

# Comparison of Measurement Error from Anthropometric measurement due to Age Group Difference

Jinhee Park<sup>1</sup>, Sung Hee Ahn<sup>2</sup>, Yun-Ja Nam<sup>1\*</sup>, Myung Hwan Yun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University, Korea

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Korea

## ABSTRACT

**Objective:** The purpose of this study is to find body dimensions where measurement errors occur in recording anthropometric data from the elderly over seventy and to compare the results to the participants in their forties. This is required to find the reason why the errors are induced and to minimize them. **Background:** Anthropometric data from elderly population is demanded by many industries in an aging society. The sixth Size Korea survey has been being undertaken to measure the particular population aged from 70 to 85. However, the way to improve the accuracy of the measurement has not been studied enough when the target population is limited. **Method:** the experiment was conducted on the participants in their forties and seventies to measure the particular body dimensions and repeated five times in total. From the repeatedly measured data, values of technical error of measurement (TEM) were acquired and statistically compared by age, sex and dimension as well as trial. **Results:** By comparing TEMs from forties, which were repeatedly measured, it was found that the error of a certain circumstance could be reduced by training the measurer. Moreover, the result which compared the forties and seventies showed that there was no significant difference either in age or in sex. On the other hand, a particular dimension was significantly different from others. **Conclusion:** According to this study, TEM did not vary due to changes in body shape as people age, and this means that the accuracy or level of expertise is more important in measuring the elderly. **Application:** It is needed to be discussed whether the existing method to categorize dimensions in selecting value of TEM is better than others.

Keywords: Measurement Error, Basic Human Body Measurement, TEM, Size Korea

## 1. Introduction

우리나라에서는 1979년부터 약 6년마다 5차례에 걸쳐 정부주도하의 ‘한국인 인체치수조사사업’을 시행해 오고 있다. 초기 진행된 치수 조사 사업의 경우, 비용과 전문인력의 부족 등의 이유로 측정 자료의 활용이 적극적으로 이루어지는 데에 한계가 있었으나, 2003년의 제 5차 사업 이후에는 3차원 형상 자료뿐 아니라 보다 전문화된 정확도 높은 직접측정 자료를 제공할 수 있게 되었다. 5차 조사 사업에서

는 특히 3차원 인체 스캐너가 도입되어, 더욱 정확도 높은 인체 정보를 제공하고자 노력하였으며 이에 따라 3차원 인체 형상 자료에 대한 연구들이 활발하게 이루어졌다. 따라서 박선미 등 (2009, 2012)은 인체 치수 조사 자료의 품질개선과 정확도 향상을 위한 연구를 통하여, 3차원 인체 측정 자료의 품질을 향상시키기 위한 다양한 방안을 제시하고 분석하였다. 이로 인하여 인체 측정 조사 사업에서 3차원 스캐너의 타당성과 활용성을 증명하였으나, 기존에 많은 연구에서 다루어져 표준화 작업이 이루어진 직접측정 자료에 대해서는 검증하지 않은 한계가 있다.

**Table 1.** The schedule of Experiments

	1 <sup>st</sup> experiment	2 <sup>nd</sup> experiment	3 <sup>rd</sup> experiment	4 <sup>th</sup> experiment	5 <sup>th</sup> experiment
subject	Age: 40's 3 males 3 females	Age: 40's 3 males 3 females ( same with 1 <sup>st</sup> Exp.)	Age: 70's 2 males 2 females	Age: 70's 2 males 2 females	Age: 70's 2 males 2 females
Dimension	- Height : Waist Height - Circumference : Waist Circumference, Chest Circumference, Thigh Circumference - Length : Neck Point to Shoulder Length				
NO. of measurements	Total course : 3 times	Total course : 4 times (male) 3 times (female)	Total course : 2 times	Total course : 2 times	Total course : 2 times
	Every dimension (each course): 2times				
Total No. of measurements of each dimension	6 times	8 times (male) 6 times (female)	4 times	4 times	4 times

