Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 15, No. 2, 1996

작업유형에 따른 생리학적 작업능력의 비교 분석

Comparison Analysis of Physiological Work Capacity for Different Tasks

박 지 수* · 김 홍 기* · 최 진 영*

ABSTRACT

The objective of this study was to make comparison of the physical work capacities with different types and methods of tasks. To produce standard work loads, a bicycle ergometer and a treadmill were used for the purpose of two different types of tasks. Maximal oxygen uptake measurement tests are usually performed (1) continuously - with no rest between work load increments, or (2) discontinuously - with the subjects resting several minutes between work periods. Continuous test protocol with two different methods of work load increments, (1) ramp test - with 3 to 5 minutes of work period for each work load, and (2) incremental test - where exercise intensity was increased progressively in 2 minutes interval, were used.

Predicted physical work capacities(PWCs) were compared with the one by Kim(1990), and Lee(1995), and the NIOSH physiological criteria. For ergometer test, the PWC based on the ramp test was 89.65% of the one based on the incremental test. The PWC values were 2553.88 ml/min for the ramp test and 2848.82 ml/min for the incremental test. For treadmill test, the PWC based on the ramp test was 97.54% of the one based on the incremental test. The PWC values were 2786.89 ml/min for the ramp test and 2857.24 ml/min for the incremental test. The PWC obtained with a bicycle ergometer was 91.64% of the one obtained with a treadmill for the ramp test, and 99.71% for the incremental test.

* 경기대학교 산업공학과

1. 서 론

급격한 경제발전과 산업화로 인하여 최근 컴퓨터화와 자동화가 많이 이루어져 인력에 의한 작업(manual handling)이 감소되어 가는 추세에 있다. 그러나 작업들이 짜임새 있게 잘 구성되어 있고 또한 같은 일을 반복적으로 수행하게 되어 있지 않은 작업이라면 인력에 의한 작업을 완전히 자동화하기는 어려운 일이다. 그러므로 건설, 제조 등의 작업분야에서는 직무를 수행하기 위하여 상당한 육체적 노력을 사용하여야 하는 작업장이 아직도 많이 존재하고 있다. 사람의 신체를 이용한 작업에서 인력물자취급(작업)(MMH; manual materials handling)은 중요한 부분이며, 1981년 현재 미국내 전체 작업의 1/3정도가 상당한 수준의 힘을 요하는 수작업인 것으로 조사되었다. 이러한 유형의 수작업은 신체의 근육골격계(musculoskeletal system)에 상해를 초래하는 바, 이런 상해는 전체 작업장 상해의 52%를 차지하며 연간 약 5백만 명의 작업자가 피해를 입고 있으며, 이로 인한 경제적 손실은 연간 약 1000억 달러 정도이다(NIOSH, 1981).

우리 나라의 경우 1992~1994년 사이에 발생한 산업재해를 살펴보면, 광업과 운수, 창고 등에서 발생한 재해는 9.36%정도가 발생한 것으로 나타났다. 하지만 건설업의 경우 전체가 인력물자취급에 대한 재해라고는 볼 수 없지만 27.21% 정도의 재해가 발생한 것을 포함하면, 약 30%정도가 아직도 인력물자취급에 의해서 발생하고 있는 것으로 나타났다(정병용, 1996).

이러한 많은 육체적 노력을 필요로 하는 인력물자취급(작업)에 있어서의 작업자들의 안전한 작업을 위한 적절한 작업조건과 안전작업하중을 제시하기 위하여 작업능력을 판단하여야 한다. 인력물자취급(작업)에서의 작업능력은 생체역학적, 생리학적, 인체심리학적인 측면에서 판단되어 질 수 있다. 인체심리학적 접근방법에 의한 작업능력 판단으로서 국내에서도 이미 최대허용중량(Maximum Acceptable Weight of Load, MAWL)에 대한 연구발표(이관석 외 2인, 1996)가 나와 있으나, 한국인의 생체역학적 작업능력에 대한 기준치와 생리학적 작업능력(PWC)에 대한 자료는 아직도 미흡한 실정이다. 생체역학적, 생리학적, 인체심리학적 접근방법에 따른 기준치 또한 미국 NIOSH의 기준을 보정 없이 그대로 사용하고 있는 실정이다(이관석, 박희석, 1995 ; 이관석외 2인, 1995). 그러므로 미국과 같이 신체능력에 따른 기준치가 없는 우리 나라의 작업자들은 인력물자취급(작업)에 의한 상해에 노출이 되어 있고 상당한 비용의 손실도 가져오고 있다.

