

작업 중 여유시간 변화에 따른 몸통 근육 누적 피로도

신현주 · 김정룡[†]

한양대학교 산업공학과 인체공학연구센터

The Cumulative Trunk Muscle Fatigue Depending on The Length of Recovery Time

Hyun-Joo Shin · Jung-Yong Kim

Ergomechanics Lab, Department of Industrial Engineering, Hanyang University

The purpose of this study was to identify the relationship between the cumulative fatigue of trunk muscles and the period of recovery time during repetitive lifting and lowering tasks with symmetric and asymmetric postures. Ten subjects participated in the experiment. Subjects had 1, 2, 3, 4 and 5 minutes recovery time respectively while they were performing the lifting and lowering task repeatedly for 3 minutes with the weight equivalent to 25% level of MVC. EMG signals from ten trunk muscles were collected and the fatigue level was analyzed quantitatively. In results, the local muscle fatigue was no longer accumulated when 5 minutes recovery time was given in symmetric position. For asymmetric position, it took longer minutes to prevent the fatigue accumulation. Different trunk muscles indicated slightly different recovery patterns in terms of MPF (Mean Power Frequency) value.

This result would help ergonomist design the length of recovery time to control the cumulative fatigue of trunk muscles in industry with repetitive lifting and lowering task.

Keywords: Lifting/Lowering, Muscle Fatigue, Recovery Time, EMG

1. 서론

최근 산업현장에서는 기계 설비의 자동화 및 운반용 기계기구가 지속적으로 증가하는 추세에도 불구하고, MMH(Manual Materials Handling) 작업으로 인한 허리 상해가 계속해서 증가하고 있다. 또한 과도한 중량물의 취급이나, 반복적으로 발생하는 몸통의 굽힘(flexion)과 펴기(extension) 동작들은 요통을 일으키는 주요 원인이 되고 있다. 허리를 이용하여 중량물을 취급하는 들기(lifting), 내리기(lowering) 작업으로 인하여 발생하는 요통(low back pain) 및 기타 상해들은 작업자의 안전과 건강에 관한 중요한 문제로 다루어지고 있다(Anderson, 1981; Sparto *et al.*, 1991; Marras *et al.*, 1993). 우리나라의 경우 허리 관련 질환자는 2002년에 대비하여 2003년에는 246%의 커다란 증가세를 보이고 있다. 2003년도 허리관련 재해 현황을 보

면 제조업이 약 70%를 차지하고 있고, 업종별로 자동차 관련 업에서 24.6%, 선박 건조 및 수리업 9%, 운수창고 및 통신업 7.1%의 순으로 나타났다(노동부, 2003년도 산업재해분석 현황, 2004).

지금까지의 MMH 작업에 따른 근육의 피로현상을 규명하기 위한 연구들은 실제 작업장 조건과 부합하지 않는 정적인 작업자세나 국부 근육만을 대상으로 주로 연구가 이루어졌다. 또한 주로 심장 박동수(heart rate) 또는 산소소비량과 같은 에너지 대사량을 적용하여 작업에서 누적피로를 제거하기 위한 작업·휴식시간의 개선이 연구되어 왔다.

Murrell(1965)는 에너지 대사량을 이용하여 자발적 작업 시 작업·휴식시간에 대한 공식을 제안하였고, Price(1990a)는 자세(동적, 정적)에 따른 적정 작업·휴식시간의 할당에 대한 연구를 생리학적 방법으로 연구하였다. 그리고 정적인 근력 발

[†] 연락저자 : 김정룡, 426-791 경기도 안산시 상록구 사1동 1271, 한양대학교 산업공학과 인체공학연구센터, Tel : 031-400-4276, Fax : 031-406-5007
E-mail : shjoo0907@hanyang.ac.kr

회 상태에 대한 몸통 근육의 피로에 대한 연구는 등척성 수축(isometric contraction) 상태에서 주로 연구가 이루어져 왔다(Rohmert, 1973b; Bigland-Ritchie, 1986; Price, 1990b; Sbriccoli *et al.*, 2004; Amy *et al.*, 2005; Khalid *et al.*, 2006).

Rohmert(1964a, b)는 정적인 자세 동안 최대힘의 비율(%)과 최대 유지시간을 이용하여 국부 근육의 피로를 회복하는데 필요한 휴식시간을 제안하였는데, 최대 힘의 15% 이하에서는 장시간 정적 근력을 발휘 할 수 있다고 하였다. 또한, Rohmert(1973a)는 정적인 근력 작업 시 작업·휴식시간에 관한 연구에서, 정적 근력작업 시 휴식시간을 짧게 자주 제공하는 것이 근육피로를 최소화 할 수 있다고 하였다. 최근에는 국부근육의 피로도를 평가하기 위하여 EMG를 활용한 많은 연구가 진행되어 왔다(Marras and Granata, 1995; Dolan and Adams, 1998; Marras *et al.*, 2000; Dolan *et al.*, 2001; Elfving *et al.*, 2002; Marras *et al.*, 2006).

EMG를 이용한 작업·휴식시간 연구로서, Kim(2002)는 등척성 신전 작업 시 반복적인 부하에 의한 척추 기립근의 피로 누적과 휴식시간의 영향에 대하여 연구 하였다. 그 결과, 50% MVC(maximum voluntary contraction) 수준에서 20초 동안 등척성 신전자세를 유지 시 휴식시간이 3분 이상, 75% MVC에서는 5분 이상의 휴식시간이 주어질 경우, 근육의 누적피로를 줄일 수 있다고 하였다. EMG를 활용한 근육의 동적인 들기, 내리기 작업시 누적피로와 회복시간에 관한 연구가 전반적으로 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 동적 들기, 내리기 작업시 몸통 부위의 주요 근육에 대한 피로도 분석을 통해, 중량물 취급 작업시 몸통 근육의 피로와 회복시간의 상관관계를 EMG를 통하여 정량적으로 연구하였다.

