Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 2 pp.35-44, May 2007

한 손 들기 작업과 양 손 들기 작업의 근력 능력 비교 연구

김 홍 기

경기대학교 공과대학 산업공학 전공

Comparison of Muscle Strength for One-hand and Two-hands Lifting Activity

Hong-Ki Kim

Department of Industrial Engineering, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi-do, 443-760

ABSTRACT

Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) are a major problem in industries in which manual materials handling is performed by workers. To prevent these WMSDs, it is necessary to understand the muscular strength capability and use this knowledge to design job and selection and assignment of workers. Even though two-hands lifting activity of manual materials handling tasks are prevalent at the industrial site, many manual materials handling tasks which require the worker to perform one-hand lifting are also very common at the industrial site and forestry and farming. However, a few researches have been done for one-hand lifting activity of manual materials handling tasks. The objective of this study is to compare one-hand and two-hands lifting strength in terms of static and dynamic strength of the lifting activity for the ranging from the height of knuckle to elbow. It is shown in this study that the isometric lifting strength of one-hand is ranging from 54.7 to 63.3% of the one of two-hands. However, it is found that there is no significant difference between a person's isometric lifting strength for left-hand and right-hand. It is also shown that there is no significant difference between the peak force under the dynamic sub-maximal loading with one-hand and two-hands lifting activity. Similar results were obtained for the peak acceleration and peak velocity under the dynamic sub-maximal loading with one-hand and two-hands lifting activity. Isometric lifting strength at the height of knuckle was ranging from 2 to 3 times of the dynamic peak force during sub-maximal lifting. It is concluded that the dynamic peak forces under the sub-maximal loading are not highly correlated with the isometric lifting strength in similar postures.

Keyword: Muscular Strength, Isometric Strength, Dynamic Strength, One-hand, Lifting

1. 서 론

근골격계 질환(MSD, Musculoskeletal Disorder)이란 높은 반복성, 과도한 근력 사용, 부자연스런 자세, 반복된 충격, 진동 등의 작업 유해요인과 신체적 능력, 심리적 요인 등 개인적 특성이 단독 또는 복합적으로 작용하여, 뼈, 관절, 근육, 건, 인대, 연골, 혈관, 신경들로 구성되는 근골격계에

*본 연구는 2005학년도 경기대학교 학술연구비(일반연구과제) 지원에 의하여 수행되었음.
교신저자: 김홍기
주 소: 443-760 경기도 수원시 영통구 이의동 산 94-6, 전화: 031-249-9752, E-mail: hkkim@kyonggi.ac.kr

단기간 또는 장기간으로 나타나는 국소피로 내지 미세손상을 말한다. 근골격계 질환 발생 부위는 주로 목, 어깨, 팔꿈치, 손목, 척추, 고관절, 무릎, 발목 등을 생각할 수 있다.

미국 노동부의 노동통계국(Bureau of Labor Statistics, BLS, 1994-2005)의 발표에 의하면 1994년도에 발생한 전체 산업재해자 2,236,600명 중에서 근골격계 질환자 수는 755,600명으로 전체 산업재해자의 33.78%를 차지하는 것으로 보고되었으며 2005년에는 전체 산업재해자 1,234,680명 중에서 375,540명으로 전체 산업재해자의 30.42%를 차지하는 것으로 나타났다. 2005년의 전체 산업재해자는 1994년에 비해 44.80% 감소하였으며, 또한 근골격계 질환자 수도 50.30% 감소하였으나 전체 산업재해자에 대한 근골격계 질환자 수의 비율은 크게 감소하고 있지 않고 있다(표 1) (BLS, U.S.A., 1994-2005).

표 1. 미국과 한국의 년도 별 전체 산업재해자 수 및 근골격계 질환자 수

년도	미국			한국		
	전체 재해자 (명)	근골격계 질환자 (명)	비율 (%)	전체 재해자 (명)	근골격계 질환자 (명)	비율 (%)
1992	2,331,100	784,100	33.64%			
1993	2,252,600	762,700	33.86%	90,288		
1994	2,236,600	755,600	33.78%	85,948		
1995	2,040,900	695,800	34.09%	78,034		
1996	1,880,500	647,400	34.43%	71,548	506	0.71%
1997	1,833,400	626,400	34.17%	66,770	221	0.33%
1998	1,730,500	592,544	34.24%	51,514	124	0.24%
1999	1,702,500	582,340	34.20%	55,405	344	0.62%
2000	1,644,018	577,814	35.15%	68,976	1,009	1.46%
2001	1,537,567	522,528	33.98%	81,434	1,634	2.01%
2002	1,436,194	487,915	33.97%	81,911	1,827	2.23%
2003	1,315,920	435,185	33.07%	94,924	4,532	4.77%
2004	1,259,320	402,700	31.98%	88,874	4,112	4.63%
2005	1,234,680	375,540	30.42%	85,411	2,901	3.40%
2006-09				67,271	4,770	7.09%

자료출처; 미국 노동통계국(US BLS) 및 대한민국 노동부

국내에서는 2000년도 까지만 해도 근골격계 질환에 대한 정확한 실태가 알려져 있지 않았다가 2001년도 부터 그 문제의 심각성이 대두되기 시작하였으며, 2003년 7월에 근골격계 질환에 대한 법령이 제정되면서 산업현장에서 근골격계 질환과 이와 깊은 관련이 있는 인력물자취급에 대한 관심이 고조되어가고 있다. 1999년 이전에는 근골격계 질환자에 대한 보고가 100~500명 정도였으나, 2000년에는 전체 산업재해자 68,976명 중 1,009명으로서 1.46%였을 뿐이다. 2004년에는 전체 산업재해자 수 88,874명 중 4,112명으로서 4.63%를 차지하였으며 2005년에는 전체 산업재해자 수가 85,411명 중 2901명으로서 3.40%에 해당하였다. 2006년 9월 말 까지의 데이터는 전체 산업재해자 67,271명 중 근골격계 질환자 수가 4,770명으로서 7.09%에 해당한다. 2005년도의 급격한 근골격계 질환자 수의 감소는 아직 정확하게 판단할 수 없다. 이렇듯 국내에서는 2000년도에 비해 2004년에는 전체 산업재해자 수가 28.85% 증가하였고 근골격계 질환자 수도 307.53% 증가하였으며, 2005년에는 전체 산업재해자 수가 23.83% 증가하였고 근골격계 질환자 수는 187.51% 증가하였다. 2006년 9월 말 까지의 데이터를 보면 근골격계 질환자 수는 372.75% 증가하고 있음을 알 수 있다(표 1)(대한민국 노동부, 2006).

