

작업유형에 따른 생리학적 작업능력의 비교 분석

Comparison Analysis of Physiological Work Capacity for Different Tasks

박 지 수*, 김 홍 기*, 최 진 영*

* 경기대학교 산업공학과

요 약

본 연구의 목적은 작업생리학적 접근방법(physiological approach)을 이용하여 생리학적 작업능력(PWC; physiological work capacity)을 추정할 경우 작업형태와 작업방법에 따른 차이점을 비교·분석해 보고자 함이다. 작업유형으로는 자전거 에르고미터(cycle ergometer)와 트레드밀(treadmill)을 사용하였고, 작업방법으로는 각각의 작업유형에 대하여 램프 테스트(ramp test)와 인크리멘탈 테스트(incremental test)의 차이점을 비교하였다. 또한 외국인들의 생리학적 작업능력(PWC)과 한국인들의 생리학적 작업능력(PWC)을 비교·검토하여 NIOSH(National Institute of Safety and Health) 기준치를 사용하는데 문제점이 없는가를 검토해 보고자 하였다.

작업방법에 따른 차이점은 자전거 에르고미터의 경우 램프 테스트(ramp test) 2536.63 ml/min로서 인크리멘탈 테스트(incremental test) 2859.74 ml/min의 88.70% 정도로 나타났으며, 트레드밀의 경우 ramp test는 2859.22 ml/min로서 incremental test 2894.69 ml/min 의 98.77% 정도로 나타났다. 작업유형에 따른 결과는 자전거 에르고미터의 ramp test는 트레드밀의 ramp test의 88.72% 정도로 나타났으며, 자전거 에르고미터의 incremental test는 트레드밀 작업의 98.79% 정도로 나타났다.

1. 서 론

급격한 경제발전과 산업화로 인하여 최근 컴퓨터화와 자동화가 많이 이루어져 인력에 의한 작업(manual handling)이 감소되어가는 추세에 있다. 그러나 작업들이 짜임새 있게 잘 구성되어 있고 또한 같은 일을 반복적으로 수행하게 되어있지 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(이관석 외3명, 1995). 이러한 유형의 수작업은 신체의 근육골격계(musculoskeletal system)에 상해를 초래하는 바, 이런 상해는 전체 작업장 상해의 52%를 차지하며 연간 약 5백만명의 작업자가 피해를 입고 있으며, 이로 인한 경제적 손실은 연간 약 1000

의 달러 정도이다(이관석, 박희석, 1995).

우리나라의 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. 그러나 한국인의 생리학적 작업능력(PWC)에 대한 자료는 아직도 미흡하다. 그러므로 미국과 같이 신체능력에 따른 작업기준(치)이 없는 우리나라의 작업자들은 인력물자취급(작업)에 의한 상해에 노출이 되어있고 상당한 비용의 손실도 가져오고 있다.

본 연구에서는 인력물자취급(작업)에 있어서 적합한 작업기준이 없기 때문에, 여러가지 상해와 위험에 노출이 되어있는 우리나라의 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 작업능력과의 비교해 봄으로써 생리학적 작업능력(PWC)의 추정을 통하여 작업자들이 힘든작업을 수행할 때 안전하게 작업을 수행하고 피로가 누적되거나 신체적인 무리를 가져오지 않도록 작업실제의 기준치를 제시해 보고자 한다.

2. 본 론

인력물자취급(작업)에서 안전하중을 결정하기 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 네가지의 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 최대심박수(MHR; maximum heart rate)와 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2, \max}$)을 측정하는 방법인데 피실험자의 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2, \max}$)을 측정하는 것이기 때문에 피실험자에게 부담을 줄뿐만 아니라, 거의 최대부하에 이르지 못하는 문제점 등이 있기 때문에 정확한 값을 얻기 어

럽다(Astrand, 1986). Submaximal test는 Maximal test와는 달리 피실험자의 최대산소소모량 ($\dot{V}_{O_2, \max}$)을 간접적으로 측정하는 방법이다. 예를 들어 예측된 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2, \max}$)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, 1986, Karmon and Ayoub, 1976).

