

상지 작업에서 상지 관절의 최대 수용 반복 빈도수 분석

권오채, 정기효, 유희천

포항공과대학교 기계산업공학부

ABSTRACT

상지 근골격계 질환의 주요 유해요인 중 하나인 반복성의 허용 기준에 대한 객관적인 연구결과는 부족한 실정이다. 본 연구는 심물리학적 방법을 이용하여 힘에 따른 상지 관절별 최대 수용 반복 빈도수(maximum acceptable frequency; MAF)를 파악하였다. 피실험자는 17명의 20대 남성이었으며, 최대 수용 반복 빈도수 작업동안 생리적/심리적 변화량을 분석하기 위하여 심박수와 근전도(EMG) 평균과위 주파수(mean power frequency; MPF)의 변화량 및 7개 상지 부위(어깨, 상완, 팔꿈치, 전완, 손목, 손바닥, 및 손가락)의 주관적 불편도(rating of perceived exertion; RPE)가 분석되었다. 최대 수용 반복 빈도수의 평균은 분당 어깨 16.6, 팔꿈치 32.4, 손목 42.9, 그리고 검지 손가락 97.2회로 파악되었다. 심박수와 EMG MPF의 변화량은 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 손가락에 대해 각각 14.7, 10.4, 7.2, 4.9 bpm과 13.42, 7.89, 5.67, 3.13 Hz로 움직이는 부위가 작을수록 감소하였다. 그리고, 주관적 불편도(RPE)는 수준 1(very weak)에서 수준 3(moderate)의 범위인 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 상지 작업 반복성의 허용 기준을 수립하는 데 유용한 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

Keyword : 심물리학적 방법, 상지 관절, 힘, 최대 수용 반복 빈도수

1. 서론

상지 근골격계 질환(upper extremity musculoskeletal disorders; UEMSDs)은 상지 작업이 수행되는 산업현장에서 여전히 높은 비율을 차지하고 있다. 2003년 국내 산업재해통계에 따르면, UEMSDs는 전체 업무상 질병 7,740건 중 2,906건으로 38%를 차지하고 있으며, 상지 작업이 주를 이루는 제조업에서 전체 상지 근골격계 질환의 86%인 2,498건이 발생되고 있다(KOSHA, 2004).

상지 작업의 반복성은 부자연스러운 자세, 과도한 힘과 더불어 UEMSDs의 주요 유해요인으로 알려져 있다 (Putz-Anderson, 1988; NIOSH, 1997). Silverstein et al. (1987)과 Colombini (1998)에 따르면, 반복성의 문제는 다른 위험 요인과 독립적으로도 상지 근골격계 질환에 심각한 영향을 끼칠 수 있다고 보고하였다.

상지 작업의 반복성에 관한 연구는 지금까지 많이 수행되어 왔음에도 불구하고, 반복성 평가

에 필요한 객관적인 기준에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 상지 작업의 반복성에 대한 객관적인 기준을 설정하기 위한 과정으로 체계적인 실험 data를 구축하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 심물리학적 방법을 이용하여 상지 작업에 사용되는 힘에 따른 상지 관절별 최대 수용 반복빈도수(maximum acceptable frequency; MAF)를 파악하였다. 세부적으로는 8시간 작업을 위한 MAF를 파악하고, MAF로 작업을 수행하는 동안 생리적/심리적 변화량을 분석하기 위한 심박수와 근전도(EMG) 평균과위 주파수(mean power frequency; MPF) 변화량 및 상지 부위별 주관적 불편도(rating of perceived exertion; RPE)를 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 피실험자

피실험자는 남자 대학원생 17명이다. 피실험자들의 나이분포는 23세에서 27세(평균=25세, 표준편차=1.32세)였으며, 상지

부위에 근골격계 질환 병력이 없었다.

2.2 실험설계

본 실험은 상지 관절과 힘을 독립변수로 하는 4×2 within-subject design을 사용하였다. 상지 관절은 어깨, 팔꿈치, 손목과 검지 손가락 관절이 사용되었으며, 힘은 어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 경우 1kg과 4kg, 검지 손가락 관절의 경우 0.25kg과 1kg이 사용되었다. 실험의 종속변수는 최대 수용 반복빈도수(MAF), 심박수 변화량, 근전도(EMG) 평균과위 주파수(MPF) 변화량, 그리고, 7개 상지 부위(어깨, 상완, 팔꿈치, 전완, 손목, 손바닥, 및 손가락)의 주관적 불편도(RPE)이다.