2. 연구방법

2.1 실험 참가자

본 연구에서는 과거에 허리부위에 질병을 앓은 적이 없고, 근골격계 질환과 관련된 과거의 병력이 없으며, 현재 건강 상태가 양호한 20대 남자 대학생 10명을 실험참가자로 선정하였다. 실험참가자는 평균 나이 26.1세(표준편차 1.57)이고, 평균 키 174.3cm(표준편차 5.29), 평균 몸무게 69.3kg(표준편차 4.28)이다.

2.2 근육선정

동적 들기 작업(dynamic lifting tasks) 동안 실험참가자는 대칭(symmetric)자세, 비대칭(asymmetric)자세로 중량물을 들고, 내리기 작업을 수행해야 하기 때문에 굽힘(flexion), 폼(extension), 비틀림(twisting) 동작을 제어하는 몸통 부위의 10개 근육을 실험 대상으로 선정하였다. 굽힘/폼 동작시 제어 역할을 하는 좌우 척추 기립근(Erector Spinae Muscle; LESM & RESM), 좌우 복직근(Rectus Abdominis Muscle; LRAM & RRAM), 상체의 굽힘/

폼/비틀림 동작을 제어하는 좌우 활배근(Latissimus Dorsi Muscle; LLDM & RLDM), 좌우 외복사근(External Oblique Muscle; LEOM & REOM), 좌우 내복사근(Internal Oblique Muscle; LIOM & RIOM)을 선정하였다(Granata and Marrs, 1993).

2.3 실험장비

실험참가자의 근육 피로도를 측정하기 위한 실험장비는 너비 30cm, 깊이 30cm, 높이 25cm인 나무상자, 높이가 75cm인 책상, 등척성 신전 수축(Isometric Extension Contraction) 조건하에서 몸통의 MVC를 측정하기 위하여 dynamometer(Lafayette Instruments)를 사용하였다. 등척성 신전 자세시 일정한 수준의 %MVC를 유지하기 위하여 Bongshin loadcell(500lbf)를 연결하여 실험참가자가 발휘하는 근육 힘의 크기를 육안으로 볼 수 있도록 loadcell과 Digital Indicator BS-300A를 연결하였다. 또한 몸통 근육의 신호를 추출하기 위하여 V91-93 표면전극(Surface Electrode)과 10 Channels의 High Gain Bioamplifier와 High Speed Video I/O Port를 장착한 Coulbourn Instruments사의 EMG system을 PC와 연결하여 사용하였다. 저차단 주파수(Low Cutoff Frequency)는 1Hz, 고차단 주파수(High Cutoff Frequency)는 1000Hz로 조절하였다. 신호처리를 위하여 PC와 Dataq Instruments사의 Windaq/200을 사용하였고, 일반적으로 근전도 주파수 대역은 400Hz 이하 이므로 Nyquist principle에 따라 1024Hz의 샘플링 주파수(Sampling Frequency)를 각 채널별로 사용하였다(Marras, 1987).

3. 실험설계

3.1 실험계획

중량물을 들고, 내리기 작업시 회복시간이 근육피로에 미치는 영향을 정량적으로 연구하기 위하여 2개의 독립변수를 사용한 Within-Subject Design을 계획하였다. 독립변수로는 회복시간(1분, 2분, 3분, 4분, 5분)과 자세(대칭, 비대칭)이고, 그에 따른 피로도와 회복여부를 평가하기 위해 MPF (Mean Power Frequency)를 종속변수로 사용하였다. 개개인의 실험참가자가 실시하는 실험 순서는 라틴방격법(Latin Square Design)을 이용하여 실시하였다.

3.2 실험절차

실험을 실시하기 전에 편안한 복장을 착용하도록 하고, 실험참가자에게 실험의 목적과 주의사항을 숙지시켰다. EMG 신호 측정시 잡음을 최소화하기 위하여 알콜로 표면전극을 부착 할 위치를 닦고, 표면전극(Surface Electrode)을 부착한 후, Multitester DM-500으로 표면전극의 부착부위를 측정하여 피부저항을 300k Ω 이하로 유지하였다. 부착된 표면전극은 전극

과 피부사이의 저항이 EMG 신호에 직접적인 영향을 발생하므로, 표면전극을 부착 후, 약 10분후에 잡음의 발생여부를 확인하기 위하여 휴식상태에서 안정신호를 확인하였다. 표면전극의 부착위치는 좌우 척추기립근은 L3의 중심선으로부터 4cm 떨어진 위치에, 좌우 활배근은 T9의 바깥 위치에, 좌우 복직근은 복부 중심선으로부터 3cm 떨어진 위치에, 좌우 외복사근은 복부 중심선에서 대각선으로 9cm 떨어진 위치에, 좌우 내복사근은 복부 중심선에서 평행하게 9cm 떨어진 위치에 부착하였다(Marras and Mirka, 1992).

