

선 자세에서의 인체 관절의 자각 불편도 측정

기도형*

Measurement on Perceived Human Body Joints Discomfort in the Standing Posture

Dohyung Kee

〈Abstract〉

In workplace design, an ergonomic solution should ensure low postural stress in the operator during his/her work. Stress caused by awkward working postures of the trunk, shoulders and legs can result in fatigue, discomfort, musculo-skeletal disorders and nerve entrapment syndromes. Since discomfort and musculo-skeletal disorders are both related to exposure to biomechanical load on the musculo-skeletal system, minimization of discomfort will contribute to reduction of the risk for musculo-skeletal disorders as well. Therefore, in this study, perceived discomfort on the human body joints was measured in the standing postures using the magnitude estimation in order to have a standardized numerical scale for joint discomfort. Nine healthy graduate students participated voluntarily in the laboratory study. The results revealed that perceived discomfort of all the joints increased as the joints deviated from neutral position. Especially, it showed drastic increment on perceived discomfort when deviation from neutral position in each human body joint increased from 75% to 100% in terms of relative range of motion(ROM). On the basis of these experimental results, a preliminary ranking for assessment of stressfulness of non-neutral postures around the human body joints was suggested.

1. 서 론

산업 현장에서 좋지 못한 자세는 근골격계 질환(musculo-skeletal disorders)의 주원인으로 알려져 있다 [3, 4, 14, 22]. 따라서, 인간공학적 관점에서 볼 때 가장 좋은 작업의 설계는 작업자에게 가해지는 자세로 인한 stress(postural stress)를 최소화하는 것이다. 부자연스러운 자세 혹은 좋지 못한 자세에 의하여 초래되는 몸통, 어깨, 다리의 stress로는 피로, 불편(discomfort), 근골격계 질환과 신경계 증상 등을 들 수 있다 [24]. Van Wely는 산업재해의 외과적 임상 자료로부터 나쁜 자세로 인하여 유발될 수 있는 통증과 같은 증상들이 나타날 수 있는 위치를 정리하여 제시하였다 [25]. 여러 연구자들에

의하면, 근골격계 질환과 인간이 느끼는 불편은 둘 다 생체역학적 부하(load)와 관련되어 있기 때문에, 불편의 감소는 근골격계 질환이 발생할 위험성을 감소시키는 것으로 알려져 있다 [7, 17, 18, 20, 21]. 그러므로, 작업 시에 작업자들이 취하는 다양한 자세가 건강에 미치는 부정적 영향을 이해하기 위해서는, 주어진 자세의 stress를 평가하거나 그것들의 ranking을 정하는 것이 필요하게 된다.

1976년에 Corlett과 Bishop이 postural discomfort 평가 방법을 제시한 이래로, 여러 연구자들이 postural discomfort를 측정, 연구하였다 [6]. 가장 일반적인 postural discomfort의 측정 방법으로는 인체를 나타내는 그림 위에 불편을 느끼는 부위를 나타내는 방법이다. 이 분야에 대한 대부분의 연구들은 이러

* 계명대학교 산업공학과

한 측정 방법을 이용하여 불편을 크게 느끼는 신체 부위의 파악에 관한 것들이었다. 그러나, 동작 자유도(degree of freedom) 간의 불편도와 그것들의 ranking을 제시하는 연구는 매우 드물며, Greandjean은 실험적 결과없이 등(back) 운동에서 side bending이 forward bending보다 stress가 크다고 보고하였다 [11]. Karhu et al.은 인간공학자들의 도움을 받아 작업자들의 등 운동의 관찰 결과를 토대로 rotation이 등의 bending보다 stress가 크다고 하였다 [13]. 최근 들어서는 인체 관절에서 일어날 수 있는 다양한 동작들을 불편도 관점에서 비교한 연구들이 몇 연구자들에 의하여 이루어지고 있다. Genaidy와 Karwowski는 인체 각 관절에서 일어날 수 있는 자유도의 동작을 최대 범위 (range of motion:ROM)까지 취할 때의 불편도를, 0-10까지의 11 point scale을 사용하여 측정 제시하여, 각 자유도에 대한 stress의 순서를 매긴 'ranking system for joint deviations'를 제시하였다 [8]. Genaidy et al.은 앉은 자세에서의 30개의 동작 자유도를 몇 개의 구간으로 나누어 - 예를 들어, 어깨 관절의 경우는 neutral, mild/moderate/severe elevations, extension과 adduction의 6개의 동작으로 나누었음- 주어진 자세를 1분간 유지할 때의 불편도를 측정하였다. 측정된 불편도는 각 자유도간, 관절별로 비교하였으며, 관절간의 불편도 비교에서는 목(neck)이 2점, 손목(wrist), 팔꿈치(elbow)와 lower back이 3점, shoulder가 7점으로 나타나, 어깨 관절에 관계된 동작이 큰 stress를 가지고 있음을 보였다 [9]. 또, Jung과 Choe는 reach posture를 예측하기 위한 기초 자료로 상지의 각 관절의 동작이 일어날 때의 불편도를 측정하여, 이를 예측할 수 있는 화귀식을 제시하였다 [12]. 여기서는 상지 관절의 불편도가 팔꿈치 - 어깨 - 손목 - hip의 순서로 크게 나타나, Genaidy와 Karwowski[8], Genaidy et al.[9]의 연구 결과와 차이를 보였다. 이상의 인체 관절의 불편도에 관한 연구들은 인간이 취할 수 있는 다양한 자유도의 동작을 포함하지 못하고 있으며, 주어진 동작 자유도의 전 범위가 아닌 제한된 동작 범위에 대해서만 불편도를 측정하여 인체 동작에서의 일반적인 불편도를 제시하지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 위와 같은 기존 연구의 문제점을 극복하고 인체 관절에서 일어나는 다양한 자유도의 동작이 가지는 불편도를 측정하기 위하여, 각 동작 자유도의 최대 동작범위의 0%(neutral), 25%, 50%, 75%, 100%(각 피실험자의 ROM)의 5 수준에 대한 불편도를 측정하여, 동작 수준에 따른 불편도의 경향을 제시하고자 한다. 그리고, 측정된 불편도를 바탕으로 각 관절 내에서의 자유도간, 관절간 불편도의 비교를 수

행하여, 그것들의 상대적 부하의 크기에 대한 ranking을 제시한다.

2. 불편도 측정

2.1 피실험자

본 연구의 불편도 측정에는 과거에 근골격계 질환의 경력이 없는 9명의 대학원 학생이 참여하였으며, 이들의 연령은 27.7 ± 1.6 세이고, 신장은 172.2 ± 5.6 cm였으며, 체중은 68.4 ± 9.0 kg을 보였다.

2.2 실험계획

본 연구에서는 서론에서 언급한 바와 같이 인간이 취할 수 있는 다양한 동작 자유도의 수준에 따른 지각 불편도를 측정한다. 포함되는 관절과 지각 불편도를 측정할 관절별 동작 자유도는 다음과 같다.

