

工學碩士 學位論文

수평·수직거리에 따른 한국인 남성의
들기능력 변화에 관한 연구

Maximal acceptable lifting loads of Korean male
according to horizontal and vertical distances

指導教授 張 聖 祿

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2005年 8月

釜慶大學校 産業大學院

安全工學科

權 英 一

權英一の 工學碩士 學位論文을
認准함

2005年 6月 17日

主 審 工學博士 權 五 憲



委 員 工學博士 崔 載 旭



委 員 工學博士 張 聖 祿



목 차

1. 서론	1
2. 배경 이론	5
2. 1 근골격계질환의 개요	5
2. 2 MMH 작업의 허용중량을 결정하기 위한 접근 방법	10
2. 3 최대발휘근력(MVC)	13
3. 실험설계 및 실험방법	15
3. 1 피실험자 인체 특성	15
3. 2 실험기기 및 실험방법	17
4. 실험 결과	19
4. 1 최대근력 측정 결과	19
4. 2 최대근력 분석 결과	24
5. 결론 및 추후 연구과제	25
참고문헌	26
부 록. NIOSH 들기 작업 지침	32
Abstract	43

표 목 차

Table 1. 산업재해 현황 (2000 ~2004년)	3
Table 2. 근골격계질환 예방을 위한 외국의 규제 현황	7
Table 3. 근골격계질환 예방을 위한 국내의 규제 현황	9
Table 4. 피실험자 인체특성 현황	15
Table 5. 수평·수직거리별 최대근력	19
Table 6. 최대근력의 ANOVA 분석 결과	24

그림 목 차

Fig. 1. 정적 근력 지속시간과 근 피로도 사이의 관련성	14
Fig. 2. 실험설계	18
Fig. 3. 수직거리에 따른 수평거리별 최대근력 변화	20
Fig. 4. 수평거리에 따른 수직거리별 최대근력 변화	21
Fig. 5. 수평거리에 따른 NLE의 RWL과 실험결과 최대근력의 감소경향 비교	22
Fig. 6. 수직거리에 따른 NLE의 RWL과 실험결과 최대근력의 감소경향 비교	23

Maximal acceptable lifting loads of Korean male according to horizontal and vertical distances

Young-Il Kwon

Department of Safety Engineering, Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract

The purpose of this paper was to evaluate the effectiveness of horizontal & vertical multipliers for manual material handling. Lifting tasks with 5 different horizontal distances (30cm ~ 70cm) for 6 vertical distances(ankle, knee, waist, elbow, shoulder and head height) were experimented.

From the experiment, following results were obtained.

(1) Decreasing trend of MVC for horizontal distance appeared to the linear. The increase of the horizontal distance is clearer than that of the vertical distance.

(2) The degrade tendency did not appeared almost in 60~70cm intervals's horizontal distance.

(3) As a result of ANOVA, MVC paid attention to horizontal and vertical distance but cross effect was insignificant($p < 0.01$).

(4) The change of the MVC according to the horizontal, vertical distance appeared similar form of RWL.

1. 서 론

산업현장에 있어서 기계화의 확산에도 불구하고, 과도한 인력운반(manual materials handling, 이하 MMH)작업으로 인해 발생하는 근골격계질환은 여전히 작업시간의 손실, 비용 증가, 그리고 신체장애를 야기하는 중대한 원인으로 대두되고 있다¹⁾. 급격한 산업의 발달로 대부분의 산업현장이 자동화가 이루어져 있다 하더라도 아직 우리나라에서 대기업은 물론 중소기업에 이르기까지 완전 자동화는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 국내 전체 사업장 3,187,916개 중 3,157,160개 사업장이 50인 미만인 사업장으로 전체의 99%가 중소규모로 나타나 향후로도 들기작업, 앞·뒤·옆으로 옮기기 등의 인력 운반작업은 계속 될 것으로 사료된다^{2~4)}. MMH 작업에 의한 근골격계질환은 작업자 실수에 의한 사고성 재해인 경우도 있으나, 부적절한 작업자세와 작업대 설계, 잘못 고려된 작업하중 등에 의한 누적성 재해가 대부분을 차지하고 있다. 따라서 이러한 MMH 작업에 의한 근골격계질환의 방지를 위해서는 근골격계질환 예방 교육 및 스트레칭 등의 예방대책을 서둘러야 하며, 근골격계질환 예방을 위하여 작업에 요구되는 적절한 작업하중 및 작업상황을 평가할 수 있어야 한다. 즉, 작업자세를 고려한 생체역학적 분석이나, 근전도를 이용한 작업자의 근육 피로도 분석을 위한 생리학적 분석 등을 통한 작업 개선이 필요하다. 따라서 이러한 MMH 작업에 대해 지난 30년간 인간공학을 비롯한

관련분야에서 가장 활발히 연구되고 있는 주제 중 하나이며, MMH작업시 과도한 중량물의 취급, 작업환경으로 인한 수평·수직거리의 과도한 뻗침, 작업 과정에서 반복적으로 발생하는 몸통부위의 비틀림, 구부림 등이 요통을 유발하는 주원인으로 알려져 있다.

미국의 경우 직업성 요통은 전체 산업재해의 약 20~40% 정도를 차지하고 있으며, 산업재해 환자의 재발 중 약 70%가 요통환자로 판정되었다⁵⁾. 미국 26개 주에서 조사된 바에 따르면, 보상을 요구하는 모든 작업자 중 19~25.5%가 요통 때문인 것으로 평가되었으며, 그 중 어떤 물체를 드는 행위에 의한 것이 48%, 밀거나 당기는 행위에 의한 것이 9%, 그리고 잡거나 운반하는 행위에 의한 것이 45%로 보고되었다⁶⁾.

우리나라의 경우, 1995년 개정된 산재보상보험법 시행규칙 제 39조 관련 별표 1의 업무상 질병 또는 업무상 질병으로 인한 사망에 대한 업무상 재해 인정 기준에서 요통에 대해 구체적으로 명시함에 따라 업무상 재해로 인정되었으며⁷⁾, 특히 이중에서 사고의 대부분이 물건을 들고 내릴 때 발생되기 때문에 상당히 중요한 부분을 차지하고 있다.

최근 노동부에서 집계한 과거 5년간(2000년~2004년) 산업재해 발생현황 통계자료의 재해자 및 근골격계 질환자를 살펴보면 Table 1과 같다⁸⁾.

Table 1. 산업재해 현황 (2000~2004년)

구 분	사업장수	근로자수	재해자수	재해율 (%)	손실액(백만) (산재보상금)	근골격계질환 (신체부담,요통)	점유율(%) (근골/재해자)
2000	706,231	9,485,557	68,976	0.73	1,456,266	814	1.18
2001	909,461	10,581,186	81,434	0.77	1,744,539	1,634	2.00
2002	1,002,263	10,571,279	81,911	0.77	2,020,335	1,827	2.23
2003	1,006,549	10,599,345	94,924	0.90	2,481,814	4,532	4.77
2004	1,039,208	10,473,090	88,874	0.85	-	4,112	4.63

이러한 MMH 작업에 대해 미국, 일본, ILO에서는 각기 중량물 및 인력운반 권장기준을 내놓고 있으나 우리나라는 미국국립산업안전보건연구원(National Institute of Safety & Hygiene, 이하 NIOSH)의 기준을 그대로 적용하고 있다⁹⁾.

인력물자 취급시 수평거리와 수직거리의 증가로 인해 근력의 감소가 나타나는 것으로 알려져 있다. 인력물자취급 작업은 공간의 제한성과 다양한 취급 활동 및 문제점 해결을 위한 자동화설비 도입의 투자 부담 등으로 인해 다양한 작업형태에서 이루어지고 있다^{10,11)}. 들기 작업시 중량물의 무게와 중량물이 놓인 수평거리의 증가, 드는 속도의 증가, 중량물이 놓인 수직거리의 감소가 허리에 가해지는 하중을 증가시키는 요인으로 알려져 있다¹²⁾.

양성환 등¹³⁾은 수평거리가 35cm~55cm로 증가함에 따라 요배근력이 급격히 감소한다고 밝혔다. 또한 Lee¹⁴⁾는 수직거리가 10cm~45cm로 증가할 경우 들기능력이 서서히 감소하다가 75cm~105cm로 증가할 경우 급격히 감소함을 보였다. 기도형과 정민근¹⁵⁾의 연구에서는 수직거리와 수평거리의 증가가 요천

추부의 수축력의 감소를 가져오는 예측모델을 제시하였다.

본 연구는 수평·수직거리에 따른 최대 들기능력을 측정하여 한국인의 체형에 적합한 NLE 수평·수직계수를 제안하여 근골격계질환 예방을 위한 작업하중 및 작업상황을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 배경 이론

2. 1 근골격계질환의 개요

근골격계질환이란 단순반복작업으로 인하여 미세한 손상으로 인한 물리적 스트레스가 신체에 누적되어 목·어깨·팔·팔꿈치·손목·손 등의 신경·건·근육 및 그 주변조직에 나타나는 질환을 말하며, 일반적으로 만성적인 근골격계의 상해를 나타낸다. 작업시간의 손실, 비용증가, 신체장애를 초래하는 주요 원인으로 대두되고 있다^{16,17)}. 특히, 과도한 작업강도, 정적인 작업자세, 빈번한 구부림과 비틀림, 들고 밀고 당기기, 단순반복작업 등으로 인하여 대부분 발생하며, 이러한 장애들은 무리한 힘이 요구되는 경우뿐만 아니라, 가벼운 동작을 반복하면서 작업하는 경우에도 발생할 수 있다.