미국의 근골격계 질환자의 전체 산업재해자에 대한 비율이 30%대인 점을 고려해 볼 때 우리나라의 경우는 5% 미만으로서 상당한 차이가 있다고 할 수 있다. 미국 노동통계국의 근골격계 질환자의 포함 범위와 대한민국 노동부의 근골격계 질환자의 포함 범위에 약간의 차이가 있다 하더라도 30%와 5%는 큰 차이라 할 수 있다. 그러므로 우리나라의 근골격계 질환에 대한 보고체계가 향 후 몇 년 사이에 정상화 내지는 안정화 되어 더 정확한 데이터를 구축하게 되면 근골격계 질환의 사회적인 문제는 매우 심각해 질 것이다.

근골격계 부담 작업이란 이러한 근골격계 질환을 야기할 수 있는 동작을 지속적 또는 반복적으로 수행하는 작업을 말한다. 이러한 부담 작업의 대부분을 야기하는 작업으로 인력물자취급(Manual Materials Handling Tasks, MMH)을 들 수 있다. 근골격계 질환의 주 된 원인 중의 하나인 과도한 근력사용은 이 중 약 60%가 들기 작업과 관련이 있다고 한다.

1.1 인력물자취급(Manual Materials Handling Tasks, MMH)

인력물자취급이란 어떤 물체를 기계의 도움 없이 인력에 의하여 들거나 내리거나 밀거나 당기거나 또는 운반에 의하여 한 장소에서 다른 장소로 이동시키는 작업을 말한다. 지난 반세기에 걸쳐, 인력물자취급은 인간공학, 작업생리학, 생체역학, 심리학, 물리치료학, 재활의학, 정형외과학 등의 많은 분야와 전문가들로부터 관심의 대상이 되어 왔다. 이러한 관심의 주 원인은 운반 작업에 연유된 많은 근골격계 질환과 같은 산업재해들의 격심함에 의해 고통받는 작업자들 그리고 엄청난 의료비 내지는 보상비 때문이다. 그러므로 이러한 근골격계 질환에 의한 산업재해의 방지와 제어는 앞으로도 계속적으로 학계의 많은 연구자들과 기업들에 의해 광범위하게 고려되어질 것이다.

주어진 작업조건하에서 인간은 자신의 관점에 근거하여 자기 자신이 기꺼이 받아들인 무게 이상을 들도록 하면 안 된다는 것이 일반적인 인간공학적 지침이다. 개인의 들기 능력은 여러 개의 변수로 이루어진 함수로서, 신진대사의 에너지 소모량과 요추 부분이 스트레스를 이겨 나가는 능력에 의해 제한을 받고 있다. 인력물자취급에서 작업자가 자신을 가장 잘 보호할 수 있는 방법은 자신의 한계를 알고, 그 범위 내에서 일하는 것이라고 많은 연구자들이 말하고 있다. 그러므로 인력물자취급 시의(특히 들기 작업)의 안전과 건강을 위한 지표를 만들기 위해서는 인간의 인내력과 능력 한계점이 정확하게 수립되어야만 한다. 이러한 논리를 적용하는데 있어서 대부분의 어려움은 다양한 작업환경, 작업조건, 작업자의 특성에 따른 허용한계에 대한 기준을 정의하기가 어렵다는 것이다.

1.2 근력(Muscular Strength)

산업현장에서는 많은 종류의 작업들이 작업자의 근골격계에 심한 부담을 주는데 작업자의 최대 근력(maximum voluntary strength capabilities)에 근접하거나 또는 능가하는 경우가 많다. 이러한 경우 작업자는 근골격계 질환을 유발하게 되는 높은 위험 부담에 놓이게 된다. 작업자의 최대 근력 측정에 대해서는 지난 반세기에 걸쳐 많은 관심을 끌어왔다. 인간의 근력은 신체 능력의 주된 척도로서 크게 정적 근력(static strength)과 동적 근력(dynamic strength)으로 나누어 볼 수 있다.

정적 근력이란 근육의 길이에 변함이 없이 즉 근육 활동의 속도가 0일 때 근육의 힘을 자발적으로 발휘할 때의 최대 근력이다. 또한 정적 근력은 등척성 근육 활동을 자발적으로 최대로 발휘함으로서 torque 또는 힘을 산출하는 능력이라고 정의할 수 있다(Chaffin, 1975).

동적 근력이란 근육의 길이가 짧아지거나 길어지면서 근육 활동의 속도가 0이 아닌 경우에 근육의 힘을 자발적으로 발휘할 때의 최대 근력이다. 동적 근력의 종류로는 등속성 동적 근력(isokinetic muscle strength), 등장성 동적 근력(isotonic muscle strength), 등관성성 동적 근력(isoinertial muscle strength)들이 있다. 등속성 동적 근력은 근육의 수축 또는 이완의 속도가 일정하게 되는 경우의 근력을 말한다. 등장성 동적 근력은 근육 활동이 일정한 근육의 힘을 발휘하게 되는 경우의 근력을 말하나 이러한 종류의 근력은 현장의 인력 작업에서 현실적인 작업이 아니므로 잘 사용되지 않는다. 등관성성 동적 근력은 일정한 질량에 대한 초기 정적 저항을 극복하려는 작업자의 능력을 반영하는 근력이라 할 수 있다. 이 동적 근력은 작업자가 다룰 수 있고 작업자가 선택한 속도로 한 지점으로 이동시킬 수 있는 최대 중량의 경우에 해당한다(Mital and Kumar, 1998a, b).

1974년 Caldwell, Chaffin, Dukes-Dobos, Kroemer, Laubach, Snook, Wasserman 등은 정적 근력(static strength) 실험에 대한 표준 방법을 제안하였고 1975년에는 미국 산업위생학회(AIHA, American Industrial Hygiene Association)가 이 제안을 받아들여 Chaffin으로 하여금 정적 근력에 대한 인간공학적 지침(Ergonomics Guide for The Assessment of Human Static Strength, 1975)을 발표하게 함으로서 정적 근력 측정의 정의와 중요성을 부각시키면서 실제적인 표준 측정 방법을 제안하였다. 그리고 많은 학자들이 정적 근력 측정치로부터 인간의 능력을 추정하기 위한 정적 근력 모델을 제안했다(Garg and Chaffin, 1975; Chaffin, Herrin, Keyserling, and Garg, 1977).

