

외부 부하, 상지 자세와 지속 시간에 따른 지각 불편도

기도형[†]

계명대학교 산업시스템공학과

Investigation on Perceived Discomfort Depending on External Load, Upper Limb Postures and their Duration

Dohyung Kee

Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University, Taegu, 704-701

This study aimed to empirically investigate perceived discomfort depending upon external load, upper limb postures and their holding time. Discomfort was obtained through an experiment, in which external load, wrist flexion/extension, elbow flexion, shoulder flexion and adduction/abduction were used as experimental variables. The subjects were instructed to hold given postures for 60s and to rate their subjective discomfort scores at 5s, 20s, 40s and 60s by using the free modulus method of magnitude estimation. The results showed that while only external load and elbow flexion were statistically significant at the holding time of 5s at $\alpha=0.05$ or 0.10, external load and upper limb postures excluding shoulder adduction/abduction significantly affected discomfort ratings at 20s, 40s and 60s at $\alpha=0.01$ or 0.05. Discomfort scores were also significantly different between four posture holding times at $\alpha=0.01$. The effects of external load and holding time were much larger than those of posture holding times. Based on the results of this study, it is recommended that external load and holding time as well as working postures be taken into consideration to precisely quantify postural load in industry.

Keywords: discomfort, postural load, posture holding time, external load

1. 서론

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 관련되어 있다(Zhang *et al.*, 1996). 이러한 불편은 추후 나타날 수 있는 통증, 이로 인한 상해 등의 전조(precursor)로 볼 수 있으며, 작업에 관련된 부하를 올바르게 평가할 수 있는 것으로 알려져 있다(Corlett and Bishop, 1976). 그리고, 물리적 제약(physical constraint)을 제거하여 불편을 최소화하면 근골격계 질환의 위험을 줄일 수 있는 것으로 보고되고 있다(Dul *et al.*, 1994; Putz-Anderson and Galinsky, 1993). 작업 부하 혹은 근골격계 질환 관련 요인의 위험 수준을 객관적으로, 그리고 정량

적으로 측정할 수 있는 방법이 없는 상황과 위에서 언급한 불편 수준과 근골격계 질환과의 관계를 고려할 때, 주관적 불편 수준을 측정하는 심물리학적(psychophysical) 방법이 유용하다고 할 수 있다.

근골격계 질환은 힘, 부적절한 자세, 반복, 압력, 정적 부하, 진동과 추위 등의 환경적 요인, 작업 조직 등의 작업 관련 요인, 개인의 신체 조건(physical condition), 질병 등의 개인적 요인 등이 복합적으로 작용하여 발병하는 것으로 알려져 있다(MacLeod, 1999). 위와 같은 여러 요인들 중 인간공학 분야에서는 힘, 부적절한 자세 등의 요인이 작업 부하 혹은 근골격계 질환에 미치는 영향의 크기와 정량화에 대한 연구가 주를 이루어 왔다. 작업 자세와 관련한 작업 부하를 정량적으로 평가하기 위한 기초적 도구/방법(preliminary tool)으로 OWAS(Karhu

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000122-0)지원으로 수행되었음.

[†] 연락저자 : 기도형 교수, 704-701, 대구시 달서구 신당동 1000, 계명대학교 산업시스템공학과, Fax : 053-580-5165, E-mail : dhkee@kmu.ac.kr
2003년 7월 접수; 2004년 2월 수정본 접수; 2004년 3월 게재 확정.

et al., 1977), RULA(McAtamney and Corlett, 1992), REBA (Hignett and McAtamney, 2000)와 같은 자세 부하 평가 체계 (posture classification scheme)들이 일반적으로 사용되고 있는데, 이들 방법들은 자세 부하(postural stress)의 평가에 주안점이 맞추어져 있어 가한 힘, 반복, 지속 시간(duration) 등은 거의 반영되어 있지 않다. OWAS, RULA, REBA 등의 방법에는 외부 부하의 크기가, RULA와 REBA에는 지속 시간이 반영되어 있으나 그 구간이 커 실제 작업장에서 일어나는 부하의 크기를 제대로 평가하지 못하고 있다.

