Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 2 pp.197-204, May 2006

들기/내리기 빈도와 회복시간 변화에 따른 몸통 근육의 피로도 분석

이태용[1] · 김정룡[1] · 신현주[1]

[1]한양대학교 정보경영공학과

Analysis of Trunk Muscle Fatigue as the Frequency of Lifting/Lowering and Recovery Time Change

Tae Yong Lee[1], Jung Yong Kim[1], Hyun Joo Shin[1]

[1]Department of Information & Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the relationship between the cumulative fatigue of trunk muscles and the period of recovery time during repetitive lifting and lowering task with two different frequencies(4 times/min and 6 times/min). Eight healthy males with no prior history of LBD(low back disorders) volunteered for this study. Subjects had 2, 3, 4, and 5 minutes recovery time respectively while they were preforming the lifting and lowering task at 15% level of MVC. EMG signals from six trunk muscles were collected and the fatigue level was analyzed quantitatively. In results, the fatigue levels of LES(left elector spinae), RLD(right lattissimus dorsi), LLD(left lattissimus dorsi), RRA(right rectus abdominis) and LRA(left rectus abdominis) were recovered when 3 minutes recovery time was given at 4 times/min frequency. However, the fatgue level of RES(right elector spinae) was recovered when 4 minutes recovery was given. On the other hand, when 6 times/min frequency was used, the RLD, LLD, RRA and LRA were recovered at 5 minutes of recovery time. But for RES and LES, it took longer than 5 minutes to be recovered. This results can be applied to design the adequate length of recovery time to control the cumulative fatigue of trunk muscles in industry with repetitive lifting and lowering task.

Keyword: Lifting/Lowering, Recovery time, Trunk muscles, Fatigue

1. 서 론

산업현장에서 근골격계 질환을 예방하기 위하여 운반용 기계설비가 증가함에도 불구하고, 아직도 많은 작업공정에서 수작업으로 인한 중량물 취급이 반복적으로 행하여지고 있다. 또한 과도한 중량물의 취급이나, 반복적으로 발생하는 몸통의 굽힘(flexion)과 폄(extension) 동작은 요통(low back pain)과 같은 근골격계 질환을 일으키는 주요 원인이 되고 있다(Chaffin and Anderson, 1991). 허리를 이용하여 중량물을 취급하는 들기(lifting), 내리기(lowering) 작업으로 인해 발생하는 요통 및 기타 상해들은 작업자의 건강 및 안전에 관한 중요한 사항으로 다루어지고 있으며, 이러한 인력물자취급(manual materials handling: MMH)으로 인한 상해는 작업관련 재해 중 큰 비율을 차지하고 있다(Anderson, 1981; Sparto et al., 1991; Marras et al., 1993). 또한 중량물 취급으로 인한 요통 등의 근골격계 질환은 매년 증가하는 추세이고, 이로 인한 경제적 손실도 매년 늘어나고 있

교신저자: 김정룡
주 소: 426-791 경기도 안산시 상록구 사1동 1271, 전화: 031-400-4276, E-mail: jykim@eml.hanyang.ac.kr

는 실정이다.

우리나라의 경우, 노동부의 2004년도 산업재해 현황에 따르면 작업관련 질병(6,691건) 중 신체부담 작업(2,953건)과 요통(1,159건) 등 근골격계 질환이 차지하는 비율은 61.4%(4,112건)로서, 2003년 근골격계 질환 비율 62.7%(4,532건)보다 감소 추세에 있으나 여전히 작업관련 질병 중 대부분을 차지하고 있는 실정이다(노동부, 2005). 미국의 경우 2003년 산업재해 중 근골격계 질환이 차지하는 비율은 33% 정도이고, 이 가운데 신체 부위별 질환 중 몸통(trunk)과 관련된 질환은 70.1%로 가장 많은 부분을 차지하고 있다(Bureau of Labor Statistics, U. S. Department of Labor, 2005).

중량물 취급 작업으로 인한 몸통 부위 근육에 대한 연구들은 여러 가지 방법으로 연구가 되고 있으나, 대부분 생체역학적인 척추의 부하나, 일시적인 작업의 부하, 정적인 근력 발휘 상태의 근육 피로에 관한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 몸통 근육에 대한 생체역학적인 연구로는 주로 몸통 동작과 관련된 굽힘각도, 비틀림 속도 등으로 인한 디스크의 압축력(compressive force)과 전단응력(shear force)의 증가로 인해 몸통 주위 근육의 부하량이 늘어나고, 또한 복부내의 압력, 근육의 활동도나 몸통의 모멘트(moment)가 증가하여 요통과 같은 상해의 위험을 증가시키는 것으로 알려졌다(Waters and Grag, 1994; Marras et al., 1993, 1995; Granata et al., 1999; Davis and Marras, 2000).