1970년대 같은 무렵 또 다른 그룹의 학자들은 인력물자취급 시의 작업의 동적 형태에 따른 관절 부위들의 각도 변화, 속도, 가속도의 영향을 무시할 수 없다는 주장 아래 동적 근력에 기초하여 인간의 작업 능력을 추정 내지는 측정하여야 한다고 주장하였다(예를 들면, Snook and Irvine, 1968, 1969; Snook and Ciriello, 1974, 1991; Snook, 1978; Ayoub, et al., 1973, 1976, 1978; Pytel and Kamon, 1981, 등 등). 이러한 동적 근력 측정의 대표적인 것이 인체심리학적 방법(Psychophysical Approach)에 의한 최대허용하중(MAWL, Maximum Acceptable Weight of Load)이다. 1981년 미국의 국립산업안전보건연구원(NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health)에서는 "Work Practices Guide for Manual Lifting"을 통하여 동적 근력의 중요성을 부각시키고 관련 데이터들과 모델들을 제시하였다(National Institute of Occupational Safety and Health, 1981). 이들 동적 근력 모델들을 보면 정적 근력 측정치들을 독립변수들로 하여 동적 근력치를 추정해 보려는 시도가 많았다(Poulsen, 1970; McDaniel, 1972; Dryden, 1973; Knipfer, 1974; Ayoub and McDaniel, 1973; Ayoub, et al., 1973, Ayoub, et al., 1976a; Ayoub, et al., 1976b; Ayoub and El-Bassoussi, 1976; Ayoub, et al., 1978; Mital, et al., 1978; Carlsöö, 1980; Kroemer, 1983; Aghazadeh and Ayoub, 1985).

1.3 연구 목적

산업현장에서의 들기 작업은 양 손에 의한 들기 작업뿐 만 아니라 한 손에 의한 들기 작업이 빈번하게 이루어지고 있는 실정이다. 한 손 만을 사용하는 들기 작업은 신체 활동의 비대칭성을 유발하며 이에 따른 근골격계 질환은 간과되어서는 안 될 것이다. 특히 한 손 만을 사용한 들기 작업이 산업현장에서 많이 관측되고 있으므로 이러한 작업이 근골격계

질환을 유발시키는 하나의 요인이 될 수 있을 가능성이 높다고 할 수 있을 것이다. 그러나 지금까지의 대부분의 들기 작업 관련 연구는 양 손을 사용한 들기 작업이며 한 손 만을 사용한 들기 작업에 관한 연구는 별로 많이 수행되어 오지 않았다(Garg and Saxena, 1982; Garg, 1983; Mital and Ilango, 1983; Allread, Marras, and Parnianpour, 1996; Marras and Davies, 1998; Mital and Kumar, 1998a,b, Gall and Parkhouse, 2004). 국내에서는 근력에 관한 연구는 1990년 이 후 부터 지금까지 10편 이내의 논문이 발표되었을 뿐이다.

본 연구의 목적은 한 손을 사용하는 들기 작업과 양 손을 사용하는 경우의 들기 작업에 대한 정적 근력 측정 결과를 비교 분석하고자 한다. 또한 들기 작업의 경우 시점과 종점에 따른 정적 근력의 차이를 알아보고자 한다. 아울러 두 가지 중량에 대하여 한 손과 양 손을 사용하는 두 가지 형태의 들기 작업을 모의 실험을 통하여 이때의 동적 근력을 측정하고, 이 결과를 정적 근력 능력들과 비교하고자 한다.

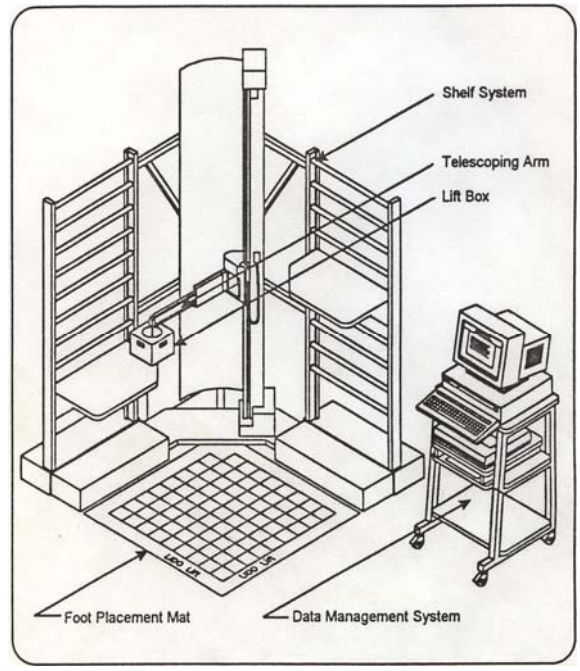

그림 1. LIDO Lift system(Loredan Biomedical, Inc.)

2. 실험 계획 및 실험 방법

2.1 피 실험자

대학생 8명을 대상으로 하였다. 현재 요통이 있거나 과거에 요통 경력이 있는 대학생은 제외하였다.

2.2 실험 장비

2.2.1 LIDO Lift System

Loredan Biomedical사의 LIDO LIFT System(그림 1)은 아주 쉽고 편리하게 들기 능력을 측정할 수 있는 안전한 들기 작업의 평가기구이다.

LIDO-LIFT 프로그램을 사용하여 4개의 표준 프로토콜과 3가지 사용자 지정 프로토콜을 지정할 수 있다. 이 시스템은 3가지 실험 즉 정적 근력 측정을 위한 등척성 실험(isometric test), 동적 근력 측정을 위한 등속성 실험(isokinetic test), 등관성성(gravity/inertia test)에 의한 모의 실험을 할 수 있게끔 한다(LIDO LIFT User's Guide, 1995).

이 시스템은 3가지 다른 길이의 "grip extension bar"(그림 2)를 사용하거나 2가지 다른 크기의 상자를 사용하여 두 손을 사용하는 들기 작업을, 그리고 "stirrup handle"을 이용하여 한 손을 사용하는 들기 작업을 모의 실험하여 근력 측정을 할 수 있다. 본 실험에서는 한 손 작업에는 "stirrup handle"을 사용하였고, 양 손 작업 시에는 18 inch 너비의 "T-handle"을 사용하였다.

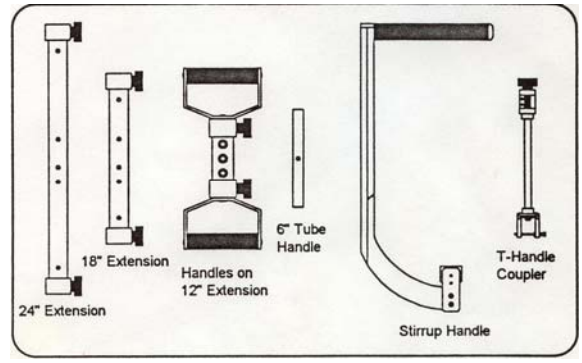

그림 2. LIDO Lift system에서 사용하는 손잡이 종류

2.3 실험 절차 및 방법

손가락 관절 높이(knuckle height)에서 팔꿈치 높이(standing elbow height)로의 들기 작업에 대한 정적 근력 능력 측정은 피 실험자들의 개별적인 손가락 관절 높이와 팔꿈치 높이에서 이루어져야 하겠지만 실험 절차의 간편성을 고려하여 모든 피 실험자들에 대하여 일정한 값으로 일반적인 손가락 관절 높이와 팔꿈치 높이에서의 들기 작업에 대한 정적 근력 능력을 76.2cm(30")와 114.3cm(45") 높이에 따라 각 각 측정하였다. 그리고 이러한 손가락 관절

높이에서 팔꿈치 높이로의 들기 작업을 73.5N, 147.1 N의 두 가지 작업부하에 따라 들기 작업 동안의 최대 동적 근력을 측정하였다. 이 때 왼 손, 오른 손, 그리고 양 손을 사용하는 것에 따라 측정이 이루어졌다. 본 연구 목적을 위한 실험은 다음과 같이 구성되어졌다.

