

# 앉은 자세와 선 자세에서의 인체 관절 동작의 지각 불편도 Ranking\*

## Ranking of Perceived Joints Discomfort in Sitting and Standing Postures

신승헌\*\* · 기도형\*\* · 김형수\*\*

Sung Heon Shin\*\* · Dohyung Kee\*\* · Hyung Su Kim\*\*

### Abstract

The purpose of this study is to measure a perceived joint discomfort in the seated and standing position, and to provide ranking systems of perceived joint discomfort. Nineteen male subjects with no history of musculo-skeletal disorders participated in the experiment. Their physical characteristics were : age -  $25.4 \pm 2.7$  years, stature -  $171.9 \pm 6.0$  cm, and body weight -  $67.1 \pm 7.0$  kg. The results showed that the perceived joint discomforts were different depending upon the joints involved in motion and their movement directions (degree of freedom of motions), which implied that the human body motions and their degrees of freedom should be classified into several distinct classes that need to be assigned different weights of postural stress. Therefore, three ranking systems based on the perceived joint discomforts were suggested, which were classified by the degree of freedom of motions and joints, by only degree of freedom motions, and by joints involved in motion, respectively. In the seated position, the hip movement was the most stressful, the back was the second, and the shoulder was the third. Likewise, in the standing postures, the hip was the most, the back was the second, and the ankle was the third.

It was expected that these joint motion ranking systems could be used by practitioners of health and safety to improve the comfort of working postures in industry.

### 1. 서론

안락(comfort)을 언급할 때는 보통 안락 자세와 불편(discomfort)을 포함하고 있으며, 안락과 불편은 일반적으로 연속적인 scale에서 서로 반대 방향에 놓여 있는 것으로 가정한다[16]. 그러나, 많은 연구자들은 안락과 불편은 서로 다른 존재(entity)라는 견해를 가지고 있다. 즉 불

편은 기본적으로 생리적(physiological) 및 생체역학적(biomechanical) 요소와 관련되어 있으며, 안락은 주로 미적(aesthetics) 요소와 연관되어 있다고 보고 있다[17]. Zhang et al.은 사무 작업자들에 대한 설문 조사를 통하여 불편은 관절각(joint angles), 근육 수축(muscle contraction), 압력 분포(pressure distribution) 등과 관련되어 있어, 통증(pain), soreness, 저림(numbsness), 강직(stiffness)

\* 본 연구는 1997년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음

\*\* 계명대학교 산업공학과

등을 유발한다고 주장하였다. 이러한 불편은 물리적 제약(physical constraints)을 제거함으로써 줄일 수 있지만, 불편의 감소가 바로 안락을 유발하지는 않는다고 하였다. 그들은 안락은 이완(relaxation) well-being과 연관되어 있으며, 불편과 안락은 서로 정반대의 개념이 아니라 불편이 감소하면 안락이 증가하는 것과 같이 서로 보완 관계에 있다고 주장하였다[17].

인체 관절에서 일어나는 각 자유도(degree of freedom)의 동작 시에 느껴지는 불편의 감소는 근골격계 질환의 발생 위험성을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다[4, 12, 14, 15]. 인간이 느끼는 불편의 정도는 자세에 따라 다르며, 부적절하거나 거북한 자세에서 불편이 크게 느껴진다는 것이 경험적으로 알려져 있다. 이러한 불편의 정량적 측정 방법은 정신물리학적 방법이 주로 사용되고 있으며, 자세에 따른 생리적 부하나 불편의 정도에 따라 자세를 분류하는 postural classification scheme은 1997년에 Kahru et al.이 OWAS(Ovako Working Postures Analysing System)를 개발한 이래로 여러 종류의 system이 발표되어 있다[7, 10]. 인체 관절 동작에서의 불편도에 대한 연구로는 Genaidy와 Karwowski(1993), Genaidy et al.(1995)에 의한 연구를 들 수 있으며, 이들은 제한된 동작에서의 불편도를 측정하여 각 자유도간 및 관절간의 지각 불편도의 크기에 따른 ranking system을 제시하였다[5, 6]. 그러나, 이들은 discomfort index의 계산 시에 각 자유도의 중립 자세(neutral position)에서의 불편 수준에 대한 상대적 불편도를 구하여, 이 값으로 각 자유도에서의 불편도를 비교하고 있어 자료의 일반성을 상실하고 있다. 왜냐하면, 인체 관절에서 일어나는 각 자유도의 중립 자세에서의 불편 수준은 자유도에 따라 다르게 나타날 것이므로, 이에 대한 상대적 불편도를 구하여 각 자유도 동작의 불편도를 비교하는 것은 문제가 있기 때문이다. 또한, 이들은 각 자유도의 동작범위(range of motion : ROM)에 해당하는 자세를 취할 때 기존의 postural classification scheme에 따른 제한된 자세에 대한 불편도만을 측정하여, 일반적으로 관찰되는 인간 동작에 대한 불편도를 대표할 수 없는 단점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 앉은 자세와 선 자세에서 인체 관절 동작의 전 동작범위에 대하여 지각 불편도를 측정하여, 각 자세간 및 자유도 동작간의 불편도를 비교, 계

시하고자 한다. 그리고, 측정된 불편도를 바탕으로 인체 관절별 자유도 동작에 대한 지각 불편도, 인체 관절에서 일어나는 자유도 종류별 지각 불편도와 동작에 포함된 관절별 불편도의 ranking을 제시한다. 이러한 본 연구의 결과는 인체 동작의 원리 파악의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이며, 자세의 예측과 postural classification scheme의 자료로도 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 피실험자

본 연구의 인체 관절의 불편도 측정에는 과거에 근골격계 질환의 경험이 없는 건강한 19명의 남자 대학 및 대학원 학생이 참여하였다. 이들의 연령은  $25.4 \pm 2.7$ 세, 신장  $171.9 \pm 6.0$ cm, 그리고 체중  $67.1 \pm 7.0$ kg을 보였다.

### 2.2 측정 대상

본 연구에서는 앉은 자세와 선 자세에서 인체 각 관절에서 일어나는 자유도 동작에 대한 불편도를 측정하였으며, 그 내용은 다음 표 1과 같다. 여기서, 각 자유도의 측정 방법은 손목, 팔꿈치, 목, hip, 무릎과 발목에 대해서는 Murrell(1969)이 제시한 방법을, 어깨 동작에 대해서는 Chaffin과 Andersson(1991), Kroemer et al.(1994)이 제시한 방법을, 등(back)의 동작 측정 시는 기도형(1996)이 제시한 측정 방법을 따랐다[1, 3, 11, 13].

