Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 4 pp.145-151, November 2006

어깨와 팔꿈치의 조합자세 및 외부부하가 지각불편도에 미치는 영향

김동진[1] · 나석희[1] · 박국무[2] · 기도형[3] · 정민근[1]

[1]포항공과대학교 산업경영공학과 / [2]현대 · 기아자동차 연구개발총괄본부
/ [3]계명대학교 산업시스템공학과

The Effect of Shoulder and Elbow Postures with External Loads on the Perceived Discomfort

Dongjin Kim[1], Seokhee Na[1], Gukmu Park[2], Dohyung Kee[3], Min K. Chung[1]

[1]Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784
[2]Hyundai & Kia Corporate Research & Development Division, Hwaseong, 445-706
[3]Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University, Taegu, 704-701

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the perceived discomfort for postures combined with shoulder flexion/extension and elbow flexion, and external load. 12 healthy male undergraduate and graduate students participated in this experiment. Experimental variables were the shoulder flexion/extension angle(-20°, 0°, 45°, 90°, 135°), the elbow flexion angle (0°, 45°, 120°), and the external load(0, 1.5Kg, 3Kg) as independent variables and a whole body perceived discomfort using Borg's CR10 as a dependent variable. The subjects maintained the given posture for 60 seconds and then rated the perceived discomfort. The ANOVA results showed that all main factors and two-way interactions were statistically significant at α=0.05. As a result of regression analysis to examine the effect of external load on the perceived discomfort, the perceived discomfort linearly increased as the level of external load increased. Then, the effect of external load on the perceived discomfort was quantitatively classified into three levels based on the result of regression analysis.

Keyword: Perceived discomfort, Shoulder and elbow posture, External load

1. 서 론

국내 직업성 근골격계질환자의 수는 1996년 506명에서 2003년 4,532명으로 7년 동안 약 9배 가량 증가하였다(노동부, 2004). 근골격계질환으로 인하여 기업 측면에서는 보상 차원의 휴업 급여나 의료비 지급 및 생산성 감소에 따른 경제적 손실이 발생되고, 근로자 개인적 측면에서는 신체적, 심리적 고통이 유발되는 문제점이 있다.

근골격계질환은 다양한 요인들에 의해서 발생하는 것으로 알려져 있으며, 그 중에서 부적절한 작업자세는 많은 연구들에서 발병의 주요 요인으로 언급되었다(van Wely, 1970; Grandjean and Hünting, 1977; Westgaard and Aarås, 1984; Armstrong, 1986; Putz-Anderson, 1988; Armstrong et al., 1993). 부적절한 작업자세가 근골격계질환에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 이를 정량적으로 측정하

교신저자: 나석희
주 소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산 31번지, 전화: 054-279-2853, E-mail: na@postech.ac.kr

고 평가할 필요가 있다. 작업자세의 평가에는 다양한 방법들이 이용될 수 있지만 사용의 용이성이나 신속성 등의 이유로 OWAS(Karhu et al., 1981), RULA(McAtamney and Corlett, 1993), REBA(Hignett and McAtamney, 2000) 등의 관찰적 기법이 널리 사용되고 있다.

위에 제시된 관찰적 기법들은 작업자세를 구성하는 개별 신체 부위의 자세를 평가하고 그 결과를 단순 합산하여 해당 자세를 평가하는 방식을 따른다. 또한 작업자세에 따라 외부부하가 지각불편도에 미치는 영향에 차이가 있을 수 있으나, 자세와 관계없이 작업자에 부과된 외부부하의 수준이 동일할 경우 같은 점수를 적용한다. 따라서 여러 관절을 동시에 사용하거나 외부부하가 부과된 작업자세의 평가에 한계를 갖는다.

근골격계질환은 하지(lower limb)보다는 어깨와 팔꿈치 같은 상지(upper limb)에서 주로 발생하는 것으로 알려져 있고(MacLeod, 1999), 실제 작업현장에서는 어깨와 팔꿈치 관절의 동작이 조합된 상태에서 중량물을 취급하는 부적절한 작업자세가 빈번하게 나타난다. 이에 대해 Kee and Karwowski(2001)는 상지자세의 부하를 평가하기 위한 객관적 체계를 개발하였으며(LUBA), 기도형(2004)은 상지자세 및 외부부하에 의한 작업자세의 평가와 관련된 연구를 실시하였다.

