

다중 2D 영상을 이용한 3D 인체 계측 시스템

김 창 우* · 최 창 석** · 김 호 숙*** · 강 인 애**** · 전 준 현*****
명지대학교 정보통신공학과 석사과정* · 명지대학교 정보공학과 교수** · 건국대학교 의상학과
교수*** · 건국대학교 의상학과 박사과정**** · 동국대학교 영상정보통신대학원 교수*****

A System for Measuring 3D Human Bodies Using the Multiple 2D Images

Chang-Woo Kim* · Chang-Seok Choi** · Hyo-Sook Kim*** · Gang In-Hye**** ·
Joon-Hyeon Jeon*****

Master Candidate, Dept. of Info. & Comm. Engineering MyongJi University*

Professor, Dept. of Information Engineering MyongJi University**

Professor, Dept. of Clothing and Textile, Konkuk University***

Doctor Candidate, Dept. of Clothing and Textile, Konkuk University****

Professor, Graduate School of Image & Info. Tech. Dongguk University*****

(2002. 8. 19 투고)

ABSTRACT

This paper proposes a system for measuring the 3D human bodies using the multiple 2D images. The system establishes the multiple image input circumstance from the digital camera for image measurement. The algorithm considering perspective projection leads us to estimate the 3D human bodies from the multiple 2D images such as frontal, side and rear views. The results of the image measurement is compared those of the direct measurement and the 3D scanner for the total 40 items (12 heights, 15 widths and 13 depths). Three persons measure the 40 items using the three measurement methods. In comparison of the results obtained among the measurement methods and the persons, the results between the image measurement and the 3D scanner are very similar. However, the errors for the direct measurement are relatively larger than those between the image measurement and the 3D scanner. For example, the maximum errors between the image measurement and the 3D scanner are 0.41cm in height, 0.39cm in width and 0.95cm in depth. The errors are acceptable in body measurement. Performance of the image measurement is superior to the direct, because the algorithm estimates the 3D positions using the perspective projection. In above comparison, the image measurement is expected as a new method for measuring the 3D body, since it has the various advantages of the direct measurement and 3D scanner in performance for measurement as well as in the devices, cost, portability and man power.

Corresponding author: Chang-Seok Choi, E-mail: cschoi@mju.ac.kr

본 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00406-0)지원으로 수행되었음.

Key words : 3D Human Body Measurement(3D 인체계측), Multiple 2D Images(다중 2D 영상), Digital Camera(디지털 카메라), Martin Measurement(마틴계측), Comparison of Measurement Method(계측방법비교)

I. 서 론

인체계측은 인체의 형태분석을 위해 의상학, 인간공학, 의학의 학문분야와 인체에 관련된 산업 분야 등 다방면에서 널리 이용되고 있다. 인체계측은 크게 직접계측과 간접계측으로 나누어 볼 수 있다.

직접계측은 마틴 계측자를 인체에 직접 접촉하여 계측하는 방법으로 전통적으로 널리 이용되고 있다. 계측 과정은 통상, 인체부위의 계측, 계측 데이터를 계측 표에 기록, 컴퓨터 입력의 순으로 이루어진다.^[1] 이들 과정에서 인력이 소요되고, 오차가 발생하며, 피계측자는 계측하는 동안 약 20분 정도 고정 자세를 취해야 하고, 수영복 차림의 전신노출로 인한 수치감, 피부 접촉에 대한 거부감을 느낄 수 있는 문제가 있다.

한편, 간접계측은 피계측자를 직접 접촉하지 않고 사진이나 3D계측장치를 이용하여 계측하는 방법으로, 직접계측에서 발생하는 문제를 일부 완화 또는 해결할 수 있고, 자료보존 측면에서도 좋은 방법으로 인식되고 있다. 먼저, 사진을 이용하는 방법은 피계측자의 촬영, 사진인화, 사진 상에서 마틴 계측자를 이용한 인체부위의 계측, 계측 표에 기록, 컴퓨터 입력의 순으로 이루어진다. 촬영시간은 짧기 때문에 피계측자의 수치감 및 피부접촉의 거부감에 대한 배려는 가능하지만, 직접계측보다 오히려 복잡한 과정이고, 많은 인원을 계측할 경우, 사진인화 비용도 상당하다. 또한, 2D사진은 3D인체의 사영투영이기 때문에, 이를 고려하지 않으면 상당한 계측오차가 발생할 수 있다는 문제가 있다.

3D계측장치를 이용하는 경우는 인체의 3D스캔, 컴퓨터에서 계측점의 지정의 순으로 이루어진다.^[2] 이 방법은 공간해상도가 0.5cm정도로 세 가지 방법 중 가장 정밀한 계측수단으로 알려져 있으며, 스캔시간이 17초 정도로 짧고, 계측과정이 단순하고 컴퓨터 내에서 측정이 이루어지기 때문에, 통계처리 패키지와의 연계성도 좋다. 그러나, 장비구입

또는 임대가 고가이고, 계측 장치의 이동이 불편하다. 또한, 스캔데이터가 손상되거나 누락되는 부위가 종종 있어 주위로부터 보간하고 있으나, 보간 부위가 원래의 체형과 달라 계측 오차의 원인이 되기도 한다. 이러한 이유로 인체계측의 측면에서는 아직은 이용도가 저조한 편이다.

이러한 점을 종합해 볼 때 피계측자에 대한 배려, 고정도의 계측, 용이한 계측, 기동성, 통계패키지와 연계성, 저렴한 계측 비용 등을 고려한 인체계측장치가 필요하게 된다. 이러한 계측장치를 개발하기 위해서는, 계측과정이 단순하고 컴퓨터와의 연계성이 좋은 계측방법이 필요하다. 계측과정이 복잡할 수록 인력이 많이 소요되고, 오차가 발생할 가능성이 높으며, 컴퓨터를 이용하면 계측과정을 단순화하여 인력을 절감하고, 오차를 줄일 수 있기 때문이다. 디지털 카메라와 컴퓨터를 이용하여 사진계측의 단점을 보완하면, 이러한 계측장치를 개발할 수 있는 가능성이 있다.