### 2.2 측정 방법

본 연구에서는 인체 관절의 동작 시에 느껴지는 불편의 정도를 정신물리학적(psychophysical) 방법의 하나인 magnitude estimation을 이용하여 측정하고자 한다. 피실험자의 주관적 판단을 측정할 때 많이 사용되는 정신물리학적 방법의 하나인 category scaling에 비하여, magnitude estimation은 피실험자의 주관적 판단을 잘 표현할 수 있고, 비율 척도(ratio scale)로 반응을 나타내므로 결과에 대한 다양한 통계적 처리가 가능한 장점이 있다[2,8]. 본 연구에서는 magnitude estimation에서 피실험자의 반응을 나타내는 2가지 방법, modulus method와 free modulus method 중 피실험자 자신이 가지고 있는 고유의 scale을 가지고, 주관적 불편을 나타낼 수 있도록 free

표 1. 불편도 측정 대상

관 절	앞은 자세	선 자세
손 목	굴곡(flexion) 신전(extension) 요골편향(radial deviation) 측골편향(ular deviation)	굴곡 신전 요골편향 측골편향
팔꿈치	굴곡 pronation supination	굴곡 pronation supination
어 깨	굴곡 신전 내전(Adduction) 외전(abduction) 내선(medial rotation) 외선(lateral rotation)	굴곡 신전 내전 외전 내선 외선
목	굴곡 신전 lateral bending rotation	굴곡 신전 lateral bending rotation
등(back)	굴곡 lateral bending rotation	굴곡 신전 lateral bending rotation
hip	굴곡 외전 내선(internal rotation) 외선(external rotation)	굴곡 신전 내전 외전 내선 외선
무릎	*	굴곡
발 목	굴곡(dorsi flexion) 신전(plantar flexion) 내전 외전	굴곡 신전 내전 외전

\* : 측정하지 않았음

modulus method를 이용하였다.

불편도의 측정은 크게 3 단계로 구성되어 있으며, 첫 단계인 calibration test에서는 magnitude estimation을 통하여 주관적 판단을 제대로 수행하지 못하는 피실험자를 filtering하였다. 두 번째 단계에서는 calibration test를 통

과한 피실험자에 대하여 위의 표 1에 나와 있는 자유도에 대한 동작범위를 측정하였다. 세 번째 단계에서는 측정된 피실험자들의 동작범위 평균의 0%(중립자세), 25%, 50%, 75%, 100%(ROM)에서 앞은 자세와 선 자세에서의 피실험자의 불편도를 측정하였다. 불편도는 피실험자가 주어진 자세를 1분간 취한 다음, 주관적 불편도를 magnitude estimation의 free modulus method를 이용하여 답하게 하였다.

### 3. 결과

본 연구에서는 magnitude estimation의 free modulus method를 사용하였기 때문에 각 피실험자마다 다른 scale로 평가하게 된다. 따라서, 이들을 일정 기준에 대한 변환을 하여 같은 scale의 값으로 통일하여야만 분석에 이용할 수 있으며, 본 연구에서는 각 피실험자별로 측정된 불편도를 Hwang과 Yoon이 제안한 다음과 같은 변환을 이용하여 표준 불편도(standardized discomfort)를 구하였다[9].

$$\text{standardized discomfort} = \frac{\text{rawdata} - \text{min discomfort}}{\text{max discomfort} - \text{min discomfort}} \times 100$$

변환을 한 다음에 magnitude estimation으로 측정된 값에 대한 산술평균을 구하면 최대값에 영향을 크게 받기 쉽기 때문에, magnitude estimation에서는 기하평균이나 중앙값을 사용하고 있다[2, 8]. 본 연구에서는 기하평균을 이용하기로 하며, 각 자유도간의 불편도 수준 비교를 위하여 다음 식과 같이 상대적 불편도 지수(relative discomfort index)를 정의하였다. 이는 각 자유도에서 동작 수준별 불편도의 합을 동작 수준의 합으로 나누는 것으로, 자유도별 단위 동작에 대한 불편도 수준을 나타낸다. 여기서, 분모는 본 연구에서 불편도를 측정한 각 동작을 나타내는 동작범위에 대한 상대적 동작 수준의 합을 나타낸다.

$$\text{Relative discomfort index} = \sum_{j=1}^N \text{relative discomfort}_j / (0.25+0.50+0.75+1.0)ROM_j$$

여기서, i = 동작의 수준, j = j번째 자유도

relative discomfort<sub>j</sub> = j번째 자유도의 i번째 동작

수준의 19명 피실험자에 대한 불편도의 기하평균,  $N =$  각 자유도에서의 동작 수준의 수(모두 5임).

3.1 손목 관절의 불편도

손목 관절에서 굴곡, 신전, 요골편향과 측골편향 동작에 따른 지각 불편도의 크기는 다음 그림 1에 나와 있다. 그림에서 보는 바와 같이 선 자세와 앉은 자세에서 지각 불편도는 동작 자유도에 따라 거의 같은 크기를 보이고 있으며, 같은 자유도 동작의 불편도의 크기는 자세간 통계적 유의차를 보이지 않았다( $p > 0.1$ ). 측골편향 시의 불편도가 가장 크게 나타났으며, 다음으로는 요골편향, 신전, 그리고 굴곡의 순서로 동작 시의 지각 불편도가 작게 나타났다.

3.3 어깨 관절의 불편도

어깨 관절에서는 굴곡, 신전, 내전, 외전, 내선과 외선의 6개 자유도 동작에 대한 지각 불편도를 측정하였으며, 선 자세와 앉은 자세에 대한 지각 불편도의 크기는 그림 3에 나와 있다. 지각 불편도의 크기는 자세간 유의한 차이를 보이지 않았다( $p > 0.1$ ). 외전에서 불편도의 크기가 가장 크며, 다음으로 내전, 신전, 외전, 내선, 굴곡의 순서로 그 크기가 작아지고 있다.

