Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 1 pp.145-153, February 2010

들기 작업과 내리기 작업의 생체역학적, 생리학적, 정신물리학적 기준치에 의한 비교

김 홍 기

경기대학교 공과대학 산업경영공학과

Comparison of Lifting and Lowering Activity based on Biomechanical, Physiological, Psychophysical Criteria

Hong-Ki Kim

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

ABSTRACT

Activity of lifting has been a major issue in many research area related in manual materials handling tasks. However, the opposite activity of lifting, lowering, has received much less attention. It is known that 52% of all box-handling tasks were lowering in nature. The difference in stress between lifting and lowering activity is not well understood. A simple assumption that these two activities are very similar has been established and widely used. However, this simple assumption may be questionable. The objective of this study was to compare a lifting activity and a lowering activity based on the three different ergonomic approaches; (1) biomechanical, (2) physiological, (3) psychophysical approach. It was found that the stress of lowering activity was from 65% to 93%, from 87% to 97%, and from 87% to 96% according to the biomechanical, physiological, and psychophysical point of view, respectively. It is concluded from the result of this study that the stress of lowering activity is lower than that of the lifting activity. The maximum compressive force on the lumbro-sacral joint (L5/S1) was 158% and 108% respectively, for lifting and lowering activity of which the work load is the 58% of Action Limit. It is suggested that the NIOSH AL and RWL and biomechanical criteria should be reconsidered especially for the low frequency of lifting activities.

Keyword: Lifting, Lowering, Moment, Shear Force, Compressive Force, MAWL*

1. 서 론

지난 반세기에 걸쳐, 인력물자취급(MMH, Manual Materials Handing)은 인간공학, 작업생리학, 생체역학, 심리학, 물리치료학, 재활의학, 정형외과학 등의 많은 분야와 전문가들로부터 관심의 대상이 되어 왔다. 이러한 관심의 주 원인은 인력물자취급에 연유된 많은 근골격계 질환과 같은 산업재해들의 격심함에 의해 고통 받는 작업자들 그리고 엄청난 의료비 내지는 보상비 때문이다.

산업 현장에서의 인력물자취급은 들기 작업뿐만 아니라 내리기 작업, 미는 작업, 끄는 작업, 운반 작업 등 여러 형태이다. 이러한 작업 들 중 들기 작업이 가장 빈번하면서 아울러 가장 스트레스가 높은 작업으로 알려져 있다.

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

교신저자: 김홍기
주 소: 443-760 경기도 수원시 영통구 이의동 산 94-6, 전화: 031-249-9752, E-mail: hkkim@kyonggi.ac.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).

그러나 들기 작업에 못지 않게 내리기 작업도 빈번히 수행되며 이에 따른 근골격계 질환도 무시할 수 있는 상황이 아니다. Drury 등은 모든 상자를 다루는 작업 중 52%가 실제로는 내리기 작업이라고 하였다(Drury et al., 1982). 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, Mirka, 1989). Reid와 Costigan은 내리기 근력(lowering strength)은 들기 근력(lifting strength)보다 약 20% 더 크다고 주장하였다(Reid, Costigan, 1987).

Henriksson 등은 내리기 작업의 심박동수, 산소 소모량, 행동 강도 지각(perceived exertion)은 들기 작업의 경우보다 적다고 주장하였다(Henriksson, et al., 1972).

Davis 등은 내리기 작업 근력은 들기 작업 근력보다 50% 크다고 하였으며, 요추 부위 L5/S1의 압축력(compressive force)은 약 123%, 모우멘트는 약 124%라고 주장하였다(Davis et al., 1998). 반면 Troup 등은 내리기 작업의 압축력은 들기 작업의 경우의 약 88%, 모우멘트는 약 85%로 보고하였다(Troup et al., 1983).

Mital은 20.45kg의 물체를 분 당 6회의 들기 내리기 작업 시 산소 소모량을 비교하였는데 내리기 작업의 경우 산소 소모량은 들기 작업의 경우의 약 87%라고 주장하였다(Mital, 1980). Asfour 역시 Mital과 같은 작업에 대해 약 92%라고 주장하였다(Asfour, 1980; Mital, et al., 1982).

Ciriello와 Snook은 14초에 한 번씩 들고 내리는 작업의 MAWL(Maximum Acceptable Weight of Load)에 해당하는 작업 시 산소 소모량은 내리기 작업의 경우 들기 작업의 약 87%로 보고하였다(Ciriello, Snook, 1983). Ciriello와 Snook은 간헐적인 들기, 내리기 작업(예를 들면 0.2 lifts/min)에 대한 MAWL을 측정한 결과 내리기 작업의 MAWL이 들기 작업의 그것보다 약 2.5~5.4% 높은 것으로 알려졌다(Ciriello, Snook, 1978, 1983, 1990).

