

Validity of Perceived Discomfort as Postural Load Scale based on Maximum Holding Time

Dohyung Kee¹, Seokhee Na², Min K. Chung³

¹Keimyung University, Department of Industrial and Management Engineering, Daegu, 42601

²Mobile Communications, Samsung Electronics, Suwon, 16677

³Division of Media, Culture, and Design Technology, Hanyang University, Ansan, 15588

자세 최대 지속 시간에 근거한 지각 불편도의 자세 부하 척도로서의 타당성

기도형¹, 나석희², 정민근³

¹계명대학교 경영공학과

²삼성전자 무선사업부

³한양대학교 ICT융합학부

Corresponding Author

Dohyung Kee

Keimyung University, Department of
Industrial and Management Engineering,
Daegu, 42601

Mobile : +82-10-5656-1260

Email : dhkee@kmu.ac.kr

Received : April 10, 2019

Revised : April 26, 2019

Accepted : May 19, 2019

Copyright©2019 by Ergonomics Society
of Korea. All right reserved.

© This is an open-access article distributed
under the terms of the Creative Commons
Attribution Non-Commercial License ([http://
creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/](http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)), which
permits unrestricted non-commercial use,
distribution, and reproduction in any medium,
provided the original work is properly cited.

Objective: This study aims to investigate validity of perceived discomfort as postural load scale based on maximum holding time (MHT), and to develop two regression models for MHT and perceived discomfort depending varying postures and external load.

Background: Although many postural load-relevant studies were based on perceived discomfort, research dealing with validity of perceived discomfort as postural stress is seldom found.

Method: An experiment for measuring MHT and perceived discomfort according to various postures and external load was performed, in which hand position, trunk rotation and external load were used as independent variables. The hand position was determined by two relative parameters: the percentage of shoulder height (hand height) and the percentage of arm reach (hand distance). Eight healthy male graduate students without histories of musculoskeletal disorders participated in the experiment, whose demographic data were as follows: Age - 24.6 ± 1.75 years; Stature - 177.2 ± 3.12 cm; Body weight - 70.3 ± 5.65 kg; Shoulder height - 144.3 ± 3.52 cm; and Arm reach - 73.5 ± 2.45 cm.

Results: ANOVA showed that all the simple factors of hand height, hand distance, trunk rotation and external load were statistically significant on MHT and discomfort at $\alpha = 0.01$. The effect of hand distance for MHT or that of external load for discomfort was much larger, compared to other independent variables. The MHT and discomfort was strongly inversely related, which suggested that discomfort can be used as postural load scale. Based on the experimental results, two regression models depending on postures and external load for MHT and discomfort were developed, which showed reasonably high R^2 values.

Conclusion: The study investigated the possibility of perceived discomfort as a measure of postural stress, and developed two regression models for MHT and discomfort.

Application: The results of this study provided a reasonable ground on many existing studies based on discomfort as well as future researches adopting discomfort as postural stress scale.

Keywords: Hand position, External load, Postural load, Perceived discomfort, Maximum holding time

1. Introduction

불편도는 정적 자세 평가를 위한 독립적 기준으로 고려될 수 있는 것으로 알려져 있다(Dul et al., 1994). 불편도가 근골격계질환 위험을 직접적으로 나타내지는 않지만, 불편도와 근골격계질환 둘 다 근골격계의 생체역학적 부하와 관련되어 있기 때문에 불편도를 최소화하면 근골격계질환 위험을 줄일 수 있다(Dul et al., 1994; Miedema et al., 1997; Milner, 1985; Nag, 1991; Putz-Anderson and Galinsky, 1993). 이러한 이유로 많은 연구들이 불편도 기반으로 자세 부하를 평가하여 왔다(Chung et al., 2003; Genaidy et al., 1995; Genaidy and Karwowski, 1993; Kee and Karwowski, 2001; Putz-Anderson and Galinsky, 1993). 그러나 불편도가 자세 부하 척도로서의 적절성을 직접적으로 다룬 연구는 많지 않다.

Manencia (1986)는 Borg scale로 측정된 불편도가 자세 최대 지속 시간(maximum holding time: MHT)의 크기에 관계없이 자세 지속 시간 증가와 함께 선형적으로 커짐을 보였다. 여기서, MHT는 정적 자세를 휴식 상태에서부터 연속적으로 유지할 수 있는 최대 지속 시간으로 정의된다(Miedema et al., 1997). Miedema et al. (1997)은 불편도가 자세 지속 시간에 따라 선형적으로 증가하는 속성을 보이기 때문에, MHT에 대한 자세 지속 시간 비율(%MHT)을 정적 자세의 지속 시간에 대한 권장치 설정을 위한 척도로 사용될 수 있다고 주장하였다. 이러한 개념을 기반으로 Borg CR10으로 측정된 불편도 점수 2(약한 불편, MHT의 20%에 해당)를 기준으로 MHT를 다룬 7개 기존 연구의 19개 자세를 3개 부류로 분류하였다. 안락한 자세 - MHT가 10분 이상이며 2분 이상 지속되어서는 안되는 자세; 보통 자세 - MHT가 5~10분이며 1분 이상 지속되어서는 안되는 자세; 불편한 자세 - MHT가 5분 이하이며 허용되어서는 안되는 자세(Boussenna et al., 1982; Corlett and Manenica, 1980; Hagberg, 1981; Manencia, 1986; Meijst et al., 1995; Miedema et al., 1997; Milner, 1985).

