

# 앉은 자세에서 힘 수준에 따른 상지관절 동작별 최대 수용 반복 빈도수 분석\*

권오채\*\* · 유희천\*\* · 정기효\*\*

## Analysis of Maximum Acceptable Frequencies for Upper Extremity Motions with Forces in a Seated Position

Ochae Kwon \*\*, Heecheon You \*\*, Kihyo Jung \*\*

### ABSTRACT

Evaluation of repetitiveness for upper extremity intensive tasks is essential to determine the level of risk for upper extremity musculoskeletal disorders at the workplace. However, experimental data available to establish the acceptable levels of repetitiveness for various postures and forces is lacking. The present study examined the maximum acceptable frequencies(MAFs; motions/min.) of shoulder, elbow, wrist, and index finger motions at different forces(1kgf and 4kgf for shoulder, elbow, and wrist; 0.25kgf and 1 kgf for index finger) in sitting. Seventeen right-handed males in 20s without having any history musculoskeletal disorders participated in the MAF experiment. The participants determined their MAFs for the upper extremity motions by using the self-adjustment method and their work pulse(increase in heart rate; beats/min.) and rating of perceived exertion(RPE) were measured when working at MAF. The MAFs of elbow, wrist, and index finger motions for each force level were about 2, 3, and 6 times the corresponding MAF(9 at the high force and 24 at the low force) of shoulder motion and the MAFs at the low force increased about 2 times those at the high force. The work pulses of elbow, wrist, and index finger motions for each force level were 70%, 50%, and 30% of the corresponding work pulse(17 at the high force and 12 at the low force) of shoulder motion and the work pulses at the low force were about 70 % of those at the high force. Lastly, the RPEs of the upper extremity regions were about level 3(moderate) or below.

Keyword: Work-related upper extremity musculoskeletal disorders, Repetitiveness, Upper extremity motions, Maximum acceptable frequency(MAF)

### 1. 서 론

상지 근골격계질환(upper extremity musculoskeletal disorders; UEMSDs)은 제조업과 같이 상지 작업이 수행되는 산업현장에서 높은 발병 비율을 차지하고 있다. 2003년 국내 산업재해통계에 따르면, UEMSDs는 전체 업무상 질병 7,740건 중 2,906건으로 38%를 차지하고 있으며, 이

들 UEMSDs의 86%인 2,498건이 제조업에서 발생되었다(KOSHA, 2004). 미국의 경우에도 2002년 전체 산업에서의 질병 및 상해 발생률은 100명당 5.3건인데 반해 제조업에서의 질병 및 상해 발생률은 7.2건으로 높았다(BLS, 2004).

상지 작업의 반복성은 부자연스러운 자세, 과도한 힘과 더불어 UEMSDs의 주요 유해 요인으로 알려져 있다. Silverstein et al.(1987)과 Colombini(1998)는 반복적인 동작

\*본 2004년도 포항공과대학교 기계산업공학부 BK사업 연구비로 수행되었음.

\*\*포항공과대학교 기계산업공학부 제품생산기술연구소

교신저자: 유희천

주 소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산31, 전화: 054-279-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr