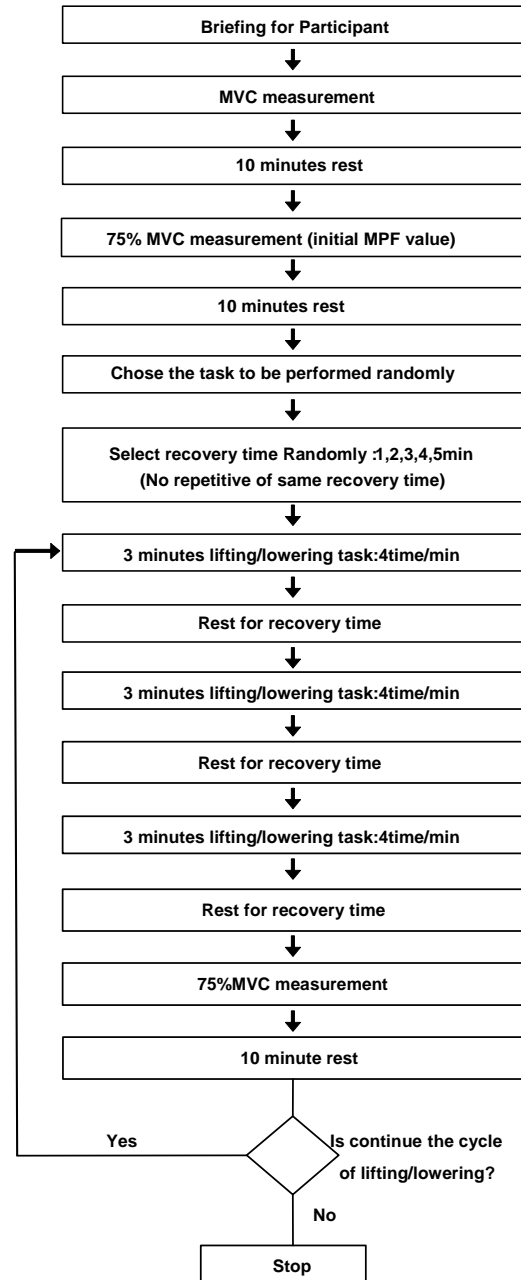
본 연구에서 작업조건은 시상면(Sagittal Plane)을 중심으로 작업물이 작업자의 정면에 위치한 대칭형 작업과, 작업자의 오른쪽 측면에 위치한 90도 비대칭형 작업을 분석 대상으로 하였다. 중량물의 무게는 나무상자에 모래를 넣어 실험참가자의 25% MVC(Maximum Voluntary Contraction) 무게로 설정하였다. 중량물의 무게는 예비실험 결과, 25% MVC 이상의 무게로 실험시 실험 참가자에게 신체적 무리가 발생하여 25% MVC 무게로 설정하였다. 실험은 분당 4회의 빈도로 들고 내리는 작업을 실시하였고, 3분 동안 작업을 수행하고 정해진 회복시간(1분, 2분, 3분, 4분, 5분) 동안 휴식하는 방식으로 3회 반복하여 실시하였다. 회복시간을 제공하는 순서는 실험참가자에 따라 임의로(random) 결정하여 실험 중 피로가 누적되는 현상이 실험 결과에 미치는 영향을 최소화하였다. 작업 자세와 속도는 실험참가자가 스스로 조절하되, 급격한 동작이 발생하지 않도록 하였고, 실험이 진행되는 동안 일정한 pace(15초/1회)를 유지하도록 하였다. 대칭형 작업은 작업물을 바닥으로부터 들어 올려 작업대 위에 올려 놓았다가 다시 제자리로 내려놓는 방식으로 설정하였다. 비대칭형 작업은 대칭형 작업 자세에서 바닥에 위치한 나무상자를 들어 올려 상체를 90도 왼쪽으로 비틀어서(Twisting) 작업대 위에 올려 놓았다가 다시 제자리로 내려 놓는 방식으로 하였다. 작업이 완료 후 실험참가자의 75% MVC를 dynamometer(Lafayette Instruments)에서 측정하였다. 75% MVC 측정시 실험참가자가 75% MVC의 힘을 유지할 수 있는 상태가 되었을 때를 기점으로 7초간 신호를 수집하였다. 75% MVC 측정시 근육의 피로누적을 방지하기 위하여 다음 실험 전에 10분간의 휴식을 취하게 하였다. 본 실험은 모든 실험참가자가 대칭자세로 1차 실험을 실시한 후에, 근육의 피로누적이 EMG 신호에 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여, 일주일간 충분한 휴식을 취한 후, 다시 비대칭 자세로 2차 실험을 실시하였다. 전반적인 실험절차는 <Table 1>에서 설명하고 있다.

3.3 MVC 측정

실험참가자의 MVC를 측정하기 위하여 dynamometer 위로 올라가게 한 후, 발을 표시된 위치에 올려놓고 다리는 약간 구부리고, 팔은 쪽 뻗은 상태에서 등척성 신전(Isometric Extension) 자세로 MVC를 측정하였다. MVC 측정 시 Digital Indicator로

관찰하고, Peak MVC 값을 실험참가자의 MVC로 사용하였다. MVC 측정 후, 각각의 실험으로부터 수집된 측정값을 normalize 하기 위하여 75% MVC를 산정하고, MVC와 동일한 방법으로 측정하였다.

Table 1. Experimental Procedure



3.4 분석방법

EMG System과 PC를 연결하여 기록된 생체신호는 Windaq Softwar를 사용하여 분석하였다. dynamometer에서 75% MVC로 측정된 7초간의 Raw Data를 ASC II code로 변환한 후, 근육의 피로도를 분석하기 위하여 75% MVC를 비교적 잘 유지한

3초간을 분석 대상으로 적용하였다, 수집된 data는 각각을 1024-point FFT(Fast Fourier Transform)를 실시하였고, 근전도를 이용한 근육 피로도 변수로는 MPF값을 사용하였다(Kwenty, Tomas and Kwatng, 1970.) 각각의 값들은 실험참가자들의 개인차를 보정하기 위하여, 초기 실험시 얻어진 MPF 값을 기준으로 정규화(Normalization)하였다. Normalized-MPF(이후 N-MPF로 기술) 값들을 비교하기 위하여 SAS를 이용하여 분산분석을 실시하였다. Normalized MPF값을 구하는 식은 다음과 같다.

