Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 17, No. 2 pp. 227-232, 2016

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.2.227
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

한국 청소년의 대표 인체치수 및 3D 인체형상자료에 관한 연구

최승일[1*]
[1]공주대학교 산업시스템공학과

Studies on Representative Body Sizes and 3D Body Scan Data of Korean Adolescents

Seung-il Choi[1*]
[1]**Department of Industrial & Systems Engineering, Kongju National University**

요 약 3D 인체형상자료는 인체 적합성이 우수한 제품과 생활공간을 만들기 위해 다양한 분야에서 활용되고 있다. 본 연구는 한국인 인체치수조사 보급사업에서 2013년에 수집한 청소년층 3차원 측정 자료를 기반으로 한국 청소년의 대표 인체치수를 산출하고 대표 인체치수와 가까운 3D 인체형상자료를 선별하는 방법을 제공한다. 먼저 여러 측정항목으로 이루어진 다차원 벡터공간을 요인분석을 통해 둘레성분과 길이성분의 2차원 벡터공간으로 투영하였다. 다음으로 2차원 성분공간에서 마할라노비스 거리를 이용하여 대표 인체치수와 이에 가까운 3D 인체형상자료를 선별하였다. 2차원 성분공간에 나타난 청소년기의 성장패턴을 고려하여 남자는 4개의 연령그룹으로 여자는 3개의 연령그룹으로 구분하였다. 성분점수 계수행렬의 열벡터에 대응하는 고유형상을 이용하여 남자는 13개 측정항목, 여자는 14개 측정항목에 대한 대표 인체치수를 연령그룹별로 계산하였다. 여기서 구한 대표 인체치수와 3D 인체형상자료는 3차원 대표 형상을 만드는 데에 매우 유용하다.

Abstract 3D body scan data are used widely in various fields to make products and living spaces for superior human body fitness. Based on the 3D measurements of human bodies for teens in Size Korea 2013, this research provides a way of finding the representative body sizes and 3D body scan data. First, a multi-dimensional vector space consisting of many measurement items was projected onto a 2D vector space with circumference and length components via factor analysis. The representative body sizes and 3D scan data close to these values were obtained via the Mahalanobis distance in 2D space. Considering the adolescent growth pattern shown on this 2D space, males were divided into 4 age groups and females were divided into 3 age groups. Using the eigenbodies corresponding to the column vectors of the component score coefficient matrix, the representative body sizes of 13 measurement items (male) and 14 measurement items (female) for each age group were calculated. The representative body sizes and 3D scan data are very useful for modeling representative 3D human figures.

Keywords : Body Scan Data, Eigenbody, Factor Analysis, Human Modeling, Mahalanobis Distance

1. 서론

산업통상자원부 국가기술표준원에서는 한국인 인체표준 정보DB를 구축하고 제품개발과 생활공간 디자인을 위한 인체표준 정보를 제공하고 있다. 한국인 인체치수조사 보급사업(Size Korea)은 1979년 1차 측정부터 2010년 6차 측정까지 5~7년 주기로 한국인의 인체치수를 측정하여 185만종의 인체치수, 2만종의 동적치수 및 12만종의 3D 인체형상자료를 확보하였고, 이를 통해 인체표준정보를 구축하고 산업계에 보급하여 인체 적합성

본 논문은 산업통상자원부 국가기술표준원에서 시행한 “청소년 3D 표준인체 형상개발 사업”의 결과를 보완한 것임.
*Corresponding Author : Seung-il Choi(Kongju National University)
Tel: +82-41-521-9436 email: sichoi@kongju.ac.kr
Received January 8, 2016 Revised (1st February 1, 2016, 2nd February 3, 2016)
Accepted February 4, 2016 Published February 29, 2016

이 우수한 제품과 생활공간을 제공하고자 하는 사업이다[1].