손목 : 굴곡, 신전, 요골편향(radial deviation), 측골편향(ulnar deviation)

팔꿈치 : 굴곡, pronation, supination

어깨 : 굴곡, 신전, 내전, 외전, 내선, 외선

목 : 굴곡, 신전, lateral bending, rotation

등 : 굴곡, lateral bending, rotation

hip : 굴곡, 신전, 내전, 외전, 내선, 외선

무릎 : 굴곡

발목 : 굴곡, 신전, 내전, 외전

위의 32개 각 동작 자유도 ROM의 0%(neutral), 25%, 50%, 75%, 100%(ROM)의 자세를 취할 때의 지각 불편도를 magnitude estimation의 NE(numerical estimation)를 통하여 측정하였다. 여기서, 25%, 50%, 75% 수준은 실험에 참여한 9명의 피실험자의 ROM의 평균값에 대한 백분율이며, 100% 수준에서는 각 피실험자의 ROM을 그대로 사용하였다.

2.2 실험절차

본 연구에서의 불편도 측정은 크게 3단계로 구성되어 있으며, 이는 피실험자 calibration test를 위한 예비실험, 본 연구에서 측정하고자 하는 동작 자유도에 대한 피실험자의 ROM 측정실험과 각 자유도의 불편도를 측정하는 본 실험으로 구성되

어 있다.

본 연구에서는 피실험자의 주관적 불편의 정도를 magnitude estimation을 이용하여 측정하고자 하며, 이는 정신물리학적 (psychophysical) 방법 중 가장 많이 사용되고 있는 category scaling에 비하여 피실험자의 주관적 판단을 잘 표현할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 이 방법을 사용하기 위해서는 피실험자가 magnitude estimation을 수행할 능력이 있는 지를 먼저 확인하는 절차가 요구된다 [2,10]. 이를 위하여 본 연구에서는 calibration test를 수행하였으며, 이는 magnitude estimation에 적합하지 않은, 즉 magnitude estimation을 제대로 수행할 능력이 없는 피실험자를 filtering하는 과정이다. 본 연구에서는 불편도의 측정을 위하여 magnitude estimation의 2가지 표현방식- NE와 LP(line production)- 중 NE를 사용하기 때문에, calibration test에서 피실험자에게 일정 길이의 선을 제시하고 이의 길이를 수치로 답하게 하였다. 여기서, NE는 주어진 선의 길이를 수치로 답하게 하고, LP는 주어진 수치의 크기에 해당하는 선을 그리게 하는 표현 방식이다. Stevens에 의하면 magnitude estimation을 통하여 측정된 자극의 세기에 대한 인지강도는 멱함수(power function)로 나타지는 것으로 알려져 있다 [2,23]. 그리고, Lodge는 제시한 선의 길이 자극과 피실험자가 응답한 NE의 크기를 log 변환한 후, 선형 회귀분석을 수행하면 기울기가 1에 근접함을 보였다 [2,16]. 따라서, 본 연구에서는 다음과 식 (1)과 같이 제시된 길이에 대한 인지 강도를 최대값으로 나눈 백분율 값과 선의 길이를 log변환한 다음, 선형회귀식을 구했을 때 기울기(b)가 유의수준 1%에서 1.0을 포함하는 피실험자를 선정하였다. 기울기에 1.0을 포함하지 않는 피실험자는 magnitude estimation을 수행할 능력이 부족한 것으로 판단되므로 제외하였다.

$$\log(\text{NE}/\text{max}_{\text{NE}}) = b \cdot \log(\text{ST}/\text{max}_{\text{ST}}) + k \quad (1)$$

여기서, ST : 제시된 선의 길이,

max_{ST} : ST 중 최대값,

NE : ST에 대한 피실험자의 응답,

max_{NE} : NE 중 최대값, k : 상수

다음으로, calibration test를 통과한 피실험자에 대하여 본 연구에서 불편도를 측정하고자 하는 자유도에 대한 ROM을 측정하였다. 손목, 팔꿈치, 목, hip, 무릎과 발목에 대한 동작의 측정 방법은 Murrell이 제시한 방법을 따랐으며 [19], 어깨 동작의 측정 방법은 Chaffin과 Andersson, Kroemer et al.이 제

시한 방법을 [5,15], 등(back)의 동작은 기도형이 제시한 측정 방법을 인용하였다 [1]. 측정은 발목 관절의 동작을 측정할 수 있도록 약 20cm 높이의 평평한 판 위에 피실험자가 똑바로 서있는 자세에서 이루어졌다.

마지막으로, 위에서 측정된 ROM의 정하여진 수준에 대하여 각 자유도의 불편도를 magnitude estimation의 NE를 통하여 측정하였다. magnitude estimation에는 피실험자의 응답 방식으로 초기 기준을 제시하는 modulus method와 초기 기준을 제시하지 않는 free modulus 방법이 있으나, 본 연구에서는 피실험자 자신의 scale로 자유롭게 응답하게 하는 free modulus 방법을 채택하였다. 하나의 동작 자유도 수준에 대한 지각 불편도를 측정할 때, 다른 동작 자유도들은 모두 중립(neutral) 자세를 취하도록 하였다. 총 측정된 자세의 수는 134개이며, 측정된 134개의 자세를 난수표를 이용하여 완전히 randomize한 다음, 이 순서에 따라 4일간에 나누어 측정하였다. 측정 방법은 실험자가 피실험자에게 goniometer를 이용하여 주어진 자세를 취하게 한 다음, 피실험자로 하여금 이 자세를 1분간 유지하게 한 후에, magnitude estimation 중 free modulus method로 불편도를 스스로 기록하게 하였다. 1 session의 측정에 약 2시간이 소요되어 ROM과 모든 자세에 대한 불편도 측정에는 피실험자당 약 10시간이 소요되었다.

3. 결 과

본 연구에서는 magnitude estimation으로 불편도에 대한 응답을 하게 할 때, free modulus method를 사용하였기 때문에 각 피실험자별로 사용한 scale이 다르게 된다. 따라서 결과의 분석 시에 피실험자의 불편도를 일정 기준을 이용하여 변환을 하여, 같은 scale을 가지도록 하여야 불편도의 상호 비교가 가능하게 된다. 본 연구에서는 다음 식과 같이 각 피실험자별로 최대 불편도에 대한 상대적인 불편도로 변환하여, 이 상대적인 불편도를 분석에 사용한다.

$$\text{Relative discomfort}_{jk} = \text{discomfort}_{jk} / \text{discomfort}_{\text{max},jk}$$

여기서 i = 자유도, j = 동작의 수준, k = 피실험자,

relative discomfort_{jk} = 피실험자 k의 i 번째 동작 자유도의 j번째 수준의 상대적 불편도,

discomfort_{jk} = 피실험자 k의 i 번째 동작 자유도의 j번째 수준의 측정된 불편도,

discomfort_{max,k} = 피실험자 k의 측정된 불편도 중 최대값.

