

공학석사 학위논문

들기작업시 답단의 높이와 발목간
거리가 최대발휘근력에 미치는 영향에
관한 연구



2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

안 전 공 학 과

부 영 남

工學碩士 學位論文

들기작업시 답단의 높이와 발목간
거리가 최대발휘근력에 미치는 영향에

관한 연구

指導教授：張 聖 祿

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함.

2015年 2月

釜 慶 大 學 校 大 學 院

安 全 工 學 科

부 영 남

夫榮男의 工學碩士 學位論文을
認准함

2015 年 2 月



主 審 工學博士 權 五 憲 (인)

委 員 工學博士 李 彰 峻 (인)

委 員 工學博士 張 聖 祿 (인)

목 차

제 1 장 서론	1
1.1 연구의 필요성	1
1.2 연구의 목적	8
제 2 장 배경 이론	9
2.1 근골격계질환의 개요	9
2.2 최대발휘근력(Maximum Voluntary Contraction, MVC)	11
제 3 장 실험방법 및 절차	12
3.1 연구 가설	12
3.2 피실험자 선정	13
3.3 실험기기	14
3.4 실험변수	15
3.4.1 독립변수	15
3.4.2 종속변수	17
3.4.3 통제변수	17
3.5 실험절차	18

3.5.1 최대발휘근력 측정	18
제 4 장 연구 결과	21
4.1 최대발휘근력 측정 결과	21
4.2 NMVC 분석 결과	27
4.3 통계분석 결과	31
4.3.1 분산분석 결과	31
4.3.2 상관관계 분석 결과	32
4.3.3 주효과도 분석 결과	33
4.3.4 최대발휘근력 예측을 위한 회귀모형	34
제 5 장 결론 및 고찰	35
참고 문헌	40
부록	44

표 목차

Table 1. Occupational disorders for 10 years (2003-2012)	3
Table 2. The means and standard deviations (SD) of the participants' anthropometric characteristics	13
Table 3. Ideal state of NLE	17
Table 4. MVC values (Distance between ankles: 0cm)	22
Table 5. MVC values (Distance between ankles: 25cm)	24
Table 6. MVC values (Distance between ankles: 50cm)	26
Table 7. NMVC values (Distance between ankles: 0cm)	28
Table 8. NMVC values (Distance between ankles: 25cm)	29
Table 9. NMVC values (Distance between ankles: 50cm)	30
Table 10. Result of ANOVA	31
Table 11. Result of correlation analysis	32
Table A1. Frequency multiplier	55
Table A2. Coupling multiplier	57

그림 목차

Fig. 1 Occupational disorders for 10 years (2003-2012)	4
Fig. 2 Risk factors related to LBP by behavior	5
Fig. 3 Lifting in unbalanced posture of lower body	7
Fig. 4 Digital Dynamometer	14
Fig. 5-1 Height of Stair	16
Fig. 5-2 Distance between Ankles	16
Fig. 6 Working Postures	19
Fig. 7 Main effect in NMVC	33
Fig. A1 Graphic representation of hand location	48
Fig. A2 Graphic representation of angle of asymmetry	49

A Study on Measure of Maximum Voluntary Contraction at Different Lifting Posture

Young Nam Boo

Department of Safety Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Despite most of tasks in manufacturing, construction and agriculture, etc., were currently mechanized and automated, manual materials handling still existed in atypical working condition. In case of manual materials handling, repetitive work, inappropriate working posture, excessive force, contact stress might cause overload, which could lead to work-related musculoskeletal disorders and low back pains. The objective of this study was to reveal the effects of various lifting postures of height of stair and distance between ankles on maximum voluntary contraction(MVC) and to provide scientific data for establishing safety standard for Korean workers.

Forty-four subjects were recruited from a university population. The experiment was designed by a combination of three height of

stair (0cm, 10cm, 20cm) and three distance between ankles(0cm, 25cm, 50cm). The results of MVC was decreased according to the change of working posture. Also, Interaction between height of stair and distance between ankles was revealed.

This study indicated that the lifting in unbalanced posture of lower body affects the MVC and a physical work load. Therefore, appropriate safety standards for the lifting in unbalanced posture of lower body are needed.



제 1 장 서 론

1.1 연구의 필요성

현재 자동차, 선박, 중공업 등의 제조업, 건설업의 산업현장 및 농업, 서비스업 등에서 대부분의 작업들이 기계화 및 자동화 되었음에도 불구하고 아직 까지 많은 작업들이 과도한 인력운반(Manual Materials handling, 이하 MMH) 작업에 의존하고 있다. 인력운반작업이란 기계나 동력기구의 도움없이 작업자가 자신의 근력을 이용하여 중량물을 들어올리거나 내리고, 밀거나 당기는 동작을 통해 원하는 장소까지 운반하는 작업을 지칭한다. 인력운반작업의 경우 반복작업, 부적절한 작업자세, 무리한 힘, 접촉스트레스 등에 따라 과부하가 발생할 수 있으며, 이로 인해 작업관련 LBP을 포함한 근골격계질환을 유발할 수 있는 문제점을 내포하고 있다. 이러한 근골격계질환은 여전히 작업시간의 손실, 비용의 증가, 작업자에 대한 신체장애를 야기하는 중대한 원인으로 여겨지고 있다. 인력운반작업은 최근 30년간 인간공학을 비롯한 관련분야에서 가장 활발히 연구되어온 주제 중 하나인데, 이는 인력운반작업 시 과도한 중량물의 취급, 작업과정에서 반복적으로 발생하는 몸통부위의 비틀림, 구부림 등이 LBP을 유발하는 주원인으로 알려져 있기 때문이다¹⁾.

LBP(low back pain, 이하 LBP)은 요추와 그 주변의 근육, 건, 인대, 추간

판, 연골, 신경 등에 이상이 발생되어 통증이나 기능저하를 나타내는 질환이다. LBP는 인류의 약 60~90%가 일생에 한 번 이상 경험하며, 전체 LBP의 37%가 작업에 의해 기인된다²⁾. 그리고 작업관련 LBP은 치료 및 업무복귀까지의 과정에서 가장 많은 비용부담을 유발하는 업무상질병 요양 대상 질환 중 하나이며, 재발률도 높다^{3,4)}. 직업성 LBP의 물리적 위험요인은 무리한 동작, 부적합 자세, 반복 동작, 전신진동이 포함되며, 일부 연구자들은 들기 또는 중량물취급 작업을 포함하기도 한다³⁾.

한국산업안전보건공단이 발표한 2012년도 산업재해원인조사보고서에 따르면 전체 업무상 질병자수는 7,472명이며, 이 중 근골격계질환자수는 총 5,972명이고, 그 중 LBP관련 근골격계질환자수는 3,792명이었으며 전체 근골격계질환자의 63.5%로 아주 높은 비율을 보이고 있다⁵⁾. Fig. 1은 최근 10년간 업무상 질병자와 근골격계질환자, 그리고 LBP질환자수를 나타내고 있다⁶⁾.

Table 1 Occupational disorders for 10 years (2003–2012)

	Work-related disorders	Musculoskeletal disorders	Low back pain disorders	Percentage of LBP (%)
2003	8,640	4,439	1,521	34.3
2004	7,375	3,597	1,086	30.2
2005	5,786	2,636	1,023	38.8
2006	8,984	6,143	4,857	79.1
2007	9,493	6,903	5,606	81.2
2008	7,969	6,176	4,933	79.9
2009	7,941	6,626	4,879	73.6
2010	6,080	4,894	3,624	74.0
2011	7,247	5,655	3,724	65.9
2012	7,472	5,972	3,792	63.5

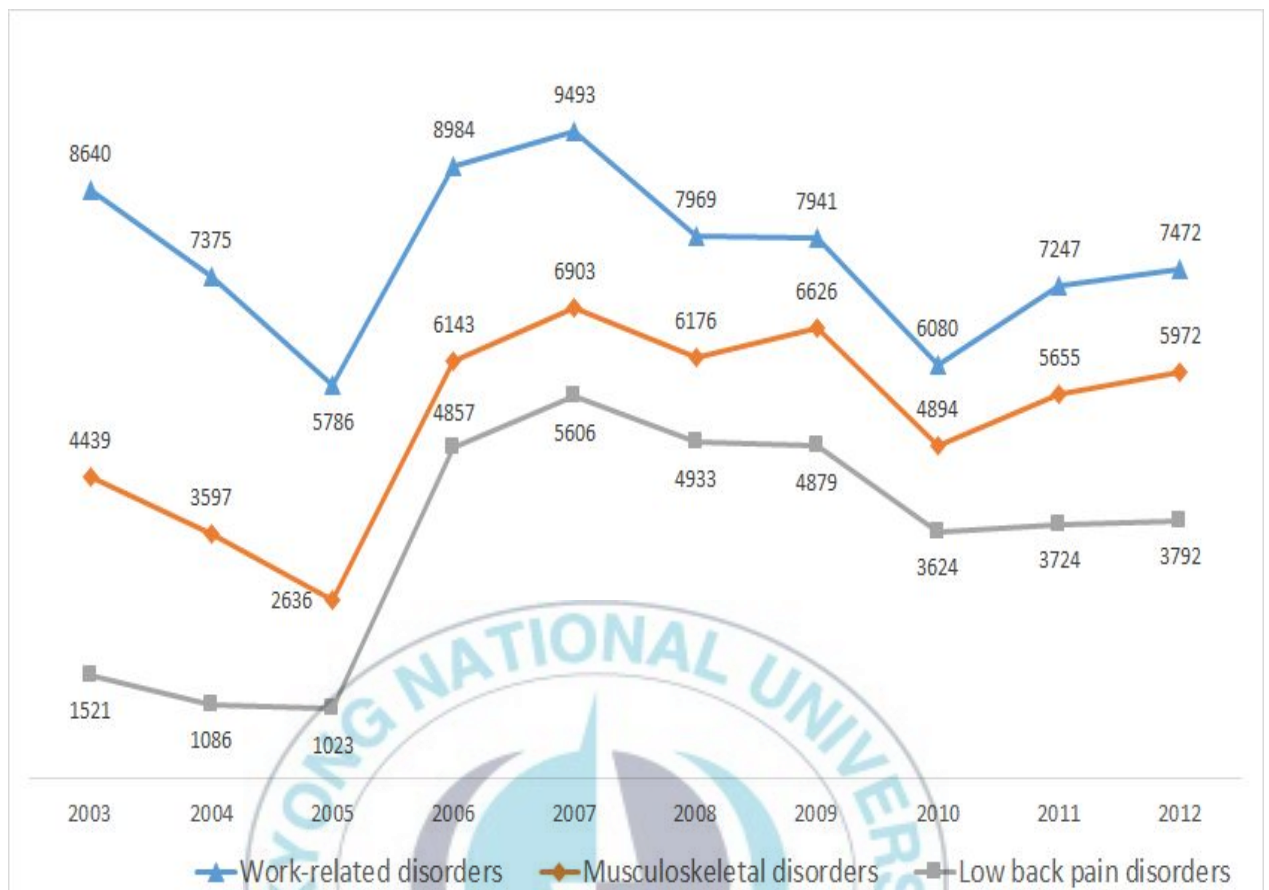


Fig. 1 Occupational disorders for 10 years (2003–2012)

미국의 경우에도 520만명의 재해자 중 24.2%가 허리 부상의 영향을 받고 있으며, 이러한 허리 부상은 작업자들의 장기결근의 주요한 원인이 되고 있다⁷⁾.

