Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 23, No. 4 pp.45-56, November 2004

상체의 자세 변화에 따른 외부부하에 대한 불편도 영향 평가*

Perceived Discomfort of Upper Body Postures with Varying External Loads

최동식**, 박성준***, 정의승****, 최재호*****

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate perceived discomfort of working postures in terms of upper body (back, shoulder, and elbow) flexions when an external load varies. Eighteen subjects participated in an experiment of appraising perceived discomfort of varying upper body postures with three levels of external loads given. The ANOVA results showed that the perceived discomfort of upper body postures was significantly affected by the external load. It was also apparent that the interactions between external load and upper body posture were significant ($p < 0.001$). The result implies that a new posture classification scheme for workload assessment methods may be in need to reflect such interactions between external load and upper body posture. In order to support the statement, a regression model of perceived discomfort of upper body postures obtained from the experiment was developed and compared to that of perceived discomfort of seven work-related postures found in automobile assembly operations. The correlation coefficient between predicted and actual values of perceived discomfort was about 0.96. It is expected that the result help to properly estimate the body stress resluting from worker's postures and external loads and can be used as a valuable design guideline on preventing work-related musculoskeletal diseases in industry.

Keyword: Discomfort, External load, Postural load, Upper body postures

*본 논문은 2004 한국 과학재단 지역대학 우수과학자지원에 의하여 연구되었음.
**고려대학교 대학원 산업시스템정보공학과
***남서울대학교 산업정보시스템공학과
주 소 : 330-707 충남 천안시 성환읍 매주리 21번지
전 화 : 041-580-2204
E-mail: sjpark@nsu.ac.kr
****고려대학교 산업시스템 정보공학과
*****대진대학교 산업시스템공학과

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

산업현장에서 근골격계질환은 노사관계 및 작업자의 안전, 복지와 관련하여 주요 이슈로 등장하고 있다. 근골격계질환이란 산업현장에서 작업자들이 겪게 되는 불편한 작업 자세, 기계화에 따른 빠른 작업 속도, 증가되는 단순 반복 작업, 중량 제품의 취급 등 잘못 설계된 작업장의 구조나 제품, 불편한 작업요인들이 장기간에 걸쳐 신체의 특정 부위(특히 상체의 목, 어깨, 팔 등)에 영향을 미쳐 해당 신체 부위가 이상증세(통증, 근력의 약화, 유연성의 감소 등)를 나타내는 것이다(Hagberg et al., 1995).

이러한 근골격계질환과 부적절한 작업자 세와의 상관관계는 이미 많은 연구 결과에서 보고 되고 있다(van Wely, 1970; Grandjean and Hünting, 1977: Westgaard and Aarås, 1984; Armstrong, 1986; Purz-Anderson, 1988; Amstrong et al., 1993; Bernard, 1997).

정부 통계에 따르면 우리나라 산재 건수 대비 근골격계질환 환자 수는 매년 크게 증가하고 있으며 사회적으로도 큰 문제가 되고 있어, 예방을 위한 대책에 많은 관심을 가지고 있다. 인간공학 및 산업 안전 분야에서 부적절한 작업 자세와 근골격계질환과의 관계는 많은 연구자들에 의하여 연구되어져 왔으며(Waters, 2004; Punnett and Wegman, 2004), 부적절한 작업자세로 인한 근골격계질환을 예방하고, 작업의 생산성을 높이기 위해서 작업 자세로 인한 작업부하에 대하여 많은 정량적 연구가 수행되어 왔다(기도형, 2002; 이인석 등, 2002).

인간공학적인 측면에서 볼 때 가장 좋은 작업의 설계는 자세로 인해 작업자에게 가해지는 스트레스를 최소화 하도록 하는 것이다. 신체 부위의 불편은 통증(pain, soreness), 저림/무감각(numbness), 경직(stiffness) 등을 유발하는 관절 각도(joint angle), 근육의 수축, 압력 분포 등의 생체역학적(biomechanical) 요인과 관련이 있다(Zhang et al., 1996). 이러한 불편한 자세는 물리적 제약(physical constraint)을 제거하여 불편을 제거하거나 최소화 하면 근골격계질환의 위험을 줄일 수 있다는 것으로 보고 되어 있다(Dul et al., 1994; Putz-Anderson and Galinsky, 1993). 작업 자세에 따른 작업부하를 정량적으로 측정하는 많은 연구들은 주어진 작업 자세의 지속시간, 외부부하, 동작의 반복 등의 조건에 있어서 피실험자의 심물리학적인 불편도를 평가하였다(Genaidy et al., 1995; Kee and Karwowski, 2001; 이인석 등, 2002). 현재까지 정량적인 자세부하의 관련연구들은 외부부하에 따른 자세의 부하를 측정하고는 있으나, 그 분류구간이 단순하거나 커서 실제 작업현장에서 일어나는 작업관련 자세부하를 제대로 반영하지 못하고 있다. OWAS(Karhu et al., 1977), RULA(McAtamney and Corlett, 1993), REBA(Hignett and McAtamney, 2000), QEC(Li and Buckle, 1998) 등의 평가 기법에 있어서 취급 하중이 고려되고 있으나, 주로 정적인 자세를 분석 대상으로 하고 있으며, 정확히 외부부하와 관련된 각 인체 관절 각도의 영향을 파악하지 못하고 있다. 또한, 대부분의 작업 자세 평가 기법들이 중량물 취급으로 인한 부하 증가를 고려하고 있으나, 작업 자세만을 고려하여 자세 불편도를 평가한 후, '보정 점수(adjusting score) 개념'으로 중량물 취급에 따른 부하 증가를 추가하는 방식을 택하고 있다. 지금까지의 연구는 각 관절 각도에 따른 불편도와 외부부하에 대한 독립적인 연구가 주를 이루었으며, 작업 자세와 외부부하간의 상호작용에 관한 연구가 이루어지지 않고 있으나, 외부부하(external load)에 따라 작업 자세로 인한 인지 불편도가 영향을 받는다는 연구 결과(Jung, E. S. et al., 1996) 등을 고려할 때, 동일 부하라 할지라도 자세에 따라 외부부하가 미치는 영향을 다르게 평가할 필요가 있다고 여겨진다.