2.3 실험장치

실험은 그림 1과 같은 환경에서 수행되었으며, beep음과 color graph를 표시하는 computer는 MAF를 측정하기위해 사용되었다. 힘 수준은 아령과 NK pinch dynamometer를 사용하여 조절되었으며, 심박수와 EMG는 Polar 심박수 측정시스템과 Telemetry EMG 측정 system를 사용하여 각각 측정되었다. 그리고, RPE 평가에는 Borg's CR-10 scale (Borg, 1998)이 사용되었다.



그림 1. 실험 환경

2.4 실험절차

상지 관절과 힘에 따른 총 8개의 실험 작업은 피실험자마다 임의의 순서로 하루에 한 작업씩 총 8일에 걸쳐 수행되었다. 각 실험 작업 시간은 30분이었으며, 피실험자는 처음 25분 동안 8시간 작업에 적합한 반복 빈도수를 심물리학적으로 선정하였다. 마지막 5분동안 유지된 반복 빈도수가 MAF로 정의되었다.

실험에 앞서 휴식 중 심박수와 작업 전 EMG가 측정되었으며, 실험 중 마지막 1분동안 작업 중 심박수가 측정되었다. 그리고, 실험이

끝난 직후 작업 후 EMG와 7개 상지 부위에 대한 RPE가 측정되었다. EMG는 각각 4초동안 1024 Hz로 sampling되었다.

2.5 분석절차

실험 결과들에 대한 ANOVA와 Student-Newman-Keuls (SNK) test와 같은 통계적인 분석은 SAS를 사용하여 수행되었으며, 모든 분석에서의 유의수준은 0.05가 사용되었다. 특히, EMG data는 통계적인 분석에 앞서, band-pass (10~350 Hz) filtering 후 MPF로 변환되었다.

3. 실험 결과

3.1 최대 수용 반복빈도수(MAF)

표 1은 4종류의 상지 관절(어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 손가락)과 2수준의 힘에 대한 최대 수용 반복 빈도수(MAF)를 나타낸다. 분석 결과, 상지 관절에서는 어깨, 팔꿈치, 손목, 그리고 검지 손가락 관절의 순으로 MAF가 상대적으로 높았으며, 큰 힘일 때보다 작은 힘일 때의 MAF가 상대적으로 높았다.

표 1. 최대 수용 반복빈도수 (motions/min)

관절	힘			
	Low		High	
	평균	SD	평균	SD
어깨	24.1	9.7	9.0	4.7
팔꿈치	45.1	18.6	19.7	8.6
손목	56.3	24.7	29.5	13.3
검지 손가락	128.5	58.1	65.9	28.0

ANOVA 결과, 상지 관절과 힘, 교호작용이 MAF 결과에 통계적으로 유의하였다. 상지 관절에 대한 SNK 분석 결과는 어깨 관절이 분당 16.6회로 유의하게 낮았고, 검지 손가락 관절이 분당 97.2회로 유의하게 높았으나, 팔꿈치 관절과 손목 관절은 각각 분당 32.4회와 42.9회로 통계적으로 유의한 차이는 없었다(그림 2 참조).

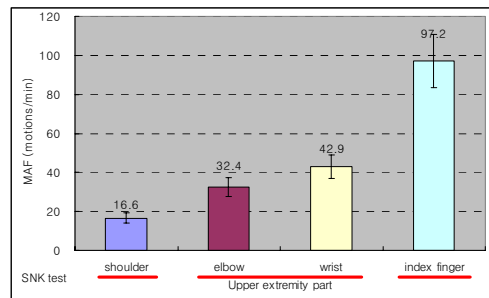


그림 2. 상지 관절별 MAF

3.2 심박수 변화량(Work pulse)

심박수 변화량에 대한 ANOVA 결과에서도 상지 관절과 힘의 주효과, 그리고 교호작용이 통계적으로 유의하였다. 상지 관절에 대한 SNK 분석 결과, 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 손가락 관절에 대해 각각 14.7, 10.4, 7.2, 4.9 bpm으로 각각 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다(그림 3 참조).

