Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 14, No.1, 1995

직접추정법의 대칭적인 들기 작업의 최대허용하중 결정에의 적용에 관한 연구
A Study on Applying the Direct Estimation Method to Determining Maximum Acceptable Weight in Symmetric Lifting Task

이 관 석* · 박 희 석*

ABSTRACT

In this paper, the effectiveness and accuracy of using the direct estimation method were investigated in determining a worker's lifting capacity or the maximum acceptable weight of lifting(MAWOL) of symmetrical lifting tasks in the workplace were investigated. Six lifting tasks involving two vertical lifting start-end points(0-80cm, 47-102cm) and three lifting frequencies(1, 2, and 4 lifts/minute) were studied. Ten young, male subjects performed the six lifting tasks to predict the MAWOL using the psychophysical method and the direct estimation method. The main results indicated that there were no significant differences between the MAWOLs determined by the two methods except for the lifting frequency of 4 lifts/minute. Analysis of variance was performed on the task rating data to check the consistency of the task rating across subjects, which revealed no significant difference.

1. 서 론

오늘날 대부분의 산업 현장에서는 자동화, 기계화에도 불구하고 많은 경우, 여전히 작업자의 육체적 노력을 요하는 이른바 MMH (manual materials handling) 작업이 많은 비중을 차지하고 있다. 1981년 현재, 미국 내 전체 직업 중 1/3이 상당한 육체적 힘(physical exertion)을 요구하는 MMH 작업을 포함하고 있는 것으로 추정되었다 (NIOSH, 1981). 이러한 MMH 작업이 작업자에게 적합하지 않게 설계되는 경우 작업자는 상해를 입을 수 있는 바, 미국의 통계를 보면 MMH 작업으로 인한 근육골격계 (musculoskeletal system)의 부상을 입는 재해가 전체 작업 관련 재해의 52%에 달하며 이에 따라 매년 5백

* 홍익대학교 공과대학 산업공학과 교수
본 연구는 홍익대학교 교내 연구비의 지원을 받아 수행되었음.

만명의 작업자가 노동력을 상실하고, 연간 약 1,000억달러의 비용을) 초래하고 있음을 알 수 있다(Chaffin, 1994). 특히 들기 작업은 MMH 작업의 대표적인 경우로서 들어 올려지는 물건의 무게가 작업자에게 적합하지 않은 경우, 재해의 발생 가능성이 특히 높다고 하겠다. 그러므로 들기 작업 수행 시, 임의의 작업자 또는 작업자 그룹이 가장 적합하고 안전하게 들어 올릴 수 있는 최대허용하중(Maximum acceptable weight of lift)을 결정하는 것이 들기 작업의 설계에 필수적인 요소로 대두되어 왔다.

지금까지 최대허용하중의 결정에는 i) 산업재해와 관련하여 작업자의 개인적 특성과 작업 특성과의 관계를 주로 재해 통계치를 통하여 분석하는 疫學的 접근 방법(Epidemiology), ii) 주로 작업 빈도가 낮은(infrequent) MMH 작업 시, 근육골격계에 발생되는 부하를 모형을 통하여 분석하는 生體力學的 방법(Biomechanical method), iii) 보다 반복적이고 작업 빈도가 높은 MMH 작업 시 에너지 대사량에 근거하는 生理學的 방법(Physiological method), iv) 그리고 외부의 자극과 인간의 인지(cognition)를 결합시키는 心理肉體的 방법(Psychophysical method) 등이 주로 사용되어 왔다(NIOSH, 1981). 이 중 특히 심리육체적 방법은 지난 20년 동안 빈도수가 작은 반복적인 들기 작업을 평가하기 위해서 널리 사용되어 왔다(Snook and Irvine, 1967, 1968; Ayoub et al., 1978; Mital, 1983, 1984; Snook and Ciriello, 1991). 이 방법은 피실험자가 들기 작업을 하루 8시간 동안 수행하는데 있어 과도한 신체적 스트레스 없이 수용 가능한 최대허용하중을 약 20분에서 40분 정도의 시간내에서 결정하는 것으로서 비교적 정확한 수단으로 널리 사용되고 있다. 하지만 다양한 작업 조건을 분석하기 위하여는 많은 시간과 경비가 요구되어 그 적용에 어려움이 따른다. 그 예로, 들기 빈도 4수준, 비대칭 각도 4수준인 16가지 작업 조건에 대한 최대허용하중을 심리육체적 방법으로 결정하는데는 8시간 정도가 소요되었다(Chen et al., 1992).

