Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 6 pp.695-703, December 2011 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2011.30.6.695

The Effects of Coordinated Upper-limb Postures of Back, Shoulder, and Elbow Flexion Angles on the Subjective Discomfort Rating, Heart Rate, and Muscle Activities

Yong-Ku Kong[1], Soo-Jin Lee[2], Kyung-Suk Lee[3], Min-Tae Seo[1]

[1]Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746
[2]Department of Occupational and Environmental Medicine, Hanyang University, Seoul, 133-791
[3]National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon, 441-707

ABSTRACT

Objective: This study was to investigate the effects of coordinated upper-limb body postures on the subjective discomfort rating, heart rate, and muscle activities. **Background:** Although generally many checklists such as OWAS, RULA, and REBA were applied to evaluate various body postures, the body postures were might be overestimated or underestimated because each body part(i.e., back, shoulder, and elbow etc.) was evaluated separately, and then added all rates of individual body parts to assess an overall risk level for the body posture in these methodologies. **Methods:** A total of 20 participants maintained 14 postures which were combinations of back, shoulder, and elbow flexion angles and then muscle activities, subjective discomfort, and heart rates were collected every three minute during a sustained 15 minute and 0.5kg weight holding task. Four muscle groups were investigated: erector spine, anterior deltoid, upper trapezius, triceps brachii. **Results:** Results showed that subjective discomfort was the lowest when the angle of back and shoulder were both 0°s, while the body posture with 45° of back angle and 45° shoulder angle was rated as the most subjective discomfort posture. In general, the subjective discomfort ratings increased as back and shoulder flexion angles increased. It was noted that, however, the subjective discomfort of body posture with a 45° back angle and 45° shoulder flexion angle was lower than that of body posture with a 0° back and 45° shoulder flexion angle. The research findings of heart rates and muscle activities showed similar results for the analyses of subjective discomfort ratings. **Conclusions:** The possible limitations of the current ergonomics evaluation techniques which assessing a body posture with summing all body part score after individually analyzed in this study. Based on the analyses of subjective discomfort, heart rate, and muscle activities, it was recommended that a use of effects of coordinated upper-limb body postures would be considered when one evaluates work-load for various working postures. **Application:** These findings can be used for developing a more accurate assessment checklist for working posture as well as preventing musculoskeletal disorders of workers in workplaces.

Keywords: WMSDs, Ergonomics evaluations, Back flexion angle, Shoulder flexion angle, Elbow flexion angle

1. Introduction

근골격계 질환이란 장시간의 단순반복 작업 또는 인체에 과도한 부담을 주는 작업에 의해 발생하는 건강장애를 말한다. 그 영향으로 작업자에게 심리적, 정신적 고통과 생산성 감소 및 보상비용 등의 경제적 손실 등을 가중시킨다 (Chaffin et al., 1999). 최근 근골격계 질환은 사회적으로 많

Corresponding Author: Min-Tae Seo. Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746.
E-mail: smt850920@naver.com
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

이 대두되고 있는 질환 중 하나이다. 우리나라의 2009년도 노동부 산업재해통계에 의하면 전체 97,821명 산업재해자 중에서 근골격계 질환자가 6,234명으로 전체 재해자의 6.4%를 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 그 비율은 매년 증가하여, 현재 많은 산업현장에서 작업 위험요인에 대한 평가와 질환자에 대한 조치를 시행하고 있지만 농작업의 경우 개인적으로 또는 소수에 의해 운영되고 있어 근골격계 질환 및 각종 산업재해에 대해서 조치가 미흡한 것으로 보인다. 다른 산업현장의 근골격계 위험요인과 농작업의 위험요인을 비교해 보면 농작업은 그 특성상 작업환경 및 자세가 불특정하여 위험요인 특성도 다를 것으로 보인다(Park, 2000).

농작업은 소수의 인원이 다양하고 과도한 작업을 수행해야 하는 열악한 작업조건을 가지고 있다. 특히나 사회적 특성상 농작업 인구의 고령화로 인하여 근골격계 질환의 심각성은 다른 산업분야에 비해 상당히 크다고 예상할 수 있고, 또한 예측하기 어려운 작업환경과 자세로 인하여 그 심각성은 날로 심화되고 있다. 이에 농작업 또한 자세 또는 작업환경의 위험요소를 평가하는 기법들의 체계적인 도입이 필요하다.

근골격계 질환에 영향을 주는 주요요인인 작업 자세에 대하여 작업 부하를 예측 및 평가를 하는 평가 기법 중 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 인간공학적 작업 부하 평가 기법들은 OWAS(Ovako Working-posture Analysis System), RULA(Rapid Upper Limb Assessment), REBA(Rapid Entire Body Assessment)가 있는데, 이는 관찰적 기법(observational method)으로써 선행연구에 따르면 작업 자세 부하 분석 및 평가 방법 중 관찰적 기법이 평가 시 작업자의 작업을 방해하지 않으며, 특별한 장비가 필요하지 않아 가장 선호되어 산업현장에서 가장 널리 사용되고 있다(Genaidy et al., 1994; Kilbom, 1994; Winkel and Mathiassen, 1994; Li and Buckle, 1999).

하지만 3가지 기법들 중 OWAS의 경우, 평가각도나 정확한 수치를 사용하지 않고 일반적인 자세 용어를 사용하므로 각 신체부위별 각도를 기준으로 자세를 분류하여 측정하는 RULA나 REBA에 비해 정확성이 떨어질 수도 있다. 이 기법들의 장점으로는 전문적인 기술이나 지식이 없다고 해도 약간의 이해만으로도 쉽게 활용할 수 있어 산업현장에서 널리 사용되고 있다. 하지만, 각 신체부위별로 평가를 함으로써 각 부위별 상호연관성을 고려하지 않아 정확한 평가에 한계가 발생하고 과대 평가의 가능성이 있다(Kong et al., 2010; Lim et al., 2011).