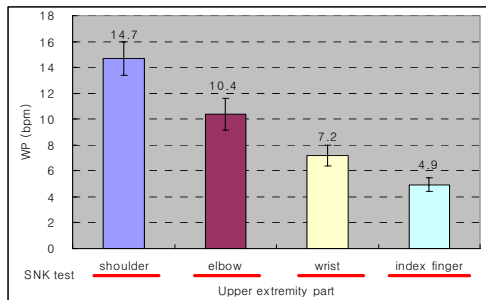


그림 3. 상지 관절별 심박수 변화량

3.3 근전도 평균파워 주파수(EMG MPF)

EMG MPF에 대한 ANOVA 결과에서는 상지 관절의 주효과와 교호작용만이 통계적으로 유의하였다. 상지 관절에 대한 SNK 분석 결과로, 어깨 관절이 13.42 Hz로 다른 관절에 비해 통계적으로 유의하게 높았으나, 팔꿈치, 손목, 그리고 손가락 관절에 대해서는 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다(그림 4 참조).

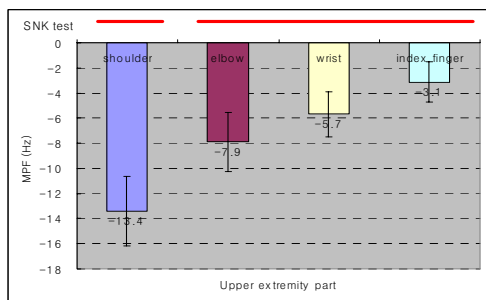


그림 4. 상지 관절별 EMG MPF 변화량

3.4 주관적 불편도 (RPE)

RPE는 어깨, 상완, 팔꿈치, 전완, 손목, 손바닥, 손가락의 7개 상지 부위에 대해 측정되었다. RPE 결과는 어깨, 팔꿈치, 손목, 검지 손가락 관절 동작에 대해 각각 어깨, 전완, 손목, 손가락 부위가 다른 부위들에 비해 상대적으로 큰 것으로 분석되었다.

ANOVA 결과, 모든 상지 부위에서 상지 관절에 대해 유의하였으나, 힘의 수준에 대해서는 상완과 팔꿈치 부위를 제외한 나머지

상지 부위에서만 유의하였다. 그러나, 교호작용에 대해 유의한 영향을 보인 상지 부위는 없었다. 표 2는 상지 관절에 대한 상지 부위별 RPE의 SNK 결과를 보여준다. 어깨 및 팔꿈치 부위 RPE는 어깨 관절 동작에서, 상완 및 전완 부위 RPE는 어깨 및 팔꿈치 관절 동작에서 유의하게 큰 것으로 분석되었으며, 손목 부위 RPE는 손목 관절 동작에서, 손바닥 부위 RPE는 손목, 어깨 및 팔꿈치 관절 동작에서 유의하게 큰 것으로 분석되었다. 마지막으로 손가락 부위 RPE는 검지 손가락 관절 동작에서 유의하게 큰 것으로 분석되었다.

표 2. 상지 관절의 RPE SNK 결과*

부위	high	←	→	low
어깨	(S)	(E)	(IF)	(W)
상완	(S)	(E)	(W)	(IF)
팔꿈치	(S)	(E)	(W)	(IF)
전완	(E)	(S)	(W)	(IF)
손목	(W)	(E)	(S)	(IF)
손바닥	(W)	(S)	(E)	(IF)
손가락	(IF)	(S)	(W)	(E)

*: S(어깨), E(팔꿈치), W(손목), IF(검지 손가락)

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 상지 관절별 최대 수용 반복 빈도수(MAF)를 파악하였다. 비록 상지 작업의 MAF는 상지 관절별 동작 범위와 힘의 수준에 따라 달라질 수 있지만, 본 연구에서 사용된 동작 범위와 힘의 수준은 상지 관절별 수용 가능한 수준으로 조절되었다. 따라서, 본 연구의 결과는 부자연스러운 자세와 과도한 힘의 다른 요인에 대해 거의 영향을 받지 않았다.

상지 관절별 MAF는 어깨 관절의 경우 분당 평균 16.6회, 팔꿈치 관절의 경우 32.4회, 손목 관절의 경우 42.9회, 그리고 검지 손가락 관절의 경우 97.2회로 분석되었다. 비록 팔꿈치 관절과 손목 관절의 MAF가 유의수준 0.05에서 유의하지는 않았지만, 본 연구의 결과는 팔꿈치와 어깨 관절에 비해 손목 관절이, 손목 관절에 비해 손가락 관절이 더 높은 반복 빈도수를 허용할 수 있다는 Kilbom (1994)의 지적과 유사한 경향을 보였다. 또한, 상지 관절별 MAF는 높은 수준의 힘에 비해 낮은 수준의 힘에서 유의하게 컸으며, 이는 힘이 증가할수록 MAF가 감소한다는 기존의 상지작업에 대한 연구결과들(e.g., Kim and Fernandez, 1993; Klein and Fernandez, 1997)과 일치하였다.

