단순반복 근로자의 근육피로도에 관한 EMG분석†

(The EMG Measurement of Simple and Iterative Worker's Muscle Fatigue)

서승록* 임완희*
(Seung-Lock Seo) (Wan-Hee Im)

요 약 신종 직업병 중 누적외상성질환(Cumulative Trauma Disorders)은 고도로 분업화된 현대 산업환경에서 주로 수작업을 수행하는 종사자에게 발생된다. 본 연구는 단순반복근로자의 누적외상성질환에 노출되는 정도를 EMG시스템을 이용하여 분석한 결과는 다음과 같다. AEMG에서는 작업경과에 따라 근피로도는 증가하다가 작업 완료시에는 근피로도가 내화벽돌을 들기전보다 감소하였다. MF와 MPF에서는 천극근, 다열근의 근피로도가 많은 것으로 나타났다. ZCR에서는 모든 내화벽돌의 무게에서 작업전과 작업후의 근피로도가 가장 낮게 나타났다. 종합적으로 작업진행이 계속됨에 따라 근육피로도는 증가하고 있었고, 단순반복운반작업시에 천극근과 다열근에 대한 근피로도가 큰 것으로 나타났다.

Abstract The CTD(Cumulative Trauma Disorder) as a new kind of occupational disease occurs mainly to workers on handling line under the highly-specialized industrial environments. This study took into account their exposure to Cumulative Trauma Disorders(CTD) by the utilization of EMG system, with respect to worker's muscle fatigue test according to fulfillment of iterative and simple task. The findings of this study were as follows : From the result of AEMG test analysis, worker's fatigue extent according to elapsed time of task was inclined to be increased continually. On the other hand, after its task ending, their fatigue extent was inclined to be decreased than before-circumstance of refractory brick lifting. The transference of MF(Median Frequency) and MPF(Mean Power Frequency) had highly significant difference between muscle fatigue and the elapsed time of work. Especially, their fatigue extent to erectorspinae and multifidus to lift firebrick was increased in the mean time. The transference of ZCR(Zero Crossing Rate) had considerable significant difference between muscle fatigue and the elapsed time of work. In short, as the work went on, the muscle fatigue extent increased gradually. Thus, it can be concluded that the fatigue of erectorspinae and multifidus extent according to fulfillment of iterative and simple task is gradually being increased.

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

신종 직업병 중 누적외상성질환(CTDs)은 고도로 분업화된 현대 산업환경에서 주로 수작업을 수행하는 종사자에게 발생되는데, 단순화된 반복작업과 강한 노동강도에 의하여 목, 팔, 어깨로 이루어지는 상지의 통증, 저림과 마비의 증상으로 시작되는 것이 일반적이다.[3].

'OSHA 200 Logs'에 의해 집계된 직업병 통계(사기업 대상)를 보면 1981년도에 누적외상성질환의 발생 23,000건이 15년 후인 1995년도에는 약 13.4배 증가한 308,200건으로 전체 직업병 건수의 62.3%를 차지할 정도로 급속히 증가하여 산업안전보건의 가장 심각한 문제 중의 하나로 대두되고 있다.[7].

이렇게 누적외상성질환이 급증한 이유는 사무자동화의 급진전과 함께 노동강도의 강화 또는 단순반복작업의 세분화 등에 그 원인이 있을 수 있으나, 그 동안 개인적인 문제로만 여겨왔던 누적외상성질환의 문제가 직업병으로 인식되면서 이에 대한 환자가 급증했을 것으로 추측된다. 이에 최근 20여년간 외국에서는 누적외상성질환 감소를 위한

* 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

† 이 논문은 2000학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

꾸준한 연구가 수행되어 왔다. 반면, 국내에서는 최초로 누적외상성질환을 공식적인 업무상 질병으로 인정된 1986년 M방송국의 타자수로 근무하는 여직원의 단순반복 타이핑 작업으로 인한 누적외상성질환 노출에 따른 행정소송결과 직업병으로 인정된 이래, 대책활동은 1989년 영상단말기(VDT) 작업이 처음이었고(근로복지공단, 1997), 발생 현황은 '94년에 20건, '96년도에는 약 17.7배 증가한 354건으로 전체 직업병 건수에서 24.7%를 차지하고 있으며 계속 증가 추세에 있는데 비해 관련연구는 매우 미비한 실정이다.[1].

따라서, 단순반복작업이 누적외상성질환에 영향을 미치고 있는가를 분석하는 것에 대한 연구의 필요성을 갖는다.

