

장갑설계 적용을 위한 손동작에 따른 손체표의 길이변화율 측정 Measurement of length change in hand surface by hand motion for glove design application

선미선 *, 권오채 **, 이민정 **, 정기효 **, 연수민 ***,
유희천 **, 김희은 ***

* 한국국방연구원 자원관리연구센터, * * 포항공과대학교 기계산업공학부,
*** 경북대학교 의류학과

ABSTRACT

장갑의 동작 편리성 향상과 수행도 저하를 완화시키기 위해서는 손동작에 따른 손체표의 길이변화율을 적용한 설계가 필요하다. 본 연구에서는 손동작에 따른 손체표의 길이변화율을 측정하고 길이변화율에 유의한 영향을 미치는 요소들을 분석하여, 장갑의 패턴 설계 시 적용될 수 있는 손동작에 따른 최대 길이변화율을 파악하였다. 성별과 손길이를 고려하여 선정된 20, 30대의 120명의 피실험자를 대상으로, 주먹을 쥔 자세로부터 손을 편 자세로의 동작시 나타나는 손체표의 길이변화율이 손가락(엄지, 검지, 중지, 약지, 소지)과 손영역(손마디, 손등)에 따른 10개 부위에서 측정되었다. 그리고 측정된 길이변화율에 유의한 영향을 가지는 변수들을 파악하기 위하여 분산분석과 단순 주효과 분석이 수행되었다. 분석 결과 손체표의 길이변화율에 유의한 영향을 가지는 것으로 나타난 성별, 손가락, 손영역, 그리고 손가락과 손영역의 교호작용을 고려하여, 장갑 설계 시 적용될 수 있는 손동작에 따른 최대 길이변화율은 남자 127 %, 여자 125%로 파악되었다. 특히, 엄지를 제외한 손마디 영역의 손가락별 길이변화율은 각 손가락의 중수지골, 근위지, 원위지 관절이 가지는 동작범위 합과 동일한 크기 순서를 나타냈다.

Keyword: 장갑 설계, 손동작, 손 측정, 인체 측정, 손체표 길이변화

1. 서 론

산업현장이나 일상생활에서 착용되는 장갑은 여러 위험 요인들로부터 손을 보호하지만, 신축률이 낮은 재질(예: 피혁, 면, 마, 직물)로 제작될 경우 손의 수행도를 저하시킬 수 있다. 이러한 장갑은 열이나 추위, 진동, 화학물질, 방사성 물질, 생물학적 위험, 외상성 상해와 같은 여러 위험요인으로부터 손을 보호하는 반

면, 민첩성, 정교성, 최대 악력, 동작 범위 등과 같은 손의 수행도를 저하시킨다(Muralidhar et al., 1999).

장갑의 보호 기능을 유지하면서 손의 수행도 저하를 완화시키기 위해서는 장갑의 패턴 설계 시 손동작에 따른 손체표 길이변화율의 적용이 필요하다. 장갑의 패턴은 바닥면의 마찰계수, 두께, 치수 등과 함께 손의 수행도 저하와 관련된 장갑의 속성으로 알려져 있다(강

신영, 1995; Batra, 1994). 장갑과 같이 인체에 착용되는 의복은 동작편리성을 위해 체표의 길이변화를 수용하는 패턴 설계가 요구된다(조성희, 1993). 특히, 손은 다른 인체에 비해 관절운동의 자유도 및 각도가 커서, 관절운동에 따른 체표 길이변화가 상대적으로 크다고 알려져 있다(백상호, 조경애(1999)에서 인용). 따라서, 정적 자세에서 측정된 손측정자료만을 적용한 장갑설계는 손체표의 길이변화를 수용하지 못하므로, 동작 편리성 향상과 수행도 저하를 완화시키기 위해서는 손체표의 길이변화를 적용한 설계가 필요하다.

그러나, 손의 측정연구는 정적인 자세에서만 수행되었을 뿐, 손동작에 따른 손체표의 길이변화에 관한 연구는 미흡했다. Greiner(1991)는 미국인 총 2,307명(남자 1,003명, 여자 1,304명)을 대상으로 손길이, 손둘레를 비롯한 72개 손측정변수를 측정하였으며, 윤훈용(2003)은 한국인 총 578명(남자 318명, 여자 260명)을 대상으로 손길이, 손둘레를 비롯한 35개 손측정변수를 측정하였다. 인체의 동작에 따른 체표 길이변화에 관련된 연구로, 조경애(1999)는 소매 설계를 위해 팔 동작에 따른 길이변화를 측정하였고, 김혜경 등(2002)은 칼라 설계를 위해 목 동작에 따른 길이변화를 측정하였다. 그리고, 박영득과 함옥상(1982, 1983)과 조성희(1993)는 다리 동작에 따른 길이변화를 측정하였다. 그러나, 손동작에 따른 손체표의 길이변화에 관한 연구는 수행되지 않았다.