첫째, 왼 손과 오른 손 만을 사용한 한 손 들기 작업과 양 손을 사용한 들기 작업에 대한 정적 근력 능력을 손가락 관절 높이(76.2cm)와 팔꿈치 높이(114.3cm)에 따라 LIDO system의 정적 근력 측정 방법으로 측정한다.

둘째, 73.5N, 114.3N 두 가지 중량을 왼 손과 오른 손 만을 사용한 한 손 들기 작업과 양 손을 사용하여 손가락 관절 높이(76.2cm)에서 팔꿈치 높이(114.3cm)로 드는 작업에 대한 최대 동적 근력을 LIDO LIFT system의 Gravity/Inertia test 방법으로 모의 실험한다.

2.3.1 정적 근력 능력 측정

정적 근력 측정 실험은 동적 근력 측정 실험보다 복잡한 장비가 필요하지 않고 보편화된 측정 방법들이 많이 제안되어 있다. 정적 근력은 다음과 같은 조건을 만족시킴으로서 측정된다(Caldwell, Chaffin, Dukes-Dobos, Kroemer, Laubach, Snook, and Wasserman, 1974; Chaffin, 1975).

(1) 최소 4초 간의 정상적인 근력 발휘가 이루어져야 한다.
(2) 정상 근력 발휘 1초 전과 1초 후의 전이 기간은 제외된다.
(3) 근력 결과는 정상 근력 발휘 시의 초기 3초 간의 값을 평균한 값이다.

이들이 제안한 측정 항목들은 몸통 근력(Torso strength), 다리 근력(Leg strength), 팔 근력(Arm strength)들 이다. 그러나 본 실험은 76.2cm(손가락 관절 높이)에서 114.3cm(팔꿈치 높이)로 드는 작업을 고려하였으므로 손가락 관절 높이에서는 다리 근력 테스트(Leg strength test)를 택하였으며 팔꿈치 높이에서는 팔 근력 테스트(Arm strength test)를 택하였다. 본 연구에서는 궁극적으로 정적 근력과 동적 근력에 대한 비교를 목적으로 하였기 때문에 평균 근력치 보다는 최대 근력치(Peak force)를 측정하였다.

2.3.2 동적 근력 측정

76.2cm 높이에서 114.3cm로 드는 작업을 LIDO LIFT system의 Gravity/Inertia test에 의해 모의 실험한다. 동적 근력은 점진적으로 작업하중을 증가시켜 가면서 피 실험자가 큰 무리 없이 최대로 들 수 있는 하중에 따른 근력이라 할 수 있다. 피 실험자의 안전을 위하여 보통 75% sub-maximal 하중을 많이 이용한다(Thompson, Chaffin, Hughes, and Evans, 1992). 그러나 본 연구에서는 이러한 최대 동적 근력보다는 한 손과 양 손의 경우에 따른 동적 근력의 비교에 초점을 맞추고자 하였다. 그래서 작업부하를 73.5N, 147.1N으로 하여 왼 손, 오른 손, 양 손을 사용하는 경우에 따라 모의 실험을 하여 그 때의 최대 동적 근력과 최대 가속도, 최대 속도를 구하였다. 작업부하 73.5N, 147.1 N을 선택한 이유는 1991년도에 Snook이 발표한 인체심리학적 MAWL(Maximum Acceptable Weight of Load)의 데이터(Snook and Ciriello, 1991)에서 본 실험의 드는 높이(손가락 관절 높이에서 팔꿈치 높이)에 근접한 "Knuckle to Shoulder"의 항목 중 "38.1cm distance와 Box Width 75cm"에 해당하고, 50% 남성 집단에 해당하는 사람이 8시간에 한 번 드는 평균 하중 343.1N(35kg)을 기준으로 하였다. 이 기준치의 75%에 해당하는 257.4N(26.25kg)을 75% sub-maximal로 간주하였으며, 여기에 한 손 들기 작업을 고려하여 약 60%에 해당하는 작업부하는 154.4N(15.75kg)이나 본 실험에서는 편의상 147.1N(15kg)과 이것의 50%인 73.5N(7.5kg)을 작업부하로 선택하였다.

3. 실험 결과 분석 및 토의

3.1 피 실험자

본 실험에 참여한 인원은 8명으로서 20~29세 사이의 대학생 또는 대학원생 이었다. 평균 손가락 관절 높이 79.2cm, 평균 팔꿈치 높이는 110.9cm 이였다(표 2). 8명 모두 다 오른 손 잡이였다.

표 2. 피 실험자 인체 측정표

	나이 (세)	몸무게 (kg)	신장 (cm)	팔꿈치 높이 (cm)	손가락 관절 높이 (cm)
평균	23.9	79.37	179.84	110.91	79.18
표준편차	2.7	19.54	6.82	4.01	3.01

3.2 정적 최대 근력 측정 결과

3.2.1 정적 최대 근력(Isometric Peak Force)

정적 근력 작업 시 사용하는 손과 각 손의 근력 발휘 위치에 따른 최대 근력 간의 분산분석 결과 근력 발휘 높이 인자는 유의한 차이(p-값 = 9.7526×10-7, 표 3)를 나타내었으며 한 손, 즉 왼 손 또는 오른 손과 양 손의 최대 근력 간에는 유의한 차이(p-값 = 0.0062 또는 0.0086)가 있었으

나 왼 손과 오른 손에 따른 차이는 유의하지 않았다. 또한 동일한 근력 발휘 높이에 따라서도 왼 손과 오른 손에 따른 차이는 유의하지 않았다. 그러나 손가락 관절 높이에서의 왼 손, 오른 손의 최대 근력은 양 손의 최대 근력의 평균 63.3%였으며 팔꿈치 높이에서는 평균 54.7%였다.

