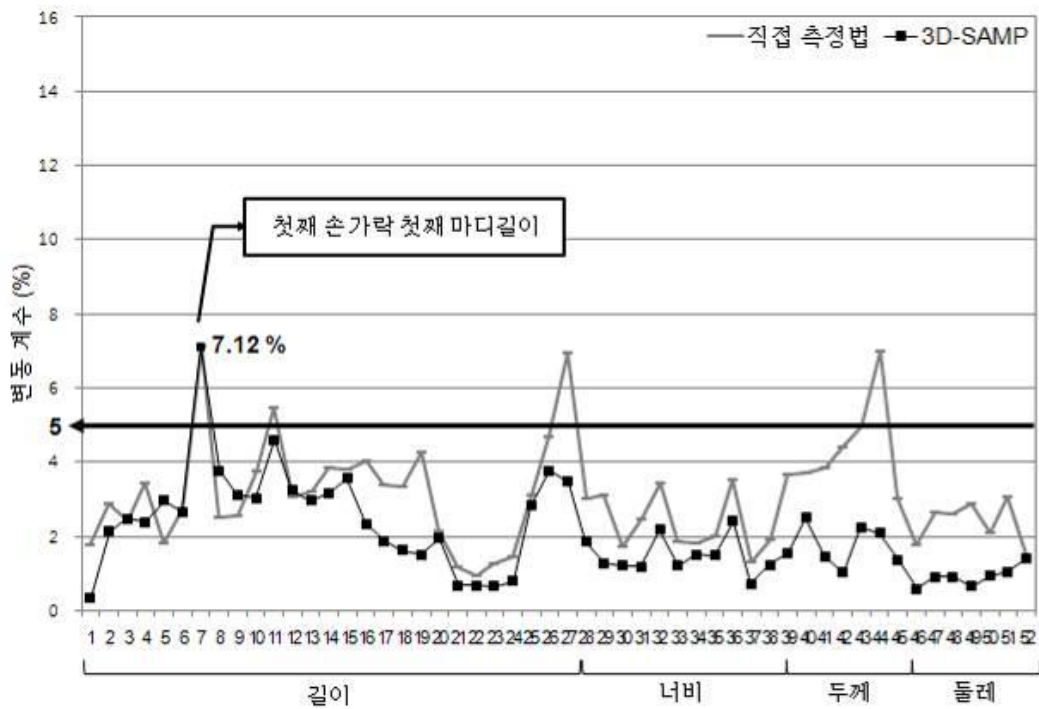


그림 6-1. 측정 항목별 측정자 내 표준편차

표 6-2. 측정자 내 표준편차 범위에 따른 측정 항목 수

SD (mm)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5초과
직접 측정법(개)	27	15	6*	2*	1*	1*
3D-SAMP(개)	42	10	0	0	0	0

\* 반복성이 낮은 항목 수 (측정자 내 표준편차 > 2 mm)



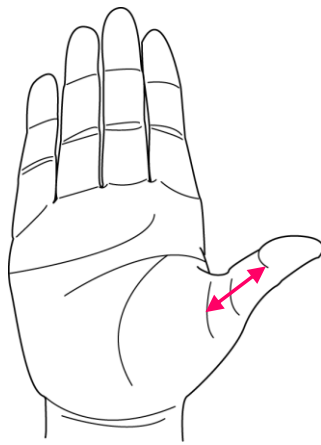
세부 측정 항목번호는 표 5-1 참조

그림 6-2. 측정 항목별 측정자 내 변동계수

표 6-3. 측정자 내 변동계수 범위에 따른 측정 항목 수

CV (%)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5초과
직접 측정법(개)	1	13	11	18	5	4*
3D-SAMP(개)	11	18	13	8	1	1*

\* 반복성이 낮은 항목 수 (측정자 내 변동계수 > 5 %)



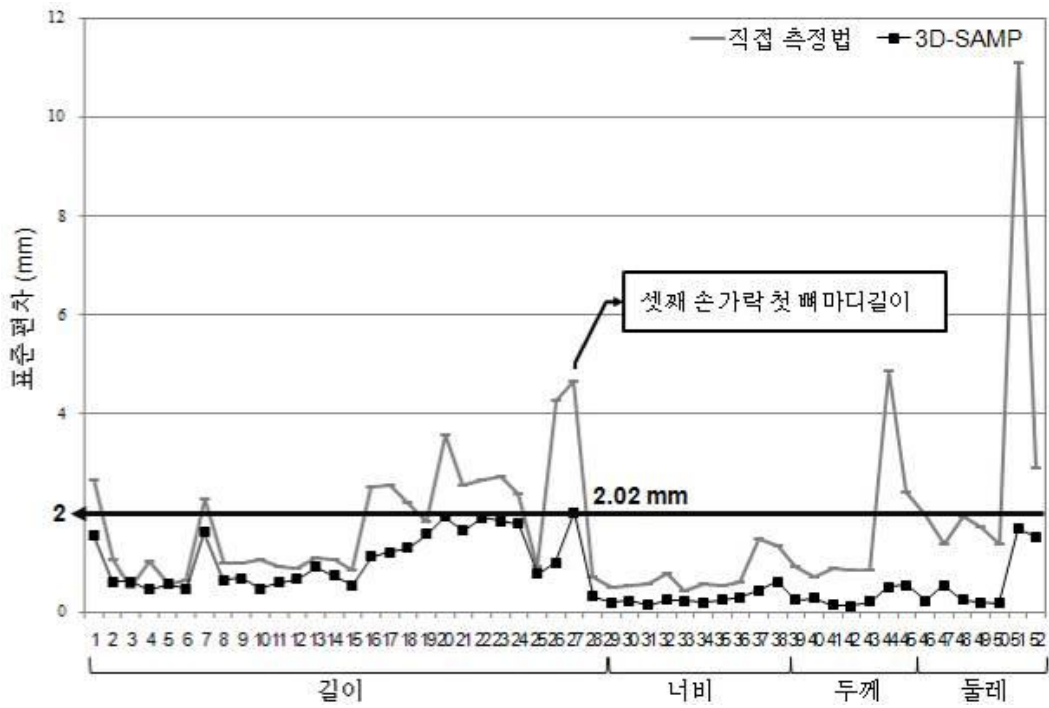
첫째 손가락 첫째 마디길이 (측정자 내 변동계수 = 7.12 %)

그림 6-3. 3D-SAMP 측정치 중 측정자 내 반복성이 낮은 항목

### 6.2.2. 측정자 간 반복성

측정자 간 반복성을 측정자 간 표준편차와 측정자 간 변동계수를 기준으로 비교 평가하였으며 평가 결과, 3D-SAMP 측정치의 측정자 간 반복성이 직접 측정치의 측정자 간 반복성보다 높았다. 직접 측정법의 경우, 측정자 간 표준편차가 2 mm 이상인 항목이 15개가 파악된 반면 3D-SAMP의 경우 1개(셋째 손가락 첫 마디 뼈길이, 측정자 간 표준편차 = 2.02 mm; 그림 6-6. (a) 참조)가 파악되었다(그림 6-4 참조; 표 6-4 참조). 측정자 간 변동계수가 5% 이상인

항목이 직접 측정법의 경우, 14개가 파악되었으며, 3D-SAMP로 도출된 측정치에서는 1개 항목(첫째 손가락 첫째 마디길이, 측정자 간 변동계수 = 5.96 %; 그림 6-6. (b) 참조)이 파악되었다(그림 6-5 참조; 표 6-5 참조).



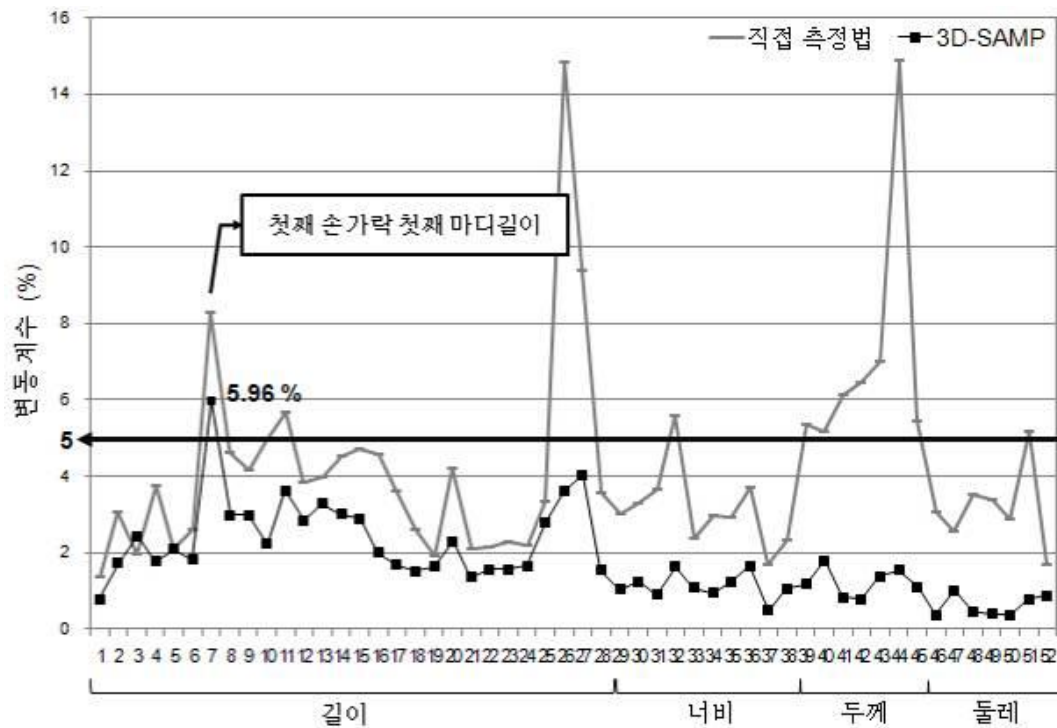
세부 측정 항목번호는 표 5-1 참조

그림 6-4. 측정 항목별 측정자 간 표준편차

표 6-4. 측정자 간 표준편차 범위에 따른 측정 항목 수

SD (mm)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5초과
직접 측정법(개)	22	14	11*	1*	3*	1*
3D-SAMP (개)	37	14	1*	0	0	0