본 연구는 손동작에 따른 손체표의 길이변화율을 측정하고 길이변화율에 유의한 영향을 미치는 요인들을 분석하여, 장갑의 패턴 설계 시 적용될 수 있는 손체표의 최대 길이변화율을 파악하였다. 먼저, 성별과 손길이를 고려한 120명의 피실험자를 대상으로 손동작 시의 손체표 길이변화율을 측정하고, 길이변화율에 유의한 영향을 미치는 요인들을 파악하기 위해 분산분석과 단순 주효과(simple main effect) 분석을 수행하였다. 그리고, 길이변화율에 유의한 영향을 미치는 요인들을 고려하여 장갑의 패턴 설계에 적용될 수 있는 손체표의

최대 길이변화율을 파악하였다.

2. 측정 방법

2.1 피실험자

피실험자는 성별(남, 녀)과 손길이(소, 대)를 고려하여 선정된 20~39세 오른손잡이 성인 120명이다. 성별과 손길이가 길이변화율에 미치는 영향을 분석할 수 있도록, 성별과 손길이의 조합에 따라 각 30명의 피실험자가 선별되었다. 손길이는 국민표준체위 조사보고서(한국표준과학연구원, 1997)에서 제시하는 방법을 이용하여 측정되었으며, 국민표준체위 조사보고서에서 제시하는 20~39세 성인의 손길이 평균(남: 19.0cm, 여: 17.5cm)을 기준으로 분류(소, 대)되었다. 피실험자들의 손길이 평균(남: 18.9cm, 여: 17.5cm)은 국민표준체위 조사보고서에서 제시하는 20~39세 성인의 평균과 유사하였으나, 표준편차(남: 0.72cm, 여: 0.63cm)는 국민표준체위 조사보고서에서 제시하는 20~39세 성인의 표준편차(남: 0.86cm, 여: 0.83cm)보다 작았다(표 1 참조).

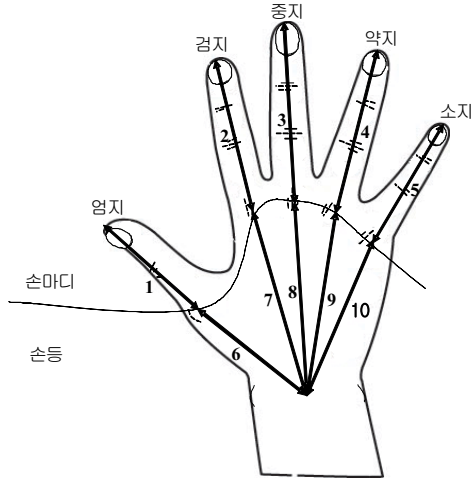
표 1. 피실험자의 나이 및 손길이 기초 통계치

구분	남자(여자)			
	평균	표준편차	최소값	최대값
나이 (year)	26.0(25.4)	2.83(4.31)	21.0(20.0)	37.0(37.0)
손길이 (cm)	18.9(17.5)	0.72(0.63)	17.1(15.9)	20.2(19.2)

2.2 측정부위

측정 부위는 그림 1과 같이 손등 쪽에서 길이변화가 발생하는 손영역 요인(손마디, 손등)과 손가락 요인(엄지, 검지, 중지, 약지, 소지)을 고려한 10개 부위로 선정되었다. 장갑은 손바닥 쪽보다 손등 쪽에서 손체표의 길이변화를 효과적으로 수용하지 못해 동작의 불편함을 야기하게 되므로, 손등 쪽에서의 측정이 수행되었다. 손등 쪽에서 길이변화가 발생하는 측정 부위는 손등의 중수지골 관절을 기준

으로 손마디 영역(손가락 끝들~손등 중수지골 관절들)과 손등 영역(손등 중수지골 관절들~전완의 안쪽과 바깥쪽 뼈의 중심)으로 구분되는 손영역과 엄지, 검지, 중지, 약지, 그리고



소지로 구분되는 손가락의 조합에 따른 총 10개 항목이다.