근골격계 질환의 유발 요인과 신체 부위의 불편간의 dose-response 관계가 근골격계 질환의 예방에 중요한 하나의 척도가 될 수 있으나, 현재까지 정확한 관계는 알려져 있지 않으며 이러한 관계를 밝히기 위하여 힘, 자세, 반복 등의 근골격계 질환의 유발 위험 요인이 주관적 불편에 미치는 영향에 대한 연구가 이루어져 왔다(Carey et al., 2002). Bousenna et al.(1982)은 자세가 불편 수준과 자세 지속 가능 시간에 영향을 미침을 밝혔고, Lin과 Radwin(1997, 1998)은 손목 자세와 반복 수준에 따른 불편을 측정하였다. Carey et al.(2002)은 손목 자세, 자세의 보조(pace)와 가한 힘의 크기에 따른 불편을 측정하여, 가한 힘, 자세, 보조 등의 순서로 영향을 크게 미친다고 보고하였다.

실제 산업 현장에서는 손목을 포함한 팔을 사용하는 자세가 많아 이에 대한 연구가 필요하나, 위에서 살펴본 바와 같이 이 분야에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 상지 자세, 자세 지속 시간, 외부 부하(external load)가 지각 불편도에 미치는 영향의 크기를 실험을 통하여 정량적으로 파악하고자 한다. 본 연구의 결과는 작업자들이 작업 중 느끼는 불편을 줄일 수 있도록 작업 혹은 작업장을 재설계하거나 새로이 설계하는 데 기초 자료로 활용되어, 최근 들어 산업 안전 분야에서 큰 문제가 되고 있는 근골격계 질환의 예방에 일조를 할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 방법

2.1 피실험자

본 연구의 불편도 측정 실험에는 과거 요통 등의 근골격계 질환의 병력이 없는 건강한 남자 대학생 10명이 참여하였으며, 피실험자들의 인체 측정치의 평균 및 표준편차는 다음과 같다: (1) 연령 - 24.7 ± 0.5세; (2) 신장 - 174.3 ± 4.3cm; (3) 체중 - 68.5 ± 10.4kg. 모든 피실험자에게 실험 전에 실험 내용과 목적을 설명하고 실험 참여에 대한 동의서에 서명을 하도록 하였으며, 실험 시간에 비례하게 수당을 지급하였다.

2.2 실험계획

실험에서 상지 자세 및 외부 부하를 독립 변수로 하여 피실험

자의 주관적 지각 불편도를 측정하였다. 여기서, 상지 자세는 손목 굴곡/신전(flexion/extension), 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡, 어깨 내전/외전(adduction/abduction) 동작의 조합으로 생성되었다. 독립 변수의 내용과 수준은 다음 <Table 1>에 정리되어 있다. 상지 자세와 외부 부하 등의 독립 변수의 수준은 산업 현장의 작업 자세, 작업 시 다루어지는 중량물의 무게, 현실적으로 피실험자가 취할 수 있는 자세와 지탱할 수 있는 무게를 고려하여 정하였다. 자세와 외부 부하의 수준을 결정하기 위하여 피실험자 2명을 대상으로 예비 실험을 수행하였으며, 어깨 굴곡의 가장 낮은 수준의 값을 10°로 한 것은 0°로 하면 몸통에 가려 내전 동작을 취할 수 없기 때문이었다. 여기서, 손목, 팔꿈치 자세는 Murrell(1969), 어깨 자세는 Chaffin과 Anderson(1991)의 정의를 따랐다.

Table 1. Experimental variables and their levels

Experimental variable	Levels
Wrist flexion/extension	-25°(extension), 0°, 20°, 30°
Elbow flexion	0°, 30°, 60°, 100°
Shoulder flexion	10°, 45°, 90°, 140°
Shoulder adduction/abduction	-30°(adduction), 0°, 30°, 60°
External load	0.0, 1.5, 3.0, 5.0 kg

<Table 1>에 나와 있는 독립 변수와 수준에 대하여 완전요인 계획법(full factorial design)으로 실험 계획을 하면, 그 시행 횟수가 1,024회가 되어 현실적으로 실험을 수행하기가 어렵게 된다. 따라서, 본 연구에서는 독립 변수의 모든 요인의 효과를 추출할 수 있으며 실험 크기를 획기적으로 줄일 수 있는 직교배열표(orthogonal array)를 사용하였다. 본 연구에서는 L32 직교배열표를 적용하여 <Table 1>의 독립 변수를 31개 열에 배치하였다. 기존 연구들에서 자세와 힘 사이의 교호작용은 유의하지 않은 것으로 알려져 있어(Carey et al., 2002; Kim and Fernandez, 1993; Lin and Radwin, 1998), 본 연구에서도 이를 따라 주효과(main effect)만 직교배열표에 배열하였다.

