

여성의 팔 자세, 손목 동작 반복과 외부 부하에 따른 심물리학적 부하

기 도 형

계명대학교 산업시스템공학과
(2006. 1. 24. 접수 / 2006. 5. 16. 채택)

Psychophysical Load for Females Depending on Arm Posture, Repetition of Wrist Motion and External Load

Dohyung Kee

Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University
(Received January 24, 2006 / Accepted May 16, 2006)

Abstract : This study investigated effect of arm posture, wrist motion repetition and external load on perceived discomfort through an experiment. Eleven female college students participated in the experiment, where shoulder, elbow and wrist motion, wrist motion repetition, and external load were used as independent variables. The results showed that only external load had a significant effect on perceived discomfort. The perceived discomfort linearly increased with external load. Based on the results of this and the previous study for males, it was concluded that effect of external load on perceived discomfort was larger than that of other posture and motion repetition related variables. This implies that effect of external load is the most important factor considered in the first place when assessing postural load.

Key Words : perceived discomfort, external load, psychophysical load

1. 서 론

근골격계질환(musculoskeletal disorders)이란 관절 부위의 근육, 힘줄 또는 기타 연조직이 손상되어 불편을 느끼거나 지속적인 통증 혹은 손상, 장애가 발생하는 증상을 통칭하며, 이러한 증상이 새로 유발되는 것은 물론 기존의 증상이 악화된 경우를 포함한다¹⁾. 근골격계질환의 원인은 크게 개인적인 요인(individual factor), 사회심리적 요인(psychosocial factor), 물리적 요인(physical factor)으로 나누어진다²⁾. 물리적 요인에는 부자연스러운 작업 자세, 중량물 취급, 동작 반복, 진동, 정적 자세, 극한 온도 등의 다양한 요인이 있으나³⁾, 현재까지 관련 연구는 주로 작업 자세에 집중되어져 왔다.

우리나라 근골격계질환 요양자를 대상으로 한 설문조사에서 동작의 반복 41.2%, 과도한 동작 40.6%, 불안정한 작업 자세 14.2% 등의 순서로 근골격계질환의 원인을 들고 있어, 작업자들은 동작의 반복을

근골격계질환의 가장 큰 원인으로 생각하고 있는 것으로 나타났다⁴⁾. Carey와 Gallwey⁵⁾는 손목 자세, 힘 발휘 정도 및 회수(pace)를 실험 변수로 하여 주관적 불편 수준을 측정하는 실험을 수행하여, 힘 발휘 요인이 불편 수준에 가장 큰 영향을 미침을 보고하였다. 힘 발휘 회수의 영향은 대부분의 손목 동작에서 유의하지 않은 것으로 나타났다. 기도형⁶⁾은 짧은 시간 동안 유지한 팔 자세에 대한 지각 불편도에 어깨 굴곡, 팔꿈치 굴곡, 손목 굴곡, 외부 부하 요인이 유의한 영향을 미침을 보고하였다. 기도형⁷⁾은 손목 동작 반복을 다룬 연구에서 외부 부하의 영향이 가장 크고, 어깨 동작, 손목 동작 반복이 주관적 불편도에 유의한 영향을 미침을 밝혔다.

여성의 근력은 남성의 약 35-85% 수준이며 평균적으로 약 66% 정도로 남성에 비하여 떨어진다⁸⁾. 반면, 여성은 남성에 비하여 관절 동작에 대한 불편도를 약 28% 정도 더 크게 지각하는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 이러한 이유와 생리적 차이, 작업 환경의 차이 등이 복합적으로 작용하여 여성이 남성에 비하여 근골격계질환 호소율이 높은 것으로 보고되고 있다¹⁰⁾.

dhkee@kmu.ac.kr

위와 같은 남녀의 차이에도 불구하고 팔 혹은 손목 자세에 따른 동작 반복과 외부 부하의 영향을 다룬 대부분의 연구들은 남성을 대상으로 하고 있다. 여성 경제활동 인구가 1,000만 명을 넘어섰고 남성에 비하여 더 빠른 속도로 증가하고 있는 현실을 감안할 때¹¹⁾, 여성에 대한 동작 반복과 외부 부하를 다룬 연구가 필요하다 하겠다. 따라서, 본 연구에서는 팔 자세, 손목 동작 반복, 외부 부하가 주관적 불편도에 미치는 영향을 여성을 대상으로 한 실험을 통하여 정량화한다. 이를 남성을 피실험자로 한 연구 결과와 비교하여 그 차이를 제시한다.