3.4 목(neck) 관절의 불편도

목 관절의 동작은 head goniometer를 이용하여 측정하였으며, lateral bending에서 지각 불편도가 가장 크게 나타났다. 측정된 4 자유도간의 불편도의 크기는 통계적인 유의차를 나타내지 않았다(그림 4) ( $p > 0.1$ ). 목 관절

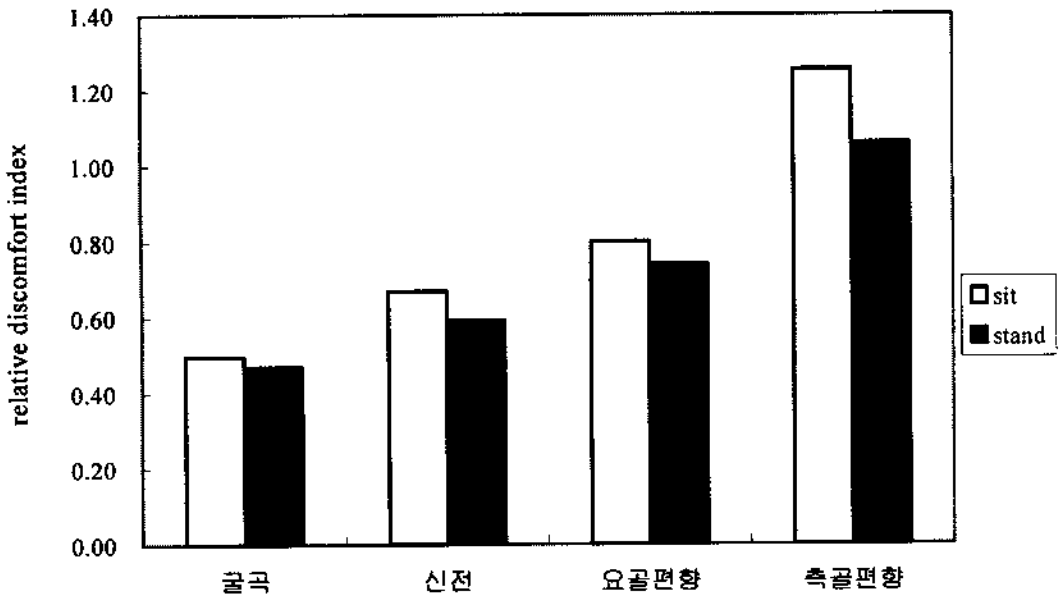


그림 1. 손목 관절 동작에서의 지각 불편도

3.2 팔꿈치 관절의 불편도

팔꿈치 관절 동작 시의 지각 불편도는 다음 그림 2에 제시되어 있으며, pronation의 지각 불편도가 가장 크고, 굴곡의 불편도가 가장 작음을 보이고 있다. 선 자세와 앉은 자세의 지각 불편도는 자세간 유의차를 보이지 않았으며( $p > 0.1$ ), 거의 유사한 크기와 경향을 보이고 있다.

에서도 선 자세와 앉은 자세의 자세간의 불편도 크기는 통계적 유의차를 보이지 않았다( $p > 0.1$ ).

3.5 등(back) 관절의 불편도

몸통(trunk)의 동작은 흉추와 요추 동작의 합으로 나타나, 본 연구에서는 몸통 동작의 기준점을 L5/S1으로 보

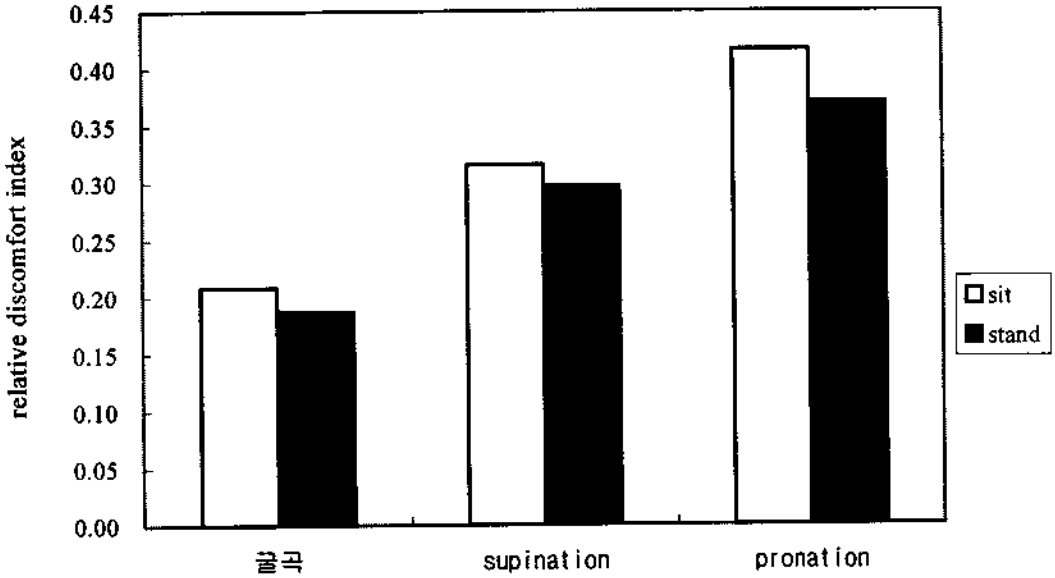


그림 2. 팔꿈치 관절 동작에서의 지각 불편도

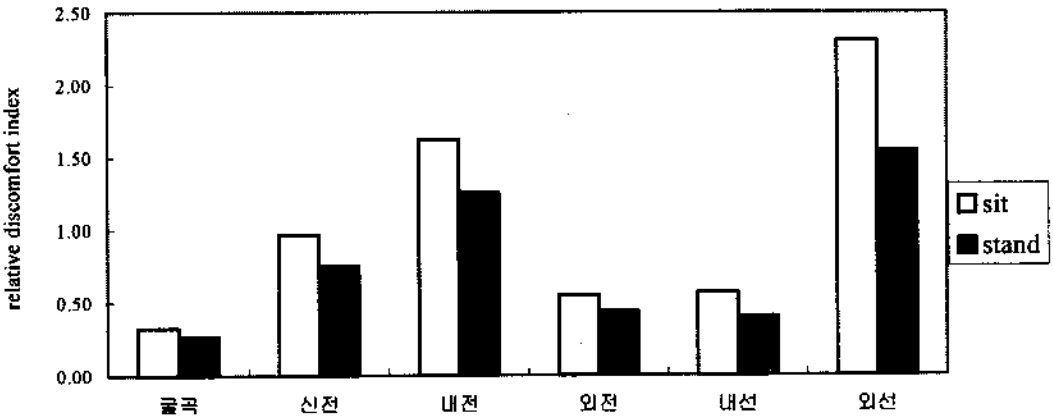


그림 3. 어깨 관절 동작에서의 지각 불편도

고 이틀 등 관절로 가정한다. 따라서, 등 관절에서의 굴곡, 신전, lateral bending과 rotation의 측정은 L5/S1을 기준으로 이루어지며, 이들 자유도에 대한 지각 불편도의 크기는 다음 그림 5에 나와 있다. 앉은 자세에서는 의자의 등받이로 인하여 신전 동작을 취할 수 없으므로, 측정에서 이를 제외하였다. 선 자세에서의 신전 동작의 불편도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 다음으로 lateral bending

의 지각 불편도가 큼을 보이고 있다. 자세간의 지각 불편도는 유의한 차이를 보이지 않고 있으나( $p > 0.1$ ), 앉은 자세에서의 지각 불편도가 조금 크게 나타났다. 이는 각 자세에서의 자유도의 정의는 같으나 앉은 자세에서는 의자로 인하여 동작에 약간 제약을 받기 때문으로 보인다.

