



3D 스캐너 데이터를 활용한 동작별 하반신 너비·두께 변화 비교 연구

- 20~24세 여성을 중심으로 -

김 지 민 · 이 소 영⁺

건국대학교 의상디자인학과 겸임교수 · 건국대학교 의상디자인학과 부교수⁺

A Study on Changes in Breadth and Depth Measurements of Women's Lower Bodies with Different Postures Using 3D Scan Data

- A Focus on Women Aged between 20 and 24 Years -

Ji Min Kim · So-Young Lee⁺

Adjunct Professor, Dept. of Apparel Design, Konkuk University

Associate Professor, Dept. of Apparel Design, Konkuk University⁺

(received date: 2019. 1. 22, revised date: 2019. 4. 24, accepted date: 2019. 4. 25)

ABSTRACT

The purpose of this study is to identify the changes in the breadth and depth measurements of women's lower bodies with different postures, walking, stair climbing and chair sitting, to improve manufacturers' understanding to the extent where such information should be considered when developing pants patterns with better fit and function. Lower body scan data of 13 women aged between 20-24 years were collected using a hand-held 3D scanner, Artec Eva, and digitally manipulated in preparation for breadth and depth measurements using commercially available software, Meshlab. The measurements were then statistically analyzed through SPSS 21.0 to obtain the average amounts and rates of extension and contraction for each measurement item. The results from this study demonstrated that the amount of change in the breadths and depths of the lower body differs depending on the size and range of postures, and thus the largest extension and contraction occurred in the measurements around the joints; front knee depth and knee breadth. Factor analysis confirmed these results. Factors 1 and 3, which involve knee-related measurement items, identified meaningful differences, especially in chair sitting posture, where larger joint movements are required. Therefore, the findings of this study can be applied to making key decisions in the manufacturing process, such as selecting fabrics and allowing ease values, that are likely to influence the level of fit and comfort of the pants.

Key words: 3D scan data(3D 스캐너 데이터), factor analysis(요인분석),
body surface variations(체표면 변화), breadth(너비), depth(두께), lower body(하반신)

I. 서론

피부에 물리적으로 닿아 감싸는 구조를 가진 의복은 인체의 움직임으로 인해 체표면 치수가 변화하는 대로 당겨지거나 늘어나며 형태가 변형된다. 이러한 의복의 변형은 동작이 진행되는 동안에 일시적으로 발생하여 움직임을 편하게 한 후 원래의 형태로 되돌아오는 방식으로 착용 목적과 용도에 맞는 기능과 적절한 착용감을 제공한다. 따라서 끊임없이 움직이는 인체의 특성을 고려하여 일상생활이나 작업환경에서 편안하게 착용할 수 있는 의복을 설계하기 위해서는 정자세뿐 아니라 반복되는 동작으로 인한 인체의 체표면 치수변화에 대한 이해가 필요하다(Choi & Ashdown, 2010; Choi & Chun, 2011). 정확한 인체치수는 소재선택이나 여유량과 절개선 설정 등 의복의 맞춤새와 활동성에 영향을 미치는 요소를 파악하고 보정 범위를 제시하는데 용이하므로 의복제작 시 발생할 수 있는 불필요한 손실을 줄여 제조공정의 효율성과 신뢰성을 높이기 위해서는 과학적이고 객관적인 계측방식을 통해 데이터를 확보하는 게 중요하다(Bye, LaBat, & DeLong, 2006; Robinette, 2012).

인체계측 방법 중 체표에 직접 계측하는 방법은 계측도구를 손쉽게 구할 수 있고 공간적인 제약이 적은 장점이 있으나 계측자의 측정방식과 습관에 따라 오차가 발생할 수 있고 시간 소모가 크며(Karla, 2001) 동작 시 체표면의 변화를 계측하는데 어려움이 따른다는 단점이 있다. 반면 3D 스캐너를 통한 계측방식은 비용적인 부담과 공간적인 제약이 따르지만, 계측치를 컴퓨터로 저장하여 데이터의 보존과 즉각적인 재현이 가능하고 일관된 측정방식으로 계측자 요인으로 인한 오차를 최소화하여 정확하고 상세한 계측치를 수집하고 비교·분석하는데 매우 유용하다(Ashdown, Choi, & Milke, 2007; Daanen & Water, 1998; Lu, Wang, & Mollard, 2010). 특히 인체의 동적 자세를 측정

하는데 인체 부위별로 체표면 치수가 변화하는 정도를 더욱 세밀하게 측정할 수 있어 편의성과 가용성이 높은 측정방식으로 많이 활용되고 있다(Shin & Chun, 2013). 최근에는 3D 스캐너의 보급과 활용 산업의 범위가 확대되면서 3D 인체계측을 활용한 연구 또한 활발히 진행되고 있다(D'Apuzzo, 2007; Jeong, Kim, & Hong, 2006).

인체 부위 중 하반신은 상반신보다 동작이 크고 움직임에 따른 신축과 관절의 변형 범위가 넓어 전체적인 활동량이 많으며(Hong, Uh, & Kim, 2015) 걷기, 오르기, 앉기 등 일상생활과 매우 밀접한 동작(Cleland, Kikhia, Nugent, Boytsov, Hallberg, Synnes, McClean, & Finaly, 2013; Morlock, Schneider, Bluhm, Vollmer, Bergmann, Muller, & Honi, 2001)이 반복적으로 행해지기 때문에 세부 부위의 크고 작은 체표면 변화가 동시에 발생하는 경우가 많다.

정립자세와 앉은 자세의 인체치수 변화를 살펴본 Choi & Ashdown(2010)의 연구에 따르면, 서있는 자세에서 앉은 자세를 취하면 엉덩이둘레가 증가하고, 앞살둘레가 감소하면서 뒷살둘레는 증가하며 앞다리중심길이가 늘어나면서 뒷다리중심길이가 줄어드는 등 단일부위 체표면 혹은 체표면 간 연쇄적 변화가 발생하는 것으로 나타났다. 또한, Wang et al.,(2011)은 모션 상태의 인체치수 분석을 통해 고기능성 슬랙스디자인을 제시한 연구에서 인체는 동작 부위가 수축과 팽창하면서 체표면 치수가 끊임없이 변하기 때문에 의복의 맞춤새를 향상시키기 위해서는 이를 고려한 적절한 여유량을 설정해야 한다고 하였다. 여유량이 부족하여 움직임과 자세를 방해하게 되면 일상생활과 건강에 영향을 미치고 작업환경에서는 위험을 초래하여 안전을 위협하게 되므로 슬랙스 패턴설계 시에는 정립자세와 동작상태의 치수 데이터 간 차이를 분석하여 여유량을 설정하고 이를 반영하는 것이 매우 중요하다고 강조하였다. 이와 같이 동작에 따른 체표면 변화가 의복의 맞춤새와 기능성에