미국의 경우, OSHA 200 Logs¹⁸⁾에 의해 집계된 직업병 통계(사기업 대상)를 보면 1981년도 누적외상성질환이 23,000건이었던 것이, 1994년도에는 약 14.4배 증가한 332,000건으로 전체 직업병 건수에서 65%를 차지할 정도로 급속히 증가하여 산업보건의 가장 심각한 문제 중의 하나로 자리 잡고 있다¹⁹⁾. 그러나 80년대부터 근골격계질환에 관심을 갖기 시작하여, 90년대 들어 자동차 산업을 중심으로 예방관리 시스템을 가동한 결과, 1994년을 정점으로 질환 발생이 감소 추세에 접어들고 있다²⁰⁾.

Table 2는 미국을 비롯한 선진국의 근골격계질환 예방관리를 위한 지침 및 규제 현황을 나타내고 있다. 우리나라와는 달리 선진국에서는 80년대 초반부터 근골격계질환에 관심을 갖기 시작하여, 여러 규제 및 지침을 마련하였으며

미국에서는 육류 가공업 등 다양한 직종에 대해 적용을 하고 있다^{21~26,33)}. 뉴질랜드의 경우 VDT 작업에 대한 근골격계질환의 위험성을 줄이고 작업효율을 높이기 위해 노력하고 있으며, 아울러 다양한 산업으로의 적용을 진행하고 있다²⁷⁾. EU의 노력 또한 VDT 작업과 MMH작업에 대한 규제를 통해 지속적으로 이루어지고 있다^{28,29)}. 영국의 규제 및 지침은 전통적인 조직이나 부서를 포함하고 있으며 최종적인 것보다는 위험요인의 제거에 초점을 두고 있다^{30,31)}. 호주에서는 작업장 내에서 MMH 작업과 관련한 MSDs의 종류와 심각성 예방 및 고용주의 의무에 관해 규제하고 있다³²⁾. 독일에서는 MMH작업과 관련하여 작업장에서 근로자들의 건강과 안전을 향상시키기 위한 규제를 시행하고 있다³⁴⁾. 스웨덴은 1984년부터 근골격계질환에 대한 인간공학적 규제를 가하였고 1998년에는 수작업 운반에 관한 지침이 포함되었고, 2001년에는 범위가 확대되어 다른 인간공학적 측면까지 포함되었다³⁵⁾. 캐나다의 경우, 구 주에서만 산업안전보건법 상 근골격계질환에 대한 내용이 삽입되어 있으며 나머지 주는 아직 준비중이다. 캐나다의 인간공학적 접근방식은 결과중심의 규제방식이라고 볼 수 있다^{36,37)}.

우리나라의 경우, 1993년부터 “경전완증후군”을 업무상 재해인정기준에 도입한 이후, Table 3과 같은 법적·제도적 관리가 마련되어 있음에도 불구하고, 전문인력의 부족, 관리 부재 등으로 인하여 재해예방 효과는 일부 대기업을 제외하고는 아직 미비한 실정이다^{38~46)}. 특히 2000년 현대자동차 5공장, 2001년 현대중공업, 2002년 대우조선해양(주) 등에서 근골격계질환자들이 집

단 산재 판정을 받는 등 이로 인한 노동력 상실 및 경제적 지출 비용으로 사회적 이슈가 되고 있다.

Table 2. MSDs 예방을 위한 외국의 규제 현황

관 련 법 규	주 요 내 용	제정시기
AN SI/HFS100 ²¹⁾	VDT 작업자들의 근골격계질환 예방을 위한 내용으로 구체적인 작업장 조건(workstation)과 관리지침들을 소개	1988년 (미국)
ANSI B11.TR ²²⁾	육류 가공작업자(meat packing)들에 대한 인간공학적인 작업관리 지침 규정	1993년 (미국)
ANSI Z-365 ²³⁾	상지에서 발생하는 근골격계질환 예방을 위한 작업장 분석방법, 의학적인 관리 내용, 교육 훈련 등에 대한 내용	1996년 (미국)
California's RMI Standard, SECTION 5110 ²⁴⁾	적용대상, 적용주기, 적용내용, 교육 및 훈련, 작업장 평가에 대한 내용	1997년 (미국)
Ergonomics program: 29 CFR Part 1910 ²⁵⁾	11인 이상을 고용(시간제 작업자도 포함)하는 사업주에게 부여되는 근골격계질환의 예방관리 내용을 의무화	2000년 (미국)
ACGIH, Hand Activity Level TLV, lifting TLV ²⁶⁾	mono-hand 작업과 lifting에 기인한 근골격계질환의 감소를 목적으로 관리기준 제시	2001년 (미국)
Health and Safety Act, code of Practice for Manual Handling 1991, and draft 2000, code of Practice for VDTs ²⁷⁾	MSD를 줄이고 VDT 근로자의 건강과 안전을 증대하며 작업의 효율성을 최대화	1991년 2000년 (뉴질랜드)
European Union(EU) directive 90/269/EEC Manual Handling ²⁸⁾	고용주들은 기계 장비, 작업 조직, 정보, 훈련, 상담 등을 통해서 manual handling을 피하거나 최소화하도록 요구.	1990년 (EU)
European Union(EU) directive 90/270/EEC Work with Display Screen Equipment (DSC) ²⁹⁾	visual display 단말기를 사용하는 근로자들의 건강과 안전	1990년 (EU)

Table 2. MSDs 예방을 위한 외국의 규제 현황 (계속)

관 련 법 규	주 요 내 용	제정시기
Manual Handling Operation Regulations(based on EU Directive 90/269/EEC) ³⁰⁾	manual handling에 대한 고용주의 의무	1992년 (영국)
Health and Safety Display Screen Requirement ³¹⁾	visual display 단말기를 사용하는 근로자의 건강과 안전	1992년 (영국)
Victoria Occupational Health and Safety Regulations 1988 code of practice for manual handling 1990 and for Occupational Overuse Syndrome 1992 ³²⁾	작업장 내에서 manual handling 업무와 연관된 MSDs의 수와 심각성 예방과 고용주의 의무	1988년, 1990년, 1992년 (호주)
Victoria Revised OH&S manual handling Regulations 1999 code of practice for manual handling 2000 ³³⁾	작업장 내에서 manual handling 업무와 연관된 MSDs의 수와 심각성 예방	1999년, 2000년 (미국)
Ordinance on Safety and Health protection for the Manual Handling of Loads at work ³⁴⁾	작업장에서 근로자들의 건강과 안전을 향상시키기 위한 규제	1996년 (독일)
AFS 1998 : 1. 근골격계 질환의 예방을 위한 인간공학 AFS 2000 : manual handling에 대한 조항 ³⁵⁾	작업 환경의 조건들은 건강에 유해한 육체적 중압과 피로가 가지는 위험을 최소화하도록 고안	1998년, 1999년 (스웨덴)
British Columbia Ergonomics Requirement ³⁶⁾	근골격계질환의 위험을 최소화하거나 제거하기 위한 요구사항	1998년 (캐나다)
Saskatchewan Occupational Health and Safety Regulation, Sections 78 to 82 and 470(first version 1988), updated 1996 ³⁷⁾	들기, 서있기, 앉아있기, MSI, 이동작업, 눈을 많이 사용하는 작업, 계속되는 수작업 등으로 기인하는 위험을 최소화하기 위한 규제	1988년, 1996년 (캐나다)

Table 3. MSDs 예방을 위한 국내의 규제 현황

관 련 법 규	주 요 내 용	제정시기
산업안전보건법 제24조 ³⁸⁾	보건상의 조치에 대한 사업주의 의무 근골격계질환 예방의무 부과	2002. 12. 30
산업보건기준에 관한 규칙 ³⁹⁾	근골격계부담작업으로 인한 건강장해의 예방	2003. 7. 12
노동부고시 제2000-71호 ⁴⁰⁾	영상표시단말기(VDT)취급근로자 작업관리지침	2000. 12. 30
노동부고시 제2000-72호 ⁴¹⁾	단순반복작업 근로자 작업관리지침	2000. 12. 30
노동부고시 제2003-24호 ⁴²⁾	근골격계부담작업의 범위	2003. 7. 15
KOSHA code H-05-1998 ⁴³⁾	작업성 요통예방을 위한 작업관리지침	1998. 10. 1
KOSHA code G-06-1999 ⁴⁴⁾	인력운반 안전작업에 관한 지침	1999. 12. 15
KOSHA code H-30-2003 ⁴⁵⁾	근골격계부담작업 유해요인조사 지침	2003. 6. 15
KOSHA code H-31-2003 ⁴⁶⁾	사업장 근골격계질환 예방관리프로그램	2003. 6. 15

2. 2 MMH 작업의 허용중량을 결정하기 위한 접근 방법

MMH 작업시 인체에 미치는 스트레스는 크게 근골격계에 가해지는 생체역학적 스트레스, 심장과 호흡기에 가해지는 생리적 스트레스 및 심리적 스트레스로 구분할 수 있는데 이러한 분류기준에 따라 다음의 4가지 접근 방법을 사용하고 있다.

