

시물레이션 환경에서 사진측량기법을 이용한 손 치수 측정 방법에 대한 연구

장지흥*

An Approach to Measure Anthropometric Data of Simulated Human Hand Using Photogrammetry

Ji Hong Chang*

요약 손 부위의 인체측정자료는 사용자중심 설계의 관점에서 수부와 관련된 다양한 제품의 설계에 중요한 요소이다. 전통적인 인체치수조사에서 측정자를 사용하는 직접측정법은 측정 시간의 누적, 원천 자료 미확보, 측정자간 신뢰도 등에 대한 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위한 3D 스캐너는 고비용, 이동성 제한 등의 단점을 가지고 있다. 이러한 단점들을 보완할 수 있는 사진측량법에 의한 손 부위 인체측정자료의 효율적인 수집에 관한 연구를 수행하였다. 직/간접 측정 결과의 비교 과정에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위하여 시물레이션 환경에서 직/간접 측정을 실시하였다. 사진측량법을 이용한 손 부위 인체치수의 측정 가능성을 확인하였다.

Abstract Anthropometric data of the hand is one of the important issues for the product design related with hand and manual operation in terms of user-centered design. Direct measurement, which traditionally uses anthropometric measuring tool, has a few disadvantages in cumulation of measuring time, possible errors in raw data, doubtful reliability between inspectors. Newly introduced 3D scanning technology overcomes those disadvantages; however, another disadvantages, such as, high cost and immovability, have been introduced. In this study, photogrammetric approach was introduced for the measurement of anthropometric data in hand. In order to minimize the possibility of error during direct and indirect measurement, a simulated object was used and effectiveness of photogrammetric measurement was confirmed for the collection of anthropometric data in hand.

Key Words : Anthropometry measurement, Hand anthropometry, Photogrammetry, Photogrammetry for anthropometry

1. 서론

인체측정자료는 인간과 인터페이스를 이루는 다양한 제품의 설계에 필수적으로 적용되어야 하는 요소이다. 인체측정은 인체의 크기, 형태, 근력 등의 요소가 갖는 다양성에 기초하며, 사용자중심설계에서 이러한 다양성에 대한 이해가 요구된다 [1]. 이러한 이유로 각국은 인체측정자료의 수집과 활용을 통해 관련 산업에 적용시키고 있으며, 인체

측정자료의 수집 또한, 나라별, 성별, 연령별, 직업별 등으로 다양하게 구성되어 있다. 우리나라에서는 국가기술표준원이 1979년부터 한국인 인체치수 측정사업을 진행해 오고 있으며, 최신 6차 인체치수 조사는 139개의 직접측정 항목과 177개의 3차원 영상측정 항목을 포함하고 있다 [2].

전통적인 인체치수 조사는 정적인 자세에서 계측자를 사용하여 인체측정자료의 대상이 되는 신체

*Corresponding Author : Dept. of Occupational Therapy, Jungwon University(jhchang@jwu.ac.kr)
 Received October 17, 2016 Revised October 26, 2016 Accepted October 28, 2016

부위의 길이, 너비, 두께 및 둘레를 측정하는 직접 측정법을 사용한다. 직접측정법은 측정 결과를 즉각적으로 얻을 수 있고 숙련된 측정자의 내적 신뢰도가 높다는 장점을 가지고 있으나, 측정 항목의 다과에 따른 측정 시간의 누적과 측정자간 신뢰도를 담보할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이러한 직접측정법의 단점을 보완하기 위하여 사진측정법, 3차원 스캐너 측정법 등 다양한 간접측정법이 개발되어 사용되고 있다 [3]. 이중 3차원 스캐너 측정법은 비교적 빠르고 정확한 측정이 가능하고, 측정자간 신뢰도를 우려할 필요가 없으며, 원본 자료의 보관이 용이하다는 등의 장점을 가지고 있으나, 장비의 높은 가격과 이동성의 제한과 같은 단점을 가지고 있다.

