

Comparison of Biomechanical Stress on Low Back(L5/S1) for One-hand and Two-hands Lowering Activity

Hong-Ki Kim

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

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to compare one-hand and two-hands lowering activity in terms of biomechanical stress for the range of lowering heights from knuckle height to 10cm above floor level. **Background:** Even though two-hands lifting/lowering activity of manual materials handling tasks are prevalent at the industrial site, many manual materials handling tasks which require the worker to perform one-hand lifting/lowering are also very common at the industrial site and forestry and farming. **Method:** Eight male subjects were asked to perform lowering tasks using both a one-handed as well as a two-handed lowering technique. Trunk muscle electromyographic activity was recorded while the subjects performed the lowering tasks. This information was used as input to an EMG-assisted free-dynamic biomechanical model that predicted spinal loading in three dimensions. **Results:** It was shown that for the left-hand lowering tasks, the values of moment, lateral shear force, A-P shear force, and compressive force were increased by the average 6%, as the workload was increased twice from 7.5kg to 15kg. For the right-hand lowering task, these were increased by the average 17%. For the two-hands lowering tasks, these were increased by the average 14%. **Conclusion:** Even though the effect of workload on the biomechanical stress for both one-hand and two-hands lowering tasks is not so significant for the workload less than 15kg, it can be claimed that the biomechanical stress for one-hand lowering is greater than for two-hands lowering tasks. Therefore, it can be concluded that asymmetrical lowering posture would give greater influence on the biomechanical stress than the workload effect for one-hand lowering activity. **Application:** The result of this study may be used to provide guidelines of recommended safe weights for tasks involved in one-hand lowering activity.

Keywords: One-hand lowering, Moment, Lateral shear force, A-P shear force, Compressive force *

1. Introduction

산업현장에서 작업자의 근골격계에 심한 부담을 주는 작업들은 그 작업 부하가 작업자의 근골격계 능력(해당 근육에서의 최대 근력, 최대 허용 하중 등)에 상당하거나 또는 능가하는 경우라고 할 수 있다. 이러한 경우 작업자는 근골격계 질환을 유발하게 되는 높은 위험 부담에 놓이게 된다.

산업현장에서의 이러한 작업자의 근골격계에 심한 부담을 주는 작업들로 인력물자취급을 들 수 있는데 이 인력물자취급은 들기 작업, 내리기 작업, 미는 작업, 끄는 작업, 운반 작업 등 여러 형태이다. 이러한 작업들 중 특히 들기 작업이 산업현장에서 가장 빈번하면서 아울러 요추 부위에 가장 많은 스트레스를 주는 작업으로 알려져 있다.

1981년 미국의 국립산업안전보건연구원(NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health)에서는

Corresponding Author: Hong-Ki Kim, Department of Industrial and Management Engineering, Kyonggi University, Suwon-si, Kyonggi-do, 443-760.
Phone: +82-31-249-9752, E-mail: hkkim@kyonggi.ac.kr

Copyright©2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). 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. <http://www.esk.or.kr>

"Work Practices Guide for Manual Lifting"을 통하여 인력물자취급의 안전 하중을 제시하면서 내리기 작업은 들기 작업과 동일한 작업으로 간주하였다(NIOSH, 1981). 또한 1991년에 새로이 개정된 "Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation"에서도 내리기 작업은 들기 작업과 동일한 작업으로 간주하였다(Waters et al., 1993).

산업현장에서는 들기 작업에 못지않게 내리기 작업도 빈번히 수행되며 이에 따른 근골격계 질환도 무시할 수 있는 상황이 아니다. Drury et al.(1982)는 모든 상자를 다루는 작업 중 52%가 실제로는 내리기 작업이라고 하였다. 또한 산업현장에서의 들기/내리기 작업은 양손에 의한 들기/내리기 작업뿐만 아니라 한 손에 의한 들기/내리기 작업도 빈번하게 이루어지고 있는 실정이다. 작업자들은 가끔 제한된 또는 열악하게 설계된 작업 공간 내에서 한 손에만 의한 작업을 수행하여야 할 경우가 있다(Marras, Davis, 1998). 최근에는 국내 기업들이 근골격계 유해요인 조사를 실시할 때 자주 한 손 동작이 관찰되는 경우가 많다 보니 한 손 작업 부하를 정량적으로 판단하기가 어려운 점이 있다고 한다(Mo, et al., 2010).

그러나 지금까지의 대부분의 들기/내리기 작업 관련 연구는 양손을 사용한 들기/내리기 작업이며 한 손만을 사용한 들기/내리기 작업에 관한 연구는 별로 많이 수행되어 오지 않았다(Garg and Saxena, 1982; Garg, 1983; Mital and Ilango, 1983; Allread, et al., 1996; Marras and Davis, 1998; Mital and Kumar, 1998a,b; Gall and Parkhouse, 2004; Kim, 2011).