1.2 연구배경

단순반복작업은 인력에 의해 몇 시간동안 또는 그 이상 오랜 시간을 두고 반복적인 작업이 지속되는 것을 의미한다. 이와 같은 반복작업으로 인한 장애는 갑작스럽게 일어나는 것이 아니라, 작업속도가 빠른 상태에서 힘을 주어 작업하는 경우, 또는 불편한 작업자세에서 장시간 정적인 작업을 계속할 때 주로 발생한다. 또한 단순반복작업은 내용상에 변화가 없거나, 휴식 시간 없이 손과 팔을 과도하게 사용할 경우를 말하는데 이때에도 재해발생의 가능성이 높다. 단순반복작업의 특성은 인체의 한 부분 즉, 근육이나 관절, 인대조직이 고르게 이용되지 않고 일부분만이 계속해서 반복 사용되기 때문에 상대적으로 이용되지 않는 조직들이 약화되는 반면, 반복 사용되는 근육은 피로하거나 지나치게 강화되어 근육의 불균형을 이루게 된다.[8].

이에 대해 박정일 외(1989)는 국제전화교환원들을 대상으로 자각증상조사와 작업자세 평가 그리고 이학적 검진을 실시한 결과, 작업자들의 근압통 유병율을 보고하였는데 어깨(28.6%), 팔(25.5%), 목(5.2%), 허리(2.8%), 손(2.4%) 등의 순서로 나타났다고 하였다.[2].

차봉석 외(1996)는 전화교환원 89명을 대상으로 한 자각증상조사를 통해 증상호소율 : 어깨(98.9%), 목(91.2%), 손(89.9%), 허리(89.9%), 팔(88.9%), 등(87.8%), 하지(85.6%)의 순으로 나타났다고 하였다.[5].

이상에서와 같이 지속적으로 늘고 있는 유병율연구가 주로 교환이나 전산직 등 사무관련직에 집중되 있는 점에 감안하여 본 연구에서는 중량물을 운반하는 단순반복근로자를 대상으로 근육피로도의 변화를 밝히기 위해 기존 연구에서 벗어나 다양한 직종에의 접근을 통한 연구에서 그 의의를 갖는다.

1.3 연구의 목적

본 연구는 내화벽돌의 단순반복운반근로자의 누적으로 인한 외상성질환에 노출되는 정도와 누적외상성질환이 갖는 유병율의 관계와 그 대책을 마련하는데 필요한 연구라 할 수 있다. 따라서, 본 연구는 단순반복작업인 5Kg, 10Kg, 15Kg의 내화벽돌운반작업시 8개 동원 근육의 근전도를 분석하여 근육피로도를 밝히는 것을 목적으로 한다.

2. 근육피로도 측정방법

2.1 근육피로도

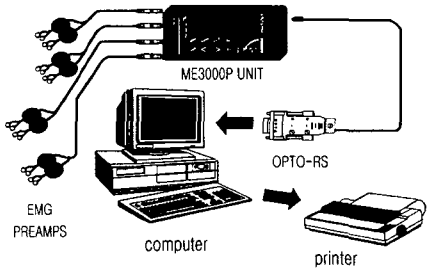
인간의 근수축은 대뇌의 지령을 받아 신경전도를 거쳐 근내의 액틴(actin)과 마이오신(myosin)의 결합으로 일어나는데 이러한 근육활동을 평가할 수 있는 지표중의 하나가 근전도(EMG)분석을 이용한 방법이다. 근전도분석은 근수축에 동반하여 근이 발생하는 활동전위(action potential)를 증폭기록한 것이지만, 근수축 발현의 배후에는 신경계의 흥분 활동이 관여하고 있다.

현재 근전도분석을 통한 누적외상성질환 규명에 대한 EMG 연구경향은 적분 EMG와 장력의 관계, 단일 운동단위(single motor unit)의 동원의 형태, 근력평가의 척도 그리고 활동시의 근피로 등의 평가에 주로 이용되고 있다.

EMG 신호의 파형을 유형별로 비교 분석하여 말초신경과 신경근 연접부 및 골격근에 나타나는 이상 상태를 검사하는 임상의학적 진단에 주로 이용되고 있다.