정적인 근력 발휘 상태에 대한 몸통 근육의 피로에 대한 연구는 대부분 등척성 수축(isometric contraction)에 관한 연구가 주로 이루어져 왔다. Dolan et al.(1995)는 EMG(electromyography)를 이용하여 sub-maximal 상태에서 작업을 실시한 후 근육의 피로 분석 시 사용되는 MF(mean frequency)의 주파수 천이(frequency shift)를 이용하여 근육의 피로를 분석 하였다. 분석 결과 sub-maximal 상태에서 작업 부하가 커질수록 EMG 신호의 MF나 MPF(median power frequency)가 높은 주파수에서 낮은 주파수로 천이가 크게 나타나는 것을 보여 주어 근육의 피로가 더 커짐을 알 수 있었다. 또한, 박태현과 김정룡(2001)의 연구에서는 등척성 신전(isometric extension) 작업을 통하여 반복적인 부하에 의한 척추 세움근의 피로 누적 효과와, 휴식시간의 영향에 대하여 연구 하였다. 그 결과, 50% MVC(maximum voluntary contraction) 수준의 작업에서는 휴식시간이 3분 이상, 75% MVC에서는 5분 이상의 휴식시간이 주어질 경우, 근육의 누적 피로를 줄일 수 있다는 것을 나타냈다.

Chung과 Kim(1996)은 동적인 들기 작업에서 작업조건의 변화가 근육의 활동도와 피로도에 미치는 영향을 평가하였다. 작업의 반복과, 자세에 따른 근육의 피로도를 분석하기 위해서 MPF를 비교한 결과, 비대칭 작업이 대칭 작업에 비해 저주파수대로의 천이현상이 두드러지게 나타났으며, 작업 중량을 줄이고 작업 빈도를 높여서 작업할 경우 또한 MPF가 저주파수대로 천이 되는 것을 보여주어 근육의 피로가 증가함을 알 수 있었다.

신현주 외(2005)는 동적인 들기 작업 시, 주요 활동 근육인 몸통 부위의 근육들에 대하여 작업 자세(대칭 자세, 비대칭 자세)의 변화에 따른 몸통 근육의 피로와 휴식시간과의 관계를 EMG를 통하여 정량적으로 산정하였다. 그 결과, 대칭 자세에서는 25% MVC에서 RES(right elector spinae)는 5분 이상의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 회복되는 것으로 나타났으며, LES(left elector spinae)는 5분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 회복되는 것으로 나타났다. 또한 RRA(right rectus abdominis)는 4분, LRA(left rectus abdominis)는 5분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 초기 상태로 회복되는 것으로 나타났다.

이러한 연구는 현장에서 근육 피로의 축적을 예방하기 위한 회복시간 설계에 응용될 수 있는 자료를 제공하고 있다. 그러나, 실제로 이러한 자료를 현장에 적용하기 위해서는 다양한 반복 횟수와, 다양한 무게에 대한 근육의 반응을 조사하는 것이 필요하다고 밝히고 있다(신현주 외, 2005).

따라서, 본 연구에서는 기존 연구의 동적 들기, 내리기 작업을 토대로 상대적으로 가벼운 중량과 높은 빈도로 작업하는 경우, 어느 정도의 회복시간이 근육 피로 축적을 예방해 줄 수 있는지 알아보았다. 즉, 15% MVC를 사용하여 들기/내리기 작업 시 작업 빈도와 회복시간에 따른 몸통 근육의 피로와 회복시간의 상관관계를 EMG를 통하여 정량적으로 연구하였다. 본 연구에서 사용한 중량과 빈도는 실제 경 중량물을 다루는 현장상황을 현실감 있게 반영하기 위해 고안되었다.

2. 연구 방법

2.1 실험참가자

본 연구에서는 허리나 다리와 관련된 근골격계 질환의 병력이 없고, 현재 건강 상태가 양호한 남자 대학원생 8명이 자발적으로 실험에 참여하였다. 8명 모두 오른손잡이로 나이는 26.6±0.7세, 키는 172.8±4.32cm이며, 몸무게는 69.6±6.8kg으로 나타났다.

2.2 근육선정

반복적인 중량물의 들기, 내리기 작업 시 굽힘(flexion)과 폄(extension) 동작이 발생하므로 이러한 동작 시 동원되는

근육은 왼쪽과 오른쪽 척추세움근(left/right elector spinae: LES, RES), 왼쪽과 오른쪽 넓은등근(left/right latissimus dorsi: LLD, RLD), 왼쪽과 오른쪽 배곧은근(left/right rectus abdominis: LRA, RRA)으로 총 6개의 근육을 실험 대상으로 하였다(U. S. Department of health and Human Service, 1992; Marras et al., 2003).

2.3 실험장비

본 실험을 수행하기 위하여 필요한 장비는 중량물을 들고, 내리기 위한 너비 30cm, 깊이 30cm, 높이 25cm 인 나무 상자를 이용하였고, 몸통 근육의 MVC를 측정하기 위하여 Lafayette Instrument 사의 Strength Evaluation System (SES)을 사용 하였다. 일정한 수준의 % MVC를 유지하기 위하여 500kgf 용량의 Bongshin Loadcell 500DBBP를 SES에 연결하여 근육의 힘을 육안으로 확인할 수 있도록 loadcell과 digital indicator BS-300A를 연결하였다. 그리고 선정된 근육의 신호를 추출하기 위하여 3M 2223 Monitoring Electrode와 6 channels의 High Gain Bioamplifier, High Speed Videograph I/O Port가 설치된 Coulborn Instruments의 EMG(Electromyography) system을 PC와 연결하여 사용하였다. 저차단주파수(Low Cutoff Frequency)는 1Hz, 고차단주파수(High Cutoff Frequency)는 1000Hz로 조절하였고, 일반적인 근전도의 주파수 대역은 400Hz 이하 이므로 Sampling Theorem에 따라 각 chanel의 Sampling Rate는 1024Hz로 하였다(Marras, 1987: Proakis and Manolakis, 1996).