1.1 Background and objective

지금까지 인력운반취급 작업에 관한 연구로서 들기/내리기 작업은 학자들의 많은 관심의 대상이었으며 특히 생체역학적 관점에서의 들기/내리기 작업의 기준 항목으로서 근육에 대한 근력과 요추 부위에 미치는 부하로서 작업 하중, 작업 빈도수 내지는 누적 작업 빈도수, 압축력(Compressive force), 전단력(Shear force), 모멘트(Moment) 등이 관심의 대상이었다. 특히 요추 부위(L5/S1)의 압축력은 지난 반세기에 걸쳐 많은 관심을 끌어왔다. 압축력은 요추 부위에 미치는 힘들 중 수직 방향에 대한 힘으로서 생체역학적 기준치로 사용되어 오고 있다. 좌-우측과 전-후방측에 미치는 힘이 존재하지 않는 것은 아니나 대형 들기 작업의 경우에는 좌-우측 전단력은 고려하지 않았다.

여러 학자들은(De Looze et al., 1993; Gagnon and Gagnon, 1992; Gagnon and Smyth, 1991; Fischer, 1967) 들기 작업과 내리기 작업을 평가하는데 요추 부위에 미치

는 몸통 모우멘트를 비교하였다. 이들은 서로 다른 들기 작업과 내리기 작업의 형태에 따라 몸통 모우멘트의 차이가 있다고 보고하였다. Fischer는 18kg의 중량물을 바닥에서부터 108cm 높이의 선반으로 들어 올리는 작업의 전형적인 요추 부위에서의 최대 모우멘트를 약 300Nm라고 하였다(Fischer, 1967).

그러나 비대칭 들기 작업과 내리기 작업에 대한 연구에서는 좌-우측 전단력과 전-후방 전단력도 관심을 끌게 되었다. McGill은 이들 전단력의 한계치(tolerance)로서 1,000N을 주장하였다(McGil, 1996).

한 손만을 사용하는 들기/내리기 작업은 신체활동의 비대칭성을 유발하며 이에 따른 근골격계 질환은 간과되어서는 안 될 것이다. 특히 한 손만을 사용한 들기/내리기 작업이 산업현장에서 많이 관측되고 있으므로 이러한 작업이 근골격계 질환을 유발시키는 하나의 요인이 될 수 있을 가능성이 높다고 할 수 있을 것이다.

또한 인체는 들기 작업과 내리기 작업에 있어 다르게 반응한다고 주장하는 학자들도 많이 있다. Marras와 Mirka는 등이 앞으로 굽을 때 내리기 작업의 근력이 들기 작업의 근력보다 더 크다고 주장하였다(Marras and Mirka, 1989). Reid와 Costigan은 내리기 작업근력(lowering strength)은 들기 작업근력(lifting strength)보다 약 20% 더 크다고 주장하였다(Reid and Costigan, 1987). Davis et al.(1998)는 내리기 작업 근력은 들기 작업근력보다 50% 크다고 하였다.

Troup et al.(1983)은 양손 내리기 작업의 요추 부위 L5/S1의 압축력은 들기 작업의 경우의 약 88%, 모우멘트는 약 85%라고 주장하였다. 반면, Davis et al.(1998)은 3가지 작업 하중(9.1kg, 18.2kg, 27.3kg)의 양손 내리기 작업에 대하여 요추 부위 L5/S1의 압축력은 평균 3269.1N이었으며 들기 작업의 약 123%라고 하였다. 전-후방 전단력은 3가지 작업 하중(9.1kg, 18.2kg, 27.3kg)에 대하여 평균 680.4N이었으며 들기 작업의 약 83%였다. 모우멘트는 내리기 작업의 경우 평균 140.5N 들기 작업의 경우 113.1N으로서 들기 작업의 약 124%라고 주장하였다.

Kim은 간헐적인 양손 내리기 작업에 있어서 생체역학적 관점, 특히 압축력 관점에서는 Troup 등의 결과와 유사하게 내리기 작업의 압축력은 들기 작업의 압축력의 약 65~93%, 생리학적인 관점에서는 약 87~97%, 정신물리학적 관점에서는 약 87~96%라고 할 수 있다고 하였으며 이들 종합적 결과로 미루어 볼 때 양손 내리기 작업의 스트레스는 양손 들기 작업의 스트레스보다 적다고 할 수 있다고 하였다(Kim, 2010). 또한 Kim은 작업 하중 7.5kg의 한 손 들기 작업의 경우 요추 부위 L5/S1에서의 모멘트는 평균 486.3Nm, 좌-우측 전단력은 평균 1302.9N, 전-후방 전

단력은 평균 3531.0N, 그리고 압축력은 6735.4N이라고 하였으며, 한 손 들기 작업의 작업 하중이 양손 들기 작업의 작업 하중 15kg의 절반이었음에도 L5/S1에서의 모멘트는 양손 들기 작업의 126~166%, 좌-우측 전단력은 300~317%로 매우 높았다고 하면서 이는 한 손 들기 작업의 경우 작업 하중의 영향보다는 비대칭성의 영향이 훨씬 크다고 할 수 있다고 주장하였다(Kim, 2011).