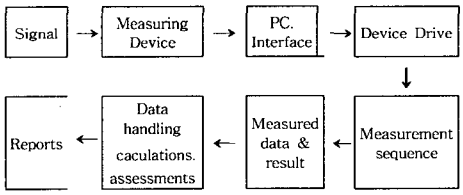
근육피로도에 대한 분석은 EMG 신호의 진폭이나 주파수를 비교 분석하여 운동단위의 종류, 근수축 지속시간에 따른 근육의 피로 현상 및 근력의 변화에 따른 근육의 피로 분석에 주로 이용되고 있다. 이러한 분석 방법에는 주파수 분석, 진폭분석 및 AEMG 분석 등이 널리 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서도 위에서와 같은 방법을 적용 측정하고자 한다.

EMG측정도구는 <Figure 1>과 같으며, EMG(MEGA ME 3000P, Mega Electronics, Ltd., Kupio, Finland)의 근활동 샘플링은 1000HZ의 빈도에서 수행되고 유선 광케이블을 통하여 컴퓨터에 저장하였다. ME 3000P는 독립적인 저장 능력으로 데이터 기록 및 수집기능을 지닌 소형의 휴대용 마이크로 컴퓨터로 측정된 데이터를 증폭하여 저장시키며, 증폭기는 표면전극에 직접 연결된다.



<Figure 1> The equipment for EMG measurement

EMG 전치증폭기(pre-amplifier)의 측정감도는 +/-1㎶이며, 양극 EMG신호의 측정범위는 +/-5000㎶이다. 그리고 각각의 EMG채널용 AD변환기는 12bit이며, 최대 샘플링 빈도는 2000Hz/channel이다. 또한 자료의 수집, 분석을 위하여 Mega사에서 제공된 Megawin 프로그램을 이용하였으며, 시스템 구성도는 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2> System diagram of Megawin

또한, 본 연구에서 분석될 근피로도는 다음 식(1)과 같이 정의 한다.

$$\text{averaged integrated EMG} = \frac{\int_0^{1023} |data|}{1024} \quad (1)$$

한편 EMG 신호로부터 근육 피로정보(fatigue information)를 알 수 있는데 이는 국부근육의 피로 발생 여부를 알아보기 위해 사용된다. 그 중 첫 번째 방법은 ZCR(Zero Crossing Rate)에 의한 방법인데 EMG가 x축을 통과했는지 세는 것으로 피로 측정을 한다. 근육피로는 또한 EMG의 주파수분석을 통하여 알 수 있는데 FFT(Fast Fourier Transform)알고리즘을 이용하여 MPF(Mean Power Frequency), MF(Median Frequency)는 각각 주파수의 평균과 중앙값으로 정의한다.

MPF는 다음 식(2)와 같이 정의된다.

$$MPF = \frac{\int_0^{\infty} fS(f)df}{\int_0^{\infty} S(f)df} \quad (2)$$

$$S(f) = Re^2 + Im^2$$

$S(f)$ = *power spectrum*,
Re = *real term*,
Im = *imaginary term*.

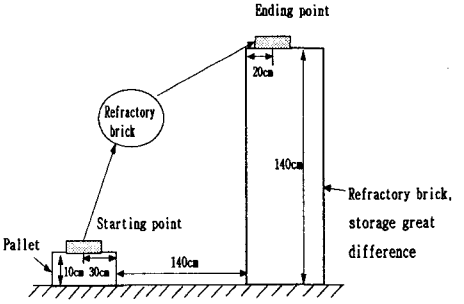
MF는 다음 식(3)과 같이 정의된다.

$$\int_0^{MF} S(f)df = \int_{MF}^{0} S(f)df = \frac{1}{2}\int_0^{\infty} S(f)df \quad (3)$$

2.2 실험설계

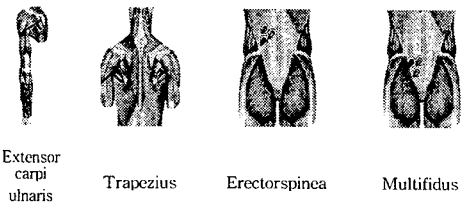
실제 작업현장에서 적재작업이 이루어지는 것을 모형화하여 실험을 하였으며, 수작업으로 내화벽돌을 적재할 때 피실험자의 근피로도를 알아보고 그에 따른 누적외상성질환과의 관계를 파악하였다.

적재작업의 수작업 모형은 <Figure 3>과 같으며,지면으로부터 10cm 높이에 위치한 각각 5kg, 10kg, 15kg의 중량을 갖는 내화벽돌을 들어서 140cm 떨어진 높이 140cm정도의 대차에 올려놓는 작업으로 설정하였다. 또한, 실험실의 피실험자와 작업현장의 피실험자는 동일인으로 실험하였으며, 실험실 온도 및 습도는 작업현장과 유사할 때 실시하였다.