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

4. 결과

4.1 각 요인별 분산 분석 결과

각 요인에 따른 분산분석을 실시한 결과, 회복시간(time), 근육(muscle)에는 $p < 0.01$, 자세(Position)는 $p < 0.1$ 수준에서 유의성이 나타났다.

Table 2. The result of ANOVA of each factors

Source	F Value	Pr > F
Position	3.64	0.0888*
Time	6.98	0.0003***
Muscle	13.52	0.0001***
Position×Time	0.97	0.4347
Position×Muscle	2.35	0.0207**
Time×Muscle	1.88	0.0024***
Position×Time×Muscle	1.07	0.3632

* $p < 0.1$ 유의수준, ** $p < 0.05$ 유의수준 *** $p < 0.01$ 유의수준

시간변화에 따른 근육별 분산분석 결과, 유의성이 나타난 근육에 대해 유의수준 5% 조건하에서 Post-hoc Test를 실시하였다<Table 3>. 복직근 오른쪽 4분을 제외한 나머지 근육은 회복시간 5분에서 유의한 차이가 나타났다. 이는 자세(대칭, 비대칭)에서 5분의 회복시간을 제공 시 다음 작업에 미치는 근육 피로가 유의한 감소를 보일 수 있다는 것을 의미한다. 특히 척추 기립근 오른쪽의 경우에는 4분과 5분이 차이가 나타나는 것은 대칭자세와 비대칭 자세의 피로도 차이라고 할 수 있다.

Table 3. Post-hoc Test of Muscle depending on the length of Time (DUNCAN Grouping)

자세	1분	2분	3분	4분	5분
LES	B C	C	B C	B A	A
RES	C	C B	C B	B	A
LRA	B	B	B	B A	A
RRA	B	B	B A	A	A
RIO	B C	C	B	B A	A

4.2 대칭자세(Symmetric Posture)에 분산 분석 결과

Table 4. The result of ANOVA of each muscles depending on the length of Recovery time at symmetric posture

Source	F Value	Pr > F
LES	5.45	0.0016**
RES	3.15	0.0256*
LEO	1.85	0.1410
REO	1.80	0.1502
LLD	1.32	0.2810
RLD	0.13	0.9690
LRA	4.24	0.0065**
RRA	5.16	0.0022**
LIO	1.85	0.1402
RIO	1.99	0.1176

* $p < 0.05$ 유의수준 ** $p < 0.01$ 유의수준

대칭자세에서 회복시간(1분, 2분, 3분, 4분, 5분)에 따른 분산분석을 실시한 결과, 각 근육에 대한 유의수준 5% 범위 내에서 10개의 근육 중 왼쪽 척추 기립근(LES : Left Erector Spinae)과 오른쪽 척추 기립근(RES : Right Erector Spinae), 왼쪽 복직근(LRA : Left Rectus Abdominis)과 오른쪽 복직근(RRA : Right Rectus Abdominis)에서 유의한 차이가 나타났다. 다른 근육들에서는 유의수준 5% 범위 내에서 유의성이 나타나지 않았다<Table 4>.

대칭자세에서 각 근육별 분산분석 결과는 왼쪽 척추 기립근(LES)과 오른쪽 척추 기립근(RES), 왼쪽 복직근(LRA)과 오른쪽 복직근(RRA)에서 회복시간이 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났고, 각 근육에 대해 유의수준 5% 조건하에서 Post-hoc Test를 실시하였다<Table 5>.

Table 5. Post-hoc Test depending on the length of recovery time at symmetric posture (DUNCAN Grouping)

대칭	1분	2분	3분	4분	5분
LES	B C	B C	B	A	A
RES	B	B	B	A B	A
LRA	B C	C	B C	A	A
RRA	B	B	B	A	A

왼쪽 척추 기립근은 회복시간 4분, 5분에서 차이가 나타났다. 이는 4분, 5분의 회복시간을 제공하고 다음 작업을 수행 시 근육피로가 유의하게 감소할 수 있다는 것을 의미하고, 1분, 2분, 3분의 경우에는 누적된 피로에 의해 다음 작업에 영향을 줄 가능성이 크다고 할 수 있다. 오른쪽 척추 기립근은 5분에서 Grouping이 중복되는데, 이러한 결과는 5분의 회복시간을 제공하고 다음 작업을 수행 시 근육피로가 유의하게 감소할 수 있다는 것을 의미한다. 복직근도 회복시간 4분, 5분에서 차이가 나타났는데, 4분, 5분의 회복시간을 제공할 경우 다음 작

업에 미치는 근육피로가 유의하게 감소 할 수 있다는 것을 의미하고, 1분, 2분, 3분의 경우에는 다음 작업에 영향을 줄 가능성이 크다고 할 수 있다.

<Figure 1>은 척추 기립근의 대칭자세에서 회복시간에 따른 75% MVC값의 변화를 나타낸 것인데, 왼쪽 척추 기립근의 경우 N-MPF값이 회복시간 3분 미만에서는 피로회복에 대한 변화가 완만하게 나타나고 있으나, 3분 이후부터 급속히 빠른 속도로 회복 되는 것을 알 수 있다.