2.4 실험설계

반복적인 중량물의 대칭형(symmetry) 들기, 내리기 작업 시 작업의 빈도와 회복시간이 몸통 근육의 피로에 미치는 영향을 연구하기 위하여 2인자 2×4 Within-Subjects Design을 계획하였다. 독립변수로는 실제 작업 현장에서 빈번하게 관찰되는 평균적인 작업 빈도(4회/분, 6회/분)와, 작업 간 회복시간(2분, 3분, 4분, 5분)으로 선정하였다. 실험참가자는 두 가지 조건이 조합된 총 8가지의 대칭형 작업 상태에서 중량물의 들기, 내리기 실험을 반복하여 실시하였다. 종속변수는 작업 빈도와 작업 간 회복시간의 변화에 따른 근육의 피로도를 분석하기 위하여 EMG 신호의 MPF를 사용하였다. 본 실험에서 고려하려 했던 8회/분의 작업은 예비실험(pre-test) 결과 작업 부하가 너무 커 정상 작업이 불가능하여 실험의 변수에서 제외 하였다. 실험설계는 표 1에 정리 하였다.

표 1. 실험설계(4×2 Within-Subjects Design)

		회복시간			
		2분	3분	4분	5분
작업 빈도	4회/분	S1 | S8	S1 | S8	S1 | S8	S1 | S8
	6회/분	S1 | S8	S1 | S8	S1 | S8	S1 | S8

2.5 실험절차

시상면(sagittal plane)을 중심으로 한 대칭형 작업 자세로 실험참가자의 MVC를 측정하여, 15%의 sub-maximal 작업무게로 실험을 실시하였다. 그리고 작업 시 몸통의 굽힘(flexion)과, 폄(extension) 동작을 반복적으로 실시하는 들기, 내리기 작업(작업 빈도 4회/분, 6회/분)과 회복시간(2분, 3분, 4분, 5분)의 변화에 따른 EMG 신호를 수집하였다.

2.5.1 MVC 측정

실험을 시작하기 전에 실험참가자에게 실험의 목적과 주의 사항을 숙지시켰다. 실험에 선정된 각 근육 부위를 알코올로 닦아 낸 후, 6개 채널(channel)의 표면전극(surface electrode)을 부착 하였다. 표면전극 부착 위치로는 왼쪽과 오른쪽 척추세움근(LES, RES)은 L3(3rd lumbar vertebrae)의 중심선으로부터 4cm 떨어진 부분, 왼쪽과 오른쪽 넓은등근(LLD, RLD)은 T9(9th thoracic vertebrae)의 바깥 부분에, 왼쪽과 오른쪽 배곧은근(LRA, RRA)은 복부 중심선으로부터 3cm 떨어진 부분에 부착 하였다(Cram et al., 1998; Fathallah et al., 1988). MVC 측정마다 loadcell과 연결된 Digital Indicator의 최대치를 관찰하여 기록하였고, 이중 가장 근접한 두 개의 값을 평균하여 각 실험참가자의 MVC로 사용하였다. MVC 측정 후, 각각의 실험으로부터 수집된 측정값을 normalize 하기 위하여 75% MVC를 산정하고, MVC와 동일한 방법으로 측정하였다.

2.5.2 작업별 근육의 피로도 측정

4회/분과, 6회/분의 작업 빈도로 지면으로부터 75cm 높이의 테이블 위로 들고, 내리는 반복 작업을 실시하였다. 작업 자세는 시상면을 중심으로, 작업물이 정면에 위치한 대칭형 작업으로 실시하였고, 중량물의 무게는 예비실험 결과, 분당 6회의 작업 시 실험참가자에게 신체적 무리가 가지 않는 15% MVC 무게로 설정하였다. 실험은 3분간 들고, 내리기 작업 후, 주어진 회복시간에 따라 휴식하는 방법으로 3회 반복하여 실시하였으며, 실험참가자들의 학습효과를 줄이기 위

해 counterbalancing을 실시하였다. 실험참가자들의 회복시간은 2분, 3분, 4분, 5분으로 설정하여, 각 실험 사이에 피로를 회복할 수 있는 시간을 주었고, 이때 실험참가자로 하여금 EMG 신호가 나타나는 모니터를 주시하게 하여 6개 채널의 표면전극으로부터 힘의 사용을 최대한 줄여 피로를 제거할 수 있도록 유도하였다. 주어진 회복시간이 종료되면 실험참가자의 75% MVC를 각 근육별로 측정하였다. 측정 시 실험참가자가 75% MVC의 힘을 유지할 수 있는 상태가 되었을 때를 시작으로 7초간 EMG 신호를 수집 하였다. 또한 75% MVC 측정 후, 근육의 피로 누적을 방지하기 위하여 10분간의 휴식을 취하게 하였으며(Dolan et al., 1995), 4회/분과, 6회/분 작업 간에는 1주일간의 휴식시간을 주어 누적 피로에 의한 실험 오차를 최소화 하였다. 전반적인 실험의 절차는 그림 1에 나타내었고, 회복시간의 사용 순서와 예를 표 2와 그림 2에 나타내었다.