Manencia (1986)는 시상면(sagittal plane) 상의 단지 7개 자세에 대한 MHT 측정 결과를 바탕으로 위의 주장을 하였다. Miedema et al. (1997)은 시상면에서 일어나는 2차원적 자세만 다루었고 역학적으로 큰 자세 부하를 유발하는 외부 부하는 다루지 않았다. 기존 연구에서 MHT를 측정한 자세는 체계적 실험 계획에 따른 것이 아니어서 실제 현장에서 관찰되는 작업 영역 중 많은 부분을 포함하고 있지 못하고, MHT도 한 자세를 제외하고는 모두 20분 미만으로 짧아 부하가 큰 자세는 다루지 않은 문제가 있다. MHT 기반으로 불편도가 자세 부하 척도로 타당함을 보이기 위해서는 비시상면을 포함한 좀 더 다양한 자세와 외부 부하를 고려한 MHT 측정이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 손 위치, 몸통 회전 및 외부 부하에 따른 MHT 및 지각 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 이를 바탕으로 불편도의 자세 부하 척도로서의 타당성을 검토한다. 이와 더불어 자세 및 외부 부하에 따른 MHT와 불편도를 추정할 수 있는 회귀 모형을 제안한다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구의 손 위치, 몸통 회전 및 외부 부하에 따른 MHT와 불편도 측정에는 과거 근골격계질환 병력이 없는 8명의 건강한 남자 대학원생이 참여하였다. 실험 참여자의 평균 연령은 24.6세(표준편차: 1.75세), 평균 신장은 177.2cm(표준편차: 3.12cm), 평균 체중은 70.3kg(표준편차: 5.65kg), 평균 어깨 높이(shoulder height: SH)는 144.3cm(표준편차: 3.52cm), 평균 팔 파악 한계(arm reach: AR)는 73.5cm(표준편차: 2.45cm)였다. 모든 실험 참여자는 오른손잡이였다.

2.2 Experimental design

본 연구의 실험에서 독립변수는 손 위치, 몸통 회전과 외부 부하로, 종속변수는 MHT 및 주관적 지각 불편도로 하였다. 손 위치는 Miedema et al. (1997)의 정의를 따라 두 가지 변수, 즉 어깨 높이와 팔 파악 한계 백분율로 정하였다. 어깨 높이는 똑 바로 선 자세에서 바닥에서 어깨점(acromion)까지의 수직 거리로, 팔 파악 한계는 어깨를 90° 굴곡하고 팔을 곧게 편 상태에서 등을 벽에 기대고 똑 바로 선 자세에서 벽에서 손가락 손등점(knuckle)까지의 최대 수평 거리로 정의된다(Figure 1). 언급한 바와 같이 독립변수 손 위치는 어깨 높이에 대한 백분율로 표현되는 손 수직 높이(hand height)와 팔 파악 한계 백분율로 나타내지는 손 수평 거리(hand distance)로 정하여 진다. 독립변수의 수준은 손 수직 높이 4수준, 손 수평 거리 3수준, 몸통 회전은 2수준으로 하였고 그 내용은 Table 1에 나와 있다. AR 0% 자세는 자연스럽게 못하여 실제 작업 현장에서 거의 일어나지 않을 것으로 추정되어 제외하였다. Armstrong et al. (1989)에 의하면 자동차 조립 작업에서 사용되는 공구 혹은 도구의 무게가 3kg 이하로 알려져 있어, 외부 부하의 최대 무게를 3kg으로 설정하

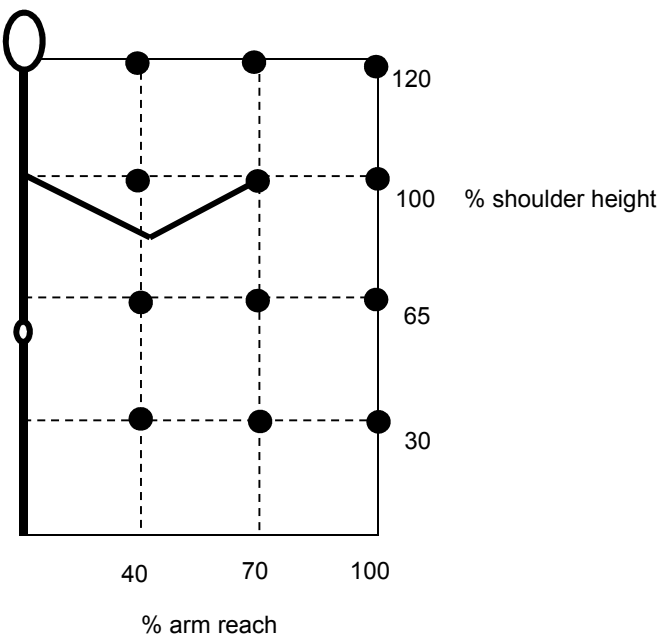


Figure 1. Experimental postures

Table 1. Experimental independent variables and levels

Hand position	Hand height	SH 40%
		SH 70%
		SH 100%
		SH 120%
	Hand distance	AR 40%
		AR 70%
AR 100%		
Trunk rotation	0, 30°	
External load	1.5, 3kg	

