

# Korean Hand Type and Representative Hand Mannequins

Soo-chan Jee, Yongmin Kim, Jiyoun Han, and Myunghwan Yun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742

## ABSTRACT

Some tools or interfaces designed not to fit the size of individuals make users experience discomfort and lower productivity. Previous studies on hands tend to focus only on measuring lengths and reporting the distribution of these measurements. In order to overcome this, we aim to distinguish major factors that determine hand shapes and categorize the hand shapes of Koreans. 321 people (167 males and 154 females). 21 hand dimensions including length, breadth, and circumference of the hand were measured. T-value and correlation coefficients were compared to identify the difference of measurement values and the relation between hand measurements and heights. Factor and clustering analysis was conducted to identify hand shape types of Korean. Descriptive statistics of Korean hand dimension were presented. 78.3% of the variance of hand shape was explained by 3 major factors (factor 1: hand breadth, factor 2: palm length, factor 3: finger length). We also distinguished 4 hand shape types and found that wide hand and short finger type (type 1) was the most common in males, but narrow hand and short finger type was the most common in females. Using factor analysis and boundary condition method, we also derived representative hand mannequins, which accommodate 95% of Korean hands. Korean males and females had wider hands and shorter fingers than the people of 8 other nations. We expect products and interfaces to be designed based on these understandings on the characteristics of Korean hands that the result of our study suggest.

Keywords: Trend analysis, Publication, Research papers, Journal of the Ergonomics Society of Korea

## 1. Introduction

사람들은 일상 생활에서 일을 하기 위해 여러 가지 hand tool 과 같은 장비를 사용하고, interface 를 조작하여 기계를 컨트롤한다. 사람들이 자주 사용하게 되는 장비나 인터페이스의 경우, 간혹 신체 사이즈에 맞지 않게 설계된 경우가 있는데, 이러한 경우 사용자들은 불편함을 느끼고, 결국 작업의 생산성도 떨어지게 된다. 또한 전세계적으로 무역이 활발해짐에 따라 이제 많은 기업들이 전세계 국가의 소비자들을 대상으로 제품을 제작하는 경우가 늘어나고 있다. 그런데 해당 국가의 소비자의 신체 치수 정보를 정확히 알 수 없다면 해당 국가 소비자들이 만족할 수 있는 제품을 만드는 데에 한계가 있을 것이다. 따라서 최근 제품생산이나 서비스분야에 있어 인체의 다양한 부위에 대한 정확한 사이즈를 측정하여 활용하는 anthropometry 를 제품 및 서비스 설계에 있어 중요한 과정으로 인식하고 있으며, 그 중요성이 점차 부각되고 있다.

특히 여러 신체 부위중 손은 인간이 가장 빈번하게 사용하는 부위 중 하나이다. 또한 손은 27개의 뼈와 15개의 관절로 구성되어 다른 신체 부위에 비해 많은 치수 정보들을 가지고 있어, 이러한 치수들을 활용하여, hand tool 같은 제품들을 설계할 필요가 있다. 손이 가지고 있는 이러한 중요성에 착안하여, 기존 연구에서는 세계의 다양한 인종의 손 치수에 대하여 연구들이 수행되었다. UK female (1980), Nigerian rural workers (2000), Indian agricultural workers (2001), Mexican (2005), Bangladesh (2006), Filipino (2007) 등이 수행되었다. Mandahawi는 Jordanian population에 대해서 손가락의 길이와 너비, 손의 길이, 너비, 두께를 측정하여 보고하였으며, 방글라데시, 나이지리아, 베트남인과 세부 치수를 비교하는 연구를 수행하였다. Cakit 등은 터키 치과 대학생을 대상으로 손가락, 손 바닥, 손목의 길이와 너비, 두께를 측정하여 이를 보고하였으며, 타 인종과의 비교를 통해 터키인들의 손 특징을 제시하였다. Garcia-caceres는 콜롬비아 노동자들의 hand tool 제작을 위해 손가락과 관절의 길이, 너비를 측정하고 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95 percentile 수치를 제시

한바 있다. 한국인 손에 대한 연구는 Kwon 등이 한국인 손의 형태 및 장갑 치수 설정에 대한 연구를 수행하였고, Ki는 한국인의 대표적 손 치수 특성과 scale에 대해서 보고한바 있다.

