

대규모 인체치수조사 사업에서 3차원 측정치와 직접측정치의 차이 분석 -제8차 사이즈코리아 사업을 중심으로-

박 선 미[†]

건국대학교 패션디자인학과

A Comprehensive Analysis of 3D Body Scanning vs. Manual Measurements in a Large-Scale Anthropometric Survey -Insights from the 8th Size Korea Project-

Sunmi Park[†]

Dept. of Fashion Design, Konkuk University

Received August 23, 2023; Revised (October 1, 2023; November 7, 2023); Accepted November 23, 2023

Abstract

This study analyzed differences between three-dimensional (3D) body scanning and manual measurements, aiming to assess whether 3D scanning can replace traditional anthropometric tools, such as tape measures and calipers. Data from 4,478 participants in the 8th Size Korea Project were analyzed, covering 43 measurement items. Since Given that the 3D and manual measurements were performed on the same subjects in the 8th Size Korea Project, it was possible to determine the correlation more accurately between the two measurement methods more accurately. Using Applying ISO 20685-1(2018) standards, 15 out of the 43 items fell within allowable error limits. When classified into six types, “small circumferences” and “segment lengths” showed averages of 3.35 mm and 3.10 mm, respectively, within acceptable range. “Body heights” and “body depths” slightly exceeded the limit, with averages of 5.28 mm and 6.58 mm. “Body widths” and “large circumferences” surpassed the limit, with means of 16.77 mm and 16.18 mm. The study offers an objective basis to for validate validating 3D measurements' measurements' reliability and accuracy, addressing various industries' needs for information on the human body's dimensions information.

Key words: Maximum allowable error, 3D body scan measurements, Manual measurements, Anthropometric survey, Size Korea; 최대 허용오차, 3차원 측정치, 직접측정치, 인체치수조사사업, 한국인 인체치수조사사업

I. 서 론

인체측정 자료는 사용자 중심의 접근 방식을 강화하며, 제품의 품질, 효율성, 만족도를 향상하기 때문에

의류, 자동차, 엔지니어링 및 의료 분야 등 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 특히, 전 세계적으로 국제 무역이 활발해짐에 따라 자국산 제품의 경쟁력을 강화하고 글로벌 시장에서의 경쟁력을 확보하기 위해 각국에서는 자국민을 대상으로 하는 대규모 인체측정 자료를 확보하기 위해서 노력해왔다(Anand & Tiwari,

[†]Corresponding author

E-mail: sunmipark@kku.ac.kr

2022; Kim et al., 2017; Nadadur & Parkinson, 2013). 인체측정 자료는 줄자나 캘리퍼와 같은 전통적인 인체 측정기기를 비롯하여 다양한 도구를 사용하여 수집할 수 있다. 최근에는 3차원 인체 스캐너를 활용한 대규모 인체측정 조사 사업이 전 세계적으로 활발하게 이루어지고 있다(Anand & Tiwari, 2022; Han et al., 2010; Lu & Wang, 2010). 우리나라는 2003~2004년 제5차 사이즈코리아 사업에서 처음으로 3차원 인체측정을 시행하였으며, 제6차 사업에 이어 제8차에 이르기까지 총 세 차례의 대규모 3차원 인체측정 사업을 시행하였다(Size Korea, 2021).

3차원 스캐너로부터 얻어진 초기의 인체 스캔 데이터는 3차원 좌표치를 가진 수많은 포인트 클라우드로 구성되어 있으며, 둘레, 길이와 같은 1차원 치수 데이터뿐만 아니라 3차원 형상, 곡률, 부피, 면적 등 다양한 형태의 데이터를 제공하여 준다. 따라서 의류산업을 비롯하여 헬스케어, 엔터테인먼트 및 가상 현실 등 최첨단 산업에서 그 필요성이 확인되고 있다(Ben Azouz et al., 2006; Istook & Hwang, 2001; Park & Koo, 2018). 그러나, 오랜 기간 동안 직접측정치를 기반으로 형성된 산업체의 생산 시스템에 바로 3차원 측정치를 적용하기에는 여러 가지 어려운 점이 있다. 그중 한 가지는 구조적으로 발생할 수밖에 없는 3차원과 직접측정치의 차이이다. 여전히 1차원 자료를 사용하고자 하는 산업계의 수요가 존재하기 때문에, 기존 산업체 생산 시스템과의 호환성을 고려하는 것이 필요하다. 따라서, 3차원 스캐닝으로부터 수집된 길이나 둘레와 같은 1차원 측정값이 직접측정치를 대체할 만한 신뢰성을 확보하고 있는지를 확인하는 것이 중요한 관건이다.

제8차 사이즈코리아 사업은 동일한 피측정자를 대상으로 직접측정과 3차원 측정이 동시에 이루어졌기 때문에, 3차원과 직접측정의 치수 차이에 대한 보다 신뢰성 높은 검증이 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 제8차 사이즈코리아 사업의 측정자료를 대상으로 3차원과 직접측정치 간의 차이를 분석하고, 그 원인을 밝힘으로써, 3차원 측정의 신뢰성과 활용 가능성을 확인하고자 한다. 이를 통해, 3차원 측정의 신뢰성과 정확성을 확인할 수 있는 객관적인 근거를 제시할 수 있고, 각 산업 분야에서 필요로 하는 다양한 인체 치수 정보에 대한 수요를 충족시킬 수 있을 것이라 기대한다. 또한, 사이즈코리아 3차원 자료의 특성과 올바른 활용에 대한 정보를 제공함으로써, 작업공간, 유니폼 및 신체에 꼭 맞는 보호구 설계 등 다양한 산업 분야에서 해

당 데이터의 활용을 더욱 촉진할 수 있을 것으로 기대한다.

II. 이론적 배경

1. 대규모 인체측정 사업에서 수집된 자료의 측정오차

대규모 인체측정 사업에서 수집된 인체치수 자료의 오차 분석은 일반적으로 데이터 수집이 완료된 후에 수행된다. 이는 사용자에게 데이터 사용에 대한 오차의 영향을 판단하는 데 필요한 정보를 제공해 주기 위해서이다.

인체측정 오차 분석에는 여러 가지 분석 방법과 접근 방식이 있는데, 인체측정 오차에 관한 문헌 검토에 따르면 평균의 차이(Branson et al., 1982; Lu & Wang, 2010; Park & Nam, 2016), 기술적 오차 및 상대적 오차(Branson et al., 1982; Cameron, 2022; Hotzman et al., 2011; Johnston & Mack, 1985; Utermohle & Zegura, 1982; Whang et al., 2002), 분산분석(Bennett & Osborne, 1986; Chung et al., 2019; Jamison & Zegura, 1974; Utermohle & Zegura, 1982), 상관계수(Branson et al., 1982; Jamison & Zegura, 1974; Kemper & Pieters, 1974), 대응표본 t -검정(Albrecht, 1983; Utermohle & Zegura, 1982) 등의 통계 분석 방법이 사용된 것을 확인할 수 있다. 어떤 통계 분석 방법을 선택하느냐에 따라 결과나 해석이 달라질 수 있으므로, 연구자는 데이터의 특성과 연구의 목적에 따라 적절한 통계 분석방법을 선택해야 할 것이다.

2. 3차원 인체측정과 직접측정 간의 비교 연구

Kouchi and Mochimaru(2011)는 전통적인 인체측정법과 3차원 인체측정법에서 발생할 수 있는 오차의 원인을 측정도구와 피험자로 나누어 설명하고 있다. 직접측정은 피험자의 호흡, 피하 조직의 눌림, 정확한 수평 및 수직 정렬 유지의 어려움 등의 문제로 인해 실제 값보다 작게 측정되는 경향이 있지만, 3차원 측정은 측정 정의에 기반한 알고리즘으로 스캔 데이터 형상의 표면을 측정하므로 직접측정과 치수의 차이가 발생할 수 있다. 머리 정수리, 겨드랑, 살 부위 등 스캐너의 카메라가 닿지 않는 숨겨진 영역은 스캔에서 측정이 되지 않으므로 이러한 영역에 대한 측정 알고리

음을 어떻게 설계하느냐에 따라 오차의 크기가 달라질 수 있다. 한편, 직접측정은 오류 및 오차가 발견된다고 하더라도 측정이 종료된 이후에는 재측정이 불가능하여 데이터의 수정 보완이 어렵다는 단점이 있으며, 3차원 측정은 측정이 종료된 이후에도 저장된 형상 정보를 사용하여 동일 부위의 재측정 및 새로운 치수를 탐색하고 획득할 수 있다는 장점이 있다(KATS, 2020-2021). 이러한 장점 때문에 최근 대규모 인체측정 사업에서는 직접측정과 3차원 측정을 병행하여 실시하거나, 혹은 직접측정 대신 3차원 측정만 시행하는 경우가 점차 늘어나고 있다(Anand & Tiwari, 2022).

그동안 학계에서는 3차원과 직접측정치 차이와 원인을 밝히고자 하는 여러 연구가 수행되어왔다(Bougourd et al., 2000; Daniell, 2008; Han et al., 2010; Paquette et al., 2000; Robinette & Daanen, 2006; Sims et al., 2012; Weinberg et al., 2006; Weinberg et al., 2004; Wong et al., 2008). 그러나, 선행연구는 특정 연령대나 소규모 집단을 대상으로 하거나, 사람이 아니라 더미나 인공물을 대상으로 하는 등 다양한 조건에서 수행되어왔기 때문에 연구마다 치수의 차이가 조금씩 다르다.