Lim et al.(2011)은 허리각도와 어깨각도를 조합한 작업자세에 대한 결과에서 RULA, REBA, OWAS와 같은 자세 부하평가 기법들의 한계점에 대해 연구하였다. 예를 들면, 허리각도 45°와 어깨각도 45°의 조합이 허리각도 45°와 어깨각도 0°의 조합보다 어깨의 불편도 및 근육활성도가 낮게 나타났다. 기존의 평가 기법들과는 다소 상이한 결과가 나타난 것이다.

따라서 본 연구에서는 허리각도와 어깨각도, 그리고 팔꿈치각도를 조합한 자세가 주관적 불편도와 심박수, 근활성도에 미치는 영향에 대하여 알아보고, 더불어 기존 평가 기법들의 한계점 극복에 이바지 하고자 한다.

2. Method

2.1 Subjects

본 연구에 참여한 피실험자들은 과거와 현재 허리와 상지에 근골격계 관련 질환의 경험이 없는 남자 대학생 및 대학원생 20명이 참여하였다.

전체 피실험자의 평균 연령은 25.4±2.5[세]이고, 신장 및 몸무게의 평균은 각각 175.93±4.4[cm], 71.93±6.4[kg]이다.

2.2 Postures

본 연구를 수행하기 위한 실험자세 선정을 위하여 농작업 현장에서 촬영한 총 8시간 11분 16초의 동영상에서 분당 10초 이상 동일한 작업 자세를 취하거나 분당 작업 자세 빈도가 5회 이상 취해진 작업 자세 662개의 주요 자세를 도출하였으며, 각 작업별 주요 자세의 허리, 어깨, 팔꿈치에 대하여 동영상 분석을 통한 각각의 각도를 측정하였다. 그 중에서 반복되는 작업을 기준으로 분당 빈도가 높은 주요 자세를 대상으로 선정하였으며, 동영상 분석을 통해 허리는 0~90°, 어깨는 0~120°, 팔꿈치는 0~90°의 대표각도를 수립하였다. 이들 각 부위별 굽힘각도 선정은 기존 연구에서 45°를 기준으로 나눈 연구에 따라 허리는 3수준(0°, 45°, 90°), 어깨는 4수준(0°, 45°, 90°, 120°), 팔꿈치는 3수준(0°, 45°, 90°)으로 각각 선정하였다(McGill et al., 1986, McAtamney et al., 1993, Hignett et al., 2000). 이에 각 관절의 각도를 조합하여 36개의 자세를 도출하였고, 도출된 36개의 주요 자세에 대해 662개의 자세를 빈도수를 정리한 결과, 빈도수가 20회 이상인 주요 자세는 14개로서 전체 주요 자세 중 78.4%를 차지하였다. 그리하여 본 실험에서 수행된 실험자세는 <Figure 1>과 같다.

2.3 Muscles

각 작업 자세에 따른 신체부위별 근육의 활성도를 평가하

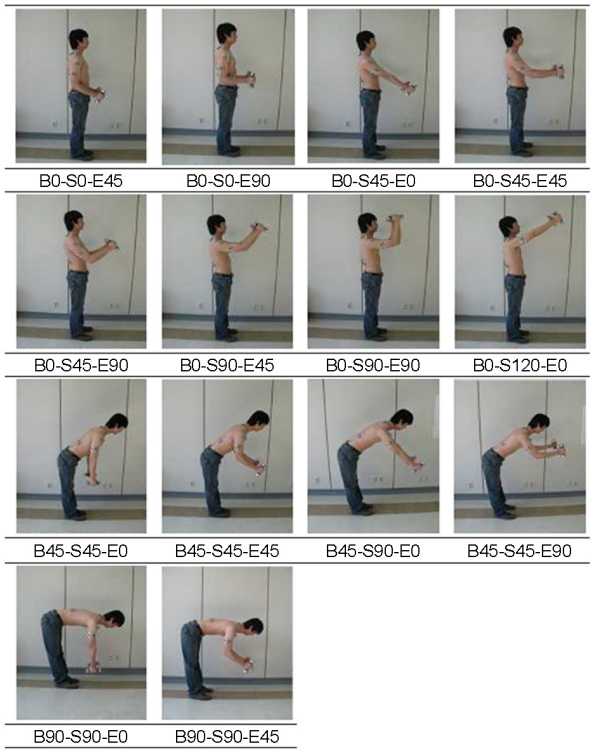
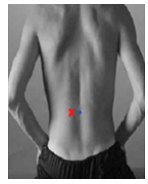
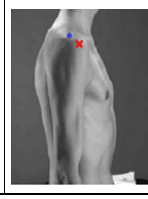
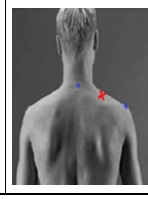
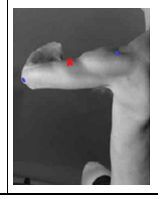


Figure 1. Fourteen body postures(B-back, S-shoulder, E-elbow)

