

2D 영상을 이용한 3D 인체 계측 방법

김창우*, 최창석*, 김효숙**, 강인애**

*명지대학교 정보통신, **건국대학교 의상학과

e-mail: {notkill, cschoi}@mju.ac.kr

A Measurement Method for 3D Human Body Using 2D Images

Chang-Woo Kim*, Chang-Seok Choi*, Hyo-Sook Kim**, In-Ae Kang**

*Division of Electronics, Information and Communication Engineering, Myongji University

**Department of Clothing and Textile, Konkuk University

요약

디지털 카메라를 이용하여 인체의 영상을 촬영하여 3D 인체를 계측하는 영상 계측 방법을 제안한다. 영상 계측을 위해 인체 촬영 환경을 설정하고, 정면, 측면, 후면의 인체 2D 영상을 촬영하여 사영투영을 고려하여 3D 인체를 추정하는 알고리즘을 개발한다. 인체 계측의 항목 중 40항목에 대해 직접 계측, 영상 계측, 3D 계측을 3인이 교대로 시행한 결과를 비교하고 있다. 계측자별, 계측 방법별로 비교할 때, 영상 계측은 최대오차 0.44cm로 3D 계측(허용오차 0.5cm)와 유사하여, 직접 계측에 비해 우수한 성능을 나타내고 있다. 이것은 영상 계측에서 사영투영을 이용하여 인체의 3D 위치를 추정하여 계측 결과를 보정하고 있기 때문이다. 또한, 계측치 이외에 계측 장비, 비용, 기동성, 인력 부담등 여러 가지면에서도 영상 계측은 장점을 고루 갖춘 방법으로 인체 계측에 사용할 수 있는 새로운 방법으로 기대된다.

I. 서론

인체 계측은 인체의 형태분석을 위해 의상학, 인간공학, 의학의 학문분야와 인체 관련된 산업 분야등 다방면에서 널리 이용되고 있다. 인체계측은 크게 직접 계측과 간접 계측으로 나누어 볼 수 있다.

직접 계측은 마틴 계측자를 인체에 직접 접촉하여 계측하는 방법으로 전통적으로 널리 이용되고 있다. 계측 과정은 통상, 인체부위 계측, 계측 데이터를 계측표에 기록, 컴퓨터 입력의 순으로 이루어진다. 이들 과정에서 인력이 소요되고, 오차가 발생하며, 수영복 차림의 피계측자는 계측시간 동안 피로, 수치감, 피부 접촉의 거부감 등을 느낄 수 있는 문제가 있다.

한편, 간접 계측은 피계측자를 직접 접촉하지 않고 사진이나 3D 계측장치를 이용하여 계측하는 방법이다. 먼저, 사진 계측 방법은 피계측자의 촬영, 사진인화, 사진상의 계측, 계측표에 기록, 컴퓨터 입력의 순으로 이루어진다. 촬영 시간은 짧기 때문에 피계측자의 수치감 및 피부접촉의 거부감에 대한 배려는 가능하지만, 직접계측보다 오히려 복잡한 과정이다. 또한, 2D 사진은 3D 인체의 사영투영이기 때문에, 상당한 계측오차가 발생한다는 문제가 있다.

3D 계측 장치를 이용하는 경우는^[1] 인체의 3D 스캔, 컴퓨터에서 계측점의 지정의 순으로 이루어진다. 이 방법은 세가지 방법 중 가장 정밀한 계측 수단으로 알려져 있으며, 스캔 시간이 짧고, 계측과정이 단순하고, 통계 처리 패키지와의 연계성도 좋다. 그러나, 장비 구입 또는 임대료가 고가이고 계측 장치의 이동이 불편하여 아직은 이용이 저조한 편이다.

이러한 점을 종합해 볼 때, 피계측자에 대한 배려, 고정도, 용이성, 기동성, 통계 처리 패키지와의 연계성, 비용등을 고려한 인체 계측 장치가 필요하게 된다. 디지털 카메라와 컴퓨터를 이용하여 사진 계측의 단점을 보완하

면, 이러한 계측 장치를 개발할 수 있는 가능성이 있다.