5차 측정부터는 3D 인체형상자료도 함께 수집하고 있으며, 6차 측정에서는 3D 인체형상자료 수집이 단계별로 시행되었다. 2010년 1단계로 20~39세 성인남녀(19세 포함)를 대상으로, 2011년 2단계로 7~12세 초등학생 남녀를 대상으로, 2012년 3단계로 중장년(40~59)과 노년층(60~69세) 남녀를 대상으로, 2013년 4단계로 13~18세 청소년층 남녀를 대상으로 3D 인체형상자료를 수집하였다[2].

대표체형에 관한 선행연구들을 보면 다변량분석방법인 요인분석을 이용하여 주성분을 추출한 후, 차원이 감소된 성분공간에서 Boundary 또는 Grid 방식 등을 적용하여 영역을 나누고 해당 영역의 대표 인체치수는 신체 각 부위의 산술평균이나 회귀분석 등으로 산출하였다[3,4].

본 연구에서는 Size Korea의 '2013년 청소년층 3차원 인체형상측정 조사 사업'의 청소년층(13~18세) 남녀 총 1,464명에 대한 직접측정 및 3차원 측정 자료를 활용한다. 선행 연구와는 달리 주성분분석에서 구한 성분점수 계수행렬에 대응하는 고유형상의 선형결합을 이용하기 때문에 대표 인체치수를 비교적 쉽게 구할 수 있다. 또한 마할라노비스 거리를 이용하여 대표 인체치수와 가까운 3D 인체형상자료를 선별한다.

이렇게 구한 한국 청소년의 대표 인체치수와 3D 인체형상자료는 3차원 대표 형상을 만드는 데 활용되어, 신체사이즈를 고려한 개인 맞춤형 추천 모듈을 제공하거나 동적 모델을 만들어 동작을 분석하는데 사용될 수 있다[5-7].

2. 연구방법

2.1 분석자료

2013년 청소년층 3차원 인체형상측정 조사 사업에서 청소년층(13~18세) 남녀 총 1,464명을 대상으로 측정한 자료를 활용하여 분석한다. 연령별, 성별 측정인원은 Table. 1과 같다. 측정 대상자의 연령은 한국 산업 표준 KS A ISO 15535:2010을 따르는데 13세는 12.50~13.49에 해당한다.

Table 1. The number of people measured

Age \ Gender	Male	Female	Total
13	100	101	201
14	107	106	213
15	113	105	218
16	152	137	289
17	182	151	333
18	110	100	210
Total	764	700	1,464

2.2 분석방법

한국 청소년 남녀의 연령별 대표 인체치수를 추출하기 위해서는 요인분석을 통해 고유값이 1이상인 성분을 선별하는데, 본 연구에서는 주요성분이 둘레성분과 길이성분 2개로 나타난다. 한편 대표 인체치수와 가까운 3D 인체형상자료를 선별하기 위해서는 마할라노비스 거리(Mahalanobis Distance; MD)를 이용하는데, 이는 유클리드 거리에 산포를 반영한 것으로 표본공간의 공분산행렬을 S라고 하면 두 열벡터 X, Y사이의 MD는 MD2=(X-Y)TS-1(X-Y)로 정의된다[8].

본 연구에서는 요인분석을 하면서 주성분분석을 적용한 후 Varimax방법에 의해 직교회전을 하는데 이 때 얻어진 성분행렬을 A라고 하고, 성분점수 계수행렬을 B라고 하면 $B=A(A^TA)^{-1}$의 관계가 있다. 성분점수 계수행렬의 열벡터들과 측정 대상의 표준점수(Z-score)로 이루어진 열벡터의 내적으로 성분점수를 구하면 2차원 공간에 측정 대상을 나타낼 수 있다. 성분점수들의 공분산행렬을 계산하면 단위행렬이 되어 마할라노비스 거리는 둘레성분과 길이성분의 2차원 성분공간에서 유클리드 거리가 되므로 대표 인체치수와 가까운 3D 인체형상자료를 선별하기가 용이하다.

