

인력물자취급시 작업빈도에 따른 인체심리학적
최대허용중량의 비교 연구
Comparison of Psychophysical Maximum Acceptable Weight of Load
for Different Frequencies of Manual Materials Handling Tasks

정 성 학 · 김 홍 기

경기대학교 산업공학과

ABSTRACT

The objective of this study was to make comparison of the psychophysical MAWLs for different manual materials handling tasks. Lifting activities with four different lifting frequencies (2, 5, 8, 11 lifts/min) for one lifting range from floor to 76cm height were studied. The oxygen consumption rate and heart rate were measured or recorded while subjects were lifting their MAWLs.

Psychophysical MAWL decreased from 22.38 kg to 7.48 kg, while the oxygen consumption rate with the MAWL increased from 717.8 ml/min to 1114.7 ml/min as the frequency increased from 2 to 11 Lifts/min. Heart rate also increased from 104.5 to 120.7 bpm. It was found that the relationship between MAWL and frequency can be described best by the exponential function with the R-sq value 0.9865 for this study. The percent ratio of oxygen consumption rate with the MAWL and PWC ranged from 28% to 43%.

The MAWLs were 2.2 to 7.5 times of the weight of AL and 3.3 to 6.5 times of the weight of RWL according to the lifting frequencies. However, the MAWLs were lower than or equal to the MPLs for the frequencies lower than 8 lifts/min. From this fact it seems that the MAWLs by psychophysical approach tend to be overestimated from the viewpoint of the physiological criterion of the oxygen consumption rates for the NIOSH limits, AL and RWL.

I. 서 론

현대 산업현장은 생산설비의 자동화가 이루어져 많은 작업자들에게 위험한 작업을 감소시켜 안정을 가져왔지만, 아직도 완전자동화는 어려운 실정으로 건설, 제조, 물류(운수), 컨베이어 벨트로부터 원자재를 이동, 창고에 물건을 관리하는 등의 상당한 육체적 노력(Physical Exertion)을 요하는 인력물자취급(Manual Materials Handling Tasks)이 미국내 전체 작업 중 1/3인 것으로 추정되었다. 이러한 MMH 작업이 적합하지 않게 작업 설계되는 경우 작업자는 상해를 입을 수 있는 바, 미국의 통계를 보면 MMH작업으로 인한 근골격계(Musculoskeletal System)의 부상(Injury)을 입는 재해가 전체 작업 관련

재해의 52%에 달하며, 이에 따라 매년 5백만명의 작업자가 노동력을 상실하고, 연간 약 1,000억 달러의 비용을 초래하고 있다고 보고하였다. 우리나라의 경우 1992년~1994년 사이에 발생한 산업재해를 살펴 보면, 광업과 운수, 창고 등에서 발생한 재해는 9.36%정도가 발생한 것으로 나타났다. 하지만 건설업의 경우 전체가 인력물자취급에 대한 재해라고 볼 수 없지만 27.21%정도의 재해가 발생한 것을 포함하면, 약 30%정도가 아직도 인력물자취급에 의해서 발생하고 있는 것으로 나타났다(정병용, 1996).

산업사회의 발달에 따라 많은 분야에서 자동화가 이루어지고 있지만, 여전히 인력으로 행해지는 부분이 많은 것이 산업계의 현실이다. 인력물자취급(Manual Materials Handling: MMH)으로 인해 작업 강도에 따라 요통재해, 과로사, 근골격상해, 누적 외상병(Cumulative Trauma Disorders)등 많은 신종 직업병등이 발생하고 있다. MMH작업에 있어 인간공학에서는 4가지 연구방법이 적용되고 있다. 첫째, 분포집단의 발생현황과 특성을 연구하는 疫學的 研究方法(Epidemiological Approach). 둘째, 심장이나 호흡기등 신체의 신진대사 에너지 대사량을 기초로 한 生理學的 研究方法(Physiological Approach). 셋째, 인체(특히, 요추부: L5/S1)에 부가되는 압축력(Compressive Force), 전단력(Shear Force)등의 신체 부하를 이용하는 生體力學的 研究方法(Biomechanical Approach)과 마지막으로, 주어진 작업조건하에서 안전하게 들어 올릴 수 있는 최대중량을 결정할 때, 시행착오의 반복 실험을 통하여 각 개인 작업자 자신의 힘 또는 능력을 자각하는 人體心理學的 研究方法(Psychophysical Approach)이 있다.