본 연구에서는 디지털 카메라로 인체의 2D 영상을 촬영하여, 컴퓨터를 이용하여 3D 인체를 계측하는 영상 계측 방법을 제안한다. 먼저, 계측 오차를 최대한 줄일 수 있는 인체 촬영 환경을 설정하여 인체의 정면, 측면, 후면의 2D 영상을 촬영하여 계측점을 대화적으로 지정한다. 2D 영상의 계측점으로부터 사영투영을 이용하여 계측점의 3차원 위치를 추정하여, 인체의 계측치를 산출한다. 실험에서는 영상 계측의 가능성을 타진하기 위해 직접 계측, 영상 계측, 3D 계측을 서로 비교 검토한다.

II. 인체 계측의 환경 설정

본 연구에서는 정확하고 편리한 계측을 위해 인체 촬영 환경을 그림1과 같이 설정하고 있다. 촬영 기자재는 디지털 카메라, 발판, 180cm 높이의 마틴 계측자, 컴퓨터로 이루어져 있다. 발판의 중앙에 십자를 그어, 수평 중심선(l_h)과 수직 중심선(l_v)을 설정하고, l_h 상에 발판과 수직하게 가상의 수직면을 설정하여, 가상 수직면에 인체 영상이 투영된다고 가정한다. 인체 정면은 양발의 중앙을 인체 중심선으로 하여 l_v 에 일치시키고, 복숭아뼈를 l_h 에 일치시키며, 인체 측면은 인체 중심선을 l_h 에, 복숭아뼈는 l_v 에 일치시킨다. 인체 후면은 뒤로 도는 자세로 앞면과 같다.

III. 계측점의 3차원 위치 산출

정면과 측면의 2D 영상의 계측점에서 사영투영을 이용하여 인체의 3차원 계측점의 위치를 추정하는 개념은 그림1과 같다. 그림1(a)에서 발판의 수직, 수평 교차점, 카메라 높이를 3D 인체의 원점(O)으로 설정하고, 가상 수

직면에서도 같은 점을 원점(o)으로 한다. 카메라는 발판에서 Z만큼 떨어져 있다. 나아가서, 원점을 중심으로 높이는 H, 넓이는 W, 두께를 D라 하면, 정면 영상에서의 가상 수직면에 투영된 높이는 h_f , 넓이는 w_f 이다. 그림 1(b)의 측면 영상에서도 H는 h_s , D는 d_s 에 투영된다고 가정한다. 정면과 측면의 영상에서 사영투영을 고려하여 실제 거리와 투영 거리의 관계를 다음과 같이 정식화 할 수 있다.

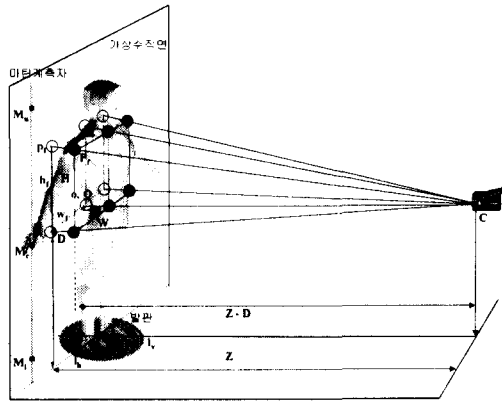
$$W = \frac{Z-D}{Z} w_f \quad (1), \quad D = \frac{Z-W}{Z} d_s \quad (2)$$

$$H = \frac{Z-D}{Z} h_f \quad (3), \quad H = \frac{Z-W}{Z} h_s \quad (4)$$

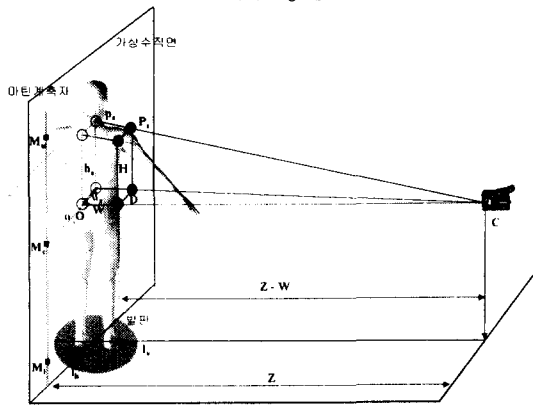
식(1)과 식(2)을 연립하면, 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$W = \frac{Z-d_s}{Z^2-w_f d_s} Z w_f \quad (5), \quad D = \frac{Z-w_f}{Z^2-w_f d_s} Z d_s \quad (6)$$

카메라의 거리 (Z), 정면과 측면의 투영거리 (w_f , d_s , h_f , h_s)를 알면, 계측점의 3차원 위치를 알 수 있다.



