Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 18, No. 1 1999.4

인력물자취급시의 인체심리학적 최대허용중량의 생리학적 고찰

Physiological Assessment of the Psychophysical Maximum Acceptable Weight of Load for Manual Materials Handling Tasks

정 성 학 · 김 홍 기*

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the metabolic energy consumption rate of the psychophysical Maximum Acceptable Weight of Loads (MAWLs) for different manual materials handling tasks. Lifting activities with four different lifting frequencies (2, 5, 8, 11 lifts/min) for a 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. 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.

Psychophysical MAWL decreased from 22.38 to 7.48 kg, while the oxygen consumption rate with the MAWL increased from 717.8 to 1114.7 $m\ell$-O_2/min as the frequency increased from 2 to 11 lifts/min. Heart rate also increased from 104.5 to 120.7 bpm. The ratio of oxygen consumption for the MAWL to the Physical Work Capacity (PWC) ranged from 28 to 43%. The MAWLs were greater than or equal to the Maximum Permissible Limits (MPLs) when the frequencies were higher than 8 lifts/min. It seems that the MAWLs by psychophysical approach when the frequencies were higher than 8 lifts/min tend to be overestimated from the viewpoint of the physiological criterion of the oxygen consumption rates. From these findings it is suggested that the NIOSH Guideline should not be directly applied to Korean without reasonable modifications.

* 경기대학교 산업공학과

Ⅰ. 서 론

현대 산업현장은 생산설비의 자동화가 이루어져 많은 작업자들에게 위험한 작업을 감소시켜왔지만, 아직도 완전자동화는 어려운 실정으로 건설, 제조, 물류(운수), 컨베이어 벨트로부터 원자재를 이동, 창고에 물건을 관리하는 등의 상당한 육체적 노력(physical exertion)을 요하는 인력물자취급(MMH: Manual Materials Handling)이 미국내 전체 작업 중 1/3인 것으로 추정되었다. 이러한 인력물자취급이 적합하지 않게 설계되는 경우 작업자는 상해를 입을 수 있는 바, 미국의 통계를 보면 인력물자취급으로 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(NIOSH, 1981). 산업사회의 발달에 따라 많은 분야에서 자동화가 이루어지고 있지만, 여전히 인력으로 행해지는 부분이 많은 것이 산업계의 현실이다. 어쩔수 없이 사람의 힘으로 행하여지는 인력물자취급으로 인해 작업강도에 따라 요통재해, 과로사등 많은 근골격상해가 발생하고 있어 인간공학에서는 인력물자취급에 4가지 연구방법이 적용되고 있다.

첫째, 분포집단의 발생현황과 특성을 연구하는 疫學的 硏究方法(Epidemiological Approach).

둘째, 심장이나 호흡기등 신체의 신진대사 에너지 대사량을 기초로 한 生理學的 硏究方法(Physiological Approach).

셋째, 인체(특히, 요추부: L5/S1)에 부가되는 압축력(compressive force), 전단력(shear force)등의 신체부하를 이용하는 生體力學的 硏究方法(Biomechanical Approach)

넷째, 주어진 작업조건하에서 안전하게 들어올릴 수 있는 최대중량을 결정할 때, 시행착오의 반복 실험을 통하여 각 개인 작업자 자신의 힘 또는 능력을 자각하는 人體心理學的 硏究方法(Psychophysical Approach)이 있다(NIOSH, 1981).

이러한 연구방법을 통하여 인력물자취급 조건에 따른 안전한 작업기준이 제시되고 있지만, 신체부위별 각각의 특성으로 작업조건과 상태에 따라 각각의 연구방법에서 제시하고 있는 안전한 작업기준은 다르다. 생체역학적 기준에서는 부하중량을 조절함으로써 근골격계의 물리적인 스트레스를 줄여나가는 방향으로 작업설계를 하는 반면, 생리학적 기준에서는 근육의 피로도나 에너지 대사율을 감소시키는 방향으로 들어올리기 작업의 빈도수(작업량)를 조절하여 효율적인 작업설계를 한다. 인체심리학적 기준에서는 작업자가 현장에서 작업시 작업조건과 작업상태에 따라 실제 작업을 행하는 작업자가 느끼는 각 개개인의 작업능력을 고려한다. 상당한 육체적 노력을 필요로 하는 인력물자취급에 있어서 작업자들의 안전한 작업을 위한 적절한 작업조건과 안전작업하중을 제시하기 위하여 작업자의 성능을 고려한 작업능력을 판단하여야 하며, 부하중량과 빈도에 따른 상호관계를 고려하여 안전한 인력물자취급의 작업설계가 이루어져야 할 것이다. 인력물자취급에서의 작업능력은 생체역학적, 생리학적, 인체심리학적 접근방법에 의한 작업능력 판단