표 3. 정적 최대 근력의 분산분석표

변동의 요인	제곱합	DF	제곱 평균	F 비	*P*-값
인자 A (근력 발휘 위치)	1319189.47	1	1319189.47	32.8165	9.75E-07
인자 B (사용 손)	610119.33	2	305059.66	7.5887	0.0015
교호작용 (AXB)	36122.07	2	18061.04	0.4493	0.6411
잔차	1688358.65	42	40199.02		
계	3653789.52	47			

팔꿈치 높이에서의 최대 근력은 손가락 관절 높이에서의 경우보다 왼 손, 오른 손 그리고 양 손의 경우 43.2%, 42.3%, 49.4%로서 매우 큰 차이를 나타내었다(표 4). 이 결과는 한 손에 대한 정적 근력의 경우 왼 손과 오른 손에 따라서는 유의한 차이가 없으나 힘을 발휘하는 높이에 따라서는 팔꿈치 높이에서의 정적 근력은 손가락 관절 높이에서의 정적 근력의 절 반 미만이라고 할 수 있으며 그림 3은 이들의 관계를 잘 보여주고 있다.

표 4. 근력 발휘 위치와 사용하는 손에 따른 정적 최대 근력(N)

측정 항목 / 근력 발휘 위치	정적 최대 근력(N)			%		
	왼 손	오른 손	양 손	왼 손/양 손	오른 손/양 손	평균
손가락 관절 높이	501.2	522.0	801.0	62.0%	64.6%	63.3%
팔꿈치 높이	216.3	220.7	399.7	54.1%	55.2%	54.7%
평균	358.8	371.3	604.0	58.1%	59.9%	59.0%
팔꿈치/손가락 관절	43.2%	42.3%	49.4%			

3.3 동적 최대 근력 측정 결과

3.3.1 동적 최대 근력(Dynamic Peak Force)

동적 작업의 경우 두 가지 작업부하(73.5N, 147.1N)에 따라 왼 손, 오른 손, 그리고 양 손을 사용한 경우의 최대 근력을 분산분석을 한 결과 작업부하에 따라서는 유의한 차이(p-값 = 0.0023)를 나타냈으나 사용하는 손의 종류에 따라서는 통계적으로 유의한 차이(p-값 = 0.8118)가 없었다(표 5).

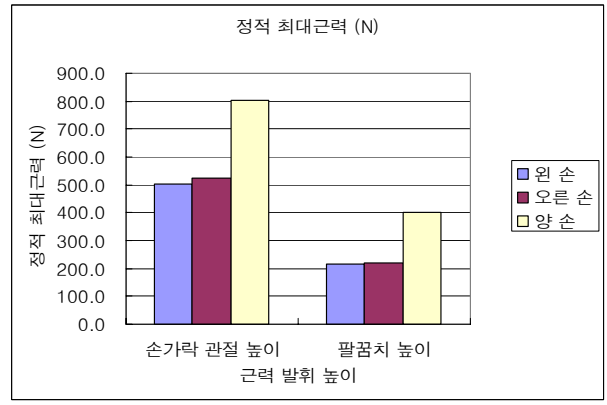

그림 3. 근력 발휘 높이에 따른 사용 손 별 최대 근력(N)

표 5. 동적 최대 근력의 분산분석표

변동의 요인	제곱합	DF	제곱 평균	F 비	*P*-값
인자 A (작업부하)	112962.18	1	112962.18	10.5880	0.0023
인자 B (사용 손)	4469.98	2	2234.99	0.2095	0.8118
교호작용 (AXB)	102.91	2	51.46	0.0048	0.9952
잔차	448092.66	42	10668.87		
계	565627.73	47			

76.2cm(손가락 관절 높이)에서 114.3cm(팔꿈치 높이)로의 동적 들기 작업의 경우 최대 근력은 두 가지 다른 작업하중 모두 왼 손과 오른 손 간에는 약간의 차이가 있었다(표 6, 그림 4). 동적 최대 근력은 작업부하가 73.5N일 경우 평균 183.23N, 147.1N일 경우 평균 280.26N으로서 작업부하가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 그러나 양 손에 의한 작업의 경우는 개인별로는 약간의 차이는 있지만 많은 경우 왼 손의 경우보다는 크고 오른 손의 경우보다는 작게 나타났다. 이는 오른 손잡이의 경우 아마도 양 손 작업이 오른 손 작업의 경우보다 움직이는 팔의 자세에 대한 제한이 있기 때문이라고 생각한다.

표 6. 작업부하와 사용하는 손에 따른 동적 최대 근력(N)

측정 항목 / 작업부하	동적 최대 근력(N)			%		
	왼 손	오른 손	양 손	왼 손/양 손	오른 손/양 손	평균
73.5N	170.1	194.4	185.1	91.9%	105.0%	98.5%
147.1N	269.9	292.8	278.1	97.1%	105.3%	101.2%
평균	220.0	243.6	231.6	95.0%	105.2%	100.1%

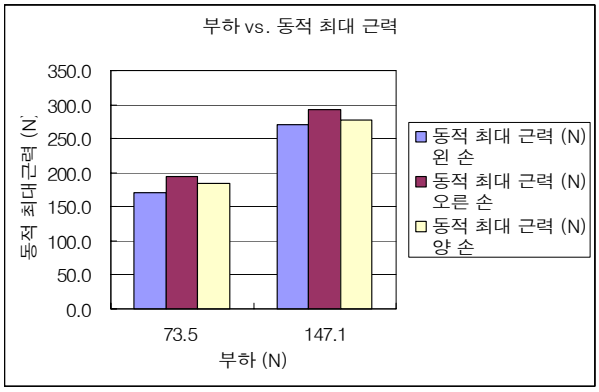

그림 4. 작업부하에 따른 손 별 동작 최대 근력(N)

3.3.2 동적 최대 가속도(Dynamic Peak Acceleration)

동적 최대 가속도의 경우 작업부하에 따라서는 약간의 차이(p-값 = 0.0900)를 나타냈으나 사용하는 손의 종류에 따라서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 최대 가속도는 작업부하가 73.5N일 경우 평균 1.43G, 147.1N 일 경우 평균 0.91G로서 작업부하가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다(표 7, 그림 5).

표 7. 작업부하와 사용하는 손에 따른 동적 최대 가속도(G)

측정 항목 / 작업부하	최대 가속도 (G)			%		
	왼 손	오른 손	양 손	왼 손 /양 손	오른 손 /양 손	평균
73.5N	1.26	1.57	1.45	86.7%	108.6%	97.7%
147.1N	0.84	0.99	0.89	95.0%	111.9%	103.4%
평균	1.05	1.28	1.17	89.8%	109.9%	99.8%

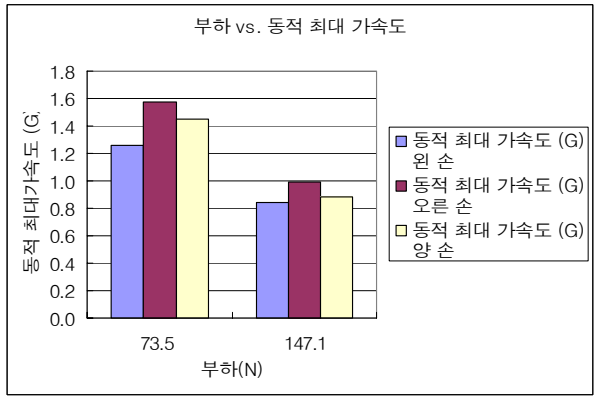

그림 5. 작업부하에 따른 동적 최대 가속도(G)

3.3.3 동적 최대 속도(Dynamic Peak Velocity)

동적 최대 속도의 경우에는 의 경우에는 작업부하와 사용하는 손의 종류에 따라 통계적으로 유의한 차이가 없었다(표 8).