대표 인체치수를 구하기 위해 성분점수 평균과의 MD가 50% 이내에 속한 측정 대상의 평균값을 산출하는데, 이를 통해 평균에서 많이 벗어나 있는 측정 대상으로 인해 발생하는 왜곡을 피할 수 있다. 2차원 성분공간에서는 좌표벡터를 인체치수로 변환하기 위해서 고유형상(eigenbody)의 개념을 이용한다[9]. 성분점수 계수행렬의 열벡터들은 대표 인체치수를 구하기 위한 기본 단위인 고유형상에 대응되는데, 2차원 성분공간에서의 좌표벡터 $V=(x,y)^T$에 대응되는 인체치수는 고유형상의 선형결합으로 나타나며 선형결합의 계수는 $(A^TA)V=(B^TB)^{-1}V$로 구할 수 있다.

3. 청소년 남자

3.1 요인분석에 의한 대표특성 추출

13~18세 남자에 대한 연령별 표준체형 추출을 위해 13개 직접측정 항목들(M1: 키, M2: 목뒤높이, M3: 샅높이, M4: 목밑둘레, M5: 가슴둘레, M6: 젖가슴둘레, M7: 허리둘레, M8: 배꼽수준허리둘레, M9: 엉덩이둘레, M10: 겨드랑둘레, M11: 어깨가쪽사이길이, M12: 팔길이, M13: 등길이)에 대해 주성분분석을 적용하여 성분을 추출하였다. 요인분석을 통해 Fig. 1의 스크리 도표를 구하고 고유값이 1이상이 되는 두 개의 대표성분을 추출하였는데, 2개 성분의 총 누적분산설명율은 80.79%로 나타났다.

Kaiser 정규화가 있는 Varimax 방법에 의해 회전된 성분행렬을 보면 청소년 남자의 경우 대표성분은 둘레성분(허리둘레, 배꼽수준허리둘레, 젖가슴둘레, 엉덩이둘레, 가슴둘레, 겨드랑둘레, 목밑둘레)과 길이성분(키, 목뒤높이, 샅높이, 팔길이, 등길이, 어깨가쪽사이길이)으로 구분된다.

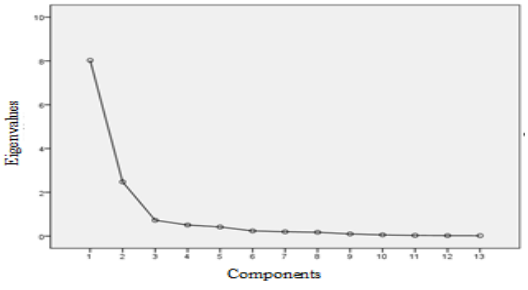

Fig. 1. A scree plot for adolescent males

3.2 연령별 산점도 분포

청소년 남자들의 직접측정 13개 항목의 표준점수(Z-score)로 이루어진 열벡터와 성분점수 계수행렬 열벡터들의 내적으로 성분점수를 구하면 Fig. 2와 같이 Length와 Circumference로 구성된 2차원 성분공간에 측정 대상을 나타낼 수 있다.

청소년 남자의 경우 만 16세 이후에는 성장이 정체되는 것을 Fig. 2에서 확인할 수 있는데, 이에 따라 대표 인체치수 산출을 위한 연령그룹을 13세, 14세, 15세, 16~18세의 4개 연령그룹으로 구분한다.

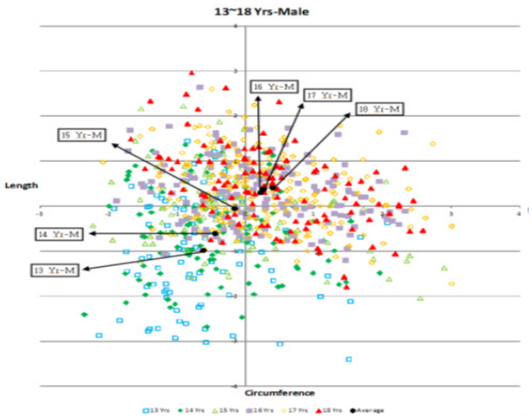

Fig. 2. A 2-D scatter plot for adolescent males

3.3 연령그룹별 대표 인체치수 산출

연령그룹별 대표 인체치수를 구하기 위해 성분점수 계수행렬에 대응하는 2개의 고유형상을 이용하는데, 고유형상의 인체치수는 Table. 2와 같다.