최대허용하중을 결정하는데 걸리는 시간을 단축시키기 위한 한가지 대안은 직접추정법(Direct estimation method)으로서 이는 피실험자가 임의의 표준 작업(standard task)을 수행하고 이와 관련된 자극에 특정 비율이나 수치(예 : 100%)를 지정한 다음, 새로운 작업을 수행하고 이를 표준 작업과 비교하여 육체적 스트레스를 주관적으로 평가(subjective rating)하는 방법을 일컫는다. 즉 일종의 비율 척도(ratio scale)를 사용하여 자극과 주관적 평가를 즉시 연결시키는 방법으로서, 넓은 범위의 자극에 대한 인간의 반응을 자극에 짧게 노출되더라도 정확하게 예측할 수 있는 정확한 수단인 것으로 보여진 바 있다(Stevens, 1975). Aghazadeh et al.(1988)은 들기 작업에서 작업 변수들(들어 올리는 높이, 들기 빈도, 상자 크기)이 물건을 드는 능력에 어떤 영향을 주는가를 직접추정법을 사용하여 검토하였으며, 이 방법이 짧은 시간내에 작업 변수들의 들기 능력에 주는 영향을 정확하게 평가한다고 주장하였다. 이 방법이 성공적으로 적용되려면 작업자가 정확히 자신의 육체에 부여되는 하중 또는 자극을 정확히 판단할 수 있어야 하며, 특히 상대적으로 문화적 배경이 다른 우리나라 작업자에게 정확히 적용되는지에 대한 연구는 현재까지 수행된 바 없다.

이에 본 연구에서는 세 가지의 들기 빈도(분당 1, 2, 4 회)와 두 가지의 들기 시종점(始終點)(0~80cm, 47~102cm)으로 구성되는 6가지의 대칭적인(symmetrical) 들기 작업에 대하여 심리육체적 방법과 직접추정법을 사용하여 최대허용하중을 결정하고 그 값들을 비교, 분석하여 직접추정법의 정확성과 효율성에 대하여 논하고자 한다.

2. 연구 방법

2. 1 피실험자

무작위로 선출된 10명의 남자 대학생(평균 연령 21.9±2.4세, 평균 신장 174.6±3.7cm, 평균 체중 64.0±6.0kg)이 본 실험에 참여하였다. 질문을 통하여 현재 근육골격계의 질환이 있어서 치료 중이거나 또는 과거의 병력(病歷)이 있는 자는 실험에서 제외되었다. 피실험자는 실험에 앞서 들기 작업, 실험 장비, 심리육체적 방법, 직접추정법 등에 관한 교육과 훈련을 받았다.

2.2 실험 장비

2.2.1 들기/내리기 기구

실험에 사용한 들기/내리기 기구는 본 연구진에 의하여 제작된 것으로서 들거나 내림을 자동적으로 수행하며 규칙적인 반복 시, 반복 속도의 조절이 가능하다. 들기 시종점의 범위는 최대 150cm, 작업 빈도는 분당 0.2회-6회, 허용 무게는 최대 40Kg이며 1시간 동안 연속 동작할 수 있다. 구조는 <그림 1>과 같다.

