

# 대칭과 비대칭 들기 작업에서의 인체심리학적 연구

윤 훈 용

동아대학교 기계·산업시스템공학부 산업시스템공학 전공

## Psychophysical Study on Symmetric and Asymmetric Lifting Tasks

Hoonyong Yoon

Division of Mechanical, Industrial & Systems Engineering ISE Major

The objective of this study was to utilize the psychophysical approach to examine the symmetric and asymmetric lifting tasks from a simulated industrial tasks. A laboratory experiment was conducted. Six male college students were recruited as participants. Three different lifting frequencies (1, 3, 5 lifts/min) and two twisting angles (including the sagittal plane and one asymmetric angle ; i.e., 0o, 90o) for symmetric and asymmetric tasks, respectively, with one lifting range from floor to 76cm height for one hour's work shift using free style lifting technique were studied. The maximum acceptable weight of lift (MAWL) was determined under the different task conditions, and the oxygen consumption, heart rate, and RPE were measured or recorded while subjects were lifting their MAWL. The results showed that: (1) The MAWLs were significantly lower

for asymmetric lifting than for symmetric lifting in the sagittal plane. However, the heart rate, oxygen consumption, and RPE were not statistically affected by the asymmetry, although the twisting angle significantly effected on the heart rate, oxygen consumption and RPE from the past studies.; (2) The heart rate, oxygen consumption, RPE significantly increased with an increase in lifting frequency though maximum acceptable weight of lift decreased.; (3) The percentage decrease in MAWL with twisting angle was somewhat lower than those of the Occidental participants.

**Key Words:** Manual material handling, psychophysical approach, maximum acceptable weight of lift (MAWL), asymmetric lifting

### I. 서 론

현대 산업현장은 생산설비의 자동화로 작업자들의 위험한 작업을 많이 감소시켜

왔지만, 자동화 설비 비용 등의 경제적인 조건과 공간 제약 같은 실제적인 상황들이 제약조건으로 작용해 상대적으로 자동화가 어렵고 미진한 작업장이 다수를 이루

고 있다. 특히 건설, 제조, 물류(운수), 컨테이너 벨트로부터 원자재 이동, 창고의 물건 관리 등의 작업분야에선 현재까지도 인간의 육체노동을 요하는 수동물자취급(Manual Materials Handling: MMH)에 여전히 의존하고 있는 실정이다(정성학과 김흥기, 1997)

수동물자취급이란 어떤 물체를 기계의

\* 이 논문은 2001년도 동아대학교 학술연구비(공모과제) 지원에 의하여 연구되었음.

접수일 : 2003년 10월 29일, 채택일 : 2004년 1월 29일

† 교신저자 : 윤훈용 (부산시 사하구 하단동 840 동아대학교 산업시스템공학과)

Tel : 051-200-7691, E-mail : yhyoon@donga.ac.kr

도움 없이 인력에 의하여 들어올리거나 내리거나 밀거나 당기거나 운반에 의하여 한 장소에서 다른 장소로 이동시키는 작업을 말한다. 수동물자취급은 여러 가지 작업환경 하에서 상존하는데, 예를 들면 작업대에 반복적으로 들어올리는 작업, 무거운 지렛대를 미는 작업, 전선이 감겨 있는 바퀴(spool)를 이동하는 작업, 간호원이 침대에 눕혀진 환자를 들어올리는 작업 등 허리를 굽히거나 비트는 동작이 포함되는 작업 등이다.

미국의 경우 산재보험 보상 중 가장 빈번하게 발생하면서 (전체의 36%), 가장 비용이 많이 드는 (전체 비용의 35%) 항목이 수동물자취급 작업이며 (Leamon and Murphy, 1994.; Murphy and Courtney, 1996; Dempsey and Hashemi, 1999), 이 중에서도 들기 작업 (lifting)은 수동물자취급 작업 중 40%를 차지하고 있다 (Ciriello et al, 1999).

우리나라의 경우에도, 최근 근골격계 질환 (Muscular Skeletal Disorders: MSDs)으로 인한 업무상 질병자가 급증함에 따라 이에 대한 관심이 높아지고 있는데, 실제로 2001년 산업재해원인조사에 의하면, 전체 업무상 질병자 4,217명중 33%에 달하는 1,384명이 근골격계 질환으로 조사되었으며 이는 2000년도에 비해 28.6%가 증가한 수치이다. 이러한 근골격계 질환의 약 80%가 반복동작이나 과도한 동작에 의한 것으로 나타났는데 (2001년 산업재해원인조사), 이러한 반복동작이나 과도한 동작을 요구하는 작업의 대부분이 수동물자취급 작업이고, 그 중에서 들기 작업이 가장 큰 부분을 차지하고 있다 할 수 있다. 이러한 근골격계 질환의 증가는 개인뿐만 아니라 기업이나 국가의 경제적 손실을 가져오게 되고, 미국의 경우에는 근골격계 질환의 가장 큰 원인이라 할 수 있는 과도한 동작으로 인해 연간 약 \$10 billion정도가 종업원들에 대한 직접비용으로 지출되는 것으로 조사되었다 (Liberty Mutual Research Institute for Safety, 2002).