사진 자료를 이용한 사진측량학(Photogrammetry) 기법은 항공사진으로부터 항공사진을 사용한 지형도 제작을 시작으로 다양한 분야에 적용되며 발전되어 왔다. 사진측량학은 비접촉식 3차원 기하정보 추출 방법으로 일련의 사진으로부터 유의미한 3차원 기하정보를 효율적으로 추출한다 [4]. 2차원 사진을 이용하는 사진측정법은 전통적인 직접측정법을 대체할 수 있을 정도로 인체측정자료의 정확성과 정밀성이 높은 것으로 나타났으나 [5], 2차원 사진의 한계로 인해 적용범위가 매우 제한적이라는 단점을 가지고 있다.

손 부위의 인체 측정치는 사용자들이 손으로 조작하는 제품의 설계에 필수적으로 반영되어야 하는 중요한 요소이다. 또한 손 부위의 3차원 기하정보는 외과적 수술에도 적용요구가 높으며, 이를 위해 3차원 스캐너 측정법이 개발되기도 했다 [6].

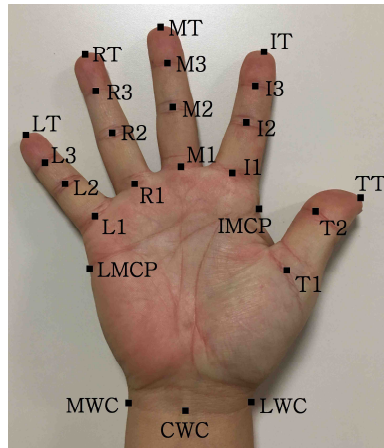
현재 사용되어지는 제품들은 손 조작에 의존하고 있다. 간편하고, 정확하며, 이동성을 갖춘 인체치수자료의 측정장치는 이들 제품의 설계에 획기적인 편리성과 안정성을 부여할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 일련의 2차원 사진 자료로부터 3차원 기하정보를 추출하는 기법인 사진측량 기법을 이용하여 시뮬레이션 환경에서 손 모델의 인체측정정보를 추출하는 측정법을 제시하고자 한다. 이를 통해 손 부위 치수 측정에 신뢰성과 편의성을

도모하고 나아가 전신 인체치수의 측정에 기여하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 손 측정 항목

손의 각 부위 길이와 관련된 측정 항목은 데이터베이스—이 종류에 따라 다양하다. 우리나라 인체치수 데이터베이스인 사이즈코리아 (<http://sizekorea.kr/>) 에 수록된 2010년 6차 자료에 포함된 손의 각 부위 길이와 관련된 항목은 “손길이”, “검지길이”, “중지길이”, “약지길이”, “새끼손가락길이”, “엄지_손목길이”, “엄지길이_손등쪽”, “엄지_검지사이길이”의 총 8가지이다. 본 연구에서는 이들 중 “엄지길이_손등쪽”과 “엄지_검지사이길이”를 제외한 여섯 항목에 대해 측정하였다. 또한 각 손가락의 마디를 구분하여 각 손가락의 마디 길이에 대해 측정하였다. 이상의 길이 항목들은 신체의 장축 방향에 대한 측정항목이므로 혹시 발생할지 모르는 단축방향에 대한 측정항목으로 “손목너비”와 “손너비”를 측정하였다. 이들 측정 항목에 대한 기준점과 정의는 각각 그림 1 및 표 1과 같다.



[그림 1] 손 부위 측정 기준점
[Fig. 1] Landmarks of hand segment measurement

[표 1] 손 부위 측정 항목
[Table 1] Definition of measured segment in hand

No.	Name	Length
1	Thumb proximal phalange (TPP)	T1-T2
2	Thumb distal phalange length (TDP)	T2-TT
3	Index Finger proximal phalange (IPP)	I1-I2
4	Index Finger middle phalange (IMP)	I2-I3
5	Index Finger distal phalange (IDP)	I3-IT
6	Middle Finger proximal phalange (MPP)	M1-M2
7	Middle Finger middle phalange (MMP)	M2-M3
8	Middle Finger distal phalange (MDP)	M3-MT
9	Ring Finger proximal phalange (RPP)	R1-R2
10	Ring Finger middle phalange (RMP)	R2-R3
11	Ring Finger distal phalange (RDP)	R3-RT
12	Little Finger proximal phalange (LPP)	L1-L2
13	Little Finger middle phalange (LMP)	L2-L3
14	Little Finger distal phalange (LDP)	L3-LT
15	Thumb length (TL)	T1-TT
16	Index finger length (IL)	I1-IT
17	Middle finger length (ML)	M1-MT
18	Ring finger length (RL)	R1-RT
19	Little finger length (LL)	L1-LT
20	Hand length (HL)	CWC-MT
21	Thumb to wrist length (TWL)	LCW-TT
22	Wrsit breadth (WB)	MCW-LCW
23	Hand breadth (HB)	LMCP-IMCP