중대한 영향을 미친다는 인식이 확대되면서 3D 스캔 데이터를 활용하여 동작별 혹은 모션 상태에서의 하반신 체표면 변화 분석과 이를 반영한 의복 설계 시도가 꾸준히 진행되어 가고 있지만, 대부분의 연구 주제가 체표면 길이와 둘레 변화에만 치중되어 있어 너비와 두께 변화에 관한 연구는 상대적으로 상당히 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 동작에 따른 3D 하반신 상세 부위의 체표면 너비 및 두께 치수 데이터의 요인을 분석하고 부위별 차이를 파악하여 팬츠 설계 시 적절한 여유량 설정의 기초자료를 제공하고자 하며 이를 통해 팬츠의 맞춤새와 착용감 향상을 도모하고자 한다.

II. 연구방법 및 절차

1. 피험자

피험자는 20~24세 한국 여자 대학생으로 제6차 한국인인체치수조사의 20~24세 여성의 평균 인체치수를 참고하여 표준편차 범위 내에 있는 13명을 선정하였다. 피험자의 평균 인체치수는 키 161.50cm, 허리둘레 67.77cm, 엉덩이둘레 92.16cm, 몸무게 53.54kg이다<Table 1>.

2. 측정자세 및 측정항목

하반신 치수 측정과 실험환경은 선행연구(Lee, 2015; Lee & Kim, 2017)와 같은 방식으로 실험

<Table 1> Body Measurements of Study Subjects

Item	Subject (N=13)		6th Size Korea (N=298)	
	M	S.D.	M	S.D.
Stature (cm)	161.50	3.92	160.37	5.26
Waist circumference (cm)	67.77	2.25	69.47	5.89
Hip circumference (cm)	92.16	3.75	91.38	4.54
Weight (kg)	53.54	4.98	53.12	6.73



<Fig. 1> Postures

<Table 2> Measurement Items

Measurement Item		Initial	Diagram
Breadth	1	Waist breadth	
	2	Waist breadth (omphalion)	
	3	Abdominal breadth	
	4	Hip width	
	5	Thigh breadth (right)	
	6	Thigh breadth (left)	
	7	Knee breadth (right)	
	8	Knee breadth (left)	
	9	Calf breadth (right)	
	10	Calf breadth (left)	
	11	Maximum ankle breadth (right)	
	12	Maximum ankle breadth (left)	
Depth	13	Front waist depth	
	14	Back waist depth	
	15	Front waist depth (omphalion)	
	16	Back waist depth (omphalion)	
	17	Front abdominal depth	
	18	Back abdominal depth	
	19	Front hip depth	
	20	Back hip depth	
	21	Front thigh depth (right)	
	22	Front thigh depth (left)	
	23	Back thigh depth (right)	
	24	Back thigh depth (left)	
	25	Front knee depth (right)	
	26	Front knee depth (left)	
	27	Back knee depth (right)	
	28	Back knee depth (left)	
	29	Front calf depth (right)	
	30	Front calf depth (left)	
	31	Back calf depth (right)	
	32	Back calf depth (left)	
	33	Maximum front ankle depth (right)	
	34	Maximum front ankle depth (left)	
	35	Maximum back ankle depth (right)	
	36	Maximum back ankle depth (left)	

(Illustrated by Researchers)

복을 착용한 13명의 피험자 하반신에 각각 62개의 측정 기준점을 표시한 후, 정자세, 보통걸음걸기, 계단오르기, 의자앉기 동작을 취하게 하였다(Fig. 1). 보통걸음걸기는 오른쪽 다리를 앞에 놓고 왼쪽다리를 뒤에 놓은 상태로 자신의 보폭대로 걸음을 옮기려는 순간의 상태, 계단오르기 동작은 폭 30cm, 높이 18cm의 계단모형을 사용하여 피험자의 오른발을 계단에 올려놓은 상태, 의자앉기 동작은 양쪽 대퇴부가 서로 맞닿지 않게 다리를 자연스럽게 놓고 의자에 앉은 상태를 측정하였으며, 하반신 너비와 두께의 측정항목은 <Table 2>에 제시하였다. 본 연구에서는 실험방법 및 절차와 연구결과에 대한 신뢰성과 타당성을 확보하기 위해 측정 장소, 측정 거리, 보조도구 등의 물리적 실험 환경을 모든 피험자에게 일관되게 적용하였다.

3. 데이터 수집 및 분석방법

Artec Eva 3D 스캐너(미국 Artec사)를 사용하여 피험자를 스캔한 후, 3D 인체형상을 Meshlab 프로그램으로 변환하여 Freeform plus 프로그램으로 <Table 2>에 제시한 총 36항목을 측정하였다. 측정된 자료는 SPSS WIN 21.0 프로그램으로 하반신 부위별 평균신축량과 신축률을 계산하였고, 요인분석을 통해 동작별 요인점수를 비교·분석하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 동작별 너비·두께 체표면 변화

정자세의 항목별 너비와 두께에 대한 보통걸음걸기, 계단오르기, 의자앉기 동작의 평균치수, 평균 신축량 및 평균 신축률은 <Table 3>에 제시하였다.

전체 12개 너비항목 중 동작별로 보통걸음걸기 2항목, 계단오르기 3항목, 의자앉기 6항목의 신축률에서 유의한 차이가 나타났다. 보통걸음걸기 동

작에서 허리너비, 배꼽수준허리너비, 넓다리너비(L), 무릎너비(L), 발목최대너비(R)를 포함한 5항목이 신장하였고 나머지 7항목은 수축하였다. 허리너비와 넓다리너비(L)는 각각 1.29%와 2.37%의 유의한 신축률을 보였다. 계단오르기 동작에서는 허리너비, 엉덩이너비, 무릎너비(L), 장딴지너비(R), 발목최대너비(R)를 포함한 4항목이 신장하였고 나머지 8항목은 수축하였다. 신축률에서 유의한 차이를 보인 3항목 중 발목최대너비(R) 1항목만 4.17%의 유의한 신장률을 보였고, 넓다리너비(R)와 무릎너비(R) 2항목은 각각 -6.75%와 -8.01%의 유의한 수축률을 나타냈다. 의자앉기 동작에서는 허리너비, 엉덩이너비, 장딴지너비(R, L), 발목최대너비(R, L)를 포함한 6항목이 신장하고 나머지 6항목은 수축하였다. 신축률에서 유의한 차이를 보인 6항목 중 신장한 항목과 신장률은 엉덩이너비 6.64%, 발목최대너비(R) 5.74%의 2항목이고, 수축한 항목과 수축률은 배꼽수준허리너비 -4.30%, 배너비 -4.83%, 무릎너비(R) -5.52%, 무릎너비(L) -5.29%의 4항목으로 나타났다.