한국인 손과 관련된 기존 연구들은 주로 손의 여러 부위에 대한 길이를 재고, 치수 분포를 보고하는 데에만 치중한 경향이 있었다. 따라서 대부분의 기업에서는 손길이, 손 너비, 손 둘레 치수만을 장갑이나 인터페이스 설계의 중점 항목으로 선정하고 평균치 중심의 설계를 통해 제품을 제작하여 한국인 손 모양의 차이가 제품 설계에 반영되지 못한 경우가 많았다. 따라서 본 연구에서는 한국 남성과 여성의 손 치수를 좀 더 세분화하여, 너비, 둘레 차원의 변수들도 측정하고, 통계적 방법을 이용하여, 손의 모양을 결정하는 주요 인자들을 식별하고, 이 인자들의 조합을 이용하여 한국인의 손 모양을 유형별로 분류해 보고자 한다. 본 연구의 결과물이 손과 관련된 제품의 설계 및 개발에 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

## 2. Method

### 2.1 Subjects

본 연구의 인체측정 data는 국립 과학 기술표준원 주도로 수행된 한국인 손치수 측정 프로젝트의 결과물이 사용되었다. 피실험자들은 남성 167명, 여성 154명 이었으며, 자발적으로 측정에 참여하였으며, 참여자에게는 소정의 보상이 주어졌다. 321명의 피실험자들은 과거에 손과 척추에 관련된 병력이 없는 사람들이 없는 사람들이었다. 또한 모든 피실험자들은 모두 한국에서 태어나고 자란 동일 인종이었다. 피실험자들은 직업(사무직/생산직), 지역(도시/농촌), 나이에 따라 균등하게 구성되었다. 피실험자들의 인구통계적 특성은 다음 표1과 같다.

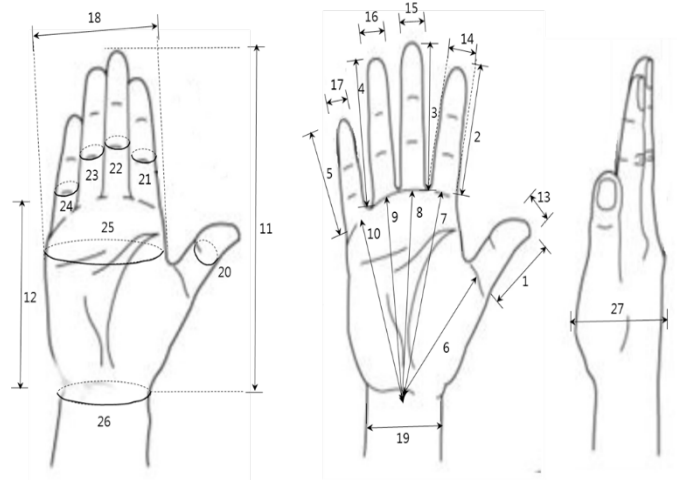
Table 1: Subject Characteristics

	Male			Female		
	Mean	SD	Range	Mean	SD	Range
Age	42.5	13.2	20 - 70	46.5	16.4	20-83
Stature (cm)	169.5	6.3	153-188	155.5	7.4	137-174

Weight (kg)	70.6	10.4	45-101	55.4	8.5	40-90
	1					

### 2.2 Measurement

본 연구에서는 기존 연구들에서 주로 측정되었던 21개의 hand dimension이 측정되었다. 측정된 부위들은 Appendix1 와 같다. 손과 손가락의 길이, 너비, 두께를 측정하기 위해서는 디지털 캘리퍼가 사용되었으며, 정확도는 0.01mm 였다. 손과 손가락 관절의 둘레를 측정하는 데는 인체 측정용 줄자가 사용되었다. 무게를 잴 때는 체중계를, 키를 잴 때는 신장계를 사용하였다. 측정요원들은 모두 과거 신체 측정 경험이 있었으며, 18시간 이상의 측정 교육을 이수했다.



### 2.3 Data analysis

모든 data는 MS EXCEL과 SPSS 21 statistical package를 사용하여 분석되었다. 각 hand dimension 수치의 Descriptive statistics (Mean, SD and various percentile)이 계산되어 제시되었다. 남녀간 손 치수별 차이를 비교하기 위해서는 T-test가 사용되었다. 또한 손 치수와 신장과의 관계를 알기 위해 pearson correlation coefficient가 비교 제시되었다. 한국인 남성, 여성의 손 모양 유형을 파악하기 위해 측정된 21개의 변수들을 대상으로 요인분석을 실시하였으며, varimax 회전을 적용하였다. 요인분석 결과 도출된 요인점수를 이용하여, 비슷한 특성을 지닌 자료들을 하나의 그룹으로 묶어주는 군집분석을 실시하여, 한국인 손의 유형을 4개로 구분하고, 각 유형의 신체적 특성을 식별하였다. 또한 요인분석 결과를 이용하여

한국인 95%를 수용할 수 있는 대표 손 모델 마네킨을 도출하고자 한다.