\* 반복성이 낮은 항목 (측정자 간 표준편차 > 2 mm)



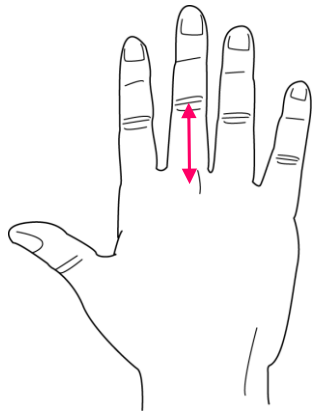
세부 측정 항목번호는 표 5-1 참조

그림 6-5. 측정 항목별 측정자 간 변동계수

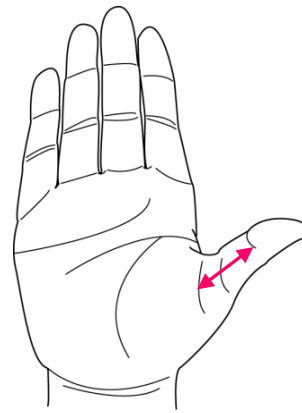
표 6-5. 측정자 간 변동계수 범위에 따른 측정 항목 수

CV (%)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5초과
직접 측정법(개)	0	5	13	16	8	14*
3D-SAMP(개)	12	24	11	3	1	1*

\* 반복성이 낮은 항목 (측정자 간 변동계수 > 5%)



(a) 셋째 손가락 첫마디 뼈길이  
(측정자 간 표준편차 = 2.02 mm)



(b) 첫째 손가락 첫째 마디길이  
(측정자 간 변동계수 = 5.96 %)

그림 6-6. 3D-SAMP 측정치 중 측정자 간 반복성이 낮은 항목

### 6.3. 소요시간

측정자가 두 가지 측정법을 통해 52개 손 부위를 측정하는 데 소요되는 시간을 비교한 결과, 유의한 차이가 없었다. 직접 측정법은 17분 48초(SD = 4분 31초) 3D-SAMP는 17분 49초(SD = 4분 58초)가 소요되었으며 paired *t*-test 결과 유의한 차이가 없었다( $t(59) = -0.04, p = 0.969$ ).

### 6.4. 주관적 만족도

측정 용이성 분석 결과 전반적으로 3D-SAMP가 직접 측정법보다 높은 주관적 만족도를 나타냈다. 3D-SAMP는 5.18(SD = 0.83) 직접 측정법은 4.30(SD = 0.82)로 측정되어 3D-SAMP가 직접 측정법 보다 높은 주관적 만족도를 나타냈으나, 길이( $t(19) = -4.88, p < 0.001$ )와 두께( $t(19) = -4.00, p = 0.001$ ) 항목에서만 통계적으로 유의한 차이가 파악되었다(그림 6-7 참조).

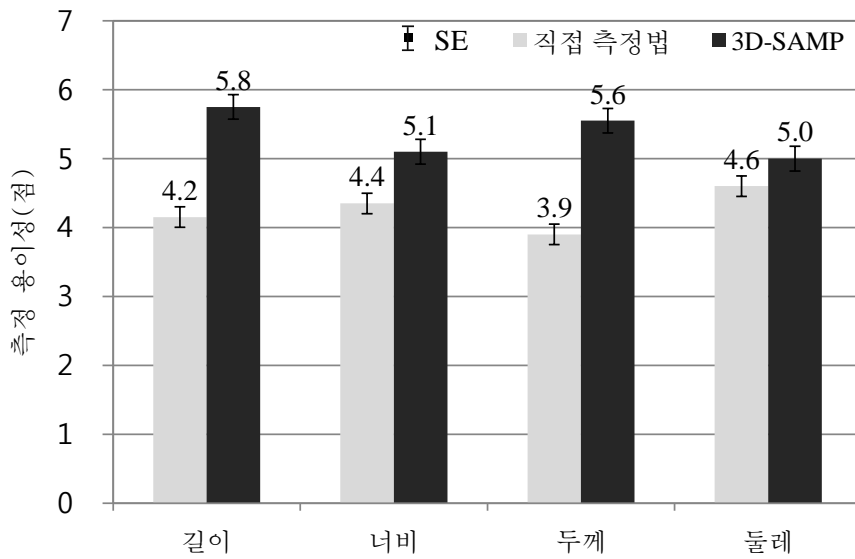


그림 6-7. 각 측정 항목에 따른 주관적 만족도

모든 실험이 종료된 후 측정자가 선호하는 손 측정법을 조사한 결과 20명 중 17명(85%)은 3D-SAMP를, 1명(5%)은 직접 측정법을 선호하였으며, 2명(10%)은 두 가지 측정법의 선호도가 동일하다고 응답하였다(그림 6-8 참조).

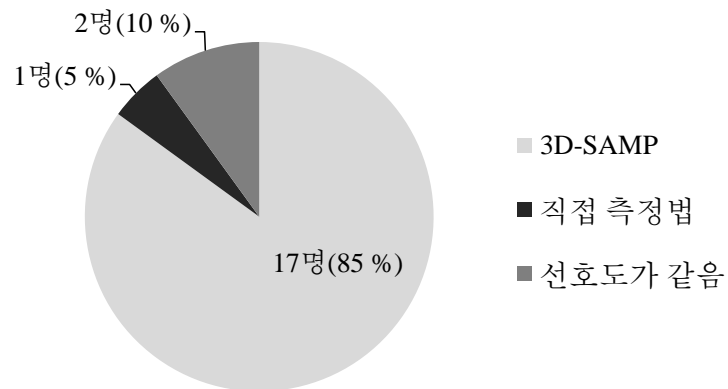


그림 6-8. 선호하는 손 측정법 조사 결과



## 7. 토의

본 연구에서는 3D scanning 기반의 손 측정법을 개선하기 위해 3D 손 측정 참조점을 정의하고, 3D scanning 기반 손 측정법을 보완하여 3D-SAMP를 개발하였으며, 개발된 3D-SAMP를 평가하기 위해 직접 측정법과 비교하였다. 첫째, 본 연구에서는 3D scanning 기반 손 측정을 위해 3D 손 측정 참조점을 정의하였다. 기존에 정의된 참조점과 참조선은 직접 측정법과 photography 측정법을 통해 손을 측정하기 위해 제시된 것이기 때문에 3D 손 측정을 위한 참조점으로 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서 169개의 손 측정 항목을 3D scanning 기반 측정법으로 측정하기 위해 97개의 3D 손 측정 참조점을 정의하여 다양한 손 측정 부위를 3D scanning 기반 측정법으로 측정할 수 있도록 하였다. 또한 각 참조점에 대해 code를 설정하여 손을 측정할 때 참조점을 용이하게 인지하고 유용하게 사용할 수 있도록 하였다.

둘째, 본 연구에서는 기존의 3D scanning 기반 측정법을 보완하여 보다 질 높은 손 형상 data의 획득이 가능하며 측정 효율성이 향상된 3D-SAMP를 개발하였다. 먼저 3D-SAMP는 3D scanning 기반 측정법을 사용하여 손 치수와 손 형상을 함께 제공한다. 따라서 추후 측정치에 오류를 발견하였을 때 획득된 3D의 손 형상 data를 통해 손 치수를 재 측정할 수 있다. 그리고 획득된 손 형상 data를 통해 다양한 손 부위를 측정할 수 있고 손의 부피, 표면 면적을 측정할 수 있으며, 제품 설계에 직접적으로 적용이 가능하다. 또한 3D-SAMP는 손 흔들림과 피부 눌림 없이 손을 3D scan할 수 있다. 3D-SAMP는 사

람의 손을 직접 scan하지 않고 손 석고본을 3D scan하였기 때문에 손의 흔들림이 방지되고, 지지대에 의해 발생할 수 있는 피부 눌림이 방지된다. 따라서 3D-SAMP를 통하여 손의 변형을 최소화하여 3D scan할 수 있다. 마지막으로, 3D-SAMP는 손 치수를 반자동(semi-automatic)으로 획득할 수 있다. 손 석고본에 marker를 부착하여 참조점의 위치를 표기하고 MATLAB을 통해 표기된 참조점의 좌표 거리가 자동으로 추출되기 때문에 손 치수 획득이 용이하다.

셋째, 본 연구에서는 개발된 3D-SAMP를 평가하기 위해 4가지 평가 기준(측정치 차이, 반복성, 소요시간, 주관적 만족도) 측면에서 직접 측정법과 비교하였다. 먼저 3D-SAMP를 통해 추출된 측정치의 특성을 파악하기 위해 직접 측정법을 통해 도출된 측정치와의 차이를 분석한 결과, 52개 측정 항목 중 11개 항목에서 유의한 차이가 파악되었으며, 11개 중 6개 항목이 두께에 해당하였다(표 6-1 참조). 직접 측정법으로 두께 항목을 측정할 때, 측정 도구(digital caliper)에 의해 피부 눌림이 발생한 것으로 파악된다. 그러나 직접 측정치와 3D-SAMP 측정치의 차이 중 가장 많은 차이가 나는 항목인 손목 두께의 측정치 차이는 4.4 mm였다. 최혜선 외(2004)의 연구에서 37개 중 2개(손 길이, 손바닥 길이) 측정 항목이, Li et al.(2009)의 연구에서 64개 중 1개(손 둘레) 항목이 직접 측정치와 10 mm 이상의 차이가 있었던 것에 비해 적은 차이가 나는 것으로 파악되었다(그림 6-2 참조).