였다. 실험 크기를 줄이기 위하여 외부 부하가 없는 자세는 제외하였으며 외부 부하로 아령을 사용하였다. 실험은 완전요인계획법을 채택하여 24개 자세, 외부 부하 2수준의 조합 48개 처치(treatment)에 대한 실험을 수행하였다. 모든 실험 처치는 실험 참여자별로 무작위 순서로 제시되었다.

2.3 Experimental procedure

실험 수행 전에 모든 실험 참여자에게 실험 목적, 절차 및 실험 도중 발생할 수 있는 위험 요인에 대한 설명을 하고 동의를 구하였다. 실험 도중 실험 처치에 따른 자세를 지속할 수 없거나 상해 위험을 느낄 경우 언제든지 실험을 중단할 수 있도록 하였다.

실험 참여자는 어깨 외전/내전이 일어나지 않도록 오른손을 어깨 관절과 평행한 시상면 상에 위치시키고, 왼손은 몸통에 자연스럽게 붙인다. 이 상태에서 실험 참여자가 주어진 실험 처치에 따른 자세를 자연스럽게 취하면 실험자가 실험 참여자 오른손에 외부 부하를 쥐어준다. 실험 처치에 따른 자세가 유지되는 지를 확인하기 위하여 실험자가 철제 포인터를 외부 부하 측면 중심 가까이 위치시킨다. 실험 참여자는 가능하면 최대한 오래 동안 주어진 자세를 유지한다. 실험자가 60초를 알리면 실험 참여자는 자세를 60초 동안 유지할 때의 지각 불편도 크기를 Borg CR10으로 말하고, 실험자는 이를 기록한다. 실험 참여자가 자세 유지를 포기하거나 눈에 띄게 자세를 바꾸거나 몸을 떠는 증상이 나타나면 실험을 중단시키고, 현재까지 자세 유지 시간을 읽고 이를 MHT로 기록한다. 모든 실험 참여자에게는 실험 간 최소 3시간 이상의 휴식 시간을 부여하였고, 피로 효과를 최소화하기 위하여 하루에 2~3개 실험 처치에 대한 실험만 수행하였다. 각 실험 참여자는 20일 간 실험에 참여하였고 한 실험 참여자의 실험 수행에 약 20시간이 소요되었다.

2.4 Discomfort rating

60초 간 유지된 자세에 대한 불편도는 Borg CR10으로 측정하였다(Borg, 1998). 실험 참여자에게 Borg CR10을 실험 전에 충분히 숙지 시켰으며, 실험 도중 필요할 경우 수시로 참조할 수 있게 하였다. Borg CR10 척도는 Table 2에 나와 있다.

Table 2. Borg CR 10 scale and %MHT

Scale	Verbal anchor	Holding time (%MHT)*
0	Nothing at all	0%
0.5	Extremely light discomfort (just noticeable)	
1	Very light discomfort	10%
2	Light discomfort	20%
3	Moderate discomfort	30%
4		40%
5	Strong discomfort (heavy)	50%
6		60%
7	Very strong discomfort	70%
8		80%
9		90%
10	Extremely strong discomfort (almost max)	100%
Maximal	Absolute maximum (highest possible)	

*: Manencia (1986), Miedema et al. (1997)

3. Results

3.1 ANOVA

독립변수 손 수직 높이, 손 수평 거리, 몸통 회전과 외부 부하가 종속변수 MHT 및 지각 불편도에 미치는 영향의 정도를 분석하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table 3). 단순 요인, 즉 손 수직 높이, 손 수평 거리, 몸통 회전 및 외부 부하는 모두 MHT 및 지각 불편도에 유의수준 1%에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 세 독립변수 중 손 수평 거리가 MHT에, 외부 부하가 지각 불편도에 미치는 영향이 가장 컸다. 손 수평 거리와 다른 세 독립변수 및 손 수직 높이와 외부 부하 간 교호작용은 유의수준 1%에서, 손 수직 높이와 몸통 회전, 몸통 회전과 외부 부하 간 교호작용은 유의수준 5%에서 MHT에 유의하였다. 손 수평 거리와 손 수직 높이, 손 수평 거리와 외부 부하, 손 수직 높이와 외부 부하 간 교호작용은 유의수준 1%에서 지각 불편도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 손 수평 거리와 몸통 회전, 몸통 회전과 다른 세 단순 요인 간 교호작용은 지각 불편도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. Table 3에는 표기하지 않았으나 독립변수 간 3차 교호작용은 모두 유의하지 않았다.