각 피실험자별로 측정된 불편도를 위에서 제시한 식을 이용하여 변환한 다음, 9명의 피실험자의 불편도에 대한 기하평균을 대표값으로 분석에 사용하였다.

3.1 분산분석

인체 관절에서의 지각 불편도 측정의 독립 변수로 선정한 인체 관절, 동작 자유도와 동작의 수준에 대한 분산분석 결과는 다음 표 1과 같다. 표에서 보는 바와 같이, 위의 3 변수 모두가 유의수준 1%에서 통계적으로 유의한 것으로 나타나, 지각 불편도는 관절뿐만 아니라 한 관절 내에서도 동작 자유도와 동작 수준에 따라 차이가 있음을 보이고 있다. 여기서 동작 자유도는 관절에 중첩된(nested) 변수로 가정한다.

<표 1> 분산분석 결과

요 인	자유도	F value	P value
관 절	7	37.8	0.000*
동작 자유도(관절)	24	2.2	0.003*
동작의 수준	4	168.9	0.000*

* : significant at $\alpha=0.01$

3.2 손목 관절의 불편도

손목 관절의 각 자유도에 대한 9명의 피실험자의 지각 불편도의 기하평균값의 경향은 다음 <그림 1>에 제시되어 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 중립 자세에서 ROM의 75%까지 거의 선형적으로 완만하게 증가하다가, 75%에서 100%로 동작의 수준이 증가하면 불편도가 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 증가 경향의 추이를 보이기 위하여 회귀식을 그림에 병기하였다. 손목 관절에서 불편도를 측정할 굴곡, 신전, 요골편향과 측골편향 등의 4 자유도간의 불편도의 크기를 비교하기 위하여, 다음과 같이 상대적 불편도 지수(relative discomfort index)를 정의하였다. 이는 각 동작 자유도에서 동작 수준에 따른 불편도의 합을 중립 자세(neutral position)로부터 움직인 양의 합으로 나눈, 각 동작 자유도에서의 단위 동작에 대한 불편도 수준을 나타낸다.

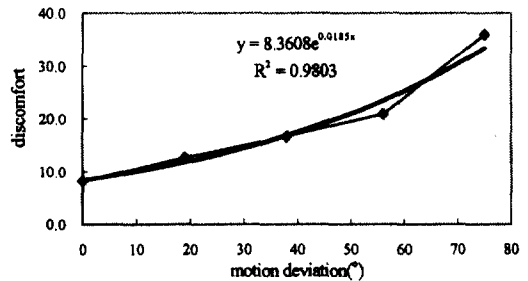
Relative discomfort index,

$$= \sum_{i=1}^N \text{relative discomfort}_i / (0.25 + 0.50 + 0.75 + 1.0)ROM_i$$

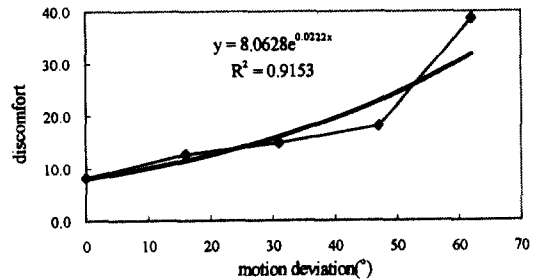
$$= \sum_{i=1}^N \text{relative discomfort}_i / 2.5*ROM_i$$

여기서, i = 동작의 수준, j = j 번째 자유도, N = 수준의 수, $\text{relative discomfort}_i$ = j 번째 자유도의 i 번째 동작 수준의 9명 피실험자에 대한 불편도의 기하평균.

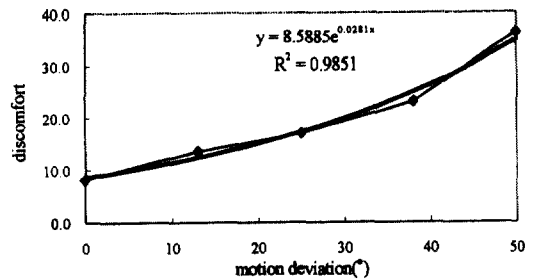
위의 식을 이용하여 각 자유도에 대한 상대적 불편도 지수를 계산하여, 이를 각 자유도에서의 불편도라 가정하고 자유도간의 불편도 비교를 수행하였다. 각 자유도별 상대적 불편도 지수는 다음 <그림 2>에 나와 있으며, 그림에서 보는 바와



(a) 굴곡

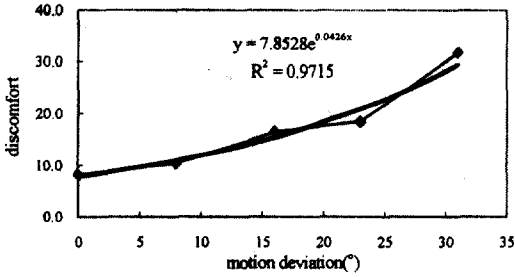


(b) 신전



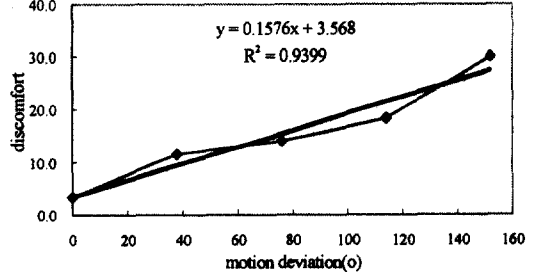
(c) 요골편향

<그림 1> 손목 관절의 불편도

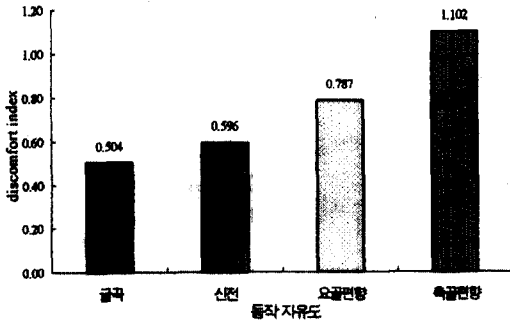


(d) 측골편향

〈그림 1〉 손목 관절의 불편도 (계속)

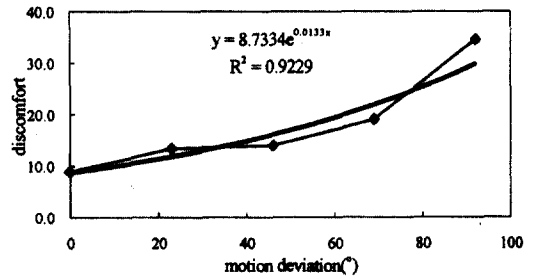


(a) 굴곡

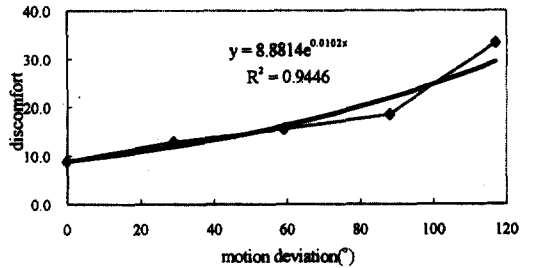


〈그림 2〉 손목 관절의 동작 자유도간 불편도 비교

같이 굴곡-신전-요골편향-측골편향의 순서로 불편도가 크게 나타나, 측골편향의 부하가 가장 큼을 볼 수 있다. 측골편향의 불편도가 굴곡과 신전에 비하여 통계적으로 유의하게 크게 나타났다(p < 0.05, p < 0.10), 요골편향과는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 굴곡, 신전, 요골편향간의 불편도는 유의한 차이를 보이지 않았다.