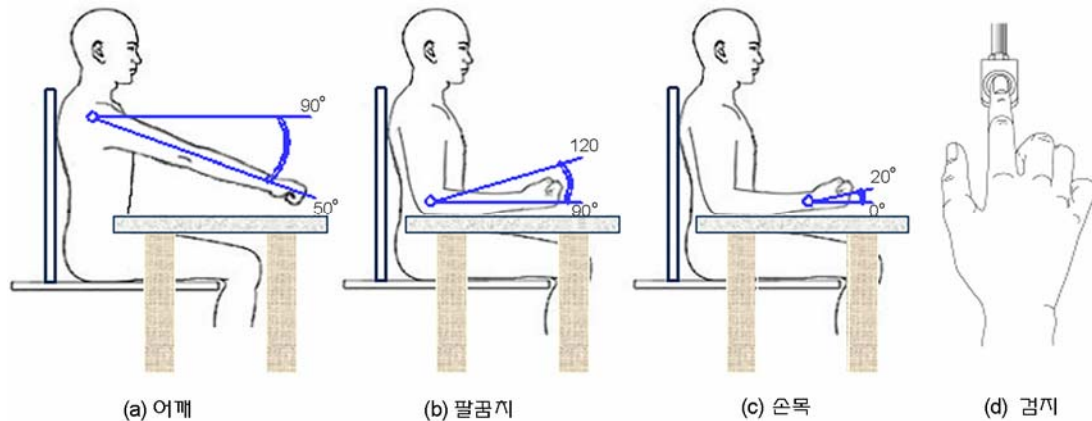


그림 1. 실험에 사용된 상지관절별 동작 범위

이 다른 유해 요인과 독립적으로도 UEMSDs에 영향을 끼칠 수 있다고 하였다. 또한, Latko et al. (1999)은 반복성이 손과 손목의 건이나 신경질환들과 연관이 있다고 하였으며, NIOSH(1997)는 반복성과 어깨 및 손/손목의 근골격계질환 간에 밀접한 인과관계가 존재한다고 보고하였다.

상지 작업의 반복성 평가를 위한 기준은 작업장에서의 용이한 적용과 평가를 위해 상지관절별로 설정될 필요가 있다. 상지 작업의 반복성 평가는 작업장에서 상지 근골격계질환의 유해 수준을 설정하는 데 필수적임에도 불구하고, 반복성 평가를 위한 기준은 상지관절별 구분이 미비하며 일관성도 부족하다. 예를 들어, 손목 부위 반복성의 유해 수준으로 Kilbom(1994)은 10회, Hansson et al. (2000)은 31.8회를 제시하고 있다. 따라서, 상지 작업의 반복성 평가를 위한 상지관절별 기준을 설정하기 위하여 체계적인 실험 data를 구축하는 것이 필요하다.

본 연구는 심물리학적 방법을 이용하여 앉은 자세에서 힘 사용 수준에 따른 상지관절 동작별 최대 수용 반복 빈도수(maximum acceptable frequency; MAF)를 파악하였다. 사용하는 힘의 수준과 상지관절(어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절)의 동작 부위를 달리하며, 앉은 자세에서 8시간 반복 작업시 수용 가능한 반복 빈도수(MAF)를 심물리학적 방법으로 측정하였다. 또한, MAF로 작업시 생리적/심리적 변화는 심박수 변화량과 상지 부위별 주관적 불편도(rating of perceived exertion; RPE)를 이용하여 파악하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 피실험자

본 연구에서는 상지 부위에 근골격계질환 병력이 없는 남

자 대학생 17명이 실험에 참여하였다. 피실험자들의 나이는 23~27세(평균: 25세, 표준편차: 1.32세)였으며, 키와 몸무게의 평균은 175.6cm(표준편차: 5.2cm)와 71.7kgf(표준편차: 8.5kgf)였다. 피실험자들은 오른손을 주손으로 사용하였으며, 상지 부위에 근골격계질환 병력이 없었고, 실험 참여시간에 대한 실험비를 지급받았다.

### 2.2 실험설계

본 실험은 상지관절과 힘을 독립변수로 하는  $4 \times 2$  within-subject design으로 설계되었다. 상지관절은 어깨, 팔꿈치, 손목과 검지 관절의 네 관절이 설정되었으며, 힘은 Silverstein et al. (1986, 1987)과 Stetson et al. (1991)의 연구 결과를 참조하여 어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 경우 1kgf와 4kgf, 검지 관절의 경우 0.25kgf와 1kgf이 힘의 낮은 수준과 높은 수준으로 각각 설정되었다. 어깨, 팔꿈치, 손목 관절 동작범위는 Kee and Karwowski (2001)가 제한한 자세 불편도를 참조하여 부자연스러운 동작범위가 아닌  $50 \sim 90^\circ$ ,  $90 \sim 120^\circ$ ,  $0 \sim 20^\circ$  내로 각각 제한되었으며, 검지 관절 동작은 자연스럽게 손바닥을 작업대 위에 놓은 상태에서 1~2cm 변위 내에서 수행되었다(그림 1 참조). 실험의 종속변수는 최대 수용 반복 빈도수(MAF), 심박수 변화량, 그리고 7개 상지 부위(어깨, 위팔, 팔꿈치, 아래팔, 손목, 손바닥, 및 손가락)에서의 주관적 불편도(RPE)였다.