2. 방법

2.1. 피실험자

본 연구의 불편도 측정 실험에는 과거 근골격계 질환 병력이 없는 11명의 건강한 여자 대학생이 참여하였다. 피실험자에게는 참여한 시간에 대한 수당을 지급하였다. 피실험자의 연령, 신장, 체중의 평균과 표준편차는 다음과 같다: 1) 연령: 24.6±2.5세; 2) 신장: 161.9±4.2cm; 3) 체중: 55.8±6.5kg.

2.2. 실험계획

팔 자세, 손목 동작 반복, 외부 부하를 실험 변수로 하고, 이들 변수 조합에 대한 지각 불편 수준을 종속변수로 하였다. 팔 자세는 어깨, 팔꿈치, 손목 자세의 조합으로 결정된다. 실험 변수의 내용과 수준은 다음 Table 1에 나와 있다. 실험 변수 수준은 본 연구와 유사한 실험을 수행한 기존 연구⁷⁾를 참조하고, 실제 산업 현장에서 잘 일어나지 않는 팔꿈치 동작을 배제할 수 있도록 팔꿈치 동작 수준을 조정하였다. 외부 부하는 피실험자가 여성임을 고려하여 기존 연구⁷⁾에 비하여 최대 수준을 1.0kg 줄였다.

Table 1의 실험 변수와 수준에 대하여 완전요인 계획법 (full factorial design)으로 실험 계획을 하면,

Table 1. Experimental variables and their levels

변수	수준	
팔 자세	어깨 동작	굴곡 0°, 60°
	팔꿈치 동작	굴곡 30°, 50°, 70°, 90°
	손목 동작	굴곡 30°, 신전 30°, 요골편향 15°, 측골편향 25°
손목 동작의 반복	10, 20, 30, 40회/분	
외부 부하	0.0, 1.0, 2.0, 3.0kg	

실험 크기(size)가 커져 현실적으로 수행하기 어렵기 때문에 직교배열표를 이용하여 실험 크기를 줄였다. 즉, L16 직교 배열표에 Table 1의 실험 변수의 주효과(main effect)를 15개 열에 배열하였다. 자세, 동작 반복과 외부 부하 혹은 발휘 힘의 크기간의 교호작용(interaction effect)이 유의하지 않다고 한 기존 연구 결과^{5,12,13)}를 따라, 교호작용은 실험 요인으로 고려하지 않고 주효과만 배열하였다. 실험 처치에 따른 주관적 불편 수준은 심물리학적 방법인 magnitude estimation의 free modulus 방법으로 측정하였다¹⁴⁾.

2.3. 실험 절차

실험은 실험 내용 주지 및 동의 획득, calibration test, 본(main) 실험, verbal category 측정 등의 4단계로 수행되었다. 먼저, 실험에 앞서 실험의 목적, 내용, 실험 중 일어날 수 있는 상해 위험에 대하여 충분히 설명하고, 실험 참여에 대한 동의를 구하였다. calibration test에서는 피실험자들이 magnitude estimation을 수행할 능력이 있는 지를 평가하는 검정을 실시하였다. calibration test는 임의의 길이로 되어 있는 10개의 선(line)을 제시하고, 선의 크기에 대한 주관적 느낌을 숫자로 답하게 하여, 자극과 응답의 로그 변환 값에 대한 선형 회귀식을 구한 후 기울기의 99% 신뢰 수준 내에 1.0이 있는 가로 검정하였다¹⁴⁾. calibration test에는 13명이 참여하여 11명이 통과하였다.