본 연구에서는 인력물자취급(작업)에 있어서 적합한 작업기준이 없기 때문에, 여러 가지 상해와 위험에 노출이 되어 있는 우리 나라의 작업자들의 인력물자취급(작업)에 대한 상해요인 제거와 예방을 위하여 생리학적 연구방법을 통한 한국인의 생리학적 작업능력을 추정하고자 하였다. 아울러 미국의 NIOSH의 기준을 한국인 작업자들에게 사용하는데 적합한가를 비교·분석하고 아울러 동양인들의 생리학적 작업능력과도 비교해 봄으로써 생리학적 작업능력(PWC)의 추정을 통하여 작업자들이 힘든 작업을 수행할 때 안전하게 작업을 수행하고 피로가 누적되거나 신체적인 무리를 가져오지 않도록 작업설계의 기준치를 제시해 보고자 한다.

2. 본 론

인력물자취급(작업)에서 안전하중을 결

정하기 위한 인간공학적인 연구방법(ergonomic approaches)에는 ①척추에 걸리는 안전하중을 고려한 생체역학적인 연구방법(biomechanical approach) ②에너지 소모량을 고려한 생리학적인 연구방법(physiological approach) ③피실험자에게 주어진 작업조건에서 최대의 안전하중을 피실험자 자신이 판단하게 하는 방법을 고려한 인체심리학적인 연구방법(psychophysical approach), 그리고 ④역학조사에 의한 연구방법(epidemiological approach)의 4가지 방법이 있다(Kim, 1990). 본 연구에서는 네 가지의 연구방법 중 한 방법으로 생리학적 연구방법에 대해서 연구하였다.

생리학적 연구방법은 작업량에 따라 신체에 부가되는 생리학적 압력(stress)을 심박수(HR ; heart rate), 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$, oxygen consumption rate) 등의 생리적 반응을 측정하여 생리학적 작업능력(PWC)을 추정하는 방법이다.

생리학적 작업능력(PWC) 측정방법에는 크게 Maximal test와 Submaximal test의 두 가지방법이 있는데, Maximal test는 피실험자에게 주어진 작업량을 탈진상태에 이를 때까지 작업하게 하여 최대 심박수(MHR; maximum heart rate)와 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)을 측정하는 방법인데 피실험자의 최대 산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)을 측정하는 것이기 때문에 피실험자에게 부담을 줄뿐만 아니라, 거의 최대부하에 이르지 못하는 문제점 등이 있기 때문에 정확한 값을 얻기 어렵다(Astrand and Rodahl, 1986). Submaximal test는 Maximal test와는 달리 피실험자의 최대 산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)을 간접적으로 측정하는 방법이다. 예를 들어 예측된 최대 산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)의 30%, 50%, 75% 정도에 해당하는 작업부하를 주어 각 단계에 해당하는 심박수(HR)나 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$)을 측정한 후 그 측정값들에 대한 회귀분석(regression)을 통하여 최대심박수(MHR)에 대응하는 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)을 추정하는 것을 말한다(Astrand and Rodahl, 1986, Kamon and Ayoub, 1976).

최대 산소소모량비율(% $\dot{V}_{O_2}max$)과 심박수(HR) 간의 관계를 설명하는데는 두 가지 방법이 있을 수 있다. 첫째는 최대심박수의 비율(%MHR ; percent maximum heart rate)로 표현하는 방법과 둘째로 휴식시 심박수(RHR ; resting heart rate)와 최대 심박수(MHR)의 구간에 대한 비율로 표현하는 심박수비율(%HRR ; percent heart rate range) 방법이 있다. 최대 심박수비율(%MHR) 방법은 휴식시 심박수(RHR)는 최대 심박수(MHR)의 상당부분을 차지하므로 좋은 선형관계를 얻을 수 없다. 반면에 심박수비율(%HRR)은 휴식시 심박수(RHR) 부분을 제외했기 때문에 최대 산소소모량비율(% $\dot{V}_{O_2}max$)과의 사이에는 좋은 비율을 가지므로, 이 두 값을 이용하여 Submaximal test에서 3단계로 작업부하를 줄 수 있다(deVries, 1983).