### 2.3 실험장치

본 실험은 힘 사용 수준과 반복 빈도수 수준을 통제하기 위하여 아령, NK pinch-grip<sup>TM</sup>, 컴퓨터가 사용되었으며, 심박수와 RPE를 측정하기 위해 POLAR Electro와 Borg's CR-10 scale이 사용되었다. 힘 사용 수준은 어깨, 팔꿈치,

손목 동작의 경우 두 종류의 아령(1kgf와 4kgf)을 사용하여 설정되었고, 검지 동작의 경우 NK pinch-grip™을 사용하여 사용된 힘을 컴퓨터 화면 상의 color bar(흰색: 요구되는 힘의 수준에 도달하지 못한 경우; 녹색: 요구되는 힘의 수준에 도달한 경우; 적색: 요구되는 힘의 수준을 초과한 경우)로 표시함으로써 피실험자가 힘을 조정하도록 하였다. 또한, 작업 반복 빈도수 수준은 컴퓨터의 arrow key를 사용하여 피실험자가 조정하도록 하였으며, 설정된 반복 빈도수에 따라 beep음이 생성되어 피실험자의 동작 속도가 통제되었다. 마지막으로, 심박수와 RPE는 POLAR Electro와 Borg's CR-10 scale(Borg, 1998)을 사용하여 각각 측정되었다.

### 2.4 실험방법

본 실험은 상지관절과 힘의 각 실험 조합 조건에 대해 하루에 한 작업씩 30분 동안 수행되었으며, 피실험자는 8시간 작업지속시 적합한 반복 빈도수를 심물리화적인 방법으로 선정하였다. 네 개의 상지관절과 두 수준의 힘에 따른 8개의 실험 조건은 피실험자마다 임의의 순서로 하루에 한 작업씩 수행되었다. 각 실험 작업 시간은 30분이었으며, 피실험자는 처음 25분 동안 8시간 작업에 적합한 반복 빈도수를 심물리화적으로 선정하였다(Chaffin et al., 1999; Klein and Fernandez, 1997). 초기 반복 빈도수는 어깨, 팔꿈치, 손목 관절 동작의 경우에는 1~100(회/분), 검지 관절 동작의 경우에는 1~300(회/분) 내에서 임의로 설정되었으며, 마지막 5분 동안 유지된 반복 빈도수는 피실험자의 심물리화적인 방법에 의해 8시간 작업지속시 수용 가능한 반복 빈도수(MAF)로 선정되었다. 피실험자들은 수행한 작업량에 대한 성과급이 지급되며 8시간 작업이 지속된다는 가정하에서 상지 부위가 불편해지지 않는 수준으로 실험을 수행하였다. 그리고, 실험 중 반복 빈도수에 대한 정량적인 정보는 피실험자에게 제공되지 않았으며, 모든 실험 작업은 다른 유해 요인에 의한 효과를 최소화시키기 위하여 앉은 자세에서 수행되었다. 심박수는 실험에 앞서 1분 동안 휴식 중 심박수와 실험 중 마지막 1분 동안 작업 중 심박수가 각각 측정되었으며, RPE는 실험이 끝난 직후 7개 상지 부위에 대해 각각 측정되었다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 최대 수용 반복 빈도수(MAF)

최대 수용 반복 빈도수(MAF)는 상지관절 동작들 중 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작의 순으로 증가하였으며, 높은

힘 수준(어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 경우 4kgf, 검지 관절의 경우 1kgf)에 비해 낮은 힘 수준(어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 경우 1kgf, 검지 관절의 경우 0.25kgf)에서 2배 정도 높았다. 상지관절 동작별 평균 MAF는 높은 힘 수준에서 어깨 관절 동작이 분당 9회로 가장 낮았고 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작은 어깨 관절 동작에 비해 각각 2.2배(20회), 3.3배(30회), 7.3배(66회) 높은 것으로 분석되었으며, 낮은 힘 수준에서도 어깨 관절 동작이 분당 24회로 가장 낮았고 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작은 어깨 관절 동작에 비해 각각 1.9배(45회), 2.3배(56회), 5.3배(128회) 높은 것으로 분석되었다. 또한, 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작의 힘 수준별 평균 MAF는 높은 힘 수준에 비해 낮은 힘 수준에서 각각 2.7배, 2.3배, 1.9배, 2.0배 높은 것으로 분석되었다(그림 2 참조).