본 연구의 목적은 두 가지 작업 하중 7.5kg, 15kg에 대하여 한 손(왼손 또는 오른손만을 사용) 내리기 작업과 양손 내리기 작업의 경우에 대하여 생체역학적 관점에서의 요추 부위의 모멘트, 전단응력, 압축력에 대한 영향을 분석하고 비교하고자 하였다.

2. Design of Experiments and Experimental Procedures

8명의 피실험자에 대하여 세 가지 작업 형태(왼손 내리기 작업, 오른손 내리기 작업, 양손 내리기 작업), 두 가지 작업 하중(7.5kg, 15kg)의 2×2 요인 난괴법(factorial randomized complete block design)을 반복 2회 적용하였다. 이 때 피실험자 균을 블록으로 사용하였다. 본 연구를 위한 실험계획 모델은 다음과 같다.

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + H_j + L_k + (SH)_{ij} + (SL)_{ik} + (HL)_{jk} + (SHL)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Moment, Lateral shear force, A-P shear force, Compressive force,

μ = Moment, Lateral shear force, A-P shear force, Compressive force들의 모평균,

S_i = Subject i i=1, 2, ..., 8,

H_j = Hand j j=1, 2, 3.

L_k = Load k k=1, 2,

l = Repetition l = 1, 2,

ϵ_{ijkl} = Error term ~ $N(0, \sigma^2)$.

본 실험에서는 들기 작업의 작업 빈도는 실험 인자로서 채택하지 않았다.

2.1 Subjects

본 실험에 참여한 인원은 8명으로서 20~29세 사이의 대학생 또는 대학원생이었다. 현재 요통이 있거나 과거에 요

통 경력이 있는 대학생은 제외하였다. 8명 모두 다 오른손잡이었다. 피실험자들의 인체측정 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Anthropometry of the subjects

	Age (Years)	Body weight (kg)	Stature (cm)	Knuckle height (cm)
Mean	23.9	79.37	179.84	79.18
SD	2.7	19.54	6.82	3.01

2.2 Equipments used for experiments

본 실험을 위하여 미국의 Ohio State University의 Biodynamics Lab에서 개발한 EMG 보조 자유 동적 생체역학 모델(EMG-assisted Free-dynamic Biomechanical Model)을 이용하였다. 이 모델을 이용하기 위해서는 관련되는 총 10개의 근육 활동에 대한 EMG 데이터가 필요하고, 몸통의 위치와 속도를 추적하기 위한 Lumbar Motion Monitor(LMM)가 사용되었다. 또한 EMG 보조 자유 동적 생체역학 모델을 사용하는데 필수적인 항목들에 대한 입력과 각 종 아날로그 신호를 디지털 신호로 전환시키는 데이터 획득 하드웨어(data acquisition hardware, NI-DA2821)를 조절하고 수집된 데이터를 분석하기 위해서 Laboratory Information Management System(LIMS version 1.24, AMT System, Columbus, Ohio, USA)이 사용되었다.

2.2.1 Lumbar Motion Monitor(LMM)

허리 몸통(Lumbar Trunk)의 3차원 동작 분석을 위하여 일종의 3축 고니오미터(tri-axial goniometer)에 해당하는 Lumbar Motion Monitor(LMM)가 사용되었다. 이 장치의 재원과 정확도는 이미 학계에 보고되어 있다(Marras et al., 1990; Marras et al., 1992). 본 실험에서 사용된 gain 값은 8명의 피실험자가 각 각 다르지만 그 범위는 24~126N/cm² 이었다.

2.2.2 Electromyography(EMG)

들기 내리기 작업과 관련된 근육활동 data를 수집하기 위해서 EMG를 사용하였다. 관련 근육들은 요부 척추기립근(Erector Spinae), 광배근(Latissimus Dorsi), 외복사근(External Oblique), 내복사근(Internal Oblique), 복직근(Rectus Abdominis)으로서 좌 우 각 5개, 총 10개의 허리 관련 근육들이다.

이들 근육들에 Ag/AgCl 재질의 10mm 직경 양극 표면 전극(bipolar surface electrodes)을 3cm 간격으로 부착하였다. 이들의 정확한 위치는 Figure 1에 보이는 것과 같

이 관련 참고문헌(Mirka and Marras, 1993)에 따라 설정되었다.