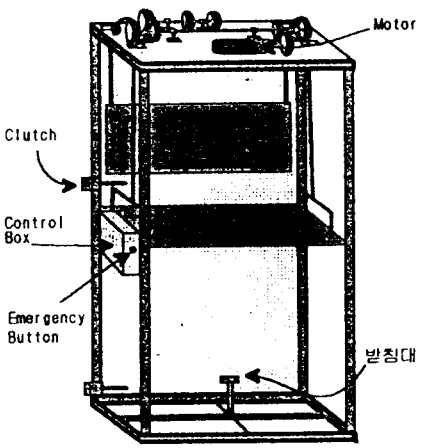

그림 1. 들기/내리기 기구

2.2.2 공구 상자

산업 현장에서 흔히 사용되는 형태의 플라스틱 공구 상자(치수 48cm x 38cm x 20cm)를 사용하였다. 상자 안에다 물체를 넣거나 빼내서 무게를 자유롭게 조절할 수 있다. 공구 상자는 <그림 2>에 예시되어 있다.

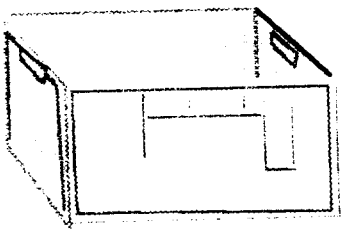

그림 2. 공구 상자

2.3 실험 계획 및 절차

본 연구에서는 3수준의 들기 빈도(분당 1, 2, 4회)와 2수준의 들기 시종점(0~80cm, 47~102cm)으로 구성되는 6가지 들기 작업 조건에 대한 평가가 수행되었다. 들기 작업의 그 외 작업 조건은 고정되었다. 6가지 작업 조건은 무작위로 제시되었으며(completely randomized design), 모든 작업 조건에 대하여 심리육체적 방법과 직접추정법이 각각 적용되었다. 상세한 실험 절차는 아래와 같다.

2.3.1 심리육체적 방법

본 실험에서는 피실험자가 들기 작업을 실제로 20여분 동안 수행함에 있어 하루 8시간 동안 정상적으로 작업함을 가정하였다. 드는 상자의 무게는 아주 가볍거나 또는 아주 무거운 것부터 시작하여 자신에게 8시간 기준으로 보아 가장 적합하다고 느껴질 때까지 피실험자가 상자의 무게를 조절하도록 하였다. 상자의 초기 무게는 무작위로 선정되었으며 현재 드는 상자의 무게는 피실험자가 알지 못하게끔 하였다. 6가지 들기 작업의 조건의 무작

위로 제시되었으며, 실험간에는 피로의 방지를 위하여 적절한 휴식 시간을 주었다. 무게의 조정에는 각 실험 조건 당 약 20분이 소요되었으며 본 실험은 하루 내에 수행되었다.

2.3.2 직접추정법

본 실험은 심리육체적 방법에 의한 실험이 수행된 후, 다른 날에 수행되었다. 6가지 작업 조건 중 한 가지 작업 조건(들기 빈도 분당 2회, 들기 시종점 0~80cm)을 표준 작업으로 정하였다. Stevens(1975)에 의해 제안된 절차에 근거하여 표준 작업 조건에 대하여 첫번째 심리육체적 방법에 의한 실험에서 구해진 최대허용하중을 각 피실험자의 기준 부하(base load)로 책정하였다. 피실험자는 표준 작업의 수행에 소요되는 노력과 피로 정도를 파악하기 위하여 표준 작업 조건하에서 약 5분간 기준 부하의 상자를 들어 올리며 이때의 부하를 100%로 여긴다. 그 후, 나머지 작업 조건을 무작위로 선정하여 첫번 째 심리육체적 방법의 실험에서 구해진 최대허용하중을 드는 작업을 실제로 수행한 후, 각각의 스트레스를 기준 부하와 비교하여 주관적으로 평가하게 끔 하였다. 평가에는 약 1분~4분 정도 소요되었다.

직접추정법하에서의 각 작업 조건별 최대허용하중은 기준 부하(표준 작업의 최대허용하중)와 당 작업 조건의 평가치(%)를 아래 식(1)에 대입하여 산출되었다.