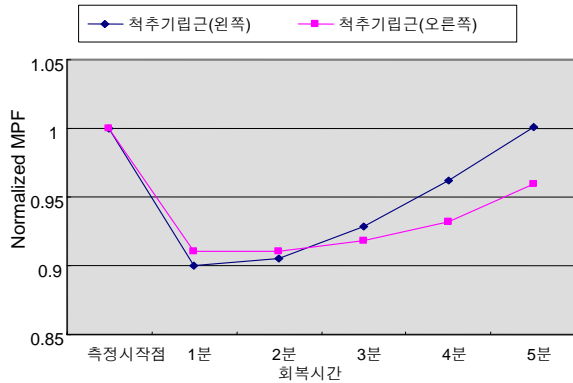


Figure 1. MPF depending on the length of recovery time at symmetric posture (ESM)

측정 시작점까지 회복을 위해서는 5분의 회복시간이 필요한 것으로 나타났다. 오른쪽 척추 기립근은 4분까지는 피로회복의 속도가 완만하다가, 4분 이후 빠른 피로 회복현상을 나타내고 있어, 중량물 취급 작업시 회복시간은 5분 이상이 되어야 누적피로에 의한 상해를 예방하고 빠른 회복이 가능한 것으로 나타났다.

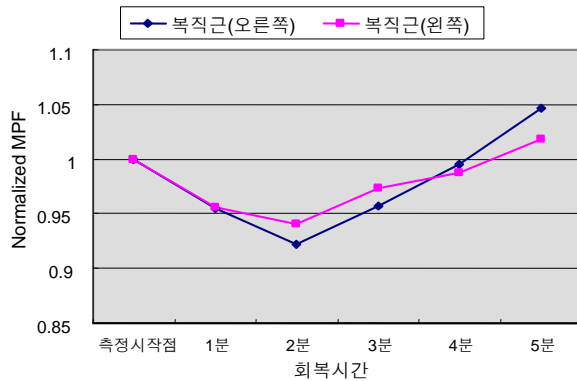


Figure 2. MPF depending on the length of recovery time at symmetric posture (RAM)

<Figure 2>는 복직근의 대칭자세에서 회복시간에 따른 75% MVC값의 변화를 나타낸 것인데, 3분 미만에서는 피로가 누적되어 초기 상태로 회복되지 않지만, 4분 이후로는 좌우측 모두 초기 상태까지 회복되는 것을 알 수 있다.

4.3 비대칭자세(Asymmetric Posture)에서 분산분석 결과

Table 6. The result of ANOVA of each muscles depending on the length of Recovery time at Asymmetric posture

Source	F Value	Pr > F
LES	4.67	0.0039**
RES	2.64	0.0494*
LEO	1.41	0.251
REO	0.26	0.9002
LLD	0.28	0.8889
RLD	1.50	0.2235
LRA	0.53	0.7167
RRA	2.84	0.0392*
LIO	1.30	0.2869
RIO	2.73	0.0441*

* p < 0.05 유의수준 ** p < 0.01 유의수준

비대칭자세에서 회복시간(1분, 2분, 3분, 4분, 5분)에 대한 분산분석을 실시한 결과, 각 근육에 대한 유의수준 5% 범위 내에서 10개의 근육 중 척추 기립근 왼쪽과 오른쪽, 복직근 오른쪽, 내복사근 오른쪽에서 유의한 차이가 나타났다. 좌우 외복사근, 좌우 활배근, 왼쪽 복직근, 왼쪽 내복사근에서는 유의수준 5% 범위내에서 유의성이 나타나지 않았다<Table 6>.

Table 7. Post-hoc Test depending on the length of recovery time at Asymmetric posture(DUNCAN Grouping)

비대칭	1분	2분	3분	4분	5분
LES	B C	B C	B	B	A
RES	B	B	B	A B	A
RRA	B	B	B	A B	A
RIO	B	B	A B	A	A

비대칭자세에서 각 근육별 분산분석 결과, 왼쪽 척추 기립근(LES)과 오른쪽 척추 기립근(RES), 오른쪽 복직근(RRA)과 오른쪽 내복사근(RIO)이 회복시간에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났고, 각 근육에 대해 유의수준 5% 조건하에서 Post-hoc Test를 실시하였다<Table 7>. 척추 기립근은 회복시간 5분에서 차이가 나타났다. 이러한 결과는 5분의 회복시간을 제공 시 다음 작업에 미치는 근육피로가 유의한 감소를 보일 수 있다는 것을 의미한다.

그러나 1분, 2분, 3분, 4분의 경우에는 다음 작업에 영향을 줄 가능성이 매우 크다는 것을 의미한다. 오른쪽 복직근의 경우도 회복시간 5분에서 차이가 나타났는데, 5분의 회복시간을 제공 후 다음 작업을 수행할 경우 피로가 유의하게 감소할 수 있고, 5분미만의 경우에는 다음 작업에 영향을 줄 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 오른쪽 내복사근은 회복시간 4분에서 차이가 나타났는데, 이러한 결과는 4분 이상의 회복시간을 제

공해야 다음 작업에 미치는 근육피로가 유의하게 감소를 보일 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 3분 미만의 경우에는 다음 작업에 영향을 미칠 가능성이 크다는 것을 의미한다.