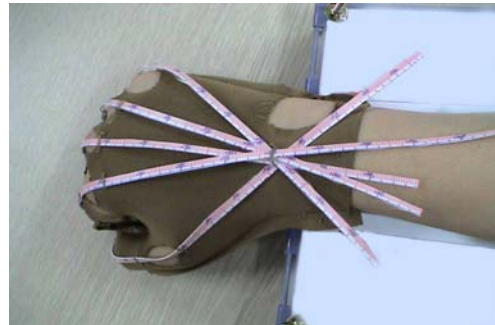
그림 1. 측정 부위

2.3 측정방법

사용하여 체표 길이가 신장되지 않은 자세(자연스럽게 손을 편 자세)와 체표 길이가 최대한 신장된 자세(주먹 쥔 자세)에서 각각 수행되었다. 측정에 사용된 장갑은 오차를 줄이기 위해 실고리로 장갑에 부착된 줄자가 각 손가락의 끝점에서 고정되어 측정 부위(손등 관절과 전완의 안쪽 뼈와 바깥쪽 뼈 중심)를 지나도록 하였으며, 사람의 손길이 차이 또는 동작에 의한 체표 길이변화에 따라 길이 방향으로 유연성 있게 실고리 구멍 사이를 지나갈 수 있도록 제작되었다(그림 2a 참조). 측정 자세 중 체표 길이가 신장되지 않은 자세로는 자연스럽게 손을 편 자세가 선정되었고, 체표 길이가 최대한 신장된 자세로는 네 손가락이 최대 굽힘 각을 가지는 주먹 쥔 자세(Green and Heckman, 1993)가 선정되었다(그림 2b 참조). 자세를 통제하기 위해 손목의 편향각도는 0°로 유지하고 손의 손등 쪽이 바닥 면과 수평을 이루도록 한 후, 이를 수평 표시기(level indicator)로써 확인하였다(그림 3 참조).



a. 손을 편 자세



b. 주먹 쥔 자세

그림 2. 측정 자세



a. 손을 편 자세



b. 주먹 쥔 자세

그림 3. 수평 표시기를 이용한 측정 자세 확인

3. 측정 결과 및 분석

손체표의 길이변화율은 식 1과 같이 체표 길이가 최대한 신장된 자세에서의 실측치를 체표 길이가 신장되지 않은 자세에서의 실측치로 나눈 값이다. 손체표의 길이변화율은 손영역과 손가락의 분류에 따른 10개 측정 부위에 대해 성별과 손길이이별로 각각 산출되었다.

$$\text{동적길이변화율(\%)} = \frac{\text{체표 길이가 최대한 신장된 자세에서의 실측치}}{\text{체표 길이가 신장되지 않은 자세에서의 실측치}} \times 100$$

식 (1)

길이변화율 산출 결과, 성별, 손길이, 손영역, 그리고 손가락에 따른 40개 길이변화율범위는 110 ~ 128 %였다(표 2 참조). 최소 길이변

화율을 나타낸 부분은 손이 긴 여자의 엄지 손마디 영역으로 110 %였으며, 최대 길이변화율을 나타낸 부분은 손이 긴 남자의 소지 손마디 영역으로 128 %였다.

길이변화율에 유의한 영향을 주는 변수를 알아보기 위한 분산분석 결과, 표 3과 같이 주효과의 경우 손가락과 손영역이, 교호작용의 경우 성별×손가락, 성별×손영역, 그리고 손가락×손영역이 유의한 것으로 분석되었다($p < 0.001$). 손가락과 손영역은 주효과뿐만 아니라 상호 교호작용과 성별과의 교호작용에서도 길이변화율에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그러나 손길이는 주효과와 관련 교호작용들에서 길이변화율에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

표 2. 손체표의 길이변화율의 평균(표준편차)

a. 손마디

성별	손길이	손가락				
		엄지	검지	중지	약지	소지
남자	대	113 (4)	119 (3)	120 (3)	122 (3)	128 (3)
	소	111 (4)	119 (3)	120 (3)	123 (3)	126 (3)
여자	대	110 (5)	118 (3)	120 (2)	121 (3)	125 (4)
	소	112 (5)	115 (4)	116 (3)	122 (3)	125 (3)

b. 손등

성별	손길이	손가락				
		엄지	검지	중지	약지	소지
남자	대	114 (6)	112 (4)	115 (5)	114 (4)	113 (4)
	소	114 (7)	114 (7)	114 (6)	114 (7)	114 (7)
여자	대	117 (5)	111 (4)	114 (4)	113 (4)	112 (6)
	소	119 (4)	113 (4)	115 (4)	114 (5)	115 (6)