본 실험에서 실험자는 고니오미터(goniometer)를 이용하여 피실험자가 실험 처치에 따른 팔 자세를 취하게 한 후, 철제 봉으로 만들어진 포인터(pointer)로 팔꿈치 지점에 표시를 한다. 반복은 손목의 중립 자세에서 Table 1에 주어진 각 자유도 동작의 수준까지 왕복하는 것으로 정의되며, 포인터로 손목 동작 수준을 표시한다. 피실험자는 외부 부하를 취하고 손의 위치에 알맞게 조절된 높낮이 조절 가능한 탁자 위에 손을 올려놓고 있다가, 컴퓨터 버즈(buzz) 소리에 따라 손목 동작을 포인터 지점까지 취한 후 중립 자세로 돌아온다. 피실험자는 버즈 소리가 나면 1회씩 같은 동작을 실험 처치에 주어진 회수만큼 반복한다. 반복 간에는 손의 위치에 맞게 높이가 조절된 탁자 위에 외부 부하를 올려놓게 하여, 외부 부하를 쥐고 있는 시간으로 인한 효과를 제거하였다. 각 실험은 5분간 수행되었으며 각 실험 처치는 피실험자마다 무작위로 다른 순서로 제시하였다. 실험은 하루에 8회씩 2일에 걸쳐 실시하였다.

본 실험이 끝난 직후 피실험자에게 9개의 verbal category에 대한 느낌의 크기를 본 실험에서 사용한 것과 같은 스케일(scale)을 사용하여 평가하게 하였다. 본 연구에서 사용한 9개 verbal category는 다음과 같다: 극히 불편(extremely poor), 매우 불편(very poor), 불편(poor), 약간 불편(a little poor), 보통(so-so), 약간 편함(a little good), 편함(good), 매우 편함(very good), 극히 편함(extremely good). 이는 의미 없는 숫자로 측정된 지각 불편도의 크기를 일상생활에서 흔히 사용하는 verbal category로 쉽게 해석/이해할 수 있게 하기 위함이었다.

3. 결 과

본 연구에서 magnitude estimation 중 free modulus method를 이용하여 불편도를 측정하였다. 각 피실험자는 각기 고유의 scale로 주관적 불편의 크기를 나타내어, 스케일이 피실험자마다 달라 이를 통일할 필요가 있다. 본 연구에서는 다음과 같이 최소-최대(min-max) 변환을 이용하였다. 모든 피실험자의 변환된 불편도를 평균한 값을 다음 분석에서 사용하였다.

$$\text{정규화된 불편도} = \frac{\text{raw data} - \text{최소불편도}}{\text{최대불편도} - \text{최소불편도}} \times 100$$

여기서, 최대, 최소 불편도는 각 피실험자별 불편 수준의 최대, 최소값을 나타냄.

3.1. 분산분석

실험 변수가 지각 불편도에 미치는 영향의 유익성을 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table 2). 실험 변수 중 외부 부하만 지각 불편도에 유의수준 5%에서 유의한 영향을 미치고, 어깨, 팔꿈치, 손목 동작과 손목 동작 반복은 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

Table 2. ANOVA results

변 수	자유도	Mean square	F 값	P 값
어깨 동작	1	11.629	0.17	0.717
팔꿈치 동작	3	221.756	3.32	0.240
손목 동작	3	459.609	6.89	0.130
손목 반복	3	144.088	2.16	0.332
외부 부하	3	2610.139	39.14	0.025*
Error	2	29.353		

*: significant at $\alpha=0.05$.

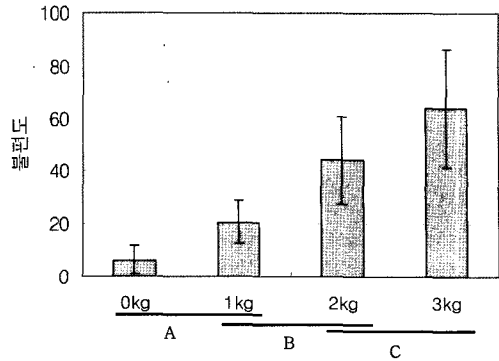


Fig. 1. Discomfort depending on external load.

