

## 자동차 조립 부서 Manual Lifting 작업에 관한 인간공학적 연구

서울대학교 보건대학원

권 은 혜 · 백 남 원

— Abstract —

### An Ergonomic Study on Manual Lifting Tasks in Motor Assembly Processes

Eun-Hye Kwon, Nam-Won Paik

*School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea*

Work-related Low Back Pain(LBP) is one of the most important issues in the field of industrial safety and health. Particularly, manual lifting is known as a major cause of work-related LBP and impairment.

Total number of 163 manual lifting tasks in motor assembly processes were investigated. The 1981 and the 1994 equations developed by National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) were applied to evaluate potential hazards of lifting-related LBP. Comparisons between the 1981 and 1994 NIOSH criteria were made. The relationships between the NIOSH criteria and lifting-related LBP were also analyzed.

The results of this study are as follows:

1. The values of Action Limit(AL) by the NIOSH 1981 lifting equation, Recommended Weight Limit(RWL) by the 1994 equation and the weight of the load handled at each manual lifting task were shown log-normal distributions.

2.  $LI'$ (the weight of the load /AL) and LI(the weight of the load /RWL) were calculated to estimate the physical stress imposed by each individual lifting task. As a result, 76.7 % of the total  $LI'$  values exceeded 1 and 12.9 % exceeded 3, and 84.7 % of the total LI values exceeded 1 and 20.9 % exceeded 3.

3. Bus 2 Department showed the highest rate of  $LI' > 1$  and  $LI > 1$  and Bus 1 Department showed the highest rate of  $LI' > 3$  and  $LI > 3$

4. In general, the RWLs by the 1994 equation were found lower than the ALs by the 1981 equation. It is assumed to be resulted from the fact that the 1994 equation includes methods evaluating

asymmetrical lifting tasks and lifts of objects with less than optimal hand-container couplings, and also covers a larger range of work durations and lifting frequencies than the 1981 equation.

5. Significant correlations were found between LI' and incidence of LBP ( $R=0.734$ ,  $p<0.05$ ), LI and incidence of LBP ( $R=0.671$ ,  $p<0.10$ ) and load-weights and incidence of LBP ( $R=0.797$ ,  $p<0.05$ ).

6. Control measures are required to achieve the value of LI less than 1 for some tasks having high LI values. Engineering control is highly recommended for some tasks having the value of LI above 3.

**Key Words :** Manual Lifting Tasks, Low Back Pain(LBP), Action Limit, Lifting Index', Recommended Weight Limit, Lifting Index

## I. 서 론

근로자들은 직업에 종사함으로써 근로소득을 얻는다. 그러나 부가적으로 건강에 유해한 영향 또한 입게 된다. 1700년대 라마찌니는 이러한 건강손상의 원인으로 근로자들이 취급하는 물질(인간에게 유해하며 특수질환을 일으키는 유해증기, 미세먼지 등)의 유해성과 신체의 불규칙적인 동작과 부자연스런 자세 두 가지를 들었으며, 이러한 원인으로 인해 인간의 자연스런 신체구조는 손상을 받게 되어 점차 심각한 질병이 발생하게 된다고 하였다(Ramazzini, 1964; White, 1992).

작업환경 측정을 통해 유해인자의 수준을 평가하여 이에 대한 대책을 수립함으로써 근로자들에게 쾌적한 작업환경을 제공하고자 하는 것과 같은 직업관련성 질환을 예방하기 위한 많은 노력들이 경주되어 왔다. 그러나 과격한 근육작업이나 불안정한 작업자세 등의 인간공학적 측면의 평가는 상대적으로 등한시해 온 것이 사실이다. 실제로 미국 대부분의 산업에서도 인간공학적인 접근은 근로자의 건강증진을 위한 것이 아니라 생산성 증가와 산업장에서의 안전을 위한 것이었다.

최근 발표된 우리 나라의 산업재해현황을 보더라도 '무리한 동작'과 '불완전한 자세 동작'으로 인하여 발생하는 요통(Low Back Pain, LBP) 및 근골격계 질환이 물리적·화학적 유해인자로 인한 산재보다 훨씬 높은 비율로 나타나고 있으며(백남원, 1995), 요통의 경우 우리 나라 직업관련성 질환의 1위를 차지하고 있다. 또한 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Agency, OSHA)에서는 요통을 산업안전보건 분야에서 해결해야 할 가장 중요한

문제로 지적하고 있다(NIOSH, 1994).

요통 발생에 관여하는 요인으로는 작업습관, 개인적인 생활태도, 물리적 환경요인(작업빈도, 물체의 위치, 무게 및 크기), 근로자의 육체적 조건, 과거의 요통 및 기타 장애(자동차 사고, 넘어짐)의 경험 유무 등이 있다. 요통발생의 원인에는 생체 역학적 자세불량, 퇴행성 변화, 심리적 원인 등 여러 가지 요인이 있으나 산업현장에서는 Lifting(호이스트나 리프트를 사용하지 않고 손으로 드는 작업), 밀고 당기기, 운반, 불안정한 작업자세, 반복작업, 무리한 작업동작, 정적인 작업, 적재 또는 하역작업 등에서 얻게되는 스트레스로 인한 생체 역학적 원인이 주를 이루고 있다. 이관형 등(1996)의 연구에 의하면 우리나라에서 직업관련성 요통재해 발생의 작업 형태별 분포로 볼 때 과격한 근육작업으로 인해 허리에 과도한 힘이 부과되는 Lifting 작업에 의한 요통재해자수가 가장 많은 것으로 나타났다.

따라서 Manual Lifting 작업에 대한 인간공학적인 조사연구를 실시하여 Lifting 작업환경실태를 평가하고 이를 통해 보다 나은 인간공학적인 대책 제시가 필요하며, 현행 작업환경측정의 범위를 확대시켜 인간공학적인 측면을 보완한 보다 완전한 작업환경 평가가 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 Manual Lifting 작업에 대해 인간공학적인 조사연구를 통해 작업환경을 평가하고 보다 적절한 인간공학적인 대책을 제시하며, 이를 통해 Lifting 작업으로 인한 요통 및 기타 근골격계질환을 예방하는데 도움이 되고자 하며 구체적인 목적은 다음과 같다.

(1) 모 자동차 회사의 조립 부서에서 Manual Lifting 작업을 선택하여 인간공학적인 측면을 고려한 작업환경실태를 조사한다.



(2) Manual Lifting에 대한 미국 NIOSH의 두 Lifting 방정식을 이용한 작업환경평가를 통해 각 Lifting 작업에 대한 적절한 기준을 설정한다.

(3) NIOSH의 각 기준치들과 요통 발생률을 비교하여 상관관계 여부를 검토한다.

(4) 각 기준치를 초과하는 고위험 Manual Lifting 작업에 대한 작업환경 개선방안을 제시함으로써 Lifting 작업으로 인한 요통 및 근골격계질환 등의 재해를 예방하는데 도움이 되고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 대상

본 연구는 1996년 8월 19일부터 8월 30일까지 모 자동차 제조 부서 중 버스제조부 생산과와 자재과, 트럭제조부 조립과, 소형제조부 조립과의 모든 작업을 대상으로 공정 순서에 따라 작업방법 및 근로자의 작업자세를 조사하였다.

