

A Guideline on the Operation Phase of Manual Material Handling Task Through Literature Review

Kyung-Sun Lee¹, Myung-Chul Jung²

¹Department of Industrial Safety Management, Suncheon Jeil College, Suncheon, 57997

²Department of Industrial Engineering, Ajou University, Suwon, 16499

Corresponding Author

Myung-Chul Jung
Department of Industrial Engineering,
Ajou University, Suwon, 16499
Mobile: +82-10-6273-7034
Email: mcjung@ajou.ac.kr

Received: July 07, 2017

Revised: July 08, 2017

Accepted: July 15, 2017

Objective: The purpose of this study is to suggest the guideline of operation phase to minimize the injuries and musculoskeletal disorder in manual material handling (MMH) task through literature review. This guide is presented as the preparing phase, lifting phase, carrying phase, and lowering phase. Also, we summarized the non-numerical general guideline for MMH task.

Background: Manual material handling is still the main cause to develop the musculoskeletal disorders.

Method: Procedures of literature reviews are classified into data base selection, keyword search, title review, abstract review related literature selection, guideline review and arrangement. A total 48 papers or books were analyzed in detail by title and abstract review.

Results: In preparing phase, we suggested the basic condition in MMH, preparing procedure, clothing and protective equipment, and education. In lifting and carrying phase, we recommended maximal acceptable weight by frequency and body posture. In lowering phase, we suggested the maximal lower weight and safety body postures. Finally, we recommended general guidelines and guideline items for MMH. A general guideline is to suggest the worker selection, technical education, and work design parts.

Conclusion: We suggested the guideline on the four operation phase of MMH such as preparing, lifting, carrying, and lowering.

Application: This information can be utilized as a guideline for the proactive recommendations according to the workers in MMH task.

Keywords: Manual material handling, Preparing, Lifting, Lowering, Carrying, Literature review

1. Introduction

Copyright©2017 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인력운반작업은(Manual Material Handling; MMH) 물건을 인체의 힘을 이용하여 들어 올리거나 내려 놓거나 당기거나 밀어 옮겨 놓는 작업을 말한다. 또한 정지 자세에서 운반물 운반과 지지, 지정장소나 운반차량 등에서 물건을 다른 사람에게 던지는 모든 작업이 포함된다(Kim, 1997). 인력운반작업은 개인의 능력에 따라 차이가 크기 때문에 그 능력의 한계 내에서 작업이 제한되며, 만약 작업이 자신의 능력 한계를 초과하게 되면 육체적 피로를 증대시키고 작업능률이 저하되며 나아가 안전사고로 까지 연결될 수 있다(Garg and Saxena, 1979). 인력운반작업과정에서 발생할 수 있는 재해 형태는

요추에 의한 요통, 협착, 낙하, 충돌 등이 있으며 이 중에서 가장 대표적인 것이 요추 염좌에 의한 요통이다(Kim, 1997). 요통은 근골격계질환의 대표적인 질환 중 하나로서 자신의 능력 한계를 초과하는 일을 반복적으로 무리해서 장기간 수행하게 되면 발생할 수 있다(Ayoub et al., 1987; Liberty Mutual Insurance, 2004). 2016년 산업재해통계자료를 살펴보면, 요통이 전체 질병재해자의 약 34.8%를 차지하며 가장 높은 비율을 나타냈으며 다음으로 신체부담작업이 26.6%를 나타냈다(고용노동부, 2016). 요통과 신체에 부담을 주는 대표적인 작업은 인력운반작업으로 많은 분야에서 기술의 발달로 인하여 자동화 및 기계화 되고 있음에도 불구하고 다수의 부분을 작업자가 직접 수행하는 대표적인 작업이다(Garg, 1983; Mo et al., 2010).

인력운반작업은 크게 중량물 특성, 작업 특성, 작업자 특성 그리고 환경적 특성에 따라 신체적 부하에 차이를 나타낸다(Mack et al., 1995). 각 특성별 세부 요인을 살펴보면, 중량물 특성은 크기, 무게, 무게 중심, 모양, 힘의 형태(들기, 내리기, 당기기 등) 등이 있으며, 작업 특성은 반복, 지속시간, 속도, 일 압박, 보조기구 사용 유무 등이 해당한다. 작업자 특성은 개인차가 가장 큰 요인으로써 성별, 나이, 인체치수, 근력, 훈련 및 기술, 작업동기 등이 해당하며, 환경적 특성은 작업공간과 장비와의 양립성(Compatability), 공간제약, 장애물 존재 여부, 지형/바닥 표면 상태, 표면 마찰력, 기울기 또는 경사로, 조도, 진동 등이 있다.

인력운반작업은 크게 준비 단계, 들기 단계, 운반 단계, 내리기 단계로 구분할 수 있다. 준비 단계는 인력운반작업 중 발생할 수 있는 위험을 최소화 및 제거하기 위한 것으로서, 작업을 실시하기 전에 작업자의 안전을 위해서 준비하는 단계를 말한다. 준비 단계에 대한 선행연구의 가이드라인을 살펴보면 운반방법, 운반단계 결정, 요통방지 체조, 안전운반 통로 확보 등의 작업환경 준비, 복장 및 보호구 제공, 교육 등의 내용이 포함되어 있다(고용노동부, 2012).

들기 단계는 인력운반작업에서 가장 신체적 부담을 많이 느끼게 되는 작업 단계로써, 특히 허리부분에 많은 부하가 발생한다. 들기 단계에서는 물체를 드는 자세에 따라 허리에 받는 부하가 상당한 차이를 나타내는데, 가령 20kg의 중량물을 들어 올릴 때 허리를 굽힌 자세로 들어 올릴 때에는 허리를 세운 자세로 다리의 힘으로 들어 올릴 때보다 3번 요추(L3)에 걸리는 부하가 약 62% 증가한다(Hansson et al., 1980). 이외에도 여러 연구들에서 들기 빈도와 중량에 따른 최대 허용 중량을 연구하고 있다.

운반 단계는 들기 단계 이후의 작업 단계로써 정해진 장소 또는 공간으로 이동하는 작업을 말한다. 운반 단계에서 작업자에게 가장 큰 영향을 주는 요인은 물체의 중량, 물체의 너비와 높이, 운반 빈도, 운반 거리가 있다(N.C Department of Labor, 2014). 운반 단계에서는 작업자의 팔, 어깨, 허리에 많은 부하가 발생한다. 운반 단계에서도 운반의 자세가 상당히 중요한데, Bhambhani et al. (1997)의 연구에 의하면 중량물을 몸에 붙여서 운반할 때 중량물의 30~40%의 중량이 몸에서 지지하게 됨으로 팔과 어깨에 부담을 감소시킬 수 있다고 하였다.