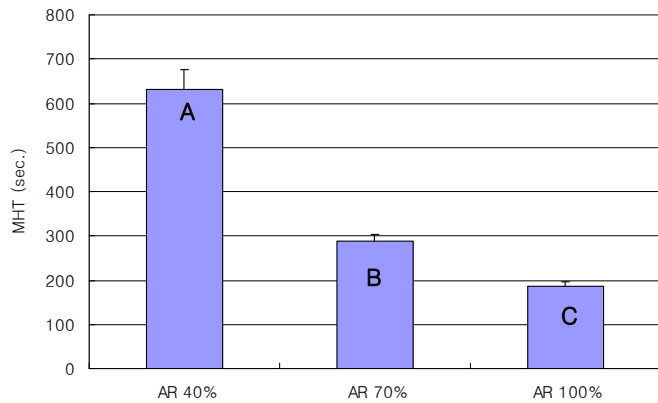
Table 3. ANOVA results

Source	MHT		Discomfort	
	Fvalue	Pr > F	Fvalue	Pr > F
Hand distance (D)	220.7	< 0.01*	114	< 0.01*
Hand height (H)	37.52	< 0.01*	55.13	< 0.01*
Trunk rotation (R)	27.66	< 0.01*	29.76	< 0.01*
External load (EL)	176.1	< 0.01*	136.99	< 0.01*
D × H	30.99	< 0.01*	7.77	< 0.01*
D × R	17.23	< 0.01*	3.03	0.08
D × EL	57.13	< 0.01*	19.96	< 0.01*
H × R	4.09	0.02**	2.63	0.08
H × EL	33.52	< 0.01*	14.96	< 0.01*
R × EL	5.79	0.05**	1.47	0.26

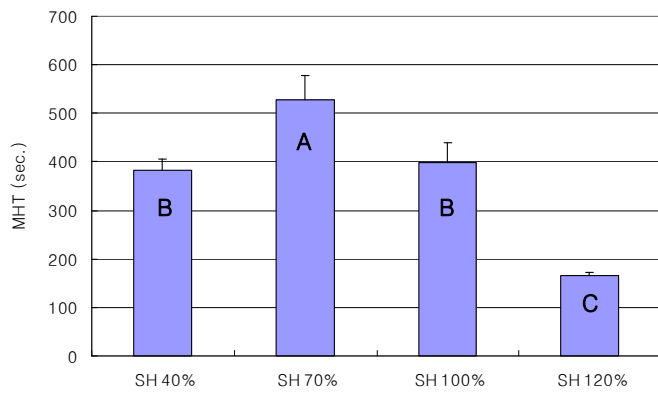
*: significant at $\alpha=0.01$; **: significant at $\alpha=0.05$

3.2 Post-hoc analysis for MHT

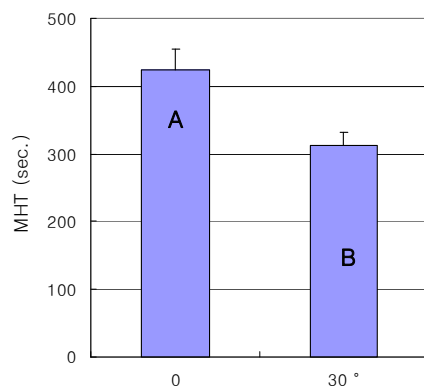
종속변수 MHT에 대한 독립변수의 영향 크기 및 경향은 Figure 2에 나와 있다. 손 수평 거리에 따라 MHT는 거의 선형적으로 감소하는 추세를 보였고, SNK 검정(Student-Newman-Keuls test)에서 독립변수 수준별로 세 그룹으로 나누어졌다(Figure 2(a)). 손 수직 높이에 대해서는 SH 70%일 때 MHT가 가장 길었고 이를 기준으로 손 높이가 낮거나 높아지면 MHT가 감소하였고, SNK 검정에서는 (SH 70%), (SH 40%, SH 100%), (SH 120%)와 같이 세 그룹으로 그룹핑되었다(Figure 2(b)). 몸통 회전 동작이 발생할수록 MHT가 감소하였고 SNK 검정에서 두 그룹으로 나누어졌다(Figure 2(c)). 몸통 회전과 같이 외부 부하가 증가하면 MHT가 감소하고 그 차이가 크게 나타났으며, SNK 검정에서 두 그룹으로 나누어졌다(Figure 2(d)).