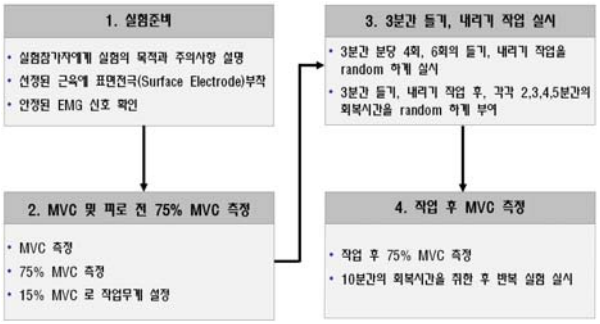

그림 1. 실험절차

표 2. 회복시간 사용 순서

Subjects	회복시간 사용 순서			
S1	5분	2분	3분	4분
S2	2분	3분	4분	5분
S3	4분	5분	2분	3분
S4	3분	4분	5분	2분
S5	5분	2분	3분	4분
S6	2분	3분	4분	5분
S7	4분	5분	2분	3분
S8	3분	4분	5분	2분

2.6 데이터 분석

EMG system에 수집된 데이터를 분석하기 위하여 Windaq 소프트웨어를 사용하였다. 들기, 내리기 작업의 근육 피로도를 분석하기 위하여 75% MVC로 7초 동안 수집된 데이터

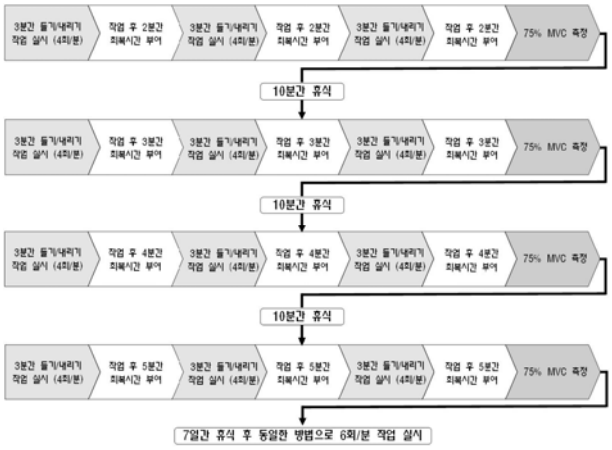

그림 2. Subject 2의 들기, 내리기 작업 순서의 예

중, 비교적 일정한 힘을 유지한 3초 동안을 사용하였고, normalized MPF 값을 분석하기 위해 1024-point FFT (Fast Fourier Transform)를 실시하였다. 작업 빈도와 회복시간에 따른 각 작업별 MPF 값을 분석하기 위하여 초기의 MPF 값으로 정규화(normalization) 하였고, normalized MPF 값들을 비교하기 위해 SAS 통계 패키지를 사용하여 작업 빈도와 회복시간에 따른 분산분석을 실시하였다. Normalized MPF 값을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{Normailzed MPF} = \frac{\text{매회 측정된 MPF 평균}}{\text{초기 실행 시 얻어진 MPF 평균}} \quad (1)$$

3. 연구 결과

3.1 분산분석 결과

작업 빈도와 회복시간의 변화에 따른 근육별 normalized MPF 값의 분산분석 결과는 표 3에 나타내었다. 분산분석 결과, 작업 빈도와 회복시간에서 근육에 따른 normalized MPF 값이 유의한 차이를 보였다. 따라서 작업 빈도와 회복시간의 차이에 의한 근육의 피로 회복 차이가 나타나는 것을 알 수 있었다. 각 요인별 분산분석 결과 유의한 차이를 나타낸 작업 빈도의 차이에 의한 사후 분석 결과, 4회/분의 작업과, 6회/분의 작업 간에 normalized MPF 값이 차이를 보였다. 이는 각각의 작업 빈도에 의한 근육의 피로가 차이를 보이는 것을 의미하며 6회/분의 작업이 더 낮은 normalized MPF 값을 나타내어 근육의 피로가 4회/분 작업보다 더 큰 것을 나타내었다(표 4). 또한 회복시간의 차이에 의한 normalized MPF 값에 대한 사후분석 결과는 회복시간의 차이

에 의해 유의한 차이를 보였다. 따라서, 회복시간에 의한 근육의 피로 회복의 차이가 나타나는 것을 알 수 있었고, 회복시간이 늘어날수록 근육의 피로 회복 효과가 큰 것을 알 수 있었다(표 5).

표 3. 각 근육의 MPF 값에 대한 요인별 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
작업빈도	1	0.3991	0.3991	13.36	0.0081**
회복시간	3	0.1012	0.0337	40.73	0.0001**
근육	5	0.0700	0.0140	1.50	0.2158
작업빈도×회복시간	3	0.0030	0.0010	1.34	0.2897
작업빈도×근육	5	0.0424	0.0084	0.91	0.4843
회복시간×근육	15	0.0043	0.0002	0.51	0.9300
작업빈도×회복시간×근육	15	0.0016	0.0001	0.20	0.9994

** α=0.01 수준에서 유의함

표 4. 작업 빈도 차이에 의한 사후분석 결과(Duncan Test)

Duncan Grouping	Mean	N	작업빈도
A	1.0327	192	4회/분
B	0.9682	192	6회/분

(다른 영문 문자를 갖는 작업빈도 간에 α=0.05 수준에서 유의한 차이가 있음을 의미함)

표 5. 회복시간 차이에 의한 사후분석 결과(Duncan Test)

Duncan Grouping	Mean	N	회복시간
A	0.9773	96	2분
B	0.9956	96	3분
C	1.0072	96	4분
D	1.0217	96	5분

(다른 영문 문자를 갖는 작업빈도 간에 α=0.05 수준에서 유의한 차이가 있음을 의미함)

작업 빈도와 회복시간에 따른 각 근육별 normalized MPF 값의 변화는 4회/분의 작업에서 RES을 제외한 나머지 5개의 근육(LES, RLD, LLD, RRA, LRA)에서 3분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 초기 상태로 회복되는 것을 알 수 있었다.