인력운반작업의 마지막 단계인 내리기 단계는 운반 단계 이후로 수행되는 작업으로 해당 장소 또는 공간에 물체를 내리는 작업을 말한다. 내리기 단계에 대한 가이드라인은 인력운반작업의 다른 단계보다 관련 연구가 적으며 해당하는 가이드라인 또한 많지 않다. 특히 ISO 11228-1 (2003)과 영국의 L23 등에서도 내리기 단계와 들기 단계를 구분하지 않고 들기 규정의 권장 중량과 작업 빈도를 함께 적용하여 사용한다.

요통 발생 및 작업 중 신체부담을 많이 느끼는 인력운반작업에 대한 선행연구들은 오랜 기간 꾸준히 연구되고 있다. 그에 따라서 허용 중량 및 빈도 등의 일부 영향 인자에 대한 가이드라인은 제시되고 있다. 하지만 인력운반작업의 운영 단계별 가이드라인은 체계적으로 정리되고 있지 않다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구의 목적은 문헌조사를 통하여 인력운반작업으로 발생할 수 있는 근골격계 관련 상해 및 부담을 최소화하기 위한 작업 가이드라인을 운영 단계별로 제시하고자 하는 것이다. 가이드라인은 준비 단계, 들기 단계, 운반 단계, 내리기 단계로 제시되며 각 단계별 영향 인자에 대한 주요 규정 및 가이드라인의 포함 여부를 정리하였다. 마지막으로 인력운반작업에 대한 전반적인 운영방법을 함께 정리하였다.

2. Literature Review Methods

인력운반작업의 운영 단계별 가이드라인을 제안하기 위하여 논문, 서적 및 보고서를 선별하여 운영 단계별 내용을 정리 요약하였다. 다양한 기능을 제공하고 있는 PubMed, Elsevier Science, ScienceDirect databases, Google Scholar, DBpia, RISS, KISS 등의 Database

Search Engine을 선정하고 1980~2017년 현재까지 등재된 자료를 대상으로 제목에 적절하게 선택된 키워드가 포함되어 있는 논문, 서적 및 보고서를 검색하였다. 가이드라인 제안을 위한 검색 영문 키워드는 "Manual material handling", "Lifting", "Lowering", "Handling", "Carrying" 등이었으며, 국문 키워드는 "인력운반작업", "수동물자취급", "들기", "내리기", "나르기", "운반" 등을 활용하였다. 키워드로 검색된 자료는 제목 검토를 통하여 본 연구와 관련성이 높다고 판단되는 자료를 1차적으로 선정하고, 이를 대상으로 초록 검토를 실시하였다. 목 검토를 실시하는 이유는 너무 방대한 수의 자료가 검색되고, 이 중에는 관련이 적은 자료가 일부 포함되어 있기 때문이다. 이후 초록 검토를 토대로 최종 가이드라인으로 제안될 자료를 선정하였다. 키워드 검색을 통하여 최초 선정된 자료의 수는 총 285개 이었으며, 제목과 초록 리뷰를 통하여 본 연구와 관련성이 높다고 판단되는 자료 총 48편을 최종 선정하여 심층분석을 실시하였다(Figure 1).

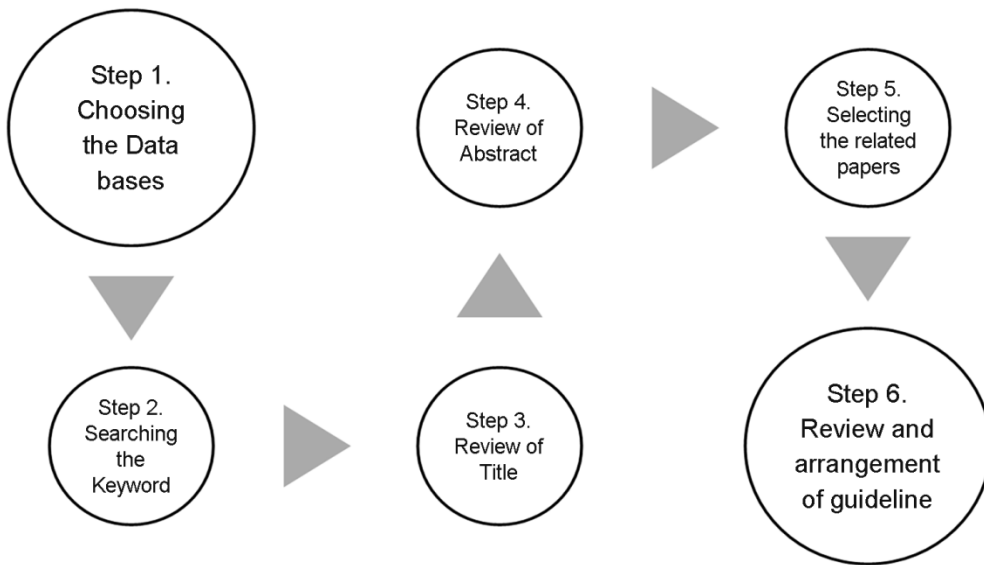


Figure 1. Methodology of literature review

3. A Guideline on the Operation Phase in MMH

3.1 Preparing phase

고용노동부 고시 제 2012-70호에서는 인력운반작업의 준비 단계에서 안전한 작업을 위하여 수행하여야 할 내용을 정리하였다. 본 고시는 크게 1. 인력운반작업에 대한 기본적인 조건, 2. 인력운반작업을 위한 준비과정, 3. 복장 및 보호구 착용, 4. 교육 이수에 대한 내용으로 구성되어 있다. 인력운반작업에 대한 기본적인 조건은 아래와 같이 3가지 내용이 포함되어 있다.

- 1) 숙련된 경험자를 작업 지휘자로 선정하여 운영방법, 운반 단계 등을 협의하여 결정하여야 한다.
- 2) 공동으로 중량물을 운반할 때에는 근로자의 체력, 키 등을 고려하여 현저한 차이가 있는 근로자는 제외하고 작업 지휘자의 지시에 따라 통일된 행동을 하여야 한다.
- 3) 무게 중심이 높은 중량물은 인력으로 운반하여서는 아니 된다.

인력운반작업의 준비과정에서는 근로자의 사전준비 및 환경적 준비사항을 아래와 같이 포함하고 있다.

- 1) 작업시작 전에 허리를 중심으로 요통을 방지하기 위한 가벼운 운동을 하여야 한다.

- 2) 운반통로를 확인하고 통로상의 장애물을 제거하여 안전운반 통로를 확보하고, 부득이한 경우에는 우회 운반통로를 사용하여야 한다.
- 3) 작업자의 체력을 고려하여 작업자를 배치하여야 한다.

인력운반작업 시 복장 및 보호구 착용에 대한 제안은 아래와 같이 5가지 내용을 포함한다.