Submaximal test에는 단속적인 방법(discontinuous method)과 연속적인 방법(continuous method)의 두 가지가 있는데, 단속적인 방법은 작업부하를 변화시킬 때, 휴식기간이 있는 작업방법이고, 연속적인 작업방법은 작업부하를 변화시킬 때, 휴식기간이 전혀 없는 작업방법이며, 작업부하의 증가는 15 sec 에서 5 min 내의 간격을 두고 점진적으로 증가시키는 방법을 말한다(Astrand and Rodahl, 1986).

본 연구에서는 연속적인 작업방법을 사용하였는데, 연속적인 작업방법을 사용한

이유는 단속적인 작업방법은 실험시간이 상당히 오래 걸리며, 연속적인 작업방법에 비하여 일관된 결과를 얻기 힘들기 때문이다. 연속적인 작업방법 중 피험실험자에게 30% HRR, 50% HRR, 75% HRR에 해당하는 작업부하를 각각 5분 동안 실험하는 방법인 ramp test와 휴식시 심박수(RHR)와 75~80% HRR의 범위 내에서 매 2분마다 점진적으로 같은 양의 작업부하를 높이는 incremental test의 두 가지 작업방법을 사용하였다.

2.1. 실험방법 및 과정

본 연구에서는 실험에 앞서 키와 몸무게 별로 피실험자를 추출(Sampling)한 후, 피 실험자들의 트레드밀(treadmill), 자전거 에르고미터(cycle ergometer)에 의한 심박수(HR)와 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$)을 측정하여 피실험자들의 작업방법에 따른 생리학적 작업능력(PWC)을 추정하였다. 작업유형의 비교를 위하여 트레드밀, 자전거 에르고미터를 사용했으며, 두 가지 작업에 대하여 다시 작업조건의 차이를 비교하기 위하여 다음과 같은 방법을 이용하였다.

자전거 에르고미터의 ramp test의 경우 평균 30% HRR, 50% HRR, 75% HRR 에 해당하는 작업부하로 각각 5분간 실험을 하였고, incremental test의 경우 50W, 75W, 100W, 125W, 150W 정도의 작업부하로 각각 2분간 실험을 하였다. 자전거 에르고미터의 경우 저속으로 측정할 경우 평균적으로 많이 사용하는 속도가 50~60 rpm 정도이고, 자전거 경주 등의 고속측정에 사용하는 속도가 70~100 rpm 정도가 적절하다고 하였다(Kim, 1990, Powers et al., 1993). 그러므로 자전거 에르고미터의 속도는 50 rpm을 유지하도록 하였다. 트레드밀은 ramp test의 경우 평균 5.0 km/h의 속도로 경사도를 각각 30% HRR, 50% HRR, 75% HRR에 해당하는 작업부하로 각각 5분간의 실험을 하였고, incremental test의 경우 5.4 km/h의 속도로 경사도를 각각 5% grade, 7% grade, 9% grade, 11% grade, 13% grade, 15% grade로 변화시키는 작업부하로 각각 2분간 실험하였다. 실험에 사용된 protocol은 (표 1-4)와 같다.

(표 1) 트레드밀의 ramp test

단 계	시간(분)	속도(km/h)	경사도(%)
준 비 기	3	2.0	1.0
단 계 1	5	30% HRR	
단 계 2	5	50% HRR	
단 계 3	5	75% HRR	
회 복 기	5	2.0	1.0

(표 2) 자전거 에르고미터의 ramp test

단 계	시간(분)	작업량(Watts)
준 비 기	3	5
단 계 1	5	30% HRR
단 계 2	5	50% HRR
단 계 3	5	75% HRR
회 복 기	5	5

(표 3) 트레드밀의 incremental test

단 계	시간(분)	속도(km/h)	경사도(%)
준 비 기	3	2.0	1.0
단 계 1	2	5.4	5.0
단 계 2	2	5.4	7.0
단 계 3	2	5.4	9.0
단 계 4	2	5.4	11.0
단 계 5	2	5.4	13.0
단 계 6	2	5.4	15.0
회 복 기	5	2.0	1.0