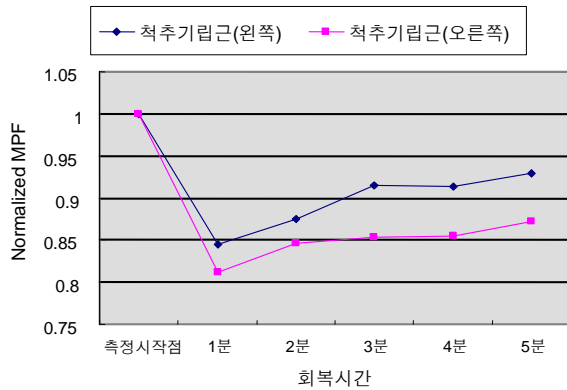


Figure 3. MPF depending on the length of recovery time at Asymmetric posture (ESM)

<Figure 3>은 척추 기립근의 비대칭자세에서 회복시간에 따른 75% MVC값의 변화로서, 왼쪽으로 몸을 비틀(twisting) 경우, 오른쪽 근육이 왼쪽 근육에 비하여 누적피로가 더 많이 발생한 것으로 나타났다. 좌우측 척추 기립근의 경우, 회복시간의 변화에 따라 근육의 피로회복이 완만하게 나타나고 있으며, 회복시간 5분의 경우에 왼쪽 척추 기립근은 93% 정도의 회복율을 보이고 있지만, 오른쪽 척추 기립근은 88% 정도의 회복율을 보여 좌우측 근육의 피로도를 고려하였을 때 최소한 5분 이상의 회복시간이 필요한 것으로 나타났다.

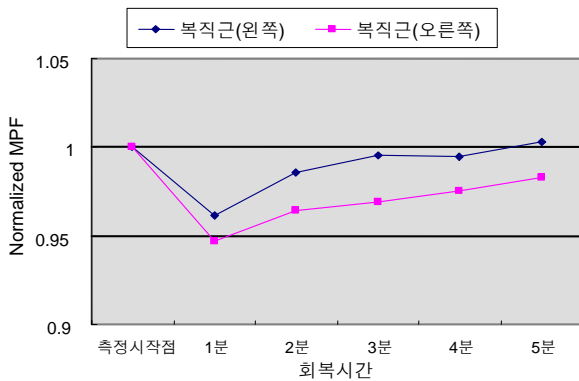


Figure 4. MPF depending on the length of recovery time at Asymmetric posture (RAM)

<Figure 4>는 복직근의 비대칭자세에서 회복시간에 따른 75% MVC값의 변화로서, 왼쪽 복직근은 3분 이후 피로회복이 거의 초기 상태까지 회복되었으나, 오른쪽 복직근은 회복시간이 5분 일때, 98% 정도의 회복율을 보여 최소한 5분 이상의 회복시간이 필요한 것으로 나타났다.

<Figure 5>의 내복사근에서는 비대칭자세에서 회복시간에

따른 75% MVC값의 변화로서 왼쪽 내복사근은 3분 이후 초기 상태보다 N-MPF 수치가 높아지는 경향을 보이고 있고, 오른쪽 내복사근의 경우에는 회복시간 3분에서 99% 정도의 회복률을 보이다가 4분 이후에는 초기 상태보다 N-MPF 수치가 높아지는 경향을 보이고 있다.

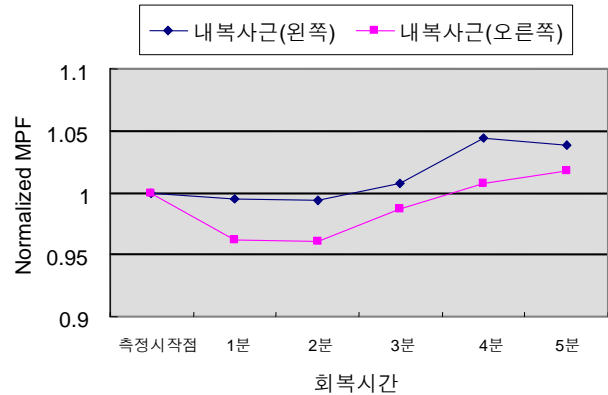


Figure 5. MPF depending on the length of recovery time at Asymmetric posture (IOM)

5. 토 의

본 연구는 중량물 취급 작업 시 근골격계 질환을 예방하기 위한 목적으로 자세(대칭, 비대칭)에 따라, 들고 내리기 작업 시 근육피로에 미치는 영향을 알아보기 위하여 현장 상황과 유사하게 실험실에서 상황을 설정하였다. 이러한 시도는 본 연구의 결과를 현장 작업설계에 활용하기 위한 의도로 이루어졌으므로, 본 연구 결과에 대한 토의와 더불어 이를 적절히 현장에 응용할 수 있을 지에 대해 추가적으로 토의하였다.

5.1 대칭자세에서 근육별 피로도 분석

대칭자세에서 회복시간 변화에 따른 각 근육별 통계적 유의성은 척추 기립근 왼쪽과 오른쪽 ($p < 0.05$), 복직근 왼쪽과 오른쪽 ($p < 0.01$)에서 나타났고, 다른 근육에서는 유의성이 나타나지 않았다. 이를 통해 대칭자세에서 중량물을 취급시 주로 동원되는 근육이 척추 기립근과 복직근임을 알 수 있었다. 실제로 척추 기립근과 복직근은 몸통의 굽힘(flexion) 동작과 펴기(extension) 동작에 주요한 역할을 하고, 허리의 코셋 효과(corset effect)에 의하여 요추부의 안전성을 강화시키는 역할을 한다. 이는 몸통이 펴는 동작을 할 경우, 복직근이 이심성 수축(eccentric contraction)을 하여 몸통 근육을 동시활성화(coactivation)시켜 상체를 안정시키는 것으로 이해되고 있다. 척추 기립근을 보면 대칭자세에서 왼쪽과 오른쪽이 회복시간 1분, 2분, 3분에서 피로도의 통계적 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 3분의 회복시간 또는 최소한 3분 이상 회복시간을 제공하여야 근육의 피로누적을 예방하고 회복이 가능하다는 것을 의미한다.