1.1 연구 배경 및 목적

인력물자취급의 들기, 내리기, 밀기, 끌기, 운반 작업들 중 특히 들기 작업에 대해서는 많은 연구가 수행되었으나 내리기 작업은 단순하게 들기 작업과 동일한 것으로 간주되어 내리기 작업에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 많지 않은 연구들 중에서도 몇몇 학자들이 들기 작업과 내리기 작업을 비교 평가하는 연구를 해 왔으나 대부분이 생체역학적(biomechanical), 생리학적(physiological), 정신물리학적(psychophysical, 또는 심물리학적, 인체심리학적) 관점의 어느 하나 내지는 두 가지 관점에서 이루어졌다.

생체역학적인 접근방법으로 요추 부위에 미치는 영향을 분석하기 위하여 모우멘트, 전단력, 압축력을 추정하였다. 여러 학자들은(De Looze et al., 1993; Gagnon and Gagnon, 1992; Gagnon and Smyth, 1991; Fischer, 1967) 들기 작업과 내리기 작업을 평가하는데 요추 부위에 미치는 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).

압축력은 요추 부위에 미치는 힘들 중 수직 방향에 대한 힘으로서 생체역학적 기준치로 사용되어오고 있다. 좌-우측과 전-후방측에 미치는 힘이 존재하지 않는 것은 아니나 대칭 들기 작업의 경우에는 좌-우측 전단력은 고려하지 않았다. 그러나 비대칭 들기 작업과 내리기 작업에 대한 연구에서는 좌-우측 전단력과 전-후방 전단력도 관심을 끌게 되었다. McGil은 이들 전단력의 한계치(tolerance)로서 1000N을 주장하였다(McGil, 1996).

본 연구의 목적은 들기 작업과 내리기 작업에 있어서 요추 부위에 미치는 스트레스를 생체역학적, 생리학적, 정신물리학적 관점에서 종합적으로 비교 분석해 보는 것 이었다. 특히 생체역학적 관점에서는 Davis 등에 의한 결과와 Troup 등에 의한 결과가 상반된 것으로 나타나 이에 대한 검증을 시도해 보고자 하였다. 생리학적, 정신물리학적 방법에 대해서는 문헌 조사를 통한 기존의 자료들을 비교하여 이들 결과들이 생체역학적 방법에 의한 결과와 유사한 경향을 나타내는가를 알아보고자 하였다.

2. 실험 계획 및 실험 방법

8명의 피 실험자에 대하여 두 가지 작업 형태(들기 작업, 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 피 실험자 군을 블록으로 사용하였다. 본 연구를 위한 실험계획 모델은 다음과 같다.

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + T_j + L_k + (ST)_{ij} + (SL)_{ik} + (TL)_{jk} + (STL)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Moment, Lateral shear force, A-P shear force, Compressive force,
μ = Moment, Lateral shear force, A-P shear force, Compressive force 들의 모평균,
S_i = Subject i i=1, 2, …, 8,
T_j = Task j j=1, 2,
L_k = Load k k=1, 2,
l = Repetition l = 1, 2,
ε_{ijkl} = Error term $\sim N(0, \sigma^2)$.

본 실험에서는 들기, 내리기 작업의 작업 빈도는 실험 인자로서 채택하지 않았다.

2.1 피 실험자

대학생 8명을 대상으로 하였다. 현재 요통이 있거나 과거에 요통 경력이 있는 대학생은 제외하였다. 피 실험자들의 인체 측정을 마치고 EMG 측정을 위한 피부 표면 전극(surface electrode)을 부착한 다음 피 실험자는 실험 시작 전까지 약 30분간의 휴식과 안정을 취하도록 하였다.

2.2 실험 장비

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, NIDAQ)를 조절하고 수집된 데이터를 분석하기 위해서 Laboratory Information Management System(LIMS, version 1.24)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(그림 1). 이 장치의 재원과 정확도는 이미 학계에 보고되어 있다 (Marras et al., 1990; Marras et al., 1992)

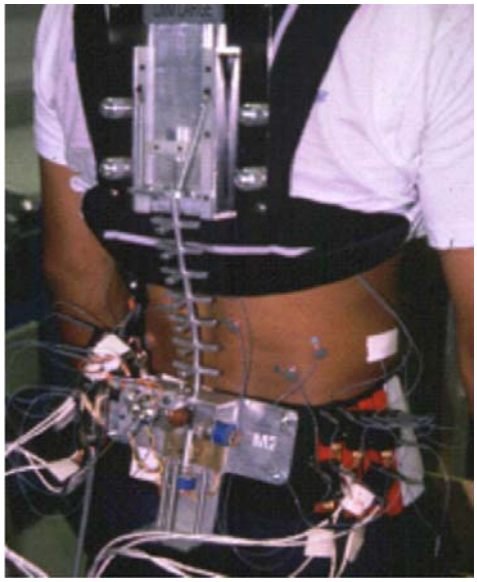

그림 1. EMG 전극 부착 위치와 LMM(Lumbar Motion Monitor) 착용 모습

2.2.2 근전도기(Electromyography, EMG)