(표 4) 자전거 에르고미터의 incremental test

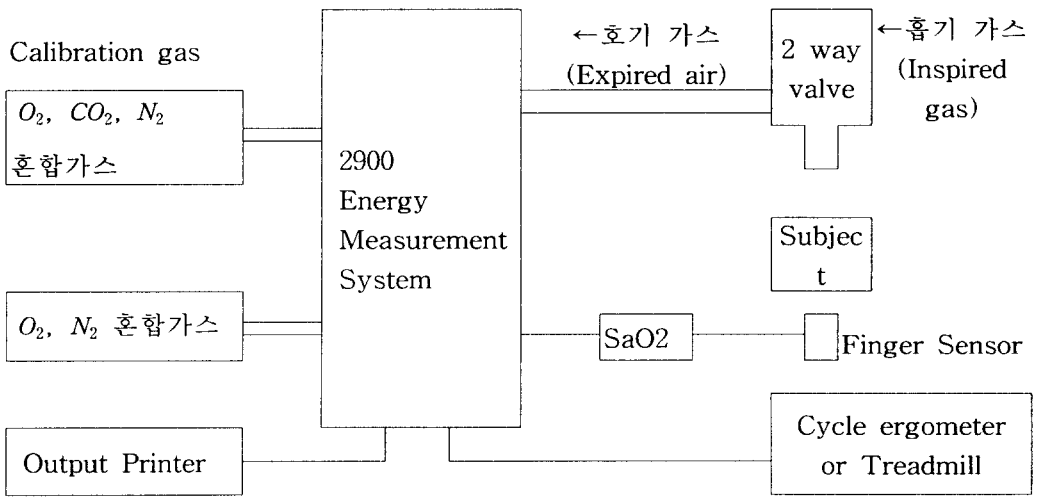
단 계	시간(분)	작업량(Watts)
준 비 기	3	5
단 계 1	2	50
단 계 2	2	75
단 계 3	2	100
단 계 4	2	125
단 계 5	2	150
회 복 기	5	5

피실험자의 생리학적반응 측정에는 SensorMedics사의 에너지대사량 측정기(Metabolic Measurement Cart/System 2900)와 작업별 반응을 측정하기 위하여 Marquette사의 트레드밀(Treadmill Series -2000)과 SensorMedics사의 자전거 에르고미터(ergo-metrics 800s)를 이용하였다. 에너지대사량 측정기에 의한 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$) 측정에는 운동시 2 way valve에 부착된 mouthpiece를 통해 호흡하고, 호흡가스는 지르코니아(Zirconia) 산소분석기(oxygen analyzer)를 통하여 분석하였다. 심박수를 측정하기 위하여 SensorMedics사의 SaO2(Sat-Trak Pulse Oximeter)를 이용하였다. 여기서 SaO2는 산소분석기와 독립적으로 동맥혈의 산소포화점과 심장박동수를 연속적으로 측정하는 기구이다(SensorMedics, 1992). 실험장치의 구조도는 아래 (그림 1)과 같다.

위의 실험기구를 이용한 연구절차는 아래와 같다.

1) 자전거 에르고미터는 앉아 있을 때, 트레드밀은 서 있을 때의 휴식시 심박수(RHR)와 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$) 측정
2) 작업유형 및 작업방법에 따른 피실험자의 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$)과 심박수(HR) 측정 및 회귀분석(regression analysis)
3) 최대 심박수(MHR)일 때의 최대 산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)계산을 통한 생리학적 작업능력(PWC)의 추정.

피실험자로는 경기대학교 학생 중 남자 13명을 무작위 추출(random sampling)하여 실험하였다. 피실험자들의 신체특성치는 아래 (표 5)와 같이 측정되었다.



(그림 1) 실험장치의 구조도

(표 5) 피 실험자의 신체특성치

측 정 부 위	평 균	표준편차
나이(Age, 만-세)	21.54	3.07
신장(Stature, cm)	171.72	5.47
체중(Body weight, kg)	65.92	9.26

실험에 들어가기 앞서 피실험자들이 실험에 익숙하게 적응하도록 하기 위하여 10일간 매일 1시간씩 트레드밀은 3 km/h로 10분간, 자전거 에르고미터의 경우 50 Watts로 50rpm을 유지하게 한 채 10분간 훈련을 실시하였다. 훈련의 경우 피실험자에게 무리가 가지 않고 실험기구에 적응하도록 하기 위한 것이기 때문에 최대심박수의 약 60% 범위내에서 훈련하였다.

