

등척성 신전 작업시 요추근육의 적정피로회복시간 산정 Trunk muscles fatigue and recovery time during repetitive isometric extension tasks

박 태 현 , 김 정 룡
한양대학교 산업공학과

Abstract

중량물을 다루는 작업들 중 허리를 이용한 들기작업은 LBP(Low Back Pain) 및 기타 상해들을 유발한다. 실제 작업장에서 허리 상해에 대한 문제가 중요하게 부각됨에도 불구하고, 허리근육을 대상으로 피로회복의 효과에 대한 연구가 적절하게 제시되고 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 이같은 문제점을 해결하기 위해 Sub-maximal 상태에서 유발된 근육의 피로가 초기 상태로 회복되기 위한 휴식시간을 EMG를 통하여 정량적으로 산정하였다. 그 결과, 휴식시간에 따른 피로 회복이 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 본 결과는 허리요소작업이 들어 있는 실제작업장에서 작업의 반복에 따른 적절한 휴식시간을 정량적으로 제시하는데 필요한 기초자료를 제공함으로써 허리에 관련된 근골격계 질환을 예방하고자 하는데 이용될 수 있는 것으로 기대한다.

1. 서론

중량물을 취급하는 작업장에서 흔히 발생하는 허리를 이용한 들기 작업(Lifting Task)은 LBP(Low Back Pain) 및 기타 상해들을 유발하고 있다. NIOSH(National Institute of Safety and Health)에서는 작업 중 발생하는 허리의 상해 비율이 점점 증가하는 것을 인식하고, 들기 작업을 위한 작업기준을 제시하여 작업자가 취할 수 있는 중량물의 한계를 줄이도록 유도하였다. 이러한 작업기준임에도 불구하고 현장에서는, 지속적이고 반복적인 작업을 하는 작업자들은 누적근육피로에 의한 상해가 유발되고 있는 실정이다. 그러므로, 이러한 누적근육피로 유발을 방지하기 위해 짧은 단위의 작업시간 및 휴식시간을 제시하는 것은 상해예방차원에서 효과적이라 할 수 있겠다.

최근까지 여러 국부근육피로와 회복시간과의 관계에 대한 다양한 연구가 있어왔다. Jow와 Clark(1989)은 턱근육을 통하여 휴식시간과 지속시간(Endurance time)과의 관계를 알았고, Cornwall(1994)은 오른쪽 네갈래근(Quadriceps)의 등척성 수축을 통하여 지칠때까지 유지시간을 보았고, 그에 따른 비율로 60분일 때 90.96%회복율이 됨을 보았다. Hermans(1998)은 팔근육의 유지를 통하여 휴식시간에 따른 어깨와 목근육의 피로와 회복을 보고자하였다. 이로부터 낮은 힘을 지속시키는 작업은 그에 따른 힘의 회복시간이 길어야 됨을 제시하였다.

이와 같이, 현재까지의 연구는 주로 팔, 목, 어깨와 같은 국부근육 피로회복을 통하여, 작업시간과 그에 따른 휴식시간과의 관계에 관한 연구가 대부분이었다. 하지만, 실제 작업장에서는 이러한 근육들에 대한 상해보다 허리상해에 대한 문제가 중요하게 부각됨에도 불구하고, 허리 근육을 대상으로 하는 피로회복효과에 대한 적절한 예가 제시되고 있지 않다.

본 연구에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해, 일반 작업장 및 실험실에서 쓰이는 Sub-maximal한 부하가 허리근육에 가해지는 상태에 대해, 근육의 피로가 초기 상태로 회복되기 위한 휴식시간의 길이를 정량적으로 산정하고자 하였다. 이를 통하여, 작업장에서와 모의실험상황에서 제시되는 작업에 대하여, 등척성 신전작업시 피로 누적효과를 줄이기 위한 적정 휴식시간을 제시해 주고, 이로부터 반복작업에 대한 피로누적효과를 개선함과 동시에, 허리와 연관된 작업에 대해 누적피로로 인한 근골격계 질환을 예방하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 실험가설

들기 작업에 주로 쓰이는 요추근육을 대상으로, 휴식시간이 근육피로에 영향을 주지 않는다는 것을 귀무가설로 설정하였다.

2.2 근육선정

들기 작업을 하는 동안 허리근육에 걸리는 부하를 측정하기 위해 굽힘/펼 동작의 주된 제어 역할을 하는 Erector Spinae(ES)(조영진, 1998)근육을 대상으로 하였고, 측정 부위는 첫 번째 요추(L1)부위와 세 번째 요추(L3)부위를 대상으로 좌·우 4부위를 실험하였다.