(a) 정면



(b) 측면

그림 1. 인체계측 환경

IV. 계측치의 비교

직접 계측, 영상 계측, 3D 계측의 3인이 교대로 시행한 결과를 상호 비교 검토한다.

1. 계측 항목과 계측 자세

인체의 3차원 형상을 설명할 수 있는 높이 12항목, 넓이 15항목, 두께 13항목으로 이루어진 총40개의 계측 항목을 설정하고 있다.^[2] 이들 항목을 계측하기 위해 정면,

측면, 후면영상에서 그림2와 같이 체표면의 계측점 (백점)을 설정하고 있다. 이들 점들은 정면과 측면, 후면과 측면에서 계측 항목별로 각각 대응을 이루도록 설정되어 있다. 이것은 영상 계측, 직접 계측, 3D 계측에서 계측 부위를 정확히 일치시키기 위해서이다.

계측 자세는 양팔과 다리를 약간 벌린 자세로 한다. 이 자세는 실제 높이와는 다소 차이가 있으나, 회음과 겨드랑이와 같이 겹쳐진 부위를 가능한 한 3D 스캔하기 위해서이다. 금번 연구의 목적은 피계측자의 정확한 높이를 계측하기보다는 영상 계측, 직접 계측, 3D 계측이 모두 가능한 자세를 취하여, 이들 상호간 계측치의 비교에 중점을 두고 있기 때문이다.



(a) 정면

(b) 측면

(c) 후면

그림 2. 영상계측을 위한 2D영상

2. 계측자별 계측치 비교

계측 방법별로 3인이 교대로 계측한 계측치를 비교한다. 3인이 계측한 것은 체표면에 백색 스티커를 마킹을 한다고 하더라도, 계측 방법에 따라 계측자간에 차이가 발생할 수 있기 때문이다.

직접 계측은 마틴 계측기를 이용하여 계측한다. 계측 결과를 표1에 나타낸다. 계측자간의 비교적 큰 오차는 높이, 넓이, 두께 항목에서 상당수 항목에서 1cm내외이나, 최대 오차(빗금친 항목)는 허리 높이 2.40cm, 윗가슴 넓이 1.90cm, 윗가슴 두께 2.80cm이다. 이들은 다른 항목에 비해서 월등히 큰 것으로 보아, 계측점의 위치가 서로 약간씩 달랐다고 보인다.

영상 계측은 정면과 측면, 측면과 후면의 영상을 이용하여 계측점을 지정하고, 식(3)~식(6)으로 추정된 계측 결과를 표2에 나타낸다. Cyberware의 3D 스캐너를 이용한 3D 계측 결과를 표3에 나타낸다. 두 방법은 대체로 유사한 결과를 보이고 있으며, 계측자간의 최대오차가 0.5cm이하로 직접 계측에 비해 훨씬 적은편이다. 또한, 계측후에도 계측 부위를 확인할 수 있으며, 계측표는 자동 작성되기 때문에 통계 패키지와 연계성이 좋으며, 인력도 경감되는 장점이 있다. 그러나 3D 계측에서는 인체를 3D 스캔한 후, 손상되거나 누락된 부위를 주위로부터 보간하고 있다. 손상된 부위는 겨드랑이, 회음, 발목, 발바닥으로서 대부분 가려진 부분이다. 보간된 데이터를 계측한 결과, 발바닥과 발목부위에서 0.5cm정도 손상되었다는 것을 알 수 있었다.

표 1. 직접계측결과

(단위 cm)