본 연구에서는 Kim(1990)이 제안한 방법에 따라 심박수비율(%HRR)의 30% HRR, 50% HRR, 75% HRR에 따른 작업부하를 선정하기 위하여 다음 (식 1~5)를 이용하여 작업부하를 조절하였다.

$$\%HRR = \frac{(EHR - RHR)}{HRR} \times 100 \quad (1)$$

$$(WR / \%HRR)_1 = \ldots = (WR/\%HRR)_i = \ldots = (WR_{VO_2}\max / 100) \quad (2)$$

$$WR_{VO_2}\max = WR_i \times 100 / \%HRR_i \quad (3)$$

$$WR_{x\%VO_2}\max = WR_{VO_2}\max \times x\ \%HRR/100 = WR_i \times x\%HRR/\%HRR_i \quad (4)$$

$$EHR_{x\%VO_2}\max = (x\%HRR/100) \times HRR + RHR \quad (5)$$

$$MHR = 220 - 나이 \quad (6)$$

여기에서,

EHR = 실험시 부하에 따른 심박수 (Exercise Heart Rate)

%HRR = 심박수 비율 (Percentage Heart Rate Range)

HRR = 심박수 범위 (Heart Rate Range) = MHR - RHR

MHR = 최대 심박수 (Maximum Heart Rate)

RHR = 휴식시 심박수 (Resting Heart Rate)

WR = 작업량 또는 작업하중 (Work Rate) = (하중) × 거리 × 빈도

예를 들면, 피실험자의 나이가 20세이고 휴식시 심박수(RHR)가 70 beats/min이라면, HRR = 220 - 나이 - 70 = 130이고, 첫번째 작업량이 50 watts (300 kpm/min)이고 이때의 심박수(HR)가 109 beats/min이었다면, 심박수비율(%HRR)은 (109 - 70)/130 = 0.30 또는 30%의 심박수비율이 된다. 유사한 방법으로 두번째와 세번째 단계의 심박수비율(%HRR)을 추정할 수 있다(Kim, 1990).

2.1. 실험결과 및 분석

에너지대사량 분석기에 의하여 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$)과 심박수(HR)를 측정한 값들을 아래의 과정에 의하여 분석하였다. 최대심박수(MHR)를 예측하는 모델은 (식 6)에서와 같이 기존의 연구들에서 보편적으로 많이 사용되는 것으로 Astrand and Rodahl(1986), Ayoub(1990), Kim(1990) 등과 같은 방법을 사용하였다.

최대심박수(MHR)를 예측한 후 자전거

에르고미터나 트레드밀을 이용하여, 주어진 protocol을 이용해 실험을 각각 실시하고, 1분간의 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$)과 심박수(HR)를 측정한 후 그 결과를 X축에 심박수, Y축에 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$)을 나타내는 그래프에 나타낸다. 그래프에 나타난 점들을 이용하여 각각의 회귀식을 구한 후 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)을 추정하여 (표 2)에 나타내었다. 또한 Astrand Nomogram과 Scandinavian Nomogram 식 ($\dot{V}_{O_2}=1.29\sqrt{\frac{WorkLoad}{HR-60}}e^{-0.00884\times Age}$)을 이용한 최대 산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)도 추정하였다(Astrand and Rodahl, 1986).

(표 6)에 따르면 실험결과에 의해서 추정된 생리학적 작업능력(PWC)은 Astrand Nomogram 및 Scandinavian Nomogram을 통하여 추정된 생리학적 작업능력(PWC) 값과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($t = 4.876$, $P > 0.0025$). 또한, Astrand and Rodahl(1986)는 미국인의 심박수 170일 때의 산소소모량($\dot{V}_{O_2}$) 값은 2.9 l/min 이라고 하였으나, 본 연구의 실험결과에서는 2.1 l/min으로 추정되었다.

자전거 에르고미터를 이용한 생리학적 작업능력(PWC) 추정결과를 (표 3)과 같이 Kim의 1990년 자료와 중국의 Lee, Wu와 Hsu의 1995년의 연구를 비교하여 보았다(Kim, 1990, Lee et al., 1995).

Kim의 자료는 30% HRR, 50% HRR, 75% HRR에 해당하는 작업부하에 따라 생리학적 작업능력(PWC)을 추정하였으며, Lee 등(1995)의 자료는 COSMED K2를 사용하여 65, 98, 147 watts의 protocol로 각각 4분간의 작업을 통해 측정한 자료이다.

