

NIOSH 지침서의 한국적 적용 가능성 연구

김 윤철* 이 관석* 전 영호* 박 범**

ABSTRACT

본 연구에서는 이미 연구된 MMH 기준에 관한 연구(NIOSH Guide)를 토대로, 이 기준이 우리나라 작업자에게 맞는가를 알아보았다. 실험은 심리육체적 방법을 이용해서 피실험자 대학생 30명을 대상으로 9개의 작업에 대해서 각각 20분간 실시하여 NIOSH Guide에 의한 신체특성과 제한무게가 문화적 배경이 다른 한국인 작업자에게도 적합한가를 알아보았다. 본 연구의 결론은 NIOSH Guide가 한국인 작업자들에게 직접사용될 수 없으며, 연구와 조정을 거친 후 한국인에게 적합한 모델을 개발하여야 된다는 것이다.

1. 연구 배경

현대사회의 산업화 추세로 우리나라 산업현장이나 군에서 자동화, 기계화가 활발히 추진되고 있지만 아직도 많은 작업이 신체의 부위를 이용한 Manual Material Handling(MMH)이다. 특히, 사람의 손이나 가슴, 등 또는 어깨를 이용하여 처리하는 작업이 많은 비율을 차지하고 있다. 또한, 군에서는 전투시의 특수성에 따라 손이나 어깨로 전투장비나 군수품을 운반하는 것이 필수 불가결하게 되어 있다. 그러므로 이러한 작업들이 효율적으로 수행되기 위해서는 개인의 신체적 특성을 고려하여 작업 방법, 작업하중 등에 대한 지침이 마련되어야 한다. 그러나, 우리나라에서는 신체부위를 이용한 작업을 설계하는 기준이 전무하고 주로 경험적인 자료에 의존하고 있으므로, 부상으로 인한 생산성과 전투력의 저하를 초래하고 있다. 이를 해결하기 위해서는 작업자의 신체특성과 실험을 통한 체계적 연구가 수행되어야 한다.

산업계에서도 MMH의 기준이 시급하다. 산업계에서 신체부위를 이용한 작업으로 인한 재해 중 가장 심각한 것은 작업자가 직접 힘을 들여 물건을 나르는 과도한 작업하중으로 인한 허리병이다. 허리병은 작업자가 직접 힘을 들여 물건을 들거나, 나르거나 미는 작업을 수행할 경우, 작업자가 다루는 하중이 작업자의 역량(capacity)을 넘거나, 물건을 들어서 움직이는 빈도가 높을 때 많이 발생한다. 또한 작업자체가 인간공학적 관점에서 잘못 설계되었거나 작업방법이 작업자에게 적합하지 않을 때 부상이 발생한다. 미국에서는 허리병이 작업장에서의 작업시간의 손실에 영향을 주는 재해중의 35%를 차지하고, 그 중의 25%가 물건을 들거나 나르거나 하는데 원인이 있다고 보고되었다(National Safety Council, 1988).

* 홍익대학교 산업공학과 ** 아주대학교 산업공학과

National Safety Council (1988)과 Nagira (1981)등의 보고서에 기초하여 미국 직업안전 보건원(NIOSH)에서는 물건을 드는 작업에 대한 기준을 만든 바 있다. 이와 같은 부상이나 사고는 작업자에게 육체적 고통을 줄 뿐만 아니라 기업과 국가적으로도 큰 손실이 된다. 부상으로 인한 손실로는 생산력의 저하, 작업중단으로 인한 작업계획의 수정과 작업자 대체비용 (구인비 및 훈련비), 치료비지급, 보험료지급 등이 있다. 반면, 작업자의 특성을 감안한 작업설계는 산업체에서의 생산성 향상과 군에서의 전투력 향상에 기여할 수 있다. 따라서 신체부위를 이용한 MMH시 부상을 최소화하기 위해서는 작업자에 적합한 작업설계, 안전한 작업수행을 위한 교육, 훈련 프로그램의 개발, 예비실험을 통한 적절한 작업자의 선발 등이 선행되어야 한다.