2.3 피실험자

피실험자는 평균나이 27.2세이고, 평균키 172cm, 평균몸무게 68.2kg 인 5명의 남자 대학원생으로써 모두 자발적으로 참가하였고, 이들은 모두 과거에 허리로 인한 상해의 경험이 없는 건강한 신체상태를 소유하고 있다.

2.3 실험장비

등척성 수축(Isometric Contraction)조건하에서 허리의 신전운동을 실시하기 위하여 인체공학연구소에서 제작한 ITEF(Isometric Trunk Exertion Frame)를 사용하였다. 피실험자의 자세를 일정하게 유지하기 위하여 엉덩이와 발목부분을 고정시킨 뒤 MVC(Maximum Voluntary Contraction)을 측정하였고, 일정한 수준의 %MVC를 유지하기 위하여 Bongshin Loadcell 500BBP를 사용하였다. 개인마다 시각적으로 관찰하기 위하여 Digital Indicator BS-300A와 연결하였고, 선택한 근육으로부터 신호를 추출하기 위하여 Coulborn Instruments사의 EMG system을 PC와 연결하여 사용하였다.

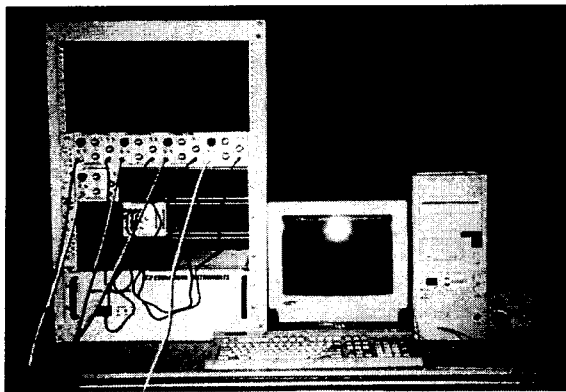


그림 1. PC와 연결된 EMG system

2.4 실험계획

%MVC에 따른 휴식시간의 영향을 보기 위해 독립변수는 휴식시간(1분, 2분, 3분, 4분, 5분)으로 정하였고, 그에 따른 회복효과를 평가하기 위해 매개변수는 MPF(Mean Power Frequency)를 종속변수로 하여 1인자 5수준 Within-subject Design을 계획하였다. 한 피실험자당 각 수준에 따른 휴식시간에 대해 5회 반복실험(1회실험 - 휴식시간 - 2회실험 - 휴식시간 - 3회실험 - 휴식시간 - 4회실험 - 휴식시간 - 5회실험)을 연속적으로 실시하였다. Sub-maximal한 상태인 %MVC는 실험계획상 75%, 50%, 25%중 예비실험을 통해 1차적으로 50% MVC만을 실시하였다. MPF는 정명철(1998)의 연구에서 높은 %MVC에 대하여 피로를 평가하는데 높은 민감도를 보여주는 것으로 제시되어 종속변수로 사용하였다.

표 1. 1-factor 5수준 Within-Subject Design

반복회수 힘의 수준 및 휴식시간	1회	2회	3회	4회	5회
	50% MVC	1분	S1 ~ S5		
	2분	S1 ~ S5			
	3분	S1 ~ S5			
	4분	S1 ~ S5			
	5분	S1 ~ S5			

2.5 실험 방법

실험하기 전에 편안한 복장을 착용하고 피실험자에게 실험목적과 주의사항을 전달하였다. 피실험자를 ITEF위에 엉덩이와 발목을 고정시키고 알코올로 표면전극 부착위치에 표면처리한 후, L1부분과 L3부분의 ES를 대상으로 좌-우, 4 channels의 표면전극을 부착시켰다. 실험자의 MVC를 구하기 위해 피실험자에게 선자세에서 3회에 걸쳐 5초간 힘을 내게 하였다. 본 실험에서는 50% MVC에 대하여 1회당 20초동안 등척성 신전 작업과 같은 자세를 유지하게 하였고, 휴식시간(1분, 2분, 3분, 4분, 5분)을 시행사이에 배치하여 한수준당 5회 반복 실험하였다. 휴식시 피실험자로 하여금 모니터를 주시하게 하여 4 channels의 표면전극으로부터 힘 사용을 최대한 줄일 수 있도록 유도하였다.

2.6 분석방법

수집된 데이터를 분석하기 위하여 Windaq소프트웨어를 사용하였다. MPF값의 시간에 따른 추이를 분석하기 위하여 데이터를 1초간격으로 20개 구간 각각을 1024-point FFT분석을 실시하였다. MPF값의 Normalization 분석을 위하여 20초동안 수집된 데이터의 1회 앞부분 3초간을 사용하여 매회 뒷부분 3초간을 Normalization하였다. Normalization MPF값들을 비교하기 위해 SAS 통계 패키지를 사용하여 각 분별 분산분석을 실시하였다.