표 1에 나타난 손 측정 항목의 직접측정 치수와 사진측량기법으로 도출된 간접측정 치수간의 비교를 위하여 돌발 변수의 가능성이 통제된 시물레이션 환경이 요구된다. 3차원 스캐너를 사용한 기존의 연구에서는 손의 석고본을 이용하여 직접측정과 간접측정을 비교하였다 [7]. 본 연구에서는 사



[그림 2] 손 부위 인체 치수 직/간접 측정용 시물레이터
[Fig. 2] Simulated subject for the comparison between direct/indirect measurements for hand anthropometry

람의 손과 외형적으로 유사한 정맥주사실습용 시물레이터(Life form Injection Training Arm, Nasco, US)를 사용하였다 (그림 2 참조).

2.2 측정 장비

2.2.1 직접 측정

손 측정 항목의 직접측정을 위해 디지털 캘리퍼 (MDC-300, Digitalindus Corp., Korea)를 사용하였다. MDC-300은 1/100mm까지 측정이 가능하며 미세한 조작을 위하여 드래그 유닛이 장착되어 있다. MDC-300 디지털 캘리퍼의 오차범위는 ±0.04mm로 일반적인 인체 치수 측정에 사용하기에 충분히 적절한 오차범위를 제공한다.

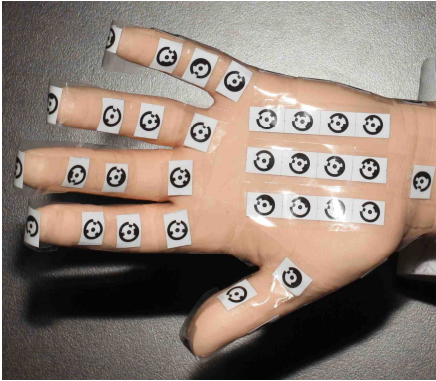
2.2.2 간접 측정

사진측량기법을 적용하기 위하여 일안반사식 디지털 카메라와 사진측량전용 소프트웨어를 사용하였다. 일안반사식 디지털카메라(EOS 5D Mark II, Canon, Japan)는 21.1메가픽셀(5,616×3,744)의 해상도를 갖는 풀 프레임 CMOS센서를 사용한다. 렌즈는 화면 외각에서 발생하는 왜곡을 최소화하기 위해 사람의 시야와 가장 유사한 50mm 단렌즈(EF 50mm f/1.4 USM, Canon, Japan)를 사용하였다. 사진측량전용 소프트웨어는 PhotoModeler Scanner(EOS Systems Inc., Canada)를 사용하였다. 그림 1에 표시된 측정기준점에는 PhotoModeler Scanner에서 제공되는 전용 마커를 부착하였다.

2.3 측정절차

손 측정 항목의 직접측정을 위해 숙련된 사용자가 디지털 캘리퍼를 이용하여 23개 손 측정항목을 3회씩 측정하여 평균값을 사용하였다. 사진측량기법의 적용을 위해 정맥주사실습용 시물레이터의 기준점위치에 전용 마커를 부착하였다 (그림 3). 사진측량기법은 다양한 각도에서 동일한 대상체를 촬영하였을 때 동일한 점의 2차원 좌표값을 비교하여 3차원 좌표값을 추출해 낸다. 이 때 각 사진 자료간의 각도와 비교하는 점들의 개수에 따라 결

과 값의 오차가 줄어들게 된다. 이러한 이유로 실제 측정 기준점 외에 손바닥 부위에 마커를 추가로 부착하였다. 또한 배경에도 별도의 마커를 부착하였다.