(b) pronation

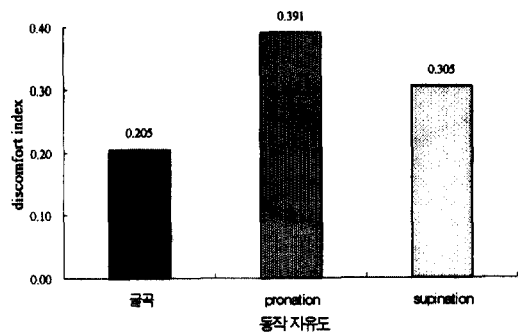


(c) supination

〈그림 3〉 팔꿈치 관절의 불편도

3.3 팔꿈치 관절의 불편도

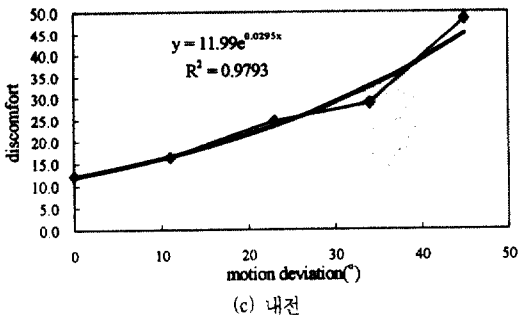
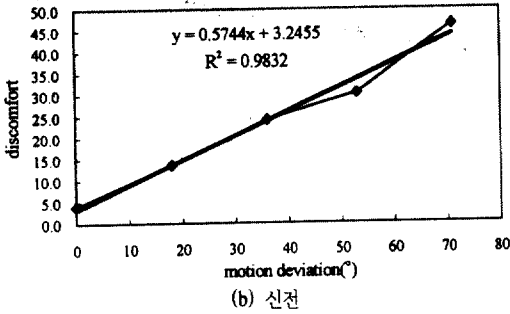
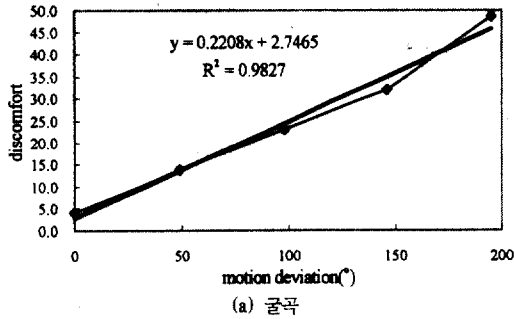
팔꿈치 관절에서의 3 자유도 동작에 대한 불편도는 다음 〈그림 3〉에 나와 있으며, 서로 비슷한 증가 추세를 보이고 있다. 팔꿈치 관절의 동작 자유도의 상대적 불편도 지수는 다음 〈그림 4〉에 제시되어 있으며, 굴곡-supination-pronation의 순서로 불편도가 크게 나타났다. 그러나, 통계적으로는 pronation만 굴곡보다 유의하게 불편도가 큰 것으로 분석되었으며, pronation과 supination, supination과 굴곡간에는 통계적 유의차를 보이지 않았다. 그리고, 전반적으로 각 자유도의 불편도의 수준은 낮게 나타났다.



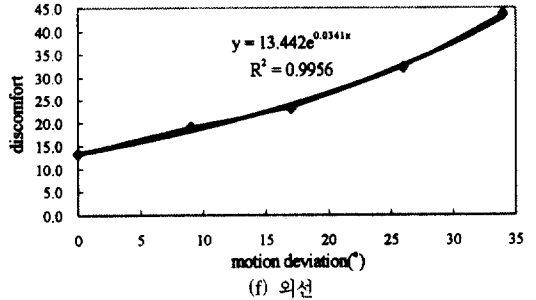
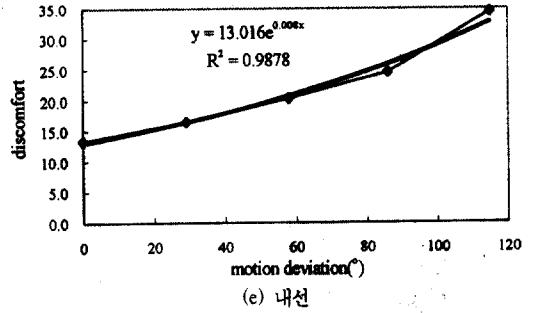
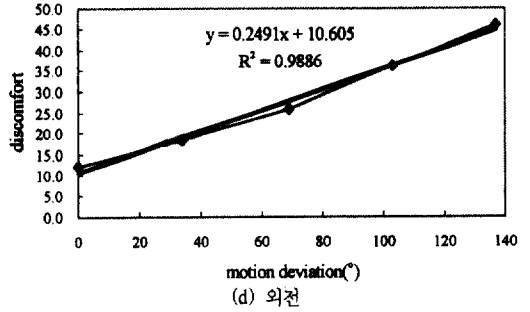
〈그림 4〉 팔꿈치 관절의 동작 자유도간 불편도 비교

3.4 어깨 관절의 불편도

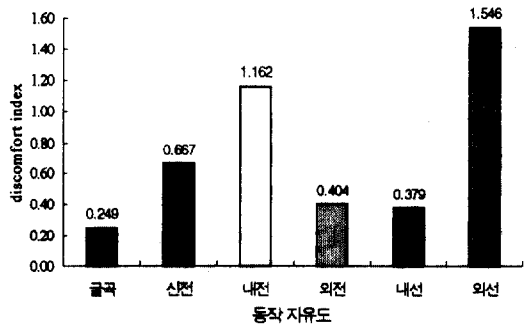
어깨 관절에서 각 자유도의 불편도 측정 결과는 다음 <그림 5>에 제시되어 있으며, 모든 자유도에서 동작의 수준이 증가함에 따라 지각 불편도가 선형적 혹은 지수함수 형태로 증가함을 보이고 있다. 굴곡과 신전에서 다른 자유도에 비하여 동작 수준에 따른 불편도 증가의 기울기가 크게 나타났다. 어깨 관절에서의 자유도간 상대적 불편도 지수는 <그림 6>에 나와 있으며, 불편도의 크기는 외전에서 가장 크게 나타났으며, 다음으로 내전, 신전의 순서로 나타났으며, 외전, 내전과 굴곡은 불편도가 비슷한 수준으로 나타났다. 내전과 외전의 불편도가 다른 자유도의 불편도에 비하여 유의수준 5%에서 유의하게 크게 신전의 불편