Han & Nam(2009)은 제5차 사이즈코리아 사업의 20~75세 성인 남녀 1794명을 대상으로 3차원과 직접측정 간의 치수의 차이를 비교하였다. 14개 항목에 대해 성별에 따른 차이를 비교한 결과, 목뒤높이, 젓가슴둘레, 엉덩이둘레, 팔길이, 어깨가쪽사이길이를 제외한 모든 항목에서 남녀 간의 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. Chung et al.(2019)은 제6차 사이즈코리아 사업의 70~85세 고령 여성 450명을 대상으로 3차원과 직접측정 간의 치수의 차이를 비교하였다. 33개 항목에 대해 대응표본 *t*-검정을 실시한 결과, 33개의

항목 중 겨드랑높이, 허리높이, 가쪽복사높이, 목둘레의 4개 항목을 제외한 29개 항목에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. ISO 20685-1(2018)에서 제시하는 허용평균오차와 비교한 결과, 33개 항목 중 30개의 항목이 기준을 초과하였으며, BMI에 따른 집단 간 측정치 차이를 분석한 결과, BMI가 높을수록 둘레항목에 대한 측정치의 차이도 벌어지는 것으로 나타났다. 그러나, 이처럼 대규모 인체측정 자료를 대상으로 하였다 하더라도, 직접측정과 3차원 측정이 동일인을 대상으로 수집된 자료가 아니라면, 두 측정치 간의 차이를 정확하게 비교하기가 어려울 수 있다. 실제로, 제5차와 제6차 사이즈코리아 사업에서는 직접측정과 3차원 측정이 서로 다른 피험자를 대상으로 수집되었기 때문에, 두 측정치 간의 차이 비교와 다양한 산업계의 요구에 부응하기 어려운 측면이 있다. 2020~2021년에 실시된 제8차 사이즈코리아 사업은 처음으로 3차원 측정과 직접측정이 동일인을 대상으로 이루어졌기 때문에, 두 측정방법의 상관성을 보다 정밀하게 파악하는 것이 가능하다(KATS, 2020-2021).

III. 연구방법

1. 연구대상 및 측정항목

본 연구는 3차원과 직접측정이 동일한 피험자를 대상으로 실시된 제8차 사이즈코리아 사업의 성인 남녀 4,478명(20대~60대)을 연구대상으로 하였다. 데이터가 누락된 경우, 측정 경로에 오류가 발생한 경우 등을 제외하고 3차원과 직접측정의 공통항목 43개를 추출하고 이를 분석에 사용하였다(Table 1).

Table 1. Body measurements

Measurement type	Body measurements	Definition of Size Korea
Body H.	Stature	Vertical distance from the highest point of the head in the median line to the ground
	Cervicale H.	Vertical distance from the cervicale point to the ground
	Acromion H.	Vertical distance from the acromion point to the ground
	Axilla H.	Vertical distance from the axilla point to the ground
	Waist H.	Vertical distance from the waist level to the ground
	Crotch H.	Vertical distance from the crotch point to the ground
	Lateral Malleolus H.	Vertical distance from the outer ankle point to the ground
	Elbow H.(Elbow-Bent)	Vertical distance from the bottom olecranon point to the ground
	Sitting H.	Vertical distance from the highest point to the sitting floor

Table 1. Continued I

Measurement type	Body measurements	Definition of Size Korea
Body B.	Chest B.	Horizontal distance between the left and right sides of the torso at the armpit level
	Waist B.	Horizontal distance between the left and right sides of the torso at the waist level
	Hip B.	Horizontal distance between the left and right sides of the torso at the buttock protrusion level
	Inferior Leg B.	Horizontal distance between the right leg at the level of the inferior leg
Body D.	Armseye D.	Horizontal depth between the back and front armseye fold points
	Chest D.	Horizontal depth between the left and right sides of the torso at the armpit level
	Waist D.	Horizontal depth between torso left and right at waist level
	Abdominal Extension D., Sitting	Horizontal depth between torso left and right at abdominal protrusion level(sitting)
	Buttock-Abdomen D., Sitting	Horizontal depth from the vertical plate to the abdominal protrusion level(sitting)
Small C.	Neck C.	Circumference passing through the point just below the inferior thyroid
	Neck Base C.	Circumference passing through the right side neck point, back of the neck point, left side neck point, and front neck point
	Armseye C.	Circumference passing through the acromion and the axillary point
	Upper-Arm C.	Circumference of the arm while it hangs naturally, passing through the axillary point and perpendicular to the axis of the arm
	Elbow C.	Circumference with the arm naturally hanging down, passing through the center olecranon, perpendicular to the axis of the arm
	Wrist C.	Circumference passing through the radial styloid, perpendicular to the axis of the arm
	Thigh C.	Horizontal circumference of the right leg at the level of the gluteal fold
	Knee C.	Horizontal circumference of the right leg at the level of the midpatella
Large C.	Calf C.	Horizontal circumference of the right leg at the level of the calf protrusion
	Chest C.	Horizontal circumference of the torso at the axilla level
	Bust C.	Horizontal circumference of the torso at the bust points level
	Underbust C.(women)	Horizontal circumference of the torso at the under bust level
	Waist C.	Horizontal circumference of the torso at the waist level
	Waist C.(Omphalion)	Horizontal circumference of the torso at the omphalion level
Segment L.	Hip C.	Horizontal circumference of the torso at the buttock protrusion level
	Back-Neck Base L.	Length passing through the right neck point, back of the neck point, and left neck point
	S.N.P. to Back Waist Level	Vertical body length from the side neck point to the back waist level
	S.N.P. to Bust Point	Length passing through the side neck point to the bust point
	Total Crotch L.	Length from the centre of the waist level at the front of the body, through the crotch to the centre of the back waist level
	B.N.P. to Acromion L.	Length passing through the back neck point to the acromion
	Across Back Shoulder L.	Length from the left shoulder point, passing through the back of the neck, to the right shoulder point
	Upperarm L.	Length from the shoulder point to the radiale
	Arm L.	Length from the shoulder point, passing through the radiale, to the ulnar styloid
	Forearm-Fingertip L., Elbow-Bent	Horizontal distance from the rear olecranon of the bent arm to the fingertip point
Elbow-Grip L., Elbow-Bent	Horizontal distance from the rear olecranon of the bent arm to the axis of the stick held in the hand	

H.: Height, B.: Breadth, D.: Depth, C.: Circumference, L.: Length, T.: Thickness, S.N.P.: Side Neck Point, B.N.P.: Back Neck Point

2. 분석방법

1) 3차원과 직접측정치의 측정항목별 차이 분석

ISO 20685-1(2018)에서는 3차원 인체스캐너로부터 추출된 인체측정값이 기존의 줄자나 캘리퍼로 측정된 직접측정치 만큼의 신뢰성을 확보하기 위해서는 다음과 같은 검증 절차를 만족해야 한다고 제안하고 있다.

인체측정 사업에서 자료수집이 완료되면 3차원과 직접측정 값의 차이 δ ($\delta=3$ 차원 측정치-직접측정치)를 각 측정항목 및 피험자에 대해 계산하고, 이 차이에 대한 평균, 표준 편차, 샘플의 크기 및 95% 신뢰 구간을 계산한다. 95% 신뢰 구간의 하한 및 상한은 공식 (1) 및 (2)로 계산할 수 있다.

The lower limit of the 95% confidence interval

$$x^- - \left(s \cdot \frac{1.96}{\sqrt{N}} \right) \quad \dots \text{Eq. 1.}$$

The upper limit of the 95% confidence interval

$$x^- + \left(s \cdot \frac{1.96}{\sqrt{N}} \right) \quad \dots \text{Eq. 2.}$$

Where,

- x^- is the mean;
- s is the standard deviation;
- N is the number of subjects.

ISO 20685-1(2018)에서는 측정항목의 특성에 따라 오차의 크기와 범위가 달라지므로 특성이 유사한 측

정항목을 유형별로 나눠서 오차를 관리할 것을 제안하고 있다. <Table 2>는 ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 3차원과 직접측정치 간의 최대 허용오차이다. 3차원과 직접측정 값의 차이 평균에 대한 95% 신뢰 구간이 최대 허용오차 구간 내에 있는 경우, 3차원 측정값은 ISO 7250-1(2017)에 기반한 직접측정값과 충분히 유사한 결과를 제공한다고 말할 수 있다. 본 연구에서는 이에 근거하여 측정항목별로 3차원과 직접측정치 값의 차이 평균이 최대 허용오차 구간 내에 속하는지 분석하였다. 또한, 측정방법에 따른 측정값의 차이를 보기 위해 3차원과 직접측정의 43개 공통 항목에 대해 대응표본 t -검정을 실시하였다.

2) 3차원과 직접측정치의 성별에 따른 차이 분석

성별에 따른 측정값의 차이를 보기 위해 남, 녀로 집단을 나눈 후, 43개 항목에 대한 t -검정을 실시하였다. 자료 분석은 IBM SPSS 27.0 프로그램을 이용하여 통계 처리하였다.

3) 3차원과 직접측정치의 연령에 따른 차이 분석

연령에 따른 측정값의 차이를 보기 위해 연령별로 5개의 집단으로 나눈 후, 분산분석을 실시하였다. 사후검정은 Duncan test를 사용하였으며, 자료 분석은 IBM SPSS 27.0 프로그램을 이용하여 통계 처리하였다.

4) 3차원과 직접측정치의 BMI에 따른 차이 분석

BMI에 따른 측정값의 차이를 보기 위해 BMI 지수에 따라 6개의 집단으로 나눈 후, 분산분석을 실시하

Table 2. Maximum allowable error between extracted value and traditionally measured value (unit: mm)

Measurement type	Maximum mean difference
Segment lengths (e.g. buttock-popliteal length)	5
Body heights (e.g. shoulder height)	4
Large circumferences (e.g. chest circumference)	9
Small circumferences (e.g. neck circumference)	4
Body breadths (e.g. biacromial breadth)	4
Body depths (e.g. chest depth)	5
Head dimensions without hair	1
Head dimensions with hair	2
Hand dimensions	1
Foot dimensions	2

(ISO 20685-1, 2018)

였다. 사후검정은 Duncan test를 사용하였으며, 자료 분석은 IBM SPSS 27.0 프로그램을 이용하여 통계 처리하였다.

5) 측정항목 유형별 3차원과 직접측정치의 차이 분석
 측정항목의 유형별로 6개의 그룹으로 나눠서 각 유형별로 평균을 비롯하여, 허용오차 내에 포함되는 항목 및 허용오차를 벗어나는 항목들을 추출하였다.

IV. 결과 및 논의

1. 3차원과 직접측정치의 측정항목별 차이 분석 결과

ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 검증 절차에 따라, 3차원과 직접측정치 차이에 대한 평균, 표준편차, 샘플의 크기 및 95% 신뢰 구간을 계산하고, 측정항목별로 최대 허용오차 내에 포함되는지의 여부를 분석한 결과는 <Table 3>과 같다.