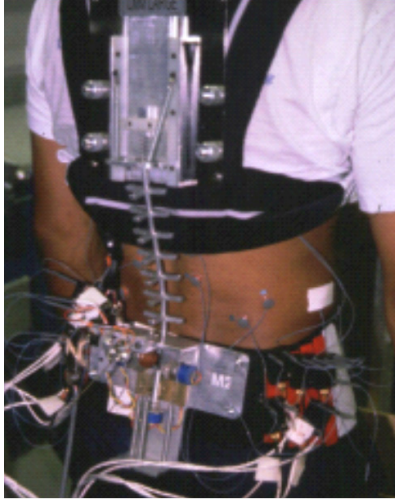


Figure 1. LMM and the location of EMG electrodes

각 근육들의 왼쪽, 오른쪽에 양극 표면 전극들을 부착한 다음 저항을 측정하여 왼쪽과 오른쪽 표면 전극의 저항 차이가 50% 이내가 되지 않거나 각각의 저항이 500ohm 이상이 되면 표면 전극을 다시 부착하였다. EMG 신호는 gain 1,000으로 전치 증폭(CMRR > 95dB)되었고 15~1,000Hz 대역통과필터(band-pass filter)로 필터되었다. 그리고 데이터 샘플링 빈도는 원래의 EMG 신호에 적합한 1,000Hz로 하였다(Kim, 2010).

2.2.3 Force plate

반발력(Ground reaction force)을 측정하기 위하여 Bertec 4060A force plate(Bertec Corporation, Columbus, Ohio, U.S.A.)가 사용되었다.

2.2.4 Lifting box

작업 상자의 크기는 40.6 × 20.3 × 20.3cm(16" × 8" × 8") 이었다. 상단 부 중앙에 파이프를 설치하여 한 손 작업의 경우 손잡이로 사용하였다. 좌 우 양면에는 양손 작업을 위한 손잡이 용도로 2.5cm 높이와 12.7cm 길이의 구멍을 내었다. 내부에 균형이 잡히도록 철근을 넣어 무게 7.5kg과 15kg의 두 종류 작업 상자를 만들어 사용하였다.

2.3 Experimental procedures

피실험자는 요부 몸통 관련 10개의 근육에 EMG 피부

표면 전극들을 부착한 다음 실험 시작 전 까지 약 30분 간의 휴식과 안정을 취하도록 하였다. LMM을 착용하고 PSS(Pelvic Support System)에 벨크로(Velcro)를 이용하여 허리 부위를 고정시키고 ARF(Asymmetric Reference Frame)에 어깨높이의 상체 부위를 고정시켰다. 이 위치에서 네 가지 종류의 허리 몸통 근육 발휘(trunk exertion), 즉 굴전(flexion), 신전(extension)과 오른쪽 비틀기(right(clockwise) twist), 왼쪽 비틀기(left(counter clockwise) twist)를 실시하여 MVC(Maximum Voluntary Contraction)들을 측정하였다. 이 MVC는 허리 몸통 관련 근육들에 대한 정규화(normalization)에 사용되었다. 이들 기초 실험이 끝나면 의도했던 실험계획법에 따라 독립 변수들의 조합에 따른 실제 실험을 수행하였다.

7.5kg과 15kg의 작업 상자(손잡이 높이는 상자 바닥으로부터 10cm 높이)를 바닥으로부터 피실험자들의 손가락 관절높이 까지 왼손과 오른손 한 쪽만을 이용하는 한 손 들기 작업 그리고 양손을 동시에 이용하는 들기 작업을 각 각 2회 무작위로 실행하였다. 실행 간의 휴식 시간은 10분이었다. 이들 작업에 따른 실험 결과는 LIMS의 데이터 수집단계에 기록되어졌다(Kim, 2010).

3. Results and Analysis

모든 실험을 끝내고 LIMS를 사용하여 분석된 결과들에 대한 자료들을 정리한 결과는 다음과 같다.

3.1 Analysis of variance

8명의 피실험자에 대하여 왼손, 오른손, 양손 들기 작업, 두 가지 작업 하중(7.5kg, 15kg)의 3×2 요인 난괴법 디자인을 반복 2회 적용한 실험 결과에 따른 모멘트와 좌-우측 전단력(lateral shear force), 전-후방 전단력(A-P shear force) 및 압축력(compressive force)들에 대하여 ANOVA 분석을 한 결과, 유의수준 0.05에서 모멘트를 제외한 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력들 모두 사용하는 손에 따른 유의한 차이가 없었다. 그러나 작업 하중에 따라서는 좌-우측 전단력을 제외하고는 유의수준 0.05에서 모두 유의한 차이를 나타내었다. 사용하는 손과 작업 하중 간의 교호작용은 유의수준 0.05에서 유의한 차이가 없었다. ANOVA 분석 결과 유의확률은 Table 2에 정리하였다.

좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력들 모두 통계적으로 사용하는 손에 따른 유의한 차이가 없었으나 모멘트는 유의확률 0.0501로서 약간의 유의한 차이가 있다고 할 수

있었다. 왼손과 양손 작업만을 비교해 보면 모멘트의 경우 유의확률은 0.0221, 좌-우 전단력의 경우 0.0098로 유의한 차이가 있었다. 그러나 전-후방 전단력과 압축력은 유의수준 0.05에서 유의한 차이가 없었다. 오른손과 양손 작업을 비교해 보면 4가지 항목 모두 다 유의수준 0.05에서 사용하는 손에 따른 유의한 차이가 없었다. 또한 왼손과 오른손 작업의 경우도 마찬가지로 유의수준 0.05에서 모두 유의한 차이가 없었다.