위의 전체 공정 조사를 토대로 하여 주로 5 kg 이상의 부품을 손으로 들어서 장착하는 모든 작업을 대상으로 동년 11월 18일부터 21일까지 인간공학적 평가를 실시하였다. 이때 한 작업자가 여러 부품을 장착하는 경우에는 취급 부품 무게가 5 kg 이하인 작업도 포함시켰으며, 대상 작업은 총 163개였다.

Manual Lifting 조사 대상은 주간 작업을 대상으로 하였으며, Lifting 작업이 없을 것으로 예상되거나 접근하기 어려운 부서는 대상에서 제외하였다. 즉 정비반, 프레임썬반, 도장반, 차체반 일부 등과 야간 작업은 대상에서 제외하였다.

### 2. 방법 및 내용

Manual Lifting 작업자 163명을 대상으로 취급 부품의 무게(Load weight), 부품의 위치(Load Location), 비대칭 각도(Asymmetric Angle), 작업빈도(Task Frequency Rate), Lifting 작업시간, 손잡이 상태(Coupling) 등 Lifting 작업에 영향을 미치는 요인들을 측정하였으며, 이들을 이용하여 NIOSH의 Manual Lifting 작업에 대한 기준치들을 산출하였다.

1) NIOSH 기준치에 영향을 미치는 변수 측정  
NIOSH의 Manual Lifting 작업에 대한 1981년

감시기준(Action Limit, AL)과 1994년 개정된 권고기준(Recommended Weight Limit, RWL)에 영향을 미치는 변수들을 측정하였다. 변수들의 측정 기준은 다음과 같다.

#### (1) 수평위치(Horizontal Location, H)

수평위치는 대상 물체의 수평위치 즉, 대상 물체의 중심(물체를 잡을 때 손의 위치)으로부터 두 발목의 중간 지점까지의 거리이며, 25 cm 이하의 경우 기준치에 미치는 영향의 차이가 거의 없으므로 25 cm로 하였다. 부품을 들기 전 위치(Origin)에서의 수평거리( $H_1$ )와 부품을 들어서 장착한 위치(Destination)에서 수평거리( $H_2$ )를 측정하였다. 측정도구로 2 m 줄자를 이용하였다.

#### (2) 수직위치(Vertical Location, V)

수직위치는 대상 물체의 수직위치 즉, 바닥으로부터 물체의 중심(물체를 잡을 때 손의 위치)까지의 거리이다. 부품을 들기 전 위치(Origin)에서의 수직위치( $V_1$ )와, 부품을 들어서 장착한 위치(Destination)에서 수직위치( $V_2$ )를 측정하였다. 측정도구로 2M 줄자를 이용하였다.

#### (3) 빈도(F, Frequency)

빈도는 Manual Lifting 작업의 빈도이며, 빈도가 0.2 회/min 이하인 경우 0.2 회/분(즉, 5분마다 한 번씩 Lifting 작업을 실시)으로 하였다. 초시계로 15분 동안의 Lifting 빈도를 측정하여 8시간으로 환산하는 것이 원칙이나 택타임(한 공정에서 다음 공정으로 넘어가는 데 소요되는 시간, Tact time)이 정해져 있는 관계로 이 과정은 생략하였다.

#### (4) 수직 이동 거리(D, Vertical Travel Distance)

수직 이동 거리는 물체의 수직 이동거리로서 부품을 들기 전 위치(Origin)에서의 수직위치( $V_1$ )와 부품을 들어서 장착한 위치(Destination)에서 수직위치( $V_2$ )의 차이  $|V_2 - V_1|$ 를 측정하였으며 25 cm 이하의 경우 25 cm로 하였다. 측정도구는 2M 줄자를 이용하였다.

#### (5) 비대칭 각도(Asymmetric angle, A)

물체를 들 때 허리가 비틀리는 정도를 나타내는 비대칭 각도는 물체의 위치가 사람의 정중면(sagittal plane)에서 벗어난 각도(degree)이며, 측정도구로 Goniometer를 이용하였다. 부품을 들기 전 위치(Origin)와 부품을 들어서 장착한 위치(Destination)에서 비대칭 각도를 측정하였다.

(6) 물체 무게(Load weight)

물체 무게는 작업자가 Lifting하는 물체의 무게(kg)이며, 측정도구로 이동 가능한 저울을 이용하였다. 물체(부품)를 두 사람이 Lifting하는 경우는 무게중심이 두 사람사이의 중간에 위치하고 하중이 양쪽 두 사람에 동등하게 작용하는 것으로 가정하여 물체 무게를 2로 나누었다.

(7) 손잡이 상태(Hand-to-Container Coupling)

물체(부품)를 들 때 물체의 손잡이 상태를 결정하기 위해 Table 1을 이용하여 손잡이 상태를 구분하였다.

2) 각 작업별 NIOSH 기준치 산출

(1) AL, LI'

각 작업별로 1981년 NIOSH의 Lifting 작업에 대한 감시기준(Action Limit, AL)을 산출하였다. 또한 1994년 NIOSH 방정식에 따른 결과와 비교하기 위해 1994년의 들기 지수(Lifting Index, LI)와 같은 개념을 지니도록 AL과 물체무게의 비인 LI'를 임의로 설정하여 LI'를 산출하였으며 두 기준치의 방정식은 다음과 같다.

Table 1. Hand-to-Container Coupling Classification

Coupling Type	
Good	① 손잡이의 최적규격은 직경 1.9-3.8 cm 이상, 길이 11.5 cm 이상, 물체로부터의 간격 5 cm 이상의 원통모양이며, 표면은 부드럽고 미끄럽지 않음.
	② 손잡이 홈의 최적규격은 높이 3.8 cm 이상, 길이 11.5 cm의 반난형(semi-oval shape)으로 여유틈(clearance)이 5 cm 이상의 원통모양이며, 부드럽고 미끄럽지 않은 표면임.
	③ 물체의 최적규격은 폭(frontal length) 40 cm 이하, 높이 30 cm 이하로서 부드럽고 미끄럽지 않은 표면임.
	④ 물체를 다룰 때 손이 쉽게 보호되도록 지나치게 손목이 휘거나 불안정한 자세를 요구하지 않음.
	⑤ 물체를 잡을 때 무리한 힘을 요구하지 않음.
Fair	① 물체의 규격은 적절하나, 손잡이나 홈이 없거나 최적 규격에 미달함.
	② 물체를 쥌 때 물체의 아래부분에서 손가락을 90도 정도로 굽힐 수 있음.
Poor	① 물체가 폭(frontal length)이 40 cm 이상, 높이가 30 cm 이상임.
	② 표면이 거칠거나 미끄러우며, 날카로운 모서리가 있고, 물체의 중심이 비대칭임.
	③ 내용물이 안정적이지 못함.
	④ 장갑사용이 요구됨.
	⑤ 부피가 커서 손으로 잡았을 때 쉽게 균형이 잡히지 않은 물체
	⑥ 견고하지 않은 bag(중간이 처지는 bag)
	⑦ 물체를 잡을 때 손가락이 90도 정도로 굽힐 수 없는 물체
	⑧ 물체를 놓을 때 손을 다시 잡아야 하는 물체

$$AL(kg)=40\left(\frac{15}{H}\right)(1-0.004|V-75|)\left(0.7+\frac{7.5}{D}\right)\left(1-\frac{F}{F_{MAX}}\right)$$

H(Horizontal location) : 대상 물체의 수평위치 즉, 대상 물체의 중심으로부터 두 발목의 중간 지점까지의 거리이며, 15~80 cm의 범위이다.