<Figure 3> The schema of load handling

본 연구에서 분석에 사용될 근육은 상지근육중 사용빈도가 높은 척측수근신근(Extensors ulnaris carpi), 승모근(Trapezius), 천극근(Erectorspinea), 다열근(Multifidus)의 4개 근육을 선택하였으며, 좌우에 4채널씩 대칭으로 8채널을 조사하였다. 각 근육부위는 <Figure 4>와 같다.



<Figure 4> Muscle selected for muscle fatigue analysis

<Figure 5>는 피실험자의 근피로도 측정을 위하여 선정한 근육부위에 전극을 부착한 모습을 나타낸 것이다.

<Figure 5> The subject under electrode attachment

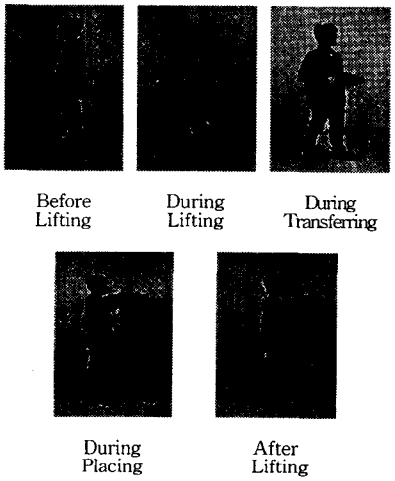
실험작업인 내화벽돌 적재작업을 들기전, 들 때, 옮길 때, 놓을 때, 들기후로 총 다섯 시점으로 <Table 1>과 같이 나누어 근전도 측정을 하였다. 또한 내화벽돌을 옮길 때 근육의 반응을 보기 위하여 내화벽돌을 들어서 내려놓는 시점까지 한번으로 하여 10초간 측정하였다. 측정항목은 AEMG, MF, MPF, ZCR을 사용하였다.

들기 작업에서 사용되어진 내화벽돌은 5kg, 10kg, 15kg 이며, 각 내화벽돌마다 10번씩 옮겼다. 피실험자 1인당 실험횟수는 총 30번이며, 전체 실험횟수는 300번이다.

<Table 1> Interval of EMG measurement

10 seconds measurement	←	10 seconds measurement	→	10 seconds measurement
① Before Lifting	② During Lifting	③ During Transferring	④ During placing	⑤ After Lifting

<Figure 6>은 실험실에서 적재작업의 모형화 동작과정을 들기전, 들 때, 옮길 때, 놓을 때, 들기후의 동작과정을 나타낸 그림이다.



<Figure 6> Motion processing of load work

실험에 참여한 피실험자들은 만 20세~30세의 남자들로서 근골격계 장애가 없는 건강한 사람으로 10명을 선정하였다. <Table 2>는 피실험자 특성으로서 age ave. 25.5세, height ave. 172cm, arm length ave. 81cm로 나타났다.

<Table 2> Changes in characteristics concerning worker's handling

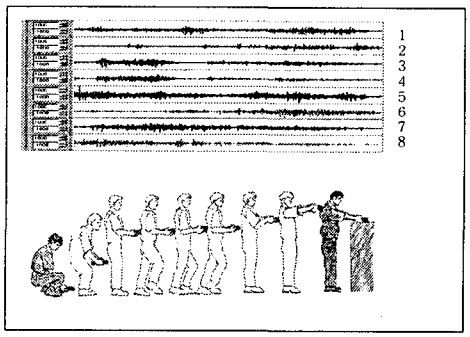
age		height		arm length(cm)		length from elbow to end(cm)	
ave.	SD	ave.	SD	ave.	SD	ave.	SD
25.5	2	172	5.9	81.0	3.6	44.3	1.7

3. EMG 측정결과 및 고찰

3.1 시간경과에 따른 EMG측정

시간경과(들기 전, 들어서 옮겨 놓을때(들 때, 옮길 때, 놓을 때), 들기 후)에 따른 EMG 신호측정의 샘플링 빈도(sampling frequency)를 1000Hz로 선정하여 10초간 측정한 결과를 다음 <Figure 7>에 나타내었다.