수동물자취급 작업에 있어서 인간공학에서는 크게 4가지 연구방법이 적용되고

있다. 첫 번째는 분포집단의 발생현황과 특성을 연구하는 역학적 연구방법(Epidemiological Approach), 두 번째는 신체에 부과되는 작업량에 따라 심장이나 호흡기 등 신체의 신진대사 에너지 소비량을 기초로 한 생리학적 연구방법(Physiological Approach), 세 번째는 인체 특히 요추부에 추가되는 압축력(Compressive Force), 전단력(Shear Force)등의 신체 부하를 이용하는 신체역학적 연구방법(Biomechanical Approach), 그리고 마지막으로 주어진 작업조건하에서 안전하게 들어올릴 수 있는 최대중량을 결정할 때 반복 실험을 통하여 각 개인 작업자가 작업중이나 작업빈도를 자각정도에 따라 조절하는 인체심리학적 연구방법(Psychophysical Approach)이 있다.

들기 작업에서 비대칭 작업 (Asymmetric lifting)은 허리를 비틀어 물건을 들어올려야 하므로 대칭작업(Symmetric lifting) 보다 훨씬 더 위험한 작업으로 알려져 있다. 산업 현장에서 들기 작업을 할 때 가능하면 비대칭 작업을 하지 않도록 교육 시키고 권장하고 있지만, 실제적으로 작업자들은 작업의 특성이나 작업장 환경조건으로 인하여 어쩔 수 없이 허리를 비틀어야 하는 비대칭 작업을 행하여야 할 경우가 많은데, 특히 작업공간이 한정된 곳에서의 팔레트의 상·하역작업이 대표적인 예라 할 수 있겠다.

미국의 경우 인체심리학적 연구 방법을 이용하여 비대칭 들기 작업을 포함한 여러 가지 조건에서의 들기 작업에 대한 많은 연구가 이루어 졌으나, 이는 모두 서양인을 대상으로 실험하였기 때문에 자료 또한 서양인을 기준으로 한 자료라 할 수 있다 (Mital and Manivasagan, 1983; Mital and Fard, 1986.; Garg and Badger, 1986; Garg and Banaag, 1988; Mital, 1992). 우리나라의 경우, 인체심리학적 방법을 사용하여 들기 작업에서 최대허용중량(Maximum Acceptable Weight of Lift; MAWL)에 대한 연구와 한국인의 생리학적 작업능력 (Physical Work Capacity; PWC)에 대한 자료가 있지만 상대적으로 미비한 실정이며 (김홍기, 1997; 박지수 등, 1996; 윤희용,

1997; 이관석과 박희석, 1995; 정성학과 김홍기, 1997), 특히 한국인을 대상으로 한 비대칭 작업에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 현재 우리나라의 경우 들기 작업에 대한 안전 기준을 미국의 NIOSH의 기준을 사용하고 있지만, 이러한 기준이 한국인의 특성에 적합한 안전 기준인지에 대한 연구가 부족한 상황이며 이를 뒷받침하기 위하여는 좀 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 인체심리학적 연구방법을 사용하여 수동물자취급 작업 중 비대칭 작업을 포함한 들기 작업의 여러 작업조건 하에서 작업자가 최대로 작업할 수 있는 한계 중량, 즉 최대허용중량과 그에 따른 산소소모량 (Oxygen consumption), 심장박동수(Heart rate), 주관적불편도 (Ratings of Perceived Exertion; RPE)를 측정하여 대칭작업과 비대칭작업을 비교분석 하였으며 이를 통하여 우리나라 작업자의 들기 작업시 생산량을 저해하지 않고 신체에 해를 가하지 않는 안전한 작업량의 기준을 정하는데 도움이 되고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 피 실험자