으로서 국내에서도 이미 최대허용중량(MAWL : Maximum Acceptable Weight of Load)에 대한 연구발표(이관석, 박희석, 1995)와 한국인의 생리적 작업능력(PWC: Physical Work Capac ity)에 대한 자료(박지수 등, 1996)가 있지만 아직도 미흡한 실정이다. 생체역학적, 생리학적, 인체심리학적 접근방법에 따른 기준치 또한 미국 안전보건연구원(NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health)의 기준을 보정 없이 그대로 사용하고 있는 실정이다(이관석, 박희석, 1995; 이관석 등, 1995).

본 연구에서는 인체심리학에 의한 최대허용중량을 생리학적 측면에서 고찰하였다. 인체심리학적 연구방법에 의한 최대허용중량으로 작업시 산소소모량을 측정하여 생리적 작업능력과 비교하므로써 최대허용중량이 생리학적으로 적절한 안전하중인가를 알아보고자 하였다. 우리나라 작업자가 인력물자취급시 생산량을 저해하지 않고, 신체에 危害(hazard)를 가하지 않는 안전한 작업량을 설정하기 위한 기초자료를 제시하고자 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 인력물자취급시의 작업하중이나 작업빈도를 자각정도에 따라 조절하는 방법이다. 작업자가 무리하지 않도록 과열(overheated), 부상을 당하거나, 피로(strain)해지지 않으면서, 불편함(discom fort)이 없이 계속해서 다음날도 안정되게 작업할 수 있도록 일정시간의 시행착오를 거친 뒤 최종적으로 결정된 중량을 주어진 작업조건하에서의 최대허용중량이라 한다. 안전한 들어올리기 작업을 위해서는 대부분의 실제 현장에서 작업자가 실제로 들어보기 전에 각각의 들어올리기 작업을 평가하여 안전한 작업량을 설정하기가 어렵다. Ayoub과 Mital(1989)은 인력물자취급의 판단기준 설정에서 인체심리학적 연구방법은 비교적 적절하고 정확하여 신뢰할 수 있다고 하였다. 많은 연구자들은 인체심리학적 최대허용중량의 연구에서 최대허용중량 결정시간을 20~40분간 시행하였다(Ayoub, 1978; Asfour, 1980; Mital, 1985; Snook, 1978; Karwowski, 1984). Fernandez(1986)에 따르면, 최대허용중량 선별의 실험시간을 20분 시행한 결과는 작업자가 짧은 실험기간을 통해 자신이 할 수 있을 것이라는 자신의 의지와 자각의식에 반해, 실제로 작업을 8시간 동안 작업한 결과는 과잉 추정되는 경향이 있다고 하였으며, 약 1시간 정도는 되어야 한다고 하였다. 또한, Kim(1990)의 75에서 80분의 연구결과에 의하면, 실험의 경제성을 고려하여 ±5%의 오차를 감안하면 약 45분의 실험시간도 가능하다고 하였다. 따라서, 본 연구에서는 인체심리학적 최대허용중량 선정시간을 50분으로 하였다.

