

# 작업환경개선을 통한 단순반복작업의 누적외상평가<sup>†</sup>

(The CTD Evaluation of Simple and Iterative Task  
through the Improvement of Working Conditions)

서 승록\*      임 완희\*  
(Seung-Lock Seo)      (Wan-Hee Im)

**요 약** 최근 들어 작업강도가 심화, 노동환경의 변화 등으로 단순반복작업자의 누적외상장애가 많이 발생하고 있다. 따라서, 본 연구는 단순반복작업자의 근피로도를 분석하기 위하여 수작업과 Air Balance시스템 설계장치를 이용할 때 각 근육의 피로도의 차이를 밝히고 단순반복작업의 기계에 의한 시스템설계제안을 목적으로 하였다. 연구 결과, 내화벽돌 적재작업시에 수작업과 Air Balance 시스템을 이용한 근피로도 비교에서 Air Balance를 이용한 적재작업에서는 수작업 대비 근육별 AEMG 64.1%, MF 65.3%, MPF 64.3%, ZCR 63.6%로 근피로도가 낮게 나타났다. 근육의 동원정도는 전체적으로 비슷한 편이를 보였다. 즉, Air Balance시스템을 사용하는 것이 수작업보다 근피로도 값은 낮게 나타났으며, 누적외상성 질환에 대한 노출도 작은 것으로 나타났다.

**Abstract** Recently, as work strength is deepened, as well, labor environments is changed, simple and iterative worker's Cumulative Trauma Disorders(CTD) is gradually being increased. Accordingly, this study was designed to represent its system design to carry out their iterative and simple task by machine through the difference of muscle fatigue between worker on handling line and worker under the work environments by Air Balance System for the purpose of analyzing their muscle fatigue test according to fulfillment of iterative and simple task. From the result of this study, with regard to the comparison of muscle fatigue between work on handling line and work on automation line on the occasion of refractory brick loading, their muscle fatigue extent under the work environments by Air Balance system was lower than it of handling by AEMG(64.1%), MF(65.3%), MPF(64.3%), ZCR(63.6%) respectively. And also, generally there showed similar transfer at the aspect of muscle mobilization. In other words, we can say that work environments by Air Balance System is beneficial at the aspect of alleviating workers' fatigue extent on handling line. As well, the result of this study shows that worker's exposure to Cumulative Trauma Disorders(CTD) is relatively low.

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 필요성

최근 들어 생산성과 경영합리화를 이유로 단순반복작업의 경우 높은 과업량을 달성하기 위해 작업강도가 심화됨은 물론 각종 불안정한 작업환경 하에서도 익숙치 못한

공구 사용의 증가와 그리고 사무자동화를 통해 컴퓨터 영상단말기(VDT)의 대량 보급 등에 따른 노동환경의 변화 등으로 단순반복작업자의 예기치 않은 누적장애가 많이 발생하고 있다.

최근 사회 문제화되고 있는 직업병이 소위 말하는 누적외상성질환(Cumulative Trauma Disorders : CTDs)에 대해 노동환경의 변화와 근로자의 안전의식 고취에 따른 많은 관심을 갖고 정확한 실체를 알리려는 노력과 이와 관련된 연구가 요구되나 우리나라에서는 그 실태파악조차 정 확치 않은 실정이다.

<sup>†</sup> 이 논문은 2001학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임  
\* 대구대학교 자동차·산업·기계공학과

특히, 국내에서는 아직 이에 대한 정확한 실태가 알려져 있지 않아 그 문제의 심각성이 어느 정도인지 알 수는 없으나 외국의 예를 볼 때 가장 심각한 산업보건 문제 중의 하나로 추측할 수 있으며 또한 이에 따른 경제적 손실 비용이 상당할 것이라는 것은 쉽게 짐작할 수 있을 것이다.[1]

국내의 현황을 보면, 산재보상보험 심사에 의한 누적외상성질환 직업병 현황을 보면 1992년까지는 공식적인 통계가 없었고 1993년부터 집계되기 시작하여 1994년에 20명에서 점차 증가하여 1996년에는 345명이 직업으로 인한 누적외상성질환으로 인정되어 전체 직업병 환자에서 차지하는 비율이 점차 높아지고 있다.[7]

따라서 국내에서도 조만간 단순반복작업자들의 누적외상성질환으로 인한 노동력 상실 및 이에 따른 경제적 지출 비용이 커다란 사회 문제가 될 것으로 예상되는데 노동력 강화와 이에 따른 건강장해에 대한 연구가 시급히 이루어져야 하며 이에 대한 많은 관심과 장기적인 예방대책이 필요한 시점이라 할 수 있다.