본 연구에서는 디지털 카메라로 인체의 2D영상을 촬영하여, 컴퓨터를 이용하여 3D인체를 계측하는 영상계측 방법을 제안한다. 먼저, 계측오차를 최대한 줄일 수 있는 인체촬영 환경을 설정한다. 설정한 환경에서 디지털 카메라로 인체의 정면, 측면, 후면의 2D영상을 촬영한 후, 컴퓨터 내에서 2D영상 위에 계측점을 대화적으로 지정한다. 2D영상의 계측점으로부터 사영투영을 이용하여 계측점의 3차원 위치를 추정하여 인체의 계측치를 산출한다. 실험에서는 영상계측의 가능성을 타진하기 위해, 인체계측 항목 중에서 높이, 너비, 두께 항목을 계측한 결과에 대해 직접계측, 영상계측, 3D계측과 비교 검토한다. 한편, 사진계측에서는 사영투영을 고려하고 있지 않기 때문에, 사영투영에 의한 오차를 내포하고 있다. 반면, 영상계측에서는 사영투영을 고려하여 사영투영에 의한 오차를 배제할 수 있는 보다 우수한 방법이다. 사영투영에 의한 오차를 알기 위해, 사진계측의 결과와도 비교한다.

II. 인체 계측의 환경설정

1. 계측환경 설정시 고려조건

인체 계측시 오차를 최대한 줄일 수 있는 계측 환경을 설정하기 위해 다음과 같은 조건을 고려하고 있다.

- (1) 인체와 카메라의 거리 : 디지털 카메라로 촬영한 영상은 3D인체의 사영투영이다. 인체 영상을 가능한 평행투영에 가깝게 하기 위해, 인체와 카메라간의 거리를 가능한 멀리 한다.
- (2) 계측점의 관측 : 최소한 정면, 측면, 후면의 2D영상이 필요하다. 이들 영상에서 계측점을 쉽게 관측할 수 있도록 인체 영상을 촬영한다.
- (3) 계측점의 대응 : 사영투영을 이용하여 계측점의 3차원 위치를 용이하게 추정하기 위해 정면, 측면, 후면의 계측점 간에 대응을 이룬다.
- (4) 양자화 오차 : 컴퓨터 내에서는 디지털영상으로 인체를 계측하므로 해상도를 높게 하여 양자화 오차를 최대한 줄인다.
- (5) 일정한 촬영 환경 유지 : 많은 인원을 계측하는 경우에도, 일정한 촬영환경을 유지한다.

이상의 고려 사항을 보면, 인체-카메라 거리와 양자화 오차는 상반관계에 있다. 즉, 카메라 거리를 멀리 하면 양자화 오차가 커지고, 양자화 오차를 줄이려면 카메라 거리가 가까워야 한다. 이들 양자화의 오차를 줄이기 위해서는 카메라 렌즈의 비율을 높이는 것이 한 방법이다.

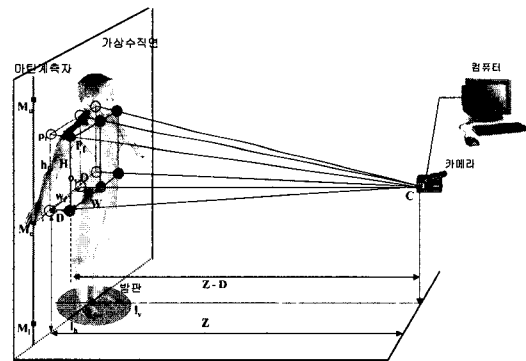
2. 계측 환경의 설정

본 연구에서는 상기의 고려 사항을 가능한 만족시키기 위해, 인체 촬영 환경을 <그림 1>과 같이 설정하였다.

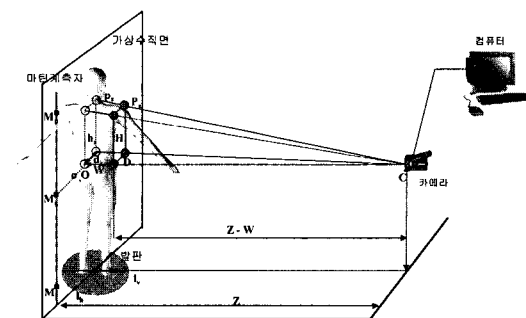
- (1) 촬영 기자재 : 디지털 카메라, 발판, 180cm 정도 높이의 마틴 계측자, 컴퓨터로 이루어

져 있다.

- (2) 발판 : 발판의 중앙에 십자(+)를 그어, 수평 중심선(l_h)과 수직중심선(l_v)를 설정한다.
- (3) 가상수직면 : l_h 상에 발판과 수직하게 가상의 수직면을 설정하고, 가상 수직면상에 인체 영상이 투영된다고 가정한다.
- (4) 마틴 계측자 : 마틴 계측자를 가상수직면에 포함시켜, 발판과 수직하게 마틴 계측자를 세운다. 마틴자의 상하에 점(M_u, M_l)를 설정하여 마틴자의 스케일과 영상의 화소간 거리를 비교하여, 인체의 투영길이를 산출한다. M_c 는 카메라 높이로 설정한다.



(a) 정면



(b) 측면

<그림 1> 인체계측 환경

- (5) 디지털 카메라 : 해상도 1712×1638화소, 3배 줌의 카메라를 사용하고, 카메라 광축은 l_v

에 평행하게 일치시킨다. 해상도가 높고, 렌즈의 배율이 높으면 좀 더 정확한 측정이 가능하다.

- (6) 카메라 설치 : 카메라와 발판의 중심과의 거리는 571cm, 카메라 높이 M_c 는 98cm로 하고 있다. 평행투영을 위해서는 카메라의 거리를 멀리해야 하고, 양자화 오차를 줄이기 위해서는 카메라 거리를 가깝게 해야 하는 상반조건을 절충하는 거리로서, 전신 촬영이 가능한 거리를 선택했다. 또한, 인체의 중심부가 카메라 광축에 대체로 일치하도록 카메라 높이를 설정했다.
- (7) 인체정면 : 양발의 중앙을 인체중심선으로 하여 l_v 에 일치시키고, 복숭아뼈를 l_h 에 일치시킨다.
- (8) 인체측면 : 인체중심선은 l_h 에, 복숭아뼈는 l_v 에 일치시킨다.
- (9) 인체후면 : 뒤로 도는 자세로 앞면과 같다.