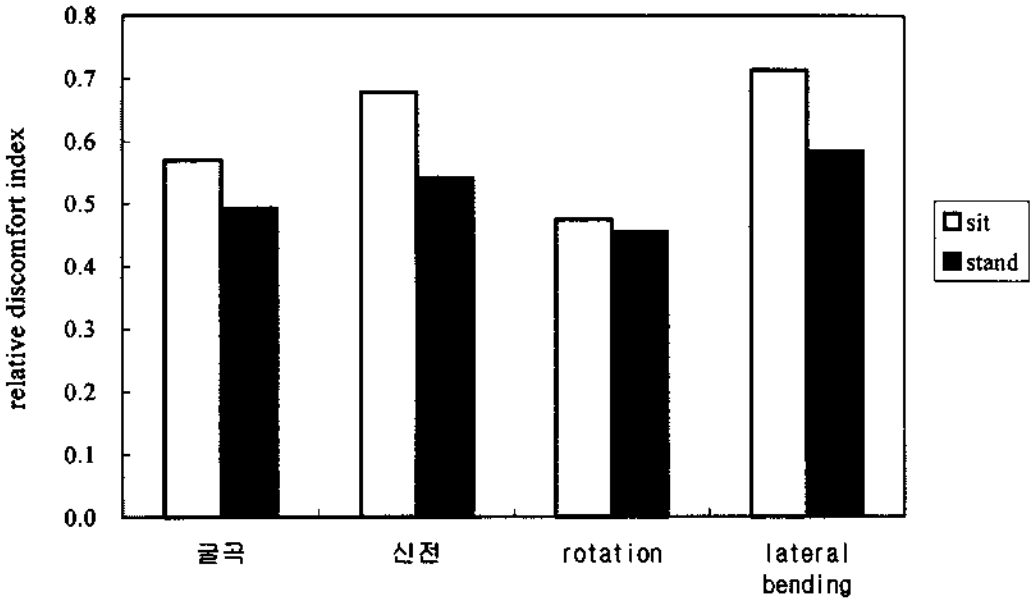


그림 4. 목 관절 동작에서의 지각 불편도

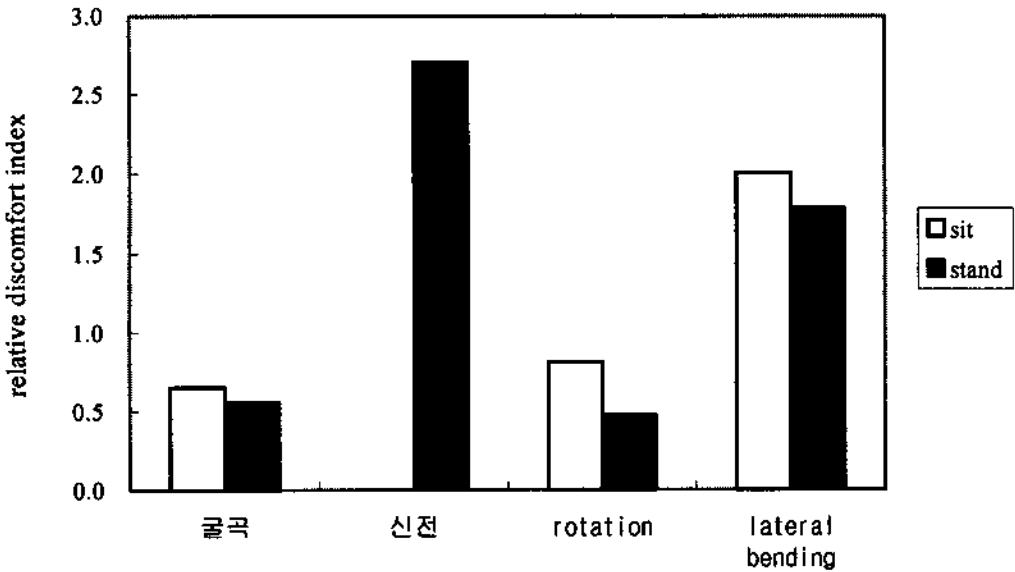


그림 5. 등 관절 동작에서의 지각 불편도

3.6 hip 관절의 불편도

hip 관절에서는 의자의 제약으로 인하여 앉은 자세에

서의 신전과 내전은 측정하지 못하였으며, 지각 불편도는 외선에서 가장 크게 나타났으며 기타 자유도의 지각 불

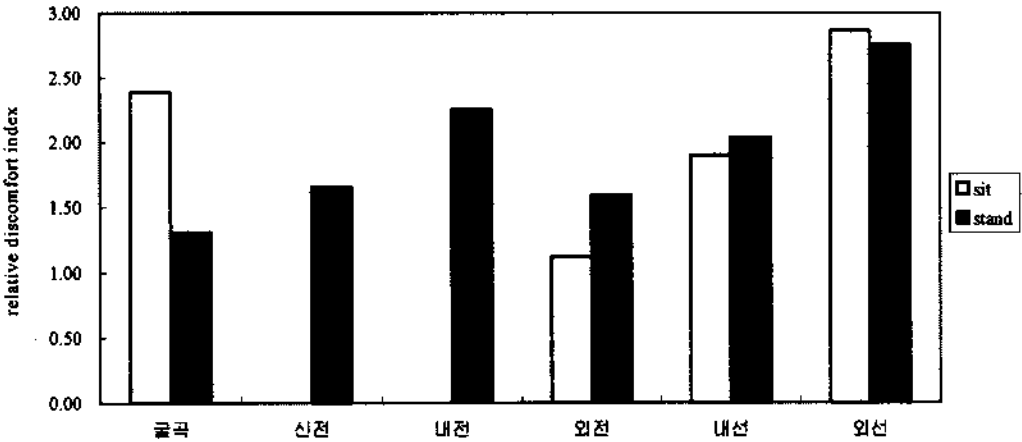


그림 6. hip 관절 동작에서의 지각 불편도

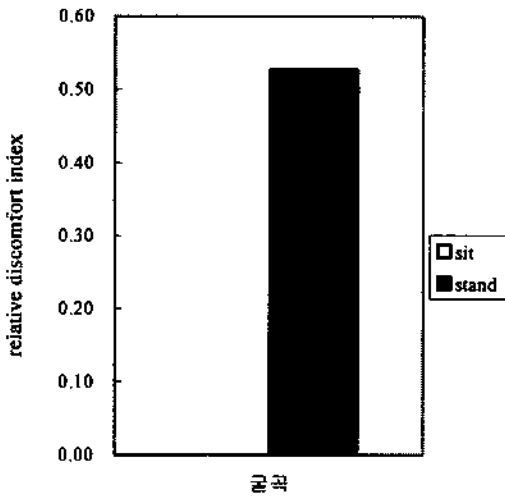


그림 7. 무릎 관절 동작에서의 지각 불편도

편도는 자세에 따라 차이를 보이고 있다(그림 6). hip 관절에서는 선 자세에서의 다리 무게의 지탱과 앉은 자세에서 의자로 인한 공간의 협소로 인하여 다른 관절에 비하여 자세간의 불편도가 큰 차이를 보이고 있다. 굴곡에서는 앉은 자세의 불편도가 크고( $p < 0.05$ ), 외전에서는 선 자세에서의 지각 불편도가 큰 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 이는 앉은 자세에서는 의자 좌판으로 인하여 굴곡을 위한 회전 동작이 제약을 받고, 선 자세에서의 외전

은 앉은 자세에서 보다 다리의 무게가 hip 관절에 크게 걸리기 때문일 것으로 생각된다. 내전과 외선의 지각 불편도는 자세간 유의차를 보이지 않았다( $p > 0.1$ ).

### 3.7 무릎 관절의 불편도

무릎 관절에서는 의자의 제약으로 인하여 선 자세의 굴곡만을 측정하였으며, 굴곡 동작 시의 지각 불편도의 크기는 그림 7에 나와 있다.