산업현장에서 LBP의 발생원인은 다양하나 2012년 근골격계질환(LBP) 유발 행위별 질병자 현황을 분석한 결과 Fig. 2와 같이 들기/놓기 작업이 LBP의 가장 큰 요인으로 나타났다⁶⁾.

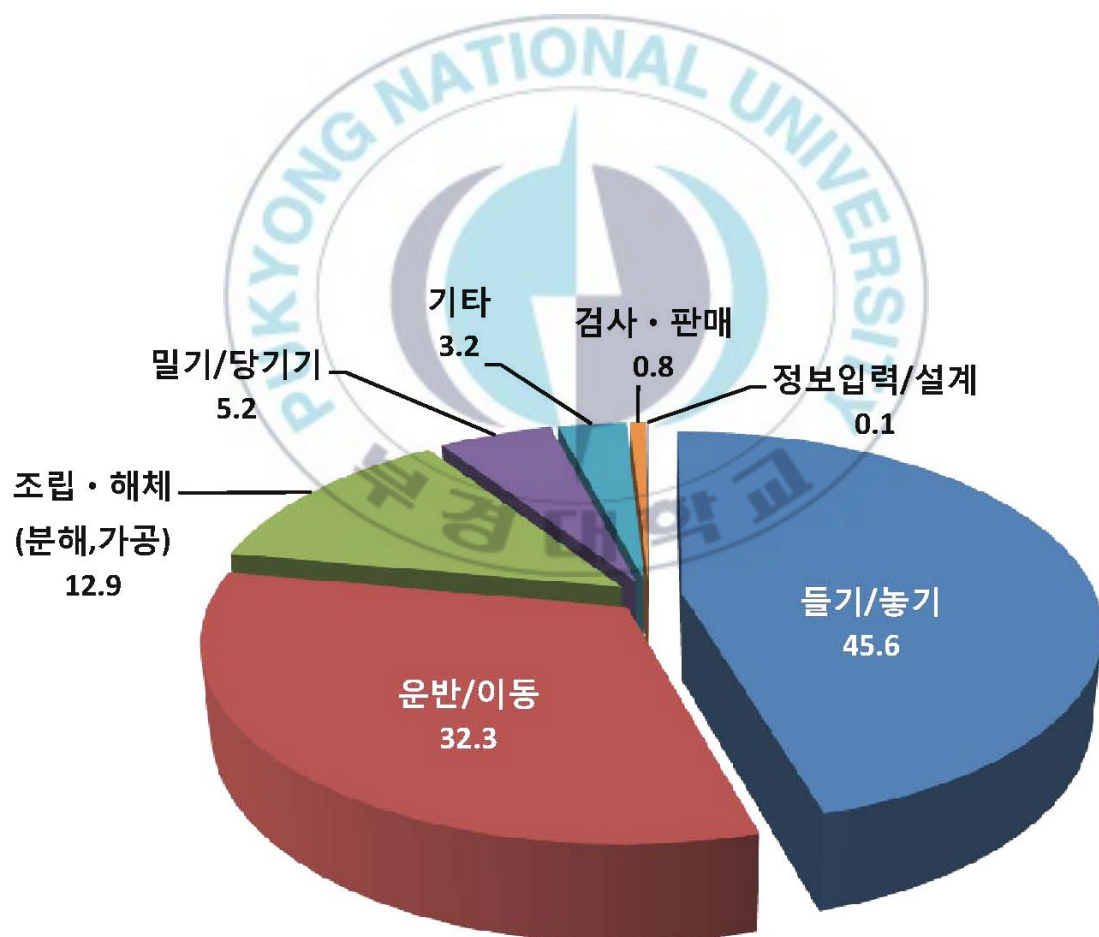


Fig. 2 Risk factors related to LBP by behavior

이러한 LBP재해를 예방하기 위해 미국의 경우 생리학적, 역학적, 생체역학적, 심물리학적 연구 방법들을 이용하여 여러 가지 조건에서의 들기 작업에 대한 많은 연구가 이루어 졌으나, 이는 모두 서양인을 대상으로 실험하였기 때문에 자료 또한 서양인을 기준으로 한 자료라 할 수 있다⁸⁻¹³⁾. 그리고 현재 우리나라의 경우 들기 작업에 대한 안전 기준을 미국의 국립산업안전보건연구원(National Institute of Safety & Health, 이하 NIOSH)의 기준을 사용하고 있지만, 이러한 기준은 우리나라 작업자들이 현장에서 많이 취하고 있는 하체 불균형 자세 즉, Fig. 3과 같이 팔레트를 이용한 상·하역 작업 또는 대차 작업, 작업장소의 협소함, 기타 환경적인 요인에 의해 작업자의 왼발과 오른발의 발판높이가 서로 다른 자세에서의 들기 작업에 대한 내용은 포함하고 있지 않다. 따라서 이러한 기준이 한국인의 작업 특성에 적합한 안전 기준인지에 대한 연구가 부족한 상황이며 이를 뒷받침하기 위해서는 좀 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

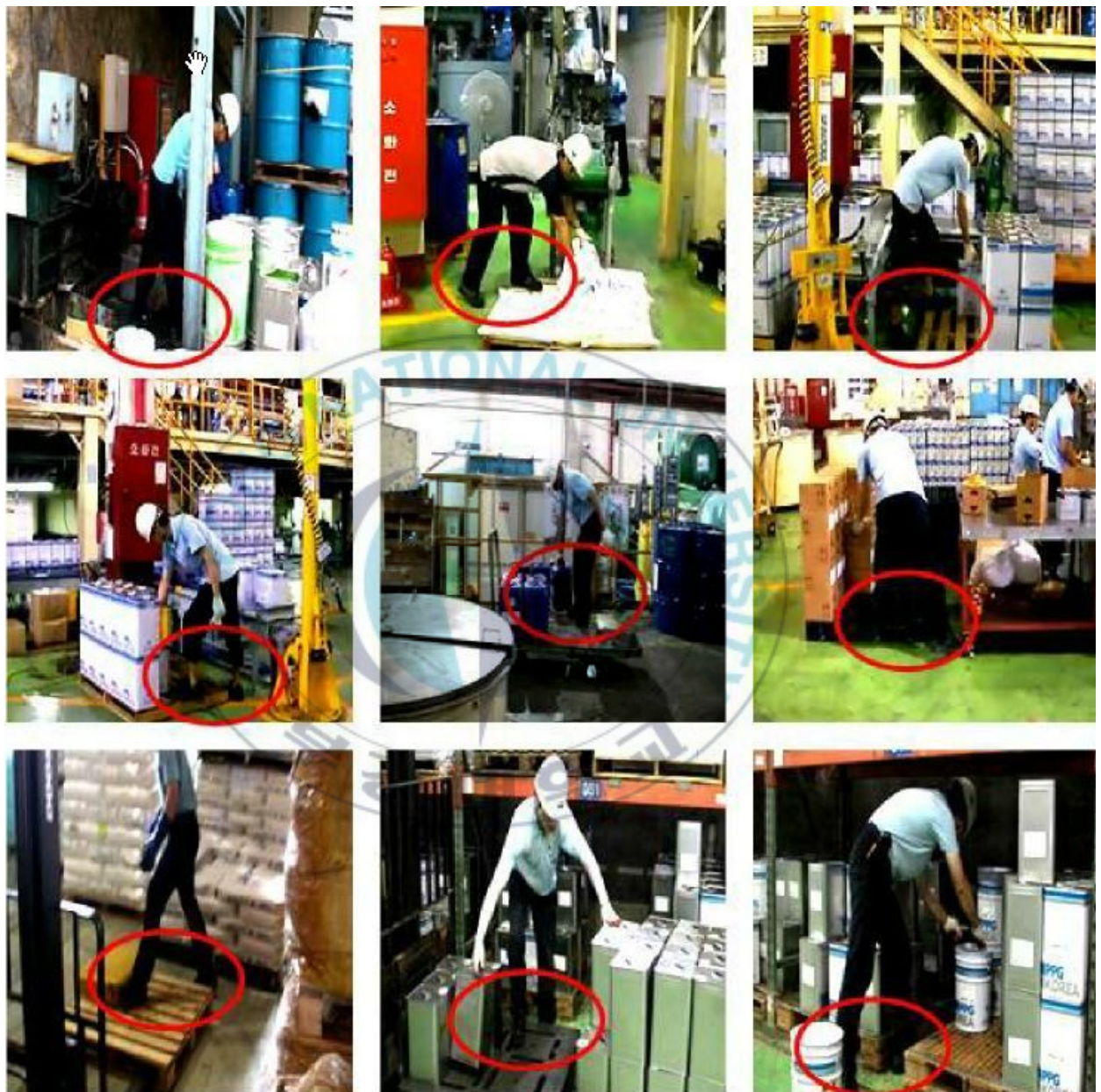


Fig. 3 Lifting in unbalanced posture of lower body

1.2 연구의 목적

인력에 의한 중량물 취급(MMH)으로 인한 작업관련 LBP재해는 전체 근골격계질환에서 많은 부분을 차지하고 있다. 이러한 직업성 LBP재해를 예방하기 위해 현재 대부분의 산업현장에서는 들기 작업에 대한 안전기준으로 NIOSH의 기준을 적용하고 있다. 하지만, NIOSH 기준은 우리나라의 산업현장에서 작업 중 빈번하게 발생하는 왼발과 오른발의 발판높이와 폭이 다른 하체 불균형 자세에서의 들기 작업에 대한 내용은 포함하고 있지 않다. 이처럼 인력에 의한 중량물 취급(MMH)의 기준과 가이드라인을 대부분 외국의 가이드라인을 수정 없이 채용함으로써 국내의 산업현장에 적용 시 항상 그 적절성에 대한 문제가 지적되어 인력에 의한 중량물 취급(MMH)으로 인한 직업성 LBP의 예방에 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 하체 불균형 자세에서 들기 작업을 수행하는 경우 작업자의 작업능력 및 근육활동의 변화에 대해 알아보기 위해 답단의 높이와 발목간의 거리에 따른 최대발휘근력(Maximum Voluntary Contraction, 이하 MVC)을 측정하였다. 이를 통해 하체 불균형 자세가 작업자의 최대발휘근력에 미치는 영향을 분석하여 하체 불균형 자세에서의 들기 작업에 대한 적합한 안전기준의 기초자료를 제시하고자 한다.