### 3. Results

#### 3.1 Descriptive statistics

한국인 남성과 여성의 손치수의 평균과 표준편차는 Appendix 2와 같다. 모든 손치수에 있어 남성은 여성보다 통계적으로 유의하게 컸다. ( $p < 0.001$ ) 21개의 측정 부위중 손길이가 가장 큰 수치였고, 소지의 관절 너비의 수치가 가장 적은 수치였다. 남녀간의 손 치수 차이를 비교하기 위해 T-test가 수행되었는데, metacarpal의 둘째에서 남녀간 차이가 가장 컸다. 약지의 PIP 관절 너비나 손목 둘째에서도 남녀간 차이가 컸다. 한국인의 손 모양 유형을 식별하는데 있어 키의 영향을 분석하기 위해 키와 손 치수간의 상관관계를 비교해보았다. 남성은 모든 손 부위 치수에서 키와 양의 상관 관계가 있었고, 여성은 일부 너비와 둘째 관련 치수를 제외한 11개 변수에서 양의 상관 관계를 보였다. 모든 손 부위의 키와의 상관 계수에 있어 남성의 수치가 여성의 수치보다 더 컸다.

한국인 손의 모양을 식별하기 위해서 측정된 21개의 변수에 대하여 요인분석을 실시하여, 3개의 요인을 식별하였다. 앞의 기술통계와 상관계수를 비교시에 남성의 모든 손 치수와 여성의 11개 손치수에서 키와 양의 상관관계가 있었다. 따라서 키가 큰 사람의 경우 거의 모든 손 부위에서도 큰 수치를 보일 수 있어, 손 모양 유형을 식별하는 데에는 한계가 있었다. 따라서, 요인분석시에 각 피실험자의 손 부위별 치수를 피실험자의 키로 나눈 수치를 이용하였다. 이를 통해 키의 영향을 배제하고, 대상 인원의 손 형상 및 특성을 비교할 수 있었다. 표 6에서도 알 수 있듯이, 손의 형상은 3개의 주요 요인 (factor 1 : hand breadth, factor 2 : palm length, factor 3 : finger length) 에의 해 전체 분산의 78.3%가 설명되었다.

The factor analysis result for the hand dimensions

Hand dimension	Factor and factor loadings			Communality
	1	2	3	
Circumference at PIP joint of digit 3	0.897	0.239	0.148	0.884
Circumference at PIP joint of digit 1	0.894	0.207	0.110	0.855
Circumference at PIP joint of digit 2	0.894	0.196	0.171	0.867
Breadth at PIP joint of digit 4	0.884	0.162	0.165	0.835
Circumference at PIP joint of digit 4	0.879	0.193	0.183	0.844
Breadth at PIP joint of digit 2	0.878	0.218	0.135	0.837
Breadth at PIP joint of digit 3	0.876	0.205	0.152	0.833
Circumference at PIP joint of digit 5	0.874	0.130	0.158	0.806
Circumference at metacarpal	0.852	0.168	0.240	0.811
Breadth at PIP joint of digit 1	0.850	0.248	0.044	0.786
Breadth at PIP joint of digit 5	0.848	0.184	0.216	0.800
Wrist breadth	0.781	0.174	0.190	0.676
Wrist circumference	0.724	0.126	-0.01	0.540
Hand depth	0.715	-0.09	0.084	0.526
Hand breadth at metacarpals	0.712	0.318	0.260	0.676
Center of wrist crease to root digit 3	0.230	0.926	0.175	0.941
Center of wrist crease to root digit 4	0.156	0.922	0.196	0.913
Center of wrist crease to root digit 5	0.132	0.895	0.170	0.847
Center of wrist crease to root digit 2	0.267	0.869	0.212	0.872
Palm length	0.260	0.767	0.244	0.716
Center of wrist crease to root digit 1	0.238	0.760	0.094	0.643
Hand length	0.248	0.636	0.628	0.716
Fingertip to root digit 2	0.140	0.219	0.891	0.861
Fingertip to root digit 4	0.184	0.231	0.885	0.870
Fingertip to root digit 3	0.188	0.227	0.867	0.839
Fingertip to root digit 5	0.081	0.163	0.798	0.670
Fingertip to root digit 1	0.335	0.080	0.682	0.583
% Total variance explained (cumulative)	42.81	19.80	15.68	78.39

