

인체 관절 동작의 지각 불편도 Ranking

기도형, 신승헌, 김형수

계명대학교 산업공학과

ABSTRACT

The purpose of this study is to measure perceived joint discomfort in the seated and standing position, and to provide a ranking system of joint discomfort measured in this study. Seven male subjects with no history of musculo-skeletal disorders participated in the experiment. Their physical characteristics were : age - 27.6 ± 1.8 years, stature - 171.0 ± 5.5 cm, and body weight - 66.4 ± 9.3 kg. The results showed that perceived joint discomfort was different depending on the human body joints involved in motion and their movement directions, which imply that the human body motions should be classified into several distinct classes that need to be assigned different weights of postural stress. In the seated position, the hip movement was the most stressful, the back was the second, and the shoulder was the third. Similarly, in standing postures, the hip was given the highest ranking, followed by the back, and the wrist.

1. 서 론

인체의 관절에서 일어나는 동작에서 느껴지는 불편의 감소는 근골격계 질환이 발생할 위험성을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다 [1, 6, 7, 8]. 인간이 느끼는 불편의 정도는 자세에 따라 다르며, 부적절하거나 거북한 자세에서 불편이 크게 느껴진다는 것이 경험적으로 알려져 있다. 그러나, 이러한 불편의 측정 방법은 정신물리학적 방법이 주로 사용되고 있으며, 자세에 따른 생리적 부하나 불편의 정도에 따라 자세를 분류하는 *postural classification scheme* 은 1997년에 Kahru et al.이 OWAS(Ovako Working Postures Analysing System)를 개발한 이래로 여러 종류의 *system* 이 발표되어 있다 [8]. 인체 관절 동작에서의 불편도에 대한 연구로는 Genaidy 와 Karwowski(1993), Genaidy et al.(1995)에 의한 연구를 들 수 있으나, 이들은 제한된 동작에서의 불편도를 측정하여 제시하였다 [2,3].

따라서, 본 연구에서는 인체 관절에서 일어날 수 있는 대부분의 자유도에 대하여 동작의 전 범위(*range of motion:ROM*)에 대한 불편도를 측정, 제시하고자 한다. 불편의 측정은 앉은 자세와 선 자세를 포함하며, 측정된 불편도를 바탕으로 각 자세에서의 자유도간의 불편도의 크기에 따른 *ranking* 을 제시한다.

2. 실험 방법

2.1 피실험자

본 연구의 인체 관절의 불편도 측정에는 과거에 근골격계 질환의 경험의 없는 건강한

7명의 남자 대학원 학생이 참여 하였다. 이들의 연령은 27.6 ± 1.8 세, 신장은 171.0 ± 5.5 cm, 체중은 66.4 ± 9.3 kg 을 보였다.

2.2 측정 대상 및 방법

본 연구에서는 앉은 자세와 선 자세에서 인체 각 관절 -손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 등, hip- 에서 일어나는 자유도 동작에 대한 불편도를 측정하였다. 인체 관절의 동작 시에 느껴지는 불편의 정도를 정신물리학적(psychophysical) 방법의 하나인 magnitude estimation 을 이용하여 측정한다. 피실험자의 주관적 판단을 측정할 때 많이 사용되는 정신물리학적 방법의 하나인 category scaling 에 비하여, magnitude estimation 은 피실험자의 주관적 판단을 잘 표현할 수 있고, 비율 척도(ratio scale)로 반응을 나타내므로 결과에 대한 다양한 통계적 처리가 가능한 장점이 있다.

불편도의 측정은 크게 3 단계로 구성되어 있으며, 첫 단계인 calibration test 에서는 magnitude estimation 을 통하여 주관적 판단을 제대로 수행하지 못하는 피실험자를 filtering 하였다. 두 번째 단계에서는 calibration test 를 통과한 피실험자에 대하여 위의 표 1 에 나와 있는 자유도에 대한 동작범위(range of motion)을 측정하였다. 세 번째 단계에서는 측정된 피실험자들의 동작범위의 평균의 0%(중립자세), 25%, 50%, 75%, 100%(ROM)에서 앉은 자세와 선 자세에서의 피실험자의 불편도를 측정하였다.

3. 결 과

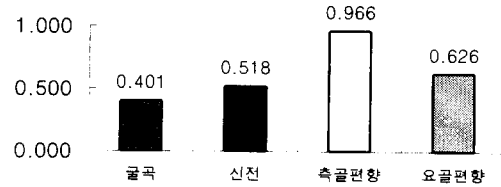
본 연구에서는 magnitude estimation 의 free modulus method 를 사용하였기 때문에 각 피실험자 마다 다른 scale 을 가지고 평가하게 된다. 따라서, 이들을 어떤 기준에 대한 변환을 거쳐야만 분석에 이용할 수 있으며, 본 연구에서는 각 피실험자의 측정된 불편도를 최대 불편도로 나누는 최대 변환(maximum transformation)을 이용하여 상대적 불편도(relative discomfort)를 구하였다. 변환을 한 다음에 magnitude estimation 으로 측정된 값에 대한 산술평균을 구하면 최대값에 영향을 받기 때문에, magnitude estimation 에서는 기하평균이나 중앙값을 사용하고 있다 [5]. 본 연구에서는 기하평균을 이용하기로 하며, 각 자유도간의 불편도의 비교를 위하여 다음 식과 같이 상대적 불편도 지수(relative discomfort index)를 정의하였다.