제 2 장 배경 이론

2.1 근골격계질환의 개요

근골격계질환이란 인체의 근골격계에 과도한 부하가 반복적이고 지속적으로 가해질 때 근육, 인대, 건, 신경 등에 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 나타내며 작업시간의 손실, 비용증가, 신체장애를 초래하는 주요 원인으로 대두되고 있다^{7,13)}. 우리나라 산업안전보건법 산업보건기준에 관한 규칙 제9장 근골격계부담작업으로 인한 건강장해예방편 142조에서 정의한 근골격계질환은 반복적인 동작, 부적절한 작업자세, 무리한 힘의 사용, 날카로운 면과의 신체접촉, 진동 및 온도 등의 요인에 의하여 발생하는 건강장해로서 목, 어깨, 허리, 상지 및 하지의 신경, 근육 및 주변조직에 나타나는 질환을 말한다.

미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 근골격계질환에 대한 증상기준으로 ‘적어도 1주일 이상 또는 과거 1년간 적어도 한 달에 한 번 이상 지속되는 상지의 관절부위(목, 어깨, 팔꿈치 및 손목)에서 하나 이상의 증상들(통증, 쭉시는 느낌, 뻣뻣함, 화끈거리는 느낌, 무감각, 저림 등)이 존재하고, 동일한 신체 부위에 유

사질병과 사고, 병력이 없으며 증상이 현재의 작업으로부터 시작되는 경우, 그리고 유럽연합의 공동연구에서는 현재의 증상이 존재하거나 지난 7일 중 4일 이상 지속되는 경우를 근골격계질환의 가능성이 높다고 인정하고 있다.

일본산업위생학회에서는 종래의 정형외과에서 병리적 질병개념으로 사용하는 “경견완증후군(經肩腕症候群)”과 구별하여 경견완장해(經肩腕障害)를 노동부담의 관점에서 명명한 원인론적 질병개념으로서 장기간에 걸쳐서 누적된 육체적 및 정신적 노동부담이 복합적으로 작용하여 유발되는 산업의학적 특징을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 근골격계질환의 일종인 직업적 경견완장해 때문에 1970년대 초기에 이미 많은 피해가 발생했던 일본에서는 산업 위생학회가 신속히 그 대책을 연구하기 시작하였다¹⁵⁾.

2.2 최대발휘근력 (Maximum Voluntary Contraction, MVC)

근육의 수축활동은 근육에 긴장을 일으키며 이러한 근육은 다양한 방법으로 수축한다. 등척성 수축(isometric contraction)은 수축하는 동안 근육의 길이가 변하지 않는다. 본 실험에서 사용된 근육의 MVC는 모두 등척성 수축 상태에서 이루어졌다. 등척성은 때때로 정적 수축과 같은 의미로 사용된다. 이에 반해 근육의 길이가 변화하는 등장성 수축(isotonic contraction)은 동적 수축으로 불린다. 등장성 수축은 지속적인 간격의 힘을 생성하며, 근육이 짧아지는 특징이 있다. 일정한 하중이나 저항을 가지는 동적활동으로 정의한다. 사실상 하중이 변하기 때문에 순수한 의미의 등장성 수축은 드물다. 근육은 등장성 수축보다 등척성 수축이 더 큰 힘을 형성할 수 있다. 편심성 수축(eccentric contraction)은 외부의 힘이 내부의 힘보다 강한 경우를 말하며 근육이 긴장을 유지하는 동안은 길어지는 특징이 있다. 편심성 수축을 하는 근육은 초기상태로 돌아가지 못하며 등척성 수축보다 더 큰 인장력을 가진다. 그러나 이러한 상태에서는 근육이 파열할 위험이 있다. 다른 형태의 수축으로는 등속성 수축(isokinetic contraction)이 있으며, 이는 최근에 힘을 측정하는 방법과 운동요법으로 각광받고 있다. 지속적인 속도로 관절의 동작범위 내에서 수행되는 것을 의미한다¹⁶⁾.

본 연구에서는 특정 작업자세에서 등척성 수축으로 발휘한 최대값을 MVC로 정의한다.

제 3 장 실험방법 및 절차

3.1. 연구 가설

본 연구의 가설은 다음과 같다.

1. 들기 작업 시 답단의 높이수준과 발목간 거리수준의 변화는 최대발휘근력(Maximum Voluntary Contraction, 이하 MVC)에 영향을 미칠 것이다.
2. 들기 작업 시 최대발휘근력에 영향을 미치는 답단의 높이와 발목간 거리 사이에는 교호작용(두 요인간의 상호 간섭작용)이 있을 것이다.

3.2 피실험자 선정

본 연구에서는 과거 LBP이나 근골격계 및 신경계통의 병력이 없고 산업현장에서 육체노동과 같은 작업 경험이 없는 건강한 남자 대학생을 대상으로 실험을 실시하였다. 피실험자들의 개인적 신체 특성이나 컨디션의 차이 등에 의한 실험결과의 편차를 줄이기 위해 과거 많은 인간공학 관련 연구에서는 피실험자의 수를 최소 30명으로 결정하여 실험을 하였다^{17,18)}. 따라서 본 실험에서도 이러한 영향을 최소화하기 위해 과거에 근골격계질환 등의 병력이 없는 피실험자 44명을 선정하였다.

피실험자의 선정 시 오른손을 주로 사용하는 사람을 선정하였으며 실험에 참여한 피실험자들의 인체특성 자료를 정리한 결과, 연령은 평균 25.4 ± 0.9 세, 신장은 평균 176.1 ± 4.0 cm, 체중은 평균 70.1 ± 7.1 kg으로 나타났다.

Table 2 The means and standard deviations (SD) of the participants' anthropometric characteristics

Anthropometric characteristics	Mean	SD
Age (yrs)	24.4	0.9
Height (cm)	175.1	4.0
Weight (kg)	70.1	7.1

3.3 실험기기

본 실험에서 사용된 실험장비는 다양한 자세에서 최대발휘근력의 측정을 위해 Digital Dynamometer(제작사 : Takei KiKi Kogyo, 모델명 : Takei DD1999)를 사용하여 실험을 수행하였다. 이 기기는 피실험자가 발휘하고 있는 힘을 피실험자나 실험자가 쉽게 확인할 수 있도록 스트레인게이지에 작용하는 힘을 디지털로 나타내게 되며, 1.999~1999kg까지 0.1kg 단위로 측정이 가능하다.

Digital Dynamometer의 제원은 최대 300kg까지의 악력, 펀치력, 요배근력 등을 측정할 수 있으며, 본 실험에서는 상완 근육의 0~100kg까지 측정할 수 있는 장비를 사용하였다.



Fig. 4 Digital Dynamometer

3.4 실험변수

3.4.1 독립변수

본 연구에서는 독립변수를 다음과 같이 설정하였다.

답단의 높이 : 실제 현장에서 사용되는 파렛트와 작업발판의 높이를 측정한 결과 파렛트의 높이는 약 10cm, 작업발판의 높이는 약 10~20cm로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 답단의 높이를 0cm, 10cm, 20cm의 세 가지 수준으로 설정하였다.

발목 사이의 거리 : NIOSH Lifting Equation(이하, NLE)에서는 들기 작업 시 최적의 수평거리를 25cm로 정의하고 있다¹⁹⁾. 따라서 본 연구에서도 수평거리를 25cm로 유지하기 위해 발목 사이의 거리를 0cm, 25cm, 50cm의 세 가지 수준으로 설정하였다.