기 위하여 상지 및 허리와 관련된 4개의 근육을 선정하였다. 평가 근육으로 허리부위의 부하를 평가하기 위하여 척추의 신전과 외측굴곡을 관장하는 척추세움근(Erector Spine, ES)을 선정하였으며 근육의 resting EMG는 편히 엎드린 상태에서 5초 동안 측정하였다. 또한 maximum EMG는 엎드린 상태에서 실험자가 다리를 고정하고 피실험자가 상체를 최대한 들어올리는 방법으로 5초간 측정하였다. 어깨의 부하를 평가하기 위하여 상완골의 굴곡을 관장하는 삼각근 전부(Anterior Deltoid, AD)와 견갑골의 거상을 관장하는 승모근 상부(Upper Trapezius, UT)를 선정하였다. 삼각근 전부의 resting EMG는 등을 고정시키고 편하게 앉은 자세에서 5초간 측정하였고, maximum EMG는 같은 자세에서 양팔을 전방으로 90° 올린 후 실험자가 피실험자의 팔에 아래방향으로 부하를 주고 실험자는 위쪽방향으로 들어올리는 방법으로 5초간 측정하였다. 승모근 상부의 resting EMG 또한 삼각근 전부의 resting EMG 측정과 동일한 방법으로 5초간 측정하였고, maximum EMG는 같은 자세에서 실험자가 피실험자의 어깨를 누르고 피실험자는 위방향으로 어깨를 들어올리는 방법으로 5초간 측정하였다. 팔의 부하를 평가하기 위하여 주관절과 상완골의 신전을 관장하는 상완삼두근(Triceps Brachii, TB)를 선정하였다. 상완삼두근의 resting EMG 또한 삼각근, 승모근 상부와 동일하게 등을 고정시키고 의자에 편하게 앉은 상태에서 5초간 측정하였다. Maximum EMG는 팔꿈치를 테이블에 안정적으로 지지시키고 팔꿈치를 90° 굽혀 실험자가 피실험자의 몸방향으로 손목을 누르면 피실험자는 반대방향으로 힘을 주는 방법으로 5초간 측정하였다. 각 근육의 활성도 측정을 위한 근전도 부착 위치(Table 1)는 SENIAM과 Perotto A.(2004)를 참조하였다.

Table 1. Positions of EMG electrodes(SENIAM)

허리	어깨		팔
척추세움근 (Erector Spine)	삼각근 (Anterior Deltoid)	승모근 (Upper Trapezius)	삼두근 (Triceps Brachoii)
			

2.4 Equipments

본 연구는 상지 및 허리와 관련된 4개 근육에 대한 근전도 평가를 위하여 Noraxon사의 근전도 측정기 DTS system을 사용하였다. DTS system은 WiFi를 이용한 완전무선 방식 시스템으로 4~16개 채널로 이루어져 있으며, 본 연구에서는 4개 채널만을 사용하였다. DTS system으로 측정된 근전도 Data는 DTS system의 software인 MyoResearch XP Master(ver. 1.07)를 활용하여 분석하였다.

심박수 측정 및 분석은 심장의 ECG 신호를 통해 실시간의 심박수를 측정할 수 있는 손목시계타입(수신기)의 Polar RS 800 system을 사용하였다.

2.5 Design of experiment

허리와 어깨, 팔꿈치가 조합된 자세에 대한 각 신체부위별 주관적 불편도와 심박수의 변화, 그리고 근전도를 통한 힘의 변화를 알아보기 위하여 14가지 작업 자세와 상지 및 허리 관련 4개 근육들(척추세움근, 삼각근, 승모근, 삼두근)을 독립 변수로 정하였으며, 주관적 불편도와 심박수, 근전도의 RMS(Root Mean Square)를 종속 변수로 정하여 유의수준 0.05로 분석하였다.

피실험자들은 본 실험에 참여하기 전에 실험에 대한 충분한 설명을 들은 후에 실험참여 동의서에 서명을 하였으며, 간단한 인적사항(생년월일, 신장, 몸무게)과 과거 질병이나 사고에 대한 유무, 진단 경력 등에 대해 작성하였다.

실험자는 피실험자에게 허리 및 상지 근육에 대한 근전도

평가를 위해 4개의 근전도 센서를 선정된 각 근육에 부착하였다.

심박수의 경우, 피실험자의 심박수를 측정하기 위해 Polar RS 800 system을 착용하였고, 사람마다 최대 · 최소값이 다르므로 이와 같은 편차를 최소화하기 위하여 각각의 심박수에 대해서 <eq. 1>을 이용하여 표준화(Karvonen et al., 1957)를 실시하였으며, 여기서 최대 심박수는 ACSM(미국스포츠의학회)에서 쓰고 있는 공식인 '220−자신의 나이'로 계산하였다(Fox et al., 1971). 최소 심박수는 몸이 운동을 하고 있지 않는 안전 상태에서의 심박수를 측정하기 위해 실험 전에 측정하였다.

$$\frac{(HR_{WORK} - HR_{REST})}{(HR_{MAX} - HR_{REST})} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(eq. 1)}$$

근전도 RMS의 경우 역시, 피실험자들 간의 근활성도의 편차를 제거하기 위해 각 근육별 resting EMG를 측정한 후, maximum EMG를 5초씩 총 3회 측정하여 각 근육에 대한 표준화<eq. 2>를 실시하여 %MVC(Maximum Voluntary Contraction)를 산출하였으며, 이때, 측정 사이에 피로를 최소화하기 위해 충분한 휴식을 취하도록 하였다.

$$\%MVC = \frac{(RMS_{TASK} - RMS_{REST})}{(RMS_{MAX} - RMS_{REST})} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(eq. 2)}$$

본 실험을 위해, 실험자는 14가지 자세에 대하여 무작위로 순서를 선정한 후, 피실험자에게 선정된 순서대로 자세를 취하도록 하였다. 이때, 각 자세에서 양손에 0.5kg의 아령을 들고 15분간 유지하도록 하였다. 실험자는 피실험자에게 전신에 대한 주관적 불편도에 대하여 Borg's RPE scale을 활용하여 측정하고, 각 신체부위(허리, 어깨, 팔)에 대한 주관적 불편도에 대하여 Borg's CR−10 scale을 활용하여 측정하였다. 또한, 주관적 불편도와 동시에 피실험자의 심박수도 측정하였다. 한 가지 자세가 끝나면, 피실험자는 실험에 대한 피로도를 최소화시키기 위하여 10분 이상의 충분한 휴식을 취하도록 하였다.