또한 두 가지 측정법을 통해 도출된 측정치의 반복성을 분석한 결과, 3D-SAMP는 피부 눌림이 적고 손 자세의 변동이 없는 손 석고본을 사용하여 직접 측정법의 측정치보다 측정자 내 반복성과 측정자 간 반복성이 높게 도출

되었다. 3D-SAMP 측정치 중 첫째 손가락 첫째 마디길이의 측정자 내 반복성(측정자 내 변동계수 = 7.12 %)과 측정자 간 반복성(측정자 간 변동계수 = 5.96 %)이 낮게 파악된 이유는 첫째 손가락 첫째 마디의 손금이 넓기 때문에 측정자가 참조점 표기 위치를 혼동 한 것으로 사료된다. 이와 같은 맥락에서 3D-SAMP 측정치에서뿐 아니라 직접 측정치에서도 첫째 손가락 첫째 마디길이 항목은 낮은 측정자 내 반복성(측정자 내 변동계수 = 7.11 %)과 낮은 측정자 간 반복성(측정자 간 변동계수 = 8.26 %)이 나타난 것으로 파악된다. 또한 3D-SAMP 측정치 중 셋째 손가락 첫 마디 뼈길이 항목이 낮은 측정자 간 반복성(측정자 간 표준편차 = 2.02 mm)을 나타냈다. 이는 셋째 손가락 첫 마디 뼈길이의 참조점인 손등점(knuckle) 부위의 형상이 모호하여 측정자가 참조점을 표기하는데 어려움이 있었던 것으로 파악된다. 직접 측정법을 통해 획득된 셋째 손가락 첫 마디 뼈길이의 측정자 간 반복성(측정자 간 표준편차 = 4.65 mm)도 낮았다.

3D-SAMP의 효율성을 파악하기 위해서 측정 소요 시간과 주관적 만족도를 비교하였다. 기존 3D scanning 기반 손 측정 연구에서는 측정치 특성과 반복성 측면에 국한하여 3D scanning 기반 측정법을 평가하였으나(Li et al., 2009; 최혜선 외, 2004), 본 연구에서는 소요시간 및 주관적 만족도 측면에서 직접 측정법과 비교 평가를 실시하였다. 직접 측정과 3D-SAMP를 통해 손을 측정하는 데 소요되는 시간을 비교한 결과, 두 가지 측정법 간의 유의한 차이가 없었다.

주관적 만족도를 분석한 결과, 측정자들은 전반적으로 직접 측정법보

다 3D-SAMP를 선호하였다. 3D-SAMP (mean = 5.18, SD = 0.83)가 직접 측정법 (mean = 4.30, SD = 0.82) 보다 높은 주관적 만족도를 보였으며, 측정자의 85 % (17명)가 추후 손 측정을 위한 기회가 있을 때 3D-SAMP를 사용하겠다고 응답하였다. 3D-SAMP의 경우 자동 손 치수 획득 program으로 인해 측정치 기입 과정이 생략되었기 때문에 직접 측정법보다 높은 주관적 만족도가 도출된 것으로 사료된다.

3D-SAMP는 손 형상과 치수를 동시에 획득할 수 있다는 점에서 유용하게 사용될 수 있으나, 몇 가지 한계점이 있다. 개발된 3D-SAMP는 손 형상과 치수를 동시에 효율적으로 획득할 수 있기 때문에 손 치수 외에 형상을 제품 설계에 활용할 수 있다. 그러나 손 석고본 제작 과정을 거치기 때문에 손 석고본 사용으로 인한 손 형상 변형 및 측정 오차를 일으킬 수 있다. 또한 손 석고에 sticker형 marker를 부착하는 과정에서 손 석고에 손상이 발생할 수 있기 때문에 marker 부착 시 측정자의 주의가 필요하다.

## 8. 결론

본 연구에서는 3D 손 측정용 참조점 정의, 3차원 손 측정을 위한 semi automatic measurement protocol (3D-SAMP) 개발, 그리고 개발된 protocol을 비교 평가하였다. 첫째, 3D 손 측정용 참조점 정의를 위해 8개 문헌을 참조하여 169개의 손 측정 항목을 수집하였다. 수집된 항목을 측정하기 위해 필요한 97개 3D 손 측정용 참조점을 정의하고 측정자가 용이하게 사용할 수 있도록 code화 하였다.

둘째, 기존의 3D scanning 기반 측정법을 보완하여 3D-SAMP를 개발하였다. 개발된 3D-SAMP의 첫 단계는 손 석고본을 제작하고 제작된 손 석고본을 3D scan하는 단계이다. Alginate를 사용하여 손 측정 대상자의 손 형상 틀을 제작하고 제작된 틀에 석고를 채운다. 석고가 굳은 후 alginate를 제거하여 손 석고본을 획득한다. 제작된 손 석고본은 둘째 측정을 위해서 3D scan한다. 3D-SAMP의 둘째 단계는 측정자가 제작된 손 석고본에 sticker형 marker를 부착하여 참조점의 위치를 표시하는 단계이다. 둘째 항목은 RapidForm을 사용하여 scan된 손 형상에 참조점을 표시한다. 셋째 단계에서는 참조점의 3D 좌표를 획득하기 위해 marker가 부착된 손 석고본을 3D scan한다. 둘째는 RapidForm에 표시된 참조점을 기반으로 참조점을 지나고 인체를 둘러싼 점 좌표들을 추출한다. 마지막으로 MATLAB을 통해서 3D 좌표 간의 거리가 계산되고 손 치수를 획득할 수 있다.

셋째, 개발된 3D-SAMP를 평가하기 위해 직접 측정법과 비교 실험하

였다. 실험에서는 20명의 손 측정자가 직접 측정법과 3D-SAMP를 사용하여 각각 3번씩 52개 손 부위를 측정하였다. 3D-SAMP 측정치는 11개 항목에서 직접 측정치와 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ , 측정치 차이  $> 2$  mm). 측정자 내, 측정자 간 반복성은 3D-SAMP를 통해 획득된 손 측정치가 직접 측정치 보다 높았다. 또한 52개 손 부위를 측정하는 동안 측정 소요시간을 비교한 결과, 직접 측정법(mean = 17분 49초, SD = 4분 58초)과 3D-SAMP (mean = 17분 48초, SD = 4분 31초)의 측정 소요시간의 차이는 없었다( $p < 0.05$ ). 실험 종료 후 측정자는 각 측정법에 대하여 주관적 만족도를 채점하였으며 비교 결과, 측정자는 전반적으로 직접 측정법(mean = 4.30, SD = 0.82)보다 3D-SAMP (mean = 5.18, SD = 0.83)를 선호하였다.

본 연구에서는 1명의 손 측정 대상자를 모집하여 실험하였으나 추후 손 측정법의 수용력을 검증하기 위해 다양한 손 크기와 다수의 손 측정 대상자를 대상으로 실험이 필요하다. 또한 참조점 표시에 대한 측정자의 측정 자질에 대한 연구가 추가적으로 실시될 필요가 있다. 그리고 3D-SAMP를 통해 측정하였을 때 반복성이 낮은 측정 항목(첫째 손가락 첫째 마디길이, 셋째 손가락 첫마디 뼈길이)에 대해서 추후 측정 보완 방법이 연구될 필요가 있다.

## References

- 권명숙, 최인순 (2005). 손 형태의 분류에 관한 연구. *한국복식학회*, 55(6), 11-19.
- 권명숙, 최인순, 정기수, 양민재 (2005). 손 형태의 특징 및 장갑의 치수 설정에 관한 연구. *한국의류학회지*, 55(6), 24-37.
- 김민효, 남윤자(2001). 인체측정용 3D 스캐너 제작. *대한인간공학회지*, 20(3), 77-88.
- 김철중 (1989). 인체의 간접측정 기술개발. *특정연구개발사업/원자력연구개발사업 학술기사*.
- 류경옥, 서미아 (2004). 한국 성인 여성의 손 계측 연구: 장갑의 치수 설정을 중심으로. *복식문화연구*, 12(2), 262-278.
- 류경옥, 서미아 (2004). 장갑설계를 위한 한국인 성인 남녀의 손 계측 비교. *복식문화연구*, 12(6), 897-907.
- 박재경, 남윤자 (2002) 스캐너를 이용한 발바닥 형태 측정방법의 개발. *대한인간공학회*, 11, 275 - 278.
- 박창규 (2004). 의류. 패션 산업에서의 3D 및 디지털 응용기술의 현황. *패션정보와 기술*, 1, 96-100.
- 손희정, 김효숙, 최창석, 손희순, 김창우 (2003). 디지털 카메라를 이용한 2D 인체계측법 연구. *복식문화연구*, 11(1), 11-19.
- 송영준, 김선희, 권혁봉, 안재형 (2005). 3D 얼굴 모델링을 위한 얼굴 측정 기술 및 얼굴 표준에 대한 연구 현황. *정보통신연구진흥원 학술정보지*,

주간기술동향 1191호.

유희천, 신승우, 류태범 (2004). 인체측정자료의 사용성 제고를 위한 인체측정 변수 분류 방법. *대한인간공학회지*, 23(3), 13-24.

임지영 (2005). 장갑 패턴 개발을 위한 손의 유형 분류. *대한가정학회지*, 43(8), 115-122.

최혜선, 김은경 (2004). 장갑의 적합성 향상을 위한 손부위 2차원 및 3D 계측 정보 DB 구축에 관한 연구: 손의 유형분석 및 3D 입체형상 분석을 중심으로. *한국의류학회지*, 28(9/10), 1300-1311.

최혜선, 이경화, 강여선, 김은경 (2006). 장갑 설계를 위한 손부위 측정 프로토콜 개발. *한국인 인체치수조사사업 부문 학술연구용역사업 결과보고서*.