- 1) 상의 작업복의 소매는 손목에 밀착시킬 수 있는 구조이어야 하며 상의 작업복 옷자락은 하의 속으로 집어넣어야 한다.
- 2) 하의 작업복 바지자락은 안전화 속에 집어넣거나 발목에 밀착이 가능하도록 조일 수 있는 구조이어야 한다.
- 3) 안전모, 안전화 및 안전장갑은 안전인증을 받은 제품으로서 근로자의 신체에 잘 맞는 제품을 바르게 착용하여야 한다.
- 4) 분진이 발생하는 물건을 취급할 때 또는 분진작업자에게는 안전인증을 받은 제품으로서 작업조건에 적합한 방진마스크와 보안경을 착용하여야 한다.
- 5) 유해·위험물로부터 보호할 수 있는 보호구를 선정하여 착용하여야 한다.

마지막으로, 인력운반작업 담당자뿐만 아니라, 운영에 관련된 관계자는 다음과 같은 교육을 이수하여야 한다고 제안한다.

- 1) 요통장비 및 안전 작업을 위한 작업방법 교육
- 2) 중량물 또는 위험물 취급 시 주의사항 교육
- 3) 작업경로에 관련된 사항 검토 교육

3.2 Lifting phase

들기 단계는 인력운반작업의 운영 단계에 있어서 신체적인 부하가 가장 심하고, 특히 허리부위에 집중적으로 부하를 야기한다. 들기 단계에서는 들기의 자세, 들기 빈도와 중량에 대한 가이드라인들이 많이 제시되고 있다. 들기 단계에서 작업 자세는 3번 요추(Lumbar 3)에 걸리는 부하에 영향을 준다. 가량 20kg의 중량물을 허리를 세우고 무릎을 굽힌 자세로 들었을 때와 무릎을 펴고 허리를 굽힌 자세로 들었을 때를 비교하면, 허리를 세우고 무릎을 굽힌 자세로 들어 올릴 때 약 38%의 부하를 감소시킬 수 있다(Table 1) (Hansson and Nachemson, 1980).

Table 1. Lumbar 3 load by upper and lower body posture

Posture	Load (Kg)
Standing	70
Twisting of upper body (trunk)	90
Lateral-flexion of upper body (trunk)	95
20 degree flexion of upper body (trunk)	120
20 degree flexion of upper body (trunk) in lifting 10kg with each hand	185
No flexion of upper body (trunk) and flexion of knee in lifting 20kg	210
Flexion of upper body (trunk) and no flexion of knee in lifting 20kg	340

들기 단계에서의 작업 자세와 함께 들기 빈도와 중량에 따른 최대 허용 중량에 대한 가이드라인이 많은 연구들에서 진행되어 왔다. 들기 빈도에 따른 최대 허용 중량에 대한 가이드라인은 Table 2에 정리하였다. 허용 중량에 대한 가이드라인은 연구마다 약간의 차이는 있었지만 평균적으로 분당 1회의 경우 22.7kg, 2회 23.7kg, 3회 22.9kg, 4회 21.1kg, 5회 19.4kg, 6회 18.4kg을 나타냈다. 빈도에 따른 감소폭을 보면 전반적으로 분당 3회까지는 큰 차이를 보이지 않지만 분당 4회 이상부터는 평균적으로 약 1.5kg 이상의 차이를

나타냈다. 이외에도 ISO 11228-1에서는 권고 한계 중량과 최대 들기 빈도를 정의하였다. 1시간 이하의 들기 작업에서는 분당 1회 들기의 권고 한계 중량을 23.5kg, 1~2시간의 들기 작업에서는 분당 1회 들기의 권고 한계 중량을 22kg으로 제시하고 있다. 그리고 15kg 중량물의 경우에는 1시간 이하의 들기 작업에서는 최대 분당 8회, 1~2시간의 들기 작업에서는 최대 분당 5회를 제안하였다.

Table 2. Maximal acceptable weight (MAW) by lifting frequency

Authors	Lifting frequency per min					
	1	2	3	4	5	6
Snook (1971)	23.4		21.1	20.4	20.2	
Garg and Saxena (1979)			20.5			17.5
Mital and Manivasagan (1983)		21		19.4		18.7
Aghazadeh (1985; 1986)		27.4				
Asfour et al. (1985)	27.2		20		18.6	
Mital and Fard (1986)	18.1			19.7		18.6
Mital (1987)		21		19.7		18.6
Garg and Banaag (1988)			28.2			
Mital and Wang (1989)	19.8					
Danz and Ayoub (1991; 1992)				27.5		
Chen et al. (1992)	27.5	25.3		20.2		
Ciriello et al. (1993)	19.7			18.5		
Lee et al. (1995)	23.2			18.5		
Lee and Chen (1996a; 1996b)	23.9			18.7		
Mital and Kumar (1997)	18.6					
Wu (1997)				27.2		
Boocock et al. (1998)	21.5					
Chen (2000)	25.4			19.9		
Chen (2003)	24.3			18.5		
Min.	18.1	21.0	20.0	18.5	18.6	17.5
Max.	27.5	27.4	28.2	27.5	20.2	18.6
Average	22.7	23.7	22.9	21.1	19.4	18.4
SD	3.2	3.2	4.6	3.6	1.1	0.6

들기 단계에서의 안전 작업을 위한 관련 규정 및 가이드라인으로 국내에서는 고용노동부 고시 제 2012-70호 제7조에서 아래와 같이 권고하고 있다. 1. 중량물의 무게는 실측을 원칙으로 하며 중량물의 무게가 일정하지 않은 때에는 평균무게와 최대무게를 실측하여야 한다. 2. 중량물의 무게를 어림잡은 때에는 가볍게 들어 개인의 능력에 충분한가의 여부를 판단하여 인양하여야 한다. 3. 들기 작업을 할 때의 몸의 자세는 다음 각 목의 사항을 준수하여야 한다.

- 1) 한쪽 발은 들어올리는 물체를 향하여 안전하게 고정시키고 다른 발은 그 뒤에 안전하게 고정시켜야 한다.

- 2) 등은 항상 직립 자세를 유지하여 가능한 지면과 수직이 되도록 하여야 한다.
- 3) 무릎은 직각 자세를 취하고 몸은 가능한 중량물에 근접하여 정명에서 인양하여야 한다.
- 4) 턱은 안으로 당겨 척추와 일직선이 되도록 자세를 유지하여야 한다.
- 5) 팔은 몸에 밀착시키고 끌어당기는 자세를 취하며 가능한 수평 거리를 짧게 하여야 한다.
- 6) 손가락만으로 중량물을 잡아서는(Pinch grip) 아니 되며 손바닥으로 중량물 전체를 감싸 잡아야 한다(Power grip).
- 7) 체중의 중심은 항상 양 다리 중심에 있게 하여 균형을 유지하여야 한다.
- 8) 들기 작업을 할 때 최초의 힘은 뒷발 쪽에 두고 들어야 한다.