## 1.2 연구 배경

인력운반작업(Manual Material Handling : MMH)의 인간공학적 접근방법은 작업자-작업-작업환경에 그 초점을 맞추고 있다. 일반적으로 인력운반작업과 관련한 재해(injury)를 최소화시킬 수 있는 수단은 작업의 육체적, 생리학적, 정신적 요구사항이 작업력의 범위안에 존재하도록 인력운반작업의 설계를 통해서이다.[6] 작업설계는 인력운반작업에 대한 작업자 능력 데이터의 가용성에 달려 있으며, 그러한 데이터 산출은 다른 접근법을 이용할 때 인력운반작업의 타당한 파라미터를 확인할 수 있느냐에 달려있다.

이윤근과 임상혁(1998)은 보험심사작업자의 유병율이 신체 부위별로 목/어깨 부위가 36.2%, 손/손목 부위가 10.3%로 약 3배 정도 차이가 있었고 위험요인에 대한 평가 결과 위험성이 있는 작업군과 그렇지 않는 작업군과의 상대 위험도는 목/어깨 부위가 5.2, 손/손목 부위가 2.5였다고 보고하였다.[2]

최재욱 외(1996)는 생산직 근로자 98명과 전화교환원 115명을 대상으로 자각증상조사와 작업분석 및 이학적 검진을 통해 생산직에서는 증상호소율 : 경부(85.2%), 견관절(81), 주관절(34.8%), 완관절(73.0%), 유병율 : 35.5%를 나타내고, 전화교환원에서는 증상호소율 : 경부(51.2%), 견관절(56.1%), 주관절(23.5%), 완관절(31.3%)의 순으로 전체 유병율이 28.5%로 나타났다고 보고하였다.[4]

이와같은 급증하고 있는 유병률에 대해 작업환경개선관점에서의 연구를 위해 단순반복작업에 대한 시스템 설계대

안을 제시하는 것이 본 연구의 의의라 할 수 있다.

## 1.3 연구의 목적

본 연구는 단순반복근로자의 누적외상성질환을 줄이기 위하여 수작업으로 작업할 때와 Air Balance의 시스템 설계도입을 통해 작업할 때의 차이를 분석하는 것으로 누적외상성질환을 예방하는데 필요한 연구라 할 수 있다. 따라서, 본 연구는 4가지 분석방법을 이용하여 수작업과 Air Balance시스템 설계장치를 이용할 때 각 근육의 피로도의 차이를 밝히고 단순반복작업의 기계에 의한 시스템설계 제안을 목적으로 한다.

## 2. 작업환경개선을 위한 기계장치 설계 및 실험방법

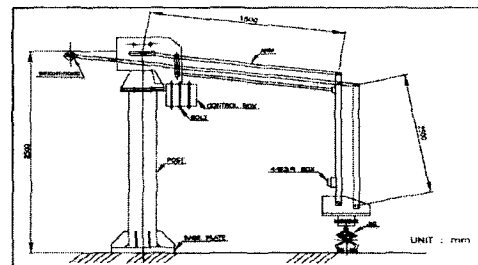
### 2.1 Air Balance 시스템 설계

내화벽돌 적재작업에 의한 누적외상성질환은 허리부위의 근피로가 누적되어 발생되는 것으로, 허리부위에 근피로감소를 통한 누적외상성질환 발생 감소를 위해서는 출발점의 pallet 높이를 손가락관절 높이로 올리는 방법, 반복횟수의 감소, 충분한 휴식, 기계장치를 이용하는 방법 등 다양한 방법이 있으나 이들 방법 중 가장 효과가 큰 것은 수작업이 아닌 기계장치를 이용하는 것이므로 본 연구에서는 새로운 기계장치를 설계하고자 한다.

#### 2.1.1 기존 Air Balaman

<Figure 1>은 Air Balaman의 구조도를 나타낸 것이며, Jib Type으로서 중하중물의 운반에 적합하고, Jib가 고정되어 있어 작업반경이 한정되어 있고 주위 작업에 간섭이 많이 된다.

또한 조작용 S/W Box가 핸드에 부착되어 있어

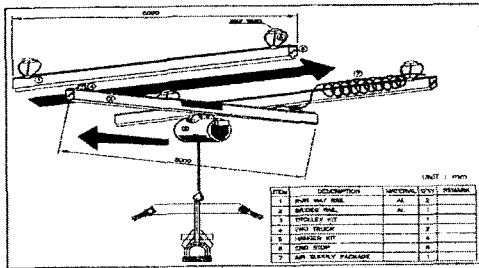


<Figure 1> The structure of Air Balaman

숙달된 작업자가 요구되며, 유연성이 부족하여 작업자들이 활용을 기피하고 있다.

