

한국 작업자의 요통예방을 위한 작업하중 설계지침

이 관 석, 박 희 석, 서 치 원

홍익대학교 공과대학 산업공학과

ABSTRACT

본 연구의 목적은 드는 작업에 있어서 한국 작업자의 적정하중을 구하여 중량물 안전기준을 정하는 것이다. 본 연구에서는 주어진 작업조건하에서 피실험자가 들어올릴 수 있는 적정하중을 결정하기 위한 기준으로서 피실험자 자신에 의해서 인지되는 스트레스 정도를 이용하는 심리육체적 방법 (Psychophysical method), 주어진 작업조건하에서 요추에 가해지는 압력을 이용하는 생체역학적 방법 (Biomechanical method), 주어진 작업조건하에서 피실험자의 에너지 소모량을 이용하는 생리학적 접근법등이 이용되었다.

피실험자는 학생(n=43)과 작업자(n=3) 두개의 군으로 나뉘어진다. 실험에 들어가기 전에 피실험자에 대한 인체측정과 근력측정을 수행하였다. 실험은 수직면에서 드는 빈도(1, 2, 와 4회/분)와 드는 높이(0-80cm 와 47-102cm)를 조합한 6가지의 작업을 무작위로 선택하여 심리육체적 방법으로 각 작업에 대한 적정하중을 구하였다.

연구결과로서 피실험자의 신체자료와 근력의 비교로부터 신체조건은 학생이 우수하였으나, 근력은 작업자가 우수하였다. 본 연구에서 채택된 들기의 빈도가 변함에 따라 최대허용 하중은 변하였다. 작업자군에 대하여는 빈도가 증가할수록 최대허용 하중은 감소하였으며, 학생군에 대하여는 분당 1회와 분당 4회간의 유의한 차이가 있었다. 들기의 시작-종점의 변화에 따른 최대허용 하중은 통계적으로 유의하지 않았다. 위의 두 결과는 들기의 빈도가 들기의 시작-종점보다 민감한 변수임을 가리키며 이는 미국 NIOSH의 결과와 일치한다. 심리육체적 방법을 사용하여 우리나라의 젊고 건강한 남성의 대부분(99%)을 고려하여 산출된 최대허용 하중은 미국 NIOSH 안전기준과 큰 차이가 없음을 발견하였다. 또한 이 최대허용 하중은 인체역학적방법과 생리학적 방법을 사용하여 검토한 결과, 무리가 없는 수준임이 입증되었다. 본 연구의 결과를 토대로 우리나라 젊고 건강한 남성에게 적합한 무게상수는 작업자군에 대하여 25.05kg, 학생군에 대하여 20.24kg 으로 나타나 이는 미국 NIOSH 안전기준과 대체로 일치함을 발견하였다.

I. 서론

생산기술의 발전에 의한 기계화와 자동화에도 불구하고 산업현장에서는 아직도 사람의 손이나 몸의 일부분을 이용하여 장비나 물건을 운반하는 작업 (Manual Materials Handling)이 많은 비율을 이루고 있다. 이러한 작업들이 효율적으로 사고없이 수행되려면 작업자에게 무리함을 주지 않는 작업방법과 작업하중 등에 대한 안전지침이 제시되어야 한다. 선진국의 경우와는 달리 우리나라에서는 이러한 지침을 고안하는 데 필요한 자료를 주로 경험에 의존하며 과학적이고 체계적인 자료를 찾기가 어려운 실정이

다. 이러한 자료의 부재로 인하여 많은 경우에 작업이 작업자에게 맞지 않게 설계되며 그 결과, 작업자의 빈번한 부상 및 사고와 이에 따른 생산성의 저하를 초래한다 [3,4]. 이러한 문제들의 해결을 위해서는 각 작업 방법에 따른 하중의 제한치와 취급방법, 그리고 작업자의 선정 기준에 관한 안전지침이 필요하다.