Factor 1은 PIP joint의 너비, pip joint의 너비, metacarpal의 너비, 둘째, 손목너비, 손목둘레가 포함된 변수로 손 모양의 수평적 길이(너비)와 관련된 특성으로 볼 수 있다. 이 Factor는 “Hand breadth” factor로 명명되었다. Factor 2는 center of wrist에서 각 손가락 root에 이르는 길이다. Palm length, 손 길이 변수가 포함되었다. 이 factor는 손바닥의 길이와 관련된 수직적 길이와 관련된 특성으로 볼 수 있으며, “Palm length factor”로 명명되었다. Factor 3에는 각 손가락의 길이 변수들이 포함되었으며, 수직적 길이(세로)를 반영하는 특성으로 볼 수 있다. 이 factor는 “finger length”로

명명되었다. 요인분석을 통해 도출된 요인점수는 평균 0, 분산 1인 정규분포로 표준화 되었으며, 요인점수를 이용하여 유사한 손 치수특성을 지닌 사람들을 하나의 군집으로 묶어주는 군집분석을 실시하였다. 적절한 군집의 수를 계산하기 위해 제곱 유클리디안 거리를 이용한 워드의 방법을 적용하여, dendrogram을 도출하고, 4개의 군집을 선택하였다. 네개의 군집은 분산분석결과 통계적으로 서로 다른 것으로 확인되었다( $p < 0.05$ ).

Bitner와 Kim&Whang의 방법을 적용하여, 한국인 95%를 수용할 수 있는 대표 손 모델을 생성한 결과 1번 마네킨은 손 바닥, 길이, 손너비가 모두 큰 유형이고, 2번은 손가락이 3번은 손바닥이, 4번은 손바닥과 손길이가 작은 모형이었다. 6번 모델은 작은 손중에 두껍고 손바닥이 큰 손이었고, 7번은 손 너비와 손바닥은 작으나 손가락이 긴 모델, 8번은 손바닥, 손길이, 손너비가 모두 작은 모델이었으며, 9번은 평균 수치를 가진 모델이다. (Appendix 3,4 참조)

#### 4. Discussion

본 연구의 목적은 한국인 남성, 여성의 주요 손 치수를 측정하고, 이를 분석하여 hand tool과 interface 설계에 사용될 수 있는 hand dimension 수치들을 도출하고, 한국인 손의 특징을 분석하는 것이다. 앞서 측정된 한국인의 손 치수 data를 기존 연구들과 비교하여, 타 인종과 대비한 한국인의 손 특징을 식별 할 수 있었다. 한국 남성의 경우 Turkish 남성보다 손가락 길이와 손의 길이는 작으나 손가락 관절의 너비나 둘레, metacarpal과 손목의 너비는 turkish 남성보다 더 컸다. 손의 길이는 요르단인이 가장 컸고, 그다음 터키, Mexican, Korean 순이었다. Metacarpal breadth에 있어 한국, 요르단, 멕시코간 큰 차이는 없었으나, Turkish의 경우 hand breadth가 상대적으로 작았다. 한국 남성의 경우는 터키, 요르단, 멕시코에 비해 상대적으로 손이 더 두꺼웠다. 한국 여성의 경우에도 터키 여성과 비교시 손가락 길이, 손 길이는 짧았으나, 손가락 관절 너비와 둘레 metacarpal 너비, 손목 너비의 수치들은 더 컸다. 터키, 인도 한국인 여성간 비교에서 터키 여성의 경우가 손 길이가 가장 컸고, 인도 여성이 손가락 길이가 가장 컸다. 한국 여성은 손목 너비와 손 두께, metacarpal의 너비가 가장 컸다. 다른 인종과의 비교 결과를 볼 때, 한국 남성과 여성 모두 터키나 인도인, mexican에 비해 손의 길이는 짧으나 손의 너비가 넓은 특징을 확인 할 수 있었다.

앞서 한국인 남성과 여성이 손 형상의 특징을 여러 인종간 비교를 통해 확인해 볼 수 있었는데, 손의 가로적 특성을 나타내는 hand breadth at metacarpal(HB)과 손의 세로적 길이를 나타내는 중지손가락 길이(3D length)를 각각 hand length(HL)로 나눈 수치를 이용하여, 기존 연구에서 보고되었던 8개국과 남녀 11개의 연구결과에 본 연구결과를 추가하여, 비교해 보았다. 타 인종과의 비교결과 한국 남성과 여성은 다른 8개 국가 인종에 비하여 손 너비가 넓고, 손가락이 짧은 특징을 보였으며, 우측 아래에 위치하는 경향을 보였다. 따라서, 한국인을 대상으로 hand tool과 손 관련 제품이나 인터페이스를 제작 시에 타 인종 대비 finger length가 짧고, hand breadth가 넓은 특징을 고려하여, 제품을 설계할 필요가 있다.