3.2. 외부 부하

외부 부하에 따른 지각 불편도의 크기는 다음 Fig. 1에 나와 있다. Fig. 1은 외부 부하가 증가함에 따라 지각 불편도가 선형적으로 증가하고 있음을 보이고 있다. SAS Tukey 검정 결과 외부 부하는 3 그룹으로 나누어졌다. 즉, 부하가 없을 때와 1kg일 때, 1kg과 2kg일 때, 2kg과 3kg일 때의 3 그룹으로 나누어지고, 각 그룹 내에서는 유의수준 5%에서 서로 유의한 차이를 보이지 않는다.

외부 부하에 따른 지각 불편도의 증가 경향을 파악하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 결과는 다음 식과 같으며, Fig. 1에서 보는 바와 같이 외부 부하와 지각 불편도는 강한 양의 선형관계에 있음을 알 수 있다. 외부 부하가 약 1.0kg 증가하면 지각 불편도는 약 20 정도 증가함을 보이고 있다.

$$\text{지각 불편도} = 4.25 + 19.71 * \text{외부 부하(kg)}, R^2 = 0.99$$

3.3. 남자 피실험자 결과와 비교

남자 대학생을 피실험자로 한 기존 연구⁷⁾와 본 연구의 분산분석 결과가 Table 3에 정리되어 있다. 기존 연구에서는 외부 부하, 어깨 동작과 손목 동작 반복이 지각 불편도에 유의수준 10%에서 유의한 영

Table 3. Comparison of experimental results for male and female

	P value	
	남성	여성
어깨 동작	0.050*	0.717
팔꿈치 동작	0.206	0.240
손목 동작	0.170	0.130
손목 반복	0.081*	0.332
외부 부하	0.011**	0.025**

*: significant at $\alpha=0.10$, **: significant at $\alpha=0.05$.

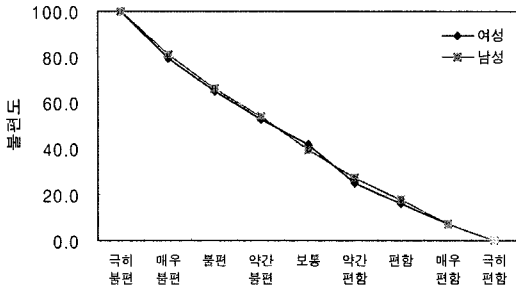


Fig. 2. Discomfort according to verbal category.

향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나, 여성을 대상으로 한 본 연구에서는 외부 부하를 제외한 모든 변수가 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 외부 부하는 두 연구에서 모두 유의수준 5%에서 지각 불편도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났고, 여성의 정도도 유사한 수준을 보였다.

3.4. verbal category

9개의 verbal category에 대한 평가 결과는 Fig. 2에 나와 있으며, ‘극히 불편’에서 ‘극히 편함’으로 갈수록 거의 선형적으로 불편 정도가 줄어들음을 보이고 있다. 기존 연구⁷⁾에서 제시한 남성 피실험자에 대한 결과를 Fig. 2에 병기하였으며, Fig. 2에서 남녀의 차이는 거의 없음을 알 수 있다. 실제 t 검정에서도 p 값이 0.16을 보여 남녀간 차이가 통계적으로 유의하지 않음을 보였다.