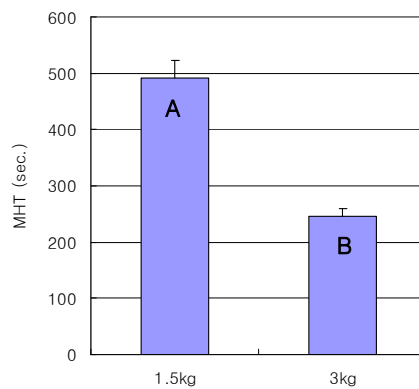
(a) Hand distance



(b) Hand height



(c) Trunk rotation



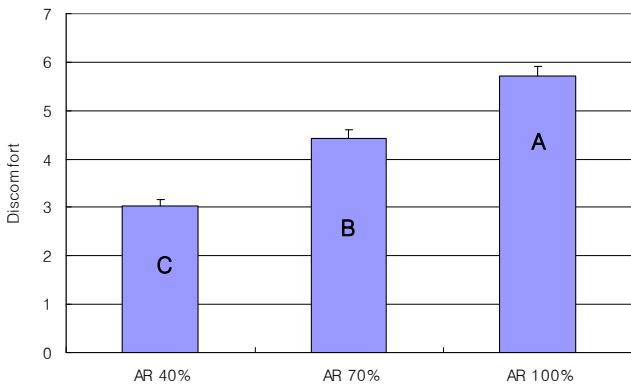
(d) External load

Figure 2. Effects of independent variables on MHT

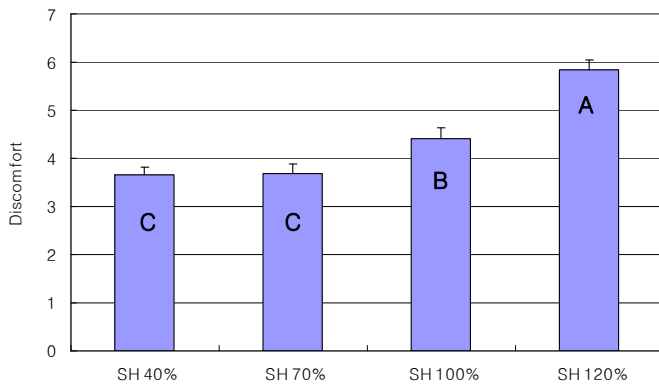
3.3 Post-hoc analysis for discomfort

지각 불편도에 대한 독립변수 영향의 경향은 MHT와 거의 정반대 경향을 보였다. 손 수평 거리가 증가함에 따라 불편도는 선형적으

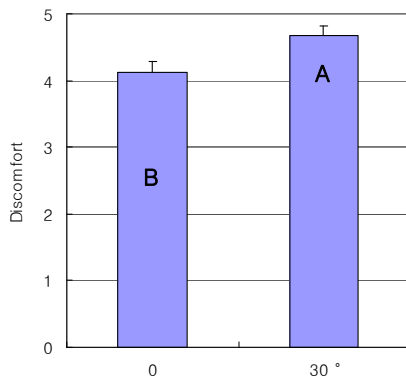
로 증가하였고, SNK 검정에서 독립변수 수준별로 세 그룹으로 나누어졌다(Figure 3(a)). 지각 불편도는 손 수직 높이가 증가함에 따라 조금씩 증가하는 추세를 보였고, SNK 검정에서(SH 40%, SH 70%), (SH 100%), (SH 120%)의 세 그룹으로 구분되었다(Figure 3(b)). 몸통 회전과 외부 부하는 변수 수준이 증가함에 따라 불편도가 증가하고, SNK 검정에서도 독립변수 수준별로 두 그룹으로 그룹핑되었다(Figure 3(c), (d)).



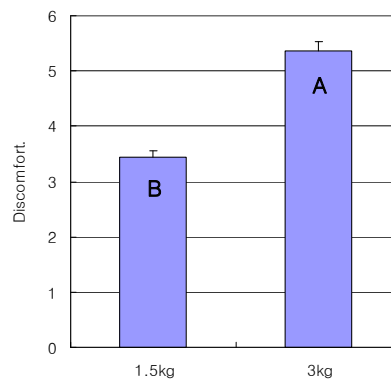
(a) Hand distance



(b) Hand height



(c) Trunk rotation



(d) External load

Figure 3. Effects of independent variables on discomfort

3.4 Relationship between MHT and discomfort

각 실험 처치에 대한 MHT와 불편도 평균과 표준편차를 불편도 크기 순으로 정리한 자료가 Figure 4에 제시되어 있다. 여기서, 지각 불편도는 실험 처치에 따른 자세를 60초 유지한 후에 Borg CR10으로 측정한 값이다. MHT 표준편차는 MHT 평균이 작아지면 크게 감소하였으나 불편도 표준편차는 불편도 크기와 관계없이 고르게 분포하였다. MHT와 불편도 간 관계는 Figure 5에 나와 있으며, MHT가 길어지면 지각 불편도가 감소하는 서로 반비례 관계를 보이고 있다. 실험에서 MHT는 75~1,751초, 불편도는 1.36~8.69 사이의 값을 보였다. 반비례 관계를 재확인하기 위하여 1/MHT와 불편도 간 관계를 분석하였으며, 강한 선형 관계를 보였다(Figure 6). Figure 6에 단순 회귀식이 병기되어 있으며 R^2 값이 0.96 이상을 보였다.