따라서 본 연구에서는 실제 산업현장에서 작업자들의 자세를 조사하여 현재 나와 있는 자세부하 평가체계와 비교 후, 작업자가 다루는 부품, 도구, 공구의 무게가 불편도에 미치는 교호작용을 평가 하고자 하였다. 특히 상체 관절 부위 중에 기존에 불편도과 관련하여 많은 연구가 되지는 않았으나, 자동차 조립공정 산업현장에서 근골격계질환의 대부분을 차지하는

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

허리에 관한 연구를 실시하였다. 이러한 취급물 중량을 반영한 상체의 허리, 어깨, 팔 자세 불편도 측정 결과는 중량물과 관련된 인력 운반 작업이 포함되는 많은 산업현장에서 사전에 근골격계질환에 대한 위험 가능성을 더욱 정확히 파악하는데 도움이 될 것이다. 외부부하에 따른 불편도의 교호작용을 파악함으로써, 동일 자세라 할지라도 외부부하에 따른 작업 부하의 차이를 파악하여 근골격계질환의 위험에 대한 지침으로 활용될 것이며, 산업재해 감소에 기여할 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

불편도와 관련된 인체 관절 각도와 외부부하에 따른 피실험자의 지각 불편도를 측정하기 위하여 18명의 근골격계질환 병력이 없는 20~30대 오른손잡이 남자를 대상으로 실험을 실시하였다. 피실험자의 평균(±SD) 연령, 체중, 신장은 각각 26.1(±2.0)세, 70.9(±7.3)kg, 174.5(±4.3)cm이다. 실험 수행 전 피실험자의 몸통 길이(Torso length), 윗팔 길이(Upper arm length), 아래팔 길이(Lower arm length), 손목과 외부부하 간의 거리(Hand grip length)를 측정 하였으며, 각각의 평균(±SD)은 53.4(±1.0)cm, 28.8(±1.7)cm, 25.4(±1.2)cm, 7.6(±0.7)cm로 이 측정치들은 피실험자들의 자세의 정의과정에서 위치 표시기의 표시에 사용되었다. 피실험자는 근골격계질환 및 본 연구와 관련된 실험의 목적, 내용, 위험성 등에 대해 설명을 들었으며, 실험 참여에 동의 하였다.

2.2 실험 계획

실험에서는 앞에서 언급한 바와 같이 상체 자세와 외부부하를 독립 변수로 하여 불편도를 평가 하였다. 상체 자세는 허리, 어깨, 팔꿈치로 하였으며, 각 상체 관절의 굴곡(flexion) 동작의 조합으로 하였다. 상체 관절의 각도를 취한 후 외부부하를 오른손에 잡고서 피실험자가 30초 동안 자세를 유지하게 한 후 불편도를 말하게 하였다. 기 도형(2004b)의 연구에 의하면 주관적 불편수준을 측정하기 위한 피실험자의 자세 지속시간은 적어도 30초 이상 제시되어야 바람직하다는 결과에 따라 본 연구에서는 30초 동안의 자세 지속시간을 설정하였다.

표 1. 실험 변수와 수준

실험 변수	수준
Hip Flexion (HF)	0°, 45°, 90°
Should Flexion (SF)	0°, 60°, 120°
Elbow Flexion (EF)	0°, 45°, 90°
External Load(EL)	0kg, 2.5kg, 5.5kg

실험의 변수는 예비 실험을 통해 외부부하의 변화에 있어 불편도에 유의한 작용을 하는 것으로 나타난 상체 중 허리 굴곡(Hip Flexion), 어깨 굴곡(Shoulder Flexion), 팔꿈치 굴곡(Elbow Flexion)에 대하여 수준을 정하였으며, 각 관절 각도의 수준은 RULA (McAtamney and Corlett, 1993)의 자세 분류 체계와 Kee and Karwowski(2001)의 연구, 기도형 (2000)의 연구를 참조하여 설정 하였다. 또한 현재의 자세 분류 체계에 있어서 실제 산업현장의 작업자가 취하는 자세 중에서 극단적인 자세들은 제거 하였다. 표 1은 실험에 사용된 상체 자세와 외부부하의 수준을 정리 해 놓은 것이다.

본 연구에서 외부부하의 경우는 실제 산업현장에서 작업자가 다루는 중량물을 기준으로 한 손 작업에 사용되는 부품 및 도구의 무게를 고려하여 실험 설계를 하였으며, 실제 작업 시 다루어지는 중량물, 작업자가 지탱할 수 있는 무게에 대해 수준을 설정하였다고 할 수 있다.

표 1에 정리된 것과 같이 4개의 요인에 대해서 3수준을 대상으로 실험을 하였을 경우 81회의 실험을 하게 된다. 이는 피실험자당 실험 횟수가 많아져 실행하기 어려워 본 실험에서는 직교 배열표 중 L27의 실험 계획에 따라 실시하였으며(박성현, 1998), 각 관절 각도 및 외부부하의 주효과(main effect)와 외부

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

부하와 관절 각도간의 교호작용을 배치하여 실험 설계를 하였다. 실험은 2회 반복 하였으며 결과 값의 평균을 이용하여 분석을 실시하였다.