Table 2. Sizes of eigenbodies for adolescent males (unit: mm)

Spec.	Eigenbody 1	Eigenbody 2
M1	1700.9	1722.4
M2	1439.1	1458.8
M3	779.6	795.1
M4	405.5	403.7
M5	891.9	876.5
M6	851.1	832.8
M7	740.0	717.5
M8	768.2	742.2
M9	916.7	902.6
M10	406.5	399.3
M11	434.6	436.1
M12	570.8	578.0
M13	385.7	388.6

연령그룹별로 산점도를 그려 평균에서 MD가 50%이내에 있는 측정 대상의 평균값의 좌표를 구한 후 이에 대응하는 대표 인체치수를 고유형상의 선형결합으로 구하면 Table. 3을 얻게 된다.

Table 3. Representative body sizes of age groups for adolescent males (unit: mm)

Spec.	13 Yr	14 Yr	15 Yr	16~18 Yr
M1	1623.7	1656.8	1695.2	1732.5
M2	1364.3	1395.9	1432.9	1468.9
M3	747.4	763.9	781.4	797.4
M4	379.1	386.7	397.6	409.8
M5	805.9	826.9	860.2	899.3
M6	767.9	786.9	818.2	855.8
M7	666.5	680.6	706.8	739.7
M8	684.5	700.5	730.2	767.6
M9	838.0	857.3	887.7	923.5
M10	365.6	375.6	391.5	410.1
M11	408.6	417.5	429.0	441.2
M12	539.9	552.6	567.6	582.5
M13	355.8	366.4	380.0	394.1

각 연령그룹을 대표할 수 있는 3D 인체형상자료는 연령그룹별 산점도를 2차원 성분공간에 그린 후, 대표 인체치수에 해당하는 좌표에서 MD가 가까운 순서로 측정대상을 찾는다. 그리고 이에 대응하는 3D 인체형상자료를 활용하는데, 스캔자료의 자세, 대칭성 등을 종합적으로 검토하여 선별한다.

4. 청소년 여자

4.1 요인분석에 의한 대표특성 추출

13~18세 여자에 대한 연령별 표준체형 추출을 위해 14개 직접측정 항목들(W1: 키, W2: 목뒤높이, W3: 샅높이, W4: 목밑둘레, W5: 가슴둘레, W6: 젖가슴둘레, W7: 젖가슴아래둘레, W8: 허리둘레, W9: 배꼽수준허리둘레, W10: 엉덩이둘레, W11: 겨드랑둘레, W12: 어깨가쪽사이길이, W13: 팔길이, W14: 등길이)에 대해 주성분분석을 적용하여 성분을 추출하였다. 요인분석을 통해 Fig. 3의 스크리 도표를 구하고 고유값이 1이상이 되는 두 개의 대표성분을 추출하였는데, 2개 성분의 총 누적 분산설명율은 72.28%로 나타났다.

Kaiser 정규화가 있는 Varimax 방법에 의해 회전된 성분행렬을 보면 청소년 여자의 경우 대표성분은 둘레성분(허리둘레, 젖가슴둘레, 젖가슴아래둘레, 배꼽수준허리둘레, 가슴둘레, 겨드랑둘레, 엉덩이둘레, 목밑둘레)과 길이성분(목뒤높이, 키, 샅높이, 팔길이, 등길이, 어깨가쪽사이길이)으로 구분된다.

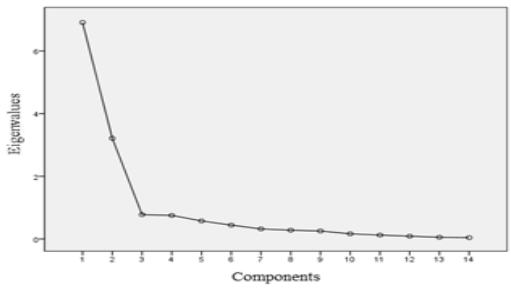

Fig. 3. A scree plot for adolescent females

4.2 연령별 산점도 분포

청소년 여자들의 직접측정 14개 항목의 표준점수(Z-score)로 이루어진 열벡터와 성분점수 계수행렬 열벡터들의 내적으로 성분점수를 구하면 Fig. 4와 같이 Length와 Circumference로 구성된 2차원 성분공간에 측정 대상을 나타낼 수 있다.