생리학적 접근방법은 작업자의 신체에 부가되는 작업량에 따라 생리학적인 에너지소모량을 근거로한 생리적 작업능력과 이에 따른 작업시의 생리학적 기준치를 설정하고자 하는 것

이다. 작업을 수행하는 동안 생리학적 변화 요소를 알게 되면 작업자에게 부과되는 스트레스 수준을 알 수 있으며, 이때 생리적인 요소의 측정치로 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 생리적 작업능력의 33%, 분당 에너지소모율 5kcal 와 110에서 115bpm의 심장박동수를 넘지 않도록 추천하였다. 생리적 작업능력을 측정함에 있어서 이론적 함수는 작업량, 심장박동수, 산소소모량 등이 거의 직선 비례적 관계에 있다는데 두고 있다. 작업을 시작하여 일정시간이 지난 후 안정된 상태에서는 작업량이 증가함에 따라 에너지 소모량은 증가하게 된다.

미국의 NIOSH에서는 인력물자취급의 안전하중을 제정하기 위하여 행동한계, 최대허용한계를 제안하였다. 행동한계는 여성 75%와 99%의 모든 남성이 들어올릴 수 있는 중량이고, 최대허용중량은 남성 25%와 여성 1%미만의 아주 소수의 사람들이 들어올릴 수 있는 중량으로 3배의 행동한계이다. NIOSH는 1시간 혹은 가끔씩 들어올리는(occasional lifting) 경우 여성 6.5kcal/min와 남성 9kcal/min를 넘지 않고, 실제 8시간 작업에 있어서 신진대사 에너지소모율 3.5kcal/min와 5.0kcal/min를 추천하였다(NIOSH, 1981). 1991년에는 이를 보정하여 작업의 초기높이와 작업시간에 따라 2.2에서 4.7kcal/min를 초과하지 않도록 권장중량한계를 제안하였다.

3. 실험절차 및 방법

본 연구의 실험절차는 먼저, 피실험자 선정시 병력을 문진하고, 요통의 경험이 있는 사람은 제외하고, 선정된 피실험자들에 대해서 인체측정을 실시하였다. 둘째, 피실험자는 간단한 운동복과 운동화를 착용한 후 편안한 의자에 앉아 안락한 상태에서 휴식을 취하고, 약 15분후 휴식시 심장박동수와 산소소모량을 측정한 후 생리적 작업능력을 측정하였다. 생리적 작업능력은 Bicycle Ergometer와 Treadmill의 작업유형으로 Submaximal test protocol(Kim, 1990)을 이용하여 추정하였다. 셋째, 인체심리학에 의한 최대허용중량을 결정하고, 이에 따른 심장박동수와 산소소모량을 측정하였다.

본 실험을 위하여 들어올리기 작업의 자세와 들어올리기 범위에 따른 적응훈련시간을 가졌고, 낮은 빈도에서부터 높은 빈도를 포함하기 위하여 분당 2, 5, 8, 11회의 빈도를 선택하였다. 에너지 대사량 측정시의 마우스피스에 대한 적응력을 키우고, 손잡이에 대한 부담감과 심박계에 친숙하도록 하였으며, 들어올리는 능력과 실제 현장작업을 하는 것과 같은 들어올리기의 예비친숙기로 15일을 시행하였다.

한번에 들어올릴 수 있는 최대중량(One time max)이란 최대로 하루에 한번 들어올리는 경우의 중량을 말하는 것으로서 피실험자의 자각의식에 의해 결정하므로 충분한 휴식시간을 두고 여러차례에 걸쳐 실시하여 결정하였다. 인력물자취급시 인체심리학적 연구방법에 의한 최대허용중량을 선정하고, NIOSH Guideline의 행동한계, 최대허용한계, 권장중

량한계를 비교하였으며, 최대허용중량을 빈도에 대한 함수로 예측하였다.

3.1 실험기기의 구성

본 연구에서의 실험기기 구성은 에너지대사량 측정기, 심박계, Ergometer, Treadmill, 작업상자(Container), 작업대(Lifting Table), 인체측정기(Anthropometric Measurements Set)등으로 하였다.

3.1.1. 에너지 대사량 측정기

산소소모량을 측정하기 위하여 미국 SensorMedics사 에너지 대사량 측정기(The 2900 Metabolic Measurement Cart/System Model)를 사용하였다.