MAF에 대한 ANOVA 결과에서는 상지관절, 힘, 상지관절×힘이 통계적으로 유의한( $\alpha=0.05$ ) 것으로 파악되었다. 상지관절×힘에 대한 단순 주효과 분석 결과에서는 모든 상지관절에서의 MAF가 힘 수준에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 높은 힘 수준에서의 MAF는 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절들에서 각각 유의한 차이가 있었으나, 낮은 힘 수준에서의 MAF는 팔꿈치 관절과 손목 관절 사이에서 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다(그림 2 참조).

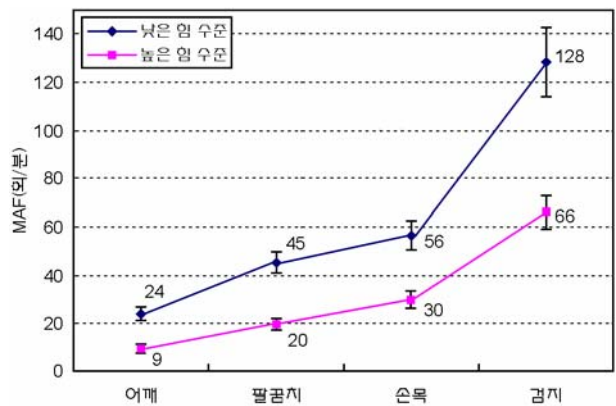


그림 2. 힘 수준에 따른 상지관절 동작별 최대 수용 반복 빈도수 (오차막대는 표준오차를 나타냄)

### 3.2 심박수 변화량(work pulse)

심박수 변화량 결과는 상지관절 동작들 중 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작의 순으로 감소하였으며, 높은 힘 수준에 비해 낮은 힘 수준에서 70% 정도 낮았다. 상지관절 동작별 MAF로 작업시 평균 심박수 변화량(작업 중 심박수 - 휴식 중 심박수; Kroemer and Grandjean, 1997)은 높은

힘 수준에서 어깨 관절 동작시 17.4bpm으로 가장 높았고, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작시는 각각 어깨 관절 동작시의 71%(12.3bpm), 45%(7.9bpm), 33%(5.7bpm) 수준인 것으로 분석되었다. 또한, 심박수 변화량은 낮은 힘 수준에서도 어깨 관절 동작시 12.0bpm으로 가장 높았고, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작시는 각각 어깨 관절 동작시의 71%(8.5 bpm), 55%(6.5bpm), 35%(4.1bpm) 수준인 것으로 분석되었다. 또한, 낮은 힘 수준에서의 평균 심박수 변화량은 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작시에 대해 각각 높은 힘 수준에서의 69%, 69%, 83%, 73% 수준인 것으로 분석되었다(그림 3 참조).

심박수 변화량에 대한 ANOVA 결과에서도 MAF에 대한 ANOVA 결과와 마찬가지로 상지관절, 힘, 상지관절×힘이 통계적으로 유의한( $\alpha=0.05$ ) 것으로 파악되었다. 상지관절×힘에 대한 단순 주효과 분석 결과에서는 손목 관절을 제외한 상지관절에서의 심박수 변화량이 힘 수준에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 낮은 힘 수준에서의 심박수 변화량은 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절들에서 각각 유의한 차이가 있었으나, 높은 힘 수준에서의 심박수 변화량은 손목 관절과 검지 관절에서 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다(그림 3 참조).

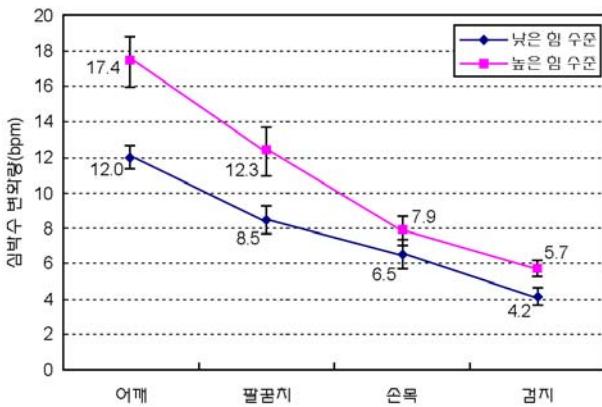


그림 3. 힘 수준에 따른 상지관절 동작별 심박수 변화량 (오차막대는 표준오차를 나타냄)

### 3.3 주관적 불편도(RPE)

MAF로 작업시 주관적 불편도(RPE)는 수준 3(mode-rate) 이내였으며, 상지관절 동작별로 RPE가 상대적으로 높은 부위가 파악되었다. Borg's CR-10 scale을 사용하여 측정된 RPE는 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작에 대해 각각 어깨, 아래팔, 손목, 손가락 부위에서 높은 것으로 파악되었으며, RPE 수준은 3(moderate) 정도인 것으로 분석되었

다(표 1 참조).