이러한 연구방법을 통하여 MMH작업 조건에 따른 안전한 작업기준이 제시되고 있지만, 인간의 신체 부위별 각각의 특성으로 작업조건과 상태에 따라 각 연구방법에서 제시하고 있는 안전한 작업기준은 다르다. 생체역학적 기준에서는 부하중량을 조절함으로써 근골격계의 물리적인 스트레스를 줄여나가는 방향으로 작업설계를 하는 반면, 생리학적인 기준에서는 들어올리기 작업시 빈도수를 근육의 피로도나 신진대사 에너지 대사율을 감소시키는 방향으로 효율적인 작업설계를 한다. 인체심리학적 기준에서는 작업자가 현장에서 작업시 작업조건과 작업상태에 따라 실제 작업을 행하는 작업자가 느끼는 각 개인의 작업능력을 고려한다. 부하중량과 빈도에 따른 상호관계를 고려하여 작업자의 성능을 고려한 안전한 인력물자취급의 작업설계가 이루어지고 있다. 상당한 육체적 노력을 필요로 하는 인력물자취급에 있어서 작업자들의 안전한 작업을 위한 적절한 작업조건과 안전작업하중을 제시하기 위하여 작업능력을 판단하여야 한다. MMH작업에서의 작업능력은 생체역학적, 생리학적인, 인체심리학적 접근방법에 의한 작업능력 판단으로서 국내에서도 이미 최대허용중량(Maximum Acceptable Weight of Load, MAWL)에 대한 연구발표(이관석 외 2인, 1996)와 한국인의 생리학적인 작업능력(PWC)에 대한 자료(박지수 외 2인)가 있지만 아직도 미흡한 실정이다. 생체역학적, 생리학적인, 인체심리학적 접근방법에 따른 기준치 또한 미국 NIOSH의 기준을 보정 없이 그대로 사용하고 있는 실정이다(이관석, 박희석, 1995; 이관석 외 2인, 1995). 본 연구에서는 네 가지 연구방법중에서 인체심리학적 연구방법으로 작업자가 최대로 작업할 수 있는 한계 중량을 미국의 NIOSH Guideline의 한계중량과 비교하여, 우리나라 작업자에게 안전한 작업량을 설정하는데 기초자료를 제시 하고자 하였다.

2. 본 론

인체심리학적 연구방법은 각 개인이 작업을 수행함에 있어서 신체적 자극(근육의 수축·이완)이 인간의 자각정도(perceived exertion)에 따라 인체심리학적인 함수관계에 있다는데 기초하여 작업자가 반복적인 MMH작업시에 작업하중이나 작업빈도를 자각정도에 따라 조절하는 방법이다. 작업자가 무리

하지 않도록 과열(Overheated), 부상을 당하거나, 피로(Strain)해지지 않으면서, 불편함(Discomfort)이 없이 계속해서 다음날도 안정되게 작업할 수 있도록 일정시간의 시행착오를 거친 뒤 최종적으로 결정된 중량을 주어진 작업조건하에서의 최대허용중량(Maximum Acceptable Weight of Load, MAWL)이라 한다. 안전한 들어올리기작업을 위해서는 대부분의 실제 현장에서 작업자가 실제로 들어 보기 전에 각각의 들어올리기 작업을 평가하여 안전한 작업량을 설정하기가 어렵다. Ayoub과 Mital(1989)은 MMH작업의 판단기준 설정에서 인체심리학적 연구방법은 비교적 적절하고 정확하여 신뢰할 수 있다고 하였다.

생리학적 접근방법은 작업자의 신체에 부가되는 작업량에 따라 생리학적 신진대사 에너지소모량을 근거로한 생리학적 작업능력과 이에 따른 작업시의 생리학적 기준치를 설정하고자 하는 것이다. 작업 생리학은 작업을 수행하는 동안 생리학적 변화가 신체 내에서 발생한다는 사실에 입각하여, 역으로 생리학적 변화 요소의 측정치를 알게 되면 작업자에게 부과되는 스트레스 수준을 알 수 있다는 논리를 따른다. 생리학적 접근방법의 목표는 생리적 작업능력에 알맞은 작업을 설계하는 것으로, 반복적 들어올리기 작업에 대한 기준으로 산소소모량(\dot{V}_{O_2} : oxygen consumption rate), 심장박동수(HR: heart rate)를 채택할 수 있다. Snook과 Irvine(1969)에 따르면 남성 작업자가 8시간 동안 작업할 경우 생리학적 작업능력의 33%, 신진대사에너지 소모율 5kcal/min와 110~115bpm의 심장박동수를 넘지 않도록 추천하였다. 생리적 작업능력측정에 있어서 이론적 함수는 작업량, 심장박동수, 산소소모량등이 거의 직선 비례적 관계에 있다는데 두고 있다. 작업을 시작하여 일정시간이 지난 후 안정된 상태에서는 작업량이 증가함에 따라 에너지 소모량은 증가하게 된다.

각각의 연구방법을 비교해 보면, 인체심리학적 기준이 빈도가 매우 낮은 들어올리기 작업에 대해서는 생체역학적 연구방법에 의한 기준이 인체심리학적 연구방법에 의한 최대허용중량(MAWL)보다 일반적으로 무겁고, 반복적으로 들어올리는 작업시 인체심리학에 의한 MAWL은 생리학적 연구방법에 의한 안전하중보다 빈도수가 낮은 경우에는 더 가볍게 빈도수가 높은 경우에는 더 무겁게 제시되고 있다고 하였다(Karwowski 1982, Kim 1990).

1981년 미국의 NIOSH에서는 MMH작업의 안전하중을 제정하기 위하여 AL(행동한계)과 MPL(최대허용한계)를 제안하였다. AL(행동한계)은 여성 75%와 99%의 모든 남성이 들어올릴 수 있는 중량이고, MPL(최대허용중량)은 남성 25%와 여성 1%미만의 아주 소수의 사람들이 들어 올릴 수 있는 중량으로 3배의 AL(행동한계)이다. NIOSH는 1시간 혹은 가끔씩 들어올리는(occasional lifting) 경우 여성 6.5 kcal/min와 남성 9kcal/min를 넘지 않고, 실제 8시간 작업에 있어서 신진대사에너지율 3.5kcal/min와 5.0kcal/min를 추천하였다.