III. 계측항목과 계측점의 지정

1. 계측항목

<표 1>과 같이 인체의 3차원 형상을 설명할 수 있는 높이 12항목, 너비 15항목, 두께 13항목으로 이루어진 총 40개의 계측항목을 설정하고 있다. 이들 항목을 계측하기 위해, 정면, 측면, 후면 영상에서 <그림 2>와 같이 계측점(백점)을 체표면에 설정하고 있다. 계측점들은 <문헌 1>을 참고로 설정하였다. 또한, 이 점들은 정면과 측면, 후면과 측면에서 계측항목별로 각각 대응을 이루도록 설정되어 있다.

2. 계측점 지정 화면

입력된 영상을 컴퓨터 모니터에 디스플레이하여, 계측항목의 계측점을 대화적으로 지정한다. 지

정된 계측점의 영상내의 좌표가 프로그램에 입력되고, 프로그램에서 인체의 3차원 위치가 자동 산출되고 있다. 높이를 계측하기 위해, 인체의 정면 사진을 디스플레이한 화면을 <그림 3>에 나타낸다. 이 유저인터페이스는 5개의 부분으로 나누어져 있다. 이하, 각 부분에 대해서 설명한다.

<표 1> 계측항목

G. 높이항목	W.너비항목	D.두께항목
1.키	1.머리너비	1. 머리두께
2.뒤목점높이	2.목밑너비	2.목밑두께
3.어깨높이	3.어깨너비	3.윗가슴두께
4.겨드랑이높이	4.몸통너비	4.가슴두께
5.앞목점높이	5.윗가슴너비	5.진동두께
6.유두점높이	6.유폭	6.밑가슴두께
7.허리높이	7.가슴너비	7.허리두께
8.배높이	8.밑가슴너비	8.배두께
9.엉덩이높이	9.허리너비	9.엉덩이두께
10.회음높이	10.배너비	10.허벅지두께
11.무릎높이	11.엉덩이너비	11.무릎두께
12.발목높이	12.허벅지너비	12.종아리두께
	13.무릎너비	13.발목두께
	14.종아리너비	
	15.발목너비	



(a) 정면



(b) 측면

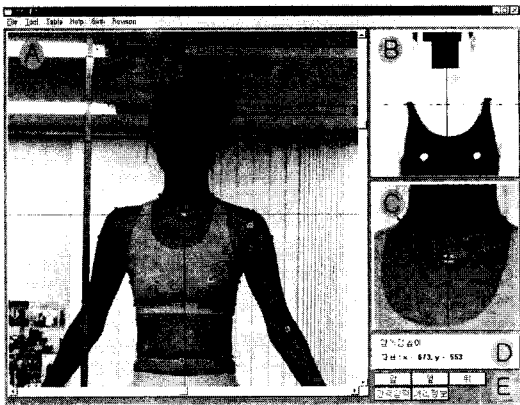


(c) 후면

<그림 2> 영상 계측을 위한 2D 영상

- ㉓ 화면 : ㉑ 화면에서 지정된 점을 중심으로 ㉑ 화면을 2배 확대한 화면으로, 점을 좀 더 정확히 지정할 수 있도록 미세 조정이 가능하다.
- ㉔ 화면 : 지정된 점의 계측항목의 이름(ID), 지정된 점의 X, Y의 좌표를 나타내는 화면이다.
- ㉕ 화면 : 피계측자의 정면, 측면, 후면의 영상을 불러내고, 발판 옆에 세운 마틴자를 이용하여 1화소 당 거리를 산출하고, 카메라와 인체의 거리등을 입력하는 화면이다.

예를 들면, ㉑ 화면 속에 지정된 점이 앞목점이다. 이점이 앞목점에 해당한다는 것은 ㉒ 화면에서 나타내는 점과 ㉔ 화면의 계측항목의 이름으로부터 알 수 있다. ㉑ 화면에서 앞목점의 위치를 대략적으로 지정하면, ㉓ 화면에서 미세 조정하여, 좀 더 정밀한 계측이 가능하도록 하고 있다.



<그림 3> 계측점 지정을 위한 유저 인터페이스

- ㉑ 화면 : 인체영상을 나타내는 주 화면으로, 디지털 카메라의 1638×1712 화소의 영상을 컴퓨터 모니터 해상도를 고려하여 980×760 화소의 영상으로 디스플레이한다. 보이지 않는 부분은 스크롤 바를 이동하여 볼 수 있다. 이 화면에서 계측점의 대략적인 지정이 이루어진다.
- ㉒ 화면 : ㉑ 화면에서 지정한 점에 해당하는 인체 부위의 점을 나타내는 참조화면이다. ㉑ 화면과 연동하여, ㉑ 화면에서 지정한 점이 인체의 어느 부위의 점인가를 나타낸다.

IV. 계측점의 3차원 위치 산출

1. 인체의 3차원 위치 산출의 개념

정면과 측면의 2D영상의 계측점에서 사영투영을 이용하여 인체의 3차원 계측점의 위치를 추정하는 개념은 <그림 1>과 같다. <그림 1(a)>에서 발판의 수직과 수평의 교차점, 카메라 높이를 3D 인체의 원점 $O(X_o, Y_o, Z_o)$ 으로 하고, 가상수직면에서도 같은 점을 원점 $o(x_o, y_o)$ 으로 한다. 카메라는 발판에서 Z 만큼 떨어져 있다. 또, 인체 표면상의 어깨높이점을 $P_f(X_f, Y_f, Z_f)$, 가상수직면에 투영된 점을 $p_f(x_f, y_f)$ 라 한다. 나아가서, 원점을 중심으로 높이는 H , 너비는 W , 두께를 D 라 하면, 가상 수직면에 투영된 높이는 h_f , 너비는 w_f 이다. <그림 1(b)>의 측면 영상에서도 H 는 h_s , D 는 d_s 에 투영된다고 가정한다. 정면과 측면의 영상에서 사영투영을 고려하여 실제거리와 투영거리의 관계를 다음과 같이 정식화 할 수 있다.