<그림 5> 어깨 관절의 불편도



<그림 5> 어깨 관절의 불편도 (계속)

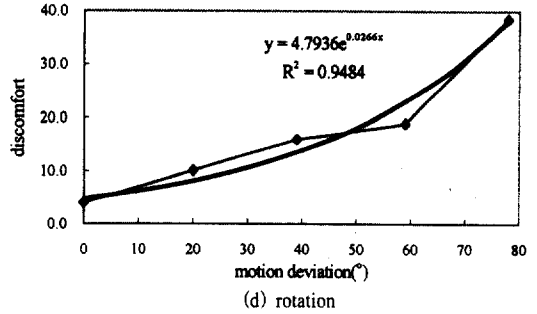


<그림 6> 어깨 관절의 동작 자유도간 불편도 비교

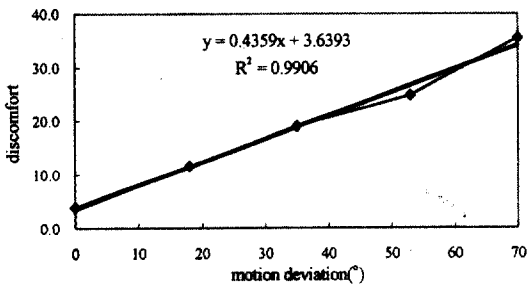
도가 나타났고, 굴곡에 비하여 유의한 차이를 보였으며(p < 0.05), 이외의 자유도간의 불편도는 통계적 유의차를 보이지 않았다.

3.5 목(neck) 관절의 불편도

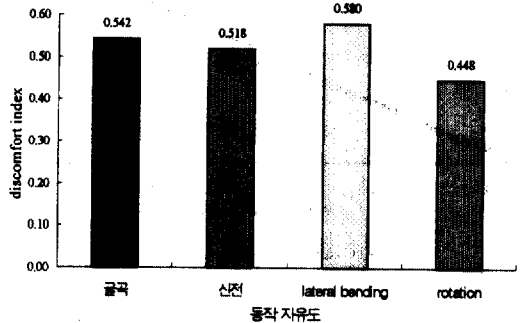
목 관절에서는 head goniometer를 이용하여 각 자유도의 각도를 측정하여 주어진 자세를 유지하도록 하였다. 굴곡과 신전, lateral bending에서는 불편도가 동작의 수준이 증가함에 따라 선형적 혹은 지수함수 형태로 증가하는 것으로 나타났으나, rotation에서는 75%까지는 선형적으로 완만한 증가 추세를 보이다가 75%에서 100% 사이에서 급격한 증가 추세를 보였다(그림 7). 목 관절의 동작 자유도간 불편도의 크기는 rotation-신전-굴곡-lateral bending의 순서로 크게 나타났으나, 자유도간에 통계적 유의차는 보이지 않았다.



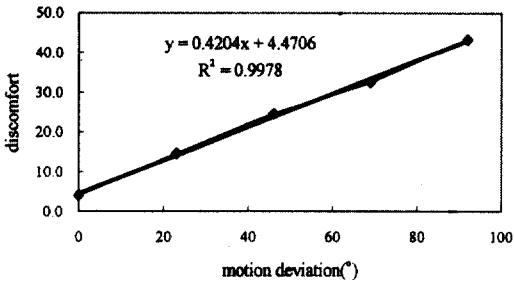
(d) rotation
〈그림 7〉 목 관절의 불편도 (계속)



(a) 굴곡



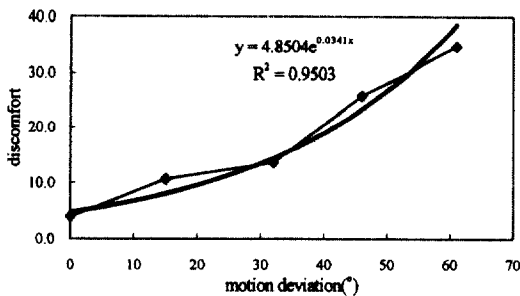
〈그림 8〉 목 관절의 동작 자유도간 불편도 비교



(b) 신전

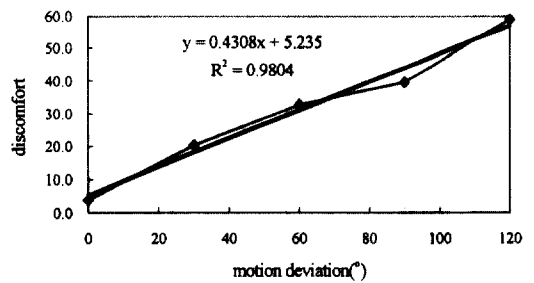
3.6 등(back)의 불편도

본 연구에서는 등, 즉 몸통(trunk) 동작의 기준을 L5/S1으로 가정하고, 굴곡, lateral bending과 rotation의 13개의 자세에 대한 불편도를 측정하였다. 동작의 수준에 따른 각 자유도의 지각 불편도는 다음(그림 9)에 나와 있으며, 위의 4 자유도 동작 모두에서 지각 불편도가 동작의 수준이 증가함에 따라 선형적 혹은 지수함수 형태로 증가하는 추세를 보이고 있다. 등 관절에서 일어나는 4 자유도의 상대적 불편도 지수는 다음(그림 7)