선진국, 특히 미국의 경우에는 서로 다른 작업 방법에 따른 취급하중의 제한치와 작업자의 선정에 대한 안전지침 설정에 관련된 연구로 미국정부의 보건성 산하 직업안전보건연구원 (National Institute for Occupational Safety and Health: 이하 NIOSH) 에서는 물건 들기작업에 대한 안전지침을 다년간의 연구끝에 1981년도에 만든 바 있으며[5], 동 기관은 이 기준을 1991년에 다시 개정하는 등 연구를 계속하고 있다[2]. 우리나라에서는 정부와 민간의 꾸준한 노력에 의하여 작업자에 대한 배려와 산업재해 보상 등이 괄목할 만큼 개선되어 왔다. 하나 미흡한 점은 작업자에게 무리함을 주지 않는 최대 허용 하중에 대한 계량적인 연구가 없었다는 점이다. 이에 시간과 노력의 절약을 위하여 미국에서 개발된 NIOSH 안전지침을 우리나라 작업자에게 적용할 수도 있겠지만 우리나라 사람의 체격, 근력 등의 신체 조건이 미국인과 현저하게 다르므로 과연 그 적용상의 타당성을 확신할 수 없으며, 비록 적용한다 하더라도 어떤 부분을 수정 적용할 지에 대한 정보가 없다고 하겠다. 따라서 미국 NIOSH 안전지침을 우리나라 작업자에게 적용하여 보았을 때 나타나는 차이점이 무엇인가 알아보고 이것을 보정하여 안전지침이 없는 현재의 시점에서 우리나라 안전지침으로 활용 가능한 것인가를 알아보는 것이 선결 과제라 하겠다.

따라서 본 연구는 요통의 방지를 위하여 우리나라 작업자를 위한 중량물 취급작업의 안전지침을 마련하려는 노력의 첫단계로서 한국인 작업자에 맞는 최대 허용 하중 기준을 심리육체적 방법을 사용하여 도출하고 이의 타당성을 인체역학적 방법, 생리학적 방법을 통하여 검토하며, 이를 미국 NIOSH 안전지침과 비교함을 그 목적으로 한다.

II. 연구 방법

2.1. 피실험자

총 69명의 피실험자가 본 연구에 참가하였다. 피실험자들은 들기 작업의 경험이 없는 학생 53명과 들기 작업에 종사하고 있는 실제 작업자 16명으로 분류되었다. 실제 작업자군에 대해서는 경력 정도를 파악하였다. 피실험자 모두는 건강 상태가 양호하였으며 물건을 들어 올리거나 나르는 데 불편함이 없는 사람들로 구성되었으며, 현재 요통이 있거나 과거에 요통의 병력(病歷)이 있는 사람은 제외되었다.

2.2. 실험 장비

2.2.1. 들기/내리기 기구

피실험자가 들어 올린 중량물을 자동적으로 내려주어 실험을 계속적으로 원활히 하게 하는 장비로서 규칙적인 반복시, 반복 속도 또한 조절이 가능하다. 사용 방법은 먼저 이동 거리와 작업 빈도를 결정한 후에 소요되는 시간을 timer로 설정한 다음 작동하면 모터의 구동력에 의해 선반이 아래로 이동한다.

2.2.2. 공구 상자

심리육체적 연구방법에 사용되는 플라스틱 공구 상자로서 48cm x 38cm x 20cm 의 제원을 가진다. 본 상자는 산업계에서 가장 많이 쓰이는 전형적인 형태로서 상자안에다 물체를 넣거나 빼내서 상자의 무게를 자유롭게 조절할 수 있도록 되어 있다.

2.2.3. 심박계 (모델명: Nissei PV-861)

생리학적 연구방법에 사용되는 장비로서 피실험자의 심박수를 원격, 무선으로 측정한다. 실험을 시작하기 전, 상의를 탈의한 상태에서 벨트 형태의 심박수 측정기를 가슴에 견고히 부착하고 손목시계 형태의 데이터 수집기를 손목에 찬다. 수집기에 있는 작동 스위치를 누른 후 작업을 실시하면 매 1분마다의 심박수가 자동적으로 측정, 기록되며 실험 종료후, 그 데이터를 실험 진행자가 재생하여 기록한다.

2.3. 실험 절차

본 연구에서 수행된 실험절차로서는 우선 주실험전 각종 인체 제원과 근력이 측정되었으며, 그 후 심리육체적 접근방법과 생리학적 접근방법이 실시간 (on-line) 으로 진행되었고 인체역학적 연구방법은 후시간 (off-line) 으로 실시되었다. 그 상세한 내용은 다음과 같다.