그러나 기존의 대부분의 연구에서는 상지 관절의 조합자세에 대해서 고려하지 않았고, 조합자세를 고려한 기도형(2004)과 최동식 등(2004)의 연구에서는 상지 관절간 동작이나 외부부하와의 교호작용을 고려할 경우 실험의 시행 횟수가 많아지는 현실적 이유로 인하여 직교배열법을 사용하였다. 그로 인해 기도형(2004)의 연구에서는 주요인에 대한 평가만을 실시하였으며, 최동식 등(2004)의 연구에서는 자세간의 교호작용을 생략하였다. 이로 인하여 기존 연구에서는 상지 부위, 특히 어깨와 팔꿈치 관절의 조합자세 및 외부부하가 지각불편도에 미치는 영향에 대한 정확한 평가가 이루어지지 않았다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 상지 관절의 조합자세로 인한 교호작용을 까지 모두 파악함으로써 어깨와 팔꿈치 관절의 동작이 조합되고 외부부하가 부과된 작업자세에 대한 지각불편도를 정량적으로 평가하고자 한다. 이를 통해서 자세별 외부부하가 지각불편도에 미치는 영향을 범주화하고, 조합자세별 외부부하에 대한 객관적 평가체계를 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

실험에는 상지에 병력이 없는 20대 남자 대학원생과 대학생 12명이 참여하였다. 피실험자의 평균(±SD) 나이는 25.9(±2.5)세, 평균 신장은 174(±4.1)cm, 평균 몸무게는 66.8(±6.0)kg이었으며 모든 피실험자는 오른손잡이였다.

2.2 실험계획

본 연구에서는 어깨자세와 팔꿈치자세 그리고 외부부하를 독립변수로 하였다. 어깨자세는 자세의 각도에 따라 각각 하나의 폄(extension)자세와 중립(neutral)자세 및 세 개의 굽힘(flexion)자세의 다섯 수준으로 정의되었다. 팔꿈치자세는 굽힘 각에 따라 하나의 중립자세와 두 개의 굽힘자세의 세 수준으로 정의되었다. 어깨와 팔꿈치의 자세 및 조합자세에 대한 동작은 기존의 연구(Kee and Karwowski, 2001; 이인석, 2002; 박용주, 2004)를 참조하여 결정하였다.

어깨 관절의 동작은 굽힘/폄, 모음/벌림(adduction/abduction), 안쪽/가쪽돌림(internal/external rotation)으로 구분된다. 어깨자세의 안쪽돌림/가쪽돌림은 상대적으로 다른 어깨동작에 비해 불편도가 적고(Kee and Karwowski, 2001), 동작의 자세조정(posture controlling)이 어려워 본 연구에서는 이 동작을 제외하였다. 어깨자세의 굽힘/폄과, 모음/벌림의 복합자세에 대한 지각불편도를 평가한 박용주(2004)의 연구에 의하면, 불편도에 영향을 미치는 자세는 굽힘/폄이며, 모음/벌림의 영향은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 보고 하고 있어 제외하였다.

외부부하의 수준은 작업장에서 사용되는 수공구의 무게를 대표할 수 있도록 결정되었다. 본 실험에서는 자동차 조립공정의 대표적인 수공구의 무게는 3kg 이하라고 제시한 기존의 연구(Armstrong et al., 1989)를 참조하여 외부부하의 수준을 0, 1.5, 3.0kg으로 결정하였다. 본 연구에서는 표 1과 같이 세 독립변수의 45가지 조건에 대해 within subject design을 사용하여 실험을 실시하였다.

표 1. 독립변수와 수준

독립변수	수준 수	수준
어깨자세(S)	5	−20°, 0°, 45°, 90°, 135°
팔꿈치자세(E)	3	0°, 45°, 120°
외부부하(EL)	3	0 kg, 1.5 kg, 3 kg

종속변수로는 지각불편도가 선정되었고, 피실험자는 Borg's CR10(Borg, 1993)을 이용하여 인지된 불편도를 평가하였다. Borg's CR10은 지각불편도를 평가하는 심물리학적 방법의 일종으로 0~10점 사이의 평가구간을 갖는다.