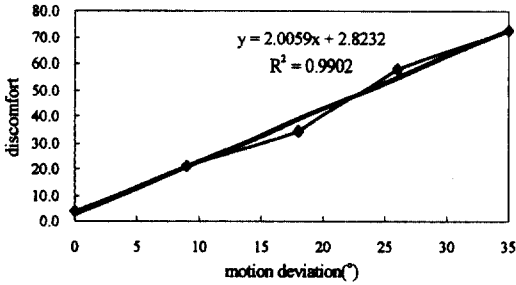
(c) lateral bending

〈그림 7〉 목 관절의 불편도

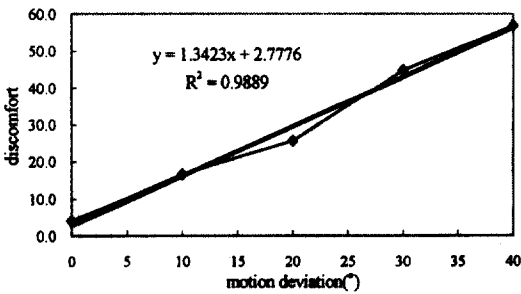


(a) 굴곡

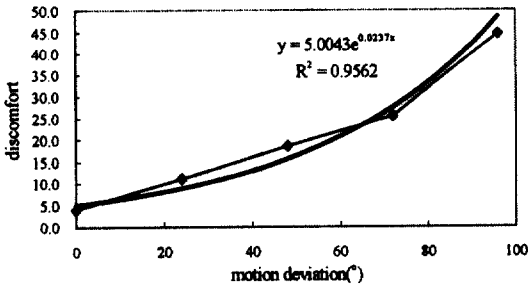
〈그림 9〉 등의 불편도



(b) 신전

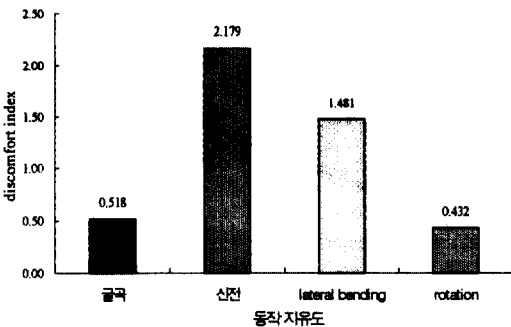


(c) lateral bending



(d) rotation

<그림 9> 등의 불편도 (계속)

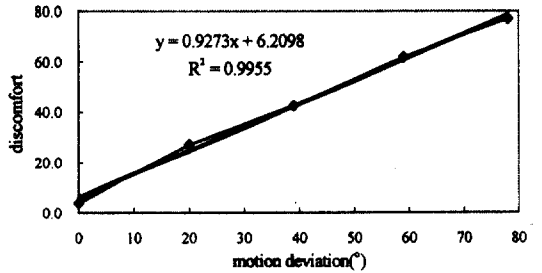


<그림 10> 등 관절의 동작 자유도간 불편도 비교

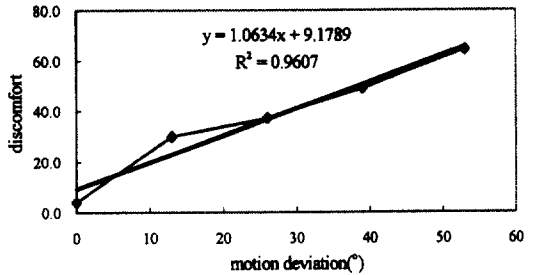
림 10)에 나와 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 자유도간에 큰 차이를 보이고 있으며, 신전의 불편도가 가장 큼을 볼 수 있다. lateral bending과 신전의 불편도가 rotation과 굴곡의 불편도에 비하여 유의수준 5%에서 더 큰 것으로 나타났다.

3.7 hip 관절의 불편도

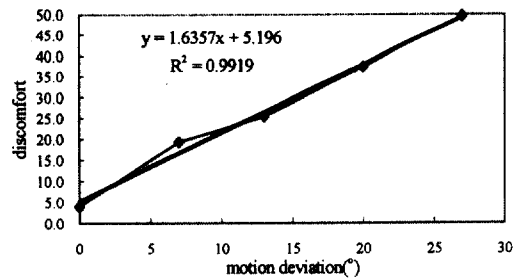
hip 관절에 대한 불편도는 <그림 11>에 나와 있으며, 다른 관절의 동작에 비하여 동작의 수준이 증가함에 따른 불편도의 증가 기울기가 급한 것으로 나타났다. 따라서, 다른 관절에 비하여 단위 동작에 대한 불편도가 크다고 할 수 있다. 동작의



(a) 굴곡

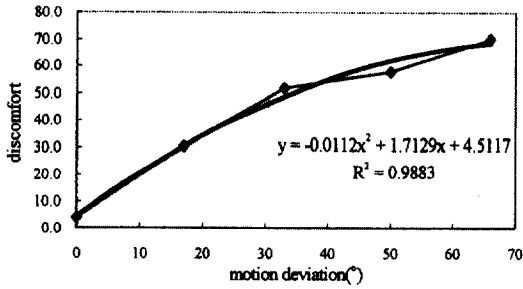


(b) 신전

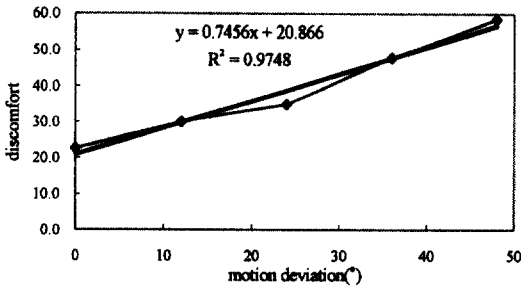


(c) 내전

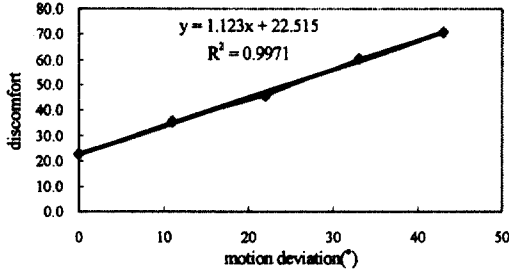
<그림 11> hip 관절의 불편도



(d) 외전



(e) 내전



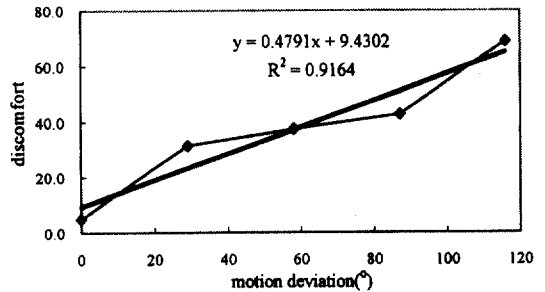
(f) 외전

〈그림 11〉 hip 관절의 불편도 (계속)

수준에 따른 불편도의 증가 경향은 거의 선형적 추세를 보였다. hip 관절의 자유도간 불편도는 외전에서 가장 크게 나타났으며, 다음으로 내전-내전-신전-외전-굴곡의 순서로 불편도가 작아짐을 보이고 있다(그림 12). 그러나, 외전의 불편도가 굴곡과 외전의 불편도에 비하여 통계적으로 유의하게 크게 나타났으며($p < 0.05$), 이외의 자유도간 불편도는 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.8 무릎 관절의 불편도

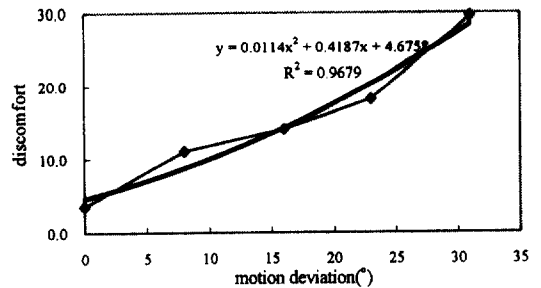
무릎 관절에서의 불편도 측정 결과는 다음 그림 13에 나와 있으며, 지각 불편도는 동작 수준에 따라 크게 3 구간으로 0%-25%, 25-75%, 75%-100% 나누어질 수 있음을 알 수 있다. 전체적으로는 동작 수준이 증가함에 따라 불편도가 선형적 추세를 따라 증가함을 나타내고 있다.