전체 24개 두께항목 중 동작별로 보통걸음걸기 3항목, 계단오르기 6항목, 의자앉기 13항목의 신축률에서 유의한 차이가 나타났다. 보통걸음걸기 동작에서 허리뒤두께, 배뒤두께, 넓다리앞두께(R, L), 넓다리뒤두께(L), 무릎뒤두께(R, L), 장딴지앞두께(R, L), 장딴지뒤두께(L), 발목앞최대두께(R), 발목뒤최대두께(L)를 포함한 12항목이 수축하고 나머지 12항목은 신장하였다. 무릎앞두께(R)와 발목뒤최대두께(R)는 각각 3.75%와 8.56% 신장하였고 무릎뒤두께(R)는 4.38% 수축하여 신축률에서 유의한 차이를 나타냈다. 계단오르기 동작에서는 허리뒤두께, 배꼽수준허리뒤두께, 배뒤두께, 넓다리뒤두께(L), 무릎앞두께(L), 무릎뒤두께(R, L), 장딴지앞두께(R, L), 발목앞최대두께(R), 발목뒤최대두께(L)를 포함한 11항목이 수축하였고 나머지 항목은 모두 신장한 것으로 나타났다. 신축률에서 유의한 차이를 보인 6항목 중 신장한

<Table 3> Amounts and Rates of Extension and Contraction by Posture

Items	Posture	Standing		Posture	M	S.D.	Amt. of Ext.&Con. (cm)	Rate of Ext.&Con. (%)
		M	S.D.					
Breadth (B)	Waist breadth	24.09	1.34	W	24.40	1.33	0.31*	1.29*
				C	24.22	1.52	0.13	0.54
				S	24.17	1.12	0.08	0.33
	Waist breadth (omphalion)	26.72	1.81	W	26.94	1.79	0.22	0.82
				C	26.04	2.33	-0.68	-2.54
				S	25.57	1.61	-1.15***	-4.30***
	Abdominal breadth	30.01	1.88	W	29.88	1.69	-0.13	-0.43
				C	29.96	1.61	-0.05	-0.17
				S	28.56	1.75	-1.45**	-4.83**
	Hip width	33.00	1.57	W	32.97	1.46	-0.03	-0.09
				C	33.35	1.72	0.35	1.06
				S	35.19	1.51	2.19***	6.64***
	Thigh breadth (R)	14.81	1.30	W	14.49	1.41	-0.32	-2.16
				C	13.81	1.34	-1.00***	-6.75***
				S	14.43	1.21	-0.38	-2.57
	Thigh breadth (L)	15.18	1.28	W	15.54	1.25	0.36**	2.37**
				C	14.81	1.18	-0.37	-2.44
				S	14.72	1.48	-0.46	-3.03
	Knee breadth (R)	11.23	0.60	W	11.15	0.65	-0.08	-0.71
				C	10.33	0.72	-0.90***	-8.01***
				S	10.61	0.66	-0.62***	-5.52***
	Knee breadth (L)	11.16	0.58	W	11.19	0.65	0.03	0.27
				C	11.17	0.50	0.01	0.09
				S	10.57	0.56	-0.59**	-5.29**
	Calf breadth (R)	10.59	0.62	W	10.47	0.66	-0.12	-1.13
				C	10.64	0.57	0.05	0.47
				S	10.82	0.86	0.23	2.17
Calf breadth (L)	10.75	0.55	W	10.64	0.48	-0.11	-1.02	
			C	10.67	0.64	-0.08	-0.74	
			S	10.93	0.69	0.18	1.67	
Maximum ankle breadth (R)	5.75	0.45	W	5.86	0.39	0.11	1.91	
			C	5.99	0.43	0.24*	4.17*	
			S	6.08	0.34	0.33**	5.74**	
Maximum ankle breadth (L)	5.87	0.61	W	5.77	0.57	-0.11	-1.87	
			C	5.77	0.73	-0.11	-1.87	
			S	5.93	0.46	0.06	1.02	
Depth (D)	Front waist depth	10.18	1.34	W	10.32	1.65	0.14	1.38
				C	10.77	1.48	0.59**	5.80**
				S	11.35	1.72	1.17**	11.49**

Depth (D)	Back waist depth	7.17	0.61	W	6.86	1.11	-0.31	-4.32
				C	6.95	0.63	-0.22	-3.07
				S	7.92	1.01	0.75*	10.46*
	Front waist depth (omphalion)	10.08	1.07	W	10.15	1.68	0.07	0.69
				C	10.55	1.43	0.47**	4.66**
				S	10.62	1.59	0.54	5.36
	Back waist depth (omphalion)	7.34	1.01	W	7.34	1.53	0.00	0.00
				C	7.25	0.92	-0.09	-1.23
				S	7.66	1.33	0.32	4.36
	Front abdominal depth	11.62	1.49	W	11.80	1.96	0.18	1.55
				C	12.41	1.78	0.79*	6.80*
				S	12.55	1.97	0.93***	8.00**
Back abdominal depth	9.61	1.57	W	9.46	1.77	-0.15	-1.56	
			C	9.17	1.46	-0.44	-4.58	
			S	8.38	1.50	-1.23**	-12.80***	

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, Amt. of Ext.&Con.=(B or D in posture)-(B or D in standing), Rate of Ext.&Con.=(Amt. of Ext.&Con. in posture)/(B or D in standing) $\times 100$, W: walking, C: stair climbing, S: sitting on chair