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

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

본 연구에서는 연속적인 작업방법 중 두가지 작업방법을 사용하였는데, 피험실험자에게 30% HRR, 50% HRR, 75% HRR에 해당하는 작업부하를 각각 5분동안 실험하는 방법인 ramp test 와 휴식시심박수(RHR)와 75 ~ 80% HRR의 범위내에서 매 2분마다 점진적으로 같은양의 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, 두가지 작업에 대하여 다시 작업조건의 차이를 비교하기 위하여 위와 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 rpm 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.

피실험자의 생리학적반응 측정에는 SensorMedics사의 에너지대사량 측정기(Metabolic Measurement Cart/System 2900)와 작업별 반응을 측정하기 위하여 Marquette사의 트레드밀(Treadmill Serise-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).

위의 실험기구를 이용한 연구절차는 아래와 같다.

- 1) 자전거 에르고미터는 앉아있을 때, 트레드밀은 서있을 때의 휴식시 심박수(RHR)와 산소소모량(\dot{V}_{O_2}) 측정
- 2) 피실험자의 산소소모량(\dot{V}_{O_2})과 심박수(HR) 측정 및 회귀분석(regression analysis)
- 3) 최대심박수(MHR)일 때의 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2, \max}$)계산을 통한 생리학적 작업능력(PWC)의 추정.

피실험자로는 경기대학교 학생 중 남자 10명을 무작위 추출(random sampling)하여 실험하였다. 피실험자들의 신체특성은 아래 (표 1)과 같이 측정되었다.

(표 1) 피 실험자의 신체특성치

측 정 부 위	평 균	표준편차
나이(Age)	20.50	2.59
신장(Stature)	172.64	5.48
체중(Body weight)	66.40	9.81

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

본 연구에서는 심박수비율(%HRR)의 30% HRR, 50% HRR, 75% HRR에 따른 작업부하를

선정하기 위하여 다음 (식 1 ~ 5)를 이용하여 작업부하를 조절하였다.

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

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

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

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

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

$$MHR = 220 - \text{나이} \quad (6)$$

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 = 최대심박수(Maximum Heart Rate)

RHR = 휴식시 심박수(Resting Heart Rate)

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

예를 들면, 피실험자의 나이가 20세이고 휴식시심박수(RHR)가 70 beats/min이라면, HRR = 220 - 나이 - 70 = 130이고, 첫번째 작업량이 50 watts (300 kpm/min) 이고 이때의 심박수 (HR)가 109 beats/min 이었다면, 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 측정된 값들을 아래의 과정에 의하여 분석하였다.

최대심박수(MHR)를 예측하는 모델은 (식 6)에서와 같이 기존의 연구들에서 보편적으로 많이 사용되는 것으로 Astrand(1986), Ayoub(1990), Kim(1990) 등이 사용한 것을 제시하였다.

최대심박수(MHR)를 예측한 후 자전거 에르고미터나 트레드밀을 이용하여, 주어진 protocol 을 이용해 실험을 각각 실시하고, 1분간의 산소소모량(\dot{V}_{O_2})과 심박수(HR)를 측정된 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 ($\dot{V}_{O_2} = 1.29\sqrt{\frac{L}{H-60}} e^{-0.00884 \times A}$)을 이용한 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2\max}$)도 추정하여 보았다 (Astrand et al., 1986).

(표 2) 작업별 최대산소소모량 추정치

작업유형	작업방법		최대심박수식에 따른 최대산소소모량					
			회귀분석		Astrand Nomogram		Scandinavian Nomogram	
			ml/min	$\frac{\text{ml}}{\text{min} \times \text{kg}}$	ml/min	$\frac{\text{ml}}{\text{min} \times \text{kg}}$	ml/min	$\frac{\text{ml}}{\text{min} \times \text{kg}}$
자전거 에르고미터	ramp	Mean	2536.63	40.46	3164.86	48.51	3070.63	47.08
		Std.	255.44	6.87	139.68	6.76	197.73	7.13
(cycle ergometer)	incremental	Mean	2859.74	43.91	3202.48	49.16	3210.82	49.29
		Std.	396.23	9.11	181.78	7.61	49.29	7.99
트레드밀 (treadmill)	ramp	Mean	2859.22	43.62	3204.56	48.98	3016.74	45.99
		Std.	355.75	6.59	133.75	5.67	243.10	5.28
	incremental	Mean	2894.69	44.42	3166.98	48.57	3108.75	47.63
		Std.	256.41	7.42	128.70	6.94	137.80	6.63