본 연구에서는 인력물자취급시 인체심리학적 연구방법에 의한 최대허용중량(Maximum Acceptable Weight of Load: MAWL)과 미국의 NIOSH Guideline AL, MPL, RWL의 권장 작업 하중과 비교하고, 최대허용중량(MAWL)에 따른 산소소모량을 측정하여 생리학적 작업능력(Physical Work Capacity: PWC)과 비교하므로써 우리나라 작업자가 인력물자취급(MMH)시 생산량을 저해하지 않고, 신체에危害(Hazard)를 가하지 않는 안전한 작업량 설정을 하기 위한 기초를 제시 하고자 한다.

2.1. 실험 절차 및 방법

작업유형(Bicycle Ergometer, Treadmill)에 따라 한국인의 생리학적 작업능력(PWC)과 인체심리학에 의한 최대허용중량(MAWL)을 고려하여 人力物資取扱(Manual Materials Handling)시 生産量을 저해하지 않고, 身體에 危害(Hazard)를 가하지 않는 安全하중을 설정하는데 기초를 제시하고자 하였다.

본 연구에서 사용된 실험기기의 구성은 에너지 대사량 측정기(Metabolic Measurement System), 심장박동수 측정기(Heart Rate Monitor), Ergometer, Treadmill, 작업상자(Container)·작업대(Lifting Table), 인체측정기(Anthropometric Measurements Set)등으로 하였다. 에너지 대사량 측정장치는 미국 SensorMedics사 신진 대사 에너지 대사량 컴퓨터 측정 모델(The 2900 Metabolic Measurement Cart System Model)이 사용되었다. 심장박동수 측정기는 매 5초, 15초, 30초 단위로 측정이 가능한 POLAR VANTAGE XL Heart Rate Monitor(Model # 145900)가 사용되었다. Ergometer는 미국의 SensorMedics사 Ergoline SMC Ergo-metrics 800S Ergometer로 MMC와 연결되어 자동으로 Workload를 조절할 수 있다. Tradmill은 MARQUETTE 2000이 사용되었다. 들어 올리기 작업의 상자선택은 미국자료와의 비교를 위해 미국에서 가장 일반적으로 쓰이는 상자를 선택하였다. 크기는 가로 45.72cm × 세로 30.48cm × 높이 30.48cm이고, 합판 내지는 종이를 사용하여 나무상자와 종이상자를 만들었다. 하중을 가하기 위해서 쇠덩어리나, 납덩어리, 돌등의 불규칙한 임의의 무게를 상자속에 넣게 하고 스피와 스티로폼(Styrofoam)으로 무게의 중심이 상자의 중앙에 오도록 하였다. 작업대는 가로150cm × 세로80cm × 높이76cm FK(Floor to Knuckle: 0~76cm)사용한다. 작업자(피실험자)의 인체 측정을 위하여 마틴식 인체측정기가 사용되었다. 실험전 병력체크를 문진했고, 가족력이나 자각증상에 따라 피실험자에서 제외하고, 인체측정(Anthropometry)을 측정하였다. 간단한 운동복과 운동화를 착용한 후 마우스 피스를 물고 작업유형에 따라 Bicycle Ergometer와 Treadmill을 시행하였다. 들어 올리기작업의 자세와 들어올리기 범위(0-76cm)에 따른 적응훈련시간을 가졌고, 낮은 빈도에서부터 높은 빈도를 포함하기 위하여 2, 5, 8, 11회의 빈도를 선택하였다. MMH시 작업환경은 실내의 온도를 23℃ ± 3로 하였으며, 피실험자는 운동복과 편안한 운동화를 사용하고, 평편한 바닥, 장애물이 없고 마찰력이 좋은 바닥의 작업조건으로 하였다. MMC-에너지 대사량 측정기에 마우스피스에 대한 적응력을 키우고, 손잡이에 대한 부담감과 Heart Rate Monitor에 친숙하도록 하였으며, 들어 올리는 능력과 실제 현장작업을 하는 것과 같은 들어 올리기의 예비친숙기로 2주일을 시행하였다.

경기대학교의 신체 건강한 6명의 남학생을 신장, 체중, 신체 특성을 고려하여 선정하였다. 19세에서 25세로 평균 연령은 20.3(표준편차 1.86), 피실험자의 평균 신장은 172.76cm (표준편차 6.35) 이었으며, 평균 체중은 68.83kg (표준편차 11.70) 이었다.

피실험자가 자각의식에 의해 들어 올릴 수 있는 최대 한번 들어올리기의 중량(One time max)을 측정하기 위해서는 단 한번으로는 측정할 수 없기 때문에 충분한 시간간격을 두고 수 차례에 걸쳐 실시하였다. Bicycle Ergometer와 Treadmill의 생리학적 작업능력(Physical Work Capacity:PWC)을 측정하기에 앞서 피실험자를 15분이상 편안한 의자에 앉힌채 좋은 자세를 유지하며 안정된 상태에서 휴식시키고, 이때 휴식시 심장박동수(RHR)와 산소소모량을 측정하였다. 생리학적 작업능력(PWC)은 Bicycle Ergometer와 Treadmill의 작업유형으로 Submaximal test protocol(Kim, 1990)을 이용하여 추정하였다.