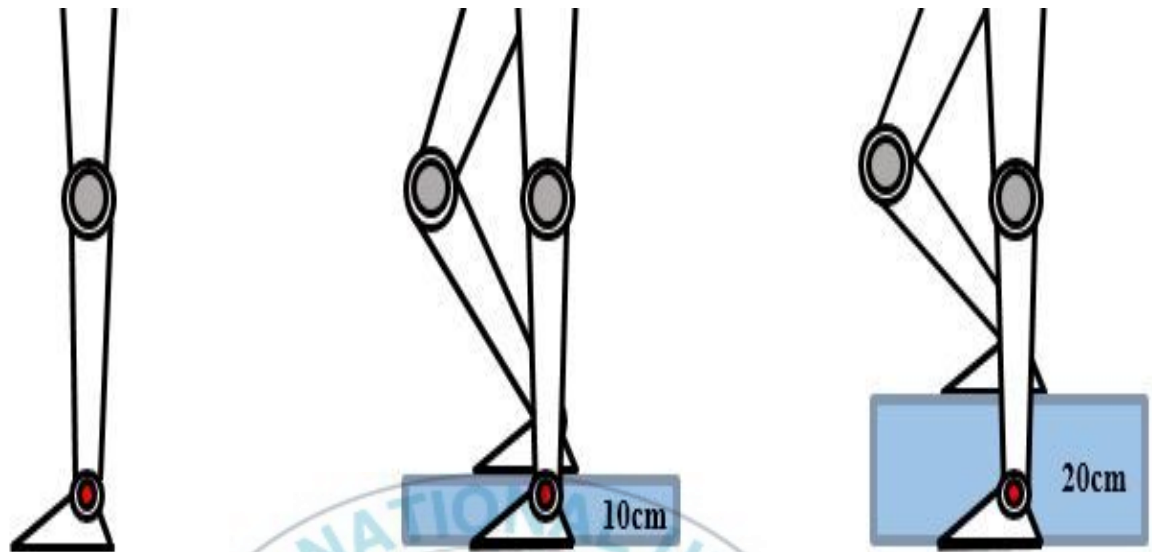


Fig. 5-1 Height of Stair

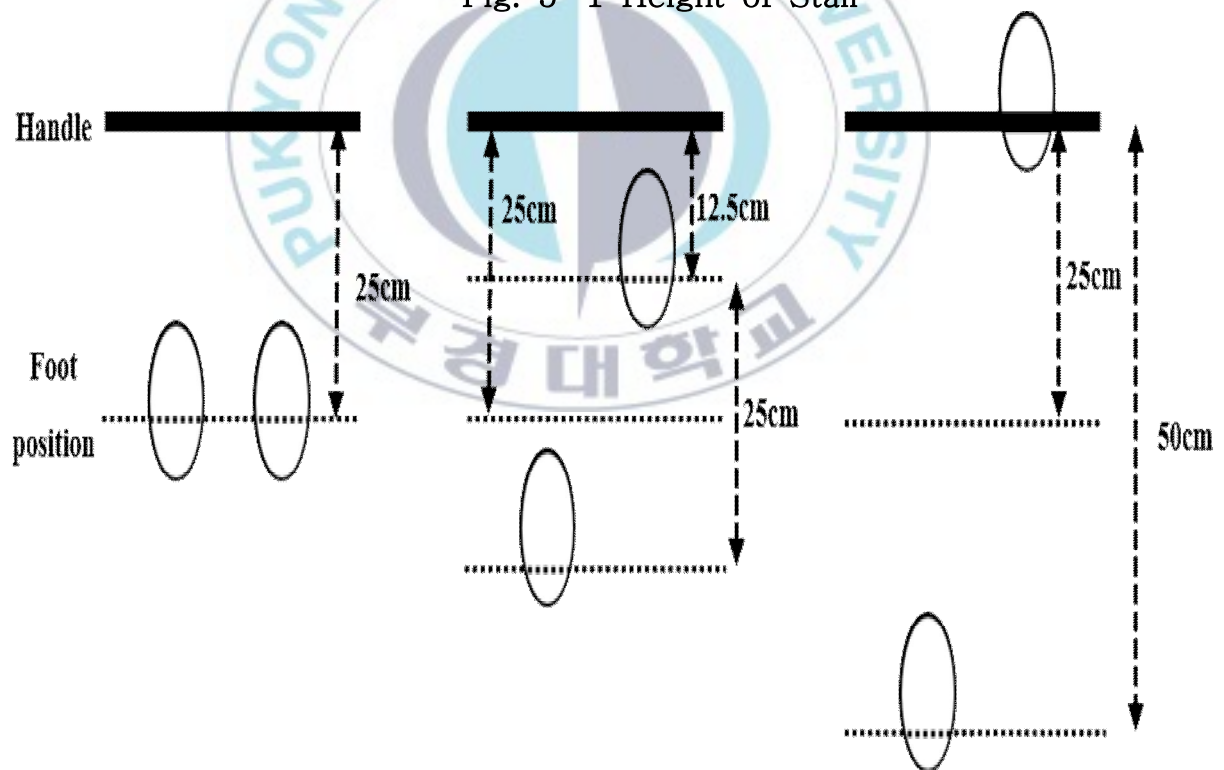


Fig. 5-2 Distance between Ankles

3.4.2 종속변수

본 실험에서는 종속변수를 최대발휘근력 측정값으로 설정하였다.

3.4.3 통제변수

NLE에서는 들기 작업 시 최적의 환경으로 권장무게한계를 구하는 6가지 상수에 대해 Table 3과 같이 정의하고 있다¹⁹⁾. 따라서 본 연구에서 최적의 환경에서 실험이 이루어질 수 있도록 6가지 변수를 다음과 같이 통제하였다.

Table 3 Ideal state of NLE

Vertical location	75cm
Horizontal location	25cm
Vertical travel distance	0cm
Asymmetry angle	0 °
Lifting frequency	1 lifts / 10 min
Coupling type	good

따라서 본 실험의 9가지 자세는 NLE 계산 결과 RWL값은 모두 동일하다는 조건을 가지고 있다.

3.5 실험절차

3.5.1 최대발휘근력 측정

실험에 앞서 피실험자에게 실험의 목적에 대해 상세한 설명을 하고 원활한 실험이 이루어질 수 있도록 실험방법과 유의사항을 전달하였다. 또한 답단의 높이와 발목간 거리에 따른 9가지 들기 작업자세에 대한 시범을 보였고, 피실험자가 실험장비와 실험조건에 익숙해지도록 적응기간을 제공하였다.

적응훈련이 끝난 피실험자를 대상으로 최대발휘근력을 각 자세별로 5초동안 3회씩 총 27회 측정하였다. 각 자세에 대한 실험순서는 무작위로 실시하였 1 회 실험 후 10분의 휴식시간을 두어 근육피로로 인한 영향을 배제하여 실험의 재현성을 유지하도록 하였다. 또한 피실험자가 각 자세에서 최대 힘을 발휘할 때 최대발휘근력을 사용함으로써 발생하는 최대발휘근력의 기본적인 자세 변화는 허용하였으나 과도한 자세의 흐트러짐은 통제하여 실험을 실시하였다.

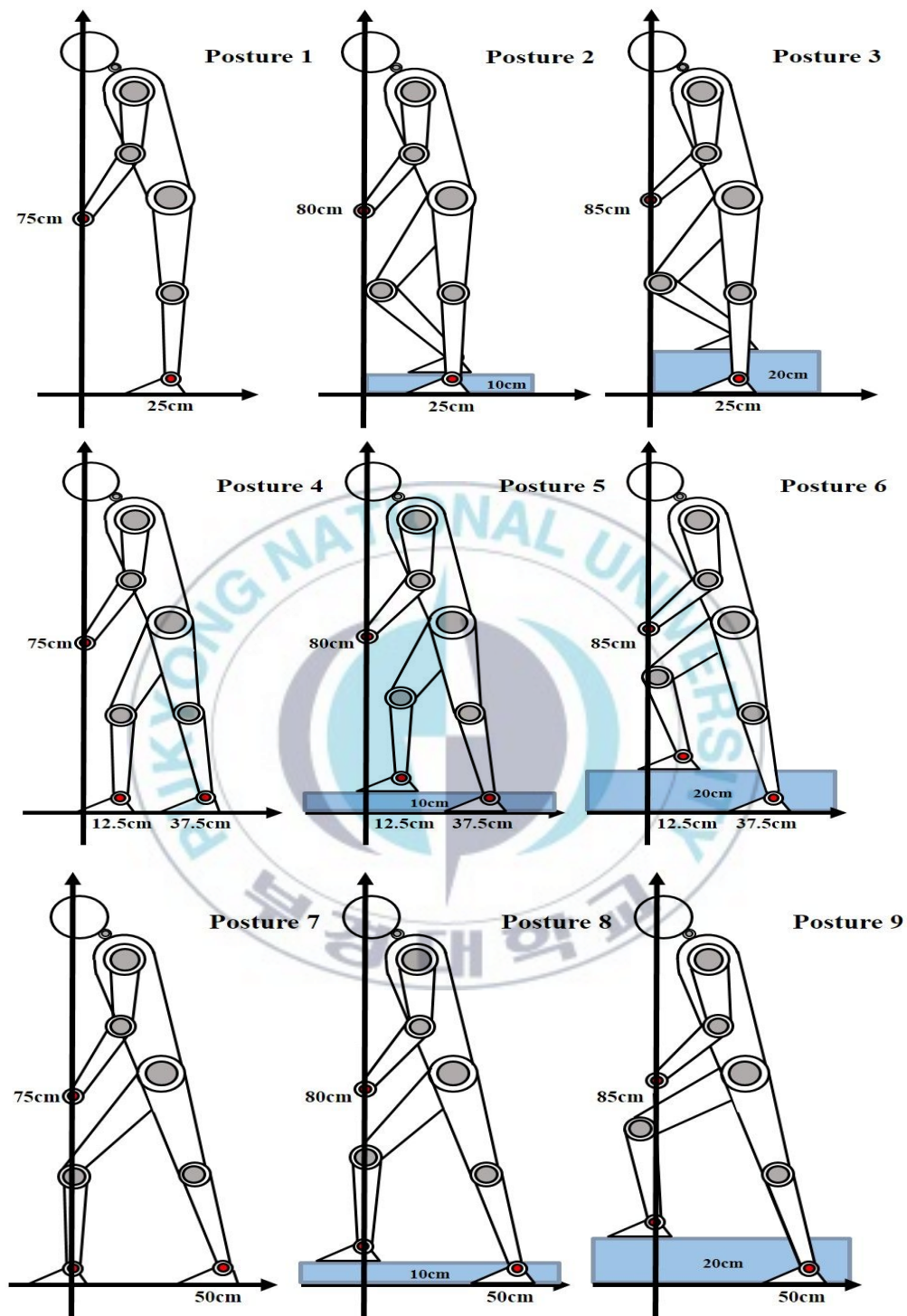


Fig. 6 Working Postures

이렇게 얻어진 MVC값은 피실험자간 비교를 위해 들기 작업자세에 따른 최대발휘근력을 기준으로 표준화 하였다. 즉, 각 피실험자 i 의 NMVC(Normalized MVC)를 다음의 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$NMVC = \frac{MVC_i(x)}{MVC_i(\max)} \dots\dots\dots (1)$$

$NMVC_i(x)$: 피실험자 i 의 변수 x 에서의 표준화값

$MVC_i(x)$: 피실험자 i 의 변수 x 에서의 최대발휘근력값

$MVC_i(\max)$: 피실험자 i 의 최대발휘근력값의 최대값



제 4 장 연구 결과

4.1 최대발휘근력 측정 결과

Table 4는 피실험자 44명에 대해 발목간 거리가 0cm일 때 답단의 높이 (0cm, 10cm, 20cm)에 따른 최대발휘근력의 평균을 나타낸 표이며, 1번 자세(답단의 높이: 0cm, 발목간 거리: 0cm)일 때 103.5 kg, 2번 자세(답단의 높이: 10cm, 발목간 거리: 0cm)일 때 82.2kg, 3번 자세(답단의 높이: 20cm, 발목간 거리: 0cm)일 때 72.6kg으로 나타났다. 들기작업자세에 따라 최대발휘근력이 1번 자세를 기준으로 2번 자세의 경우 약 21.3kg, 3번 자세의 경우 약 30.9kg 감소하는 것으로 나타났다.