어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작에 대해 각각 어깨, 아래팔, 손목, 손가락 부위에서 파악된 RPE의 ANOVA 결과는 힘에 대해서만 유의한( $\alpha=0.05$ ) 차이가 있는 것으로 파악되었다. ANOVA 결과는 상지관절이나 상지관절×힘에 대한 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었으나, 낮은 힘 수준(평균: 2.47)에 비해 높은 힘 수준(평균: 2.98)에서의 RPE 결과가 유의하게 큰 것으로 분석되었다(표 1 참조).

표 1. 힘 수준에 따른 상지관절 동작별 주관적 불편도\*

불편 부위	높은 힘 수준				낮은 힘 수준			
	어깨	팔꿈치	손목	검지	어깨	팔꿈치	손목	검지
어깨	<b>3.1</b>	0.8	0.5	0.5	<b>2.7</b>	0.7	0.3	0.3
위팔	2.3	1.9	0.7	0.5	2.1	1.1	0.5	0.3
팔꿈치	2.3	1.7	0.9	0.4	2.3	1.1	0.7	0.3
아래팔	3.0	<b>3.0</b>	2.4	1.0	2.4	<b>2.5</b>	1.7	0.9
손목	2.4	2.3	<b>3.1</b>	1.0	1.4	1.9	<b>2.5</b>	0.9
손바닥	2.0	1.7	2.3	1.0	1.3	1.2	1.6	0.8
손가락	2.3	1.6	2.1	<b>2.7</b>	1.4	1.0	1.3	<b>2.1</b>

\*상지관절 동작별 불편도가 가장 높은 RPE는 굵은 글꼴 사용

## 4. 토 의

본 연구는 심물리화학적 방법을 이용하여 앉은 자세에서 힘 사용 수준에 따른 상지관절 동작별(어깨, 팔꿈치, 손목, 검지) 최대 수용 반복 빈도수(MAF)를 파악하였다. 본 연구에서 사용된 상지관절 동작별 작업은 부자연스러운 자세와 과도한 힘의 유해 요인으로 인한 불편효과를 최소화시켰다. 본 연구의 결과는 UEMSDs의 유해 수준을 감소시키기 위한 앉은 자세에서의 상지관절 동작별 반복성 기준을 수립하는데 유용한 기초 자료로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 분석된 심박수 변화량과 RPE 결과들은 상지관절 동작별 MAF를 설정하기 위한 생리적/심리적 수용기준을 수립하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

앉은 자세에서의 상지관절 동작별 반복 빈도수 수용 기준은 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절의 순으로 증가하며, 힘의 수준에 따라 설정되어야 함이 파악되었다. 본 연구에서 파악된 상지관절 동작별 MAF는 어깨 관절 동작이 높은 힘 수준에서 9회, 낮은 힘 수준에서 24회로 가장 낮았고 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작은 어깨 관절 동작에 비해 각각 평균 2배, 3배, 6배 높은 것으로 파악되었으며, 힘 수준별 MAF는 높은 힘 수준(어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 경우 4kgf, 검지 관절



의 경우 1kgf)에 비해 낮은 힘 수준(어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 경우 1kgf, 검지 관절의 경우 0.25kgf)에서 2배 정도 높은 것으로 파악되었다. 상지관절 동작별 MAF는 Kilbom (1994)이 제안한 어깨 관절(분당 2.5회)에 비해 팔꿈치 관절(분당 10회)과 손목 관절(분당 10회)이, 손목 관절에 비해 손가락 관절(분당 200회)이 높은 반복 빈도수를 수용한다는 것을 뒷받침하고 있다. 또한, 힘 수준에 따른 MAF의 감소는 Kim and Fernandez(1993)의 반복적인 드릴 작업에 대한 MAF 연구와 Klein and Fernandez(1997)의 반복적인 집기 작업에 대한 MAF 연구에서 힘 수준이 배로 증가함에 따라 MAF가 약 20%씩 유의하게 감소한 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