3. 연구결과

3.1 개인별 MVC 측정

중립자세에서 각 피실험자가 최대로 낼수 있는 힘의 크기를 측정하였다. 3번의 반복측정을 통해 이상치가 없으면 3개의 값을 평균하여 MVC값으로 사용하였고, 이상치가 있을 경우, 하나를 제거하고 나머지 두값의 평균을 MVC값으로 사용하였다. 피실험자 개인별 MVC의 평균은 48.96kg·force이고 표준편차는 4.06kg·force으로 나타났다.

3.2 휴식시간에 따른 MPF결과

본 연구의 실험계획에 의해 시간에 따른 Normalized MPF값이 감소하는 경향을 나타냈다. 휴식시간 사이의 관계를 파악하고자 분산분석을 실시하여, [표 2]에서 결과를 제시하였다.

표 2. 채널별 휴식시간에 따른 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
Rest time(ch_0)	4	0.0851	0.0212	1.70	0.1997
Rest time(ch_1)	4	0.1106	0.0276	9.03	0.0005
Rest time(ch_2)	4	0.0826	0.0206	7.50	0.0013
Rest time(ch_3)	4	0.7147	0.0178	2.8	0.0615

유의수준 : 5%

[표 2]에서 채널별 휴식시간에 따른 분산분석 결과 채널 1과 채널 2에서 유의한 차이를 보였고 휴식시간에 대한 누적피로를 보여주었다. 이로부터 누적피로효과를 보기 위해 채널1과 채널2를 대상으로 분석하였다.

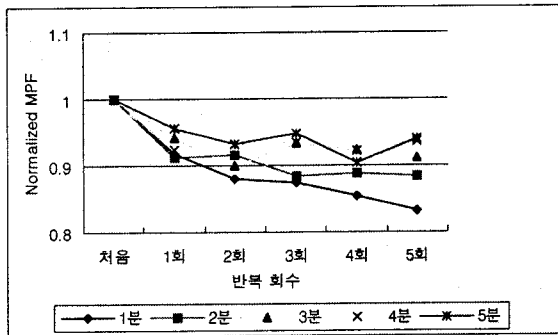


그림 2. 채널 1의 Normalized MPF 변화

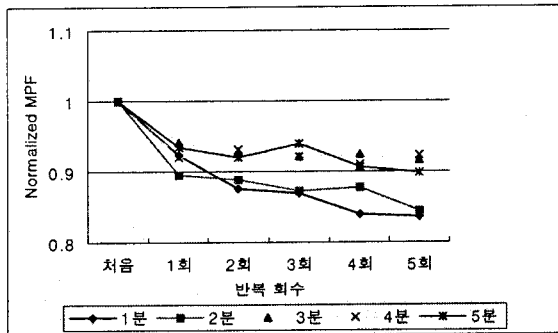


그림 3. 채널 2의 Normalized MPF 변화

[그림 2]과 [그림 3]에서와 같이 '처음'에서부터 반복회수가 증가할수록 Normalized MPF값들이 감소하는 경향을 보여주고 있고, 이로부터 반복회수 및 휴식시간에 대하여 근육이 피로해져 가는 것을 알 수 있다. 휴식시간이 짧아질수록 Normalized MPF값들이 떨어지는 정도가 점점 커지면서, 휴식시간이 1분일 때 가장 많이 감소하는 것을 볼 수 있다.

본 연구를 통하여 유의수준 5%에서 채널1과 채널2는 휴식시간에 대하여 유의한 차이를 보이고 있다. 이로부터 유의한 결과가 나온 채널1과 채널2에 대하여 Post-hoc Test를 실시하였고 표3에서

제시해주었다.

표 3. 휴식시간별 채널의 Post-hoc Test (DUNCAN Grouping)

	1분	2분	3분	4분	5분
채널1	A	A	B	B	B
채널2	A	AB	BC	BC	C

휴식시간별 채널의 Post-hoc Test 결과는 [표 3]에서 제시한 대로 유의수준 5%에서 휴식시간이 3분, 4분일 때 5분과 그룹핑이 되었다. 이는 3분, 4분은 다음 작업에 피로영향을 끼치지 않는다고 볼 수 있다. 반면, 1분, 2분일 때에는 다음 작업에 영향을 끼쳐 피로효과를 주는 것을 알 수 있다.

본 연구의 실험계획에서 반복의 실험을 통해 피로 누적을 알아보려고 하였다. 채널1과 채널2가 반복에 대한 효과에 대해 영향을 받는지, 알아보기 위해 회수별 휴식시간에 대한 분산분석과 Post-hoc test를 실시하여 [표 4]에 결과를 제시하였다.