Eastman Kodak Company (2004)에서는 들기 단계에서의 작업 가이드라인을 아래와 같이 8가지를 제시하고 있다.

- 1) 들기 계획을 수립한다.
- 2) 최적의 들기 방법을 결정한다.
- 3) 대상물을 견고하게 잡고, 두 발이 안정적인 상태를 유지하도록 어깨너비로 벌린다.
- 4) 힘을 유지하며 최대한 몸 쪽으로 가깝게 붙여 들어올린다.
- 5) 무거운 대상물은 다리를 이용하여 들어올린다.
- 6) 들어 올리는 동안 상체를 비틀지 않도록 한다.
- 7) 중량이 과도한 들기 작업은 경량의 들기 작업으로 나누어 실시한다.
- 8) 큰 근육 군을 사용하여 힘을 발휘하고 운반을 실시한다.

North Carolina (N.C)의 노동청에서는 안전하게 들기 작업을 수행하기 위하여 7가지 가이드라인을 제공하고 있다(N.C Department of Labor, 2014).

- 1) 중량물의 중량과 분포를 미리 확인하여 중량 변화나 과도한 중량에 놀라지 않도록 해야 한다.
- 2) 중량물의 무게가 과도하거나 부적절한 자세로 들어 올려야 하는 경우에는 다른 작업자 또는 보조 도구를 사용하여야 한다. 다른 작업자와 함께 작업하는 경우에는 들기 단계 동안 지속적으로 의사소통을 하여 작업을 조정한다.
- 3) 중량물을 내려놓을 장소를 확인하고 해당 경로에 장애물이나 다른 위험 요소가 있는지 확인한다.
- 4) 중량물에 가까이 몸을 위치시키고, 발을 평평하고 안정적으로 놓는다. 중량물을 최대한 몸 쪽으로 붙여 무게 중심이 가능한 몸 쪽으로 올 수 있도록 한다.
- 5) 가능하다면 중량물을 양손으로 움켜쥐어서(Power grip) 잡도록 하며, 손 끝으로 잡기(Pinch grip)를 제거한다.
- 6) 자연스럽게 부드러운 연속적인 균형 잡힌 동작으로 움직이도록 하며, 빠르거나 갑작스러운 동작을 취하지 않도록 한다. 또한 발을 움직여서 상체 비틀는 것을 방지하고 들기 작업 동안 균형을 유지하도록 한다.
- 7) 상체의 비틀림, 굽힘, 과도한 뺨침 동작은 요통 위험성을 가중시킬 수 있으므로 최소화한다.

마지막으로 영국의 인력운반작업에 대한 가이드라인 L23에서는 들기 단계의 중량에 대하여 Figure 2와 같이 정의하고 있다. 또한 Figure 2의 가이드라인은 비정기적인 들기 단계에 대한 것으로 반복적으로 발생하는 경우에는 상체 자세에 따라 감소된 중량을 적용할 것을 제안한다(Health and Safety Executive, 2016) (Table 3).

3.3 Carrying phase

중량물 운반 단계는 팔, 어깨, 허리에 신체적 부담을 주며 이를 최소화하기 위해서는 중량물을 취급하는 자세가 무엇보다 중요하다. 그리고 중량물을 들었을 때의 전방 시야를 확보할 수 있어야 하며, 팔을 곧게 뻗고 중량물이 보행에 방해가 되지 않도록 허리 정도의 높이로 들어서 운반하는 것이 바람직하다(N.C. Department of Labor, 2014). Bhambhani et al. (1997)은 중량물을 몸에 붙여서 운반할 때 중량물의 30~40%의 중량은 몸에서 지지하게 되므로, 팔과 어깨의 부담을 감소시킬 수 있다고 보고하였다.

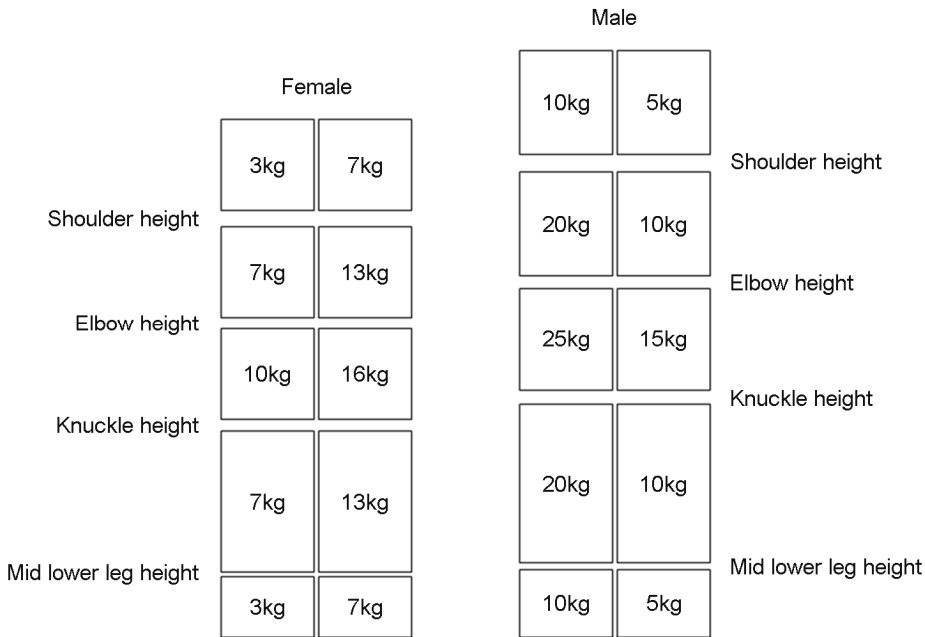


Figure 2. Recommended lifting weight of L23

Table 3. Decrease ratio of recommended lifting weight according to lifting frequency

Frequency per min	Decrease ratio of recommended lifting weight (%)
Standing	30
Twisting of upper body (trunk)	50
Lateral-flexion of upper body (trunk)	80

Table 4는 Liberty Mutual Insurance (2012)에서 제공하는 Snook table의 일부이며, 8.5m의 운반 거리를 남성 작업자가 운반하는 경우의 권장 중량을 나타내고 있다. 예를 들어 팔을 뻗은 자세로 8.5m를 1분에 1번 간격으로 운반을 실시하는 경우 44kg의 중량물을 안전하게 운반할 수 있는 사람은 전체의 10 퍼센타일 사람이 가능하다는 것을 의미한다. 따라서 8.5m를 1분 간격으로 90 퍼센타일의 사람이 안전하게 운반하기 위한 중량물의 무게는 17kg이다.