3. Results

3.1 Subjective discomfort rating

ANOVA 분석 결과, 전신 불편도는 허리각도와 어깨각도에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p \leq 0.001$). 이는 허리와 어깨각도에 따라 전신 불편도에 영향을 미치는 것으로 알 수 있고, 허리각도가 45°일 때 전신 불편도는 15.6을 나타내어, 허리각도 90°(14.3)와 허리각도 0°(13.0)보다 통계적으로 유의하게 높았으며, 한편 어깨각도가 120°일 때 전신 불편도는 17.11을 나타내어, 어깨각도 90°(15.1), 어깨각도 45°(13.7), 어깨각도 0°(9.6)일 때 보다 통계적으로 유의하게 높았다. 이와 같은 결과로 어깨각도가 높아짐에 따라 전신 불편도에 미치는 영향이 큰 것으로 볼 수 있다.

Borg's RPE scale을 사용하여 측정한 각 자세 별 전신 불편도를 Tukey HSD로 그룹핑한 결과는 (Table 2)와 같다.

가장 높은 불편도를 보인 자세는 어깨각도가 120°인 B0−S120−E0(17.11)로, 이는 Borg's scale에서 Very hard한 상태인 매우 힘든 자세를 뜻한다. 반면, 가장 낮은 불편도를 보인 자세는 허리와 어깨각도가 0°인 경우로, B0−S0−E45(9.34)와 B0−S0−E90(9.82)이었고, 이는 Very light한 상태로 상대적으로 덜 힘든 자세를 뜻한다.

Table 2. Whole-body discomfort for each body posture

Body-posture	Discomfort	Body-posture	Discomfort
B0-S0-E45	9.34^{A}	B45-S45-E0	14.87^{BCDE}
B0-S0-E90	9.82^{A}	B45-S45-E45	15.33^{CDE}
B0-S45-E90	12.31^{B}	B0-S90-E45	15.42^{CDE}
B0-S45-E45	12.95^{BC}	B45-S90-E45	15.80^{CDE}
B0-S45-E0	12.96^{BC}	B45-S90-E0	16.33^{DE}
B90-S90-E0	13.96^{BCD}	B0-S120-E0	17.11^{E}
B0-S90-E90	14.46^{BCDE}	**Mean**	**13.95**
B90-S90-E45	14.63^{BCDE}	**SD**	**0.17**

*Alphabet represents a significant statistical grouping

각 자세에 따른 신체 별 주관적 불편도를 측정하기 위해 Borg's CR−10 scale를 사용하여 Tukey HSD으로 그룹핑한 결과는 (Table 3)과 같다.

허리 불편도는 허리각도에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.001$). 허리각도가 45°일 때 허리 불편도는 6.2로 나타나, 허리각도 90°(4.3)와 허리각도 0°(1.4)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 그룹핑 결과 허리각도가 0°일 때, 가장 낮은 경향을 보였고 특히, B0−S0−E45의 경우에는 Extremely weak와 Very weak의 사이로 허리에 거의 불편함이 없는 것으로 나타났다.

어깨 불편도는 허리각도와 어깨각도에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있었고, 허리와 어깨각도 간의 교호작용에서 또한 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$). 이는 허리와 어깨각도에 따라 어깨 불편도에 영향을 미치는 것으로 알 수 있다. 허리각도가 0°일 때 어깨 불편도는 4.2로 나타났으며, 허리각도 45°(3.1), 허리각도 90°

(1.9)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 한편, 어깨각도가 120°일 때 어깨 불편도는 17.11로 나타나, 어깨각도 90°(15.1), 어깨각도 45°(13.7), 어깨각도 0°(9.6)일 때 보다 통계적으로 유의하게 높았다. 14가지 자세 분석에서는, 어깨각도가 최대인 120°의 조합 자세인 B0-S120-E0에서는 7.19점으로 가장 큰 불편도를 나타내었다.

팔 불편도는 허리각도와 어깨각도에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있고 허리와 팔꿈치각도 간의 교호작용에서 또한 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$). 이는 허리와 어깨각도에 따라 팔 불편도에 영향을 주는 것을 알 수 있고, 허리각도가 0°일 때 팔 불편도는 3.9를 나타내어, 허리각도 45°(3.0), 허리각도 90°(2.3)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 한편, 어깨각도가 120°일 때 팔 불편도는 6.30을 나타내, 어깨각도 90°(3.7), 어깨각도 45°(3.1), 어깨각도 0°(2.0)일 때 보다 통계적으로 유의하게 높았다. 팔의 경우, 전신 또는 다른 신체부위(허리, 어깨)와는 다르게 가장 작은 불편도를 나타낸 자세가 B45-S45-E0로 1.57점을 나타냈고, 가장 큰 불편도를 나타낸 자세는 B0-S120-E0로 6.03점을 나타내어, 이는 전신과 어깨 불편도와 동일하게 매우 힘든 자세로 나타났다.

