

工學碩士學位論文

한국인의 특성을 고려한
들기 작업의 안전하중에 관한 연구



2011年 8月

釜慶大學校大學院

安全工學科

玉珉宇

工學碩士學位論文

한국인의 특성을 고려한
들기 작업의 안전하중에 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

2011年 8月

釜慶大學校大學院

安全工學科

玉 珉 宇

玉珉宇의 工學碩士 學位論文을
認准함



主 審 工學博士 李 義 周 (인)

委 員 工學博士 愼 晟 佑 (인)

委 員 工學博士 張 聖 祿 (인)

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 필요성	1
1.2 연구의 목적	5
제 2 장 배경 이론	7
2.1 요통의 발생	7
2.2 중량물 취급기준	9
2.3 Revised NIOSH Lifting Equation	11
2.4 인력운반작업의 허용중량을 결정하기 위한 접근 방법	15
2.5 Borg's CR-10 scale	17
제 3 장 실험방법 및 절차	20
3.1 피실험자	20
3.2 실험기기	21
3.3 실험설계	22
3.4 실험절차 및 방법	24
3.4.1 최대발휘근력 측정	24

3.4.2 권장중량한계 산정	25
3.4.3 Borg's CR-10 scale 측정	27
3.4.4 심물리학적 안전하중 분석	28
제 4 장 실험 결과	29
4.1 최대발휘근력	29
4.2 권장중량한계 분석	31
4.3 심물리학적 안전하중	34
4.4 심물리학적 안전하중 결과 분석	35
제 5 장 결론 및 고찰	37
참고문헌	40
부록	46

표 목 차

Table 1 Recommended weight of Manual Materials Handling by age	10
Table 2 Equation of different multiplier	13
Table 3 Frequency multiplier	14
Table 4 Coupling multiplier	14
Table 5 Modified Borg's CR-10 scale	19
Table 6 Experimental design	22
Table 7 Experimental variables of RWL	25
Table 8 Maximum voluntary contraction	29
Table 9 Recommended weight limit	31
Table 10 Perceived exertion of RWL	32
Table 11 Psychophysical safety weight	34
Table A1 Frequency multiplier	55
Table A2 Coupling multiplier	57

그림 목 차

Fig. 1 Occupational disorders for 1 to 10 years (2001-2010)	2
Fig. 2 Risk factors related to lumbar diseases by behavior	3
Fig. 3 Digital Dynamometer	21
Fig. 4 Experimental posture	23
Fig. 5 Comparison between RWL and Psychophysical safety weight	35
Fig. A1 Graphic representation of hand location	50
Fig. A2 Graphic representation of angle of asymmetry	51

A Study on Safe Weight of Lifting for Korean

Minwoo Ock

Department of Safety Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Low back pain (LBP) is a major issue in modern industrialized society which is mainly caused by manual material handling (MMH) tasks. The objective of this study was to provide scientific data for establishing work standard for Korean workers throughout the laboratory experiment including some specific lifting tasks. Twelve male college students were recruited as participants. The maximum voluntary contraction (MVC), recommended weight lift (RWL), and psychophysical safety weight using Borg's CR-10 scale were studied.

Results showed that the RWL was 8.4%MVC higher than the proposed psychophysical safety weight. Based on this result, it is suggested that the NIOSH lifting equation (NLE) should not be directly applied to Korean without reasonable modifications.

The ratio of psychophysical safety weight to MVC was ranged from 20 to 26.5%. It is expected that use of the methodology in this study may provide better expectation of the work ability of Korean for reducing lower back pains caused by MMH.



제 1 장 서 론

1.1 연구의 필요성

산업현장에 있어서 기계화의 확산에도 불구하고, 과도한 인력운반(manual materials handling, MMH)작업으로 인해 발생하는 근골격계질환은 여전히 작업시간의 손실, 비용 증가, 그리고 신체장애를 야기하는 중대한 원인으로 대두되고 있다¹⁾.

MMH작업이란 기계나 동력기구의 도움없이 작업자가 자신의 근력을 이용하여 중량물을 들어올리거나 내리고, 밀거나 당기는 동작을 통해 원하는 장소까지 운반하는 작업을 지칭한다. 이 운반작업은 최근 30년간 인간공학을 비롯한 제관련분야에서 가장 활발히 연구되어온 주제의 하나인데, 이는 MMH작업시 과도한 중량물의 취급, 작업과정에서 반복적으로 발생하는 몸통부위의 비틀림, 구부림 등이 요통을 유발하는 주원인으로 알려져 있기 때문이다²⁾.

요통(low back pain, LBP)은 요추와 그 주변의 근육, 건, 인대, 추간판, 연골, 신경 등에 이상이 발생되어 통증이나 기능저하를 나타내는 질환이다. 요통은 인류의 약 60~90%가 일생에 한 번 이상 경험하며, 전체 요통의 37%가 직업(occupation)에 의해 기인된다³⁾. 직업성요통은 치료 및 업무 복

귀까지의 과정에서 가장 많은 비용부담을 유발하는 업무상질병 요양 대상 질환 중 하나이며, 재발률도 높다⁴⁾. 직업성 요통의 물리적 위험요인 (physical risk factor)은 무리한 동작, 부적합 자세, 반복 동작, 진신진동이 포함되며, 일부 연구자들은 들기 또는 중량물취급 작업을 포함하기도 한다.

우리나라 노동부가 발표한 2010년도 산업재해 발생현황을 분석한 결과에 의하면 전체 업무상 질병자수는 7,803명이며, 이중 근골격계질환자수는 총 5,502명이고, 요통질환자수는 4,008명이었다. 요통이 전체 업무상 질병자의 51.4%로 아주 높은 비율을 보이고 있다. 아래의 Fig. 1은 10년간 업무상 질병자와 근골격계질환자, 그리고 요통질환자수를 보여준다⁵⁾.

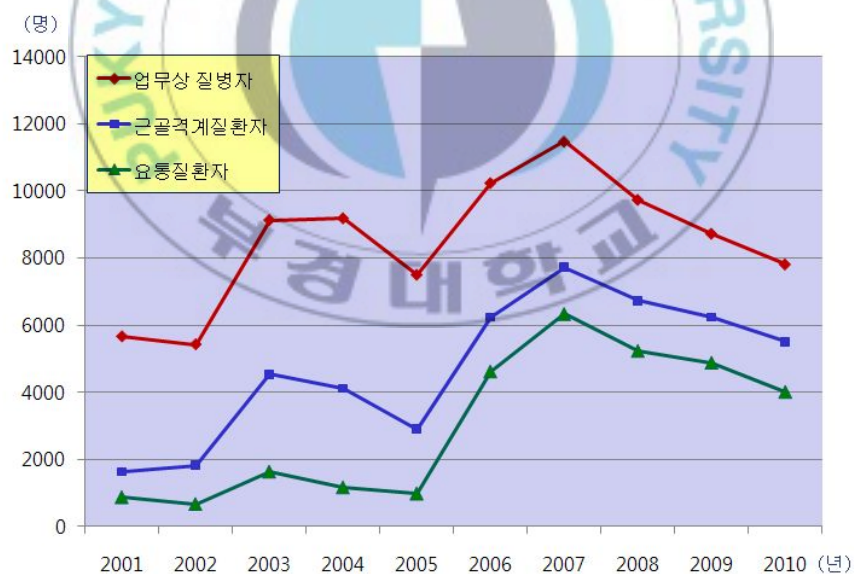


Fig. 1 Occupational disorders for 1 to 10 years (2001-2010)

미국의 경우에도 520만명의 재해자 중 24.2%가 허리 부상의 영향을 받고 있으며, 이러한 허리 부상은 작업자들의 장기결근의 주요한 원인이 되고 있다⁶⁾. Liberty Mutual Insurance Company의 1989년 통계자료를 보면 한 해 동안 요통으로 인한 산재보험 신청 건수가 전체의 33%를 차지하고 있으며 그에 따른 산재비용이 991억 달러에 이르렀으며, 직접적인 산재보험 비용 외에 손실임금, 생산성 감소에 따른 비용손실, 작업손실일수 등의 간접비용까지 고려하면 천문학적인 손실이 발생한 것으로 볼 수 있다⁷⁾.