각 우측에 나타낸 숫자는 근육을 나타낸 것이며, 1에서 4까지는 좌측 근육의 빈도를 나타낸 것이고, 5에서 8까지는 우측 근육을 나타낸 것이다. 1은 extensor C.U.(L), 2는 trapezius(L), 3은 erectorspinae(L), 4는 multifidus(L), 5는 multifidus(R), 6은 erectorspinae(R), 7은 trapezius(R), 8은 extensor C.U.(R) 근육의 빈도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 내화벽돌을 들 때 척측수근신근(L,R), 천극근(L), 다열근(L,R)에서 EMG 신호가 높고, 옮길 때 척측수근신근(L,R), 승모근(R)에서 EMG 신호가 높았으며, 놓을 때 척측수근신근(L), 승모근(L), 천극근(R), 다열근(R) 부위에서 높은 EMG신호가 들어 왔다. 이는 근피로도가 높다는 것을 나타낸다.



<Figure 7> EMG measurement according to the elapsed time of labor

3.2 근력분석(AEMG)

<Table 3>은 무게별, 근육별 AEMG의 측정결과를 나타낸 것이다.

5kg, 10kg, 15kg의 내화벽돌 작업에서 모두 들기전과 들기후의 근피로도가 가장 낮게 나타나고 있으며, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타나고 있다. 근육별로는 5kg의 경우 척측수근신근(L), 승모근(L), 다열근(R), 천극근(R)은 놓을때의 근피로도가 가장 높게 나타났으며, 다열근(L), 승모근(R), 척측수근신근(R)은 옮길때의 근피로도가 높게 나타났다. 10kg의 경우는 승모근(R)은 들 때 가장 높은 근피로도를 나타냈고, 승모근(L), 척측수근신근(R)은 옮길 때 가장 높은 근피로도가 있었으며, 척측수근신근(L), 승모근(L), 다열근(R), 천극근(R)은 놓을 때 가장 높은 근피로도가 나타났다. 15kg의 경우는 승모근(R)은 들때가 가장 높은 근피로도를 보이고 있었으며, 천극근(L), 다열근(L), 척측수근신근(R)은 옮길 때가 가장 많고, 척측수근신근(L), 승모근(L), 다열근(R), 천근근(R)은 놓을 때 가장 높은 근피로도가 있는 것으로 나타났다.

<Table 3> Changes in AEMG according to the elapsed time of labor(μv)

Weight	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Translating	During Placing	After Lifting
5kg	extensor C.U.(L)	2.0	15.1	34.4	49.6	1.6
	trapezius(L)	4.2	15.4	45.4	58.7	5.7
	erectorspinae(L)	6.3	24.3	24.6	25.2	6.1
	multifidus(L)	2.6	30.3	32.8	23.1	2.5
	multifidus(R)	1.7	21.1	29.5	45.9	1.7
	erectorspinae(R)	4.9	21.0	65.7	126.4	5.9
	trapezius(R)	6.1	39.2	38.5	30.0	5.4
	extensor C.U.(R)	3.0	26.4	34.0	17.7	2.7
10kg	extensor C.U.(L)	3.1	28.6	64.0	97.5	2.1
	trapezius(L)	7.2	29.0	83.9	114.7	11.1
	erectorspinae(L)	10.9	46.8	44.8	47.5	12.0
	multifidus(L)	3.0	58.6	59.8	43.5	3.0
	multifidus(R)	1.0	40.3	55.1	88.1	2.0
	erectorspinae(R)	7.9	38.7	121.9	249.4	10.9
	trapezius(R)	9.8	76.7	71.6	56.8	10.5
	extensor C.U.(R)	3.8	49.3	62.4	32.2	4.1
15kg	extensor C.U.(L)	7.8	45.1	102.4	146.7	6.2
	trapezius(L)	15.1	46.2	136.6	174.1	18.1
	erectorspinae(L)	20.9	73.2	148.9	75.8	18.9
	multifidus(L)	9.5	89.5	97.4	69.4	8.1
	multifidus(R)	6.7	63.7	88.4	136.9	7.6
	erectorspinae(R)	16.6	63.6	197.2	376.9	18.5
	trapezius(R)	19.1	118.0	117.1	90.3	14.6
	extensor C.U.(R)	10.8	79.3	100.5	53.8	7.8

3.3 근육의 피로분석

근육의 피로정도에 따라 ZCR, MPF, MF의 값들은 측정결과 값이 음(-)의 천이를 나타내는 것은 고주파에서 저주파로 천이를 한 결과를 나타내게 되는 것인데 이것은 근육의 피로를 나타내는 것이다[4,6].

<Table 4>는 무게별, 근육별 MF의 측정결과를 나타낸 것이다.