그래서 작업자가 힘을 들여 원료, 제품, 공구, 설비 등을 자주 움직이는 곳에서는 서로 각각 다른 작업 방법에 따른 하중의 제한치와 작업자의 선정 기준에 관한 지침이 필요하다. 이러한 지침설정에 관한 연구는 인간공학 분야에서 일찍부터 연구되어 왔다.(Bedale, 1924; Renbourn, 1954; Malhotra & Gupta, 1965; Das & Saha, 1966; Soule & Goldman, 1969; Datta & Ramanathan, 1970, 1971; Winsmann & Goldman, 1969; Kinoshita, 1985; Legg & Mahanty, 1985). 신체부위를 이용한 MMH에 영향을 주는 요소로는 생리학적인 신진대사뿐만 아니라 각 작업자가 느끼는 심리학적 요소도 있다. 따라서 작업자가 안전하게 이동할 수 있는 하중을 결정할 때는 생리학적 요소와 심리학적 요소도 함께 고려되어야 한다. Winsmann과 Goldman의 연구(1976)와 Legg와 Mahanty의 연구(1985)에서는 작업자의 심리학적 요소를 감안한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 이미 연구된 하중이동에 관한 연구를 토대로, 우리나라 작업자에게 NIOSH 가이드를 적용할 수 있는가를 알아보았다.

2. 연구 절차

미국 NIOSH GUIDE에 기초한 방법으로 작업에 따른 기준무게를 구하는데 아래와 같은 1991년 개정된 Guide Line의 공식과 1982년의 Guide Line 공식을 이용하였다.

NEW LIFTING GUIDE

$$RWL (kg) = 23 \times HF \times VF \times DF \times FF \times AF \times CF$$

HF : 양발사이의 중간점에서부터 물체를 잡은 중심점까지의 수평거리(25/H)

VF : 바닥면에서 부터 물체를 잡은 중심점까지의 수직거리

$$1 - (0.003|V-75|)$$

DF : 시작점에서 부터 목표지점까지의 수직이동거리

$$0.82 + (4.5/D)$$

FF : 1분당 작업이 이루어지는 작업빈도 (lift/min)

AF : 작업에서의 asymmetry 각도 : $1 - (0.0032A)$

CF : 물체를 잡는데 있어서의 잡는 방법에 따른 coupling 혹은 gripping method

OLD LIFTING GUIDE

$$AL (kg) = 42.6 \times HF \times VF \times DF \times FF$$

HF : 물체를 옮길때의 수평위치(15/H)

VF : 물체를 옮길때의 수직위치 ; $1 - (0.004|V-75|)$

DF : 물체를 나르는 거리 ; $(0.7 + (7.5/D))$

FF : 물체를 나르는 빈도수 ; $(1 - (F/F_{max}))$

$$MPL = 3 \times AL$$

(자세한 계산방법은 New NIOSH Guide를 참조하기 바란다.)

실험방법

실험은 <표.1>과 같은 방법으로 실시하며, 실험을 하기전에 먼저 피실험자들의 신체자료를 측정하고 STRENGTH 테스트를 거친 후, 각각에 해당하는 실험을 실시한다. 실험의 방법은 심리육체적 (Psychophysical) 방법을 사용한다. 각 피실험자는 하루 8시간의 작업을 염두에 두고 각 작업을 20분간에 걸쳐서 실시하였다.

<표.1> 실험 계획표

작업		빈도 / 1분						
		6	8	10	12	13	15	25
Box 를 작업대 위로	올린다			○	○			
	내린다			○	○			
Box 를 보조물에서 작업대 위로	올린다		○		○			
	내린다		○		○			
바닥에 있는 Box 를 다른 곳으로 옮긴다		○		○				
각목을 옮긴다				○			○	
각목을 작업대 위로	올린다			○		○		
	내린다			○		○		
물통을 옮긴다							○	○

피실험자

피실험자는 모두 건강한 남자 대학생 30명으로 실험을 실시하였다. 피실험자는 실험에 앞서 실험에 필요한 주의 사항을 숙지하고, 신체측정과 Strength Test를 거친후에 표의 각 단위에 해당하는 실험을 실시하였다. 단, 과거에 허리병의 경력이 있던 사람이나 현재 허리가 불편한 사람은 제외되었다.