2.3 실험절차

실험이 시작되기 전 피실험자에게 실험의 목적과 방법을 설명하고, 피실험자의 체중, 신장, 나이와 같은 정보를 파악하였다. 그리고, 지각불편도 측정을 위한 Borg's CR10의 평가 방법 및 실험자세에 대하여 설명하였다. 본 실험에서는 45개의 실험조건에 대해 주어진 자세를 60초 동안 유지한 후 Borg's CR10을 이용하여 지각불편도를 평가하였다. 피실험자의 자세유지를 위하여 각도기와 받침대를 이용하였고, 외부부하를 부과하기 위하여 1.5kg과 3.0kg의 아령을 사용하였다. 각 피실험자의 실험순서는 무작위로 제시되었으며 실험은 1일 15개 조건씩 3일에 걸쳐 수행되었다. 1회 실험 종료 후 피실험자에게 최소 3분의 쉬는 시간을 부여하였고, 피실험자 자율에 의하여 정해진 시간보다 더 많은 시간을 쉴 수 있도록 하였다.

3. 연구 결과

3.1 지각불편도의 분산분석

실험 요인들이 지각불편도에 미치는 영향을 통계적으로 검증하기 위해 분산분석(3-way ANOVA)을 실시하였다. 분산분석 결과 표 2와 같이 어깨자세, 팔꿈치자세 및 외부부하 모두 지각불편도에 끼치는 영향이 유의한 것으로 파악되었다. 또한 어깨자세와 팔꿈치자세, 어깨자세와 외부부하, 팔꿈치자세와 외부부하, 어깨자세와 팔꿈치자세 및 외부부하의 교호작용도 지각불편도에 끼치는 영향이 모두 유의한 것으로 파악되었다.

표 2. 지각불편도의 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	*p*
S(어깨자세)	4	772.42	193.10	129.71	<.0001*
E(팔꿈치자세)	2	34.51	17.26	19.59	<.0001*
EL(외부부하)	2	1257.92	628.96	257.40	<.0001*
S×E	8	153.47	19.18	21.16	<.0001*
S×EL	8	92.04	11.51	15.15	<.0001*
E×EL	4	21.82	5.46	7.41	<.0001*
S×E×EL	16	80.85	5.05	8.09	<.0001*
Sub(Subject)	11	139.42	12.67		
Sub×S	44	65.50	1.49		
Sub×E	22	19.38	0.88		
Sub×EL	22	53.76	2.44		
Sub×S×E	88	79.79	0.91		
Sub×S×EL	88	66.81	0.76		
Sub×E×EL	44	32.39	0.74		
Sub×S×E×EL	176	113.09	0.64		
Total	539	2983.17	901.05		

*α=0.05에서 유의함

어깨자세의 경우, 중립자세(0°)를 기준으로 각도가 증가할수록 지각불편도가 증가하는 경향이 나타났다(그림 1). 자세수준별 차이를 분석하기 위하여 SNK 검정(Student Newman-Keuls test)을 실시한 결과, 어깨 굽힘 90°와 135°에서의 지각불편도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 파악되었다(α=0.05).

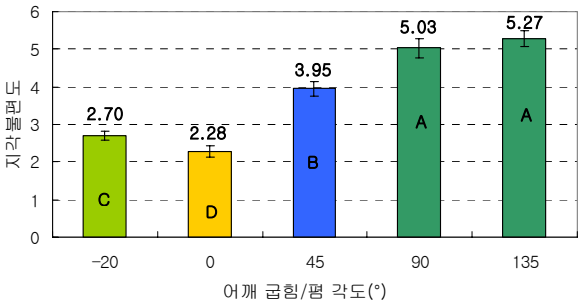

그림 1. 어깨 굽힘/폄에 대한 지각불편도 평균
(알파벳은 SNK 검정 결과를 표시)

팔꿈치자세의 경우 중립자세(0°)를 기준으로 각도가 증가할수록 지각불편도가 감소하는 경향이 나타났다(그림 2). SNK 검정 결과 팔꿈치 굽힘 0°와 45°에서의 지각불편도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 파악되었다(α=0.05). 외부부하의 경우 무게가 증가할수록 지각불편도가 증가하는 것으로 나타났고(그림 3) SNK 검정 결과 모든 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 파악되었다 (α=0.05).