2.3 Rating 방법 및 실험 절차

각 실험 처치(treatment)에 대한 지각 불편도를 여러 심물리학적(psychophysical) 방법 중 magnitude estimation을 이용하여 측정하였다. magnitude estimation은 심물리학적 방법 중에서 가장 많이 사용되고 있는 category scaling에 비하여, ratio scale의 자료를 얻을 수 있어 다양한 정량적 통계 분석이 가능하다는 장점이 있다. free modulus method, modulus method, absolute judgment 등의 magnitude estimation의 자극의 크기를 평가하는 방법 중 피실험자 자신의 scale로 자극의 크기를 평가하는 free modulus method를 채택하였으며, 피실험자는 이를 이용하여 주어진 실험 처치에 대한 불편도를 숫자로 답하게 하였다.

magnitude estimation으로 불편도를 측정하기 전에 실험에 참여한 피실험자가 magnitude estimation을 수행할 능력이 있는지를 검증하는 calibration test를 먼저 실시하였다. calibration test에서는 숫자와 선(line)의 길이로 자극을 각 10개씩 제시한 후 숫자 자극에는 선의 길이로, 선 자극에는 숫자로 답하게 하였다. 실험 결과를 log 변환한 후 각각의 자극에서 선형 회귀분석을 실시하여, 기울기의 99% 신뢰 수준이 1.0을 포함하는지를 검증하여 피실험자가 magnitude estimation을 수행할 수 있는지를 판단하였다(Gescheider, 1986). calibration test에는 12명이 참가하였으며 10명이 통과하였다.

본(main) 실험에서는 실험자의 지시에 따라 피실험자는 우선 주어진 실험 처치에 따른 자세를 취하고, 다음으로 실험자가 건네주는 외부 부하를 손에 잡는다. 피실험자는 주어진 자세를 1분 간 유지하며, 실험자의 지시에 따라 5초, 20초, 40초, 60초에 각각 주관적 불편의 크기를 숫자로 알려준다. 실험 도중 주어진 처치에 따른 자세를 유지할 수 없을 정도로 힘들 경우는 언제라도 중단할 수 있음을 실험 전에 피실험자들에게 알렸다. 한 실험 처치에 대한 실험이 끝나면 5분 이상의 휴식 시간을 주었다. 32개의 실험 처치를 각 피실험자마다 random하게 제시하였으며, 한 피실험자의 실험은 3일에 걸쳐 나누어 실시하였다.

3. 결과

불편 수준의 측정에 magnitude estimation의 free modulus method를 이용하여 각 피실험자마다 사용한 scale이 달라, 분석에 앞서 이를 통일하는 변환 과정이 요구된다. 본 연구에서는 여러 변환 중 max-min 변환을 채택하였으며, 이의 식은 다음과 같다. 각 피실험자별로 변환식을 이용하여 정규화한 후 각 실험 처치에 대하여 모든 피실험자의 평균을 구하여 이를 분석에 사용하였다.

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

여기서, 최대 불편도와 최소 불편도는 각 피실험자별 최대와 최소 불편도를 말한다.

3.1 분산 분석

실험에 사용한 독립 변수의 유의성을 검증하기 위하여 분산 분석을 실시하였으며, 그 결과는 <Table 2>에 정리되어 있다. <Table 2>에서 보는 바와 같이 20초에서는 외부 부하와 팔꿈치 굴곡이 유의 수준 10% 이하에서 유의함을 보였으며, 20초 이상에서는 어깨 내전/외전을 제외한 모든 실험 변수들이 유의함을 나타냈다. 5초에서 40초까지는 시간이 지날수록 각 변수들의 유의성의 정도가 커지는 것으로 나타났으나, 60초에서는 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡과 어깨 굴곡의 유의성이 오히려 줄어들었다. 60초에서 외부 부하의 F value는 40초에 비하여 거의 절반 정도로 감소하였다(204.에서 114.0으로 감소하였음).

