J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng Vol. 37, No. 4 : 72-81, December 2014
http://dx.doi.org/10.11627/jkise.2014.37.4.72
ISSN : 2005-0461(print)
ISSN : 2287-7975(online)

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

Hong-Ki Kim†

Department of Industrial and Management Engineering, Kyonggi University

한 손 들기 작업과 내리기 작업의 요추부위(L5/S1) 부하에 대한 비교 연구

김 홍 기†

경기대학교 공과대학 산업경영공학과

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, forestry, farming, and daily life.

The objective of this study was to compare one-hand lowering activity to lifting activity in terms of biomechanical stress for the range of lowering heights from knuckle height to 10cm above floor level with two workload 7.5kg and 15.0kg. Eight male subjects with LMM were asked to perform lifting/lowering tasks using both a one-handed (left-hand and right-hand) as well as a two-handed technique. Spinal loading was estimated through an EMG-assisted free-dynamic biomechanical model.

The biomechanical stress of one-hand lowering activity was shown to be 43% lower than that of one-hand lifting activity. It was claimed that the biomechanical stress for one-hand lifting/lowering activity is almost twice (194%) of the one for two-hands lifting/lowering activity. It was also found that biomechanical stress by one-hand lowering/lifting activity with the half workload of two-hands lowering/lifting activity was greater than that of the two-hands lowering/lifting activity. Therefore, it might be a risk to consider the RWL of one-hand lowering/lifting activity to simply be a half of the RWL of two-hands lowering/lifting activity recommended by NIOSH.

Keywords : Spinal Loading, Lifting, Lowering, Moment, Shear Force, Compressive Force

1. 서 론

산업 현장에서의 인력물자취급은 들기 작업뿐만 아니라 내리기 작업, 미는 작업, 끄는 작업, 운반 작업 등 여러 형태가 있으나 이러한 작업 들 중 들기 작업이 가장 빈번하면서 아울러 가장 스트레스가 높은 작업으로 알려져 있다[8].

그러나 산업현장에서는 들기 작업에 못지않게 내리기 작업도 빈번히 수행되며 이에 따른 근골격계 질환도 무시할 수 있는 상황이 아니다. Drury et al.[3]는 모든 상자를 다루는 작업 중 52%가 실제로는 내리기 작업이라고 하였다[10]. 또한 인체는 들기 작업과 내리기 작업에 있어 다르게 반응한다고 주장하는 학자들도 많이 있다. Marras and Mirka[15]는 등이 앞으로 굽을 때 내리기 작업의 근력이 들기 작업의 근력보다 더 크다고 주장하였다. Reid

Received 18 September 2014; Finally Revised 20 October 2014; Accepted 20 October 2014
† Corresponding Author : hkkim@kyonggi.ac.kr

and Costigan[21]은 내리기 근력(lowering strength)은 들기 근력(lifting strength)보다 약 20% 더 크다고 주장하였다.

Davis et al.[2]은 내리기 작업 근력은 들기 작업 근력보다 50% 크다고 하였으며, 요추 부위 L5/S1의 압축력(compressive force)은 약 123%, 모멘트는 약 124%라고 주장하였다. 반면 Troup et al.[22]은 내리기 작업의 압축력은 들기 작업의 경우의 약 88%, 모멘트는 약 85%로 보고하였다.

1981년 미국의 국립산업안전보건연구원(NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health)에서는 "Work Practices Guide for Manual Lifting"을 통하여 인력물자취급의 안전 하중을 제시하면서 내리기 작업은 들기 작업과 동일한 작업으로 간주하였다[20]. 또한 1991년에 새로이 개정된 "Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation"에서도 내리기 작업은 들기 작업과 동일한 작업으로 간주하였다[23].

Kim[8]은 양손에 의한 들기 작업과 내리기 작업을 생체역학적, 생리학적, 그리고 정신물리학적 기준치에 따른 비교 연구를 한 결과 양손 내리기 작업의 스트레스는 양손 들기 작업의 스트레스의 약 65~93%라고 주장 하였다. 그리고 NIOSH의 Guideline에서 들기 작업과 내리기 작업이 동일하다고 가정하여 사용하는 것은 문제가 있다고 생각하며 이에 대한 보정이 필요하다고 주장 하였다.

1.1 연구 배경 및 목적

지금까지의 대부분의 들기/내리기 작업 관련 연구는 양손을 사용한 들기/내리기 작업에 국한된 연구가 대부분이었으나 산업 현장에서의 들기/내리기 작업은 양손에 의한 들기/내리기 작업뿐 만 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[12]. 최근에는 국내 기업들이 근골격계 유해요인 조사를 실시할 때 자주 한 손 동작이 관찰되는 경우가 많다 보니 한 손 작업부하를 정량적으로 판단하기가 어려운 점이 있다고 한다[19]. 또한 산업 현장이 아니더라도 우리 주변의 일상생활(출퇴근길, 버스, 지하철 등의 대중교통 시설 내)에서 가정주부의 짐 바구니, 학생들의 책가방, 회사원들의 서류가방 등이 한 손에 의해 운반되는 경우를 많이 보게 된다.

이와 같이 대부분의 들기/내리기 작업 관련 연구는 양손을 사용한 들기/내리기 작업에 국한된 연구가 대부분이었으나 한 손만을 사용한 들기/내리기 작업에 관한 연구는 별로 많이 수행되어 오지 않았다[1, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 16, 17, 18]. 그러므로 한 손 작업에 대한 연구의 필요성이 요구된다고 생각하였다.