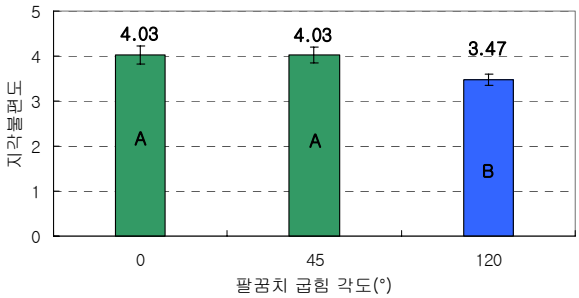

그림 2. 팔꿈치 굽힘에 대한 지각불편도 평균
(알파벳은 SNK 검정 결과를 표시)

어깨와 팔꿈치자세의 수준별 유의성을 검증하기 위해 simple effect 분석을 실시하였다. 분석 결과 어깨자세와 팔

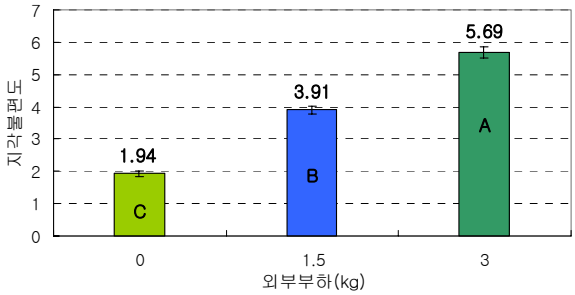

그림 3. 외부부하에 대한 지각불편도의 평균
(알파벳은 SNK 검정 결과를 표시)

꿈치자세 모두 지각불편도에 미치는 영향은 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며(α=0.05), 어깨자세에 따른 지각불편도는 중립자세(0°)를 기준으로 어깨자세의 각도가 커질수록 증가하는 것으로 나타났다. 그리고, 중립자세를 제외한 나머지 수준의 어깨자세에서 팔꿈치자세의 각도가 증가할수록 지각불편도가 감소하는 경향이 나타났다(그림 4).

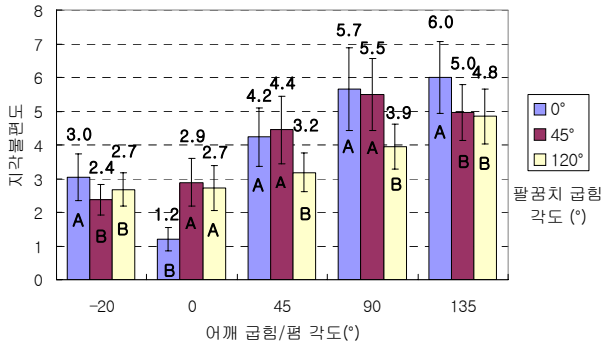

그림 4. 어깨와 팔꿈치자세의 simple effect analysis 결과
(알파벳은 SNK 검정 결과를 의미)

어깨자세와 외부부하의 교호작용의 경우, 외부부하의 변화에 따른 지각불편도의 변화가 다르게 나타났으며, 어깨자세의 각도가 증가할수록 그 변화량이 증가하는 경향이 나타났다(그림 5). 팔꿈치자세와 외부부하의 교호작용 역시 외부부하의 변화에 따른 지각불편도의 변화에 차이가 나타났으며, 팔꿈치자세의 각도가 감소할수록 그 변화량이 증가하는 경향이 나타났다(그림 6).