3.1.2. 심박계(Heart Rate Monitor)

심장박동수를 측정하기 위하여 미국 SensorMedics사의 SaO_2(Sat-Trak Pulse Oximeter)와 매 5초, 15초, 30초 단위로 측정이 가능한 POLAR VANTAGE XL Heart Rate Monitor(Model # 145900)를 사용하였다.

3.1.3. Bicycle Ergometer

Ergometer는 미국의 SensorMedics사 Ergoline/SMC(800S) Ergo meter로 에너지 대사량측정기와 연결되어 자동으로 작업부하(Workload)를 조절할 수 있을 뿐 아니라 원하는 작업부하의 수치로 입력가능하며 자동으로 1000watt까지 자동조절 할 수 있다.

3.1.4. Treadmill

Treadmill은 Marquett사의 Treadmill Series-2000이 사용되었다. 최고속도는 22.5km/h, 등판최대각도는 수평으로부터 25.0% grade까지 연속적으로 변화시킬 수 있다.

3.1.5. 작업상자(Container)

들어올리기 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 쇠덩어리, 납덩어리, 돌 등의 불규칙한 임의의 무게를 상자 속에 넣게 하고 솜과 스타이로폼(Styrofoam)으로 무게의 중심이 상자의 중앙에 오도록 하였다.

3.1.6. 작업대(Lifting Table)

작업대는 규격이 가로 150cm × 세로 80cm × 높이 76cm인 작업대를 사용하였다. 재질은 철재로 만들었으며, 작업대가 움직이지 않도록 단단히 고정하였다.

3.1.7. 인체측정기(Anthropometric Measurements Set)

작업자(피실험자)의 인체 측정을 위하여 마틴식 인체측정기를 사용하였다.

3.2. 피실험자의 선정

서울·경기지역의 신체 건강한 6명의 남학생을 신장, 체중, 신체 특성을 고려하여 선정하였다. 19세에서 25세로 평균 연령은 20.3(표준편차 1.86)세, 피실험자의 평균 신장은 172.76cm(표준편차 6.35) 였으며, 평균 체중은 68.83kg(표준편차 11.70)였다.

3.3. 실험디자인

실험상의 변수를 설정하는데 있어서 피실험자 6명을 인자로 하고, 분당 2, 5, 8, 11회의 4가지 빈도를 수준으로 하여 난괴법(RBD: Randomized Block Design)을 사용하였고, 종속변수로서 최대허용중량을 선정하였다. 최대허용중량을 결정하는 시간은 50분을 고려하였고, 결정된 최대허용중량에 따른 산소소모량과 심장박동수를 10분간에 걸쳐 측정하였다. 제어변수는 들어올리는 범위, 들어올리는 방법, 상자의 크기, 작업환경으로 하였다. 들어올리는 범위는 바닥에서 무릎(76cm)까지로 한정하였으며, 들어올리는 방법은 자유형(Free style)으로 하였다. 작업환경은 실내의 온도를 23℃±3로 하였으며, 피실험자는 운동복과 편안한 운동화를 사용하고, 평편한 바닥, 장애물이 없고 마찰력이 좋은 바닥의 작업조건으로 하였다.

3.4. 인체심리학적 최대허용중량 선정의 실험방법

분당 2, 5, 8, 11회의 들어올리기 작업에 대하여 인체심리학에 의한 최대허용중량의 선정은 작업자가 안락한 상태에서 피로하지 않으며, 하루 8시간을 계속해서 작업할 수 있는 작업량을 조절하는 것이다. 먼저, 피실험자는 간단한 운동복과 운동화를 착용한 후 편안한 의자에 앉아 안정된 상태에서 휴식을 취하게 하였으며, 약15분이 경과한 후 휴식시 심장박동수와 산소소모량을 측정하였다.