그리고, RES와 RLD가, LES와 LLD보다 더 낮은 normalized MPF 값을 나타내어 근육의 누적 피로의 영향이 몸통의 오른쪽 근육에서 더 큰 것을 보였으나, RRA과, LRA에서는 거의 비슷한 수준의 normalized MPF 값을 나타냈다(그림 3).

6회/분의 작업에서는 4회/분의 작업보다 모든 근육에서 더 낮은 normalized MPF 값을 보였고, 이는 작업 빈도의

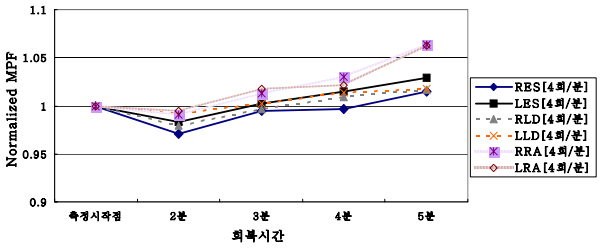

그림 3. 4회/분 작업의 Normalized MPF 변화

증가로 인한 근육의 피로 누적 효과가 더 커진 것을 보여주었다. RES와 LES, RRA와 LRA는 5분의 회복시간이 주어진 경우에도, 근육의 피로가 초기 상태로 회복되지 못하였으나, RLD와 LLD는 회복시간 5분에서 근육의 피로가 초기 상태로 회복되는 것을 보여주었다. 6회/분의 작업에서도, 4회/분의 작업과 유사하게, 오른쪽의 근육들이 왼쪽의 근육들 보다 normalized MPF 값이 더 낮은 경향을 보여 근육의 누적 피로가 더 큰 것을 알 수 있었다(그림 4).

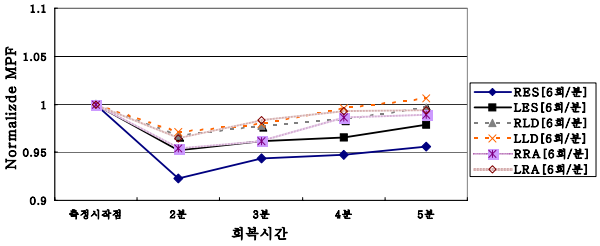

그림 4. 6회/분 작업의 Normalized MPF 변화

RES와 LES의 작업 빈도와 회복시간에 대한 normalized MPF 값의 변화는 그림 5에 나타내었다. 4회/분의 작업에서는 RES와 LES가 3분의 회복시간 이후에 초기 상태로 회복되는 것을 보여주고 있으나, 6회/분의 작업에서는 5분의 회복시간이 주어진 경우에도, 근육의 피로가 초기 상태로 회복되지 않는 것을 그래프를 통해 알 수 있었다.

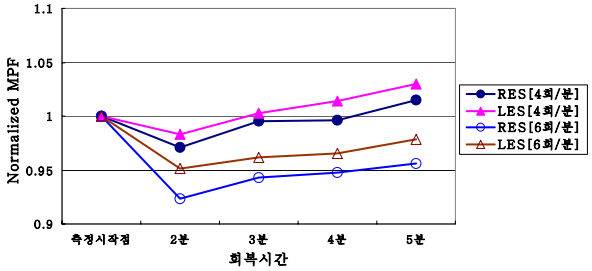

그림 5. RES과 LES의 Normalized MPF 변화(4회/분, 6회/분)

따라서 RES와 LES의 경우는 6회/분 작업 시, 근육의 피로가 초기 상태로 회복되기 위해서는 5분 이상의 회복시간이 필요한 것으로 나타났다. 또한, 작업 빈도에 따른 normalized MPF의 차이는 RLD, LLD, RRA, LRA와 비교했을 때 가장 크게 나타나 몸통 주변의 다른 근육들보다 더 많이 활성화 되어 더 큰 근육의 누적 피로가 나타나는 것을 알 수 있었다.

RLD와 LLD는 4회/분의 작업에서는 3분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 초기 상태로 회복되는 것을 알 수 있었고, 6회/분의 작업에서는 5분의 회복시간이 주어졌을 때 근육의 피로가 초기 상태로 회복되는 것을 나타내었다. 작업 빈도의 변화에 의한 normalized MPF값의 차이는 뚜렷하게 나타나지는 않았지만, 작업 빈도가 높은 6회/분의 작업이 더 낮게 나타나, 작업 빈도의 증가에 의한 근육의 피로가 더 큰 것을 알 수 있었다(그림 6).