Kim[9]은 한 손 들기 작업과 양손 들기 작업에 대한 비교 연구를 한 결과, 한 손 들기 작업은 양손 들기 작업보다 요추 부위에 미치는 생체역학적 작업 부하가 훨씬 크다고 할 수 있다고 주장하였다. 그리고 Kim[10]은 한 손 내리기 작업과 양손 내리기 작업에 대한 비교 연구를 통하여 한 손 내리기 작업은 양손 내리기 작업보다 요추 부위에 미치는 생체역학적 작업 스트레스가 훨씬 크다고 주장하였다. 또한 Kim[10] 한 손만을 사용하는 내리기 작업은 신체활동의 비대칭성을 유발하며 이에 따른 근골격계 질환은 간과되어서는 안 될 것이라고 하였으며. 특히 한 손만을 사용한 내리기 작업이 산업 현장에서 많이 관측되고 있으므로 이러한 작업이 근골격계 질환을 유발시키는 하나의 요인이 될 수 있을 가능성이 높다고 할 수 있을 것이라고 주장하였다.

이러한 결과들로 미루어 볼 때 한 손 들기/내리기 작업은 신체활동의 비대칭성 때문에 양손 들기/내리기 작업보다 요추 부위에 미치는 생체역학적 작업 스트레스가 훨씬 크다고 할 수 있다. 그러므로 양손 들기 작업에 적용하는 NIOSH의 Guideline의 기준치들을 단순하게 들기 작업과 내리기 작업이 같다는 가정에 따라 한 손 들기/내리기 작업에 적용하기에는 적절하지 않을 것 같아 한 손 들기/내리기 작업에 대한 새로운 지침을 만들기 위한 기초 연구가 필요하다고 생각하였다.

본 연구의 목적은 두 가지 작업 하중 7.5kg, 15.0kg에 대하여 한 손(왼손 또는 오른손만을 사용) 작업의 경우에 대하여 들기/내리기 작업이 요추 부위에 미치는 스트레스를 모멘트, 전단력, 압축력 등을 고려한 생체역학적 관점에서 비교 분석하여 한 손에 의한 들기 작업에 대한 내리기 작업의 생체역학적 스트레스 부담 비율을 찾아내고 기존의 양손 들기 작업에 대한 내리기 작업의 생체역학적 스트레스 부담 비율에 대한 연구 결과와 비교하여 보고자 하였다.

2. 실험 계획 및 실험 방법

8명의 피 실험자에 대하여 사용 손(왼손, 오른손), 두 가지 작업 형태(들기 작업, 내리기 작업), 두 가지 작업 하중(7.5kg, 15.0kg)의 2×2×2요인 난괴법(factorial randomized complete block design)을 반복 2회 적용하였다. 이 때 피실험자 군을 블록으로 사용하였다. 본 연구를 위한 실험계획 모델은 다음과 같다.

$$Y_{ijklm} = \mu + S_i + H_j + T_k + L_l + (SH)_{ij} + (ST)_{ik} + (SL)_{il} + (HT)_{jk} + (HL)_{jl} + (SHT)_{ijk} + (SHL)_{ijl} + (STL)_{ikl} + (HTL)_{jkl} + (SHTL)_{ijkl} + \epsilon_{ijklm}$$

Y_{ijklm} = 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 used j j = 1, 2,
T_k = Task k k = 1, 2,
L_l = Load l l = 1, 2,
m = Replication m = 1, 2,
ϵ_{ijklm} = Error term~$N(0, \sigma^2)$.

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

2.1 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(<Table 1> 참조).

<Table 1> Anthropometry of the Subjects

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

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. 이 장치의 재원과 정확도는 이미 학계에 보고 되어있고[13, 14]. 또한 EMG 보조 자유 동적 생체역학 모델을 사용하는데 필수적인 항목들에 대한 입력과 각 종 아날로그 신호를 디지털 신호로 처리하기 위하여 Laboratory Information Management System(LIMS, version 1.24)이 사용되었다. 본 실험장비와 관련된 내용은 Kim[8, 9, 10]의 논문에 상세히 설명되어 있다.

2.3 실험 절차 및 방법

피 실험자는 요부 몸통 관련 10개의 근육(요부 척주기립근(Erector Spinae), 광배근(Latissimus Dorsi), 외복사근(External Oblique), 내복사근(Internal Oblique), 복직근(Rectus Abdominis)들의 좌 우 각 5개)에 EMG 피부 표면 전극들을 부착한 다음 LMM을 착용하고 PSS(Pelvic Support System)에 벨크로(Velcro)를 이용하여 허리 부위를 고정 시키고 ARF(Asymmetric Reference Frame)에 어깨 높이의 상체 부위를 고정 시켰다. 이 위치에서 4가지 종류의 허리 몸통 근력 발휘(trunk exertion), 즉 굴전(flexion), 신전(extension), 오른쪽 비틀기(right(clockwise) twist), 왼쪽 비틀기(left(counter clockwise) twist)의 수의적 최대 수축(MVC, Maximum Voluntary Contraction)에 따른 EMG의 최대값(EMGmax)을 측정하였다. 이 EMGmax는 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 15.0kg의 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. 작업 실행 간의 휴식 시간은 10분이었다. 이들 작업에 따른 실험 결과는 LIMS의 데이터 수집 단계에 기록되어졌다.

3. 실험 결과 분석

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

3.1 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력 분석 결과

바닥에서 10cm 높이로부터 피실험자들의 손가락 관절 높이(knuckle height)까지 한 손 들기 작업과 내리기 작업에 따른 L5/S1에서의 모멘트는 작업 하중에 따라 약 275~740Nm 범위였다. 좌-우측 전단력(lateral shear force)은 약 688~1728N, 전-후방 전단력(A-P shear force)은 2401~5695N이었으며, 압축력(compressive force)은 4230~9377N 범위였다. 이들 결과와 Kim[8]의 양손 들기, 내리기 작업에 대한 실험결과를 종합한 결과는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Moment, Lateral Shear Force, A-P Shear Force, and Compressive Force at L5/S1 by Hands Used, Work Loads, and Tasks