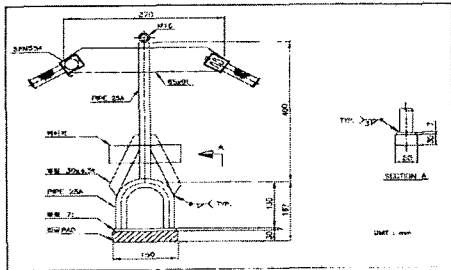
### 2.1.2 개선 Air Balance

<Figure 2>는 Air Balance의 구조도이며, 천장 truss에 설치되어 주행, 횡행 Rail을 따라 이동하게끔 설계하였고, 내화벽들의 무게에 따라 그 진공패드들의 흡착력을 조절하여 155kg까지 들어 올릴수 있도록 설정하였다.



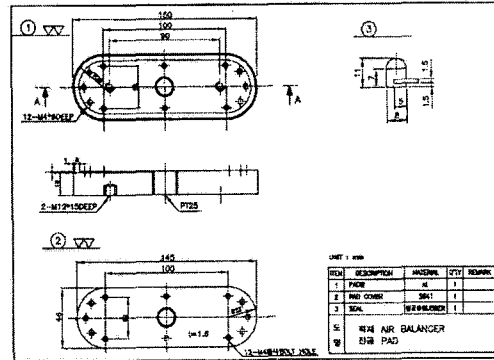
<Figure 2> The structure of Air Balance

Air Balance 지그는 진공패드를 잡아주는 구조로 만들어져 있으며, <Figure 3>은 Air Balance Jig를 나타낸 것이다.



<Figure 3> Jig of Air Balance

진공 Pad 재질은 제품의 리퀴지(Non-Sealed)현상으로 EPDM이 가장 적절하였고 Vacuum Pump는 리퀴지 테스트 한 후에 -450mmHg보다 진공도를 높이기 위해 VTM100-A14-V34를 선정하였고(테스트 수치 -563mmHg 이상), 이는 제품을 잠을 공간은 한정되어 있고 안전율을 높여주기 위해서 진공도를 높였다. <Figure 4>는 진공 패드를 나타낸 그림이다.



<Figure 4> Pad of Air Balance

Air Balance의 동작방법은 공압(Air) 공급후 진공패드를 작업위치에 옮긴뒤 ON S/W를 작동하여 내화벽들을 들어 올리고, UP S/W를 작동하여 수직으로 올린 다음에 수평으로 이동하여 원하는 위치에 옮긴 뒤에 DOWN Button S/W를 작동하여 내려놓으면 된다. 또한, 동작원리는 압축공기가 UNIT 동력이며, 압축공기는 외부 CONTROL PACKAGE에 의해 조절되고, END CAP내의 SINGLE HOLE을 PISTON을 옆으로 움직인다. PISTON은 릴이 옆으로 움직이도록, 그리고 CABLE을 감아 올리도록 THRUST BEARING을 향해서 밀도록 되어 있다.

Air Balance를 이용하여 내화벽들 적재작업시 안전성을 확보하기 위해 진공패드의 면적과 진공압력에 따라 중량 테이블을 설정하였다. <Table 1>은 Air Balance 중량 인양 테이블을 나타낸 표이다.

Lift력(kgf) 계산식은 다음 식(1)과 같다.

$$W = \frac{P}{760} \times S \times t \quad (1)$$

P ; 진공압력(mmHg)

S ; 진공면적(cm<sup>2</sup>)

t ; 안전율 수평상승 1/2 이며,

Lift력(kgf) 계산식의 적용 예로는 P=550mmHg, S=75cm<sup>2</sup>, t=0.5로 고려되었으며, 계산결과

$$W = \frac{550}{760} \times 75 \times 0.5 = 27 \text{kg}$$

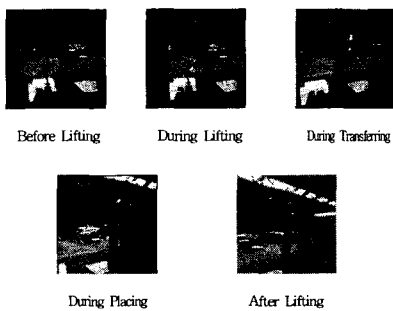
<Table 1> Table of weight-lift in Air Balance

S-PAD (cm <sup>2</sup> )	P(mmHg)						
	-650	-600	-550	-500	-450	-400	-350
50	21	20	18	16	15	13	12
75	32	30	27	25	22	20	17
100	43	39	36	33	30	26	23
125	53	49	45	41	37	33	29
150	64	59	54	49	44	39	35
175	75	69	63	58	52	46	40
200	86	79	72	66	59	53	46
225	96	89	81	74	67	59	52
250	107	99	90	82	74	66	58
275	118	109	100	90	81	72	63
300	128	118	109	99	89	79	69
325	139	128	118	107	96	86	75
350	150	138	127	115	104	92	81

기존 Air Balance의 문제점을 보완하여, 작업성과 조작성이 간편하고 경하중의 단순반복운반작업에 의한 근로자의 누적외상성질환 감소에 효과적인 Air Balance 시스템을 설계하였다.