산업 현장에서의 요통 발생의 원인은 다양하나 2008년 근골격계질환(요부질환) 유발 행위별 질병자 현황을 분석한 결과 Fig. 2와 같이 들기/놓기 작업이 요통의 가장 큰 요인으로 나타났다⁸⁾.

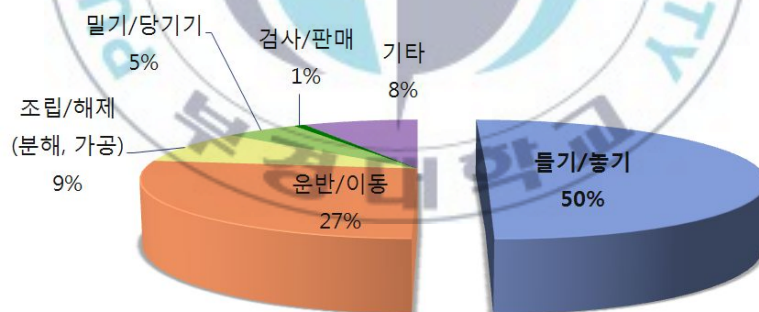


Fig. 2 Risk factors related to lumbar diseases by behavior

이러한 요통재해를 예방하기 위해 미국의 경우 심물리학적 연구 방법 (Psychophysical approach)을 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 있다⁹⁻¹³⁾. 우리나라의 경우, 인체심리학적 방법을 사용하여 들기 작업에서 최대허용중량(Maximum Acceptable Weight of Load, MAWL)에 대한 연구와 한국인의 육체적 작업능력(Physical Work Capacity, PWC)에 대한 자료가 있지만 상대적으로 미비한 실정이다¹⁴⁻¹⁷⁾. 현재 우리나라의 경우 들기 작업에 대한 안전 기준을 미국의 국립산업안전보건연구원(National Institute of Safety & Health, 이하 NIOSH)의 기준을 사용하고 있지만, 이러한 기준이 한국인의 특성에 적합한 안전 기준인지에 대한 연구가 부족한 상황이며 이를 뒷받침하기 위해서는 좀 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다¹⁸⁾.

1.2 연구의 목적

현대 산업사회의 많은 자동화와 기계화의 발전에도 불구하고 인력에 의한 중량물 취급(MMH) 작업은 감소하지 않고 있으며, 이로 인한 직업성 요통재해는 전체 직업성 질환과 근골격계질환의 많은 부분을 차지하며 기업과 사회경제적 손실의 큰 부분을 차지하고 있다.

하지만 국내에서 적용되는 안전한 인력에 의한 중량물 취급(MMH) 작업의 기준과 가이드라인은 대부분 외국의 가이드라인을 수정 없이 채용함으로써 국내의 생산현장에 적용시 항상 그 적절성과 함께 사용의 편의성에 대한 문제가 지적되어 인력에 의한 중량물 취급(MMH)으로 인한 직업성 요통의 예방에 어려움을 겪고 있다¹⁹⁾.

1990년대 이후 국내에서 이루어진 들기작업에 관한 연구를 보면 대부분이 들기 높이와 빈도를 독립변수로 하여 최대허용하중(MAWL)을 추정하는 연구가 주류를 이루었다^{16,20-23)}. 즉 실제 생산현장에서 수행되는 중량물 작업에 대한 평가와 그 적절성에 대한 평가가 이루어지지 못한 실험적 연구가 주로 행해졌다.

또한 이 연구들에서 추정된 한국인의 최대허용하중(MAWL)은 들기작업의 조건에 따라 대략 10~20kg로 추정하고 있으며, 이 값은 NIOSH의 Lifting Guideline으로 모두가 LI가 1이상으로 평가되는 무게이며, 많게는

LI가 3~6이상을 평가되어 실제 현장에 적용되기에는 작업자의 요통 부담이 상당히 높을 것으로 추정된다. 또한 대부분의 연구가 20대 남성을 대상으로 한 한계를 지니고 있는 점이 지적된다.

따라서 본 연구에서는 한국인 성인이 작업물체를 인력으로 들기 작업을 할 경우 허리에 손상을 주지 않고 또한 극도로 피로해지지 않으면서 동시에 생산량 저하는 초래하지 않을 안전하중을 예측하기 위해 NIOSH Lifting Equation(NLE)의 권장중량한계(Recommended Weight Lift, RWL) 값과 한국인을 대상으로 실험한 심물리학적 안전하중을 비교함으로써 국내에 적용되고 있는 NLE가 한국인의 기준에 적합한지를 평가하고자 한다.

또한 Borg's CR-10 scale를 이용하여 한국인 작업자가 8시간 작업을 하여도 안전한 하중이라고 본 실험에서 정의한 Moderate에 해당하는 하중을 구하여, 한국인을 대상으로 측정한 최대발휘근력과 심물리학적 안전하중을 비교함으로써 최대발휘근력을 이용하여 심물리학적 안전하중을 손쉽게 구할 수 있는 새로운 방법론을 제기해 보고자 한다.

제 2 장 배경 이론

2.1 요통의 발생

인간의 여러 신체 부위 중 생산 활동과 일상생활의 과정에서 가장 영향을 많이 받는 부위가 요추(lumbar)를 포함한 허리(low back)이다. 허리는 많은 신체활동의 중추적 역할을 하는 부위로서 중량물 등의 취급과정에서 힘을 발휘하고, 보행 시는 물론 앉은 자세에서도 신체균형을 유지하기 위한 지속적인 활동과 그에 따른 스트레스를 받고 있다.

요통(LBP: low back pain)은 인류가 직립보행을 하면서 손이라는 가장 효과적인 도구를 얻으면서 직면한 진화과정의 근본적 과제로서 그 종류와 강도의 차이는 있지만 최소한 80% 이상의 사람들이 일생 중 최소 한번은 경험하는 것으로 알려져 있다.

요통이 주로 일어나는 부위는 요추로서 요추는 5개의 뼈로 구성되어 있으며, 그 사이에 추간관인 디스크가 뼈 사이에서 충격을 막는 완충작용을 하고 이들 뼈 주위에 강한 인대들과 근육조직이 둘러싸 보호하고 있다.

요추가 본래의 기능을 다하려면 뼈 디스크 인대 근육이 제자리를 잡아야 하는데 이 요추에 무리한 압력이나 긴장상태가 가해질 때 조직손상이나 피로를 일으켜 요통이 발생한다.

원인은 과도한 힘의 사용, 부적절한 자세, 피로의 누적 등 다양하고 복합적으로 작용하며, 쉽게 치료가 가능한 경우도 있지만 대부분은 반복성 또는 만성적 질병으로 남는 경우가 많다. 흔히 요통하면 연상하게 되는 디스크는 요통을 일으키는 수많은 원인 가운데 하나 일뿐이며 다양하고 복잡한 원인과 종류의 요통이 생산 활동은 물론 일상적 활동의 과정에서 발생하고 있다. 그중에서도 인력에 의한 중량물 취급(MMH)의 위험은 생산 현장에서 중요한 해결과제로 취급되고 있다¹⁹⁾.