항목과 신장률은 허리앞두께 5.80%, 배꼽수준허리 앞두께 4.66%, 배앞두께 6.80%, 넓다리앞두께(R) 6.72%, 무릎앞두께(R) 16.82%의 5항목으로 무릎 뒤두께(L) 1항목만 3.98%의 유의한 수축률을 보였다. 의자앉기 동작에서는 배뒤두께, 넓다리뒤두께(R, L), 장판지앞두께(R), 발목앞최대두께(R), 발목뒤최대두께(L)를 포함한 6항목이 수축하였고 나머지 항목은 모두 신장하였다. 신축률에서 유의한 차이를 보인 13항목 중 신장한 항목과 신장률은 허리앞두께 11.49%, 허리뒤두께 10.46%, 배앞두께 8.00%, 엉덩이뒤두께 7.55%, 무릎앞두께(R) 22.67%, 무릎앞두께(L) 18.18%, 무릎뒤두께(R) 19.12%, 무릎뒤두께(L) 21.47%, 장판지앞두께(L) 3.76%, 장판지뒤두께(R) 11.02%, 장판지뒤두께(L) 4.99%의 11항목이고, 배뒤두께와 넓다리뒤두께(L) 2항목이 각각 -12.80%와 -13.48%로 유의한 수축률을 나타냈다. 모든 동작의 두께항목 신장률 중 의자앉기 동작의 무릎앞두께(R) 신장률이 22.67%로 가장 높았고 이후 무릎뒤두께(L) 21.47%, 무릎뒤두께(R) 19.12%, 무릎앞두께(L)

18.18% 순이며, 수축률은 의자앉기 동작의 넓다리 뒤두께(L)가 -13.48%가 가장 높았고, 이후 배뒤 두께도 -12.80%로 높아 의자앉기 동작에서는 특히 다리부위 구간의 신축률 변화가 큰 것으로 나타났다. 다리를 제외한 몸통부위에서는 복부 구간의 신장률 변화가 크게 나타났으며 허리앞두께 11.49%, 허리뒤두께 10.46%, 배앞두께 8.00%, 엉덩이뒤두께 7.55% 순으로 높은 신장률을 보였다.

2. 동작별 너비·두께 변화비교

정자세와 보통걸음걷기, 계단오르기, 의자앉기 동작 시 항목별 너비와 두께의 평균변화량을 비교하여 전체 36개 항목 중 유의한 차이가 나타난 18 항목을 너비와 두께항목으로 나누어 <Table 4>와 <Table 5>에 제시하였으며 결과는 다음과 같다.

동작별 유의한 차이가 나타나지 않은 항목은 배꼽수준허리두께(F, B), 엉덩이두께(F, B), 넓다리두께(R, L), 장판지앞두께(R, L), 장판지뒤두께(R, L), 발목앞최대두께(R, L), 발목뒤최대두께

<Table 3> Amounts and Rates of Extension and Contraction by Posture - continued-

Item	Posture	Standing		Posture	M	S.D.	Amt. of Ext.&Con. (cm)	Rate of Ext.&Con. (%)
		M	S.D.					
Depth (D)	Front hip depth	10.95	1.73	W	11.15	1.80	0.20	1.83
				C	11.64	2.33	0.69	6.30
				S	11.95	1.63	1.00*	9.13
	Back hip depth	11.13	1.78	W	11.37	1.86	0.24	2.16
				C	11.09	1.90	-0.04	0.36
				S	11.97	1.60	0.84	7.55*
	Front thigh depth (R)	9.23	0.70	W	9.17	1.05	-0.06	-0.65
				C	9.85	1.25	0.62*	6.72*
				S	9.44	1.57	0.21	2.28
	Front thigh depth (L)	9.01	0.75	W	8.97	0.85	-0.04	-0.44
				C	9.18	0.96	0.17	1.89
				S	9.15	1.45	0.14	1.55
	Back thigh depth (R)	6.76	0.88	W	7.00	0.99	0.24	3.55
				C	7.29	1.24	0.53	7.84
				S	6.24	1.29	-0.52	-7.69
	Back thigh depth (L)	6.90	0.71	W	6.80	0.86	-0.10	-1.45
				C	6.77	0.76	-0.13	-1.88
				S	5.97	1.46	-0.93**	-13.48**
	Front knee depth (R)	6.66	0.70	W	6.91	0.72	0.25*	3.75*
				C	7.78	0.69	1.12***	16.82***
				S	8.17	0.82	1.51***	22.67***
	Front knee depth (L)	6.60	0.74	W	6.70	0.76	0.10	1.52
				C	6.54	0.62	-0.06	-0.91
				S	7.80	0.86	1.20***	18.18***
Back knee depth (R)	5.02	0.75	W	4.80	0.62	-0.22*	-4.38*	
			C	4.88	0.71	-0.14	-2.79	
			S	5.98	1.15	0.96*	19.12*	
Back knee depth (L)	5.03	0.60	W	4.85	0.70	-0.18	-3.58	
			C	4.83	0.53	-0.20**	-3.98*	
			S	6.11	0.82	1.08***	21.47***	
Front calf depth (R)	4.62	0.67	W	4.61	0.78	-0.01	-0.22	
			C	4.61	0.81	-0.01	-0.22	
			S	4.61	0.77	-0.01	-0.22	
Front calf depth (L)	4.79	0.80	W	4.74	0.72	-0.05	-1.04	
			C	4.71	0.73	-0.08	-1.67	
			S	4.97	0.71	0.18*	3.76*	
Back calf depth (R)	6.08	0.87	W	6.29	0.84	0.21	3.45	
			C	6.56	0.84	0.48*	7.89	
			S	6.75	0.76	0.67**	11.02*	

Depth (D)	Back calf depth (L)	6.21	0.72	W	6.19	0.68	-0.02	-0.32
				C	6.30	0.74	0.09	1.45
				S	6.52	0.69	0.31**	4.99**
	Maximum front ankle depth (R)	4.24	0.53	W	4.04	0.41	-0.20	-4.72
				C	4.06	0.48	-0.18	-4.25
				S	4.07	0.34	-0.17	-4.01
	Maximum front ankle depth (L)	4.16	0.37	W	4.25	0.41	0.09	2.16
				C	4.25	0.43	0.09	2.16
				S	4.23	0.49	0.07	1.68
	Maximum back ankle depth (R)	3.74	0.47	W	4.06	0.39	0.32*	8.56*
				C	3.85	0.51	0.11	2.94
				S	3.78	0.49	0.04	1.07
Maximum back ankle depth (L)	3.85	0.62	W	3.73	0.62	-0.12	-3.12	
			C	3.77	0.48	-0.08	-2.08	
			S	3.61	0.41	-0.24	-6.23	

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, Amt. of Ext.&Con.=(B or D in posture)-(B or D in standing), Rate of Ext.&Con.=(Amt. of Ext.&Con. in posture)/(B or D in standing) $\times 100$, W: walking, C: stair climbing, S: sitting on chair

(R, L)의 두께항목과 허리너비, 장딴지너비(R), 발목최대너비(R, L)의 너비항목이며, 장딴지와 발목부위는 동작 변화에 따른 평균변화량이 거의 나타나지 않았다.