H. 높이항목	계측자a					절대평균오차	W. 넓이항목	계측자b					절대평균오차	D. 두께항목	계측자c					절대평균오차
	계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차			계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차			계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차	
1. 키	166.70	166.50	166.30	166.50	0.40	0.13	1. 머리	16.20	15.30	15.10	15.53	1.10	0.44	1. 머리	19.60	18.70	18.60	18.97	1.00	0.42
2. 뒤목점	140.50	139.50	139.40	139.80	1.10	0.47	2. 목덜미	12.10	12.70	13.10	12.63	1.00	0.36	2. 목덜미	10.80	10.60	10.20	10.53	0.60	0.22
3. 어깨	136.00	135.40	136.00	135.80	0.60	0.27	3. 어깨	34.30	33.80	34.30	34.13	0.50	0.22	3. 윗가슴	18.30	16.60	15.50	16.80	2.80	1.00
4. 가슴높이	127.50	126.10	127.25	126.95	1.40	0.57	4. 윗목	39.50	39.90	40.00	39.80	0.50	0.20	4. 가슴	19.50	19.30	19.50	19.43	0.20	0.09
5. 앞목점	135.00	135.50	135.10	135.20	0.50	0.20	5. 윗가슴	25.80	25.30	27.20	26.10	1.90	0.73	5. 진동	10.30	9.50	9.50	9.77	0.80	0.36
6. 유두점	118.40	116.60	118.00	117.67	1.80	0.71	6. 윗목	12.80	12.80	12.70	12.77	0.10	0.04	6. 윗가슴	16.70	16.60	15.60	16.30	1.10	0.47
7. 허리	102.20	99.80	101.30	101.10	2.40	0.67	7. 가슴	24.70	25.30	25.50	25.17	0.80	0.31	7. 허리	16.20	14.80	15.40	15.47	1.40	0.49
8. 배	91.80	92.10	92.30	92.07	0.50	0.18	8. 윗가슴	24.00	23.50	24.10	23.87	0.60	0.24	8. 배	19.70	18.20	18.20	18.70	1.50	0.67
9. 엉덩이	81.50	82.70	81.50	81.90	1.20	0.53	9. 허리	21.70	20.70	21.50	21.30	1.00	0.40	9. 엉덩이	20.80	20.90	21.20	20.97	0.40	0.16
10. 화음	71.50	72.20	73.10	72.27	1.60	0.56	10. 배	27.50	27.50	28.50	27.83	1.00	0.44	10. 허벅지	16.30	15.80	17.20	16.43	1.40	0.51
11. 무릎	40.30	40.10	40.90	40.43	0.80	0.31	11. 엉덩이	31.80	31.80	31.90	31.83	0.10	0.04	11. 무릎	10.50	10.90	10.50	10.63	0.40	0.18
12. 발목	6.30	6.20	6.00	6.17	0.30	0.11	12. 허벅지	15.80	17.10	15.50	16.13	1.60	0.64	12. 종아리	9.50	9.60	9.80	9.63	0.30	0.11
							13. 무릎	10.20	9.10	9.60	9.63	1.10	0.38	13. 발목	7.50	7.70	7.50	7.57	0.20	0.09
							14. 종아리	9.80	9.60	9.80	9.73	0.20	0.09							
							15. 발목	5.80	5.80	5.85	5.82	0.05	0.02							
절대평균오차						0.41	절대평균오차						0.31	절대평균오차						0.37

표 2. 영상계측결과

(단위 cm)

H. 높이항목	계측자a					절대평균오차	W. 머리항목	계측자b					절대평균오차	D. 두께항목	계측자c					절대평균오차
	계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차			계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차			계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차	
1. 키	166.86	166.89	166.88	166.88	0.03	0.01	1. 머리	15.55	15.81	15.69	15.68	0.26	0.09	1. 머리	18.17	18.17	17.80	18.05	0.37	0.16
2. 뒤목점	140.68	140.43	140.43	140.51	0.25	0.11	2. 목덜미	12.07	11.95	12.07	12.03	0.12	0.05	2. 목덜미	10.95	10.71	11.00	10.89	0.29	0.12
3. 어깨	136.59	136.59	136.59	136.59	0.00	0.00	3. 어깨	32.30	32.17	32.42	32.30	0.25	0.08	3. 윗가슴	19.19	19.08	19.08	19.12	0.11	0.05
4. 가슴높이	127.55	127.61	127.55	127.57	0.06	0.03	4. 윗목	40.26	40.25	40.26	40.26	0.01	0.00	4. 가슴	19.21	19.33	19.08	19.21	0.25	0.08
5. 앞목점	134.70	134.64	134.64	134.66	0.06	0.03	5. 윗가슴	27.06	27.22	27.26	27.18	0.20	0.08	5. 진동	9.57	9.94	9.57	9.69	0.37	0.16
6. 유두점	118.47	118.66	118.47	118.53	0.19	0.08	6. 윗목	12.44	12.31	12.32	12.36	0.13	0.06	6. 윗가슴	17.26	17.13	17.13	17.17	0.13	0.06
7. 허리	100.55	100.55	100.49	100.53	0.06	0.03	7. 가슴	24.83	24.70	24.58	24.70	0.25	0.08	7. 허리	15.62	15.75	15.50	15.62	0.25	0.08
8. 배	92.61	92.86	93.05	92.84	0.44	0.15	8. 윗가슴	23.08	22.95	22.95	22.99	0.13	0.06	8. 배	18.14	17.89	18.01	18.01	0.25	0.08
9. 엉덩이	81.80	81.98	81.67	81.82	0.31	0.11	9. 허리	21.42	21.29	21.54	21.42	0.25	0.08	9. 엉덩이	21.66	21.54	21.66	21.62	0.12	0.05
10. 화음	72.27	72.37	72.31	72.32	0.10	0.04	10. 배	27.74	27.49	27.87	27.70	0.36	0.14	10. 허벅지	17.18	17.18	16.93	17.10	0.25	0.11
11. 무릎	42.88	42.69	42.75	42.77	0.19	0.07	11. 엉덩이	32.04	31.91	31.79	31.91	0.25	0.08	11. 무릎	10.68	10.56	10.44	10.56	0.24	0.08
12. 발목	6.43	6.61	6.66	6.57	0.25	0.10	12. 허벅지	15.85	15.73	15.73	15.77	0.12	0.05	12. 종아리	9.64	9.88	9.63	9.72	0.01	0.11
							13. 무릎	10.16	10.03	10.16	10.12	0.13	0.06	13. 발목	7.75	7.78	7.75	7.76	0.03	0.01
							14. 종아리	9.84	9.96	9.72	9.84	0.12	0.08							
							15. 발목	5.49	5.53	5.49	5.50	0.04	0.02							
절대평균오차						0.06	절대평균오차						0.07	절대평균오차						0.09