분석 결과, 겨드랑이높이와 가쪽복사높이 등 15개 항목이 허용오차 내에 포함되었으며, 허리둘레와 목옆젓꼭지길이의 경우에는, 95% 신뢰의 하한 구간에는 포함되었으나, 상한 구간을 벗어났기 때문에 최종적

으로 허용오차 내에 포함되지 못했다. ISO 20685-1 (2018)의 허용오차 기준을 충족하는 측정항목이 하나도 없었던 선행연구(Han et al., 2010; Lu & Wang, 2010; Tiwari & Anand, 2021)와 비교하면, 본 연구의 결과는 43개의 측정항목 중 15개 항목이 최대 허용오차 범위에 속하므로 높은 신뢰성을 보이는 것으로 파악된다. 3차원과 직접측정의 차이가 가장 큰 항목은 가슴너비로 39.56mm의 차이가 발생하였고, 그다음으로 넓다리둘레, 젓가슴둘레, 가슴둘레 순으로 나타났다. 대부분의 항목은 3차원이 직접측정치보다 더 크지만, 목밑둘레, 겨드랑이둘레, 목밑뒤길이 등의 항목은 직접측정치가 더 큰 것으로 파악된다. 이러한 결과는 전반적으로 3차원 측정값이 직접측정값보다 더 큰 것으로 관찰되었다는 Gordon et al.(2014)과 Han et al.(2010)의 연구결과와 동일하다. 측정방법에 따른 측정값의 차이를 비교하기 위해 t-검정을 수행한 결과, 팔길이를 제외한 모든 항목에서 두 집단 간에 유의한 차이가 나타났다. 팔길이 항목은 연구 집단 전체를 대상으로 분석했을 때는 3차원과 직접측정치 간의 유의한 차이가 없었지만, 연령에 따라 집단을 나눠 분석하면, 연령이 증가함에 따라 3차원과 직접측정치 간의 차이가 벌어지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 Chung et al. (2019)의 연구결과와 일치한다.

Table 3. Difference analysis results by body measurements

(N=4478, unit: mm)

Body measurements	Mean	SD	t-value	Lower limit	Upper limit	Max. allowable error	Evaluation result
Stature	4.83	7.85	41.23***	4.60	5.06		
Cervicale H.	6.71	5.73	78.40***	6.54	6.88		
Acromion H.	4.68	7.03	44.59***	4.48	4.89		
Axilla H.	1.50	9.97	10.08***	1.21	1.79		acceptable
Waist H.	4.43	5.77	51.42***	4.26	4.60	4	
Crotch H.	10.56	11.82	59.79***	10.21	10.91		
Lateral Malleolus H.	3.03	3.03	66.92***	2.94	3.12		acceptable
Elbow H.(Elbow-Bent)	3.01	14.51	13.89***	2.59	3.44		acceptable
Sitting H.	8.79	9.19	64.04***	8.52	9.06		
Chest B.	39.56	10.99	240.79***	39.24	39.88		
Waist B.	9.94	8.42	79.04***	9.70	10.19	4	
Hip B.	16.68	6.28	177.68***	16.49	16.86		
Inferior Leg B.	0.90	3.79	15.91***	0.79	1.01		acceptable

대규모 인체치수조사 사업에서 3차원 측정치와 직접측정치와의 차이 분석
-제8차 사이즈코리아 사업을 중심으로-

Table 3. Continued I

(N=4478, unit: mm)

Body measurements	Mean	SD	t-value	Lower limit	Upper limit	Max. allowable error	Evaluation result	
Body D.	Armseye D.	6.43	6.68	64.33***	6.23	6.62	5	
	Chest D.	10.45	12.19	57.38***	10.09	10.81		
	Waist D.	11.94	9.04	88.42***	11.68	12.21		
	Abdominal Extension D., Sitting	5.44	8.79	41.41***	5.18	5.70		
	Buttock-Abdomen D., Sitting	-1.38	13.38	-6.91***	-1.77	-0.99		acceptable
Small C.	Neck C.	1.61	7.76	13.85***	1.38	1.83	4	acceptable
	Neck Base C.	-5.04	18.19	-18.54***	-5.57	-4.51		
	Armseye C.	-14.91	13.38	-74.54***	-15.30	-14.51		
	Upper-Arm C.	8.23	13.28	41.44***	7.84	8.61		
	Elbow C.	4.77	6.30	50.67***	4.58	4.95		
	Wrist C.	3.57	5.71	41.88***	3.40	3.74		acceptable
	Thigh C.	31.91	30.93	69.03***	31.00	32.81		
	Knee C.	2.22	6.88	21.62***	2.02	2.43		acceptable
Calf C.	-2.19	6.03	-24.26***	-2.36	-2.01	acceptable		
Large C.	Chest C.	21.64	20.33	71.25***	21.05	22.24	9	
	Bust C.	28.06	23.03	81.54***	27.38	28.73		
	Underbust C.(women)	21.26	26.70	75.08***	20.48	22.04		
	Waist C.	8.71	16.12	36.15***	8.23	9.18		
	Waist C.(Omphalion)	13.44	17.70	50.80***	12.92	13.96		
	Hip C.	3.98	11.35	23.47***	3.65	4.31		acceptable
Segment L.	Back-Neck Base L.	-6.68	9.58	-46.64***	-6.96	-6.40	5	
	S.N.P. to Back Waist Level	6.18	16.43	25.16***	5.70	6.66		
	S.N.P. to Bust Point	4.88	10.30	32.20***	4.57	5.18		
	Total Crotch L.	9.12	48.93	12.47***	7.69	10.55		
	B.N.P. to Acromion L.	-1.97	8.54	-15.42***	-2.22	-1.72		acceptable
	Across Back Shoulder L.	-2.58	7.30	-23.66***	-2.79	-2.37		acceptable
	Upperarm L.	2.73	7.20	25.37***	2.52	2.94		acceptable
	Arm L.	-0.13	11.82	-0.76	-0.48	0.21		acceptable
	Forearm-Fingertip L., Elbow-Bent	3.24	8.60	25.24***	2.99	3.49		acceptable
Elbow-Grip L., Elbow-Bent	16.16	10.31	104.95***	15.86	16.46			

*** $p < .001$

S.D: standard deviation

Shading indicates body measurements that fall within the maximum allowable error.

H.: Height, B.: Breadth, D.: Depth, C.: Circumference, L.: Length, T.: Thickness, S.N.P.: Side Neck Point, B.N.P.: Back Neck Point

2. 3차원과 직접측정치의 성별에 따른 차이 분석 결과

3차원 측정항목과 직접측정 항목의 공통항목을 추출하여 t-검정을 실시한 결과(Table 4), 대부분 항목에서 남녀 집단 간에 유의한 차이를 보이고 있다. 특히 목

옆젖꼭지길이, 넓다리둘레, 살앞뒤길이의 세 항목은 성별에 따른 유의차가 크게 나타났는데, 여자보다는 남자가 치수의 차이가 더 크게 나타났다. 겨드랑둘레, 목밑뒤길이, 위팔길이의 3개 항목은 성별에 따른 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다.

Table 4. Difference analysis results by sex

(unit: mm)

Measurement type	Body measurements	Men (N=1967)		women (N=2511)		Total (N=4478)		t-value
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Body H.	Stature	3.37	8.34	5.98	7.23	4.83	7.85	-11.19***
	Cervicale H.	7.46	6.24	6.12	5.22	6.71	5.73	7.66***
	Acromion H.	5.53	7.42	4.02	6.63	4.68	7.03	7.17***
	Axilla H.	2.68	10.74	0.58	9.22	1.50	9.97	7.02***
	Waist H.	4.65	6.19	4.27	5.42	4.43	5.77	2.17*
	Crotch H.	6.67	12.18	13.61	10.57	10.56	11.82	-20.39***
	Lateral Malleolus H.	3.68	2.91	2.52	3.02	3.03	3.03	12.91***
	Elbow H.(Elbow-Bent)	4.32	14.89	1.98	14.13	3.01	14.51	5.37***
	Sitting H.	7.31	9.92	9.95	8.39	8.79	9.19	-9.62***
	Mean	5.07		5.45		5.28		
Body B.	Chest B.	41.96	11.22	37.68	10.44	39.56	10.99	13.17***
	Waist B.	7.86	7.66	11.57	8.63	9.94	8.42	-15.19***
	Hip B.	16.37	6.66	16.92	5.96	16.68	6.28	-2.91**
	Inferior Leg B.	0.43	3.46	1.27	3.99	0.90	3.79	-7.45***
	Mean	16.66		16.86		16.77		
Body D.	Armscye D.	7.04	6.81	5.95	6.54	6.43	6.68	5.43***
	Chest D.	7.00	9.24	13.15	13.47	10.45	12.19	-17.30***
	Waist D.	12.70	8.80	11.35	9.18	11.94	9.04	5.03***
	Abdominal Extension D., Sitting	6.06	9.46	4.95	8.20	5.44	8.79	4.20***
	Buttock-Abdomen D., Sitting	-5.81	14.09	2.09	11.68	-1.38	13.38	-20.51***
	Mean	5.40		7.50		6.58		
Small C.	Neck C.	1.09	8.30	2.01	7.28	1.61	7.76	-3.96***
	Neck Base C.	-3.80	17.97	-6.01	18.31	-5.04	18.19	4.05***
	Armscye C.	-14.99	13.68	-14.84	13.15	-14.91	13.38	-0.37
	Upper-Arm C.	10.79	15.09	6.21	11.27	8.23	13.28	11.63***
	Elbow C.	7.50	5.72	2.63	5.88	4.77	6.30	27.92***
	Wrist C.	5.95	5.59	1.71	5.07	3.57	5.71	26.53***
	Thigh C.	49.54	30.20	18.09	23.61	31.91	30.93	39.11***
	Knee C.	3.20	5.65	1.46	7.63	2.22	6.88	8.45***
	Calf C.	-2.42	4.78	-2.01	6.85	-2.19	6.03	-2.38*
	Mean	6.32		1.03		3.35		

대규모 인체치수조사 사업에서 3차원 측정치와 직접측정치의 차이 분석
-제8차 사이즈코리아 사업을 중심으로-

Table 4. Continued I

(unit: mm)