5차 조사사업의 경험을 토대로, 인체 측정 시 발생하는 현장에서의 다양한 한계들을 인식하게 되었고, 그에 따라 6차 조사사업에서는 연령대별로 3차원 인체 측정 조사가 이루어지고 있다. 특히 6차 조사사업에서는 인구의 고령화로 인한 관련 산업의 고령자 인체 사이즈 요구를 반영하고자 70세~85세의 고령자 층의 인체 치수를 별도로 측정한다. 고령자층만을 분류하여 전문적으로 측정하는 경우, 기존의 측정사업과는 피험자의 특성이 두드러지게 구분이 된다. 따라서 비교적 표준화되었다고 여겨지는 직접 측정 자료 역시 오차에 대한 비교와 검토가 필요하다고 보여진다. 황민철 등 (2002)은 인체 치수 측정 시 발생하는 허용오차를 설정하는 방식에 대한 연구를 통하여, 실제 측정 이전에 측정시간 허용오차를 설정하여 오차 최소화를 위한 노력을 언급하였다. 이는 직접측정에 있어 발생하게 되는 오차를 분석하고 허용오차를 설정하여 가이드라인을 제시하였지만, 피험자의 특성에 기인한 오차의 원인에 대해서는 언급하지 않은 한계가 있다.

본 연구에서는 70세 이상 고령자의 인체 치수 측정에 있어 고려되어야 하는 오차의 부위 및 특성을 40대의 건강한 피험자와 비교하여 분석하고자 한다. 이는 특정한 연령대의 피험자를 대상으로 한 측정에 있어서 기존의 측정 방식을 그대로 도입하는 경우, 발생할 수 있는 측정 오차의 원인이 있다면 이를 파악하고 최소화 하기 위한 방안을 논하기 위함이다. 또한 본 연구에서는 동일한 피험자를 여러 차례에 걸쳐 반복 측정함에 따라, 대규모 인체 측정 사업에 있어, 전문가 집단이 측정 요원을 교육하는 과정에서 보여지는 교육을 효과를 측정치의 정확도의 측면에서 살펴보았다.

## 2. Method

인체 측정 시 발생하는 오차는 다양하게 존재하나, 본 연구에서는 측정자를 1인으로 한정하였으므로 측정자의 내부 변이에 의한 측정 정밀도 수치로 그 오차를 비교할 수 있다. 정밀도(precision)는 측정자의 숙련 정도를 나타내어주는 가장 기본적인 지표로, 본 연구에서는 동일한 피험자를 반복 측정하여 얻은 결과의 차를 반영한 값인 TEM (Technical error of measurement. Cameron, 1984)을 정밀도 측정의 기준으로 사용하였으며, 같은 시기에 측정된 40대와 70대의 동일 부위 측정치를 측정된 치수를 활용하였다.

$$TEM = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} \quad (1)$$

식(1)에서  $d_i$ 의 값은 매 측정마다 ( $i$ 번째) 두 번씩 반복 측정된 각 값의 차이 값들이며,  $n$ 은 전체 과정을 측정한 수를 의미한다.

검증에 앞서, 반복 측정하여 비교한 인체 치수항목의 설정은 박선미 외 (2009, 2012)의 연구와 일본인 인체치수 데이터분석 보고서(사단법인인간생활공학연구센터, 2008)에서 비교적 큰 오차가 발생한 항목 중, 높이 항목의 허리높이, 둘레항목의 위가슴 둘레, 허리 둘레, 넓다리 둘레, 길이 항목 중 어깨길이(목옆어깨가쪽 길이)를 선정하였다. 선정한 치수들은 선행연구들에서 측정시의 오차가 컸을 뿐 아니라, 의복의 구성에 있어서도 매우 중요한 기초적인 인체 치수 항목들이다.

실험 일정은 Table1과 같으며, 한번 측정할 때마다 한 명의 측정자가 선정된 다섯 부위를 매번 두 번씩 반복하여 측정하였다. 각 피험자들은 측정을 위해 탈의를 하고 랜드마크를 붙이는 과정에서부터 사이즈를 측정 한 후 다시 탈의를 하는 모든 측정 과정까지 각각 2 ~

**Table 2.** The result of comparison of Mean of measurement error classified by Dimension in 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> experiments.