2.3 주관적인 불편도

피실험자의 불편도 측정을 위해 본 연구에서는 magnitude estimation을 사용하였다. Magnitude estimation 기법은 자극에 대한 피실험자의 주관적인 느낌의 크기에 기준을 제시하느냐에 따라 modulus estimation, free modulus method, absolute judgement 등으로 나누어지며 심물리학(psychophysics) 연구에서 많이 사용되어 지는 평가 방법이다(Gescheider, 1985). 또한, 자세의 부하를 평가하는 연구에서도 이용되고 있다(Kee and Karwowski, 2001; 이인석 등, 2002). 특히 본 연구에서는 magnitude estimation 기법 중 free modulus method를 사용하였으며, 이 방법은 실험자가 피실험자에게 미치는 영향이 적으며 피실험자의 비율척도 능력을 최대한 발휘하게 하는 장점이 있다(이인석 등, 2002).

Free modulus 방법을 사용하여 측정할 경우, 같은 자세라도 피실험자에 따라 다양한 불편도 데이터가 얻어 진다. 본 연구에서는 max-min transformation을 사용하여 각 데이터를 표준화 하였다(Hwang and Yoon, 1981).

$$\text{정규화 불편도} = \frac{\text{Raw data} - \text{최소 불편도}}{\text{최대 불편도} - \text{최소 불편도}} \times 100$$

여기서 최대 불편도와 최소 불편도는 각 피실험자의 불편수준의 최대 값과 최소 값을 나타낸다.

2.4 실험 절차

실험은 피실험자에게 먼저 실험의 목적, 내용, 실험 방법 및 실험 과정에서 발생 가능한 위험 요인 등에 대하여 설명을 하는 실험 준비 단계와, magnitude estimation을 수행할 능력이 되는 지를 알아보는 calibration test를 실시한 후 통과한 피실험자를 대상으로 실시되었다. Calibration test에 있어서 직선의 길이를 숫자로 평가하는 방법인 numeric estimation 방법으로 피실험자들의 결과를 log변환한 후 각각의 자극에서 선형회귀분석을 실시하여, 기울기의 99% 신뢰 수준이 1.0을 포함하는 지를 검정하여 피실험자의 비율 척도 능력을 판단하였다(Gescheider, 1985). 본 연구에서는 20명의 피실험자가 참여하여 18명이 calibration test를 통과하고 본 실험에 참여할 수 있었다.

본 실험에서는 설문지에 피실험자의 몸통 길이(Torso length), 윗팔 길이(Upper arm length), 아래팔 길이(Lower arm length), 손목과 외부부하 간의 거리(Hand grip length)의 측정치를 기입하고, 시작 전에 자세의 연습 과정을 두었다. 연습 과정에서는 실험자의 상체 관절별 각도에 따른 자세를 연습하게 하였으며, 외부부하의 방향은 작업장의 작업 전동 공구를 잡는 방향과 같은 형식으로 하도록 교육 하였다.

실험에서는 상체 관절에 있어서 수준에 맞게 자세를 취하도록 위치 표시기(location pointer)를 사용하여 자세를 취하도록 보조 하였으며, 하지의 경우는 가능한 한 편안하게 자세를 취하되 선 자세를 유지하도록 하였다. 또한 불편도 평가에 있어 왼쪽 상체 관절에 대해서도 피실험자가 편안하다고 생각하는 자세를 유지하도록 하였다.

27회의 실험 순서는 임의(random)로 제시되었으며, 각 실험 간에 약 5분간의 휴식 시간을 주었다. 또한, 피실험자가 실험도중 상해의 위험이 있거나, 피로의 누적으로 인한 불편도의 영향이 다음 실험으로 미친다고 판단될 경우 실험을 중단할 수 있음을 주지시켰다. 각 실험에서는 자세를 취한 후 스톱워치를 이용하여 자세 유지 시간 30초가 경과하면 피실험자에게 알리고 외부부하를 제거한 후 불편도를 말하게 하였다.

3. 결 과

실험을 통해 얻어진 외부부하에 따른 인체 관절 각

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

표 2. 관절 각도와 외부부하에 관한 ANOVA 분석 결과

Source	DF	Mean Square	F Value
External Load	2	136383.75	471.80**
Shoulder Flexion	2	20434.22	200.70**
Elbow Flexion	2	1392.20	18.22*
Hip Flexion	2	2219.42	18.66**
EL * SH	4	2779.45	30.49**
EL * EF	4	2599.07	33.62**
EL * HF	4	902.46	8.64*

*: significant at α=0.05; **: significant at α=0.01

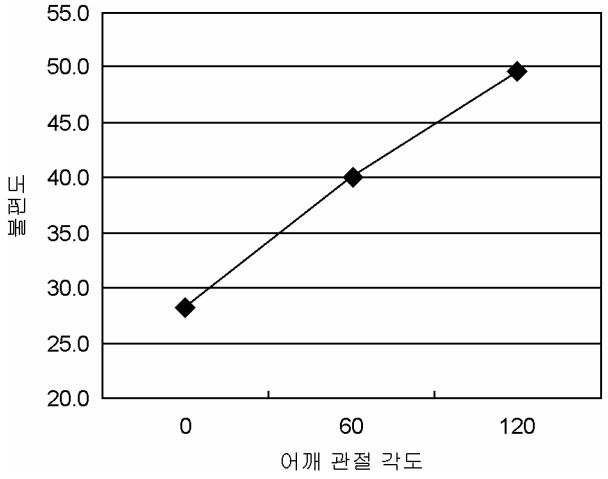

그림 1. 어깨 관절 각도에 따른 불편도

도의 자세 불편도 데이터와 외부부하의 교호작용을 보기 위해서 ANOVA 분석을 실시하였다. 또한, 각각의 인체 관절 각도에 따른 자세의 편의성을 결정하고, 불편도의 크기를 평가하여, 작업자가 작업을 수행할 시 외부부하를 통해 느끼는 불편도에 따른 인체부하의 증가/감소 정도를 결정하였다.