인체측정

실험에 필요한 인체정보를 얻기위하여 마틴식 측정기를 사용해서 아래의 항목을 직접측정한다.

1 나 이(AGE)

: 피실험자의 만 나이

2 몸무게(Weight)

: 남자는 팬티만, 여자는 팬티, 브레이저, 슬립을 입고 측정한 값

3 신 장(Stature)

: 피계측자가 양발을 서로 붙이고 시선을 정면으로 해서 똑바로 서 있을때 바닥에서 머리위까지의 수직높이

4 손목높이(Handh)

: 피계측자가 양발을 서로 붙이고 똑바로 서서 양팔을 자연스럽게 내렸을 때 바닥에서 손목의 척골점까지의 수직거리

피실험자들의 신체측정 결과는 아래의 <표.2>와 같다.

<표.2> 피실험자들의 신체특징

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
나이	30	22.53	2.18	19.00	26.00
몸무게	30	65.10	8.76	52.50	86.30
신 장	30	171.96	5.18	164.50	183.20
손목높이	30	82.94	3.58	73.10	90.00

Lifting Strength Test

피실험자의 최대근력을 측정하고 그 결과 데이터를 구한다.

· 측정방법

** 측정에서 피실험자는 자신의 힘을 최대한 발휘하며 그 힘을 약 3~4 초간 유지한다.

측정은 5회 실시하며, 한번 측정후 5분이상의 휴식을 취한다.

Arm Strength - 직립상태에서 Fore arm과 Upper arm을 직각이 되게 한후 몸가까이에서 손잡이를 들어 올린다.

Torso Strength - 바닥에서 35cm떨어진 높이의 손잡이를 다리를 편 상태에서 허리를 굽혔다 편다는 기분으로 들어 올린다.

Leg Strength - 바닥에서 35cm떨어진 손잡이를 다리를 굽히고 양다리 사이에 위치시키고 편한 자세로 다리를 넓힌 다음 허리를 곧게 하고 들어 올린다.

Grip Strength

- 선 상태에서 오른쪽손(dominant) 앞팔을 몸통과 직각이 되게 한후 테스트기의 손잡이를 자신의 손에 편리한 상태로 잡은 후 힘을 측정한다.

피실험자들의 Strenght Test 결과는 아래의 <표.3>과 같다.

<표.3> STRENGHT TEST

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
ARM	30	34.53	7.07	23.00	52.00
TORSO	30	82.63	20.46	52.00	141.00
LEG	30	101.87	23.53	60.00	160.00
GRIP	30	55.73	12.61	36.00	86.00

변수

이 연구에서 이용된 변수는 다음과 같다

AGE : 피실험자의 나이

WEIGHT : 피실험자의 몸무게

STATURE : 피실험자의 키

HANDH : 피실험자의 손목까지의 높이

ARM : 피실험자의 팔근력

TORSO : 피실험자의 몸통근력

LEG : 피실험자의 다리근력

GRIP : 피실험자의 악력

HF : 양발사이의 중간점에서부터 물체를 잡은 중심점까지의 수평거리

VF : 바닥면에서부터 물체를 잡은 중심점까지의 수직거리

DF : 시작점에서부터 목표지점까지의 수직이동거리

FF : 1분당 작업이 이루어지는 작업빈도 (lift/1minute)