Table 4 MVC values (Distance between ankles: 0cm)

	Posture 1	Posture 2	Posture 3		Posture 1	Posture 2	Posture 3
Subj.1	107.9	93.4	95.1	Subj.24	63.0	42.0	33.6
Subj.2	164.5	158.6	153.5	Subj.25	116.5	109.5	100.0
Subj.3	127.4	116.3	107.5	Subj.26	96.7	58.9	48.1
Subj.4	123.4	111.9	107.5	Subj.27	85.6	78.9	71.0
Subj.5	102.5	96.7	78.8	Subj.28	74.6	34.4	32.1
Subj.6	124.2	108.1	108.0	Subj.29	97.3	52.8	45.3
Subj.7	127.1	101.8	96.8	Subj.30	133.2	94.5	92.0
Subj.8	102.1	81.5	79.7	Subj.31	153.7	141.9	122.2
Subj.9	125.6	110.0	86.2	Subj.32	106.5	79.0	55.2
Subj.10	113.3	95.5	98.7	Subj.33	53.7	51.5	45.2
Subj.11	130.5	80.9	56.4	Subj.34	78.4	64.2	53.6
Subj.12	84.5	61.2	59.0	Subj.35	79.5	45.1	32.7
Subj.13	102.1	78.8	63.8	Subj.36	123.9	92.7	87.5
Subj.14	82.9	65.4	34.9	Subj.37	115.4	93.2	82.9
Subj.15	70.2	68.1	60.6	Subj.38	87.9	81.1	69.3
Subj.16	89.5	83.3	66.6	Subj.39	79.8	66.2	52.1
Subj.17	79.8	67.3	45.1	Subj.40	81.1	73.2	61.0
Subj.18	91.8	67.3	64.4	Subj.41	123.3	98.7	88.1
Subj.19	81.3	56.1	46.8	Subj.42	102.1	78.4	50.1
Subj.20	144.8	120.2	82.5	Subj.43	101.4	64.2	64.0
Subj.21	100.5	59.5	62.2	Subj.44	116.1	101.3	98.7
Subj.22	107.7	45.3	69.8	Mean	103.5	82.2	72.6
Subj.23	99.6	90.0	83.7	S.D	23.6	26.0	26.0

Table 5는 피실험자 44명에 대해 발목간 거리가 25cm 주어졌을 때 답단의 높이(0cm, 10cm, 20cm)에 따른 최대발휘근력의 평균을 나타낸 표이며, 4번 자세(답단의 높이: 0cm, 발목간 거리: 25cm)일 때 79.0kg, 5번 자세(답단의 높이: 10cm, 발목간 거리: 25cm)일 때 69.2kg, 6번 자세(답단의 높이: 20cm, 발목간 거리: 50cm)일 때 63.0kg으로 나타났다. 들기 작업자세에 따라 최대발휘근력이 4번 자세를 기준으로 5번 자세의 경우 약 9.8kg, 6번 자세의 경우 약 16.0kg 감소하는 것으로 나타났다.



Table 5 MVC values (Distance between ankles: 25cm)

	Posture 4	Posture 5	Posture 6		Posture 4	Posture 5	Posture 6
Subj.1	99.2	92.2	79.3	Subj.24	41.3	35.3	29.5
Subj.2	120.8	111.6	100.4	Subj.25	89.2	87.2	70.9
Subj.3	111.1	98.0	76.2	Subj.26	70.3	60.1	43.8
Subj.4	94.6	62.8	61.4	Subj.27	80.3	75.8	74.8
Subj.5	82.2	73.4	68.9	Subj.28	50.2	43.3	30.3
Subj.6	93.7	88.1	78.6	Subj.29	77.8	52.2	49.8
Subj.7	86.6	85.5	82.9	Subj.30	95.3	82.0	69.4
Subj.8	82.0	76.1	75.7	Subj.31	119.3	100.0	89.9
Subj.9	85.2	75.3	69.2	Subj.32	93.5	90.0	80.7
Subj.10	50.9	49.9	40.6	Subj.33	34.7	30.8	29.1
Subj.11	73.4	67.0	54.4	Subj.34	43.1	35.3	30.2
Subj.12	48.9	46.0	38.8	Subj.35	61.1	49.1	40.3
Subj.13	49.5	45.9	42.8	Subj.36	99.8	87.9	79.5
Subj.14	91.2	61.5	78.8	Subj.37	102.4	100.0	93.4
Subj.15	56.0	55.1	45.9	Subj.38	90.3	88.7	89.0
Subj.16	82.8	77.7	71.0	Subj.39	88.3	80.8	79.4
Subj.17	67.2	55.3	68.1	Subj.40	77.7	76.3	73.1
Subj.18	62.9	49.0	51.3	Subj.41	84.1	70.0	65.3
Subj.19	57.6	81.3	75.6	Subj.42	72.1	59.0	44.9
Subj.20	84.8	65.7	72.7	Subj.43	80.6	71.1	58.7
Subj.21	85.1	72.0	60.8	Subj.44	91.5	84.2	71.4
Subj.22	77.4	48.9	44.6	Mean	79.0	69.2	63.0
Subj.23	90.6	48.6	40.1	S.D	20.0	19.4	18.8

Table 6는 피실험자 44명에 대해 발목간 거리가 50cm 주어졌을 때 답단의 높이(0cm, 10cm, 20cm)에 따른 최대발휘근력의 평균을 나타낸 표이며, 7번 자세(답단의 높이: 0cm, 발목간 거리: 50cm)일 때 68.8kg, 8번 자세(답단의 높이: 10cm, 발목간 거리: 50cm)일 때 59.4kg, 9번 자세(답단의 높이: 20cm, 발목간 거리: 50cm)일 때 49.1kg으로 나타났다. 들기 작업자세에 따라 최대발휘근력이 7번 자세를 기준으로 8번 자세의 경우 약 9.4kg, 9번 자세의 경우 약 19.4kg 감소하는 것으로 나타났다.



Table 6 MVC values (Distance between ankles: 50cm)

	Posture 7	Posture 8	Posture 9		Posture 7	Posture 8	Posture 9
Subj.1	99.5	99.0	75.4	Subj.24	30.9	28.7	25.0
Subj.2	132.9	126.3	111.7	Subj.25	94.6	85.4	68.9
Subj.3	124.9	119.9	81.9	Subj.26	66.7	57.2	37.9
Subj.4	79.2	70.3	66.0	Subj.27	64.0	59.8	54.9
Subj.5	78.0	71.0	54.3	Subj.28	32.2	29.6	27.9
Subj.6	116.4	95.2	84.9	Subj.29	55.7	41.1	40.2
Subj.7	110.1	87.0	80.2	Subj.30	92.4	81.6	75.4
Subj.8	78.3	66.8	60.3	Subj.31	81.6	71.8	61.7
Subj.9	82.2	76.2	67.4	Subj.32	31.9	30.8	28.1
Subj.10	56.5	48.6	40.1	Subj.33	28.4	27.0	18.4
Subj.11	70.8	54.2	42.5	Subj.34	21.0	20.7	12.3
Subj.12	41.3	37.2	36.5	Subj.35	41.7	32.2	28.5
Subj.13	43.7	36.2	33.5	Subj.36	54.7	45.6	36.7
Subj.14	75.6	40.2	27.5	Subj.37	95.3	81.1	69.4
Subj.15	39.3	37.5	27.8	Subj.38	99.3	84.1	65.7
Subj.16	72.3	64.7	47.3	Subj.39	73.4	63.1	50.8
Subj.17	53.6	37.2	30.7	Subj.40	69.9	57.3	47.6
Subj.18	43.1	45.1	38.2	Subj.41	77.2	63.0	47.8
Subj.19	46.8	45.6	35.4	Subj.42	43.0	32.5	30.8
Subj.20	82.0	79.0	60.0	Subj.43	76.9	80.0	61.1
Subj.21	66.7	47.2	37.8	Subj.44	90.8	79.1	68.8
Subj.22	50.0	35.3	31.1	Mean	68.8	59.4	49.1
Subj.23	62.3	43.7	33.6	S.D	26.4	24.8	20.8

4.2 NMVC 분석 결과

Table 7, 8, 9는 피실험자 44명에 대해 발목간 거리가 0cm, 25cm, 50cm 일 때 답단의 높이(0cm, 10cm, 20cm)에 따른 NMVC의 평균을 나타낸 표이다. 발목간 거리가 0cm일 때 1번 자세를 기준으로 2번 자세와 3번 자세는 각각 약 21%, 31%의 감소율을 보였으며, 발목간 거리가 25cm일 때 4번 자세를 기준으로 5번 자세와 6번 자세는 각각 약 12%, 20%의 감소율을 보였으며, 발목간 거리가 50cm일 때 4번 자세를 기준으로 8번 자세와 9번 자세는 각각 약 14%, 29%의 감소율을 보였다.



Table 7 NMVC values (Distance between ankles: 0cm)

	Posture 1	Posture 2	Posture 3		Posture 1	Posture 2	Posture 3
Subj.1	1.00	0.87	0.88	Subj.24	1.00	0.67	0.53
Subj.2	1.00	0.96	0.93	Subj.25	1.00	0.94	0.86
Subj.3	1.00	0.91	0.84	Subj.26	1.00	0.61	0.50
Subj.4	1.00	0.91	0.87	Subj.27	1.00	0.92	0.83
Subj.5	1.00	0.94	0.77	Subj.28	1.00	0.46	0.43
Subj.6	1.00	0.87	0.87	Subj.29	1.00	0.54	0.47
Subj.7	1.00	0.80	0.76	Subj.30	1.00	0.71	0.69
Subj.8	1.00	0.80	0.78	Subj.31	1.00	0.92	0.80
Subj.9	1.00	0.88	0.69	Subj.32	1.00	0.74	0.52
Subj.10	1.00	0.84	0.87	Subj.33	1.00	0.96	0.84
Subj.11	1.00	0.62	0.43	Subj.34	1.00	0.82	0.68
Subj.12	1.00	0.72	0.70	Subj.35	1.00	0.57	0.41
Subj.13	1.00	0.77	0.62	Subj.36	1.00	0.75	0.71
Subj.14	1.00	0.79	0.42	Subj.37	1.00	0.81	0.72
Subj.15	1.00	0.97	0.86	Subj.38	1.00	0.92	0.79
Subj.16	1.00	0.93	0.74	Subj.39	1.00	0.83	0.65
Subj.17	1.00	0.84	0.57	Subj.40	1.00	0.90	0.75
Subj.18	1.00	0.73	0.70	Subj.41	1.00	0.80	0.71
Subj.19	1.00	0.69	0.58	Subj.42	1.00	0.77	0.49
Subj.20	1.00	0.83	0.57	Subj.43	1.00	0.63	0.63
Subj.21	1.00	0.59	0.62	Subj.44	1.00	0.87	0.85
Subj.22	1.00	0.42	0.65	Mean	1.00	0.79	0.69
Subj.23	1.00	0.90	0.84	S.D	0.00	0.14	0.15

Table 8 NMVC values (Distance between ankles: 25cm)