2.2 중량물 취급기준

중량물 작업시 안전하게 작업할 수 있도록 중량물 기준을 정하여 권고하고 있으나 그 기준은 산업안전보건법과 산업재해보상보험법에서 다소 차이를 보이고 있다. 산업안전보건법령집 산업보건기준에 관한 규칙 제 149조에서는 사업주가 작업자를 인력으로 들어올리는 작업에 종사하도록 하는 때에는 과도한 중량으로 인하여 작업자의 목, 허리 등 근골격계에 무리한 부담을 주지 않도록 제한하고 있으며 이 때의 중량물의 무게는 작업자의 연령 및 성별, 작업빈도, 운반거리 등에 따라 달라질 수 있으나 일반적으로 남자작업자의 경우 25kg, 여자작업자의 경우는 15kg 이상의 물체를 말하는 것이다²⁴⁾. 산업재해보상법에서는 30kg 이상의 중량물을 노동시간의 1/3 이상 취급하거나, 20kg 이상을 1/2 이상 취급하는 경우를 중량물 취급업무로 규정하고 있다²⁵⁾.

국제노동기구(ILO)에서는 1962년 중량물 취급과 관련된 들어올리기 작업 인력 운반 안전한게 하중기준을 연령별, 성별 안전하게하중으로 구분하여 발표하였으며²⁶⁾, 일본 노동성 재해의학연구소에서 발표한 권장기준은 단독 작업시 30kg 이하로, 장시간 작업시는 체중의 40% 이내로 하여야 하며 시간과 작업량의 관계를 보면 연속작업은 20분 이내로 하고 운반거리는 2km 이내로 1일 1인이 1,500kg 이내의 작업량 하에서 운반작업을 실시하여야

한다고 권장하고 있다²⁷⁾. 우리나라의 경우 다음과 같은 연령별, 성별, 작업 형태를 바탕으로 아래와 같은 인력운반 권장기준을 제시하고 있다²⁸⁾.

**Table 1 Recommended weight of Manual Materials Handling
by age**

작업형태	성별	연령별 허용 권장기준(kgf)			
		18세 이하	19~35세	36~50세	51세 이상
일시 작업 (시간당 2회 이하)	남	25	30	27	25
	여	17	20	17	15
계속 작업 (시간당 3회 이상)	남	12	15	13	10
	여	8	10	8	5

2.3 Revised NIOSH Lifting Equation

NIOSH에서는 1981년 들기작업에 대한 안전 작업지침을 발표하였다. 이 지침은 작업장에서 가장 빈번히 일어나는 들기작업에 있어 안전작업무게 (AL : Action Limit)와 최대허용무게(MPL : Maximum Permissible Limit)를 제시하여, 들기작업에서 위험 요인을 찾아 제거할 수 있도록 하였다. 최대허용무게는 안전작업무게의 3배이며 들기작업을 할 때 요추(L5/S1) 디스크에 650kg 이상의 인간공학적 부하가 부과되는 작업물의 무게이다. 따라서 작업물의 무게가 이 한계를 넘는 들기작업은 작업자에게 매우 위험하다고 할 수 있다. 안전작업무게는 수평인자와 수직인자 그리고 거리인자, 빈도인자를 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 AL과 MPL 사이의 작업에서는 관리적 기법에 의한 작업 개선이 필요하며, MPL 이상의 작업에 대해서는 공학적 기법에 의한 작업 개선이 필요하다고 제안하고 있다.

1981년에 발표된 들기작업 지침은 두 손의 대칭형 들기작업, 제한 조건이 없는 들기자세, 좋은 커플링 상태, 쾌적한 주위환경 등의 제약 조건을 가지고 있다. 이러한 제약 조건은 실제 작업 현장과 차이를 보이기 때문에

이에 대한 보완의 필요성이 높아져 1991년 개정된 새로운 들기작업 지침이 제안되었다. 개정된 들기작업 공식에서 사용되는 작업 변수들의 정의는 다음과 같다.

① 들기작업(lifting Task) : 들기작업이란 특정 물건을 두 손으로 잡고 기계의 도움 없이 들어 수직으로 이동시키는 작업을 뜻한다.

② 무게(L : Load Weight) : 작업물의 무게(kg)

③ 수평위치(H : Horizontal Location) : 두 발 뒷꿈치 뼈의 중점에서 손까지의 거리(cm)이며, 들기작업의 시작점과 종점의 두 군데에서 측정한다.

④ 수직거리(V : Vertical Location) : 바닥에서 손까지의 거리(cm)로 들기작업의 시작점과 종점의 두 군데에서 측정한다.

⑤ 수직이동거리(D : Vertical Travel Distance) : 들기작업에서 수직으로 이동한 거리(cm)이다.

⑥ 비대칭 각도(A : Asymmetry Angle) : 정면에서 비틀린 정도를 나타내는 각도이며, 들기작업의 시작점과 종점의 두 군데에서 측정한다.

⑦ 들기 빈도(F : lifting Frequency) : 15분 동안의 평균적인 분당 들어올리는 횟수(회/분)이다.

⑧ 커플링 분류(C : Coupling Classification) : 커플링이란 드는 물체와 손과의 연결 상태를 말한다. 즉 물체를 들 때 미끄러지거나 떨어뜨리지 않도록 하는 손잡이 등의 상태를 말한다. 커플링의 분류는 좋다(Good), 괜찮다

(Fair), 나쁘다(Poor)의 3등급으로 나뉜다.

권장중량한계는 다음과 같이 부하상수와 6가지 변수를 이용하여 구할 수 있다²⁹⁾.

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

권장중량한계란, 건강한 작업자가 해당 작업 조건에서 작업을 최대 8시간 계속해도 요통의 발생 위험이 증대되지 않는 취급물 중량의 한계값을 말한다.

Table 2 Equation of different multiplier

	Multiplier	Equation
HM	수평 계수(Horizontal Multiplier)	25/H
VM	수직 계수(Vertical Multiplier)	1-(0.003 V-75)
DM	거리 계수(Distance Multiplier)	0.82 + (4.5/D)
AM	비대칭 계수(Asymmetric Multiplier)	1-(0.0032A)
FM	빈도 계수(Frequency Multiplier)	Table 3
CM	커플링 계수(Coupling Multiplier)	Table 4

Table 3 Frequency multiplier

작업반도 (회/분)	T ≤ 1 시간		1시간 ≤ T ≤ 2 시간		2 시간 < T	
	V < 75	V ≥ 75	V < 75	V ≥ 75	V < 75	V ≥ 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	0.81	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

Table 4 Coupling multiplier

결합 타입	수직 위치	
	V < 75cm	75 ≤ V cm
양호(good)	1.00	1.00
보통 (fair)	0.95	1.00
불량(poor)	0.90	0.90

2.4 인력운반작업의 허용중량을 결정하기 위한 접근 방법

인력운반작업시 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(epidemiological approach) : 허용중량을 결정하기 위한 방법으로 모집단의 재해통계 자료를 대상으로 인력물자 취급과 관련되어 발생하는 근골격계 상해(대표적으로 요통)의 발생빈도와 위험도를 통해 분석하는 방법이다.

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

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

④ 정신물리학적 접근 방법(psychophysical approach) : 특정 작업조건 하에서 피실험자들이 자신의 능력에 맞는 최대하중을 결정하기 위해 시행

작은 실험을 반복하여 스스로의 발휘 근력이나 능력을 자각하도록 하는 분석하는 방법이다³⁰⁾.

정신물리학은 인간 감각의 지각과 물리적 자극 사이의 관계를 평가하는 심리학의 한 분야이다. 다시 말해서, 다양한 인력운반 인자들에 의해 발생된 정신물리학, 생체역학적 스트레스의 조합된 영향을 작업자의 지각을 이용하여 평가하는 것을 말한다³¹⁾.