(표 2)에서는 실험결과에 의해서 추정된 생리학적 작업능력(PWC)은 Astrand Nomogram 및 Scandinavian Nomogram을 통하여 추정된 생리학적 작업능력(PWC) 값과 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다.

또한, Astrand(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 3) Kim의 1990년 미국자료와 Lee, Wu와 Hsu의 1995년의 중국자료와 본 연구의 비교

	나이 (Age)	체중 (Body Weight)	신장 (Stature)	Ramp		Incremental		
				ml/min	$\frac{\text{ml}}{\text{min} \times \text{kg}}$	ml/min	$\frac{\text{ml}}{\text{min} \times \text{kg}}$	
Kim의 자료	Mean	23.5	82.01	181.0	3490.23	43.08	3681.77	45.14
	Std.	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	-	-
	Std.	1.88	7.91	3.55	410	3.67	-	-
본 연구자료	Mean	20.50	66.40	172.64	2636.63	40.46	2859.74	43.91
	Std.	2.59	9.81	5.48	255.44	6.87	396.23	9.11

Kim의 미국자료와의 비교는 키와 몸무게에서 차이가 상당이 있었고, 실험결과에서는 ramp test의 경우 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2 \text{max}}$)의 미국자료의 75.54% 정도였으며, 단위 체중당 값은 93.92%로 나타났다. Incremental test는 최대산소소모량($\dot{V}_{O_2 \text{max}}$)이 미국자료에의 93.92% 정도였으며, 단위 체중당 값은 97.28%정도로 나타났다.

중국과 우리나라의 비교에서 보면, 키와 몸무게에서 별다른 차이점을 보이지 않았다. 하지만 우리나라 사람이 중국사람의 84.86%의 최대산소모량을 보이는 것으로 나타났으며, 단위 체중당 값은 85.72% 정도에 값을 가지는 것으로 나타났다.

3. 결 론

위의 결과를 보면, 작업유형 및 작업방법의 차이에 따라 한국인의 최대산소소모량 ($\dot{V}_{O_2 \max}$)은 약 2.54 ~ 2.89 l/min 정도로 나타났다. 작업별로 살펴보면, 자전거 에르고미터의 경우 ramp test가 incremental test의 88.70% 정도로 나타났으며, 단위 체중당 값은 92.14%로 나타났다. t-검정(t-test)한 결과는 유의수준 5%에서는 차이가 없다고 나타났지만 유의수준 10%에서는 차이가 있는 것으로 나타났다. 트레드밀의 경우 ramp test는 incremental test의 98.77% 정도로 나타났으며, 단위 체중당 값은 98.20%로 나타났다. t-검정한 결과는 유의수준 0.5% 또는 10%에서 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 Astrand(1986)는 트레드밀을 100으로 볼 경우 자전거 에르고미터가 82~85% 정도가 된다고 하였고, McArdle et al.(1991)은 88.8 ~ 93.6% 정도가 된다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 자전거 에르고미터의 ramp test는 트레드밀의 ramp test의 88.72% 정도로 나타났으며, 단위 체중당 값은 92.76%로 나타났다. 자전거 에르고미터의 incremental test는 트레드밀 작업의 98.79% 정도로 나타났으며, 98.20%로 나타났다.