Measurement type	Body measurements	Men (N=1967)		women (N=2511)		Total (N=4478)		t-value
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Large C.	Chest C.	19.87	21.33	23.03	19.40	21.64	20.33	-5.17***
	Bust C.	32.47	25.51	24.60	20.22	28.06	23.03	11.51***
	Underbust C.(women)	-	-	37.91	25.30	37.91	25.30	-
	Waist C.	9.34	15.73	8.21	16.40	8.71	16.12	2.34*
	Waist C.(Omphalion)	11.26	13.90	15.14	20.03	13.44	17.70	-7.32***
	Hip C.	2.98	11.21	4.77	11.39	3.98	11.35	-5.26***
	Mean	12.65		18.94		16.18		
Segment L.	Back-Neck Base L.	-6.70	11.25	-6.67	8.04	-6.68	9.58	-0.10
	S.N.P. to Back Waist Level	0.64	12.93	10.51	17.54	6.18	16.43	-20.90***
	S.N.P. to Bust Point	10.79	10.89	0.24	6.88	4.88	10.30	39.53***
	Total Crotch L.	34.28	37.87	-10.59	47.57	9.12	48.93	34.20***
	B.N.P. to Acromion L.	-2.27	9.31	-1.73	7.88	-1.97	8.54	-2.12*
	Across Back Shoulder L.	-2.26	7.62	-2.83	7.03	-2.58	7.30	2.63**
	Upperarm L.	2.90	6.93	2.59	7.40	2.73	7.20	1.42
	Arm L.	-1.11	9.70	0.63	13.20	-0.13	11.82	-4.93***
	Forearm-Fingertip L., Elbow-Bent	2.78	7.68	3.60	9.24	3.24	8.60	-3.17**
Elbow-Grip L., Elbow-Bent	17.72	9.39	14.94	10.82	16.16	10.31	9.03***	
	Mean	5.68		1.07		3.10		

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

S.D: standard deviation

H.: Height, B.: Breadth, D.: Depth, C.: Circumference, L.: Length, T.: Thickness, S.N.P.: Side Neck Point, B.N.P.: Back Neck Point

3. 3차원과 직접측정치의 연령에 따른 차이 분석 결과

3차원과 직접측정치의 연령에 따른 측정값의 차이를 보기 위해 분산분석을 실시한 결과(Table 5), 대부분의 항목에서 연령대별 5개의 집단 간 평균값이 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 집단 간 유의한 차이가 큰 항목들을 살펴보면, 키, 목밑둘레, 넓다리둘레 항목은 연령이 증가할수록 3차원과 직접측정치의 차이가 작아지는 경향을 보이고 있으며, 허리너비, 살앞뒤길이, 팔꿈치손끝수평길이(팔굽힌) 항목은 연령이 증가할수록 3차원과 직접측정치의 차이도 증가하고 있는 것으로 파악되었다. 장딴지둘레, 목밑뒤길이, 위팔길이(어깨접)의 3개 항목은 연령에 따라 집단 간의 유의한 차이를 보이지 않았다.

4. 3차원과 직접측정치의 BMI에 따른 차이 분석 결과

BMI에 따른 측정값의 차이를 보기 위해 BMI 지수에 따라 6개의 집단으로 나눈 후, 분산분석을 실시한 결과(Table 6), 대부분 항목에서 6개의 집단 간 평균값이 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 집단 간 유의한 차이가 큰 항목들을 살펴보면, 가슴너비, 허리두께, 손목둘레, 목옆젖꼭지길이, 팔꿈치주먹수평길이(팔굽힌) 항목은 BMI 지수가 증가할수록 3차원과 직접측정치의 차이도 증가하고 있는 것으로 파악되었다. 어깨높이, 겨드랑높이, 편위팔둘레, 목밑뒤길이, 목뒤어깨길이(오른), 위팔길이(어깨접)의 항목은 BMI에 따라 집단 간의 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 5. Difference analysis results by age

(unit: mm)

Measur ement type	Body measurements	20's	30's	40's	50's	60's	F-value
		(N=1688)	(N=1158)	(N=761)	(N=414)	(N=457)	
		M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
Body H.	Stature	6.43(7.49)	6.22(7.72)	4.18(6.22)	1.90(6.46)	-0.80(9.42)	111.01***
		D	D	C	B	A	
	Cervicale H.	6.49(6.57)	6.32(6.03)	7.15(4.56)	7.36(3.34)	7.17(4.88)	5.18***
		A	A	B	B	B	
	Acromion H.	5.42(7.38)	4.62(7.75)	4.55(5.53)	3.68(4.79)	3.21(7.33)	12.01***
		C	B	B	A	A	
	Axilla H.	2.76(8.52)	1.29(10.16)	0.92(13.95)	-0.16(6.46)	-0.13(8.45)	13.58***
		C	B	AB	A	A	
	Waist H.	4.38(6.27)	3.89(5.84)	4.57(5.27)	5.18(4.63)	5.12(5.24)	6.12***
		AB	A	BC	C	C	
	Crotch H.	12.01(12.86)	10.86(13.67)	10.34(9.78)	8.49(6.54)	6.70(7.82)	22.36***
		D	CD	C	B	A	
	Lateral Malleolus H.	3.37(3.14)	3.12(2.97)	2.82(2.87)	2.79(2.95)	2.07(2.85)	19.01***
		C	BC	B	B	A	
	Elbow H.(Elbow-Bent)	3.88(13.98)	5.82(13.82)	1.42(14.80)	0.42(14.62)	-2.31(15.51)	34.31***
		C	D	B	B	A	
	Sitting H.	8.49(9.35)	10.20(8.50)	8.36(9.14)	8.80(8.82)	7.07(10.20)	11.76***
		B	C	B	B	A	
	Mean	5.91	5.82	4.92	4.27	3.12	
Body B.	Chest B.	38.07(10.63)	38.41(10.71)	40.87(10.63)	42.15(11.19)	43.46(11.83)	34.81***
		A	A	B	C	D	
	Waist B.	7.90(8.01)	7.51(6.91)	11.57(8.67)	15.01(7.65)	16.36(7.70)	186.35***
		A	A	B	C	D	
	Hip B.	15.90(6.78)	16.18(6.46)	17.76(6.12)	18.11(4.80)	17.72(4.51)	22.87***
	A	A	B	B	B		
	Inferior Leg B.	0.52(3.36)	0.12(3.73)	1.42(4.18)	2.16(3.99)	2.30(3.78)	49.53***
		B	A	C	D	D	
	Mean	15.60	15.56	17.91	19.36	19.96	
Body D.	Armscye D.	5.16(6.56)	5.74(6.11)	7.43(6.34)	8.99(6.58)	8.84(7.62)	55.04***
		A	A	B	C	C	
	Chest D.	9.24(11.61)	8.72(11.51)	10.87(11.60)	14.31(13.84)	15.08(13.32)	38.33***
		A	A	B	C	C	
	Waist D.	10.22(7.73)	11.13(8.21)	12.78(8.79)	15.05(10.15)	16.16(12.13)	59.37***
		A	A	B	C	D	
	Abdominal Extension D., Sitting	5.19(8.92)	6.23(8.50)	5.84(8.52)	4.49(9.36)	4.58(8.81)	5.41***
		AB	C	BC	A	A	
	Buttock-Abdomen D., Sitting	-2.83(14.12)	0.21(13.05)	-0.04(12.50)	0.34(11.51)	-3.88(13.48)	16.86***
		A	B	B	B	A	
	Mean	5.40	6.41	7.38	8.64	8.16	

대규모 인체치수조사 사업에서 3차원 측정치와 직접측정치와의 차이 분석
-제8차 사이즈코리아 사업을 중심으로-

Table 5. Continued I

(unit: mm)

Measur ement type	Body measurements	20's	30's	40's	50's	60's	F-value
		(N=1688)	(N=1158)	(N=761)	(N=414)	(N=457)	
		M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
Small C.	Neck C.	1.25(7.68)	2.06(7.24)	1.66(7.60)	1.05(9.89)	2.18(7.26)	3.08*
		AB	BC	ABC	A	C	
	Neck Base C.	3.49(10.10)	1.72(9.96)	-10.62(21.26)	-24.95(17.88)	-26.38(17.98)	702.67***
		D	C	B	A	A	
	Armscye C.	-16.04(13.25)	-17.62(12.77)	-13.61(12.92)	-9.86(13.11)	-10.54(13.88)	45.32***
		B	A	C	D	D	
	Upper-Arm C.	10.01(13.36)	9.89(12.57)	6.29(11.27)	4.77(12.37)	3.79(16.28)	37.07***
		C	C	B	A	A	
	Elbow C.	4.02(6.03)	4.09(5.68)	5.51(6.71)	6.16(5.98)	6.76(7.45)	29.39***
		A	A	B	BC	C	
	Wrist C.	2.36(5.69)	2.94(5.50)	4.09(5.24)	5.40(5.48)	7.16(5.24)	86.04***
		A	A	B	C	D	
	Thigh C.	36.45(25.59)	38.71(26.55)	29.55(31.04)	18.26(37.98)	14.17(39.77)	88.29***
		D	D	C	B	A	
Knee C.	1.58(7.14)	1.27(7.21)	2.27(5.90)	4.34(6.78)	5.02(5.43)	39.10***	
	AB	A	B	C	C		
Calf C.	-2.32(5.78)	-2.07(6.61)	-2.35(6.82)	-1.74(4.72)	-2.14(4.95)	1.02	
	A	A	A	A	A		
	Mean	4.53	4.55	2.53	0.38	0.00	
Large C.	Chest C.	17.92(21.29)	24.07(19.41)	22.41(19.88)	24.79(17.94)	25.13(19.63)	24.88***
		A	BC	B	C	C	
	Bust C.	30.10(26.67)	30.12(22.31)	25.63(18.44)	23.20(18.96)	23.74(18.51)	16.61***
		B	B	A	A	A	
	Underbust C.(women)	18.19(24.75)	21.05(25.21)	22.74(28.70)	26.53(28.76)	25.86(30.22)	13.75***
		A	B	B	C	C	
	Waist C.	6.58(17.36)	8.74(15.50)	9.58(14.38)	11.29(15.68)	12.69(14.76)	17.84***
	A	B	B	C	C		
Waist C.(Omphalion)	10.63(17.20)	13.48(17.51)	15.79(16.61)	16.84(19.25)	16.73(18.68)	22.18***	
	A	B	C	C	C		
Hip C.	2.81(12.95)	5.45(9.49)	4.32(9.04)	4.66(12.12)	3.36(11.57)	10.30***	
	A	C	BC	C	AB		
	Mean	14.37	17.15	16.75	17.89	17.92	
Segment L.	Back-Neck Base L.	-6.80(10.92)	-6.86(9.91)	-6.81(8.69)	-6.83(6.46)	-5.41(6.75)	2.25
		A	A	A	A	B	
	S.N.P. to Back Waist Level	6.19(17.65)	4.10(17.37)	8.51(16.01)	6.84(10.89)	6.92(13.29)	8.93***
	B	A	C	BC	BC		
S.N.P. to Bust Point	4.36(10.26)	4.80(11.30)	4.97(9.24)	5.62(9.68)	6.16(9.87)	3.43**	
	A	AB	AB	BC	C		