표 3. 3D계측결과

(단위 cm)

H. 높이	계측자a					절대평균오차	W. 넓이	계측자b					절대평균오차	D. 두께	계측자c					절대평균오차
	계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차			계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차			계측자a	계측자b	계측자c	평균	최대오차	
1. 키	166.81	166.87	166.87	166.85	0.06	0.03	1. 머리	15.53	15.89	15.64	15.69	0.36	0.14	1. 머리	17.78	17.81	17.82	17.80	0.04	0.02
2. 뒤목점	140.90	140.50	140.79	140.73	0.40	0.15	2. 목덜미	12.03	11.64	11.66	11.78	0.39	0.17	2. 목덜미	10.99	11.09	10.97	11.02	0.12	0.05
3. 어깨	136.97	136.97	137.05	137.00	0.08	0.04	3. 어깨	32.38	32.22	32.65	32.42	0.43	0.16	3. 윗가슴	19.13	19.13	18.93	19.06	0.20	0.09
4. 가슴높이	127.39	127.59	127.79	127.59	0.40	0.13	4. 윗목	40.38	40.50	40.21	40.36	0.29	0.10	4. 가슴	19.41	19.58	19.70	19.56	0.39	0.10
5. 앞목점	134.59	134.80	134.83	134.74	0.25	0.10	5. 윗가슴	26.89	26.73	27.22	26.95	0.49	0.18	5. 진동	9.38	9.49	9.28	9.38	0.21	0.07
6. 유두점	118.39	118.39	118.59	118.46	0.20	0.09	6. 윗목	11.96	12.24	12.24	12.15	0.28	0.12	6. 윗가슴	17.56	17.69	17.45	17.57	0.24	0.08
7. 허리	100.61	100.61	100.80	100.67	0.19	0.08	7. 가슴	24.41	24.48	24.42	24.44	0.07	0.03	7. 허리	15.75	15.74	15.85	15.78	0.11	0.05
8. 배	92.79	92.59	92.59	92.66	0.20	0.09	8. 윗가슴	22.69	22.95	22.45	22.70	0.50	0.17	8. 배	18.21	18.26	18.34	18.27	0.13	0.05
9. 엉덩이	81.99	81.60	81.60	81.73	0.39	0.17	9. 허리	20.97	21.04	21.06	21.02	0.09	0.04	9. 엉덩이	21.60	21.63	21.64	21.62	0.04	0.02
10. 화음	72.16	72.17	71.90	72.08	0.27	0.12	10. 배	27.11	27.39	27.46	27.32	0.35	0.14	10. 허벅지	16.99	16.92	16.90	16.94	0.09	0.04
11. 무릎	43.00	43.19	42.99	43.06	0.20	0.09	11. 엉덩이	31.55	31.57	31.55	31.56	0.02	0.01	11. 무릎	10.40	10.43	10.35	10.39	0.05	0.03
12. 발목	6.60	6.40	6.40	6.47	0.20	0.09	12. 허벅지	15.54	15.33	15.42	15.43	0.21	0.07	12. 종아리	9.31	9.34	9.38	9.34	0.07	0.02
							13. 무릎	10.07	9.87	10.24	10.06	0.37	0.13	13. 발목	6.74	6.93	6.75	6.81	0.19	0.06
							14. 종아리	9.60	9.59	9.67	9.62	0.08	0.03							
							15. 발목	5.29	5.29	5.30	5.29	0.01	0.00							
절대평균오차						0.10	절대평균오차						0.10	절대평균오차						0.05