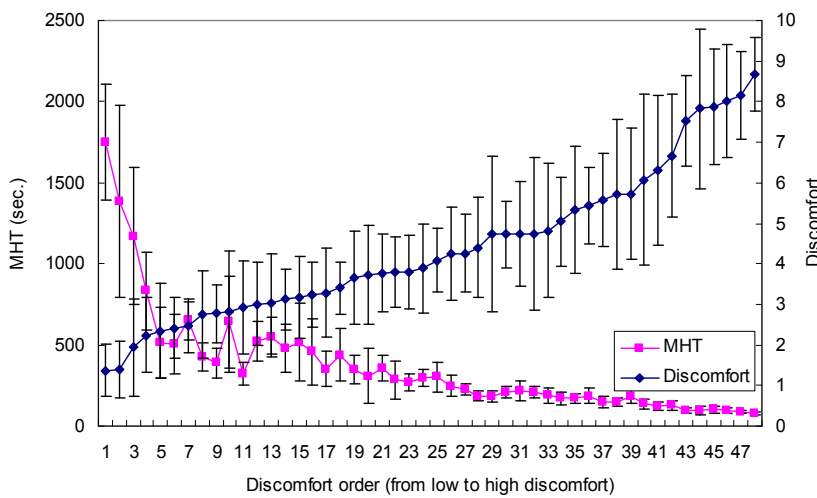


Figure 4. Mean and standard deviation of discomfort and MHT in the ranked order of the discomfort

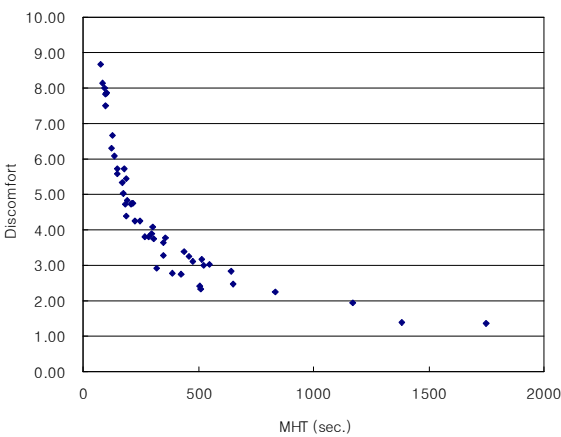


Figure 5. Relationship between MHT and discomfort

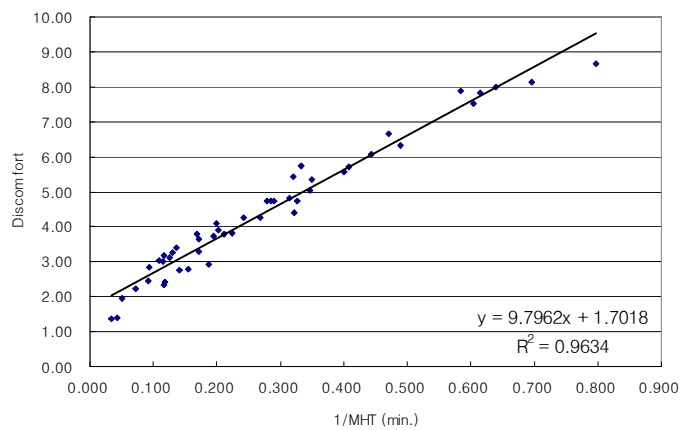


Figure 6. Relationship between 1/MHT and discomfort

3.5 Regression models for MHT and discomfort

실험에서 채택한 독립변수를 이용하여 MHT 및 불편도를 추정하는 모델을 개발하기 위하여 회귀분석을 실시하였다(Table 4). 회귀 모형

에는 분산분석에서 유의하게 나타난 독립변수, 즉 손 수직 높이, 손 수평 거리, 몸통 회전 및 외부 부하를 포함하였다. MHT 추정 모형에는 손 수직 높이에 따른 MHT가 포물선 모양을 보여 독립변수에 손 수직 높이의 제곱 변수를 추가하였다(Figure 3(b)). 몸통 회전을 제외한 독립변수의 계수가 유의수준 1%에서 유의하고, R^2 값이 MHT 모형에서는 0.63, 불편도 추정 모형에서는 0.83을 보였다. Durbin-Watson 자기상관계수가 불편도 모형에서는 1.74, MHT 모형에서는 1.73을 보였고, Shapiro-Wilk 정규성 검정에서 불편도 및 MHT 모형에서 검정 통계량이 -50 ($p < 0.6132$), -129 ($p < 0.1887$)로 나타나 두 모형의 잔차가 정규분포를 따름을 보였다. 모형에 채택된 독립변수 간의 상관관계도 모두 없는 것으로 분석되었다. 또한, MHT 추정 모형에서 손 수직 높이와 그 제곱 변수를 제외한 두 모형에서 모든 변수의 분산 팽창 요인(variance inflation factors)은 10 미만, 허용도(tolerance)는 0.1 보다 큰 것으로 나타나 채택된 독립변수 간 다중공선성이 없음을 보였다.