피 실험자는 대학 내의 포스터를 이용한 공개적인 홍보를 통하여 지원자 중에서 병력체크 및 허리나 근육에 이상이 없었던 사람을 제외하고 신장, 체중, 신체특성을 고려한 신체 건강한 6명의 남자 대학생을 선정하였다. 실험에 참여한 피 실험자들에게는 실험참여비가 지급되었다. 피 실험자의 신체 상태 및 특성을 설명하기 위해 기본적인 인체측정, 근력(Isometric strength) 및 생리학적 작업능력 (PWC)을 측정하였으며, 이에 대한 결과를 표 1에 보여주고 있다. 피 실험자 각각의 생리학적 작업능력은 자전거 에르고미터 (bicycle ergometer)에 의한 단계부하기법 (sub-maximal technique)을 이용하여 측정

하였으며 (Astrand and Rodahl, 1986), 정적 근력(isometric strength)은 Ayoub et al.(1978)과 Chaffin(1975)이 사용한 방법에 따라 측정하였다. 피 실험자의 평균 연령은 23.7세, 평균 신장 173.7cm, 평균 체중 69.5kg이었으며, 최대산소소모량 (Max. oxygen consumption)은 평균 2.76 l/min, 팔, 허리, 어깨, 다리, 복합근력은 각각 29.9kg, 65.1kg, 31.9kg, 107.3kg, 97.1kg이었다. 이는 기존의 다른 연구들과 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다 (김흥기, 1997; 윤훈용, 1997; 정성학과 김흥기, 1997).

2. 실험기기

본 연구에서 사용된 실험기기의 구성은 피 실험자의 산소소모량과 심박수를 측정하기 위해서 CORTEX사의 METAMAX 에너지 대사량 측정기를 사용하였고, 생리학적 작업능력을 측정하기 위해서 부하 단계 조절이 가능한 CATEYE ERGOCISE EC-1200을 사용하였다. 근력측정을 위해서는 Jackson 근력평가시스템 (Jackson Strength Evaluation)을 사용하였다. 들기 작업 시 사용된 상자는 기존의 인체심리학적 연구에서 많이 사용되어지고 있는 가로 46cm × 세로 30cm × 높이 30cm의 손잡이가 달려있는 나무상자이며, MAWL을 측정하기 위하여 알루미늄괴, 돌 등의 불규칙한 임의의 무게를 준비하였다. 또한 솜과 스티로폼 (Styrofoam)을 이용하여 무게의 중심이 상자의 중심에 오게 하였다. 작업대는 가로 180cm X 세로 80cm X 높이 76cm (floor to knuckle 높이)의 작업

대를 사용하였으며, 작업자의 인체측정을 위하여 마틴식 인체측정기가 사용되었다.

3. 실험계획

본 연구에서의 독립변수로(independent variable)는 작업빈도수(lifting frequency)와 작업각도(twisting angle)가 사용되었으며, 작업빈도수는 분당 1회, 3회, 5회의 들기 작업을 실시하였고, 작업각도는 허리의 뒤틀림 정도에 따라 0°(대칭), 90°(비대칭 작업)로 들기 작업을 실시하였다. 그에 따른 종속변수(dependent variable)로는 최대 허용중량, 심장박동수, 산소소모량, 주관적불편도를 측정하였다. 들기 작업의 범위 (lifting range)는 바닥에서 76cm (floor to 76cm)로 하였으며, 이는 일반적으로 산업현장에서 가장 널리 쓰이는 작업대의 높이를 기준으로 한 것으로서, 일반적으로 손가락관절 높이 (knuckle height)를 기준으로 한 것이다. 들기 작업시간은 8시간의 작업시간 대신 1시간 작업을 기준으로 하였는데, 이는 본 연구에서와 같은 들기 작업인 경우 1시간 기준의 작업이 하루에 간헐적으로 일어나는 경우가 작업장에서 더 많이 일어날 수 있기 때문이었다. 각 피 실험자는 6회의 들기 작업을 무작위 순서로 실행 하였으며, 하루에 한번의 들기 작업만을 하도록 하고, 한번의 들기 작업 후 최소한 하루의 휴식 일을 두도록 하였다. 실험실의 평균 온도는 22-24° C, 상대습도는 45-55%로 유지하도록 하였다.

본 연구에서는 대칭, 비대칭 들기 작업을 분석하기 위하여 randomized complete

block factorial design을 사용하였으며, SAS프로그램(SAS v8, SAS Institute, Inc)을 사용하여 통계처리를 하였다.