1) 역학적 접근 방법 : 허용하중을 결정하기 위한 방법으로 모집단의 재해 통계 자료를 대상으로 인력물자 취급과 관련되어 발생하는 근골격계 상해(대표적으로 요통)의 발생빈도와 위험도를 통해 분석하는 방법이다.

2) 생체역학적 접근 방법 : 특정 작업조건 하에서 허용중량을 구하기 위해 척추에 가해지는 압축력, 근전도, 근력 등과 같이 인체 내부의 힘을 통해 분석하는 방법이다.

3) 생리학적 접근 방법 : 특정 작업조건 하에서 허용중량을 결정하기 위해서 인체의 에너지 대사량을 통해 분석하는 방법이다.

4) 심물리학적 접근 방법 : 특정 작업조건 하에서 피실험자들이 자신의 능력에 맞는 최대하중을 결정하기 위해 시행착오 실험을 반복하여 스스로의 발휘 근력이나 능력을 자각하도록 하는 분석하는 방법이다.

MMH작업을 설계함에 있어서 생리학적 접근방법의 사용 목적은 근골격계 질환의 원인이 되는 육체적 피로의 가속화를 피하는 것이다. 이러한 피로는 특정 근육이나 근육 그룹에 영향을 미칠 수 있고, 또는 작업을 유지하는데 이용하는 aerobic capacity의 감소에 의해 몸전체에 영향을 미칠 수 있다. 주로

비반복적인 들기에 적용하는 생체역학적 접근방법과는 달리, 생리학적 접근방법은 반복적인 들기에도 적용 가능하다¹⁾.

MMH작업을 수행함에 따른 심혈관 요구를 평가하기 위해 심박수, 산소 소비율, 그리고 배기율과 같은 생리학적 매개변수들이 사용되고 있다. 근전도(electromyography, 이하 EMG) 측정과 blood lactate를 이용하여 생리학적 상태와 근골격계의 피로 수준을 평가할 수 있다.

특정 MMH 작업과 관련하여 심혈관 요구를 평가하기 위해 여러 가지 생리학적 모델이 사용되고 있다. Garg 등^{47,48)}은 들기 및 다른 동작에 따른 신진대사 에너지 소비를 평가하기 위해 회귀분석을 이용하였다. Garg의 모델은 작업은 단일 작업(동작 요소)으로 나눌 수 있으며, 작업의 평균 신진대사 에너지 소비율은 단일 작업의 에너지 소비가 증가함에 따라 예측할 수 있다는 가정을 기초로 하고 있다. 김상호⁴⁹⁾는 인력 들기와 놓기 작업에 따른 신진대사 에너지 소비율을 예측하기 위한 실험을 실시하였다. 이 모델은 산소 소비량을 예측하기 위해 다른 여러 가지 작업과 작업자의 변수 뿐만아니라 비틀림 각도, 상자의 폭과 길이를 고려하고 있다.

정신물리학은 인간 감각의 지각과 물리적 자극 사이의 관계를 평가하는 심리학의 한 분야이다. 다시 말해서, 다양한 MMH 인자들에 의해 발생한 정신물리학, 생체역학적 스트레스의 조합된 영향을 작업자의 지각을 이용하여 평가하는 것을 말한다¹⁾.

MMH의 능력에 관한 일반적인 정신물리학적 연구는 다양한 작업조건과 작

업자들에 대한 작업부하의 허용 수준을 측정해오고 있다. 일반적으로 결과는 들기 또는 운반의 허용 무게 또는 밀기와 당기기의 허용 힘을 표로서 나타낸다. MMH 작업과 관련된 대부분의 정신물리학적 연구에서는 비록 정신물리학적 평가 기술이 들기 행위에만 한정되지 않지만, 특히 들기 작업을 강조해왔다. 또한 정신물리학적 접근방식은 1분당 1회 이상을 수행하는 반복적인 동작에 가장 적합하다. 다양한 MMH 작업을 평가하기 위해 다양한 물리학적 평가 방법들이 이용되고 있으며, 특히 rating of perceived exertion(RPE)과 body part discomfort(BPD) 방법이 많이 이용되고 있다^{50,51)}.

생체역학적 접근방법의 목적은 근골격계 시스템의 용량을 초과하지 않도록 작업을 설계하는 것이다. 일반적으로 두 가지의 기준이 가장 공통으로 사용되는데 L4/L5 또는 L5/S1 부위에 대한 압축력 한계와 최대 관절 힘이다^{52,53)}. 전자는 척추 파열에 대해 사체 연구로부터 얻어내고, 후자는 다양한 관절들의 임의의 최대 수축 용량은 주된 그룹으로부터 실험적인 연구 결과로 얻어진다.

작업이 표준에 대해 적합한지를 결정하기 위하여 정적 생체역학모델 또는 동적 생체역학모델이 이용되고 있다.

2. 3 최대발휘근력(MVC)

근육의 수축활동은 근육에 긴장을 일으키며 이러한 근육은 다양한 방법으로 수축한다. 등척성 수축은 수축하는 동안 근육의 길이가 변하지 않는다. 본 실험에서 사용된 근육의 최대발휘근력은 모두 등척성 수축 상태에서 이루어졌다. 등척성은 때때로 정적(static) 수축과 같은 의미로 사용된다. 이에 반해 근육의 길이가 변화하는 등장성 수축은 동적(dynamic) 수축으로 불리운다. 근육은 등장성 수축보다 등척성 수축이 더 큰 힘을 형성할 수 있다. 특정 작업 자세에서 등척성 수축으로 발휘한 최대값을 최대발휘근력으로 정의하고 이때의 근력 값을 100%tile MVC라 한다. 따라서 75%tile MVC는 최대근력 대비 75%의 힘만을 발휘하여 유지하는 것을 의미한다.

근육이 정적인 상태로 수축을 지속할 수 있는 최대시간(muscle endurance time)은 근육이 발휘하는 힘에 따라 달라진다. Fig. 1은 Rohmert curve라 불리는 muscle endurance time과 %MVC의 관계를 나타낸 곡선이다⁵⁴⁾. Fig. 1과 같이, 근육의 최대발휘근력은 불과 몇 초 동안만 지속될 수 있다. 정적 수축인 경우, 최대 근력의 50%는 1분 정도 유지되지만, 발휘근력이 15%tile MVC이하일 경우에는 수 분에서 몇 시간 동안 지속될 수 있다. muscle endurance time은 15%tile MVC 정도에서 급격히 감소하고 40%tile MVC 이상일 경우에는 수 초 이내에 근육피로를 가져 올 수 있다.

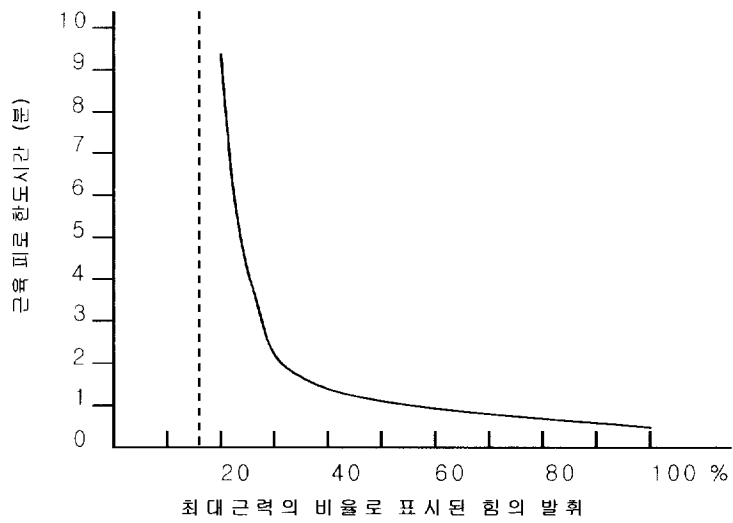


Fig. 1. 정적 근력 지속시간과 근 피로도 사이의 관련성⁵⁴⁾

3. 실험설계 및 실험방법

본 연구에서는 근육 및 신경계통의 질환이 없는 건강한 남성 30명을 피실험자로 선정하여 기존 NIOSH 기준에서 사용되는 계수 중 수평·수직계수를 고려하여 거리 변화에 따른 최대근력을 측정하였으며, 자세제어를 위해 팔 힘만을 사용하도록 통제하였다.

3. 1. 피실험자 인체 특성

피실험자들의 인체특성 결과는 다음의 Table 4와 같다.