너비항목 중 엉덩이너비, 넓다리너비(R), 장딴지너비(L)를 포함한 3항목이 의자앉기 동작에서 가장 크게 신장하였고, 배꼽수준허리너비, 배너비, 넓다리너비(L), 무릎너비(L)를 포함한 4항목은 가장 많이 수축하였다. 수축한 항목 중 배너비를 제외한 배꼽수준허리너비, 넓다리너비(L), 무릎너비(L)의 경우 보통걸음걷기 동작에서 가장 크게 신장한 반면 계단오르기 동작에서는 의자앉기 동작과 마찬가지로 수축하는 것으로 나타났다.

두께항목 중 허리앞두께, 허리뒤두께, 배앞두께 무릎앞두께(R, L), 무릎뒤두께(R, L)를 포함한 7항목이 의자앉기 동작에서 가장 크게 신장하였다. 이 중 허리앞두께, 배앞두께, 무릎앞두께(R)는 정자세<보통걸음걷기><계단오르기>의자앉기 순으로 신장률이 점차 증가하였고, 허리뒤두께, 무릎앞두께(L), 무릎뒤두께(R, L)의 경우는 의자앉기 동

작과는 달리 보통걸음걷기와 계단오르기 동작에서 수축하는 것으로 확인되었다. 배뒤두께와 넓다리뒤두께(L)는 정자세<보통걸음걷기><계단오르기>의 자앉기 순으로 수축률이 점차 증가하였고, 이 중 넓다리뒤두께(R)의 경우 오른 다리를 앞으로 내딛는 자세의 계단오르기와 보통걸음걷기 동작에서는 신장했지만 두 다리가 거의 동일한 자세를 취하는 의자앉기 동작에서는 수축하는 결과를 보였다.

이와 같이 동작별 너비와 두께항목의 평균변화량을 비교하여 살펴본 결과, 동작별 자세마다 움직임이 크고 빈번한 오른쪽 무릎부위의 앞두께 신장과 뒤두께 및 무릎너비에서 수축변화가 가장 크게 나타나, 동작 시 관절의 변형이 발생하는 부위의 체표면에 신장과 수축이 일어나고 변형 범위나 정도에 따라 신축변화량이 달라진다는 사실과 일치하였다. 허리와 복부부위의 경우에는 의자앉기 동작에서 신장과 수축의 변화가 컸으며 너비와 두께의 치수증감이 서로 반비례하는 결과를 보여 허리와 복부 간 신체치수 변화에는 상관관계가 성립함을 알 수 있다.

<Table 4> Comparison of Amounts and Rates of Extension and Contraction in Walking, Stair Climbing and Sitting on Chair versus Standing (Breadth)

Items	Posture	F-value	Posture	Ave. variation		Duncan-test
				Amt. Ext.&Con. (cm)	Amt. Ext.&Con. (%)	
Breadth	Waist breadth (omphalion)	5.39**	St	0.00	0.00	AB
			W	0.22	0.82	A
			C	-0.68	-2.54	BC
			S	-1.15	-4.30	C
	Abdominal breadth	5.81**	St	0.00	0.00	A
			W	-0.13	-0.43	A
			C	-0.05	-0.17	A
			S	-1.45	-4.83	B
	Hip width	31.27***	St	0.00	0.00	B
			W	-0.03	-0.09	B
			C	0.35	1.06	B
			S	2.19	6.64	A
	Thigh breadth (R)	3.81*	St	0.00	0.00	A
			W	-0.32	-2.16	A
			C	-1.00	-6.75	B
			S	-0.38	-2.57	A
	Thigh breadth (L)	3.57*	St	0.00	0.00	AB
			W	0.36	2.37	A
			C	-0.37	-2.44	B
			S	-0.46	-3.03	B
	Knee breadth (R)	21.47***	St	0.00	0.00	A
			W	-0.08	-0.71	A
			C	-0.90	-8.01	C
			S	-0.62	-5.52	B
	Knee breadth (L)	8.92***	St	0.00	0.00	A
			W	0.03	0.27	A
			C	0.01	0.09	A
			S	-0.59	-5.29	B
Calf breadth (L)	3.81*	St	0.00	0.00	AB	
		W	-0.11	-1.02	B	
		C	-0.08	-0.74	B	
		S	0.18	1.67	A	

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan-test: A>B>C

St: standing, W: walking, C: stair climbing, S: sitting on chair

<Table 5> Comparison of Amounts and Rates of Extension and Contraction in Walking, Stair Climbing and Sitting on Chair versus Standing (Depth)

Item	Posture	F-value	Postures	Ave. variation		Duncan-test
				Amt. Ext.&Con. (cm)	Amt. Ext.&Con. (%)	
Depth	Front waist depth	5.18**	St	0.00	0.00	B
			W	0.14	1.38	B
			C	0.59	5.80	AB
			S	1.17	11.49	A
	Back waist depth	5.22**	St	0.00	0.00	B
			W	-0.31	-4.32	B
			C	-0.22	-3.07	B
			S	0.75	10.46	A
	Front abdominal depth	4.07*	St	0.00	0.00	B
			W	0.18	1.55	B
			C	0.79	6.80	A
			S	0.93	8.00	A
	Back abdominal depth	4.94**	St	0.00	0.00	A
			W	-0.15	-1.56	A
			C	-0.44	-4.58	A
			S	-1.23	-12.80	B
	Back thigh depth (R)	4.28**	St	0.00	0.00	AB
			W	0.24	3.55	A
			C	0.53	7.84	A
			S	-0.52	-7.69	B
Back thigh depth (L)	5.32**	St	0.00	0.00	A	
		W	-0.10	-1.45	A	
		C	-0.13	-1.88	A	
		S	-0.93	-13.48	B	
Front knee depth (R)	38.48***	St	0.00	0.00	C	
		W	0.25	3.75	C	
		C	1.12	16.82	B	
		S	1.51	22.67	A	
Front knee depth (L)	14.42***	St	0.00	0.00	B	
		W	0.10	1.52	B	
		C	-0.06	-0.91	B	
		S	1.20	18.18	A	
Back knee depth (R)	7.85***	St	0.00	0.00	B	
		W	-0.22	-4.38	B	
		C	-0.14	-2.79	B	
		S	0.96	19.12	A	

Depth	Back knee depth (L)	18.55***	St	0.00	0.00	B
			W	-0.18	-3.58	B
			C	-0.20	-3.98	B
			S	1.08	21.47	A