AF : 작업에서의 asymmetry 각도

CF : 물체를 잡는데 있어서의 잡는 방법에 따른 cupling 혹은 gripping method

실험과정

실험은 먼저 피실험자들의 개인 신체에 관한 측정을 하고 각 작업장에 대하여 피실험자들이 들 수 있는 만큼의 빈도에 제한을 두지 않고 20분에 걸쳐서 실시하였다. 여기서 나온 빈도수의 평균을 기준으로 이 실험의 빈도수를 각 작업에 대하여 2가지를 선택하였다. 그런후 2가지의 빈도수에 대하여 실험계획표에 나와 있는대로 일정하게 조정이 되고록 컴퓨터 프로그램을 이용하여 들고 내리고 나르는 것에 대한 실험을 실시하였다. 각각의 작업에 대한 AL, MPL, RWL 값을 구했다. 피실험자는 각 작업장에서 20분간에 걸쳐 실험을 실시한 후 8시간 동안에 그 작업을 수행할 수 있다(acceptable)고 생각되어지는가를 판단했다.

각 작업들을 설명하면 다음과 같다.

1. 종이상자(프린트용지 가로 29cm, 세로 25.5cm, 높이 19cm)를 바닥에서 작업대위로 허리를 굽혀서 들어올려 놓기.
2. 종이상자(프린트용지 가로 29cm, 세로 25.5cm, 높이 19cm)를 작업대위에서 바닥으로 내려 놓기.
3. 종이상자(프린트용지 가로 29cm, 세로 25.5cm, 높이 19cm)를 받침대(높이 43cm)위에서 작업대위로 올려 놓기.

4. 종이상자(프린트용지 가로 29cm, 세로 25.5cm, 높이 19cm)를 작업대위에서 받침대(높이 43cm)위로 내려 놓기.
5. 종이상자(프린트용지 가로 29cm, 세로 25.5cm, 높이 19cm)를 바닥에서 거리 100cm의 거리만큼 떨어진 바닥면으로 허리를 굽히고 옮겨놓기.
6. 두꺼운 각목(가로 세로 7.5cm, 길이 118cm)을 한 작업대에서 50cm 떨어진 지점에서 잡고 몸을 틀어 50cm 떨어진 다른 작업대위로 옮겨놓기
7. 두꺼운 각목(가로 세로 7.5cm, 길이 118cm)을 바닥에서 작업대위로 들어올리기
8. 두꺼운 각목(가로 세로 7.5cm, 길이 118cm)을 작업대위에서 바닥으로 내려놓기
9. 물통을 양손을 이용해서 작업대에서 50 cm 떨어진 다른 작업대로 옮겨놓기.

* 위의 각 작업에 대하여 2가지의 빈도수에 대한 실험을 실시한다.

<표. 4>는 각 작업들의 Lifting Plane과 피실험자가 다루는 무게를 나타낸다.

<표. 4> 들어올리기 작업의 Lifting Plane과 무게

N	JOB	TASK	Lifting plane	Weight of load(kg)	N	JOB	TASK	Lifting plane	Weight of load(kg)
1	1	1	Sagittal	10.0	10	1	1	Sagittal	10.0
2	1	2	Sagittal	10.0	11	1	2	Sagittal	10.0
3	2	1	Non-sagittal	10.0	12	2	1	Non-sagittal	10.0
4	2	2	Non-sagittal	10.0	13	2	2	Non-sagittal	10.0
5	3	1	Non-sagittal	10.0	14	3	1	Non-sagittal	10.0
6	4	1	Non-Sagittal	4.5	15	4	1	Non-Sagittal	4.5
7	5	1	Sagittal	4.5	16	5	1	Sagittal	4.5
8	5	2	Sagittal	4.5	17	5	2	Sagittal	4.5
9	6	1	Non-sagittal	4	18	6	1	Non-sagittal	4

결과 분석

피실험자의 나이, 신장, 몸무게, 손목높이, 팔의 근력, 다리의 근력, 몸통근력, 악력 등에 대한 자료와 실험에서 나온 운반하중에 대한 자료를 토대로 SAS 소프트웨어를 사용해서 상관분석과 T-테스트를 실시하였다. 작업자의 신체조건과 힘의 측정치와 작업방법, 작업조건 등이 주어지면, 이 때 작업자의 역량을 기준으로 AL, MPL, RWL 을 구하여 서로를 비교한 결과가 아래의 <표.5>, <표.6>과 같다.