V(Vertical location) : 대상 물체의 수직위치 즉, 바닥으로부터 물체의 중심까지의 거리이다.

D(Vertical travel distance) : 물체의 수직 이동거리로서 25~200 cm의 범위이다.

F(Frequency, 회/분) : Lifting작업의 빈도이며, 최소값은 0.2 회/분(즉, 5분마다 한 번씩 Lifting 작업을 실시)이고, 최빈수(FMAX)는 작업시간과 물체의 수직위치에 따라 결정된다.

$$LI' = \frac{\text{물체 무게 (kg)}}{AL(kg)}$$



Lifting작업은 단순작업(Single task)과 복합작업(Multiple task)으로 구분된다. 단순작업은 단일 작업자가 또는 단일 작업공정에서 한 종류의 Lifting 작업을 하는 경우이며, 복합작업은 단일 작업자가 또는 단일 작업공정에서 2가지 이상의 Lifting 작업을 하는 경우를 의미한다. 복합작업의 경우, 각 Lifting 작업별 변수의 빈도 가중 평균치를 구하여 한 개의 AL값을 갖도록 하였다. 또한 AL은 두 위치, 즉 부품을 들기 전 위치(Origin)와 부품을 들어서 장착한 위치(Destination)에 대해 적용하였으며, 이는 두 위치 중 Lifting작업에 가장 스트레스를 많이 주는 위치를 식별하기 위함이다. 각 위치에서 산출된 AL 값 중 더 낮은 값을 최종 AL 값으로 결정하였다.

## (2) RWL, LI

각 작업별로 1994년 NIOSH의 개정된 권고기준(Recommended Weight Limit, RWL)과 들기 지수(Lifting Index, LI)를 산출하였으며, 두 권고치의 방정식은 다음과 같다.

단순작업과 복합작업으로 구분하여 각 작업별로 RWL과 LI를 산출하였다. 단순작업의 경우 그 작업 조건에 따른 RWL과 물체 무게의 비(Ratio)인 STLI(Single Task Lifting Index)를 구하였다. 복합작업의 경우 최종 RWL은 각 RWL들 중 가장 낮은 RWL을 사용하였으며, LI는 각 Lifting 작업별 LI가 높은 순서와 각 빈도를 이용한 CLI(Complex

Lifting Index)를 구하였다.

또한 RWL과 LI는 두 위치, 즉 부품을 들기 전 위치(Origin)와 부품을 들어서 장착한 위치(Destination)에 대해 적용하였으며, 이는 두 위치 중 Lifting작업에 가장 스트레스를 많이 주는 위치를 식별하기 위함이다. 두 위치에서 산출된 RWL값 중 더 낮은 값을 최종 RWL로 결정하였다. 취급부품무게는 보다 안전한 기준을 제시하기 위해 각 취급부품 중 가장 무거운 것을 적용하였다.

## 3) NIOSH 방정식을 이용한 기준치들과 요통자료와의 비교

NIOSH 방정식에서 산출된 기준치들과 요통발생률(산재 및 공상자료 이용)과의 관계를 비교하였다. 요통자료는 1991년부터 1996년까지 연도별 각 부서별로 발생한 요통(산재와 공상 포함) 건수와 그 부서의 총 작업인원을 이용하여 요통발생률을 산출하였다. 연도별로 발생한 요통 건수가 적었으므로 각 부서별 요통발생률은 누적평균을 구하여 천인율로 제시하였으며 그 식은 다음과 같다.

NIOSH 기준치들과 요통발생률과의 관계를 보기 위해 상관분석을 하였으며 요통발생률에 영향을 미치는 요인들을 이용하여 회귀분석을 하였다. 자료분석은 Microsoft Excel 7.0과 SPSS 7.0을 이용하였다.

$$RWL=23(25/H)\{1-(0.003|V-75|)\{0.82+(4.5/D)\}\{1-(0.0032A)\}\}(FM)(CM)$$

H(horizontal distance) : 대상 물체의 수평위치 즉, 대상 물체의 중심(물체를 잡을 때 손의 위치)으로부터 두 발목의 중간 지점까지의 거리이며, 범위는 25-63 cm로서 25 cm이하의 경우 25 cm로 한다.

V(vertical distance) : 대상 물체의 수직위치 즉, 바닥으로부터 물체의 중심(물체를 잡을 때 손의 위치)까지의 거리로서 범위는 0-175 cm이다.

D(vertical travel distance) : 물체의 수직 이동거리로서 범위는 25-175 cm이며, 25 cm이하의 경우 25 cm로 한다.

F(frequency, 회/분) : Lifting작업의 빈도이며, 빈도가 0.2 회/분 이하인 경우 0.2 회/min(즉, 5분마다 한 번씩 Lifting 작업을 실시)으로 한다.

A(asymmetric angle) : 물체의 위치가 사람의 정중면(sagittal plane)에서 벗어난 각도이며, 범위는 0-135 deg. 이다.

$$LI = \frac{\text{물체 무게 (kg)}}{RWL(\text{kg})}$$

$$\text{요통발생률} = \frac{\sum D_i}{\sum N_i} \times 1000$$

D : 1991년부터 1996년까지의 각 부서별 총 요통 발생건수

N : 1991년부터 1996년까지의 각 부서별 총인원

i : 부서(i = 버스 1·2·3·4과, 트럭 1·2·3과 소형조립과)

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 결과

##### 1) 전체 결과

버스제조부 생산과와 자재과, 트럭제조부 조립과, 소형제조부 조립과의 모든 작업 공정 중에서 전체 163개 Lifting 작업에 대해 NIOSH 1981년 기준과 1994년 기준을 적용한 결과 각 작업에 대한 AL, LI, RWL, LI 결과치는 모두 대수정규분포를 이루고 있었다. 또한 취급하는 부품무게도 대수정규분포를 이루고 있었다. Fig. 1은 전체 163개 Lifting 작업에 대한 AL, RWL, 및 취급부품 무게가 대수정규분포를 이루고 있음을 보여준다.