최대허용하중(Kg)
=기준 부하×{1-(평가치-100)/100)} ..... (1)

3. 결 과

6가지 작업 조건을 각각 심리육체적 방법과 직접추정법을 사용하여 평가한 결과, 들기 빈도 분당 4회의 작업 조건을 제외하고는 유의 수준 0.05에서 양 방법으로 구해진 최대허용하중간에 유의한 차이가 없음을 알 수 있었다. 평가 방법별, 작업 조건별 추세에 대하여 아래에 자세히 기술한다.

3.1 심리육체적 방법에 의한 최대허용하중의 결정

6가지 작업 조건에 대하여 심리육체적 방법으로 구한 최대허용하중의 평균과 표준편차가 <그림 3>에 나타나 있다. 들기 빈도와 들기 시종점의 최대허용하중에 대한 영향을 분석하기 위하여 분산 분석(analysis of variance)을 실시하였다. 그 결과, 들기 빈도(분당 1, 2, 4회)는 유의 수준 0.05에서 유의하여 분당 1회와 4회간에는 최대허용하중의 유의한 차이가 있었다. 즉, 들기 빈도가 빈번할수록 최대허용하중은 낮게 책정되었다(분당 4회의 최대허용하중/분당 1회의 최대허용하중 =83.4%). 분당 1회와 2회간, 그리고 2회와 4회간에는 최대허용하중의 차이가 유의하지 않았다. 들기 시종점(0~80cm, 47~102cm)은 유의 수준 0.05에서 유의하지 않은 인자로 나타났으며, 들기 시종점과 들기 빈도간의 교호작용(interaction effect) 역시 유의하지 않았다.

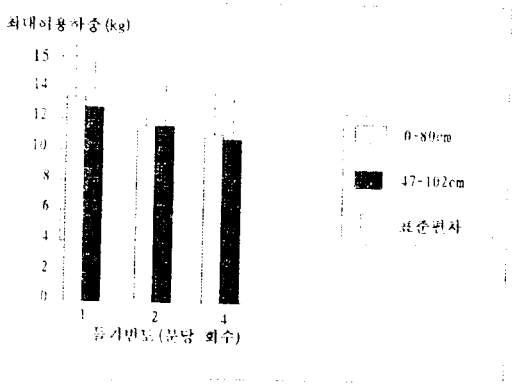

그림 3. 작업 조건에 따른 최대허용하중의 변화(심리육체적 방법)

3.2 직접추정법에 의한 작업 조건의 평가

직접추정법에 의한 작업 평가치(task rating scores)의 평균값이 들기 빈도와 들기 시종점의 함수로 <표 1>에 제시되어 있다. 각 평가치의 피실험자간 일관성에 대한 분산 분석 결과, 피실험자간에 유의한 차이가 없음을 알 수 있었다(유의 수준 0.05).

표 1. 직접추정법을 사용한 평균 평가치 (단위 : %)

들어 올리는 높이 (부터~까지 : cm)	들기 빈도/분		
	1	2	3
0~ 80	85.90(13.84)	100.00(0.00)	111.80(12.67)
47~102	93.60(23.61)	104.60(20.38)	122.30(17.88)

* 괄호 안은 표준편차

들기 빈도와 들기 시종점의 영향을 분석하기 위하여 작업 평가치에 대하여 분산 분석을 실시하였다. 그 결과, 심리육체적 방법에 의한 실험에서와 같이 단지 들기 빈도만이 유의한 것으로 나타났으며 분당 1회와 4회간에는 최대허용하중의 유의한 차이가 있었다(분당 4회의 최대허용하중/분당 1회의 최대허용하중 =72.1%).

3.3 심리육체적 방법과 직접추정법의 비교

직접추정법에 의하여 구해진 평가치를 전술한 식(1)에 대입하여 예측된 최대허용하중과 심리육체적 방법을 사용하여 구한 최대허용하중을 비교하였다(<표 2> 참조). 두 방법에 의하여 얻어진 최대허용하중간의 차이를 들기 빈도와 들기 시종점의 함수로 분산 분석을 수행한 결과, 들기 빈도 분당 4회의 작업조건을 제외하고는 유의 수준 0.05에서 양 방법간에 차이가 없음을 알 수 있었다(<그림 4> 참조). 들기 빈도 분당 4회에서는 직접추정법은 심리육체적 방법에 비하여 최대허용하중이 평균 15.7% 낮게 추정되었다.