Table 3. Subjective discomfort of each body part for each body posture

Body-posture	Discomfort	Body-posture	Discomfort
B0-S0-E45	0.71^{A}	B90-S90-E0	3.97^{B}
B0-S0-E90	1.04^{A}	B90-S90-E45	4.66^{BC}
B0-S45-E45	1.28^{A}	B45-S45-E45	5.64^{CD}
B0-S45-E0	1.32^{A}	B45-S90-E45	6.18^{CD}
B0-S90-E90	1.43^{A}	B45-S45-E0	6.20^{CD}
B0-S45-E90	1.48^{A}	B45-S90-E0	6.80^{D}
B0-S90-E45	1.74^{A}	**Mean**	**3.19**
B0-S120-E0	2.17^{A}	**SD**	**0.10**
Body-posture	**Discomfort**	**Body-posture**	**Discomfort**
B0-S0-E45	1.25^{A}	B0-S45-E45	3.78^{C}
B0-S0-E90	1.41^{A}	B45-S90-E0	4.17^{CD}
B90-S90-E0	1.75^{A}	B0-S45-E90	4.19^{CD}
B45-S45-E0	1.87^{AB}	B0-S90-E90	5.79^{DE}
B90-S90-E45	1.95^{AB}	B0-S90-E45	6.32^{E}
B45-S45-E45	2.77^{ABC}	B0-S120-E0	7.19^{E}
B45-S90-E45	3.52^{BC}	**Mean**	**3.55**
B0-S45-E0	3.73^{C}	**SD**	**0.11**
Body-posture	**Discomfort**	**Body-posture**	**Discomfort**
B45-S45-E0	1.57^{A}	B0-S45-E90	3.76^{DEFG}
B0-S0-E45	1.83^{AB}	B0-S45-E0	3.84^{DEFG}
B90-S90-E0	1.93^{ABC}	B45-S90-E0	4.03^{EFG}
B0-S0-E90	2.24^{ABCD}	B0-S90-E90	4.95^{FGH}
B90-S90-E45	2.57^{ABCDE}	B0-S90-E45	5.14^{GH}
B45-S45-E45	2.78^{ABCDE}	B0-S120-E0	6.30^{H}
B45-S90-E45	3.43^{BCDEF}	**Mean**	**3.42**
B0-S45-E45	3.52^{CDEFG}	**SD**	**0.10**

*Alphabet represents a significant statistical grouping

3.2 Heart rate

심박수에 대한 ANOVA 분석 결과, 허리와 어깨, 팔꿈치 각도에 따라 모두 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 어깨각도와 팔꿈치각도의 교호작용에서도 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$). 이는 허리와 어깨, 팔꿈치 각각의 각도 모두 심박수에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 허리의 경우, 허리각도 45°일 때, 28.0%의 심박수를 보였으며, 이는 허리각도 90°(26.4%), 허리각도 0°(25.4%)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 어깨의 경우, 어깨각도 120°일 때, 31.1%의 심박수를 보였으며, 어깨각도 90°(28.3%), 어깨각도 45°(25.6%), 어깨각도 0°(19.3%)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 팔꿈치의 경우, 팔꿈치각도 45°일 때, 26.9%의 심박수를 보였으며, 팔꿈치각도 0°(26.7%), 팔꿈치각도 90°(24.2%)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 이에 심박수에 가장 큰 영향을 미치는 신체부위별 각도는 허리각도 45°, 어깨각도 120°, 팔꿈치각도 45°로 나타났다. 14가지 자세 분석에서, 31.09%로 가장 높은 심박수를 보인 자세는 B0-S120-E0로 나타났으며, 가장 낮은 심박수를 보인 자세는 B0-S0-E90으로 18.02%로 나타났다(Table 4).

Table 4. Heart rates(%) for each body posture

Body-posture	Heart rate	Body-posture	Heart rate
B0-S0-E90	18.02^{A}	B0-S90-E90	27.58^{DEFG}
B0-S0-E45	20.59^{AB}	B45-S45-E45	27.86^{EFG}
B0-S45-E0	23.07^{BC}	B0-S90-E45	29.15^{EFG}
B45-S45-E0	23.70^{BCD}	B45-S90-E45	30.12^{FG}
B90-S90-E0	25.35^{CDE}	B45-S90-E0	30.45^{FG}
B0-S45-E45	26.32^{CDEF}	B0-S120-E0	31.09^{G}
B0-S45-E90	27.05^{CDEFG}	**Mean**	**26.27**
B90-S90-E45	27.41^{DEFG}	**SD**	**4.11**

*Alphabet represents a significant statistical grouping

3.3 Muscle activities

ANOVA 분석 결과, 척추세움근은 허리와 어깨, 팔꿈치 각도에 따라 모두 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고, 허리각도와 어깨각도, 허리각도와 팔꿈치각도, 어깨각도와 팔꿈치각도의 교호작용에서 또한 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p \leq 0.001$). 이는 허리와 어깨, 팔꿈치의 각각의 각도가 모두 척추세움근의 근활성도에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 척추세움근의 경우, 허리각도 45°에서 18.5%MVC의 근육활성도를 보였으며, 허리각도 0°(13.2%MVC)와 허리각도 90°(7.0%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 어깨각도의 경우, 어깨각도 120°에서 척추세움근은 15.98%MVC의 근활성도를 보였으며, 어깨각도 45°(15.2%MVC), 어깨각도 90°(13.6%MVC), 어깨각도 0°(10.1%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 또한, 팔꿈치각도의 경우, 팔꿈치각도 0°에서 척추세움근은 14.8%MVC의 근육활성도를 보여, 팔꿈치각도 45°(14.2%MVC)와 팔꿈치각도 90°(11.5%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높이 나타났다. 각 자세별 근육의 평균 %MVC를 Tukey HSD를 사용하여 그룹핑한 결과(Table 5), %MVC는 각 자세에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였고($p < 0.001$), 그룹핑 분석을 통해 허리각도에 따라 %MVC가 영향을 받음을 알 수 있다.