인력운반작업의 능력에 관한 일반적인 정신물리학적 연구는 다양한 작업 조건과 작업자들에 대한 작업부하의 허용 수준을 측정해오고 있다. 일반적으로 결과는 들기 또는 운반의 허용 무게 또는 밀기와 당기기의 허용 힘을 표로서 나타낸다. 인력운반작업과 관련된 대부분의 정신물리학적 연구에서는 비록 정신물리학적 평가 기술이 들기 행위에만 한정되지 않지만, 특히 들기 작업을 강조해 왔다. 또한 정신물리학적 접근방식은 1분당 1회 이상을 수행하는 반복적인 동작에 가장 적합하다. 다양한 인력운반작업을 평가하기 위해 다양한 물리학적 평가 방법들이 이용되고 있으며, 특히 RPE와 BPD 방법이 많이 이용되고 있다^{32,33)}.

2.5 Borg's CR-10 scale

Borg's CR-10 scale은 작업자의 운동 자각도를 평가할 수 있다. 즉, 운동이 얼마나 육체적으로 힘들게 느끼는지를 평가하는 것이다. 운동자각도는 주로 근육의 긴장과 피로, 그리고 가슴에서 숨이 차거나 아픈 느낌에 따라 달라진다. 이 방법의 장점으로는 사용이 용이하고, 단순하다는 것이다.

Borg's CR-10 scale은 작업 종료 그 작업의 불편도나 부하정도를 직접 체크하는 방법이다 1982년 Borg³⁴⁾에 의한 초기의 모델을 단순히 10점으로 나타낸 Table에 작업자가 느끼는 정도를 점수로 나타낸 10 point category scale을 사용하였으나, 각 점수간의 유의성이 현저히 떨어진다는 문제점 때문에 척도를 6~20등급으로 개선하였다.

Modified Borg's CR-10 scale은 1990s에 10-point category scale을 개선한 것으로 Table 4와 같이 0~10까지 나누어 평가하는 방법이며, 최근 대부분의 연구에서 modified Borg's CR-10 scale을 사용하고 있다³⁵⁾.

이 주관적 평가 척도는 0~10의 스케일로 이루어져 있으며, 0은 “전혀 운동을 하지 않는다.”, 그리고 10은 “지금까지 경험한 최고의 운동이며, 최대의 힘을 사용하였다.”에 해당한다.

1은 매우 약한 운동을 말하며, 보통 건강한 사람이 장시간 자기 자신의 페이스대로 천천히 걷는 정도를 말한다.

3은 적당한 운동을 말하며, 특별히 힘들거나 지속하는 데 문제가 없는 정도를 말한다.

5는 힘든 운동을 말하며, 힘이 들고 피곤함을 느끼는 정도이지만 일을 진행하는 데 있어 큰 어려움이 없는 정도를 말한다.

7은 매우 힘든 운동을 말하며, 건강한 사람이 여전히 계속할 수 있지만 스스로 자신의 역량보다 훨씬 열심히 밀어붙여야 하는 정도를 말한다³⁶⁾.



Table 5 Modified Borg's CR-10 scale

Borg's CR-10 Scale	
0	Nothing at All
0.5	Extremely Weak(Just Noticeable)
1	Very Weak
2	Weak
3	Moderate
4	
5	Strong
6	
7	Very Strong
8	
9	
10	Extremely Strong (Almost Max)

제 3 장 실험방법 및 절차

3.1 피실험자

본 연구에서는 과거 요통이나 근골격계 및 신경계통의 병력이 없는 건강한 남자 대학생을 대상으로 실험하였다. 피실험자들의 개인적 신체 특성이나 컨디션의 차이 등에 의한 실험결과의 편차를 줄이기 위해 많은 인간공학 관련 연구에서는 피실험자의 수를 최소 30명으로 결정하여 실험을 하였다^{37,38)}. 따라서 본 실험에서도 이러한 영향을 최소화하기 위해 과거에 근골격계질환 등의 병력이 없는 피실험자 30명을 선정하였다.

피실험자의 선정시 오른손을 주로 사용하는 사람을 선정하였으며 실험을 실시하기 전 피실험자들에게 실험목적 및 절차를 설명하여 실험에 대한 이해도를 높이도록 하였다. 실험에 참여한 피실험자들의 인체특성 자료를 정리한 결과, 연령은 평균 25.5 ± 2.1 세, 신장은 평균 174.7 ± 4.8 cm, 체중은 평균 73.9 ± 10.4 kg, 팔꿈치 높이는 평균 112.3 ± 3.5 cm, 그리고 전완길이는 평균 34.1 ± 1.0 cm가 나왔다.

3.2 실험기기

본 실험에서 사용된 실험장비는 최대발휘근력의 측정을 위한 Digital Dynamometer를 사용하였다. 이 기기는 피실험자가 발휘하고 있는 힘을 피실험자나 실험자가 쉽게 확인할 수 있도록 스트레인게이지에 작용하는 힘을 디지털로 나타내게 된다. 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. 3 Digital Dynamometer

3.3 실험설계

본 연구에서는 NLE의 권장중량한계의 6가지 변수를 이용하여 실험을 설계하였다.

Table 6 Experimental design

변수	실험조건
수직거리	하중의 높이
수평거리	피실험자와 하중의 거리
수직 이동거리	0cm
비대칭각도	0°
들기빈도	1회/분
손잡이 상태	좋은

수직거리와 수평거리는 피실험자별로 신체치수가 상이하므로 각 피실험자별 인체측정 자료를 이용하였다. 또한 수직 이동거리와 비대칭각도, 그리고 손잡이 상태는 권장중량한계를 최적화시키기 위해 계수 값이 1이 나오도록 설계하였으며, 들기빈도는 1회/분을 사용하였다.

Garg와 Saxena³⁹⁾는 상자 크기의 증가에 따라 손잡이가 있는 상자의 최

대허용무게는 5.2% 감소하고 손잡이가 없는 상자의 최대허용무게는 7.2% 감소한다고 하였다. 따라서 상자의 크기에 상자의 크기에 따라 손잡이가 최대허용무게에 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다. 본 연구에서는 가로 34cm, 세로 34cm, 높이 37cm, 무게 2.0kg인 플라스틱 상자를 사용하였다.

본 실험의 자세는 Fig. 4와 같다.



Fig. 4 Experimental posture

3.4 실험절차 및 방법

3.4.1 최대발휘근력 측정

과거 요통이나 근골격계 및 신경계통의 병력이 없는 건강한 남자 대학생 12명을 피실험자로 선정하였다. 실험에 앞서 피실험자에게 실험의 목적에 대해 상세한 설명을 하고 원활한 실험이 이루어질 수 있도록 실험방법과 유의사항을 전달하였다.

피실험자의 팔꿈치 높이와 전완의 길이는 모두 다르기 때문에 전완과 상완이 90°가 되도록 바 높이와 거리를 조절한 후 정자세에서 언더핸드그립 방식으로 바를 잡도록 교육을 실시하였다. 또한 실험자세에 대한 시범을 보였고, 피실험자가 실험장비와 실험조건에 익숙해지도록 적응기간을 제공하였다.

적응훈련이 끝난 피실험자를 대상으로 MVC를 5초동안 3회 측정하였으며, 1회 실험 후 10분의 휴식시간을 두어 근육피로로 인한 영향을 배제하여 재현실험의 정확성을 유지하도록 하였다. 작업자세의 유지와 실험시의 부상을 방지하기 위하여 무릎과 허리를 굽히지 않고 비대칭 각도가 0°인 중립자세로 실험을 실시하도록 하였다.