먼저 피실험자들의 DATA 상관관계분석을 하면 신장과 몸무게($R = 0.56$), 손목높이와 몸무게($R = 0.37$), 몸통근력과 몸무게($R = 0.47$), 손목높이와 신장($R = 0.71$), 다리근력과 신장($R = 0.36$), 몸통근력과 손목높이($R = 0.37$), 다리근력과 손목높이($R = 0.49$), 악력과 손목높이($R = 0.37$), 몸통근력과 팔근력($R = 0.6$), 다리근력과 팔근력($R = 0.58$), 다리근력과 몸통근력($R = 0.68$) 등에 양의 상관관계가 나타나고 있다.

또한 각 Task에 대해서 acceptable한 group과 unacceptable한 group과의 신체특성과 Strenght에 대해서 group별로 유의한 차이가 있는지를 알아보기 위하여 T-테스트를 실시한 결과 등분산의 가정하에 No 18에 대해서만 LEG STRENGHT에 유의($\text{Prob} > |T| = 0.0251$)하다고 볼수 있다.

이런 결과를 놓고 볼때 피실험자들의 acceptable, unacceptable에 영향을 주는 것은 거의 없고 선자세의 작업인 No 18에 대해서 다리근력이 조금유의한 것으로 나타났다.

NIOSH의 MPL기준(25%)으로 볼 때 No 10 만이 제외되고 나머지 작업들은 모두 acceptable하고 AL 기준(99%)으로도 4개의 작업이 acceptable 함을 <표.5>에서 알수있다. 그러나 NIOSH Guide에서 실험에서의 빈도수가 빈도수의 한계치(F_{max})와 같은 경우에는 FACTOR값이 "0"이 나왔으나 실제로 실험에서는 훨씬 무거운 무게를 피실험자들이 acceptable하였다. 따라서, 우리나라에는 빈도수의 적용에 주의를 기울여야 함을 알수있다.

여기서 피실험자들의 실험결과가 각 변수들에 유의하지 않은 것은 미국기준이 우리나라에 적합하지 않다는 것보다는 심리육체적인 방법에 피실험자들의 인식부족과 또한 작업에 대한 개인적인 사명감(이것을 꼭 해야겠다)이 우선되고 있기 때문이다. 그래서 실제 작업에 미국의 기준을 그대로 적용하면 위험을 초래할 가능성도 포함하고 있다.

<표. 5>

실험결과

Task No	작업		빈도/1분
			명수 (%)*
1	Box 를 작업대 위로	올린다	20 (67%)
2		내린다	26 (87%)
3	Box를 보조 물에서 작업 대 위로	올린다	30 (100%)
4		내린다	29 (97%)
5	바닥에 있는 Box를 다른 곳으로 옮긴다		26 (87%)
6	각목을 옮긴다		30 (100%)
7	각목을 작업대 위로	올린다	26 (87%)
8		내린다	29 (97%)
9	물통을 옮긴다		30 (100%)
Total			246 (91%)

Task No	작업		빈도/1분
			명수 (%)*
10	Box 를 작업대 위로	올린다	7 (23%)
11		내린다	19 (63%)
12	Box를 보조 물에서 작업 대 위로	올린다	25 (83%)
13		내린다	30 (100%)
14	바닥에 있는 Box를 다른 곳으로 옮긴다		12 (40%)
15	각목을 옮긴다		26 (87%)
16	각목을 작업대 위로	올린다	15 (50%)
17		내린다	23 (77%)
18	물통을 옮긴다		19 (63%)
Total			176 (65%)