### 3.8 발목 관절의 불편도

발목 관절에서는 굴곡, 신전, 내전과 외전의 4자유도에 대한 지각 불편도를 측정하였으며, 선 자세에서는 피실험자가 약 20cm 높이의 발판 위에서 있게 한 다음 위의 자유도 동작들에 대한 불편도를 측정하였다. 4 자유도 동작에 대한 지각 불편도의 크기는 자세간에 통계적 유의차를 보이지 않았으나( $p > 0.1$ ), 모든 자유도에서 선 자세에서의 불편도가 조금 클을 보이고 있다.

### 3.9 자유도별 불편도 비교

인체 관절에서 일어나는 자유도별 동작 시의 불편도의 크기를 정량적으로 비교하기 위하여, 먼저 각 관절별 자유도 동작의 지각 불편도에 대한 ranking을 제시한다. 지각 불편도의 ranking을 구하기 위하여 먼저 SAS GLM의 Duncan의 다중범위 검정(multiple range test)을 이용하여

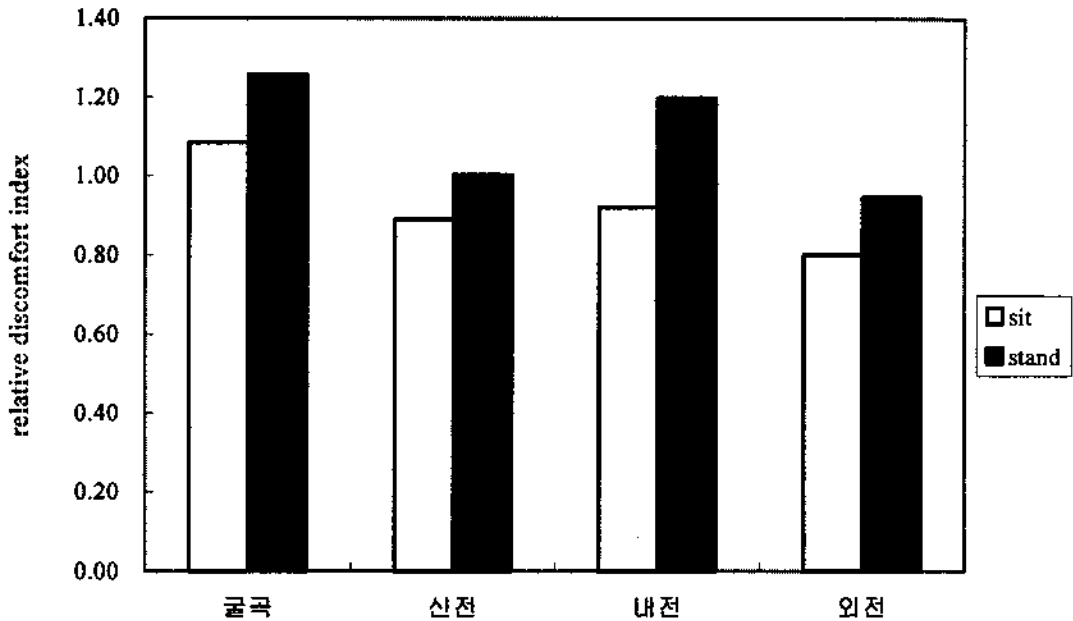


그림 8. 발목 관절 동작에서의 지각 불편도

각 관절별로 grouping을 한 다음, 본 연구에서 측정된 자유도 중 지각 불편도가 가장 작은 팔꿈치의 굴곡 동작 시의 지각 불편도에 대한 상대적인 ranking을 구하였다. 이렇게 상대적 ranking을 구한 이유는 본 연구에서 측정된 모든 자유도 동작의 지각 불편도의 상대적 크기를 제시하기 위함이다. 관절별 자유도 동작의 지각 불편도에 대한 상대적인 ranking은 다음 표 2에 나와 있으며, 앉은 자세와 선 자세의 지각 불편도는 hip 관절에서만 차이를 보일 뿐 같은 ranking을 보이고 있다. 기존 연구와의 비교를 위하여 1993년의 Genaidy와 Karwowski[5], 1995년의 Genaidy et al.[6]의 연구 결과를 표에 병기하였다. 표에서 보는 바와 같이 3 종류의 ranking은 상당한 차이를 보이고 있으며, 동일인인 Genaidy의 1993년과 1995년의 ranking도 차이를 보이고 있다.