3.1 ANOVA 분석

SAS를 이용하여 본 연구에서 설정한 독립 변수인 외부부하, 어깨 굴곡, 팔꿈치 굴곡, 허리 굴곡이 불편도에 미치는 영향을 알아보았으며, 외부부하와 어깨굴곡, 외부부하와 팔꿈치 굴곡, 외부부하와 허리 굴곡 사이의 교호작용에 있어서의 유의성을 살펴보았다.

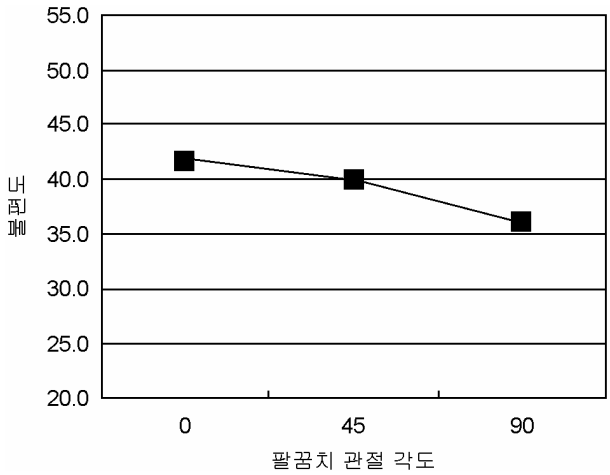

그림 2. 팔꿈치 관절 각도에 따른 불편도

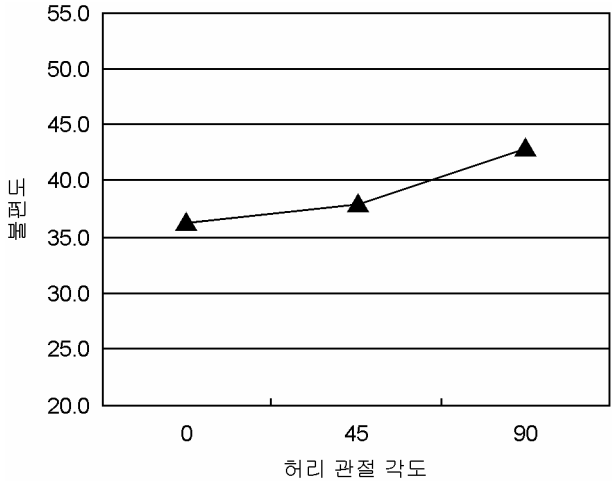

그림 3. 허리 관절 각도에 따른 불편도

표 2의 ANOVA 분석 결과에서 보는 바와 같이 외부부하, 어깨 굴곡, 허리 굴곡에 있어서는 유의수준 1%에서 팔꿈치 굴곡의 경우 5% 내에서 지각 불편도에 있어 상당히 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각 인체 관절에 따른 불편도와 외부부하에 따른 불편도의 주효과 결과는 기존의 기도형(2002)의 연구 결과와 상당히 유사하다.

그림 1-3은 관절 각도에 따른 불편도를 나타내는 그래프로 어깨 굴곡에 있어서 불편도의 변화는 0도 자세에서 90도 자세로 갈수록 전체 불편도가 평균 28.2에서 49.5로 완만히 증가하는 것으로 나타났다.

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

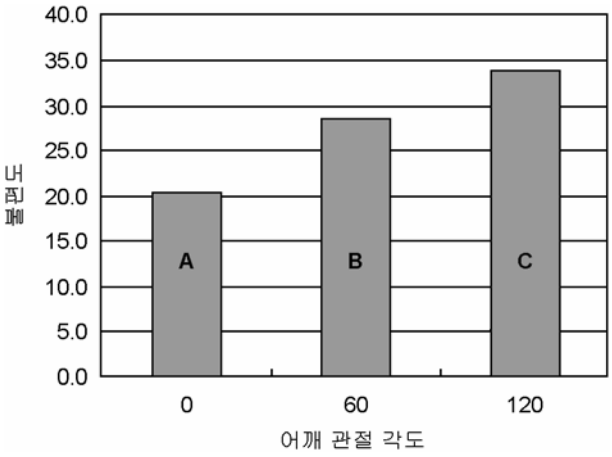

그림 4. 어깨 관절 자세별 외부부하 관련 불편도 변화 값

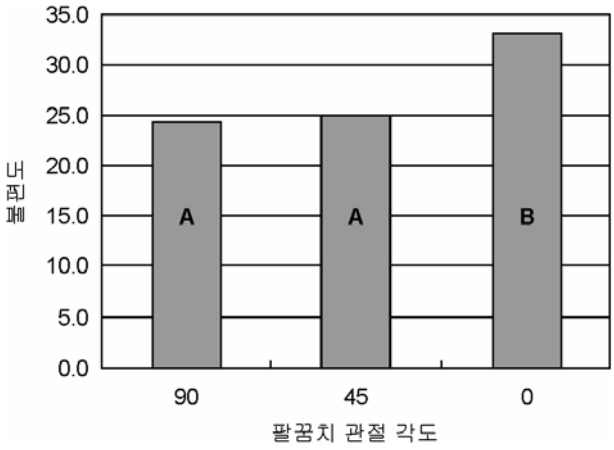

그림 5. 팔꿈치 관절 자세별 외부부하 관련 불편도 변화 값

또한 팔꿈치 굴곡의 경우 관절 각도가 증가 할수록 불편도가 41.6에서 36.1로 조금 감소하는 것으로 나타났다. 마지막으로 허리 불편도의 경우는 허리 관절의 각도가 증가 할수록 불편도가 36.3에서 43.1로 증가하는 것으로 나타났다.