상지 관절별 MAF 작업동안 심박수 변화량은 어깨 관절의 경우 14.7 bpm, 팔꿈치 관절의 경우

10.4 bpm, 손목 관절의 경우 7.2 bpm, 그리고 검지 손가락 관절의 경우 4.9 bpm으로 분석되었다. 심박수 변화량은 움직이는 부위가 클수록, 그리고 심장에 가까울수록 유의하게 커지는 것으로 분석되었다. 또한, 기존 연구결과들(Kim and Fernandez, 1993; Klein and Fernandez, 1997)에서 보고된 바와 같이 힘의 수준에서도 유의한 결과를 보였다.

EMG MPF 변화량 분석 결과에서는 어깨 관절이 13.42 Hz의 변화량을 보여 다른 관절들에 비해 통계적으로 유의하게 컸으나, 팔꿈치, 손목 및 검지 손가락 관절들은 7.89, 5.67, 3.13 Hz로 유의한 차이는 없었다. Baidya and Stevenson (1988)은 근육 피로도의 지표로 많이 사용되고 있는 EMG MPF의 감소량이 피로로 인한 근육의 통증 정도와 일치한다고 서술하였다.

본 연구에서의 RPE는 각 관절 동작에 사용되지 않은 부위(예: 팔꿈치, 손목, 손가락 동작에서의 어깨 부위)를 제외하고 수준 1 (very weak)에서 수준 3 (moderate)의 범위인 것으로 분석되었다. 현재 수용할 수 있는 작업부하에 대한 RPE의 기준은 없으나, Klein and Fernandez (1997)는 수준 3 (moderate)을 Putz-Anderson and Galinsky (1993)은 수준 4 (somewhat strong)를 사용하였다.

본 연구의 결과는 상지 관절별 상지 작업에 대한 반복성의 허용기준을 수립하는 데 유용한 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 본 연구에서 측정된 심박수와 EMG MPF의 변화량 및 RPE 결과들도 상지 관절별 상지 작업의 부하에 대한 생리적/심리적 허용기준을 수립하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

마지막으로, 본 연구는 남성을 대상으로 한 MAF 연구로서 여성을 대상으로 한 추가 연구도 필요하다. 최근 산업 현장에서는 여성이 남성에 비해 단순 반복적인 작업에 많이 노출되어 있으나, Coury et al. (2002)은 남성에 비해 여성이 동일한 반복적인 작업에서 더 많은 증상을 보였다고 보고하였다. 이는 추후 여성을 대상으로 한 MAF 연구도 필요하다는 것을 보여준다.

참고 문헌

- [1] Baidya, K.N., and Stevenson, M.G. (1988). Local muscle fatigue in repetitive work. *Ergonomics*, 31(2), 227-239.
- [2] Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Champaign: Human Kinetics.
- [3] Colombini, D. (1998). An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9), 1261-1289.
- [4] Coury, H.J.C.G., Porcatti, I.A., Alem, M.E.R., and Oishi, J. (2002). Influence of gender on work-related musculoskeletal disorders in repetitive tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 33-39.
- [5] Kilbom, A. (1994). Repetitive work of the upper extremities: Part II The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14, 59-86.
- [6] Kim, C.H., and Fernandez, J.E. (1993). Psychophysical frequency for a drilling task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12, 209-218.
- [7] Klein, M.C., and Fernandez, J.E. (1997). The effects of posture, duration, and force on pinching frequency. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 267-275.
- [8] Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA). (2004). *Statistics of Industrial Accidents and Occupational diseases*. Retrieved September 22, 2004, from <http://www.kosha.or.kr/>.
- [9] Kuorinka, I., and Forcier, L. (1995). *Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): A Reference Book for Prevention*. London: Taylor & Francis.
- [10] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1997). *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).
- [11] Putz-Anderson, V. (1988). *Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Diseases of the Upper Limbs*. New York: Taylor & Francis.
- [12] 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 Engineering*, 11, 19-28.
- [13] Silverstein, B.A., Fine, L.J., and Armstrong, T.J. (1987). Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *American Journal of Industrial Medicine*, 11, 343-358.