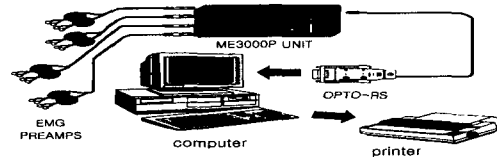
2.2 실험 방법

기계장치를 이용한 실험은 실제 내화벽돌 적재작업을 하는 현장에서 이루어졌으며, Air Balance라는 기계장치를 이용하여 내화벽돌을 지정된 위치에서 적재하도록 하였다. 그리고 근전도측정을 위한 실험작업은 들기 전, 들 때, 옮길 때, 놓을 때, 들기 후로 총 다섯 시점으로 나누었으며, 내화벽돌을 옮길 때 근육의 반응을 보기 위하여 내화벽돌을 들어서 내려놓는 시점까지 한번으로 하여 10초간 측정하였다. 들기작업에서 사용되어진 내화벽돌은 10kg이며, 10번씩 옮겼다. <Figure 5>는 적재작업을 작업공정에 따라 표시한 것이다.



<Figure 5> Motion process by machinery in load work

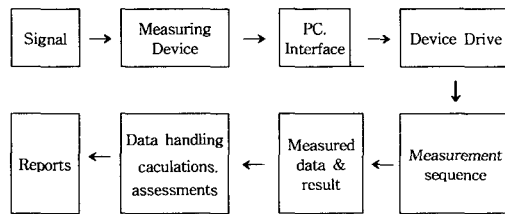
근육피로도 측정장비는 <Figure 6>과 같다.



<Figure 6> The equipment for EMG measurement

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.

EMG 전치증폭기(pre-amplifier)의 측정감도는 +/-1μv이며, 양극 EMG신호의 측정범위는 +/-5000μv이다. 그리고 각각의 EMG채널용 AD변환기는 12bit이며, 최대 샘플링 빈도는 2000Hz/channel이다. 또한 자료의 수집, 분석을 위하여 Mega사에서 제공된 Megawin 프로그램을 이용하였으며, 시스템 구성도는 <Figure 7>과 같다.



<Figure 7> System diagram of Megawin

2.3 근피로도의 측정

본 연구에서 분석될 근피로도도는 다음 식(2)와 같이 정의된다.

$$\text{averaged integrated EMG} = \frac{\int_0^{1023} |data|}{1024} \quad (2)$$

한편 EMG 신호로부터 근육 피로정보(fatigue information)를 알 수 있는데 이는 국부근육의 피로발생 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 주파

수의 평균과 중앙값으로 정의된다.  
MPF는 다음 식(3)과 같이 정의된다.

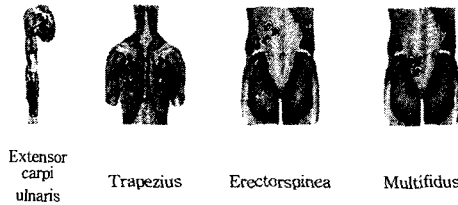
$$MPF = \frac{\int_0^{\infty} fS(f)df}{\int_0^{\infty} S(f)df} \quad (3)$$

$S(f) = Re^2 + Im^2$   
 $S(f)$  = power spectrum,  
 $Re$  = real term,  
 $Im$  = imaginary term.

MF는 다음 식(4)와 같이 정의된다.

$$\int_0^{MF} S(f)df = \int_{MF}^0 S(f)df = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} S(f)df \quad (4)$$

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



<Figure 8> Muscle selected for muscle fatigue analysis

일정한 근피로도의 측정을 위하여 선정된 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. 측정결과 및 고찰

#### 3.1 근수축상태의 근력분석 결과

<Table 3>은 AEMG를 사용하여 근피로도를 측정할 결과이다.

개선전과 개선후 모두 들기전과 들기후의 근피로도가 가장 낮게 나타나고 있으며, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타났다. 근육별로는 척추수근신근(L), 승모근(L), 다열근(R), 천극근(R)은 놓을때의 근피로도가 가장 높게 나타났으며, 다열근(L), 승모근(R), 척추수근신근(R)은 옮길때의 근피로도가 높게 나타났다. 또한, AEMG의 작업경과별 분석 결과를 보면 모든 작업의 개선효과 평균이 64.1%인 것으로 나타났다.