$$W = \frac{Z-D}{Z} w_f \quad (1)$$

$$D = \frac{Z-W}{Z} d_s \quad (2)$$

$$H = \frac{Z-D}{Z} h_f \quad (3)$$

$$= \frac{Z-W}{Z} h_s \quad (4)$$

식 (1)과 식 (2)을 연립하면, 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$W = \frac{Z-d_s}{Z^2-w_f d_s} Z w_f \quad (5)$$

$$D = \frac{Z-w_f}{Z^2-w_f d_s} Z d_s \quad (6)$$

카메라의 거리 (Z), 정면과 측면의 투영거리 (w_f , d_s)를 알면, 식(3)~식(6)을 통해 계측점의 3차원 위치를 알 수 있다. 여기서, 투영거리 (w_f , d_s , h_f , h_s)는 마틴자의 스케일과 화소거리를 비교하여 산출한다. 즉, 가상수직면에서 마틴계측자상의 두 점 (M_u , M_l)을 지정하여, 두 점간의 마틴자의 거리에 대한 화소수를 계산하여 화소당 거리를 산출한다. 구체적으로, <그림 1>의 점 M_u , M_l 에 대응하는 <그림 2>의 가상 수직면의 점을 m_u , m_l 라 하면, 화소당 거리 l_p 를 다음과 같이 산출할 수 있다. 본 논문에서는 l_p 는 0.12cm로 산출되고 있다.

$$l_p = \frac{M_u - M_l}{m_u - m_l} \quad (7)$$

사진계측에서는 3차원 인체가 가상수직면에 투영된 거리 (w_f , d_s , h_f , h_s)를 이용하여 계측하고 있다. 이에 비해, 영상계측에서는 투영된 거리로부터 3차원 위치 (H , W , D)를 추정하여 계측하고 있기 때문에, 사영투영에 의한 오차를 배제할 수 있다.

2. 높이 항목의 산출

계측점의 2D좌표를 지정하여, 가상수직면의 원

점 o 와 비교하여 투영거리를 산출한다. 즉, 정면과 측면의 가상수직면에서 높이에 해당하는 대응점을 각각 $p_f(x_f, y_f)$, $p_s(x_s, y_s)$ 라 하면 투영거리를 다음과 같이 산출한다.

$$w_f = (x_f - x_o) \cdot l_p \quad (8)$$

$$d_s = (x_s - x_o) \cdot l_p \quad (9)$$

$$h_f = (y_f - y_o) \cdot l_p \quad (10)$$

$$h_s = (y_s - y_o) \cdot l_p \quad (11)$$

식(8)과 식(9)를 식(5)와 식(6)에 대입하여, 너비 W 와 두께 D 를 산출한다. W 와 D , 식(10)과 식(11)을 식(3)과 식(4)에 대입하여 높이 H 를 산출한다. 정면과 측면에서 산출한 높이가 이상적으로는 같아야 하지만, 정면과 측면에서 지정한 대응점이 일치한다고 볼 수 없기 때문에, 두 높이를 평균하여 높이를 결정한다. 후면의 높이는 후면과 측면의 영상을 이용하여 같은 방법으로 산출한다.

3. 너비 항목의 산출

정면에서 너비항목의 좌우계측점과 측면의 대응점을 지정하여 너비를 산출한다. 먼저 좌측계측점에 대해 정면영상에서 $p_f(x_{lf}, y_{lf})$ 을, 측면영상에서 $p_s(x_{ls}, y_{ls})$ 을 지정하면 투영거리를 각각 영상에서 다음과 같이 산출한다.

$$w_{lf} = (x_{lf} - x_o) \cdot l_p \quad (12)$$

$$d_{ls} = (x_{ls} - x_o) \cdot l_p \quad (13)$$

정면과 측면의 투영거리 (w_{lf} , d_{ls})를 식(5)와 식(6)을 대입하여 두께 D_l 과 너비 W_l 를 산출한다. 우측점에서도 좌측과 같은 두께를 가정하여 인체상의 우측점 W_r 을 추정한다. 인체상의 좌우점간의 거리를 너비로 한다.

4. 두께 항목의 산출

측면에서 두께항목의 앞, 뒤점을 지정하고, 정면에서 두께항목의 계측점을 지정하여 너비와 유사

한 방법으로 두께를 산출한다.

V. 계측치의 비교

인체의 계측점을 백색 스티커로 마킹하고, 3인이 교대로 시행한 직접계측, 영상계측, 3D계측의 결과를 상호 비교 검토한다. 피험자는 여성 1명이고, 나이는 23세이다.

1. 계측점의 마킹 및 계측자세

피계측자의 체표면에 백색 스티커로 계측점을 <그림 2>와 같이 마킹한다. 계측자세는 양팔과 다리를 약간 벌린 자세로 한다. 인체의 정면, 측면, 후면의 자세를 일치시키기 위해, II.2절의 방법대로 양발의 중앙과 복숭아뼈를 발판의 수직수평교차점에 일치시키고, 몸과 팔목의 거리를 20cm로 하고, 양발의 간격은 15cm로 유지하였다. 이 자세는 실제 높이와는 다소 차이가 있으나, 회음부위와 겨드랑이와 같이 겹쳐진 부위를 가능한 한 3D 스캔하기 위해서이다. 금번 연구의 목적은 피계측자의 정확한 높이를 계측하기보다는 영상계측, 직접계측, 3D계측이 모두 가능한 자세를 취하여, 이들 상호간 계측치의 비교에 중점을 두고 있기 때문이다.