ANOVA 결과에서 보는 바와 같이 외부부하와 어깨 굴곡, 외부부하와 팔꿈치 굴곡, 외부부하와 허리 굴곡 사이의 교호작용에 있어서도 상당히 유의한 것으로 나타났다. 교호작용에 있어 외부부하와 어깨 굴곡, 외부부하와 팔꿈치 굴곡은 유의수준 1%에서 매우 유의한 것으로 나타났으며, 외부부하와 허리 굴곡 사이에서는 5% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

3.2 외부부하와 어깨 굴곡의 불편도

어깨 굴곡에 따른 외부부하의 변화로 인한 불편도의 증가 정도는 그림 4에 나와 있다. 같은 관절 각도 하에서 외부부하가 증가함에 따라 각 불편도의 변화 정도 평균이 20.3, 28.4, 33.6만큼 증가를 하였다. 이와 같은 결과에 따라 어깨 0도의 경우 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도가 1이라고 하였을 경우 관절 각도 60도에서 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도는 1.4만큼 증가 한다고 할 수 있다. 또한 관절 각도 120도의 경우 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도는 1.7만큼 증가 한다고 할 수 있다. 이는 외부부하에 따른 전체 불편도의 변화 값이 0도 자세일 때 보다 60도 자세일수록 전체 신체 불편도에 영향이 크며, 120도 자세에서 그 영향이 가장 크다는 것을 의미한다.

그래프의 영문은 사후 분석(SNK)의 결과로 어깨 굴곡의 경우 각각의 자세에서의 외부부하 관련 불편도 증가는 각각 통계적(α=0.05)으로 다른 그룹인 것으로 밝혀져 각기 다른 가중치를 부여하여야 하는 것으로 분석되었다.

3.3 외부부하와 팔꿈치 굴곡의 불편도

팔꿈치 굴곡에 있어서 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가는 그림 5와 같다. 같은 팔꿈치 관절 각도 하에서 외부부하가 증가함에 따른 변화 정도가 평균이 24.3, 25.0, 33.0만큼 증가 하였다. 팔꿈치 관절 각도에 있어서 관절각 90도인 경우 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도가 1이라고 하면, 관절 각도 45도에 있어서의 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도는 0도 자세와 같은 1만큼 증가 한다고 할 수 있다. 또한 팔꿈치 관절각 0도에 있어서 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도는 1.4만큼 증가 한다고 할 수 있다. 이러한 결과는 외부부하가 45도 자세나 90 자세에서 보다 0도 자세에서 전체 불편도에 미치는 변화 값이 커진다는 것을 의미한다.

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

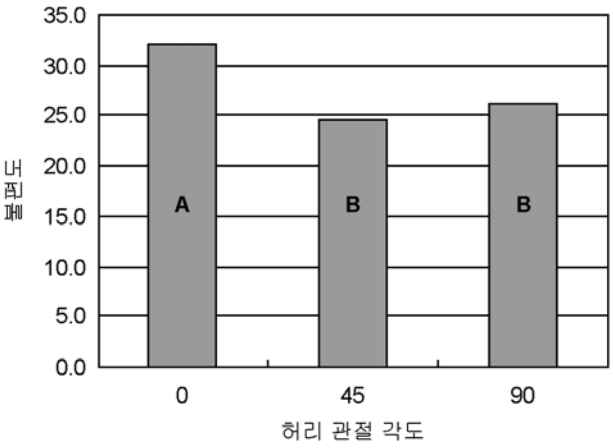

그림 6. 허리 관절 자세별 외부부하 관련 불편도 변화 값

팔꿈치 굴곡에 대한 사후 분석(SNK) 결과(α=0.05), 45도 자세와 90도 자세에 있어서 외부부하로 인한 불편도 증가분은 같은 그룹에 속하였으나, 0도 자세에 있어서의 외부부하에 따른 불편도의 증가분은 두 자세보다 더 큰 것으로 나타났다.

3.4 외부부하와 허리 굴곡의 불편도

허리 굴곡에 있어서 외부부하의 증가에 따른 불편도의 변화는 그림 6과 같다. 같은 허리 관절 각도 하에서 외부부하가 증가함에 따른 불편도의 변화 정도는 평균이 31.8, 24.5, 26.0만큼 변화 하였다. 이와 같은 결과에 따라 관절각 0도에서 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도가 1이라고 하였을 경우 관절각 45도에 있어서 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도는 0.77만큼 증가 한다고 할 수 있다. 또한 90도 자세에 있어서 외부부하의 증가에 따른 불편도의 증가 정도는 0.82만큼 증가 한다고 할 수 있다. 그러나 자세에 따른 전체 불편도를 보면, 외부부하에 따른 불편도의 증가 정도는 작아지지만 전체 지각 불편도는 외부부하가 증가함에 따라 증가한다. 이러한 결과는 허리 관절의 경우 이미 불편함을 느낀 상태에서는 불편도의 증가 정도가 크게 증가 하지 않는 경향이 있음을 나타낸다고 보여 진다. 실제 팔꿈치나 어깨의 경우 외부부하와 직접 연관이 있는 관절이므로

표 3. 단위 부하 크기 당 불편도의 증가량

구분		불편도 증가량 변화
어깨 굴곡	0° 자세	외부부하 크기*1.0
	60° 자세	외부부하 크기*1.4
	120° 자세	외부부하 크기*1.7
팔꿈치 굴곡	90° 자세	외부부하 크기*1.0
	45° 자세	
	0° 자세	외부부하 크기*1.4
허리 굴곡	0° 자세	외부부하 크기*1.0
	45° 자세	외부부하 크기*0.8
	90° 자세	

외부부하에 따른 불편도의 증가 정도가 상승하지만, 허리의 경우는 외부부하로 인한 증가 정도가 팔꿈치나 어깨 관절과 다른 특성을 보인다고 할 수 있다. 즉 자세로 인한 불편도의 영향이 커서 외부부하로 인한 불편도가 상쇄되었다고 볼 수 있다.