Table 5. Continued II

(unit: mm)

Measure- ment type	Body measurements	20's	30's	40's	50's	60's	F-value
		(N=1688)	(N=1158)	(N=761)	(N=414)	(N=457)	
		M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
Segment L.	Total Crotch L.	-2.05(49.70) A	8.00(50.84) B	7.64(51.37) B	27.96(30.15) C	38.61(30.48) D	85.09***
	B.N.P. to Acromion L.	-2.51(8.30) A	-1.65(8.76) A	-2.37(8.59) A	-2.07(8.45) A	-0.04(8.59) B	8.38***
	Across Back Shoulder L.	-4.06(6.85) A	-3.25(6.78) B	-2.15(6.86) C	-0.16(8.04) D	1.66(7.92) E	75.01***
	Upperarm L.	3.05(4.70) A	2.68(4.08) A	2.29(6.75) A	2.63(11.99) A	2.46(13.32) A	1.74
	Arm L.	-0.91(6.42) A	-1.65(6.82) A	0.46(10.99) B	3.19(21.28) C	2.56(21.53) C	21.57***
	Forearm-Fingertip L., Elbow-Bent	-0.70(6.35) A	0.79(6.38) B	5.38(8.84) C	11.46(6.48) D	13.01(8.26) E	542.59***
	Elbow-Grip L., Elbow-Bent	14.14(9.59) A	14.70(9.07) A	17.16(10.97) B	19.38(10.38) C	22.74(11.02) D	86.67***
	Mean	1.07	2.17	3.51	6.80	8.87	

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan test: A < B < C < D < E

M: average of (3D measured value - traditionally measured value)

S.D: standard deviation

H.: Height, B.: Breadth, D.: Depth, C.: Circumference, L.: Length, T.: Thickness, S.N.P.: Side Neck Point, B.N.P.: Back Neck Point

Table 6. Difference analysis results by BMI

(unit: mm)

Measure- ment type	Body measure- ments	Low-weight	Normal	Overweight	Obesity I	Obesity II	Obesity III	F-value
		(~18.5) N=238	(18.5~22.9) N=1980	(23~24.9) N=963	(25~29.9) N=1083	(30~34.9) N=188	(35~) N=126	
		M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
Body H.	Stature	4.53(6.27) B	5.27(7.19) B	4.91(9.61) B	4.39(7.47) B	3.37(7.78) B	0.99(8.98) A	4.55***
	Cervicale H.	5.13(5.48) A	6.29(5.23) AB	7.11(7.04) B	7.44(5.48) B	6.81(4.11) B	6.86(3.80) B	10.43***
	Acromion H.	4.55(7.43) A	4.50(6.63) A	4.73(8.51) A	5.11(5.85) A	4.13(7.18) A	4.36(13.26) A	1.34
	Axilla H.	0.54(14.46) A	1.47(8.74) A	1.99(11.23) A	1.46(10.08) A	1.08(7.60) A	-0.32(7.56) A	1.15
	Waist H.	3.23(5.20) AB	4.39(4.99) B	4.69(7.66) B	4.78(5.22) B	3.41(5.48) AB	2.02(5.88) A	5.40***
	Crotch H.	14.53(12.57) D	13.27(11.28) D	10.03(11.82) C	6.56(11.19) B	4.38(9.35) B	-1.32(11.25) A	72.20***

대규모 인체치수조사 사업에서 3차원 측정치와 직접측정치와의 차이 분석
-제8차 사이즈코리아 사업을 중심으로-

Table 6. Continued I

(unit: mm)

Measurement type	Body measurements	Low-weight (~18.5) N=238	Normal weight (18.5~22.9) N=1980	Overweight (23~24.9) N=963	Obesity I (25~29.9) N=1083	Obesity II (30~34.9) N=188	Obesity III (35~) N=126	F-value
		M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
Body H.	Lateral Malleolus H.	2.36(2.67) B	2.87(3.09) BCD	3.21(3.03) CD	3.46(2.86) D	2.47(3.18) BC	0.40(3.17) A	13.83***
	Elbow H. (Elbow-Bent)	1.78(15.09) A	2.38(14.09) AB	3.37(14.63) AB	3.67(14.74) AB	5.99(15.27) B	-0.02(17.89) A	3.46**
	Sitting H.	9.39(6.91) BC	9.81(8.48) C	8.93(9.25) BC	7.19(10.03) AB	6.00(10.78) A	7.83(14.14) ABC	15.40***
Mean		5.12	5.58	5.44	4.90	4.18	2.31	
Body B.	Chest B.	31.04(8.42) A	36.87(10.29) B	40.88(9.82) C	44.02(10.84) D	44.95(12.27) D	49.03(12.81) E	117.19** *
	Waist B.	9.16(6.54) A	10.27(8.08) A	9.98(7.86) A	9.37(8.15) A	10.45(13.05) A	11.22(23.59) A	2.27*
	Hip B.	13.29(5.96) A	15.76(5.52) B	16.98(6.23) BC	18.16(6.87) C	19.76(6.93) D	22.39(6.55) E	50.93***
	Inferior Leg B.	0.32(3.30) A	0.52(3.67) A	1.20(3.77) AB	1.18(3.93) AB	2.11(4.08) B	3.63(4.36) C	14.33***
Mean		13.45	15.86	17.26	18.18	19.32	21.57	
Body D.	Armscye D.	3.31(6.56) A	5.06(6.32) B	7.31(6.56) C	8.24(6.66) CD	9.55(6.85) D	7.94(4.33) CD	58.02***
	Chest D.	11.11(9.75) A	10.53(11.26) A	9.84(11.80) A	10.23(13.03) A	13.16(18.74) A	9.69(15.48) A	2.59*
	Waist D.	7.14(7.44) A	9.79(7.45) B	12.79(8.78) C	15.21(9.40) D	16.82(14.12) D	16.95(12.10) D	85.89***
	Abdominal Extension D., Sitting	3.66(7.66) A	5.11(8.02) AB	5.05(8.81) AB	6.27(9.30) BC	7.85(12.90) CD	9.96(9.84) D	9.10***
	Buttock-Abdomen D., Sitting	-1.93(12.85) AB	0.06(13.00) AB	-1.51(12.95) AB	-3.47(13.71) A	-3.47(15.85) A	0.96(16.51) B	11.16***
Mean		4.66	6.11	6.70	7.30	8.78	9.10	
Small C.	Neck C.	0.30(7.70) A	0.87(7.40) AB	1.29(7.05) AB	2.64(8.25) B	4.86(8.27) C	14.32(12.47) D	30.65***
	Neck Base C.	1.59(12.77) B	-4.08(17.87) A	-5.33(18.56) A	-7.46(18.79) A	-8.29(18.20) A	-4.25(24.55) A	12.70***
	Armscye C.	-18.13(11.20) A	-16.01(12.52) AB	-13.78(12.90) BC	-13.63(14.36) BC	-12.84(17.92) BC	-11.43(19.25) C	10.15***

Table 6. Continued II

(unit: mm)

Measur- ement type	Body measure- ments	Low-weight (~18.5) N=238	Normal weight (18.5~22.9) N=1980	Overweight (23~24.9) N=963	Obesity I (25~29.9) N=1083	Obesity II (30~34.9) N=188	Obesity III (35~) N=126	F-value
		M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
Small C.	Upper-Arm C.	8.70(16.72) A	7.92(13.03) A	8.35(13.19) A	8.34(12.88) A	9.07(13.86) A	11.45(12.46) A	0.76
	Elbow C.	0.80(5.04) A	3.51(5.23) B	5.98(6.07) CD	6.83(6.83) D	4.91(8.24) BC	5.03(15.25) BC	70.13***
	Wrist C.	-0.03(4.97) A	1.99(4.87) B	4.36(5.40) C	5.73(5.90) D	7.17(6.47) E	11.78(8.06) F	124.77** *
	Thigh C.	23.38(24.76) A	27.26(27.06) AB	33.32(31.51) BC	38.20(34.44) CD	45.05(38.87) D	54.73(26.57) E	32.65***
	Knee C.	0.37(8.64) A	1.45(6.39) AB	2.84(7.18) BC	3.09(6.31) BC	3.98(8.48) C	6.19(11.58) D	17.94***
	Calf C.	-2.58(5.18) A	-2.40(5.79) A	-2.16(4.73) A	-1.98(6.55) A	-1.24(10.34) A	0.92(8.43) B	3.25**
Mean		1.60	2.28	3.87	4.64	5.85	9.86	
Large C.	Chest C.	17.04(17.96) A	19.64(17.65) AB	22.21(19.94) AB	24.74(23.20) B	24.71(27.95) B	43.52(17.69) C	18.69***
	Bust C.	22.87(21.82) A	25.35(21.51) A	28.84(22.53) AB	32.40(23.25) B	32.34(33.39) B	41.32(23.47) C	19.26***
	Underbust C.(w)	22.15(27.14) A	22.80(22.59) A	19.71(26.35) A	18.49(29.84) A	25.20(39.13) A	39.97(49.91) B	7.77***
	Waist C.	4.23(15.44) A	6.61(14.35) AB	10.20(14.71) BC	11.24(17.13) C	12.05(26.31) C	24.42(22.52) D	24.58***
	Waist C. (Omphalion)	8.73(18.48) A	11.70(15.60) AB	13.84(14.49) B	16.02(17.12) BC	18.65(37.63) C	29.05(32.57) D	19.60***
	Hip C.	4.41(16.87) A	3.78(9.50) A	3.44(9.29) A	3.86(12.09) A	6.43(10.75) A	22.48(47.65) B	16.52***
Mean		13.24	14.98	16.37	17.79	19.90	33.46	
Segment L.	Back-Neck Base L.	-6.54(6.96) AB	-6.52(8.42) AB	-6.35(9.94) AB	-7.10(11.32) AB	-8.01(10.95) A	-4.62(10.08) B	1.72
	S.N.P. to Back Waist Level	9.29(17.63) B	7.43(17.14) AB	4.89(15.27) AB	4.40(15.66) AB	5.93(15.06) A	5.34(20.84) AB	7.80***
	S.N.P. to Bust Point	0.21(7.79) A	2.84(8.82) B	6.23(10.29) C	7.61(11.35) C	8.24(11.96) C	13.92(20.85) D	54.96***
	Total Crotch L.	-4.30(50.75) A	0.49(48.45) A	13.15(47.36) B	21.85(46.06) BC	20.19(52.26) BC	29.17(58.20) C	36.00***