2. 계측자간 계측치 비교

계측방법별로 3인이 교대로 계측한 계측치를 비교한다. 실험방법은 체표면에 스티커를 부착한 후, 직접계측을 하고 나서, 3D스캐너로 이용하여 3D스캔을 한다. 같은 자세를 유지한 채로 정면, 측면, 후면의 영상을 차례로 촬영하였다. 3인이 계측한 것은 체표면에 백색스티커를 마킹한다고 하더라도, 계측방법에 따라서 계측자간에 차이가 발생할 수 있을 것이라고 생각하기 때문이다.

1) 직접계측

마틴 계측기를 이용하여 계측한다. 계측결과를

<표 2>에 나타낸다. 계측자 사이에서 발생한 비교적 큰 차이는 높이, 너비, 두께항목에서 대체로 1cm내외이다. 최대 차이는 허리높이가 2.40cm, 윗가슴 너비가 1.90cm, 두께에서 윗가슴 두께가 2.80cm이다. 이들은 다른 항목에 비해서 월등히 큰 것으로 보아, 계측자에 따라 계측위치가 서로 약간씩 달랐다고 보이나, 계측자가 계측한 후 계측위치를 정확히 기억하고 있지 않아 확인하는데는 어려움이 있었다. 또한, 3인의 평균치와 계측자간으로 발생하는 오차의 절대 평균은 0.36cm이다. 계측시간은 15분~20분 정도 소요되었다.

2) 영상계측

영상계측결과를 <표 3>에 나타낸다. 정면과 측면, 측면과 후면의 영상을 이용하여 계측점을 지정하고, 식(5)~식(6)으로 추정된 계측결과이다. 계측자간의 비교적 큰 차이는 0.3cm내외이다. 최대 차이는 배 높이가 0.44cm, 배 너비가 0.38cm, 머리 두께가 0.37cm정도이다. 계측자간 차이는 직접계측에 비해 훨씬 적은 편이다. 평균치와 비교한 오차의 절대 평균은 0.073cm으로, 화소 당 거리가 0.12cm로 볼 때, 양호한 결과로 볼 수 있다. 계측시간은 5분~10분 정도 소요되고 있다. 또한, 계측점은 보존이 가능하기 때문에 계측 후에도 계측부위를 확인 할 수 있는 장점이 있다. 나아가서, 인체의 정면, 측면, 후면을 촬영하여 계측점을 지정하면, 인체계측은 완료된다. 계측표는 컴퓨터 프로그램에서 자동 작성되기 때문에 통계패키지와 연계성이 좋으며 인력부담도 경감 될 것이다.

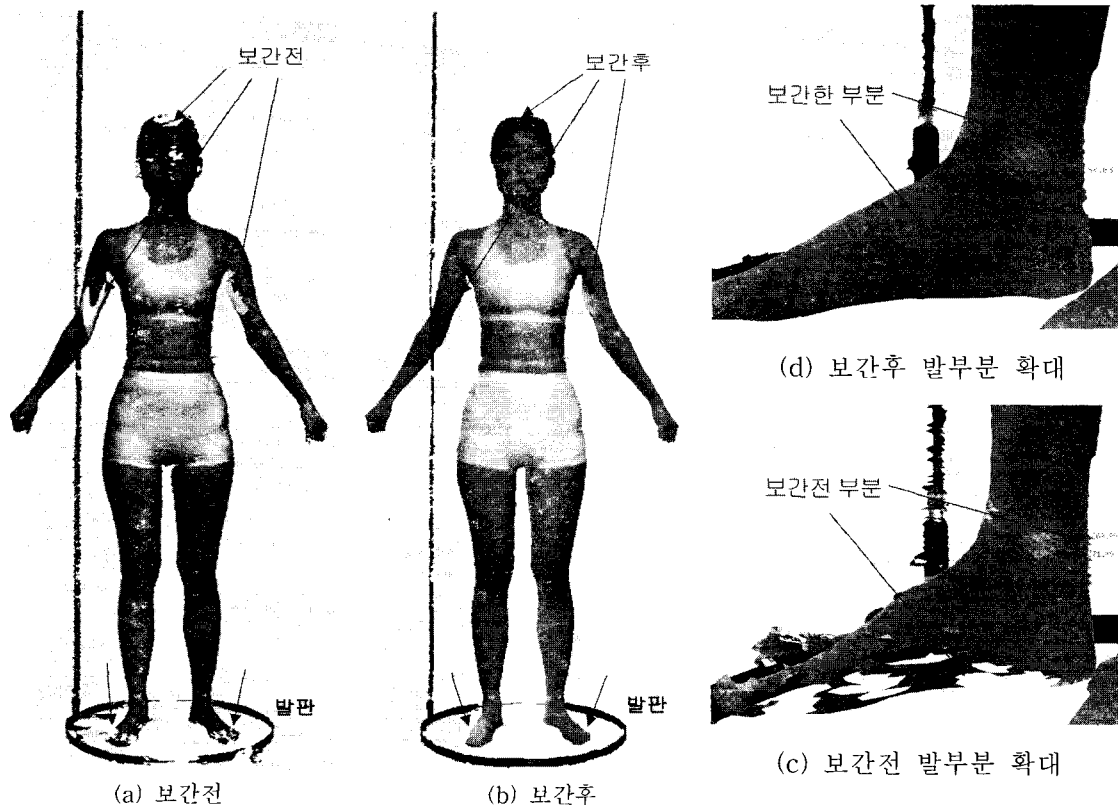
3) 3D계측

Cyberware의 Whole Body Color 3D Scanner Model WB4^[3]를 이용한 3D계측결과를 <표 4>에 나타낸다. 계측자간의 비교적 큰 차이는 0.3cm내외이다. 최대차이는 겨드랑이 높이가 0.40cm, 밑가슴 너비 0.50cm, 가슴두께가 0.29cm이다. 평균치와 비교한 오차의 절대 평균은 0.083cm이다. 이 결과는 직접계측보다는 오차가 훨씬 적고, 영상계측과 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 계측시간은 30분~35분 정도 소요되고 있다. 3D계측 또한 자료보존

<표 4> 3D계측결과

(단위 cm)