들기 내리기 작업과 관련된 근육 활동 data를 수집하기 위해서 EMG를 사용하였다. 관련 근육들은 요부 척주기립근(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 양극 표면 전극(bipolar surface electrodes)을 3cm 간격으로 부착하였다. 이들의 정확한 위치는 관련 참고문헌(Mirka and Marras, 1993)에 따랐으며 그림 1에도 일부 나타나 있다.

각 근육들의 왼쪽, 오른쪽에 양극 표면 전극들을 부착한 다음 저항을 측정하여 왼 쪽과 오른 쪽 표면 전극의 저항 차이가 50% 이내가 되지 않거나 각각의 저항이 500ohm 이상이 되면 표면 전극을 다시 부착하도록 하였다. 데이터 샘플링 빈도는 원래의 EMG 신호에 적합한 1000Hz로 하였다.

2.2.3 Laboratory Information Management System (LIMS)

이 소프트웨어는 데이터 샘플링을 위한 아날로그-디지털 변환기(Analog-Digital Converting board)인 NI-DA2821 (National Instruments Corporation)을 다루기 쉽게 만들었으며 또한 EMG 보조 자유 동적 생체역학 모델을 실행시키

고 그 결과를 상세히 보여 줄 수 있는 프로그램이다(LIMS version 1.24, AMT System, Columbus, Ohio, USA).

2.2.4 힘 측정판(Force Plate)

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

2.2.5 작업 상자

작업 상자의 크기는 40.6×20.3×20.3cm(16"×8"×8")이었다. 좌 우 양면에 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 실험 절차 및 방법

피 실험자는 요부 몸통 관련 10개의 근육에 EMG 피부 표면 전극들을 부착한 다음 LMM을 착용하고 PSS(Pelvic Support System)에 찍찍이(Velcro)를 이용하여 허리 부위를 고정시키고 ARF(Asymmetric Reference Frame)에 어깨 높이의 상체 부위를 고정시켰다. 이 위치에서 네 가지 종류의 허리 몸통 근력 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 피 실험자들의 손가락 관절 높이까지 들기 작업과 피 실험자들의 손가락 관절 높이로부터 바닥으로 내리는 작업을 각각 2회 무작위로 실행하였다. 실행 간의 휴식 시간은 10분이었다.

이들 작업에 따른 실험 결과는 LIMS의 데이터 수집단계에 기록되었다.

3. 실험 결과 분석

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

3.1 피 실험자

본 실험에 참여한 인원은 8명으로서 20~29세 사이의 대학생 또는 대학원생이었다. 평균 신장은 179.8cm, 평균 몸무게는 79.3kg, 평균 손가락 관절 높이 79.2cm, 평균 팔꿈치 높이는 110.9cm이었으며 8명 모두 다 오른손잡이였다(표 1).

표 1. 피 실험자 인체 측정 결과

	나이 (세)	몸무게 (kg)	신장 (cm)	손가락 관절 높이 (cm)
평균	23.9	79.37	179.84	79.18
표준편차	2.7	19.54	6.82	3.01

3.2 모우멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력 분석 결과

바닥에서 4"(10cm) 높이로부터 피 실험자들의 손가락 관절 높이(knuckle height)까지 들기 작업과 역순의 내리기 작업에 따른 L5/S1에서의 모우멘트는 들기 작업과 내리기 작업에서 작업 하중에 따라 약 200~340Nm 범위였다. 좌-우측 전단력(lateral shear force)은 약 210~430N 범위였다. 전-후방 전단력(A-P shear force)은 2300~3820N이었으며, 압축력(compressive force)은 3700~6620N 범위였다(표 2).