표 2. 심리육체적 방법과 직접추정법에 의한 평균 최대허용하중 (단위 : Kg)

방 법	들어 올리 는 높이(부터~ 까지 : cm)	들기 빈도/분		
		1	2	3
심리육체 적 방 법	0~ 80	13.30(3.43)	11.57(2.12)	11.07(2.69)
	47~102	12.72(2.92)	11.56(2.70)	10.73(2.67)
직 접 추정법	0~ 80	13.30(3.43)	11.57(2.12)	9.50(2.12)
	47~102	12.21(3.30)	10.97(3.03)	8.89(2.58)

* 괄호 안은 표준편차

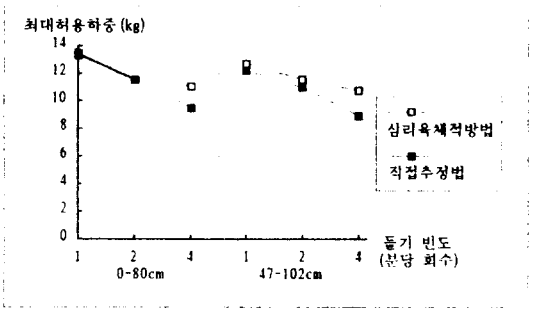

그림 4. 심리육체적 방법과 직접추정법에 의한 최대허용하중의 비교

4. 결론 및 토의

MMH 작업에서 최대허용하중을 결정함에 있어서 심리육체적 방법은 그 정확성과 효율성이 입증되어 지난 20년간 많이 사용되어 왔다. 하지만 이 방법은 실제 현장에서 작업자의 선발이나 배치를 위해 사용하기에는 시간이 너무 많이 소요되기 때문에 실행상에 많은 불리한 점을 가지고 있다. 본 연구에서는 심리육체적 방법을 사용하여 6가지 작업을 실험하는데 피실험자 당 평균 150분 정도가 소요되었다. 이에 반해 직접추정법 사용 시에는 단지 50분 정도만이 소요되었다. 평가하고자 하는 작업의 수가 증가하면 이러한 차이는 훨

씬 커진다. 이는 직접추정법이 심리육체적 방법에 비하여 비용과 시간면에서 훨씬 효율적임을 가리킨다.

데이터의 정확성에 있어서는 들기 빈도 분당 4회를 제외하고는 심리육체적 방법과 직접추정법간의 유의한 차이를 발견하지 못하였다. 이러한 결과는 들기 빈도와 들기 시종점이 현실적인 범위에 있는 들기 작업의 최대허용하중을 결정하는데 직접추정법이 정확성을 가지고 있다는 것을 의미한다. 들기 빈도 분당 4회 이상의 빈도가 빈번한 반복적인(repetitive) 작업에 대해서 직접추정법을 적용함에는 어려움이 있는 것으로 나타났으며 이 경우, 에너지 대사량과 피로를 기준으로 하는 생리학적인 방법으로 접근하는 것이 더욱 타당하다고 사료된다. 심리육체적 방법의 경우에는 그 적용 한계점이 본 연구 결과와 다소 상이한 들기 빈도 분당 6회 이상으로서(Ciriello and Snook, 1983; Asfour et al., 1985, Karwowski and Yates, 1986) 이 범위에는 생리학적 접근 방법이 더욱 바람직하며, 또한 작업 지속 시간이 1시간 이상인 경우에도 그 정확성을 보장할 수 없다고 보고된 바 있다(Mital, 1983).