〈그림 13〉 무릎 관절의 불편도

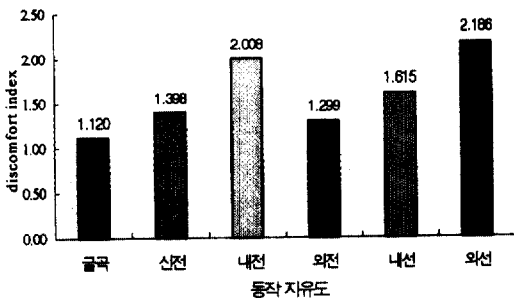
3.9 발목 관절의 불편도

발목 관절에서의 4 자유도 모두에서 불편도는 동작의 수준이 증가함에 따라 선형적 혹은 지수함수 형태의 증가 추세를

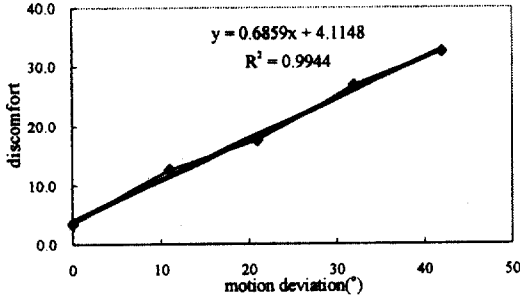


(a) 굴곡

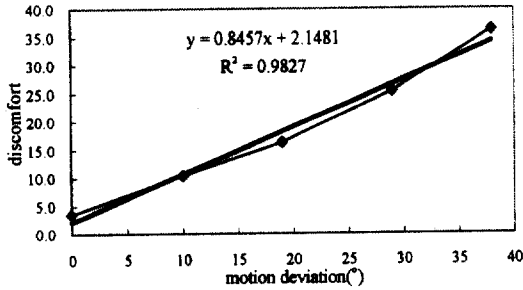
〈그림 14〉 발목 관절의 불편도



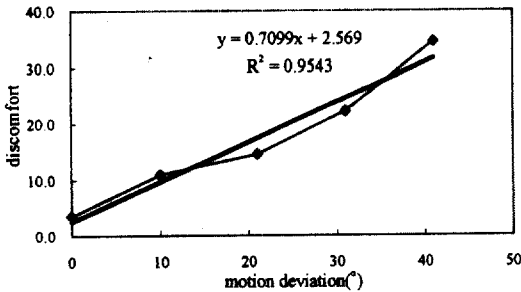
〈그림 12〉 hip 관절의 동작 자유도간 불편도 비교



(b) 신전



(c) 내전



(d) 외전

〈그림 14〉 발목 관절의 불편도 (계속)

보이고 있다(그림 14). 동작의 불편도는 굴곡에서 가장 크게 나타났으며, 신전, 내전, 외전은 불편도의 크기가 비슷하게 나타났다(그림 15). 그러나, 자유간 불편도는 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.10 관절간의 불편도 비교

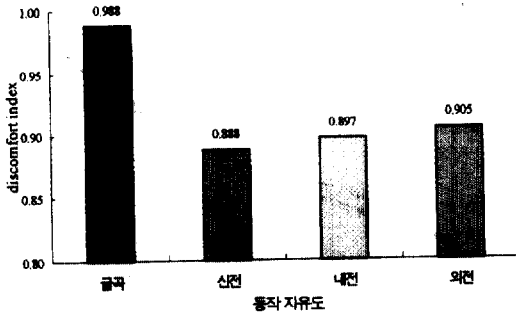
본 연구에서 불편도를 측정한 8개 관절 -팔목, 팔꿈치, 어깨, 목, 등, hip, 무릎, 발목-간의 불편도 관점에서의 부하를 평가하기 위하여, 다음과 같이 관절 불편도 지수(joint discomfort index)를 정의하여 사용하였다.

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

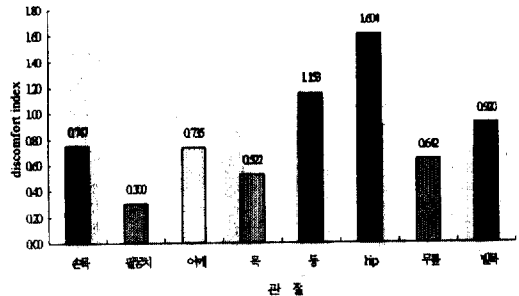
여기서 i = i번째 자유도, j = j번째 관절,

N = 각 관절에서 불편도 측정에 포함된 자유도의 수.

위의 식을 이용하여 계산한 본 연구에서 불편도를 측정한 관절의 관절 불편도 지수는 다음 〈그림 16〉에 나와 있으며, hip 관절의 불편도가 가장 큰 것으로 나타났다. 다음으로 등 - 발목 - 손목 - 어깨 - 무릎 - 목 - 팔꿈치의 순서로 불편도가 작아짐을 보였다. 상지에서는 등, 즉 LS/S1에서의 불편도가 가장 크고, 하지에서는 hip 관절의 불편도가 크게 나타나 hip에 관련된 관절의 불편도가 큼을 나타냈다. hip 관절의 불편도는 등을 제외한 모든 관절의 불편도보다 유의하게 크게 나타났으며 (p < 0.05), 팔꿈치 관절은 다른 모든 관절들에 비하여 불편도가 작게 나타나 (p < 0.05), 팔꿈치 동작의 부하가 본 연구의 측정 대상 관절 중에서 부하가 가장 작음을 보였다.



〈그림 15〉 발목 관절의 동작 자유도간 불편도 비교



〈그림 16〉 관절간의 불편도 비교

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 인체 각 관절에서 일어날 수 있는 다양한 동작 자유도에 대한 불편도를 magnitude estimation을 이용하여 측정, 제시하였다. 이는 동작 자유도의 ROM 혹은 postural classification scheme에 따른 제한된 범위의 동작이 일어날 때의 불편도를 측정한 기존의 연구 결과에 비하여, 각 자유도의 전 동작범위의 동작 불편도에 대한 좀 더 일반적인 결과를 제시한 것이라 할 수 있다. 위의 결과에서 살펴 본 바와 같이 대부분의 자유도 동작에서 ROM의 75%까지는 불편도가 완만하게 증가하다가, 75%에서 100%(ROM)로 동작 수준이 증가하면 불편도가 급격하게 증가함을 보였다. 이는 작업 자세에서 ROM에 가까운 동작은 큰 불편도를 발생시켜, 상해를 유발할 가능성이 높음을 의미한다. 따라서, 작업장의 설계시에 이러한 자세의 동작이 일어나지 않도록 설계하여야 함을 알 수 있다.

