

## 작업부하에 따른 생리적 반응들에 관한 연구

김재현\* · 김홍기\*\*

\* 경기대학교 대학원 산업공학과 · \*\* 경기대학교 첨단산업공학부 산업공학전공

## A Study of Physical Responses for Work Loads

Jae Hyun Kim\* · Hong-Ki Kim\*\*

\* Graduate School of Kyonggi University Dept. of Industrial Engineering

\*\*Kyonggi University Dept. of Industrial Engineering

The objective of this study was to analyze and make comparison between the physical responses such as oxygen consumption rate, heart rate, and EMG-measurement for lifting tasks. Lifting activities with three different working frequencies(5, 8, 11 lifts/min) and two different weights(10, 20kg) for a lifting range(from floor to 76cm height) were studied. It was found that there are positive correlations between the oxygen consumption rate and the EMG-measurements on the region of low back. Even though these physical responses were influenced by work weights and work frequency, it was found that the work frequency plays more important role in making muscle fatigue than the work weight. From these findings it is suggested that the work frequency should be considered as a more influencing factor than the work weight as long as the weight belongs to the permissible range based on the viewpoint of the biomechanical criterion for designing a job of manual materials handling tasks.

**Keywords** : oxygen consumption rate, heart rate, EMG-measurement, work weights work frequency

### 1. 서론

우리 나라의 산업기술과 시설은 매우 급속도로 발전해 왔고, 그로 인하여 근로자에 대한 재해 발생 빈도는 점차적으로 증가추세에 있으며, 이는 선진국가에 비해 상당히 높은 편이다. 또한 산업화가 심화되어짐에 따라 특히 근로자들의 근골격질환이 급격히 증가되고 있는 추세이다. 근골격 질환이라는 것은 작업방법과 작업자세에 따라서 과부하가 근골격계에 발생하는 것으로 요통(Low Back Pain: LBP)과 누적 외상병(Cumulative Trauma Disorders: CTDs)등이 이에 해당되며 이는 작업자의 안전과 함께 사회적인 문제가 되고 있다. 특히, 요통은 의

학적, 사회적 비용이 많이 소모되는 주된 건강문제로 볼 수 있다. 미국에서는 요통장애로 인하여 전체 연간 손실액수만도 1990년에는 100~500억 달러로 조사되었으며 계속 증가될 것으로 전망되었다[1][5]. 또 총 노동인구 중에서 약 2%는 매년 요통 장애로 보상을 받고 있는데, 그 전체 수는 40만 명을 넘어서고 있다. 유럽국가의 전국적인 통계에서도 질병으로 인한 결근의 10~15%는 요통으로 인한 것이며, 이에 따른 근로자당 작업손실일수는 급증하고 있는 추세로 보고되고 있다. 사람이 일생을 살아가면서 일년 동안 요통을 경험할 확률은 25~45%를 차지하고 만성 요통으로 고생하고 있는 사람은 현재 성인집단 중 3~7%를 차지하는 것으로 알려지고 있다. 특

히, 45세 이하의 사람에게서는 요통이 가장 빈번한 활동 제한의 원인으로 작용하며, 일생 동안 요통에 걸릴 확률은 70%가 넘는다고 한다[1][4]. 인간공학에서 인력물자 취급시 적용되고 있는 연구방법으로는 생리학적인 방법, 인체 심리학적인 방법, 생체 역학적인 방법 등이 있다. 이러한 연구방법을 통하여 작업자들에 대한 안전한 작업기준이 제시되고 있지만, 신체부위별 각각의 특성으로 작업조건과 상태에 따라 각각의 연구방법에서 제시하고 있는 안전한 작업기준은 다르다. 생체 역학적 기준에서는 작업하중을 조절함으로써 근골격계의 물리적인 스트레스를 줄여나가는 방향으로 작업설계를 하는 반면, 생리학적인 기준에서는 근육의 피로도나 에너지 대사를 감소시키는 방향으로 들기작업의 빈도수를 조절하여 효율적인 작업설계를 한다. 인체심리학적 기준에서는 작업자가 현장에서 작업시 작업조건과 작업상태에 따라 실제 작업을 행하는 작업자가 느끼는 각 개인의 작업능력을 고려한다. 기존의 생체 역학적 접근방법에서는 들기 작업시의 요추에 미치는 압축력을 작업하중에는 영향을 받지만 작업 빈도수에는 별로 영향이 없다고 알려져 왔다[2]. 생리학적인 그리고 인체 심리학적 접근방법에서는 작업 빈도수의 영향이 매우 크게 나타나 있다. 따라서 본 연구에서는 허리의 굽힘/펴 동작이 동적으로 실행될 때, 작업하중(10kg, 20kg)과 빈도수(5회, 8회, 11회)에 따른 들기작업시 작업자의 산소소모량(ml/min)과 심장박동수(beats/min), EMG-측정값의 상관관계를 검증하는데 그 목적을 두고 있다.