Dimension		subject		N	Mean of error [mm]	Std. Deviation	F	
Height	Waist Height	1 <sup>st</sup> Exp.	40's 3 males	9	1.0000	1.5811	1.139	
			40's 3 females	9	1.2222	1.3017		
		2 <sup>nd</sup> Exp.	40's 3 females	9	1.3333	1.3229		
			40's 3 males	12	0.4583	0.4981		
		Total		39	0.9615	1.2052		
Circumference	Waist Circumference	1 <sup>st</sup> Exp.	40's 3 males	9	5.8889	4.8074	0.532	
			40's 3 females	9	3.7778	3.3082		
		2 <sup>nd</sup> Exp.	40's 3 females	9	3.0000	4.4441		
			40's 3 males	12	4.5833	6.5707		
		Total		39	4.3333	4.9912		
	Chest Circumference	Chest Circumference	1 <sup>st</sup> Exp.	40's 3 males	9	9.0000	8.4705	3.322 *
				40's 3 females	9	2.3333	1.5000	
			2 <sup>nd</sup> Exp.	40's 3 females	9	4.1111	3.2575	
				40's 3 males	12	3.3333	3.9619	
			Total		39	4.5897	5.3593	
	Thigh Circumference	Thigh Circumference	1 <sup>st</sup> Exp.	40's 3 males	9	1.6667	1.7321	2.905 *
				40's 3 females	9	2.0000	1.2247	
			2 <sup>nd</sup> Exp.	40's 3 females	9	4.4444	2.9627	
40's 3 males				12	2.0833	2.5746		
Total			39	2.5128	2.4265			
Length	Neck Point to Shoulder Length	1 <sup>st</sup> Exp.	40's 3 males	9	2.6667	3.0000	1.311	
			40's 3 females	9	0.6667	1.1180		
		2 <sup>nd</sup> Exp.	40's 3 females	9	2.5556	3.1667		
			40's 3 males	12	1.6667	2.0597		
		Total		39	1.8718	2.4728		

\*p<.05

4차례씩 반복하여 측정 실험을 함에 따라, 각 측정 부위는 모두 최소 4번 이상의 측정 값을 갖는다.

1차실험과 2차 실험에서는 40대 건강한 남성과 여성 각 3명씩 실험하였으며, 3차~5차 실험에서는 70개 남녀 각2명씩 실험하였다. 1차와 2차 실험에 같은 피험자를 측정한 것은, 1차 실험을 통하여 측정자의 사이즈 측정 교육 효과를 검토하고 정확도를 보다 객관적으로 확인해 보기 위함이다. 피험자들은 각 실험마다 전체 과정을 3~4회 반복하였고, 측정항목은 각각 2회씩 측정하였다. 1차실험에서는 40대 남성3명이 먼저 총 3번의 측정과정 동안 항목별로는 모두 2회씩 각각 측정하였으며, 이후 40대 여성이 같은 방식으로 실험하였다. 2차 실험에서는 같은 피험자들을 여성 먼저, 이후 남성의 순서로 진행하였고 마지막 실험에서는 남성 피험자들이 측정과정을 1회 추가하여, 총 4회를 반복하였다.

3차 실험 이후의 대상인 70대의 경우는 피험자들의 건강상의 문제를 고려하여, 전체 과정을 2회 반복, 각 항목도 2회 반복으로 제한을 두었다.

여러 번 반복 측정된 각 항목들의 수치들은 같은 부위 별 반복 측정 치수들의 차이 값(error)의 평균과 TEM값을 산출하여 각각을 통계적으로 비교하였으며, 이때 SPSS 21.0을 활용하여 그 관계를 분석하였다.

### 3. Results

식(1)을 통하여 구해진 각 실험의 TEM값은 측정값의 정확도를 비교하고 분석하는 용도로 사용되었다. 1차와 2

차 실험에서는 이들에 걸쳐 같은 피험자를 여러 번 동일하게 측정하면서, 전문가 집단의 재교육을 지속적으로 받은 효과를 볼 수 있었다. 40대와 70대별로 실험을 여러 차례 진행하여 각 TEM값을 비교하여 연령대 별로 같은 부위를 같은 측정자가 측정하는 경우 발생하게 되는 오차의 차이를 비교하였다. 이는 이후의 연령별 측정 조사 사업에서 측정자들이 직접 측정 시 유념해야 하는 부분에 대해서 논하는 근거로 활용하였다.