G. 높이	계측지1	계측지2	계측지3	평균	최대차이	오차의 절대평균	w,너비	계측지1	계측지2	계측지3	평균	최대차이	오차의 절대평균	D. 두께	계측지1	계측지2	계측지3	평균	최대차이	오차의 절대평균	
																					1. 머리
	166.81	166.87	166.87	166.85	0.06	0.03		15.53	15.89	15.64	15.69	0.36	0.14		17.78	17.81	17.82	17.80	0.04	0.02	
	140.90	140.50	140.79	140.73	0.40	0.15		12.03	11.64	11.66	11.78	0.39	0.17		10.99	11.09	10.97	11.02	0.12	0.05	
	136.97	136.97	137.05	137.00	0.08	0.04		32.38	32.22	32.65	32.42	0.43	0.16		19.13	19.13	18.93	19.06	0.20	0.09	
	127.39	127.59	127.79	127.59	0.40	0.13		40.38	40.50	40.21	40.36	0.29	0.10		19.41	19.58	19.70	19.56	0.29	0.10	
	134.58	134.80	134.83	134.74	0.25	0.10		26.89	26.73	27.22	26.95	0.49	0.18		9.38	9.49	9.28	9.38	0.21	0.07	
	118.39	118.39	118.59	118.46	0.20	0.09		11.96	12.24	12.24	12.15	0.28	0.12		17.56	17.69	17.45	17.57	0.24	0.08	
	100.61	100.61	100.80	100.67	0.19	0.08		24.41	24.48	24.42	24.44	0.07	0.03		15.75	15.74	15.85	15.78	0.11	0.05	
	92.79	92.59	92.59	92.66	0.20	0.09		22.69	22.95	22.45	22.70	0.50	0.17		18.21	18.26	18.34	18.27	0.13	0.05	
	81.99	81.60	81.60	81.73	0.39	0.17		20.97	21.04	21.06	21.02	0.09	0.04		21.60	21.63	21.64	21.62	0.04	0.02	
	72.16	72.17	71.90	72.08	0.27	0.12		27.11	27.39	27.45	27.32	0.35	0.14		16.99	16.92	16.90	16.94	0.09	0.04	
	43.00	43.19	42.99	43.06	0.20	0.09		31.55	31.57	31.55	31.56	0.02	0.01		10.40	10.43	10.35	10.39	0.05	0.03	
	6.60	6.40	6.40	6.47	0.20	0.09		15.54	15.33	15.42	15.43	0.21	0.07		9.31	9.34	9.38	9.34	0.07	0.02	
								10.07	9.87	10.24	10.06	0.37	0.13		6.74	6.93	6.75	6.81	0.19	0.08	
								9.60	9.59	9.67	9.62	0.08	0.03								
								5.29	5.29	5.30	5.29	0.01	0.00								
오차의 절대평균						0.10	오차의 절대평균						0.10	오차의 절대평균						0.05	



<그림 4> 3D스캐너의 보간 전후 데이터 비교

0.5cm를 보정하고 있으나, 발목두께는 3D스캔 데이터를 그대로 계측한 것이다. 한편, 피계측자가

많을 경우 손상된 데이터를 보간하기 위한 인력부담도 상당한 것으로 보여진다. 또한, 3D계측 프로그램은 컴퓨터 상에서 계측은 가능하나, 계측표의 자동작성에는 이르지 못해 추가적인 프로그램의 개발도 필요하다.

3. 계측방법별 계측치 비교

3인의 계측치를 평균하여 계측방법별 계측치를 <표 5>에 비교한다. 영상계측과 직접계측사이의 비교적 큰 차이는 0.7~1.0cm정도이며, 최대 차이는 무릎 높이에서 2.34cm, 어깨 너비에서 1.84cm, 윗가슴 두께에서 2.32cm이다. 이들 항목에서 두 방법과 3D계측결과를 비교해 보면, 영상계측과 3D계측의 결과가 유사한 것으로 보아, 직접계측에서 발생한 차이가 크다고 할 수 있다.

영상계측과 3D계측과의 비교적 큰 차이는 0.3cm 내외이며, 최대 차이는 어깨 높이에서 0.41cm, 허리 너비에서 0.39cm, 발목두께에서 0.95cm이다. 이들 항목에서 직접계측의 결과와 비교해 볼 때, 3D계측에서 발생한 오차가 크고, 영상계측과 대체로 유사한 결과를 보인다는 것을 알 수 있다. 특히 발목두께는 IV.2절에서 지적한대로 3D스캔 데이터의 발목부분이 0.5cm정도 손상되어 발생한 오차로 생각된다.

<표 5> 계측방법별 계측치의 상호간 차이 비교

H. 높이	영상-직접	영상-3D	직접-3D	W. 너비	영상-직접	영상-3D	직접-3D	D. 두께	영상-직접	영상-3D	직접-3D
1. 키	0.32	0.03	-0.35	1. 머리	0.15	-0.01	-0.16	1. 머리	-0.92	0.24	1.16
2. 뒤목점	0.69	-0.24	-0.93	2. 목밑	-0.60	0.25	0.86	2. 목밑	0.35	-0.11	-0.46
3. 어깨	0.79	-0.41	-1.20	3. 어깨	-1.84	-0.12	1.72	3. 윗가슴	2.32	0.05	-2.26
4. 겨드랑이	0.62	-0.02	-0.64	4. 윗통	0.46	-0.11	-0.56	4. 가슴	-0.23	-0.36	-0.13
5. 앞목점	-0.54	-0.08	0.46	5. 윗가슴	1.08	0.23	-0.85	5. 진동	-0.07	0.31	0.38
6. 유두점	0.87	0.08	-0.79	6. 윗목	-0.41	0.21	0.62	6. 밑가슴	0.87	-0.39	-1.27
7. 허리	-0.57	-0.14	0.43	7. 가슴	-0.46	0.27	0.73	7. 허리	0.16	-0.16	-0.31
8. 배	0.77	0.18	-0.59	8. 밑가슴	-0.87	0.30	1.17	8. 배	-0.69	-0.26	0.43
9. 엉덩이	-0.08	0.09	0.17	9. 허리	0.12	0.39	0.28	9. 엉덩이	0.65	0.00	-0.66
10. 회음	0.05	0.24	0.19	10. 배	-0.13	0.38	0.51	10. 허벅지	0.66	0.16	-0.50
11. 무릎	2.34	-0.29	-2.63	11. 엉덩이	0.08	0.36	0.28	11. 무릎	-0.07	0.17	0.24
12. 발목	0.41	0.11	-0.30	12. 허벅지	-0.36	0.34	0.70	12. 종아리	0.08	0.37	0.29
				13. 무릎	0.47	0.04	-0.43	13. 발목	0.19	0.95	0.76
				14. 종아리	0.11	0.22	0.11				
				15. 발목	-0.31	0.21	0.52				
오차의 절대평균	0.35	0.09	0.44	오차의 절대평균	0.32	0.09	0.30	오차의 절대평균	0.42	0.16	0.42