## 2. 연구방법

### 2.1 피실험자

허리 병력이 없는 신체 건강한 남자대학생 5명이 이번 실험에 참여하였다. 나이는 평균 25.8세(20~29세), 키는 171.4cm(161~179cm), 몸무게는 66.2kg(52~85kg)였다.

### 2.2 실험장치

EMG-측정값은 근전도 시스템(NORAXON 2000)을 사용하여 추정하였고, 산소소모량을 추정하기 위해서는 에너지대사 측정기(MMC 2900)가 사용되었다. 심장박동수를 추정하기 위해서 심장 박동수 측정기(Polar Vantage XL Heart Rate Monitor)가 사용되었다. 본 실험에 사용된 작업상자는 규격이 가로45.72cm×세로30.48cm×높이30.48cm의 상자로 작업대는 가로150cm×세로80cm×높이76cm에서 실험을 하였다.

### 2.3 실험계획

실험상의 변수로 독립변수는 빈도수 5회, 8회, 11회와 작업하중 10kg, 20kg이며 종속변수로는 EMG-측정값, 산소소모량, 심장박동수 등을 고려했으며 그밖에 제어변수는 들기범위(0~76cm), 들기방법, 들기상자의 크기(가로45.72cm×세로30.48cm×높이30.48cm)로 실험을 하였다.

### 2.4 실험절차

피실험자는 5명의 신체 건강한 남자 대학생이 참여하였다. 들기자세는 자유형으로 들기작업에 익숙하도록 2주일간의 예비훈련을 실시하여 에너지대사 측정기와 근전도 시스템을 이용하여 작업할 때 어색하거나 불편함을 최소화하기 위해 사전에 훈련시켰다.

근전도 시스템의 잡음을 줄이기 위해 알콜과 소독약을 선정된 근육 부위에 문질러 잡음이 생기지 않도록 주의하였고, 선정된 근육부위에 사용된 EMG채널은 모두 4채널 요추부L1/L5(요추1번/요추5번)부위, 좌·우측으로 각각의 부위에 손으로 볼륨을 느낄 수 있도록 근육섬유방향과 평행하게 2~3cm 떨어지게 electrode를 붙였다. 작업하중은 10kg과 20kg, 빈도수는 분당 5회, 8회, 11회의 들기작업 실험을 하였다. 들기작업의 피실험자는 반바지와 운동화를 착용하여 들기작업을 실시하였고, 평평한 바닥, 장애물이 없고 마찰력이 좋은 바닥의 작업조건에서 들기의 범위는 바닥에서 76cm까지로 한정하였다.

실험자는 각각의 EMG signal과 심장박동수, 그리고 산소소모량의 측정상태를 확인하였고, 실험시간은 준비시간 20분 정도 소요됐는데 이 준비기간 동안에는 electrode를 선정된 근육에 붙이고 피실험자의 심장박동수의 범위가 60~70(beats/min)이하로 안정상태를 유지하기 위하여 피실험자에게 휴식을 취하게 하였다.

실제 본 실험의 측정시간은 1시간으로 준비기 4분, 본 실험 54분, 회복기 2분으로 실시하였다. 본 실험의 측정시 에너지대사 측정기의 산소소모량과 Polar - Heart Rate - Monitor의 심장박동수, EMG Sytem의 signal등을 확인하였다.