### 3.1 측정자의 반복 측정 교육 효과 - 1, 2차 실험 오차 분석

40대 건강한 남녀 각 3명씩 총 6명의 피험자를 대상으로 반복적으로 실험한 1차와 2차 실험에서는, 같은 피험자들을 다시 실험하여 특정 항목의 정확도를 높임으로써 측정교육을 통한 효과를 증명하고자 하였다. 각 실험에서 남성과 여성 피험자들의 실험 별 오차는 Table2와 같다. 1차 실험에서는 남성 피험자의 측정이 마친 후 여성 피험자들의 측정이 이루어지고, 2차 실험에서는 여성 피험자들 먼저 측정 후 남성 피험자들의 측정이 이루어졌다. Table2는 이러한 측정 순서를 반영하여 오차의 변화를 보기 편하도록 작성하였다.

반복측정치 오차는 둘레항목에서 특히 큰 차이를 보이는데, 이는 둘레항목이 피험자의 내부 변이에 따른 오차와 피험자 간에 발생하는 오차율이 타 부위들에 비해 일반적으로 큰 특성을 갖기 때문이다. (사단법인인간생활공학연구센터, 2008)

이러한 둘레 항목의 큰 오차를 줄이기 위하여 본 연구에서는 남녀 각각 1차와 2차의 실험으로 분류하여 반복실험을 하는 동안 측정자의 숙련도가 향상될 수 있도록 전문가 집단의 교육이 동시에 이루어졌다. 일원분산분석(ANOVA)을 통하여 실험이 반복 진행됨에 따른 오차의 영향을 살펴본 결과, 가슴둘레와 넓다리 둘레에서 그 오차가 감소하는 유의한 결과 (가슴둘레  $F=3.322, p<0.05$  / 넓다리 둘레  $F=2.905, p<0.05$ )를 확인할 수 있었다.

통계적 결과에 의하면, 남성과 여성에 따른 오차는 유의한 차이를 보이지 않았으며 타 항목에 비하여 둘레 항목의 오차가 비교적 컸다. 오차가 크게 측정된 둘레 항목 중 가슴둘레와 넓다리 둘레의 경우는 반복적인 측정과 교육으로 인하여 그 차이를 줄일 수 있었다. 이에 따라 인체 측정에 있어 오차율이 큰 부위에 대한 직접측정 치수의 오차 관리, 성별에 무관하게 측정자가 반복 실습과 교육을 함으로 인하여 어느 정도 보완할 수 있음을 알 수 있다.

### 3.2 분류별 TEM 비교

측정에 참여한 모든 피험자들이 반복 측정한 회수는 모두 90회에 달하며, 각 측정치의 TEM을 산출하여 분류별로 그 수치를 비교한 결과는 Table3과 같다. 모든 항목과 모든 피험자들에 대한 전체 평균 TEM은  $2.62\pm 2.75$ 이었으며, 성과 나이별로 TEM이 차이를 보일 것이라는 예상과는 다르게, 분산분석의 결과 성별, 나이대별 TEM 차이는 없었다. TEM은 측정 항목에 따라 유의한 차이 ( $F=5.462, p<.01$ )를 보였으며, 이외의 요소들은 TEM 치수에 전혀 영향을 보이지 않았다.

이러한 결과는 인체의 사이즈를 측정하는데 있어서, 그 측정 대상이 어느 범주에 속하는지의 여부 보다는 어떠한 항목을 얼마나 정확히 측정하는지가 더욱 중요하다는 사실을 증명한다. 즉, 측정자의 전문성이 확보되는 경우에는 측정 대상의 연령과 성별이 변화할지라도 측정 결과의 정확도에 신뢰도를 갖게 된다.