Chen et al.(1992)의 결과에 의하면 들기 빈도 분당 1회에서 정중면(sagittal plane)과 30도, 60도를 이루는 비대칭적인 들어 올리기 작업에서 심리육체적 방법과 직접추정법간에는 통계적으로 유의한 차가 있었다. 또한 Morrissey et al.(1990)은 60초의 작업간 간격과 몸통의 비틀림을 요구하는 작업 조건에서의 피실험자는 스트레스를 정확히 감지할 수 없다고 하였다. 이러한 결과는 들기 간격이 60초 이상으로 길며, 작업면이 몸과 비대칭적인 들기 작업에 직접추정법을 적용할 때는 많은 주의를 기울여야 함을 시사한다.

결론적으로, 들기 빈도가 분당 1회, 2회 정도의 현실적인 범위에 있는 대칭적인 들기 작업에서 최대허용하중을 결정할 때 직접추정법을 적용할 수 있겠다. 추후, 직접추정법의 한계성에 영향을 주는 다른 작업 변수에 대한 연구와, 기준 작업이 달라짐에 따라 직접추정법의 정확도가 어떻게 영향받는지에 대한 연구가 따라야 하겠다.

參 考 文 獻

[1] Aghazadeh, F., Lee, K.S., Waikar, A.M., "Utilization of direct estimation method to determine the effects of task variables on the capacity to lift loads", Proceeding of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, pp. 687-689, 1988.

[2] Asfour, S. S., Ayoub, M. M. and Genaidy, A. M., "Computer models for energy cost prediction of manual lifting and lowering", Computers and Industrial Engineering, 9 : 376-379, 1985.

[3] Ayoub, M. M., Bethea, N. J., Deivanayagam, S., Asfour, S.S., Bakken, G. M., Lies, M. S., Mital, A., and Sherif, M., "Determination and modeling of a lifting capacity", Final Report, NOISH, Grant No. tR010H- 005-45-02, 1978.

[4] Chaffin, D.B., "Computerized biomechanical models for high exertion manual jobs", Proceedings of The 3rd Pan-Pacific Conference on Occupational Ergonomics, pp. 1-15, 1994.

[5] Chen, F., Aghazadeh, F., Lee, K. S., "Utilization of direct estimation method to predict the maximum acceptable weight of symmetrical and asymmetrical lift", Proceeding of the Human Factors Society 36th Annual Meeting,

pp. 679-683, 1992.

[6] Ciriello, V. M. and Snook, S. H., "A study of size, distance, height and frequency effects on manual handling tasks", Human Factors, 25 : 473-483, 1983.

[7] Karwowski, W. and Yates, J. W., "Reliability of the psychophysical approach to manual lifting of liquids by females", Ergonomics, 29 : 237-248, 1986.

[8] Mital, A., "The psychophysical approach in manual lifting -a verification study", Human Factors, 25 : 485-491, 1983.

[9] Mital, A., "Maximum weights of lift acceptable to male and female industrial workers for extended work shifts", Ergonomics, 27 : 1115-1126, 1984.

[10] Morrissey, S. J., Bittner, A. C., and Arcangeli, K. K., "Accuracy of a ratio-estimation method to set maximum acceptable weights in complex lifting tasks", International Journals of Industrial Ergonomics, 5 : 169-174, 1990.

[11] National Institute for Occupational Safety and Health, Work Practices Guide for Manual Lifting, DHHS Publication NO. 81-1222, American Industrial Hygiene Association; Akron, OH, 1981.

[12] Snook, S. H. and Irvine, C. H., "Maximum acceptable weights of lifts", American Industrial Hygiene Association Journal, 28 : 322-329, 1967.

[13] Snook, S. H. and Irvine, C. H., "Maximum weight of lift acceptable to male industrial workers", American Industrial Hygiene Association Journal, 29 : 531-536, 1968.

[14] Snook, S. H. and Ciriello, V. M., "The design of manual handling tasks : revised tables of maximum acceptable weights and forces", Ergonomics, 34 : 1197-1213, 1991.

[15] Stevens, S. S., Psychophysics, John Wiley & Sons, 1975.