3. 계측 방법별 계측치 비교

3인의 계측치를 평균하여, 계측 방법별 계측치의 상호간 차이를 표4에 비교한다. 영상 계측과 직접 계측사이의 비교적 큰 오차는 0.7~1.0cm정도이며, 최대 오차는 무릎 높이 2.34cm, 어깨 넓이 1.84cm, 윗가슴 두께 2.32cm이다. 이들 항목에서 3D 계측 결과와 비교해 보면, 영상 계측과 3D 계측의 결과가 유사한 것으로 보아, 직접 계측에서 발생한 오차가 크다고 할 수 있다. 영상 계측과 3D 계측과의 최대 오차는 어깨 높이 0.41cm, 허리 넓이 0.39cm, 발목 두께 0.95cm이다. 이들 항목에서 직접 계측의 결과와 비교해 볼 때, 3D 계측에서 발생한 오차가 약간 큰 편이나 영상계측과 대체로 유사한 결과를 보인다는 것을 알 수 있다. 특히 발목 두께는 전절에서 지적한대로 3D 스캔 데이터의 발목 부분이 0.5cm이상 손상되어 발생한 오차로 생각된다.

4. 영상 계측과 사진 계측의 비교

인체의 2D 영상은 3D 인체를 가상 수직면에 사영 투영한 결과이다. 사진 계측은 인체 영상을 촬영하여, 투영면(2D사진)에서 계측점의 거리를 계산하는 방법이고, 영상 계측은 투영면의 계측점으로부터 3차원 위치를 추정하여 거리를 계산하는 방법이다. 각 계측 항목에서 이러한 오차의 양상을 나타내기 위해, 사진 계측(h, w, d)과 영상 계측(H, W, D)을 표5에 비교한다. 사영투영에 대한 최대 오차는 높이 항목에서 정면영상의 경우 키가 1.14cm, 측면 영상의 경우 발목높이가 1.81cm이며, 윗목이 0.40cm, 허벅지 두께가 0.31cm이다. 사영투영의 성질상 가상 수직면의 원점에서 멀리 떨어져 있거나, 두께가 두꺼운 경우 오차가 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

표4 계측방법별 계측치의 상호간 차이 비교 (단위 cm)

H. 높이 항목				W. 넓이 항목				D. 두께 항목			
영상-직접	영상-3D	직접-3D	영상-직접	영상-3D	직접-3D	영상-직접	영상-3D	직접-3D	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. 목덜미	-0.60	0.25	0.86	2. 목덜미	0.35	-0.11	-0.46
3. 어깨	0.79	-0.41	-1.20	3. 어깨	-1.04	-0.12	1.72	3. 윗가슴	2.32	0.05	-2.28
4. 겨드랑이	0.62	-0.02	-0.64	4. 흉통	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. 윗목점	0.87	0.08	-0.79	6. 윗목	-0.41	0.21	0.62	6. 윗가슴	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. 윗가슴	-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	0.28	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				
절대평균오차	0.35	0.09	0.44	절대평균오차	0.32	0.09	0.30	절대평균오차	0.42	0.16	0.42

표 5. 영상계측과 사진계측 (투영오차)의 비교 (단위 cm)