**Table 3.** The result of comparison of TEM classified by Sex, Age, and Dimension.

Category		N	Mean of TEM	Std. Deviation	F
Sex	Male	45	2.15	1.40	2.59
	Female	45	3.09	3.59	
Age	40's	30	2.71	2.02	0.052
	70's	60	2.58	3.06	
Dimension	Waist Height	18	1.33	0.73	5.462**
	Waist Circumference	18	2.89	2.02	
	Chest Circumference	18	4.97	4.42	
	Thigh Circumference	18	2.58	1.96	
	Neck Point to Shoulder Length	18	1.33	1.45	
Total		90	2.62	2.75	

\*\* $p<.01$

### 3.3 측정 항목별 TEM의 비교

측정한 항목에 따라 TEM값 평균의 차이가 통계적으로 유의한 결과를 보였기 때문에 항목 별 TEM을 비교 분석하였다. (Table 4) 사후검증을 통하여 각 항목별로 길이항목의 어깨길이와 높이항목의 허리높이, 작은 부

위 둘레항목의 넓다리 둘레, 큰 부위 둘레 항목의 위 가슴 둘레가 각각 TEM값의 유의한 차이를 보였기 때문에, 이 항목들은 ISO 20685 에서 최대오차를 설정하기 위하여 분류한 측정 형태를 따른다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 결과는 사이즈 측정의 허용 오차를 ISO 20685에서 분류된 방식으로 설정하는 데에 무리가 없음을 증명해준다.

하지만 ISO 20685 상에서는 위가슴 둘레와 같은 ‘큰 부위 둘레’로 분류되어있는 허리둘레의 경우는 위가슴 둘레뿐 아니라 ‘작은 부위 둘레’인 넓다리 둘레의 TEM 과도 통계적인 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있었다. 따라서 일반적으로 큰 부위 둘레로 분류되는 허리둘레는, 그 사이즈나 형태적인 특성으로 단순히 분류하여 TEM을 동일하게 설정하기보다는, 인체의 허리 부위가 가지는 해부학적 특성에 따른 측정 시 어려움을 고려한 추가적인 분류가 필요한 것으로 보여진다.

**Table 4.** The result of comparison of TEM classified by Dimension.

Dimension		N	Mean of TEM	Std. Deviation	F	Post Hoc Tests
Height	Waist Height	18	1.34	0.73	6.648***	a,b,c<d
Circumference	Waist Circumference	18	2.89	2.02		
	Chest Circumference	18	4.97	4.42		
	Thigh Circumference	18	2.58	1.96		
Length	Neck Point to Shoulder Length	18	1.33	1.45		
Total		90	2.62	2.75		

\*\*p<.001

Post Hoc Tests : a= Neck Point to Shoulder Length, b= Waist Height, c= Thigh Circumference, d= Chest Circumference

장상의 염려로 측정이 거의 이루어지지 못한 고령자 층의 사이즈를 측정하는 경우 측정자들이 유념해야 하는 부분을 보다 객관적으로 검토하기 위함이다. 따라서 본 연구에서는 인체 사이즈를 측정하는데 있어 가장 기본이 되어온 직접측정치의 반복 측정 오차를 분석하였으며 이는 TEM값으로 환산하여 각 수치들의 차이를 비교하였다.

70대의 고령 피험자들을 측정하기 전에, 이를 비교하기 위한 40대의 측정이 먼저 이루어졌다. 40대는 같은 피험자들을 2차에 걸쳐 여러 번 측정되었으며 이러한 측정값들의 큰 오차는 반복적인 측정과 교육으로 인하여 그 차이를 줄일 수 있었다. 이로 인하여, 오차율이 큰 부위에 대한 직접측정 치수의 오차 관리, 측정자의 반복 실습과 교육으로 효과적으로 보완할 수 있음을 알 수 있었다.