Table 2는 163개 Manual Lifting 작업을 대상으로 산출된 NIOSH의 AL, RWL을 기하평균과 기하표준편차로 나타낸 것이다. 전체 Lifting 작업에 대한 평균 AL은 9.03 kg, 평균 RWL은 7.06 kg이었으나 취급하는 부품의 평균 무게는 12.82 kg으로 NIOSH의 AL과 RWL보다 더 무거운 부품을 취급하는 것으로 나타났다.

Lifting 작업에서 취급하는 부품 무게와 각 기준치를 비교해보았을 때 163개의 Lifting 공정 중 125개 (76.7 %) 공정이 감시기준인 AL을 초과하였

으며, 권고기준인 RWL은 138개 (84.7 %) 공정이 초과하였다.

전반적으로 AL보다 RWL이 더 낮은 것으로 나타났다. 이는 1994년 방정식이 1981년 방정식에서 사용된 변수 이외에 비대칭 각도 및 손잡이 상태까지 고려하여 작업조건을 더 많이 반영한 결과로 1981년의 AL보다 1994년의 RWL이 보다 낮은 기준치를 제시하고 있음을 보여준다.

1981년 기준과 1994년 기준에 따른 결과를 서로 비교하기 위해 Lifting 관련 요통의 위험정도를 상대적으로 평가할 수 있도록 개발된 1994년의 LI 개념을 이용하였다. 1981년 방정식에 의해 산출된 AL과 부품무게와의 비를 임의로 LI'으로 두고 이 LI'와 LI를 산출하였다. 그 결과 LI'은  $1.42 \pm 1.92$ 로 0.2~6.2의 범위를 보였으며, LI는  $1.82 \pm 1.86$ 으로 0.3~7.4의 범위를 보였다.

Table 2. Results of Load Weight, AL and RWL for All Manual Lifting Tasks

	GM(kg)	GSD	Range(kg)
Load Weight	12.82	1.69	3 - 44
AL(1981)	9.03	1.50	3.4 - 23.2
RWL(1994)	7.06	1.46	2.6 - 19.5

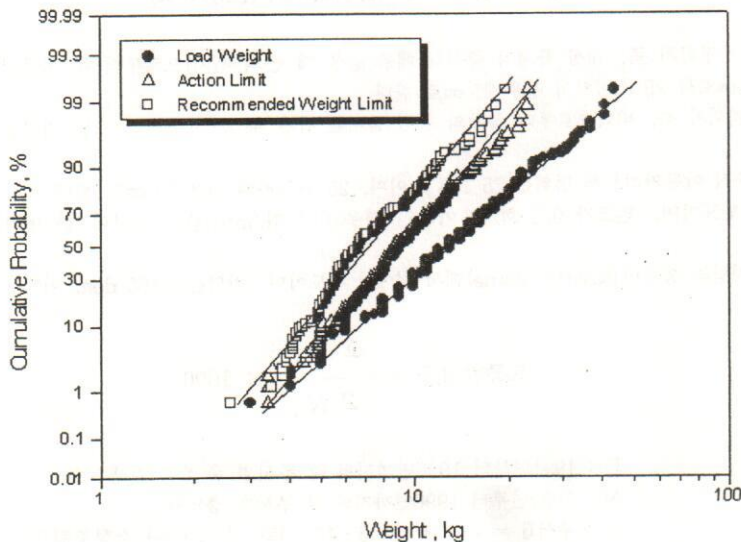


Fig. 1. Cumulative Distribution of AL, RWL and Load Weight on All Manual Lifting Tasks.



Manual Lifting 작업에 대해 산출된 NIOSH 기준치와 취급부품무게의 비가 크면 클수록 그 작업자에 대한 Lifting 관련 요통의 위험 수준이 증가하게 된다. LI'와 LI를 비교시 LI가 LI'보다 높게 나타났으므로 LI가 작업자의 Lifting 작업조건을 더 많이 반영함에 따라 더 정확한 위험수준을 제시하고 있음을 볼 수 있다.

1981년 기준에 의해 가장 유해한 것으로 나타난 작업과 1994년 기준에 의해 가장 유해한 것으로 나타난 작업이 일치하지 않을 수 있으나 LI'와 LI간의

상관분석 결과 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다( $R=0.956$ ,  $p<0.01$ ).

## 2) 부서별 결과

### (1) AL, RWL 초과현황

각 Lifting 작업에 대한 부서별 AL, RWL의 초과 현황은 Table 3, Fig. 2와 같다. 부서별로는 버스 생산 2과에서 AL, RWL이 모두 100 %를 초과하였으며 자재과는 조사대상이 한 작업뿐이었으므로 각 기준치 초과율 비교에서는 제외시켰다. 각 부서

Table 3. Violation cases of NIOSH Criteria by Department

Department	No. of Lifting Tasks	Violation by Criteria	
		AL	RWL
		NIOSH, 1981	NIOSH, 1994
Bus 1	16	15 (93.8)	15 (93.8)
Bus 2	9	9 (100)	9 (100)
Bus 3	23	20 (87.0)	21 (91.3)
Bus 4	26	23 (88.5)	24 (92.3)
Materials	1	1 (100)	1 (100)
Truck 1	22	14 (63.6)	15 (68.2)
Truck 2	22	16 (72.7)	21 (95.5)
Truck 3	24	21 (87.5)	22 (91.7)
Motorcars	20	6 (30.0)	10 (50.0)
Total	163	125 (76.7)	138 (84.7)

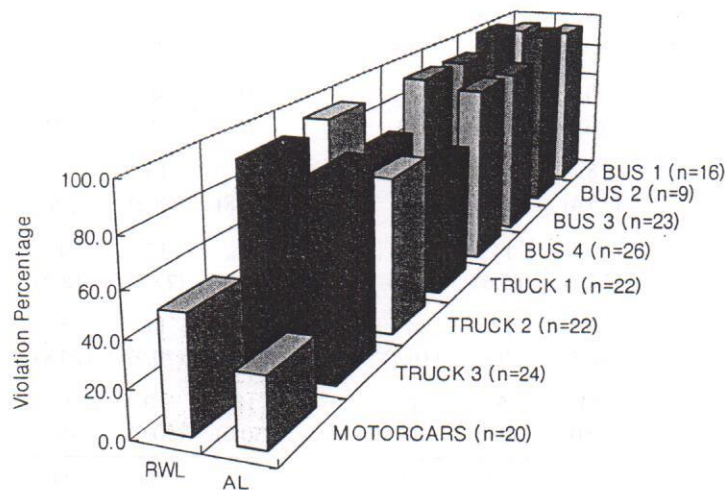


Fig. 2. Violation Percentage of NIOSH Criteria by Department (n : Number of Lifting Tasks).

별로 RWL 초과율이 AL 초과율보다 다소 높은 것으로 나타났다. 이 부서별 작업 특성은 1.2.3 부서별 결과에서 제시하였다.