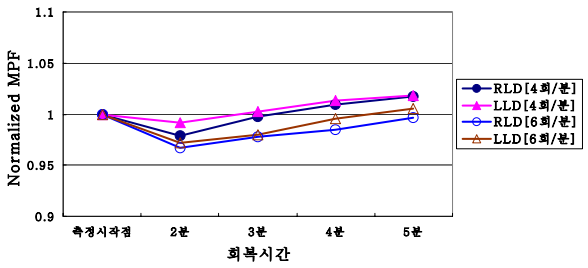

그림 6. RLD과 LLD의 Normalized MPF 변화(4회/분, 6회/분)

RRA과, LRA은 4회/분의 작업에서는 3분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 초기 상태로 회복되는 것을 알 수 있었으나, 6회/분의 작업은 5분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 초기 상태로 회복되지 못 하였다. RRA와, LRA 역시 다른 근육들과 동일하게 작업 빈도의 증가로 인해, 4회/분의 작업보다 6회/분의 작업 시 normalized MPF 값이 더 낮게 나타났다(그림 7).

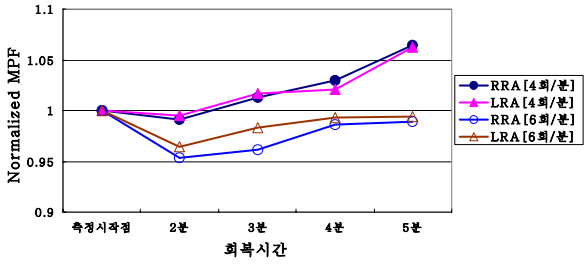

그림 7. RRA과 LRA의 Normalized MPF 변화(4회/분, 6회/분)

4. 토 의

본 연구에서는 작업 빈도와 회복시간의 변화에 따른 대칭자세의 들기, 내리기 작업 시 피로 회복시간에 대하여 연구하였다. 연구 결과 4회/분의 들기, 내리기 작업에서는 LES, RLD, LLD, RRA, LRA는 3분의 회복시간이 주어진 경우에, 그리고, RES은 이보다 긴 4분의 회복시간이 주어진 경우에 근육이 초기 상태로 회복되는 것을 알 수 있었다.

6회/분의 들기, 내리기 작업에서는 RES와 LES는 5분의 회복시간이 주어진 경우에도 근육이 초기 상태로 회복되지 못하였으나, RLD, RRA, LRA는 5분의 회복시간이 주어진 경우 근육이 초기 상태로 회복이 되었고, LLD는 4분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 회복되는 것으로 나타났다.

Granata와 Marras(1995)는 동적인 들기 작업 시 elector spinae muscle에 걸리는 모멘트가 latissimus dorsi, internal abdominal oblique, rectus abdomini, external abdominal obliques 보다 더 크다는 것을 실험을 통해 보여주었다. 따라서, 본 실험에서 4회/분의 작업 시 RES가, 6회/분의 작업 시 RES와 LES가 다른 근육들 보다 더 긴 회복시간이 필요한 것은 두 근육이 들기 작업 시 주동근으로 사용되면서 다른 근육들에 비해 더 큰 내부 모멘트(internal moment)가 발생한 결과로 볼 수 있다.

Astrand(1960)의 연구에 의하면 작업시간이 길어지면 피로물질인 젖산이 생성되는데, 적정 휴식을 통하여 이러한 젖산을 적절히 제거하여야 한다고 언급하였다. 또한, 짧은 시간의 작업 후 휴식을 하는 동안에는 산화미오글로빈(oxymyoglobin)형태로 근섬유 안에 저장된 산소가 근육 회복을 도와주게 되고, 이러한 영향으로 작업 후에 적정 휴식시간이 주어지면 근육이 빠르게 회복되면서 근육의 시간당 수축하는 비율(firing rate)이 높아져 % MVC 측정 시 초기의 MVC 값보다 높게 나타나기도 한다는 것을 언급하였다.

박태현과 김정룡(2001)의 연구에서는 척추를 중심으로 L1과 L3의 좌우 부위를 대상으로 한 반복적인 등척성 신전 자세의 실험에서 50% MVC에서는 휴식시간이 3분, 75% MVC의 작업은 회복시간을 5분으로 할 경우 누적 피로 효과에 의하여 이전 작업에 영향을 받지 않는다고 하였다. 작업 중량을 가상한 % MVC가 높을수록 더 긴 회복시간이 필요한 것으로 나타났고, 이러한 결과는 작업 부하가 높아질수록 회복시간이 길어지는 일반적인 경향을 나타났다. 그러나, 박태현과 김정룡(2001)의 연구에서 사용한 근 수축은 그 시간이 짧고 반복 횟수도 적은데 비해, 근육의 초기 상태로 회복되는 시간이 더 긴 것으로 나타났다. 따라서 동적인 작업보다, 정적인 근육 수축을 요구하는 작업에서 근육의 피로

회복시간이 더 길게 나타나는 것을 보여주었다.