Table 4. 피실험자 인체특성 현황

구분	연령 (Age)	신장 (cm)	체중 (kg)	발목 높이 (cm)	무릎 높이 (cm)	허리 높이 (cm)	팔꿈치 높이 (cm)	어깨 높이 (cm)	상완 길이 (cm)	전완 길이 (cm)
Sub.01	26	178.5	78	9	53	99	113	148	36	30
Sub.02	25	178.7	73	10	54	106	117	145	34	28
Sub.03	27	176	67.5	10	46	99	110	145	36	28
Sub.04	25	175.5	72	10	49	101	111	145	35	29
Sub.05	25	180	74	10	52	104	110	145	38	27
Sub.06	26	177	90	10	50	96	112	147	36	30
Sub.07	26	170	68	9	47	101	108	137	35	28
Sub.08	26	179.5	70	10	51	104	115	148	36	28
Sub.09	24	173.5	61	8	51	99	104	140	32	27
Sub.10	26	174	61	10	52	100	110	140	33	30

Table 4. 피실험자 인체특성 현황 (계속)

구분	연령 (Age)	신장 (cm)	체중 (kg)	발목 높이 (cm)	무릎 높이 (cm)	허리 높이 (cm)	팔꿈치 높이 (cm)	어깨 높이 (cm)	상완 길이 (cm)	전완 길이 (cm)
Sub.11	26	183.5	72	11	53	103	116	152	37	31
Sub.12	24	182	73	10	53	103	114	150	37	30
Sub.13	25	169.5	63	9	49	99	106	139	35	28
Sub.14	24	176	64	10	50	102	115	148	33	28
Sub.15	26	182	74	12	47	102	115	150	30	31
Sub.16	25	168	59	10	50	99	110	140	31	29
Sub.17	25	168	61	10	50	97	109	140	32	29
Sub.18	25	174	66	11	53	100	112	143	33	27
Sub.19	26	171	59	12	50	100	110	140	31	29
Sub.20	25	180.5	80	9	50	105	115	152	34	32
Sub.21	25	182	80	12	50	102	114	152	32	30
Sub.22	25	169	62	10	49	99	109	142	30	28
Sub.23	25	170	65	10	50	97	110	143	31	29
Sub.24	25	170	60	10	52	100	110	142	30	29
Sub.25	26	176	68	10	53	99	112	150	35	30
Sub.26	26	173	69	10	51	100	110	145	32	28
Sub.27	25	176.4	70	10	50	94	110	146	35	30
Sub.28	25	181	79	11	55	105	115	152	37	29
Sub.29	25	173	62	10	45	95	105	142	31	28
Sub.30	25	177	72	10	48	99	111	148	34	30
Ave.	25.3	175.49	69.08	10.1	50.43	100.3	111.27	145.2	33.7	29
SD	0.7	4.66	7.51	0.88	2.36	2.94	3.22	4.44	3.38	1.26

3. 2 실험기기 및 실험 방법

실험기기는 근력측정을 위한 digital dynamometer와 측정센서 및 실험대로 구성되며 실험변수 중 수직거리는 각 피실험자의 인체측정 결과에 따라 발목, 무릎, 허리, 팔꿈치, 어깨, 머리 높이에서 실시하였다. 기존 문헌에서는 수직거리를 10cm, 45cm, 75cm, 105cm, 140cm로 구분하였으나 피실험자별로 신체치수가 상이하므로 각 피실험자별 인체측정 data를 이용하였다. 수평거리는 기존 문헌에서는 25.4cm, 38.1cm, 50.8cm 3가지로 분류하여 실험하였으나, 본 연구에서는 최대근력의 감소경향을 보기 위해 실험점인 센서 부착위치에서 30~70cm를 10cm 단위로 구획하도록 설계하였다. 실험대는 자체 제작하였다. 자체 제작한 실험대는 다음의 Fig. 2와 같다.

비틀림 각도별 MVC값을 측정하기 위하여 Takei Kiki Kogyo Co.가 제작한 digital dynamometer를 사용하였으며, 이 기기는 피실험자가 발휘하고 있는 힘을 피실험자나 실험자가 알 수 있도록 스트레인 게이지에 작용하는 힘을 계수(digital)값으로 표시하여 준다. 이 장치는 최대 300kg 까지의 악력, 핀치력, 요배근력 등을 측정할 수 있다. 본 실험에서는 척추 근육의 0~100kg 까지 측정할 수 있는 스트레인 게이지를 사용하였다.

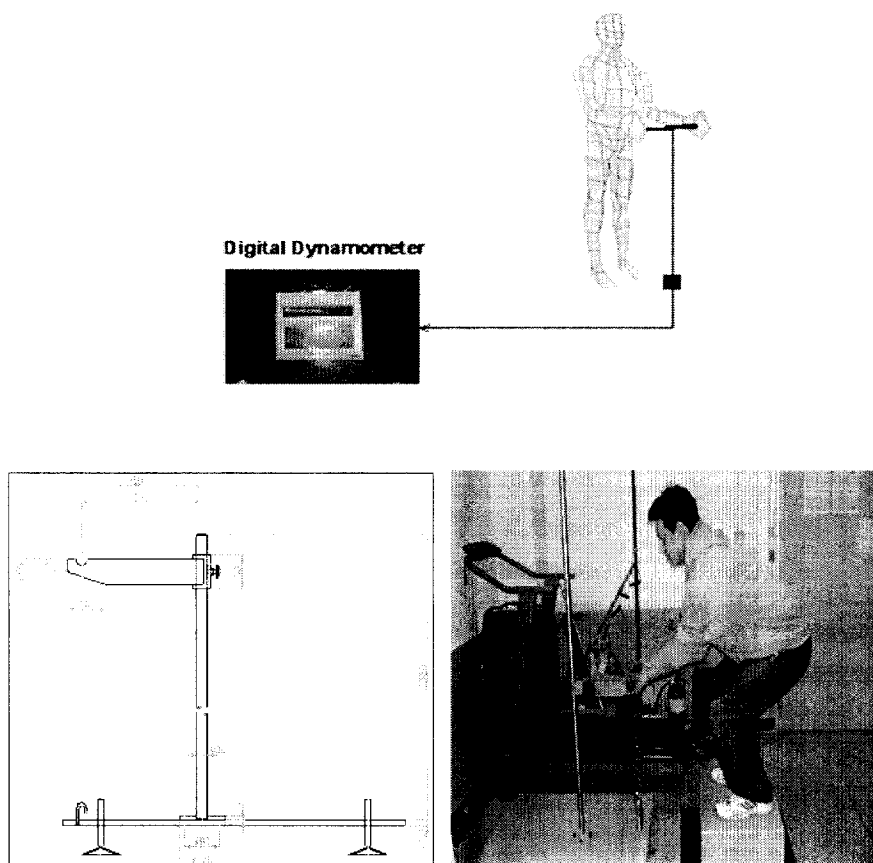


Fig. 2. 실험설계

4. 실험 결과

4. 1 최대근력 측정 결과

수직거리를 각 피실험자의 발목, 무릎, 허리, 팔꿈치, 어깨 및 머리 높이로 변화, 수평거리를 30cm~80cm까지 10cm 단위로 변화시켜 최대근력을 측정한 결과는 다음의 Table 5와 같다. 80cm 거리에서는 인체의 기능적 도달한계로 인하여 측정에 실패하였다.

Table 5. 수평 · 수직거리별 최대근력(평균±표준편차)

(단위 : kg)

수평거리 수직거리	30cm	40cm	50cm	60cm	70cm
발목높이	23.33±4.02	16.33±2.84	11.77±1.87	4.77±4.34	-
무릎높이	25.53±4.60	19.47±2.93	12.83±3.23	8.93±2.16	8.00±1.25
허리높이	25.10±4.68	18.23±4.75	13.93±3.71	9.07±1.70	7.58±0.84
팔꿈치높이	22.93±5.32	17.97±5.48	13.33±3.92	9.37±1.83	7.15±1.95
어깨높이	22.57±4.67	15.97±4.62	10.90±2.20	7.68±1.79	7.83±2.32
머리높이	18.10±4.59	12.60±3.59	9.07±1.73	6.44±1.24	-

수직거리에 따른 수평거리별 최대근력 감소경향을 살펴보면 발목높이에서는 수평거리 30cm일때를 기준으로 각각 30.00%(40cm), 49.55%(50cm), 79.55%(60cm) 감소하였으며 무릎높이에서는 23.74%(40cm), 49.75%(50cm), 65.02%(60cm), 68.66%(70cm) 감소하였다. 허리높이에서는 27.37%(40cm),

44.50%(50cm), 63.86%(60cm), 69.8%(70cm), 팔꿈치높이에서는 21.63%(40cm), 41.87%(50cm), 59.14%(60cm), 68.82%(70cm), 어깨높이에서는 29.24%(40cm), 51.71%(50cm), 65.97%(60cm), 65.31%(70cm), 머리높이에서는 30.39%(40cm), 49.89%(50cm), 64.42%(60cm)씩 각각 감소하는 경향을 보였다.

수직거리에 따른 수평거리별 최대근력의 변화는 다음의 Fig. 3과 같다.