한현숙, 남운자 (2004). 체표면적 측정을 위한 3D 스캔법의 적합성에 대한 연구. *한국섬유공학회지*, 41(3), 223-229.

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.

Garrett, J. (1970). Anthropometry of the hands of male air force flight personnel.

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

Gordon, C.C. (1986). Anthropometric sizing and fit testing of a single battledress uniform for US Army men and women. No source information available.



- Greiner, T.M. (1991). Hand anthropometry of US army personnel. *Natick/TR-92/011*.
- Hidson, D. (1991). Development of a standard anthropometric dimension set for use in computer aided glove design. *DREO Technical Note*, 91-22.
- 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
- Lu, J.M., and Wang, M.J.J. (2008). Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners. *Expert Systems with Applications*, 35(1-2), 407-414.
- 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.
- Robinette, K.M. and Annis, J.F. (1986). A nine-size system for chemical defense gloves. *Technical Report (AAMRL-TR-86-029) (ADA173 193)*
- Size Korea (2006). Size Korea homepage. Retrieved November 14, 2009 from <http://sizekorea.kats.go.kr/>
- Size UK (2001). University of the Arts London homepage. Retrieved November 14, 2009 from <http://www.fashion.arts.ac.uk/sizeuk.htm>
- 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.
- Witana, C.P., Xiong, S., Zhao, J., and Goonetilleke, R.S. (2006). Foot measurements from

three-dimensional scans. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(9),  
789-807.

## 부록

### 부록 1. 참조점 Code 설정 규칙

측정부위	code	세부측정부위1	code	세부측정부위2					
				중앙점 (M)	왼쪽점 (L)	오른쪽점 (R)	손등점 (D)	교차점 (X)	수직선 (V)
손가락	Thumb	Tip	D <sub>1</sub> T	D <sub>1</sub> TM	-	-	-	-	-
		DIP	D <sub>1</sub> D	D <sub>1</sub> DM	D <sub>1</sub> DL	D <sub>1</sub> DR	D <sub>1</sub> DD	-	-
		MCP	D <sub>1</sub> M	D <sub>1</sub> MM	D <sub>1</sub> ML	D <sub>1</sub> MR	D <sub>1</sub> MD	-	-
		Knuckle	D <sub>1</sub> K	-	-	-	D <sub>1</sub> KD	-	-
	Index	Tip	D <sub>2</sub> T	D <sub>2</sub> TM	-	-	-	-	-
		DIP	D <sub>2</sub> D	D <sub>2</sub> DM	D <sub>2</sub> DL	D <sub>2</sub> DR	D <sub>2</sub> DD	-	-
		PIP	D <sub>2</sub> P	D <sub>2</sub> PM	D <sub>2</sub> PL	D <sub>2</sub> PR	D <sub>2</sub> PD	-	-
		MCP	D <sub>2</sub> M	D <sub>2</sub> MM	D <sub>2</sub> ML	D <sub>2</sub> MR	D <sub>2</sub> MD	-	-
		Knuckle	D <sub>2</sub> K	-	-	-	D <sub>2</sub> KD	-	-
	Middle	Tip	D <sub>3</sub> T	D <sub>3</sub> TM	-	-	-	-	D <sub>3</sub> TV
		DIP	D <sub>3</sub> D	D <sub>3</sub> DM	D <sub>3</sub> DL	D <sub>3</sub> DR	D <sub>3</sub> DD	-	-
		PIP	D <sub>3</sub> P	D <sub>3</sub> PM	D <sub>3</sub> PL	D <sub>3</sub> PR	D <sub>3</sub> PD	-	-
		MCP	D <sub>3</sub> M	D <sub>3</sub> MM	D <sub>3</sub> ML	D <sub>3</sub> MR	D <sub>3</sub> MD	-	-
		Knuckle	D <sub>3</sub> K	-	-	-	D <sub>3</sub> KD	-	-
	Ring	Tip	D <sub>4</sub> T	D <sub>4</sub> TM	-	-	-	-	-
		DIP	D <sub>4</sub> D	D <sub>4</sub> DM	D <sub>4</sub> DL	D <sub>4</sub> DR	D <sub>4</sub> DD	-	-
		PIP	D <sub>4</sub> P	D <sub>4</sub> PM	D <sub>4</sub> PL	D <sub>4</sub> PR	D <sub>4</sub> PD	-	-
		MCP	D <sub>4</sub> M	D <sub>4</sub> MM	D <sub>4</sub> ML	D <sub>4</sub> MR	D <sub>4</sub> MD	-	-
		Knuckle	D <sub>4</sub> K	-	-	-	D <sub>4</sub> KD	-	-
	Little	Tip	D <sub>5</sub> T	D <sub>5</sub> TM	-	-	-	-	-
DIP		D <sub>5</sub> D	D <sub>5</sub> DM	D <sub>5</sub> DL	D <sub>5</sub> DR	D <sub>5</sub> DD	-	-	
PIP		D <sub>5</sub> P	D <sub>5</sub> PM	D <sub>5</sub> PL	D <sub>5</sub> PR	D <sub>5</sub> PD	-	-	
MCP		D <sub>5</sub> M	D <sub>5</sub> MM	D <sub>5</sub> ML	D <sub>5</sub> MR	D <sub>5</sub> MD	-	-	
Knuckle		D <sub>5</sub> K	-	-	-	D <sub>5</sub> KD	-	-	

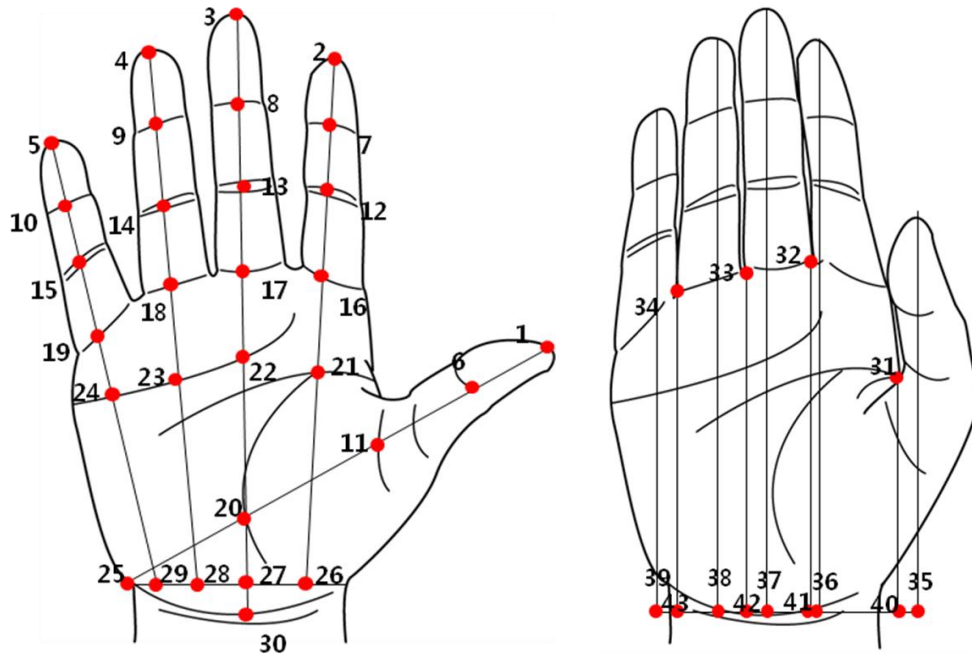
(계속)

측정부위	Code	세부측정부위1	Code	세부측정부위2					
				중앙점 (M)	왼쪽점 (L)	오른쪽점 (R)	손등점 (D)	교차점 (X)	수직선 (V)
손바닥	P	Crotch 1	PC <sub>1</sub>	PC <sub>1</sub> M	-	-	-	-	-
		Crotch 2	PC <sub>2</sub>	PC <sub>2</sub> M	-	-	-	-	-
		Crotch 3	PC <sub>3</sub>	PC <sub>3</sub> M	-	-	-	-	-
		Crotch 4	PC <sub>4</sub>	PC <sub>4</sub> M	-	-	-	-	-
		Metacarpal 2	PM2	-	-	-	-	-	-
		Metacarpal 5	PM5	-	-	-	-	-	-
		Life line	PL	-	-	-	-	PLX	-
		Intelligence line	PI	-	-	-	-	PIX	-
		Heart line	PH	-	-	-	-	PHX	-
손목	W	Wristline	WW	WWM	WWL	WWR	WWD	-	-
		Baseline	WB	-	-	-	-	WBX	WBV

## 부록 2. 참조점 Code

### A. 길이 항목

관련 그림



번호	Code	참조점 위치
1	D <sub>1</sub> TM	손바닥을 정면에서 보았을 때 첫째 손가락의 끝 점
2	D <sub>2</sub> TM	손바닥을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락의 끝점
3	D <sub>3</sub> TM	손바닥을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락의 끝점
4	D <sub>4</sub> TM	손바닥을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락의 끝점
5	D <sub>5</sub> TM	손바닥을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락의 끝점
6	D <sub>1</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
7	D <sub>2</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점
8	D <sub>3</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점
9	D <sub>4</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점
10	D <sub>5</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점

(계속)