Table 2. Results of ANOVA for moment, lateral shear force, A-P shear force, and compressive force at L5/S1

Source	DF	Pr > F			
		Moment (Nm)	Lateral shear force(N)	A-P shear force(N)	Compressive force(N)
S	7	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*
H	2	0.0501*	0.1415	0.7513	0.4715
S*H	14	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*
L	1	0.0130*	0.9925	0.0113*	0.0138*
S*L	7	0.6790	0.2102	0.3843	0.1481
H*L	2	0.1460	0.5546	0.3750	0.4361
S*H*L	14	0.4902	0.8348	0.4489	0.5111
Error	47				
Total	94				

S = Subjects(8 persons)
 H = Hands used(Left hand, Right hand, Two hands)
 L = Work load(7.5kg, 15kg)

3.2 Analysis of moment, lateral shear force, A-P shear force, and compressive force for lowering task

7.5kg과 15kg의 중량물을 피실험자들의 손가락 관절높이(knuckle height)로부터 바닥에서 10cm 높이까지 내리기 작업에 따른 L5/S1에서의 모멘트와 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력 및 압축력에 대한 결과는 Table 3과 같다.

작업 하중 7.5kg을 왼손 또는 오른손으로 내리는 작업의 경우 L5/S1에서의 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력 및 압축력은 양손의 경우에 비하여 모두 높은 것으로 나타났다. 한 손 작업의 경우 모멘트는 양손의 경우 보다 132~161% 높은 것으로 나타났다. 또한 압축력의 경우는 114~119% 높았고 4,000N 이상이었다. 특히 팔목할 사항은 좌-우측 전단력의 경우 324~351% 정도로 큰 차이가 났으며 그 수치도 700N을 능가했다. 전-후방 전단력은 모든 경우 2,000N 이상이었다. 왼손과 오른손을 비교해 보면 왼손의 경우 모멘트는 오른손 경우의 82%였으나 좌-우측

전단력은 110%, 전-후방 전단력은 105%였다. 그러나 압축력은 96%였다.

Table 3. Moment, lateral shear force, A-P shear force, and compressive force at L5/S1 by hand used and work load(Mean(SD))

Hands used	Work load (kg)	Moment (Nm)	Lateral shear force(N)	A-P shear force(N)	Compressive force(N)
Left hand	7.5	274.8 (139.6)	779.0 (571.3)	2532.8 (2926.1)	4230.3 (2209.2)
	15.0	305.4 (142.0)	743.0 (551.7)	2781.1 (3199.4)	4635.1 (2221.2)
Two hands	7.5	207.7 (165.5)	218.0 (208.4)	2012.1 (945.6)	3715.4 (1434.0)
	15.0	217.1 (109.6)	265.1 (184.7)	2301.5 (819.3)	4294.6 (1312.6)
Right hand	7.5	334.5 (245.2)	705.8 (778.9)	2401.8 (3123.2)	4410.3 (2746.2)
	15.0	410.1 (303.5)	688.4 (773.8)	3058.2 (3770.1)	5247.6 (3323.0)

작업 하중 15kg의 경우도 마찬가지로 L5/S1에서의 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력 및 압축력은 왼손, 오른손 모두 양손의 경우에 비하여 높은 것으로 나타났다. 한 손 작업의 경우 모멘트는 양손의 경우 보다 141~189% 높은 것으로 나타났다. 또한 압축력의 경우는 108~122%로 높았으며 모두 4,600N 이상이었다. 특히 팔목할 사항은 좌-우측 전단력의 경우 260~280% 정도로 큰 차이가 났으며 그 수치도 680N 이상이었다. 전-후방 전단력은 모든 경우 2,300N을 능가하는 높은 값을 나타내었다. 왼손과 오른손을 비교해 보면 왼손의 경우 모멘트는 오른손 경우의 74%, 전-후방 전단력은 91%, 압축력은 88%였다. 그러나 좌-우측 전단력은 108%였다.

4. Discussion

4.1 Effect of work load

L5/S1에서의 모멘트는 작업 하중이 2배로 증가함에 따라 왼손의 경우 111%, 오른손의 경우는 123%, 양손의 경우는 105%였다. 좌-우측 전단력은 작업 하중이 2배로 증가함에 따라 왼손의 경우 95%, 오른손의 경우는 98%, 양손의 경우는 122%였다. 작업 하중이 2배로 증가함에 따라 전-후방 전단력은 왼손의 경우 110%, 오른손의 경우는 127%, 양손

의 경우는 114%였다. 압축력의 경우는 왼손의 경우 110%, 오른손의 경우는 119%, 양손의 경우는 116%였다.