앞서 제시된 바와 같이 손의 형상을 설명하는 주요 factor 3개의 요인점수를 이용하여, 군집분석을 실시하였으며, dendrogram을 토대로 4개의 손 모양 type을 식별하였다. 본 연구의 피실험자 집단중 해당 유형에 속하는 비율을 분석하였다. 남성의 경우 손이 넓고, 손가락이 짧은 유형(type 1)의 비율이 38.9%로 가장 높았다. 반면에 손바닥과 손가락 길이가 긴 유형의 손 형상을 가진 사람(type 3)의 비율은 15.6%로 가장 적었다. 반면, 여성의 경우에는 손이 좁고, 손가락이 짧은 유형의 사람(type 4)은 37.7%로 가장 높았고, 손 너비가 넓고, 손가락이 짧은 유형의 사람(type 1)은 15.6%로 가장 적었다. 남녀를 함께 분석 시에는 긴 손 바닥 길이와 손가락 길이를 가진 type3의 유형을 가진 사람의 비율이 30.9%로 가장 높았다. 따라서 같은 인종임에도 불구하고, 한국 남성과 여성의 손 모양 분포에는 통계적으로 유의한 차이가 존재하였으며( $p < 0.001$ ), 이러한 차이는 기존 연구에서 생물학적, 사회적 차이에 의한 결과로 파악하였다.

#### 5. Conclusion

본 연구에서는 한국인의 다양한 손 치수들을 측정하고, 각 부위별 치수 분포를 살펴보았다. 또한 한국인 손 형상을 결정하는 주요 인자들을 식별하고, 이를 이용하여 4개의 주요 손 유형을 도출하였다. 또한 타 인종과의 비교를 통하여, 한국인 손이 타 인종대비 너비가 넓고, 손가락이 짧은 특징을 식별하였다. 따라서 본 연구결과에 도출한 이러한 특징에 대한 이해를 바탕으로 한국인의 손 특성을 고려한 제품이나 인터페이스 설계가 이루어 지기를 기대한다.

## References

- F. Aghazadeh, A. Mital, Injuries due to handtools: Results of a questionnaire, *Applied Ergonomics*, 18 (1987) 273-278.
- R. Karunanithi, A. Tajuddin, K. Kathirvel, Study on anthropometric dimensions of agricultural workers, *Journal of the Institution of Engineers (India), Agricultural Engineering Division*, 82 (2001) 13-19.
- R.S. Goonetilleke, Designing to minimize discomfort, in: *Ergonomics in Design*, Citeseer, 1998.
- S. Rok Chang, S. Park, A. Freivalds, Ergonomic evaluation of the effects of handle types on garden tools, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24 (1999) 99-105.
- O.O. Okunribido, A survey of hand anthropometry of female rural farm workers in Ibadan, Western Nigeria, *Ergonomics*, 43 (2000) 282-292.
- G. Xiao, L. Lei, P.G. Dempsey, B. Lu, Y. Liang, Isometric muscle strength and anthropometric characteristics of a Chinese sample, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (2005) 674-679.
- R.S. Goonetilleke, E.C.F. Ho, R.H. So, Foot anthropometry in Hong Kong, in: *Proceedings of the ASEAN 97 Conference*, 1997, pp. 81-88.
- C.P. Witana, S. Xiong, J. Zhao, R.S. Goonetilleke, Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36 (2006) 789-807.
- B. Davies, A. Abada, K. Benson, A. Courtney, I. Minto, A comparison of hand anthropometry of females in three ethnic groups, *Ergonomics*, 23 (1980) 179-182.
- S. Imrhan, M. Contreras, Hand anthropometry in a sample of Mexicans in the US-Mexico border region, in: *Proceedings of the XIX annual Occupational ergonomics and safety conference*, Las Vegas, NV, 2005, pp. 589-593.
- S. Imrhan, M. Sarder, N. Mandahawi, Hand anthropometry in a sample of Bangladesh males, in: *Proceedings of the Eighth Annual Industrial Engineering Research Conference*, Clearwater, FL, 2006, pp. 15-18.
- J.L. Del Prado-Lu, Anthropometric measurement of Filipino manufacturing workers, *International journal of industrial ergonomics*, 37 (2007) 497-503.
- N. Mandahawi, S. Imrhan, S. Al-Shobaki, B. Sarder, Hand anthropometry survey for the Jordanian population, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (2008) 966-976.
- E. Cakit, B. Durgun, O. Cetik, O. Yoldas, A Survey of Hand Anthropometry and Biomechanical Measurements of Dentistry Students in Turkey, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 24 (2014) 739-753.
- R.G. García-Cáceres, S. Felknor, J.E. Córdoba, J.P. Caballero, L.H. Barrero, Hand anthropometry of the Colombian floriculture workers of the Bogota plateau, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42 (2012) 183-198.
- Kwon, ohchae, Jung.kihyo, Sun sunmi, Ryou. heecheon, Kim. heeun, Determination and Application of Key Dimensions for a Sizing System of Glove by Analyzing the Relationships Between Hand Anthropometri, *Journal of the ergonomics society of Korea*, 23 (2004) 25-38.
- K. Sang ho, K. Doyoung, Classification and Identification of Korean Hand Shapes based on Anthropometric Hand Data Analysis, *Journal of Korea safety management and science*, 14 (2012) 75-85.
- W. Park, S. Park, Body shape analyses of large persons in South Korea, *Ergonomics*, 56 (2013) 692-706.
- A. Nag, P.K. Nag, H. Desai, Hand anthropometry of Indian women, *The Indian journal of medical research*, 117 (2003) 260-269.
- C.W. Bardin, J.F. Catterall, Testosterone: a major determinant of extragenital sexual dimorphism, *Science*, 211 (1981) 1285-1294.