Verbal category 평가 결과와 외부 부하에 따른 불편도 수준을 비교하여 보면, 외부 부하가 없을 때는 (불편도 값: 약 6.3) ‘매우 편함’ 수준을, 외부 부하가 1.0kg일 때는(불편도 값: 약 20.6) ‘약간 편함’과 ‘편함’ 수준 사이에 불편도가 위치한다. 2.0kg일 때는(불편도 값: 약 44.2) ‘보통’, 3.0kg일 때는(불편도 값: 약 64.1) ‘불편’ 정도의 불편도를 느끼는 것으로 나타났다. 외부 부하가 증가함에 따라 verbal category도 ‘불편’ 방향으로 빠르게 옮겨가, Fig. 1에서 본 바와 같이 불편도 수준이 급격하게 증가하고 있음을 보이고 있다. 즉, 부하가 없는 상태에서 1.0kg으로 증가하거나, 1.0kg에서 2.0kg으로 외부 부하가 증가하면 verbal category가 ‘편함’ 쪽에서 ‘불편’ 방향으로 한 단계 옮겨간다. 반면, 2.0kg에서 3.0kg으로 증가할 때는 두 단계 이동한다. 여기서 외부 부하에 따른 지각 불편도는 다른 요인 즉, 자세, 동작 반복 등의 요인은 고려하지 않은 값이다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 여성을 피실험자로 팔 자세, 손목 동작 반복과 외부 부하가 지각 불편도에 미치는 영향을 실험을 통하여 정량화하였다. 실험 변수 중 외부 부하만 지각 불편도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 남성을 대상으로 한 유사한 실험을 수행한 기존 연구^{6,7)}에서도 외부 부하의 영향이 가장 크게 나타나, 자세, 동작 반복보다 외부 부하가 부하 평가 시 우선적으로 고려되어야 함을 보이고 있다. 그러나, 두 연구에서 외부 부하 1.0kg 증가에 대한 지각 불편도 증가량은 남성에 비하여(약 14) 여성이 커(약 20) 차이를 보였다. 남성 피실험자의 불편도에 대한 회귀식은 다음과 같으며, 실험에서 유의하게 나타난 동작 반복과 외부 부하를 독립 변수로 사용하였다.

$$\text{지각 불편도} = -5.93 + 0.94 * \text{반복(회/분)} + 13.88 * \text{외부 부하(kg)}, R^2 = 0.98$$

여기서, 단위 외부 부하에 대한 남성 증가량 14는 verbal category가 ‘편함’에서 ‘불편함’ 쪽으로 한 단계 이동하는 정도의 의미를 가진다. 예를 들어, 외부 부하가 1.0kg에서 2.0kg으로 증가하면 ‘편함’ 혹은 ‘약간 편함’에서 ‘약간 편함’과 ‘보통’의 중간 수준으로 verbal category가 이동한다(Fig. 2 참조). 반면, 여성은 한 단계 반 혹은 두 단계 정도 이동한다. 이는 여성이 남성에 비하여 외부 부하에 민감하게 반응하는 현상을 나타낸 것이라 할 수 있다.

지속적 작업에서 Borg CR10의 2점(weak discomfort) 혹은 3점(moderate discomfort) 정도의 불편도가 수용 가능한(acceptable) 수준으로 알려져 있다¹⁵⁾. Borg CR10 값을 10배 한 것은 본 연구에서 사용한 것과 같은 9개의 verbal category를 magnitude estimation 기법으로 평가한 값과 유사한 추세를 보인다¹⁶⁾. Borg CR10의 3점을 수용 가능한 수준이라고 가정할 때 이는 본 연구의 verbal category로는 ‘약간 편함’에 속하고, 불편도 값은 약 24.9에 해당한다. 본 연구에서 외부 부하가 1.0kg일 때 불편 수준은 약 20.6이고, verbal category는 ‘약간 편함’에 근접하고 있다. 외부 부하가 1.0kg을 초과하면 Borg CR10 점수가 3점 수준이거나 이를 초과하게 되어 불편도의 수용 가능 수준을 넘게 된다. 따라서, 작업 설계 시 공구나 부품 등의 외부 부하 중량을 1.0kg 이내로

제한할 필요가 있다 하겠다. 외부 부하가 2.0kg이 넘으면 verbal category가 ‘보통’, Borg CR10 4점을 초과하게 되므로, 이러한 경우는 최소화하여야 한다.