<Table 3> Changes in AEMG according to the elapsed time of labor( $\mu v$ )

Segment	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
Before improvement	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
After improvement	extensor C.U.(L)	1.4	10.2	24.9	33.7	1.3
	trapezius(L)	2.1	10.0	31.3	39.3	3.6
	erectorspinae(L)	3.3	16.3	15.9	15.9	3.7
	multifidus(L)	1.2	20.8	23.6	15.9	1.4
	multifidus(R)	1.2	15.1	22.3	31.5	1.3
	erectorspinae(R)	2.7	15.0	45.4	88.0	3.7
	trapezius(R)	3.0	26.8	23.9	22.2	3.1
	extensor C.U.(R)	1.5	17.5	20.0	11.3	1.5

#### 3.2 작업경과별 근피로도 분석결과

근육의 피로정도에 따라 ZCR, MPF, MF의 값들은 측정 결과 값이 음(-)의 친이를 나타내는 것은 고주파에서 저주파로 친이를 한 결과를 나타내게 되는 것인데 이것은 근육의 피로를 나타내는 것이다[3][5].

<Table 4>는 MF를 사용하여 근피로도를 측정할 결과

이다.

MF로 근피로도를 측정된 결과, 개선전과 개선후 모두 들기전과 들기후의 근피로도가 가장 낮게 나타나고 있으며, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타나고 있었다. 근육별로는 모든 근육에서 놓을 때의 근피로도가 가장 높은 것으로 나타났다. 근육별 개선효과는 다열근(L)이 66.2%로 개선효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 천극근(L)이 63.9%로 개선효과가 가장 적은 것으로 나타났고, 8개 모든 근육의 개선효과 평균이 65.3%로 나타났다.

<Table 4> Changes in MF according to the elapsed time of labor( $\mu v$ )

Segment	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
Before improvement	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
After improvement	extensor C.U(L)	21.0	24.2	28.1	33.9	23.8
	trapezius(L)	8.0	12.3	16.8	22.7	9.1
	erectorspinae(L)	6.4	12.9	15.4	19.2	5.3
	multifidus(L)	7.0	24.5	34.0	36.7	6.3
	multifidus(R)	17.5	24.6	27.0	27.9	16.2
	erectorspinae(R)	7.4	10.9	16.3	20.3	7.1
	trapezius(R)	6.4	14.7	17.9	20.8	6.4
	extensor C.U(R)	7.0	18.7	28.3	30.3	6.3

<Table 5>는 MPF를 사용하여 근피로도를 측정된 결과이다.

MPF로 근피로도를 측정된 결과, 개선전과 개선후 모두 들기전과 들기후의 의 근피로도가 대체적으로 낮게 나타났으며, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타나고 있었다. 8개의 모든 근육이 놓을 때 가장 많은 피로도를 보이고 있으며, 옮길 때, 들 때의 순으로 피로도가 적어지고 있었다. MPF의 근육별 개선효과에서는 척추수근신근을 제외한 7개의 근육이 모두 60.0% 이상의 개선효과를 보였으며, 척추수근신근은 51.7%의 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 8개의 모든 근육에 대한 개선효과 평균이

64.3%로 나타났다.

<Table 5> Changes in MPF according to the elapsed time of labor( $\mu v$ )

Segment	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
Before improvement	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
After improvement	extensor C.U(L)	12.6	21.1	23.1	28.3	14.4
	trapezius(L)	5.8	7.5	9.8	13.0	5.0
	erectorspinae(L)	3.7	9.2	10.6	12.9	3.4
	multifidus(L)	5.7	17.0	21.9	23.5	5.6
	multifidus(R)	8.7	12.8	11.9	14.5	10.2
	erectorspinae(R)	5.3	7.2	8.5	13.2	5.4
	trapezius(R)	3.9	9.1	12.4	13.4	4.3
	extensor C.U(R)	4.6	15.0	19.0	20.4	4.5

<Table 6>은 ZCR를 사용하여 근피로도를 측정된 결과이다.

ZCR로 근피로도를 측정된 결과, 개선전과 개선후 모두 들기전과 들기후의 근피로도가 가장 낮게 나타나고 있으며, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타나고 있었다. 근육별로는 모든 근육에서 놓을 때의 근피로도가 가장 높은 것으로 나타났다. 근육별 개선효과를 보면, 승모근(L)이 64.9%로 개선효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 다열근(58.1)이 58.1%로 개선효과가 가장 적은 것으로 나타났다. 그리고, 모든 근육의 개선효과 평균이 63.6%로 나타났다.