3.2 외부 부하

불편도는 외부 부하 및 자세 지속 시간에 따라 거의 선형적으로 증가함을 보였다(<Figure 1>). <Figure 1>에서 보는 바와 같이 지속 시간에 따른 불편도 크기의 차이가 외부 부하의 크기가 커질수록 같이 증가함을 보였다. 외부 부하가 없을 때는 지속 시간에 따른 불편 수준의 차이가 크지 않으나, 외부 부하가 5.0kg일 때는 지속 시간에 따른 차이가 뚜렷한 차이를 나타냈다 ($p < 0.01$). 즉, 외부 부하와 자세 지속 시간 사이에 교호 작용이 있어 시간이 지날수록 외부 부하의 영향이 커진다고 할 수 있다.

3.3 손목 동작

손목 동작의 수준에 따른 자세 지속 시간별 불편 수준은 다음 <Figure 2>에 나와 있으며, <Figure 2>에서 보는 바와 같이 중립 자세(굴곡 혹은 신전이 0° 인 자세)에서 벗어날수록, 즉 굴곡 혹은 신전 동작이 커질수록 불편이 증가함을 보이고 있다. 신전 동작에서 불편이 굴곡보다 조금 크게 나타났으나, 두 동작 간에 큰 차이를 보이지는 않았다.

Table 2. Results of ANOVA

Factor	P value			
	5s	20s	40s	60s
External load	<0.000**	<0.000***	<0.000***	<0.000***
Wrist flexion/extension	0.102	0.024**	0.002***	0.046**
Elbow flexion	0.059*	0.017**	0.003***	0.053*
Shoulder flexion	0.323	0.012**	0.001***	0.002***
Shoulder adduction/abduction	0.270	0.658	0.807	0.697

*: significant at $\alpha=0.10$; **: significant at $\alpha=0.05$; ***: significant at $\alpha=0.01$.

3.4 팔꿈치 동작

자세 지속 시간이 5초일 때를 제외하고는 팔꿈치 굴곡에 따른 불편 수준은 중립 자세에서 30° 굴곡까지 조금 증가하였다가 다시 감소하는 추세를 보였다. 반면, 자세 지속 시간이 5초일 때는 굴곡 수준이 증가함에 따라 불편도가 단조 감소함을

나타냈다 (<Figure 3>). 지속 시간에 관계없이 100° 굴곡 자세에서 불편이 가장 작았다 ($p < 0.05$).

3.5 어깨 동작

어깨 관절에서는 굴곡과 내전/외전 동작을 실험 변수로 하

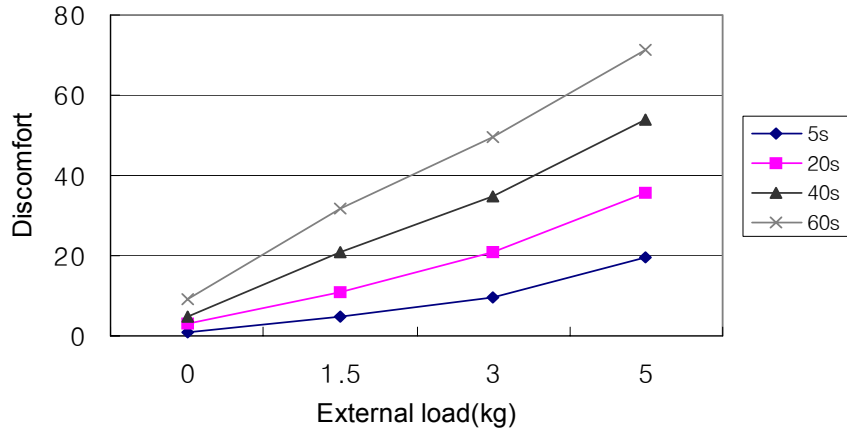


Figure 1. Discomfort for external loads by posture holding time.

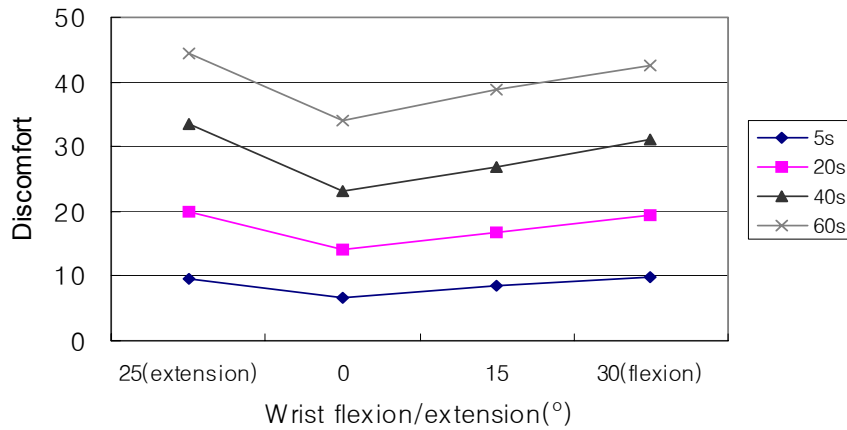


Figure 2. Discomfort for wrist motions by posture holding time.