최대 속도는 작업부하에 따른 차이가 크지 않았고 또한 사용하는 손의 종류에 따라서도 차이가 크지 않았으며 평균 0.97m/sec 이었다(그림 6).

표 8. 작업부하와 사용하는 손에 따른 동적 최대 속도(m/sec)

측정 항목 / 작업부하	최대 속도(m/sec)			%		
	왼 손	오른 손	양 손	왼 손 /양 손	오른 손 /양 손	평균
73.5N	0.99	1.11	1.01	97.4%	109.4%	103.4%
147.1N	0.85	0.98	0.90	94.1%	108.2%	101.1%
평균	0.92	1.04	0.96	95.9%	108.8%	102.3%

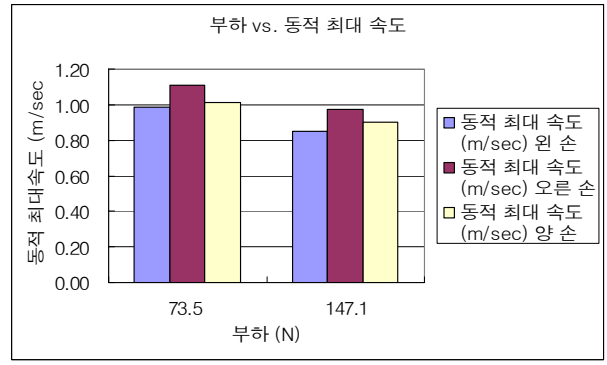

그림 6. 작업부하에 따른 동적 최대 속력(m/sec)

4. 토 의

4.1 동적 근력 측정 결과의 이상치

동적 작업 실험 결과 특이한 피 실험자가 한 명 관찰되었다. 이 피 실험자의 최대 근력, 최대 속도, 최대 가속도는 다른 피 실험자들에 비해 월등 높은 값을 나타내었다. 최대 근력의 경우 다른 피 실험자들의 약 2.1~2.9배, 최대 가속도의 경우 약 3.7~4.7배, 최대 속도의 경우 1.5~2.3배로 높았다. 정적 근력 능력 측정 시에는 1.6~2.2배였으나 동적 작업의 경우보다는 낮았다. 통계학적으로 보면 이 피 실험자의 결과들은 이상치(outlier)에 속한다고 볼 수 있으나 동적 작업 능력이 매우 특출한 경우로 볼 수 있다고 생각한다. 그래서 이 피 실험자를 제외한 나머지 피 실험자 7명에 대한 평균치를 다시 고려해 보기로 했다.

최대 근력은 작업부하가 73.5N일 경우 평균 152.58N, 147.1N일 경우 평균 242.00N으로서 작업부하가 증가함에

따라 증가하는 경향을 보였다.

최대 가속도는 작업부하가 73.5N일 경우 평균 1.02G, 147.1N일 경우 평균 0.65G로서 작업부하가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였는데 이것은 당연한 현상이다.

양 손 작업의 경우 작업부하가 147.1N일 때 최대 가속도는 평균 0.62G(0.4~0.8G)로서 이는 이전의 다른 연구자들(Thompson, Chaffin, Hughes, and Evans, 1992; Leskinen, 1985)의 결과와 유사한 결과를 보여주고 있다. 그러나 73.5N과 같은 가벼운 작업부하에 대해서는 평균 1.02G로서 Thompson 등의 결과(평균 2.5G)와는 큰 차이가 있었다. 이것은 작업 높이에 따른 차이 때문이라고 생각한다.

최대 속도는 작업부하에 따른 차이가 크지 않았고 또한 사용하는 손의 종류에 따라서도 차이가 크지 않았으며 평균 0.88m/sec 이었다. 이것은 통계적으로는 유의한 차이가 없다고 할 수 있으나 최대 가속도가 감소하는 경향을 고려한다면 최대 속도 역시 감소하는 경향이라고 할 수 있다.

4.2 정적 최대 근력과 동적 최대 근력의 비교

두 가지 작업부하에 따른 동적 작업 시 의 최대 근력을 두 가지 정적 최대 근력, 즉 손가락 관절 높이와 팔꿈치 높이에서의 정적 최대 근력과 비교해 보았다. 손가락 관절 높이에서의 정적 최대 근력과 비교한 결과, 작업부하가 73.5N일 때 한 손 작업의 경우 평균 35.6%, 147.1N 일 경우 평균 55.0%로서 작업부하가 증가하였다. 양 손 작업의 경우는 23.1%에서 34.7%로 증가하였다(표 9).

표 9. 손가락 관절 높이에서의 정적 최대 근력과 동적 최대 근력

정적 최대 근력(N) @ 손가락 관절 높이			작업부하 (N)	동적 최대 근력 (N)			동적/정적 최대 근력 비율(%) @ 손가락 관절 높이		
왼 손	오른 손	양 손		왼 손	오른 손	양 손	왼 손	오른 손	양 손
501.2	522.0	801.0	73.5	170.1	194.4	185.1	34.0%	37.3%	23.1%
			147.1	269.9	292.8	278.1	53.9%	56.1%	34.7%

팔꿈치 높이에서의 정적 최대 근력과 비교한 결과, 작업부하가 73.5N일 때 한 손 작업의 경우 평균 83.4%, 147.1N 일 경우 평균 128.7%로서 작업부하가 증가함에 따라 역시 증가하였다. 양 손 작업의 경우는 46.3%에서 69.6%로 증가하였다(표 10).

특히 147.1N의 작업하중의 경우 왼 손의 경우 124.7%, 오른 손의 경우 132.7%의 높은 비율은 두 가지 이유 중의 하나로 생각해 볼 수 있다. 첫째, 측정된 정적 근력은 진정한 최대 정적 근력이 아닐 수도 있다. 둘째, 만약 측정된 정적 근력이 진정한 최대 정적 근력이라면 동적 작업에서의 속도,

표 10. 팔꿈치 높이에서의 정적 최대 근력과 동적 최대 근력

정적 최대 근력(N) @ 팔꿈치 높이			작업부하 (N)	동적 최대 근력 (N)			동적/정적 최대 근력 비율(%) @ 팔꿈치 높이		
왼 손	오른 손	양 손		왼 손	오른 손	양 손	왼 손	오른 손	양 손
216.3	220.7	399.7	73.5	170.1	194.4	185.1	78.7%	88.1%	46.3%
			147.1	269.9	292.8	278.1	124.7%	132.7%	69.6%

가속도의 영향은 큰 비중을 차지한다고 볼 수 있다. 그러나 양 손의 경우 동적 최대 근력은 두 가지 작업부하에 대하여 모두 정적 최대 근력보다 낮은 경향을 보였다.