한편, 4분부터는 근육의 빠른 회복세가 나타나는 것을 볼 수 있었다. 한편, 김정룡(2002)은 등척성 신전자세(isometric extension)로 반복적인 부하에 의한 척추 기립근의 피로와 휴식 시간의 영향을 연구하였는데, 20초 동안 75% MVC에서 등척성 신전자세로 근력을 발휘할 경우, 척추 기립근은 5분이상의 휴식시간을 제공 시 누적피로를 예방할 수 있다고 하였다. 본 연구와 다른 실험조건을 고려한다 해도 대칭자세에서 중량물 취급 시 정적자세가 동적자세보다 더 많은 피로를 발생시킬 수 있다는 것을 의미하기도 한다.

복직근의 경우에는 3분까지는 피로의 누적이 발생하나 4분 이후에는 초기상태로 회복되는 것으로 나타났다. 또한, 척추 기립근의 경우에 1분, 2분 경우에는 비슷한 피로도를 나타내다가 3분 이후부터는 오른쪽이 왼쪽에 비하여 피로도가 높게 나타났다. 이는 오른손잡이에 의한 영향인 것으로 추정한다. 중량물을 들고 내리는 과정에서 실험참가자가 오른쪽 부위의 근육을 더 많이 동원(recruitment)함으로써 나타난 결과로 추정할 수 있고, 이러한 현상은 양손을 이용하여 중량물을 취급하더라도 좌우 근육의 사용 패턴(pattern)이 다르다는 것을 의미한다. 실제로 동적 들기 작업(free dynamic lifting)에서 중량물의 위치가 오른쪽으로 약간 기울어는 경향이 관찰되었다. 참고로 실험에 참가한 실험참가자 10명 중 8명이 오른손잡이었다.

5.2 비대칭자세에서 근육별 피로도 분석

비대칭자세에서 회복시간 변화에 따른 실험 결과를 각 근육별($p < 0.05$)로 보면 척추 기립근 왼쪽과 오른쪽, 복직근 오른쪽, 내복사근 오른쪽에서 회복시간 차이에 따른 통계적 유의성이 나타났다. 이는 대칭자세에서 중량물을 들어 왼쪽(시계 반대방향)으로 90도 회전함으로써, 몸통의 비틀림(twisting) 각도가 커지면서 오른쪽 근육의 근력이 왼쪽에 위치한 근육의 근력보다 발휘가 크게 나타났다. Cook and Neumann(1987)은 작업물의 위치와 중량의 변화에 따른 근전도 신호의 크기 변화를 분석한 결과, 작업물의 중량이 증가할수록 근전도 신호의 크기도 증가하며, 작업물과 반대쪽(contralateral) 근육들이 같은 쪽(ipsilateral) 근육들에 비해 큰 근력을 발휘한다는 사실을 밝혔는데, 본 연구에서도 유사한 결과가 나타났다. 비대칭자세에서 회복시간에 따른 Post-hoc test 결과를 보면, 좌우 척추 기립근은 4분과 5분 사이에서 차이가 났고, 오른쪽 복직근의 경우도 4분과 5분 사이에서 차이가 나타났다. 오른쪽 내복사근의 경우는 회복시간이 4분에서 차이가 발생하여, 전반적으로 5분 이상 되어야 누적피로를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다. Gang and Badger(1986)는 비틀림 각도가 90도까지 증가함에 따라 비대칭적 들기 작업이 대칭적 들기 작업에 비해 MVC가 12~31% 감소한다고 설명하고 있는데, 본 연구의 결과에서는 척추 기립근의 경우, 비대칭적 들기 작업이 대칭적 들기 작업에 비해 근전도에서 추출된 MPF 값이 회복시간 1분에서는 약 9%까지 감소하다가 5분에서는 약 7% 정도까지 감

소하는 결과가 나타났다(Figure 6).

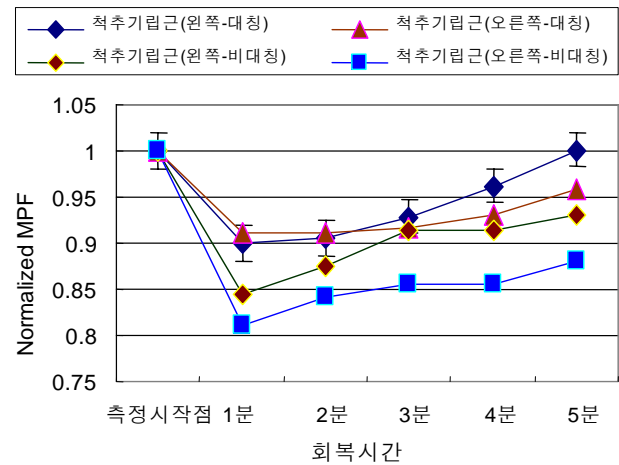


Figure 6. MPF depending on the length of recovery time at posture (ESM)