작업 하중 15kg과 7.5kg에 따른 영향을 종합적으로 살펴보면 왼손의 경우 작업 하중이 2배로 증가함에 따라 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력 및 압축력들은 평균 106%, 오른손의 경우는 117%, 양손의 경우는 114%였다. 그러므로 15kg 이하의 작업 하중은 양손 내리기 작업과 한 손 내리기 작업의 경우에 따라 작업 하중이 큰 영향을 미친다고 할 수 없다고 본다.

작업 하중 7.5kg, 15kg에 대하여 한 손 내리기 작업의 경우는 양손 작업의 경우보다 L5/S1에서의 모멘트는 132~189%, 좌-우측 전단력은 260~357%, 전-후방 전단력은 119~133%, 압축력은 108~122% 높았는데 이러한 결과로 미루어 본다면 한 손 내리기 작업의 생체역학적 작업 스트레스는 양손 내리기 작업의 생체역학적 작업 스트레스보다 훨씬 높다고 할 수 있을 것이다. 특히 좌-우측 전단력이 약 3배로 나타난 것은 한 손 내리기 작업의 좌-우측 비대칭성에 따른 심각한 영향을 보여주는 것이라 생각한다.

이와 같은 결과는 들기 작업에서도 유사한 경향을 나타내었다. Kim은 한 손 들기 작업의 생체역학적 작업 부하는 양손 들기 작업의 생체역학적 작업 부하보다 훨씬 높다고 하였으며 또한 한 손 들기 작업의 좌-우측 비대칭성에 따른 영향이 훨씬 크다고 주장하였다(Kim, 2011).

4.2 Comparison of one-hand and two-hands lowering tasks

작업 하중 7.5kg을 왼손으로 내리는 경우를 작업 하중 15kg을 양손으로 내리는 경우와 비교해 보면, Figure 2에서 보이는 바와 같이 L5/S1에서의 압축력은 큰 차이가 없었으나 모멘트는 127%, 좌-우측 전단력은 294%(Figure 3), 전-후방 전단력은 110%였다. 또한 작업 하중 7.5kg을 오른손으로 드는 경우를 작업 하중 15kg을 양손으로 드는 경우와 비교해 보면, L5/S1에서의 모멘트는 154%, 좌-우측 전단력은 266%, 전-후방 전단력은 104%, 압축력은 103%였다.

Figure 2에서 보듯이 한 손 내리기 작업의 작업 하중이 양손 내리기 작업의 작업 하중의 절반이었음에도 불구하고 L5/S1에서의 압축력은 별 차이가 없었던 반면 모멘트는 127~154%, 좌-우측 전단력은 266~294%로 매우 높았다(Figure 3). 이는 한 손 내리기 작업의 경우 작업 하중의 영향 보다는 비대칭성의 영향이 훨씬 크다는 사실을 입증한다고 할 수 있다. Kim은 들기 작업에서도 이와 유사한 결과를 주장하였다(Kim, 2011).

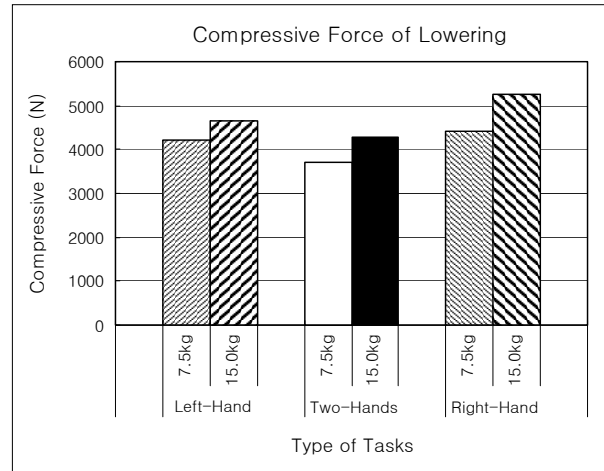


Figure 2. Compressive force of lowering tasks at L5/S1 by hand used and work load

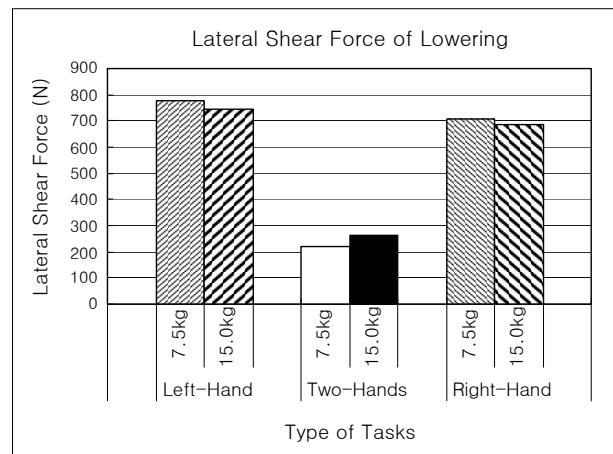


Figure 3. Lateral shear force of lowering tasks at L5/S1 by hand used and work load

4.3 Comparison of left-hand and right-hand lowering tasks

작업 하중 7.5kg에 대하여 왼손과 오른손을 비교해 보면 왼손의 경우 모멘트는 오른손 경우의 82%, 압축력은 오른손 경우의 96%였으나 좌-우측 전단력은 110%, 전-후방 전단력은 105%였다.