Hands used	Load (kg)	Task Type	Moment (Nm)	Lateral Shear Force (N)	A-P Shear Force (N)	Com-pressive Force (N)
Left-Hand	7.5	Lift	420.1	1266.2	3915.2	6489.6
		Low	274.8	779.0	2532.8	4230.3
	15.0	Lift	621.1	1727.5	5695.0	9154.8
		Low	305.4	743.0	2781.1	4635.1
Two-Hands	7.5	Lift	264.7	322.3	3194.4	5405.4
		Low	207.7	218.0	2012.1	3715.4
	15.0	Lift	333.3	422.7	3815.6	6619.7
		Low	217.1	265.1	2301.5	4294.6
Right-Hand	7.5	Lift	552.6	1339.7	3146.8	6981.2
		Low	334.5	705.8	2401.8	4410.3
	15.0	Lift	739.5	1673.5	4486.5	9377.2
		Low	410.1	688.4	3058.2	5247.6

3.2 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력들에 대한 ANOVA 결과

8명의 피 실험자에 대하여 왼손과 오른손을 사용하여 두 가지 작업 형태(들기 작업, 내리기 작업), 두 가지 작업 하중(7.5kg, 15.0kg)의 2×2×2 요인 난괴법 디자인을 반복 2회 적용을 한 실험 결과에 따른 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력들에 대하여 ANOVA 분석을 한 결과 각 인자에 대한 유의확률만을 정리한 결과는 <Table 3>과 같다. 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, 압축력들은 사용한 손에 대하여는 모두 통계적으로 유의하지 않았으나 작업의 종류와 작업 하중에 따라 유의수준 5%에서 모두 통계적으로 유의하였다.

모멘트, 좌-우측 전단력, 압축력에 대한 작업 형태와 작업 하중의 교호작용은 모두 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였으나, 전-후방 전단력에 대해서는 작업 형태와 작업 하중의 교호작용은 유의수준 10%에서 통계적으로 유의하였다. 그리고 3요인과 4요인의 교호작용은 모든 경우 통계적으로 유의하지 않았다(<Table 3> 참조).

4. Discussion

한 손 들기 작업과 내리기 작업, 그리고 양손 들기 작업과 양손 내리기 작업들에 대한 생체역학적 인자들에 대한 실험 결과는 앞의 <Table 2>에 요약되어 있다.

<Table 3> Results of ANOVA for Moment, Lateral Shear Force, A-P Shear Force, and Compressive Force at L5/S1

Source	DF	Pr > F			
		Mr	Fx	Fy	Fz
S	7	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*
H	1	0.3688	0.9764	0.4112	0.7415
S×H	7	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*
T	1	0.0025*	0.0026*	0.0119*	0.0005*
S×T	7	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*
H×T	1	0.1815	0.4359	0.1520	0.1250
S×H×T	7	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*
L	1	0.0087*	0.0214*	0.0192*	0.0046*
S×L	7	0.0014*	0.3509	< 0.0001*	0.0008*
H×L	1	0.7819	0.5257	0.7269	0.9775
S×H×L	7	0.1540	0.5275	0.0356*	0.1066
T×L	1	0.0464*	0.0045*	0.0810	0.0152*
S×T×L	7	0.0085*	0.6471	0.0005*	0.0188*
H×T×L	1	0.2157	0.1770	0.2192	0.2002
S×H×T×L	7	0.7807	0.9777	0.1123	0.7096
Error	62				
Total	125				

S = Subject(8 male).
H = Hand used(Left hand, Right hand).
T = Task(Lifting, Lowering).
L = Weight of load(7.5kg, 15.0kg).
Mr = Resultant moment.
Fx = Lateral shear force.
Fy = A-P shear force.
Fz = Compressive force.

4.1 생체역학적 인자에 의한 비교

사용하는 손(왼손/오른손, 양손)과 작업 하중, 작업 종류(들기/내리기 작업)에 따른 생체역학적 인자들(L5/S1 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, L5/S1 압축력)의 특성과 경향을 비교한 결과는 다음과 같다. 왼손과 오른손에 따른 차이는 통계적으로는 유의하지 않았으나 단순 비교를 해 보았다.

4.1.1 L5/S1 모멘트

<Figure 1>에서 보듯이 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가할 때 L5/S1 모멘트는 한 손(왼손/오른손), 양손, 그리고 들기/내리기 작업에 모두 관계없이 증가하는 경향을 보였다.

작업 하중 7.5kg과 15.0kg 내리기 작업에 대하여 왼손의 경우 L5/S1 모멘트는 오른손 경우의 각각 82%, 75%

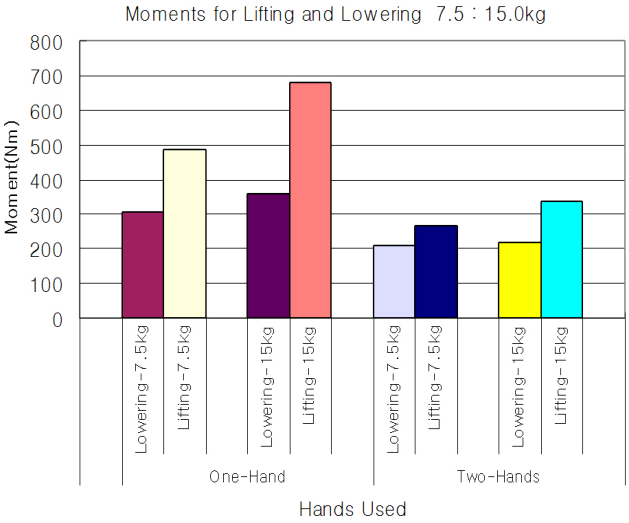
였고, 들기 작업에 대하여 왼손의 경우 L5/S1 모멘트는 오른손 경우의 각각 76%, 84%였다.

이와 같이 오른손에 대한 왼손의 L5/S 모멘트 비율은 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가함에 따라 내리기 작업의 경우는 감소하였고 들기 작업의 경우는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 작업 하중 증가에 따른 들기 작업의 모멘트 증가가 내리기 작업의 L5/S1 모멘트 증가보다 더 큰 이유 때문이라 할 수 있을 것이다. 종합적으로 보면 들기 작업과 내리기 작업, 그리고 작업 하중의 크기에 관계없이 오른손 작업에 따른 L5/S1 모멘트는 왼손의 평균 127%로 높았다.