$$\begin{aligned} \text{Relative discomfort index}_j \\ &= \sum_i \text{relative discomfort}_{ij} / N / \text{ROM}_j \\ \text{여기서 } i &= \text{동작의 수준,} \\ j &= j \text{ 번째 자유도,} \\ N &= \text{수준의 수(손목에서는 5)} \end{aligned}$$

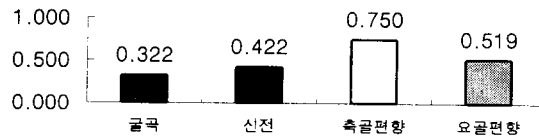
3.1 손목 관절의 불편도

손목 관절에서 측정된 굴곡, 신전, 요골편향과 측골편향의 34 개의 자세에 대한 앉은

자세와 선 자세에서의 불편도는 다음 그림 1에 나와 있다. 그림에서 보는 바와 같이 두 자세에서의 불편도의 크기의 경향이 비슷함을 알 수 있으며, 요골편향 - 측골편향 - 신전 - 굴곡의 순서로 불편도가 크게 나타났다.



(a) 앉은 자세

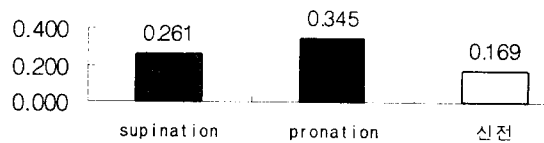


(b) 선 자세

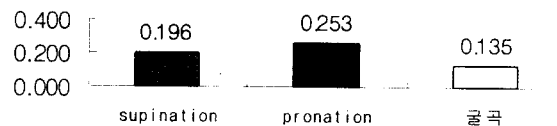
그림 1. 손목 관절의 불편도

3.2 팔꿈치 관절의 불편도

팔꿈치 관절에서의 상대적 불편도 지수는 다음 그림 2에 나와 있으며, 앉은 자세와 선 자세 모두에서 불편도가 pronation - supination - 굴곡의 순서로 크게 나타났다.



(a) 앉은 자세



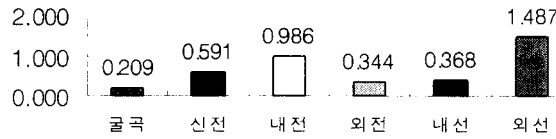
(b) 선 자세

그림 2. 팔꿈치 관절의 불편도

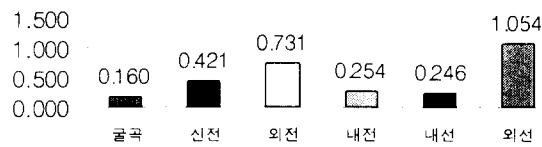
3.3 어깨 관절에서의 불편도

어깨 관절에서는 굴곡-신전, 내전-외전, 내선-외선의 자유도에 대한 불편도를 측정하였

으며, 상대적 불편도 지수는 다음 그림 3에 나와 있다. 그림에서 보는 바와 같이 불편도는 내전 - 외전 - 신전 - 외전 - 내전 - 굴곡의 순서로 크게 나타나, 외전이 다른 자유도 동작에 비하여 불편도가 매우 크게 나타나 부하가 큼을 보이고 있다.



(a) 앞은 자세



(b) 선 자세

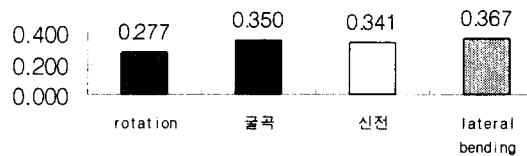
그림 3. 어깨 관절의 불편도

3.4 목관절의 불편도

목 관절의 상대적 불편도 지수는 다음 그림 4에 나와 있으며, 앞은 자세에서의 불편도는 lateral bending - 신전 - 굴곡 - rotation의 순서로 크게 나타났다. 선 자세에서는 lateral bending - 굴곡 - 신전 - rotation의 순서로 불편도가 크게 나타났다. 두 자세에서 불편도의 크기 순서가 차이를 보이고 있으나, 그 차이는 크지 않은 것으로 보인다.



(a) 앞은 자세



(b) 선 자세

그림 4. 목 관절의 불편도

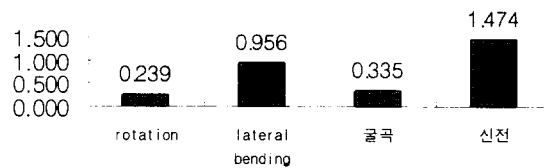
3.5 등의 불편도

앞은 자세에서는 굴곡, lateral bending, rotation, 선 자세에서는 굴곡과 신전, lateral bending,

rotation 에 대하여 불편도를 측정하였다. 2 자세에서의 상대적 불편도 지수는 다음 그림 5 에 나와 있다. 앉은 자세에서의 불편도의 크기는 lateral bending - rotation - 굴곡의 순서로, 선 자세에서는 신전 - lateral bending - 굴곡 - rotation 의 순서로 나타나, 차이를 보이고 있다. 선 자세에서의 신전 동작은 다른 동작에 비하여 불편의 정도가 매우 크게 나타났다.