#### (2) LI' 및 LI 분포현황

##### 가) 부서별 현황

Table 4는 Manual Lifting 작업에 대한 부서별 LI'와 LI 분포를 나타낸 것이다. NIOSH 1981년 기준에 따른 결과는 전체 163개 Lifting 작업중 125개(76.7 %) 작업이 LI' 1을 초과하였으며, 다수의 작업자에게서 근골격계 장애가 나타나는 수준인 LI' 3을 초과하는 작업은 21개(12.9 %)였다. 부서별로는 버스 2과가 LI'의 1 초과율이 가장 높았으며 LI'의 3 초과율은 버스 1과가 37.5 %로 가장 높았다.

그러나 비대칭 각도와 손잡이 상태 등을 고려하여

개정된 NIOSH 1994년 기준에 따른 결과는 전체 163개 Lifting 작업중 138개(84.7 %) 작업이 LI 1을 초과하여 Lifting 작업을 하기에 적절하지 않은 것으로 나타났다. Lifting 작업자 다수에게서 요통의 위험이 증가하는 수준인 LI 3을 초과하는 Lifting 작업은 34개(20.9 %) 작업이었으며, 특히 버스 생산 1과는 LI 3을 초과하는 Lifting 작업이 7개(43.8 %)로 모든 부서 중 가장 많았다.

##### 나) 부서별 결과

부서별 Lifting 작업의 평가는 개정된 1994년 기준을 이용하여 평가하였다.

##### ① 버스 생산 1과

버스 생산 1과에서는 대형 버스의 의장, 완성 작업이 이루어진다. 하루 8시간 작업시 생산량은 7.5 대이며, 버스 1대당 택타임(한 공정에서 다음 공정

Table 4. Distribution of LI' and LI by Department

Department	No. of Lifting Tasks	NIOSH, 1981			NIOSH, 1994		
		Distribution by LI'			Distribution by LI		
		≤1	1 - 3	3<	≤1	1 - 3	3<
Bus 1	16	1 (6.3)	9 (56.2)	6 (37.5)	1 (6.3)	8 (49.9)	7 (43.8)
Bus 2	9	0 (0)	7 (77.8)	2 (22.2)	0 (0)	8 (88.9)	1 (11.1)
Bus 3	23	3 (13.0)	17 (74.0)	3 (13.0)	2 (5.5)	12 (55.4)	9 (39.1)
Bus 4	26	3 (11.5)	19 (73.1)	4 (15.4)	2 (7.7)	17 (65.4)	7 (26.9)
Materials	1	0 (0)	1 (100.0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (100)
Truck 1	22	8 (36.4)	14 (63.6)	0 (0)	7 (31.8)	15 (68.2)	0 (0)
Truck 2	22	6 (27.3)	14 (63.6)	2 (9.1)	1 (4.5)	17 (77.3)	4 (18.2)
Truck 3	24	3 (12.5)	17 (70.8)	4 (16.7)	2 (8.3)	17 (70.9)	5 (20.8)
Motorcars	20	14 (70.0)	6 (30.0)	0 (0)	10 (50.0)	10 (50.0)	0 (0)
Total	163	38 (23.3)	104 (63.8)	21 (12.9)	25 (15.3)	104 (63.8)	34 (20.9)



으로 넘어가는데 소요되는 시간, Tact Time)은 60 분이다. 버스 생산 1과의 조사대상 Manual Lifting 작업은 16개 작업이었으며, 각 작업별 RWL, LI의 결과는 Table 5, Fig. 3과 같다.

16개 Lifting 작업 중 RWL의 초과건수는 15건으로 전체 Lifting 작업중 93.8 %가 부적합한 조건인 것으로 나타났다.

다수의 작업자에게서 Lifting 관련 요통의 위험이

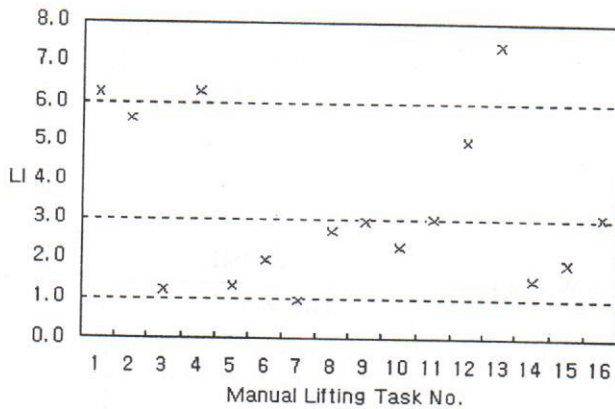


Fig. 3. Results of LI for Manual Lifting Tasks at Bus 1 Department.

증가하는 수준인 LI 3을 초과하는 작업은 7개로 전체 Lifting 작업중 43.8 %였으며, LI가 6을 초과하는 작업도 3건이나 있었다. 이 부서의 평균 LI는 2.76이었다.

LI가 가장 높은 작업은 propeller shaft 장착작업으로 propeller shaft를 적재함에서 꺼낸 다음 차체 프레임(frame) 하단에 장착하는 작업이다. 그러나 프레임의 위치가 낮아 작업자는 허리를 굽히고 일해야 하며, 장착시에도 프레임 하단에 바로 장착하지 못하기 때문에 프레임 하단 바닥에 propeller shaft를 내려놓은 다음 자세를 바꾸어 장착하게 된다. 이때 바닥까지 propeller shaft를 내리기 위해 몸 중심으로부터 propeller shaft까지의 수평거리가 커지게 되며, 이로 인해 RWL은 낮아지게 되고 LI는 높아지게 된 것으로 여겨진다. 따라서 차체 프레임의 높이를 조절하여 작업자가 허리를 굽히지 않고 일할 수 있도록 하거나 propeller shaft를 바닥에 놓지 않고 바로 장착할 수 있도록 적절한 대책이 강구되어야 할 것이다.

#### ② 버스 생산 2과

버스 생산 2과에서는 대형 버스의 샤시, 차체 작업이 이루어지며, 하루 8시간 작업시 생산량은 7.5 대 정도(택타임: 60분)이다. 버스 생산 2과의

Table 5. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Bus 1 Department

Task No.	Task Type	Load Weight (kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	battery	37	5.9	6.27
2	preheater	24	4.3	5.60
3	rear bumper	20	16.4	1.22
4	mat	34.5	5.5	6.30
5	upper side glass frame	13	9.8	1.32
6	lower side glass frame	10.5	5.4	1.95
7	frame sub	6	6.4	0.94
8	frame	16	6.0	2.70
9	glass	16	5.4	2.95
10	heater	16	7.0	2.29
11	ceiling board	31	10.3	3.02
12	driver seat	33	6.6	5.00
13	propeller shaft	37	5.0	7.40
14	air cleaner	17	11.5	1.48
15	a/c bracket	18	9.3	1.90
16	three-seat	21.5	7.1	3.07

Manual Lifting 작업은 9개 작업(생산2과는 대형 버스의 차체작업을 주로 하는 부서인 관계로 접근하기 어려웠음)이었으며, 각 작업별 RWL, LI의 결과는 Table 6, Fig. 4와 같다.