작업자가 불안전한 상태 즉, 작업시 무리하지 않도록 과열(overheated), 부상을 당하거나, 피로(strain)해지지 않으면서, 불편함(discomfort)이 없이 계속해서 다음날도 안락하게 작업할 수 있도록 피실험자(작업자)에게 주지시키고, 이때 피실험자가 최대로 들어올릴 수 있는 하중을 선별하게 하였다. 피실험자가 다양한 무게를 선택할 수 있도록 형태가 불규칙한 쇠덩어리, 납덩어리, 돌 등의 불규칙한 물건들을 작업상자 속에 추가하거나 줄이면서 적절한 최대중량을 선정하였다. 매일 한 시간을 정하여 50분 동안 자각의식에 의해 최대허용중량을 선별하고, 그 이후 10분 동안 선정된 중량으로 들어올리기 작업을 계속하는 동안 Mouth-piece와 Nose-clip을 부착하고, 심장박동수와 산소소모량을 측정하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1. 인체심리학에 의한 최대허용중량의 측정결과

본 연구의 작업조건에 따른 실험결과 피실험자 6명의 한번에 들어올릴 수 있는 최대중량(One Time Max)을 측정한 결과 평균값은 68.6kg(표준편차:11.0)이였다. 인체심리학에

(표 1) NIOSH의 3가지 한계치와 인체심리학적 최대허용중량의 비교

	빈도			
	2	5	8	11
행동한계(AL)	10.05kg	7.03kg	4.02kg	1.00kg
최대허용한계(MPL)	30.14kg	21.00kg	12.05kg	3.01kg
권장중량한계(RWL)	6.70kg	3.61kg	1.86kg	0.00kg
최대허용중량(MAWL)	22.38kg	15.43kg	12.01kg	7.48kg
최대허용중량/최대허용한계	74%	74%	100%	249%

(표 2) 최대허용중량시 심장박동수와 산소소모량

		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
$\dot{V}_{O_2}$(MAWL) [㎖-O_2/min]	mean	717.83	922.50	1095.17	1114.17
	std	69.98	148.48	147.56	156.72

* HR : 심장박동수, $\dot{V}_{O_2}$(MAWL) : 최대허용중량시 산소소모량

(표 3) 빈도의 함수에 따른 최대허용중량의 예측.

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

의한 최대허용중량은 빈도가 증가함에 따라 22.38에서 7.48kg으로 감소하는 경향을 보여주었으며, 분당 2에서 11회까지 빈도에 따라 행동한계의 2.2에서 7.5배로 높게 나타났다. 또한 최대허용중량은 빈도 11회의 경우에는 권장중량한계가 0이기 때문에 비교할 수가 없었고, 분당 2, 5, 8회 빈도의 경우 권장중량한계의 3.3에서 6.5배로 나타났다. NIOSH Guideline의 최대허용한계를 최대허용중량과 비교하면, 빈도 2에서 8회까지는 낮았지만, 11회의 경우는 오히려 높게 나타났다(표 1).

작업중량의 비교와 더불어 최대허용중량에 따른 신체적 변화를 생리학적인 측면에서 고찰해 보았다. 각 빈도에 따른 최대허용중량에 해당하는 심장박동수와 산소소모량은 (표 2)에서와 같다. 인체심리학적 연구방법에 의해 피실험자가 선정한 최대허용중량은 빈도가 증가함에 따라 22.38에서 7.48kg으로 감소한 반면, 이때의 심장박동수는 104에서 120bpm으로 증가하였으며, 산소소모량은 빈도에 따라

(표 4) Bicycle Ergometer와 Treadmill의 생리적 작업능력

작업방법		생리적 작업능력 [㎖-O_2/min]	단위체중당 생리적 작업능력 [㎖-O_2/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

*BPWC : Bicycle Ergometer에 의한 생리적 작업능력, TPWC : Treadmill에 의한 생리적 작업능력.

(표 5) 최대허용중량시 산소소모량과 작업능력간의 비교

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

717.83에서 1114.17㎖-O_2/min으로 증가하였다. 본 연구결과는 NIOSH의 생리학적 기준치 700㎖-O_2/min(행동한계), 620㎖-O_2/min(권장중량한계)보다 높았고, 빈도가 8회 이상일 경우 NIOSH 최대허용한계의 생리학적 기준치 1000㎖-O_2/min보다 높게 나타났다.