	Posture 4	Posture 5	Posture 6		Posture 4	Posture 5	Posture 6
Subj.1	1.00	0.93	0.80	Subj.24	1.00	0.85	0.71
Subj.2	1.00	0.92	0.83	Subj.25	1.00	0.98	0.79
Subj.3	1.00	0.88	0.69	Subj.26	1.00	0.85	0.62
Subj.4	1.00	0.66	0.65	Subj.27	1.00	0.94	0.93
Subj.5	1.00	0.89	0.84	Subj.28	1.00	0.86	0.60
Subj.6	1.00	0.94	0.84	Subj.29	1.00	0.67	0.64
Subj.7	1.00	0.99	0.96	Subj.30	1.00	0.86	0.73
Subj.8	1.00	0.93	0.92	Subj.31	1.00	0.84	0.75
Subj.9	1.00	0.88	0.81	Subj.32	1.00	0.96	0.86
Subj.10	1.00	0.98	0.80	Subj.33	1.00	0.89	0.84
Subj.11	1.00	0.91	0.74	Subj.34	1.00	0.82	0.70
Subj.12	1.00	0.94	0.79	Subj.35	1.00	0.80	0.66
Subj.13	1.00	0.93	0.86	Subj.36	1.00	0.88	0.80
Subj.14	1.00	0.67	0.86	Subj.37	1.00	0.98	0.91
Subj.15	1.00	0.98	0.82	Subj.38	1.00	0.98	0.99
Subj.16	1.00	0.94	0.86	Subj.39	1.00	0.92	0.90
Subj.17	1.00	0.82	1.01	Subj.40	1.00	0.98	0.94
Subj.18	1.00	0.78	0.82	Subj.41	1.00	0.83	0.78
Subj.19	1.00	1.41	1.31	Subj.42	1.00	0.82	0.62
Subj.20	1.00	0.77	0.86	Subj.43	1.00	0.88	0.73
Subj.21	1.00	0.85	0.71	Subj.44	1.00	0.92	0.78
Subj.22	1.00	0.63	0.58	Mean	1.00	0.88	0.80
Subj.23	1.00	0.54	0.44	S.D	0.00	0.13	0.14

Table 9 NMVC values (Distance between ankles: 50cm)

	Posture 7	Posture 8	Posture 9		Posture 7	Posture 8	Posture 9
Subj.1	1.00	0.99	0.76	Subj.24	1.00	0.93	0.81
Subj.2	1.00	0.95	0.84	Subj.25	1.00	0.90	0.73
Subj.3	1.00	0.96	0.66	Subj.26	1.00	0.86	0.57
Subj.4	1.00	0.89	0.83	Subj.27	1.00	0.93	0.86
Subj.5	1.00	0.91	0.70	Subj.28	1.00	0.92	0.87
Subj.6	1.00	0.82	0.73	Subj.29	1.00	0.74	0.72
Subj.7	1.00	0.79	0.73	Subj.30	1.00	0.88	0.82
Subj.8	1.00	0.85	0.77	Subj.31	1.00	0.88	0.76
Subj.9	1.00	0.93	0.82	Subj.32	1.00	0.97	0.88
Subj.10	1.00	0.86	0.71	Subj.33	1.00	0.95	0.65
Subj.11	1.00	0.77	0.60	Subj.34	1.00	0.99	0.59
Subj.12	1.00	0.90	0.88	Subj.35	1.00	0.77	0.68
Subj.13	1.00	0.83	0.77	Subj.36	1.00	0.83	0.67
Subj.14	1.00	0.53	0.36	Subj.37	1.00	0.85	0.73
Subj.15	1.00	0.95	0.71	Subj.38	1.00	0.85	0.66
Subj.16	1.00	0.89	0.65	Subj.39	1.00	0.86	0.69
Subj.17	1.00	0.69	0.57	Subj.40	1.00	0.82	0.68
Subj.18	1.00	1.05	0.89	Subj.41	1.00	0.82	0.62
Subj.19	1.00	0.97	0.76	Subj.42	1.00	0.76	0.72
Subj.20	1.00	0.96	0.73	Subj.43	1.00	1.04	0.79
Subj.21	1.00	0.71	0.57	Subj.44	1.00	0.87	0.76
Subj.22	1.00	0.71	0.62	Mean	1.00	0.86	0.71
Subj.23	1.00	0.70	0.54	S.D	0.00	0.10	0.11

4.3 통계분석 결과

4.3.1 분산분석 결과

세 개 이상의 서로 다른 변수들간에 동일한 반응을 관측하고 변수들 사이에 평균 반응의 차이가 있는가를 검정하기 위해 분산분석(ANalysis Of VAriance; ANOVA)를 실시하였다. Minitab ver.14를 이용하여 통계분석을 실시한 결과 Table 10과 같이 유의수준 0.05를 기준으로 발목간 거리가 0cm일 때 답단의 높이에 따른 최대발휘근력은 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 발목간 거리가 25cm, 50cm일 때 답단의 높이에 따른 최대발휘근력 또한 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다.

답단의 높이와 발목간 거리간에 교호작용을 분석한 결과 유의수준 0.05를 기준으로 $p=0.027$ 로 서로 교호작용 하는 것으로 나타났다.

Table 10 Result of ANOVA

Variable	f-value	p-value
Height of stair	53.96	0.000
Distance between ankles	73.03	0.000
Height of stair * Distance between ankles	2.9	0.027

4.3.2 상관관계 분석 결과

본 연구에서 실시한 각각의 답단 높이, 발목간 거리와 실험으로 얻은 최대 발휘근력 간 영향을 알아보기 위하여 각각의 변수들 간의 상관관계를 분석하였으며 Pearson 상관관계를 사용하였다.

Table 9와 같이 답단 높이의 경우 최대발휘근력과 강한 음의 상관관계를 나타냈다. 발목간 거리의 경우에도 비슷하게 강한 음의 상관관계를 나타냈다. 이는 답단의 높이가 높아질수록 최대발휘근력은 감소하며, 발목간 거리가 넓어질수록 최대발휘근력 또한 감소한다는 것을 의미한다.



Table 11 Result of correlation analysis

Variable	correlation coefficient	p-value
Height of stair	-0.447	0.000
Distance between ankles	-0.521	0.000

4.3.3 주효과도 분석 결과

Fig. 11과 같이 최대발휘근력에 대한 주효과도를 보면 답단의 높이의 경우 답단이 없는 0cm일 때 최대발휘근력이 가장 큰 것으로 나타나며 답단이 20cm일 때 최대발휘근력이 가장 낮은 것으로 나타났다. 발목간 거리의 경우 발목간 벌어짐이 없는 0cm일 때 최대발휘근력이 가장 큰 것으로 나타나며 발목간 거리가 50cm일 때 최대발휘근력이 가장 낮은 것으로 나타났다.

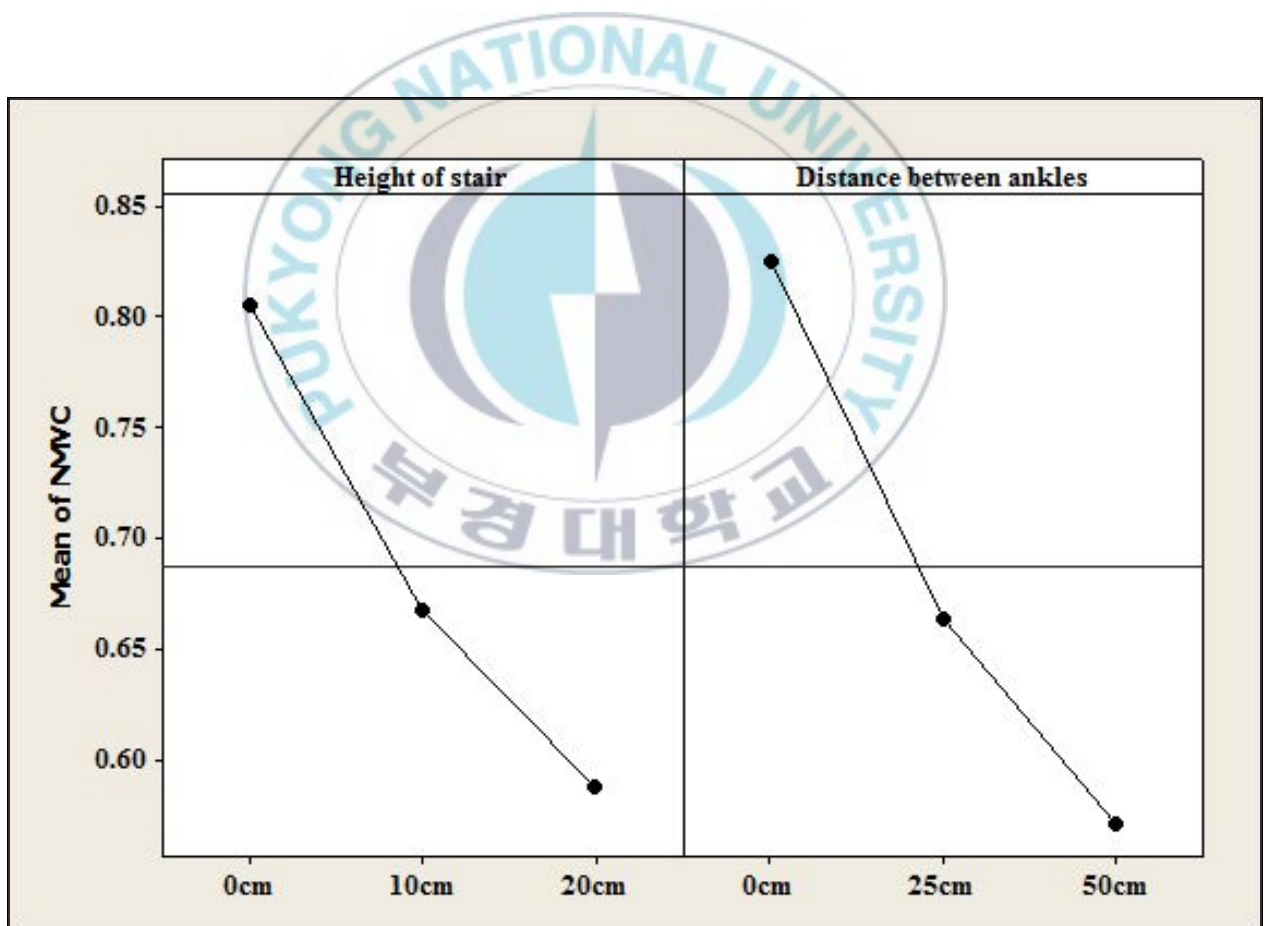


Fig. 7 Main effect in NMVC

4.3.4 최대발휘근력 예측을 위한 회귀모형

위의 분석에서 두 독립변수인 답단의 높이와 발목간 거리가 최대발휘근력과 선형관계가 높다는 결과에 근거하여 이를 답단의 높이와 발목간 거리에 대해 단순 회귀 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음의 식(2)와 같이 나타났다.

$$\text{NMVC} = 0.923 - 0.011 \times \text{Height of stair} - 0.005 \times \text{Distance between ankles} \quad \dots (2)$$

($R^2 = 51.04\%$)

위와 같은 다항회귀방정식에서 답단의 경우 1cm 증가 시 기본적인 들기 작업 자세에서 발휘할 수 있는 최대근력에서 1.1% 감소되는 것으로 나타났으며, 발목간 거리의 경우 1cm 증가 시 0.5% 감소되는 것으로 나타났다. 그리고 답단으로 인한 감소율이 발목간 거리로 인한 감소율보다 약 2.2배 큰 것으로 나타났다.