작업 하중 7.5kg과 15.0kg 내리기 작업에 대하여 왼손의 경우 L5/S1 모멘트는 양손 경우의 각각 132%, 141%였고, 오른손의 경우는 양손 경우의 각각 161%, 189%였다. 작업 하중 7.5kg과 15.0kg 들기 작업에 대하여 왼손의 경우 L5/S1 모멘트는 양손 경우의 각각 159%, 186%였고, 오른손의 경우는 양손 경우의 각각 209%, 222%였다.

이와 같이 양손에 대한 왼손, 오른손의 모멘트 비율은 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가함에 따라 들기 작업과 내리기 작업 모두 증가하는 경향을 나타냈다. 종합적으로 보면 왼손과 오른손 작업에 의한 L5/S1 모멘트는 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 양손의 175%로 높았다.

작업 하중 7.5kg의 한 손 들기 작업에 대한 한 손 내리기 작업의 L5/S1 모멘트 비율은 평균 63%(왼손 65%, 오른손 61%)였다. 양손의 경우는 Kim[8]의 주장에 의하면 78%였다. 따라서 한 손에 의한 모멘트 비율은 양손에 의한 경우의 80%에 해당하였다. 작업 하중 15kg의 한 손 들기 작업에 대한 한 손 내리기 작업의 모멘트 비율은 평균 53%(왼손 49%, 오른손 55%)였다. 양손의 경우는 Kim[8]의 주장에 의하면 65%였다. 따라서 한 손에 의한 모멘트 비율은 양손에 의한 경우의 81%에 해당하였다.



<Figure 1> Moment at L5/S1 for Lifting and Lowering Tasks

이와 같이 작업 하중이 증가함에 따라 이 비율들은 감소하는 경향이 있으나 이들 결과를 종합적으로 비교해 보면 간헐적인 한 손 들기 작업에 대한 내리기 작업의 모멘트 비율은 평균 58%(왼손 57%, 오른손 58%)라고 할 수 있다. 양손의 경우는 평균 72%이므로, 한 손에 의한 모멘트 비율은 양손에 의한 경우의 80%에 해당한다고 할 수 있다(<Figure 1> 참조).

4.1.2 L5/S1 좌-우측 전단력

<Figure 2>에서 보듯이 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가할 때 좌-우측 전단력은 한 손(왼손, 오른손), 양손, 그리고 들기 작업 모두 관계없이 증가하는 경향을 보였다. 그러나 내리기 작업의 경우는 왼손, 오른손의 경우에만 약 5% 이내로 감소하였다.

작업 하중 7.5kg과 15.0kg 내리기 작업에 대하여 왼손의 경우 좌-우측 전단력은 오른손 경우의 각각 110%, 108%였고, 들기 작업에 대하여 왼손의 경우 모멘트는 오른손 경우의 각각 95%, 103%였다. 작업 하중 15.0kg의 경우는 들기 작업과 내리기 작업, 모두 왼손에 의한 작업에 따른 좌-우측 전단력이 오른손의 평균 106%로 높았으나 작업 하중 7.5kg의 경우는 들기 작업의 경우만 오른손의 95%였다.

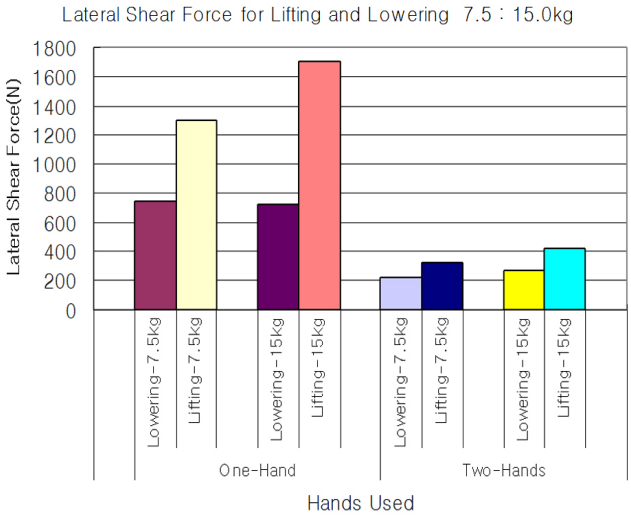
이와 같이 오른손에 대한 왼손의 좌-우측 전단력 비율은 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가함에 따라 내리기 작업의 경우는 감소하였고 들기 작업의 경우는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 작업 하중 증가에 따른 들기 작업의 좌-우측 전단력은 증가하고 내리기 작업의 좌-우측 전단력은 오히려 감소하였기 때문이다. 종합적으로 보면 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 왼손 작업에 따른 좌-우측 전단력은 오른손의 평균 104%로 높았다.

작업 하중 7.5kg과 15.0kg 내리기 작업에 대하여 왼손의 경우 좌-우측 전단력은 양손 경우의 각각 357%, 280%였고, 오른손의 경우는 양손 경우의 각각 324%, 260%였다. 작업 하중 7.5kg과 15.0kg 들기 작업에 대하여 왼손의 경우 좌-우측 전단력은 양손 경우의 각각 393%, 409%였고, 오른손의 경우는 양손 경우의 각각 416%, 396%였다.

이와 같이 양손에 대한 왼손과 오른손의 좌-우측 전단력 비율은 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가함에 따라 내리기 작업의 경우는 감소하였고 들기 작업의 경우는 증가하였다. 양손에 대한 오른손의 좌-우측 전단력 비율은 들기 내리기 작업 모두 감소하였다. 종합하여 보면 왼손과 오른손 작업에 의한 좌-우측 전단력은 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 양손의 평균 354%로 높았다.