Table 4. Recommended weight during 8.8m carrying (kg)

Hand height	%tile	Carrying period						
		6 Sec	12 Sec	1 Min	2 Min	5 Min	30 Min	8 Hours
111cm (Bending the Elbow)	90	10	11	13	13	15	17	20
	75	13	15	18	18	20	23	27
	50	17	19	23	24	26	29	35
	25	21	24	29	29	32	36	43
	10	24	28	34	34	38	42	50

Table 4. Recommended weight during 8.8m carrying (kg) (Continued)

Hand height	%tile	Carrying period						
		6 Sec	12 Sec	1 Min	2 Min	5 Min	30 Min	8 Hours
79cm (Straight the Elbow)	90	13	15	17	18	20	22	26
	75	17	20	24	24	27	30	35
	50	22	26	31	31	35	39	46
	25	27	32	38	38	42	48	56
	10	32	38	44	45	50	56	65

이와 유사하게 ISO 11228-1에서도 운반 단계에서의 거리와 운반 빈도에 따른 누적 중량의 권장 한계를 정의하고 있다(Table 5). 예를 들면, 운반 거리가 20m이면 분당 1회 운반하는 경우에는 15kg의 중량을 한 번 옮기는 것을 권장한다.

Table 5. Cumulative recommended weight by carrying distance and frequency in ISO 11228-1

Carrying distance	Frequency per min	Cumulative weight			Example
		kg/min	kg/h	kg/8h	
20	1	15	750	6000	5kg × 3 times/min 15kg × 1 time/min 25kg × 0,5 time/min
10	2	30	1500	10000	5kg × 6 times/min 15kg × 2 times/min 25kg × 1 time/min
4	4	60	3000	10000	5kg × 12 times/min 15kg × 4 times/min 25kg × 1 time/min
2	5	75	4500	10000	5kg × 15 times/min 15kg × 5 times/min 25kg × 1 time/min
1	8	120	7200	10000	5kg × 15 times/min 15kg × 8 times/min 25kg × 1 time/min

국내에서는 고용노동부 고시 제 2012-70호에서 일반적인 중량물 운반과 길이가 긴 장척물을 운반할 때 지켜야 할 사항을 권고사항을 각각 4가지와 3가지를 제시하고 있다. 일반적인 중량물을 운반할 때의 권고사항은 아래와 같다.

- 1) 중량물의 운반은 수평거리 운반을 원칙으로 하며, 여러 번 들어 움직이거나 중계 운반, 반복운반을 하여서는 아니 된다.
- 2) 운반시의 시선은 진행방향을 향하고 뒷걸음 운반을 하여서는 아니 된다.
- 3) 어깨높이보다 높은 위치에서 중량물을 들고 운반하여서는 아니 된다.
- 4) 쌓여 있는 중량물을 운반할 때에는 중간 또는 하부에서 뽑아내어서는 아니 된다.

장척물을 운반할 때의 권고사항은 아래와 같다.

- 1) 단독으로 어깨에 메고 운반할 때에는 중량물 앞부분 끝을 근로자 신장보다 약간 높게 하여 모서리 등에 충돌하지 않도록 주의하여야 한다.
- 2) 공동으로 운반할 때에는 근로자 모두 동일한 어깨에 메고 지휘자의 지시에 따라 작업을 하여야 한다.
- 3) 하역할 때에는 튀어 오름, 굴러 내림 등의 돌발 상황에 주의하여야 한다.

3.4 Lowering phase

Snook and Ciriello (1991)에서는 Table 6과 같이 내리기 단계에 대한 거리, 높이, 빈도에 대한 최대 허용 중량을 제시하고 있지만, 내리기 작업을 구분하여 규정을 제시하고 있는 연구는 많지 않다. ISO 11228-1과 영국의 L23 등에서도 내리기 단계와 들기 단계를 구분하지 않고 들기 규정의 권장 중량, 작업 빈도를 함께 적용하고 있다. 미국국립산업안전보건연구원(NIOSH; National Institute for Occupational Safety and Health)에서 제시하는 Work Practices Guide for Manual Lifting (1981)과 Application Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation (1994)에서도 내리기 작업은 들기 작업과 동일한 작업으로 간주하고 있다(Kim 2010). Snook table의 권장 중량을 살펴보면, 들기 단계에 비해 내리기 단계에서 권장 중량이 약간 높게 제시되고 있다.

Table 6. Maximal lowering weight in U.S. workers (kg)

Width	Distance	Percent	Height	Sec			Min				Hour	
				5	9	14	1	2	5	30		8
Males 34	51	90	Knuckle height to floor level (One lower every)	10	13	14	17	20	22	22	29	
		75		14	18	20	25	28	30	32	40	
		50		19	24	26	33	37	40	42	53	
Females 34	51	90		7	9	9	11	12	13	14	18	
		75		9	11	11	13	15	16	17	22	
		50		10	13	14	16	18	19	20	27	
Males 34	51	90		Shoulder height to knuckle height (One lower every)	11	13	15	17	20	20	20	24
		75			15	18	21	23	27	27	27	33
		50			20	23	27	30	35	35	35	43
Females 34	51	90	8		9	9	10	11	12	12	15	
		75	9		11	11	12	14	15	15	19	
		50	11		13	13	14	16	18	18	22	
Males 34	51	90	Overhead reach to shoulder height (One lower every)		9	10	12	14	16	16	16	20
		75			12	14	17	19	22	22	22	27
		50			16	19	22	24	28	28	28	35
Females 34	51	90		7	8	8	8	10	11	11	13	
		75		8	9	10	10	12	13	13	16	
		50		10	11	11	12	14	15	15	19	

국내에서는 고용노동부 고시 제 2012-70호에서 간략하게 내리기 단계에 대한 규정을 아래와 같이 3가지 제시하고 있다.

- 1) 등은 직립을 유지하고 발은 움직이지 않는 상태에서 다리를 구부려 가능한 낮은 자세로서 한쪽 면을 바닥에 놓은 다음 다른 면을 내려놓아야 한다.
- 2) 조금하게 던져서 하역하여서는 아니 된다.
- 3) 중량물을 어깨 또는 허리 높이에서 하역할 때에는 도움을 받아 안전하게 하역하여야 한다.

3.5 General guidelines and guideline items for MMH

Konz and Johnson (2008)에서는 NIOSH 가이드라인과 선행연구에서 제안하는 허용무게 기반의 가이드라인이 아닌 인력운반작업에 대한 일반적인 가이드라인을 10가지 제시하였다. 이 10가지 가이드라인은 크게 1. 작업자 선택, 2. 인력운반작업에 대한 기술 교육, 3. 작업설계로 구분된다.