5kg, 10kg, 15kg의 내화벽돌 작업에서 모두 들기 전과 들기 후의 근피로도가 모든 근육에서 낮은 것으로 나타났

<Table 4> Changes in MF according to the elapsed time of labor(μv)

Weight	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
5kg	extensor C.U.(L)	31.5	35.3	43.1	49.6	35.4
	trapezius(L)	10.8	18.4	25.5	33.5	12.9
	erectorspinae(L)	9.7	20.0	21.8	27.1	9.0
	multifidus(L)	10.8	37.8	51.0	54.8	9.8
	multifidus(R)	26.5	38.0	39.7	44.4	24.0
	erectorspinae(R)	11.3	17.7	25.3	30.6	11.8
	trapezius(R)	9.8	23.6	28.2	29.4	10.5
	extensor C.U.(R)	10.6	29.2	40.1	44.0	10.2
10kg	extensor C.U.(L)	61.0	68.8	79.1	96.8	76.2
	trapezius(L)	20.5	35.1	46.5	64.3	26.8
	erectorspinae(L)	17.6	38.3	39.7	51.2	17.3
	multifidus(L)	20.0	74.0	93.5	107.0	19.9
	multifidus(R)	51.0	74.0	73.2	86.4	50.5
	erectorspinae(R)	20.6	32.7	46.1	58.7	23.0
	trapezius(R)	17.7	45.5	51.9	56.2	17.5
	extensor C.U.(R)	19.5	56.8	73.2	86.0	19.4
15kg	extensor C.U.(L)	93.6	104.8	137.5	146.1	103.6
	trapezius(L)	34.8	55.6	76.0	97.6	39.1
	erectorspinae(L)	31.1	59.9	65.3	80.5	27.1
	multifidus(L)	35.0	115.0	151.9	163.2	29.2
	multifidus(R)	81.3	114.8	119.1	129.6	70.3
	erectorspinae(R)	35.7	53.6	73.6	91.3	35.8
	trapezius(R)	31.2	70.0	84.4	86.3	29.4
	extensor C.U.(R)	33.7	88.0	120.3	128.7	28.1

으며, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타났다. 8개의 모든 근육에서 놓을 때가 가장 높은 근피로도를 보이고 있으며, 옮길 때, 들 때의 순으로 피로도가 적어지고 있었다. 즉, 작업이 경과할수록 근피로도는 증가하고 있음을 볼 수 있다.

<Table 5>는 무게별, 근율별로 MPF에 의해 분석된 결과이다.

5kg, 10kg, 15kg의 내화벽돌 작업에서 모두 들기 전과 들기 후의 근피로도가 대체적으로 낮게 나타났고, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타나고 있었다. 8개의 모든 근육이 놓을 때 가장 높은 근피로도를 보였으며, 옮길 때, 들 때의 순으로 피로도가 적어지고 있다

<Table 6>은 무게별, 근육별로 ZCR에 의해 분석된 결과이다.

5kg, 10kg, 15kg의 내화벽돌작업에서 모두 들기 전과 들기 후의 근피로도가 가장 낮게 나타나고 있으며, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타나고 있다. 근육별로는 척측수근신근(L), 승모근(L), 천극근(L), 다열근(R), 천극근(R), 승모근(R), 척측수근신근(R)은 놓을 때 근피로도가 가장 높게 나타났고, 다열근(L)은 옮길 때 근피로도가 높게 나타났다.

<Table 5> Changes in MPF according to the elapsed time of labor(μv)

Weight	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
5kg	extensor C.U.(L)	19.0	45.9	55.9	62.0	23.0
	trapezius(L)	16.5	23.2	29.5	41.3	17.9
	erectorspinae(L)	11.7	27.9	31.8	38.0	11.7
	multifidus(L)	15.0	49.3	65.7	68.2	14.3
	multifidus(R)	21.0	46.2	49.5	54.7	16.0
	erectorspinae(R)	15.3	21.9	26.9	34.6	16.0
	trapezius(R)	11.7	30.3	37.0	40.1	12.2
	extensor C.U.(R)	13.6	43.5	56.6	59.9	13.8
10kg	extensor C.U.(L)	34.0	90.0	103.7	121.5	41.0
	trapezius(L)	32.0	44.8	53.8	79.1	35.8
	erectorspinae(L)	21.5	54.1	58.1	73.2	21.2
	multifidus(L)	28.2	96.8	120.9	133.8	26.9
	multifidus(R)	31.4	89.6	91.5	106.3	35.6
	erectorspinae(R)	28.7	39.5	49.4	66.8	30.8
	trapezius(R)	21.6	56.9	67.7	77.8	21.1
	extensor C.U.(R)	25.4	84.0	103.8	116.5	24.9
15kg	extensor C.U.(L)	41.0	137.9	168.7	182.6	50.0
	trapezius(L)	52.9	69.2	88.0	122.4	53.2
	erectorspinae(L)	39.7	84.0	95.6	112.6	35.1
	multifidus(L)	48.0	148.6	196.8	200.2	42.3
	multifidus(R)	46.6	139.4	148.1	162.6	52.3
	erectorspinae(R)	49.1	65.5	80.5	101.1	47.1
	trapezius(R)	38.4	91.5	110.8	118.1	34.3
	extensor C.U.(R)	44.5	128.8	169.4	176.6	38.1