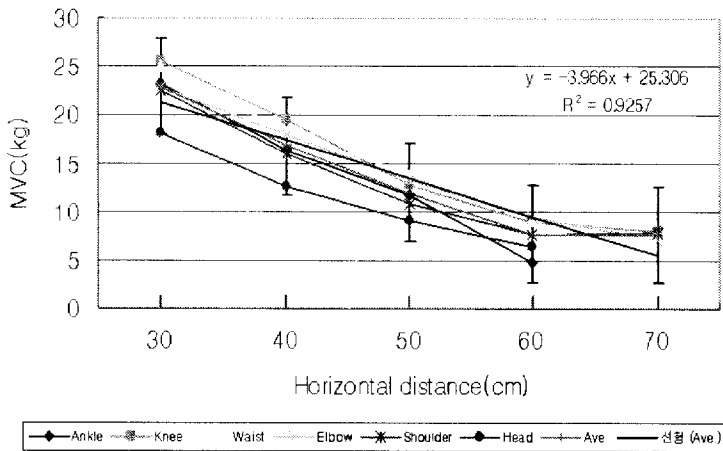


Fig. 3. 수직거리에 따른 수평거리별 최대근력 변화

수평거리에 따른 수직거리별 최대근력 감소경향을 살펴보면 수평거리 30cm에서 최적조건 무릎높이를 기준으로 각각 8.62%(발목높이), 1.68%(허리높이), 10.18%(팔꿈치높이), 11.59%(어깨높이), 29.10%(머리높이) 감소가 나타났으며, 40cm에서도 최적조건 무릎높이 기준으로 16.13%(발목높이), 6.37%(허리높이), 7.70%(팔꿈치높이), 17.98%(어깨높이), 35.29%(머리높이)의 감소가 나타났다.

50cm에서는 최적기준 허리높이 기준으로 각각 15.51%(발목높이), 7.90%(무릎 높이), 4.31%(팔꿈치높이), 21.75%(어깨높이), 34.89%(머리높이), 60cm에서는 최적기준 팔꿈치높이 기준으로 각각 49.09%(발목높이), 4.70%(무릎높이), 3.20%(허리높이), 18.04%(어깨높이), 31.27%(머리높이) 감소가 나타났다.

70cm에서는 발목높이 및 머리높이에서 피실험자 1명만이 실험이 이루어졌으며, 최적기준 무릎높이를 기준으로 각각 5.25%(허리높이), 10.62%(팔꿈치높이), 2.12%(어깨높이)씩 각각 감소하는 경향을 보였다. 80cm에서는 자세유지가 불가능하여 30명의 피실험자 모두가 측정에 실패하였다.

수평거리에 따른 수직거리별 최대근력의 변화는 다음의 Fig. 4와 같다.

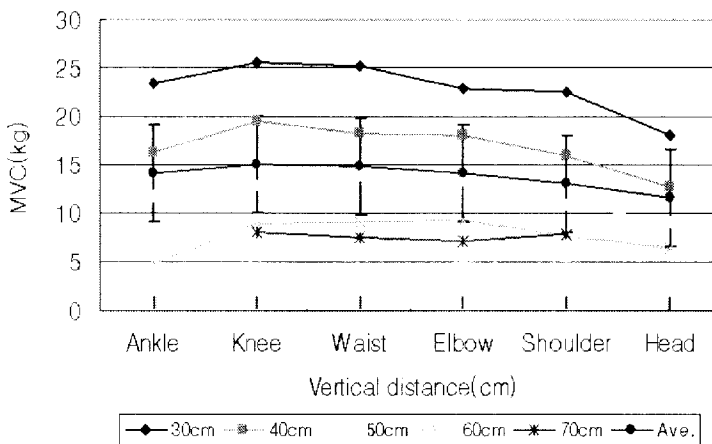


Fig. 4. 수평거리에 따른 수직거리별 최대근력 변화

다음의 Fig. 5, 6은 NLE의 수직계수와 수평계수를 통해 권장무게한계(RWL : Recommended Weight Limit) 값을 구한 결과와 실험을 통해 나타난 최대근력의 경향과 비교한 것이다. 수직거리는 팔꿈치 높이를 기준으로 하였으며 수평거리는 30cm를 기준으로 하였다.

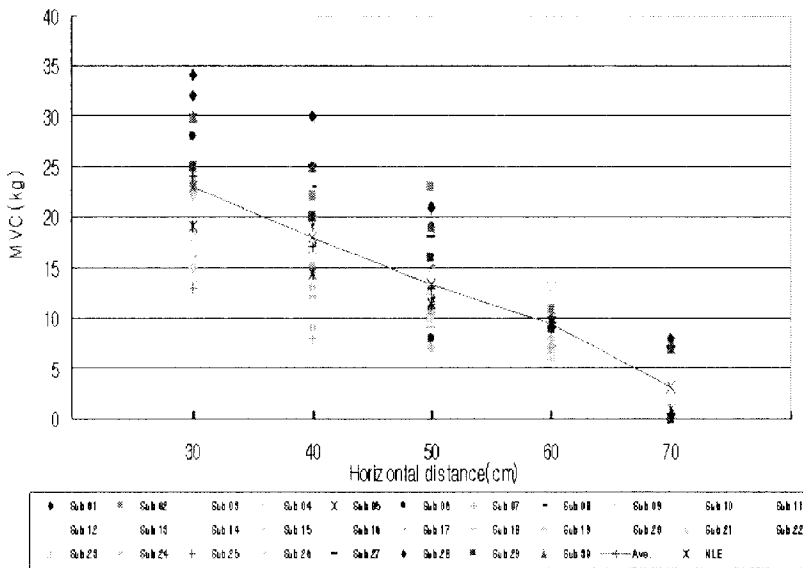


Fig. 5. 수평거리에 따른 NLE RWL과 실험결과 최대근력의 감소경향 비교

Fig. 5는 NLE의 기타 계수는 최적인 상태로 두고 수평계수만을 고려하여 권고하중을 구한 것과 팔꿈치 높이를 기준으로 최대발휘근력을 측정한 결과를 나타낸 것으로 유사한 감소경향을 보였다. NLE의 수평계수에서 분석의 한계치로 정한 수평거리 63cm 이상에서도 실험결과 감소경향이 나타났다.

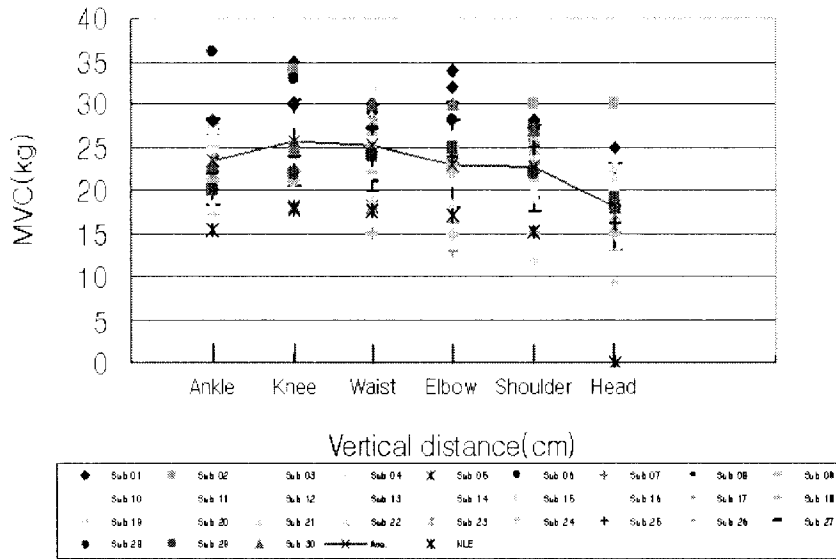


Fig. 6. 수직거리에 따른 NLE RWI과 실험결과 최대근력의 감소경향 비교

Fig. 6과 같이 수평거리 30cm를 기준으로 두고 수직높이를 변화시켜 최대 발휘근력을 측정하고 동일한 수직높이에서 기타 계수를 최적으로 한 NLE의 권고하중값을 비교해 보면 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 NLE에서는 여성 75%tile 및 남성 1%tile을 기준으로 하고 있으므로 실제 피실험자와는 인체계측치의 상이함으로 인해 차이가 있을 것으로 사료된다.

4. 2 최대근력 분석결과

Table 6은 통계프로그램인 SPSS Release 12.0을 사용하여 최대근력에 대한 수평거리와 수직거리의 영향을 분산분석(Analysis of Variance; ANOVA)을 통하여 나타낸 결과이다.

Table 6. 최대근력의 ANOVA 분석 결과

	제 III 유형 제곱합	자유도	평균 제곱	통계변량	유의확률	부분 에타 제곱
수정 모형	24649.861(a)	29	849.995	67.947	.000*	.737
절편	12963.877	1	12963.877	1036.304	.000*	.596
수직거리	1373.508	5	274.702	21.959	.000*	.135
수평거리	19723.259	5	3944.652	315.327	.000*	.692
수직거리 * 수평거리	315.943	19	16.629	1.329	.157	.035
오차	8794.333	703	12.510			
합계	195710.000	733				
수정 합계	33444.194	732				

(* : $p < 0.01$)

분산분석 결과 수직거리와 수평거리는 최대근력에 대해 유의함($p < 0.01$)을 알 수 있었다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 인력물자 취급시에 발생할 수 있는 위험성을 평가하기 위한 NLE의 계수 중 수평계수와 수직계수에 따른 최대근력의 변화를 살펴보았다. 이를 위해 수평계수 및 수직계수를 각각 6가지로 설정하여 36가지 조합에 대해 실험한 결과 근력의 변화가 선형적으로 나타났으며, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 수직거리보다 수평거리의 증가에 따른 최대근력의 감소경향이 뚜렷하게 나타났으며, 수직거리보다 수평거리를 줄이는 것이 위험성 저감에 효과적이다.