외부 부하가 지각 불편도에 영향을 미치는 것은 기도형⁷⁾의 연구와 일치하고, verbal category에 대한 느낌의 크기도 두 연구에서 거의 같게 나타났다. 손목 동작 반복이 지각 불편도에 유의하지 않은 것은 Carey와 Gallwey⁹⁾과 일치한다. 기도형⁷⁾의 연구에서 어깨 동작, 손목 동작 반복이 유의수준 10%에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타난 것은 본 연구와 다르다. 이러한 차이의 원인을 정확히 추정하기란 어렵지만 다음의 이유 때문으로 판단된다: 1) 본 연구에서 사용한 외부 부하가 전 연구에 비하여 가볍고, 2) 본 연구에서 사용한 팔꿈치 굴곡 각도가 전 연구에 비하여 작아 어깨에 걸리는 모멘트가 줄어들었으며, 3) 본 연구에서 기존 연구⁷⁾에 비하여 손목 동작 반복 수준의 최대치를 분당 30회에서 40회로 늘렸으나 유의하게 나타나지 않은 사실 등을 고려할 때, 여성 피실험자가 남성에 비하여 외부 부하와 달리 자세나 동작 반복에 대한 민감성이 떨어지는 것으로 생각된다. 이는 여성 피실험자들이 모두 대학생이어서 남성에 비하여 본 연구와 같은 실험 환경에 노출될 기회가 상대적으로 적었기 때문으로 추정된다. 그러나, Magnitude estimation을 이용한 실험에서는 피실험자가 10명 이상이면 실험 결과의 검정력에 문제가 없는 것으로 알려져 있다¹⁷⁾. 따라서, 두 연구 모두 10명 이상의 피실험자가 참여하여 피실험자 수에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 남여 피실험자의 결과의 차이에 대한 정확한 원인을 밝히는 추후 연구가 요망된다.

참고문헌

- 1) K.H.E. Kroemer, "Cumulative trauma disorders: Their recognition and ergonomics measures to avoid them", *Applied Ergonomics*, Vol. 20, No. 4, pp. 274~2, 1989.
- 2) J. Winkel, S. E. Mathiassen, "Assessment of physical work load in epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations", *Ergonomics*, Vol. 73, No. 6, pp. 979~988, 1994.
- 3) W. S. Marras, "Occupational low back disorders causation and control", *Ergonomics*, Vol. 43, No. 7, pp. 880~902, 2000.
- 4) 한국산업안전공단, 산업재해원인조사, 2003.
- 5) E. J. Carey, T. J. Gallwey, "Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 29, pp. 85~94, 2002.
- 6) 기도형, "지각 불편도에 대한 외부 부하, 상지 자세의 영향", *산업안전학회지*, 제17권, 제4호, pp. 178~183, 2002.
- 7) 기도형, "손목 동작의 반복과 외부 부하에 따른 심물리학적 부하", *한국안전학회지*, 제19권, 제4호, pp. 123~128, 2004.
- 8) B. Niebel, A. Freivalds, *Methods standards & work design*, McGraw-Hill, New York, 1999.
- 9) D. Kee, "Gender differences in rankings of joint motion stressfulness based on psychophysical scaling", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 35, pp. 461~469, 2005.
- 10) D. E. Treaster, D. Burr, "Gender differences in prevalence of upper extremity musculoskeletal disorders", *Ergonomics*, Vol. 47, No. 5, pp. 495~526, 2004.
- 11) 동아일보, 여성 경제활동인구 급증, 2005. 7. 20.
- 12) M. L. Lin, R. G. Radwin, S. H. Snook, "A single metric for quantifying biomechanical stress in repetitive motions and exertions", *Ergonomics*, Vol. 40, No. 5, pp. 543~558, 1997.
- 13) M. L. Lin, R. G. Radwin, "Agreement between a frequency-weighted filter for continuous biomechanical measurements of repetitive wrist flexion against a load and published psychophysical data", *Ergonomics*, Vol. 41, No. 4, pp. 459~475, 1998.
- 14) G. A. Gescheider, *Psychophysics: Method, theory, and application*, Lawrence Erlbaum Associates, London, 1985.
- 15) M. C. Miedema, M. Douwes, J. Dul, "Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 19, pp. 9~18, 1997.
- 16) M. K. Chung, I. Lee, D. Kee, "Assessment of postural load for lower limb postures based on perceived discomfort", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 31, pp. 17~32, 2003.
- 17) S. H. Han, M. Song, J. Kwak, "A systematic method for analyzing magnitude estimation data", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 23, pp. 513~5249, 1999.