<Table 6> Changes in ZCR according to the elapsed time of labor(μv)

Weight	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
5kg	extensor C.U.(L)	35.1	80.1	111.6	127.0	17.5
	trapezius(L)	20.6	43.2	57.9	81.4	23.2
	erectorspinae(L)	10.6	53.8	71.8	83.0	10.9
	multifidus(L)	5.2	96.1	127.1	116.4	5.6
	multifidus(R)	2.0	83.7	98.1	107.2	9.3
	erectorspinae(R)	20.0	41.4	51.0	68.5	22.4
	trapezius(R)	6.8	56.1	76.9	87.2	7.6
	extensor C.U.(R)	6.7	78.8	96.6	107.7	5.9
10kg	extensor C.U.(L)	67.2	158.5	207.0	250.9	34.1
	trapezius(L)	40.1	84.6	106.8	159.9	51.6
	erectorspinae(L)	19.3	106.1	131.9	162.9	21.3
	multifidus(L)	8.5	190.5	234.6	230.2	7.3
	multifidus(R)	1.8	165.1	182.4	211.0	13.8
	erectorspinae(R)	38.1	80.3	94.8	134.5	46.0
	trapezius(R)	11.6	109.7	142.2	172.1	13.4
	extensor C.U.(R)	11.0	155.8	176.1	213.2	10.0

Weight	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
15kg	extensor C.U.(L)					
	trapezius(L)	105.7	240.7	331.7	381.5	59.3
	erectorspinae(L)	65.2	129.7	171.6	238.3	69.9
	multifidus(L)	33.2	161.2	212.2	237.8	32.2
	multifidus(R)	18.4	288.8	381.0	341.0	17.4
	erectorspinae(R)	10.1	251.1	292.8	315.2	29.3
	trapezius(R)	63.5	125.1	153.1	200.4	67.0
	extensor C.U.(R)	22.7	169.1	231.7	254.1	20.9
		21.8	237.0	281.1	315.3	14.9

3.4 EMG측정 결과의 통계적 분석

<Table 7>에서 나타난 것과 같이 작업경과와 근육별로 4가지 분석에서 모두 유의한 차이가 존재함을 알 수가 있었다.

AEMG에서는 작업경과별(F=133.854)로 근피로도에 대해서 유의수준 0.1%의 매우 유의한 차이를 보이고 있었으며, 근육별(F=18.843)로도 역시 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있다. 또한, 작업경과와 근육간의 상호작용(F=12.073)에 따른 근피로도에 대해서도 통계적으로 매우 유의한 차이를 보이고 있었다.

<Table 7> ANOVA table(10Kg)

AEMG	DF	ANOVA SS	Mean Square	F value	Pr>F
Time	4	460805.910	115201.478	133.858	0.000**
Muscle	7	113515.560	16216.509	18.843	0.000**
Time × Muscle	28	290928.090	10390.289	12.073	0.000**
MF	DF	ANOVA SS	Mean Square	F value	Pr>F
Time	4	132338.950	33084.737	362.102	0.000**
Muscle	7	95771.818	13681.688	149.742	0.000**
Time × Muscle	28	34491.970	1231.856	13.482	0.000**
MFP	DF	ANOVA SS	Mean Square	F value	Pr>F
Time	4	144829.375	36207.344	344.625	0.000**
Muscle	7	240040.918	34291.560	326.390	0.000**
Time × Muscle	28	124356.945	4441.319	42.273	0.000**
ZCR	DF	ANOVA SS	Mean Square	F value	Pr>F
Time	4	1927168.015	481792.004	757.643	0.000**
Muscle	7	197791.310	28255.901	44.434	0.000**
Time × Muscle	28	256711.865	9132.567	14.361	0.000**

**.001에서 유의한 차이가 있음

MF에서는 작업경과별(F=362.102)로 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있으며, 근육별(F=149.742)로도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있다. 또한, 작업경과와 근육간의 상호작용(F=13.482)에 대해서도 근피로도가 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

