한국산업위생학회지 제15권 제3호(2005년12월)
J Korean Soc Occup Environ Hyg 2005;15(3);176-182

모 선박용 디젤 엔진 제조업체를 대상으로 ACGIH Lifting TLV®의 현장 적용 및 평가

김선자 · 신용철† · 강동묵[1)]

인제대학교 보건안전공학과 · [1)]부산대학교 의과대학 예방 및 산업의학교실

Field Application and Evaluation of the ACGIH Lifting TLV®

Sun Ja Kim · Yong Chul Shin† · Dong Mug Kang[1)]

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University · [1)]Department of Preventive and Occupational Medicine, Pusan National University

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) adopted the Lifting Threshold Limit Values (TLVs®) in 2005 as a guideline for protecting the workers from work-related low back and shoulder disorders associated with repetitive lifting tasks. The TLVs consist of three tables with recommended weight limits for lifting tasks and their determination procedures are simple. The TLVs and the material weight/the recommended values (LITLVs) were obtained from 45 lifting tasks in ship engine manufacturing factories. These values were compared and correlated with the Recommended Weight Limits (RWLs) and lifting indices (LIs) determined by the Revised Lifting Equation (LE) of the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). The average ratio, LITLVs/LIs, was 0.8 (LITLVs: 1.3 ±0.8, LIs: 1.6 ±0.7). Thus, the TLVs underestimated the risk than the LE. The LITLVs were highly correlated with the LIs (r=0.82). The predicted value of LITLVs when LIs = 1 was 0.76. Using the predicted TLVs the higher risk ones of a large number of tasks can be screened to be further investigated.

Key Words : musculoskeletal disorders, ergonomic risk of lifting task, Revised NIOSH Lifting Equation, ACGIH Lifting TLV

Ⅰ. 서 론

National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH)에서는 1981년에 들기작업에서 요추부 장해 위험을 평가하고 관리를 하기 위한 목적으로 두 손으로 들고, 대칭적인 들기 작업에 대한 권고 무게(recommended weight)를 계산하기 위한 들기 공식(lifting equation)을 개발하였다. 이후 개정된 공식인 즉 the Revised Lifting Equation (LE)이 1991년에 발표되었고 요통 위험을 평가하고 관리하는데 널리 사용되어 왔다(NIOSH, 1994).

LE는 중량물 취급 시 근로자와 대상물의 수평위치, 수직위치, 수직이동거리, 작업빈도계수,

접수일 : 2005년 7월 22일, 채택일 : 2005년 11월 27일
†교신저자: 신용철 (경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 보건안전공학과
Tel : 055-320-3676, Fax : 055-325-2471, E-mail : ycshin@inje.ac.kr)

비틀림 각도계수, 손잡이 형태를 고려하여 권고무게(Recommended Weight Limits, RWLs)를 산정하게 된다. RWLs는 주어진 작업조건에서 거의 모든 건강한 근로자가 지속적인 작업시간(예를 들어 8시간)동안 작업을 수행해도 들기 관련 요통이 발생 위험이 증가하지 않는 물건의 무게를 의미한다.

들기 지수(Lifting Indices, LIs)는 실제 드는 물건의 무게가 권고무게를 몇 배 초과하는지를 나타내는 것으로 LIs가 1보다 크면 요통의 발생 가능성이 높은 것이고 반대로 1보다 작은 경우는 요통의 발생 가능성이 낮은 것으로 판정한다. LIs가 1보다 크면 일부 근로자에게서, 3을 초과하는 경우 대부분의 근로자에게서 들기 작업 관련 요통 발생 위험이 높은 것으로 알려져 있다. LE는 11가지 제한 조건에도 불구하고 국내외적으로 현장에 적용한 연구(권은혜, 1997; 박현진, 2001; Dempsey et al., 2001; Richard & Marklin, 1999; Thomas et al., 1998; Thomas et al., 1999; Waters et al., 1993; Waters et al., 1998)가 많으며 타당도와 신뢰도가 인정되어 있다고 볼 수 있다. 특히, 요통과 LI와는 유의한 상관관계가 있는 것으로 밝혀져 있다(박현진, 2001, Waters et al., 1993).