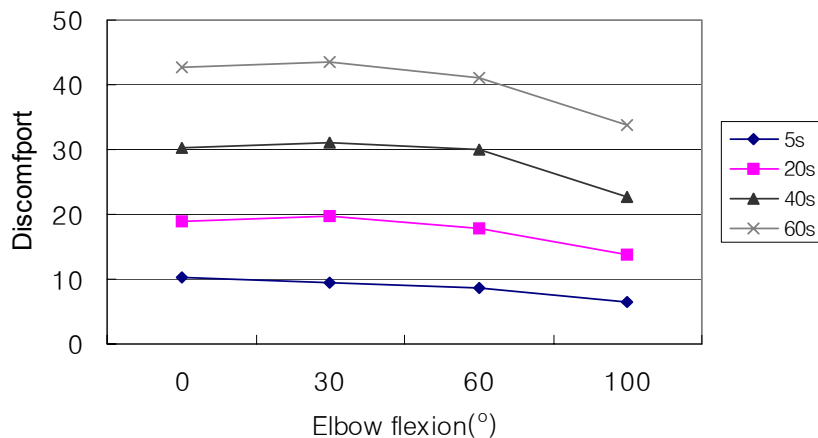


Figure 3. Discomfort for elbow motions by posture holding time.

였으나, <Table 1>의 분산분석에서 내전/외전 동작은 불편 수준에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 여기에서는 제외하였다. 자세 지속 시간이 20-60초일 때는 굴곡 동작의 수준이 10°에서 90°까지는 불편 수준이 증가하다가, 90° 이상에서는 조금 감소하는 것으로 나타났다 (<Figure 4>). 지속 시간이 5초일 경우에는 굴곡이 커짐에 따라 불편도도 같이 증가하였다. 굴곡이 10°일 때의 불편 수준은 나머지 3수준에 비하여 유의하게 작았으며 ($p < 0.05$), 90°와 100°에서의 불편은 서로 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.6 자세 지속 시간

자세 지속 시간에 따른 불편도는 <Figure 5>에 나와 있으며, 시간이 경과함에 따라 불편 수준이 선형적으로 단조 증가함을 보였다. 선형 회귀 분석에서 R^2 값이 거의 1.0을 보여 자세 지속 시간과 불편도가 강한 양의 선형 관계에 있음을 알 수 있으며, 기울기도 0.57로 나타나 지속 시간 증가에 따른 불편도의 증가가 크음을 보였다. 각 지속 시간별 불편도는 서로 유의한 차

이가 있는 것으로 분석되었다 ($p < 0.000$).

4. 토 의

4.1 상지 자세

본 연구에서는 상지의 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡, 어깨 내전/외전 동작 등을 실험 변수로 하였다. 이들 자세 변수의 영향에 대해서는 <Figure 2-4>에서 살펴보았으며, 팔꿈치 굴곡에서 지속 시간이 20초 이상일 경우에 30° 굴곡일 때 조금 증가하였다가 다시 감소하는 추세를 보였다 (<Figure 3>). 이는 RULA와 REBA에서 팔꿈치 굴곡을 60-100°와 0-60°, 100° 이상 등의 2구간으로 구분하여 굴곡이 90° 전후인 60-100°에서 자세 부하가 작은 것으로 분류한 것과 일치하는 경향을 보인 것이라 할 수 있다. 또한, Hsiao와 Keyserling(1991)의 연구에서 제시한 팔꿈치 동작의 neutral range(45-110°)와도 일치하는 것으로 나타났다.