4. 실험 절차 및 방법

들기 작업 실험에 앞서 피 실험자의 몸무게와 키를 포함한 기본적인 인체치수를 측정하고, 실험에 관한 유의 사항을 전달하고 실험내용에 대해 충분히 인지시켰다. 먼저 자전거 에르고미터와 META-MAX 에너지 대사량 측정기를 사용하여 심박수와 산소소모량을 측정하여 피 실험자들의 생리학적 작업능력, 즉 최대 산소소모량을 추정하였다 (Astrand and Rodahl, 1986). 피 실험자의 정적근력은 각 신체 부위별 (팔, 허리, 어깨, 다리, 복합근력)로 3회씩 측정하여 그 중에서 가장 큰 근력치를 그 부위의 근력으로 선택하였다 (Ayoub et al, 1978; Chaffin, 1975; Yoon and Smith, 1999).

들기 작업 본 실험을 시작하기 전 피 실험자들이 들기 작업에 친숙하도록 하기 위하여 각 피 실험자는 2주에 걸쳐 총 6회 (1회당 1시간)의 친숙시간을 가졌으며, 이 기간에 작업 빈도수와 각도에 따른 여러 가지 들기 작업을 경험해 보고 실험 절차에 대해 익숙해 지도록 하였다.

Sook (1978)이 사용한 인체심리학적 연구방법을 사용하여 피 실험자들이 각 들기 작업 조건에서 1시간동안 작업하는 동안 무리하거나, 피로하지 않고 바닥에서 76cm 작업대까지 반복하여 들어 올릴 수 있는 최대허용중량을 결정하도록 하였다.

Table 1. Summary of the characteristics of the subjects (N=6)

Variables	Mean	S.D
Age (yr)	23.7	71.2
Weight (Kg)	69.5	6.4
Height (cm)	173.7	2.8
Knuckle Height (cm)	75.0	1.9
Physical Work Capacity (l/min)	2.8	0.3
Isometric Strength : Arm (kg)	29.9	1.5
Isometric Strength : Back (kg)	65.1	8.9
Isometric Strength : Composite (kg)	97.1	10.6
Isometric Strength : Shoulder (kg)	31.9	3.6
Isometric Strength : Leg (kg)	107.3	13.2

각 들기 작업은 3가지 들기 빈도수 (1회/분, 3회/분, 5회/분)와 대칭과 비대칭 작업을 수행하기 위한 2가지 들기 각도 (시상면에서 0°, 90°)에서 실행되었다. 들기 작업 조건의 실시 순서는 각 피 실험자 별로 무작위 순서에 의해 실시되었다. 본 실험 시작 전 2시간 이내에는 피 실험자들이 음식물의 섭취나 담배, 술을 삼가도록 하였다.

처음, 상자를 바닥에 놓고 피 실험자가 두 손을 사용하여 상자를 들어올려 90cm (발목간의 중앙선으로 부터) 앞에 있는 76cm 높이의 작업대에 한두 발짝 앞으로 나아가 올려놓도록 하였으며, 발목 중앙선과 작업상자 중심과의 수평거리는 작업 각도에 상관없이 항상 약 45cm를 유지하도록 실험자들에게 주시시켰다. 올려진 상자는 2명의 연구 보조원에 의해 원래 바닥 위치로 이동시켜 놓았다. 드는 방법은 각 피 실험자 각자가 편하게 들 수 있는 방법을 사용하도록 하였다 (free style).

들기 상자의 초기 무게는 상자 아래쪽에 숨겨진 공간을 이용하여 임의로 가볍게 하거나 혹은 무겁게 하여 피 실험자가 최대허용중량을 정하는데 있어서 편견(bias)을 줄이고자 하였다. 각 작업조건에서 들기 작업을 실행하는 동안 처음 30 분간은 각자의 1시간 작업시의 MAWL값을 정하기 위하여, 무리하거나 부상을 입지 않은

한도에서 다양한 무게나 모양의 알루미늄 피나 돌, 모래 주머니를 초기상자 무게에 가감하여 언제든지 무게를 조정할 수 있도록 하였다. 30분 정도의 조정시간 후에 피 실험자의 MAWL값이 정해지면 그 무게를 사용하여 10분간 계속하여 들기 작업을 하도록 하였다. 이때 산소 소모량을 측정하기 위한 마우스피스를 착용하게 하고 METAMAX 분석기를 통해 30초 간격으로 피 실험자의 심장박동수와 산소 소모량을 측정하고, 마지막 5분간의 분당 측정치 평균을 현재 들기 조건의 MAWL 값에 대한 심장박동수와 산소 소모량으로 기록한다. 마지막으로 들었던 무게를 그 들기 조건에서의 '최대허용중량'으로 기록한다. 각 작업이 끝난 후 Borg scale을 사용하여 피 실험자가 작업을 하면서 어느 정도 힘들었는지를 알아보는 작업에 대한 주관적 불편도 (RPE)를 평가하였다.