한편, American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH, 2005)에서는 거의 모든 근로자가 반복적인 들기 작업에 노출되더라도 직업관련 허리 및 어깨 질환이 발생되지 않는다고 믿어지는 들기 작업 조건에 대한 기준인 Lifting Threshold Limit Values® (Lifting TLVs®)를 2002년에 제안하였고 2005년에 이 기준을 채택하였다. Lifting TLVs는 들기 작업 시간, 들기 빈도, 수평 및 수직 작업영역(위치)에 의해 결정된다. 들기 빈도 및 시간에 따라 간헐적 빈도의 들기 작업(infrequent lifting frequency), 중간빈도의 들기 작업(intermediate lifting frequency), 잦은 빈도의 들기 작업(frequent lifting frequency)을 기준으로 3 개의 기준표로 구성되고, 각 기준표 마다 4 개의 수직 · 수평영역으로 나누어 총 12 개의 작업영역으로 구분된다. 사용방법은 들기 작업의 빈도 및 시간에 따라 하나의 기준표를 정한 다음 물체가 놓여있는 수평 · 수직영역에 근거하여 대상 들기 작업조건에 해당하는 TLVs를 구한다. 단, 중량물을 두 손으로 취급하고, 단일 들기 직무, 정중면에서 30° 이내에서 작업이 이루어지는 경우에 한해서 적용한다.

Lifting TLVs는 LE에 비해 사용되는 변수가 적고, 수평 및 수직위치의 경우 정확한 수치보다는 영역에 기초하여 들기 작업을 평가한다. 그러므로 간단하여 현장에서 사용 시 매우 편리할 것으로 예측되나 그 정확성에 대해서는 검증이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 실제 현장 들기 작업을 대상으로 Lifting TLVs와 LE에 의한 평가결과를 비교하고 Lifting TLVs의 현장 검증을 하는 데 있다.

Ⅱ. 연구 대상 및 방법

1. 연구대상

경남에 소재한 선박용 대형 디젤엔진 생산 사업장을 연구 대상으로 선정하여 조사를 실시하였다. 이 사업장은 라인 작업은 없어 들기 작업의 빈도는 낮지만 무게가 무거운 부품을 취급하고 있었고, 엔진 생산 주기에 따라 몇 개의 부서를 제외 하고는 간헐적이지만 집중적으로 들기 작업이 이루어지고 있었다.

대상 사업장 근로자의 주 업무는 세척, 조립, 연삭, 선삭 및 가공 등이었고, 라인 작업과는 달리 근로자가 작업량을 스스로 조절할 수 있었다. 취급 부품의 무게는 다양하나 이들 중 5 kg 이상이고 가장 많이 취급되는 무게를 드는 작업을 대상으로 평가하였고, 들기 작업 빈도가 작은 근로자는 제외 시켰다(1일 10회 이하). 공구실, 자재관리 및 포장 공정에서 2시간 이상이면서 분당 0.5~2회 정도의 들기 작업이었고 이를 제외한 대부분의 부서에서는 2시간 미만이면서 빈도는 5분에 1회 정도, 소형 크레인을 사용하기엔 부적합한 장소가 많아 대부분은 근로자가 직접 손으로 들어서 운반하였다.

예비 스크리닝을 거쳐 조사된 총 58개의 들기 작업 중 LE 도구로서 평가가 불가능한 작업(제한작업)과 Lifting TLVs 도구로서는 평가가 불가능한 작업 즉, Lifting TLVs에서 정해진 그런 조건에서는 작업을 허용할 수 없는 13개의 작업을 제외한 45개의 들기 작업을 연구 대상으로 선정하였다. 45개 들기 작업의 주요 변수의 평균 및 범위는 Table 1에 나타내었다. 평균 물체의 무게는 17.8 kg, 평균 이동거리는 39.3 cm이었다.

2. 방법

LE로 들기 작업을 평가하기 위해

Table 1. Factors mean and range of the 45 lifting tasks

	Load weight (kg)	H*(cm)	V†(cm)	D†(cm)	F§	LD‖(hr)
Mean	17.8	38.3	71.9	39.3	0.5	1.4
(Range)	(5.2 ± 35.2)	(15 ± 68)	(5 ± 135)	(2 ± 135)	(0.2 ± 3)	(0.17 ± 3)

*Horizontal location, †Vertical location, ‡Vertical travel distance, §Frequency, ‖Lifting duration

드는 물건의 무게, 수평 · 수직위치, 비틀림 각도, 들기 빈도, 작업시간, 손잡이 형태 등을 측정한 후 이들 자료에 기초한 권고무게와 LI를 산출하였다(NIOSH, 1994).