사후 분석(SNK) 결과(α=0.05) 허리 굴곡에 있어서 외부부하의 영향을 살펴보면, 0도 자세에서 외부부하에 따른 불편도 증가 정도가 1이라고 하면, 45도 자세와 90도 자세에 있어서는 통계적으로 유의한 차이가 없어 같은 그룹을 형성하며, 그 증가분은 45도 자세와 90도 자세의 평균 값인 0.8로 하였다.

3.5 외부부하 평가 기법의 제안

실험 결과를 종합해 보면 표 3과 같다. 표에서 보면 자세별 각 관절 불편도의 외부부하에 따른 불편도 변화 정도를 나타내고 있다.

이러한 결과로 실제 작업에서 외부부하의 증가가 작업 전체 불편도의 증가에 있어서 어느 정도의 영향을 주는지 알 수 있다.

3.6. 불편도 평가 타당성 분석

본 연구에서 수행된 불편도 평가실험 결과의 타당성을 검증하기 위하여 본 실험에서의 측정치들을 바탕으로 회귀식을 도출 하였다. 결과로부터 도출된 회귀식은 다음과 같다.

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

Perceived Discomfort = 37.1 + 27.1 Load + 10.7 Shoulder − 2.5 Elbow + 2.9 Hip + 6.9 Load * Shoulder − 4.5 Load * Elbow − 3.1 Load * Hip (1)

adj. R^2= 0.75

불편도 측정치로부터 도출된 불편도 함수의 적합성을 검증하기 위한 추가 실험을 실시하였다. 실험은 자세별 외부부하의 영향을 측정하기 위하여 실시된 27개의 실험 조건 이외의 작업 자세를 선정하였으며, 조립공정 등에 대한 비디오 분석을 통하여 작업자들이 실제 현장에서 취하고 있는 자세의 각도를 중심으로 다른 7개의 자세를 선정하여 추가적으로 3명의 실험자를 이용하여 불편도를 측정하였다.

외부부하는 본 실험과 동일하게 2.5kg과 5kg으로 하였다. 추가로 측정한 작업 자세 및 외부부하 조건에 대한 불편도와 회귀식에서 도출된 자세 불편도를 비교한 예는 표 4와 같다.

7개의 자세에 대한 측정 불편도와 예측 불편도 간의 편차들의 평균은 2.98점으로 매우 유사하게 예측할 수 있는 것으로 밝혀졌으며, 예측 불편도와 측정 불편도 간의 상관계수는 0.96이었다. 이를 그래프로 도식화 하면 그림 7와 같다.

표 4. 불편도의 예측 정확도 비교

Load	SF	EF	HF	측정	예측
0kg	60°	90°	45°	12.3	10.2
5.5kg	0°	45°	45°	60.7	51.6
2.5kg	0°	90°	45°	27.0	23.8
2.5kg	60°	0°	90°	42.3	43.4
0kg	120°	45°	90°	26.7	26.6
5.5kg	120°	0°	45°	87.7	80.4
2.5kg	120°	90°	0°	40.7	46.5

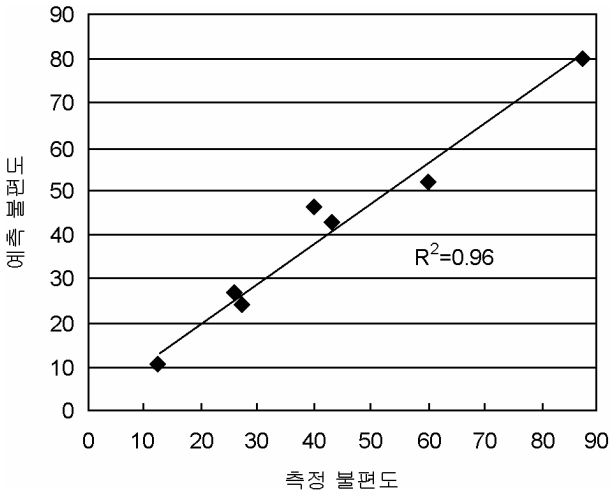

그림 7. 예측 불편도와 측정 불편간의 상관관계

4. 토 의

현재 산업현장에서 근골격계질환의 위험 요인을 평가하기 위하여 사용되는 자세 분류 체계인 OWAS, RULA, REBA, QEC의 외부부하에 대해 살펴보면 표 5와 같다.

표에서 보듯이 현재 사용되고 있는 대부분의 자세 분류 체계를 살펴보면 그 구간이 커 실제 산업현장에서 일어나고 있는 인력에 의한 중량물 작업에 있어서

표 5. OWAS, RULA, REBA, QEC의 외부부하

구분	외부부하	보정 점수
OWAS	0~10kg 미만	1
	10~20kg 미만	2
	20kg 이상	3
REBA	0~5kg 미만	0
	5~10kg 이하	1
	10kg 초과	2
	shock나 갑작스런 힘	+1
RULA	0~2kg 미만	0
	2~10kg의 단속적 부하	1
	2~10kg의 정적 부하 혹은 2~10kg의 반복적 부하	2
	10kg 이상의 부하 혹은 shock나 갑작스런 힘	3
QEC	5kg 이하	2
	6~10kg 이하	4
	11~20kg 미만	6
	20kg 이상	8

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

도구나 기기 및 부품의 무게를 제대로 반영하지 못하고 있다(기도형, 2004a). RULA, REBA, QEC는 OWAS에 비하여 어느 정도 외부부하를 세분하여 고려를 하고 있으나, 본 연구의 산업현장 조사에 의하면 공정의 대부분에 있어 작업자가 다루는 중량물의 취급 공정에 부품 및 도구의 무게 평균은 8.9kg이었으며, 한손 작업의 경우는 그 보다 작은 5.46kg이었다. 따라서 위의 자세 분류 체계 방법을 적용할 경우 한손 작업에서 다루는 부품 및 도구의 무게에 관한 판단을 하기 어려우며, 대부분 자세 분류 체계에 있어서 외부부하에 관한 영향이 실제 작업자가 느끼는 불편도와 비교하였을 경우 적은 것으로 판단된다.