3.4.2 권장중량한계 산정

NIOSH 들기 작업 지침을 이용하여 피실험자에 따른 권장중량한계를 산출하였다. 순수 수직거리와 수평거리에 따른 권장중량한계를 산출하기 위해 수평위치와 수직거리를 제외한 나머지 변수인 수직이동거리, 비대칭각도, 들기빈도, 그리고 손잡이 상태는 동일한 기준으로 설정하였다.

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

Table 7 Experimental variables of RWL

Subject	HM	VM	DM	AM	FM	CM
Sub.1	0.71	0.90	1	1	0.75	1
Sub.2	0.74	0.88	1	1	0.75	1
Sub.3	0.76	0.89	1	1	0.75	1
Sub.4	0.76	0.89	1	1	0.75	1
Sub.5	0.71	0.90	1	1	0.75	1
Sub.6	0.71	0.89	1	1	0.75	1
Sub.7	0.71	0.90	1	1	0.75	1
Sub.8	0.76	0.91	1	1	0.75	1
Sub.9	0.68	0.86	1	1	0.75	1
Sub.10	0.74	0.88	1	1	0.75	1
Sub.11	0.74	0.89	1	1	0.75	1
Sub.12	0.76	0.89	1	1	0.75	1
Sub.13	0.71	0.89	1	1	0.75	1
Sub.14	0.71	0.88	1	1	0.75	1
Sub.15	0.76	0.90	1	1	0.75	1

Subject	HM	VM	DM	AM	FM	CM
Sub.16	0.71	0.88	1	1	0.75	1
Sub.17	0.71	0.89	1	1	0.75	1
Sub.18	0.74	0.89	1	1	0.75	1
Sub.19	0.74	0.89	1	1	0.75	1
Sub.20	0.74	0.88	1	1	0.75	1
Sub.21	0.71	0.89	1	1	0.75	1
Sub.22	0.76	0.89	1	1	0.75	1
Sub.23	0.74	0.90	1	1	0.75	1
Sub.24	0.78	0.92	1	1	0.75	1
Sub.25	0.74	0.89	1	1	0.75	1
Sub.26	0.76	0.89	1	1	0.75	1
Sub.27	0.71	0.88	1	1	0.75	1
Sub.28	0.76	0.90	1	1	0.75	1
Sub.29	0.74	0.88	1	1	0.75	1
Sub.30	0.74	0.88	1	1	0.75	1

또한 이러한 권장중량한계가 피실험자에게 적절한 무게인지를 평가하기 위해 Borg's CR-10 scale을 이용하였다. 권장중량한계에 해당하는 무게를 피실험자에게 똑같은 실험조건에서 직접 들어보도록 하여 Borg's CR-10 scale을 이용하여 주관적 평가 척도를 측정해 보았다.

3.4.3 Borg's CR-10 scale 측정

Fernandez⁴⁰⁾에 따르면, 심물리학적 최대허용중량 선별의 실험시간을 20분 시행한 결과는 작업자가 짧은 실험시간을 통해 자신이 할 수 있을 것이라는 자신의 의지와 자각의식이 생기는 데 반해, 실제로 작업을 8시간 동안 작업한 결과는 과잉 추정되는 경향이 있다고 하였으며, 약 1시간 정도는 되어야 한다고 하였다. 또한, Kim⁴¹⁾의 75에서 80분의 연구결과에 의하면, 실험의 경제성을 고려하여 $\pm 5\%$ 의 오차를 감안하면 약 45분의 실험시간도 가능하다고 하였다. 따라서, 본 연구에서는 선행연구를 참조하여 심물리학적 안전하중의 실험시간을 1시간으로 하였다.

본 실험을 위하여 우선 Borg's CR-10 scale의 대한 교육을 실시한 후, 40분 동안 들기 작업에 대한 피실험자의 적응훈련과 작업조건 및 Borg's CR-10 scale에 친숙할 수 있는 예비친숙기간이 주어졌다.

예비 친숙기간을 마친 후 20분동안 최대발휘근력의 15~40%에 해당하는 20가지 무게의 들기 작업을 실시하였다. 이 때, 들기 작업 무게는 피실험자가 알 수 없도록 하고, 모든 피실험자에게 무작위방법으로 실시하였다.

피실험자들은 각각의 실험이 끝난 후 8시간 작업을 한다는 가정 하에 실험을 하면서 얼마나 힘들었는지를 주관적 평가척도인 Borg's CR-10 scale을 이용하여 평가하였다.

3.4.4 심물리학적 안전하중 분석

본 연구에서는 Borg's CR-10 scale을 이용하여 심물리학적 안전하중을 구하였다.

Borg's CR-10 scale에서 1 (Light)은 건강한 사람이 장시간 자신의 생각대로 일을 하여도 힘들지 않은 정도를 말하며, 3 (Moderate)은 특별히 힘들다고 느끼지 않으며 8시간 동안 작업을 하는데 문제가 없는 정도를 말한다. 또한 5 (Strong)는 육체적으로 힘이 들고 피곤함을 느끼며 8시간 작업을 하기에는 힘든 정도를 말한다.

따라서 본 연구에서는 Borg's CR-10 scale의 척도 중 3에 해당하는 Moderate를 심물리학적 안전하중이라고 제안하였다.

Borg's CR-10 scale 평가로 구해진 결과에서 심물리학적 안전하중인 Moderate에 해당하는 값을 분석하였다.

제 4 장 실험 결과

4.1 최대발휘근력

Table 8은 피실험자의 3회 측정한 MVC의 평균을 나타낸 표이며, MVC의 평균은 $36.9 \pm 3.8\text{kgf}$ 으로 나타났다.

Table 8 Maximum voluntary contraction

피실험자	MVC(kgf)	피실험자	MVC(kgf)
Sub.1	37.9	Sub.16	37.6
Sub.2	39.9	Sub.17	33.4
Sub.3	40.5	Sub.18	39.3
Sub.4	32.1	Sub.19	33.3
Sub.5	36.1	Sub.20	34.9
Sub.6	34.8	Sub.21	33.7
Sub.7	32.2	Sub.22	35.7
Sub.8	32.3	Sub.23	32.4
Sub.9	41.9	Sub.24	33.2
Sub.10	38.0	Sub.25	36.5
Sub.11	34.2	Sub.26	38.0
Sub.12	42.3	Sub.27	41.4
Sub.13	40.1	Sub.28	27.8
Sub.14	34.1	Sub.29	34.2
Sub.15	33.1	Sub.30	34.0
		평균	35.8
		표준편차	3.5

성창한⁴²⁾은 손잡이 형태가 양호한 상자를 이용하여 팔을 90°로 굽힌 자세에서 MVC를 측정된 결과, $36.7 \pm 8.6 \text{kgf}$ 으로 나타났다.

따라서 선행연구와 본 연구의 같은 조건에서 측정된 MVC가 차이가 없음을 알 수 있었다.



4.2 권장중량한계 분석

Table 9는 피실험자의 부하상수와 6가지 계수값을 이용하여 계산된 RWL을 나타낸 표이다.

RWL은 10.0~11.9kgf의 값이 나왔으며 평균은 $11.2 \pm 0.4\text{kgf}$ 으로 나타났다. 또한 RWL을 MVC의 백분율로 나타낸 결과는 평균 $31.7 \pm 3.8\%$ 가 나왔다.