작업 하중 15kg에 대하여 왼손과 오른손을 비교해 보면 왼손의 경우 모멘트는 오른손 경우의 74%, 압축력은 88%, 전-후방 전단력은 91%였으나 좌-우측 전단력은 108%였다.

작업 하중에 관계없이 왼손의 경우 모멘트는 오른손의 약

78%, 압축력은 약 92%, 전-후방 전단력은 약 98%로 낮다고 할 수 있다. 그러나 좌-우측 전단력은 약 110%로 높다고 할 수 있다. 들기 작업에 있어서는 Kim은 작업 하중에 관계없이 왼손의 경우 모멘트는 오른손의 약 80%, 전-후방 전단력은 약 125%라고 하였으며 좌-우측 전단력 및 압축력은 큰 차이가 없다고 하였다(Kim, 2011).

4.4 Comparison of compressive forces with one-hand lowering tasks and NIOSH AL or RWL

본 연구의 작업조건에 해당하는 NIOSH의 Guideline의 기준치 AL(Action Limit)은 14.2kg, RWL(Recommended Weight of Lift)은 11.7kg이다(NIOSH, 1981; Waters et al., 1993). 본 연구의 한 손 내리기에 대한 작업 하중 7.5kg은 NIOSH의 양손 들기에 대한 AL 해당 작업 하중 14.2kg의 절반인 7.1kg보다 약간 높지만 비교 차원에서 고려해 보았다. 작업 하중 7.5kg에 대한 왼손 내리기 작업의 압축력은 4230N, 오른손 내리기 작업의 압축력은 4,410N으로서 이 수치들은 NIOSH의 AL에 해당하는 압축력의 기준치 3,430N의 각각 123%, 129%에 해당하였다. 좌-우측 전단력은 McGill(1996)이 주장한 한계치 1000N의 각각 78%, 71%에 해당하였다. 그러나 전-후방 전단력은 이 1,000N의 각각 253%, 240%로서 상당히 높은 결과를 나타내었다.

5. Conclusion and Recommendations

작업 하중 7.5kg과 15kg에 따른 영향을 살펴보면 왼손의 경우 작업 하중이 2배로 증가함에 따라 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력 및 압축력 들은 평균 106%, 오른손의 경우는 117%, 양손의 경우는 114%였다. 그러므로 생체역학적 관점에서 내리기 작업의 경우 15kg 이하의 작업 하중이 요추 부위에 미치는 영향은 크지 않다고 할 수 있으며, 또한 양손과 한 손의 경우에 따른 차이도 크지 않다고 할 수 있다.

작업 하중에 따라 약간의 차이는 있으나 내리기 작업에 있어서 왼손의 경우 좌-우측 전단력을 제외한 모멘트, 압축력, 전-후방 전단력은 모두 오른손의 경우보다 낮다고 할 수 있다.

한 손 내리기 작업의 작업 하중이 양손 내리기 작업의 작업 하중의 절반이었음에도 L5/S1에서의 압축력은 별 차이가 없었던 반면 모멘트는 127~154%, 좌-우측 전단력은 266~294%로 매우 높았다.

이러한 결과들로 미루어 볼 때 한 손 내리기 작업은 양손 내리기 작업보다 요추 부위에 미치는 생체역학적 작업 스트레스가 훨씬 크다고 할 수 있는데, 이는 한 손 작업의 경우 작업 하중의 영향보다는 비대칭성의 영향이 훨씬 크기 때문이라고 할 수 있을 것이다. 양손 들기/내리기 작업에 적용하는 NIOSH의 Guideline의 RWL 값의 절반으로 간주하여 한 손 내리기 작업에 적용한다면 적절하다고 할 수 있겠으나, 7.5kg과 15kg의 작업 하중에 대한 전-후방 전단력이 1,000N을 훨씬 상회하는 2,400~3,000N에 해당하는 결과를 고려한다면 적절하지 못하다고 할 수도 있을 것이다. 현재 NIOSH의 Guideline의 생체역학적 기준치는 압축력만을 고려한 것이므로 한 손 작업에 대해서는 좌-우측 전단력과 전-후방 전단력에 대한 기준치를 고려할 필요가 있을 것이다.

본 연구는 남성 피실험자만을 고려하였으므로 과연 이 실험 결과가 여성 피실험자에 대해서도 유사한 결과를 보여 줄지는 확신할 수 없으므로, 추 후 여성 피실험자를 대상으로 한 유사한 연구가 수행되었으면 한다. 또한 작업 빈도에 따른 영향도 고려해 보는 것도 필요하다고 생각한다.