[그림 3] 손 부위 측정 기준점에 부착된 마커
 [Fig. 3] Simulated subject with RAD markers attached on landmarks in hand

사진 촬영은 사진 사이의 수평각도가 30-45° 가 되도록 조절하였고 수직각도의 변화를 위해 두 단계의 높이에서 실시하였다. 얻어진 사진은 Photomodeler Scanner로 불러들여져, 반자동으로 마킹과 레퍼런싱 과정을 거쳐 각 기준점의 3차원 좌표값이 추출된다. 마킹 과정은 각 사진에 찍힌 전용 마커의 중심 위치와 고유번호를 인식하는 과정으로 간접 측정의 정확도를 결정하는 첫 번째 과정이다. 이를 위해 흔들림과 변점이 없는 사진의 획득이 필수적이다. 본 연구에서 깊은 피사계 심도를 얻기 위해 렌즈의 조리개 개방값을 가능한 크게 하였다. 또한 흔들림에 의한 노이즈를 방지하기 위해 셔터 속도도 가능한 빠르게 조절하였다. 레퍼런싱 과정은 각 사진에 찍힌 동일한 마커를 연결시켜 사진과 사진, 대상 점의 3차원 좌표 정보를 추출하는 과정이다. 이 과정들을 통해 각 기준점의 3차원 좌표 정보와 이로부터 각 세그먼트의 길이 정보를 간접 측정하게 된다. 사진측량기법에 사용된 사진은 총 25장이다.

3. 연구 결과

본 연구에 사용된 25장의 이미지의 정밀도는 표 2와 같다. 최소제곱오차(RMS Residual)는 8번 이미지에서 가장 크게 나타났다(2.01 픽셀). 25장의 이미지 중 13장의 이미지에서 1픽셀 미만의 오차가 발생하였다. 오차의 평균은 1.03픽셀로, 이미지의 크기가 5616×3744 픽셀인 점을 감안했을 때, 전반적인 이미지의 정밀도는 매우 높은 수준이라 할 수 있다.

[표 2] 사진측량법에 사용된 디지털 이미지의 정밀도 (단위: 픽셀)

[Table 2] Precision of images used for simulated indirect measurement (Unit: Pixel)

Image No.	Residual		Image No.	Residual	
	Max	RMS		Max	RMS
1	1.47	0.71	14	2.17	0.97
2	1.46	0.80	15	3.07	1.73
3	2.30	1.04	16	2.49	1.24
4	1.50	0.66	17	2.07	0.96
5	3.65	1.64	18	1.73	0.69
6	1.42	0.58	19	2.34	0.77
7	3.28	1.51	20	2.65	1.3
8	4.26	2.01	21	2.95	1.04
9	2.39	1.04	22	1.72	0.59
10	4.37	1.64	23	3.82	0.87
11	1.16	0.48	Mean	2.42	1.03
12	1.47	0.64	SD	0.95	0.42
13	1.93	0.82	-	-	-

본 연구에서 사진측량법에 사용된 마커 점은 총 80개로, 이 중 24개는 손 세그먼트의 간접 측정을 위한 랜드마크에 사용되었다 (표 3). 최소제곱법에 의한 오차의 평균은 0.97픽셀이고 Tightness의 평균은 0.3mm이다. Tightness는 서로 다른 각도에서 포착된 한 마커가 상호간에 얼마나 일치하는 지를 알려주는 척도로서 매우 높은 일치도를 보인다고 할 수 있다. 나머지 56개의 마커는 사진측량법의 오차를 낮추기 위한 보조 마커이다. 레퍼런싱 과정을 위해 사용된 56개 부수점의 정밀도는 표 4와 같다.