Table 9 Recommended weight limit

피실험자	RWL(kgf)	%MVC	피실험자	RWL(kgf)	%MVC
Sub.1	11.0	29.1	Sub.16	10.8	28.8
Sub.2	11.2	28.0	Sub.17	11.0	32.8
Sub.3	10.8	26.7	Sub.18	11.2	28.6
Sub.4	11.6	36.2	Sub.19	11.3	33.8
Sub.5	11.0	30.6	Sub.20	11.2	32.0
Sub.6	11.0	31.5	Sub.21	10.9	32.4
Sub.7	11.0	34.3	Sub.22	11.6	32.4
Sub.8	11.9	36.9	Sub.23	11.4	35.0
Sub.9	10.0	23.9	Sub.24	12.3	37.2
Sub.10	11.2	29.5	Sub.25	11.2	30.8
Sub.11	11.2	32.9	Sub.26	11.6	30.6
Sub.12	11.6	27.5	Sub.27	10.8	26.1
Sub.13	11.0	27.4	Sub.28	11.7	42.1
Sub.14	10.9	31.9	Sub.29	11.2	32.6
Sub.15	11.7	35.5	Sub.30	11.1	32.7
평균				11.2	31.7
표준편차				0.4	3.8

Table 9에 나와 있는 NIOSH의 RWL이 한국인의 기준에 맞는지를 평가하기 위해 RWL의 무게를 피실험자에게 들게 하여 주관적 불편도를 Borg's CR-10 scale로 측정하였다.

그 결과, 모든 피실험자들은 RWL이 Borg's CR-10 scale의 4와 5에 해당한다고 평가하였다.

Table 10 Perceived exertion of RWL

피실험자	RWL(kgf)	Borg's scale	피실험자	RWL(kgf)	Borg's scale
Sub.1	11.0	5	Sub.16	10.8	5
Sub.2	11.2	5	Sub.17	11.0	5
Sub.3	10.8	4	Sub.18	11.2	4
Sub.4	11.6	5	Sub.19	11.3	4
Sub.5	11.0	5	Sub.20	11.2	5
Sub.6	11.0	4	Sub.21	10.9	5
Sub.7	11.0	4	Sub.22	11.6	4
Sub.8	11.9	5	Sub.23	11.4	5
Sub.9	10.0	4	Sub.24	12.3	4
Sub.10	11.2	5	Sub.25	11.2	4
Sub.11	11.2	4	Sub.26	11.6	5
Sub.12	11.6	5	Sub.27	10.8	4
Sub.13	11.0	4	Sub.28	11.7	5
Sub.14	10.9	5	Sub.29	11.2	4
Sub.15	11.7	5	Sub.30	11.1	5
평균				11.2	4.6
표준편차				0.4	0.5

Borg's CR-10 scale의 4는 "Somewhat strong"에 해당하며, 약간 힘들기는 하지만 계속 작업을 할 수 있는 정도를 말하며, 5는 "Strong"에 해당하며, 육체적으로 힘이 들고 피곤함을 느끼는 정도이며 8시간 작업을 하기에 힘든 무게라고 할 수 있다.



4.3 심물리학적 안전하중

Table 11은 심물리학적 안전하중과 이를 MVC의 백분율로 나타낸 %MVC값을 나타낸 표이다.

심물리학적 안전하중은 6.0~10.0kgf으로 나왔으며, 평균은 8.3 ± 1.0 kgf으로 나타났다. 또한 %MVC는 20.1~26.4%로 나왔으며, 평균은 23.3 ± 1.7 %이였다.

Table 11 Psychophysical safety weight

피실험자	Moderate	%MVC	피실험자	Moderate	%MVC
Sub.1	8.5	22.4	Sub.16	8.0	21.3
Sub.2	9.5	23.8	Sub.17	8.0	24.0
Sub.3	9.0	22.2	Sub.18	9.0	22.9
Sub.4	7.0	21.8	Sub.19	7.5	22.5
Sub.5	8.5	23.5	Sub.20	9.0	25.8
Sub.6	8.5	24.4	Sub.21	8.0	23.7
Sub.7	7.5	23.3	Sub.22	7.5	21.0
Sub.8	8.5	26.3	Sub.23	7.0	21.6
Sub.9	10.0	23.9	Sub.24	8.0	24.1
Sub.10	8.5	22.4	Sub.25	9.5	26.0
Sub.11	8.0	23.4	Sub.26	8.5	22.4
Sub.12	8.5	20.1	Sub.27	10.0	24.2
Sub.13	10.0	24.9	Sub.28	6.0	21.6
Sub.14	9.0	26.4	Sub.29	8.0	23.4
Sub.15	8.0	24.2	Sub.30	7.0	20.6
평균				8.3	23.3
표준편차				1.0	1.7

4.4 심물리학적 안전하중 분석

Fig. 5는 RWL과 심물리학적 안전하중을 비교한 그림이다. RWL은 측정된 심물리학적 안전하중보다 8.4% MVC 높게 측정되었다.

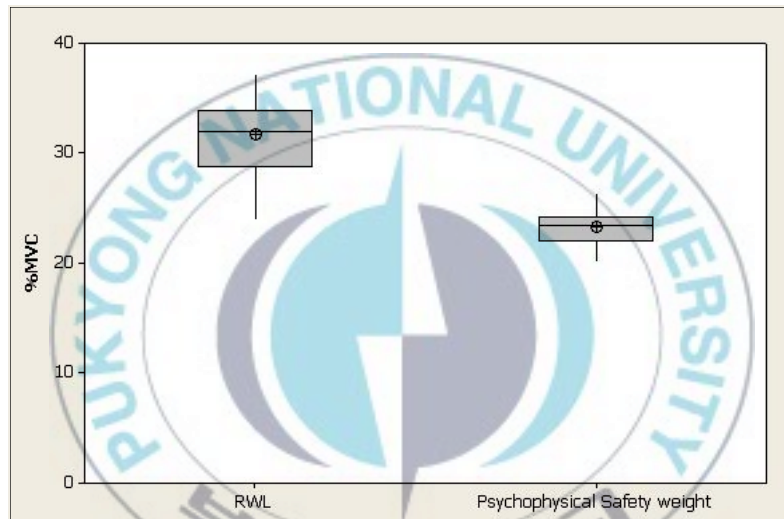


Fig. 5 Comparison between RWL and Psychophysical safety weight

MVC와 심물리학적 안전하중의 상관분석 결과, $P < 0.001$ 로 유의하다는 결과가 나왔다.

또한 심물리학적 안전하중은 MVC가 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 회귀분석한 결과로 기울기 0.194, 절편 1.37의 식이 나왔으며, R^2 값

은 0.595였다.



제 5 장 결론 및 고찰

본 연구에서는 인력 들기 작업시 한국인의 특성을 고려한 안전한 작업무게를 구하기 위한 방법론을 찾기 위해 다음과 같이 실험을 실시하였다.

- 최대발휘근력 측정
- 수평거리, 수직거리, 이동거리, 비대칭각도, 들기빈도, 그리고 손잡이 상태 등의 실험조건을 고려한 권장중량한계 산정
- 권장중량한계의 주관적 불편도 측정
- 권장중량한계의 실험과 같은 조건에서 Borg's CR-10 scale을 이용한 심물리학적 안전하중 측정

본 연구의 실험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

최대발휘근력은 평균 $36.9 \pm 3.8\text{kgf}$ 이 나왔으며, 권장중량한계는 평균 $11.2 \pm 0.4\text{kgf}$ 으로 나타났다. NIOSH에서 개발된 NLE가 한국인에게 적합한지 알아보기 위해 본 실험조건을 고려하여 구해진 권장중량한계로 피실험자별 주관적 피로도를 평가하였다. 모든 피실험자들은 권장중량한계를 Borg's CR-10 Scale 4와 5로 평가하였으며, 이는 피실험자들이 권장중량한계를 적용하여 작업을 하기에는 힘들다고 판단했다는 것을 말한다.