9개 Lifting 작업 중 RWL의 초과건수는 9건으로서 Lifting 작업 전체가 Lifting 작업을 하기에 부적합한 것으로 나타났다. LI가 3을 초과하는 작업은 1개(11.1 %)였으며, 이 부서의 평균 LI는 1.97이었다.

LI가 가장 높은 작업은 back door 장착작업으로 back door 장착작업은 적재대에 있는 back door를 차체 뒤편에 장착하는 작업으로 back door가 장착되는 부분의 높이(수직위치)가 상당히 높기 때문에 이로 인해 RWL이 낮아지고 LI가 높아지게 된

것으로 여겨진다. 따라서 back door 장착시 선반(발 받침대) 등을 이용하여 작업자와 back door가 장착되는 부분의 위치를 맞추는 방안을 모색해야 할 것이다.

### ③ 버스 생산 3과

버스 생산 3과에서는 중형 버스의 차시, 차체, 의장 작업이 이뤄지며, 하루 8시간 작업시 생산량은 12대 정도(택타임: 37분)이다. 버스 생산 3과의 Manual Lifting 작업은 23개 작업이었으며, 각 작업별 RWL, LI의 결과는 Table 7, Fig. 5와 같다.

1994년 기준을 적용한 결과 23개 Lifting 작업 중 RWL의 초과건수는 21건으로서 전체 Lifting 작업 중 91.3 %가 적합한 조건이 아닌 것으로 나타났다.

Table 6. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Bus 2 Department

Task No.	Task Type	Load Weight(kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	U/I bolt	11	9.5	1.16
2	spare carrier	12	9.7	1.24
3	air spring	13	5.7	2.28
4	fuel tank	15	6.6	2.30
5	radius rod	14	7.9	1.78
6	side lid	19	17.2	1.10
7	back door	21	3.9	5.33
8	step	41	13.6	3.00
9	toe board	10	5.3	1.88

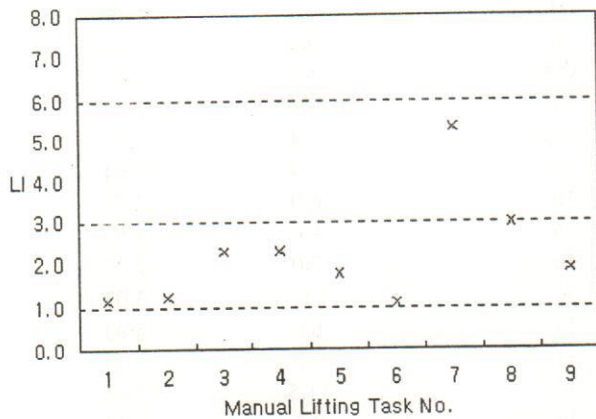


Fig. 4. Results of LI for Manual Lifting Tasks at Bus 2 Department.

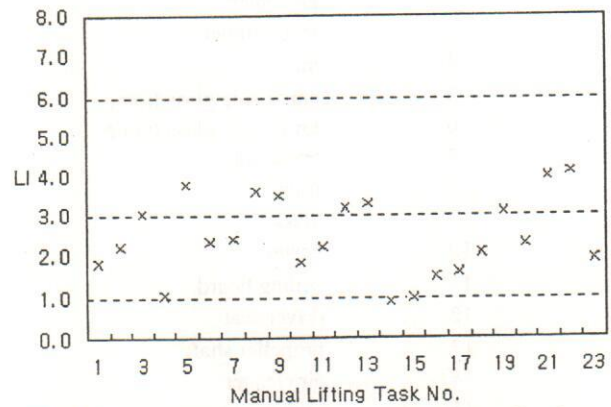


Fig. 5. Results of LI for Manual Lifting Tasks at Bus 3 Department.



LI가 3을 초과하는 작업은 9개로 전체 Lifting 작업중 39.1 %가 다수의 작업자에게 Lifting 관련 요통의 위험이 증가하는 수준인 것으로 나타났다. 이 부서의 평균 LI는 2.26이었다.

Manual Lifting 작업에서 산출된 LI의 크기가 크면 클수록 그 작업자에 대한 Lifting 관련 요통의 위험 수준이 증가하게 됨을 볼 때, LI가 가장 높은 작업인 Rear glass 장착작업(LI=4.10)은 Rear glass장착부위의 높이와 같도록 선반을 설치하여 작업자가 선반 위에서 작업하도록 하고 있다. Rear glass는 적재대에서 장착부위까지 들어서 바닥에 내려놓은 다음에 유리 프레임위에 장착하게 된다. 이 때 바닥에 내려놓을 때 수평거리가 커지므로 이로 인해 LI가 높아지게 된 것으로 여겨진다. 따라서 밀착형 손잡이 등을 이용하여 Rear glass를 한번에 장착할 수 있도록 하는 방안이 모색된다.

#### ④ 버스 생산 4과

버스 생산 4과에서는 LX 버스의 차체, 의장 작업이 이뤄지며, 하루 8시간 작업시 생산량은 5대 정도이고 버스 1대당 택타임은 100분이다. 버스 생산 4과의 Manual Lifting 작업은 26개 작업이었으며, 각 작업별 RWL, LI의 결과는 Table 8, Fig. 6과 같다.

전체 26개 Lifting 작업 중 RWL을 초과하는 작업은 24건으로서 전체 Lifting 작업중 92.3 %가 부적합한 것으로 나타났다. 다수의 작업자에게 Lifting 관련 요통의 위험이 증가하는 수준인 LI가 3을 초과하는 작업은 7개로 전체 Lifting 작업중 26.9 %였다. 이 부서의 평균 LI는 2.18이었다.

Manual Lifting 작업에서 산출된 LI의 크기가 크면 클수록 그 작업자에 대한 Lifting 관련 요통의 위험 수준이 증가하게 됨을 볼 때, LI가 가장 높은 Driver seat(마울버스) 장착작업(LI=4.83)은 적재

Table 7. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Bus 3 Department

Task No.	Task Type	Load Weight(kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	roof panel	20	10.9	1.83
2	rear door	14	6.3	2.21
3	sliding door	15	4.9	3.04
4	roof rail	13	12.3	1.05
5	spring	21	5.6	3.77
6	stabilizer	15	6.4	2.33
7	vacuum tank	10	4.1	2.40
8	propeller shaft	19	5.2	3.60
9	silencer	15	4.3	3.50
10	exhaust pipe	9	4.9	1.84
11	fuel tank	12	5.4	2.21
12	radiator	18	5.6	3.20
13	inner heater	16	4.9	3.30
14	steering shaft	4	4.4	0.90
15	clutch bracket	5	5.0	1.00
16	master bag	9	5.8	1.50
17	side glass	13	8.0	1.60
18	engine cover	12	5.8	2.07
19	front bumper	14	4.5	3.10
20	rear bumper	13	5.8	2.30
21	front glass	20	5.0	4.00
22	rear glass	20	4.9	4.10
23	driver seat	9	4.7	1.90

대→바닥, 바닥→차체로 2번의 Lifting 작업이 이루어진다. 바닥으로 내릴 때 수평거리가 커져 이로 인해 LI가 높아지게 된다. 따라서 두 사람이 함께 들어서 바닥으로 내려놓지 않고 바로 장착할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

⑤ 자재과.