### 2.5 자료분석방법

작업하중과 빈도수에 따른 EMG-측정값과 작업자의 산소소모량, 심장 박동수의 변화를 비교 분석하였다. EMG의 신호는 여러 가지형태로 추출, 분석할 수 있으나 본 연구에서의 EMG-측정값은 현재 근육의 피로도에 빈번하게 사용되고 있는 Spectral Parameter EMG의 MF(Median Frequency)로 추정했다. 자료분석에는 SAS Program과 Excel을 이용한 통계분석을 하였다. SAS분

<표1> 들기작업 작업부하에 따른 생리적 반응들의 측정치

작업부하	생리적 반응		5회	8회	11회
10kg	HR(beats/min)		119.8	133.20	147.62
	VO <sub>2</sub> (ml/min)		1019.10	1374.22	1532.38
	EMG 측정값 (Hz)	LL1	52.05	92.62	112.73
		LL5	41.74	87.63	109.32
		RL1	69.25	102.10	115.72
RL5		66.42	91.32	118.51	
20kg	HR(beats/min)		132.74	141.40	155.58
	VO <sub>2</sub> (ml/min)		1251.36	1629.96	1921.36
	EMG 측정값 (Hz)	LL1	80.38	112.73	121.83
		LL5	81.05	91.25	112.90
		RL1	79.03	105.09	118.83
RL5		89.49	110.76	140.42	

LL1(좌측L1), LL5(좌측L5), RL1(우측L1), RL5(우측L5)

석은 Proc GLM을 통한 분산분석을 하였고, Proc CORR를 통해 상관분석을 유의수준(p<0.01)에서 판단하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1. 작업부하의 생리적 반응들에 대한 영향분석

허리의 굽힘/펴 동작이 동적으로 실행될 때, 작업하중과 빈도수에 따른 들기 작업시 작업자의 산소소모량과 심장박동수, EMG-측정값은 빈도수에 따라 증가하고 또한 작업하중에 따라서도 증가한다. <표1>을 보면 작업하중에 따라서 증가하는 범위는 빈도수에 따라 다르나 빈도수 5회에서 가장 큰 영향이 있었다. 이때의 심장박동수는 5.5~10.8%, 산소 소모량은 18.6~25.4%, EMG 측정값은 요추부(L1)부위는 14.1~54.4%, 요추부(L5)부위는 34.7~94.1%정도 증가하는 것을 알 수 있다. 작업하중이 일정하고 빈도수에 따라서 증가하는 범위는 심장 박동수는 6.5~23.2%, 산소 소모량은 30.25~

53.54%, EMG-측정값은 요추부(L1)부위는 32.9~116.5%, 요추부(L5)부위는 12.6~161.9%정도 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 증가하는 범위로 볼 때 작업하중보다 빈도수에 따라서 더 큰 영향을 받는다고 판단된다. EMG신호는 그 자체 변위도가 매우 크지만 본 실험 결과로도 작업하중보다 빈도수에 따라 차이가 많은 것을 알 수 있다. 작업부하에 따라 EMG-측정값이 다르게 나타나는데 이것은 근육의 골격근 섬유가 유전자 활동에 의해 결정된다는 생리학적인 원리에 의해 개인에 따라 근육 섬유의 구성이 다르고, 여기서 나오는 MF(Median Frequency)도 다르기 때문이다[3][6].

<표2>는 들기작업시 작업부하에 따른 요추부 근육(L1/L5)부위의 EMG-측정값의 분산분석으로 통계적으로 볼 때 작업하중과 빈도수에 영향을 받는 것으로 판단되며, 요추부 근육(L1/L5)부위도 영향을 받는다고 판단할 수 있다.(p<0.01, p<0.05)

#### 3.2 작업부하에 따른 생리적 반응들의 상관관계 분석

<표3>을 보면 심장 박동수와 EMG-측정값의 상관관

<표2> 들기작업 작업부하에 따른 요추부 근육(L1/L5)의 EMG측정값의 분산분석표

요 인	SS	DF	F	Pr>F
W	7471.04	1	17.80	0.0001**
M	3661.79	3	2.91	0.0385 *
F	47151.15	2	56.18	0.0001**
W×M	692.77	3	0.55	0.6492
M×F	989.52	6	0.39	0.8819
W×F	1531.85	2	1.83	0.1668
W×M×F	1621.44	6	0.64	0.6948

\*\*significant at p<0.01, \*significant at p<0.05

W=작업하중, M=요추부 근육(L1/L5)부위, F=빈도수

<표3> 작업부하에 따른 생리적 반응들의 상관관계 분석

	LL1	LL5	RL1	RL5	HR	$\dot{V}O_2$
LL1	1 (0.0)	—	—	—	—	—
LL5	0.69790 (0.0001)	1 (0.0)	—	—	—	—
RL1	0.55303 (0.0015)	0.62543 (0.0002)	1 (0.0)	—	—	—
RL5	0.65448 (0.0001)	0.69533 (0.0001)	0.71377 (0.0001)	1 (0.0)	—	—
HR	0.57920 (0.0008)	0.65203 (0.0001)	0.43813 (0.0155)	0.61210 (0.0003)	1 (0.0)	—
$\dot{V}O_2$	0.40948 (0.0246)	0.58883 (0.0006)	0.67177 (0.0001)	0.61066 (0.0003)	0.74493 (0.0001)	1 (0.0)