<Table 6> Changes in ZCR according to the elapsed time of labor ( $\mu v$ )

Segment	Muscle	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
Before improvement	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	
After improvement	extensor C.U.(L)	24.0	53.7	76.6	87.2	12.0
	trapezius(L)	13.9	29.3	39.1	56.2	17.0
	erectorspinae(L)	6.7	36.4	49.8	57.4	8.0
	multifidus(L)	2.9	66.5	85.3	81.0	3.5
	multifidus(R)	1.1	56.1	67.1	74.4	6.0
	erectorspinae(R)	13.9	28.4	35.2	46.3	15.3
	trapezius(R)	4.2	38.8	53.3	60.3	4.6
extensor C.U.(R)	4.0	51.6	66.6	73.5	3.7	

### 3.3 EMG결과의 통계적 분석

<Table 7>에서 나타난 것과 같이 작업경과와 근육별로 4가지 분석에서 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

AEMG에서는 작업경과별(F=125.337)로 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있었으며, 근육별(F=18.112)로도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있었다. 또한, 작업경과와 근육간의 상호작용(F=10.687)에 대해서도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

MF에서는 작업경과별(F=177.054)로 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있었으며, 근육별(F=60.158)로도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있었다. 또한, 작업경과와 근육간의 상호작용(F=5.696)에 대해서도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

MFP에서는 작업경과별(F=149.057)로 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있었으며, 근육별(F=115.932)로도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있었다. 또한, 작업경과와 근육간의 상호작용(F=14.936)에 대해서도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

ZCR에서는 작업경과별(F=435.955)로 근피로도에 대해서

매우 유의한 차이를 보이고 있었으며, 근육별(F=25.286)로도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있었다. 또한, 작업경과와 근육간의 상호작용(F=7.874)에 대해서도 근피로도에 대해서 매우 유의한 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

<Table 7> ANOVA table(10kg)

AEMG	DF	ANOVA SS	Mean Square	F value	Pr>F
Time	4	59181.215	14795.304	125.337	0.000**
Muscle	7	14966.240	2138.034	18.112	0.000**
Time × Muscle	28	35321.585	1261.485	10.687	0.000**
MF	DF	ANOVA SS	Mean Square	F value	Pr>F
Time	4	17672.785	4418.196	177.054	0.000**
Muscle	7	10508.240	1501.177	60.158	0.000**
Time × Muscle	28	3979.535	142.126	5.696	0.000**
MFP	DF	ANOVA SS	Mean Square	F value	Pr>F
Time	4	19064.425	4766.106	149.057	0.000**
Muscle	7	25948.390	3706.913	115.932	0.000**
Time × Muscle	28	13371.935	477.569	14.936	0.000**
ZCR	DF	ANOVA SS	Mean Square	F value	Pr>F
Time	4	243590.085	60897.521	435.955	0.000**
Muscle	7	24724.758	3532.108	25.286	0.000**
Time × Muscle	28	30797.955	1099.927	7.874	0.000**

\*\*0.01에서 유의한 차이가 있음

위의 이변량 분석 결과에 대해서 사후 검증인 Duncan-test를 실시한 결과는 <Table 8>에 나타냈는데, 천극근(R)의 근피로도가 가장 높은 것으로 나타났고, 척추수근신근(R)과 천극근(L)의 근피로도가 가장 적은 것으로 나타났다.

MF에서는 천극근(L), 천극근(R), 승모근(R), 승모근(L)이 가장 적은 근피로도가 나타났고, 척추수근신근(L)의 근피로도가 가장 높게 나타났다.

MFP에서는 천극근(L), 천극근(R), 승모근(L), 승모근(R)의 근피로도가 가장 적은 것으로 나타났고, 다열근(R), 척추수근신근(L)의 근피로도가 가장 높은 것으로 나타났다.

ZCR에서는 천극근(R), 승모근(L), 천극근(L), 승모근(R)

의 근피로도가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 척추수근신근(L), 다열근(L)의 근피로도가 가장 높은 것으로 나타났다.

각 분석마다 약간의 차이를 보이고 있는 것은 피실험자의 자세가 항상 동일한 것이 아니고 약간의 자세차이가 있기 때문인 것으로 판단된다.

<Table 8> Multiple Analysis in each muscle according to the elapsed time of AEMG

Duncan grouping	mean(μv)	muscle
A	10.360	extensor C.U.(R)
A	11.020	erectorspinae(L)
AB	12.580	multifidus(L)
AB	14.280	multifidus(R)
AB	14.300	extensor C.U.(L)
B	15.800	trapezius(R)
B	17.260	trapezius(L)
C	30.960	erectorspinae(R)

### 3.4 개선효과

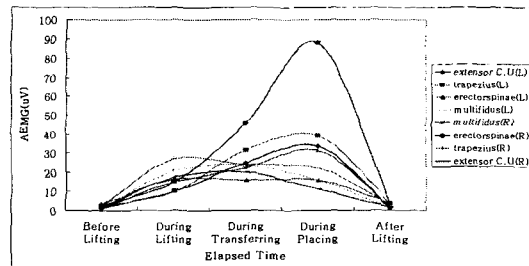
먼저 근육별 개선효과를 나타내어 보면 <Table 9>와 같으며, AMEG의 개선후 근육별 작업경과에 따른 변화는 <Figure 9>와 같다.

AEMG에서는 들기전과 들기후의 근피로도가 가장 낮게 나타났고, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타났다. 근육별로는 척추수근신근(L), 승모근(L), 다열근(R), 천극근(R)은 놓을때의 근피로도가 가장 높게 나타났으며, 다열근(L), 승모근(R), 척추수근신근(R)은 옮길 때 근피로도가 높게 나타났다.