Table 4. Regression models for MHT and discomfort

Dependent variable	Model	R^2	Remark
MHT (m)	$11.99 - 0.124 \times \text{hand distance} + 0.354 \times \text{hand height} - 0.003 \times \text{hand height}^2 - 0.062 \times \text{trunk rotation} - 2.733 \times \text{external load}$	0.63	Coefficients of trunk rotation for MHT and discomfort are significant at $\alpha=0.05$ or 0.10, respectively, and those of remaining variables are at $\alpha=0.01$.
Discomfort	$-4.01 + 0.045 \times \text{hand distance} + 0.026 \times \text{hand height} + 0.018 \times \text{trunk rotation} + 1.280 \times \text{external load}$	0.83	

4. Discussion

본 연구에서 자세 및 외부 부하에 따라 측정된 MHT가 작아지면 표준편차가 크게 줄어들어 실험 참여자 간 MHT가 거의 일치함을 보였으며(Figure 4), 이는 MHT가 객관적 척도임을 보인 것이라 할 수 있다. 반면, 불편도는 크기에 관계없이 표준편차가 고르게 나타나 실험 참여자 간 차이를 보여 주관적 특성을 나타내었다. 이로부터 많은 연구에서 사용되어 온 불편도는 기대한 대로 주관적 척도이며, MHT는 생체역학적/생리학적 특성을 가진 객관적 척도라 할 수 있다.

본 연구의 결과는 불편도와 MHT가 강한 선형적 반비례 관계에 있음을 보여 주관적 척도인 불편도로 객관적 척도 MHT를 대신할 수 있음을 보였다(Figure 5, 6). 이는 불편도가 정적 자세 부하 평가를 위한 기준으로 사용될 수 있고, 근골격계의 생체역학적 부하와 관련되어 있다고 주장한 Dul et al. (1994)의 연구를 뒷받침하는 것이라 할 수 있다. 또, Boussenna et al. (1982)과 Mukhopadhyay et al. (2007)은 관절 혹은 관절 동작의 토크가 관련 관절의 불편도와 유의하게 관련되어 있다고 보고하였다. 이러한 본 연구와 기존 연구 결과를 볼 때 지각 불편도를 자세 부하를 측정하는 신뢰성 있는 척도로 사용할 수 있다고 할 수 있다. 따라서 추후 자세 부하를 다루는 연구에서 측정이 어려운 토크, MHT 등의 객관적 척도 대신 비교적 측정이 용이한 주관적 지각 불편도를 사용하여도 될 것으로 판단된다.

분산분석에서 손 수평 거리가 MHT에 가장 큰 영향을 미치고 다음으로 외부 부하, 손 수직 높이, 몸통 회전 순으로 그 영향이 크게 나타났다. MHT는 수평 거리가 증가함에 거의 선형적 감소 추세를 보였다(Figure 2(a)). 이는 MHT는 수평 거리가 증가할 때 MHT가 감소한다는 Miedema et al. (1997)의 연구와 일치한다.

본 연구에서 Borg CR10으로 측정된 불편도를 추정하는 회귀 모형을 제시하였다. Borg CR10 척도는 대표적 불편도 점수에 대한 verbal anchor가 제시되어 있어(예: 2 - weak (light) discomfort, Table 2 참조), 임의의 자세에 대한 불편 정도를 단순 점수가 아닌 쉬운 언어적 표현으로 해석할 수 있게 한다. 즉, 주어진 자세와 외부 부하 정보를 회귀 모형에 입력하면 불편도 점수가 산출되고, 불편도 점수를 Borg CR10의 verbal anchor와 비교하면 불편 정도를 추정할 수 있다. 예를 들어, AR 40%, SH 100%, 몸통 회전 30°, 외부 부하 3kg이면 불편도 점수는 약 4.77이 되고, 이를 Table 2에 나와 있는 verbal anchor와 비교하면 '강하게(strong) 불편한' 자세에 해당된다.

MHT 추정 회귀 모형과 Manencia (1986)와 Miedema et al. (1997)이 제시한 Borg CR10 점수와 %MHT 간 관계(Table 2 참조)를 이용하면, 임의의 자세에 대하여 주어진 불편도로 유지할 수 있는 시간을 추정할 수 있다. 예를 들어, 위의 자세는 회귀 모형을 이용하여

MHT를 계산하며 약 7.37분이 되며, 이 자세를 취한 후 '약한 불편(2점)'을 느끼게 되는 유지 시간은 $7.37/5 = 1.47$ 분이 된다(Table 2에서 2점에 해당하는 %MHT가 20%이므로 MHT를 5로 나눔).

두 회귀 모형에 추정의 정확도를 높이기 위하여 분산분석에서 유의하게 나타났던 교호작용을 추가하여 보았으나, R^2 값이 크게 달라지지 않아 최종 모형에는 이를 제외한 단순 요인만 사용하였다(Table 4). 단순 요인만 사용한 모형의 R^2 가 낮지 않고 잔차는 정규분포를 따르며 두 모형에서 독립변수 간 다중공선성이 없는 것으로 나타나, 제시한 MHT 및 불편도 추정 모형이 나쁘지 않은 것으로 판단된다. 이상에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 제시한 MHT 및 불편도 추정 회귀 모형은 주어진 자세 및 외부 부하에 대한 MHT 및 불편도 크기 추정뿐 아니라, 불편 정도를 쉬운 언어적 표현으로 해석할 수 있고 주어진 불편 정도로 자세를 유지할 수 있는 시간 추정도 가능하게 한다.