대규모 인체치수조사 사업에서 3차원 측정치와 직접측정치의 차이 분석
-제8차 사이즈코리아 사업을 중심으로-

Table 6. Continued III

(unit: mm)

Measurement type	Body measurements	Low-weight (~18.5) N=238	Normal weight (18.5~22.9) N=1980	Overweight (23~24.9) N=963	Obesity I (25~29.9) N=1083	Obesity II (30~34.9) N=188	Obesity III (35~) N=126	F-value
		M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
Segment L.	B.N.P. to Acromion L.	-2.49(7.86) A	-1.88(7.97) AB	-1.65(9.17) AB	-2.31(8.90) A	-2.22(9.33) A	0.38(10.97) B	1.26
	Across Back Shoulder L.	-3.95(6.76) A	-2.97(7.33) A	-2.15(7.59) A	-1.98(7.18) A	-2.43(6.23) A	-2.47(7.40) A	4.98***
	Upperarm L.	3.07(5.50) A	2.80(6.93) A	3.04(7.96) A	2.39(7.45) A	2.08(6.31) A	1.54(5.30) A	1.41
	Arm L.	0.49(9.20) A	0.58(11.80) A	-0.67(12.37) A	-0.62(11.98) A	-2.55(11.21) A	-2.40(6.78) A	4.11***
	Forearm-Fingertip L., Bent	-0.08(6.00) A	2.34(7.65) B	3.66(8.84) BC	4.72(9.46) C	5.42(10.71) C	9.80(13.12) D	24.38***
	Elbow-Grip L., Bent	10.60(11.39) A	14.33(9.96) B	17.09(9.39) C	18.49(9.85) C	22.74(11.44) D	26.73(10.04) E	63.96***
	Mean	0.63	1.94	3.72	4.75	4.94	7.74	

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan test: A < B < C < D < E < F

M: average of (3D measured value - traditionally measured value)

S.D: standard deviation

H.: Height, B.: Breadth, D.: Depth, C.: Circumference, L.: Length, T.: Thickness, S.N.P.: Side Neck Point,

B.N.P.: Back Neck Point

5. 측정항목 유형별 3차원과 직접측정치의 차이 분석 결과

<Table 7>은 성별, 연령별, BMI별로 분석한 3차원과 직접측정치의 차이를 그래프로 분석한 결과이다. 측정항목의 유형별로 3차원과 직접측정치 간의 차이를 종합 분석하면 다음과 같다.

1) 높이항목(Body heights)

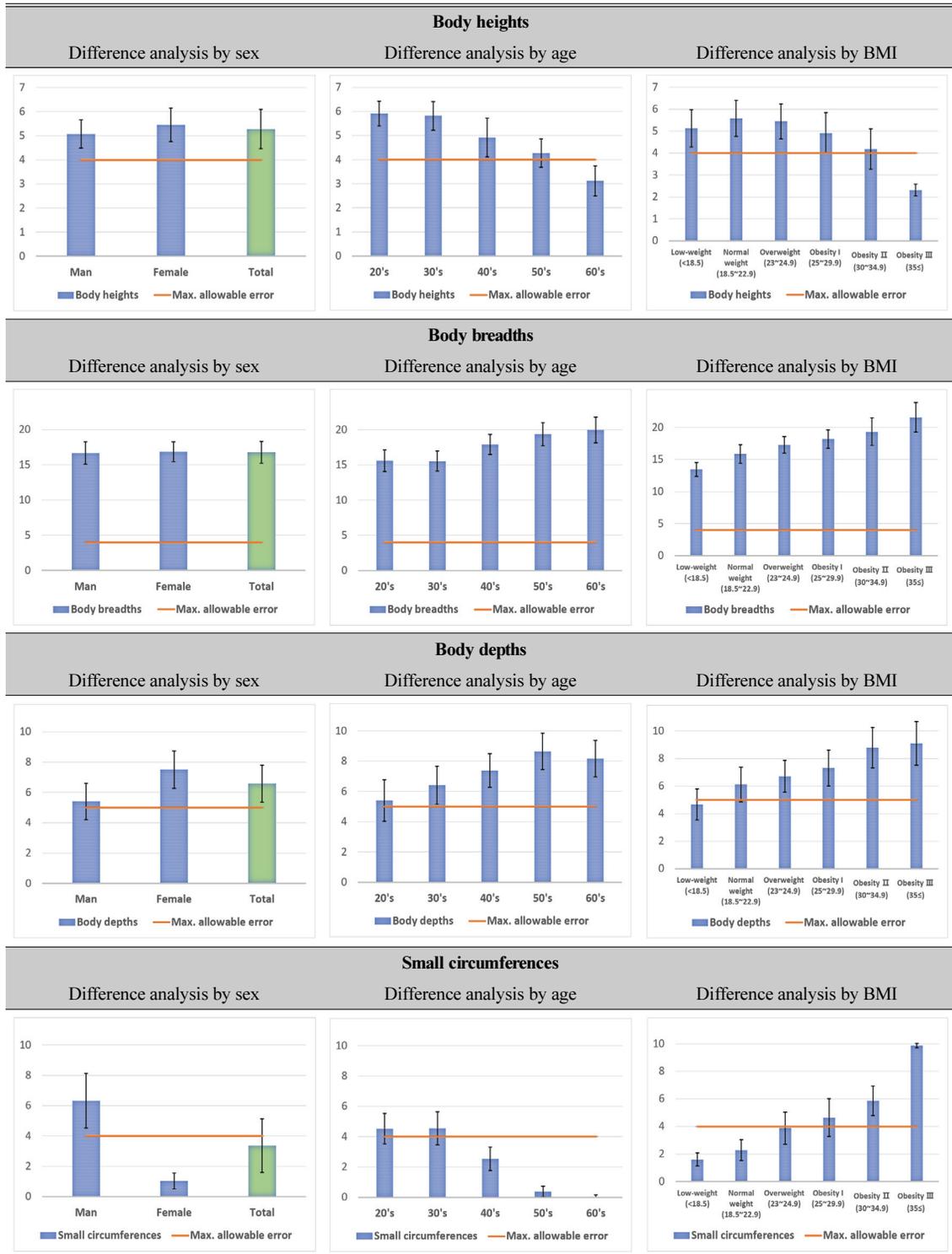
높이항목은 3차원 측정치가 직접측정치보다 평균 5.28mm 정도 더 크며, 전반적으로 ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 최대 허용오차(4mm)를 약간 상회하고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 60대와 BMI지수 35 이상의 고도비만 집단의 경우에는 허용오차 이내에 포함되고 있었다. 높이항목 중, 살높이 항목에서 가장 큰 오차가 발생하고 있는데, 살부위는 인체의 가려진 부위로 스캔 시 데이터가 손실되는 부위이기 때문

에 오차가 발생할 수 있다(Mocini et al., 2023). 살높이는 직접측정 시에도 오차가 발생할 수 있는데, Kouchi et al.(1999)은 남성 측정자는 여성 측정자보다 힘이 세기 때문에 살높이를 측정할 때 측정판을 더 높이 들어 올려 치수가 크게 나온다고 하였다. 겨드랑이, 가쪽 복사높이, 팔꿈치높이(팔굽힌)는 95% 신뢰 구간의 하한 및 상한 허용오차 이내에서 안정적으로 추출되고 있으므로, 직접측정값과 충분히 유사한 결과를 제공한다고 말할 수 있다.

2) 너비항목(Body breadths)

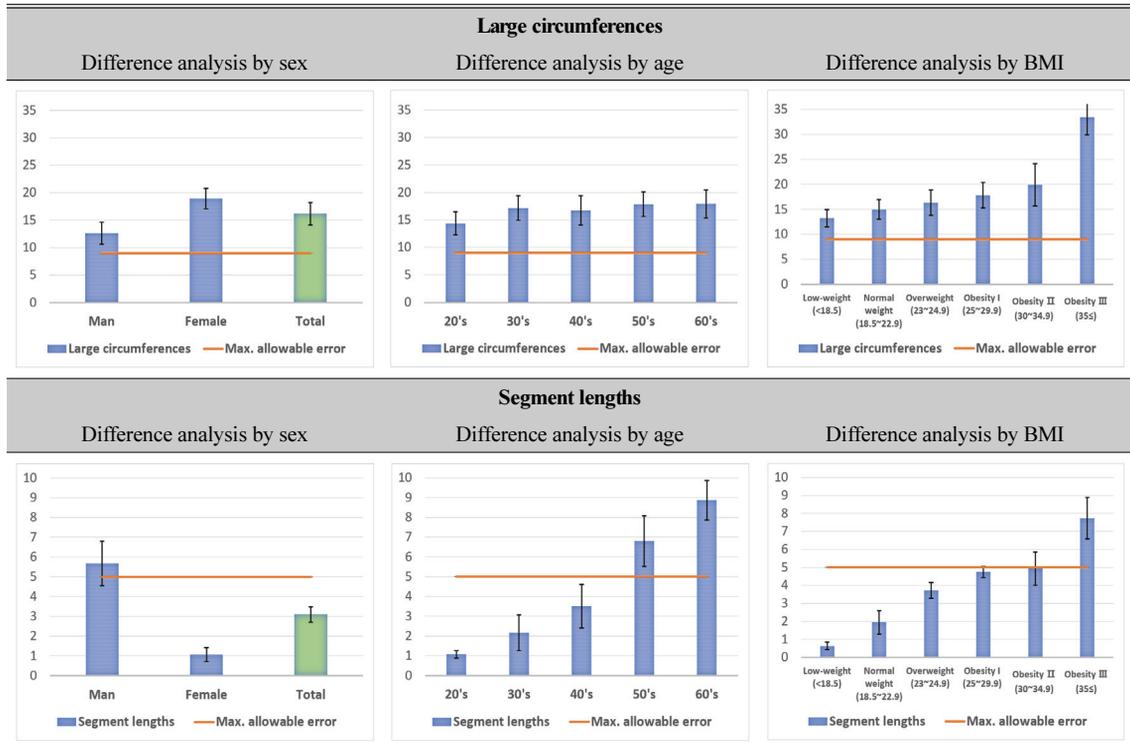
너비항목은 3차원 측정치가 직접측정치보다 평균 16.77mm 정도 더 크며, 전반적으로 ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 최대 허용오차(4mm)를 크게 상회하고 있다. 너비 항목이 허용오차(4mm)를 크게 상회하고 있는 주된 원인은 가슴너비 항목 때문이며, 평균 39.56mm 정도 3차원 측정치가 더 크게 나왔다. 특히