버스와 트럭 제조시 사용되는 부품을 외부에서 공급받아 적재대에 적재하고, 각 부서별 요구 부품을 운반·공급하는 작업이 주요 작업이다. 부품 상자 운반작업은 자재 창고→전동차, 전동차→현장까지 부품상자를 운반하는 작업만 측정하였으며 외부에서 입고된 부품들을 자재 창고의 각 적재대로 운반하는 것은 제외하였다.

자재과는 거의 모든 작업이 Manual Lifting 작업이므로 한 작업자만을 대상으로 조사하였으며,

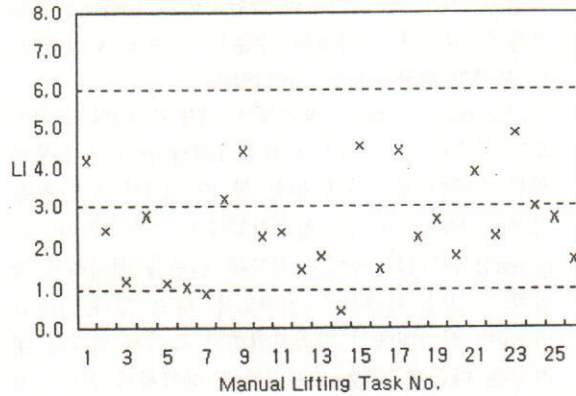


Fig. 6. Results of LI for Manual Lifting Tasks at Bus 4 Department.

Table 8. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Bus 4 Department

Task No.	Task Type	Load Weight(kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	sillcross l	33	7.9	4.20
2	air chamber	10	4.1	2.44
3	air cleaner	9	7.4	1.20
4	stabilizer	16	5.7	2.80
5	rear stabilizer	8	6.9	1.15
6	bracket	6	5.7	1.06
7	shock absorber	5	5.6	0.89
8	fuel tank	26	8.1	3.20
9	air tank	44	10.0	4.40
10	exhaust pipe	13	5.7	2.30
11	propeller shaft	18	7.5	2.40
12	step	15	10.1	1.49
13	freight box	30	16.5	1.80
14	battery box	7	16.4	0.43
15	side lid l	16	3.5	4.50
16	wheel housing	13	8.5	1.50
17	door	17	3.9	4.40
18	fan pulley	25	11.0	2.27
19	battery	32	11.9	2.69
20	rear bumper	11	6.0	1.80
21	lathe	16.3	4.2	3.88
22	glass frame	14	6.1	2.30
23	driver's seat(shuttle bus)	28	5.8	4.83
24	check cover	18	5.9	3.00
25	main door	41	15.1	2.71
26	front glass	20	11.8	1.70



RWL, LI의 결과는 Table 9, Fig. 10(소형조립과 그림에 포함)과 같다. 부품상자 운반작업에 대해 1994년 기준을 적용한 결과 부품상자의 무게가 RWL을 초과하여 Lifting 작업을 하기에 부적합한 조건인 것으로 나타났다.

LI는 5.65로 다수의 작업자에게 Lifting 관련 요통의 위험이 증가하는 수준(LI=3)을 훨씬 초과하는 것으로 나타났다.

자재과의 부품상자 운반작업은 전체 163개의 Manual Lifting 작업중 Lifting 작업빈도가 가장 높은 작업으로, 자재창고 적재대의 높이도 다양해서 적재대에서 부품상자를 꺼낼 때의 작업조건(수평거리, 수직거리, 비대칭 각도 등)도 이들 요인들이 복합적으로 LI에 영향을 미친 것으로 여겨진다.

#### ⑥ 트럭 조립 1과

트럭 조립 1과에서는 대형 트럭을 조립하는 작업이 이뤄지며, 하루 8시간 작업시 생산량은 22대(택타임: 25~30분)이다. 트럭 조립 1과의 Manual Lifting 작업은 22개 작업이었으며, 각 작업별 RWL, LI의 결과는 Table 10, Fig. 7과 같다.

1994년 기준을 이용하여 평가한 결과 22개 Manual Lifting 작업 중 RWL의 초과건수는 15건으로서 전체 Lifting 작업중 68.2 %가 부적합한 작업조건으로 나타났다.

LI 3을 초과하는 작업은 없었으며, LI가 가장 높은 작업은 Air tank 장착작업(LI=2.90)이었다. 이 부서의 평균 LI는 1.32이었다.

#### ⑦ 트럭 조립 2과

트럭 조립 2과에서는 중형 트럭의 조립 작업이 이뤄지며, 주야 2교대 8시간씩 작업이 이뤄진다. 하루 생산량은 총 130대(주간 + 야간)이며, 트럭 1대당 택타임은 5분이다. 트럭 조립 2과의 Manual Lifting 작업은 22개 작업이었으며, 각 작업별 RWL, LI의 결과는 Table 11, Fig. 8과 같다.

1994년 기준을 적용한 결과 22개 Lifting 작업 중 RWL을 초과하는 작업은 21개로서 전체 Lifting 작업중 95.5 %가 부적합한 것으로 나타났다. LI가 3을 초과하는 작업은 4개로 전체 Lifting 작업중 18.2 %였으며, 이 부서의 평균 LI는 1.86이었다.

Table 9. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Materials Department

Task No.	Task Type	Load Weight(kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	parts box	22	4.2	5.65

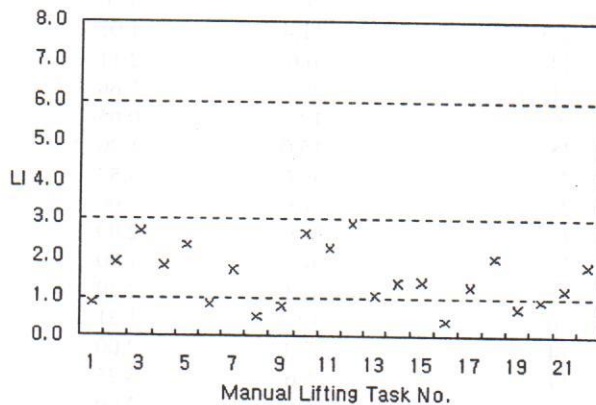


Fig. 7. Results of LI for Manual Lifting Tasks at Truck 1 Department.

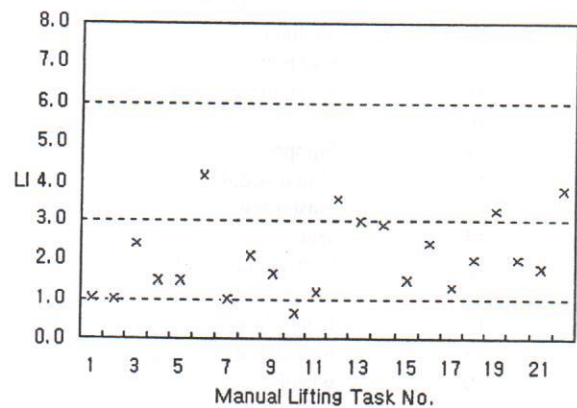


Fig. 8. Results of LI for Manual Lifting Tasks at Truck 2 Department.