Bonato et al.(2003)는 본 연구와 유사한 반복적인 들기, 내리기 실험을 사용하여 피로도와 동작을 연구하였다. 본 연구는 몸통 부위의 근육을 주로 사용한 반면, Bonato는 척추 주위의 국부 근육(paravertebral back muscles at L5, L2, T10)만을 대상으로 연구 하였고, 또한 무릎, 엉덩이, 허리, 팔꿈치 관절의 동작을 반사표시(reflective marker)를 사용하여 운동형상학적(kinematic)으로 측정하고, 분석하였다. 연구 결과, 들기, 내리기 작업 동안 근육의 피로가 증가하는 것을 MF의 변화 추이를 통해 나타냈고, 들기, 내리기 작업 시 각 반사표시 부착 위치의 각도를 측정하여 L4-L5 척추 segment에 peak torque와 힘이 증가하는 것을 관찰 하였다. 이로써, 근육의 피로와 동적(dynamic) 활동이 서로 밀접한 관계가 있음을 구체적으로 보여 주었다. 따라서 반복적인 들기, 내리기 작업 시 중량물에 의해 발생하는 동적 동작이 L4-L5 segment의 peak torque와 힘을 증가시키고, 이에 상응하는 내부 모멘트를 발생시키기 위해 과도한 근육 수축을 유발하며, 이러한 현상이 반복 누적되어 근육 피로를 발생시키는 것을 알 수 있었다.

신현주 외(2005)의 연구에서는 4회/분의 빈도로 들기, 내리기 작업 시 25% MVC에서 RES와 LES는 각각 5분 이상과, 5분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 회복되는 것으로 나타났고, RRA는 4분, LRA는 5분의 회복시간이 주어진 경우 근육의 피로가 초기 상태로 회복되는 것을 보였다. 그러나, 본 연구에서는 15% MVC를 사용하였고, RES와 LES, RRA와 LRA 모두 3분의 회복시간이 주어진 경우 근육이 초기 상태로 회복 되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 10% MVC의 차이에도 근육의 피로 누적을 예방하기 위한 적정 회복시간의 차이가 나타날 수 있다는 것을 보여주었다. 따라서, 실제 작업 현장에서 적용 시, 몸통 부위 근골격계 질환을 예방하기 위해서는 들기, 내리기 작업에 의한 부하와 휴식시간의 길이가 적절한 조화를 이루는 것이 매우 필요한 것을 알 수 있었다. 한 예로, 본 연구에서 사용하려고 했던 15% MVC 작업무게와 8회/분의 들기, 내리기 작업의 경우, 작업의 부하가 너무 커 예비실험 과정에서 제외시켜야만 했다. 이와 같이, 분당 1내지 2회의 작업 빈도 증가도 근육 피로에 치명적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 짐작할 수 있었다.

Rohmert(1973)는 생리학적인 연구들을 기초로 하여, 동적인 작업 시 피로의 휴식시간에 영향을 주는 것은 작업의 지속시간과, 작업의 cycle 수, 그리고, 최대 작업 cycle 수의 15%의 변화에 의해서 영향을 받는다고 하였고, 다음과 같은 휴식시간을 산정하는 식을 제시 하였다.

$$RA = 1.9(t)^{0.145}\left(\frac{Neff}{Nel} - 1\right)100\% \qquad (2)$$

Note RA = rest allowance
t = duration of working periods(mins)
$Neff$ = number of completed cycles
Nel = 15% of the maximum number of cycles

Rohmert의 식을 이용하여 15% MVC 무게로 작업 빈도와 작업시간에 의한 휴식시간을 계산한 결과, 4회/분의 들기, 내리기 작업의 경우 3.73 분이 필요 하고, 6회/분의 들기, 내리기 작업은 8.93분이 필요한 것을 알 수 있었다(표 6). 그러나 본 연구 결과 15% MVC 무게로 들기, 내리기 작업 시, 회복시간이 가장 길게 나타난 elector spinae의 경우, 4회/분의 작업에서 RES는 4분, LES는 3분으로 Rohmert의 식에 의한 휴식시간과 유사한 결과를 보였으나, 6회/분의 작업에서 5분의 회복시간이 주어진 경우, RES는 95.5%, LES는 97.8%의 피로 회복이 된 것에 비하여 조금 더 긴 휴식시간이 필요한 것을 보였다. 그러나 Rohmert의 공식에 의한 휴식시간은 전체적인 휴식시간을 고려했기 때문에 본 연구에서와 같이 특정 근육에 대한 회복시간과는 다른 관점에서 현장에 적용하여야 할 것이다.

표 6. Rohmert의 식을 이용한 휴식시간 산정

	4회/분 작업	6회/분 작업
t = duration of working periods(mins)	3	3
$Neff$ = number of completed cycles	12	18
Nel = 15% of the maximum number of cycles	7.55	7.55
Rest Allowance	3.73분	8.93분

5. 결 론

본 연구에서는 동적 들기, 내리기 작업 시 작업 빈도에 따른 몸통 근육의 피로와 회복시간에 대한 상관관계를 정량적으로 평가 하였다. 또한 구체적인 들기 빈도에 따른 피로 회복시간을 평가 하여, 중량물 취급 작업 시 몸통 부위 근육의 피로 누적에 의한 요통 등 근골격계 질환을 예방하기 위한 적정 회복시간을 제시 하는데 필요한 기초자료를 제시하였다.