2.3.1. 인체 제원 및 근력 측정 (Anthropometric and Strength Measurements)

작업자군과 학생군간의 비교를 위하여 피실험자의 신장, 체중, 손목 높이, 팔꿈치 높이, 무릎 높이, 체중 등 인체 제원 및 팔근력, 다리근력, 몸통근력, 악력 등의 근력을 측정하였다.

2.3.2. 심리육체적 접근방법

본 실험 단계에서는 피실험자가 20분 동안 들기 작업을 직접 수행하되, 8시간동안 들기 작업을 계속 수행함을 가정한다. 20분간의 들기 작업중 수시로 피실험자 스스로 상자의 무게를 무겁거나 또는 가볍게 조절하면서 8시간 작업시 자신에게 가장 적합하다고 여겨지는 최대허용 하중에 도달하게끔 한다. 현재 드는 하중은 피실험자가 알지 못하게 하며, 들기 작업 실시전 초기의 상자 무게는 무작위로 선택되었다.

들기빈도 3수준(1,2,4회/분)과 들기의 시작-종점 (0-80cm, 47-102cm) 2수준으로 구성되는 6가지 작업조건을 무작위로 선택하여 최대허용 하중의 변화를 알아 보았다. 단, NIOSH 안전지침의 공식 중, 물체 중심점까지의 거리 (V), 작업의 비대칭 각도 (A), 그리고 물체를 잡는 방법 (C) 의 값들은 고정되었다.

2.3.3. 생리학적 접근방법

본 실험 단계에서는 심리육체적 실험이 진행되는 동안, 휴대용 심박계를 사용하여 각 실험 조건하에서의 피실험자 심박수의 변동을 측정하였다. 심박계는 피실험자의 가슴에 부착되며 심박수의 측정은 1분 간격으로 실시되었다.

2.3.4. 인체역학적 방법을 이용한 연구

본 실험 단계에서는 인체 측정에서 얻어진 자료와 인체역학적인 모형화 기법을 사용하여 중량물 운반시 L₅/S₁ 요추에 발생하는 디스크 압력(Disc Compressive Forces)을 계산하였다. 우선 각 작업에 해당하는 인체역학적인 모형을 수립한 후 각 신체부위에 발생하는 부담의 정도를 컴퓨터 프로그램 (미시간 대학교의 2D Static Strength Computer Model)을 사용하여 계산하였다.

III. 연구 결과

3.1. 신체측정 및 근력측정 데이터

신체 제원적인 면에서는 학생군이 작업자군보다 대체로 우월하였으나 근력에서는 작업자군이 대체로 우월하였다.

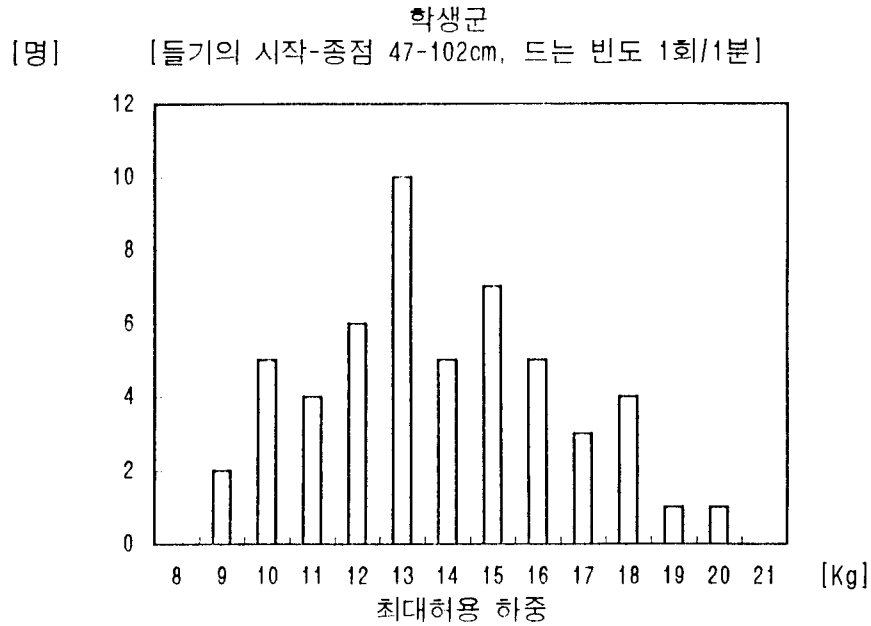
3.2. 심리육체적 방법의 타당성 검토

최대허용 하중 도출의 주요 기법으로 채택된 심리육체적 방법의 타당성을 검토하였다. 이는 도출된 최대허용 데이터의 정규성 (normality) 검증과 실제 8시간 작업을 통한 검증 등 2단계로 구성된다.