표 3. 손체표의 길이변화율(%)의 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F value	Pr > F
성별	1	0.00275	0.00275	0.86	0.3551
손길이(성별)	2	0.00546	0.00273	0.86	0.4276
손가락	4	0.51155	0.12789	132.50	<.0001*
손영역	1	0.87542	0.87542	273.82	<.0001*
성별 × 손가락	4	0.02988	0.00747	7.74	<.0001*
성별 × 손영역	1	0.05300	0.05300	16.58	<.0001*
손길이(성별) × 손가락	8	0.02575	0.00322	3.33	0.0010
손길이(성별) × 손영역	2	0.02524	0.01262	3.95	0.0219
손가락 × 손영역	4	0.91804	0.22951	160.60	<.0001*
성별 × 손가락 × 손영역	4	0.01188	0.00297	2.08	0.0827
손길이(성별) × 손가락 × 손영역	8	0.02857	0.00357	2.50	0.0115
피실험자(성별, 손길이)	116	0.37011	0.00319		
손가락 × 피실험자(성별, 손길이)	464	0.44785	0.00097		
손영역 × 피실험자(성별, 손길이)	116	0.37086	0.00320		
손가락 × 손영역 × 피실험자(성별, 손길이)	464	0.66310	0.00143		
Corrected total	1199	4.33947			

* $p < 0.001$

길이변화율에 대한 성별의 유의성을 분석하기 위해 성별×손가락, 성별×손영역의 교호작용에서 성별에 대한 단순 주효과 분석을 실시한 결과, 손마디 영역에서만 유의한 차이를 보였다(= 0.001). 성별×손가락의 교호작용에서 성별에 대한 단순 주효과 분석결과는 모든 손가락에서 성별의 차이에 따른 길이변화율은 유의한 차이를 보이지 않았다. 성별×손영역의 교호작용에서 성별에 대한 단순 주효과 분석 결과, 손등 영역에서는 성별의 수준에 따른 길이변화율의 유의한 차이를 보이지 않았으나, 손마디 영역에서는 성별의 수준에 따른 길이변화율의 유의한 차이를 보였다(표 4 참조).

길이변화율에 대한 분산분석과 단순 주효과 분석에서 유의한 차이를 보인 변수들에 대해 Newman-Keuls 다중 비교 분석을 수행한 결과, 유의성 여부에 따라 손마디 영역에서는 다섯 개 집단, 손등 영역에서는 세 개 집단으로 구분되었다($\alpha = 0.001$). 성별에 따라 분석된 손마디 영역에서는 성별에 관계없이 소지, 약지, 중지, 검지, 엄지 순으로 길이변화율이 유의하게

켰으며, 성별에 구분 없이 분석된 손등 영역에서는 엄지, 중지, 약지, 소지, 검지 순으로 길이변화율이 컸고 유의성 여부에 따라 세 개의 집단(엄지, 중지/약지/소지, 검지)으로 구분되었다(표 5 참조).

길이변화율에 유의한 변수들(손가락, 손영역, 성별(손마디 영역))을 고려한, 장갑 설계 시 적용될 수 있는 손체표의 최대 길이변화율은 남자 127%, 여자 125%로 파악되었다. 장갑 설계 시 동작 편리성 향상과 수행도 저하를 완화시키기 위해서는 손체표의 길이변화율이 고려될 필요가 있는데, 본 연구에서는 길이변화율에 유의한 영향을 주는 변수들(손가락, 손영역, 성별(손마디 영역))에 대한 손체표의 길이변화율들이 표 6과 같이 남자 112 ~ 127 %, 여자 111 ~ 125 %로 분석되었다. 따라서, 동작의 편리성을 향상시키고 작업의 수행도 저하를 완화시키기 위한 장갑을 설계하기 위해서는 손체표의 최대 길이변화율인 남자 127 %, 여자 125% 이상의 신축률이 고려되어야 함이 파악되었다.