(단위 cm)

3D계측과 직접계측사이의 비교적 차이는 0.7cm~1.0cm정도이며, 최대 차이는 무릎높이에서 2.63cm, 어깨너비에서 1.72cm, 윗가슴 두께에서 2.26cm이다. 이 결과는 영상계측과 직접계측사이의 차이와 유사하다. 비교 결과를 종합하면, 영상계측과 3D계측은 유사한 결과를 보이고 있으나, 직접계측은 두 방법과 차이가 크다고 할 수 있다.

4. 영상계측과 사진계측의 비교

인체의 2D영상은 3D인체를 가상수직면에 사영 투영한 결과이다. 사진계측은 인체영상을 촬영하여, 인체의 3차원 형상을 고려하지 않고 가상수직면상에서 계측점간의 2차원 거리를 단순히 측정하는 방법이다. 이에 대해, 영상계측은 인체영상을 촬영하는 것은 사진계측과 동일하나, IV.와 같이 가상수직면상의 거리로부터 인체의 3차원 형상을 고려하여 3차원 거리로 보정하여 측정한다는 것이 다르다. 이러한 이유로 가상수직면에서 멀리 떨어져 있는 위치일수록 사진계측의 계측오차는 커져 간다. 식(1)~식(6)에서는 높이, 너비, 두께를 사진계측의 경우는 각각 h, w, d 로 나타내고, 영상계측의 경우는 H, W, D 로 나타내고 있다. 각 계측항목에서 이러한 오차의 양상을 나타내기 위해, 사진계측과 영상계측의 결과를 <표 6>에 비교한다.

<표 6> 영상계측과 사진계측(투영오차)의 비교

(단위 cm)

H. 높이	영상(정면)	사진(정면)	투영오차	영상(측면)	사진(측면)	투영오차	W. 넓이	영상	투영	투영오차	D. 두께	영상	사진	투영오차
1. 키	166.65	167.79	-1.14	166.86	166.65	0.21	1. 머리	15.55	15.84	-0.29	1. 머리	18.17	18.12	0.05
2. 뒤목점	140.58	140.40	0.18	140.66	140.72	-0.06	2. 목밑	12.07	12.20	-0.13	2. 목밑	10.95	10.92	0.03
3. 어깨	136.26	136.60	-0.34	136.91	137.95	-1.04	3. 어깨	32.30	32.58	-0.28	3. 윗가슴	19.19	19.38	-0.19
4. 겨드랑이	127.31	127.79	-0.48	127.80	128.51	-0.71	4. 몸통	40.26	40.37	-0.11	4. 가슴	19.21	19.38	-0.17
5. 앞목점	134.51	135.22	-0.71	134.89	134.81	0.08	5. 윗가슴	27.06	27.29	-0.23	5. 진동	9.57	9.81	-0.24
6. 유두점	118.56	119.24	-0.68	118.36	118.57	-0.21	6. 유두	12.44	12.84	-0.40	6. 밑가슴	17.26	17.24	0.02
7. 허리	100.66	100.75	-0.09	100.45	100.44	0.01	7. 가슴	24.83	25.03	-0.20	7. 허리	15.62	15.60	0.02
8. 배	92.47	92.32	0.15	92.63	92.64	-0.01	8. 밑가슴	23.08	23.27	-0.19	8. 배	18.14	18.12	0.02
9. 엉덩이	81.87	81.62	0.25	81.73	81.56	0.17	9. 허리	21.42	21.63	-0.21	9. 엉덩이	21.66	21.65	0.01
10. 회음	72.44	72.07	0.37	72.10	72.12	-0.02	10. 배	27.74	28.05	-0.31	10. 허벅지	17.18	17.49	-0.31
11. 무릎	42.91	42.13	0.78	42.86	42.16	0.70	11. 엉덩이	32.04	32.32	-0.28	11. 무릎	10.68	10.82	-0.14
12. 발목	6.54	6.54	0.00	6.46	6.65	1.81	12. 허벅지	15.85	15.97	-0.12	12. 종아리	9.64	9.81	-0.17
							13. 무릎	10.16	10.18	-0.02	13. 발목	7.75	7.77	-0.02
							14. 종아리	9.84	9.81	0.03				
							15. 발목	5.49	5.49	0.00				

사영투영에 대한 최대 차이는 높이항목에서 정면영상의 경우 키가 1.14cm, 측면영상의 경우 발목 높이가 1.81cm이며, 너비항목에서 유두가 0.4cm, 두께항목에서 허벅지두께가 0.31cm이다. 사영투영의 성질상 가상수직면의 원점에서 멀리 떨어져 있거나, 두께가 두꺼운 경우 오차가 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 가상 수직면의 원점으로 발판의 교차점과 카메라 광축과 만나는 몸중양의 허리높이 부근을 정하고 있기 때문에, 높이항목에서는 키, 어깨, 유두점, 무릎에서, 너비에서는 유두, 윗가슴, 허벅지등에서 큰 차이가 발생하고 있다.

5. 고찰

세 가지의 계측방법을 이용하여 높이, 너비, 두께 항목의 계측에 대한 오차, 시간, 장비, 비용, 기동성, 계측치 수정, 피계측자에 대한 배려등에 대해서 비교한 결과를 <표 7>에 정리한다.