다음으로 동작이 일어나는 관절에 관계없이 자유도 동작에 대한 지각 불편도 ranking을 제시한다. 본 연구에서는 10개의 자유도에 대하여 지각 불편도를 측정하였으며, 각 자유도에 대한 지각 불편도의 크기는 다음 그림 9에 나와 있다. 여기서 각 자유도에 대한 불편도의 크기는 여러 관절에서 일어나는 같은 자유도에 대한 지각 불편도

의 평균값이며, rotation은 내전, 외전과 rotation을 대표하는 자유도 동작이다. 이들 10개 자유도의 지각 불편도 크기의 ranking을 구하기 위하여, 위에서와 같이 먼저 Duncan의 다중범위 검정을 이용하여 grouping을 수행하였다. 이 결과 크게 4개의 group으로 나누어졌으며, 이를 근거로 산출한 ranking은 표 3에 정리되어 있다. 측골편향, 내전, 외전, lateral bending 등이 높은 지각 불편도를 가지고 있고, 상대적으로 pronation과 supination은 다른 자유도 동작에 비하여 불편도가 작음을 보였다. 여기서 ranking은 pronation과 supination에 대한 상대적인 것이다.

### 3.10 관절간의 불편도 비교

관절간의 지각 불편도, 즉 동작 시의 부하의 크기를 비교하기 위하여 다음과 같이 각 관절에서의 불편도의 평균을 구하였다. 즉, 각 관절에서 지각 불편도를 측정된 자유도의 수가 다르기 때문에, 각 관절에서 측정된 자유도별 상대적 불편도 지수의 합을 자유도의 수로 나누어 관절별 불편도 지수(joint discomfort index)를 구한다.



표 2. 각 관절별 자유도 동작의 지각 불편도 ranking

	Genaidy and Karwowski				Genaidy et al.		본 연구			
	앉은 자세		선 자세				앉은 자세		선 자세	
	자유도	ranking	자유도	ranking	자유도	ranking	자유도	ranking	자유도	ranking
손목	굴곡	1	굴곡	1	neutral	1	굴곡	3	굴곡	3
	신전	1	신전	1	moderate flexion	2	신전	3	신전	3
	내전	1	내전	1	요골편향	2	요골편향	3	요골편향	3
	외전	1	외전	1	측골편향	2	측골편향	6	측골편향	6
					moderate extension	3				
				severe flexion	5					
				severe extension	6					
팔굽치	굴곡	1	굴곡	1	neutral	1	굴곡	1	굴곡	1
	신전	1	신전	1	굴곡	3	supination	1	supination	1
	pronation	2	pronation	2	신전	3	pronation	2	pronation	2
	supination	3	supination	3	pronation	3				
				supination	6					
어깨	굴곡	1	굴곡	1	neutral	1	굴곡	3	굴곡	3
	내전	1	내전	1	light elevation	5	내선	3	내선	3
	외전	1	외전	1	severe elevation	7	외전	3	외전	3
	신전	2	신전	1	신전	7	신전	3	신전	3
					내전	7	내전	7	내전	7
						lateral bending	10	lateral bending	10	
목	굴곡	1	굴곡	1	neutral	1	rotation	3	rotation	3
	신전	2	신전	2	굴곡	2	굴곡	3	굴곡	3
	rotation	2	rotation	3	신전	2	신전	3	신전	3
	lateral bending	3	lateral bending	3	rotation	2	lateral bending	3	lateral bending	3
				lateral bending	3					
통	굴곡	1	굴곡	1	neutral	1	굴곡	3	rotation	3
	rotation	2	rotation	2	rotation	2	rotation	3	굴곡	3
	lateral bending	2	lateral bending	2	굴곡	3	lateral bending	10	lateral bending	10
			신전	3	신전	3			신전	13
				lateral bending	5					
hip	NA	NA	내선	1	NA	NA	외전	6	굴곡	6
			외선	1			내선	9	신전	9
			내전	2			굴곡	11	외전	9
			신전	3			외선	14	내선	9
			굴곡	4					내전	11
		외전	5					외선	14	
발목	신전	1	신전	1	NA	NA	외전	5	외전	5
	굴곡	2	굴곡	2			내전	5	신전	5
							굴곡	5	굴곡	5
						신전	5	내전	5	

\* NA : not available,

\*\* ranking이 높을수록 불편도가 큼.

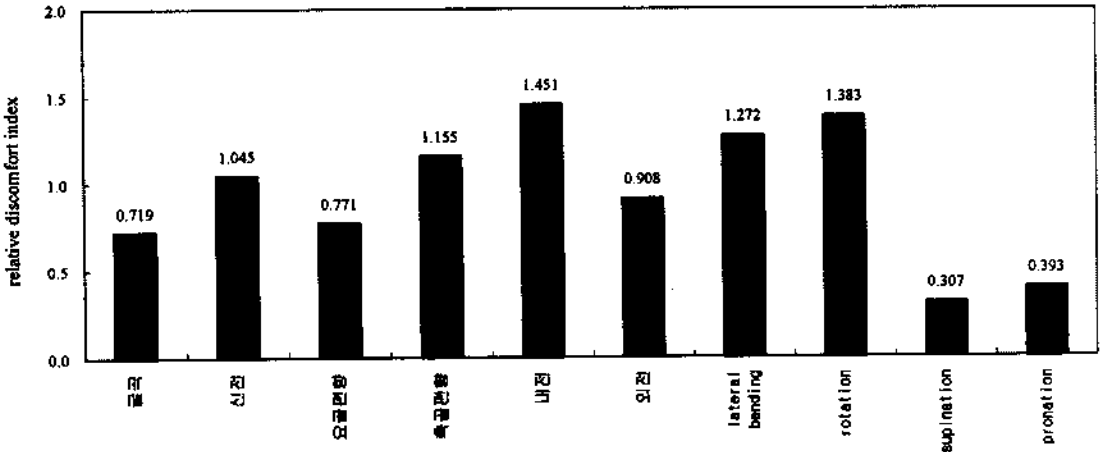


그림 9. 자유도 동작별 지각 불편도

표 3. 자유도 동작의 지각 불편도 ranking

자유도	ranking
supination	1
pronation	1
굴곡	2
요골편향	3
rotation	3
신전	3
lateral bending	4
외전	4
내전	4
측굴편향	4

$$\text{Joint discomfort index}_j = \sum_{i=0}^{N_j} \text{relative discomfort index}_i / N_j$$

여기서 i = i번째 자유도, j = j번째 관절, N<sub>j</sub> = j번째 관절의 불편도 측정에 포함된 자유도의 수.