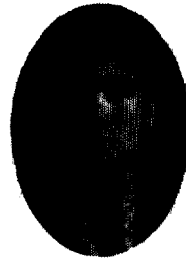
측정된 불편도를 바탕으로 불편도를 측정된 각 관절 내에서 자유도간, 관절간의 불편도를 비교하여 상대적 부하의 크기를 제시하였다. 본 연구에서 제시한 불편도의 크기에 대한 ranking은 Grandjean, Karhu et al., Genaidy와 Karwowski, Genaidy et al. 등의 기존 연구 결과와 차이를 보이고 있다 [8,9,11,13]. 예를 들어, Karhu et al.은 등(back)에서 rotation의 부하가 [13], Grandjean은 lateral bending의 stress가 가장 크다고 하였으나 [11], 본 연구에서는 신전의 부하가 가장 크며, rotation은 측정된 4 자유도 중 가장 불편도가 가장 작은 것으로 나타났다. 그리고, Genaidy et al.에 의하면 관절간의 불편도 크기가 손목 - 팔꿈치 - 등 - 어깨의 순서로 큰 것으로 제시하고 있으나 [9], 본 연구에서는 상지의 경우만을 보면 팔꿈치 - 어깨 - 손목 - 등의 순서로 나타나 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 불편도 측정 자세의 정의, 측정 시간, 불편도 측정 방법 등의 차이로 인한 것이기도 하지만, 이것보다는 기존의 연구에서는 각 자유도의 ROM을 고려하지 않고 단순히 동작의 각 수준에서의 불편도의 평균치로만 ranking을 정하고, Grandjean과 Karhu et al.의 ranking은 구체적 실험 결과에 근거하지 않았기 때문으로 생각된다. 즉, 어깨 관절이 가장 크게 나타난 것은 어깨의 ROM이 매우 크기 때문에 이의 동작을 최대한 하면 불편도가 다른 관절에 비하여 상대적으로 크게 나타나게 된다. 그러나, 어깨를 다른 관절, 예를 들어 팔꿈치와 같은 각도만큼만 움직인다면 불편도 크기의 순서는 달라질 것이다. 그리고, 불편도 자료를 자세의 예측 등에 사용하기 위해서는 각 자유도의 ROM을 고려한 단위 동작의 불편도가 요

구될 것이므로, 기존의 ROM을 고려하지 않은 관절간 불편도 ranking은 본 연구에서와 같이 ROM을 고려한 단위 동작에 대한 불편도로 수정되어야 할 것으로 생각된다.

【참고 문헌】

- [1] 기도형, "작업영역의 해석적 생성을 위한 2자유도 동작의 동작범위 측정", 대한인간공학회지, Vol. 15, No. 2, 1996, pp. 15-24.
- [2] 한성호, 정의승, 정무영, 박성준, 박지영, 최필성, "Magnitude estimation 기법을 이용한 설계 대안의 평가", 대한인간공학회지, Vol. 12, No. 2, 1993, pp. 3-13.
- [3] Aaras, A., Westgaard, R.H., and Stranden, E., "Postural angles as an indicator of postural load and muscular injury in occupational work situations", Ergonomics, Vol. 31, 1988, pp. 915-933.
- [4] Burdorf, A., Govaert, G., and Elders, L., "Postural load and back pain of workers in the manufacturing of prefabricated concrete elements", Ergonomics, Vol. 34, 1991, pp. 909-918.
- [5] Chaffin, D.B., and Andersson, G.B.J., Occupational Biomechanics, 2nd ed, John Wiley & Sons Inc., New York, 1991.
- [6] Corlett, E.N., and Bishop, R.P., "A technique for assessing postural discomfort", Ergonomics, Vol. 19, 1976, pp. 175-182.
- [7] 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, 1994, pp. 807-815.
- [8] 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, 1993, pp. 785-792.
- [9] Genaidy, A., 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), 1995, pp. 1851-1858.
- [10] Gescheider, G.A., Psychophysics: method, theory, and application, 2nd Ed., Lawrence Erlbaum Associates,

- London, 1985.
- [11] Grandjean, E., Fitting the Task to the Man: A Textbook of Occupational Ergonomics, 4th ed., Taylor and Francis, London, 1988.
- [12] Jung, E.S., and Choe, J., "Human reach posture prediction based on psychophysical discomfort", Int. Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 18, 1996, pp. 173-179.
- [13] Karhu, O., Kansi, P., and Kuorinka, I., "Correcting working postures in industry: A practical method for analysis", Applied Ergonomics, Vol. 8, 1977, pp. 199-201.
- [14] Keyserling, W.M., Punnett, L., and Fine, L.J., "Trunk posture and back pain: identification and control of occupational risk factors", Applied Industrial Hygiene, Vol. 3, 1988, pp. 87-92.
- [15] Kroemer, K., Kroemer, H., and Kroemer-Elbert, K., Ergonomics : How to Design for Ease & Efficiency, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
- [16] Lodge, M., Magnitude estimation : Quantitative measurement of opinions, Beverly Hills, CA:Sage, 1981.
- [17] Miedema, M.C., Douwes, M., and Dul, J., "Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures", Int. Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 19, 1997, pp. 9-18.
- [18] Milner, N., Modelling fatigue and recovery in static postural exercise, Ph.D. thesis, University of Nottingham, Nottingham, 1985.
- [19] Murrell, K., Ergonomics, Chapman and Hall, London, 1969.
- [20] Nag, P.K., "Endurance limits in different models of load holding", Applied Ergonomics, Vol. 22, 1991, pp. 185-188.
- [21] Putz-Anderson, V., and Galinsky, T.L., "Psychophysically determined work durations for limiting shoulder girdle fatigue from elevated manual work", Int. Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 11, 1993, pp. 19-28.
- [22] Ryan, G.A., "Musculo-skeletal symptoms in supermarket workers", Ergonomics, Vol. 32, 1989, pp. 359-371.
- [23] Srevens, J.C., Mack, J.D., and Stevens, S.S., "Growth of sensation on seven continua as measured by force of handgrip", J. of Experimental Psychology, Vol. 59, 1960, pp. 60-67.
- [24] Swat, K., and Krzychowicz, G., "ERGONOM : Computer-aided working posture analysis system for workplace designers", Int. Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 18, 1996, pp. 15-26.
- [25] Van Wely, P., "Design and disease", Applied Ergonomics, Vol. 1, 1969, pp. 262-269.



기도형

1987년 서울대학교 산업공학과
(학사)

1989년 서울대학교 산업공학과
(석사)

1993년 포항공과대학교 산업공학과
(박사)

현재 계명대학교 산업공학과
조교수

관심분야 시각영역 및 탐색, reach
posture 예측 알고리즘,
postural classification scheme,
산업안전

97년 6월 최초 접수, 97년 9월 최종 수정