(2) 수직거리에 따른 최대근력의 변화는 NLE의 수직계수 변화에 따른 권고 하중과 유사한 형태를 취하는 것으로 나타났다.

(3) 수평·수직거리 각각에 대한 최대발휘근력은 유의한 것으로 나타났으나, 수평·수직거리의 교호작용은 유의하지 않은 것으로 나타났다($P<0.01$).

(4) 실험결과 60~70cm 사이에서는 최대근력의 변화가 거의 나타나지 않았으며, NLE의 계수 중 수평계수와 수직계수에 따른 최대근력의 변화를 살펴본 결과 수평거리에 따른 권고하중에 대해서는 한계치를 재조정할 필요가 있을 것으로 사료된다.

아울러, NLE에서 정하고 있는 다른 계수(거리, 비대칭, 빈도, 커플링)들에 대한 영향은 추가연구를 통해 한국인의 특성을 반영한 표준개발이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Bhattacharya, A. and D.J. McGlothlin, Occupational Ergonomics : Theory and Applications, Marcel Dekker, Inc., pp.137-164, 1996.
2. 통계청, “http://kosis.nso.go.kr/cgi-bin/sws_999.cgi”, 2004.
3. Genaidy, A.M., K.M. Bafna, E. Delgado and A. Mhidze, An Ergonomic Study for the Control of Upper Extrimity Cumulative Trauma Disorder in Manufacturing Industry, Advanced in Industrial Ergonomics and Safety II, pp.245-250, 1990.
4. Grandjean, E., Fitting the Task to the Man 4th ed., Taylor & Fancis Ltd., pp.82-99, 1988.
5. 한국산업안전공단, 전문가를 위한 인간공학, pp.17-20, 1999.
6. Kumar, S. and D. Garand, Static Dynamic Lifting Strength at Different Reach Distances in Symmetrical and Asymmetrical Planes, Ergonomics, Vol. 35, No. 7/8, pp.861-880, 1992.
7. 한국산업안전공단, 근로자 요통예방, 1999.
8. 노동부, 2000-2004 산업재해분석, 2005.
9. Waters, T.R. and V. Putz-Anderson and A. Garg, Applications Manual for the Revised NIOSH lifting equation, Cincinnati, OH: DHHS(NIOSH), pp.4-35, 1994.

10. 양성환, 최정화, 박범, 인력물자 취급작업에 있어서의 요추부하 평가에 관한 연구 - 수평거리에 따른 척추기립근의 근전도 변화, 대한설비관리학회, 4(3), pp83-92, 1999.
11. Mital, A., A. S. Nicholson, M. M. Ayoub, A Guide to Manual Material Handling, Taylor & Francis, London, 1997.
12. Kingma, I., H.D. Jaap, L. Michiel, M.T. Huub, D. Patricia and T.M. Chris, Asymmetric Low Back Loading in Asymmetric Lifting Movement is not Prevented by Pelvic Twist, Journal of Biomechanics, 31, pp.527-534, 1998.
13. 양성환, 김종인, 최정화, 박범, 갈원모, 수평거리에 따른 요배근력과 척추기립근의 근전도 변화, Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, Vol.6, No.1 Mar, pp.31-45, 2001.
14. Tzu-Hsien, L., Static Lifting Strengths at Different Exertion Heights, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.34, pp.263-269, 2004.
15. 기도형, 정민근, 들기작업 설계와 평가를 위한 요천추의 Compressive Force 예측모형 비교연구, Journal of the Korean Institute of Industrail Engineering, Vol.21, No.4 December, pp.581-591, 1995.
16. Kroemer K.H.E., Cumulative Trauma Ddisorders : Their Recognition and Ergonomics Measures to Avoid Them, Applied Ergonomics, Vol.20, No.4, pp.274-280, 1989.

17. Putz-Anderson, V., Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Disorders of the Upper Limbs, London, Taylor & Francis, pp.3-24, 1988.
18. Department of Labor, OSHA 200 Log/OSHA 300 Log Form, “http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_toc.html”, 1999.
19. 한국산업안전공단, OSHA Ergonomics Program, pp.574-677, 2001.
20. Joseph, B.S., Corporate Ergonomics Programme at Ford Motor Company, Applied Ergonomics, Vol.34, pp.23-28, 2003.
21. ANSI/HFS100-1988 American National Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations, Santa Monica, CA: Human Factors Society, Inc., 1988.
22. OSHA, “<http://www.osha.gov/SLTC/machineguarding/scope98.html>”, 1998.
23. ASC, ANSI Z-365, Control of Work-Related Cumulative Trauma Disorders, Part 1: Upper Extremities, Working Draft, January, 1996.
24. Cal/OSHA, Begins Enforcing California’s Ergonomic Standard, The Nations First Attempt at Regulating Repetitive Motion Injuries (RMI) in the Workplace. The regulation, Section 5110 of Title 8 of the California Code of Regulations, applies to all California businesses, 1997.

25. Department of Labor, 29 CFR Part 1910 Ergonomics program; Final Rule, Federal Register, November 14, 2000.
26. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 2001, Cincinnati: ACGIH, 2001.
27. Health and Safety Act, code of Practice for Manual Handling 1991, and draft 2000, code of Practice for VDTs, pp.3-22, 2000.
28. EU, "http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!-CELEX_numdoc&lg=EN&numdoc=390L0269&model=guichett", 1990.
29. European Council, "<http://europe.osha.eu.int/data/links/48>", 1990.
30. European Council, "<http://europe.osha.eu.int/data/links/47>", 1990.
31. Health and Safety Executive/Local Authorities Enforcement Liaison Committee(HELA), "<http://www.hse.gov.uk/lau/lacs/16-1.htm>", 1992.
32. National Occupational Health and Safety Commission(NOHS), National Standard for Manual Handling, NOHS, pp.5-11, 1992.
33. OH&S, Victoria Revised OH&S manual handling Regulations 1999 code of practice for manual handling 2000.
34. The Federal Institute for Occupational Safety and Health(FIOSH), "<http://www.baua.de/english/ipublik.htm>", 1996.
35. Göran L., AFS 1998:1 Elanders Gotab 20335, Stockholm, pp.9-38, 1998.

36. Status of Wemen Canada, “http://www.swc-cfc.gc.ca/pubs/0662360565/200403_0662360565_11_e.html”, 1998.
37. Saskatchewan Occupational Health and Safety Regulation, Sections 78 to 82 and 470(first version 1988), pp.78-82, 1996.
38. 노동부, 산업안전보건법, p.9, 2002.
39. 노동부, 산업보건기준에 관한 규칙, pp.39-42, 2003.
40. 노동부, 노동부고시 제2000-71호 영상표시단말기(VDT)취급근로자 작업관리지침, pp.35-49, 2000.
41. 노동부, 노동부고시 제2000-72호 단순반복작업 근로자 작업관리지침, pp.53-65, 2000.
42. 노동부, 노동부고시 제2003-24호 근골격계부담작업의 범위, pp.1-2, 2003.
43. 한국산업안전공단, KOSHA code H-05-1998 직업성 요통예방을 위한 작업관리지침, pp.1-25, 1998.
44. 한국산업안전공단, KOSHA code G-06-1999 인력운반 안전작업에 관한 지침, pp.1-9, 1999.
45. 한국산업안전공단, KOSHA code H-30-2003 근골격계부담작업 유해요인 조사 지침, pp.1-24, 2003.
46. 한국산업안전공단, KOSHA code H-31-2003 사업장 근골격계질환 예방관리프로그램, pp.1-14, 2003.

47. Garg, A. and J. Banaag, Psychophysical and Physiological Responses to Asymmetric Lifting, Trend in Ergonomics/Human Factors V, pp.871-877, 1988.
48. Garg, A. and D. Badger, Maximum Acceptable Weights and Maximum Voluntary Isometric Strengths for Asymmetric Lifting, Ergonomics, Vol. 29, No.7, pp.879-892, 1986.
49. 김상호, 반복적인 들어올리기 작업에서 작업자세와 시간이 근력변화에 미치는 영향, 포항공대, 박사학위논문, pp.122-132, 1995.
50. Chang, S.R., S.W. Park and A. Freivalds, Ergonomic Evaluation of the Effects of Handle Types on Garden Tools, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.24, pp.99-105, 1999.
51. Chang, S.R., Assessment of CTD Risk in Container Crane Control Work, 한국산업안전학회지, Vol.14, No.5, pp.116-119, 1999.
52. 장성록, L5/S1에 걸리는 부하염력과 척추기립근 근전도의 상관관계 분석, 한국산업안전학회지, Vol.10, No.4, pp.103-108, 1995.
53. Dempsey, P.G., A Critical Review of Biomechanical, Epidemiological, Physiological and Psychophysical Criteria for Designing Manual Materials Handling Tasks, Ergonomics, Vol.41, No.1, pp.73-88, 1998.
54. Rohmert, W., P. Zipp, E. Haider and N. Halpern, Keyboard design through physiological strain measurements. Applied Ergonomics, Vol.14, pp.117-122, 1983.