### III. 결 과

각 들기 작업조건에서의 실험 결과 데이터는 분산분석(analysis of variance)을 통해 통계적으로 분석되어 그 결과를 표2에 요약하여 보여주고 있다. 최대허용중량의 경우 작업각도와 작업빈도수에 대해 모두 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.005$ ). 심

장박동수, 산소소모량, 주관적 척도의 경우 작업빈도수에는 유의한 차이를 보였으나 ( $p < 0.0001$ ) 작업 각도에 대해서는 모두 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.1$ ). 각 종속 변수에서의 작업 빈도수와 작업각도 간의 교호작용은 모두 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다 ( $p > 0.1$ ).

#### 1. 최대허용중량

각 작업조건에 따른 피 실험자의 최대허용중량에 대한 평균과 표준편차를 표3에 보여주고 있다. 작업 빈도수와 작업 각도 각각에 대하여 모두 유의적인 차이를 보였으며 ( $p < 0.0001$ ), 작업빈도수와 작업각도가 증가할수록 최대허용중량은 감소하는 것으로 나타났다. 작업빈도수와 작업각도 각각에 대한 Duncan 테스트 결과를 표4와 5에 보여주고 있다. 작업빈도수가 1회/분에서 3회/분으로 증가함에 따라 최대허용중량은 약 14% 감소하였으며, 1회/분에서 5회/분으로 증가했을 경우에는 약 22%의 감소를 보였다. 작업각도의 경우 비대칭 들기 작업(시상면을 기준 90° 뒤틀림)을 할 경우 대칭작업(시상면 기준 0°)일 경우보다 약 15% 정도의 최대허용중량 감소를 보였는데, 이는 Garg and Banaag (1988)의 결과 (21%) 보다 다소 적은 감소 폭이라 할 수 있다.

Table 2. Summary analysis of variance with MAWL, heart rate, oxygen consumption and RPE as the dependent variables (Pr>F) (N=6)

Variable	MAWL	Hear rate	oxygen consumption	RPE
Frequency	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0001*
Angle	0.003*	0.92	0.85	0.43
Frequency*Angle	0.88	0.98	0.68	0.90

\* Significant at 0.01

Table 3. Mean maximum acceptable weight of lift (kg) at various frequencies and angles (N=6)

Frequency (lifts/min)	Twisting angle (deg)			
	0		90	
	Mean	S.D	Mean	S.D.
1	30.6	5.97	25.3	3.04
3	25.7	3.04	22.2	2.44
5	22.9	2.56	19.9	3.36

Table 4. Duncan Test for maximum acceptable weight(kg) by frequency(N=18)

Grouping	Mean	N	Frequency
A	27.8	18	1/min
B	24.0	18	3/min
C	21.8	18	5/min

Table 5. Duncan Test for maximum acceptable weight(kg) by angle(N=18)

Grouping	Mean	N	angle
A	26.4	18	0°
B	22.4	18	90°

2. 심장 박동수

각 작업조건에 따른 피 실험자의 심장박동수에 대한 평균과 표준편차를 표6에 보여주고 있다. 표6에서 보는바와 같이 작업빈도수가 증가할수록 심장 박동수는 증가하는 추세를 보였으며 통계적으로도 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.0001$ ). 작업빈도수에 대한 Duncan 테스트 결과를 표7에 보여주고 있는데, 작업 빈도수가 1회/분에서 3회/분으로 증가할 경우 심장박동수는 약 13% 정도 증가하였으며, 1회/분에서 5회/분으로 증가할 경우 심장박동수는 약 25% 증가를 보였다. 하지만 작업각도의 증가에 있어서의 전체적인 심장박동수의 변화는 통계적으로 유의한 차이를 보

이지 않았다 ( $p > 0.5$ ).

3. 산소소모량

각 작업 조건에 따른 피 실험자의 산소소모량에 대한 평균과 표준편차를 표6에 보여주고 있다. 심장 박동수와 마찬가지로 산소소모량에 있어서도 작업 빈도수에 대한 유의적인 차이는 보였으나 ( $p < 0.0001$ ), 작업 각도에 따른 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.5$ ). 표7 에 의하면 작업 빈도수가 1회/분에서 3회/분으로 증가할 경우 산소 소모량은 약32%의 증가를 보였으며, 1회/분에서 5회/분으로 작업빈도수가 증가할 경우 약64%가 증가 하였다.