Lifting TLVs에 의한 들기 작업 평가는 ACGIH가 제시한 방법(ACGIH, 2005)에 따라 실시하였으며 그 과정은 다음과 같다.

1. 작업시간(task duration)이 하루 2시간 이하(<2 시간/일) 또는 2시간을 초과(>2 시간/일)하는지를 결정한다. 작업시간은 한 근로자가 하루에 그 작업을 수행하는 총 시간을 말한다.

2. 한 근로자가 1 시간에 수행하는 들기 횟수(number of lifts/hour)로서 들기 빈도(lifting frequency)를 결정한다.

3. 관찰된 작업시간과 들기 빈도에 해당하는 TLVs table를 선택한다.

4. 들기 시작점에 있는 손의 위치에 기초한 수직영역을 결정한다.

5. 발목 안쪽뼈(복숭아뼈)사이의 중앙점부터 들기 시작점에 있는 손 사이의 중앙점까지의 거리를 측정함으로써 수평영역을 결정한다.

6. 대상 작업의 들기 빈도와 작업시간에 근거해서 선정된 TLVs table에서 측정된 수직 영역과 수평영역에 해당하는 TLVs(단위:kg)을 결정한다.

7. 물체를 들어 목적지에 놓는 방식을 작업자가 조절이 가능하다면(천천히 또는 조심스럽게 놓음), 시작점 대신에 종착점을 사용하여 4 단계에서 6 단계를 반복한다. 두 개의 권고기준 중 낮은 값을 대상작업의 TLVs로 한다.

이와 같이 구한 TLVs 값으로 실제 물체의 무게를 나눈 값(물체무게/TLVs)을 산출하였고 LE에 의해 산출된 LIs와 구별하기 위해 LIT_{LVs}로 표현하였다.

이들 도구로 들기 작업 평가시의 두 위치 즉, 이동 전?후(시점 및 종착점)의 권고무게(또는 권고기준)와 LIs(또는 LIT_{LVs})를 산출할 수 있는데, 본 연구의 목적이 두 가지 들기 작업 평가 도구의 현장 적용성을 비교하는 것임으로 시작점에서 구한 결과만을 가지고 비교하였다.

본 연구 대상인 Lifting TLVs를 평가하기 위해 타당도에 대한 근거가 충분한 것으로 인정되고 있는 LE를 기준으로 삼았다.

두 방법에 의해 구해진 평가결과 값 간의 차이에 대한 통계적인 검증은 paired t-test를 이용하였다. 자료의 통계분석은 SPSS for Windows Release 10.07(SPSS Inc.)을 이용하여 분석하였다. 자료처리 및 그래프 작성을 위해 EXCEL 2002(Microsoft Corp.)와 Sigma Plot 2002(Windows version)를 사용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 권고무게 및 들기 지수 분포 비교

두 가지 평가 도구를 적용하여 구한 45 개 들기 작업에 대한 RWLs 및 TLVs는 Fig. 1 과 같다. 3개 작업을 제외하고는 (Task No. 23, 29, 및 45) TLV가 RWLs보다 큰 값을 나타냈다. 특이할 만 한 점은 4개 작업(Task No. 1, 3, 4 및 35)의 경우 TLVs가 RWLs보다 훨씬 크게 나타났는데 이는 4개의 작업 모두 수평거리가 30 cm이하이고, 물건의 놓여있는 수직높이가 허리에서 어깨 사이, 작업빈도는0.5회, 작업시간은 1시간 미만으로써 TLVs에서는 가장 들기가 좋은 조건이기 때문에 RWLs 값과 확연한 차이를 보이고 있다(최대 RWLs=23kg, 최대=TLVs 32 kg). 이 점은 현장에서 적용시에도 고려해 주어야 한다.

Fig. 2는 각 들기 작업에서 취급하고

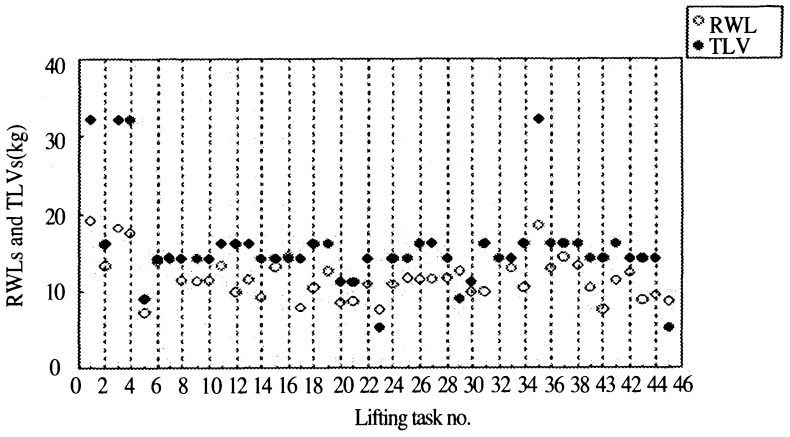

Fig. 1. Distribution of RWLs and TLVs of the 45 lifting tasks.