부 록. NIOSH 들기 작업 지침

NIOSH에서는 1981년 들기 작업에 대한 안전작업지침을 발표하였다. 이 지침은 작업장에서 가장 빈번히 일어나는 안전작업무게와 최대허용무게를 제시하여, 들기 작업에서 위험 요인을 찾아 제거할 수 있도록 하였다. 최대허용무게는 안전작업무게의 3배이며 들기 작업을 할 때 요추(L5/S1) 디스크에 650kg 이상의 생체역학적 부하가 부과되는 작업물의 무게이다. 따라서 작업물의 무게가 이 한계를 넘는 들기 작업은 작업자에게 매우 위험하다고 할 수 있다. 안전작업무게는 수평인자와 수직인자 그리고 거리인자, 빈도 인자를 통하여 구할 수 있다. 이 경우 L5/S1 디스크에 350kg의 생체 역학적 부하가 걸리고 이 무게까지는 대부분의 사람이 견디어 낼 수 있으나 이를 넘어가면 허리에 무리가 가해지게 된다. 이 작업지침에서는 안전작업무게와 최대허용무게 사이의 작업에서는 관리적 기법에 의한 작업 개선이 필요하며, 최대허용무게 이상의 작업에 대해서는 공학적 기법에 의한 작업 개선이 필요하다고 제안하고 있다.

1981년에 발표된 들기 작업 지침은 두 손의 대칭형 들기 작업, 제한 조건이 없는 들기 자세, 좋은 커플링 상태, 쾌적한 주위환경 등의 제약 조건을 가지고 있다. 이러한 제약 조건은 실제 작업현장과 차이를 보이기 때문에 이에 대한 보완의 필요성이 높아져 1991년 개정된 들기 작업 지침이 제안되었다.

개정된 들기 작업 공식은 들기 작업에 대한 권장무게한계를 쉽게 산출하도

록 하여 작업의 위험성을 예측하여 인간공학적인 작업방법의 개선을 통해 작업자의 요통을 사전에 예방함을 목적으로 하고 있다. 이 공식은 특정 작업에서의 권장무게한계를 제시하여, 작업장에서 권장무게한계를 넘어서는 경우에는 작업 위치를 바꾸거나, 작업 빈도를 줄여 주거나, 커플링을 좋게 하는 등의 작업 설계의 변화를 통해 근골격계 질환을 예방할 수 있으며, 인간공학적 작업 설계를 위해서도 사용할 수 있다. 또한 공식 자체가 간단하므로 누구나 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다.

1. 용어 정의

(1) 권장무게한계(recommended weight limit, RWL)

권장무게한계는 건강한 작업자가 특정한 들기 작업에서 실제 작업시간 동안 허리에 무리를 주지 않고 요통의 위험 없이 들 수 있는 무게의 한계를 말한다. 권장무게한계는 여러 작업 변수들에 의해 결정된다.

(2) 들기 지수(lifting index, LI)

들기 지수는 실제 작업물의 무게와 권장무게한계의 비(ratio)이며 특정 작업에서의 육체적 스트레스의 상대적인 양을 나타낸다. 즉 들기 지수가 1.0보다 크면 작업 부하가 권장치보다 크다고 할 수 있다. 들기 지수는 다음의 식에 의해 결정된다.

$$LI = \frac{L}{RWL} \quad \text{여기서, L=실제 작업 무게를 말한다.}$$

(3) 작업 변수와 용어 정의

개정된 들기 작업 공식에서 사용되는 작업 변수들의 정의는 다음과 같으며, 각 변수들은 Fig. A1, A2에 나타내었다.

- ① 들기 작업(lifting task) : 들기 작업이란 특정 물건을 두 손으로 잡고 기계의 도움 없이 수직으로 이동시키는 작업을 뜻한다.
- ② 무게(load weight, L) : 작업물의 무게(kg)
- ③ 수평위치(horizontal location, H) : 두 발 뒷꿈치 뼈의 중점에서 손까지의 거리(cm)이며, 도움 없이 들어 수직으로 이동시키는 작업을 뜻한다.
- ④ 수직거리(vertical location, V) : 바닥에서 손까지의 거리(cm)로 들기 작업의 시작점과 종점의 두 군데서 측정한다.
- ⑤ 수직이동거리(vertical travel distance, D) : 들기 작업에서 수직으로 이동한 거리(cm)이다.
- ⑥ 비대칭 각도(asymmetry angle, A) : 정면에서 비틀린 정도를 나타내는 각도이며, 들기 작업의 시작점과 종점의 두 군데서 측정한다. 여기서의 비대칭 각도는 중량물의 위치를 가리키는 값이고 실제의 몸이 비틀린 각도를 나타내는 것은 아니다.
- ⑦ 들기 빈도(lifting frequency, F) : 15분 동안의 평균적인 분당 들어올리는 횟수(회/분)이다. 들기 빈도는 적어도 15분간 작업을 관찰해서 구하는 것

이 기본이지만, 빈도가 일정하지 않은 경우에는 보다 긴 시간의 관찰로 구할 필요가 있다.

- ⑧ 커플링 분류(coupling classification, C) : 커플링이란 드는 물체와 손과의 연결상태를 말한다. 즉 물체를 들 때 미끄러지거나 떨어뜨리지 않도록 하는 손잡이 등의 상태를 말한다. 커플링의 분류는 좋다(good), 괜찮다(fair), 나쁘다(poor)의 3등급으로 나뉜다.

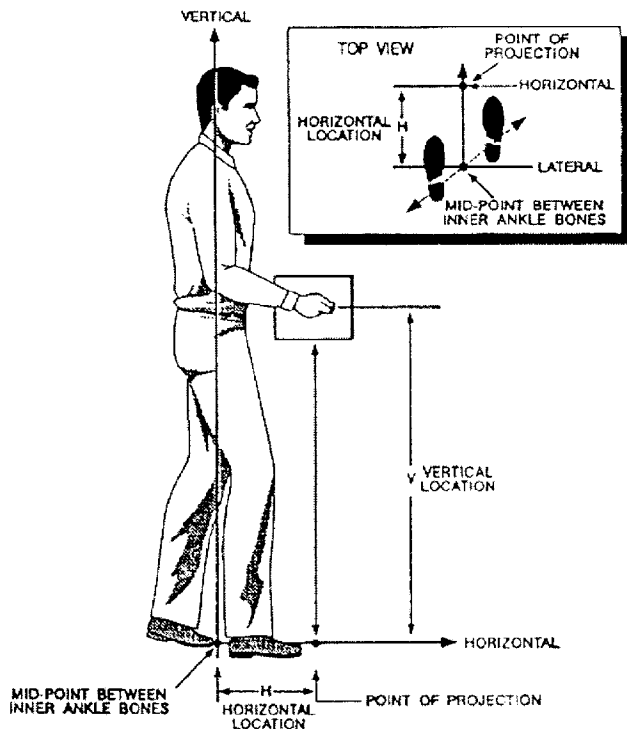


Fig. A1. Graphic representation of hand location

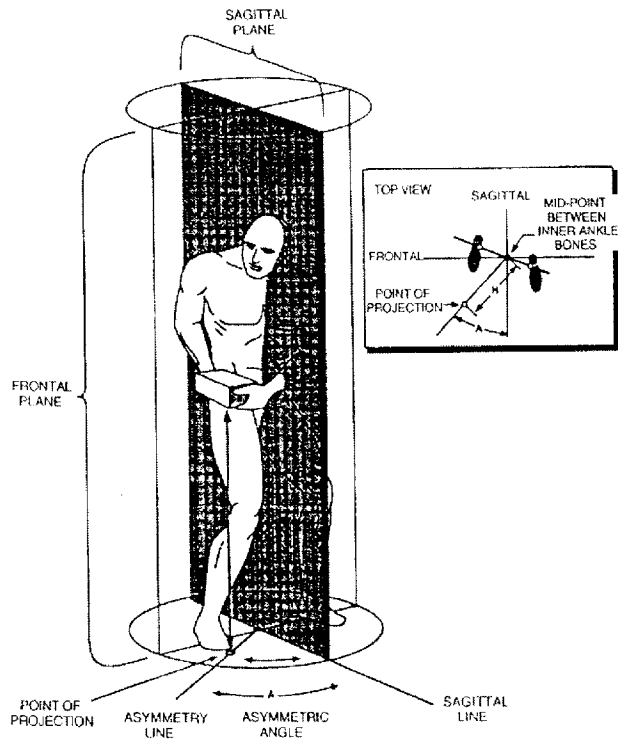


Fig. A2. Graphic representation of angle of asymmetry

2. 각 계수의 개요

들기 작업 공식은 다음과 같다.

$$RWL(kg) = 23 \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

처음의 23kg이라는 숫자는 최적의 환경에서 들기 작업을 할 때의 최대 허용 무게이다. 여기서 최적의 환경이란 허리의 비틀림 없이 정면에서 들기 작업을 가끔씩 할 때($F < 0.2$), 작업물이 작업자 몸 가까이에 있으며($H = 15\text{cm}$), 수직위치(V)는 75cm, 작업자가 물체를 옮기는 거리의 수직이동거리(D)가 25cm 이하이며 커플링이 좋은 상태이다. 그리고 나머지 계수들은 모두 1보다 작은 값을 갖도록 하여 각 요인이 권장무게한계에 미치는 영향을 알 수 있도록 하였다.