표 2. 들기, 내리기 작업의 L5/S1에서의 모우멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 및 압축력(Mean(SD))

Load (kg)	Task Type	Moment (Nm)	Lateral Shear Force (N)	A-P Shear Force (N)	Compressive Force (N)
7.5	Lifting	264.7 (136.5)	322.3 (286.9)	3194.4 (1348.5)	5405.4 (1931.9)
	Lowering	207.7 (165.5)	218.0 (208.4)	2012.1 (945.6)	3715.4 (1434.0)
15.0	Lifting	333.3 (189.6)	422.7 (378.7)	3815.6 (1424.4)	6619.7 (2483.1)
	Lowering	217.1 (109.6)	265.1 (184.7)	2301.5 (819.3)	4294.6 (1312.6)

3.3 모우멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력들에 대한 ANOVA(Analysis of Variance) 결과

8명의 피 실험자에 대하여 두 가지 작업 형태(들기 작업, 내리기 작업), 두 가지 작업 하중(7.5kg, 15kg)의 2×2 요

인 난괴법 디자인을 반복 2회 적용을 한 실험 결과에 따른 모우멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력들에 대하여 ANOVA 분석을 한 결과 각 인자에 대한 유의확률만을 정리한 결과는 표 3과 같다. 모우멘트, 전-후방 전단력, 압축력들은, 작업의 종류와 작업 하중에 따라 유의수준 5%에서 유의한 차이를 나타내었다. 좌-우측 전단력의 경우는 유의수준 5%에서 작업의 종류에는 유의한 차이는 없었으나 작업 하중에 대해서는 유의한 차이가 있었다. 그러나 작업 종류와 작업 하중의 교호작용, 그리고 3 요인의 교호작용은 모든 경우 유의수준 5%에서 유의하지 않았다(표 3).

표 3. L5/S1에서의 모우멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 및 압축력들의 분산분석 결과에 따른 유의확률

인자	자유도	유의확률(Pr > F)			
		Mr	Fx	Fy	Fz
SN	7	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
T	1	0.0010	0.0653	0.0007	0.0012
SN*T	7	0.2231	< 0.0001	0.0017	< 0.0001
L	1	0.0012	0.0132	< 0.0001	0.0005
SN*L	7	0.9467	0.4854	0.9755	0.4255
T*L	1	0.1815	0.4359	0.1520	0.1250
SN*T*L	7	0.0605	0.0917	0.5473	0.1673
Error	32				
Total	63				

SN = 피 실험자(8명)
T = 작업 종류(들기 작업, 내리기 작업)
L = 작업 하중(7.5kg, 15.0kg)
Mr = 모우멘트(Moment)
Fx = 좌-우측 전단력(Lateral shear force)
Fy = 전-후방 전단력(A-P shear force)
Fz = 압축력(Compressive force)

4. 토 의

4.1 생체역학적 인자에 의한 비교

작업의 종류와 작업 하중에 따라 모우멘트, 좌-우측 전단력을 비교한 결과 들기 작업에서 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 2배 증가했을 때 모우멘트는 약 26%, 압축력은 약 22% 증가하였다. 내리기 작업에서는 모우멘트는 약 5%, 압축력은 약 16% 증가하였다(그림 2).

내리기 작업의 경우 모우멘트는 들기 작업 시의 모우멘트의 약 72%였으며, 압축력에 대해서는 약 67%였다. 내리기 작업의 좌-우측 전단력은 들기 작업의 경우의 약 65%였으며 전-후방 전단력 역시 약 62%였다. 또한 이러한 비율은

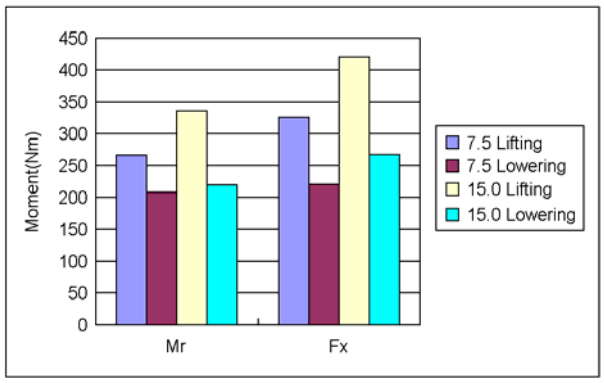

그림 2. Moment와 Lateral Shear Force
Mr = Trunk moment(Nm), Fx = Lateral shear force(N)

작업 하중이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이 결과로 미루어 볼 때 내리기 작업의 생체역학적 스트레스는 들기 작업의 경우 보다 작다고 할 수 있다.

Davis 등의 결과와 Troup 등의 결과를 본 실험 결과와 가능한 공통 요인을 발췌하여 비교하였다. Davis 등의 들기 내리기 작업의 높이 범위는 무릎 높이로부터 팔꿈치 높이 범위였고 작업 하중은 9.1, 18.2, 27.3kg이었다. 그들은 작업 빈도보다는 5종류의 들기 내리기 작업의 각속도(5, 10, 20, 40, 80deg/sec)에 대해서 실험을 하였다. Troup 등은 들기 내리기 작업의 높이 범위는 바닥으로부터 손가락 관절 높이였으며 작업 하중은 15kg이었다. 작업 속도는 1.22m/sec이었다.