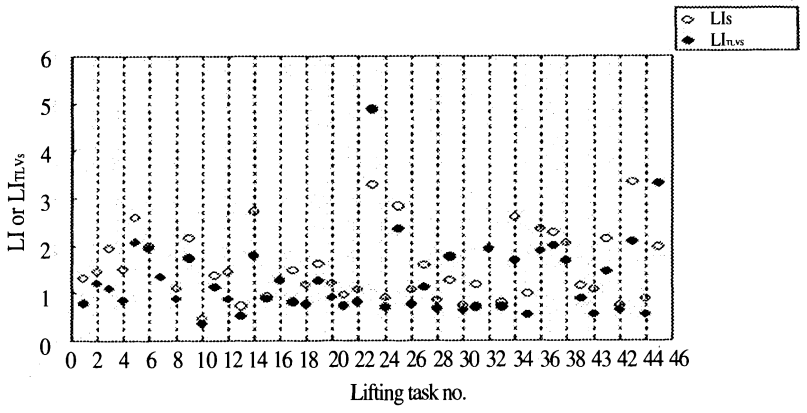

Fig. 2. Distribution of LIs and LIT_{LVs} of the 45 lifting tasks.

있는 실제 물체무게를 TLVs로 나눈 값(LITLVs)과 RWLs로 나눈 값(LIs)들의 분포 LITLVs가 LIs에 비해 전반적으로 낮음을 알 수 있다. LITLVs가 LIs보다 작게 나온 작업수는 45개중 38개(84.4%), 두 방법의 지수가 동일한 작업수는 3개(6.7%), 앞서 설명한 것과 같이 예외적으로 LITLVs가 LIs보다 크게 나온 작업도 3개(Task No. 23, 29, 및 45)(8.9%)가 있었다.

Table 2는 크기별(범위)로 LIs와 LITLVs를 분포를 본 것이다. LIs의 경우 주로 >1 – 2 범위에 분포하고 있으나(51%), LITLVs의 경우 >0.5 – 1 범위에 주로 분포하고 있었다(53%).

Table 2에서 보듯이 전체 45개 들기 작업 중 LIs가 1을 초과하는 작업이 34개(75.6%)이고 2를 초과하는 작업이 11개(24.4%)였다. 한편, LITLVs가 1을 초과하는 작업이 22개(48.9%)이고 2를 초과하는 작업이 5개(11.1%)였다.

2. 위험도평가결과 비교

45개 작업에 대해 LE와 Lifting TLVs에 의해 구해진 권고무게 또는 기준(RWLs 및 TLVs)과 들기 지수(LIs 및 LITLVs)의 통계량은 TLVs는 15.4 ± 5.8 kg이고 RWLs는 11.7 ± 2.9 kg로 TLVs가 RWLs보다 1.3배 크게 나왔으며 두 값 간에는 유의한 차이가 있었다($p<0.001$). 한편, LITLVs는 1.3 ± 0.8이고 LI는 1.6 ± 0.7로 전자가 후자보다 약 0.8배 작았고 두 값 간에는 유의한 차이가 있었다. 이러한 결과는 Lifting TLVs는 LE에 비해 권고무게가 크게 산출되며 따라서 위험도가 낮게 평가된다는 것을 말해 준다.

3. 두 방법의 상관관계 및 회귀분석

45개 작업에 대한 RWLs과 TLVs간의 상관계수(r)는 0.80이고 단순 선형회귀식은 $y = 1.64x - 3.67$ (y=TLVs, x=RWLs, $r^2=0.64$, $p<0.001$)이었다. 그리고 LIs와 LITLVs 간의 상관계수는 0.82이고 선형회귀식은 $y = 0.953x - 0.19$ (y=LITLVs, x=LI, $r^2=0.67$, $p<0.001$)였다. 한편, 다른 대부분의 작업과 달리 LITLVs가 Ls보다 1.5배 정도 크게 나온 3개 작업(No. 23, 29 및 45)를 제외한 작업들만을 대상으로 구한 상관계수는 0.92로 상관성이 매우 높았고 선형회귀식은 $y = 0.734x + 0.0365$ (y=LITLVs, x=LI, $r^2=0.85$, $p<0.001$)였다.

