Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.21, No.4, pp.107-115, December 2002

인체치수 측정의 허용오차 설정을 위한 연구

A Study to Determine Allowable Measurement Error during Anthropometric Measurement

황민철*, 유재우**, 김정룡***

ABSTRACT

Anthropometric data are scarcely useful without the confirmation of allowable measurement error. Although the complex errors of measurement are expected, they has not been strictly managed due to non-existence of standard protocol that train measurer to perform within the error range allowable. This study showed the standard protocol of keeping allowable measurement level and managing accurate anthropometric measurement. Twelve university students participated as measurers and forty university students as subjects. The technical error made among measurers was determined and compared with error from actual pilot survey. The results suggests the way of avoiding the errors caused by measurement technique or protocol.

Keyword: anthropometric data, allowable measurement error, standard protocol

* 상명대학교 소프트웨어학부
** 강남대학교 지식정보공학부
*** 한양대학교 기계·정보경영공학부

1. 서 론

측정도구를 사용하여 인체를 직접 측정하는 경우, 측정 환경의 변화나 측정자의 숙련도 또는 피측정자의 자세의 변화등에 따라 측정 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차가 커지는 경우에는 측정 자료의 신뢰성에 치명적인 영향을 미쳐 자료의 활용을 어렵게 만들 수 있다. 따라서 인체치수자료의 신뢰도와 활용성을 보장하기 위해서는 측정자가 반드시 유지해야할 허용오차의 범위를 정의하고 이를 기준으로 측정자의 측정오차의 수준을 관리하는 것이 필요하다. 즉, 측정자들이 훈련기간 동안 자신의 측정오차의 원인을 충분히 이해하고 이를 교정하며 측정기간 동안 허용오차를 넘지 않도록 훈련하는 것이 필수적이다(산업자원부, 2002). 이러한 일련의 과정은 궁극적으로 측정자료의 신뢰도를 보장해주는 기술적인 방법이 될 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 직접측정의 신뢰성을 높이기 위하여 통계적인 실험방법을 통해 측정자 허용오차 기준을 설정하였다.

측정허용오차를 통계적으로 설정하였을 경우 다음과 같은 기술적인 장점이 있다.

첫째, 측정자의 측정 기술 정밀도 판단의 지표가 된다.

측정 훈련 시 측정자가 수행할 수 있는 측정 정밀도의 정량적 기준이 될 수 있다. 측정자 교육기간 중 실험에 의하여, 초기 허용오차가 설정이 되고, 이러한 오차가 교육 훈련을 통하여 어느 정도 개선되는 지를 관찰할 수 있다. 가장 적은 오차범위를 유지하는 피 교육자가 실제 스테이션에서의 측정자로 활동할 수 있는 우선순위를 갖게 된다.

둘째, 측정 장소의 변화에 따라 발생될 수 있는 측정오류 및 오차를 교정 할 수 있다.

측정은 지역을 이동하여 이루어지기 때문에 장소의 변화에 따른 환경적 심리적 변화가 측정시 오류나 오차를 발생시킬 수 있다. 그러므로 허용오차 설정은 이러한 지역간 측정값의 일관성을 유지하게 하는데 기여할 수 있다.

셋째, 시간적 변화에 따른 측정 오류 및 오차를 관리할 수 있다.

측정 시간에 따른 측정자의 심리적, 생리적 변화가 측정 오차를 발생시킬 수 있고, 이러한 차이는 자료의 신뢰도에 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 허용오차 설정은 이러한 시간대 에 따른 측정값의 일관성을 유지하게 하는데 기여할 수 있다.

넷째, 측정팀 간의 표준화된 측정방법을 유지 관리하는 척도가 될 수 있다.

남녀간 측정 팀이 구분되어 있고, 이 두 팀은 일관된 측정 정밀도를 유지하는 것이 필수적이다. 그러므로 측정 허용오차의 설정은 두 팀 간의 측정 정밀도를 관리하고 일관성을 유지하는데 필수적인 정량적 정보로 사용되어질 수 있다.