Davis 등은 요부 몸통 모우멘트에 대해서는 내리기 작업의 경우 140.5Nm, 들기 작업의 경우 113.1Nm로서 내리기 작업의 요부 몸통 모우멘트는 들기 작업의 경우의 124%이었다. Troup 등은 내리기 작업의 경우 263.0Nm, 들기 작업의 경우 224.0Nm로서 내리기 작업의 요부 몸통 모우멘트는 들기 작업의 경우의 85%였다. De Looze 등은 내리기 작업의 요추 부위의 최대 모우멘트는 들기 작업의 경우 보다 약 5.4% 낮다고 하였다(De Looze et al., 1993). Gagnon과 Smyth도 내리기 작업의 요부 최대 모우멘트는 들기 작업의 경우의 약 88%라고 하였다(Gagnon, Smyth, 1991). 본 실험 결과는 이러한 비가 평균 72%였다(표 4). 이러한 비교 결과로 미루어 볼 때 Davis 등의 결과는 위에 언급한 다른 연구 결과들과는 상반된 결과를 나타내고 있다.

전-후방 전단력, 압축력들을 작업의 종류와 작업 하중에 따라 비교한 그래프는 아래와 같다(그림 3). 내리기 작업의 전-후방 전단력을 들기 작업의 경우와 비교한 결과 작업 하중에 따라 약 60~63%였다. 압축력의 경우는 작업 하중에 따라 약 65~69%였다(그림 3).

Davis 등의 내리기 작업의 평균 전-후방 전단력은

표 4. 들기 내리기 작업에 대한 모우멘트 비교

Source	Load (kg)	Moment (Nm)		
		Lifting	Lowering	Lower/Lift
Davis et al. (1998)	9.1~27.0	113.1	140.5	1.24
Gagnon, Smyth (1991)	3.3~22.0	123.0	108.0	0.88
Troup et al. (1983)	15.0	263.0	224.0	0.85
This Study	7.5	264.7	207.7	0.78
	15.0	333.3	217.1	0.65

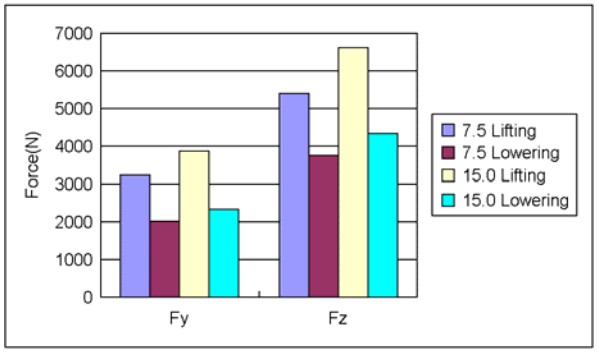

그림 3. A-P Shear Force와 Compressive Force
Fy = A-P shear force(N), Fz = Compressive force(N)

680.4N, 들기 작업의 평균 전-후방 전단력은 815.1N으로서 내리기 작업의 전-후방 전단력은 들기 작업의 경우의 83%라고 할 수 있다. Troup 등의 실험에서는 전-후방 전단력을 고려하지 않았다. 본 실험 결과에서는 이 비율이 평균 62%였다(표 5). 이러한 비교 결과로 미루어 볼 때 Davis 등의 결과는 위에 언급한 다른 연구 결과들과는 상반된 결과를 나타내고 있다.

표 5. 들기 내리기 작업에 대한 전-후방 전단력 비교

Source	Load (kg)	A-P Shear Force (N)		
		Lifting	Lowering	Lower/Lift
Davis et al. (1998)	9.1~27.0	815.1	680.4	0.83
Troup et al. (1983)	15.0	** data 없음		
This Study	7.5	3194.4	2012.1	0.63
	15.0	3815.6	2301.5	0.60

Davis 등은 작업 하중 9.1kg, 18.2kg, 27.3kg에 대한 내리기 작업의 평균 압축력은 3269.1N, 들기 작업의 경우는 2665.2N으로 보고하였다. 이 결과로 미루어 본다면 내리기 작업의 압축력은 들기 작업의 경우의 123%라고 할 수 있다. 반면 Troup 등은 내리기 작업의 압축력은 들기 작업의 경우의 약 88%였다. Gagnon과 Smyth도 내리기 작업의 압축력은 들기 작업의 경우의 약 93%라고 하였다(Gagnon, Smyth, 1991). 본 실험 결과는 평균 67%였다(표 6). 이러한 비교 결과로 미루어 볼 때 Davis 등의 결과는 위에 언급한 다른 연구 결과들과는 상반된 결과를 나타내고 있다.