본 연구의 상체 관절 각도와 외부부하와 관련된 분산 분석의 결과에 의하면, 상체 관절과 외부부하사이에 교호작용이 존재함을 알 수 있었다. 각각의 교호작용에 의한 관절 각도별 영향을 살펴보면 어깨 관절은 0도 자세에서 120도 자세로 갈수록 외부부하가 증가함에 따라 그 불편도 증가 정도가 점점 증가하는 것을 알 수 있었다. 허리 관절 각도에 있어서는 0도 자세에서 90도 자세로 갈수록 외부부하에 따른 불편도의 증가 정도가 조금 감소하는 것을 볼 수 있었다. 마지막으로 팔꿈치의 경우는 자세 불편도가 관절 각도가 커질수록 조금씩 감소하는 경향을 보였으며, 외부부하의 관절 불편도 영향은 90도 자세에서 0도 자세로 갈수록 증가 되는 것을 알 수 있었다. 이러한 연구결과를 보면 현재의 자세 분류 체계의 구간을 나누는 기준이 실제 산업현장의 외부부하의 영향을 반영하는데 적절하지 못하다고 할 수 있다. 따라서 기존의 연구와 자세 분류 체계에서 작업 자체의 위험을 파악하는데 각 관절별 자세 및 외부부하 등에 주효과의 파악뿐만 아니라 각 인체 관절 각도와 외부부하 간의 교호작용들의 고려가 필요 하다는 것을 보여준다.

관절별 자세에 따른 외부부하의 불편도 영향을 파악한 본 연구의 결과를 바탕으로, 현재 사용되는 자세 분류기준의 불합리점을 보완할 필요가 검증되었다고 본다. 외부부하에 따라 일정한 보정 점수 개념의 추가점수를 더하는 기법과 달리, 각각의 작업 자세에 따라 외부부하로 인한 불편도 영향 정도에 대한 점수 체계를 구축할 필요가 있다고 본다. 이러한 새로운 체계를 통하여 작업자의 관절 각도와 외부부하를 파악하고, 자세의 편의성 여부만 결정되면 손쉽게 불편도에 따른 점수 부여가 가능하도록 하여 더욱더 정확한 작업자 위험성의 파악과 사용의 용이성을 확보하는 것이 필요하다고 본다.

5. 결 론

본 연구는 인체의 상체 관절에 있어서 외부부하가 가해질 경우 느끼는 불편도의 변화에 관하여 18명의 피실험자가 어깨, 허리, 팔꿈치에 관절에 있어서 각도의 변화와, 외부부하의 변화에 관하여 설계된 27개의 동작을 대상으로 평가를 실시하였다. 불편도의 평가 결과, 외부부하에 따른 관절 각도에 있어 자세에 따른 피실험자가 느끼는 불편도는 각각의 관절 각도에 따른 불편도 뿐만 아니라 외부부하가 있고 없음에 따라 달라지는 것을 볼 수 있었다. 외부부하가 있음으로 해서 각 관절 각도에 따른 교호작용은 매우 유의한 것으로 나타났으며, 자세 분류 체계에 있어서 이러한 교호작용은 필요 한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 상체 자세 중 어깨 굴곡, 허리 굴곡, 팔꿈치 굴곡에 대해서만 외부부하에 관한 교호작용 및 주효과에 관하여 연구를 하였다. 그러나 미국의 국립안전보건원(National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH), Westgaard and Aarås (1984) 등의 연구에 의하면 상체 자세 중 목(neck)에 대한 위험성을 이야기 하고 있으며, 실제 부품이나 도구를 다루는 손목에 대한 외부부하의 불편도에 대한 교호작용의 영향은 연구되어 있지 않다. 또한 근골격계질환의 주요 위험 요인 중의 하나인 하지 자세에 관한 외부부하의 영향에 관한 연구에 있어 하지 자세 불편도에 관한 연구는 이인석(2002) 등에 의해 되었으나, 외부부하의 영향에 관한 연구는 되어 있지 않은 상태이다.

인체의 상체 관절 각도 중에서 어깨, 팔꿈치, 허리의 관절에 있어서 굴곡(Flexion)만을 대상으로 실험

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

을 하여 외부부하에 대한 주관적인 불편도의 차이에 교호작용을 보였으나, 작업자의 동작에 있어 굴곡뿐만 아니라 팔꿈치의 경우 회외(supination), 회내(pronation) 등의 동작에 대한 불편도의 연구와 어깨의 경우 신전, 내선, 외선 등의 동작에 관한 연구, 허리의 신전, 회전(rotation), 옆으로 굽힘(lateral bending) 등 본 연구에서 다루어지지는 않았지만 실제 산업현장에서 발생하는 작업자의 자세를 고려하여 작업 자세와 외부부하의 관계가 불편도에 미치는 영향을 좀 더 체계적인 연구가 필요 하다고 하겠다.