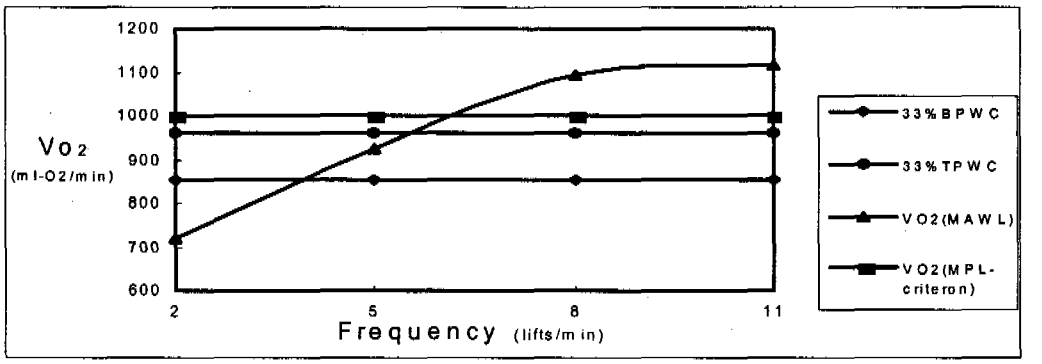
인체심리학에 의한 최대허용중량과 빈도간의 관계를 선형함수(Linear Function), 지수함수(Exponential Function), 로그함수(Logarithmic Function), 멱함수(Power Function)관계로 고려해 보았다. 그 결과는 (표 3)과 같이 나타낼 수 있다. 빈도에 대한 최대허용중량간의 예측결과 지수함수가 가장 높은 R-sq값 0.9865로 나타났다. Kim(1990)도 지수함수가 적합한 것으로 나타났으며, Karwowski(1984)는 멱함수에서 가장 높게 나타났다.

4.2. 생리적 작업능력 측정결과

Bicycle Ergometer에 의한 생리적 작업능력은 2562.71㎖-O_2/min이였고, Treadmill에 의한 생리적 작업능력은 2874.89㎖-O_2/min로 추정되었으며, 단위체중당 생리적 작업능력은 (표 4)와 같다.

4.3. 인체심리학에 의한 최대허용중량시 산소소모량과 생리적 작업능력의 비교

최대허용중량을 한번에 들어올릴 수 있는 최대중량(One Time Max)과 비교하면 11에서 33%로 빈도가 증가함에 따라 그 비율이 감소하였다. 최대허용중량시 산소소모량은 Bicycle Ergometer에 의한 생리적 작업능력의 빈도가 증가함에 따라 28에서 43%로 증가함을 보였다. Treadmill에 의한 생리적 작업능



(그림 1) 최대허용중량시 산소소모량과 생리적 작업능력간의 비교

(표 6) 다른 자료와 본 연구결과의 비교

	빈도	1	2	4	5	6	8	11
미국	Ayoub	30.66	29.75	27.93	27.02	26.11	24.29	21.56
	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.	26.47*	–	20.66*	–	18.61*	–	–
한국	이관석,박희석	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.

력에 대해서는 25에서 39%로 증가경향을 보였다(표 5).

최대허용중량시 산소소모량은 빈도 5회 또는 그 이상의 작업빈도에 대해서 Bicycle Ergometer, Treadmill에 의한 생리적 작업능력의 33%를 상회하는 것으로 나타났으며, 특히 8회부터는 NIOSH Guideline에 의한 최대허용한계의 생리학적 기준치 1000㎖-O_2/min보다 높게 나타났다(그림 1).

4.4. 다른 연구자료와의 비교

본 연구에서 얻은 한국인의 최대허용중량을 한국인, 중국인, 미국인에 대한 최대허용중량에 대한 다른 연구자료(Ayoub, 1978; Karwowski et al, 1984; Kim, 1990; 이관석, 박희석, 1995; Lee et al, 1995)와 비교하였다. (표 6)에서는 인체심리학에 의한 최대허용중량을 빈도에 따라 다른 자료와 비교하였다. 본 연구결과를 Kim(1990)의 연구결과와 비교해 보면 동일한 빈도에 대한 최대허용중량간의 비교는 62에서 89%로 낮게 나타났으며, Lee et al.(1995)의 중국자료와 비교해 보면 최대허용중량은 빈도에 따라 104에서 132%로 본 연구결과 보다 높게 나타났다. 이관석, 박희석(1995)의 한국자료와 비교해 보면 최대허용중량은 빈도에 따라 161에서 191%로 높게 나타났다. 이러한 이유는 작업조건의 차이와 최대허용중량 결정시간의 차이(20분과 50분)에 의한 것이라 사료되나 완전한 설명은 할 수 없다.