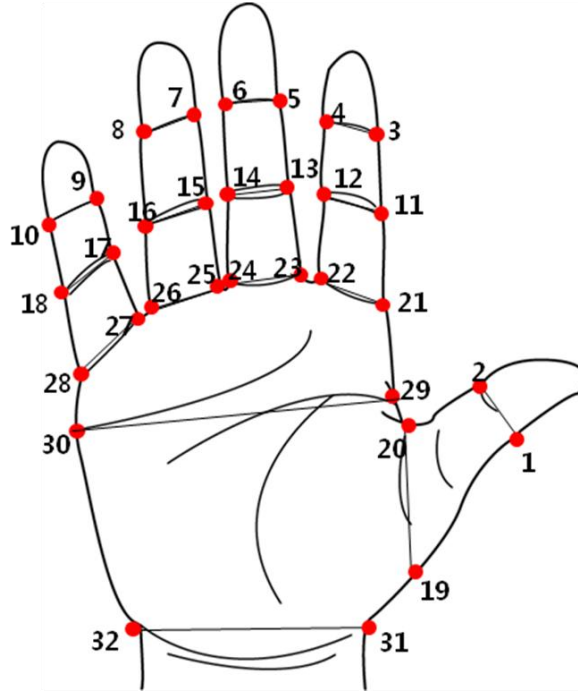
번호	Code	참조점 위치
11	D <sub>1</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
12	D <sub>2</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
13	D <sub>3</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
14	D <sub>4</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
15	D <sub>5</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
16	D <sub>2</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
17	D <sub>3</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
18	D <sub>4</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
19	D <sub>5</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
20	PLX <sub>D1</sub>	첫째 손가락 끝점으로부터 손가락 중앙으로 선을 그었을 때 life line과 만나는 점
21	PLX <sub>D2</sub>	둘째 손가락 끝점으로부터 손가락 중앙으로 선을 그었을 때 intelligence line과 만나는 점
22	PLX <sub>D3</sub>	셋째 손가락 끝점으로부터 손가락 중앙으로 선을 그었을 때 heat line과 만나는 점
23	PLX <sub>D4</sub>	넷째 손가락 끝점으로부터 손가락 중앙으로 선을 그었을 때 heat line과 만나는 점
24	PLX <sub>D5</sub>	다섯째 손가락 끝점으로부터 손가락 중앙으로 선을 그었을 때 heat line과 만나는 점
25	WBX <sub>D1</sub>	첫째 손가락 끝점에서부터 손가락의 중앙 점을 따라 흐르는 선과 wrist crease base line이 만나는 점(편 손)
26	WBX <sub>D2</sub>	둘째 손가락 끝점에서부터 손가락의 중앙 점을 따라 흐르는 선과 wrist crease base line이 만나는 점(편 손)
27	WBX <sub>D3</sub>	셋째 손가락 끝점에서부터 손가락의 중앙 점을 따라 흐르는 선과 wrist crease base line이 만나는 점(편 손)
28	WBX <sub>D4</sub>	넷째 손가락 끝점에서부터 손가락의 중앙 점을 따라 흐르는 선과 wrist crease base line이 만나는 점(편 손)
29	WBX <sub>D5</sub>	다섯째 손가락 끝점에서부터 손가락의 중앙 점을 따라 흐르는 선과 wrist crease base line이 만나는 점(편 손)

(계속)

번호	Code	참조점 위치
30	WWM	손바닥을 정면에서 보았을 때 손목 좌우의 중앙 점
31	PC <sub>1</sub> M	첫째 손가락과 둘째 손가락 사이의 가장 깊이 패인 곳
32	PC <sub>2</sub> M	둘째 손가락과 셋째 손가락 사이의 가장 깊이 패인 곳
33	PC <sub>3</sub> M	셋째 손가락과 넷째 손가락 사이의 가장 깊이 패인 곳
34	PC <sub>4</sub> M	넷째 손가락과 다섯째 손가락 사이의 가장 깊이 패인 곳
35	WBV <sub>D1</sub>	첫째 손가락 끝점과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점(모은 손)
36	WBV <sub>D2</sub>	둘째 손가락 끝점과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점(모은 손)
37	WBV <sub>D3</sub>	셋째 손가락 끝점과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점(모은 손)
38	WBV <sub>D4</sub>	넷째 손가락 끝점과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점(모은 손)
39	WBV <sub>D5</sub>	다섯째 손가락 끝점과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점(모은 손)
40	WBX <sub>PC1</sub>	첫째 손가락과 둘째 손가락 사이의 가장 깊이 패인 곳과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점
41	WBX <sub>PC2</sub>	둘째 손가락과 셋째 손가락 사이의 가장 깊이 패인 곳과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점
42	WBX <sub>PC2</sub>	셋째 손가락과 넷째 손가락 사이의 가장 깊이 패인 곳과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점
43	WBX <sub>PC3</sub>	넷째 손가락과 다섯째 손가락 사이의 가장 깊이 패인 곳과 wrist crease base line을 수직으로 그은 선과 교차점

B. 너비 항목

관련 그림



번호	Code	참조점 위치
1	D <sub>1</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
2	D <sub>1</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
3	D <sub>2</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
4	D <sub>2</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
5	D <sub>3</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
6	D <sub>3</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디의 왼쪽에 위치하는 점



(계속)

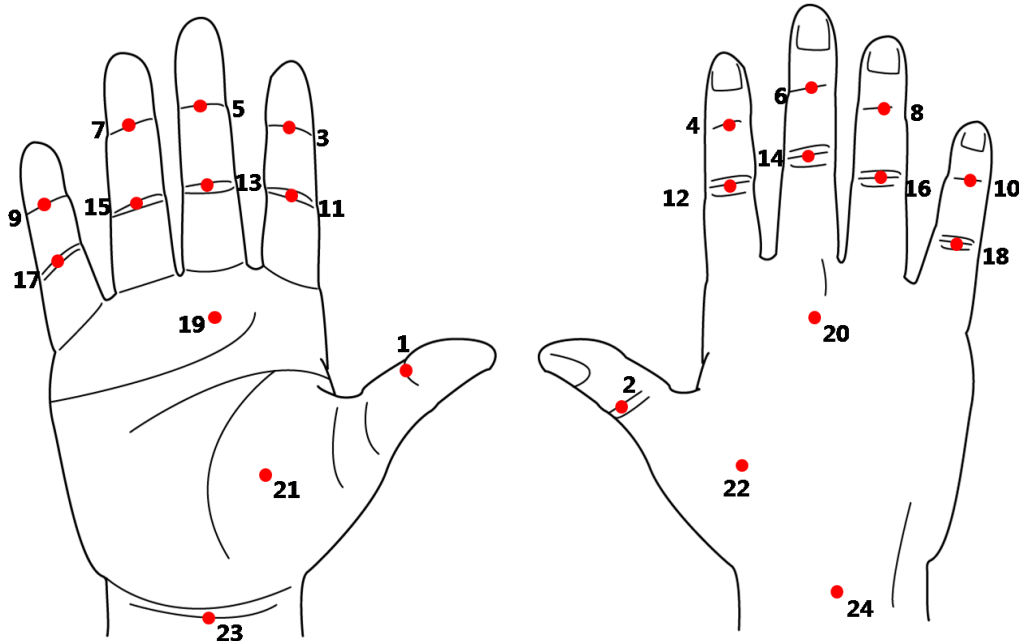
번호	Code	참조점 위치
7	D <sub>4</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
8	D <sub>4</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
9	D <sub>5</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
10	D <sub>5</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 셋째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
11	D <sub>1</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
12	D <sub>1</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
13	D <sub>2</sub> PR	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
14	D <sub>2</sub> PL	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
15	D <sub>3</sub> PR	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
16	D <sub>3</sub> PL	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
17	D <sub>4</sub> PR	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
18	D <sub>4</sub> PL	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
19	D <sub>5</sub> PR	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
20	D <sub>5</sub> PL	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점

(계속)

번호	Code	참조점 위치
21	D <sub>2</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
22	D <sub>2</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
23	D <sub>3</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
24	D <sub>3</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
25	D <sub>4</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
26	D <sub>4</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
27	D <sub>5</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
28	D <sub>5</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
29	PM2	손바닥을 정면으로 보았을 때 intelligence line과 손 외곽선의 교차점
30	PM5	손바닥을 정면으로 보았을 때 heart line과 손 외곽선의 교차점
31	WWL	손바닥을 정면으로 보았을 때 손바닥과 손목이 만나는 점(몸 안쪽 부분)
32	WWR	손바닥을 정면으로 보았을 때 손바닥과 손목이 만나는 점(몸 바깥쪽 부분)

C. 두께 항목

관련 그림



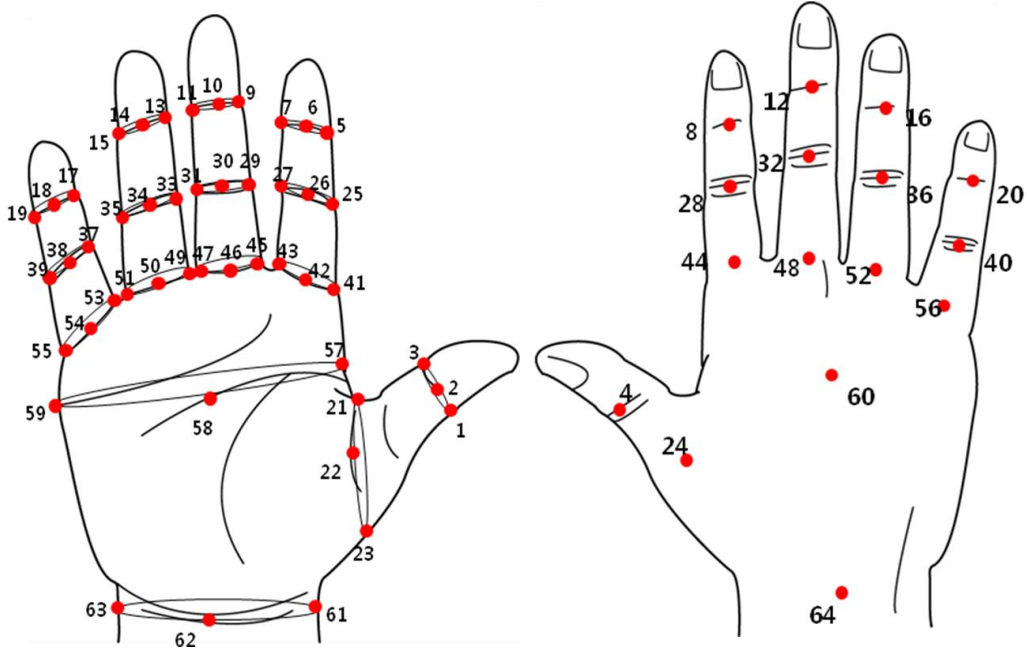
번호	Code	참조점 위치
1	D <sub>1</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
2	D <sub>1</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
3	D <sub>2</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점
4	D <sub>2</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점
5	D <sub>3</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점
6	D <sub>3</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점
7	D <sub>4</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점
8	D <sub>4</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점
9	D <sub>5</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙 점
10	D <sub>5</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점