삼각근은 주 효과인 허리, 어깨각도와 함께, 허리각도와 팔꿈치각도, 어깨각도와 팔꿈치각도의 교호작용에서도 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.001$). 이는 허리와 어깨의 각도가 삼각근의 근활성도에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 허리의 경우, 허리각도 0°에서 삼각근은 17.1%MVC의 근활성도를 보였으며, 허리각도 45°(11.4%MVC), 허리각도 90°(3.65%MVC)보다 삼각근의 %MVC가 통계적으로 유의하게 높았고, 어깨는 어깨각도 120°에서 삼각근은 33.7%MVC의 근활성도를 보여, 어깨각도 90°(14.6%MVC), 허리각도 45°(10.9%MVC), 어깨각도 0°(6.9%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높이 나타났다. Tukey HSD 분석 결과, B90−S90와 B45−S45에서 각각 3.7%MVC, 5.1%MVC의 근활성도를 보인 반면, B0−S0에서는 6.9%MVC의 근활성도를 보여 B0−S0에서 %MVC가 상대적으로 높게 나타난 것을 확인하였는데, 이는 어깨각도는 어깨 들림에 따른 각도크기가 아니라 허리각도와의 조합으로서 평가를 해야 한다는 것을 알 수 있다. 또한, 허리와 어깨의 각도 차이가 커질수록 삼각근의 근활성도는 높아진다고 볼 수 있다.

승모근은 허리와 어깨, 팔꿈치각도에 따라 모두 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고, 허리각도와 팔꿈치각도, 어깨각도와 팔꿈치각도의 교호작용에서도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 이는 허리와 어깨, 팔꿈치의 각각의 각도가 모두 승모근의 근활성도에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 허리각도 0°에서 승모근의 경우 14.4%MVC의 근활성도를 보였으며, 허리각도 45°(9.1%MVC)와 허리각도 90°(3.2%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 어깨각도 120°에서 승모근은 32.53%MVC의 근활성도를 보였고, 어깨각도 90°(12.8%MVC), 어깨각도 45°(8.8%MVC), 0°(2.5%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 팔꿈치의 경우, 팔꿈치각도 0°에서 승모근은 13.3%MVC의 근활성도를 보여, 팔꿈치각도 90°(11.4%MVC)와 팔꿈치각도 45°(9.6%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높이 나타났다. Tukey HSD를 통한 분석의 결과 또한 %MVC는 각 자세에 따라 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). 특히, B0−S0, B45−S45, B90−S90일 때 %MVC가 낮게 나타나는 경향을 보였는데, 이는 허리와 어깨의 각이 차이가 작을수록 승모근의 %MVC는 감소한다는 것을 확인할 수 있었다.

삼두근은 허리와 어깨, 팔꿈치각도에 따라 모두 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 어깨각도와 팔꿈치각도의 교호작용에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.001$). 이는 허리와 어깨, 팔꿈치의 각각의 각도가 모두 삼두근의 근활성도에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 허리각도 0°에서 삼두근의 경우 2.5%MVC의 근활성도를 보여, 허리각도 45°와 허리각도 90°보다 통계적으로 유의하게 높았다. 어깨는 어깨각도 120°에서 삼두근은 근활성도가 5.42%MVC로, 어깨각도 90°(2.6%MVC), 어깨각도 45°(2.1%MVC), 어깨각도 0°(1.6%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높았다. 또한, 승모근은 팔꿈치각도 0°에서 3.2%MVC의 근활성도를 보여, 팔꿈치각도 45°(2.1%MVC)와 팔꿈치각도 90°(1.7%MVC)보다 통계적으로 유의하게 높이 나타났다. 삼두근에 대한 Tukey HSD를 통한 분석의 결과 역시 %MVC는 각 자세에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$).

Table 5. Average of %MVCs for each body posture

Body-posture	ES	Body-posture	ES
B90-S90-E0	6.38^{A}	B0-S45-E45	15.96^{BCDE}
B90-S90-E45	7.70^{A}	B0-S120-E0	15.98^{BCDE}
B0-S0-E90	9.70^{AB}	B45-S45-E45	16.53^{BCDE}
B0-S0-E45	10.5^{ABC}	B45-S45-E0	17.94^{CDE}
B0-S90-E90	12.02^{ABCD}	B45-S90-E45	18.92^{DE}
B0-S45-E0	12.84^{ABCD}	B45-S90-E0	20.69^{E}
B0-S45-E90	12.87^{ABCD}	**Mean**	**13.88**
B0-S90-E45	15.81^{BCDE}	**SD**	**0.44**

Table 5. Average of %MVCs for each body posture (Continued)