3.2 회귀분석 결과

어깨와 팔꿈치의 조합자세별로 외부부하가 지각불편도에 미치는 영향의 유무를 정량적으로 파악하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 12명의 피실험자별 외부부하에 따른 15가지 조합자세에 대해서 외부부하를 독립변수로 하고 지각불

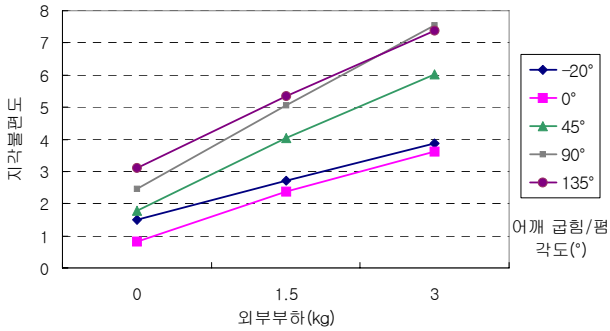

그림 5. 외부부하와 어깨 굽힘/폄의 교호작용

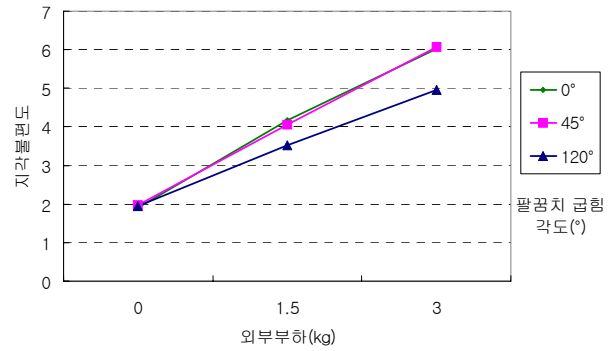

그림 6. 외부부하와 팔꿈치 굽힘의 교호작용

편도를 종속변수로 설정하여, 각 조합자세별로 36개의 데이터(외부부하 3수준×피실험자 12명)를 이용하여 회귀식의 기울기와 상수를 산출하였다. 분석 결과 15가지 조합자세의 회귀식 중 절반 이상의 회귀식에서 R^2값이 0.64~0.86 사이의 값을 갖는 것으로 나타나, 외부부하가 증가할수록 지각불편도 역시 선형적으로 증가하는 것을 파악할 수 있었다.

또한 조합자세의 수준에 따라 외부부하가 지각불편도에 미치는 영향의 통계적 차이 여부를 파악하기 위하여 조합자세를 독립변수로, 피실험자 및 자세별 회귀분석 결과 산출된 기울기를 종속변수로 하여 일원 분산분석을 실시하였다. 분석 결과 조합자세에 따라 기울기에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고(표 3), SNK 검정 결과 조합자세는 여섯 개의 그룹으로 구분되었다(표 4).

4. 토 의

어깨자세와 팔꿈치자세의 교호작용의 경우 팔꿈치 중립자세를 제외한 나머지 수준에서 어깨자세의 수준에 따라 불편도의 증감 경향에 차이가 나타났다. 예를 들어, 팔꿈치 굽힘

표 3. 자세별 외부부하의 영향에 대한 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	*p*
조합자세(p)	14	39.52	2.82	16.21	<.01*
피실험자(sub)	11	9.39	0.85		
sub×p	154	26.81	0.17		
Total	179	75.72	3.85		

*α=0.05에서 유의함

표 4. 자세별 외부부하(회귀식의 기울기)의 영향

조합자세		기울기 평균	SNK 그룹핑
어깨자세	팔꿈치자세		
90°	0°	2.11	
90°	45°	1.95	
45°	45°	1.8	
135°	0°	1.71	
45°	0°	1.5	
135°	120°	1.29	
0°	45°	1.2	
135°	45°	1.17	
0°	120°	1.13	
90°	120°	0.94	
45°	120°	0.93	
−20°	0°	0.89	
−20°	120°	0.81	
−20°	45°	0.69	
0°	0°	0.45	

45°에서 어깨 폄 20°의 지각불편도는 중립자세의 불편도보다 큰 값을 갖는 것으로 나타났고, 어깨 굽힘 90°의 불편도는 135°의 불편도보다 큰 것으로 나타났다. 그리고 팔꿈치 굽힘 120°에서는 어깨 폄 20°의 불편도와 중립자세의 불편도에 차이가 없는 것으로 나타났다. 기존의 관찰적 기법에서는 중립자세를 기준으로 관절의 각도가 커질수록 자세의 부하가 증가하지만, 본 연구에서는 그러한 경향을 따르지 않는 것으로 나타났다. 따라서 여러 관절을 동시에 사용하는 자세를 평가할 경우 신체 각 부위의 개별적인 평가보다는 지각불편도에 미치는 관절간 조합의 영향이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