제 5 장 결론 및 고찰

본 연구에서는 답단의 높이와 발목간 거리가 들기 작업에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 답단의 높이와 발목간 거리가 없는 일반적인 들기 작업자세인 1번 자세, 오른발을 10cm, 20cm 높이의 답단에 딛은 자세인 2번과 3번 자세, 답단이 없으며 발목간 거리가 25cm인 4번 자세에서 오른발을 10cm, 20cm 높이의 답단에 딛은 5번 자세와 6번 자세, 발목간 거리가 50cm인 7번 자세에서 오른발을 10cm, 20cm 높이의 답단에 딛은 8번과 9번 자세인 9가지 들기 작업자세에 대하여 각 작업자세별 최대발휘근력을 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 답단과 발목간 거리가 없는 기본적인 들기 작업자세인 1번 자세에서의 최대발휘근력은 가장 높게 나타났다.
2. 답단의 높이가 10cm, 20cm로 증가할수록 최대발휘근력은 선형적으로 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.
3. 동일한 답단 높이에서 발목간 거리가 주어졌을 경우 최대발휘근력은 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.
4. 두 독립변수인 답단의 높이와 발목간 거리는 서로 교호작용이 있는 것으로 나타났다.
5. 답단의 경우 1cm 증가 시 기본적인 들기 작업 자세에서 발휘할 수 있는

최대근력에서 1.1%의 감소가 나타났고, 발목간 거리의 경우 1cm 증가 시 0.5%의 감소가 나타났다.

위와 같은 연구를 통해 들기 작업을 수행하는 경우 답단의 높이와 발목간 거리가 작업자의 최대발휘근력과 같은 들기작업능력에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

Kim(2013)의 연구에서 답단과 발목간 거리로 인해 발생하는 하체 불균형 자세에서 들기 작업을 수행하는 경우 기본적인 들기 작업자세인 1번 자세에서 최대발휘근력이 가장 높게 나타났고 내측광근, 외측광근, 대퇴이두근 등의 하체 근육군들의 근육 활동은 가장 낮았으며 요추기립근 등의 허리 근육군들의 근육 활동은 가장 높게 나타났다. 위와 같은 선행연구 결과는 본 연구에서 수행된 1번 자세에서 가장 높은 최대발휘근력을 보이는 결과와 일치한다. 그리고 답단의 높이가 높아질수록, 발목간 거리가 넓어질수록 최대발휘근력은 감소하는 것 또한 본 연구의 결과와 일치하였다¹⁹⁾. 이는 답단의 높이와 발목간 거리가 증가할수록 최대발휘근력은 감소하며, 내딛는 다리의 근육 활동은 증가하고 요추기립근과 같은 허리의 근육 활동은 감소하여, 답단의 높이와 발목간 거리가 증가할수록 신체의 균형과 자세를 유지하기 위해 내딛는 다리의 근육 활동은 증가하며 이로 인해 들기 작업에서 가장 많이 동원되는 허리의 근육 활동은 신체의 균형을 유지하기 위해 동원되는 다른 근육군의 집중으로 인해 감소되는 것으로 추측할 수 있다.

따라서 본 실험에서 취했던 정적 자세와 같은 동작은 작업이 주는 부하량이 크지 않더라도 오랫동안 지속하게 되면 근섬유질에 대한 지속적 긴장으로 근 골격계의 기능적 결함 및 근육 섬유질의 퇴행성 변화를 유발할 수 있는 불편한 자세라는 것을 알 수 있다.

또한 본 실험에서 수행된 9가지 들기 작업 자세의 RWL값은 모두 동일하나 최대발휘근력은 각 자세별로 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 실제 현장에서 담단과 발목의 벌어짐으로 인해 발생하는 하체 불균형 자세에서 들기 작업을 수행할 때 권장무게한계 내의 안전한 무게일지라도 NLE에서 고려하지 못한 비대칭 작업의 경우, 신체에 과도한 하중이 걸릴 가능성이 매우 높을 것으로 예상된다. 결과적으로 위와 같은 상황은 부상으로 직결될 가능성 또한 매우 높아질 것으로 예상된다. 따라서 실제 현장에서 협소한 환경에서 불균형자세로 인력물자취급을 수행할 시 작업자들의 자세에 따른 최대발휘근력의 차이 등을 고려하여 작업 배치를 해야 할 것으로 사료된다.

그리고 담단의 높이와 발목간 거리 증가에 대한 최대발휘근력의 감소율을 봤을 때 담단의 경우 1cm 증가 시 기본적인 들기 작업 자세에서 발휘할 수 있는 최대근력에서 1.3% 감소를 보였고 발목간 거리의 경우 1cm 증가 시 0.5%의 감소를 보였다. 즉, 담단으로 인한 감소율이 발목간 거리로 인한 감소율보다 약 2.5배 큰 것으로 나타났다.

따라서 이러한 부분들을 고려한 추가적인 연구를 통해 본 연구에서 수행된 자세 외의 더 다양한 자세에서의 최대발휘근력과 들기 작업자세별 정확한 근

육 피로도를 파악하여 여러 가지 상황이 고려된 적합한 권장중량한계를 제시할 수 있는 적절한 평가방법과 안전기준이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점과 향후 연구과제는 다음과 같다.

① 연구대상이 현장작업경험이 없는 20대의 남자대학생들로, 피실험자들의 연령대 및 성별이 치우쳐져 있어 모든 연령대와 성별을 대표할 수 있는 결과를 도출할 수 없었다. 향후에는 보다 다양한 연령대와 여성 피실험자들을 대상으로 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다.

② 본 연구는 오른발을 앞으로 내딛은 자세에 대해서만 실험이 이루어져 왼발을 앞으로 내딛은 자세에 대한 실험과 대칭적인 비교가 이루어지지 않은 한계점이 있다. 따라서 왼발을 앞으로 내딛은 자세에 대한 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다.

③ 실험실과 같은 통제된 환경에서 실험이 이루어짐에 따라 실제 작업환경에 적용하는 데는 제한적인 면이 있다. 따라서 실제 작업환경에서 나타날 수 있는 변수들을 추가적으로 고려한 세부적인 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

④ 전 산업분야에 있어 대부분 작업들이 기계화 및 자동화가 되었음에도 불구하고 비정형 작업에서는 아직까지도 많은 인력작업에 의존하고 있는 실정이다. 그러므로 본 연구에서 수행된 하체 불균형 자세뿐만 아니라 좀 더 다양한 자세에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

⑤ 본 연구에서는 하체가 불균형한 9가지 자세에 대한 최대발휘근력을 측정
한 실험을 하였다. 향후에는 비대칭 들기 작업 시 부하가 걸리는 근육부위들
을 파악하여 EMG를 이용하여 각 근육의 동원 수준을 파악하는 추가적인 실
험이 실시되어야 할 것이다.



참 고 문 헌

- 1) Bhattacharya, A. and McGlothlin, D.J. Occupational Ergonomics Theory and Applications, Marcel Dekker, Inc., pp.137-164, 1996.
- 2) Punnett, L. and Wegman, D.H., Work-related musculoskeletal disorders : the epidemiologic evidence and the debate, Journal of Electromyography and Kinesiology, Vol. 14, pp.13-23, 2005.
- 3) Kim, Y.C., Lee, K.S., Chang, S.R., Choi, E.J. and Hong, C.W., Economic analysis of work-related musculoskeletal disorders in Korea, Proceedings of XVth triennial Congress of the International Ergonomics Association (CD-ROM: PDF file #444), 2003.
- 4) Jung, J, H., Development of the Occupational Safety and Health Market for Reduction of Occupational Accident, Safety & Health Research Trends, Vol. 25, pp.20-29, 2009.
- 5) KOSHA, Industrial Accident Cause Investigation Report, 2012.
- 6) KOSHA, Industrial Accident Analysis, 2003~2012.
- 7) Bureau of Labor Statistics, Number of nonfatal occupational injuries and illnesses involving days away from work by event or exposure leading to injury or illness and selected parts of body affected by injury or illness, Table R32, 1998.

- 8) Webster, B.S. and Snook, S.H., The cost of 1989 Worker's Compensation Low Back Pain Claims, Spine, Vol. 19, pp.1111–1116, 1994.
- 9) Mital, A. and Manivasagan, I., Maximum acceptable weight of lift as a function of material density, c.g. location, hand preference, and frequency, Human Factors, Vol. 25, pp.33–42, 1983.
- 10) Mital, A. and Fard, H. F., Psychophysical and physiological responses to lifting symmetrical and asymmetrical loads symmetrically and asymmetrically, Ergonomic, Vol. 29, pp.1263–1272, 1986.
- 11) Garg, A. and Badger, D., Maximum acceptable weights and maximum voluntary isometric strengths for asymmetric lifting, Ergonomics, Vol. 29, pp.879–892, 1986.
- 12) Garg, A and Banaag, J., Maximum acceptable weights, heart rates and RPEs for one hour's repetitive asymmetric lifting, Ergonomics, Vol. 31, pp.77–96, 1988.
- 13) Mital. A., Psychophysical capacity of industrial workers for lifting symmetrical and asymmetrical loads symmetrically and asymmetrically for 8h work shifts, Ergonomics, Vol. 35, pp.745–754, 1992.

- 14) Humar, S. and Garand, D. Static Dynamic Lifting Strength at Different Reach Distances in Symmetrical and Asymmetrical Planes, *Ergonomics*, Vol. 35, No. 7/8, pp.861–880, 1992.
- 15) Kim, C, R., Result of survey on work-related musculoskeletal disorder among female workers in electronic assembly manufactory, Department of Industrial Engineering, Graduate School, Dong Eui University, 2004.
- 16) Grandjean, E., Fitting the Task to the Man, 4th ed., Taylor & Fancis Ltd., pp.82–99, 1988.
- 17) Bystrom, J.U., Hansson, G.A., Rylander, L., Ohlsson, K., Kallrot, G. and Skerfving, S., Physical workload in neck and upper limb using two CAD applications, *Applied Ergonomics*, Vol. 33, pp.63–74, 2002.
- 18) Forsman, M., Kadefors, R., Zhang, Q., Birch, L. and Palmerud, P., Motor-unit recruitment in the trapezius muscle during arm movements and in VDU precision work, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 24, pp.619–630, 1999.
- 19) Waters, T.R., Putz-Anderson, V. and Garg, A., Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation, 1994.
- 20) Kim, Y, H., A Study on the effect of unbalanced posture of lower

body on lifting, Department of Safety Engineering, Graduate School,
Pukyong National University, 2013.