MAF로 작업시 심박수 변화량은 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작의 순으로 감소하며, 힘의 수준에 따라 유의한 차이가 있음이 파악되었다. 본 연구에서 파악된 상지관절 동작별 심박수 변화량은 어깨 관절 동작시 높은 힘 수준에서 17.4bpm, 낮은 힘 수준에서 12.0bpm으로 가장 높았고 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작시는 각각 어깨 관절 동작시의 평균 70%, 50%, 30% 수준인 것으로 파악되었으며, 낮은 힘 수준에서의 심박수 변화량은 높은 힘 수준에서의 70% 수준인 것으로 파악되었다. 상지관절 동작별 심박수 변화량은 움직이는 부위가 클수록 사용된 근육량의 증가로 인해 심박수 변화에 많은 영향을 준 것으로 추정되며, 힘 수준별 심박수 변화량은 Kim and Fernandez(1993)의 반복적인 드릴 작업에 대한 MAF 연구에서 힘 수준이 배로 증가함에 따라 작업 중 심박수가 평균 5bpm씩 유의하게 증가한 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작에 대해 각각 어깨, 아래팔, 손목, 손가락 부위가 MAF를 설정하는데 영향을 준 것으로 추정된다. MAF로 작업시 주관적 불편도(RPE)는 수준 3(moderate) 이내인 것으로 분석되었다. 수용할 수 있는 작업부하에 대한 RPE의 기준은 없으나, Klein and Fernandez(1997)는 수준 3(moderate)을 제안하였으며, Putz-Anderson and Galinsky (1993)은 수준 4(somewhat strong)를 사용하였다. 또한, 본 연구에서 파악된 RPE 결과는 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작에 대해 각각 어깨, 아래팔, 손목, 손가락 부위가 다른 부위들에 비해 높은 것으로 분석되었는데, 이 부위들이 각 관절 동작의 MAF를 설정하는데 영향을 준 것으로 추정된다.

본 연구는 앉은 자세에서 수행된 MAF 연구로서 연구결과의 일반화 및 타당성, 그리고 산업현장에서의 적용을 위해서는 다양한 작업자 집단과 선 자세에서의 연구도 필요하다. 먼저, 연구결과의 일반화 및 타당성을 위해 다양한 작업자 집단에서 많은 피실험자를 대상으로 한 data를 구축할 필요가 있다. 본 연구는 8시간 작업 경험이 부족한 23~27세의 대학

원생 17명을 대상으로 한 결과로서, 향후 다양한 성별, 연령, 직업군의 피실험자를 대상으로 MAF 연구가 필요하다. 또한, 본 연구는 다른 유해 요인들의 효과를 최소화시키기 위하여 앉은 자세에서 작업이 수행되었지만, 반복적인 입식 작업을 고려하여 선 자세에서의 MAF 연구도 수행될 필요가 있다.

## 5. 결 론

본 연구는 앉은 자세에서 힘 수준에 따른 상지관절 동작별 최대 수용 반복 빈도수(MAF)를 분석하였다. 본 연구에서 파악된 상지관절 동작별 MAF는 어깨 관절 동작이 높은 힘 수준(어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 경우 4kgf, 검지 관절의 경우 1kgf)에서 9회, 낮은 힘 수준(어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 경우 1kgf, 검지 관절의 경우 0.25kgf)에서 24회로 가장 낮았고, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작은 어깨 관절 동작에 비해 각각 평균 2배, 3배, 6배 높은 것으로 파악되었으며, 힘 수준별 MAF는 높은 힘 수준에 비해 낮은 힘 수준에서 2배 정도 높은 것으로 파악되었다. MAF 설정시 파악된 상지관절 동작별 심박수 변화량은 어깨 관절 동작시 높은 힘 수준에서 17.4bpm, 낮은 힘 수준에서 12.0bpm으로 가장 높았고, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작시는 각각 어깨 관절 동작시의 평균 70%, 50%, 30% 수준인 것으로 파악되었으며, 낮은 힘 수준에서의 심박수 변화량은 높은 힘 수준에서의 70% 수준인 것으로 파악되었다. Borg's CR-10 scale을 사용한 주관적 불편도(RPE)는 수준 1(very weak)에서 수준 3(moderate)의 범위였으며, 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 관절 동작에 대해 각각 어깨, 아래팔, 손목, 손가락 부위에서 높은 것으로 파악되었다. 본 연구의 결과는 UEMSDs의 유해 수준을 감소시키기 위한 앉은 자세에서의 상지관절 동작별 반복성 기준을 수립하는 데 유용한 기초 자료로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 분석된 심박수 변화량과 RPE 결과들은 상지관절 동작별 MAF를 설정하기 위한 생리적/심리적 수용기준을 수립하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