어깨자세와 외부부하의 교호작용의 경우, 외부부하의 변화에 대한 지각불편도의 변화량이 어깨자세의 수준에 따라 다른 것으로 나타났으며, 팔꿈치자세와 외부부하의 교호작용에서도 팔꿈치자세의 수준별로 동일한 경향이 파악되었다. 따라서 외부부하가 부과된 어깨와 팔꿈치 관절의 동작이 조합된 자세의 평가에는, 신체 각 부위에 대한 평가 및 외부부하에 대해 개별적으로 단순 합산하는 방식을 사용하는 기존의 관찰적 기법이 적합하지 않은 것으로 판단된다.

회귀분석 결과 조합자세별로 외부부하가 지각불편도에 영향을 미치는 것으로 나타났고, 일원분산분석 결과 자세별 외부부하의 영향에 통계적 차이가 있는 것으로 파악되었다. 각각의 자세에서 외부부하의 영향은 SNK 검정 결과를 바탕으로 고부하(자세번호 1~4), 중부하(자세번호 5~9), 저부하(자세번호 10~15)의 세 가지 범주로 구분되었다(표 5). 고부하의 경우 손끝의 위치가 몸통에서 먼 자세 위주로 구성되어, 모멘트 및 자세유지를 위한 상지 부위 근육 사용이 증가하여 외부부하의 영향을 많이 받았다고 볼 수 있다. 중부하의 경우 손끝의 위치가 고부하의 경우보다 몸통에 가까워서 외부부하의 영향을 적게 받으며, 저부하는 손끝의 위치가 몸통에 근접하여 모멘트의 영향이 가장 적어서 외부부하의 영향을 가장 적게 받는다고 볼 수 있다(그림 7). 각 그룹에 포함된 조합자세별 기울기를 이용하여 해당 그룹의 평균값을 계산하였고, 자세별 외부부하의 영향을 표준화하고 범주화하기 위하여 저부하 그룹의 평균인 0.79를 기준으로 각 그룹의 평균값을 나눈 수치를 각 그룹에 부여하였다(표 6). 그 결과 고부하 그룹에는 2.39, 중부하 그룹에는 1.59, 저부하 그룹에는 1의 값이 부여되었다. 외부부하의 영향을 가장 많이 받는 고부하 그룹의 자세는 작업 시 주의를 요하는 작업자세로 간주된다.

표 5. 자세별 외부부하의 영향 및 범주

조합자세			기울기 평균	SNK 그룹핑	그룹 평균	외부부하 범주
번호	어깨 자세	팔꿈치 자세				
1	90°	0°	2.11			
2	90°	45°	1.95		1.89	고부하
3	45°	45°	1.8			
4	135°	0°	1.71			
5	45°	0°	1.5			
6	135°	120°	1.29			
7	0°	45°	1.2		1.26	중부하
8	135°	45°	1.17			
9	0°	120°	1.13			
10	90°	120°	0.94			
11	45°	120°	0.93			
12	−20°	0°	0.89		0.79	저부하
13	−20°	120°	0.81			
14	−20°	45°	0.69			
15	0°	0°	0.45			

(a) 고부하 자세

(b) 중부하 자세

(c) 저부하 자세

그림 7. 외부부하의 영향에 대한 자세별 분류

표 6. 외부부하의 범주화

자세구분		어깨자세				
		−20°	0°	45°	90°	135°
팔꿈치 자세	0°	1	1	1.59	2.39	2.39
	45°	1	1.59	2.39	2.39	1.59
	120°	1	1.59	1	1	1.59

5. 결 론

본 연구에서는 어깨와 팔꿈치 동작이 조합된 자세 및 외부부하가 지각불편도에 미치는 영향을 파악하였다. 분산분석 결과 주요인(어깨자세, 팔꿈치자세, 외부부하) 및 주요인간 교호작용이 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 어깨와 팔꿈치자세의 교호작용의 경우 두 관절의 동작이 조합된 자세의 평가 결과는 기존의 관찰적 기법의 평가 결과와 다르게 나타났으며, 어깨자세나 팔꿈치자세와 외부부하간 교호작용에서도 자세의 수준에 따라 외부부하의 변화 대비 지각불편도의 변화에 차이가 나타났다. 따라서 여러 관절을 동시에 사용하거나 외부부하가 부과된 작업자세의 평가에 있어 신체 각 부위 및 외부부하에 대한 개별적인 평가 후 합산하는 기존의 평가 방식은 적합하지 않은 것을 알 수 있었다.