3.2.1. 정규성 검토

각 작업조건하에서 심리육체적 방법을 통하여 구해진 데이터를 Kolmogrov 검증방법을 사용하여 정규분포를 따르는지를 각 피실험자군에 대하여 살펴보았다. [그림 1]에서 알 수 있듯이 최대허용 하중 데이터가 정규-분포를 따른다고 가정할 수 있다(모든 작업조건에 대하여 Kolmogrove 통계량 유의수준

만족함). 추후에 수행될 각종 정규분포와 관련된 통계적 처리에 아무런 문제가 없음을 보장할 수 있다.



[그림 1] 도수분포표

3.2.2. 8시간 작업을 통한 타당성 검토

피실험자의 일부에 대하여 실제 8시간동안 작업을 실시하여 최대허용 하중을 구한 결과, 6가지 실험조건을 모두 감안할 때 작업개시 8시간후 측정된 최대허용 하중은 20분의 실험에서 얻어지는 최대허용 하중에 비하여 작업자군에 대하여는 96%, 학생군에 대하여는 76%로 나타나 그 정확성이 높음을 알 수 있으며, 들기작업의 경험이 있는 작업자군이 육체에 주는 스트레스를 학생군보다 더 잘 감지함을 알 수 있다[1].

3.3. 심리육체적 방법을 이용한 최대허용 하중 도출

심리육체적 방법을 통하여 도출된 최대허용 하중이 들기의 빈도와 수직이동거리에 어떤 영향을 받는 지와 미국 NIOSH 안전기준과 얼마만큼의 차이를 갖는 지를 분석하였다.

3.3.1. 작업조건에 대한 영향분석

학생군, 작업자군 각각에 대하여 평균 최대허용 하중을 구한 후, 들기의 빈도 (F)와 시종점(D)에 대하여 분산분석을 실시하였다. [표 1]에 나타나 있는 것처럼 두 피실험자군에 모두에 대하여 들기의 빈도만이 유의한 인자이었다.