(표 6) 작업유형과 작업방법에 따른 최대 산소소모량 추정치

작업유형	작업방법		최대 심박수식에 따른 최대 산소소모량					
			회귀분석		Astrand Nomogram		Scandinavian Nomogram	
			ml/min	ml/min×kg	ml/min	ml/min×kg	ml/min	ml/min×kg
자전거 에르고미터 (cycle ergometer)	ramp	Mean	2553.88	39.43	3113.2	48.01	3048.47	46.96
		S.D.	301.63	7.02	165.15	6.65	188.04	6.36
	incremental	Mean	2848.82	43.97	3177.21	49.06	3224.04	49.77
		S.D.	376.24	8.47	171.04	7.24	189.6	7.32
트레드밀 (treadmill)	ramp	Mean	2786.89	42.82	3164.9	48.7	2988.75	45.83
		S.D.	344.73	6.47	141.47	5.71	231.66	4.74
	incremental	Mean	2857.24	44.07	3150.98	48.62	3062.24	47.13
		S.D.	234.91	6.77	117.79	6.66	166.11	5.96

(표 7) 자전거 에르고미터에 의한 PWC의 외국자료와의 비교

		나이 (Age)	체중 (Body Weight)	신장 (Stature)	Ramp		Incremental	
					ml/min	ml / min×kg	ml/min	ml / min×kg
Kim의 자료	Mean	23.5	82.01	181.0	3490.23	43.08	3681.77	45.14
	S.D.	3.2	6.26	2.8	708.03	10.74	571.77	9.86
중국자료	Mean	21.2	66.00	170.50	3107	47.20	-	-
	S.D.	1.88	7.91	3.55	410	3.67	-	-
본 연구자료	Mean	20.50	66.40	172.64	2553.88	39.43	2848.82	43.97
	S.D.	2.59	9.81	5.48	301.63	7.02	376.24	8.47

Kim의 미국자료와의 비교는 키와 몸무게에서 차이가 상당히 있었고, 실험결과에서는 ramp test의 경우 최대 산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)의 미국자료의 73.17% 정도였으며, 단위 체중당 값은 91.53%로 나타났다. Incremental test는 최대 산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)이 미국자료에의 77.38% 정도였으며, 단위 체중당 값은 97.41%정도로 나타났다.

중국과 우리 나라의 비교에서 보면, 키와 몸무게에서 별다른 차이점을 보이지 않았다. 하지만 우리 나라 사람이 중국사람의 82.20%의 최대 산소모량을 보이는 것으로 나타났으며, 단위 체중당 값은 83.54% 정도에 값을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 차이가 생기는 것은 현재로서는 Lee(1995)의 실험과정을 상세히 알 수 없지만, 사용한 실험기구와 두 실험간의 작업부하나 실험시간 등의 protocol의 차이로 추정할 수 있으나 추후 다른 group의 피실험자를 대상으로 한 비교·검토의 필요가 있다고 판단한다.

3. 결론 및 토론

위의 결과를 보면, 작업유형 및 작업방법의 차이에 따라 한국인 25세 남성의 최대 산소소모량($\dot{V}_{O_2}max$)은 약 2.55~2.86 l/min 정도로 나타났다. 작업유형별 작업방법의 차이점을 살펴보면, 자전거 에르고미터의 경우 ramp test가 incremental test의 89.65% 정도로 나타났으며, 단위 체중당 값은 89.68%로 나타났다. t-검정(t-test)한 결과는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 유의수준 5%에서 incremental test가 ramp test 보다 큰 것으로 나타났다($t = 2.89$, $P > 0.006$). 트레드밀의 경우 ramp test는 incremental test의 97.54% 정도로 나타났으며, 단위 체중당 값은 97.16%로 나타났다. t-검정한 결과는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($t = 0.87$, $P < 0.201$).

작업방법별 작업유형의 차이점을 살펴보면, Astrand and Rodahl(1986)는 트레드밀을 100으로 볼 경우 자전거 에르고미터

가 92~96% 정도가 된다고 하였고, McArdle et al.(1991)은 88.8~93.6% 정도가 된다고 하였다. 본 연구에서는 ramp test의 경우는 자전거 에르고미터는 트레드밀의 91.64% 정도로 나타났으며, 단위 체중당 값은 92.08%로 나타났다. t-검정한 결과는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 유의수준 5%에서 트레드밀이 자전거 에르고미터의 경우보다 큰 것으로 나타났다($t = 2.80$, $P > 0.008$). 그러나 incremental test의 경우는 자전거 에르고미터가 트레드밀 작업의 99.71% 정도로 나타났으며, 단위 체중당 값은 99.77%로 나타났다. t-검정한 결과는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($t = 0.09$, $P > 0.47$). 이와 같은 비교실험을 다른 문헌에서 찾아 볼 수는 없었으나, 이 이유는 작업부하의 단계적인 증가시 전신을 사용하는 트레드밀의 경우보다 신체의 일부를 사용하는 자전거 에르고미터의 경우 에너지대가가 충분히 안정되지 않음으로 인한 확산효과가 더 현저하게 나타난 것에 의한 결과로 추정된다.