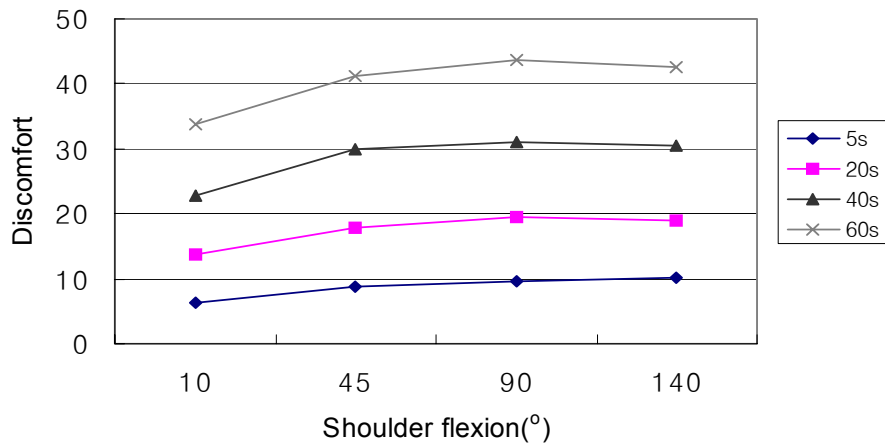


Figure 4. Discomfort for shoulder flexion by posture holding time.

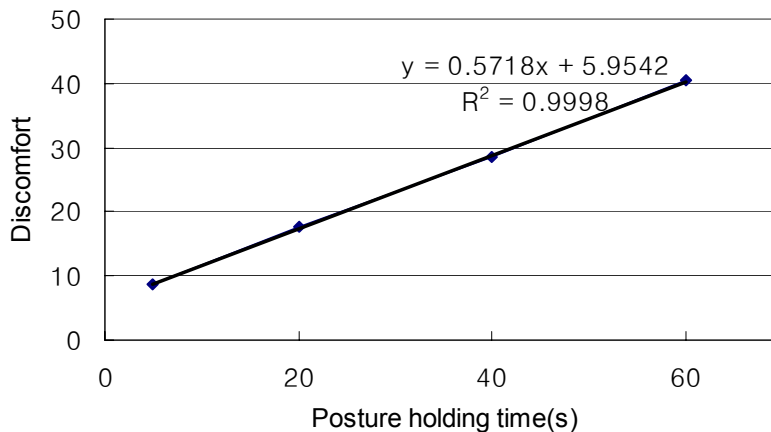


Figure 5. Discomfort for posture holding time.

어깨 굴곡 동작에서 자세 지속 시간이 5초일 때를 제외하고 굴곡 수준이 90°에 이를 때까지는 불편이 증가하다, 90° 이상에서는 불편이 감소하는 경향을 보여 굴곡이 140°일 때보다 90°일 때가 불편이 큼을 보였다(<Figure 4>). 그러나 RULA, REBA에서는 어깨 굴곡이 커질수록 자세 부하도 단조 증가하는 것으로 분류하고 있어 본 연구와 차이를 보이고 있다. 이러한 현상을 객관적으로 살펴보기 위하여 미국 미시간 대학에서 개발한 3DSSPP(3-dimensional static strength prediction program)을 이용하여, 어깨를 제외한 모든 관절은 중립에 있으며 손에는 5.0kg의 외부 부하를 들게 한 후, 어깨 관절을 90°와 140° 굴곡할 때의 L5/S1의 compressive force를 계산하여 보았다. 계산 결과 90°에서는 1,254N, 140°에서는 939N으로 나타나 140°에서가 90°인 경우에 비하여 약 25% 작았다. 또한, 두 자세에서 어깨 관절이 부하를 감당할 수 있는 집단(population)의 비율은 모두 99%로 차이가 없었다. 마찬가지로, 본 연구에서도 앞서 언급한 바와 같이 굴곡이 90°와 140°일 때의 불편 수준의 차이는 유의하지 않았다. 따라서, 이러한 사실들을 살펴볼 때 그 차

이는 크지 않지만 어깨 굴곡이 140°일 때가 90°인 경우보다 불편이 작음을 보인 본 연구의 결과가 타당성이 있다고 하겠다.