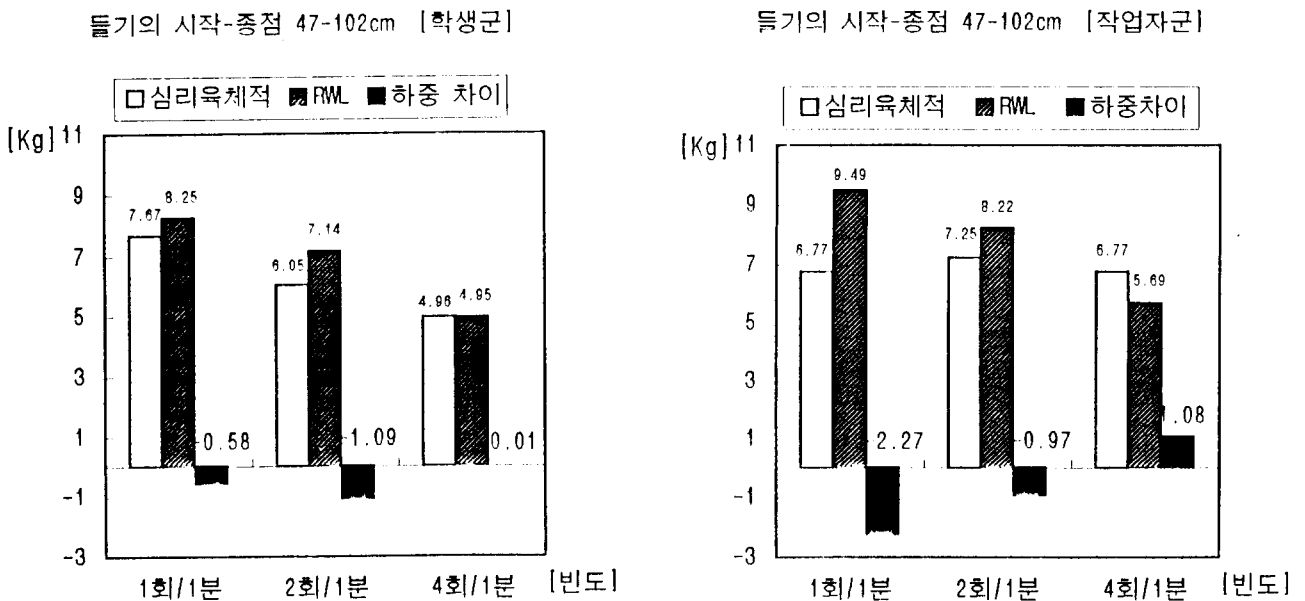
[표 1] 분산분석 결과

인자	자유도	학생군p값	작업자군p값
들기의 시종점	1	0.7915	0.0925
들기 빈도	2	0.0001*	0.0037*
교호작용	2	0.3703	0.9214

Tukey 검증결과 작업자군에 대하여는 빈도가 높을수록 최대허용 하중은 낮게 나왔으며, 학생군에 대하여는 1회/분과 4회/분 간에는 최대허용 하중에 유의한 차이가 있었으나 1회/분과 2회/분간, 2회/분과 4회/분간에는 최대허용 하중의 차이는 유의하지 않았다.

3.3.2. 미국 NIOSH 안전기준과의 비교

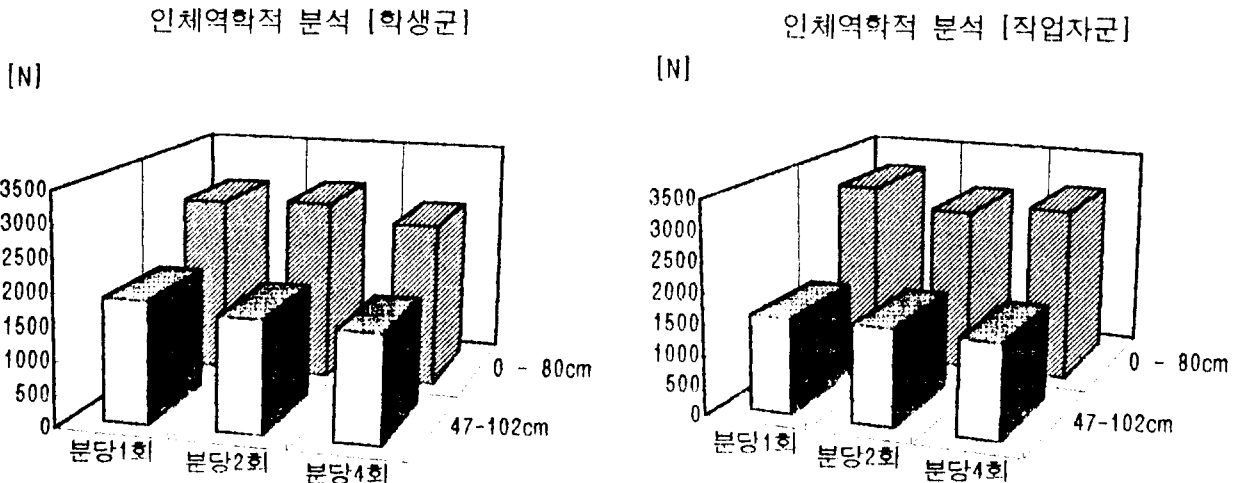
젊고 건강한 한국 남성에게 미국 NIOSH 안전기준을 적용함에 있어서 무리가 없는지를 검토하였다. 미국 NIOSH 안전기준은 대부분의 인구계층, 즉 99%를 그 적용대상으로 하는 것이므로 비교의 균형을 위하여 본 실험에서 도출된 평균 최대허용 하중에서 2.97x표준편차를 차감한 값 (이하 최대허용 하중 99%라 표기)을 분석대상으로 하였으며, 본 실험의 조건을 NIOSH 안전기준 산출공식에 대입하여 RWL을 계산하였다. 작업조건별 RWL값들과 이에 대응하는 최대허용 하중 99%와 두 값간의 격차 (최대허용 하중 99%-RWL)가 작업조건별로 [그림 2]에 나타나 있다. [그림 2]에서 알 수 있듯이 본 실험에서 구해진 최대허용 하중과 미국 NIOSH 안전기준과는 큰 차이가 없음을 발견할 수 있다.