표 4. 회수별 휴식시간에 따른 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
min3_ch1	4	0.0063	0.0015	2.88	0.567
min4_ch1	4	0.0005	0.0001	0.23	0.9177
min5_ch1	4	0.0081	0.002	0.67	0.6220
min3_ch2	4	0.0024	0.0006	0.47	0.7550
min4_ch2	4	0.001	0.0002	0.54	0.7118
min5_ch2	4	0.0055	0.0013	0.94	0.4642

유의수준 : 5%

[표 4]에서와 같이, 3분, 4분, 5분에서의 회수에 대한 휴식시간은 유의 수준 5%조건하에서 모두 유의하지 않음을 알 수 있다. 즉 3분, 4분, 5분에서는 5회 반복작업일 경우 회수에 대해서 영향을 받고 있지 않다 할 수 있다.

4. 토의

기존의 허리를 이용한 실험에서는 %MVC를 유지하는 실험에서는 휴식시간을 과거에 해왔던 자료에 의하여 임의적으로 설정하여 실험하곤 하였다. 물론, 전체실험의 시간이 길어지다 보면 자연적으로 실험사이의 간격이 좁아지게 되고, 이로부터 실험사이의 부적절한 간격에 의하여 진행되기 마련이다. 그러나 부적절한 간격에 의해 진행된 실험은 다음실험에 피로 영향을 주어 전체적으로 부적절하

게 누적된 피로 효과가 가미된 결론이 나오기 마련이다. 실험실 상황뿐만 아니라, 실제 작업장에서도 무리한 반복작업에 대하여 적절한 휴식시간이 제시되어 있지 않고 경험에 의해 무리하게 작업을 진행하는 것이 보통이다. 이때, 작업자는 누적피로를 받게 될 것이고 결국은 근골격계 질환으로 이어질 가능성이 잠재되어 있다. 본 연구는 이러한 상황을 개선하기 위해, 실제 실험상에서 간과할 수 있는 누적근육피로를 제거시켜 다음실험에 피로 효과를 주지 않도록 하는데 의의가 있다.

본 연구로부터 50% MVC작업은 작업간격이나 휴식시간을 1분이나 2분으로 될 경우 이전 작업의 영향을 받아 다음 작업을 하는데 영향을 줄 것이다. [표 3]에서와 같이 3분에서부터 그룹화가 되어, 근육의 누적 피로가 발생하지 않았음을 알 수 있다. 이것은 누적 피로를 제거하기 위해 최소한 3분 이상의 휴식시간 내지는 작업간격을 주어야 한다는 것을 의미한다.

본 연구에서 제시하여준 50% MVC는 실제 작업장에서 힘든 일을 할 때 주로 쓰이는 수준이고 NIOSH에서 규제하는 작업수준이다. 그러나, 실제로 작업장에서는 25% MVC의 반복작업이나 75% MVC까지도 작업장에서 이루어질 수 있다. 그러나 반복효과로 인한 75% MVC는 실험자에게 과도한 Load를 요구하여 실험을 배제하였으나 추후에 시도될 수 있는 실험계획일 수 있고, 25% MVC에 의한 반복작업도 추후에 시도될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 등척성 신전작업시 누적근육피로에 따른 근골격계 질환가능성을 예방하기 위해 작업에 따른 적절한 휴식시간을 제시하여 주고 있다. 그리하여 50% MVC에는 3분의 휴식이 적절하다는 것을 보였다. 이는 작업장에서뿐만 아니라 실험상황에서도 누적피로효과를 줄일 수 있는 방법이라 할 수 있겠다.

본 연구의 결과는 차후 근골격계 질환예방차원에서 중량물을 드는 작업장 내지는 실험실 상황에 적용하여 동적인 활동을 고려한다면 작업장에서의 실질적인 적용을 할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

조영진, 김정룡(1998). "모의 들기작업시 각도에 따른 허리근육의 근전도 및 피로도 변화", *대한인간공학회추계학술대회*, 183-188

정명철, 김정룡(1997). "근육 피로도 분석시 사용되는 매개변수들간의 민감도 비교연구", *대한인간공학회추계학술대회*, 406-413

Cornwall, M.W. (1994). Muscular fatigue and recovery following alternating isometric contractions at different levels of force. *Aviat Space Environ Med* Apr;65(4);309-14

Hermans.(1998). Recovery of muscular effort after a sustained submaximal task. *Advances in Occupational Ergonomics and Safety*.

Jow, R.W. and Clark, G.T.(1989). Endurance and Recovery from a sustained isometric contraction in human jaw-elevating muscles. *Arch Oral Biol* ; 34