## Appendix 1

Hand Dimensions	Definition
1 Fingertip to root digit 1	The distance from proximal flexion crease of the finger to the tip of the thumb
2 Fingertip to root digit 2	The distance from proximal flexion crease of the finger to the tip of the index finger
3 Fingertip to root digit 3 (3DL)	The distance from proximal flexion crease of the finger to the tip of the middle finger
4 Fingertip to root digit 4	The distance from proximal flexion crease of the finger to the tip of the ring finger
5 Fingertip to root digit 5	The distance from proximal flexion crease of the finger to the tip of the little finger
6 Center of wrist crease to root digit 1	The distance from center of wrist crease to the proximal flexion crease of the thumb
7 Center of wrist crease to root digit 2	The distance from center of wrist crease to the proximal flexion crease of the index finger
8 Center of wrist crease to root digit 3	The distance from center of wrist crease to the proximal flexion crease of the middle finger
9 Center of wrist crease to root digit 4	The distance from center of wrist crease to the proximal flexion crease of the ring finger
10 Center of wrist crease to root digit 5	The distance from center of wrist crease to the proximal flexion crease of the little finger
11 Hand length (HL)	The distance from the middle of inter stylium to the tip of middle finger
12 Palm length	The distance from the middle of inter stylium to the proximal flexion crease of the middle finger
13 Breadth at PIP joint of digit 1	The distance from the most lateral point on thumb proximal joint to the most medial point
14 Breadth at PIP joint of digit 2	The distance from the most lateral point on index finger proximal joint to the most medial point
15 Breadth at PIP joint of digit 3	The distance from the most lateral point on middle finger proximal joint to the most medial point
16 Breadth at PIP joint of digit 4	The distance from the most lateral point on ring finger proximal joint to the most medial point
17 Breadth at PIP joint of digit 5	The distance from the most lateral point on little finger proximal joint to the most medial point
18 Hand breadth at metacarpals (HB)	The distance from the most lateral point on the index finger metacarpal to the most medial point on the little finger metacarpal
19 Wrist breadth	The distance from the most lateral point on the wrist to the most medial point of wrist
20 Circumference at PIP joint of digit 1	The superficial distance around the edge of proximal joint in thumb
21 Circumference at PIP joint of digit 2	The superficial distance around the edge of proximal joint in index finger
22 Circumference at PIP joint of digit 3	The superficial distance around the edge of proximal joint in middle finger
23 Circumference at PIP joint of digit 4	The superficial distance around the edge of proximal joint in ring finger
24 Circumference at PIP joint of digit 5	The superficial distance around the edge of proximal joint in little finger
25 Circumference at metacarpal	The superficial distance around the edge of metacarpal
26 Wrist circumference	The superficial distance around the edge of the wrist
27 Hand depth	The distance from the lowest part of the thumb interphalangeal joint to the upper most part of the back of hand





## Appendix 2

Hand Dimensions	Male		Female		Correlation		T-value
	Mean	SD	Mean	SD	Male	Female	
Fingertip to root digit 1	61.2	3.9	56.1	3.5	0.390**	0.375**	12.30
Fingertip to root digit 2	70.5	4.3	66.3	4.3	0.507**	0.424**	8.76
Fingertip to root digit 3	78.6	4.7	73.5	4.3	0.549**	0.436**	10.15
Fingertip to root digit 4	74.3†	4.7	69.2	4.3	0.487**	0.440**	10.03
Fingertip to root digit 5	59.0†	4.4	54.5	4.6	0.394**	0.407**	8.84
Center of wrist crease to root digit 1	79.6†	4.7	73.1	4.5	0.350**	0.314**	12.48
Center of wrist crease to root digit 2	113.1†	5.7	104.8	5.2	0.478**	0.430**	13.60
Center of wrist crease to root digit 3	112.6	5.9	104.7	5.2	0.488**	0.424**	12.71
Center of wrist crease to root digit 4	107.8	5.9	100.1	5.5	0.458**	0.394**	12.09
Center of wrist crease to root digit 5	99.4	5.9	91.9†	5.2	0.456**	0.371**	12.20
Hand length	183.3	9.0	170.7	7.7	0.628**	0.534**	13.35
Palm length	105.1	5.0	97.4	4.6	0.592**	0.505**	14.33
Breadth at PIP joint of digit 1	22.5	1.6	19.7	1.5	0.091	-0.168	15.81