2. 측정자 오차의 유형별 원인

직접 측정 시에는 측정자에 의해 발생되는 오차를 최소화하는 것이 매우 중요하다. 이러한 오차는 측정자 내부 변이도 (intra-

measurer variabililty), 측정자간 변이도 (inter-measurer variability), 피측정자 내부 변이도 (intra-subject variability), 피측정자간 변이도 (inter-subject variability), 그리고 측정 환경 변화에 따른 변이도 에 의해 발생된다. 오차를 발생시키는 측정자의 측정 변이도는 다음과 같이 정의된다(산업자원부, 2002).

2.1. 측정자 내부 변이도 (Intra-measurer variabililty)

측정자 내부 변이도란 측정자가 동일한 피 측정자 측정 시, 시간이나 장소, 혹은 이에 의한 심리적, 생리적 변화에 의해 발생되는 측정 오차를 의미한다. 이러한 변이도는 정상적이고 건강한 측정자라 할지라도 발생될 수 있고, 측정방법의 차이에 의한 오차와는 구분된다.

2.2. 측정자간 변이도 (Inter-measurer variability)

측정자간 변이도란 동일한 피 측정자를 측정할 때, 측정자간의 측정 방법에 의해 발생되는 측정 오차를 의미한다. 이러한 변이도는 측정자가 내재적으로 가지고 있는 개인적인 심리적, 생리적 특성에도 기인된다.

2.3. 피측정자 내부 변이도 (Intra-subject variability)

피측정자 내부 변이도란 측정 시, 피 측정자의 자세변화나 일정하지 않은 호흡 등 심리적 생리적 영향에 의해 발생되는 측정 오차를 의미한다. 이러한 변이도는 정상적이고 건강한 피 측정자라 할지라도 발생될 수 있고, 측정방법의 차이에 의한 오차와는 구분된다.

2.4. 피측정자간 변이도 (Inter-subject variability)

피측정자간 변이도란 동일한 측정자가 측정 시, 피측정자의 신체적 조건이나 자세 습관에 따라 발생되는 측정 오차를 의미한다. 이러한 변이도는 피 측정자가 내재적으로 가지고 있는 개인적인 심리적, 생리적 특성에도 기인된다.

3. 연구방법

3.1 측정자 허용오차 설정

측정 허용오차(allowable measurement error)의 설정 방법은 측정자의 측정 정밀도 수준을 정의하기 위한 통계적인 방법이다. 이러한 정량적인 지표는 측정자의 측정수준을 유지하는 표준이 된다. 측정자의 측정값이 이 오차범위를 벗어나지 않도록 관리되어야하며, 허용오차 내의 수준으로 정밀도가 향상될 때까지 훈련이 반복되어야한다. 측정이 시작될 때나 측정 지 또는 측정환경이 바뀔 때, 그리고 그 외 필요하다고 느낄 때 측정자가 허용오차 범위내의 정밀도를 유지하는지를 감시하여야 한다. 측정자의 허용오차의 기준은 다음

과 같이 측정자간의 오차를 사용하여 결정한다(Cameron, 1984).

측정자 허용오차 설정은 측정 전에 이루어져야한다. 허용오차 설정은 다른 측정자가 같은 측정부위를 두 번 이상 측정하여, 각 부위별 측정치가 최소한 4개 이상 되어야 가능하다. 측정자 허용오차의 설정과정은 다음과 같다.

첫째, 측정자 그룹을 정의한다.

허용오차 선정을 위한 측정은 측정항목군별로 진행하였다. 허용오차를 결정하는 측정자 그룹은 남 3명 여 9명으로 구성하여 진행하였다. 남녀 측정자를 동시에 사용하였고 이는 측정자의 성별에 따른 오차를 관찰 할 수 있도록 도와준다.

둘째, 모든 측정자가 같은 부위를 두 번 측정한다.

측정오차가 심각할 것으로 예상되는 10여 개의 주요한 측정부위를 결정하여 이를 2회 측정한다(Gorden et al., 1988). 최종적인 항목의 결정은 모든 항목의 technical error를 관찰하여 error의 크기와 측정도구별로 선정하였고. 반복 측정 시 정밀도 유지가 가장 어렵다고 관찰된 (least repeatable) 부위를 중심으로 선정할 수 있다. 본 연구에서 예로서 선정된 부위는 앉은 목뒤높이, 넙다리둘레, 어께너비이다.