(a) 앉은 자세



(b) 선 자세

그림 5. 등의 불편도

3.6 hip 관절의 불편도

hip 관절에서는 앉은 자세의 굴곡, 외전, 내선과 외선을, 선 자세의 굴곡, 신전, 내전, 외전, 내선과 외선에 대하여 자유도를 측정하였다. Hip 관절에서 측정된 각 자유도에 대한 상대적 불편도 지수는 그림 6 에 나와 있으며, 앉은 자세에서는 신전, 굴곡, 내선의 불편도가 크게 나타났다. 선 자세에서는 외선과 외전에 대한 불편도가 상대적으로 크게 나타났다.

3.7 관절간의 불편도 비교

본 연구에서 불편도를 측정한 손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 등, hip 관절에 대한 불편도를 비교하기 위하여, 다음과 같이 joint discomfort index 를 정의한다.

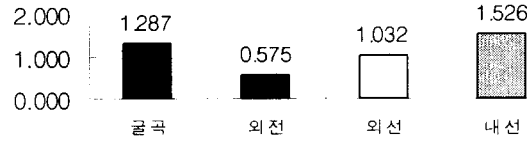
$$\text{joint discomfort index}_j = \sum_i \text{relative discomfort index}_{ij} / N,$$

여기서 $i = i$ 번째 자유도, $j = j$ 번째 관절,

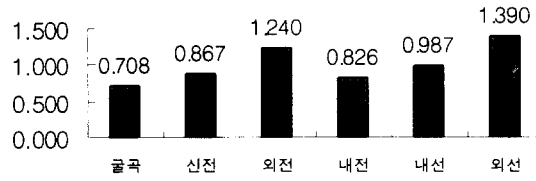
$N =$ 각 관절에서의 불편도 측정에 포함된 자유도의 수.

위와 같이 정의된 joint discomfort index 를 이용하여, 앉은 자세와 선 자세에서의 불편도를 비교한 결과는 다음 그림 7 에 나와 있다. 그림에서 보는 바와 같이 앉은 자세에서는 hip - 등 - 어깨 - 손목 - 목 - 팔꿈치 등의 순서로, 선 자세에서는 hip - 등 - 손목 - 어깨 - 목 -

팔꿈치 등의 순서로 나타나, 자세에 따라 관절간의 불편도의 크기 순서가 다르게 나타났다.



(a) 앉은 자세

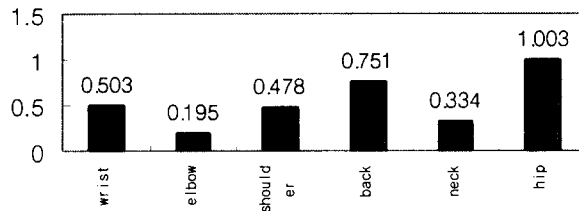


(b) 선 자세

그림 6. hip 관절의 불편도



(a) 앉은 자세



(b) 선 자세

그림 7. 관절간의 불편도 비교

4. 결 론

본 연구에서는 앉은 자세와 선 자세에서의 관절에서 일어나는 자유도에 대한 불편도를 측정, 제시하였으며, 이는 기존에 나와 있는 결과에 비하여 인체 관절에서 일어나는 대

부분의 자유도와 전 동작범위를 포함하였다는 점에서 차이를 보인다 하겠다. 측정 결과를 보면, 한 관절 내에서도 자유도에 따라 불편도가 심한 차이를 보임을 알 수 있다. 또한, joint discomfort index 를 정의하여 관절간의 불편도를 비교, 제시하였으며, 이는 어깨가 불편도가 가장 크고, 다음으로 손목, 팔꿈치와 등은 같은 순위를 가지며 목이 불편도가 가장 작다는 Genaidy et al.(1995)의 연구 결과와 차이를 보였다. 그 이유는 기존의 연구에서 관절간의 불편도를 비교할 때, 각 관절의 운동범위, 즉 ROM 를 고려하지 않았기 때문인 것으로 추정된다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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), 1995, pp. 1851-1858.
- [4] Genaidy, A.M., Al-Shedi, A.A., and Karwowski, W., "Postural stress analysis in industry", *Applied Ergonomics*, Vol. 25(2), pp. 77-87.
- [5] Gescheider, G.A., *Psychophysics:method, theory, and application*, 2nd Ed., Lawrence Erlbaum Associates, London, 1985.
- [6] Milner, N., *Modeling fatigue and recovery in static postural exercise*, Ph.D. thesis, University of Nottingham, Nottingham, 1985.
- [7] Nag, P.K., "Endurance limits in different models of load holding", *Applied Ergonomics*, Vol. 22, 1991, pp. 185-188.
- [8] 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.