Borg, G., Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Champaign: Human Kinetics, 1998.  
 Bureau of Labor Statistics (BLS), *Workplace Injuries and Illnesses in 2002*. Retrieved July 28, 2004, from <http://www.bls.gov/>, 2004.  
 Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J. and Martin, B. J., *Occupational Biomechanics* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons, 1999.

- Colombini, D., An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9), 1261-1289, 1998.
- Hansson, G. A., Balogh, I., Ohlsson, K., Palsson, B., Rylander, L. and Skerfving, S., Impact of physical exposure on neck and upper limb disorders in female workers. *Applied Ergonomics*, 31, 301-310, 2000.
- 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, 357-366, 2001.
- Kilbom, A., Repetitive work of the upper extremities: Part II The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14, 59-86, 1994.
- Kim, C. H. and Fernandez, J. E., Psychophysical frequency for a drilling task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12, 209-218, 1993.
- Klein, M. C. and Fernandez, J. E., The effects of posture, duration, and force on pinching frequency. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 267-275, 1997.
- Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA), *Statistics of Industrial Accidents and Occupational diseases*. Retrieved September 22, 2004, from <http://www.kosha.or.kr/>, 2004.
- Kroemer, K. H. E. and Grandjean, E., *Fitting the task to the human: a textbook of occupational ergonomics* (5th ed.). London: Taylor & Francis, Ltd, 1997.
- Latko, W., Armstrong, T., Foulke, J., Herrin, G., Rabourn, R. and Ulin, S., Development and evaluation of an observational method for assessing repetition in hand tasks. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 58(4), 278-285, 1997.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Musculoskeletal Disorders (MSDs) and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back* (2nd printing). Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services (DHHS), 1997.
- Putz-Anderson, V. and Galinsky, T. L., Psychophysically determined work durations for limiting shoulder girdle fatigue from elevated manual work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11, 19-28, 1993.
- Silverstein, B. A., Fine, L. J. and Armstrong, T. J., Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43, 779-784, 1986.

- Silverstein, B. A., Fine, L. J. and Armstrong, T. J., Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *American Journal of Industrial Medicine*, 11, 343-358, 1987.
- Stetson, D. S., Keyserling, W. M., Silverstein, B. A. and Leonard, J. A., Observational Analysis of the hand and wrist: A pilot study. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 6(11), 927-937, 1991.

## ○ 저자 소개 ○

### ❖ 권 오 채 ❖

1997년 성균관대학교 산업공학과 학사  
 1999년 포항공과대학교 산업공학과 석사  
 2005년 포항공과대학교 산업공학과 박사  
 현재 포항공과대학교 기계산업공학부 연구원  
 관심분야: 산업인간공학, 생체공학, 인간공학적 제품설계

### ❖ 유희 천 ❖

1988년 서울대학교 산업공학과 학사  
 1990년 서울대학교 산업공학과 석사  
 1999년 미국 펜실바니아 주립대학교 산업공학과 박사  
 1999년~2002년 미국 위치타대학교 산업공학과 조교수  
 현재 포항공과대학교 산업경영공학과 조교수  
 관심분야: 인간공학적 제품설계기술, 사용자 중심의 제품설계, 작업관련성 근골격계질환 예방, 사용자 인터페이스 설계용 디지털 인체모형, 가상현실 기술의 제품설계 응용

### ❖ 정 기 효 ❖

2003년 금오공과대학교 산업시스템공학과 학사  
 2005년 포항공과대학교 산업공학과 석사  
 현재 포항공과대학교 산업경영공학과 박사과정  
 관심분야: 산업인간공학, 인간공학적 제품설계

논문 접수 일 (Date Received) : 2004년 10월 30일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2005년 05월 18일