그림 7에서는 두 가지 작업부하에 따른 동적 최대 근력을 정적 근력의 발휘 높이에 따라 종합적으로 비교하여 보았다.

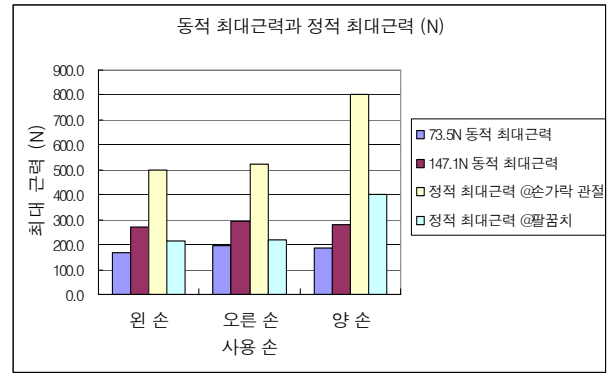

그림 7. 사용하는 손에 따른 동적 최대 근력과 정적 최대 근력의 비교

또한 정적 최대 근력과 동적 최대 근력간의 관계를 알아보기 위하여 회귀분석을 한 결과(표 11) 한 손 만을 사용하는 경우 동적 최대 근력은 손가락 관절 높이에서의 정적 최대 근력이 팔꿈치 높이에서의 정적 최대 근력보다 더 높은 결정계수(R^2)를 나타냈으며 작업부하 간에는 큰 차이가 없었다. 그러나 양 손을 사용하는 경우에는 동적 최대 근력은 팔꿈치 높이에서의 정적 최대 근력이 손가락 관절 높이에서의 정적 최대 근력보다 훨씬 더 높은 결정계수(R^2)를 나타냈다. 이는 양 손 작업의 경우는 손가락 관절 높이에서의 근력의 영향보다는 팔꿈치 높이에서의 근력의 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 그러나 이러한 동적 최대 근력과 정적 최대 근력 간의 회귀분석 결과는 결정계수(R^2)가 단지 0.66~0.74 범위이므로 바람직하다고 볼 수 있지 않다. 특히 양 손의 경우는 이 전의 연구 결과(Thompson, Chaffin, Hughes, and Evans, 1992)와 비슷한 결과를 보여주고 있다. 그들의 연구 결과에서도 결정계수(R^2)가 0.57로서 정적 들기 작업 근력(isometric lifting strength)과 최대 동적 손의 힘(peak

dynamic hand force)간의 모델은 제안할 수 없다고 주장하였다.

표 11. 정적 최대 근력을 독립변수로 한 동적 최대 근력의 회귀분석 식

사용손	동적 최대 근력 (작업부하)	정적 최대 근력 (@ 발휘 높이)	회귀분석 식	R^2
왼손	73.5N	손가락 관절	Y = 0.52 X − 88.36	0.68
		팔꿈치	Y = 0.70 X + 18.46	0.50
	147.1N	손가락 관절	Y = 1.13 X + 195.22	0.70
		팔꿈치	Y = 0.93 X + 67.59	0.64
오른손	73.5N	손가락 관절	Y = 0.76 X − 203.92	0.75
		팔꿈치	Y = 1.12 X − 51.87	0.46
	147.1N	손가락 관절	Y = 0.81 X − 129.50	0.74
		팔꿈치	Y = 1.38 X − 12.26	0.62
양손	73.5N	손가락 관절	Y = 0.13 X + 84.01	0.39
		팔꿈치	Y = 0.35 X + 44.20	0.64
	147.1N	손가락 관절	Y = 0.19 X + 126.42	0.46
		팔꿈치	Y = 0.49 X + 82.98	0.66

5. 결론 및 추후 연구 방향

정적 최대 근력은 한 손과 양 손을 사용하는 경우 큰 차이가 있었다. 한 손의 최대 근력은 근력의 발휘 높이에 따라 양 손의 최대 근력의 54.7~63.3%였다. 그러나 왼 손과 오른 손 간에는 유의한 차이가 없었다. 정적 근력을 발휘하는 높이에 따라서는 현저한 차이가 있었는데 팔꿈치 높이에서의 정적 최대 근력은 손가락 관절 높이에서의 최대 근력의 50% 미만이었다.

작업부하에 따른 동적 최대 근력은 한 손과 양 손 간의 차이, 그리고 왼 손과 오른 손 간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 손가락 관절 높이에서의 정적 최대 근력은 동적 최대 근력보다 2~3배 높게 나타났다. 그러나 한 손 작업의 경우, 팔꿈치 높이에서의 정적 최대 근력은 동적 최대 근력보다 낮게 나타났다. 또한 정적 근력 측정치와 동적 근력 측정치 간에는 높은 상관관계가 있다고 볼 수 없다. 그러므로 동적인 인력 물자 취급 작업에 대한 안전하중을 결정하기 위해서는 최대 정적 근력 측정치만을 고려한다는 것은 동적 성질을 가진 작업에 적절하지 않음을 알 수 있다.

정적 근력을 측정할 때 손의 높이에 따라 큰 차이가 있으므로 동적 작업에 적용할 경우 어느 높이에 따른 정적 근력을 사용해야 하는가에 문제가 생긴다. 안전하중을 결정하는 경우이기 때문에 평균치보다는 최소의 최대 근력치를 이용해야 할 것인지도 단언하기 어렵다고 본다. 또한 이 최대 근력치는 매우 짧은 시간에 이루어 졌으므로 이것을 과연 진정한 한계치로 보아야 할 것인지 의문이다. 그러므로 작업 자세, 작업 높이 그리고 작업 빈도가 영향을 미치는 인력물자 취급 작업은 단지 정적 근력 테스트에만 근거한 안전하중을 고려하는 것은 무리가 있다고 본다.

동적 작업에 대한 작업부하를 75% sub−maximal에 기준하여 선택하였으나 만약 피 실험자의 안전에 문제가 없다고 확신할 경우 좀 더 높은 sub−maximal 또는 maximal까지 고려할 수 있었다면, 즉, 본 실험에서 택한 73.5N과 147.1N 보다 더 무거운 하중을 작업부하로 선택하였다면, 과연 같은 결과를 얻을 수 있을 것인가에 대해서는 생각해 볼 가치가 있다고 본다.