(표 7) Bicycle Ergometer에 의한 생리적 작업능력 비교

			연령	체중	신장	생리적작업능력	단위체중당 생리적작업능력
						ml-O_2/min	ml-O_2/kg-min
미국	Karwowski (1984)	Mean	20.66	80.37	178.45	3745.24	46.60
		Std.	1.77	10.83	5.64	522.40	25.29
	Kim (1990)	Mean	23.5	82.01	181.0	3490.23	42.56
		Std.	3.2	6.26	2.8	708.03	30.13
중국	Lee (1995)	Mean	21.2	66.00	170.50	3107.00	47.08
		Std.	1.88	7.91	3.35	410.00	19.34
한국	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

피실험자의 신체특성치와 생리적 작업능력은 (표 7)과 같다. 한국대학생의 BPWC는 미국대학생의 BPWC에 대해 68.4에서 73.4%(단위체중당 79.9에서 87.5%)로 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-O_2/kg-min으로서 미국대학생들보다 더 높다는 것은 특기할 사항이라 할 수 있겠다.

5. 결론 및 토의

본 연구의 실험결과 인체심리학적 최대허용중량은 작업빈도가 분당 2에서 11회로 증가함에 따라 22.38에서 7.48kg으로 감소하였으며, 최대허용중량을 빈도의 함수로 고려하면 지수함수가 가장 적합한 것으로 나타났다. 최대허용중량에 따른 산소소모량을 측정한 결과 717.83에서 1114.17ml-O_2/min로 빈도가 증가함에 따라 증가하였다. 또한 이를 Bicycle Ergometer에 의한 생리적 작업능력(2562.71ml-O_2/min)과 비교하면 빈도가 증가함에 따라 28에서 43%로 증가하였는데 분당 2회를 제외하고는 모두 생리적 작업능력의 33%를 초과하였다. 최대허용중량에 따른 산소소모량을 Treadmill에 의한 생리적 작업능력(2874.89ml-O_2/min)과의 비교에서도 빈도가 증가함에 따라 25에서 39%로 증가하였는데 분당 2회와 5회에서만 생리적 작업능력의 33% 미만이었다. 분당 8회 이상부터는 NIOSH Guideline의 최대허용한계에 대한 생리학적 기준치 1000ml-O_2/min 보다도 높게 나타났으며, 심장박동수도 분당 115회 보다 높았다. 특히 분당 11회에서는 최대허용중량은 NIOSH Guideline의 최대허용한계의 249%였다. 물론 본 연구결과의 최대허용중량의 값이 한국인 남성 25백분위수 또는 평균값에 해당할지는 확신할 수 없기 때문에 최대허용중량을 최대허용한계와 직접적으로 비교한다는 것은 합리적이 아닐 것이다. 그러나 이 결과들로 미루어 볼 때 인체심리학적 방법에 의

한 최대허용중량은 빈도가 분당 8회 이상에서는 생리학적 측면에서 볼 때 과잉추정되는 경향이 있다고 말할 수 있다.