MF에서는 들기전과 들기후의 근피로도가 가장 낮게 나타났고, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타났으며, 근육별로는 모든 근육에서 놓을 때 근피로도가 가장 높은 것으로 나타났다. 개선후의 MF의 근피로도 천이 경향을 보면 개선전과 비슷하게 나타났다. 하지만 천이 경향이 같다고 해서 피로도 값은 비슷하지 않고 개선전보다 더 낮게 나타났다. 들기전과 들때에는 대체적으로 양(+)의 천이가 많이 나타내고 옮길때에는 양(+)의 천이와 음(-)의 천이가 복합적으로 나타나 뚜렷한 경향을 보이지 않으며, 놓을때와 들기후에는 대체적으로 음(-)의 천이를 나타내어 작업이 경과함에 따라 피로도가 높은 것으로 나타났다.

<Table 9> Improvement in each muscle(μv)

	Muscle	Before improvement	After improvement	Effect(%)
AMEG	extensor C.U.(L)	195.3	71.5	63.4
	trapezius(L)	245.9	86.3	64.9
	erectorspinae(L)	162	55.1	66.0
	multifidus(L)	167.9	62.9	62.5
	multifidus(R)	186.5	71.4	61.7
	multifidus(R)	428.8	154.8	63.9
	trapezius(R)	225.4	79	65.0
extensor C.U.(R)	151.8	51.8	65.9	
MF	extensor C.U.(L)	381.9	131	65.7
	trapezius(L)	193.2	68.9	64.3
	erectorspinae(L)	164.1	59.2	63.9
	multifidus(L)	314.4	108.5	65.5
	multifidus(R)	335.1	113.2	66.2
	multifidus(R)	181.1	62	65.8
	trapezius(R)	188.8	66.2	64.9
extensor C.U.(R)	254.9	90.6	64.5	
MPF	extensor C.U.(L)	205.8	99.5	51.7
	trapezius(L)	128.4	41.6	67.6
	erectorspinae(L)	121.1	39.8	67.1
	multifidus(L)	212.5	73.7	65.3
	multifidus(R)	187.4	58.3	68.9
	multifidus(R)	114.7	39.8	65.3
	trapezius(R)	131.3	43.3	67.0
extensor C.U.(R)	187.4	63.5	66.1	
ZCR	extensor C.U.(L)	717.7	253.5	64.7
	trapezius(L)	443	155.5	64.9
	erectorspinae(L)	441.5	158.3	64.1
	multifidus(L)	571.1	239.2	58.1
	multifidus(R)	574.1	204.7	64.3
	multifidus(R)	393.7	139.1	64.7
	trapezius(R)	449	161.2	64.1
extensor C.U.(R)	566.1	199.4	64.8	



<Figure 9> Changes of AEMG in each muscle according to the elapsed time(10kg after Improvement)

MPF에서는 들기 전과 들기 후의 근피로도가 대체적으로 낮게 나타났으며, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타나고 있다. 8개의 모든 근육이 놓을 때 가장 높은 근피로도를 보이고 있고, 옮길 때, 들 때의 순으로 피로도가 적어지고 있다. 즉, 작업이 경과할수록 근피로도는



증가하고 있다고 볼 수 있다.

ZCR에서는 들기 전과 들기 후의 근피로도가 가장 낮게 나타났고, 들 때, 옮길 때, 놓을 때의 근피로도가 높게 나타나고 있다. 근육별로는 모든 근육에서 놓을 때의 근피로도가 가장 높은 것으로 나타났다.

또한, 작업경과별로 근피로도의 효과는 <Table 10>과 같이 나타났다.

<Table 10> Improvement according to the elapsed time( $\mu v$ )

	Segment	Before Lifting	During Lifting	During Transferring	During Placing	After Lifting
AMEG	Before improvement	46.7	368	563.5	729.7	55.7
	After improvement	16.4	131.7	207.3	257.8	19.6
	Effect(%)	64.8	64.2	63.2	64.7	64.8
MF	Before improvement	227.9	425.2	503.2	606.6	250.6
	After improvement	80.7	142.8	183.8	211.8	80.5
	Effect(%)	64.6	66.4	63.5	65.1	67.9
MPF	Before improvement	123.8	288.2	352.9	398.8	124.9
	After improvement	50.4	99.0	117.3	139.4	53.4
	Effect(%)	59.3	65.6	66.8	65.0	57.2
ZCR	Before improvement	197.6	1050.6	1175.8	1534.7	197.5
	After improvement	70.7	360.8	473	536.3	70.1
	Effect(%)	64.2	65.7	59.8	65.1	64.5

AEMG의 작업경과별 분석 결과를 보면 모든 작업의 개선효과 평균이 64.1%로 Air Balance 시스템을 이용할 때 단순반복작업 근로자의 누적의상성질환 감소에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

MF의 작업경과별 분석 결과는 모든 작업에서 평균 65.3%의 개선효과를 보이고 있는 것으로 나타났다. 특히, 들기후의 근피로도가 67.9%로 가장 많이 개선된 것으로 나타났다. 즉, Air Balance는 단순반복작업 근로자의 모든 작업에서 개선효과가 큰 것으로 나타났다.