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan-test: A>B>C

St: standing, W: walking, C: stair climbing, S: sitting on chair

3. 동작에 따른 신축률 요인분석

정자세와 각 동작을 비교하여 신축률에서 유의차를 보인 25개 항목을 Vrimax법에 의한 직교회전을 사용하여 요인분석을 실시하였다. 고유치가

1 이상인 요인을 추출하고 Scree-test결과를 고려하여 총 4개의 요인을 지정하였으며, 추출된 요인의 누적기여율은 71.50%로 나타났다. 요인별 항목 및 분석내용은 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Factor Analysis Based on Rate of Extension and Contraction by Posture

Factor	Items	Factor Score	Eigenvalue	Variance Explained (%)	Cumulative Variance Explained (%)
1	Abdominal breadth	.950	9.12	36.46	36.46
	Waist breadth (omphalion)	.944			
	Waist breadth	.936			
	Knee breadth (R)	.924			
	Thigh breadth (R)	.905			
	Thigh breadth (L)	.904			
	Knee breadth (L)	.903			
	Hip width	.900			
	Back abdominal depth	.834			
	Back thigh depth (L)	.668			
	Back hip depth	.488			
2	Front waist depth	.829	3.77	15.09	51.55
	Front abdominal depth	.798			
	Front waist depth (omphalion)	.760			
	Maximum ankle breadth (R)	.697			
	Front thigh depth (R)	.452			
3	Back waist depth	.763	2.80	11.20	62.75
	Front knee depth (L)	.760			
	Back knee depth (L)	.635			
	Back knee depth (right)	.546			
	Front knee depth (R)	.512			
4	Maximum back ankle depth (R)	-.657	2.19	8.75	71.50
	Back calf depth (L)	.611			
	Back calf depth (R)	.609			
	Front calf depth (L)	-.572			

1) 요인1

요인1은 너비 8항목과 두께 3항목을 포함한 총 11개 항목으로 구성되며 고유치는 9.12, 변량기여율은 36.46%이다. 하반신 몸통 및 다리부위의 너비항목에 해당하는 배너비, 배꼽수준허리너비, 허리너비, 무릎너비(R, L), 넓다리너비(R, L), 엉덩이너비와 두께항목에 해당하는 배뒤두께, 넓다리뒤두께(L), 엉덩이뒤두께가 요인으로 추출되었다. 요인1에는 허리와 좌우 무릎 구간의 모든 너비항목이 포함되지만, 두께항목은 배와 넓다리 구간의 왼쪽 넓다리와 뒤두께 항목만 포함된다. 따라서 요인1은 '허리와 좌우 무릎 구간의 너비 및 배와 왼쪽 넓다리 구간의 뒤두께' 요인이라 할 수 있다.

2) 요인2

요인2는 두께 4항목과 너비 1항목을 포함한 총 5개 항목으로 구성되며 고유치는 3.77, 변량기여율은 15.09%이다. 두께항목에 해당하는 허리앞두께, 배앞두께, 배꼽수준허리앞두께, 넓다리앞두께(R)와 너비항목에 해당하는 발목최대너비(R)가 요인으로 추출되었다. 요인2에는 허리와 넓다리 구간에서 왼쪽 넓다리앞두께와 엉덩이앞두께를 제외한

모든 앞두께 항목 및 왼쪽 발목최대너비 항목이 포함되며, 두께와 너비항목 모두 신장하는 경향을 보였다. 따라서 요인2는 '허리와 오른쪽 넓다리 구간의 앞두께 및 발목너비' 요인이라 할 수 있다.

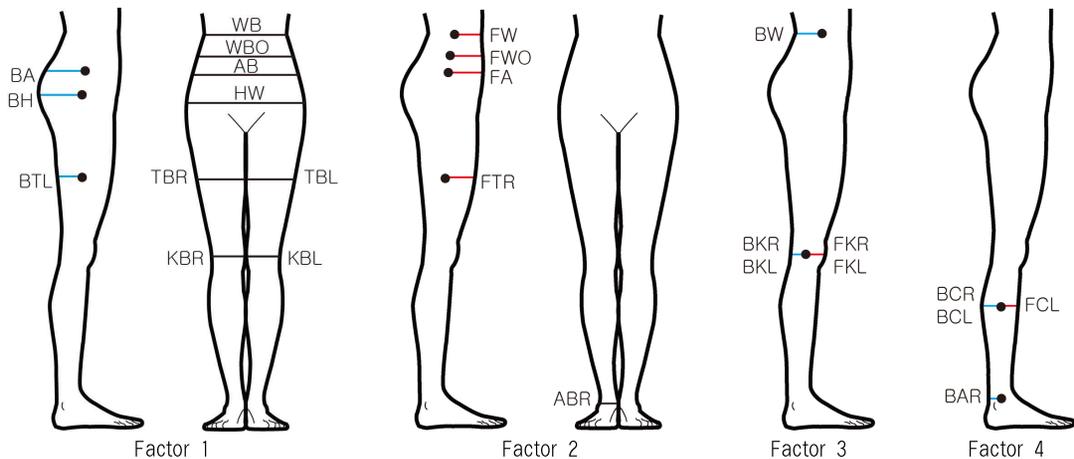
3) 요인3

요인3은 허리뒤두께, 무릎앞두께(R, L), 무릎뒤두께(R, L)를 포함한 총 5개의 두께항목으로 구성되며 고유치는 2.80, 변량기여율은 11.20%이다. 허리뒤두께와 좌우 무릎 앞뒤두께가 모두 포함되어 '무릎 및 허리뒤두께' 요인이라 할 수 있다.

4) 요인4

요인4는 발목뒤최대두께(R), 장딴지뒤두께(R, L), 장딴지앞두께(L)를 포함한 총 4개의 두께항목으로 구성되며 고유치는 2.19, 변량기여율은 8.75%이다. 추출된 요인 중 장딴지 앞두께를 제외한 나머지 항목 대부분이 신장하는 경향을 나타내었다. 따라서 요인4는 '장딴지 및 발목뒤두께' 요인이라 할 수 있다.

요인분석 결과 추출된 4개 요인을 바탕으로 동작별 차이를 알아보기 위해 요인점수로 F-test와



<Fig. 2> Items by Factor
(Illustrated by Researchers)

Duncan test를 실시한 결과는 <Table 7>과 같으며, 요인1과 요인3에서 동작별로 유의한 차이가 나타났다. 요인1은 '허리와 좌우 무릎 구간의 너비 및 배와 왼쪽 넓다리 구간의 뒤두께'요인으로 보통걸음걸기, 계단오르기, 의자앉기 순으로 요인점수가 낮아져 의자앉기 동작에서 허리와 엉덩이부위를 제외한 나머지 하반신 몸통과 무릎 간 너비 항목과 넓다리뒤두께 항목이 전반적으로 매우 높은 수축률을 보였다. 요인3은 <Table 5>에 제시된 바와 같이 하반신 부위 중 가장 높은 수축률을 보이는 좌우 무릎부위의 두께항목이 모두 포함된 요인으로 보통걸음걸기, 계단오르기, 의자앉기 동작 순으로 요인점수가 높게 나타났다.