MPF에서는 작업경과별 근피로도(F=344.625), 근육별 근피로도(F=326.390) 그리고 작업경과와 근육간의 상호작용 역시 근피로도(F=42.273)가 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

ZCR에서는 작업경과별(F=757.643), 근육별(F=44.434) 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있다. 또한, 작업경과와 근육간의 상호작용(F=14.361)에 대해서도 근피로도가 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

단순반복운반작업을 하는데 있어서 관련된 근육들의 활동에 대한 EMG 측정을 실시하여 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, AEMG측정 결과, 근육과 작업결과별로 매우 큰 차이를 보이고(유의수준 0.1%수준), 작업경과에 따라 근피로도는 증가하다가 작업 완료시에는 근피로도가 내화벽돌을 들기전보다 감소하였으며, 이는 단순반복운반작업에서 횟수가 많아질수록 근피로도가 누적되는 것으로 나타났다.

둘째, MF와 MPF측정 결과, 근육과 작업결과별로 매우 큰 차이를 보이고(유의수준 .1%수준), 공통적으로 내화벽돌 운반전의 근피로도보다 운반후의 근피로도가 비슷하거나 좀 더 낮았으며, 전체적으로 AEMG때와 같이 천극근, 다열근의 근피로도가 더 많은 것으로 나타났고, 내화벽돌을 들고 유지하기 위해서 척측수근신근의 피로도도 높게 나타났다.

셋째, ZCR측정 결과, 근육과 작업결과별로 매우 큰 차이를 보이고 있었다.(유의수준 .1%수준) 모든 내화벽돌의 무게에서 작업전과 작업후의 근피로도가 가장 낮게 나타나고 있었다. 그리고, 천극근 및 다열근과 척측수근신근의 근

피로도가 가장 높은 것으로 나타났다.

결과적으로 작업진행이 계속됨에 따라 근육피로도는 증가하고 있었고, 단순반복운반작업시에 천극근과 다열근에 대한 근피로도가 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 작업자의 안전성을 높이기 위해, 들 때, 운반시, 내려놓을 때의 작업장 설계가 인간공학적으로 이루어져야 할 것임을 입증시킨 결과라 할 수 있으며, 단순반복운반작업에 대한 근피로도를 감소시키기 위해서는 작업공정의 개선이 요구된다.

참 고 문 헌

[1] 노동부, 「산업재해 분석」, 1997.

[2] 박정일, 조경환, 이승환, 「여성 국제 전화교환원들에 있어서의 경견완장애」, 대한산업의학회지, 1(2), 1989.

[3] 박희석, 이윤근, 임상혁, 「단순반복작업에 관한 인간공학적인 연구」, 직업병 예방을 위한 연구용역 보고서, 1997.

[4] 조영진, 김정룡, "모의 들기작업시 각도에 따른 허리 근육의 근전도 및 피로도 변화", 대한인간공학회 추계학술대회 논문, pp183-188, 1998

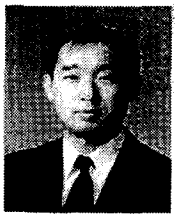
[5] 차봉석, 고상백, 장제진, 박창식, 「VDT 취급 근로자의 신체적 자각증상과 정신사회적 안녕상태의 관련성」, 대한산업의학회지, 8(3), 1996.

[6] 현수돈, 김정룡, "여성 하이힐이 허리 근육 피로에 미치는 영향에 관한 연구", 대한인간공학회 추계학술대회 논문, pp304-310, 1998

[7] OSHA, "Draft OSHA Checklist", 1995.

[8] Sadoyama, T., Masuda, T., & Niyano, H, "Relationships between muscle fiber conduction velocity and frequency parameters of surface EMG during sustained contraction", Eur. J. Appl. Physiol. 51, 1983.

서 승 록 (Seung-Lock Seo)
건국대 산업공학과 졸업
건국대 산업공공학과 석사
동아대 대학원 산업공학과 박사
대한인간공학회 이사
품질경영 100선 심사위원
중소기업청 대구경북 기술지도위원
현재 대구대학교 자동차·산업·기계공학부 교수
관심분야 : 인간공학적 시스템 설계, 작업분석 및 설계 등



임 완 희 Wan-Hee Im)
경일대 산업공학과 졸업
대구대 대학원 산업공학과 석사
대구대 대학원 산업공학과 박사
현재 (주)포스렉 환경안전팀 과장
관심분야 : 인간공학적 시스템 설계, 시스템 안전공학 등