6. 결론

본 연구는 중량물을 취급하는 들고 내리기 작업을 현장과 비슷한 상황으로 실험실에서 재현하여 동적자세(대칭자세, 비대칭자세)로 반복 작업을 실시하였고, 몸통부위 근육의 누적피로에 따른 근골격계 질환을 예방하기 위한 작업-회복시간 설계를 위해 필요한 실험자료를 수집하였다. 추후 본 연구와 같은 동적 반복 작업에 대한 다양한 결과의 연구 자료가 축적이 되면 산업현장에서 적용할 수 있는 중량물 취급 작업 시 적정 휴식시간의 표준을 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- Anderson, G. B. J. (1981), Epidemiological aspects on low-back pain in injury, *Spine*, **6**, 53-60.
- Amy, C., Paola, S., Bing-He, Z., Moshe, S., Yun, L., Evalina, L. B. (2005), Short rest periods after static lumbar flexion are a risk factor for cumulative low back disorder. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **15**, 37-52.
- Bigland-Ritchie, B., Furbush, F., Woods, J. (1986), Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions : central and peripheral factors, *Journal of Applied Physiology*, **61**(2), 421-429.
- Cook, T-M., Neumann, D-A. (1987), The effects of load placement on the EMG activity of the low back muscles during load carrying by men and woman, *Ergonomics*, **30**, 1413-1423.
- Department of Labor. (2004), Analysis of Industrial Injury in 2003, Korea.
- Dolan, P., Adams, M-A. (1998), Repetitive lifting tasks fatigue the back muscles and increase the bending moment acting on the lumbar spine, *Journal of Biomechanics*, **31**, 713-721.
- Dolan, P., Kingma, I., De Looze, M-P., Van Dieen, J-H., Toussaint,

- H-M. (2001), An EMG technique for measuring spinal loading during asymmetric lifting, *Clinical Biomechanics*, **1**, 17-24.
- Elfving, B., Liljequist, D., Dederig, A., Nemeth, G. (2002), Recovery of electromyography median frequency after lumbar muscle fatigue analysed using an exponential time dependence model, *Europe Journal of Apply Physiol*, **88**, 855-93.
- Gang, A. and badger, D. (1986), Maximum acceptable weights and maximum voluntary isometric strengths for asymmetric lifting, *Ergonomics*, **29**(7), 879-892.
- Granata, K-P., Marras, W-S. (1993), An EMG-Assisted Model of Loads on the Lumbar Spine during Asymmetric Trunk Extensions, *Journal of Biomechanics*, **26**(12), 1429-1438.
- Khalid, E-A., Daniel, I., Bruno, F. (2006), Percentile values for determining maximum endurance times for static muscular work, *Journal of the Industrial Ergonomics*, 99-108.
- Kim, J-Y. (2002), A study of Trunk muscle fatigue and recovery time during isometric extension tasks, *Journal of the Ergonomics Society of Korean*, **21**(2), 25-33
- Kwenty, F., Thomas, D-H., Kwatng, H-G. (1970), An Application of Signal Processing Techniques to the Study of Myoelectric Signals, *IEEE Trans Biomedical Eng* **17**, 303-312.
- Marras, W-S. (1987), Preparation, Recording and Analysis of the EMG signal, Trends in Ergonomics, Human Factors, IV, *Elsevier Science Publishers B. V*, 701-707.
- Marras, W-S., Lavender, S-A., Leurgans, S., Rajulu, S., Allread, W-G., Fathallah, F., Ferguson, S-A. (1993), 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.
- Marras, W-S., Granata, K-P. (1995), A biomechanical assessment and model of axial twisting in the thoracolumbar spine, *Spine*, **20**(13), 1440-1451.
- Marras, W-S., Granata, K-P. (1997), Spine loading during trunk lateral bending motions, *Journal of Biomechanics*, **30**(7), 697-703.
- Marras, W-S., Davis, K-G., Heaney, C-A., Maronitis, A-B., Allread, W-G. (2000), The influence of psychosocial stress, gender, and personality on mechanical loading of the lumbar spine, *spine*, **25**, 3045-3054.
- Marras, W-S., Mirka G-A. (1992), A Comprehensive Evaluation of Trunk Response to Asymmetric Trunk Motion, *Spine*, **17**, 318-326.
- Marras, W-S., Parakkat, J., Chany, A-M., Yang, G., Burr, D., Lavender, S-A. (2006), Spine loading as a function of lift frequency, exposure duration, and work experience, *Clinical Biomechanics*, **21**, 45-352.
- Murrell, K F. H. (1965), Human performance in industry. Reinhold, New York.
- Price, A. D. F. (1990a), Calculating relaxation allowances for construction operatives- Part 1 : Metabolic cost, *Applied Ergonomics*, **21**(4), 311-317.
- Price, A. D. F. (1990b), Calculating relaxation for construction operatives-Part 2 : Local Muscle fatigue, *Applied Ergonomics*, **21**(4), 318-324.
- Rohmert, W. (1964a), Determination of relaxation periods in industrial operations Part1, *Work Study and Management*, 500-505.
- Rohmert, W. (1964b), Determination of relaxation periods in industrial operations Part2, *Work Study and Management*, 550-556.
- Rohmert, W. (1973a), Problems of determination of rest allowances, Part 1:of modern to evaluate stress and strain in muscular work, *Applied Ergonomics*, **4**(2), 91-95.
- Rohmert, W. (1973b), Problems of determination of rest allowances, Part 2 : rest allowances in different human tasks, *Applied Ergonomics*, **4**(3), 158-162.
- Sbriccoli, P., Solomonow, M., Zhou, B-H., Baratta, R-V., Lu, Y., Zhu, M-P., Burger, E-L. (2004), Static load magnitude is a risk factor in the development of cumulative low back disorder, *Muscle and nerve*, **29**(2), 300-308.
- Sparto, P-J., Parianpour, M., Reinsel, T-E., Simon, S. (1991), The effect of fatigue on multijoint kinematics, coordination and posture stability during a repetitive lifting test, *Journal of Sports Physiotherapy*, **25**, 3-12.