† Indicates hand dimension do not show normality, from the Kolmogorov-Smirnov test (using  $\alpha = 0.05$  level of significance)

\* Indicates statistically significant using  $\alpha = 0.05$  level of significance

\*\* Indicates statistically significant using  $\alpha = 0.01$  level of significance

PIP-PIP: Proximal interphalangeal

Breadth at PIP joint of digit 2	20.6†	1.2	18.3†	1.2	0.222**	-0.104	16.91
Breadth at PIP joint of digit 3	20.8	1.2	18.5	1.2	0.167*	0.153	16.47
Breadth at PIP joint of digit 4	19.6	1.1	17.3	1.2	0.187*	-0.063	17.48
Breadth at PIP joint of digit 5	17.5	1.1	15.3	1.2	0.106	-0.080	16.54
Hand breadth at metacarpals	86.0	4.2	78.0	4.0	0.385**	0.099	17.34
Wrist breadth	61.4†	3.0	55.4	3.5	0.360**	0.090	16.43
Circumference at PIP joint of digit 1	68.6	4.3	61.0	4.6	0.071	-0.165*	15.32
Circumference at PIP joint of digit 2	64.9	3.7	58.2	4.0	0.191*	-0.060	15.26
Circumference at PIP joint of digit 3	66.4†	4.0	59.6	4.2	0.162*	-0.085	14.94
Circumference at PIP joint of digit 4	62.1†	3.9	55.6	4.0	0.095	-0.065	14.66
Circumference at PIP joint of digit 5	54.5	3.5	48.8	3.8	0.089	-0.026	14.19
Circumference at metacarpal	208.0	9.6	186.1	10.7	0.320**	0.096	19.34
Wrist circumference	175.8	10.9	156.2	8.9	0.213**	-0.037	17.47
Hand depth	49.1	4.0	42.2	3.7	0.161*	0.086	15.96

Appendix 3

The hypothetical hands described in percentile format

Hand dimension	The hypothetical hands (%)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Breadth at PIP joint of digit 1	99.7	98.7	94.0	83.6	16.4	6.0	1.3	0.3	50
Breadth at PIP joint of digit 2	99.9	97.9	96.5	79.3	20.7	3.5	2.1	0.1	50
Breadth at PIP joint of digit 3	99.9	97.6	96.9	81.0	19.0	3.1	2.4	0.1	50
Breadth at PIP joint of digit 4	99.9	97.2	97.3	78.1	21.9	2.7	2.8	0.1	50
Breadth at PIP joint of digit 5	99.8	96.9	97.7	82.2	17.8	2.3	3.1	0.2	50
Hand breadth at metacarpals	99.9	94.5	92.9	44.1	55.9	7.1	5.5	0.1	50
Wrist breadth	99.9	94.5	96.5	65.3	34.7	3.5	5.5	0.1	50
Wrist circumference	99.6	96.6	92.3	72.6	27.4	7.7	3.4	0.4	50
Circumference at metacarpal	99.9	94.5	97.5	62.6	37.4	2.5	5.5	0.1	50
Circumference at PIP joint of digit 1	99.8	98.3	96.8	87.3	12.7	3.2	1.7	0.2	50
Circumference at PIP joint of digit 2	99.9	97.3	97.9	83.3	16.7	2.1	2.7	0.1	50
Circumference at PIP joint of digit 3	99.9	98.2	97.1	84.2	15.8	2.9	1.8	0.1	50
Circumference at PIP joint of digit 4	99.8	97.2	97.7	84.2	15.8	2.3	2.8	0.2	50
Circumference at PIP joint of digit 5	99.8	96.1	98.0	81.3	18.7	2.0	3.9	0.2	50
Hand depth	99.5	91.3	97.7	77.3	22.7	2.3	8.7	0.5	50
Hand length	99.9	75.2	80.3	2.3	97.7	19.7	24.8	0.0	50
Palm length	99.9	93.2	55.5	5.2	94.8	44.5	6.8	0.1	50
Center of wrist crease to root digit 1	99.8	97.0	32.3	7.8	92.2	67.7	3.0	0.2	50
Center of wrist crease to root digit 2	99.9	96.5	40.7	4.7	95.3	59.3	3.5	0.1	50
Center of wrist crease to root digit 3	99.9	97.2	31.7	3.8	96.2	68.3	2.8	0.1	50
Center of wrist crease to root digit 4	99.9	96.0	27.8	2.6	97.4	72.2	4.0	0.1	50
Center of wrist crease to root digit 5	99.9	95.7	27.2	2.7	97.3	72.8	4.3	0.1	50
Fingertip to root digit 1	99.9	43.8	97.9	12.3	87.7	2.1	56.2	0.1	50
Fingertip to root digit 2	99.9	21.8	97.0	2.1	97.9	3.0	78.2	0.1	50
Fingertip to root digit 3	99.9	28.5	96.5	2.3	97.7	3.5	71.5	0.1	50
Fingertip to root digit 4	99.9	28.4	96.9	2.5	97.5	3.1	71.6	0.1	50
Fingertip to root digit 5	99.8	22.7	95.5	2.5	97.5	4.5	77.3	0.2	50