셋째, 두 번 측정된 측정값의 차이 (d1,2)를 신체부위별로 계산한다.

$d_{1,2}$ = 측정값1-측정값2(측정값 간의 차이)

본 연구에서 예시된 2회 반복 측정한 자료로부터 d1,2(앉은목뒤높이), d1,2(넙다리둘레), d1,2(어께너비) 값을 계산한다.

넷째, 각 측정자의 측정값의 차이를 표로 정리한다.

예로서 3명의 측정자가 같은 피측정자의 부위별 측정을 2회 반복 측정한 값차를 표로 정리하였다.

표 1은 피측정자 1에 대한 3명의 측정자의 측정값차이를 앉은목뒤높이, 넙다리둘레, 어깨너비순으로 정리하였고 (표 2)는 피측정자 2에 대한 자료를 (표 1)과 같이 정리하였다.

다섯째, 위에서 계산된 값을 근거로 측정허용오차를 계산한다.

(식 1)은 통계적으로 측정오차 (technical error)을 계산하기 위하여 설계되었고, 인체측정의 경우 이 값을 측정자의 허용오차한계를 결정하는 방법으로 사용할 수 있다 (Cameron, 1984). 그러므로 본 조사에서도 위의 계산 값을 측정허용오차로 사용하기로 한다. 그 수리적 정의는 다음과 같다.

측정오차 (technical error)

$$= \sqrt{\frac{\sum d_{1,2}^{\,2}}{2N}}$$ (Cameron, 1984) 식 1.

표 1. 피측정자 1에 대한 측정자의 반복측정값의 차이

측 정 항 목 : 앉은목뒤높이 **피 측 정 자 명** : 피측정자 1 **측 정 장 소** : 기술표준원 **측 정 일 시** : 2002. 8. 22					
측정자 순번	측정자 명	1회 측정값 (mm)	2회 측정값 (mm)	측정값의 차이 ($d_{1,2}$)	$d_{1,2}^2$
1	측정자 1	615	605	10	100
2	측정자 2	619	614	5	25
3	측정자 3	629	621	8	64
측 정 항 목 : 넙다리둘레 **피 측 정 자 명** : 피측정자 1 **측 정 장 소** : 기술표준원 **측 정 일 시** : 2002. 8. 22					
측정자 순번	측정자 명	1회 측정값 (mm)	2회 측정값 (mm)	측정값의 차이 ($d_{1,2}$)	$d_{1,2}^2$
1	측정자 1	549	556	-7	49
2	측정자 2	561	554	7	49
3	측정자 3	574	570	4	16
측 정 항 목 : 어께너비 **피 측 정 자 명** : 피측정자 1 **측 정 장 소** : 기술표준원 **측 정 일 시** : 2002. 8. 22					
측정자 순번	측정자 명	1회 측정값 (mm)	2회 측정값 (mm)	측정값의 차이 ($d_{1,2}$)	$d_{1,2}^2$
1	측정자 1	360	359	1	1
2	측정자 2	361	356	7	49
3	측정자 3	372	366	6	36

표 2. 피측정자 2에 대한 측정자의 반복측정값의 차이

측 정 항 목 : 앉은목뒤높이 **피 측 정 자 명** : 피측정자 2 **측 정 장 소** : 기술표준원 **측 정 일 시** : 2002. 8. 22					
측정자 순번	측정자 명	1회 측정값 (mm)	2회 측정값 (mm)	측정값의 차이 ($d_{1,2}$)	$d_{1,2}^2$
1	측정자 1	599	594	5	25
2	측정자 2	595	592	3	9
3	측정자 3	599	595	4	16
측 정 항 목 : 넙다리둘레 **피 측 정 자 명** : 피측정자 2 **측 정 장 소** : 기술표준원 **측 정 일 시** : 2002. 8. 22					
측정자 순번	측정자 명	1회 측정값 (mm)	2회 측정값 (mm)	측정값의 차이 ($d_{1,2}$)	$d_{1,2}^2$
1	측정자 1	555	558	-3	9
2	측정자 2	561	555	6	36
3	측정자 3	580	575	5	25
측 정 항 목 : 어께너비 **피 측 정 자 명** : 피측정자 2 **측 정 장 소** : 기술표준원 **측 정 일 시** : 2002. 8. 22					
측정자 순번	측정자 명	1회 측정값 (mm)	2회 측정값 (mm)	측정값의 차이 ($d_{1,2}$)	$d_{1,2}^2$
1	측정자 1	368	370	-2	4
2	측정자 2	369	364	5	25
3	측정자 3	372	368	4	16