[표 3] 랜드마크 점의 정밀도 (오차 단위: 픽셀, 타이트니스 단위: mm)

[Table 3] Precision of landmarks used for simulated indirect measurement (Residual unit: pixel, tightness unit: mm)

Land-mark	RMS Residual	P			Tightness
		X	Y	Z	
LWC	0.66	0.06	0.05	0.05	0.14
CWC	1.05	0.04	0.04	0.04	0.43
MWC	2.03	0.04	0.06	0.04	0.54
IMCP	0.53	0.07	0.07	0.06	0.15
LMCP	1.34	0.04	0.06	0.04	0.41
T1	0.66	0.04	0.04	0.05	0.21
T2	1.31	0.05	0.05	0.06	0.42
TT	0.68	0.09	0.08	0.07	0.12
I1	0.84	0.04	0.03	0.04	0.31
I2	1.00	0.04	0.03	0.04	0.31
I3	1.15	0.05	0.04	0.04	0.41
IT	1.26	0.04	0.04	0.04	0.45
M1	0.61	0.04	0.03	0.03	0.19
M2	0.76	0.04	0.04	0.04	0.25
M3	1.10	0.05	0.04	0.05	0.41
MT	1.14	0.05	0.04	0.04	0.28
R1	0.52	0.04	0.03	0.04	0.16
R2	0.63	0.04	0.04	0.04	0.20
R3	1.23	0.04	0.04	0.04	0.44
RT	0.89	0.07	0.05	0.05	0.24
L1	0.63	0.04	0.03	0.04	0.23
L2	0.89	0.04	0.03	0.04	0.33
L3	0.89	0.04	0.04	0.04	0.29
LT	1.46	0.05	0.05	0.04	0.30
Mean	0.97	0.05	0.04	0.04	0.3
SD	0.36	0.01	0.01	0.01	0.12

직접측정과 간접측정에 의한 치수 비교는 표 5와 같다. 각각의 항목에 대해 두 측정치 간의 차이는 최소 0.01mm에서 최대 0.95mm이며, 평균 0.29mm로 매우 낮은 편이다. 상대 오차는 최소 0.04%에서 최대 2.87%로 나타났으며, 상대오차의 평균은 0.84%로 역시 매우 낮음을 알 수 있다.

[표 4] 부수점의 정밀도 (오차 단위: 픽셀, 타이트니스 단위: mm)

[Table 4] Precision of additional markers used for referencing (Residual unit: pixel, tightness unit: mm)

No	RMS Residual	Precision			Tightness
		X	Y	X	
1	2.10	0.03	0.04	0.04	0.68
2	2.03	0.03	0.04	0.04	0.74
3	1.56	0.03	0.03	0.04	0.64
4	1.18	0.04	0.04	0.04	0.53

5	1.02	0.03	0.03	0.04	0.44
6	0.83	0.03	0.04	0.04	0.37
7	0.82	0.03	0.04	0.04	0.32
8	0.87	0.03	0.03	0.04	0.28
9	0.89	0.04	0.04	0.04	0.30
10	1.18	0.03	0.03	0.03	0.43
11	1.29	0.03	0.03	0.03	0.47
12	1.67	0.03	0.03	0.03	0.55
13	0.95	0.04	0.04	0.04	0.40
14	0.59	0.04	0.04	0.04	0.21
15	0.63	0.04	0.04	0.04	0.24
16	0.56	0.04	0.03	0.04	0.21
17	0.38	0.06	0.07	0.05	0.07
18	1.73	0.04	0.06	0.04	0.46
19	1.55	0.04	0.06	0.04	0.45
20	0.46	0.07	0.09	0.06	0.12
21	0.95	0.05	0.07	0.05	0.22
22	0.54	0.06	0.06	0.05	0.14
23	0.64	0.09	0.08	0.06	0.15
24	1.69	0.04	0.04	0.04	0.55
25	1.13	0.05	0.04	0.05	0.45
26	0.92	0.04	0.03	0.04	0.37
27	0.86	0.04	0.04	0.04	0.27
28	0.73	0.04	0.04	0.05	0.32
29	0.79	0.04	0.04	0.05	0.38
30	1.42	0.04	0.04	0.04	0.64
31	1.30	0.04	0.03	0.04	0.58
32	1.49	0.04	0.04	0.05	0.68
33	1.94	0.05	0.04	0.05	0.80
34	1.30	0.04	0.04	0.05	0.61
35	1.53	0.05	0.04	0.05	0.66
36	0.81	0.03	0.03	0.03	0.37
37	0.66	0.04	0.03	0.04	0.29
38	0.57	0.04	0.03	0.04	0.23
39	0.54	0.04	0.03	0.04	0.19
40	0.78	0.03	0.03	0.03	0.32
41	0.61	0.04	0.03	0.04	0.26
42	0.43	0.04	0.03	0.04	0.18
43	0.40	0.04	0.03	0.04	0.13
44	0.66	0.07	0.08	0.06	0.18
45	1.58	0.04	0.03	0.04	0.51
46	1.13	0.04	0.03	0.04	0.38
47	0.92	0.04	0.03	0.04	0.31
48	0.95	0.03	0.03	0.03	0.34
49	0.80	0.03	0.03	0.03	0.31
50	0.71	0.03	0.03	0.04	0.27
51	0.71	0.03	0.03	0.03	0.29
52	0.72	0.04	0.03	0.04	0.26
53	0.87	0.03	0.03	0.03	0.33
54	1.01	0.03	0.03	0.03	0.34
55	1.24	0.03	0.03	0.03	0.34
56	1.55	0.03	0.03	0.03	0.64
Mean	1.02	0.04	0.04	0.04	0.38
SD	0.44	0.01	0.01	0.01	0.17