작업 하중 7.5kg의 들기 작업에 대한 내리기 작업의 좌-우측 전단력 비율은 한 손의 경우는 평균 57%(왼손 62%, 오른손 53%)였다. 양손의 경우는 Kim[8]의 주장에 의하면 68%였다. 따라서 한 손에 의한 좌-우측 전단력 비율은 양손에 의한 경우의 84%에 해당하였다. 작업 하중 15kg의 들기 작업에 대한 내리기 작업의 좌-우측 전단력 비율은 한 손의 경우는 평균 42%(왼손 43%, 오른손 41%)였다. 양손의 경우는 Kim[8]의 주장에 의하면 63%였다. 따라서 한 손에 의한 좌-우측 전단력 비율은 양손에 의한 경우의 평균 67%에 해당하였다.

이와 같이 작업 하중이 증가함에 따라 이 비율들은 감소하는 경향이 있으나 이들 결과를 종합적으로 비교해 보면 간헐적인 한 손 들기 작업에 대한 내리기 작업의 좌-우측 전단력 비율은 평균 50%(왼손 52%, 오른손 47%)였다. 양손의 경우는 평균 65%이므로, 한 손에 의한 좌-우측 전단력 비율은 양손에 의한 경우의 76%에 해당한다고 할 수 있다(<Figure 2> 참조).



<Figure 2> Lateral Shear Force at L5/S1 for Lifting and Lowering Tasks

4.1.3 L5/S1 전-후방 전단력

<Figure 3>에서 보듯이 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가할 때 전-후방 전단력은 한 손(왼손, 오른손), 양손, 그리고 들기 작업, 내리기 작업에 모두 관계없이 증가하는 경향을 보였다.

작업 하중 7.5kg과 15.0kg 내리기 작업에 대하여 왼손의 경우 전-후방 전단력은 오른손 경우의 각각 106%, 91%였고, 들기 작업에 대하여 왼손의 경우 모멘트는 오른손 경우의 각각 124%, 127%였다. 작업 하중 7.5kg의 경우는 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 모두 왼손 작업에 따른 전-후방 전단력이 오른손의 평균 115%로 항상 높았으나 작업 하중 15.0kg의 경우는 내리기 작업의 경우에서만 오른손의 91%였다.

이와 같이 오른손에 대한 왼손의 전-후방 전단력 비율은 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가함에 따라 내리기 작업의 경우는 감소하였고 들기 작업의 경우는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 작업 하중 증가에 따른 들기 작업의 전-후방 전단력 증가가 내리기 작업의 전-후방 전단력 증가보다 더 큰 이유 때문이라 할 수 있을 것이다. 종합적으로 보면 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 왼손 작업에 따른 전-후방 전단력은 오른손의 평균 112%로 높았다.

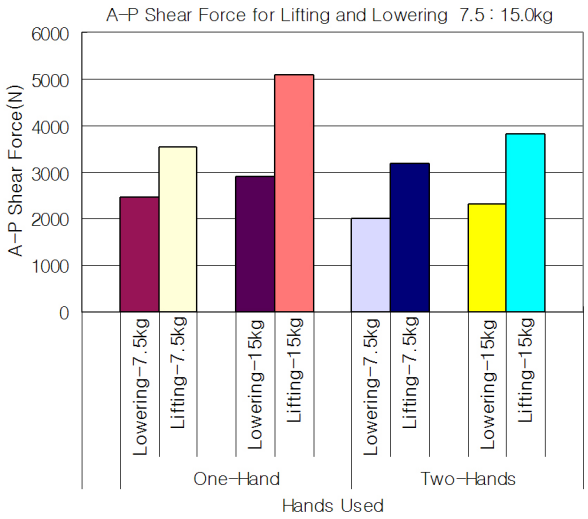
작업 하중 7.5kg과 15.0kg 내리기 작업에 대하여 왼손의 경우 전-후방 전단력은 양손 경우의 각각 126%, 121%였고, 오른손의 경우는 양손 경우의 각각 119%, 133%였다. 작업 하중 7.5kg과 15.0kg 들기 작업에 대하여 왼손의 경우 전-후방 전단력은 양손 경우의 각각 123%, 149%였고, 오른손의 경우는 양손 경우의 각각 99%, 118%였다.

이와 같이 양손에 대한 왼손과 오른손의 전-후방 전단력 비율은 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가함에 따라 작업 하중 15.0kg 경우를 제외하고는 다른 모든 들기 작업과 내리기 작업의 경우는 증가하였다.

왼손과 오른손 작업에 따른 전-후방 전단력은 작업 하중 15.0kg의 경우 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 양손의 평균 130%로 높은 값을 나타냈다. 작업 하중 7.5kg의 경우에도 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 왼손 작업의 전-후방 전단력이 양손 작업의 124%로 높았으나 오른손 들기 작업의 경우에만 양손 작업의 99%였다. 종합하여 보면 왼손과 오른손 작업에 의한 전-후방 전단력은 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 양손의 평균 123%로 높았다.

작업 하중 7.5kg의 들기 작업에 대한 내리기 작업의 전-후방 전단력 비율은 한 손의 경우는 평균 70%(왼손 65%, 오른손 76%)였다. 양손의 경우는 Kim[8]의 주장에 의하면 63%였다. 따라서 한 손에 의한 전-후방 전단력 비율은 양손에 의한 경우의 111%에 해당하였다. 작업 하중 15kg의 들기 작업에 대한 내리기 작업의 전-후방 전단력 비율은 한 손의 경우는 평균 57%(왼손 49%, 오른손 68%)였다. 양손의 경우는 Kim[8]의 주장에 의하면 60%였다. 따라서 한 손에 의한 전-후방 전단력 비율은 양손에 의한 경우의 95%에 해당하였다.

이와 같이 작업 하중이 증가함에 따라 이 비율들은 감소하는 경향이 있으나 이들 결과를 종합적으로 비교해 보면 간헐적인 들기 작업에 대한 내리기 작업의 전-후방 전단력 비율은 양손의 경우는 62%, 한 손의 경우는 평균 64%(왼손 57%, 오른손 72%)로서 한 손에 의한 전-후방 전단력 비율은 양손에 의한 경우의 103%에 해당하였다(<Figure 3> 참조).