표 6. 들기 내리기 작업에 대한 압축력 비교

Source	Load (kg)	Compressive Force (N)		
		Lifting	Lowering	Lower/Lift
Davis et al. (1998)	9.1~27.0	2665.2	3269.1	1.23
Gagnon, Smyth (1991)	3.3~22.0	171.0	159.0	0.93
Troup et al. (1983)	15.0	6039.0	5317.0	0.88
This Study	7.5	5405.4	3715.4	0.69
	15.0	6619.7	4294.6	0.65

본 연구 결과는 Troup 등의 결과와 경향이 비슷하다고 할 수 있으나, Davis 등의 결과와는 전-후방 전단력에 있어서는 유사한 경향을 보이지만 압축력과 요부 몸통 모우멘트에서 상반된 결과를 나타내고 있다.

이러한 상반된 결과에 대한 가능한 이유를 생각해 보기 위하여 작업 조건을 확인해 보면 Davis 등의 들기 작업의 범위는 무릎 높이에서 팔꿈치 높이인 반면 Troup 등의 연구와 본 연구에서는 바닥으로부터 10cm 높이로부터 손가락 관절 높이까지였다. 그러므로 작업의 시작 높이와 범위의 차이에 따라 다른 결과를 생각할 수 있을 것 같다. 또한 Davis 등은 그들의 실험에서 엉덩이와 대퇴부의 움직임을 제한하고 요부 몸통 부위만의 움직임을 허용한 반면, De Looze 등, Gagnon과 Smyth 그리고 본 실험은 자유로운 들기 내리기 작업 형태를 허용한 차이일 수도 있다고 할 수 있다.

본 실험의 결과는 생체역학적인 측면에서만 고려된 것이므로 이러한 결과가 생리학적 측면, 정신물리학적 측면에서도 나타날 수 있는가를 알아보기 위하여 다음과 같은 비교 분석을 하였다.

4.2 생리학적 인자에 의한 비교

생리학적인 측면에서 들기 작업과 내리기 작업을 비교해 보기 위해서 본 연구의 작업 조건에 Garg(Garg, 1976; Garg et al., 1978)의 에너지 소모량 식을 적용해 보았고, Mital(1980), Asfour(1980), Ciriello와 Snook(1983)의 연구 결과에서 본 실험 조건과는 작업 빈도에 차이가 있지만 들기 내리기 작업의 작업 빈도가 6 lifts/min의 동일한 경우의 실제 산소 소모량을 비교해 본 결과는 다음과 같다(표 7).

Mital은 20.45kg의 물체를 분 당 6회의 들기 내리기 작업 시 산소 소모량을 비교하였는데 내리기 작업의 경우 산소 소모량은 들기 작업의 경우의 약 87%라고 주장하였다(Mital, 1980). Asfour 역시 Mital과 같은 작업에 대해 약 92%라고 주장하였다(Asfour, 1980; Mital et al., 1982).

표 7. 들기 작업과 내리기 작업의 생리학적 비교

Source	Frequency (Lift/minor Low/min)	Load (kg)	Lifting	Lowering	Lower/ Lift
Garg, 1976 (ml/min)	0.2	7.50	462	447	0.97
		15.00	468	448	0.96
Mital, 1980 (ml/min)	6	20.45	982	851	0.87
Asfour, 1980 (ml/min)	6	20.45	665	613	0.92
Ciriello, Snook 1983 (ml/min)	4.3	MAWL 31/35	925	809	0.87

Ciriello와 Snook은 14초에 한 번씩 들고 내리는 작업(즉 4.3 lifts/min)의 MAWL에 해당하는 작업 시 산소 소모량은 내리기 작업의 경우 들기 작업의 약 87%로 보고하였다.

작업 빈도가 아주 낮을 때는 내리기 작업 시의 산소 소모량과 들기 작업의 산소 소모량의 비는 거의 1에 접근하지만 작업 빈도가 증가함에 따라 비는 0.87대로 감소한다. 즉, 작업 빈도가 낮은 경우 들기 작업과 내리기 작업의 생리학적인 측면에서의 비교는 거의 차이가 없다고 할 수 있다. 특히 주목할 만 한 결과는 Ciriello와 Snook의 결과인데 내리기 작업의 MAWL, 35kg이 들기 작업의 MAWL, 31kg보다 4kg이나 무거운데도 산소 소모량은 들기 작업 보다 116ml/min나 낮은 점이다. 그러므로 내리기 작업의 생리학적 스트레스는 들기 작업의 경우 보다 낮다고 할 수 있다.

4.3 정신물리학적 인자에 의한 비교

정신물리학적인 측면에서 들기 작업과 내리기 작업을 비교해 보기 위해서 본 연구의 작업 조건과 비슷한 연구 결과들을 비교해 본 결과는 다음과 같다(표 8).