(1) 수평 계수(Horizontal multiplier, HM)

수평 계수는 수평거리(H)를 권장무게한계에 고려하기 위한 계수로 다음의 식과 같이 구할 수 있으며, 25cm보다 작을 경우는 1이다. 또한 63cm를 초과할 경우 수평 계수는 0이 된다. 여기에서 25cm는 작업자가 물체를 몸에 가장 가깝게 할 수 있는 최소 수평거리이고 63cm는 체구가 작은 사람이 물체를 최대한 멀리 잡고 들 수 있는 수평거리를 기준으로 하였다.

$$HM = \frac{25\text{cm}}{H}$$

(2) 수직 계수(Vertical multiplier, VM)

수직 계수는 작업자와 물체 사이의 수직거리(V)를 권장무게한계에 고려하기 위한 계수로 다음의 식과 같이 구할 수 있다. 역학적인 분석에 의하면 들기 작업을 하는 동안 요추에 걸리는 스트레스는 물체를 바닥에서 들 때 증가하는 것이며 바닥에 있는 물체를 들 때 요통 발생 비율이 크다. 따라서 수직 거리가 적으면 그 만큼 무게를 줄여 주어야 한다. 75cm 이상인 높이에서 물건을 들기 시작할 때에는 다시 정신물리학적 스트레스가 감소하기 때문에 75cm를 기준값으로 정하였다. 그리고 수직거리가 175cm를 초과할 경우에는 수평 계수는 0이 된다.

$$VM = 1 - (0.003 | V - 75 |)$$

(3) 거리 계수(Distance multiplier, DM)

거리 계수는 물체를 이동시킨 수직거리(D)를 권장무게한계에 고려하기 위한 계수로서 다음의 식과 같이 구할 수 있으며, 25cm보다 작을 때는 1이고 175cm보다 클 경우에는 0이다.

$$DM = 0.82 + \left(\frac{4.5}{D} \right)$$

(4) 비대칭 계수(Asymmetry multiplier, AM)

비대칭 계수는 1981년 NIOSH 들기작업지침에서는 전혀 고려되지 않았던 요소이다. 이전의 공식에서는 시상면에서 대칭적인 들기 작업에 대한 평가만을 할 수 있었으며, 비대칭적으로 일어나는 들기 작업에 대한 고려는 전혀 없었다. 그러나 개정된 공식에서는 권장무게한계에 비대칭 계수를 고려하였다. 비대칭 계수는 다음의 식으로 구할 수 있으며 135°가 넘을 경우는 0이다.

$$AM = 1 - 0.0032A$$

(5) 빈도 계수(Frequency multiplier, FM)

빈도 계수는 수학적인 식을 사용하지 않고, Table A1과 같이 분당 물체를 드는 횟수에 따라 값을 주었다. 들기 빈도(F)는 적어도 15분간 작업을 관찰해서 구하는 것이 기본이지만, 빈도가 일정하지 않을 경우에는 보다 긴 시간동안 관찰할 필요성이 있다. 빈도가 다른 작업이 조합되어 있는 경우는 그것을 해석하는 것이 마땅하지만, 전체적인 평균 빈도를 이용하여 해석하는 것도 가능하다. 들기 빈도 F가 0.2회/분 보다 작은 경우에 있어서는 F는 0.2회/분으로 한다. F가 거의 없는 0.1회/분인 경우는 충분히 긴 휴식 시간이 포함되어 있으므로 작업 시간 LD가 1시간 이하의 분류($LD \leq 1$ 시간)의 빈도 계수($FM \geq 1.00$)를 항상 이용한다. 표에 값이 없는 경우는 근방의 값으로부터 직선보간법을 이용하여 구한다.

Table A1. Frequency multiplier

들기빈도 F(회/분)	작업 시간 LD(Lifting Duration)					
	LD ≤ 1시간		1시간 ≤ LD ≤ 2시간		2시간 < LD	
	V < 75cm	V ≥ 75cm	V < 75cm	V ≥ 75cm	V < 75cm	V ≥ 75cm
< 0.2	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27
7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
> 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(6) 커플링 계수(Coupling multiplier, CM)

커플링 계수는 비대칭 계수와 마찬가지로 1981년 NIOSH 들기작업지침에서는 전혀 고려되지 않았던 요소이다. 커플링은 물체를 들 때에 미끄러지거나 떨어뜨리지 않도록 손잡이 등이 좋은지를 권장무게한계에 반영한 것이다. 물체가 다소 가볍더라도 손잡이가 없어서 자꾸 미끄러진다가거나 드는 중량물이 부정형이라서 손으로 들기 불편한 경우에는 커플링 계수가 1보다 작게 되어서 권장무게한계도 작아지게 된다. 커플링은 크게 ‘좋다’, ‘괜찮다’, ‘나쁘다’ 3가지로 구분되며, Table A2를 이용해서 구할 수 있다.

- ① 좋다 : 최적으로 설계된 용기(상자 또는 운반용 나무상자 등)를 사용하면서, 최적의 손잡이나 손을 넣을 수 있는 용기 형태인 경우는 이것으로 분류한다. 또는 용기에 넣어 운반하지 않을 것 같은 원재료 등이나 부드러운 물건, 부정형의 물건을 사용하면서 그것을 손으로 싸거나 잡아서 드는 것이 용이하면 이것으로 분류한다.
- ② 괜찮다 : 최적으로 설계된 용기를 사용하면서, 손잡이가 보통이거나 손을 넣을 수 있는 용기가 최적이 아니면 이것으로 분류된다. 손잡이가 보통이거나 손을 넣을 수 있는 용기가 아니거나, 부드러운 물건 또는 부정형의 물건을 사용하면서, 손을 용기의 밑에 넣어 거의 90°이상 굴곡시킬 수 있다면 이것으로 분류된다.
- ③ 나쁘다 : 최적으로 설계되지 않은 용기, 부드러운 물건 등이 부피가 크고,

들기 힘들고, 각이 날카로운 물건의 경우에 이것으로 분류하고, 딱딱하지
않아서 들면 한 가운데가 튀어나와 버리는 것 같은 물건도 이것으로 분류
된다.

Table A2. Coupling multiplier

결합타입	수직위치 V	
	V < 75cm	V ≥ 75cm
좋다	1.00	1.00
괜찮다	0.95	1.00
나쁘다	0.90	0.90

Maximal acceptable lifting loads of Korean according to horizontal and vertical distances

Young-Il Kwon

Department of Safety Engineering, Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract

The purpose of this paper was to evaluate the effectiveness of horizontal & vertical multipliers for manual material handling. Lifting tasks with 5 different horizontal distances (30cm ~ 70cm) for 6 vertical distances(ankle, knee, waist, elbow, shoulder and head height) were experimented.

From the experiment, following results were obtained.

(1) Decreasing trend of MVC for horizontal distance appeared to the linear. The increase of the horizontal distance is clearer than the vertical distance.

(2) The degrade tendency did not appeared almost in 60~70cm

intervals's horizontal distance.

(3) As a result of ANOVA, MVC paid attention to horizontal and vertical distance but cross effect was insignificant($p < 0.01$).

(4) The change of the MVC according to the horizontal, vertical distance appeared similar form of RWL.

감사의 글

대학원 과정에서부터 본 논문이 완성되기까지 부족한 점이 많았던 저에게 아낌없는 지도편달과 각별한 관심으로 아껴주신 장성록 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다. 아울러 바쁘신 와중에도 본 논문을 심사하시며 세심한 검토와 많은 가르침을 주신 권오현 교수님, 최재욱 교수님께도 깊은 감사를 드리며, 학문에 대한 열정과 최선의 노력을 다하는 길을 가르쳐 주신 이내우 교수님, 이동훈 교수님, 박외철 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

대학원 과정을 무사히 마칠 수 있도록 물심양면으로 지원해 주신 김철석 국장님, 직장생활에서 격려와 배려를 아끼지 않으신 회사 동료들 및 전직 대학원강업 회사동료들인 이상욱, 안충효, 서성재, 윤현진, 김홍두 등 도움을 주신 분들께 깊은 감사를 드립니다.

또한 연구를 위해 많은 도움을 준 배동철 선생 및 인간공학 실험실 후배들에게 감사의 뜻을 전합니다.

직장생활과 학문을 병행하면서 힘들어 할 때마다 변함없는 사랑과 믿음으로 내조한 아내 정선주와 사랑하는 딸 희은, 지은이와 처형 등 모든 가족들에게 이 작은 결실이 기쁨과 보람이 되길 바라며, 저에게 용기와 희망을 주신 모든 분들께 이 논문을 작은 보답으로 올립니다.

2005년 7월

권 영 일