[그림 2] 최대허용 하중 99%과 NIOSH 안전기준 비교

3.4. 인체역학적 방법을 사용한 요추 스트레스 분석

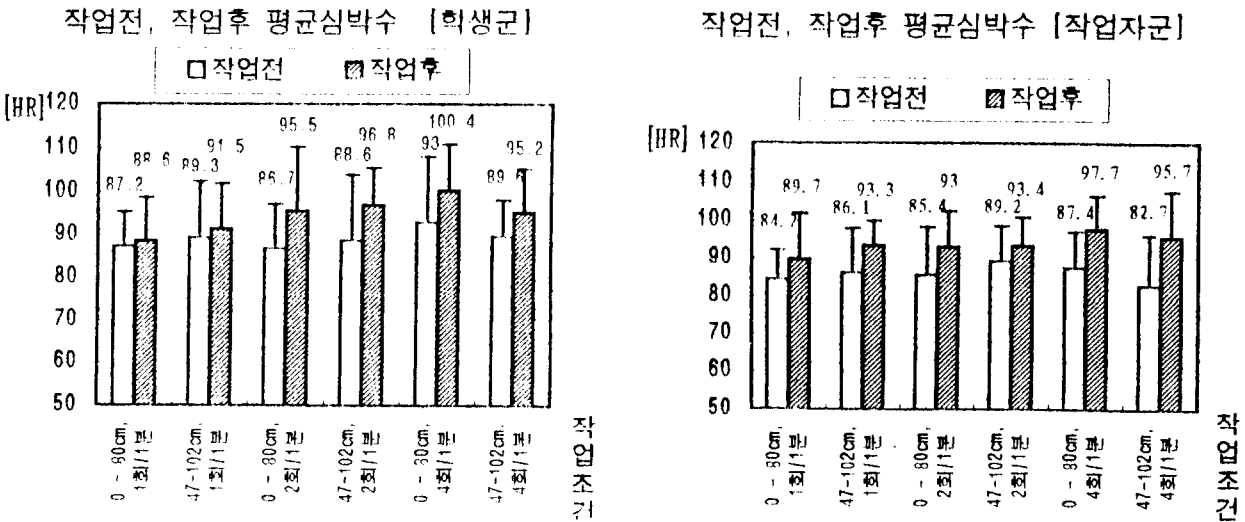
[그림 3]로부터 바닥에서 들어올리는 경우가 무릎높이에서 들어올리는 경우보다 요추에의 스트레스는 큰 것을 알 수 있으며, 학생, 작업자 모두 전 작업조건에 대하여 AL 위험수준 이하에 있음을 알 수 있다. 이것은 심리육체적 방법의 실험을 수행함에 있어 피실험자들이 8시간 작업기준으로 보아 무리가 없는 최대허용 하중을 선택하였음을 시사한다.



[그림 3] 작업조건별 요추의 압력

3.5. 생리학적 방법을 이용한 연구

학생군과 작업자군에 대하여 작업전과 작업후의 평균 심박수 차이가 [그림 4]에 나타나 있다. 심박수의 특성인 개인차를 볼 수 있으나 작업조건에 평균 심박수가 100이하를 유지하고 있으므로 피실험자들이 무리한 강도의 작업보다는 비교적 강도가 낮은 작업을 수행하였음을 알 수 있다. 이는 인체역학적 방법의 연구결과와 일치하는 것으로서 심리육체적 방법의 실험을 수행함에 있어 피실험자들이 8시간



[그림 4] 각 작업조건별 작업전과 작업후의 평균 심박수 차이

3.6. 젊고 건강한 한국인 작업자에 적합한 무게 상수

심리육체적 방법으로 얻어진 최대허용 하중의 하위 99% 값을 종속변수로 취하고 본 실험의 작업 조건을 독립변수로 취하여 선형 회귀분석을 실시하였다. 그 결과, 작업자군에 대하여 25.05 Kg ($r^2=0.71$), 학생군에 대하여 20.24 Kg ($r^2=0.73$) 으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구는 작업장에서 발생하는 요통의 방지를 위하여 중량물 취급작업에서 우리나라 작업자에게 적용될 수 있는 안전지침을 마련함에 있어, 우선 한국인 작업자에 맞는 최대허용 하중 기준을 심리육체적 방법을 사용하여 도출하고 이의 타당성을 인체역학적 방법, 생리학적 방법을 통하여 검토하며, 이를 미국 NIOSH 안전지침과 비교함을 그 목적으로 하였다.