신체의 관절 각도에 따른 불편도 평가에 있어서 외부부하가 있을 시 정확한 가중치의 부여를 보여줌으로서, 자세 분류 체계의 정립에 있어 작업자가 다루는 도구 및 부품 등의 외부부하를 통하여 신체 불편도에 어느 정도의 영향을 미치는 지를 보였다. 이러한 결과를 통하여 앞으로 제시되는 관절에 따른 근골격계질환의 위험을 제시할 시 중량물 취급에 관한 기준을 마련해 주며, 나아가 근골격계질환의 발병에 있어 중량물의 취급에 따른 가중치를 통하여 더욱더 정확한 위험성의 정의를 가능하게 한다.

참고 문헌

기도형, 2000, 작업 자세부하 평가를 위한 자세 분류체계의 연구 현황- 관측법을 중심으로, 한국산업안전학회지, 15(4), 139-149.

기도형, 2002, 지각 불편도에 대한 외부부하, 상지자세의 영향, 산업안전학회지, 17(4), 177-183.

기도형, 2004a, 외부부하와 반복에 따른 팔 동작의 심물리학적 자세부하, IE Interfaces, 17(2), 218-225.

기도형, 2004b, 외부부하, 상지 자세와 지속시간에 따른 지각 불편도, 대한산업공학회지, 30(2), 76-83.

박성현, 현대실험 계획법, 민영사, 1998.

이인석, 정민근, 기도형, 2002, 심물리학적 방법을 이용한 다양한 하지 자세의 부하 평가, 대한인간공학회지, 21(4), 47-65.

Armstrong, T.J., 1986. Upper-extremity postures: definition, measurement and control. In: E.N. Corlett, J. Wilson, and I. Manenica (Eds.), The ergonomics of working postures. Taylor & Francis, London, pp. 59-73

Armstrong, T.J., Buckle, P., Fine, L.J., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I.A.A., Silverstein, B.A., Sjogaard, G. and Viikari-Juntura, E.R.A., 1993. A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 19: 73-74.

Bernard, B. (Ed.), 1997. Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper exterimity, and lower back. DHHS(NIOSH) Publication No. 97-141, US Department of Health and Human Services.

Dul, J., Douwes, M. and Smitt, O., 1994. Ergonomics guidelines for the prevention of discomfort of static postures can be based on endurance data, Ergonomics, 37: 807-815.

Jung, E. S. and Choe J., 1996, "Human reach posture prediction based on psychophysical discomfort", International journal of Industrial Ergonomics, 18, 173-179.

Genaidy, A.M., Barkawi, H. and Christensen, D., 1995. Ranking of static non-neutral postures around the joints of the upper exterimity and the spine. Ergonomics, 38(9): 1851-1858.

Gescheider, G.A. 1985, Phychophysics: method, theory, and application(2nd ed.), Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Grandjean, E. and Hünting, W., 1977. Ergonomics

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

of postures-review of various problems of standing and sitting postures. Applied Ergonomics, 8(3): 135-140.

Hagberg, M., Silverstein, B., Wells, R., Smith, M.J., Hendrick, H.W., Carayon, P. and Perusse. M. 1995, Work related musculoskeletal disorders(WMSDs), Taylor & Francis, London.

Hignett, S. and McAtamney, L. 2000, Rapid entire body assessment(REBA), Applied Ergonomics, 31, 201-205.

Hwang, C.L. and Yoon, K. 1981, Multiple Attribute Decision Making: Method and Application, Spring-Verlag, New York.

Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I. 1977, Correcting working postures in industry: a practical method for analysis, Applied Ergonomics, 8(4), 199-2001.

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

Punnett L. and Wegman, D.H., 2004, "Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate", Journal of Electromyography and Kinesiology, 14, 13-23.

Li, G. and Buckle, P., 1998, A practicalmethod for the assessment of work-related musculoskeletal risks - Quick Exposure Check (QEC). In the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting, October 5-9, Chicago, Human Factors and Ergonomics Society: 1351-1355.

McAtamney, L. and Corlett, E.N. 1993, RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics, 24(2), 91-99

Putz-Anderson, V., 1988. Cumulative trauma disorders: A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. Taylor & Francis, London.

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

Waters, T.R. , 2004, "National efforts to identify research issues related to prevention of work-related musculoskeletal disorders", Journal of Electromyography and Kinesiology, 14, 7-12.

van Wely, P., 1970. Design and disease. Applied Ergonomics, 1: 262-269.

Westgaard, R.H. and Aarås, A., 1984. Postural muscle strain as a casual factor in the development of musculoskeletal illnesses. Applied Ergonomics, 15(3): 162-174.

Zhang, L., Helander, M.G. and Drury, C.G. 1996, Identifying factors of comfort and discomfort in sitting, Human Factors, 18(3), 377-389.

◐저자 소개◑

❖최 동 식❖

계명대학교 산업공학과(학사)

고려대학교 산업시스템정보공학과(석사 과정)

주요관심분야: 인체역학, 안전공학, 감성공학

❖박 성 준❖

포항공과대학교 산업공학과(박사)

현재 남서울대학교 산업시스템정보공학과 부교수

주요관심분야: 자동차 인간공학, 제품개발, 안전공학

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.

❖정 의 승❖
Pennsylvania State University
산업공학과(박사)
현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 정교수
주요관심분야: 휴먼모델링,
인간공학/인체역학모델링

❖최 재 호❖
포항공과대학교 산업공학과(박사)
현재 대진대학교 산업시스템공학과 부교수
주요관심분야: 인간공학, 제품설계, 산업안전

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2004년 10월 12일
논문게재승인일 (Date Acepted) : 2004년 11월 23일

Copyright (C) 2006 NuriMedia Co., Ltd.