본 실험은 남성 피 실험자만을 고려하였으므로 과연 이 실험 결과가 여성 피 실험자에 대해서도 유사한 결과를 보여줄 지는 확신할 수 없으므로, 추 후 여성 피 실험자를 대상으로 한 유사한 실험이 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

대한민국 노동부, 2006. http://molab.go.kr/.

Aghazadeh, F. and Ayoub, M. M., A Comparison of Dynamic- and Static-strength Models for Prediction of Lifting Capacity, *Ergonomics*, 28(10), 1409-1417, 1985.

Allread, W. G., Marras, W. S. and Parnianpour, M., Trunk kinematics of one-handed lifting, and the effects of asymmetry and load weight, *Ergonomics*, 39(2), 322-334, 1996.

Ayoub, M. M., Bethea, N. J., Deivanayagam, S., Asfour, S. S., Bakken, G. M., Liles, D., Mital, A. and Sherif, M., *Determination and modeling of lifting capacity*, Final Report, HEW (NIOSH) Grant No. 5R010H-00545-02, September, 1978.

Ayoub, M. M., Dryden, R. D. and Knipfer, R. E., "Psychophysical Based Models for the Prediction of Lifting Capacity of the Industrial Worker", *Paper presented at the Automotive Engineering Congress and Exposition (SAE), Detroit*, 1976a.

Ayoub, M. M., Dryden, R. D., McDaniel, J. W., Knipfer, R. E. and Aghazadeh, E., (1976); "Modeling of Lifting Capacity as a Function of Operator and Task Variables", *Paper presented at the International Symposium: Safety in Manual Materials Handling, Buffalo, NY*, July, 19-21, 1976b.

Ayoub, M. M. and El-Bassoussi, M. M., "Dynamic Biomechanical Model for Sagittal Lifting Activities", *Proceedings of the 6th Congress of International Ergonomics Association*, pp. 355-359, 1976.

Ayoub, M. M. and McDaniel, J. W., "Predicting Lifting Capacity", *Proceedings of the 5th Congress on Ergonomics*, Amsterdam, Holland, 1973.

Ayoub, M. M., McDaniel, J. W. and Dryden, R. D., "Modeling in Lifting Activities", *Paper presented at the American Industrial Hygiene Association Meeting*, 1973.

Bureau of Labor Statistics, U.S.A., 1994-2005. http://www.bls.gov/.

Caldwell, L. S., Chaffin, D. B., Dukes-Dobos, F. N., Kroemer, K. H. E., Laubach, L. L. and Snook, S. H., Wasserman, A Proposed Standard Procedure for Static Muscle Strength Testing, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 35, 201-206, 1974.

Carlsöö, S., A back and lift test, *Applied Ergonomics*, 11, 66-72, 1980.

Chaffin, D. B., Ergonomics Guide for The Assessment of Human Static Strength, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 36(7), 505-511, 1975.

Chaffin, D. B., Herrin, G. D., Keyserling, W. M. and Garg, A., A Method for Evaluating the Biomechanical Stresses Resulting from Manual Materials Handling Jobs, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 38, 662-675, 1977.

Dryden, R. D., *A Predictive Model for the Maximum Permissible Weight of Lift from Knuckle to Shoulder Height*, Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1973.

Gall, B. and Parkhouse, W., Changes in physical capacity as a function of age in heavy manual work, *Ergonomics*, 47(6), 671-687, 2004.

Garg, A., Physiological response to one-handed in the horizontal plane by female workers, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44, 190-200, 1983.

Garg, A. and Chaffin, D. B., A Biomechanical Computerized Simulation of Human Strength, *AIIE Transactions*, 7(1), 1-15, 1975.

Garg, A. and Saxena, U., Maximum frequency acceptable to female workers for one-handed lifts in the horizontal plane, *Ergonomics*, 25(9), 839 -853, 1982.

Knipfer, R. E., *Predictive Models for the Maximum Acceptable Weight of Lift*, Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1974.

Kromer, K. H. E., An Isoinertial Technique to Assess Individual Lifting Capacity, *Human Factors*, 25(5), 493-506, 1983.

LIDO Lift User's Guide, Loredan Biomedical, Inc., 3650 Industrial Boulevard, West Sacramento, CA 95691, 1995.

Marras and Davis, Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands, *Ergonomics*, 41(6), 817-834. 1998.

McDaniel, J. W., *Prediction of Acceptable Lift Capability*, Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1972.

Mital, A., Ayoub, M. M., Asfour, S. S. and Bethea, N. J., "Relationship between Lifting Capacity and Injuries in Occupations Requiring Lifting", *Proceedings of the Human Factors Society 22nd Annual Meeting, Detroit*, 1978.

Mital, A. and Ilango, M., Subjective estimates of one-handed carrying tasks, *Applied Ergonomics*, 14, 265-269, 1983.

Mital, A. and Kumar, S., Human muscle strength definitions, measurement, and usage: Part I - Guidelines for the practitioner, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 101-121, 1998a.

Mital, A. and Kumar, S., Human muscle strength definitions, measurement, and usage: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 123-144, 1998b.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), *Work Practices Guide for Manual Lifting*, Department of Health and Human Services Publication No. 81-122, 1981.

Poulsen, E., Prediction of Maximum Loads in Lifting from Measurement of Back Muscle Strength, *Progressive Physical Therapy*, 1, 146-149, 1970.

Pytel, J. L. and Kamon, E., Dynamica Strength Test as A Predictor for Maximal and Acceptable Lifting, *Ergonomics*, 24(9), 663-672, 1981.

Snook, S. H., The Design of Manual Handling Tasks, *Ergonomics*, 21(12): 963-985, 1978.

Snook, S. H. and Ciriello, V. M., The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces, *Ergonomics*, 34(9), 1197-1213, 1991.

Snook, S. H. and Ciriello, V. M., Maximum Weights and Work Loads Acceptable to Female Workers, *Journal of Occupational Medicine*, 16(8), 527-534, 1974.

Snook, S. H. and Irvine, C. H. Maximum Frequency of Lift Acceptable to Male Industrial Workers, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 29, 531-536, 1968.

Snook, S. H. and Irvine, C. H. Psychophysical Studies of Physiological Fatigue Criteria, *Human Factors*, 11(3), 291-299, 1969.

Thompson, D. D., Chaffin, D. B., Hughes, R. E. and Evans, O., The relationship of isometric strength to peak dynamic hand forces during submaximal weight lifting, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 9, 15-23, 1992.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 김 홍 기 ❖ hkkim@kyonggi.ac.kr

Texas Tech University 산업공학과 박사(인간공학)
현 재: 경기대학교 산업공학과 교수
관심분야: 인간공학(인력물자취급, 생체역학, 작업생리학, 근골격계 질환), 제품개발

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 04월 15일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 05월 03일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 05월 12일