4.2 외부 부하와 지속 시간의 영향

<Table 2>의 분산 분석에서 유의성이 가장 큰 것으로 나타난 외부 부하와 자세 지속 시간의 영향을 좀 더 상세하게 분석하기 위하여, 분산 분석에서의 각 요인들의 F value를 자세 지속 시간에 따라 살펴보았다(<Figures 6 and 7>). 외부 부하와 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡의 자세 변수들의 F value는 5초에서 40초까지 증가하다가 이후에는 감소하였다. 이와 달리 분산 분석에서 error의 mean square value는 같이 5초에서 60초까지 지속적으로 증가하였으며, 40초 이후에는 급격한 증가세를 보였다. 이러한 현상은 자세 지속 시간이 60초일 때 외부 부하와 자세 변수들의 유의성이 감소하였기 때문이라기보다는, 불편에 영향을 미치는 중요한 변수, 즉 자세 지속 시간 변수가 실험에서 제외되었기 때문에 본 연구에서 설정한 실험

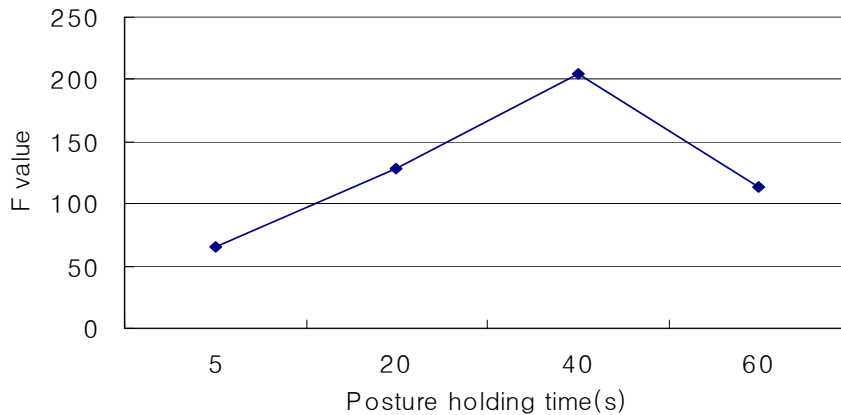


Figure 6. F value of external load by posture holding time.

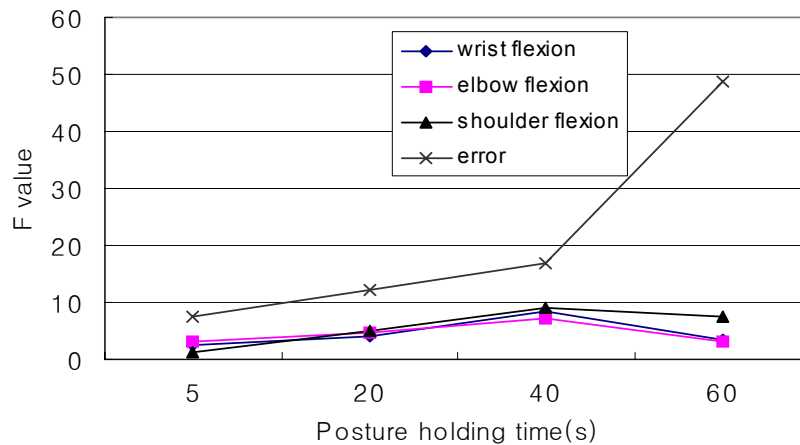


Figure 7. F value of wrist, elbow and shoulder flexion by posture holding time. (error: mean square value)

변수들의 유의성이 감소하였다고 해석하여야 할 것으로 판단된다. 이는 40초 이후에 실험 변수들의 유의성은 감소한 반면 error의 영향이 급격하게 증가한 사실에서 잘 나타나고 있으며, 이는 지속 시간이 커질수록, 특히 40초 이후에는 지속 시간의 영향이 다른 실험 변수들에 비하여 상대적으로 커짐을 보인 것이라고 할 수 있다. 즉, 자세 지속 시간이 불편에 큰 영향을 미치며 시간이 경과할수록 영향의 크기가 급격히 증가한다고 할 수 있다. 따라서, 자세 부하를 정확히 평가하기 위해서는 외부 부하, 자세 변수들과 더불어 자세 지속 시간이 고려되어야 하며, 특히 자세 지속 시간이 40초를 초과할 경우는 지속 시간 변수가 매우 큰 영향을 미치므로 반드시 포함되어야 한다. 위와 같은 결과에 비추어볼 때 자세 지속 시간이 고려되어 있지 않거나 반영되어 있더라도 그 구간 폭이 큰 대부분의 기존 자세 부하 체계들은(RULA의 경우 1분을 경계로 구분하고 있음), 실제 자세 부하를 과소평가하고 있다고 하겠다.