MMH작업의 인체심리학에 의한 최대허용중량(MAWL)을 결정하고, NIOSH Guideline의 AL(행동한

계), MPL(최대허용한계), RWL(들기추천한계)과 비교하였으며, 최대허용중량(MAWL)을 빈도에 대한 함수로 예측하였다.

인체심리학적 연구방법에 따른 최대허용중량(MAWL)의 선정은 안정한 상태에서 최대의 효율을 발휘하며 계속해서 피로하지 않게 일할 수 있도록 하여 작업자가 원하는 작업량을 조절하는 것이다. 작업자가 불안정한 상태 즉, 작업시 무리하지 않도록 과열(Overheated), 부상을 당하거나, 피로(Strain)해지지 않으면서, 불편함(Discomfort)이 없이 계속해서 다음날도 안정되게 작업할 수 있도록 작업자가 최대 들어올리기 하중을 선별하였다. 일정하게 오후 4시에서 5시까지의 한 시간동안 50분간 자각의식에 의해 들어올리기 작업을 실시하였고, “최대로 받아 들일 수 있는 무게: MAWL”은 마지막 50분의 정상상태(Steady State)에서 Mouth-piece와 Nose-Clip을 부착하고, 10분간 심장박동수와 산소소모량을 측정하였다. 많은 연구자들은 인체심리학적 최대허용중량(MAWL)의 연구에서 최대허용중량 결정시간을 20~40분 시행하였다(Ayoub 1978, Asfour 1980, Mital 1985, Snook 1978, Kawowski 1984). Fernandez(1986)에 따르면, 최대 허용 중량(MAWL)선별의 실험시간을 20분 시행한 결과는 작업자가 짧은 실험기간을 통해 자신이 할 수 있을 것이라는 자신의 의지와 자각의식에 반해, 실제로 작업을 8시간 동안 작업한 결과는 과잉추정되는 경향이 있다고 하였으며, 약 1시간 정도는 되어야 한다고 하였다. 또한, Kim(1990)의 75~80분의 연구결과에 의하면, 실험의 경제성을 고려하여 ±5%의 오차를 감안하면 약 45분의 실험시간도 가능하다고 하였다. 따라서, 본 연구에서는 인체심리학적 최대허용중량(MAWL) 선정을 위하여 1시간이 선정되었고, 사전에 피실험자에게 인체심리학적 연구 내용을 사전에 인지시켰다.

2.2. 실험 결과

피실험자는 실험에 앞서 먼저 들어 올리기 작업시의 한번 들어올리기의 최대중량을 실시하였고, 피실험자 6명의 한번 들어올리기의 최대중량 평균은 68.6kg(표준편차:11.0)였다. Bicycle Ergometer의 생리학적 작업능력(BPWC)은 2562.71ml/min이었고, Treadmill의 생리학적 작업능력(TPWC)은 2874.89ml/min로 추정되었다(표 1).

(표 1) Bicycle Ergometer와 Treadmill의 생리학적 작업능력

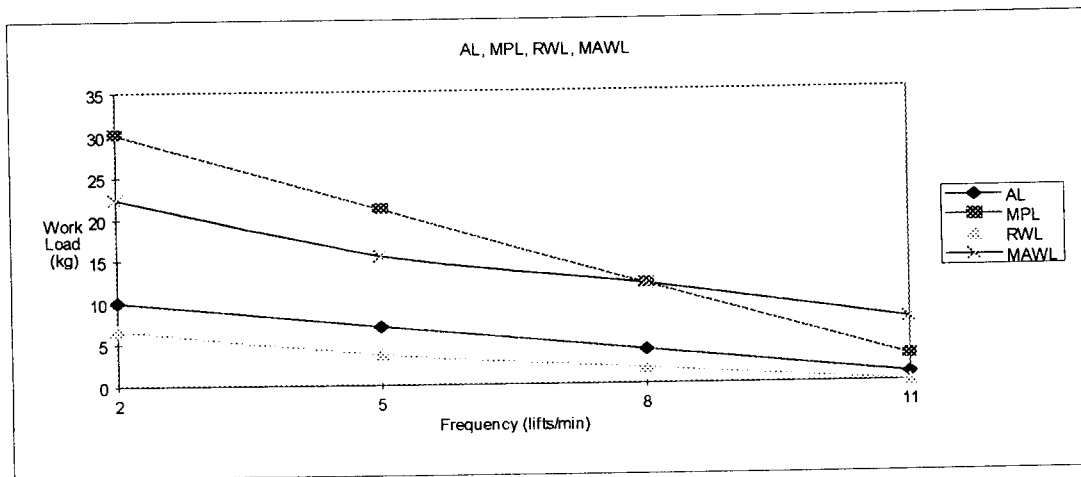
작업유형 및 작업방법		생리학적 작업능력 [ml/min]	단위체중당
			생리학적 작업능력 [ml/kg · min]
Bicycle Ergometer (BPWC)	mean	2562.71	38.12
	std.	200.71	6.61
Treadmill (TPWC)	mean	2874.89	42.45
	std.	344.83	6.46

(표 2)에서는 본 실험의 작업조건에 따른 NIOSH의 AL(행동한계), MPL(최대허용한계), RWL(들기추천한계)을 계산하였으며, 인체심리학적 연구방법에 의해 구해진 최대허용중량(MAWL)은 AL, MPL, RWL의 경우와 마찬가지로 빈도가 증가함에 따라 22.38~7.48kg으로 감소하는 경향을 보여주었다.