(계속)

번호	Code	참조점 위치
11	D <sub>2</sub> PM	손바닥을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
12	D <sub>2</sub> PD	손등을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
13	D <sub>3</sub> PM	손바닥을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
14	D <sub>3</sub> PD	손등을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
15	D <sub>4</sub> PM	손바닥을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
16	D <sub>4</sub> PD	손등을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
17	D <sub>5</sub> PM	손바닥을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙 점
18	D <sub>5</sub> PD	손등을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
19	D <sub>3</sub> KM	손바닥을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 셋째 지골절 부위의 손바닥 점
20	D <sub>3</sub> KD	손등을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 셋째 지골절 부위의 중앙점
21	D <sub>MAX</sub> P	손바닥을 측면에서 보았을 때 가장 두꺼운 부분의 손바닥 점
22	D <sub>MAX</sub> D	손바닥을 측면에서 보았을 때 가장 두꺼운 부분의 점의 맞은 편
23	WWM	손바닥을 정면에서 보았을 때 손목 선의 중앙점
24	WWD	손바닥을 정면에서 보았을 때 손목선의 중앙점 맞은 편의 점

D. 둘째 항목

관련 그림



번호	Code	참조점 위치
1	D <sub>1</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
2	D <sub>1</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
3	D <sub>1</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
4	D <sub>1</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 첫째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
5	D <sub>2</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
6	D <sub>2</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점
7	D <sub>2</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
8	D <sub>2</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점

(계속)

번호	Code	참조점 위치
9	D <sub>3</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
10	D <sub>3</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점
11	D <sub>3</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
12	D <sub>3</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점
13	D <sub>4</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
14	D <sub>4</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점
15	D <sub>4</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
16	D <sub>4</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락 셋째 마디 손금의 중앙점
17	D <sub>5</sub> DR	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 셋째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
18	D <sub>5</sub> DM	손바닥을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙점
19	D <sub>5</sub> DL	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
20	D <sub>5</sub> DD	손등을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙점

(계속)

번호	Code	참조점 위치
21	D <sub>1</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
22	D <sub>1</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙점
23	D <sub>1</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
24	D <sub>1</sub> MD	손바닥을 정면으로 보았을 때 첫째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙점의 맞은 편 점
25	D <sub>2</sub> PR	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
26	D <sub>2</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
27	D <sub>2</sub> PL	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
28	D <sub>2</sub> PD	손등을 정면에서 보았을 때 둘째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
29	D <sub>3</sub> PR	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
30	D <sub>3</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
31	D <sub>3</sub> PL	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
32	D <sub>3</sub> PD	손등을 정면에서 보았을 때 셋째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
33	D <sub>4</sub> PR	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
34	D <sub>4</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
35	D <sub>4</sub> PL	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
36	D <sub>4</sub> PD	손등을 정면에서 보았을 때 넷째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점

(계속)

번호	Code	참조점 위치
37	D <sub>5</sub> PR	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
38	D <sub>5</sub> PM	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
39	D <sub>5</sub> PL	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
40	D <sub>5</sub> PD	손등을 정면에서 보았을 때 다섯째 손가락 둘째 마디 손금의 중앙점
41	D <sub>2</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
42	D <sub>2</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
43	D <sub>2</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
44	D <sub>2</sub> MD	손바닥을 정면으로 보았을 때 둘째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점의 맞은 편
45	D <sub>3</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
46	D <sub>3</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
47	D <sub>3</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
48	D <sub>3</sub> MD	손바닥을 정면으로 보았을 때 셋째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점의 맞은편
49	D <sub>4</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
50	D <sub>4</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점
51	D <sub>5</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
52	D <sub>4</sub> MD	손바닥을 정면으로 보았을 때 넷째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점의 맞은 편



(계속)

번호	Code	참조점 위치
53	D <sub>5</sub> MR	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디의 오른쪽에 위치하는 점
54	D <sub>5</sub> MM	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙점
55	D <sub>5</sub> ML	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디의 왼쪽에 위치하는 점
56	D <sub>5</sub> MD	손바닥을 정면으로 보았을 때 다섯째 손가락 첫째 마디 손금의 중앙 점의 맞은편 점
57	PM2	손바닥을 정면으로 보았을 때 intelligence line과 손 외곽선의 교차점
58	PMC	손바닥을 정면으로 보았을 때 intelligence line과 손 외곽선의 교차점과 손바닥을 정면으로 봤을 때 heart line과 손 외곽선의 교차점을 이운 선의 중앙점
59	PM5	손바닥을 정면으로 보았을 때 heart line과 손 외곽선의 교차 점
60	PMD	손바닥을 정면으로 보았을 때 intelligence line과 손 외곽선의 교차점과 손바닥을 정면으로 봤을 때 heart line과 손 외곽선의 교차점을 이운 선의 중앙점의 맞은편 점
61	WWL	손바닥을 정면으로 보았을 때 손바닥과 손목이 만나는 점(몸 안쪽 부분)
62	WWM	손바닥을 정면으로 보았을 때 앞에서 손목 선의 중앙 점
63	WWR	손바닥을 정면으로 보았을 때 손바닥과 손목이 만나는 점(몸 바깥쪽 부분)
64	WWD	손바닥을 정면으로 보았을 때 앞에서 손목 선의 중앙 점 맞은 편 점

부록 3. 직접 측정법과 3D-SAMP의 결과치

A. 길이 항목

번호	측정 변수	직접 측정법					3D-SAMP 측정법					측정치 차이 (3D-SAMP - 직접)
		Mean	Intra		Inter		Mean	Intra		Inter		
			SD	CV	SD	CV		SD	CV	SD	CV	
1	손길이	198.76	3.51	1.79	2.68	1.35	197.10	0.64	0.33	1.56	0.79	-1.66
2	첫째 손가락 둘째 마디길이	34.71	1.01	2.88	1.06	3.04	35.73	0.76	2.12	0.62	1.73	1.03
3	둘째 손가락 셋째 마디길이	25.43	0.62	2.44	0.50	1.96	24.85	0.62	2.48	0.60	2.43	-0.57
4	셋째 손가락 셋째 마디길이	27.20	0.89	3.44	1.02	3.76	25.79	0.61	2.38	0.45	1.76	-1.41
5	넷째 손가락 셋째 마디길이	26.72	0.48	1.80	0.57	2.12	26.73	0.79	2.97	0.56	2.10	0.01
6	다섯째 손가락 셋째 마디길이	24.44	0.67	2.76	0.64	2.62	26.26	0.70	2.66	0.47	1.80	1.82
7	첫째 손가락 첫째 마디길이	27.78	2.06	7.11	2.30	8.26	26.97	1.91	7.12	1.61	5.96	-0.81
8	둘째 손가락 둘째 마디길이	21.81	0.54	2.51	1.01	4.61	21.57	0.81	3.76	0.64	2.97	-0.24
9	셋째 손가락 둘째 마디길이	23.62	0.60	2.54	0.99	4.18	23.25	0.72	3.12	0.69	2.97	-0.37
10	넷째 손가락 둘째 마디길이	21.59	0.81	3.74	1.07	4.94	21.34	0.65	3.04	0.47	2.22	-0.26
11	다섯째 손가락 둘째 마디길이	16.30	0.92	5.46	0.92	5.67	16.26	0.74	4.61	0.59	3.62	-0.04
12	둘째 손가락 셋째 마디길이	23.21	0.70	3.04	0.89	3.82	23.36	0.76	3.24	0.67	2.86	0.15
13	셋째 손가락 셋째 마디길이	27.23	0.86	3.19	1.08	3.97	27.83	0.82	2.95	0.91	3.27	0.60
14	넷째 손가락 셋째 마디길이	23.82	0.92	3.86	1.08	4.52	24.59	0.78	3.16	0.74	3.00	0.77
15	다섯째 손가락 셋째 마디길이	17.98	0.68	3.81	0.84	4.70	18.59	0.66	3.56	0.54	2.89	0.61

(Mean: mm, SD: mm, CV: %)

(계속)