References

- Allread, W.G., Marras, W.S. and Parnianpour, M., Trunk kinematics of one-handed lifting, and the effects of asymmetry and load weight, *Ergonomics*, 39(2), 322-334, 1996.
- Bertec Force Plate 4060A, Bertec Corporation, 6171 Huntley Road, Suite 3, Columbus, Ohio, U.S.A.
- De Looze, M.P., Toussaint, H.M., Van Dieën, J.H. and Kemper, H.C.G., Joint moments and muscle activity in the lower extremities and lower back in lifting and lowering tasks, *Journal of Biomechanics*, 26(9), 1067-1076, 1993.
- Davis, K.G., Marras, W.S. and Waters, T.R., Evaluation of spinal loading during lowering and lifting, *Clinical Biomechanics*, 13(3), 141-152, 1998.
- Drury, C.G., Law, C. and Pawenski, C.S., A survey of industrial box handling, *Human Factors*, 24, 553-565, 1982.
- Fischer, B.O., *Analysis of Spinal Stresses During Lifting*, unpublished M.S. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1967.
- Gagnon, D. and Gagnon, M., The influence of dynamic factors on triaxial net muscular moments at the L5/S1 joint during asymmetric lifting and lowering, *Journal of Biomechanics*, 25, 891-901, 1992.
- Gagnon, M. and Smyth, G., Muscular mechanical energy expenditure as a process for detecting potential risks in manual material handling, *Journal of Biomechanics*, 24, 191-203, 1991.
- Gall, B. and Parkhouse, W., Changes in physical capacity as a function of age in heavy manual work, *Ergonomics*, 47(6), 671-687, 2004.

- Garg, A., Physiological response to one-handed in the horizontal plane by female workers, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44, 190-200, 1983.
- Garg, A. and Saxena, U., Maximum frequency acceptable to female workers for one-handed lifts in the horizontal plane, *Ergonomics*, 25(9), 839-853, 1982.
- Kim, H.K., Comparison of Lifting and Lowering Activity based on Biomechanical, Physiological, Psychophysical Criteria, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 145-153, 2010.
- Kim, H.K., Comparison of Compressive Forces on Low Back(L5/S1) for One-hand Lifting and Two-hands Lifting Activity, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(5), 597-603, 2011.
- Laboratory Information Management System, LIMS Version 1.24, AMT System, Columbus, Ohio, U.S.A.
- Marras, W.S., Davis, S.W., Miller, R.J. and Mirka, G.A., Apparatus for monitoring the motion components of the spine, U.S. Patent Offices, Serial No. 09/336,896, 1990.
- Marras, W.S., Fathallah, F.A., Miller, R.J., Davis, S.W. and Mirka, G.A., Accuracy of a three-dimensional lumbar motion monitor for recording dynamic trunk motion characteristics, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 9, 75-87, 1992.
- Marras and Davis, Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands, *Ergonomics*, 41(6), 817-834, 1998.
- Marras, W.S. and Mirka, G.A., Trunk strength during asymmetric trunk motion, *Human Factors*, 31, 667-677, 1989.
- McGil, S.M., Searching for the safe biomechanical envelope for maintaining healthy tissue, Pre-ISSLS Workshop, The Contribution of Biomechanics to the Prevention and Treatment of Low Back Pain, University of Vermont, June 25, 1996.
- Mirka, G.A., and Marras, W.S., A stochastic model of trunk muscle contraction during trunk bending, *Spine*, 18, 1396-1409, 1993.
- Mital, A. and Ilango, M., Subjective estimates of one-handed carrying tasks, *Applied Ergonomics*, 14, 265-269, 1983.
- Mital, A. and Kumar, S., Human muscle strength definitions, measurement, and usage: Part I - Guidelines for the practitioner, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 101-121, 1998a.
- Mital, A. and Kumar, S., Human muscle strength definitions, measurement, and usage: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 123-144, 1998b.
- Mo, Seung-Min, Kwag, Jongseon, Jung, Myung-Chul, Literature Review on One-Handed Manual Material Handling, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(5), 819-829, 2010.
- NI-DAQ-DA2821, National Instruments Corporation, 11500N Mopac Expwy, Austin, Texas, U.S.A.
- NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health), *Work Practices Guide for Manual Lifting*, Department of Health and Human Services Publication No. 81-122, 1981.
- Reid, J.G. and Costigan, P.A., Trunk muscle balance and muscular force, *Spine*, 12, 783-786, 1987.
- Troup, J.D.G., Leskinen, T.P.J., Stalhammar, H.R. and Kuorinka, I.A.A., A Comparison of Intraabdominal Pressure Increases, Hip Torque, and Lumbar Vertebral Compression in different Lifting Technique, *Human Factors*, 4, 1983.
- Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A. and Fine, L.J., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomics*, 36(7), 749-776, 1993.

Author listings

Hong-Ki Kim: hkkim@kyonggi.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, Texas Tech University

Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Kyonggi University

Areas of interest: Biomechanics, Work Physiology, Psychophysics, MMH, WMSD, Product Development

Date Received : 2013-03-18

Date Revised : 2013-05-21

Date Accepted : 2013-05-22