작업자 선택에 대한 가이드라인으로는 작업능력평가를 기반으로 인력운반작업에 적합한 작업자를 선택하는 것이다. 작업자를 선택하기 위하여 작업 심각도 지수를 활용할 수 있다(Liles, 1986; Ayoub et al., 1987; Herrin et al., 1986) 작업 심각도 지수(Job Severity Index)는 아래 식을 활용하여 계산한다.

$$JSI \text{ (Job Severity Index)} = f \text{ (Weight/Capacity)}$$

여기서, Weight는 들거나 이동한 무게를 나타내며, Capacity는 작업에 대한 근로자 능력을 의미한다. 작업자 능력은 주로 제지방 무게(Fat-free body weight)의 기능을 말한다. 또한 Jackson et al. (1997)의 연구에서는 들기 능력은 팔, 어깨, 다리, 몸통의 등척성 테스트(Isometric tests)의 합에 의하거나 제지방 무게(Fat-free body weight)에 의해 예측할 수 있다고 하였다.

인력운반작업에 대한 기술 교육과 관련해서는 1. 무릎을 굽히고, 2. 미끄러지거나 갑자기 움직이지 말고, 3. 물건을 운반할 때에는 몸을 비틀지 말라고 제시한다. Burgess-Limerick et al. (1995)의 연구에 의하면 무릎을 굽히는 것은 무릎과 엉덩이 사이 관절간(inter-joint)의 조정력(Coordination)이 좋아지며 슬와부근(Hamstring), 사두근(Quadriceps), 척추 세움근(Erector spinae)의 근력(Muscular effort)을 줄일 수 있다고 보고하였다. 인력운반작업 중에 미끄러지는 것은 갑작스럽게 기대하지 않은 허리부위에 부하를 예기시킨다. 따라서 미끄러짐을 방지하기 위하여 신발과 바닥 사이의 마찰력을 높게 하는 것이 중요하다. 또한 미끄러지거나 갑작스러운 움직임을 예방하기 위해서는 작업자에게 미리 자신이 다루어야 할 물체 무게에 대한 정보를 주는 것이 중요하다. 왜냐하면 무게의 정보를 기반으로 작업자가 움직임의 패턴을 미리 다르게 사용하기 때문에 몸에 부하를 줄일 수 있게 때문이다(Patterson et al., 1987).

인력운반작업에 대한 작업설계 측면에서는 1. 가능한 기계/기구/설비를 사용하고 2. 중량물의 무게를 가능한 줄여 자주 움직이고, 3. 손잡이를 제공하고 4. 척추의 토크 (Spinal torque)를 줄이고 5. 몸에 가깝게 물체를 유지하고 6. Knuckle 높이에서 일할 수 있도록 환경을 설계하여야 한다고 권고한다. 컨베이어, lift truck, Balancers, Manipulator, Turntables 등의 다양한 인력운반작업 기계/기구/설비를 활용하여 인력작업을 제거하는 것이 가장 바람직하다. 인력운반작업 중 근골격계에 작용하는 부하를 줄이는 관점에서 무게를 줄이는 것이 좋은 방법이다. 무게를 줄이기 위해 가장 좋은 방법은 중력을 활용하는 것이다. 또 다른 방법은 공동 작업을 수행하여 무게를 줄이는 것이다. 단 공동으로 인력운반작업을 수행하기 위해서는 비슷한 신장과 근력을 지닌 사람이 함께 하는 것이 효율적이다(Lee and Lee, 2001). 척추의 토크를 줄이기 위하여 척추에 작용하는 토크를 계산하는 것이 필요하다. 척추에 작용하는 토크는 아래 식을 활용하여 계산할 수 있다(Konz and Johnson, 2008).

$$SPINET = OBJWT \text{ (OBMARM)}$$

여기서, SPINET은 척추에 작용하는 토크를 의미하며 OBJWT는 물체 무게, OBMARM은 물체의 모멘트 암을 의미한다. 물체의 모멘트 암은 아래의 식을 통하여 계산할 수 있다.

DISTO + DISTCG

여기서, DISTO는 척추와 물체 사이의 거리를 의미하며(Coronal plane), DISTCG는 물체 무게 중심의 가까운 부분으로부터의 거리를 의미한다. 척추에 작용하는 토크를 줄이기 위해서는 물체를 사람에게 가깝게 위치시키거나 사람이 물체에 가깝게 접근하여 팔 뻗음을 줄여야 한다.

마지막으로 인력운반작업의 위치를 설계하는 것이 중요하다. 가능한 팔레트 및 발판 등을 설치하여 바닥에 물건이 놓이지 않도록 하여야 한다. 신체적 부하 측면에서 물건을 드는 시점보다 내려놓는 종점의 위치가 더 중요하다. 따라서 종점의 높이는 어깨 높이 이상이어서는 아니 된다.

Table 7은 선행연구에서 제시하고 있는 운영 단계별 가이드라인 및 규정에 대한 세부 항목 및 포함 유무를 나타낸 표이다.

Table 7. Guideline items through operation phases in manual material handling tasks

Phase	Item	MEL	Kodak	NCDOL	L23	ISO	
Preparing	Discussion/Plan	○					
	Worker selecting	○					
	Limit weight	○	○	○	○		
	Warm-up	○					
	Secure passage	○		○			
	Clothes rule	○					
	Prior education	○					
	Lifting plan establishment		○		○		
	Weight measurement	○		○	○		
Lifting	Posture	Foot position	○	○	○	○	
		Back	○				
		Knee	○				
		Eye position	○				
		Arm	○	○	○	○	
		Hand	○	○	○	○	
		Center of gravity	○				
	Motion	Upper limb twist		○	○	○	
		Using the large muscle		○			
		Sudden motion			○	○	
		Recommended lifting weight	○			○	○
	Recommended lifting frequency	○			○	○	
Carrying	Close to the body				○		
	Carrying distance				○	○	
	Carrying frequency					○	

Table 7. Guideline items through operation phases in manual material handling tasks (Continued)

Phase	Item	MEL	Kodak	NCDOL	L23	ISO
Carrying	Carrying method	○				
	Carrying direction	○				
	Carrying height	○			○	
	Both people	○				
Lowering	Posture	○				
	Speed	○				
	Both people	○				

4. Discussions

본 연구의 목적은 문헌조사를 통하여 인력운반작업으로 발생할 수 있는 근골격계 관련 상해 및 부담을 최소화하기 위한 작업 가이드라인을 운영 단계별로 제시하고자 하는 것이다. 가이드라인은 준비 단계, 들기 단계, 운반 단계, 내리기 단계로 제시하였으며 각 단계별 영향 인자에 대한 주요 규정 및 가이드라인의 포함 여부를 정리하였다. 또한 추가적으로 수치기반이 아닌 개념적인 인력운반작업의 가이드라인을 함께 정리하였다.