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, 빈도인자를 통하여 구할 수 있다. 이 경우 L5/S1 디스크에 350kg의 생체역학적 부하가 걸리고 이 무게까지는 대부분의 사람이 견디어 낼 수 있으나 이를 넘어가면 허리에 무리가 가해지게 된다. 이 작업지침은 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 살출하도

록 하여 작업의 위험성을 예측하여 인간공학적인 작업방법의 개선을 통해 작업자의 LBP을 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 근골격계질환을 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 작업시간동안 허리에 무리를 주지 않고 LBP의 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 다음 식에 의해 결정된다.

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

(3) 작업 변수와 용어 정의

개정된 들기 작업 공식에서 사용되는 작업 변수들의 정의는 다음과 같으며, 각 변수들은 Fig. A1에 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 뒤꿈치 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 종점 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 들어 올리는 횟수(회/분)이다. 들기 빈도는 적어도 15분간 작업을 관찰해서 구하는 것이 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.

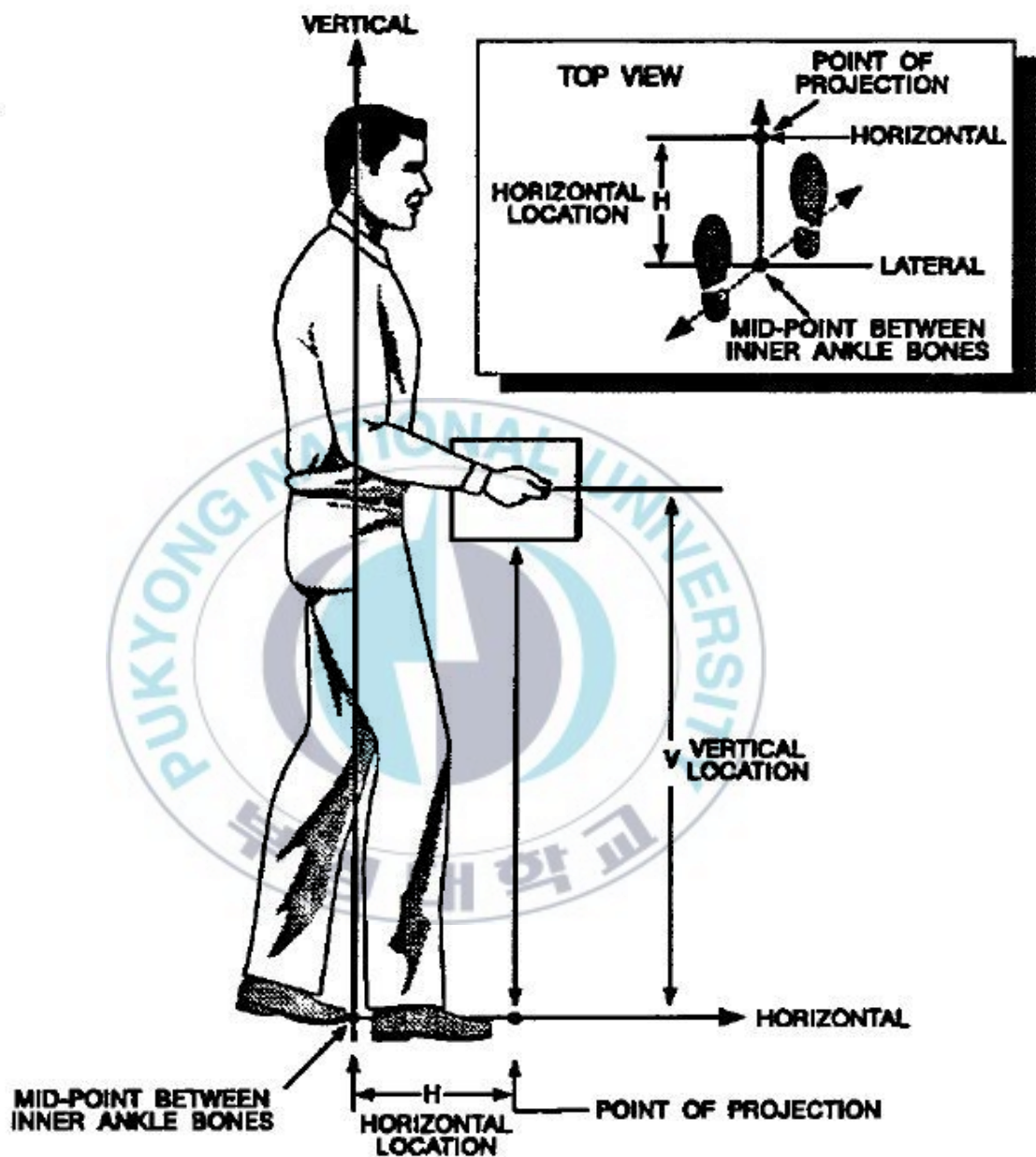


Fig. A1 Graphic representation of hand location

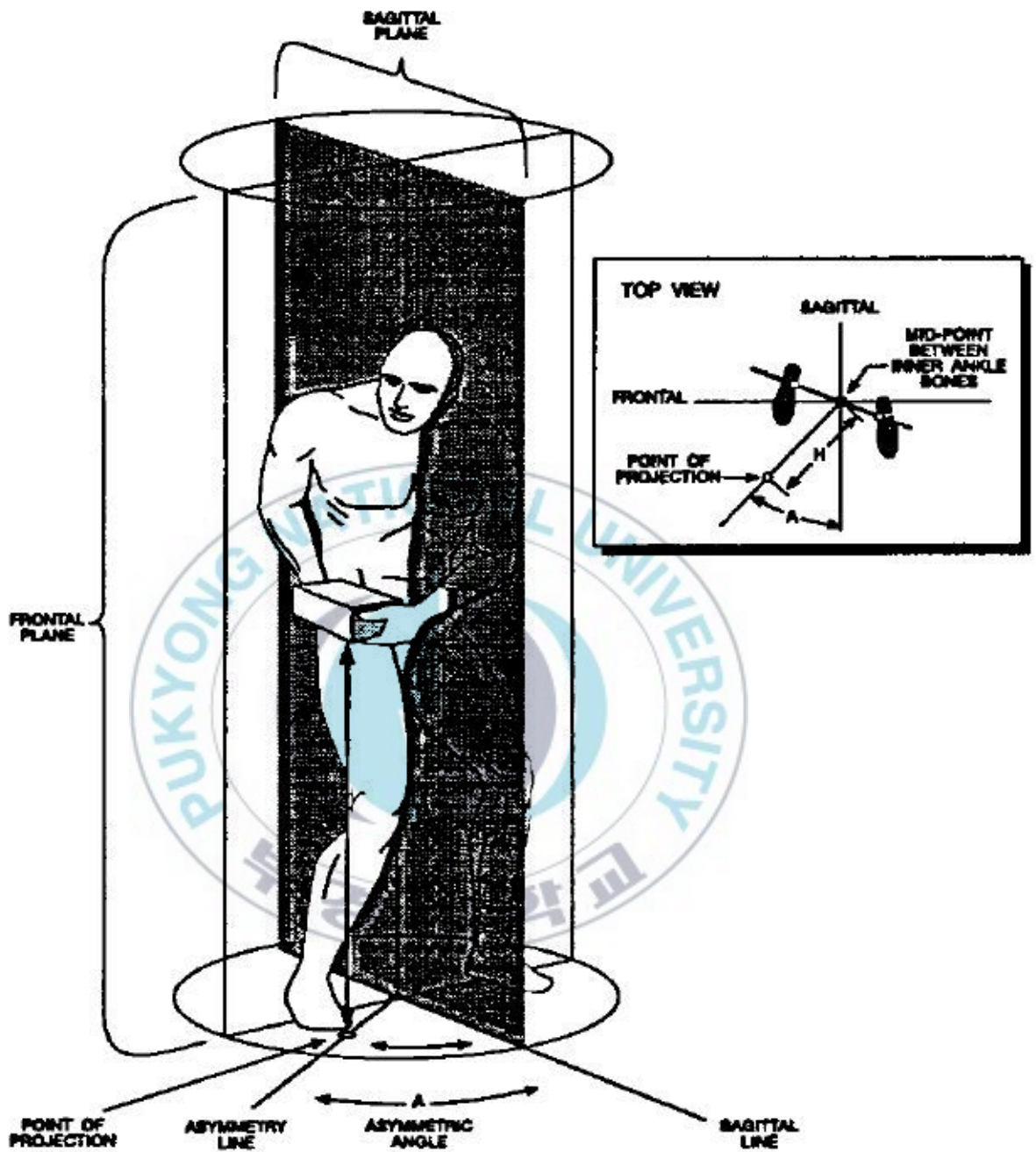


Fig. A2 Graphic representation of angle of asymmetry

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 최대허용 무게이다. 여기서 최적의 환경이란 허리의 비틀림 없이 정면에서 들기 작업을 가끔씩 할 때($F < 0.2$), 작업물이 작업자 몸 가까이에 있으며($H = 15\text{cm}$), 수직 위치(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 작은 경우는 1이다. 또한 63cm를 초과할 경우 수평 계수는 0이 된다. 여기서는 25cm는 작업자가 물체를 몸에 가장 가깝게 할 수 있는 최소 수평거리이고 63cm는 체구가 작은 사람이 물체를 최

대한 멀리 잡고 들 수 있는 수평거리를 기준으로 하였다.

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



(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 LBP 발생 비율이 크다. 따라서 수직거리가 적으면 그 만큼 무게를 줄여 주어야 한다. 75cm 이상인 높이에서 물건을 들기 시작할 때에는 다시 정신물리학적 스트레스가 감소하기 때문에 75cm를 기준으로 정하였다. 그리고 수직거리가 175cm를 초과할 경우에는 수직 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 시간 동안 관찰할 필요성이 있다. 빈도가 다른 작업이 조합되어 있는 경우는 그것을 해석하는 것이 마땅하지만, 전체적인 평균 빈도를 이용하여 해석하는 것도

가능하다. 들기 빈도 F 가 0.2회/분보다 작은 경우에 있어서는 F 는 0.2회/분으로 한다. F 가 거의 없는 0.1회/분인 경우는 충분히 긴 휴식 시간이 포함되어 있으므로 작업 시간 LD 가 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

작업빈도	$T \leq 1$ 시간		$1 \text{시간} \leq T \leq 2 \text{시간}$		$2 \text{시간} \leq T$	
(회/분)	$V < 75$	$V \geq 75$	$V < 75$	$V \geq 75$	$V < 75$	$V \geq 75$
0.2<	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.85	0.85
1	0.94	0.94	0.92	0.92	0.81	0.81
2	0.91	0.91	0.88	0.88	0.75	0.75
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

(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”의 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 분류된다.

Table A2 Coupling multiplier

결합 타입	수직 위치	
	$V < 75\text{cm}$	$75 \leq V\text{cm}$
양호 (good)	1.00	1.00
보통 (fair)	0.95	1.00
불량 (poor)	0.90	0.90