<Figure 3> A-P Shear Force at L5/S1 for Lifting and Lowering Tasks

4.1.4 L5/S1 압축력

<Figure 4>에서 보듯이 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가할 때 L5/S1 압축력은 한 손(왼손, 오른손), 양손, 그리고 들기 작업, 내리기 작업에 모두 관계없이 증가하는 경향을 보였다.

작업 하중 7.5kg과 15.0kg 내리기 작업에 대하여 왼손의 경우 L5/S1 압축력은 오른손 경우의 각각 96%, 88%였고, 들기 작업에 대하여 왼손의 경우 L5/S1 모멘트는 오른손 경우의 각각 93%, 98%였다.

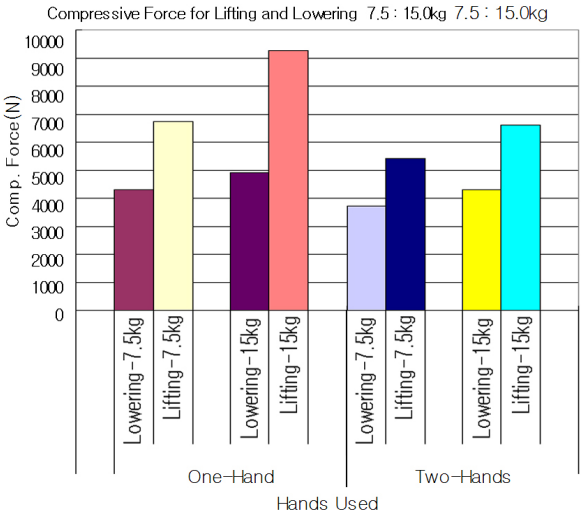
이와 같이 오른손에 대한 왼손의 L5/S1 압축력 비율은 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가함에 따라 내리기 작업의 경우는 감소하였고 들기 작업의 경우는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 작업 하중 증가에 따른 들기 작업의 L5/S1 압축력 증가가 내리기 작업의 L5/S1 압축력 증가보다 더 큰 이유 때문이라 할 수 있을 것이다. 종합적으로 보면 들기 작업과 내리기 작업, 그리고 작업 하중의 크기에 관계없이 오른손 작업에 따른 L5/S1 압축력은 왼손의 평균 124%로 높았다.

작업 하중 7.5kg과 15.0kg 내리기 작업에 대하여 왼손의 경우 L5/S1 압축력은 양손 경우의 각각 114%, 108%였고, 오른손의 경우는 양손 경우의 각각 119%, 122%였다. 작업 하중 7.5kg과 15.0kg 들기 작업에 대하여 왼손의 경우 L5/S1 압축력은 양손 경우의 각각 120%, 138%였고, 오른손의 경우는 양손 경우의 각각 129%, 142%였다.

이와 같이 양손에 대한 왼손, 오른손의 모멘트 비율은 작업 하중이 7.5kg에서 15.0kg으로 증가함에 따라 들기 내리기 작업 모두 증가하는 경향을 나타냈다. 종합하여 보면 왼손과 오른손 작업에 의한 L5/S1 압축력은 들기 작업과 내리기 작업에 관계없이 양손의 평균 124%로 높았다.

작업 하중 7.5kg의 들기 작업에 대한 내리기 작업의 압축력 비율은 한 손의 경우는 평균 64%(왼손 65%, 오른손 63%)였다. 양손의 경우는 Kim[8]의 주장에 의하면 69%였다. 따라서 한 손에 의한 압축력 비율은 양손에 의한 경우의 93%에 해당하였다. 작업 하중 15kg의 들기 작업에 대한 내리기 작업의 압축력 비율은 한 손의 경우는 평균 53%(왼손 51%, 오른손 56%)였다. 양손의 경우는 Kim[8]의 주장에 의하면 65%였다. 따라서 한 손에 의한 압축력 비율은 양손에 의한 경우의 82%에 해당하였다.

이와 같이 작업 하중이 증가함에 따라 이 비율들은 감소하는 경향이 있으나 이들 결과를 종합적으로 비교해 보면 간헐적인 들기 작업에 대한 내리기 작업의 전압축력 비율은 양손의 경우는 67%, 한 손의 경우는 평균 59%(왼손 58%, 오른손 60%)로서 한 손에 의한 압축력 비율은 양손에 의한 경우의 88%에 해당하였다(<Figure 4> 참조).



<Figure 4> Compressive Force at L5/S1 for Lifting and Lowering Tasks

4.2 작업 하중의 영향

들기 작업과 내리기 작업 시 사용하는 손에 따른 L5/S1 모멘트, 전-후방 전단력, L5/S1 압축력은 작업 하중이 증가함에 따라 항상 증가하는 경향을 보였다. 좌-우측 전단력도 대부분의 경우 작업 하중이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나 단지 내리기 작업의 왼손, 오른손의 경우에만 약 5% 이내로 감소하였다. 생체역학적 인자들을 종합하여 보면, 들기 작업의 경우는 한 손, 양손의 경우 각각 평균 138%, 125%로 증가하였고, 내리기 작업의 경우는 한 손, 양손의 경우 각각 평균 112%, 114%로 증가하였다.

4.3 왼손과 오른손의 생체역학적 스트레스 비교

왼손과 오른손에 따른 차이는 통계적으로는 유의하지 않았으나 단순 비교를 해 본 결과 들기 작업과 내리기 작업, 그리고 작업 하중의 크기에 관계없이 오른손 작업에 따른 L5/S1 모멘트는 왼손의 평균 127%, L5/S1 압축력은 왼손의 평균 107%로 항상 높았다. 그러나 좌-우측 전단력은 왼손 작업에 의한 경우가 오른손의 평균 104%, 전-후방 전단력은 오른손의 평균 112%로 높았다.