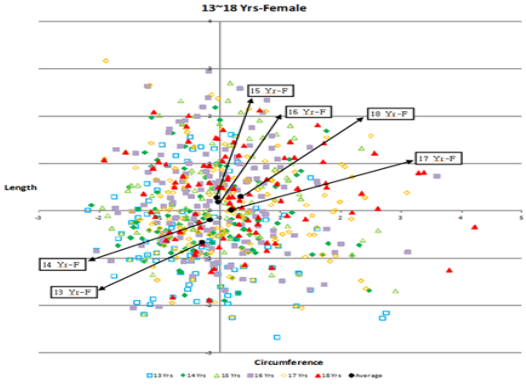

Fig. 4. A 2-D scatter plot for adolescent females

청소년 여자의 경우 남자보다 1년이 빠른 만 15세 이후에 성장이 정체되는 것을 Fig. 4에서 확인할 수 있는데, 이에 따라 대표 인체치수 산출을 위한 연령그룹을 13세, 14세, 15~18세의 3개 연령그룹으로 구분한다.

4.3 연령별 대표 인체치수 산출

연령그룹별 대표 인체치수를 구하기 위해 성분점수 계수행렬에 대응하는 2개의 고유형상을 이용하는데, 고유형상의 인체치수는 Table. 4와 같다.

Table 4. Sizes of eigenbodies for adolescent females (unit: mm)

Spec.	Eigenbody 1	Eigenbody 2
W1	1592.7	1606.9
W2	1343.2	1356.4
W3	723.1	735.6
W4	377.9	377.5
W5	828.0	819.1
W6	828.4	815.2
W7	721.9	712.6
W8	674.5	663.7
W9	745.5	733.1
W10	911.1	904.0
W11	363.1	359.6
W12	385.2	386.6
W13	542.4	548.0
W14	361.0	363.0

연령그룹별로 산점도를 그려 평균에서 MD가 50%이내에 있는 측정 대상의 평균값의 좌표를 구한 후 이에 대응하는 대표 인체치수를 고유형상의 선형결합으로 구하면 Table. 5를 얻게 된다.

Table 5. Representative body sizes of age groups for adolescent females (unit: mm)

Spec.	13 Yr	14 Yr	15~18 Yr
W1	1554.8	1582.4	1601.5
W2	1306.6	1333.0	1351.4
W3	702.0	719.5	731.0
W4	365.8	372.3	377.5
W5	796.5	809.5	821.9
W6	792.3	805.8	819.5
W7	691.6	703.8	715.6
W8	641.3	654.4	667.2
W9	704.9	721.3	737.1
W10	876.4	892.0	906.2
W11	346.6	354.0	360.7
W12	372.6	380.2	386.0
W13	525.0	537.2	545.8
W14	348.8	356.5	362.2

청소년 남자와 마찬가지로 각 연령그룹을 대표할 수 있는 3D 인체형상자료는 연령그룹별 산점도를 2차원 성분공간에 그린 후, 대표 인체치수에 해당하는 좌표에서 MD가 가까운 순서로 측정 대상을 찾는다. 그리고 이에 대응하는 3D 인체형상자료를 활용하는데, 스캔자료의 자세, 대칭성 등을 종합적으로 검토하여 선별한다.

5. 결론

본 연구에서는 한국 청소년의 대표 인체치수를 산출하고 3D 인체형상자료를 선별하고자 하였다. 여기서 구한 대표 인체치수와 3D 인체형상자료는 3차원 대표 형상을 만들기 위해 시용된다. 3차원 대표 형상을 만드는 과정은 대표 인체치수를 MakeHuman과 같은 인체 모델링 소프트웨어에 입력하여 3D 형상을 만드는 접근방법과 대표 인체치수에 가까운 측정 대상의 3D 스캔자료를 가공하는 접근방법으로 구분할 수 있다[10].