본 연구의 결과로 신체체격조건은 학생이 대체로 우월하였으나 근력은 작업자가 대체로 우월하였다. 심리육체적 방법을 사용하여 도출된 최대허용 하중은 통계적으로 정규분포를 따른다고 가정하여도 무리가 없었다. 본 실험에서 변수로 채택된 들기의 빈도 (분당 1회, 2회, 4회)가 변함에 따라 최대허용 하중은 변화하였다. 작업자군에 대하여는 빈도가 증가할수록 최대허용 하중은 감소하였으며, 학생군에 대하여는 분당 1회와 분당 4회간의 유의한 차이가 있었다. 이 역시 경력이 있는 작업자들이 육체적 스트레스를 더욱 정확히 평가함을 시사한다. 이는 작업조건을 고려하지 않은 최대허용 기준은 합리적이지 않음을 가리킨다. 한편 들기의 시작점과 종점 변화(0-80cm, 47-102cm)에 따라 최대허용 하중은 통계적으로 변화하지 않았다. 그러나 작업자군에 대하여는 바닥에서 들어올리는 경우가 무릎높이에서 들어올리는 경우보다 최대허용 하중이 낮게 결정되는 경향을 보였다 ($p=0.09$). 들기의 시작점과 종점에 대한 작업자의 민감도는 학생군 ($p=0.79$) 보다 높다고 할 수 있다. 위의 두 결과는 들기의 빈도가 들기의 시작점과 종점보다 민감한 변수임을 가리키며 이는 미국 NIOSH의 결과와 일치하였다.

우리나라의 젊고 건강한 남성의 대부분 (99%)를 고려하여 산출된 최대허용 하중은 미국 NIOSH 안전기준과 큰 차이가 없음을 발견하였다. 작업조건에 따라서 약간의 차이는 보이나 그 차이는 뚜렷한 경향은 발견되지 않았다. 이는 실험 조건의 차이 또는 실험에 고유한 오차로 인한 것이라 추정된다. 심리육체적 방법을 사용하여 도출된 최대허용 하중은 인체역학적 방법과 생리학적 방법을 사용하여 검토한 결과, 합리적인 기준임을 알 수 있었다. 본 연구의 결과를 토대로 우리나라 젊고 건강한 남성에게 적합한 무게상수 (모든 작업조건이 최적일 때의 최대허용 하중) 는 작업자군에 대하여 25.05 Kg, 학생군에 대하여 20.24 Kg으로 나타났다. 따라서 일반적인 집단에 대한 무게상수는 25Kg과 20Kg사이의 값일 것이라 추정된다. 이는 미국 NIOSH 안전기준과 대체로 일치한다.

참고문헌

- [1] 이관석, 박희석, 전영호, 김윤철, "Psychophysical Method를 이용한 육체적 스트레스 산정의 우리나라에서의 적용가능성 연구", *대한산업공학회지 춘계논문집*, 1994.
- [2] Budnick, D., "Human factors in occupational medicine", *JOURNAL OF OCCUPATIONAL MEDICINE*, Vol.35, No.6, pp.587-597, 1993.
- [3] Drury, C. and Pizatella, T., "Hand placement in manual materials handling", *HUMAN FACTORS*, Vol.25(5), pp.551-562, 1983.
- [4] Mital, A. and Asfour, S., "Maximum frequencies acceptable to males for one-handed horizontal lifting in the sagittal plane", *HUMAN FACTORS*, Vol.25, No.5, pp.563-571, 1983.
- [5] National Institute for Occupational Safety and Health, *WORK PRACTICES GUIDE FOR MANUAL LIFTING*, U.S. Dept. of Health and Human Services (NIOSH), Cincinnati, Technical Report, 1981.