Body-posture	AD	Body-posture	AD
B90-S90-E0	2.46^{A}	B0-S45-E90	14.47^{BC}
B45-S45-E0	3.54^{A}	B0-S45-E0	16.19^{CD}
B90-S90-E45	4.84^{A}	B45-S90-E0	21.09^{CD}
B0-S0-E45	6.31^{AB}	B0-S90-E90	21.68^{CD}
B45-S45-E45	6.60^{AB}	B0-S90-E45	23.26^{D}
B0-S0-E90	7.46^{AB}	B0-S120-E0	33.66^{E}
B0-S45-E45	13.88^{BC}	Mean	**11.30**
B45-S90-E45	14.18^{BC}	SD	**0.41**
Body-posture	**UT**	**Body-posture**	**UT**
B90-S90-E0	1.46^{A}	B0-S45-E90	12.81^{BC}
B45-S45-E0	1.72^{A}	B0-S45-E0	13.26^{BC}
B0-S0-E90	2.14^{A}	B45-S90-E0	17.64^{BCD}
B0-S0-E45	2.92^{A}	B0-S90-E90	19.22^{CD}
B45-S45-E45	4.40^{A}	B0-S90-E45	20.77^{D}
B90-S90-E45	4.84^{A}	B0-S120-E0	32.53^{E}
B0-S45-E45	11.87^{B}	**Mean**	**13.54**
B45-S90-E45	12.66^{BC}	**SD**	**0.52**
Body-posture	**TB**	**Body-posture**	**TB**
B0-S0-E45	1.51^{A}	B45-S90-E45	2.40^{AB}
B0-S0-E90	1.59^{A}	B0-S45-E0	2.48^{AB}
B45-S45-E45	1.78^{A}	B90-S90-E0	2.71^{AB}
B45-S45-E0	1.83^{AB}	B0-S90-E45	2.78^{AB}
B90-S90-E45	1.88^{AB}	B45-S90-E0	3.54^{B}
B0-S45-E90	1.88^{AB}	B0-S120-E0	5.42^{C}
B0-S45-E45	2.24^{AB}	**Mean**	**2.46**
B0-S90-E90	2.33^{AB}	**SD**	**0.10**

*Alphabet represents a significant statistical grouping

4. Discussion

본 연구에서는 여러 가지 자세에 따른 주관적 불편도와 심박수, 근전도 RMS를 측정하여 분석하였다.

주관적 불편도의 경우, ANOVA 분석 결과 전신 불편도에서 허리각도가 45°일 때 15.6으로 높게 나타났으며, 90°, 0° 순으로 낮아지는 것을 보였다. 또한, 심박수를 고려하여 개발된 Borg's RPE scale을 사용하여 불편도를 측정하였다. 이를 토대로 전체 불편도와 심박수의 결과를 비교해 볼 때, 허리각도 0°, 어깨각도 120°에서 불편도 17.1과 31.1%의 심박수를 나타내었고, 허리각도 45°, 어깨각도 90°에서 불편도 16.1과 30.3%의 심박수를 나타내어 그 다음으로 높은 불편도와 심박수를 나타내었다. 이는 전체 불편도와 심박수의 결과가 유사한 것을 확인할 수 있었다.

어깨 불편도 또한 어깨각도가 증가할수록 불편도가 높게 나타나는 Lim et al.(2011)의 결과와 유사한 경향을 보였다. 이는 어깨 관련 근육인 삼각근과 승모근이 어깨각도가 증가할수록 근활성도가 증가하는 경향과 유사한 결과라 할 수 있다. 다소 특이할 만한 사항으로는, 허리각도와 어깨각도를 조합한 자세를 비교하면 상이한 결과를 확인할 수 있었다. 그 예로, 허리각도 0°, 어깨각도 45°의 경우, 어깨 불편도는 3.9이고, 삼각근과 승모근은 각각 14.8%MVC와 12.6%MVC의 결과를 보였으며, 허리각도 45°, 어깨각도 45°의 경우, 어깨 불편도가 2.3, 삼각근과 승모근은 각각 5.1%MVC와 3.1%MVC와 같은 결과를 보여 허리각도 0°, 어깨각도 45°일 때 불편도와 근활성도가 허리각도가 큰 허리각도 45°와 어깨각도 45°인 자세보다 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 두 자세 모두 어깨각도가 45°이지만, 허리를 45°로 굽힘으로써 지면을 중심으로 보았을 때, 어깨각도는 0°가 되어 상호연관성을 고려해야 한다는 것을 알 수 있었다.

팔 또한 어깨각도가 증가할수록 불편도가 높게 나타나는 것을 보였는데, 팔에 관련하여 어깨각도와 허리각도를 조합한 자세를 비교해 보면, 허리각도 0°, 어깨각도 45°일 때, 허리각도 45°, 어깨각도 45°일 때보다 팔 불편도와 삼두근의 근활성도가 더 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 팔꿈치 각도가 증가할수록 삼두근의 근활성도가 낮아지는 것을 보였는데 이는, 팔꿈치가 부담해야 하는 전완의 하중을 팔꿈치 각도가 증가할수록 점점 적은 하중을 받게 되므로 삼두근의 근활성도가 낮아지는 것으로 예상된다.

근전도 측정을 위해 선정된 4개의 근육 중 척추세움근의 활성도를 보면, 허리각도가 90°일 때 가장 낮은 활성도를 보였다. 이는 척추세움근은 척추의 신전과 외측굴곡을 관장하여 척추를 지지하는 역할을 수행하는 근육이기 때문에 허리각도 90°에서는 척추세움근의 근활성도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 피실험자들은 상지를 앞쪽으로 굽힘으로써 몸의 무게 중심이 앞으로 이동하여 균형을 유지하기 위해 하지의 근육들이 피곤을 느낀다고 미루어 볼 수 있다.