H. 높이 항목				W. 넓이 항목				D. 두께 항목					
영상(정면)	사진(정면)	투영오차	영상(측면)	사진(측면)	투영오차	영상	투영	투영오차	D. 두께 항목	영상	사진	투영오차	
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
140.58	140.40	0.18	140.66	140.72	-0.06	2. 목덜미	12.07	12.20	-0.13	2. 목덜미	10.95	10.92	0.03
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
127.31	127.79	-0.48	127.80	128.51	-0.71	4. 흉통	40.26	40.37	-0.11	4. 가슴	19.21	19.38	-0.17
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
118.56	119.24	-0.68	118.36	118.57	-0.21	6. 윗목	12.44	12.84	-0.40	6. 윗가슴	17.26	17.24	0.02
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
92.47	92.32	0.15	92.63	92.64	-0.01	8. 윗가슴	23.08	23.27	-0.19	8. 배	18.14	18.12	0.02
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
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
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
6.54	6.54	0.00	6.46	4.65	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				

V. 결론

디지털 카메라를 이용하여 인체의 영상을 촬영하여 3D 인체를 계측하는 영상 계측 방법을 제안했다. 영상 계측을 위해 인체 촬영 환경을 설정하고, 사영투영을 고려하여 3D 인체를 추정하는 알고리즘을 제시하고 있다. 이 방법은 정면, 측면, 후면의 인체 2D 영상을 촬영하고, 계측점을 컴퓨터에서 지정하면, 계측표는 자동 작성되어 계측이 완료된다.

새가지 계측 방법을 이용하여 높이, 넓이, 두께 항목의 계측에 대한 오차, 시간, 장비, 비용, 기동성, 계측치 수정, 피계측자에 대한 배려등을 비교한 결과를 표6에 정리한다.

계측자별, 계측 방법별 계측치 비교에서 영상 계측의 최대 오차는 0.44cm로 3D계측(허용오차: 0.5cm)과 유사한 성능을 직접 계측에 비해서는 훨씬 우수한 성능을 나타내고 있다.

계측치이외의 계측에 수반되는 항목을 비교한 결과, 직접 계측은 계측 장비가 간편하며 기동성은 좋으나, 피계측자에 대한 배려가 부족한 편이고, 3D 계측은 스캔 시간이 짧아 피계측자에 대한 배려는 가능하나, 손상 부위를 보강하는 인력 부담이 있으며, 계측 시간이 길고, 계측 비용이 고가이고, 장비의 기동성이 떨어진다. 영상 계측의 경우는 계측 시간이 짧으며, 계측 비용, 기동성등 여러 가지 항목에서 비교적 좋은 결과를 나타내고 있어, 직접 계측과 3D 계측의 장점을 고루 갖춘 방법으로 실용화가 가능한 새로운 계측수단이라고 생각된다.

급후 과제로는 길이, 둘레 항목에 대한 계측 및 다수인에 대한 계측 결과의 비교를 들 수 있다.

표 6. 계측 방법의 종합 성능 비교

항목	직접 계측		영상 계측		3D 계측
	높이	허리 (2.40cm)	배(0.37cm)	가슴(0.40cm)	가슴(0.29cm)
계측자별 최대오차	높이	윗가슴(1.9cm)	배(0.38cm)	머리(0.37cm)	가슴 (0.29cm)
계측자별 절대오차평균	두께	윗가슴(2.80cm)			
계측 방법별 최대오차	계측	영상 2.34cm	0.08cm	0.08cm	0.08cm
	높이	영상 1.84cm	3D 0.41cm	3D 0.41cm	직접 2.63cm
	두께	영상 2.32cm	3D 0.39cm	3D 0.39cm	직접 1.72cm
계측장비		영상 2.32cm	3D 0.95cm	3D 0.95cm	직접 2.26cm
계측시간	계측장비	마틴계측기set, 계측표, 컴퓨터	디지털카메라, 마틴계측기(1개), 발판, 줄자, 컴퓨터		3D스캐너, 컴퓨터
계측비용	계측시간	15~20분	5~10분	30~35분	
기동성	계측비용	△	○	×	
계측치 수정	기동성	○	○	×	
피계측자에 대한 배려	계측치 수정	×	○	○	
통계패키지와 연계성	피계측자에 대한 배려	×	○	○	
은닉부분계측	통계패키지와 연계성	×	○	○	
공간해상도	은닉부분계측	○	△	△	
인력부담	공간해상도	1mm	1.2mm	5mm	
	인력부담	△	○	×	

본 논문은 한국과학재단 목적기초연구 (2000-2-51400-001-3)지원으로 수행되었음

참고문헌

[1] <http://www.Cyberware.com>
 [2] 國立技術品質院, "國民標準地位 調査 報告書", 1997.