또한 본 실험에서 구해진 권장중량한계를 심물리학적 안전하중과 비교해 본 결과, 권장중량한계가 심물리학적 안전하중보다 평균 8.4%MVC 높게 측정되었다.

따라서 한국인 20대 대학생들에게 권장중량한계를 동일하게 적용하여 작업을 하면 요통의 위험을 초래할 수 있다는 결과를 도출할 수 있었다. 이 결과는 NLE를 한국인에게 적절한 기준으로 재조정해야 할 필요가 있다고 한 김홍기의 기존연구와 같은 결과를 나타낸다.

한국인을 대상으로 측정한 심물리학적 안전하중은 6~10kgf으로 나왔으며, 피실험자의 최대발휘근력의 20~26.5%에 해당하는 값이 나왔다. 이는 한국인 성인이 작업물체를 인력으로 들기작업을 할 경우 허리에 손상을 주지 않고 또한 극도로 피로해지지 않으면서 동시에 생산량 저하는 초래하지 않을 하중에 해당하며, 8시간 작업을 지속하더라도 작업자의 신체에 무리가 없는 정도를 말한다.

이 결과로 인해 피실험자의 최대발휘근력을 측정함으로써 작업자에게 적절한 안전하중을 찾을 수 있는 새로운 방법론을 제시할 수 있었다.

이 방법론은 기존에 존재하는 연령별 인력운반 중량 권장기준과 NLE의 권장중량한계와 달리 작업자별로 적합한 안전무게를 구할 수 있고, 작업조건이 아닌 작업자를 기준으로 안전하중을 구할 수 있다. 또한 최대발휘근력으로 작업무게를 구한다는 간단한 공식으로 인해 누구나 손쉽게 구할 수

있으며, 간단한 측정기구를 이용하기 때문에 모든 사업장에 적용이 편리하다는 장점을 가지고 있기 때문에 한국인의 작업안전하중을 결정하는 데 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점과 향후 연구과제는 다음과 같다.

- ① 연구대상이 현장작업경험이 없는 20대의 남자대학생으로 특정 나이대, 성별에 치우쳐 있어서 모든 연령대, 성별을 대표할 수 없었다. 향후 보다 다양한 연령대와 여성 피실험자를 대상으로 실험을 추가하는 것이 필요할 것으로 사료된다.
- ② 실내(실험실)의 환경에서 실험이 이루어짐에 따라 실제 작업환경에 적용하는 데는 제한적인 면이 있다. 따라서 실제 작업환경에서 나타날 수 있는 변수들을 고려한 세부적인 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.
- ③ 한 가지 level의 비대칭각도, 들기빈도, 손잡이형태를 사용하여 권장중량한계와 심물리학적 안전하중을 정하는 것은 한계가 있다고 판단된다. 또한 비대칭각도가 커질수록, 들기빈도가 많아질수록, 그리고 손잡이 형태가 나뉠수록 권장중량한계와 심물리학적 안전하중이 작아진다는 선행연구가 있으므로^{18,19,21-24,31)} 여러 가지 작업조건을 고려한 실험이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Bhattacharya, A. and McGlothlin, J.D., Occupational Ergonomics : Theory and Applications, Marcel Dekker, Inc., 1996.
2. 이욱기, 김상호, 정민근, MMH 작업조건에 따른 몸통부위 근육군의 활동변화에 관한 연구, 대한인간공학회 추계학술논문집, pp.223-235, 1993.
3. 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.
4. 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.
5. 고용노동부, 산업재해 현황분석, 2001~2010.
6. 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.

7. 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.
8. 산업재해 원인조사(업무상 질병), 산업안전보건연구원, 2008.
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, Ergonomics, 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. 김홍기, 인력물자취급의 권장 하중에 대한 생리학적 고찰, *대한인간공학회지*, Vol. 16, No. 3, pp. 23-36, 1997.
15. 박지수, 김홍기, 최진영, 작업유형에 따른 생리학적 작업능력의 비교분석, *대한인간공학회지*, Vol. 15, No. 2, pp. 89-98, 1996.
16. 윤훈용, 한손연속작업의 심리육체학적 모델링, *대한인간공학회 춘계학술대회 논문집*, pp. 95-99, 1997.
17. 정성학, 김홍기, 인력물자취급시 작업빈도에 따른 인체심리학적 최대허용중량의 비교연구, *대한인간공학회지 춘계학술논문집*, pp. 39-49, 1997.
18. 윤훈용, 여러 가지 들기 작업에서의 인체심리학적·생리학적 연구, *대한인간공학회지*, Vol. 25, No. 2, pp. 11-21, 2006.
19. 이준석, 인력에 의한 중량물 취급 특성에 관한 연구, *산업안전보건연구원*, 2010.

20. 이관석, 박희석, 직접추정법의 대칭적인 들기 작업의 최대허용하중 결정에의 적용에 관한 연구, 대한인간공학회지, Vol. 14, No. 1, pp. 1-7, 1995.
21. 김홍기, 정성학, 인력문자취급시 작업빈도에 따른 인체심리학적 최대허용중량의 비교 연구, 대한인간공학회 춘계학술논문집, 1997.
22. 정성학, 김홍기, 인력물자취급시의 인체심리학적 최대허용중량의 생리학적인 고찰. 대한인간공학회지, Vol. 18, No. 1, pp. 1-12, 1999.
23. 김규상, 이향기, 홍창우, 중량물 취급 시 작업 하중 및 빈도에 따른 근육피로도에 관한 연구, 대한인간공학회 춘계학술논문집, 2009.
24. 한국산업안전보건공단, 산업안전보건용어사전, 2006.
25. 근로복지공단, 산업재해보상보험법, 2008.
26. 한국산업안전보건공단, 인력운반 안전한게하중 및 안전작업모델 개발에 관한 연구, 2005.
27. 한국산업안전보건공단, 인력운반안전, 2008.
28. 한국산업안전보건공단, KOSHA Code G-06-1999 인력운반 안전작업에 관한 지침, 1999.
29. Waters, T.R., Putz-Anderson, V. and Garg, A., Applications Manual For the Revised NIOSH Lifting Equation, 1994.

30. 배동철, 한국인의 NIOSH lifting equation 계수 평가에 관한 연구 - 20대 남성을 대상으로 -, 부경대학교 박사학위논문, 2005.
31. Bhattacharty, A. and McGlothlin, D.J., Occupational Ergonomics - Theory and Applications, Marcel Dekker Inc., pp. 137-164, 1996.
32. Chang, S.R., Park, S.W. and Freivalds, A., Ergonomic Evaluation of the Effects of Handle Types on Garden Tools, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 24, pp. 99-105, 1999.
33. Chang, S.R., Assessment of CTD Risk in Container Crane Control Work, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 14, No. 5, pp. 116-119, 1999.
34. Borg. G., Psychophysical of Perceived Exertion, Med. Sci. Sports and Exercise, Vol. 14, pp. 377-381, 1982.
35. Borg. G., Psychophysical Scaling with Application in Physical Work and the Perception of Exertion, Scand. J., Work Environment Health, Vol. 16 (Supply 1), pp. 55-58, 1990.
36. Borg. G., Borg's Perceived Exertion and Pain Scales, p. 51, 1998.
37. 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.

38. 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.
39. Garg, A. and Saxena U., Container Characteristics and Maximum Acceptable Weight of Lift, *Human Factors*, Vol. 22, pp. 487-495, 1980.
40. Fernandez, J., Psychophysical Lifting Capacity over Extended Periods, Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1986.
41. Kim. H. K., Development of A Model for Combined Ergonomic Approaches in Manual Materials Handling Tasks, Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1990.
42. 성창한, 배동철, 장성록, 상자 들기 작업시 자세 및 손잡이 형태가 발휘 근력에 미치는 영향, *한국안전학회 춘계논문발표회 논문집*, pp. 371-376, 2002.