4. 작업의 힘든 정도에 대한 주관적 불편도

각 작업조건에 따른 RPE 값에 대한 평균과 표준편차를 표6에 보여주고 있다. 전체적으로 작업빈도수가 증가함에 따라 RPE 값의 증가를 볼 수 있으며 통계적으로도 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.001$ ). 표7의 Duncan 테스트 결과에 의하면, 1회/분 일 때 피실험자의 RPE 값은 12.1, 3회/분 일때 13.1, 5회/분일 경우 14.6 이라고 대답하였는데, 이는 1회/분일 경우 그리 크게 힘든 작업이라고는 느끼지 않았으나, 3회/분의 작업의 경우 “어느 정도 힘든 작업 (somewhat hard)”, 5회/분의 경우 “힘든작업 (hard)” 이었다는 것을 의미한다하겠다. 작업 각도에 따른 변화에서는 비대칭 작업일 경우 대칭작업 때 보다 RPE 값은 증가하였으나 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.5$ ).

IV. 다른 연구와의 비교 고찰

본 연구에서 사용된 여러 가지 요인들 (상자의 크기, 피 실험자 특성, 작업조건, 작업환경 등등)이 기존의 다른 연구들과 정확히 일치 하지 않기 때문에 본 실험에

Table 6. Mean heart rate, oxygen consumption and ratings of perceived exertion when lifting MAWL at various frequencies and angles (N=6)

Frequency (lifts/min)	Heart Rate (beats/min)				Oxygen Consumption (ml/min)				Ratings of Perceived Exertion			
	0°		90°		0°		90°		0°		90°	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
1	100.7	4.3	101.2	9.4	655	44	718	165	12.0	8.9	12.2	0.8
3	113.4	8.7	111.8	11.4	898	158	895	165	12.7	0.8	13.2	1.0
5	127.5	6.8	124.8	10.9	1175	142	1070	112	14.3	0.5	14.8	1.2

Table 7. Duncan Test for heart rate, oxygen consumption and ratings of perceived exertion by frequency (N=18)

Grouping	Heart Rate (beats/min)		Oxygen Consumption (ml/min)		Ratings of Perceived Exertion		N	Frequency
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D		
A	126.2		1126.7		14.6		18	5/min
B	113.4		909.4		13.1		18	3/min
C	127.5		688.9		12.1		18	1/min

서 결정된 최대허용중량 값을 기존의 다른 연구들과 정확히 비교하는 것은 무리가 있다 하겠다. 특히 미국을 비롯한 서양의 경우 들기 작업에 대한 인체심리학적 연구가 많이 이루어져 최대허용중량에 자료가 많으나, 이를 우리나라의 자료와 직접적으로 비교하기에는 기본적으로 작업자들의 신체조건 차이로 인해 큰 의미가 없을 것이다. 동양인의 경우 아직까지 들기 작업에 대한 인체심리학적 연구가 많이 이루어지고 있지는 않지만 우리나라와 중국의 경우 몇몇 연구가 이루어져 왔다 (김흥기, 1997; 정성학, 김흥기, 1997; Wu, 2000). 실험 요인들이 정확히 일치하지 않아 정확한 비교는 될 수 없겠지만, 최대허용중량 값을 같은 동양인으로 중국과의 결과와 비교해 본다면, 표8에서 보는바와 같이 본 연구의 최대허용중량이 같은 작업조건에서 중국 연구결과와의 약 80% 정도를 보였다 (Wu, 2000). 이는 두 연구 간의 작업상자가 일치하지 않은 것을 비롯하여 몇 가지 실험상의 원인들도 있겠지만, 같은 동양인이라 할지라도 일반적인 신체 조건은 물론, 문화적인 요인에서부터 심리적인 요인까지 일치하지 않으므로 우리나라와 근접한 동양권의 자료를 검증 없이 사용하는 것도 신중을 기해야 할 것으로 생각된다. 그럼에도 불구하고, 본 연구의 목적중의 하나라 할 수 있는 인체심리학적 방법에 의한 작업 빈도수와 작업 각도가 최대허용중량의 결정에 미치는 영향을 조사한 결과는 기존의 다른 연구 결과와 일치함을 보

여주고 있다 (Mital and Fard, 1986; Garg and Banaag, 1998; Wu, 2000). 즉, 작업 빈도수와 작업 각도가 증가할수록 최대허용중량은 감소한다는 결과를 본 연구 결과에서도 알 수 있었다.

본 연구에서의 작업빈도수에 따른 심장박동수는 1시간 작업시의 허용 가능한 심장박동수 범위인 120-130 beat/min를 넘지 않고 있으며 (AIHA Technical Committee, 1971), 작업 빈도수가 증가할수록 심장박동수 또한 증가한다는 기존의 연구들과도 같은 결과를 보여주고 있다 (Garg and Banaag, 1988; Wu, 2000). 하지만, Garg and Banaag (1988)에 의하면 작업 각도가 증가하면 심장박동수도 통계적으로 유의하게 증가한다고 하였으나, 본 연구에서는 심장박동수 증가에 대한 통계적인 유의차를 발견할 수 없었다. 본 연구의 결과는 중국인에 대한 연구결과와는 일치하고 있는데 (Wu, 2000), 이러한 차이는 여러 가지 실험 조건의 차이에 따른 것일 수도 있겠지만, 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다 할 수 있겠다.