회귀분석 결과 자세별로 외부부하 수준의 증가에 따라 지각불편도가 증가하는 것으로 나타나, 지각불편도에 대한 외부부하의 영향을 파악할 수 있었다. 일원분산분석 결과 자세별 회귀식의 기울기에 차이가 있는 것으로 파악되어, 외부부하의 영향에 대한 통계적 차이가 파악되었다. 어깨와 팔꿈치의 조합자세별 외부부하의 영향은 고부하, 중부하, 저부하의 세 개 범주로 구분되었고, 각 자세에는 정량적 수치가 제시되었다. 그 결과 자세별 외부부하의 영향에 대한 분류체계가 제시되었다.

본 연구의 결과는 실제 작업현장에서의 작업자세의 평가에 직접적으로 적용될 수 있으나 허리나 하지자세가 고정되어 있는 경우에 한정되어 있다. 추후 다양한 허리와 하지자세가 조합된 경우에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

참고 문헌

기도형, 외부부하, 상지자세와 지속 시간에 따른 지각불편도, *대한산업공학회지*, 30(2), 76-83, 2004.

이인석, 관절동작 불편도에 근거한 심물리학적 자세부하 평가 모델, 박사학위논문, 포항공과대학교, 2002.

박용주, 외부부하가 부과된 어깨 자세의 심물리학적 불편도 평가, 석사학위논문, 포항공과대학교, 2004.

최동식, 박성준, 정의승, 최재호, 상체의 자세 변화에 따른 외부부하에 대한 불편도 영향 평가, *대한인간공학회지*, 23(4), 45-56, 2004.

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

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.

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., A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders, S*candinavian Journal of Work, Environment and Health*, 19(2), 73-84, 1993.

Borg, G., *Borg's perceived exertion and pain scales*, Human Kinetics, Champaign, IL, 1993.

Grandjean, E. and Hünting, W., Ergonomics of postures - review of various problems of standing and sitting postures, *Applied Ergonomics*, 8(3), 135-140, 1977.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid entire body assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205, 2000.

Karhu, O., Hrknen, R., Sorvali, P. and Vepslinen, P., Observing working postures in industry: Examples of OWAS application, *Applied Ergonomics*, 12(1), 13-17, 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.

MacLeod, D., *The office ergonomics kit*, Lewis Publishers, 1999.

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

Putz-Anderson, V., *Cumulative trauma disorders: A manual for musculo-skeletal diseases of the upper limbs*, Taylor & Francis, London, 1988.
van Wely, P., Design and disease, *Applied Ergonomics*, 1, 262-290, 1970.
Westgaard, R. H. and Aarås, A., Postural muscle strain as a casual factor in the development of musculoskeletal illnesses, *Applied Ergonomics*, 15(3), 162-174, 1984.

저자 소개

❖ 김 동 진 ❖ releasky@postech.ac.kr
한양대학교 산업공학과 학사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 석사 과정
관심분야: 산업안전, UI설계

❖ 나 석 희 ❖ na@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업경영공학과 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 박사 후 연구원
관심분야: 인체역학, 제품디자인, 산업안전

❖ 박 국 무 ❖ dandelion@hyundai-motor.com
포항공과대학교 산업경영공학과 석사
현 재: 현대자동차 연구개발총괄본부 연구원
관심분야: 인체역학, 감성공학, 차량 설계, 승용 안전, UI설계

❖ 기 도 형 ❖ dhkee@kmu.ac.kr
포항공과대학교 산업공학과 박사
현 재: 계명대학교 산업시스템공학과 교수
관심분야: 산업안전, 생체역학, 근골격계질환

❖ 정 민 근 ❖ mkc@postech.ac.kr
Univ. of Michigan 산업공학과 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 산업안전, 인체역학, 응용 통계 및 실험 계획

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 10월 01일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 10월 31일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 11월 16일