40대와 70대의 측정 오차로 산출한 TEM값을 통계적으로 분석한 결과, 사이즈의 측정 오차에 성별과 연령대는 유의미한 차이를 보이지 않았으며 각 측정항목들간의 차이만 확인할 수 있었다. 이러한 결과는, 측정자의 전문성이 확보되는 경우에는 측정 대상의 다양성과 무관하게 측정 결과의 정확도에 신뢰를 갖는다는 것을 알 수 있다. 측정자들이 측정 시 오차를 최소화하기 위해서는, 대상에 대한 특성을 파악하기 보다 각 측정 항목들을 보다 정확히 범주화하여 더욱 객관적이고 측정이 용이한 측정 방식을 확립하는 것이 필요하다고 보여진다.

현재 3차원 측정치와 직접 측정치의 최대 오차범위를 다룬 ISO 20685에서는 ‘큰 부위 둘레’의 항목에 가슴둘레와 허리둘레를 모두 포함하여 정리되어있다. 하지만 본 연구를 통하여, 허리둘레의 TEM 평균값이 큰 부위 둘레 및 작은 부위 둘레 모두 유의한 차이를 보이지 않은 것을 확인함에 따라, TEM의 설정에 있어 이러한 기존의 분류 방식을 그대로 따르는 것이 타당한 것인지에 대한 고찰이 필요하다고 보여진다. 추가적인 연구를 통하여, 오차 및 TEM 설정을 위한 보다 적절한 측정 형태의 분류 방식에 대하여 논의해야 할 것이다. 또한 정밀도에 대한 연구뿐 아니라 정확도를 측정할 수 있는 오차 설정에 대한 연구도 이루어져, 보다 신뢰도 높은 인체 치수를 측정하기 위한 기반을 마련해야 할 것이다.

## 4. Conclusion

본 연구에서는 70대 고령자 층의 사이즈를 측정할 경우, 고려되어야 하는 오차의 부위 및 특성을 40대의 건강한 피험자와 비교하여 분석하고자 하였다. 이는, 기존에 이루어진 사이즈 측정 사업과는 구별되는 제 6차 사이즈 측정 사업은 연령별로 그 대상이 나누어 진행되어지기 때문에, 건

## Acknowledgements

This work was supported by BK21 Plus project of the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government.

## References

- Sun Mi Park, Yun Ja Nam, Jin Woo Park, A Study for Quality Improvement of Three-dimensional Body Measurement Data, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 28(4), 117-124, 2009.
- Sun Mi Park, Yun Ja Nam, A Verification of Accuracy of 3D Body Scan Data – Focused on the Cyberware WB4 Whole Body Scanner -, *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, 14(1), 81-96, 2012.
- Min Chul Hwang et al., A Study to Determine Allowable Measurement Error during Anthropometric Measurement, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 21(4), 107-115, 2002.
- Yun Ja Nam, Kueng Mi Choi, Eui Seung Jung, Myung Hwan Yun, Standardization of 3D Body Measurement for the Size Korea, *Journal of Fashion Information & Technology*, 1, 6-19, 2004.
- ISO/FDIS 20685, 3D Scanning Methodologies for Internationally Compatible Anthropometric Databases, 2003
- Research Institute of Human Engineering for Quality Life, *Japanese body size data book 2004-2006*, 2008.
- Size Korea Home Page, <http://sizekorea.kats.go.kr>

**Position title:** Professor, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Areas of interest:** Human factor, HCI, Affective Engineering, User-Centered Product Design

## Author listings

**Jinhee Park:** s38978207@snu.ac.kr

**Highest degree:** M.A., Department of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University

**Position title:** Researcher, Clothing Ergonomics Lab, Department of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University

**Areas of interest:** Measurement of elderly, Flattening of Human body, Functional Clothing design, 3D Human body scanning

**Sung Hee Ahn:** kfcice@snu.ac.kr

**Highest degree:** M.A., Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Position title:** Researcher, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Areas of interest:** Anthropometry, Biomechanics, HCI

**Yun Ja Nam:** yunja.snu@hanmail.net

**Highest degree:** PhD, Department of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University

**Position title:** Professor, Department of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University

**Areas of interest:** Measurement of Human, 3D Human body scanning, Composition of clothing

**Myung Hwan Yun:** mhy@snu.ac.kr

**Highest degree:** Ph.D., Industrial and Manufacturing Engineering, Penn State University