표 8. 들기 작업과 내리기 작업의 Psychophysical MAWL 비교

Source	Frequency (Lift/min, Low/min)	Lifting	Lowering	MAWL Lower/ Lift	Stress Lower/ Lift
Snook, 1978	0.2	39	45	1.15	0.87
	4.3	25	26	1.04	0.96
Ciriello and Snook, 1983	0.2	51	53	1.04	0.96
	4.3	31	35	1.13	0.89
Snook and Ciriello, 1991	0.2	37	39	1.05	0.95
	4.3	22	25	1.14	0.88

Ciriello와 Snook은 간헐적인 들기 내리기 작업(예를 들면 0.2 lifts/min)에 대한 MAWL을 측정한 결과 내리기 작업의 MAWL이 들기 작업의 그 것 보다 약 2.5~5.4% 높은 것으로 알려졌다(Ciriello, Snook, 1978, 1983, 1990; Snook, 1978, Snook, Ciriello, 1991).

1991년의 Snook과 Ciriello의 데이터를 1978년의 Snook 데이터 대신 우선적으로 고려한다면 내리기 작업의 MAWL은 들기 작업의 MAWL 보다 약 4~5% 높다고 할 수 있다. 그러나 이 비는 빈도수가 증가함에 따라 증가한다. 빈도수가 분당 4.3회인 경우 이 비는 13~14%라고 할 수 있다.

내리기 작업의 MAWL과 들기 작업의 MAWL의 비가 1.0보다 큰 이유는 생체역학적 접근방법과 생리학적 접근방법에서는 작업 부하에 따른 스트레스로 비교하였으나, 정신물리학적 접근방법에서는 스트레스 보다는 MAWL이라는 능력으로 비교했기 때문이라고 할 수 있다. 그러나 이를 스트레스 비율로 고려해 보기 위하여 들기 작업과 내리기 작업의 MAWL에 대한 작업 하중 값들의 비로 비교해 보았다. 이 비율은 대략 0.87에서 0.96 범위였다. 이 결과는 생리학적 관점에서의 비율 0.87에서 0.97 범위와 유사한 관계를 보이고 있다.

4.4 NIOSH의 AL, RWL과의 비교

지금까지 비교한 세 가지 인간공학적 접근방법들을 종합한 것으로 알려진 NIOSH의 Guideline과의 비교를 하였다. 본 연구의 작업 조건에 해당하는 NIOSH의 AL(Action Limit)은 14.2kg, RWL(Recommended Weight of Lift)은

11.7kg이다. 실험 결과 작업 하중 7.5kg에 대한 들기 작업의 압축력은 5405N, 내리기 작업의 경우는 3715N으로서 NIOSH의 AL 또는 RWL에 해당하는 압축력의 기준치 3430N을 초과하였다. 작업 하중이 7,5kg인 경우 들기 작업의 경우는 AL 해당 기준치 3430N의 약 158%, 내리기 작업의 경우는 약 108%였다. 작업 하중이 15.0kg인 경우 들기 작업의 경우는 AL 해당 기준치 3430N의 약 193%, 내리기 작업의 경우는 약 125%였다. 또한 전-후방 전단력은 7.5kg에 대한 들기 작업의 경우 3194N, 내리기 작업의 경우 2012N으로서 McGil(McGil, 1996)이 주장한 한계치(tolerance) 1000N의 200~400% 정도로 높았다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 NIOSH의 Guideline에서 들기 작업과 내리기 작업을 동일시 한 가정은 문제가 있으며 이에 대한 보정이 필요할 것이다. 또한 낮은 작업 빈도에 대한 NIOSH의 AL 또는 RWL 해당 작업의 하중 및 생체역학적 기준치에 대한 의문이 제기된다. 즉, AL 또는 RWL 해당 작업의 하중이 너무 높게 설정되어 있거나, 아니면 AL 또는 RWL의 생체역학적인 기준치 압축력 3430N이 너무 낮게 설정되었을지도 모른다.

5. 결론 및 추후 연구 방향

Davis 등은 내리기 작업의 압축력은 들기 작업의 압축력의 약 124%라고 주장하였으나 본 실험 및 여러 연구 결과를 종합적으로 비교해 본 결과, 간헐적인 들기 내리기 작업에 있어서 생체역학적 관점, 특히 압축력 관점에서는 내리기 작업의 스트레스는 들기 작업의 스트레스의 약 65~93%, 생리학적 관점에서는 약 87~97%, 정신물리학적 관점에서는 약 87~96%라고 할 수 있다. 이들 종합적 결과로 미루어 볼 때 내리기 작업의 스트레스는 들기 작업의 스트레스보다 작다고 할 수 있을 것이다. 그러므로 NIOSH의 Guideline을 들기 작업과 내리기 작업이 동일하다고 가정하여 사용하는 것은 문제가 있다고 생각하며 이에 대한 보정이 필요할 것이다.