LL1(좌측L1), LL5(좌측L5), RL1(우측L1), RL5(우측L5)

계는 43.81%~65.20%로 나타났으며 이중 LL5부위가 가장 높은 상관관계(65.20%)가 있는 것으로 나타났다. 산소소모량과 EMG-측정값의 상관관계는 40.94%~67.17% 정도로 나타났으며 이중 RL1부위가 가장 높은 상관관계(67.17%)가 있는 것으로 나타났다. 요추부 근육(L1/L5) 부위의 상관관계는 55.3%~71.37% 정도로 나타났으며 이중 RL1부위와 RL5부위가 71.37%로 가장 높게 나타났다. 또한 심장 박동수와 산소 소모량의 상관관계는 74.49%로 나타났다. 작업부하에 따른 생리적 반응들의 상관관계는 40.94%~74.49%임을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구의 실험결과로서 산소소모량과 EMG-측정값의 상관관계는 약 40.94%~67.17%로 나타났으며, 심장 박동수와 EMG-측정값의 상관관계는 약 43.81%~65.20%로 나타났다. 심장 박동수와 산소 소모량의 상관관계는 작업형태에 따라 다르지만 높은 상관관계가 있다는 사실은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러나 본 연구에서의 74.49%인 것에 비하면 요추 부위의 EMG-측정값과 심장 박동수, 산소 소모량과의 상관관계가 40.94%~67.17%으로 나타난 것은 들기작업에서의 EMG-측정값 역시 신뢰할 만한 생리적 지표로 사용 될 수 있다고 볼 수 있다.

분산분석 결과로는 들기작업 시 작업자의 요추부 근육(L1/L5)부위의 EMG-측정값은 작업하중과 빈도수에 따라 현저한 차이가 있는 것으로 나타났다.( $p < 0.01$ ) 기존의 생체역학적 접근방법에서는 들기작업시 요추에 미치

는 압축력이 작업하중의 영향은 받지만 작업빈도수에 의한 영향은 거의 없다고 알려져 왔다[2]. 그러나 본 연구결과로는 들기작업시 요추에 미치는 생리적 반응들인 산소소모량과 심장박동수, EMG-측정값이 작업하중보다도 작업 빈도수에 더 큰 영향을 받는다고 판단된다. 실제로 현장에서 근무하는 작업자의 경우에 요통으로 인한 재해로 고통을 당하는 작업자들이 많은데 적절한 무게의 작업부하의 설정과 이에 따른 노동시간의 조정 등이 문제로 대두되고 있다. 그러므로 인력운반 작업이 요구되는 실제 현장에서 생체역학적 관점에서 본 안전하중 범위내의 적절한 작업하중과 작업 빈도수의 조합에 의한 작업량을 설정한다면, 요통으로 인한 산업재해를 감소시키는데 도움이 될 것이라고 판단된다. 추후 연구 과제로는 같은 작업량에 따른 작업하중과 작업빈도수의 영향을 비교하는 것과 아울러 국부 근육으로 한정하지 않고 다수의 근육을 고려한 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] 김청송, 통증심리학, 중앙적성출판사, pp.100-107, 1991
- [2] 정성학, 김흥기 “인력물자 취급의 생리적 작업능력에 관한 연구”, 대한인간공학회 1997년도 추계학술논문집, pp.286-294.
- [3] 현수돈, 김정룡 “High Heel이 허리 근육 피로에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한인간공학회, Vol 16, No3, pp.37-48, 1997.
- [4] Cavanaugh, J. M., & J. N. “Low Back Pain;

Epidemiology, anatomy and neurophysiology, In P. D. Wall & R. Melzack(Eds.)“, Textbook of Pain 3rd ed, Edinburgh; Churchill Livingston, pp.441-455, 1994.

- [5] Frymoyer., Durett CL: The economics of spinal disorder, The Adult Spine : Principles and Practice, Frymoyer JW, ed. Philadelphia, Lippincott-Raven, 1997, pp 143-150.
- [6] Noble B. J. Physiology of exercise and sport, Mosby-year book, 1984.