Ⅳ. 고 찰

1. LE와 Lifting TLVs에 의한 평가결과 비교

Table 3에서 보듯이 LE와 Lifting TLVs는 공통적으로 가장 중요한 변수인 들기 빈도, 수평·수직거리 및 작업시간을 포함하고 있지만 LE는 추가적으로 이동거리, 빈도, 작업시간, 비틀림 각도 및 손잡이 계수 등의 측정변수가 들어가기 때문에 Lifting TLV에 비해 근로자의 작업조건을 더 많이 반영한다. 수평·수직거리는 LE의 경우는 수치로 계산되어 좀더 상세한 결과를 산출할 수 있지만 Lifting TLVs는 수치가 아닌 영역으로 표시된다(NIOSH, 1994; ACGIH, 2005).

본 연구결과에서 보듯이 LE에 의한 권고무게가 Lifting TLVs에 의한 값보다 작게 나왔고 결과적으로 들기 지수는 높게 나왔다. 따라서 LE가

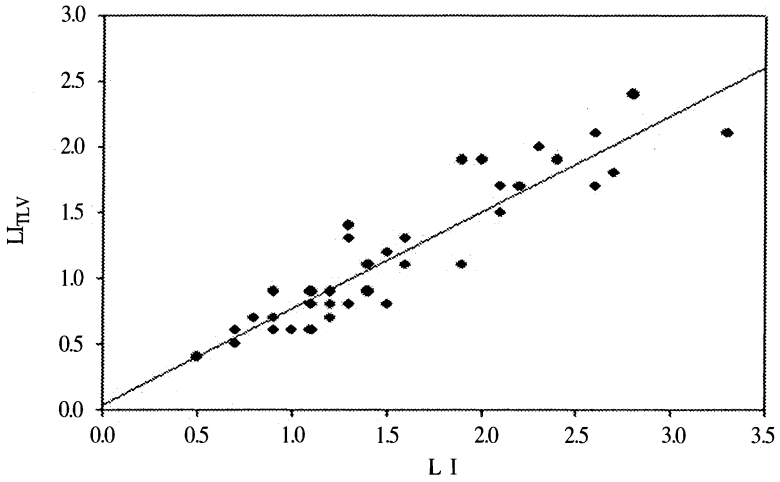

Fig. 3. Regression analysis between of LIs and LITLVs of the 42 lifting tasks(The data of 3 tasks with extremely higher LITLVs are not included. The regression equation is $y = 0.734x + 0.0365$, $r^2=0.85$, $p<0.001$).

Table 2. Distribution of LIs and LITLVs of the 45 lifting tasks

Total no. of lifting tasks	LIs*					LITLVs†				
	≤0.5	≤1	>1–2	>2–3	>3	≤0.5	≤0.5–1	>1–2	>2–3	>3
45	1 (2.2%)	10 (22.2%)	23 (51.1%)	9 (20.0%)	2 (4.4%)	2 (4.4%)	21 (53.3%)	17 (35.6%)	3 (0.7%)	2 (2.2%)

*Lifting Index of the LE, †Lifting Index of the Lifting TLVs

Lifting TLVs보다 더 자세하고 엄격하고 안전한 기준임을 알 수 있다.

이와 같이 LE가 Lifting TLVs보다 더 엄격하여 대체적으로 LIs가 LITLVs보다 큰 값을 보이나 3 개 작업의 경우 반대로 LITLVs가 LIs보다 약 1.5배 정도 크게 나왔다. 이 3가지 작업은 Task No. 23, No. 29 및 No. 45번이었다. 23번 들기 작업 조건은 수직 영역이 어깨 위, 빈도는 분당 3회, 작업시간은 1시간 미만인 작업이었다. 29번 들기 작업은 수직영역은 정강이 정도, 빈도가 분당 0.5회 이상, 작업시간은 2시간 이상의 작업이었다. 45번 들기 작업 또한 수직영역이 어깨 위, 빈도는 분당 0.2회 정도로 빈도는 낮으나 작업시간이 3시간 정도로 길었다.