번호	측정 변수	직접 측정법					3D-SAMP 측정법					측정치 차이 (3D-SAMP - 직접)
		Mean	Intra		Inter		Mean	Intra		Inter		
			SD	CV	SD	CV		SD	CV	SD	CV	
16	첫째 손가락 첫째마디 - 둘째 손가락 첫째 마디직선길이	55.47	2.22	4.03	2.53	4.57	56.07	1.32	2.35	1.12	2.00	0.60
17	첫째 손가락 첫째마디 - 셋째 손가락 첫째 마디직선길이	71.40	2.41	3.40	2.56	3.59	72.32	1.36	1.89	1.21	1.68	0.92
18	첫째 손가락 둘째마디 - 넷째 손가락 첫째 마디직선길이	84.10	2.80	3.35	2.21	2.62	85.31	1.38	1.62	1.30	1.52	1.21
19	첫째 손가락 둘째마디 - 다섯째 손가락 첫째 마디직선길이	95.97	4.09	4.26	1.84	1.91	96.27	1.46	1.51	1.57	1.63	0.30
20-	손목중심점 - 첫째 손가락 첫째 마디직선길이	85.52	1.82	2.16	3.59	4.20	83.42	1.64	1.95	1.92	2.30	-2.10
21	손목중심점 - 둘째손가락 첫째 마디직선길이	122.63	1.46	1.19	2.56	2.09	121.67	0.83	0.68	1.64	1.35	-0.97
22	손목중심점 - 셋째 손가락 첫째 마디직선길이	123.37	1.18	0.96	2.66	2.16	121.50	0.81	0.67	1.90	1.56	-1.88
23	손목중심점 - 넷째 손가락 첫째 마디직선길이	118.88	1.47	1.24	2.74	2.30	116.46	0.75	0.65	1.83	1.57	-2.42
24	손목중심점 - 다섯째 손가락 첫째 마디직선길이	110.45	1.58	1.44	2.40	2.17	107.00	0.84	0.78	1.78	1.66	-3.45
25	셋째 손가락 첫 마디 뼈길이	26.85	0.85	3.12	0.90	3.36	27.34	0.77	2.83	0.77	2.81	0.49
26	셋째 손가락 둘째 마디 뼈길이	28.79	1.59	4.68	4.28	14.86	27.80	1.05	3.78	1.00	3.61	-0.99
27	셋째 손가락 셋째 마디 뼈길이	49.62	3.83	6.93	4.65	9.37	49.86	1.71	3.47	2.02	4.05	0.24

(Mean: mm, SD: mm, CV: %)

**B. 너비 항목**

번호	측정 변수	직접 측정법					3D-SAMP 측정법					측정치 차이 (3D-SAMP - 직접)
		Mean	Intra		Inter		Mean	Intra		Inter		
			SD	CV	SD	SD		SD	CV	SD	CV	
28	첫째 손가락 셋째 관절너비	19.79	0.59	3.01	0.70	3.54	20.65	0.38	1.86	0.32	1.54	0.86
29	둘째 손가락 셋째 관절너비	16.31	0.50	3.10	0.49	3.01	18.80	0.24	1.27	0.19	1.03	2.50
30	셋째 손가락 셋째 관절너비	16.68	0.29	1.74	0.55	3.29	18.91	0.23	1.21	0.24	1.24	2.23
31	넷째 손가락 셋째 관절너비	15.11	0.37	2.46	0.55	3.65	16.56	0.20	1.19	0.15	0.89	1.46
32	다섯째 손가락 셋째 관절너비	14.22	0.49	3.42	0.80	5.60	15.56	0.34	2.17	0.25	1.62	1.34
33	둘째 손가락 둘째 관절너비	18.68	0.34	1.84	0.44	2.37	20.58	0.25	1.21	0.22	1.09	1.91
34	셋째 손가락 둘째 관절너비	18.86	0.34	1.82	0.56	2.95	20.92	0.32	1.51	0.20	0.94	2.06
35	넷째 손가락 둘째 관절너비	18.12	0.36	1.99	0.53	2.91	19.53	0.29	1.48	0.24	1.23	1.41
36	다섯째 손가락 둘째 관절너비	16.13	0.56	3.54	0.60	3.70	17.39	0.42	2.40	0.29	1.66	1.25
37	손 너비	86.87	1.15	1.31	1.48	1.70	89.68	0.53	0.73	0.44	0.49	2.81
38	손목 너비	57.62	1.11	1.93	1.35	2.35	58.36	0.63	1.23	0.61	1.05	0.73

(Mean: mm, SD: mm, CV: %)

C. 두께 항목

번호	측정 변수	직접 측정법					3D-SAMP 측정법					측정치 차이 (3D-SAMP - 직접)
		Mean	Intra		Inter		Mean	Intra		Inter		
			SD	CV	SD	CV		SD	CV	SD	CV	
39	첫째 손가락 셋째 관절두께	17.44	0.59	3.01	0.94	5.37	20.60	0.38	1.86	0.24	1.18	3.17
40	둘째 손가락 셋째 관절두께	13.73	0.50	3.10	0.71	5.15	15.79	0.24	1.27	0.28	1.80	2.06
41	셋째 손가락 셋째 관절두께	14.13	0.29	1.74	0.87	6.15	16.71	0.23	1.21	0.14	0.83	2.58
42	넷째 손가락 셋째 관절두께	13.20	0.37	2.46	0.85	6.45	16.31	0.20	1.19	0.13	0.78	3.12
43	다섯째 손가락 셋째 관절두께	11.95	0.49	3.42	0.84	7.03	14.71	0.34	2.17	0.20	1.38	2.77
44	손 두께	32.62	0.34	1.84	4.86	14.89	32.95	0.25	1.21	0.51	1.55	0.33
45	손목두께	44.14	0.34	1.82	2.41	5.46	48.56	0.32	1.51	0.54	1.10	4.42

(Mean: mm, SD: mm, CV: %)

**D. 둘레 항목**

번호	측정 변수	직접 측정법					3D-SAMP 측정법					측정치 차이 (3D-SAMP - 직접)
		Mean	Intra		Inter		Mean	Intra		Inter		
			SD	CV	SD	CV		SD	CV	SD	CV	
46	첫째 손가락 셋째 관절둘레	64.81	1.15	3.66	1.98	3.06	63.99	0.23	1.56	0.23	0.37	-0.82
47	둘째 손가락 셋째 관절둘레	54.08	1.46	3.73	1.38	2.56	53.77	0.26	2.50	0.55	1.02	-0.31
48	셋째 손가락 셋째 관절둘레	54.57	1.42	3.87	1.93	3.53	54.78	0.32	1.47	0.25	0.46	0.21
49	넷째 손가락 셋째 관절둘레	51.39	1.51	4.42	1.74	3.39	50.64	0.18	1.02	0.19	0.38	-0.75
50	다섯째 손가락 셋째 관절둘레	47.95	1.02	4.98	1.39	2.89	46.41	0.28	2.25	0.17	0.37	-1.54
51	손 둘레	215.58	7.06	6.98	11.11	5.15	212.93	1.20	2.08	1.69	0.79	-2.65
52	손목 둘레	173.98	2.65	3.04	2.90	1.67	175.16	1.49	1.37	1.52	0.87	1.19

(Mean: mm, SD: mm, CV: %)

#### 부록 4. 실험 동의서

##### 연구 주제: 손 치수 측정을 위한 3차원 측정 방법 개발

연구원: 윤성혜 (산업경영공학과), 이원섭 (산업경영공학과), 이백희 (산업경영공학과)

지도 교수: 유 희 천 박사 (산업경영공학과)

1. **실험 목적:** 본 실험은 개발된 손 측정 방법의 반복성 및 편리성을 평가하기 위해 기존의 직접 측정방법과 본 연구에서 제안된 손 측정방법을 비교 평가하고자 합니다. 본 실험을 통해 얻은 data는 효율적인 손 치수 측정법의 개발 및 평가를 위해 유용하게 활용될 예정입니다.
2. **실험 구성:** 본 실험은 직접 측정법 (Digital caliper와 줄자로 손을 직접 측정하는 방법)과 3D-SAMP (손 석고본의 marker를 부착 및 3D 형상 제어 program를 통해 측정 참조점을 표기하는 방법)으로 구성됩니다. 상세한 지시사항은 별도의 실험 지침서에 기재되어 있으며, 실험에 앞서 진행자가 측정 방법에 대해 설명을 하고 실험 참여자는 연습을 통해 각 측정법을 학습하게 될 것입니다.
3. **개인정보 비밀 보장:** 본 실험에 사용되는 모든 개인 정보는 비밀이 보장되며, 실험 참여자의 동의 없이는 절대 공개되지 않습니다.
4. **휴식 시간 요청 및 질문할 권리**
  - A. 실험 중 불편함이나 피로 등이 발생할 경우 언제든지 실험 중지를 요구하고, 실험 참여자는 실험 진행자에게 휴식 시간을 요청할 수 있습니다.
  - B. 실험 참여자는 실험 중 언제든지 질문을 할 수 있습니다. 또한, 실험 참여자는 질문들에 대해 성실하고 만족스러운 답변을 들을 권리를 가지고 있습니다.
5. **실험 수행 의무:** 실험 진행 중에는 휴대폰의 전원을 잠시 꺼주시기 바라며, 수행해야 할 작업에 집중하도록 노력해 주시기 바랍니다.
6. **소요 시간:** 본 실험은 하루에 약 1 시간씩 3 일에 걸쳐 진행될 예정입니다.
7. **사례비:** 실험 참여자에게는 시간당 1 만원의 사례비가 제공되며, 사례비는 실험이 완료된 후 지급됩니다. (총 4만원 예정)

본인은 실험 참여자로서 상기 사항들을 이해하고 실험에 자발적으로 참여했음을 확인합니다.

## 부록 5. 실험 지침서

### 손 계측 방법에 따른 정확성 및 효율성 평가 실험

#### ■ 실험 개요

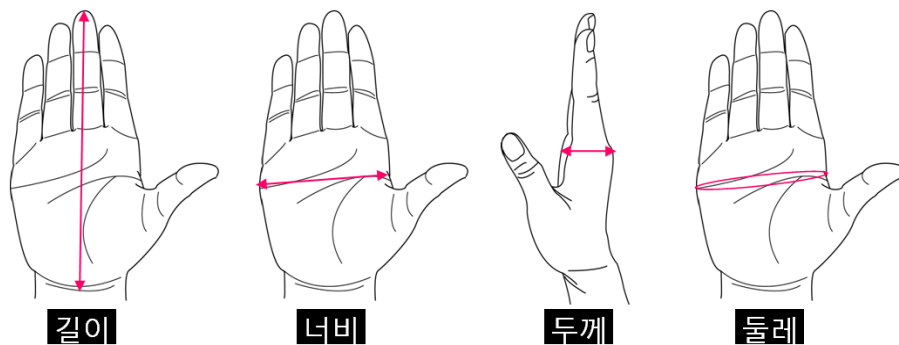
- 본 실험은 인체 중 손의 치수를 측정하는 실험으로 2 가지의 손 치수 측정법을 비교하기 위해 계획되었습니다.
- 다음 실험이 하루에 1 시간씩 총 3일 동안 반복 진행됩니다.