인력운반작업에 대한 준비 단계의 가이드라인은 운영에 대한 계획수립과 준비에 관한 내용이 포함되었다. 인력운반작업에 대한 운영방법, 운반 단계의 협의, 행동에 대한 제안 내용이 주로 포함되어 있으며, 안전인력운반을 위한 환경상의 준비 및 작업자의 작업준비 등의 내용이 포함되어 있다. 또한 안전한 인력운반작업을 위한 복장 및 보호구에 대한 가이드라인과 취급상 주의할 점 및 작업방법에 대한 교육내용을 가이드라인으로 제시하였다. 인력운반작업의 준비 단계에 해당하는 가이드라인을 종합하여 보면 관리적인 측면의 가이드라인이 일반적으로 제시되었다.

들기 단계의 가이드라인을 종합해보면, 들기 단계는 인력운반작업의 운영 단계에서 가장 신체적 부하가 심한 작업이라고 정의하고 있다. 특히 허리에 집중적으로 부하가 동반되는 작업으로 들기의 자세, 들기 빈도와 중량에 대한 가이드라인이 보편적으로 제시되고 있다. 특히 들기 자세에 따라 허리에 걸리는 부하가 차이가 나는데, 허리를 세우고 무릎을 굽힌 자세로 물건을 들어올리는 자세가 가장 올바른 자세라고 제안한다(Hansson and Nachemson, 1980). 들기의 빈도에 따라 최대 허용 중량에 차이를 나타내는데, 선행연구의 결과를 종합하여 평균값을 계산해보면 분당 1번 들기 작업을 할 경우 평균 22.7kg, 분당 2회 23.7kg, 분당 3회 22.9kg, 분당 4회 21.1kg, 분당 5회 19.4kg, 그리고 분당 6회의 경우 18.4kg을 제안하고 있다. 이처럼 평균값을 수치적으로 분석해 본 결과 1회에서 3회까지는 최대 허용 중량이 차이를 크지 않지만 4회부터는 선행적으로 감소하는 것을 알 수 있었다(Table 2). 들기 빈도가 5~8회의 경우에는 1회에 비해 들기 작업에 대한 권고 중량이 약 50%로 감소하고 12회를 넘어갈 경우에는 80% 감소한다고 제안한다(Health and Safety Executive). 들기 작업에서 중요한 가이드라인으로는 물체의 무게를 작업자에게 제공해야 하는 것과 들기 작업의 자세를 제안하고 있다. 결론적으로 들기 작업 단계에서는 가능한 들기 빈도를 줄이고 무게를 낮추며 작업의 자세를 올바르게 하는 것이 신체적 부하를 줄이는 가장 좋은 방법이다.

운반 단계에서는 작업자의 신체적 부하에 영향을 주는 주요 요인을 중량, 중량물의 너비와 높이, 운반 빈도, 운반 거리 등이 있다(N. C. Department of Labor, 2014). 운반 단계에서는 운반 자세가 무엇보다 중요하다. Table 4의 결과를 종합해 보면 운반할 때의 손의 높이에 따라서 최대로 운반할 수 있는 권장 무게가 3~16kg 정도 차이를 나타냄을 알 수 있다. 또한 운반의 길이가 길어지거나 운반 빈도가 많아질수록 권장 무게는 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 운반 단계에서 중요한 요인은 운반물의 크기와 관련된 변수이며 손잡이의 유무에 따라서 권장 무게가 큰 차이를 나타낸다. 따라서 가능한 운반의 거리를 줄이기 위한 작업장 설계가 무엇보다 중요하며 물체의 너비를 줄일 수 있는 포장 및 손잡이를 제공하는 것이 중요하다.

내리기 단계는 인력운반작업의 다른 운영 단계에 비하여 가이드라인 제공을 위한 연구가 많지 않다. 이는 대부분의 연구에서 내리기 단계를 들기 단계와 유사하다고 판단하여 들기 단계의 권장 중량, 작업 빈도를 함께 적용하고 있기 때문이다(Kim 2012). Snook and Ciriello (1991)의 연구에서는 거리, 높이, 빈도를 기반으로 최대 내리기 중량을 제시하고 있다. 권장 내리기 중량을 살펴보면 내리는 거리가 짧을수록 권장 무게를 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 내리기 작업에 대한 신체적 부하를 최소화하기 위해서는 내리는 거리를 최소화 하는 것이 무엇보다 중요하며 또한 가능한 빈도를 최소화 하는 것이 적합하다.

본 연구에서는 Table 7과 같이 인력운반작업의 운영 단계별 선행연구의 가이드라인 항목을 정리하였다. 결과를 종합하여 보면 가이드라인의 다양한 항목들을 모두 포함하고 있는 선행연구들은 없었으며 정량적인 수치기반의 가이드라인 보다는 정성적인 가이드라인의 항목이 많이 차지하고 있었다. 가량 자세의 경우에는 각 관절부위에 권고되는 자세 각도 등의 자세한 정보를 다루고 있는 가이드라인은 찾아보기 힘들다. 특히나 대부분의 연구에서는 운영 단계별 권장 무게를 제안하고 있는데, 이들 자료는 우리나라 작업자의 현실에는 적합하지 않다. 왜냐하면 우리나라 근로자들의 인체측정학 정보는 외국인과는 큰 차이가 존재하기 때문이다. 따라서 이들 권장 가이드라인을 우리나라 근로자에 적용하기에는 다소 무리가 있다고 판단된다.

따라서 추후 연구에서는 한국인을 대상으로 작업 능력을 평가하거나 인체측정학 정보를 활용하여 선행연구의 결과를 수정 및 보완하여 한국인에 적합한 권장 한계 등의 가이드라인을 제안하는 연구가 수행되어야 할 것이라고 판단된다.

Acknowledgements

This study was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. NRF-2016R1D1A1B03934542).

This study was supported by a grant from the National Research Foundation of Korea (NRF) (NRF-2015R1C1A1A01055231), which is funded by the Korean government (MEST).

References

- Aghazadeh, F., "An Evaluation of Two Methods for Assessment of MMH Activities", In: Swezey, R.W. (Ed.) Progress for People. *Proceedings of the Human Factors Society 29th Annual Meeting*, Baltimore (pp. 1000-1001), Maryland, 1985.
- Aghazadeh, F., Dynamic strength models for manual handling of different containers, *Journal of Human Ergology*, 15(2), 131-138, 1986.
- Asfour, S.S., Genaidy, A.M., Khalil, T.M. and Greco, E.C., *A Combined Approach for Determination of Lifting Capacity*. In: Eberts, R.E. and Eberts, C.G. (Eds.) Trends in Ergonomics/Human Factors II (Amsterdam: North-Holland), pp. 617-623, 1985.
- Ayoub, M.B., Selan, J. and Jiang, B., *Manual material handling*, In Handbook of human factors, G. Salvendy (ed), Chapter7.2. New York: Wiley & Sons, 1987.
- Bhambhani, Y., Buckley, S. and Maikala, R., Physiological and biomechanical responses during treadmill walking with graded loads, *European Journal of Applied Physiology*, 76(6), 544-551, 1997.
- Boocock, M.G., Monnington, S.C. and Pinder, A.D.J., *Balance of risk between weight of load and frequency of lift: A study of the psychophysical and biomechanical parameters of repetitive handling*. (Sheffield: Health and Safety Laboratory), HSL Internal Report EWP/98/01, 1998.