## Appendix 4

## The hands manikin families (in mm)

Hand dimension	Manikins								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Breadth at PIP joint of digit 1	26.9	25.8	24.4	23.2	19.1	17.9	16.5	15.4	21.1
Breadth at PIP joint of digit 2	24.4	22.8	22.5	20.8	18.2	16.5	16.2	14.6	19.5
Breadth at PIP joint of digit 3	24.6	23.0	22.8	21.1	18.2	16.6	16.4	14.7	19.7
Breadth at PIP joint of digit 4	23.5	21.6	21.7	19.8	17.2	15.3	15.3	13.4	18.5
Breadth at PIP joint of digit 5	21.1	19.4	19.6	17.9	15.0	13.3	13.5	11.8	16.4
Hand breadth at metacarpals	100.4	91.2	90.5	81.3	83.0	73.8	73.1	63.9	82.1
Wrist breadth	71.9	65.6	66.5	60.3	56.8	50.5	51.5	45.2	58.5
Wrist circumference	203.4	191.9	186.4	174.8	158.0	146.5	140.9	129.4	166.4
Circumference at metacarpal	245.8	221.4	226.7	202.3	192.7	168.3	173.6	149.2	197.5
Circumference at PIP joint of digit 1	81.4	77.3	75.8	71.6	58.3	54.2	52.6	48.5	65.0
Circumference at PIP joint of digit 2	76.9	71.5	72.0	66.6	56.8	51.4	51.8	46.4	61.7
Circumference at PIP joint of digit 3	79.0	74.3	73.2	68.5	57.8	53.0	52.0	47.2	63.1
Circumference at PIP joint of digit 4	73.8	68.7	69.2	64.1	53.9	48.8	49.3	44.2	59.0
Circumference at PIP joint of digit 5	65.2	59.9	61.2	55.9	47.6	42.3	43.6	38.3	51.8
Hand depth	59.3	52.9	56.2	49.7	41.9	35.4	38.7	32.2	45.8
Hand length	214.2	184.3	186.1	156.2	198.2	168.3	170.1	140.2	177.2
Palm length	121.4	110.5	102.2	91.4	111.4	100.5	92.2	81.4	101.4
Center of wrist crease to root digit 1	92.5	87.1	73.9	68.4	84.5	79.1	65.8	60.4	76.5
Center of wrist crease to root digit 2	131.5	121.6	107.5	97.6	120.7	110.8	96.7	86.8	109.2
Center of wrist crease to root digit 3	130.7	121.9	105.6	96.8	120.9	112.1	95.8	87.0	108.8
Center of wrist crease to root digit 4	125.5	116.2	100.1	90.8	117.5	108.2	92.0	82.7	104.1
Center of wrist crease to root digit 5	116.2	107.4	91.7	82.9	108.7	99.9	84.2	75.4	95.8
Fingertip to root digit 1	72.6	58.1	68.0	53.5	64.0	49.5	59.5	45.0	58.8
Fingertip to root digit 2	83.5	64.7	77.5	58.7	78.2	59.4	72.2	53.4	68.5
Fingertip to root digit 3	92.9	73.2	85.5	65.9	86.4	66.8	79.1	59.4	76.2
Fingertip to root digit 4	88.6	68.9	81.5	61.8	82.0	62.3	74.8	55.1	71.9
Fingertip to root digit 5	71.4	53.1	65.3	47.0	66.7	48.3	60.6	42.2	56.8