4.3 자세 지속 시간

본 연구에서는 5초, 20초, 40초, 60초의 자세 지속 시간에 따른 불편 수준을 측정하였다. <Table 2>의 분산 분석에서 20초 이후에는 어깨 내전/외전을 제외한 외부 부하, 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡 등의 모든 실험 변수가 유의 수준 1% 혹은 5%에서 불편 수준에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 5초에서는 외부 부하와 팔꿈치 굴곡만 유의 수준 5% 혹은 10%에서 유의함을 보여 자세 지속 시간에 따라 유의한 실험 변수가 달랐다. 팔꿈치 굴곡과 어깨 굴곡에 따른 불편 수준도 5초와 20-60초 간에 조금 다른 경향을 보였다 (<Figures 3-4>). 즉, 팔꿈치 굴곡에서 자세 지속 시간이 5초일 때는 불편도가 굴곡 수준에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 보였으나, 20-60초에서는 30° 굴곡에서 조금 증가하였다가 감소하는 추세를 보였다. 또한, 실험의 원 자료(raw data)에서도 5초일 때는 모든 피실험자에 대한 평균적인 경향과 다른 경향을 보인 실험자가 다수 있었으나, 이러한 현상은 자세 지속 시간이 커짐에 따라 줄어들었다. 이는 시간이 짧을 때는 피실험자들이 주어진 조건에 대한 불편 수준을 충분히 인지하지 못하다가, 지속 시간이 커질수록 불편의 인지에 대한 신뢰성이 높아지는 현상을 나타낸 것이라 할 수 있다. 따라서, 주관적으로 불편 수준을 측정하기 위해서는 피실험자에게 적어도 30초 이상 동안 자극을 제시하는 것이 바람직하다고 할 수 있으며, 추후 유사한 실험에서 자세 지속 시간을 설정하는 데 참조 자료가 될 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 외부 부하, 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡과 내전/외전 등의 상체 자세를 실험 변수로 하여, 5초에

서 60초까지의 자세 지속 시간에 따른 불편도를 측정하였다. 분산 분석에서 자세 지속 시간이 20초 이상일 때는 어깨 내전/외전을 제외한 모든 실험 변수가 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 외부 부하의 영향이 가장 큰 것으로 분석되었다. 실험에서 독립 변수로 들어 있지는 않았지만 토의에서 살펴본 바와 같이 자세 지속 시간의 영향도 크게 나타났다. 따라서, 외부 부하나 자세 지속 시간을 반영하고 있지 않거나 rough하게 반영하고 있는 기존 자세 분류 체계들은 자세 부하를 과소평가하고 있으며, 추후 새로이 자세 분류 체계를 개발할 때에는 외부 부하와 지속 시간 요인을 고려하여야 자세 부하를 적절히 평가할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 새로운 자세 부하의 개발 방향과 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Boussenna, M., Corlett, E.N. and Pheasant, S.T. (1982), The relation between discomfort and postural loading at the joints, *Ergonomics*, **25**(4), 315-322.
- Carey, E.J. and Gallwey, T.J. (2002), Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **29**, 85-94.
- Chaffin, D.B. and Anderson, G.B.J. (1991), *Occupational ergonomics*, 2nd edition, Wiley, New York.
- Corlett, E.N. and Bishop, R.P. (1976), A technique for assessing postural discomfort, *Ergonomics*, **19**, 175-182.
- 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.
- Gescheider, G.A. (1985), *Psychophysics: Method, theory, and application*, 2nd edition, Lawrence Erlbaum Associates, London.
- Hignett, S. and McAtamney, L. (2000), Rapid entire body assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, **31**, 201-205.
- Hsiao, H. and Keyserling, W.M. (1991), Evaluating posture behavior during seated tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **8**, 313-334.
- Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I. (1997), Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, **8**, 199-201.
- Kim, C-H. and Fernandez, J.E. (1993), Psychophysical frequency for a drilling task, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **12**, 209-218.
- Lin, M.L. and Radwin, R.G. (1997), A single metric for quantifying biomechanical stress in repetitive motions and exertions, *Ergonomics*, **40**(5), 543-558.
- Lin, M.L. and Radwin, R.G. (1998), Agreement between a frequency-weighted filter for continuous biomechanical measurements of repetitive wrist flexion against a load and published psychophysical data, *Ergonomics*, **41**(4), 459-475.
- 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.

Murrell, K. (1969), *Ergonomics*, Chapman & Hall, 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.

Zhang, L., Helander, M.G. and Drury, C.G. (1996), Identifying factors of comfort and discomfort in sitting, *Human Factors*, **38**(3), 377-389.