부 록. NIOSH 들기 작업 지침 요약

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 생체역학적 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 제

안되었다.

개정된 들기 작업 공식은 들기 작업에 대한 권장무게한계를 쉽게 산출하도록 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 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 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 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.



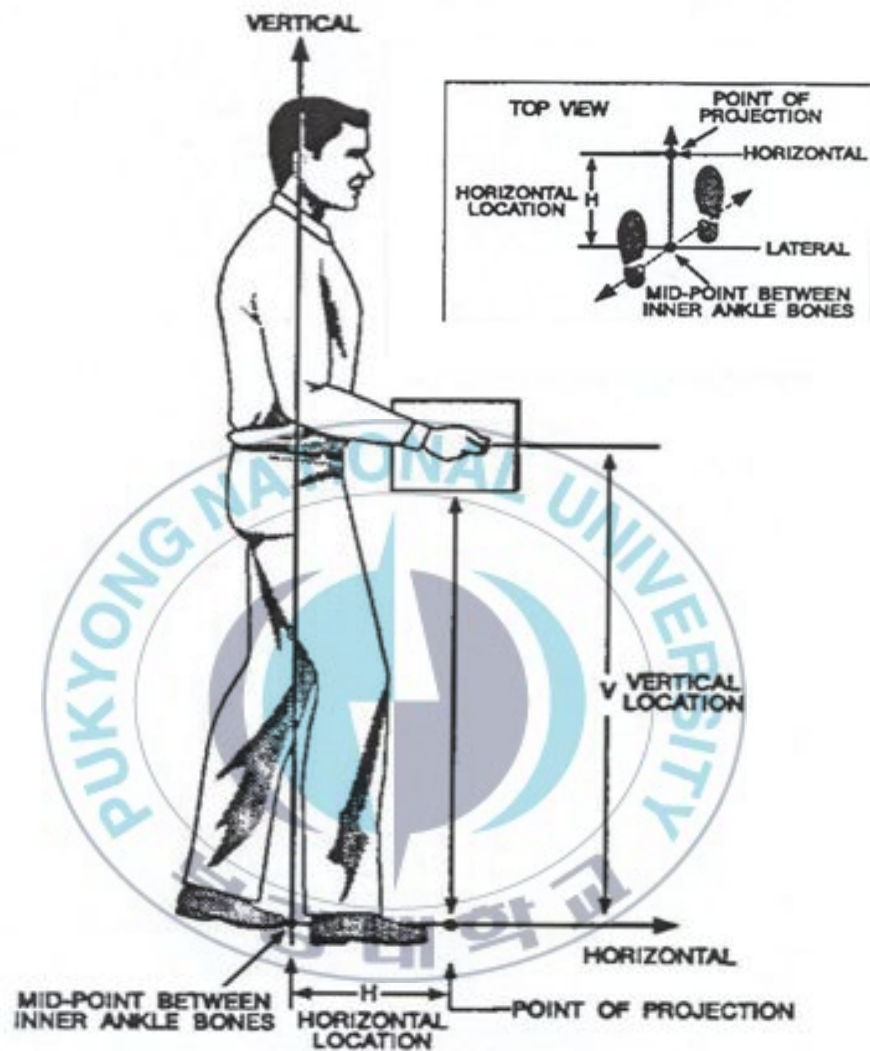


Fig. A1 Graphic representation of hand location

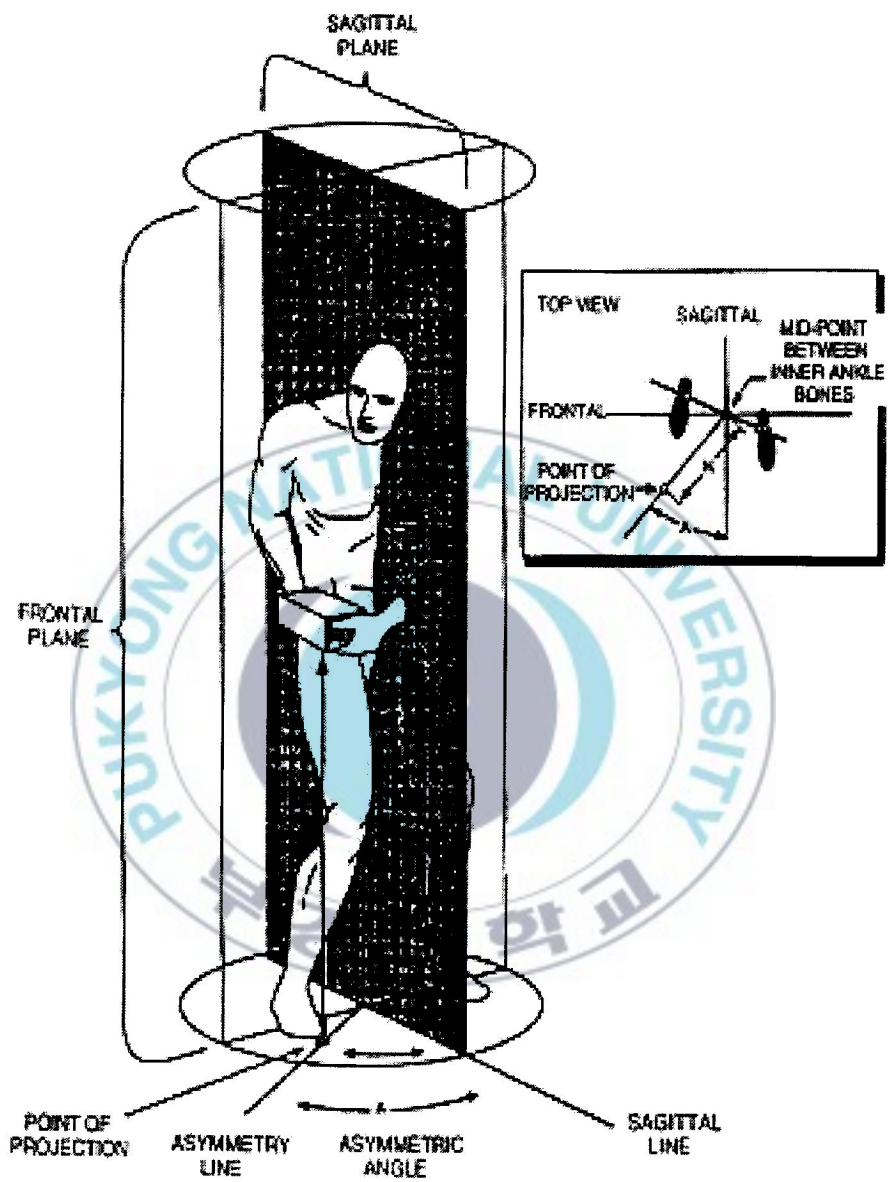


Fig. A2 Graphic representation of angle of asymmetry

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 최대 허용무게이다. 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 수직이동 거리(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 몸 에 가장 가깝게 할 수 있는 최소 수평거리이고 63cm는 체구가 작은 사람

이 물체를 최대한 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 요통 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 기준값으로 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 1

이고 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

작업빈도 (회/분)	T ≤ 1 시간		1시간 ≤ T ≤ 2 시간		2 시간 < T	
	V < 75	V ≥ 75	V < 75	V ≥ 75	V < 75	V ≥ 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	0.81	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

(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 최적이지 않으면 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

결함 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