표 4. 성별의 주효과 분석결과

Source	DF	SS	MS	F value	Pr > F
엄지에서의 성별	1	0.01677	0.01677	7.54	0.0070
검지에서의 성별	1	0.00270	0.00270	2.46	0.1192
중지에서의 성별	1	0.00696	0.00696	6.13	0.0148
약지에서의 성별	1	0.00333	0.00333	3.00	0.0860
소지에서의 성별	1	0.00287	0.00287	1.93	0.1669
손마디 영역에서의 성별	1	0.03995	0.03995	15.75	0.0001*
손등 영역에서의 성별	1	0.01581	0.01581	4.1	0.0451

*: $p < 0.001$

표 5. Newman-Keuls 다중 비교 분석결과

손영역		손가락				
손마디	남자	소지(127)	약지(122)	중지(120)	검지(119)	엄지(112)
	여자	소지(125)	약지(121)	중지(118)	검지(117)	엄지(111)
손등		엄지(116)	중지(114)	약지(114)	소지(113)	검지(112)

표 6. 장갑 설계 시 적용될 수 있는 손체표의 최대 길이변화율(%)

손영역		손가락				
		엄지	검지	중지	약지	소지
손마디	남자	112	119	120	122	127
	여자	111	117	118	121	125
손등		116	112	113~114		

4. 토의

본 연구에서는 손동작에 따른 손체표의 길이 변화율을 측정하고, 장갑 설계 시 적용될 수 있는 손체표의 길이 변화율을 남자 127%, 여자 125%로 파악하였다. 성별에 따라 길이 변화율에 유의한 영향력을 가지는 손영역(손마디, 손등)과 손가락(엄지, 검지, 중지, 약지, 소지)에 의해 구분된 10개의 측정 부위 중 평균적으로 가장 많은 길이 변화율을 보인 곳은 성별에 관계없이 손마디 영역의 소지(남자 127%, 여자 125%)였으며, 가장 작은 길이 변화율을 보인 곳은 남자의 경우 손마디 영역의 엄지와 손등 영역의 검지(112%)였고, 여자의 경우 손마디 영역의 엄지(111%)였다.

엄지의 최대한 신장된 길이 측정은 다른 네 손가락과 다른 자세에서 측정될 필요가 있다. 본 연구에서 체표 길이가 최대한 신장된 자세로 사용된 주먹을 쥔 자세는 네 손가락을 최대한 굽힌 후 엄지의 IP(interphalangeal) 관절을 검지와 중지 사이에 위치시켰는데, 엄지는 다른 네 손가락과 굽힘 각의 기준축이 다르기 때문에 다른 네 손가락과 동시에 최대한 굽혀지는 것이 불가능하므로 다른 자세에서 측정될 필요가 있다. 또한, 엄지는 동작 범위의 개인차가 다른 네 손가락에 비해 큰 것으로 알려져(Green and Heckman, 1993) 정확한 대표값을 제시하기도 어렵다. 엄지의 길이 변화율을 분석한 결과, 손마디 영역에서의 길이 변화율이 다섯 손가락 중 가장 작은 것으로 나타났는데, 이는 엄지의 굽혀짐이 최대한 이루어지지 않았기 때문으로 추정된다.

엄지를 제외한 손마디 영역의 손가락별 길이 변화율은 손가락별 중수지골, 근위지, 원위지 관절의 동작범위 합과 동일한 크기 순서를 나타내었다. 손마디 영역에서 손가락별 길이 변화율은 소지, 약지, 중지, 검지의 순으로 유의하게 큰 것으로 나타났는데(=0.001), 이는 Green and Heckman(1993)이 제시한 손가락별 중수지골, 근위지, 원위지 관절의 동작범위 합과 동일한 크기 순서를 나타내었다(표 7 참

조). 또한, 이는 조경애(1999)가 밝힌 관절 각과 체표의 길이 변화율은 양의 선형 관계가 존재한다는 결과에 부합한다.