이와 같은 작업조건에서는 다른 조건의 작업에서보다 LITLVs가 LIs에 비해 약 1.5배 정도 높아 위험도가 높게 평가되었다. 본 연구에서는 비교해 볼 수 있는 작업수가 작고 빈도가 높지 않은 작업이 대부분이기 때문에 이러한 결과를 초래하게 된 원인을 규명하는 것은 한계가 있다. 향후 본 조사에서 파악된 들기 작업과 유사한 조건의 작업들을 대상으로 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

2. LE와 Lifting TLVs의 장점과 제한점

Table 4는 LE와 Lifting TLVs의 장점과 제한점을 정리한 것이다.

LE는 수직 · 수평거리를 영역(zone)이 아닌 실제 거리 값을 사용하여 평가해 줌으로써 좀 더 정확한 작업 조건을 반영한다. 즉, 변수가 많다는 것은 작업 시에 다양한 상황들을 고려할 수 있다는 것을 의미한다. LE는 들기 작업시의 개선점이나 대책 수립 시 어느 부분에 문제가 있는지를 쉽게 파악 할 수 있는 장점을 가지는 반면 많은 변수를 측정해야 하는 번거로움이 있기 때문에 현장에서 바로 사용하기가 불편하고, 비교적 복잡한 계산을 해야 하므로 분석시간이 많이 소요되고, 조사대상 인원 또는 작업

Table 3. Factors included in the lifting equation and lifting TLVs

Factors	Lifting Equation	Lifting TLVs
Horizontal location(H)	· Horizontal location HM=25/H(H=25~63cm)	· Horizontal zone 1) Close: 0~30cm 2) Middle: 30~60cm 3) Far: 60~80cm
Vertical location(V)	· Vertical location VM = 1-(0.003 × |V-75|) (0cm ≤ V ≤ 175cm) VM = 0(V>175cm)	· Vertical zone 1) High: 132-183cm 2) Chest: 81-132cm 3) Low: 20-81cm 4) Floor: 0-30cm33
Frequency(F)	· lifts/min	· Infrequent lifting <2/h/day and<120 lifts/day · Intermediate lifting Frequency>2h/day and<30lifts/h · Frequent lifting >2h/day and 360lifts/h35
Lifting duration(LD)	· LD ≤1 hr · 1hr < LD ≤ 2hr · hr ≤ LD < 8hr	· 2hr ≥ LD ≥2hr
Vertical travel distance(D)	· M = 1(D ≤25) · DM = 0.82+4.5/D(25~175cm)	· Not included
Asymmetric angle(A)	· AM = 1-0.0032 A(0 ≤ A ≤135°) · AM = 0(A>135°)	· Not included
Hand-to-container coupling(C) Coupling type:	Coupling type: · good · fair · poor	· Not included

이 많은 경우 특히 많은 제약이 따르며 비전문가가 사용하기에는 어려운 점이 많다.

본 연구에서는 다른 평가 방법들 간의 비교를 위해 제한된 작업은 제외하고 분석하였으나, 현장에서는 제한된 작업이 종종 이루어지고 이런 작업들에 대해서는 LE로는 정량적인 평가를 할 수가 없다. 제한된 작업에 대해서는 무엇보다 전문가의 판단이 가장 우선시 되어야 하며 간헐적인 들기 작업보다 지속적인 들기 작업 즉, 제조업 계통에 적절하다고 볼 수 있다. LE의 적용이 제한되는 작업은 10가지가 있다(NISOH, 1994).

Lifting TLVs는 작업시간과 들기 빈도에 따라 3 개의 표로 구성되고, 각 표는 12 개의 작업영역으로 나뉜다. 수평 · 수직 거리가 영역으로 주어짐으로써 일정 조건에선 TLVs가 같아지는 결과가 나타난다. Lifting TLVs는 높은 들기 빈도(1시간당 360회 이상의 들기 작업), 과도한 근무(들기 작업을 하루 8시간 이상 수행하는 들기 작업), 부적합한 자세(들기 작업시 정중면에서 30도 이상 틀게 하는 자세에서의 들기 작업)의 경우에는 매우 위험한 상황으로 더 많은 연구가 요구된다. 어떤 작업 조건 하에서는, 예를 들어 한손으로 물건을 취급하는 경우, 몸의 자세가 부적절하게 낮은 경우(의자높이나 무릎정도), 높은 온도와 습도, 들기에 부적절한 물건, 불편한 손잡이, 불안정한 발(두 발로 몸을 지지 할 수 없는 경우), 진동이 있는 경우에는 더 낮은 허용기준을 적용해야 하는데 보통 TLVs의 1/2을 적용한다(ACGIH, 2005).