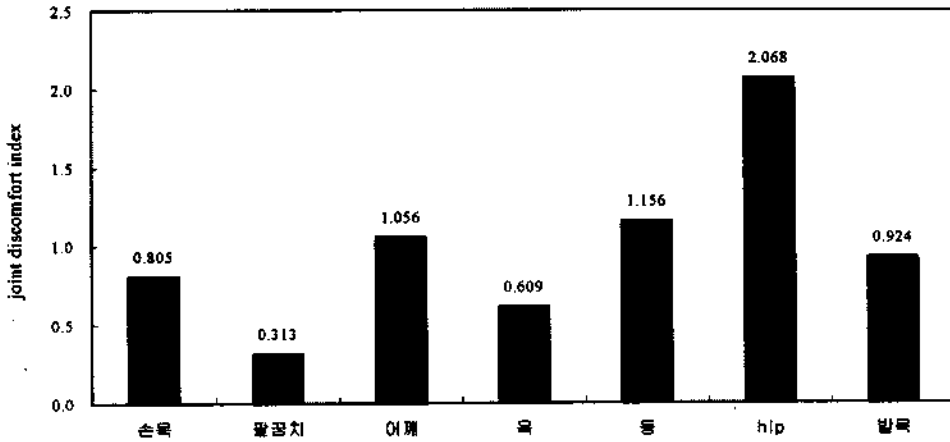
앉은 자세와 선 자세에 대한 관절 불편도 지수는 다음 그림 10에 나와 있으며, 앉은 자세에서는 팔꿈치 - 목 - 손목 - 발목 - 어깨 - 등 - hip의 순서로 불편도가 커짐을 보이고 있다. 선 자세에서도 비슷하게 팔꿈치 - 목 - 무릎 - 손목 - 어깨 - 발목 - 등 - hip의 순서를 보여, 앉은 자세에서 측정하지 않은 무릎을 제외하고 어깨와 발목의

순서가 바뀐 점 이외에는 앉은 자세와 같은 순서를 보이고 있다. 선 자세에서 어깨보다 발목 동작의 지각 불편도가 크게 나타난 것은, 앞에서 본 바와 같이 선 자세에서의 발목의 불편도가 앉은 자세에서 보다 크게 나타났기 때문이다. 두 자세에서 공히 팔꿈치 관절 동작의 불편도가 가장 작고, hip 관절의 지각 불편도가 가장 크게 나타났다.

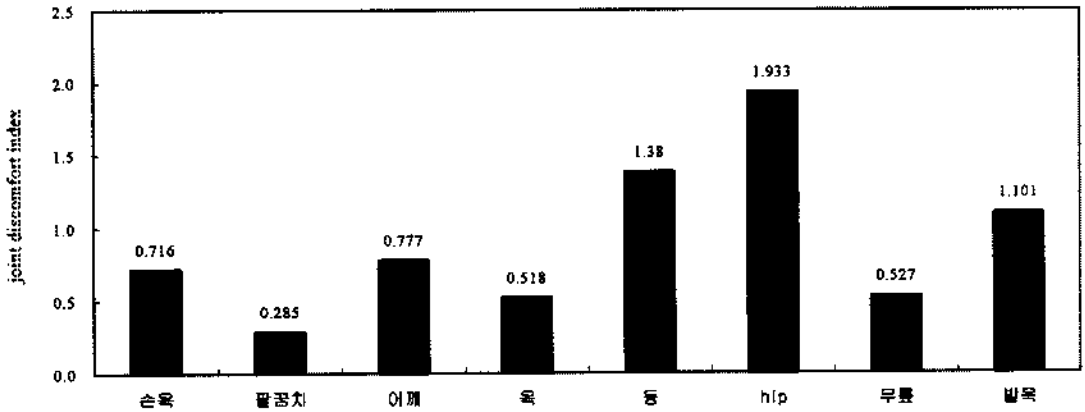
이들 관절 동작 시의 지각 불편도의 ranking은 다음 표 4에 나와 있으며, 불편도가 가장 작은 팔꿈치의 지각 불편도가 hip 관절보다 약 1/6 정도로 작은 것으로 나타났다. 목, 무릎, 손목의 지각 불편도의 값은 조금씩 차이를 보이고 있으나, 통계적으로는 차이를 보이지 않았다. 그리고, 관절별 자유도 동작의 지각 불편도 ranking에서와 같이, 관절 동작의 지각 불편도의 ranking도 기존의 Genaidy et al.의 ranking과 상당한 차이를 보이고 있다.

### 5. 토의 및 결론

본 연구에서는 인간이 취하는 가장 대표적인 자세인 앉은 자세와 선 자세에서 인체 관절 동작에 대한 지각 불편도를 정신물리학적 방법인 magnitude estimation으로 측정하여, 자세간 불편도의 크기를 비교, 제시하고 이들의 ranking system을 제시하였다. 지각 불편도는 hip 관절의 굴곡과 외전에서만 앉은 자세와 선 자세간에 차이를 보



(a) 앉은 자세



(b) 선 자세

그림 10. 관절별 지각 불편도

표 4. 관절 동작의 지각 불편도 ranking

앉은 자세		선 자세		총 합		Genaidy et al.	
자유도	ranking	자유도	ranking	자유도	ranking		
팔꿈치	1	팔꿈치	1	팔꿈치	1	목	2
목	2	무릎	2	무릎	3	손목	3
손목	2	목	2	목	3	팔꿈치	3
발목	2	손목	2	손목	3	등	3
어깨	4	어깨	2	어깨	3	어깨	7
등	4	발목	4	발목	3		
hip	6	등	4	등	4		
		hip	7	hip	6		

이고, 모든 측정 자유도를 포함한 전체적으로는 두 자세 간에 통계적 유의차를 보이지 않았다( $p > 0.1$ ). ranking system은 각 관절에서의 자유도별 ranking, 10개 자유도 간 ranking과 관절별 지각 불편도의 ranking을 포함하여 실제 활용성을 제고하였다.