#### ■ 실험 순서

1. 실험 동의서 작성 (5분)
2. 실험 소개 (5분)
3. 손 측정법 숙지 (10분)
4. 직접 측정법 (20분)
5. 휴식 (5분)
6. **Semi-automatic** 측정법 (20분)
7. 주관적 만족도 평가 (5분)
8. 실험 종료

※ 측정법(직접 측정법, semi-automatic 측정법)의 순서는 바뀔 수 있습니다.

#### ■ 손 측정의 기본적 지식

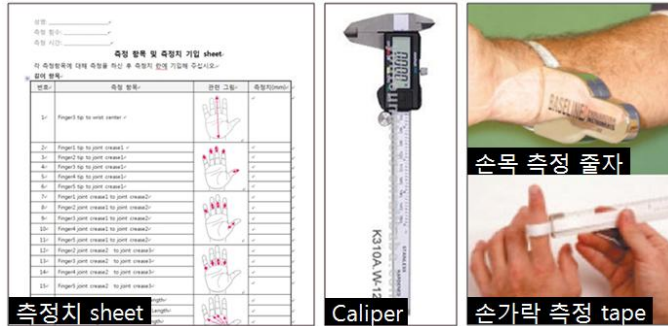




■ 실험 방법

● 직접 측정법: 사람의 손을 직접 측정

1. 측정할 항목 확인 (53개 항목)
2. 측정 부위를 알기 쉽도록 참조점(-) 표시: 길이와 너비 항목만 표시  
 ※ 참조점은 측정 항목과 수직이 되도록 그려주십시오.
3. 측정
  - 길이, 너비, 두께 항목: digital caliper를 사용하여 피실험자의 손을 측정
  - 둘레 항목: 줄자 및 측정 tape를 사용하여 피실험자의 손을 측정
4. 측정치 기입 양식에 측정 항목 기입



● 3D-SAMP: 석고 손에 sticker 부착 및 3D 형상 제어 program를 통해 참조점 표기

1. 참조점 위치 확인: 3D 손 측정 참조점 guideline 참고
2. 참조점 표기
  - 길이, 너비, 두께 항목: 석고 손에 sticker 부착 (53개 부착)
  - 둘레 항목: 컴퓨터의 program (RapidForm)를 사용하여 해당 부위에 landmarking (24개 marking)
 ※ 측정 참조점에 Marker의 중앙이 위치하도록 부착해 주십시오.



## 부록 6. 주관적 만족도 평가지

실험이 완료되었습니다. 아래 항목을 읽고 해당하는 기호에 표시(✓)하고 그 이유에 대해 간단히 적어 주십시오

### 1. 직접 측정법: 손을 직접 측정하는 측정 방법

항목	평가	이유
길이 항목에 대한 측정이 편리한 정도	매우 불편 불편 약간 불편 보통 약간 편리 편리 매우 편리	
너비 항목에 대한 측정이 편리한 정도		
두께 항목에 대한 측정이 편리한 정도		
둘레 항목에 대한 측정이 편리한 정도		

### 2. 3D-SAMP: 석고의 손에 marker를 부착하는 측정 방법

항목	평가	이유
길이 항목에 대한 측정이 편리한 정도	매우 불편 불편 약간 불편 보통 약간 편리 편리 매우 편리	
너비 항목에 대한 측정이 편리한 정도		
두께 항목에 대한 측정이 편리한 정도		
둘레 항목에 대한 측정이 편리한 정도		

3. 다음에 손을 재측정할 기회가 생긴다면 어떤 방법으로 손을 측정할 것입니까? 선호하는 측정 방법에 표시(✓)하고 그 이유는 무엇인지 간단히 설명해 주십시오.

선호 측정 방법: 직접 측정법 / 3D semi-automatic 측정법 / 선호도가 같음

이유

### 실험 관련 건의 사항

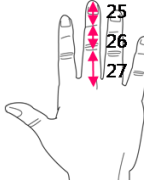
실험 수행 중 실험 방법이나 실험 환경과 관련하여 어려웠거나 불편했던 점이 있으시면 기술하여 주십시오.

기타 본 실험과 관련하여 하고 싶은 말씀을 아래의 공란에 기술하여 주십시오.

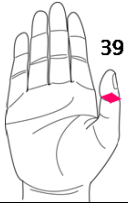




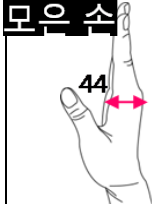
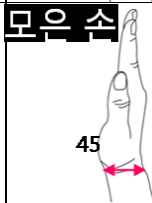
**부록 7. 측정 항목 및 측정치 기입 양식**

각 항목을 측정하신 후, 측정치 난에 기입해 주십시오.

**1. 길이 항목**

번호	측정 항목	관련 그림	측정치(mm)
1	손길이		
2	첫째 손가락 둘째 마디길이		
3	둘째 손가락 셋째 마디길이		
4	셋째 손가락 셋째 마디길이		
5	넷째 손가락 셋째 마디길이		
6	다섯째 손가락 셋째 마디길이		
7	첫째 손가락 첫째 마디길이		
8	둘째 손가락 둘째 마디길이		
9	셋째 손가락 둘째 마디길이		
10	넷째 손가락 둘째 마디길이		
11	다섯째 손가락 둘째 마디길이		
12	둘째 손가락 첫째 마디길이		
13	셋째 손가락 첫째 마디길이		
14	넷째 손가락 첫째 마디길이		
15	다섯째 손가락 첫째 마디길이		
16	첫째 손가락 둘째 마디-둘째 손가락 첫째 마디직선길이		
17	첫째 손가락 둘째 마디-셋째 손가락 첫째 마디직선길이		
18	첫째 손가락 둘째 마디-넷째 손가락 첫째 마디직선길이		
19	첫째 손가락 둘째 마디-다섯째 손가락 첫째 마디직선길이		
20	손목중심점-첫째 손가락 첫째 마디직선길이		
21	손목중심점-둘째 손가락 첫째 마디직선길이		
22	손목중심점-셋째 손가락 첫째 마디직선길이		
23	손목중심점-넷째 손가락 첫째 마디직선길이		
24	손목중심점-다섯째 손가락 첫째 마디직선길이		
25	셋째 손가락 셋째 마디 뼈길이		
26	셋째 손가락 둘째 마디 뼈길이		
27	셋째 손가락 첫마디 뼈길이		

2. 너비 항목			
번호	측정 항목	관련 그림	측정치(mm)
28	첫째 손가락 둘째 관절너비		
29	둘째 손가락 셋째 관절너비		
30	셋째 손가락 셋째 관절너비		
31	넷째 손가락 셋째 관절너비		
32	다섯째 손가락 셋째 관절너비		
33	둘째 손가락 둘째 관절너비		
34	셋째 손가락 둘째 관절너비		
35	넷째 손가락 둘째 관절너비		
36	다섯째 손가락 둘째 관절너비		
37	손너비		
38	손목 너비		

3. 두께 항목			
번호	측정 항목	관련 그림	측정치(mm)
39	첫째 손가락 둘째 관절두께		
40	둘째 손가락 셋째 관절두께		
41	셋째 손가락 셋째 관절두께		
42	넷째 손가락 셋째 관절두께		
43	다섯째 손가락 셋째 관절두께		
44	손 두께		
45	손목 두께		

4. 들레 항목			
번호	측정 항목	관련 그림	측정치(mm)
46	첫째 손가락 둘째 관절둘레		
47	둘째 손가락 셋째 관절둘레		
48	셋째 손가락 셋째 관절둘레		
49	넷째 손가락 셋째 관절둘레		
50	다섯째 손가락 셋째 관절둘레		
51	손둘레		
52	손목둘레		

## 부록 8. 3D Scanning 손 측정용 참조점 위치 안내 양식

### A. Sticker 부착 Guideline

아래의 총 53개(편 손 45개, 모은 손 8개) 위치에 측정 sticker를 부착해 주십시오.

편 손			모은 손	
(A) 길이 항목	(B) 너비 항목	(C) 두께 항목	(D) 너비 항목	(E) 두께 항목

※ 20: 손바닥을 정면으로 보았을 때 몸과 가까운 손목 주름의 중앙점

※ 39, 40, 41, 42, 43: 손 두께 측정을 위한 참조점이며, 반대편의 참조점(6, 7, 8, 9)은 길이항목에서 부착하였으므로 생략

※ 3, 4: 손바닥을 정면으로 보았을 때 몸과 가까운 손목 주름의 위치하는 선상에서 가장 좌측과 우측으로 돌출되어 있는 지점

※ 5, 6: 셋째 손가락 knuckle 부분과 그에 대응하는 손바닥 부분의 참조점



## B. PC용 Landmarking Guideline

아래의 총 28개(편 손 20개, 모은 손 8개) 위치에 PC를 사용하여 landmarking을 하십시오.

둘레 항목	
(F) 편손	(G) 모은 손
<ul style="list-style-type: none"> <li>※ 1, 2, 3, 4: 첫째 손가락 둘째 관절둘레</li> <li>※ 5, 6, 7, 8: 둘째손가락 셋째 관절둘레</li> <li>※ 9, 10, 11, 12: 셋째 손가락 셋째 관절둘레</li> <li>※ 13, 14, 15, 16: 넷째 손가락 셋째 관절둘레</li> <li>※ 17, 18, 19, 20: 다섯째 손가락 셋째 관절둘레</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>※ 1, 2, 3, 4: 손둘레</li> <li>※ 5, 6, 7, 8: 손목둘레</li> </ul>