계측자간 비교에서 계측점을 마크하고 있으나, 직접계측시 계측부위를 조금씩 달리 한 것이 계측자 사이에 차이가 커진 원인이라 생각되며, 영상계측과 3D계측에 비해서도 역시 큰 오차를 나타내고 있다. 계측에 수반되는 항목을 계측치 이외의 비교

한 결과, 직접계측은 계측장비가 간편하며 기동성은 좋으나, 계측오차가 크고, 계측치 수정, 피계측자에 대한 배려가 곤란한 편이다.

3D계측은 계측오차가 적고, 계측치 수정이 가능하고, 스캔시간이 짧아 피계측자에 대한 배려가 가능하나, 스캔 데이터가 일부 손상되는 경우가 있어, 보간하는 인력 부담이 있으며, 오차가 발생한다. 또한, 컴퓨터에서 계측시간이 길고 계측비용이 고가이고, 장비의 기동성이 떨어진다.

영상계측의 경우는 비교적 오차가 적고, 계측시간이 짧으며, 계측비용, 기동성, 계측치 수정 등 여러 가지 항목에서 비교적 좋은 결과를 나타내고 있으나, 은닉 부분은 추정하여 계측하고 있어, 오차를 발생시킬 원인이 된다.

이상으로 종합할 때, 영상계측의 정도는 3D계측과 유사하며, 인체 사진을 촬영하여 계측점 지정만으로 계측이 완료되어 계측비용이 저가이며 장비의 기동성도 좋은 편이다. 나아가서, 2D영상(사진계측)으로부터 인체의 3차원 위치를 추정하여 사영투영에 의한 오차를 보정하고 있기 때문에, 비교적 정확한 계측을 하고 있음을 알 수 있다.

<표 7> 계측방법의 종합 비교

항목		직접계측	영상계측	3D계측
계측자간 최대차이	높이	허리높이 (2.40cm)	배높이(0.44cm)	겨드랑이높이(0.40cm)
	너비	윗가슴너비(1.90cm)	배너비(0.38cm)	밑가슴너비 (0.50cm)
	두께	윗가슴두께(2.80cm)	머리두께(0.37cm)	가슴두께 (0.29cm)
계측자간 오차의 절대평균		0.36cm	0.073cm	0.083cm
계측 방법별 최대 차이	높이	영상 2.34cm, 3D 2.63cm	직접 2.34cm, 3D 0.41cm	직접 2.63cm, 영상 0.34cm
	너비	영상 1.84cm, 3D 1.72cm	직접 1.84cm, 3D 0.39cm	직접 1.72cm, 영상 0.39cm
	두께	영상 2.32cm, 3D 2.26cm	직접 2.32cm, 3D 0.95cm	직접 2.26cm, 영상 0.56cm
계측장비		마틴계측기set, 계측표, 컴퓨터	디지털카메라, 마틴계측기 (1개), 발판, 줄자, 컴퓨터	3D스캐너, 컴퓨터
계측시간		15~20분	5~10분	30~35분
계측비용		△	○	×
기동성		○	○	×
계측치 수정		×	○	○
피계측자에 대한 배려		×	○	○
통계패키지와 연계성		×	○	○
은닉부분계측		○	△	△
공간해상도		1mm	1.2mm	5mm
인력부담		△	○	×

VI. 결 론

디지털 카메라를 이용하여 인체의 다중영상을 촬영하여 3D인체를 계측하는 영상계측방법을 제안했다. 영상계측을 위해 인체촬영 환경을 설정하고, 사영투영을 고려하여 3D인체를 추정하는 알고리즘을 제시하고 있다. 이 방법은 정면, 측면, 후면의 인체 2D영상을 촬영하고, 계측점을 컴퓨터에서 지정하면, 계측이 완료된다. 인체계측표는 컴퓨터 프로그램에 의해 자동으로 작성되고 있으며, 인력 절감과 동시에 통계패키지와 연계성도 좋다. 높이, 너비, 두께의 계측항목에 대한 직접계측, 3D계측의 결과와 비교하여 <표 7>에 정리하고 있다.

계측치 비교에서는 영상계측이 계측자간 최대 차이, 오차의 절대평균 등에서 3D계측결과와 유사하다. 영상계측과 3D계측간의 최대차이는 어깨높이에서 0.41cm, 허리너비에서 0.39cm, 발목두께에서 0.95cm정도로 비교적 적고, 직접 계측에 비해 우수한 성능을 나타내고 있다. 이것은 영상계측에서 사영투영을 이용하여 인체의 3D위치를 추정하여 계측결과를 보정하고 있기 때문이다. 특히, 발목두께는 3D계측에서 발목부분이 손상되어 오차가 커진 것으로 보여진다. 또한, 영상계측에서는

유저 인터페이스를 강화하고, 사영투영을 고려하여 사영투영에 의한 오차를 배제할 수 있기 때문에, 사영투영을 고려하지 않는 사진계측보다는 우수한 방법이다.

종합적으로 볼 때, 영상계측은 계측의 정확성, 계측장비, 계측비용, 기동성, 인력부담 등 여러 가지 면에서 3D계측과 직접계측의 장점을 고루 갖춘 방법이라고 생각할 수 있다. 반면, 정면, 측면, 후면 영상에서 대응점의 정확한 지점과 겨드랑이, 회음점 등의 은닉부분의 추정이 있으나, 오차의 원인으로 생각할 수 있으나, 계측실험 결과, 오차는 비교적 적기 때문에, 길이와 둘레항목에 대한 계측 방법이 개발된다면 인체 계측에 충분히 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

금후 과제로는 길이, 둘레항목에 대한 계측 및 다수인에 대한 계측결과와의 비교를 들 수 있다.

참고문헌

- 1) 國立技術品質院 (1997). 國民標準體位 調查 報告書.
- 2) 高炳熙, 宋-炳, 趙鏞珍, 崔昌石, 金鐘元, 洪錫誌, 李義柱, 徐貞淑 (1996). 四象體質別 頭面部的 形態學的 特徵. 사상의학회지, Vol.8, No.1, pp. 101-186.
- 3) <http://www.Cyberware.com>