이와 같은 결과는 무릎 관절의 움직임이 커질수록 체표면의 변화 범위가 넓어지고 신축 정도가 커지기 때문에 요인3의 경우, 의자앉기 동작에서 무릎 관절의 변형이 크게 발생하여 무릎부위 두께가 증가한 것으로 판단된다. 요인2와 요인4에서는 동작별로 유의한 차이가 인정되지 않았으나 보통걸음걸기, 계단오르기, 의자앉기 순으로 요인점수가 증가하므로 신축률이 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 동작이 크고 움직임에 따른 관절과 체표면의 변형 범위가 넓은 하반신을 직접 스캔한 3D 형상데이터를 활용하여 동작별로 상세

부위의 체표면 너비 및 두께의 치수 변화를 살펴 보고, 평균신축량과 신축률에서 유의차를 보인 치수항목요인을 추출하여 동작별 요인점수를 비교·분석하였다. 이를 통해 팬츠 설계 시 소재 선정, 패턴 변형, 여유량 설정 등에 유용한 자료를 제공함으로써 팬츠의 동작기능성을 강화하고 전반적인 착용 만족도 향상을 도모하고자 하였다.

연구를 위해 한국인 인체치수조사의 20~24세 여성 평균 치수에 해당하는 여대생 13명을 피험자로 선정하여 피험자별로 너비 12항목과 두께 24항목의 총 36항목에 대해 보통걸음걸기, 계단오르기, 의자앉기 동작 시에 변화하는 체표면 치수의 평균 신축량과 신축률을 계산한 후 이를 토대로 요인분석을 통해 동작별 요인점수를 비교·분석하였으며, 연구결과의 요약 및 결론은 다음과 같다.

정자세의 항목별 너비와 두께에 대한 동작별 신축률을 살펴본 결과, 보통걸음걸기 동작은 허리너비, 넓다리너비(L), 무릎앞두께(R), 발목뒤최대두께(R)에서 유의한 신장률과 무릎뒤두께(R)에서 유의한 수축률을 보였고, 계단오르기 동작은 발목최대너비(R), 허리앞두께, 배꼽수준허리앞두께, 배앞두께, 넓다리앞두께(R), 무릎앞두께(R)에서 유의한 신장률과 넓다리너비(R), 무릎너비(R), 무릎뒤두께(L)에서 유의한 수축률이 나타났으며, 의자앉기 동작에서는 엉덩이너비와 발목최대너비(R), 허리앞두께, 허리뒤두께, 배앞두께, 엉덩이뒤두께, 무릎앞두께(R), 무릎앞두께(L), 무릎뒤두께(R), 무릎뒤두께(L), 장딴지앞두께(L), 장딴지뒤두께

<Table 7> Comparison of Factor Scores by Posture

Posture Factor	Walking		Stair Climbing		Sitting on Chair		F-test	Duncan-test
	M	S.D.	M	S.D.	M	S.D.		
Factor 1	-0.65	0.45	-1.10	0.36	-1.44	0.39	12.71***	A B C
Factor 2	-0.71	1.44	0.17	1.22	0.41	1.54	2.29	-
Factor 3	-0.86	0.71	-0.74	0.96	1.94	0.99	40.71***	B B A
Factor 4	-0.37	1.54	-0.05	1.74	0.41	1.66	0.75	-

*** $p < .001$, Duncan-test: A>B>C

(R), 장딴지뒤두께(L)에서 유의한 신장률과 배꼽 수준허리너비, 배너비, 무릎너비(R), 무릎너비(L), 배뒤두께, 넓다리뒤두께(L)에서 유의한 수축률이 나타났다. 전체 두께항목 중 무릎앞두께(R)의 신장률이 가장 높았고, 너비항목에서는 무릎너비(R)의 수축률이 가장 높게 나타났으며 전반적인 무릎부위 두께는 신장하였으나 너비는 수축하는 결과를 보여 동작별 하반신 주요 부위의 체표면 변화를 분석한 Lee & Kim(2017)의 선행연구에서 둘째항목 중 무릎앞둘레의 신장률과 넓다리뒤둘레의 수축률이 가장 높게 나타난 결과와 일치하므로 팬츠 설계 시에는 무릎앞두께의 신장률과 무릎너비의 수축률을 반드시 고려해야 할 것이다.

전체 36개 너비와 두께항목의 정자세에 대한 동작별 평균변화량을 비교하여 유의한 차이가 나타난 너비 8항목과 두께 10항목을 분석한 결과, 두께항목은 의자앉기 동작에서 허리앞두께, 허리뒤두께, 배앞두께 무릎앞두께(R, L), 무릎뒤두께(R, L)가 가장 크게 신장하였고, 너비항목에서는 의자앉기 동작의 엉덩이너비, 넓다리너비(R), 장딴지너비(L)가 가장 크게 신장하고, 배꼽수준허리너비, 배너비, 넓다리너비(L), 무릎너비(L)가 가장 많이 수축하였다. 무릎부위의 앞뒤두께 신장과 무릎너비에서의 수축변화가 가장 크게 나타난 결과를 통해 동작 시 관절의 움직임으로 체표면에 신축이 일어나고 관절의 변형 정도에 따라 신축변화량이 달라짐을 확인할 수 있었다. 또한, 허리와 복부부위는 의자앉기 동작에서 신장과 수축의 변화가 크고 너비와 두께의 신축이 반비례하는 것으로 나타나 허리와 복부부위 간 치수 변화에는 상관관계가 성립함을 알 수 있었다.

정자세에 대한 동작별 신축률을 비교하여 유의차를 보인 항목으로 요인을 추출한 결과, 총 4개 요인의 25개 항목이 추출되었다. 요인1은 총 11개의 너비와 두께항목으로 구성된 '허리와 좌우 무릎 구간의 너비 및 배와 왼쪽 넓다리 구간의 뒤두께' 요인이고, 요인2는 총 5개의 너비와 두께항목

의 '허리와 오른쪽 넓다리 구간의 앞두께 및 발목 너비' 요인이며, 요인3은 총 5개의 두께항목으로 구성된 '무릎 및 허리뒤두께' 요인이고, 요인4도 총 4개의 두께항목으로만 구성된 '장딴지 및 발목 뒤두께' 요인이다.