Burgess-Limerick, R., Abernethy, B., Neal, R. and Kippers, V., Self-selected manual lifting technique: functional consequences of the interjoint coordination, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(2), 395-411, 1995.

Chen, Y.L., Optimal lifting techniques adopted by Chinese men when determining their maximum acceptable weight of lift, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 61(5), 642-648, 2000.

Chen, Y.L., Can Chinese MAWL be used for designing manual handling tasks?, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 64(1), 117-120, 2003.

Chen, F., Aghazadeh, F. and Lee, K.S., Prediction of the maximum acceptable weight of symmetrical and asymmetrical lift using direct estimation method, *Ergonomics*, 35(7-8), 755-768, 1992.

Ciriello, V.M., Snook, S.H. and Hughes, G.J., Further studies of psychophysically determined maximum acceptable weights and forces, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(1), 175-186, 1993.

Danz, M.E. and Ayoub, M.M., *Investigation of Forces at the Low Back Modeled with Input of Measured Hand Forces during the Pull Phase of a Lifting Task*. In: Karwowski, W. and Yates, J.W. (Eds.) *Advances in Industrial Ergonomics and Safety III* (London: Taylor and Francis), pp. 279-283, 1991.

Danz, M.E. and Ayoub, M.M., The effects of speed, frequency, and load on measured hand forces for a floor to knuckle lifting task, *Ergonomics*, 35(7-8), 833-843, 1992.

Eastman Kodak Company, *Ergonomic Design for People at Work*. 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold Company, 2004.

Garg, A., Lifting and back injuries: a review of the causes of this industrial health problem, and the major methods used to combat it, *Plant Engineering*, 37, 67-71, 1983.

Garg, A. and Banaag, J., Maximum acceptable weights, heart rates and RPEs for one hour's repetitive asymmetric lifting, *Ergonomics*, 31(1), 77-96, 1988.

Garg, A. and Saxena, U., Effects of lifting frequency and technique on physical fatigue with special reference to psychophysical methodology and metabolic rate, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 40(10), 894-903, 1979.

Hansson, T., Roos, B. and Nachemson, A., The bone mineral content and ultimate compressive strength of lumbar vertebrae, *Spine*, 5(1), 46-55, 1980.

Health and Safety Executive, *Manual handling: Manual handling operations regulations* (L23, Fourth edition), 2016.

Herrin, G., Jaraidi, M. and Anderson, C., Prediction of overexertion injuries using biomechanical and psychophysical model, *American Industrial Hygiene Association*, 47(6), 322-330, 1986.

ISO Standard 11228-1, *Ergonomics-Manual handling-Part 1: Lifting and carrying*, 2003.

Jackson, A., Borg, G., Zhang, J., Laughery, K. and Chen, J., Role of physical work capacity and load weight in psychophysical lift ratings, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(3), 181-190, 1997.

Kim, H.G., Physiological viewpoint of the recommended safe weights of load for manual materials handling tasks, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 16(3), 23-36, 1997.

Kim, H.G., Comparison of lifting and lowering activity based on biomechanical, physiological, psychophysical criteria, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 145-153, 2010.

Konz, S. and Johnson, S., *Work design: occupational ergonomics*, seventh edition, Holcomb Hathaway, 2008.

Liberty Mutual Insurance, *Workplace safety index of leading occupational injuries*, 2004.

Liberty Mutual Insurance, *Manual materials handling guidelines*, 2012.

Lee, Y.H. and Chen, Y.L., An isoinertial predictor for maximal acceptable lifting weights of Chinese male subjects, *American Industrial Hygiene Association*, 57(5), 456-463, 1996(a).

Lee, Y.H. and Chen, Y.L., An isometric predictor for maximum acceptable weight of lift for Chinese men. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 38(4), 646-653, 1996(b).

Lee, Y.H., Wu, S.P. and Hsu, S.-H., The Psychophysical Lifting Capacities of Chinese Subjects. *Ergonomics*, 38, (4), 671-683, 1995.

Lee, K. and Lee, J., A study of efficiency of two-man lifting work, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28(3-4), 197-202, 2001.

Liles, D., The application of the job severity index to job design for the control of manual materials-handling injury, *Ergonomic*, 29(1), 65-76, 1986.

Mack, K., Haslegrave, C.M. and Gray M.I., Usability of manual handling aids for transporting materials, *Applied Ergonomics*, 26(5), 353-364, 1995.

Mital, A., Maximum weights of asymmetrical loads acceptable to industrial workers for symmetrical manual lifting, *American Industrial Hygiene Association*, 48(6), 539-544, 1987.

Mital, A. and Manivasagan, I., Maximal acceptable weight of lift as a function of material density, center of gravity location, hand preference and frequency. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 25(1), 33-42, 1983.

Mital, A. and Fard, H.F., Psychophysical and physiological responses to lifting symmetrical and asymmetrical loads symmetrically and asymmetrically. *Ergonomics*, 29(10), 1263-1272, 1986.

Mital, A. and Wang, L.W., Effects on Load Handling of Restricted and Unrestricted Shelf Opening Clearances. *Ergonomics*, 32(1), 39-49, 1989.

Mital, A. and Kumar, G.M., Cardiac rehabilitation (CR): Use of manual materials handling. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(2), 93-99, 1997.

Ministry of Employment and Labor, *Industrial accidents statistics*, 2016.

Ministry of Employment and Labor, *Notification No. 2012-70, A guideline of standard safety work in manual material handling*, 2012.

Mo, S.M. Kwag, J.S. and Jung, M.C., Literature review on one-handed manual material handling, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(5), 819-829, 2010.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Work practices guide for manual lifting*, 1981.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*, 1984.

N.C. Department of Labor, *A guide to manual materials handling and back safety*, 2014.

Snook, S.H., The effects of age and physique on continuous work capacity, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 13(5), 467-479, 1971.

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

Wu, S.P., Maximum acceptable weight of lift by Chinese experienced male manual handlers, *Applied Ergonomics*, 28(4), 237-244, 1997.

Author listings

Kyung-Sun Lee: kyungsunlee81@gmail.com

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Ajou University

Position title: Assistant Professor, Department of Industrial Safety Management, Suncheon Jeil College

Areas of interest: Ergonomics, Biomechanics, Work Design, Motion Analysis, Safety Engineering

Myung-Chul Jung: mcjung@ajou.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, The Pennsylvania State University

Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Ajou University

Areas of interest: Work Design, Ergonomics, Product Development, Biomechanics, Electromyography