4.4 한 손(왼손 또는 오른손) 작업과 양손 작업의 생체역학적 스트레스 비교

왼손과 오른손 들기 작업과 내리기 작업에 있어서 L5/S1 모멘트와 L5/S1 압축력은 오른손의 경우가 왼손의 경우보다 항상 높았고 좌-우측 전단력과 전-후방 전단력은 오른손의 경우가 왼손의 경우보다 거의 대부분 큰 값을 나타내고 있으나 통계적으로는 유의한 차이가 없으므로 평균값을 이용하여 한 손으로 통합하여 양손 작업과 비교 분석해 보았다.

들기 작업과 내리기 작업, 그리고 작업 하중의 크기에 관계없이 한 손 작업에 의한 L5/S1 모멘트는 양손의 175%, 좌-우측 전단력은 양손의 평균 354%, 전-후방 전단력은 양손의 평균 130%, L5/S1 압축력은 양손의 평균 124%로 높았다. 생체역학적 인자들을 종합하여 보면, 한 손 작업은 양손 작업의 경우의 평균 194%에 해당하는 생체역학적 스트레스를 받는다고 할 수 있다.

4.5 들기 작업에 대한 내리기 작업의 생체역학적 스트레스 비율

작업 하중의 영향을 고려하지 않고 종합하여 보면 한 손에 대한 들기 작업과 내리기 작업을 비교한 결과 한 손 내리기 작업에 따른 모멘트는 한 손 들기 작업에 따른 L5/S1 모멘트의 약 58%였으며, 좌-우측 전단력은 평균 50%, 전-후방 전단력은 평균 64%, 압축력에 대해서는 평균 59%라고 할 수 있다. 이들 4가지 인자들의 평균치를 고려하면 한 손 들기 작업에 대한 한 손 내리기 작업의 부담 비율은 평균 57%라고 할 수 있다.

작업 하중의 영향을 고려하지 않고 종합하여 보면 양손에 대한 들기 작업과 내리기 작업을 비교한 결과 양손 내리기 작업에 따른 모멘트는 양손 들기 작업에 따른 L5/S1 모멘트의 평균 72%였으며, 좌-우측 전단력은 평균 65%, 전-후방 전단력은 평균 62%, 압축력에 대해서는 평균 67%라고 할 수 있다. 이들 4가지 인자들의 평균치를 고려하면 양손 들기 작업에 대한 양손 내리기 작업의 비율은 평균 66%라고 할 수 있다.

이 결과로 미루어 보아 한 손 내리기 작업의 들기 작업에 대한 생체역학적 스트레스의 비율이 양손의 경우의 평균 87%라고 할 수 있다. 다시 말하면 한 손 내리기 작업의 들기 작업에 대한 생체역학적 스트레스의 비율은 양손 작업의 생체역학적 스트레스의 비율보다 13% 낮다고 할 수 있다.

4.6 양손 작업 하중의 50% 해당하는 한 손 작업과 양손 작업의 비교

한 손 들기 작업의 작업 하중이 양손 들기 작업의 작업 하중의 절반이었음에도 L5/S1에서의 모멘트는 126~166%, 좌-우측 전단력은 300~317%로 매우 높았으나 전-후방 전단력은 83~103%, L5/S1 압축력은 98~106%로 큰 차이가 없었다. 이러한 결과는 Kim[9]이 주장한바와 같이 한 손 작업의 경우 작업 하중의 영향보다는 비대칭성의 영향이 훨씬 컸기 때문이라고 생각한다.

또한 한 손 내리기 작업의 작업 하중이 양손 내리기 작업의 작업 하중의 절반이었음에도 L5/S1 압축력은 99~103%, 전-후방 전단력은 106~119%로서 큰 차이가 없었으나, 반면 L5/S1 모멘트는 127~154%, 좌-우측 전단력은 266~294%로 매우 높았다. 따라서 한 손 내리기 작업은 양손 내리기 작업보다 요추 부위에 미치는 생체역학적 스트레스가 훨씬 크다고 할 수 있는데, 이는 Kim[10]이 주장한 바와 같이 한 손 내리기 작업의 경우 작업 하중의 영향보다는 비대칭성의 영향이 훨씬 크기 때문이라고 생각한다.

5. 결론 및 추후 연구 방향

들기 작업과 내리기 작업 시 작업 하중의 생체역학적 영향은 사용하는 손에 관계없이 대체적으로 증가하는 경향을 보인다고 할 수 있다. 들기 작업은 내리기 작업의 경우보다 작업 하중의 생체역학적 영향이 더 높다고 할 수 있다.

들기 작업과 내리기 작업 시 L5/S1 모멘트와 L5/S1 압축력은 오른손 작업이 왼손 작업보다 높았고, 반면 좌-우측 전단력과 전-후방 전단력은 왼손 작업이 오른손 작업보다 높았다.

이 결과에 근거하여 오른손잡이의 영향이라고 단언하기는 어렵고 왼손잡이의 차이에 의한 것인지 아닌지를 판단하기 위해서는 두 집단을 고려한 연구가 필요할 것이다.

동일한 작업 하중에 대하여 들기 작업과 내리기 작업

시 왼손 또는 오른손을 사용한 한 손 작업에 의한 L5/S1 모멘트, 좌-우측 전단력, 전-후방 전단력, L5/S1 압축력은 양손의 경우보다 평균 194%로 항상 높았다. 이 결과로 미루어보면 한 손 작업의 생체역학적 스트레스는 양손 작업 이상의 스트레스를 부과한다고 할 수 있다.

작업 하중의 차이를 고려하지 않고 종합적으로 볼 경우 L5/S1 모멘트, 좌-우측 전단력, L5/S1 압축력에 대한 내리기 작업의 들기 작업에 대한 비율은 한 손의 경우가 Kim[8]의 연구 결과에 따른 양손의 경우보다 대체적으로 낮은 경향을 보였으나 전-후방 전단력은 양손의 경우와 거의 같거나 약간 높았다. 생체역학적 인자들을 종합하기 위하여 평균을 취해보면 한 손 들기 작업에 대한 내리기 작업의 비율은 평균 57%, 양손 들기 작업에 대한 내리기 작업의 비율은 평균 66%라고 할 수 있다. 따라서 한 손 내리기 작업의 들기 작업에 대한 생체역학적 스트레스의 비율은 양손 작업의 생체역학적 스트레스의 비율보다 13% 낮다고 할 수 있다.