본 실험의 작업 하중 7.5kg은 NIOSH의 AL 또는 RWL 값 보다 작은데도 불구하고 들기 작업과 내리기 작업의 경우 모두 기준치를 상회했다. 그러므로 낮은 작업 빈도에 대한 NIOSH의 AL 또는 RWL에 해당하는 작업 하중 또는 생체역학적 기준치에 대한 재고가 필요하다고 생각한다. 즉, AL 또는 RWL 해당 작업의 하중이 너무 높게 설정되어 있거나, 아니면 AL 또는 RWL의 생체역학적인 기준치 압축력 3430N이 너무 낮게 설정되었을 수도 있다. 그러나 동적 생체역학 모델로부터 추정된 압축력과 이 기준치와의 차이에 대해서 많은 논란이 있으나 본 연구 결과만으로 결론을 내릴 수는 없다고 생각한다.

일정한 작업 하중에 따른 요추 부위 압축력에 대하여 작업 빈도수는 통계적으로는 유의하지 않을 수는 있으나 약간의 차이는 있을 수 있다고 알려져 있다(Kim, 1991). 따라서 본 연구는 압축력에 주 초점을 둔 관계로 작업 빈도수를 독립 변수로 고려하지 않았고 낮은 작업 빈도수에 국한시켜 실험하였다. 그러나 압축력은 작업 속도에 따라서도 영향을 받기 때문에 추 후 다양한 작업 속도와 작업 시간, 그리고 작업 높이에 따른 연구가 수행되었으면 한다. 본 연구의 피 실험자 대상은 남성에만 국한되었으므로 여성에 대한 실험으로도 확장하여 성별의 차이에 대한 연구도 고려하여야 할 것이다.

참고 문헌

Asfour, S. S., *Energy Cost Prediction Models for Manual Lifting and Lowering Tasks*, Unpublished Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA., 1980.

Bertec Force Plate 4060A, Bertec Corporation, 6171 Huntley Road, Suite 3, Columbus, Ohio, U.S.A.

Ciriello, V. M. and Snook, S. H., A Study of Size, Distance, Height, and Frequency Effects on Manual Handling Tasks, *Human Factors*, 25(5), 473-483, 1983.

Ciriello, V. M. and Snook, S. H., The Effects of Size, Distance, Height, and Frequency on Manual Handling Performance., *Proceedings of the 22nd Annual Meeting*, Human Factors Society, p. 318-322, 1978.

Ciriello, V. M., Snook, S. H., Blick, A. C. and Wilkinson, P. L., The effects of task duration on psychophysically-determined maximum acceptable weights and forces, *Ergonomics*, 33(2), 187-200, 1990.

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.

De Looze, M. P., Toussaint, H. M., Van Dieën, J. H. and Kemper, H. C. G., Joint moments and muscle activity in the lower extremeties and lower back in lifting and lowering tasks, *Journal of Biomechanics*, 26(9), 1067-1076, 1993.

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.

Garg, A., A Metabolic Prediction Model for Manual Materials Handling Jobs, Unpublished Ph.D. Dissertation, The University of Michigan, Ann arbor, Michigan, U.S.A., 1976.

Garg, A. Chaffin, D. B. and Herrin, G. D., Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39(8), 661-674, 1978.

Henrikson, J., Knuttgen, H. G. and Bonde-Petersen, F., Perceived exertion during exercise with concentric and eccentric muscle contractions, *Ergonomics*, 15, 537-544, 1972.

Kim, H. K., *Development of a Model for Combined Ergonomic Approaches in Manual Materials Handling Tasks*, Unpublished Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA, 1990.

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, 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., *Effect of Task Variable Interaction in Lifting and Lowering*., Unpublished Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA., 1980.

Mital, A., Asfour, S. S. and Ayoub, M. M., Physiological Approach in Manual Work Ratw Recommendations and a Comparison with the Psychophysical Approach, *Journal of Human Ergology*, 11, 143-156, 1982.

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.

Snook, S. H., The Design of Manual Handling Tasks, *Ergonomics*, 21(12): 963-985, 1978.

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.

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.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 김 홍 기 ❖ hkkim@kyonggi.ac.kr

Texas Tech University 산업공학과 박사(인간공학)
현 재: 경기대학교 공과대학 산업경영공학과 교수
관심분야: 인간공학(인력물자취급, 생체역학, 작업생리학, 근골격계 질환), 제품개발.

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2009년 11월 25일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 02월 17일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 02월 22일