본 연구가 손 수직 높이 및 수평 거리로 결정되는 손 위치를 통하여 작업 현장에서 관찰되는 작업 영역 대부분을 포함하였으며(Figure 1), 몸통 회전을 통한 비시상면 자세와 외부 부하를 포함하는 등 소수의 시상면 자세에 대한 MHT를 다룬 기존 연구에 비하여 진일보하였다 할 수 있다. 그러나 실험 크기를 줄이기 위하여 채택한 독립변수의 수준을 제한하고 몸통 신전이나 측면 굴곡 동작을 다루지 않은 문제점이 있다. 본 연구 결과 해석 시나 이용할 경우 이러한 점을 고려한 주의가 요구된다.

5. Conclusion

본 연구에서는 손 위치, 몸통 회전 및 외부 부하에 따른 MHT와 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 그 결과를 바탕으로 주관적 척도인 불편도를 자세 부하 척도로 사용할 수 있음을 보였다. 이와 함께 주어진 자세 및 외부 부하에 따른 MHT 및 불편도를 추정할 수 있는 회귀 모형을 제안하였다. 본 연구 결과는 지각 불편도에 기반한 많은 기존 자세 부하 관련 연구의 타당성을 제시하였고, 추후 관련 연구에서 고가 장비를 요하거나 측정이 어려운 역학적 혹은 생리적 척도 대신 좀 더 간편한 지각 불편도를 사용할 수 있는 기반을 제공하였다. 본 연구에서는 몸통 동작 중 굴곡과 회전 동작만을 포함하였으나 본 연구 결과의 좀 더 일반적 객관성을 확보하기 위해서는 신전 및 측면 굴곡 등을 포함한 좀 더 다양한 자세에 대한 연구가 요망된다.

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF- 2017R1D1A1B03028532).

References

- Armstrong, T., Punnett, L. and Ketner, P., Subjective worker assessment of hand tools used in automobile assembly, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 50, 639-645, 1989.
- Borg, G., *Borg's perceived exertion and pain scales*, Human Kinetics, IL, USA, 1998.
- Boussenna, M., Corlett, E.N. and Pheasant, S.T., The relation between discomfort and postural loading at the joints, *Ergonomics*, 25(4), 315-322, 1982.
- Chung, M.K., Lee, I. and Kee, D., Assessment of postural load for lower limb postures based on perceived discomfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 17-32, 2003.
- Corlett, E.N. and Manenica, I., The effects and measurement of working postures, *Applied Ergonomics*, 11, 7-16, 1980.
- Dul, J., Douwes, M. and Smitt, P., Ergonomic guidelines for the prevention of discomfort of static postures can be based on

endurance data, *Ergonomics*, 37, 807-815, 1994.

Genaidy, A.M., Barkawi, H. and Christensen, D., Ranking of static non-neutral postures around the joints of the upper extremity and the spine, *Ergonomics*, 38, 1851-1858, 1995.

Genaidy, A.M. and Karwowski, W., The effects of neutral posture deviation on perceived joint discomfort ratings in sitting and standing postures, *Ergonomics*, 36(7), 785-792, 1993.

Hagberg, M., Electromyographic signs of shoulder muscular fatigue in two elevated arm positions, *American Journal of Physical Medicine*, 60, 111-121, 1981.

Kee, D. and Karwowski, W., LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time, *Applied Ergonomics*, 32(4), 357-366, 2001.

Manencia, I., A technique for postural load assessment. In N. Corlett, J. Wilson and I. Manencia (Ed.), *The Ergonomics of working postures*, Taylor and Francis, London, 270-277, 1986.

Meijst, W., Dul, J. and Haslegrave, C., *Maximum holding times of static standing postures*, TNO Institute of Preventive Health Care, Leiden, Netherlands, 1995.

Miedema, M.C., Douwes, M. and Dul, J., Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 9-18, 1997.

Milner, N., *Modeling Fatigue and Recovery in Static Postural Exercise*, Ph.D. Thesis, University of Nottingham, Nottingham, UK, 1985.

Mukhopadhyay, P., O'Sullivan, L. and Gallwey, T.J., Estimating upper limb discomfort level due to intermittent isometric pronation torque with various combinations of elbow angles, forearm rotation angles, force and frequency with upper arm at 90° abduction, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 17-32, 2007.

Nag, P.K., Endurance limits in different modes of load holding, *Applied Ergonomics*, 22, 185-188, 1991.

Putz-Anderson, V. and Galinsky, T.L., Psychophysically determined work durations for limiting shoulder girdle fatigue from elevated manual work, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11, 19-28, 1993.

Author listings

Dohyung Kee: dhkee@kmu.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, POSTECH

Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Keimyung University

Areas of interest: Systems ergonomics, Population stereotype, Product design, Posture classification scheme, Industrial safety, Musculoskeletal disorders

Seokhee Na: charmna@gmail.com

Highest degree: Ph.D, Department of Industrial Engineering, POSTECH

Position title: Senior designer, Mobile Communications, Samsung Electronics

Areas of interest: Mobile and robot UX, Service design

Min K. Chung: deemin@hanyang.ac.kr

Highest degree: Ph.D, Department of Industrial Engineering, University of Michigan

Position title: Professor, Division of Media, Culture, and Design Technology, Hanyang University

Areas of interest: Ergonomics, Safety engineering, work-related musculoskeletal disorders