* : 피실험자가 좋다고 받아들인(acceptable) 을

<표.6> 작업의 AL, MPL, RWL 값

단위:kg

Task No	작업		무게	AL	MPL	RWL
1	Box 를 작업대 위로	올린다	10	1.62	4.86	1.21
2		내린다	10	1.62	4.86	1.21
3	Box 를 보조 물에서 작업 대 위로	올린다	10	3.69	11.1	1.29
4		내린다	10	3.69	11.1	1.29
5	바닥에 있는 Box 를 다른 곳으로 옮긴다		10	1.7	5.1	0.67
6	각목을 옮긴다		4.5	1.6	4.8	1.3
7	각목을 작업대 위로	올린다	4.5	1.5	4.6	1.23
8		내린다	4.5	1.5	4.6	1.23
9	물통을 옮긴다		4	0	0	0

<표.6 계속> 작업의 AL, MPL, RWL 값

단위:kg

Task No	작업		무게	AL	PL	RWL
10	Box 를 작업대 위로	올린다	10			
11		내린다	10			
12	Box 를 보조 물에서 작업 대 위로	올린다	10			
13		내린다	10			
14	바닥에 있는 Box 를 다른 곳으로 옮긴다		10	0.57	1.7	0.32
15	각목을 옮긴다		4.5			
16	각목을 작업대 위로	올린다	4.5			
17		내린다	4.5			
18	물통을 옮긴다		4			

3. 결론

이 연구에서의 목적이 MMH시 연구되는 방법인 NIOSH의 수행방법을 우리나라에서도 그대로 적용할 수 있겠느냐는 것이었다. 그러나, 위의 실험결과를 볼때 NIOSH Guide를 문화적 배경이나 신체적 조건이 다른 우리나라에 그대로 적용하는 것은 불가능하며, 특히 업무를 수행할때 신체적 조건보다는 정신적인 영향이 더 큰것이므로 자신의 몸은 자신이 관리하는 것이 바람직하다. 일반적인 인간공학의 실험에 참가했던 미국인과 한국인(피실험자)의 신체특성과 근력의 비교를 다음의 <표.7>에서 보여준다. 이것을 보면 몸무게와 신장, 팔근력, 다리근력 등은 미국인이 훨씬 높고 단지 몸통근력에서만 한국이 앞서있는 것을 볼때 한국인과 미국인의 차이는 자명한 것이라 하겠다.

이 연구의 피실험자들이 NIOSH 기준보다 훨씬 높은 무게를 accept한 것이 아닌가 하는 생각이 든다. 하지만 심리육체적인 방법을 적용할때에 무게가 주는 stress를 인지하는 것에 대한 ROC Curve를 찾기 전에는 무슨 이유때문에 이러한 차이가 났는지 확실하지 않다.

〈표.7〉 한국인과 미국인의 신체비교

	한국	미국
Variable	Mean	Mean
나이	22.53	26.2
몸무게	65.10	80.6
신 장	171.96	178.6

	한국	미국
Variable	Mean	Mean
ARM (kg)	34.53	46.7
TORSO	82.63	46
LEG	101.87	112

예전부터 상부상조하는 미덕이 있어왔던 우리나라에서는 작업을 배분할때 신체적 조건을 안배 하므로 무리한 작업을 많이 수행하지 않는다. 이처럼 계산에 의한 것보다는 직관적인 생각을 많이 하는 한 산업재해가 발생할 소지가 많이 있다. 하루 빨리 체계적인 연구가 수행되어 우리나라의 현실에 적합한 Guide Line을 찾는 것이 시급한 일이라 하겠다.

REFERENCES

- Karwowski, W., 1992. "Implications of Proposed Revisions in a Draft of the Revised NIOSH Lifting Guide(1991) for Job Redesign : A Field Study", Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting, 659-663.
- Putz-Anderson, V., Waters, T. R., and Garg, Arun, 1992. User's Guide for the Revised NIOSH Lifting Equation, U.S. DHHS, NIOSH, Cincinnati, OH.
- Chaffin and Andersson, Occupational Biomechanics, 1991.