표 3. 측정자 허용오차(단위: mm)

피측정자	측정부위	$\sum d_{1,2}^2$	$\sqrt{\frac{\sum d_{1,2}^2}{2N}}$
피측정자 1	앉은목뒤높이	189	5.61
	넙다리둘레	114	4.36
	어께너비	86	5.76
피측정자 2	앉은목뒤높이	50	2.89
	넙다리둘레	70	3.42
	어께너비	45	2.74

표 4. 최종 측정자 허용 오차

측정부위	$\sqrt{\frac{\sum d_{1,2}^2}{2N}}$
앉은목뒤높이	4.25
넙다리둘레	3.89
어께너비	4.25

표 5. 둘레 치수의 측정오차

유형	항목	$\lvert d1 - d2 \rvert$평균
둘레	가슴둘레	9.54
	엉덩이둘레	11.70
	넙다리둘레	4.94
길이	앉은목뒤높이	4.56
	키	3.92
	팔길이	3.02
너비	어께너비	4.67
	앉은엉덩이너비	7.46
	머리너비	1.74

표 6. 측정 허용오차와 측정 오차와의 비교(단위 mm)

측정부위	측정허용오차	측정오차
앉은목뒤높이	4.25	4.56
넙다리둘레	3.89	4.94
어께너비	4.25	4.67

4. 결 과

4.1 허용오차 실험 결과

3명의 측정자가 1명의 피실험자를 대상으로 3개의 부위에 대해 반복 측정을 실시하였다. 측정 부위는 앉은 목뒤 높이(수직자), 넙다리 둘레(줄자), 어깨너비(큰 수평자)를 선택하였다. (식 1)에 의해 산출된 측정자의 허용오차는 (표 3)과 같다.

(표 3)에서 산출된 측정자 허용오차는 평

균을 산출하여 최종 측정자 허용오차를 (표 4)와 같이 결정한다.

4.2 측정오차

측정허용오차와 구분된 측정오차를 산출하였다. 측정오차는 12명 측정자가 피측정자 40명의 125개 부위를 두 번 측정한 자료에 의하여 산출하였다. 이 측정오차는 한 피측정자가 여러 측정자에 의해 산출된 측정허용오차와 달리 여러 피측정자가 여러 측정자에 의해 산출된 오차이다. 측정항목의 둘레, 길이, 너비별로 분류하여 오차의 예를 (표 5)에 요약하였다.

선정된 각 유형에 해당된 항목은 다음과 같다.

둘레: 가슴둘레, 엉덩이 둘레, 넙다리 둘레

길이: 앉은 목뒤높이, 키, 팔길이

너비: 어깨너비, 앉은 엉덩이 너비, 머리너비

제시된 측정오차는 40명의 2번측정치의 차이절대값 $|d1-d2|$의 평균값이다.

5. 토의 및 결론

본 논문은 측정 허용 오차의 설정 및 그 수준에 대해 살펴보고 12명의 측정자와 40명의 피측정자의 신체 부위 측정할 때 복합적인 이유로 발생할 수 있는 측정오류를 산출하였다. 이 두 측정오류를 비교해 보면 다음 (표 6)과 같다.

(표 6)에서 제시된 바와 같이 측정오차가 측정허용오차보다 큰 것으로 나타났다. 그러므로 측정허용오차가 측정자의 측정수준을 좀 더 보수적으로 유지시켜 측정의 정확도를 유지 할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 위에서 언급된 방식으로 설정된 허용오차는 경우에 따라 현실적으로 적용하기가 어려운 상황이 발생할 수도 있다. 예를 들어, 대부분의 측정자의 측정치가 우연히도 차이를 보이지 않아 허용오차가 필요이상으로 정밀하게 설정되는 경우가 있을 수 있다. 이 경우, 설정된 허용오차를 근거로 측정자의 측정 정밀도를 검사할 경우, 많은 측정자가 미리 설정된 허용오차의 범위에서 벗어나는 경우가 발생하게 된다.