Lifting TLVs의 가장 큰 장점은 표를 이용하여 현장에서 TLVs를 바로 산출할 수 있고 비전문가라도 비교적 수월하게 사용할 수 있다는 점이다. 그리고 Lifing TLVs는 LE에서 적용을 제한하고 있는 작업조건에 대해서도 평가 지침을 제시 장점이 있으나 Lifting TLVs는 LE에 비해 고려하고 있는 변수가 적고(작업시간, 빈도, 수평 및 수직용역만 고려함) 물체의 위치, 거리는 실측치를 사용하지 않고 영역 또는 범위를 사용하기 때문에 그 정교성이나 정확성이 떨어진다는 단점이 있다.

3. 스크리닝 도구로서 Lifting TLVs

본 연구결과 Lifting TLVs에 의한 위험도는 LE에 비해 낮게 나타났지만 두 가지 결과간에는 밀접한 상관성이 있는 것으로 나타났다. 그러므로 Lifting TLVs는 그 타당성에 대한 근거가 갖추어진 도구이고 수평 · 수직 거리, 빈도수, 작업시간 변수만을 가지고 표를 이용하여 평가하므로 전문성을 갖추지 않은 인력이 조사하는 경우 그리고 간편하게 빠른 시간내 평가결과를 얻고자 하는 경우 적합하다고 판단된다.

본 연구에서 얻은 LE와 Lifting TLVs 선형회귀방정식을 이용하여 본 연구와 유사한 작업장에서 LIs가 1 일 때 LI_{TLVs}값을 예측하는 것이 가능하다. 즉, 회귀식 $y = 0.953x - 0.19$($y = LI_{TLVs}$, $x=LIs$, $r^2=0.67$)에서 x 값이 1 이면 y의 예측값은 0.76이다. 실제로 본 연구 대상인 45 개 작업 중 LI_{TLVs} 값이 0.75를 초과하는 작업은 33개중 $LIs < 1$ 인 작업은 1개($LI_{TLVs}=0.9$, $LI=0.9$)였고, LI_{TLVs} 값이 0.75 이하인 작업 12개중 $LIs > 1$인 작업이 1개($LI_{TLVs}=0.6$, $LI=1.0$)였다. 만약, LIs가 1 일 때의 LI_{TLVs} 예측치(0.76)의 95% 신뢰구간 하한치(0.58)을 적용

Table 4. Strengths and limitations of lifting equation and lifting TLVs

Tools	Strengths	Limitations
Lifting Equation	▪ Wide range of criteria ▪Economical ▪ Various factors are used ▪It reflects realistic field conditions ▪ Safe more than different assessment methods, ▪ Easy to identify lifting task's problems and improvement methods ▪ Applies to lifting of manufacturing	▪ Applies only to lifting ▪ Requires many assumptions ▪ Can not be applied only to limited lifting tasks ▪ Difficult to use in the field ▪ Analysis time is very long ▪ Estimate equation is very complex ▪ Amateurs are difficult to use
Lifting TLVs	▪ Easy to use in the field situation and economical ▪ Almost of applies in the field ▪ Requires relatively less assumptions ▪Limitation tasks are established apart guideline	▪ Applied in the task which is various ▪ There are some horizontal-vertical zones with no known safe limit for repetitive lifting ▪ Amateurs are easy to use ▪ The accuracy or wrought falls

시 벗어나는 작업은 하나도 없다. 이와 같은 결과에 근거하여 LI_{TLVs} 값이 0.75을 초과하는 작업은 LIs가 1을 초과 할 가능성이 있는 감시대상 작업으로 선별하고 이들을 LE를 재평가하거나 관리할 수 있다.

따라서 사업장 전체에서 이루어지고 있는 들기 작업들을 대상으로 Lifting TLVs를 사용하여 위험도가 일정수준을 넘는 작업을 선별하고 다음으로 선정된 작업에 대해 LE로 정확한 위험요인 분석을 실시할 수 있다.