본 연구에서 제시한 지각 불편도의 ranking system은 기존 연구 결과와 차이를 보이고 있는데, 이는 자유도의 정의와 측정 방법이 차이를 보이는 이유뿐만 아니라, 서론에서 언급한 바와 같이 다음의 이유로 인하여 차이를 보이는 것으로 생각된다. 1993년의 Genaidy와 Karwowski의 연구는 각 자유도의 최대 동작범위(ROM)의 동작을

취할 때의 불편도를 측정하였기 때문에, 일반적인 동작에 대한 지각 불편도를 나타낸다고 할 수 없다. 그래서, 같은 저자의 1995년의 연구 결과와도 상당한 차이를 보이고 있다. 1995년의 Genaidy et al.의 연구 결과는 1993년의 연구 결과의 문제점을 보완하기 위하여 각 자유도를 기존에 발표되어 있는 postural classification scheme에 근거하여 몇 개의 구간으로 구분한 다음, 이러한 동작을 취할 때의 지각 불편도를 측정하였다. 그러나, 이들은 각 관절에서의 중립(neutral) 자세에 대한 지각 불편도의 상대적인 ranking을 구하여, 각 관절 내에서의 불편도의 상대적인 불편도의 크기는 나타낼 수 있으나, 인체의 모든 관절 동작에 대한 불편도 ranking을 나타내지 못하고 있다. 그리고, 지각 불편도를 측정할 자유도 동작도 본 연구보다 제한되어 있어 인체 동작의 일반적인 지각 불편도를 나타내는 데 한계가 있다. 또한, 기존의 두 연구는 지각 불편도를 측정할 자유도의 동작범위를 고려하지 않고, 단순히 측정된 지각 불편도에 대한 ranking을 제시하여, 같은 단위의 동작을 취할 때의 불편도의 크기를 제시하지 못하고 있다. 특히, 1995년에 Genaidy et al.이 제시한 관절별 불편도 ranking에서는 어깨의 불편도가 가장 큰 것으로 나타나 있으나, 이는 어깨 관절의 동작범위가 다른 관절에 비하여 커 이러한 동작을 취하면 불편도가 크기 때문이다. 동작범위를 고려한 단위 동작의 불편도 ranking을 제시한 본 연구에서는 hip 관절의 불편도가 가장 크고, 어깨는 중간 정도의 ranking을 보이고 있다.

이에 비하여 본 연구의 결과는 인체 관절에서 일어날 수 있는 대부분의 자유도 동작을 포함하였으며, 각 자유도 동작을 동작 수준에 따라 5 등급으로 나누어 이에 대한 지각 불편도를 측정하였다. 또한, 각 관절에서 중립 자세에 대한 ranking이 아닌 모든 자유도 동작 시의 지각 불편도에 대한 단위 동작에 대한 ranking을 구하여 일반적인 결과를 제시하였다 하겠다. 따라서, 산업 현장에서 작업 자세에 대한 부하를 평가하기 위해서는, 기존의 연구 결과들은 본 연구에서 제시한 ranking system과 같이 수정되어야 할 것으로 생각된다.

후후 연구 방향으로는 본 연구에서는 지각 불편도를 주관적인 방법으로 측정하였으나, EMG 등의 객관적 방법을 이용한 연구가 요망된다 하겠다. 그리고, 본 연구에서는 불편도에 대한 ranking system만을 제시하였으나, 이

에 기초한 새로운 postural classification system을 개발하여 실제 작업 자세에 대한 평가를 통한 검증이 요구된다.

## 참고문헌

- [1] 기도형, "작업영역의 해석적 생성을 위한 2자유도 동작의 동작범위 측정", *대한인간공학회지*, Vol. 15, No. 2, pp. 15-24, 1996.
- [2] 한성호, 정의승, 정무영, 박성준, 곽지영, 최필성, "Magnitude estimation 기법을 이용한 설계 대안의 평가", *대한인간공학회지*, Vol. 12, No. 2, pp. 3-13, 1993.
- [3] Chaffin, D.B., and Andersson, G.B.J., *Occupational Biomechanics*, 2nd ed, John Wiley & Sons Inc., New York, 1991.
- [4] Dul, J., Douwes, M., and Smitt, P., "Ergonomics guidelines for the prevention of discomfort of static postures can be based on endurance data", *Ergonomics*, Vol. 37, pp. 807-815, 1994.
- [5] Genaidy, A.M., and Karwowski, W., "The effects of neutral posture deviation on perceived joint discomfort ratings in sitting and standing postures", *Ergonomics*, Vol. 36, pp. 785-792, 1993.
- [6] 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*, Vol. 38(9), pp. 1851-1858, 1995.
- [7] Genaidy, A.M., Al-Shedi, A.A., and Karwowski, W., "Postural stress analysis in industry", *Applied Ergonomics*, Vol. 25(2), pp. 77-87, 1994.
- [8] Gescheider, G.A., *Psychophysics: method, theory, and application*, 2nd Ed., Lawrence Erlbaum Associates, London, 1985.
- [9] Hwang, C.L., and Yoon, K., *Multiple attribute decision making : Method and application*, Spring-Verlag, New York, 1981.
- [10] Juul-Kristensen, B., Fallentin, N., and Ekdahl, C., "Criteria for classification of posture in repetitive work by observation methods : A review", *Int. J.*

- of *Industrial Ergonomics*, Vol. 19, pp. 397-411, 1997.
- [11] Kroemer, K., Kroemer, H., and Kroemer-Elbert, K., *Ergonomics : How to Design for Ease & Efficiency*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
- [12] Milner, N., *Modeling fatigue and recovery in static postural exercise*, Ph.D. thesis, University of Nottingham, Nottingham, 1985.
- [13] Murrell, K., *Ergonomics*, Chapman and Hall, London, 1969.
- [14] Nag, P.K., "Endurance limits in different models of load holding", *Applied Ergonomics*, Vol. 22, pp. 185-188, 1991.
- [15] Putz-Anderson, V., and Galinsky, T.L., "Psychophysically determined work durations for limiting shoulder girdle fatigue from elevated manual work", *Int. J. of Industrial Ergonomics*, Vol. 11, pp. 19-28, 1993.
- [16] Shackel, B., Chidsey, K.D., and Shipley, P., "The assessment of chair comfort", *Ergonomics*, Vol. 12, pp. 269-306, 1969.
- [17] Zhang, L., Helander, M.G., and Drury, C.G., "Identifying factors of comfort and discomfort in sitting", *Human Factors*, Vol. 38(3), pp. 377-389, 1996.

---

97년 9월 최초 접수, 97년 10월 최종 수정