(표 7)은 이러한 경우가 발생된 사례를 보여주고 있다. 위의 사례는 44명의 피 측정자를 2번씩 측정한 결과이다. 이 경우 허용오차로 설정된 값 (Limit)이 지나치게 작게 설정되어 이를 벗어난 사례가 최대 43 %까지 도

표 7. 많은 측정자가 허용 오차 범위를 벗어난 사례 (Chumlea et al., 1984).

Dimension	Limit	No of Differences Outside Limits	% of Difference (n=44) Outside Limits
Abdominal Circ	1.0cm	19	43
Arm Circ	0.2cm	7	16
Biacromial Breadth	1.0cm	3	7
Calf Circ	0.2cm	6	14
Chest Circumference	1.0cm	10	23
Bicristal Breadth	1.0cm	6	14

달하는 상황을 보여주고 있다. 따라서 필요이상으로 지나치게 낮게 설정되는 허용오차는 이상적일 뿐, 현실성과는 거리가 있을 수 있다. 그러므로 허용오차의 한계가 너무 작게 설정되었다고 판단되어 질 때는 이 오차의 한계를 재설정할 필요가 있다.

(표 7)에서 제시한 Biacromial Breadth의 오차한계가 다른 부위의 오차한계에 비해 크게 설정되어 있다고 볼 수도 있다. 다른 한편으로는, 큰 치수를 가진 부위의 허용오차가 작은 치수를 가진 부위의 허용오차에 비해 상대적으로 작게 설정될 경우, 허용오차가 비현실적으로 설정되었다고 추측할 수 있다. 이러한 원리를 통하여, 현실적으로 적용이 가능한 측정허용오차를 설정하는 것이 매우 중요하다.

측정오차를 최소화하고 관리하기 위해서 사전에 측정 허용오차를 설정하는 것이 매우 중요하다. 그러나 이러한 허용오차는 현실성을 고려하여 측정 시 오차를 예방할 수 있도록 하여야한다. 허용오차 방법 선정 시 한 가지 방법을 임의로 인용하기보다는 측정의 목적에 따라 다양한 방법을 검토하여 결정하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

Carmeron, Noel. (1984). "The Measurement of Human Growth," Croom Helm: London, England.

Chumlea, W.C., A.F. Roche and E. Rogers. (1984). "Replicability for Anthropometry in the Elderly," Human Biology, 56: 329-337.

Gordon, C.C., Churchill, T., Bradtmiller, B., McConville, J., Tebbetts, I., Walker, R.A. (1988). "Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics," US Army Ntick Research, Development and Engineering Center Natick.

산업자원부. (2002). "인체형상 및 치수표준화 기반기술 구축 산업기술 가반조성에 관한보고서(1차년도 중간보고서: 총괄)."

저자 소개

◈ **황민철**

인천대학교 기계공학과 졸업
조지아공대(Georgia Institute of Tech) 의공학 석사
조지아공대(Georgia Institute of Tech) 의공학 박사
현 상명대학교 소프트웨어학부 조교수
관심분야: 생체역학, 인간공학, HCI, 감성공학

◈ **유재우**

한양대학교 공과대학 산업공학과 졸업
독일 아헨공대(RWTH Aachen) 노동과학 박사
현 강남대학교 지식정보공학부 부교수

관심분야: 생체역학, 인간공학

◈ 김정룡

한양대학교 기계공학과 졸업,
미국 오하이오 주립대(Ohio State Univ.) 인간공학 석사
미국 오하이오 주립대(Ohio State Univ.) 인간공학 박사
현 한양대학교 공학대학 기계정보경영공학부 부교수
미국 Anthrotech에서 인체계측전문 연구원
주요관심분야: 생체역학, 생체신호, 근골격계 진단 및 사용성을 고려한 인체공학적 제품 설계

논문접수일 (Date Received): 2002/7/20
논문게재승인일(Date Accepted): 2002/12/8