이들 결과를 종합하여 보면 한 손 내리기 작업의 생체역학적 스트레스는 한 손 들기 작업의 경우 보다 평균 37~49%(평균 43%) 정도 작다고 할 수 있을 것이다. 이 결과는 Kim[8]이 양손 내리기 작업의 생체역학적 스트레스는 들기 작업의 경우보다 평균 31~37%(평균 34%) 정도 작다고 주장한 것보다 조금 더 적은 값이라 할 수 있다. 두 결과를 종합하여 보면 한 손 또는 양손에 관계없이 일반적인 내리기 작업의 요추 부위에 대한 생체역학적 스트레스는 들기 작업에 따른 생체역학적 스트레스보다 상대적으로 약 30~50%(31~49%)정도 작다고 할 수 있을 것이다.

한 손 또는 양손에 의한 들기 작업에 비하여 내리기 작업이 요추 부위에 미치는 생체역학적 스트레스는 낮다고 할 수 있으나 한 손 들기 작업과 내리기 작업의 작업 하중이 양손 들기 내리기 작업의 작업 하중의 절반이었음에도 전-후방 전단력과 L5/S1 압축력은 0.93~1.5배로 비슷한 반면, L5/S1 모멘트는 1.4-1.5배, 좌-우측 전단력은 2.8~3.1배 높은 것으로 나타났다. 이것은 한 손 들기 내리기 작업의 경우 작업 하중의 영향보다는 비대칭성의 영향이 훨씬 크기 때문이라고 판단된다.

그러므로 한 손 들기/내리기 작업은 양손 들기/내리기 작업보다 요추 부위에 미치는 생체역학적 스트레스가 훨씬 크기 때문에 한 손 작업의 RWL을 단순하게 양손 작업의 RWL의 50%로 간주하는 것은 위험한 판단일 수 있다고 생각한다.

일정한 작업 하중에 따른 요추 부위 압축력에 대하여 작업 빈도수는 통계적으로는 유의하지 않을 수는 있으나 약간의 차이는 있을 수 있다고 알려져 있다[7]. 따라서 본 연구는 생체역학적 인자들에 주 초점을 둔 관계로 작업 빈도수를 독립변수로 고려하지 않았고 낮은 작업 빈도수에 국한시켜 실험하였다. 그러나 압축력은 작업 속도에 따라서도 영향을 받기 때문에 추후 다양한 작업 속도와 작업 시간, 그리고 작업 높이에 따른 연구가 수행되었으면 한다. 본 연구의 피 실험자 대상은 남성과 오른손잡이로만 국한되었으므로 여성과 왼손잡이에 대한 실험으로도 확장하여 성별과 왼손잡이/오른손잡이에 따른 차이에 대한 연구도 고려하여야 할 것이다.

References

[1] Allread, W.G., Marras, W.S., and Parnianpour, M., Trunk kinematics of one-handed lifting, and the effects of asymmetry and load weight. *Ergonomics*, 1996, Vol. 39, No. 2, p 322-334.

[2] Davis, K.G., Marras, W.S., and Waters, T.R., Evaluation of spinal loading during lowering and lifting. *Clinical Biomechanics*, 1998, Vol. 13, No. 3, p 141-152.

[3] Drury, C.G., Law, C., and Pawenski, C.S., A survey of industrial box handling. *Human Factors*, 1982, Vol. 24, p 553-565.

[4] Gall, B. and Parkhouse, W., Changes in physical capacity as a function of age in heavy manual work. *Ergonomics*, 2004, Vol. 47, No. 6, p 671-687.

[5] Garg, A., Physiological response to one-handed in the horizontal plane by female workers. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1983, Vol. 44, p 190-200.

[6] Garg, A. and Saxena, U., Maximum frequency acceptable to female workers for one-handed lifts in the horizontal plane. *Ergonomics*, 1982, Vol. 25, No. 9, p 839-853.

[7] 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.

[8] Kim, H.K., Comparison of Lifting and Lowering Activity based on Biomechanical, Physiological, Psychophysical Criteria. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 2010, Vol. 29, No. 1, p 145-153.

[9] 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*, 2011, Vol. 30, No. 5, p 597-603.

[10] Kim, H.K., Comparison of Biomechanical Stress on Low Back(L5/S1) for One-hand and Two-hands Lowering Activity. *Journal of the Ergonomics Society of*

Korea, 2013, Vol. 32, No. 5, p 4137-420.

[11] Laboratory Information Management System, LIMS Version 1.24, AMT System, Columbus, Ohio, U.S.A.

[12] Marras, W.S. and Davis, S.W., Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands. *Ergonomics*, 1998, Vol. 41, No. 6, p 817-834.

[13] 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.

[14] 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*, 1992, Vol. 9, p 75-87.

[15] Marras, W.S. and Mirka, G.A., Trunk strength during asymmetric trunk motion. *Human Factors*, 1989, Vol. 31, p 667-677.

[16] Mital, A. and Ilango, M., Subjective estimates of one-handed carrying tasks. *Applied Ergonomics*, 1983, Vol. 14, p 265-269.

[17] Mital, A. and Kumar, S., Human muscle strength definitions, measurement, and usage : Part I-Guidelines for the practitioner, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1998a, Vol. 22, p 101-121.

[18] 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*, 1998b, Vol. 22, p 123-144.

[19] 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*, 2010, Vol. 29, No. 5, p 819-829.

[20] 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.

[21] Reid, J.G. and Costigan, P.A., Trunk muscle balance and muscular force. *Spine*, 1987, Vol. 12, p 783-786.

[22] 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*, 1983, Vol. 4.

[23] 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*, 1993, Vol. 36, No. 7, p 749-776.