(표 2) NIOSH의 한계하중 AL, MPL, RWL과 MAWL

NIOSH Limits	빈도 [kg]			
	2	5	8	11
Action Limits	10.05	7.03	4.02	1.00
Maximum Permissible Limits	30.14	21.00	12.05	3.01
Recommended Weight Load	6.70	3.61	1.86	0.00
Maximum Acceptable Weight of Load	22.38	15.43	12.01	7.48

NIOSH Guideline의 한계하중과 비교해 볼 때, MAWL은 AL과 RWL보다 모든 빈도에서 높게 나타났고, MPL의 경우 빈도 2회에서 8회까지는 낮았지만, 11회의 경우는 오히려 높게 나타났다(그림 1).



(그림 1) 빈도에 따른 AL, MPL, RWL과 MAWL의 중량

본 실험의 작업조건에 따른 NIOSH Guideline의 AL(행동한계), MPL(최대허용한계), RWL(들기추천한계)과 3가지 한계하중(Limits)에 대한 MAWL의 Percentage는 (표 3)에서와 같이 요약되어 진다. 최대허용중량(MAWL)은 빈도에 따라 AL의 2.2배에서 7.5배에 해당하였으며, 2회/분에서 8회/분 빈도(2, 5, 8회/분)까지 MPL의 74.3~99.7%로 나타났으며, 11회에 대하여는 약 2.5배로 나타났다. 또한 최대허용중량(MAWL)은 빈도 11회의 경우에는 RWL이 0이기 때문에 비교할 수가 없었고, 빈도(2, 5, 8회/분)의 경우에 있어서 RWL의 3.3배에서 6.5배로 나타났다.

(표 3) 최대허용중량(MAWL)에 대한 NIOSH 한계하중의 비교

NIOSH Limits	들기 빈도			
	2	5	8	11
MAWL/AL (%)	222.7%	219.5%	298.8%	748.0%
MAWL/MPL (%)	74.3%	73.5%	99.7%	248.5%
MAWL/RWL (%)	334.0%	427.4%	645.7%	—%

하중만의 비교외에도 MAWL에 따른 신체적 변화를 생리학적 측면에서 고찰해 보았다. 각 빈도수에 따른 최대허용중량(MAWL)에 해당하는 심장박동수와, 산소소모량은 (표 4)에서와 같다. 인체심리학적 연구방법에 의해 피실험자가 선정한 최대허용중량(MAWL)은 빈도가 증가함에 따라 22.38~7.48kg으로 감소한 반면, 이때의 심장박동수는 104~120bpm으로 증가하였으며, 산소소모량은 빈도에 따라 717.83~1114.17ml/min으로 증가하였다.

(표 4) 최대허용중량(MAWL)시 심장박동수와 산소소모량

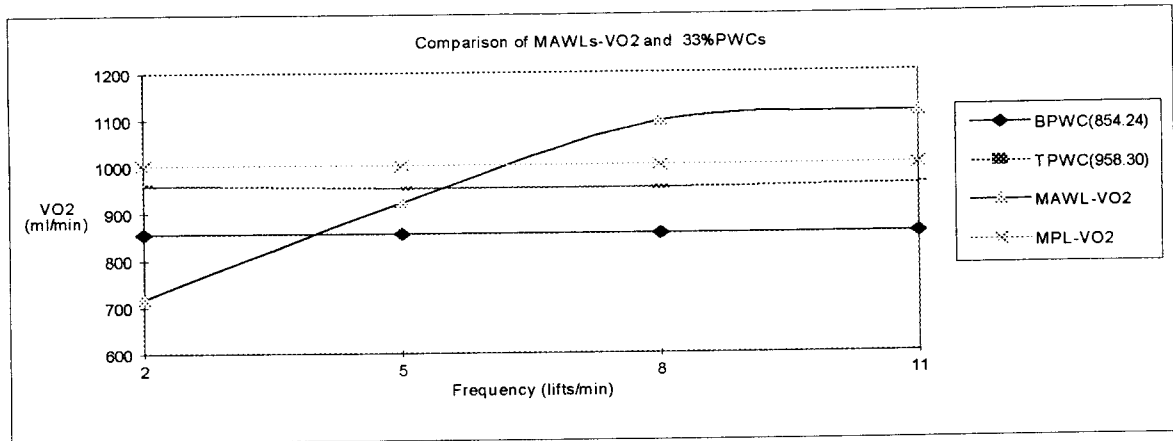
최대허용중량		들기 빈도			
		2	5	8	11
MAWL [kg]	mean	22.38	15.43	12.01	7.48
	std	2.01	2.84	1.38	2.26
HR [bpm]	mean	104.50	108.33	115.83	120.67
	std	5.62	5.47	8.99	11.38
VO2 [ml/min]	mean	717.83	922.50	1095.17	1114.17
	std	69.98	148.48	147.56	156.72

선정된 최대허용중량(MAWL)과 한번들어올리기의 최대중량(One Time Max)과의 비율은 33~11%로 빈도가 증가함에 따라 그 비율이 감소하였다. 최대허용중량(MAWL)시 산소소모량은 Bicycle Ergometer에 의한 생리학적 작업능력(BPWC)의 28~43%로 빈도가 증가함에 따라 증가함을 보였다. Treadmill에 의한 생리학적 작업능력(TPWC)에 대해서는 25~39%로 증가경향을 보였다(표 5).