Table 7. Results of analysis of difference between 3D and traditionally measured value by type of measurement



대규모 인체치수조사 사업에서 3차원 측정치와 직접측정치의 차이 분석
-제8차 사이즈코리아 사업을 중심으로-

Table 7. Continued I



가슴너비는 비만지수가 높아질수록 3차원과 직접측정치의 차이도 함께 벌어지는 것으로 나타났다. 가슴너비는 스캔 시 미측정 되는 겨드랑 부위의 영향을 받고 있으며, 호흡과 관련이 있는 항목이기 때문에 오차가 큰 것으로 파악된다(Mocini et al., 2023). 종아리아래너비 항목은 허용오차 이내에서 안정적으로 추출되고 있으므로, 직접측정값을 대체할 만큼의 신뢰성이 확보되었다고 말할 수 있다.

3) 두께항목(Body depths)

두께항목은 3차원 측정치가 직접측정치보다 평균 6.58mm 정도 더 크며, 전반적으로 ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 최대 허용오차(5mm)를 약간 상회하고 있다. 특히, 허리두께 항목에서 오차가 크게 발생하고 있는데, 남자보다는 여자에게서, 그리고 연령이 증가할수록, 비만지수가 높아질수록 오차가 커지는 경향을 보인다. 앞은엉덩이배두께 항목은 허용오차 이내에서 안정적으로 추출되고 있으므로, 직접측정값과 충분히 유사하다고 말할 수 있다.

4) 작은부위 둘레항목(Small circumferences)

작은부위 둘레항목은 3차원 측정치가 직접측정치보다 평균 3.35mm 정도 더 크며, 전반적으로 ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 최대 허용오차(4mm) 이내에 존재한다. 그러나, 여자보다는 남자, 연령대 중에서는 20대와 30대, 그리고 BMI 지수 25 이상인 비만체형의 경우에는 허용오차를 벗어나고 있다. 특히 20대, 30대 남자의 넙다리둘레 항목에서 오차가 크게 발생한 것으로 파악되었는데, BMI 지수 35 이상의 고도비만 집단에서 오차가 눈에 띄게 증가하였다. 넙다리둘레는 스캔 시 미측정 되는 살부위의 영향을 받고 있으므로, 살부위의 에디팅 수준에 따라 오차의 크기가 달라질 수 있다. Kennedy et al.(2020)은 넙다리둘레 항목은 3차원 치수가 직접측정치 보다 약 30mm 이상 크게 나왔기 때문에 주의가 필요한 항목이라고 하였다. 목둘레, 손목둘레, 무릎둘레, 장딴지둘레 항목은 허용오차 이내에서 안정적으로 추출되고 있으므로, 3차원 측정치가 직접측정치를 대체할 만큼의 신뢰성을 확보하고 있다고 보았다.

5) 큰부위 둘레항목(Large circumferences)

큰부위 둘레항목은 3차원 측정치가 직접측정치보다 평균 16.18mm 정도 더 크며, 전반적으로 ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 최대 허용오차(9mm)를 크게 상회하고 있다. 특히, 가슴둘레, 젖가슴둘레, 젖가슴아래둘레(여) 등 흉부와 관련이 있는 항목에서 오차가 크게 발생하였으며, 가슴둘레의 경우 BMI 지수 35 이상의 고도비만 집단에서 오차가 눈에 띄게 증가하였다. Cameron(2022)과 Chumlea et al.(1984)은 큰부위 둘레항목이 다른 부위에 비해 오차가 크게 발생하는데, 그 원인은 치수 자체가 크고, 실제 수평에서 약간만 벗어나도 치수에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 피험자의 호흡 주기에 의해 영향을 받기 때문이라고 하였다. 엉덩이둘레 항목은 3차원과 직접측정치의 차이가 허용오차 범위 이내에서 안정적으로 추출되고 있으므로 충분한 신뢰성을 확보하였다고 볼 수 있다.

6) 길이항목(Segment lengths)

길이항목은 3차원 측정치가 직접측정치보다 평균 3.10mm 정도 더 크며, 전반적으로 ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 최대 허용오차(5mm) 이내에 존재한다. 그러나, 여자보다는 남자, 연령대 중에서는 50대와 60대, 그리고 BMI 지수 35 이상인 고도비만 집단에서 허용오차를 크게 벗어나고 있다. 그 원인은 살았뒤 길이 항목 때문이며, 남자의 경우 3차원 측정치가 직접측정치보다 34.28mm 정도 크게 측정되었다. 목뒤 어깨길이, 목뒤어깨사이길이, 위팔길이, 팔길이, 팔꿈치손끝수평길이(팔굽힌) 항목은 3차원 측정치가 직접측정치를 대체할 수 있을 만큼 안정적으로 추출되고 있었다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 3차원 스캐닝 기법이 기존의 줄자나 캘리퍼와 같은 전통적인 인체측정 도구를 대체할 만큼의 신뢰성을 확보하고 있는지를 확인하기 위해 3차원과 직접측정치의 차이와 그 원인에 관해 분석하였다. 연구대상은 제8차 사이즈코리아 사업의 성인 남녀 4478명에 대한 직접측정치와 3차원 측정치이고, 43개 측정항목에 대해 분석하였다. 제8차 사이즈코리아 사업은 3차원 측정과 직접측정이 동일한 피험자를 대상으로 실시되었기 때문에 두 측정 방법의 상관성을 보다 정밀하게 파악하는 것이 가능하다.

3차원과 직접측정치의 차이를 분석한 결과는 다음과 같다. ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 검증 절차에 따라 최대 허용오차 범위 내에 포함되는지를 분석한 결과, 43개 항목 중 15개의 항목이 허용오차 범위 내에 포함되고 있음을 확인하였다. 성별, 연령, BMI에 따른 차이 분석 결과, 대부분의 항목이 집단간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 반면, 목밑뒤길이와 위팔길이는 성별, 연령별, BMI에 따른 집단간의 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 측정항목을 6개의 유형(높이항목, 너비항목, 두께항목, 작은부위 둘레항목, 큰부위 둘레항목, 길이항목)으로 나누고, 각 유형별 3차원과 직접측정치의 차이의 평균값을 구한 결과, ISO 20685-1(2018)에서 제안하고 있는 최대 허용오차 범위 내에 존재하는 유형은 ‘작은부위 둘레항목’과 ‘길이항목’이었다. ‘작은부위 둘레항목’은 평균 3.35mm, ‘길이항목’은 평균 3.10mm의 값을 나타내므로, 각각 최대 허용오차 4mm와 5mm의 기준을 만족하였다. 최대 허용오차를 약간 벗어나고 있는 유형은 ‘높이항목’과 ‘두께항목’이었다. ‘높이항목’은 평균 5.28mm, ‘두께항목’은 평균 6.58mm의 값을 나타내므로, 각각 최대 허용오차 4mm와 5mm의 기준을 약간 초과하였다. 최대 허용오차를 많이 벗어나고 있는 유형은 ‘너비항목’과 ‘큰부위 둘레항목’이었는데, ‘너비항목’은 평균 16.77mm, ‘큰부위 둘레항목’은 평균 16.18mm로 나타나, 각각 최대 허용오차 4mm와 9mm의 기준을 많이 벗어나고 있는 것으로 파악되었다.

본 연구는 ISO 20685-1(2018)의 권장 검증 절차를 따라 진행되었다. 3차원과 직접측정치의 차이값 평균, 표준 편차뿐만 아니라 95% 신뢰 구간의 하한과 상한을 계산하여 최대 허용오차 범위 내에 있는지 여부를 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 결과적으로, 43개 항목 중 15개 항목이 허용오차 범위 내에 있었는데, 이는 선행연구(Han et al., 2010; Lu & Wang, 2010; Tiwari & Anand, 2021)와 비교하여 높은 신뢰도를 보인다고 볼 수 있다. 이러한 신뢰도의 차이는, 본 연구에서는 직접과 3차원 측정이 동일인을 대상으로 실시된 대규모 인체측정 사업자료를 사용한 데서 비롯되었다고 보인다. 또한, 본 연구에서는 측정항목 유형별로 3차원과 직접측정치 차이의 평균값을 분석하고, 허용오차 범위 내에서 안정적으로 추출되거나 큰 차이를 보이는 항목을 선별하였다. 허용오차를 초과하는 항목에 대해서는 성별, 연령, BMI 등을 고려하여 그 원인과 크기를 분석했다. 3차원 측정치를 활용한 제품 설계 시 산

업체는 이러한 점을 고려해야 할 것이다.