청소년 남녀에 대해 요인분석을 각각 실시하여 둘레성분과 길이성분의 2개 대표성분을 추출하였다. 측정 대상들을 둘레성분과 길이성분의 2차원 성분공간에 나타내어, 대표 인체치수를 산출하고 이에 대응하는 3D 인체형상자료를 선별하였다. 청소년기의 성장패턴을 고려하여 남자는 13세, 14세, 15세, 16~18세의 4개 연령그룹으로, 여자는 13세, 14세, 15~18세의 3개 연령그룹으로 구분하였다. 남자는 13개 측정항목, 여자는 14개 측정항목에 대해 대표 인체치수를 연령그룹별로 고유형상을 이용하여 산출하였고, 2차원 성분공간에서 마할라노비스 거리를 이용하여 대표 인체치수와 가까운 측정 대상을 찾아 이에 대응하는 3D 인체형상자료를 선별하였다.

본 연구에서는 대표 인체치수를 구하기 위해 직접측정 자료에 고유형상의 개념을 적용하였는데, 3D 스캔자료에 바로 고유형상의 개념을 적용하여 3차원 대표 형상을 구하기 위해서는 인체의 주요 포인트를 3D 스캔자료에서 인식하는 방법 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

References

[1] Korean Agency for Technology and Standards, Size Korea [Internet]. Korea, Available From: http://sizekorea.kats.go.kr/01_sizekorea/outline.asp. (accessed December 15, 2015)

[2] Korean Agency for Technology and Standards, *Survey Report of 3D Measurements of Human Bodies for Teens in 2013*, Ministry of Trade, Industry and Energy, December, 2013.

[3] K. Jung, O. Kwon, H. You, “Development of the Boundary Zone Method for Generation of Representative Human Models", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 53, No. 19, pp. 1472-1476, 2009.
DOI: http://dx.doi.org/10.1177/154193120905301902

[4] K. Jung, O. Kwon, H. You, “Evaluation of the

Multivariate Accommodation Performance of the Grid Method", *Applied Erogonomics*, Vol. 42, No. 1, pp. 156-161, 2010.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2010.06.004

[5] Y, Park, S. Chin, "Extraction of Full Body Size Parameters for Personalized Recommendation Module", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 11, No. 12, pp. 5113-5119, 2010.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.12.5689

[6] J. Kang, "Human Body Vibration Analysis under Consideration of Seat Dynamic Characteristics", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 13, No. 12, pp. 5689-5695, 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.12.5689

[7] M. Han, E. Choi, S. Oh, "A Analysis of Proper Workbench for Body Type of Dental Technician", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 14, No. 1, pp. 328-335, 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.1.328

[8] R. D. Maesschalck, D. Jouan-Rimbaud, D. L. Massart, "The Mahalanobis Distance", *Chemo metrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 50, No. 1, pp. 1-18, 2000.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7439(99)00047-7

[9] M. Collins, J. Zhang, P. Miller, H. Wang, H. Zhou, "Eigenbody: Analysis of Body Shape for Gender from Noisy Images", *International Machine Vision and Image Processing Conference,* 2010.

[10] M. Bastioni, R. Simone, M. Shakti, "Ideas and Methods for Modeling 3D Human Figures: The Principle Algorithms used by Makehuman and their Implementation in a New Approach to Parametric Modeling", *Proceedings of the 1st Bangalore Annual Compute Conference,* ACM, 2008.
DOI: http://dx.doi.org/10.1145/1341771.1341782

최 승 일(Seung-il Choi) **[종신회원]**

- 1996년 2월 : 서울대학교 수학과 (학사)
- 2000년 12월 : University of Michigan, Mathematics (MS)
- 2001년 12월 : University of Michigan, Financial Engineering (MSE)
- 2002년 8월 : University of Michigan, Mathematics (PhD)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 산업시스템공학과 부교수

<관심분야>
경제성공학, 금융공학, 게임이론, 네트워크분석