이러한 방안은 상당히 타당성이 있는 것으로 나타났지만 본 연구 대상의 들기 작업이 중량물을 취급하는 선박엔진 제조 공장만을 대상으로 한 결과임으로 일반적으로 적용될 수 있는 회귀식과 스크리닝을 위한 기준값을 추정하기 위해서는 다양한 업종 및 작업조건을 대상으로 현장에 적용해 보는 추가적인 연구가 필요하다. 또한 특정한 조건의 작업에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

본 연구는 디젤엔진을 생산하는 사업장에서 이루어지고 있는 들기작업 45개를 대상으로, ACGIH Lifting TLVs(Lifting TLVs)에 의한 근골격계

V. 결 론

질환 위험 평가결과를 NIOSH Revised Lifting Equation(LE) 의한 결과와 비교함으로써 Lifting TLVs를 현장 작업에서 평가하였다. 본 연구에서 얻은 주요 연구결과와 결론은 다음과 같다.

1. Lifting TLVs에 의한 TLVs는 15.4 ± 5.8 kg, LE에 의한 RWLs는 11.7 ± 2.9 kg으로 TLVs가 RWLs보다 1.3배 크게 나왔으며 두 값 간에는 유의한 차이가 있었다($p<0.001$). LI_{TLVs}는 1.3 ± 0.8이고, LI는 1.6 ± 0.7로 전자가 후자보다 약 0.8 배 낮은 위험도를 산출하는 것으로 나타났고 두 방법에 의한 결과 간에는 유의한 차이가 있었다($p<0.001$). 그러므로 Lifting TLVs는 LE에 비해 권고무게가 크게 산출됨으로써 결과적으론 위험도가 낮게 평가 되었다.

2. 전체 45개 들기 작업 중 LIs가 1을 초과하는 작업이 34 개(75.6 %)이고 2를 초과하는 작업이 11개(24.4 %)였다. 한편, LI_{TLVs}가 1을 초과하는 작업이 22개(48.9 %)이고 2를 초과하는 작업이 5개(11.1 %)였다.

3. 45개 작업에 대한 LIs와 LI_{TLVs} 간의 상관계수는 0.82이고 선형회귀식은 $y = 0.953x - 0.19$ ($y=LI_{TLVs}$, $x=LIs$, $r^2=0.67$, $p<0.001$)였다. 한편, 다른 대부분의 작업과 달리 LI_{TLVs}가 LIs보다 1.5배 정도 크게 나온 3개 작업을 제외한 작업들만을 대상으로 구한 회귀계수는 0.85로 높았다.

4. 본 연구에서 얻은 LE와 Lifting TLVs 간의 회귀식을 이용하여 LIs가 1 일 때의 LI_{TLVs} 예측치를 구한 결과 0.76로 나왔다. 본 연구대상 45개중 이 값을 초과하는 작업 33개중 1개 작업만이 LIs가 1 미만이었다. Lifting TLVs는 현장에서 비교적 간단하게 주요 근골격계질환 위험요인을 확인하거나 평가할 수 있고, 앞에서 구한 예측치를 이용하여 본 연구와 유사한 작업장에서 작업 중 일정수준 이상의 위험도가 있는 작업 또는 정밀평가 대상 작업을 선별(스크리닝)하는 데 유용하다고 판단된다.

REFERENCES

권은혜. 자동차 조립부서 Manual Lifting 작업에 관한 인간공학적 연구. 서울대보건대학원 석사학위 논문, 1997.

박현진. 허리의 비틀림 동작시 근육의 활동 및 발휘근력에 관한 연구. 부산대학교 석사 학위논문, 2001.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Lifing TLVs. TLVs® and BEIs® Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. Cincinnati OH, ACGIH, 2005.

Dempsey PG, Burdorf A, Fathallah FA et al. Influence of measurement accuracy on the 1991 NIOSH equation. Applied Ergonomics 2001;32(3):91-99

National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH): Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. DHHS(NIOSH) Publication No.1-52, NIOSH Cincinnati, Ohio, 1994.

Richard W and Marklin JR. Four Assessment methods of ergonomics interventions: case study at an electric utility's warehouse system. American Industrial Hygiene Association Journal 1999;60(6):777-784

Thomas R, Vern PA, Sherry B. Methods for assessing the physical demands of manual lifting: A review and case study from warehousing. American Industrial Hygiene Association Journal 1998;59(6):871-881

Thomas R, Waters TR, Sherry L et al. Evaluation of the revised NIOSH lifting equation. Spine 1999;24(4):386-395

Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A et al. Revised NIOSH lifting equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. Ergonomics 1993;36(7):749-776

Waters TR, Baron SL, and Kemmlert K. Accuracy of measurements for the revised NIOSH lifting equation. Applied Ergonomics 1998;29(6):433-438