[표 5] 손 측정 항목의 직/간접측정 결과 비교
 [Table 5] Comparison of hand segment dimensions between direct and indirect measurements

Segment.	Direct (mm)	Indirect (mm)	Residual (mm)	Residual (%)
TPP	24.98	24.99	0.01	0.04
TDP	33.42	33.32	0.10	0.30
IPP	21.63	21.29	0.34	1.57
IMP	17.05	16.56	0.49	2.87
IDP	27.13	26.91	0.22	0.81
MPP	28.81	28.67	0.14	0.49
MMP	18.88	19.27	0.39	2.07
MDP	25.56	25.87	0.31	1.21
RPP	24.36	23.83	0.53	2.18
RMP	18.13	18.05	0.08	0.44
RDP	27.49	27.48	0.01	0.04
LPP	16.00	15.80	0.20	1.25
LMP	15.84	15.86	0.02	0.13
LDP	26.00	26.40	0.40	1.54
TL	55.97	55.90	0.07	0.13
IL	64.62	64.46	0.16	0.25
ML	73.03	72.90	0.13	0.18
RL	69.66	69.08	0.58	0.83
LL	57.79	57.84	0.05	0.09
HL	177.94	177.56	0.38	0.21
TWL	106.22	106.03	0.19	0.18
WB	66.01	67.01	1.00	1.51
HB	85.60	86.55	0.95	1.11
M	-	-	0.29	0.84
SD	-	-	0.27	0.81

4. 고찰 및 결론

본 연구는 손 측정 항목들에 대해 사진측량 기법을 이용하여 측정하였다. 손 측정 항목에 대한 간접 측정의 오차를 줄이기 위하여, 사람의 손과 외형적으로 유사한 정맥주사실습용 시뮬레이터를 대상으로 사진측량기법을 실시하였다. 이를 통해 사진 촬영 중에 발생 가능한 손의 움직임을 원천적으로 제하하였다. 또한 실측과정에서 발생할 수 있는 피부 연부 조직의 변형 가능성을 방지하였다.

사진측량기법에 사용된 25장의 이미지에 대한 최소제곱오차는 최대 2.01픽셀, 최소 0.48픽셀이었으며 최소제곱오차의 평균은 1.03픽셀이었다. 사진 중심부의 좌우 실측길이가 최대 1000mm를 초과하지 않도록 사진을 찍었으며, 사용된 카메라의 해상

도가 5,616×3,744임을 감안할 때, 사진 중심부에서 1픽셀은 실측 치수 약 0.178mm에 추정된다. 사용된 사진에서 최소제곱오차를 실측치로 추정했을 때 최댓값은 약 0.36mm이고 평균값은 0.183mm이다. 사람의 손을 측정자로 실측할 경우 손의 움직임 및 측정자 적용 시 발생할 수 있는 피부 연부 조직의 변형 등에 의한 오차에 비해 매우 작다고 할 수 있다.