추출된 4개 요인의 동작별 차이를 알아보기 위해 요인점수를 비교한 결과, 요인1과 요인3에서 유의한 차이가 나타났다. 요인1은 의자앉기 동작에서 하반신 몸통과 무릎 간 너비항목과 넓다리뒤두께 항목이 전반적으로 매우 높은 수축률을 보였고, 요인3은 하반신 부위 중 가장 높은 신축률을 보인 좌우 무릎부위의 두께항목이 모두 포함된 요인으로 요인1과 마찬가지로 관절의 움직임이 크고 체표면 변화 범위가 넓은 의자앉기 동작의 요인점수가 가장 높게 나타나 팬츠의 동작기능성 향상을 위해서는 무릎부위를 포함한 요인1과 요인3 항목에 대한 소재선택과 여유량 설정에 특히 유의해야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 동작에 따른 하반신 부위별 체표면 너비와 두께의 변화를 비교·분석하여 동작의 크기와 관절의 변형 정도에 따라 다양한 부위에서 신장과 수축의 증감이 다르게 나타남을 입증하였고, 이를 통해 팬츠 패턴설계 시 팬츠의 착용 만족도와 기능성 향상을 위해 정자세의 기본 패턴에 동작을 고려한 체표면의 변화를 고려해야 할 근거자료를 제시하였다.

본 연구결과는 제한적인 성별과 연령대 피험자의 일상적인 동작을 직접 스캔한 데이터를 바탕으로 도출하였으므로 피험자의 조건이나 동작이 다를 경우에는 결과의 호환성과 관련성, 적합성 등을 고려하여 반영해야 할 것이다. 이에 후속 연구에서는 본 연구의 결과를 토대로 너비와 두께의 체표면 증감이 높게 나타난 주요 부위의 여유량을 고려하여 팬츠 패턴을 설계하고, 착의평가를 통해 여유량 설정에 따른 팬츠의 동작기능성을 평가하고자 한다. 또한, 다양한 조건의 피험자를 대상으로 작업복이나 운동복 등 팬츠의 착용 목적에 따

라 요구되는 특정 동작을 중심으로 체표면 너비 및 두께의 변화를 비교하여 본 연구결과와의 차이점과 유사점을 파악한다면 동작에 따른 체표면 변화가 팬츠 기능과 맞음새 향상을 위해 소재 선정과 패턴 변형, 여유량 설정 등에서 반드시 고려되어야 할 중요한 요소임을 좀 더 명확히 할 수 있을 것이다.

References

- Ashdown, S. P., Choi, M. S., & Milke, E. (2007). Automated side-seam placement from 3D body scan data. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 20(4), 199-213. doi: 10.1108/09556220810878829
- Bye, E., LaBat, K. L., & DeLong, M. R. (2006). Analysis of body measurement systems for apparel. *Clothing & Textile Research Journal*, 24, 66-79. doi:10.1177/0887302X0602400202
- Choi, S. Y. & Ashdown, S. P. (2010). Application of lower body girth change analysis using 3D body scanning to pants patterns. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 34(6), 955-968. doi:10.5850/JKSCT.2010.34.6.955
- Choi, S. Y. & Chun, J. S. (2011). A comparative study on the changes in size of lower body for different postures between Korean and American women in their twenties. *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 13(5), 728-733. doi: 10.5805/KSCI.2011.13.5.728
- Cleland, I., Kikhia, B., Nugent, C., Boytsov, A., Hallberg, J., Synnes, K., McClean, S., & Finaly, D. (2013). Optimal placement of accelerometers for the detection of everyday activities. *Sensors*, 13(7), 9183-9200. doi:10.3390/s130709183
- Daanen, H. A. M., & Water, G. (1998). Whole body scanner. *Displays*, 19(3), 111-120. doi: 10.1016/S0141-9382(98)00034-1
- D' Apuzzo, N. (2007). 3D body scanning technology for fashion and apparel industry. In J. A. Beraldin, F. Remondino, & M. R. Shortis (Eds.), *Videometrics IX. Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging* (vol. 6491). San Jose, CA, U.S.: SPIE. doi: 10.1117/12.703785
- Hong, E. H., Uh, M. K., & Kim, K. A. (2015). Comparative analysis of the patterns for men's jean pants by 3D virtual garment simulation evaluation. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, 17(2), 223-237.
- Jeong, Y. H., Kim, S. Y., & Hong, K. H. (2006). Development of 2D tight-fitting collar pattern from 3D scan data of various types of men's dressform. *Journal of the Korean society of Clothing and Textiles*, 30(5), 722-732.
- Karla, P. S. (2001). *Body measurement techniques: A comparison of three-dimensional body scanning and physical anthropometric methods* (Unpublished doctoral dissertation). North Carolina State University, U.S..
- Lee, S. Y. (2015). Analysis of changes to body-surface length of lower body by movement. *DesignForum*, 48, 29-44.
- Lee, S. Y. & Kim, J. M. (2017). Identification of the relationship between surface variations of lower body parts by movement using 3D scan data: A focus on women aged 20 to 24 years. *Journal of the Korean Society of Costume*, 67(3), 81-98. doi:10.7233/jksc.2017.67.3.081
- Lu, J., Wang, M. J., & Mollard, R. (2010). The effect of arm posture on the scan-derived measurements. *Applied Ergonomics*, 41, 236-241. doi: 10.1016/j.apergo.2009.07.002
- Morlock, M., Schneider, E., Bluhm, A., Vollmer, M., Bergmann, G., Muller, V., & Honl, M. (2001). Duration and frequency of every day activities in total hip patients. *Journal of Biomechanics*, 34, 873-881. doi:10.1016/S0021-9290(01)00035-5
- Robinette, K. M. (2012). Human factors and fundamentals: Anthropometry for product design. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (pp. 330-346). New Jersey, U.S.: John Wiley & Sons, Inc.
- Shin, S. M. & Chun, J. S. (2013). Changes in back body surface measurements for dynamic postures in the form of baseball batting motion with a 3D body Scanning. *International Journal of Human Ecology*, 14, 41-55. doi:10.6115/ijhe.2013.14.1.41
- Wang, Y. J., Mok, P. Y., & Kwok, Y. L. (2011). Section II. Human factors in manufacturing: Analysis of lower limb measurements in running progress for high-performance slacks design. In W. Karwowski, & G. Salvendy (Eds.), *Advances in Human Factors, Ergonomics, and Safety in Manufacturing and Service Industries* (pp. 201-221). Florida, U.S.: Taylor & Francis Group, LLC.