미국의 경우 1981년 NIOSH Guideline에 의하면 미국 남성 40세 50 percentile의 생리학적 작업능력(PWC)은 3.0 l/min, 여성 40세 50 percentile은 2.1 l/min을 기준으로 하여 하루8시간 작업에 대한 AL(Action Limit)은 0.7 l/min, MPL (Maximum Permissible Limit)은 1 l/min로 기준치를 설정하였다(NIOSH, 1981). 1991년 Revised NIOSH Guideline에서는 1981년 기준치를 들어올리는 작업에 대한 보정을 하여 RWL(Recommended Weight Limit) 기준치를 작업시간, 작업높이에 따라 0.44~0.94 l/min으로 설정하였다(Waters et al., 1993).

그러므로 본 연구의 결과로부터 한국 여성 40세 50 percentile에 해당하는 생리학적 작업능력(PWC)을 나이에 대한 보정 factor 0.83과 성별에 대한 보정 factor 0.7을 고려하여 1.48~1.66 l/min으로 추정할 수 있다. 그러므로 한국인의 생리학적 작업능력(PWC)은 미국의 기준치의 70.47~79.05%에 해당하므로, 미국의 NIOSH Guideline을 한국인에게 적용시키기에는 다소 무리가 있다고 판단된다.

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

참 고 문 헌

[1] 이관석, 박희석, 서치원, 한국 작업자의 요통예방을 위한 작업하중 설계지침, 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 1995, pp.97-105.

[2] 이관석, 박희석, 직접추정법의 대칭적인 들기 작업의 최대허용하중 결정에의 적용에 관한 연구, 대한인간공학회지, Vol.14, No.1, June, 1995, pp.1-7.

[3] 이관석, 지영래, 양진석, 직접추정법에서 작업평가에 대한 기준작업 변화의 영향연구, 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 1996, pp.307-312.

[4] 정병용, 연도(1972-1994)별 산업재해의 발생경향에 관한 연구, 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 1996, pp.84-86.

[5] Astrand, P. O. and Rodahl K., Textbook of Work Physiology;

physiological bases of exercise, 3rd ed., McGraw-Hill, 1986, pp.354-390.

[6] Ayoub, M. M. and Mital A., Manual Materials Handling, Taylor & Francis, 1989, pp. 102-120.

[7] deVries, H. A., Physiology of Exercise for Physical Education and Athletics, 4th ed., Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, 1986.

[8] Kamon, E. and Ayoub, M. M., Ergonomics Guides to Assessment of Physical Work Capacity, American Industrial Hygienes Association, 1976.

[9] Kim, H. K., Development of a Model for Combined Ergonomic Approaches in Manual Materials Handling Tasks, Texas Tech Univ. Unpublished Ph.D. Dissertation, Lubbock, Texas, U.S.A, 1990.

[10] Lee, Yung-hui, Wu, Swei-Pi and Hsu, Sheng-Hsing, The Psychophysical Lifting Capacities of Chinese Subjects, Ergonomics, 1995, 38(4), pp.671-683.

[11] McArdle, W. D., Frank I. Katch and Victor L. Katch, Exercise Physiology 3rd ed., LEA & FEBIGER, 1991.

[12] Metabolic Measurement Cart/ System Operator's Manual, Sensor-Medics, 1992.

[13] NIOSH Technical Report; Work Practices Guide for Manual Lifting, National Institute for Occupational Safety and Health, U.S.A., 1981, pp.7-88.

[14] Powers, S. K. and Howley, E. T., Exercise Physiology 2nd ed., Wm. C. Brown Communications, Inc., 1993, pp.305-344.

[15] Sat-Trak Pulse Oximeter Operator's Manual, SensorMedics, 1992.

[16] Waters, T. R., Vern Puts-Anderson, Arun Garg and Lawrence J. Fine, Revised NIOSH Equation for the Design and Evaluation of Manual Lifting Tasks, Ergonomics, 1993, Vol.36, No.7, 749-776.