이러한 경향은 사진측정기법이 적용된 80개(24개의 측정 기준점 및 56개의 보조 측정점)의 마커에 대한 오차 분석에서도 확인되어 진다. 80개의 마커 위치에 대한 최소제곱오차의 최대, 최소, 평균은 각각 2.10픽셀, 0.38픽셀, 1.01픽셀로 나타났다. 이들 최소제곱오차에 대한 실측 추정치는 각각 0.374mm, 0.068mm, 0.180mm로 추정되며, 역시 실측 시 발생할 수 있는 오차에 비해 매우 작다고 할 수 있다.

사진측량법에 의한 간접측정치와 측정자에 의한 직접측정치를 비교한 결과, 각 측정 항목에 대한 오차의 크기도 낮은 수준을 보이는 것으로 나타났다. 직접측정과 간접측정간의 절대오차는 최대 1.00mm 평균 0.29mm로 나타났다. 절대오차가 상대적으로 높은 항목은 “손너비”와 “손목너비” 항목으로 각각 0.95mm와 1.00mm로 나타났다. 이는 이 두 측정 항목이 다른 측정 항목들과 달리 측정자의 양 끝단을 한 눈으로 측정할 수 없어서 나타난 실측 오차로 판단된다. 이 두 항목을 제외한 나머지 21항목에 대한 절대오차의 평균은 0.23mm(SD 0.18)로 낮은 수준을 유지하는 것으로 나타난다.

본 연구에서는 총 23종의 손 측정 항목에 대해 측정자를 이용한 직접측정 결과와 사진측량기법에 의한 간접측정 결과를 비교하였다. 각 항목에 대한 직/간접 측정치 사이의 오차는 매우 작은 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 통해 인체 측정 자료의 확보 과정에서 사진측정법의 사용 가능성을 확인하였다. 사진측정법의 활용을 통해 직접측정법의 단점인 측정자간 오차 발생 가능성을 줄일 수 있으며, 측정 시간의 단축 효과와 더불어 디지털 원천 자료의 영구적 보존 또한 가능

할 것으로 판단된다. 또한 3D 스캐너의 단점인 고 비용 및 이동성에 대해서도 개선 효과를 가질 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 고정된 측정 대상에 대한 직/간접 측정 비교를 실시하였다. 추 후 본 연구의 인체 적용을 위해 피검사자의 손 움직임 제한할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] S. Phesant & C. M. Haslegrave, *Bodyspace* 3rd Ed., 7, Taylor & Francis, 2006.
- [2] Size Korea, Size Korea Website, Retrieved Sep 2016 from <http://sizekorea.kr/>, 2010.
- [3] W. Kim, Y. J. Nam, M. H. Kim, "Development of the Photogrammetric Method of Head through 3-Dimensional Approach", *J. of Ergonomic Society of Korea*, Vol. 24, No. 4, pp. 7-13, Nov. 2005.
- [4] J. H. Chang, F. A. Fathallah, W. Pickett, B. Marlenga, B. J. Miller, "Limitations in Fields of Vision for Simulated Young Farm Tractor Operators", *Ergonomics*, Vol. 53, No. 6, pp. 758-766, Jun 2010.
- [5] P. Meunier, S. Yin, "Performance of a 2D image-based anthropometric measurement and clothing sizing system", *Applied Ergonomics*, Vol. 31, No. 5, pp. 445-451, Oct 2000.
- [6] I. A. Hoevenaren, T. J. J. Maal, E. Krikken, A. F. J. de Haan, S. J. Berge, D. J. O. Ulrich, "Development of a three-dimensional hand model using 3D stereophotogrammetry: Evaluation of landmark reproducibility", *J. of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, Vol. 68, No. 5, pp. 709-716, May 2015.
- [7] W. Lee, S. Yoon, H. You, "Development of a 3D semi-automatic measurement protocol

for hand anthropometry measurement", *IE Interfaces*, Vol. 24, No. 2, pp. 105-111, Jun 2011.

저자약력

장 지 홍(Ji Hong Chang)

[중심회원]



<관심분야>
작업생체역학, 재활공학

- 2007년 2월 : University of California, Davis (박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 중원대학교 교수