미국의 경우 1981년 NIOSH Guideline에 의하면 미국남성의 생리학적 작업능력(PWC)는 3.0 l/min, 여성은 2.1 l/min을 기준으로하며 AL(action limits)은 0.7 l/min, MPL(maximum permissible limits)은 1 l/min로 기준치를 설정하였다(NIOSH, 1981). 1991년 Revised NIOSH Guideline에서는 여성의 생리학적 작업능력(PWC)을 미국 40세 여성들 중 50%를 기준으로 2.1 l/min를 기준으로 하였다(Waters et al., 1993). 이러한 기준에 의한 RWL(Recommended Weight Limits) 기준치를 작업시간, 작업높이에 따라 0.44 ~ 0.94 l/min으로 설정하였다.

그러므로 한국 여성의 작업능력이 남성의 70% 정도로 가정한다면 본 연구의 생리학적 작업능력(PWC)을 나이에 대한 보정 factor 0.83과 성별에 대한 보정 factor 0.7을 고려한다면 1.48 ~ 1.68 l/min이 된다. 그러므로 한국인의 생리학적 작업능력(PWC)은 미국의 기준치의 70.48 ~ 80.00%에 해당하고, 앞절에서 본 바와같이 Astrand Nomogram과 Scandinavian Nomogram 값과도 상당한 차이가 있다. 뿐만 아니라 30% HRR, 50% HRR, 75% HRR에 해당하는 작업량을 비교해 볼 때 미국인은 각각 평균 64, 121, 173 watts에 해당하였고, 한국인은 각각 평균 56, 101, 144 watts로서 미국의 NIOSH Guideline을 한국인에게 적용시키기에는 다소 무리가 있다고 본다.

4. 토 론

본 연구는 피실험자의 선정이 지역 대학생으로만 한정되어 있기 때문에 본 실험의 결과가 전

체 한국인의 생리학적 작업능력(PWC)을 반영한다고 보기에는 만족스럽다고 볼 수 없다. 그러므로 현실적인 노동인력에 대한 생리학적 작업능력(PWC)을 추정하기 위하여 성별과 연령을 고려한 피실험자를 선정할 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Astrand P. O. and Rodahl K., Textbook of Work Physiology; physiological bases of exercise, 3rd ed., McGraw-Hill, 1986.
- [2] Ayoub M. M. and Mital A., Manual Materials Handling, Taylor & Francis, 1989.
- [3] deVries, H. A., Physiology of Exercise for Physical Education and Athletics, 4th ed., Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, 1986.
- [4] H. K. Kim, Development of a Model for Combined Ergonomic Approaches in Manual Materials Handling Tasks, Texas Tech Univ. Unpublished Ph.D. Dissertation, 1990.
- [5] Kamon, E. Ph.D. and Ayoub M. M. Ph.D., Ergonomics Guides to Assessment of Physical Work Capacity, American Industrial Hygiene Association, 1976.
- [6] Metabolic Measurement Cart/System Operator's Manual, SensorMedics, 1992.
- [7] NIOSH Technical Report; Work Practices Guide for Manual Lifting, National Institute for Occupational Safety and Health, 1981.
- [8] Powers S. K. and Howley E. T., Exercise Physiology 2nd ed., Wm. C. Brown Communications, Inc., 1993.
- [9] Sat-Trak Pulse Oximeter Operator's Manual, SensorMedics, 1992.
- [10] Thomas R. Waters, 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.
- [11] William D. McArdle, Frank I. Katch and Victor L. Katch, Exercise Physiology 3rd ed., LEA & FEBIGER, 1991.
- [12] Yung-hui Lee, Swei-Pi Wu and Sheng-Hsing Hsu, The Psychophysical Lifting Capacities of Chinese Subjects, Ergonomics, 1995, 38(4), pp.671-683.
- [13] 이관석, 박희석, 서치원, 한국 작업자의 요통예방을 위한 작업하중 설계지침, 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 1995.
- [14] 이관석, 박희석, 직접추정법의 대칭적인 들기 작업의 최대허용하중 결정에의 적용에 관한 연구, 대한인간공학회지, Vol.14, No.1, June, 1995.
- [15] 정병용, 연도(1972-1994)별 산업재해의 발생경향에 관한 연구, 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 1996.