미국의 NIOSH 지침에 의하면 미국 여성 40세 50백분위수의 생리적 작업능력은 2100 $m\ell$-O_2/min, 남성 40세 50백분위수는 3000$m\ell$-O_2/min을 기준으로 하여 하루 8시간 작업에 대한 행동한계는 여성의 생리적 작업능력의 33%인 700$m\ell$-O_2/min, 최대허용한계는 남성의 생리적 작업능력의 33%인 1000 $m\ell$-O_2/min로 기준치를 설정하였고, 권장중량 한계는 작업의 초기높이와 작업시간에 따라 440에서 940$m\ell$-O_2/min를 추천하였다. 한국인의 성별과 연령에 따른 생리적 작업능력에 대한 자료가 미흡하기 때문에 본 연구의 결과가 한국인 남성 20세를 대표하는 값이라고 가정하고 나이에 대한 보정 factor 0.83과 성별에 대한 보정 factor 0.7(Astrand 1986)을 고려하면 한국여성 40세 50백분위수에 해당하는 생리적 작업능력은 1489$m\ell$-O_2/min, 한국남성 40세 50백분위수에 해당하는 생리적 작업능력은 2127$m\ell$-O_2/min으로 추정할 수 있다. 그러므로 한국인의 생리적 작업능력은 미국 기준치의 70.9%에 해당한다고 할 수 있다. 또한 본 연구결과와 미국의 연구결과(Kim, 1990; Karwowski, 1984)를 비교하여 보면, 한국대학생의 생리적 작업능력은 미국대학생의 생리적 작업능력의 68.4에서 73.4%, 그리고 한국대학생의 인체심리학적 최대허용중량은 미국대학생의 최대허용중량의 67에서 86%에 해당한다고 할 수 있다. 이러한 결과들로 미루어 볼 때 한국인의 육체적 작업능력은 미국인의 약 70에서 75%라고 할 수 있을 것이다. 이러한 생리적 작업능력 관점에서 본다면 미국의 NIOSH Guideline을 보정없이 한국인에게 적용시키기에는 다소 문제점이 있다고 판단된다.

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

참고문헌

[1] 박지수, 김홍기, 최진영, "작업유형에 따른 생리학적 작업능력의 비교분석", 대한인간공학회지, vol.15(2), pp.89-98, 1996.

[2] 이관석, 박희석, "직접추정법의 대칭적인 들기 작업의 최대허용하중 결정에의 적용에 관한 연구", 대한인간공학회지, vol.14(1), pp.1-7, 1995.

[3] 이관석, 박희석, 서치원 "한국 작업자의 요통 예방을 위한 작업하중 설계지침", 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, pp.97-105, 1995.

[4] Asfour, S. S., "Energy Cost Perdicting Models for Manual Lifting and Lowering Tasks." Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1980.

[5] Astrand, P. O., and Rodahl K. "Textbook of Work Physiology -Physiological Bases of Exercise." 3ed, McGraw-Hill, 1986.

[6] Ayoub, M. M., Dryden, R. D.,

McDaniel, J. W., Knipfer, R. E., and Aghazadeh, F.: "Modeling of Lifting Capacity as a Function of Operator and Task Variables," Safety in Manual Materials Handling, Drury, C. G. (Editor), DHEW (NIOSH) Publication No.78-185, pp.120-130, 1978.

[7] Ayoub, M. M. and Mital A., "Manual Materials Handling", Taylor & Francis, 1989.

[8] Fernandez, J, "Psychophysical Lifting Capacity over Extended Periods." Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1986.

[9] Karwowski, W., Ayoub, M. M., "Effect of Frequency on the Maximum Acceptable Weight of Lift." Human Factors, vol.22, pp.167-172. 1984.

[10] 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.

[11] Lee, Y. H., and Chen, Y. L., "An Isoinertial Predictor for Maximal Acceptable Lifting Weights of Chinese Male Subjects." American Industrial Hygiene Association Journal. vol.57, pp.456-463, 1996.

[12] 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, pp.75-82, 1985.

[13] NIOSH Technical Report, "Work Practice Guide for Manual Lifting", U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio. 1981.

[14] Snook, S. H., "Psychophysical Cons iderations in permissible Loads." Ergonomics, vol.28(1), pp.327-330, 1985.

[15] Snook, S. H., "The design of manual handling tasks," Ergonomics, vol.21 (12), pp.963-985, 1978.

[16] Snook, S. H., and Irvine, C. H., "Psychophysical studies of Physiological Fatigue Criteria," Human Factors, vol.11, pp.291-299, 1969.

[17] Waters, T. R., Putz-Anderson, V. and Garg, A., "Applicatios Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation." U.S. Department of Health and Human services, Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Division of Biomedical and Behavioral Science Cincinnati, Ohio 45226, 1994.