작업의 힘든 정도에 따른 피 실험자들의 주관적 불편도(RPE)의 경우 작업 빈도수가 증가할수록 힘든 정도가 통계적으로 유의하게 증가하였으며 이는 기존의 다른 연구와 동일한 결과를 보였다 (Garg and Banaag, 1998; Wu, 2000). 기존의 연구들에서는 작업각도의 증가가 RPE 값의 증가에 영향을 주는 것으로 나타났으며 (Garg and Banaag, 1998), 비대칭 작업의 경우 대칭작업 보다 육체적으로 더 힘들

게 느낀다는 피 실험자들의 평가도 보고되었다 (Mital and Fard, 1986). 하지만 본 연구에서는 RPE 값의 유의한 차이를 발견하지 못하였는데, 이는 본 연구의 경우 작업각도의 변화를 단지 0°와 90° 두 가지만을 실시한데 기인한 것이 아닌가 생각된다. 이 또한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### V. 결 론

본 연구는 인체심리학적 방법을 사용하여 비대칭 들기 작업(asymmetric lifting task)을 포함한 여러 가지 들기 작업 조건에서 1시간 작업시의 최대허용중량 및 그때의 심장박동수, 산소소모량 및 작업의 힘든 정도에 대한 주관적 불편도를 구해 보고자 하였다. 본 연구에서의 결과와 기존 연구의 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 최대허용중량은 들기 작업빈도수의 변화에 영향을 받으므로 작업빈도수가 증가할수록 최대허용중량은 감소한다. 작업빈도수가 증가하여 최대허용중량은 감소할 지라도 심장박동수, 산소소모량, RPE 값은 증가한다.

둘째, 최대허용중량은 작업 각도의 변화에 영향을 받으므로 비대칭 작업의 각도가 증가하면 최대허용중량은 감소한다. 하지만 심장박동수, 산소소모량, RPE 값은 작업 각도에 영향을 받지 않았다. 하지만 기존의 다른 연구의 결과에서 보는바

Table 8. Comparison between present and past studies

Lifting Frequency (lifts/min)	Present study (n=6)		Lifting Frequency (lifts/min)	China study (n=13) <sup>‡</sup>	
	Twisting angle (deg)			Twisting angle (deg)	
	0	90		0	90
	Mean (S.D)	Mean (S.D)		Mean (S.D)	Mean (S.D)
1	30.6 (5.97)	25.3 (3.04)	1	38.19 (7.55)	33.17 (6.15)
3	25.7 (3.04)	22.2 (2.44)	4	31.62 (5.16)	27.49 (5.16)
5	22.9 (2.56)	19.9 (3.56)	M*	49.28 (7.87)	43.45 (6.76)

<sup>‡</sup>Wu, 2000

\* One-time maximum

와 같이 비대칭 들기 작업 시 작업 각도의 증가는 작업자의 작업능력에 영향을 끼칠 수 있는 중요한 요인 중의 하나라는 점을 간과해서는 안 될 것이다 (Garg and Banaag, 1988; Marras and Mirka, 1989a; Marras and Mirka, 1989b).

본 연구에서는 피 실험자의 선정이 20대의 대학생으로 한정되었고, 작업각도가 0°와 90°로 한정되어 실제 작업 환경에서 큰 비중을 차지하고 있는 45° 각도 및 여러 다른 각도의 비대칭 작업에 대한 결과를 보여주지 못하는 한계가 있으며, 피 실험자 수 또한 충분치 못한 점을 고려할 때 본 실험 결과가 전체 한국인의 들기 작업 능력을 반영한다고 보기에는 만족스럽다고 볼 수 없겠지만, 이러한 연구들을 바탕으로 한국인 작업자들의 들기 작업에 요구되는 안전성을 높여 작업자의 안전을 도모하고 산업재해를 예방 하므로써 재해 발생으로 인한 국가 및 기업의 부담을 줄이고 기업 경영의 경쟁력 강화와 작업여건 개선을 도모할 수 있으리라 기대된다.