표 7. 각 손가락의 관절 동작 범위 (Green and Heckman, 1993)

관절	손가락			
	검지	중지	약지	소지
중수지골	86°	91°	99°	105°
근위지	102°	105°	108°	106°
원위지	72°	71°	63°	65°
총합	260°	267°	270°	276°

손체표의 길이 변화율은 장갑 설계 시 동작 편리성을 향상시키고 수행도 저하를 완화시키기 위해 손의 관절에 대응되는 장갑 부분(이하 장갑의 관절 부분)을 탄성섬유나 여유주름(dart)으로 신축 처리함으로써 설계에 적용될 수 있다. 탄성섬유로 신축 처리를 할 경우에는 동일한 탄성섬유를 장갑의 관절 부분에 공통적으로 부착하는 것이 효율적이며, 신축률은 손마디 영역의 소지가 가지는 길이 변화율(남자 127% 여자 125%) 이상일 때 손부위 전체에서 동작이 편안하게 이루어질 수 있을 것이다. 그러나, 여유주름으로 신축 처리를 할 경우에는 여유주름의 크기가 장갑의 관절 부분별로 따로 결정되는 것이 바람직하다. 또한, 설계 용이성 측면에서는 엄지를 제외한 네 손가락의 중수지골 관절 부분이 통합되어 처리되는 것이 효율적일 것이다. 예를 들어, 손마디 영역의 관절과 엄지에 필요한 여유주름 크기는 대응되는 손부위의 [길이길이 변화율]를 사용하며, 통합되어 처리되는 엄지를 제외한 네 손가락의 손등 영역에 필요한 여유주름 크기는 대응되는 손부위의 [길이길이 변화율] 중 최대값(114%)을 사용할 때, 손동작이 불편함 없이 수행될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 장갑 착용으로 인한 수행도 저하를 완화시키기 위해 손동작에 따른 손체표의

길이변화율을 측정하고, 길이변화율에 유의한 영향이 있는 요인들을 분석하여, 장갑의 패턴 설계 시 적용될 수 있는 손체표의 최대 길이변화율을 파악하였다. 먼저, 성별과 손길이를 고려하여 선정된 120명의 피실험자를 대상으로 손을 편 자세와 주먹을 쥐 자세에서의 손체표 길이변화(율)가 손가락과 손영역에 따른 총 10개 부위에서 측정되었으며, 길이변화율에 유의한 영향을 가지는 변수들을 파악하기 위하여 분산분석과 단순 주효과 분석이 수행되었다. 손체표의 길이변화율에 유의한 영향을 가지는 손가락, 손영역, 그리고 손마디 영역에서의 성별을 고려하여 장갑 설계 시 적용될 수 있는 손체표의 최대 길이변화율을 분석한 결과, 남자 127%, 여자 125%로 파악되었다. 특히, 본 연구에서 측정된 손마디 영역의 엄지를 제외한 손가락별 길이변화율은 손가락별 중수지골, 근위지, 원위지 관절의 동작범위 합과 동일한 크기 순서를 나타내었다.

Batra, S., Bronkema, L. A., Wang, M. J., and Bishu R. R. (1994). Glove attributes: can they predict performance? *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14, 201209.

Cho, K-A. (1999). Ergonomic studies of arm shapes and sleeves: arm length depending on arm movements. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 18(1), 91-108.

Cho, S-H. (1993). A study on correlation among length changes of body surface total lines and segment lines: changed amount caused by the lower limb movements. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 17(4), 622-637.

Green, W. B., and Heckman, J. D. (1993). *The Clinical Measurement of Joint Motion*(pp. 43-51). Illinois: American Academy of Orthopaedic Surgeons.

Greiner, T. M. (1991). *Hand Anthropometry of U.S. Army Personnel*. U.S. Army Natick

research, Development and engineering center, MA. (NTIS No. ADA244533).

Kang, S-Y. (1995). Improvement in quality of ski gloves by using design process (설계를 통한 스키 장갑의 품질향상). *Industrial Engineering Magazine*, 2(1), 26-29.

Kim, H-K., Park, S-J., Seo, C-Y., and Seok, E-Y. (2002). The effect of movement of the neck on the body surface variation. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 21(1), 33-49.

Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS) (1997). *National Anthropometric Survey of Korea 1997*, National Institute of Technology and Quality (NITAQ).

Muralidhar, A., Bishu, R. R., and Hallbeck, M. S. (1999). The development and evaluation of an ergonomic glove. *Applied Ergonomics*, 30, 555-563.

Park, Y-D., and Hahm, O-S. (1982). The study on the lower limb surface changes caused by the limb movements (part 1). *Journal of the Korean Home Economics Association*, 20(4), 1-12.

Park, Y-D., and Hahm, O-S. (1983). The study on the lower limb surface changes caused by the limb movements (part 2). *Journal of the Korean Home Economics Association*, 21(2), 19-28.

Yoon, H-Y. (2003). A study of measurement on the hand for Korean adults. *IE Interfaces*, 16(2), 140-148.