본 연구는 3차원과 직접측정치 간의 차이를 분석하고, 그 원인을 밝혀 3차원 측정의 신뢰성을 확인하기 위해 진행되었다. 향후 대규모 인체측정 사업에서 3차원 측정자료의 신뢰성을 강화하기 위해서는 허용오차를 초과하는 항목에 대한 추가 조치가 필요할 것으로 판단된다. 3차원과 직접 측정의 차이는 특히 겨드랑, 살부위 등 스캐너의 카메라가 닿지 않는 인체의 숨겨진 부위와 관련된 항목, 또는 피험자의 자세나 호흡과 관련된 항목에서 주로 발생하였다. Tiwari and Anand (2021)의 연구에서는 허용 오차를 초과하는 3차원 측정값을 보정하기 위해 “bias-shift” 방법을 도입하여 3차원 측정치의 신뢰성을 향상시켰다. 연구에서는 먼저 3차원 측정값 간의 일관성과 반복성을 확인하기 위해 ICC(Intra-class correlation coefficients) 값을 계산하였으며, ICC 값이 0.90 이상의 높은 신뢰도를 갖는 경우, 3차원 측정값을 허용 오차 범위 내에 포함시키기 위해 3차원과 직접 측정치 차이의 평균값을 더해주는 보정방식을 채택하였다. 따라서, 사이즈코리아와 같은 대규모 인체측정 사업에서 3차원 측정자료의 신뢰성을 향상하기 위해서는 성별, 연령별, BMI 그룹별로 허용오차를 벗어나는 항목들의 원인을 심도 있게 분석하고 3차원과 직접측정치 간의 차이를 통계적으로 보정하는 방법에 관한 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

1. 사사

이 논문은 2022학년도 건국대학교의 연구년 교원 지원에 의하여 연구되었음.

2. 연구윤리

해당사항 없음.

3. 데이터 및 자료 가용성

해당사항 없음.

4. 이해관계 상충

해당사항 없음.

5. 연구비 지원

해당사항 없음.

6. 저자의 기여

저자 본인이 연구 전체를 담당하였음.

7. 저자 정보

박선미 건국대학교 패션디자인학과, 교수

References

- Albrecht, G. H. (1983). Humidity as a source of measurement error in osteometrics. *American Journal of Physical Anthropology*, 60(4), 517–521. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330600414>
- Anand, N., & Tiwari, M. (2022, October 25–26). *INDIAsize - Planning & Execution of National Sizing Survey of India [3DBODY. TECH 2022 International Conference and Exhibition]*. 3D Body Scanning and Processing Technologies, Lugano, Switzerland. <https://www.3dbody.tech/cap/abstracts/2022/2238anand.html>
- Ben Azouz, Z., Rioux, M., Shu, C., & Lepage, R. (2006). Characterizing human shape variation using 3D anthropometric data. *The Visual Computer*, 22, 302–314.
- Bennett, K. A., & Osborne, R. H. (1986). Interobserver measurement reliability in anthropometry. *Human Biology*, 58(5), 751–759.
- Bougourd, J. P., Dekker, L., Ross, P. G., & Ward, J. P. (2000). A comparison of women's sizing by 3D electronic scanning and traditional anthropometry. *Journal of the Textile Institute*, 91(2), 163–173. <https://doi.org/10.1080/00405000008659536>
- Branson, R. S., Branson, R. S., Vaucher, Y. E., Harrison, G. G., Harrison, G. G., Vargas, M., & Thies, C. (1982). Inter- and intra-observer reliability of skinfold thickness measurements in newborn infants. *Human Biology*, 54(1), 137–143.
- Cameron, N. (2022). The measurement of human growth. In J. Doe (Ed.), *Human Growth and Development* (pp. 317–345). Croom Helm.
- Chumlea, W. C., Roche, A. F., & Rogers, E. (1984). Replicability for anthropometry in the elderly. *Human Biology*, 56(2), 329–337.
- Chung, J., Nam, Y.-J., & Park, J. (2019). Analysis of difference between direct measurement and 3-D automatic measurement according to classification of side figure of elderly women. *Fashion & Textile Research Journal*, 21(5), 627–639. <https://doi.org/10.5805/SFTI.2019.21.5.627>
- Daniell, N. (2008). *A comparison of the accuracy of the Vitus Smart® and Hamamatsu Body Line® 3D whole-body scanners*. Routledge.
- Gordon, C. C., Blackwell, C. L., Bradtmiller, B., Parham, J. L., Barrientos, P., Paquette, S. P., & Kristensen, S. (2014). *2012 anthropometric survey of us army personnel: Methods and summary statistics*. Army Natick Soldier Research Development and Engineering Center MA. <https://dacowits.defense.gov/LinkClick.aspx?fileticket=EbsKcm6A10U%3D&portalid=48>
- Han, H., & Nam, Y. (2009). A comparative analysis of the dif-

- ference between 3D body scan measurements and physical measurements by gender-5th size Korea adult data. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 33(8), 1190–1202.
- Han, H., Nam, Y., & Choi, K. (2010). Comparative analysis of 3D body scan measurements and manual measurements of Size Korea adult females. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(5), 530–540. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2010.06.002>
- Hotzman, J., Gordon, C. C., Bradtmiller, B., Corner, B. D., Mucher, M., Kristensen, S., & Blackwell, C. L. (2011). *Measurer's handbook: US army and marine corps anthropometric surveys, 2010–2011*. Army Natick Soldier Research Development and Engineering Center MA. <https://aps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA548497.pdf>
- ISO 20685-1. (2018). *3-D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases - Part 1: Evaluation protocol for body dimensions extracted from 3-D body scans*. International Standard Organisation, Geneva. <https://www.iso.org/standard/63260.html>
- ISO 7250-1. (2017). *Basic human body measurements for technological design - Part 1: Body measurement definitions and landmarks*. International Standard Organisation, Geneva. <https://www.iso.org/standard/65246.html>
- Istook, C. L., & Hwang, S.-J. (2001). 3D body scanning systems with application to the apparel industry. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 5(2), 120–132.
- Jamison, P. L., & Zegura, S. L. (1974). A univariate and multivariate examination of measurement error in anthropometry. *American Journal of Physical Anthropology*, 40(2), 197–203. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330400206>
- Johnston, F. E., & Mack, R. W. (1985). Interobserver reliability of skinfold measurements in infants and young children. *American Journal of Physical Anthropology*, 67(3), 285–289. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330670314>
- Kemper, H. C. G., & Pieters, J. J. L. (1974). Comparative study of anthropometric measurements of the same subjects in two different institutes. *American Journal of Physical Anthropology*, 40(3), 341–343. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330400305>
- Kennedy, S., Hwaung, P., Kelly, N., Liu, Y. E., Sobhiyeh, S., Heo, M., Shepherd, J. A., & Heymsfield, S. B. (2020). Optical imaging technology for body size and shape analysis: Evaluation of a system designed for personal use. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(6), 920–929.
- Kim, J. Y., You, J. W., & Kim, M. S. (2017). South Korean anthropometric data and survey methodology: 'Size Korea' project. *Ergonomics*, 60(11), 1586–1596. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1329940>
- Size Korea. (2021). *제8차 인체치수조사보고서* [The 8th Size Korea anthropometric survey report]. Korean Agency for Technology and Standards. <https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=8>
- Kouchi, M., & Mochimaru, M. (2011). Errors in landmarking and the evaluation of the accuracy of traditional and 3D anthropometry. *Applied Ergonomics*, 42(3), 518–527. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.09.011>
- Kouchi, M., Mochimaru, M., Tsuzuki, K., & Yokoi, T. (1999). Interobserver errors in anthropometry. *Journal of Human Ergology*, 28(1-2), 15–24.
- Lu, J.-M., & Wang, M.-J. J. (2010). The evaluation of scanner-derived anthropometric measurements. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 59(8), 2048–2054.
- Mocini, E., Cammarota, C., Frigerio, F., Muzzioli, L., Piciocchi, C., Lacialprice, D., & Pinto, A. (2023). Digital anthropometry: A Systematic review on precision, reliability and accuracy of most popular existing technologies. *Nutrients*, 15(2), 302. <https://doi.org/10.3390/nu15020302>
- Nadadur, G., & Parkinson, M. B. (2013). The role of anthropometry in designing for sustainability. *Ergonomics*, 56(3), 422–439. <https://doi.org/10.1080/00140139.2012.718801>
- Paquette, S., Brantley, J. D., Corner, B. D., Li, P., & Oliver, T. (2000, July). *Automated extraction of anthropometric data from 3D images* [Engineering, Computer Science]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Los Angeles, CA, United States. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/154193120004403811>
- Park, H., & Koo, H. (2018). Emerging trends in 3D technology adopted in apparel design research and product development. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 42(1), 195–209. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2018.42.1.195>
- Park, J., & Nam, Y. J. (2016). Analysis of technical error of manual measurements. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 40(4), 641–649. <http://dx.doi.org/10.5850/JKSCT.2016.40.4.641>
- Robinette, K. M., & Daanen, H. A. (2006). Precision of the CAESAR scan-extracted measurements. *Applied Ergonomics*, 37(3), 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.07.009>
- Sims, R. E., Marshall, R., Gyi, D. E., Summerskill, S. J., & Case, K. (2012). Collection of anthropometry from older and physically impaired persons: Traditional methods versus TC2 3-D body scanner. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.10.002>
- Tiwari, M., & Anand, N. (2021). Validation and reliability of sizestream 3D scanner for human body measurement. In M.

- Abhijit, G. Deepti, & G. Sanjay (Eds.), *Functional Textiles and Clothing 2020* (pp. 13–23). Springer Singapore.
- Utermohle, C. J., & Zegura, S. L. (1982). Intra-and interobserver error in craniometry: A cautionary tale. *American Journal of Physical Anthropology*, 57(3), 303–310. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330570307>
- Weinberg, S. M., Naidoo, S., Govier, D. P., Martin, R. A., Kane, A. A., & Marazita, M. L. (2006). Anthropometric precision and accuracy of digital three-dimensional photogrammetry: Comparing the Genex and 3dMD imaging systems with one another and with direct anthropometry. *Journal of Craniofacial Surgery*, 17(3), 477–483. <http://dx.doi.org/10.1097/0001665-200605000-00015>
- Weinberg, S. M., Scott, N. M., Neiswanger, K., Brandon, C. A., & Marazita, M. L. (2004). Digital three-dimensional photogrammetry: Evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 41(5), 507–518. <https://doi.org/10.1597/03-066.1>
- Whang, M. C., Yoo, J. W., & Kim, J. Y. (2002). A study to determine allowable measurement error during anthropometric measurement. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 21(4), 107–115.
- Wong, J. Y., Oh, A. K., Ohta, E., Hunt, A. T., Rogers, G. F., Mulliken, J. B., & Deutsch, C. K. (2008). Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 45(3), 232–239. <https://doi.org/10.1597/06-175>