MPF의 작업경과별 분석 결과에서는 들 때, 옮길 때, 놓을 때는 60.0%이상의 개선효과를 보이고 있었으며, 들기 전과 들기 후는 50.0%대의 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 모든 작업에서 개선효과에 대한 평균은 64.3%로 나타나 Air Balance는 단순반복작업 근로자의 모든 작업에서 개선효과가 큰 것을 알 수 있다.

ZCR의 작업경과별 분석 결과는 모든 작업에서 평균 63.6%의 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, Air Balance는 단순반복작업 근로자의 모든 작업에서 개선효과가 큰 것을 알 수 있다.

지금까지의 분석 결과를 종합하여 보면, 개선전보다 개선후의 효과가 약 60%이상인 것으로 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

Air Balance장치를 사용하여 작업자의 근피로도를 EMG 측정 분석 결과는 다음과 같다.

내화벽돌 적재작업시에 수작업과 Air Balance 시스템을 이용한 근피로도 비교에서 Air Balance를 이용한 적재작업에서는 수작업 대비 근육별 AEMG 64.1%, MF 65.3%, MPF 64.3%, ZCR 63.6%로 근피로도가 낮게 나타났다. 또한, 근육의 동원정도는 전체적으로 비슷한 천이를 보였다. 즉, 근피로도의 천이는 비슷한 경향을 보이지만 근피로도 값은 낮게 나타났으며, 누적의상성 질환에 대한 노출도 작게 나타났다.

본 연구에서 고려한 작업변수와 작업조건에 한정된 결과들이지만 본 연구와 유사한 단순반복운반작업장에서 활용하면 누적의상성질환을 크게 감소시킬 수 있으며, 본 연구에서 제시한 방법은 실제 현장에서 적용하기 쉽고 작업조건에 따라 Air Balance 진공패드 조정이 가능하므로 단순반복운반작업의 안전기준을 결정하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

특히, 단순반복작업을 하는 현장 근로자를 위하여 누적의상성질환을 감소시킬 수 있는 방안으로는 수작업인 내화벽돌 운반의 단순반복작업은 Air Balance 등의 기계장치를 이용하고 작업동작분석을 통한 작업장 재설계가 요구되며, 정기검진항목에 근피로도 분석 항목을 추가함으로써 조기에 누적의상성질환자의 발견이 가능할 것이고, 또한 정상인과 비정상인을 구분하여 비정상인에게는 충분한 휴식과 작업전환의 조치를 함으로써 누적의상성질환을 사전에 방지할 수 있을 것이다.

본 연구는 제한된 근육부위에 대하여 실험이 이루어 졌으나, 향후 중량별 측정부위의 근전도 실험과 기계장치인 Air Balance 사용후 예상하지 못한 손가락, 손바닥 및 기타 골격근에 대한 근피로도의 분석이 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 노동부, 「산업재해분석」, 1992-1997
- [2] 이윤근, 임상혁, 「의료보험 심사업무의 작업자 세 특성과 누적외상성질환 발생에 관한 연구」, 한국산업위생학회지, 8(1), 1998.
- [3] 조영진, 김정룡, "모의 들기작업시 각도에 따른 허리 근육의 근전도 및 피로도 변화", 대한인간공학회 추계학술대회 논문, pp183-188, 1998
- [4] 최재욱 외, 「반복작업 근로자들에서의 경건완 장애에 관한 연구」, 대한산업의학회지, 8(2), 1998.
- [5] 현수돈, 김정룡, "여성 하이힐이 허리 근육 피로에 미치는 영향에 관한 연구", 대한인간공학회 추계학술대회 논문, pp304-310, 1998
- [6] M. Ayoub(1992), "Problems and solutions in manual materials handling: the state of the art", Ergonomics, Vol. 35.
- [7] U.S. Department of Labor, 「Bureau of Labor Statistics」, 1997.



임 완 희 (Wan-Hee Im)

경일대 산업공학과 졸업  
대구대 대학원 산업공학과 석사  
대구대 대학원 산업공학과 박사  
현재 (주)포스텍 안전과 과장

관심분야 : 인간공학적 시스템 설계, 시스템 안전공학 등



서 승 록 (Seung-Lock Seo)

건국대 산업공학과 졸업  
건국대 산업공학과 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