(표 5) 최대허용중량시 산소소모량과 생리학적 작업능력간의 비교

작업능력의 비교	2	5	8	11
MAWL/One Time Max	33%	22%	17%	11%
MAWL - \dot{V}_{O_2} / BPWC(%)	28%	36%	43%	43%
MAWL - \dot{V}_{O_2} / TPWC(%)	25%	32%	38%	39%

33% 생리학적 작업능력(PWC)과 최대허용중량(MAWL)시 산소소모량은 빈도 5회이상의 작업에 대해서 최대허용중량(MAWL)시 산소소모량은 Bicycle Ergometer, Treadmill 생리학적 작업능력의 33%를 상회하는 것으로 나타났으며, NIOSH Guideline MPL의 생리학적 기준치 1000ml/min보다 높게 나타났다(그림 2). 이것은 인체심리학적 연구방법이 높은 빈도수에서 과잉추정(overestimate)하는 경향이 있다고 주장한 Snook(1985)의 결과와 같은 것을 보여주고 있다.



(그림 2) 최대허용중량시 산소소모량과 생리학적 작업능력간의 비교

2.3 다른 연구자료와의 비교

본 연구에서 얻은 한국인의 MAWL을 한국인, 중국인, 미국인에 대한 MAWL에 대한 다른 연구자료(Ayoub1978, Karwowski 1984, Kim 1990, 이관석 1995, Lee Y. H. 1995)와 비교하였다. 최대허용중량(MAWL)의 비교에 앞서 먼저 피실험자의 신체특성치와 생리학적 작업능력(BPWC)은 (표 6)과 같다. 한국대학생의 BPWC는 미국대학생의 BPWC에 대해 68.4~73.4%(단위체중당 79.9~87.5%) 중국대학생에 대해서는 82.5%(단위체중당 79.5%)로 나타났다. 중국대학생의 BPWC가 한국대학생 BPWC보다 높은 것에 대한 이유는 미흡한 자료 때문에 설명을 할 수가 없으나, 중국대학생의 단위체중당의 BPWC가 47.20ml/kg·min으로서 미국대학생들보다 더 높다는 것은 특기할 사항이라 할수 있겠다.

(표 6) 피실험자의 신체 특성치와 생리학적 작업능력(BPWC)비교

		연령	체중	신장	BPWC	BPWC/BW	
					ml/min	ml/kg·min	
미	Karwowski (1984)	Mean	20.66	80.37	178.45	3745.24	46.60
		Std.	1.77	10.83	5.64	522.40	25.29
국	Kim (1990)	Mean	23.5	82.01	181.0	3490.23	42.56
		Std.	3.2	6.26	2.8	708.03	30.13
중	Lee Y. H. (1995)	Mean	21.2	66.00	170.50	3107	47.08
		Std.	1.88	7.91	3.35	410	19.34
	이 관석 (1995)	Mean	21.9	64.0	174.6	-	-
		Std.	2.4	6.0	3.7	-	-
한	박지수 (1996)	Mean	20.50	66.40	172.64	2553.88	38.46
		Std.	2.59	9.81	5.48	301.63	14.71
	본 연구 결과	Mean	20.33	68.83	172.76	2562.71	37.23
		Std.	1.86	11.70	6.35	200.71	9.82

(표 7)에서는 인체심리학에 의한 최대허용중량(MAWL)을 빈도에 따라 다른 자료와 비교하였다. 본 연구결과를 Kim(1991)의 연구결과와 비교해 보면 동일한 빈도에 대한 최대허용중량(MAWL)간의 비교는 62~89%로 낮게 나타났으며, Lee Y. H.(1995)의 중국자료와 비교해 보면 최대허용중량(MAWL)은

빈도에 따라 104~132%로 본 연구결과 보다 높게 나타났다. 이관석(1995)의 한국자료와 비교해 보면 최대허용중량은 빈도에 따라 191~161%로 높게 나타났다. 이러한 이유는 작업조건의 차이와 MAWL결정시간의 차이(20분과 60분)에 의한 것이라 사료되나 완전한 설명은 할 수 없다.

(표 7) 다른 자료와 본 연구결과의 비교

빈도	1	2	4	5	6	8	11
Ayoub	30.66	29.75	27.93	27.02	26.11	24.29	21.56
미국 Karwowski	30.50	26.18	22.49	21.39	20.55	19.28	17.97
Kim	41.18	33.52*	25.59	20.93*	18.63	14.02*	10.84*
중국 Lee. Y. H	26.47*	-	20.66*	-	18.61*	-	-
한국 이관석	13.30*	11.57*	11.07*	-	-	-	-
본 연구	25.38	22.38*	17.81	15.43*	14.07	12.01*	7.48*