이처럼 전신 불편도와 심박수, 신체부위별 불편도와 각 근육별 근활성도의 결과의 많은 부분이 유사한 것을 확인할 수 있었다. 허리각도가 0°일 때, 주관적 불편도, 심박수, 그리고 %MVC는 어깨각도가 증가함에 따라 각각 불편도, 심박수, %MVC가 증가하는 경향을 보이는 것은 기존 인간공학적 평가 기법들의 결과와 일치하는 것을 확인하였다. 하지만, 기존의 인간공학적 평가 기법들은 각 신체부위별로 개별 체크하여 점수를 평가하여 신체부위별 상호연관성을 고려하

지 않아 평가에 있어서 과대평가 또는 과소 평가의 우려가 있다. 따라서, 작업 부하를 평가 시에 상호연관성을 고려하여 평가한다면 보다 체계적이고 정확한 평가가 이루어 질 것이라 예상한다.

5. Conclusions

본 연구에서는 여러 가지 자세에 따른 주관적 불편도와 심박수, 근전도 RMS의 변화를 알아보기 위해 남자 대학생 및 대학원생 20명을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 주관적 불편도에서 허리각도와 어깨각도의 연관성을 확인할 수 있었다. 즉, 전신 불편도와 각 신체부위별 불편도에서 허리각도와 어깨각도의 차이가 0°(즉, 차이가 적을수록)일 경우, 모두 동일하게 불편도가 낮은 경향을 보였다. 그에 대한 예로 B0-S0, B45-S45, B90-S90의 자세와 B0-S45, B0-S90, B0-S120의 자세에 대한 어깨 불편도를 비교해 보면, B0-S0, B45-S45, B90-S90의 자세일 때, 어깨각도는 증가하지만 허리각도가 함께 증가하여 어깨 불편도가 적게 나왔고, B0-S45, B0-S90, B0-S120에서는 허리각도는 변하지 않고 어깨각도만 증가함에 따라 어깨 불편도 또한 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 어깨와 허리의 차이가 적은 자세가 위험성이나 근골격계 질환을 예방하는데 보다 좋은 자세라 판단된다. 이에 본 연구는 기존의 인간공학적 평가 기법에서 각 신체 별 상호연관성을 고려하지 않았다는 한계점을 극복함으로써 추후 작업에 대한 신체부하 평가 시 상호연관성을 고려하여 보다 체계적이고 정확한 평가가 이루어져야 한다고 사료된다. 또한 본 연구의 결과를 통해 기존의 자세부하 평가 기법의 한계점을 극복하고, 더 나아가 현장에서 작업의 능률과 직업성 근골격계 질환 예방에 기여되기를 기대하는 바이다.

Acknowledgements

This work was supported by "Research program for Agriculture Science & Technology Development(PJ0064222010, 2010)" Rural development Administration.

References

Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J. and Martin, B. J., *Occupational Biomechanics*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.

Fox III, S. M., Naughton, J. P. and Haskell, W. L., Physical activity and the prevention of coronary heart disease, *Annals of Clinical Research*, 3, 404-432, 1971.

Genaidy, A. M., Al-Shedi, A. A. and Karwowski, W., Postural stress analysis in industry, *Applied Ergonomics*, 25(2), 77-87, 1994.

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

Karvonen, M. J., Kentala, E. and Mustala, O., The effects of training on heart rate: a longitudinal study, *Annales Medicinae Experimentalis Et Biologiae Fenniae*, 35(3), 307-315, 1957.

Kilbom, A., Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders - what information can be obtained from systematic observations?, *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 20, 30-45, 1994.

Li, G. and Buckle, P., Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods, *Ergonomics*, 42(5), 674-695, 1999.

Lim, C. M., Jung, M. C. and Kong, Y. K., Evaluation of upper-limb body postures based on the effects of back and shoulder flexion angles on subjective discomfort ratings, heart rates, and muscle activities, *Ergonomics*, 54(9), 849-857, 2011.

Kong, Y. K., Kim, D. M., Han, J. G. and Lim, C. M., Evaluations of subjective and objective measurements for back and shoulder postures, *2010 spring conference of Ergonomics Society of Korea*, (pp. 181-184), Jeju, 2010.

Korea Occupational Safety & Health Agency (www.kosha.or.kr).

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

McGill, S. M. and Norman, R. W., Partitioning the L4-L5 dynamic moment into disc, ligamentous, and muscular components during lifting. *Spine*, 11, 666-678, 1986.

Park, D. H., Ergonomic risk factors of musculoskeletal disorders related to agricultural work, *Rural living science*, 21(2), 59-67, 2000.

Perotto, A., *Anatomical Guide for the Electromyographer: The Limbs and Trunk*, 4th Edition, Charles C Thomas Publisher, Ltd., Springfield, Illinois, USA, 2004.

SENIAM(www.seniam.org)

Winkel, J. and Mathiassen, S. E., Assessment of physical work load in epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations, *Ergonomics*, 73(6), 979-988, 1994.

Author listings

Yong-Ku Kong: ykong@skku.edu

Highest degree: Department of industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial Engineering Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Finger/Hand Modeling

Soo-Jin Lee: sjlee@hanyang.ac.kr

Highest degree: PhD, College of Medicine, The Catholic University of Korea
Position title: Professor, Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine Hanyang University
Areas of interest: Occupational and Environmental Medicine, Occupational disease

Kyung-Suk Lee: leeks81@korea.kr

Highest degree: PhD, Department of Clothing and textiles, Seoul National University
Position title: Senior Researcher, Department of Agricultural Engineering RDA
Areas of interest: Occupational safety and health, Management system

Min-Tae Seo: smt850920@naver.com

Highest degree: BS, Department of Industrial and Management Engineering, Namseoul University
Position title: MS. Candidate, Department of Industrial Engineering Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Finger/Hand Modeling

Date Received : 2011-04-13

Date Revised : 2011-11-08

Date Accepted : 2011-11-08