본 연구에서 보여준 4회/분과, 6회/분의 작업 빈도에 따른 피로 회복 차이가 유의한 것을 고려할 때, 15% MVC 또는 그보다 가벼운 무게를 사용한 4회, 5회, 6회, 7회 8회 등의 들기 빈도에 따른 정밀한 측정이 필요할 것으로 생각되며,

추가적으로 왼손잡이와 오른손잡이의 비교실험을 통하여 이에 따른 근육의 피로도와 회복의 차이에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다. 본 연구의 결과는 실제 작업상황의 중량물 취급 작업 시 작업 cycle에서 회복시간 또는 작업 여유시간 설계 시 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

노동부, 2004년도 산업재해 현황, 2005.

박태현, 김정룡, "모의 들기 작업 시 허리근육 피로와 휴식시간과의 상관관계", *한국 산업경영시스템학회 추계 학술대회*, (pp. 197-202), 금오공과대학교, 2001.

신현주, 김정룡, 최영철, 이태용, "작업/휴식시간 변화에 따른 근육피로 회복시간 산정", *대한인간공학회/한국감성과학회 춘계학술대회 및 제 8회 한·일 공동 인간공학 심포지움*, (pp. 184-187). 부산 웨스틴 조선. 2005.

Anderson, G. B. J, Epidemiological aspects on low-back pain in injury, *Spine*, 6, 53-60, 1981.

Astrand, I., Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand*., 49, 1960.

Bonato, P., Gerold R,. Ebenbichler, MD, S,. Roy, ScD., Lehr, MS., Posch, M., Kollmitzer, J. and Croce, D., Muscle Fatigue and Fatigue-Relate Biomechanical Changes During a Cyclic Lifting Task, *Spine*, 28(16), 1810-1820, 2003.

Bureau of Labor Statistics and U. S. Department of Labor, *Number of nonfatal occupational injuries and illnesses with days away from work involving musculoskeletal disorders by selected worker and case characteristics 2003*, 2005.

Cram, J. R., Kasman, G. S. and Holtz, J., *Introduction to Surface Electromyography*, AN ASPEN PUBLICATION, 1998.

Chaffin, D. B. and Anderson, G. J., *Occupational Biomechanics, 2nd ed*, John Wiley & Sons, NY, 1991.

Chung, M. K. and Kim, S. H., Effects of body posture, weight and frequency on time-dependent muscle strengths during dynamic materials handling tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18, 153-159, 1996.

Davis, K. G. and Marras, W. S., The effects of motion on trunk biomechanics, *Clinical Biomechanics*, 15, 703-717, 2000.

Dolan, P., Mannion, F. and Adams, M. A., Fatigue of the elector spinae muscles: A quantitative assessment using "frequency banding" of the surface electromyography signal, *Spine*, 20(2), 149-159, 1995.

Fathallah, F. A., Marras, W. S. and Parmianpour, M., An Assessment of Complex Spinal Loads During Dynamic Lifting Tasks, *Spine*, 23(6), 706-716, 1998.

Granata, K. P. and Marras, W. S., The Influence of Trunk Muscle Coactivity on Dynamic Spinal Loads, *Spine*, 20(8), 913-919, 1995.

Granata, K. P., Marras, W. S. and David, K. G., Variation in spinal load and trunk dynamics during repeated lifting exertions, *Clinical Biomechanics*, 14, 367-375, 1999.

Marras, W. S., Preparation, Recording and Analysis of the EMG Signal, Trends in Ergonomics, *Human Factors IV*, Elsevier, Amsterdam, 701-707, 1987.

Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S., Rajulu, S., Allread, W. G., Fathallah, F. and Ferguson, S. A., The role of dynamic three dimensional trunk motion in occupationally-related low back disorders: the effects of workplace factors, trunk position and trunk motion characteristics on injury, *Spine*, 18(5), 617-628, 1993.

Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S., Fathallah, F., Allread, W. G., Ferguson, S. A. and Rajulu, S., Biomechanical risk factors for occupationally related low back disorders, *Ergonomics*, 38(2), 377-410, 1995.

Marras, W. S., Davis, K. G. and Jorgensen, M., Gender influences on spine loads during complex lifting, *The Spine Journal*, 3, 93-99, 2003.

Proakis, J. G. and Manolakis, D. G., *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall Inc, 1996.

Romhert, W., Problems of determination of rest allowances, Part 2: Determining rest allowances in different human tasks, *Applied Ergonomics*, 4(3), 158-162, 1973.

Sparto, P. J., Parianpour, M., Reinsel, T. E. and Simon, S., The effect of fatigue on multijoint kinematics, coordination and posture stability during a repetitive lifting test, *Journal of Sports Physiotherapy*, 25, 3-12, 1991.

Waters, T. R., Andersen, V. P. and Grag, A. *Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation*, U. S. Department of Health and Human Services, 1994.

U. S. Department of health and Human Service, *Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting: Expert Perspective*, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1992.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 이 태 용 ❖ tylee@ihanyang.ac.kr
한양대학교 산업공학 석사
관심분야: 생체역학, 인체공학, 인간공학

❖ 김 정 룡 ❖ jykim@eml.hanyang.ac.kr
Ohio State Univ. 산업공학 박사
현 재: 한양대학교 정보경영공학과 교수
관심분야: 생체역학, 인지공학, 인체공학적 제품설계

❖ 신 현 주 ❖ shjoo0907@ihanyang.ac.kr
한양대학교 산업공학과 박사과정 수료
현 재: 대한산업안전협회 재직
관심분야: 생체역학, 인간공학, 산업안전

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 01월 16일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 00월 00일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 05월 08일