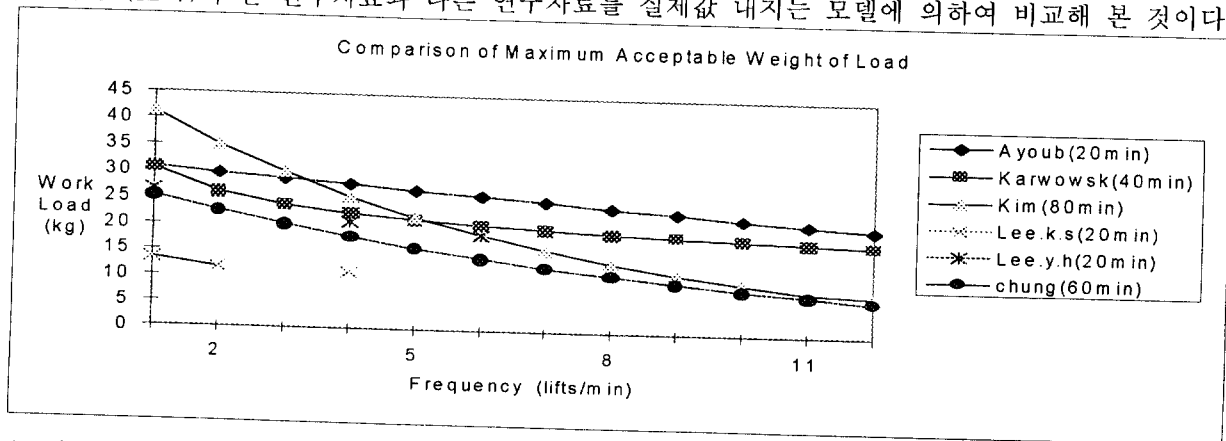
실제 데이터(*), 이외의 값은 다른자료와의 비교를 위해 모델값 사용.

인체심리학에 의한 최대허용중량(MAWL)과 빈도간의 관계를 선형함수(Linear Function), 지수함수(Exponential Function), 로그함수(Logarithmic Function), 멱함수(Power Function)관계로 고려해 보았다. 그 결과는 (표 8)와 같이 나타낼 수 있다. 빈도에 대한 최대허용중량간의 예측결과 지수함수가 가장 높은 R-sq 0.9865을 보여 주었다. Kim(1990)도 들어 올리는 빈도에 따라 지수함수로 나타났으며 $MAWL = 48.2582 \times EXP(-0.1586 \times Freq)$, Kawowski(1984)는 멱함수 $MAWL = 30.504 \times Freq^{-0.22058}$ 의 결과를 보였다.

(표 8) 빈도의 함수에 따른 최대허용중량의 예측.

함수(Function)	예측 모델 (Prediction Model)	R-sq
선형(Linear)	$MAWL = 24.75 - 1.60 \times FREQ$	0.9782
지수(Exponential)	$MAWL = 28.56 \times EXP(-0.118 \times FREQ)$	0.9865
로그(Logarithmic)	$MAWL = 28.54 - 8.39 \times Ln(FREQ)$	0.9832
멱(Power)	$MAWL = 36.23 \times FREQ^{-0.591}$	0.9119

(그림 3)은 (표 7)의 본 연구자료와 다른 연구자료를 실제값 내지는 모델에 의하여 비교해 본 것이다.



(그림 3) 본 연구자료와 다른 연구자료 비교

3. 결 론

본 실험 6명의 피실험자에 대한 최대산소소모량($\dot{V}O_2\max$)은 Bicycle Ergometer의 경우 2562.71ml/min. Treadmill의 경우 2874.89ml/min로 추정되었다. BPWC는 TPWC의 90.27%로 나타났고, t-검정(t-test)한 결과 유의차가 없는 것으로 나타났으나($t=1.82$, $P>0.064$) 유의수준 7%에서는 유의차가 있다고 할 수 있다. Astrand(1986)는 Treadmill을 100으로 볼 경우 Bicycle Ergometer가 92~96% 정도 된다고 하였고, McArdle(1991)은 88.8~93.6%정도가 된다고 하였으며, 박지수(1996)에 따르면 13명의 실험결과 Bicycle Ergometer의 경우 Treadmill의 91.64%가 된다고 하였다. 그러므로 본 실험결과는 이전의 연구결과들과 같은 경향을 보인다고 할 수 있다.

인체심리학적 연구방법에 의한 최대허용중량(MAWL)과 NIOSH Guideline의 비교는 최대허용중량(MAWL)이 들어 올리기 빈도 2회에서 8회까지는 MPL보다 낮았지만, 11회에서는 높게 나타났다. 최대허용중량(MAWL)은 빈도에 따라 지수함수 $MAWL = 28.56 \times \text{EXP}(-0.118 \times \text{FREQ})$ 에서 가장 높은 R-sq 0.9865를 나타내었다.

인체심리학에 의한 최대허용중량(MAWL)시 산소소모량은 717.83~1114.17ml/min로 빈도가 증가함에 따라 증가하였다. Bicycle Ergometer에 의한 33% 생리학적 작업능력(854.24ml/min)과 최대허용중량(MAWL)시 산소소모량과 비교해 볼때, 빈도 2회에서는 MAWL의 산소소모량이 84%로 낮았으나, 빈도 5회이상에서는 108~130%였다. 최대허용중량시 산소소모량을 Treadmill에 의한 33% 생리학적 작업능력(958.30ml/min)과 비교하면, 빈도 2회와 5회의 경우 MAWL의 산소소모량이 75%~96%로 낮았으나, 8회이상에서는 114~116%로 높게 나타나서 생리학적 측면에서 볼 때 과잉추정되는 경향이 있다고 판단된다. 또한, Bicycle Ergometer와 Treadmill에 의한 생리학적 작업능력(PWC)의 차이가 있으므로 이는 작업유형에 따라 PWC가 다르게 추정되어 질 수 있다는 것을 의미한다. 추후연구에서는 들어올리기 작업에 대한 생리학적 작업능력을 고려해 볼 수 있을 것이다.