또한 본 연구에서 결정된 최대허용중량이나 결과들이 기존 서양의 자료와 중국의 자료와 차이를 보이고는 있지만, 현실적인 한국 노동인력에 대한 작업능력을 추정하기 위해서는 성별과 연령을 고려한 광범위한 연구를 통해 여러 가지 들기 작업 조건에서의 한국인의 안전 기준을 설정하는 노력이 필요할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- 김흥기. 인력물자취급의 권장 하중에 대한 생리학적 고찰. *대한인간공학회지* 1997;16(3):23-36
- 박지수, 김흥기, 최진영. 작업유형에 따른 생리학적 작업능력의 비교분석. *대한인간공학회지* 1996;15(2):89-98.
- 윤훈용. 한손연속작업의 심리육체학적 모델링. *대한인간공학회 춘계학술대회 논문집* 1997:95-99
- 이관석, 박희석. 직접추정법의 대칭적인 들기 작업의 최대허용하중 결정에의 적용에 관한 연구. *대한인간공학회지* 1995;14(1):1-7.
- 정성학, 김흥기. 인력물자취급시 작업빈도에 따른 인체심리학적 최대허용중량의 비교연구. *대한인간공학회지 춘계학술논문집* 1997:39-49
- 한국산업안전공단. 2001년 산업재해원인 조사; 2003
- A.I.H.A. Technical Committee. Ergonomics guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1971;32:560-564.
- Ayoub MM, Mital A. *Manual Material Handling*, Taylor & Francis, London; 1989.
- Ayoub MM, Bethea NJ, Deivanayagam S, Asfour SS, Bakken GM, Liles D, Mital A, Sherif M. Determination and modelling of lifting capacity (Final Report, HEW(NIOSH), 1978, Grant No. 5R01-OH-00545-02
- Astrand PO, Rodahl K. *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill; 1986.
- Borg GAV, Noble BI. *Perceived Exertion. Exercise and Sports Science Review*, New York: Academic Press; 1974.
- Chaffin DB. Ergonomics guide for the assessment of human static strength. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1975;36:505-511.
- Ciriello VM, Snook SH, Hashemi, L, Cotnam J. Distributions of manual materials handling task parameters. *International Journal of Industrial Ergonomics* 1999;24:379-388
- Dempsey PG, Hashemi, L. Analysis of worker's compensation claims associated with manual materials handling. *Ergonomics* 1999;42:183-195.
- Garg A, Badger D. Maximum acceptable weights and maximum voluntary isometric strengths for asymmetric lifting. *Ergonomics* 1986;29:879-892.
- Garg A, Banaag J. Maximum acceptable weights, heart rates and RPEs for one hour's repetitive asymmetric lifting. *Ergonomics* 1988;31:77-96.
- Leamon T, Murphy PI. Ergonomics losses in the workplace: their reality. In: Aghazadeh, F. (ed.), *Advances in Industrial Ergonomics and Safety VI*. London: Taylor & Francis, London; 1994. p.81-88.
- Liberty Mutual Research Institute for Safety. 2002 Annual Report of Scientific Activity
- Marras WS, Mirka GA. Trunk strength during asymmetric trunk motion. *Human Factors* 1989a;31:667-677
- Marras WS, Mirka GA. Trunk strength as a function of trunk asymmetric and trunk velocity during concentric and eccentric exertions. *Advances in Industrial and Safety I*. Edited by Mital A. Taylor & Francis; 1989b. p159-166
- Mital A. Psychophysical capacity of industrial workers for lifting symmetrical and asymmetrical loads symmetrically and asymmetrically for 8h work shifts. *Ergonomics* 1992;35:745-754.
- Mital A, Fard HF. Psychophysical and physiological responses to lifting symmetrical and asymmetrical loads symmetrically and asymmetrically. *Ergonomics* 1986;29:1263-1272.
- Mital A, Manivasagan I. Maximum acceptable weight of lift as a function of material density, c.g. location, hand preference, and frequency. *Human Factors* 1983;25:33-42.
- Murphy PL, Courtney TK. Low back pain disability: relative costs by antecedent and industry group. *American Journal of Industrial Medicine* 1996; 30: 130-141.

- Snook SH. The design of manual material handling tasks. *Ergonomics* 1978;21: 963-985.
- Snook SH, Irvine CH. Maximum acceptable weight of lift. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1967;27: 322-329.
- SAS. Users Guide: Statistics. SAS Institute Inc. 5th ed. Box 8000, Cary, NC 27511, 1985.
- Wu S. Psychophysically determined symmetric and asymmetric lifting capacity of Chinese males for one hour's work shifts. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2000;25:675-682.
- Yoon HY, Smith JL. Psychophysical and physiological study of one-handed and two-handed combined tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics* 1999;24:49-60.