미국의 경우 1981년 NIOSH 지침에 의하면 미국 여성 40세 50percentile의 생리학적 작업능력(PWC)은 2.1l-O₂/min, 남성 40세 50percentile은 3.0l-O₂/min을 기준으로 하여 하루 8시간 작업에 대한 행동한계(AL: Action Limit)는 0.7l-O₂/min, 최대허용한계(MPL: Maximum Permissible Limit)는 남성PWC의 33%인 1.0l-O₂/min로 기준치를 설정하였다(NIOSH, 1981). 현재 연구의 결과는 한국인의 성별과 연령에 따른 PWC에 대한 자료가 미흡하기 때문에 본 연구의 결과가 한국인 남성 20세를 대표하는 값이라고 가정하여 한국여성 40세 50percentile에 해당하는 생리학적 작업능력은 나이에 대한 보정 factor 0.83과 성별에 대한 보정 factor 0.7(Astrand 1986)을 고려하여 1.49l-O₂/min으로 추정할 수 있다. 그러므로 NIOSH Guideline AL에 해당하는 한국인의 생리학적 작업능력은 미국 기준치의 70.82%에 해당한다. 또한, Kim(1990)의 연구결과 한국대학생의 생리적 작업능력(BPWC)는 미국대학생의 생리적 작업능력(BPWC)의 73.4%(단위체중당: 88.5%)에 해당한다. 그러므로, 이점은 위에서 언급한 NIOSH Guideline을 보정없이 한국인에게 적용시키기에 다소 무리가 있다고 판단된다.

본 연구는 피실험자의 선정이 지역 대학생으로만 한정되어 있기 때문에 본 실험의 결과가 전체 한국인의 생리학적 작업능력을 반영한다고 보기에는 만족스럽다고 볼 수 없다. 그러므로 현실적인 한국인의 노동인력에 대한 생리학적 작업능력을 추정하기 위해서는 성별과 연령을 고려한 광범위한 피실험자에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1]. 공업진흥청, 산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위 조사 보고서, 1992.
- [2]. 노동부, "92-94 산업재해통계", 1993-1995.
- [3]. 박지수, 김홍기, 최진영, "작업유형에 따른 생리학적 작업능력의 비교분석", 대한인간공학회지, vol.15,2, 1996, pp.89-98.
- [4]. 정병용, "연도별(1972-1994)별 산업재해의 발생경향에 관한 연구", 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 1996, pp.307-312.
- [5]. 이관석, 박희석, "직접추정법의 대칭적인 들기 작업의 최대허용하중 결정에의 적용에 관한 연구", 대한인간공학회지, vol.14,1, 1995, pp.1-7.
- [6]. 이관석, 박희석, 서치원 "한국 작업자의 요통예방을 위한 작업하중 설계지침", 대한인간공학회 춘계 학술대회 논문집, 1995, pp.97-105.
- [7]. Asfour, S. S., Ayoub, M. M., and Genaidy, A. M., "A Psychophysical Study of the Effect of Task Variables on Lifting and Lowering Tasks," Human Factors. vol.13, 1984, pp.3-14.
- [8]. Astrand, P. O., and Rodahl K, "Textbook of Work Physiology-Physiological Bases of Exercise." 3ed, McGraw-Hill, 1986.
- [9]. Ayoub, M. M. and Mital A., "Manual Materials Handling", Taylor & Francis, 1989.
- [10]. Borg G, "An Introduction to Borg's RPE Scale. Ithaca" NT, Movement Publications. 1985.
- [11]. Donald, W. B., NIOSH Technical Report, "Work Practice Guide for Manual Lifting", U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio. 1981.
- [12]. Garg A, Chaffin Don B, Gary D. Herrin. "Prediction of Metabolic rates for manual materials handling Jobs." American Industrial Association, vol.39(8), 1978, pp.661-675.
- [13]. Kawowski, W., Ayoub, M. M., "Effect of Frequency on the Maximum Acceptable Weight of Lift." Human Factors, vol.22, 1984, pp.167-172.
- [14]. Kim, H. K."Development of A Model for Combined Ergonomic Approaches in Manual Materials Handling Tasks." Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas. 1990.
- [15]. Mital A, "Models for Predicting Maximum Acceptable Weight of Lift and Heart Rate and Oxygen Uptake at that Weight." Journal of Occupational Accidents, vol.7, 1985b, pp.75-82.
- [16]. Snook, S. H., "The design of manual handling tasks," Ergonomics, vol.21(12), 1978, pp.963-985.
- [17]. Snook, S. H., and Irvine, C. H., "Psychophysical studies of Physiological Fatigue Criteria," Human Factors, vol.11, 1969, pp.291-299.
- [18]. Waters T R, Putz-Anderson V, Garg A, and Fine L J, "Revised NIOSH Equation For The Design and Evaluation Of Manual Lifting Tasks," Ergonomics, vol.36(7), 1993, pp.749-776.
- [19]. Yung-Hui Lee, Yi-Lang Chen, "An Isoinertial Predictor for Maximal Acceptable Lifting Weights of Chinese Male Subjects." American Industrial Hygiene Association Journal. vol(57), 1996, pp.456-463.