Table 10. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Truck 1 Department

Task No.	Task Type	Load Weight(kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	engine mounting lever	10	11.6	0.86
2	wheel tank supporter	17	9.0	1.89
3	carrier	14	5.1	2.70
4	air master 1	12	6.8	1.80
5	battery carrier	12	5.2	2.33
6	power cylinder	9	10.7	0.84
7	torque rod	14	8.2	1.71
8	condenser bracket	5	9.9	0.50
9	shock absorber	5	6.5	0.77
10	drag link	10	3.8	2.64
11	phantom	21	9.4	2.25
12	air tank	19	6.7	2.90
13	exhaust pipe	9	8.5	1.05
14	pump motor	11	8.0	1.37
15	tool box	11	8.0	1.40
16	front bumper	7.5	19.5	0.38
17	driver assistant seat	15	11.8	1.27
18	front glass	22	11.1	2.00
19	bed seat	13	18.3	0.71
20	bonnet	10	11.2	0.90
21	tilting	8	6.7	1.20
22	over head	11	6.0	1.80

Table 11. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Truck 2 Department

Task No.	Task Type	Load Weight(kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	start motor	7	6.7	1.04
2	power pump	5.5	5.4	1.02
3	a/c compressor	12	5.1	2.40
4	propeller shaft 1	10	6.5	1.50
5	silencer	8	5.5	1.50
6	propeller shaft	24	5.7	4.20
7	a/c liner	11.5	11.4	1.01
8	tool box	14	6.6	2.11
9	fuel tank	11	6.6	1.66
10	seat	8	12.3	0.65
11	bumper	18	15.0	1.20
12	clutch pedal	24	6.7	3.57
13	master bag	20	6.8	3.00
14	seat	12	4.1	2.90
15	instrument panel	10	6.9	1.50
16	driver seat	15	6.2	2.40
17	front glass	16	12.2	1.31
18	torsion bar	14	7.0	2.00
19	wheel	17	5.6	3.25
20	wheel	11	5.6	2.00
21	wheel	9	5.3	1.78
22	spare tire	20	5.3	3.80



Manual Lifting 작업에서 산출된 LI의 크기가  
크면 클수록 그 작업자에 대한 Lifting 관련 요통

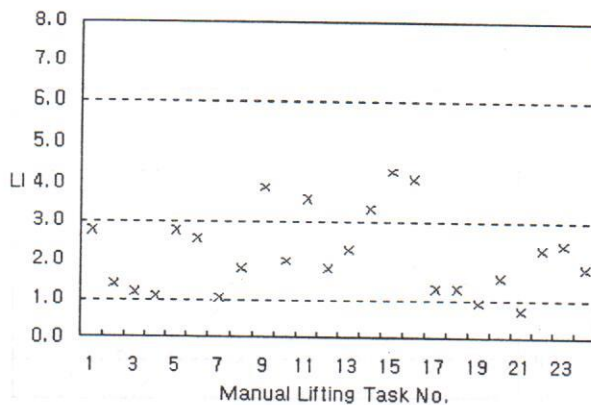


Fig. 9. Results of LI for Manual Lifting Tasks at Truck 3 Department.

의 위험 수준이 증가하게 됨을 볼 때, LI가 가장 높은 Propeller shaft 장착작업 (LI=4.20)은 적재함 →바닥, 바닥→차체로 장착이 되며 바닥에 있는 Propeller shaft를 들 때 수평거리가 상당히 커지게 되므로 수평거리가 LI에 영향을 많이 미친 것으로 보인다.

#### ⑧ 트럭 조립 3과

트럭 조립 3과에서는 소형 트럭의 조립작업이 이뤄지며, 하루 8시간 작업시 생산량은 56대이고, 트럭 1대당 택타임은 8분이다.

트럭 조립 3과의 Manual Lifting 작업은 24개 작업이었으며, 각 작업별 RWL, LI의 결과는 Table 12, Fig. 9와 같다.

24개 Lifting 작업 중 RWL을 초과하는 작업은 22개로 전체 Lifting 작업중 91.7 %가 Lifting 작업조건으로는 부적절한 것으로 나타났다.

LI가 3을 초과하는 작업은 5개로 전체 작업중

Table 12. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Truck 3 Department

Task No.	Task Type	Load Weight(kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	spring	21	7.6	2.80
2	tripedal disc	10	7.4	1.40
3	start motor	8	6.8	1.20
4	a/c compressor	4	3.8	1.10
5	lower arm	21	7.5	2.80
6	upper arm	12	4.7	2.60
7	steering link	8	7.6	1.05
8	propeller shaft	11	6.2	1.80
9	fuel tank	10	2.6	3.90
10	radiator	10	5.0	2.00
11	tire	24	6.7	3.60
12	rear sliding door sub	15	8.5	1.80
13	instrument panel	9	4.0	2.30
14	three-seat (long)	22	6.6	3.35
15	three-seat	22	5.2	4.30
16	driver seat	17	4.1	4.11
17	rear bumper	8	6.1	1.30
18	front bumper	8	6.0	1.30
19	rear glass	8	8.7	0.92
20	front glass	15	9.6	1.56
21	mat	9	12.6	0.72
22	battery	24	10.3	2.30
23	rear upper body	18	7.5	2.41
24	roof	11	6.0	1.80

20.8 %가 다수의 작업자에게 Lifting 관련 요통의 위험이 증가하는 수준인 것으로 나타났다. 이 부서의 평균 LI는 1.94이었다.

Manual Lifting 작업에서 산출된 LI의 크기가 크면 클수록 그 작업자에 대한 Lifting 관련 요통의 위험 수준이 증가하게 됨을 볼 때, LI가 가장 높은 3인용 seat 장착작업(LI=4.30) 역시 seat를 바닥에 놓았다가 차체에 장착하게 되므로 바닥에서 seat를 들 때 수평거리와 비대칭 각도가 커지게 되어 이로 인해 LI가 커진 것으로 보인다.

#### ⑨ 소형 조립과

소형조립과에서는 소형 승용차의 조립작업이 이뤄지며, 주야 8시간씩 2교대로 작업이 진행된다. 8시간 작업시 하루 생산량은 167대 정도이며 소형차 1대당 택타임은 2.8분이다. 소형 조립과의 Manual Lifting 작업은 20개 작업이었으며, 각 작업별 RWL, LI의 결과는 Table 13, Fig. 10과 같다.

1994년 기준을 적용한 결과 20개 Lifting 작업 중 LI 1과 같은 의미를 지니는 RWL의 초과건수는 10건으로서 전체 Lifting 작업중 50.0 %가 부적합

한 것으로 나타났다. LI가 3을 초과하는 작업은 없는 것으로 나타났으며, 이 부서의 평균 LI는 0.94이었다.

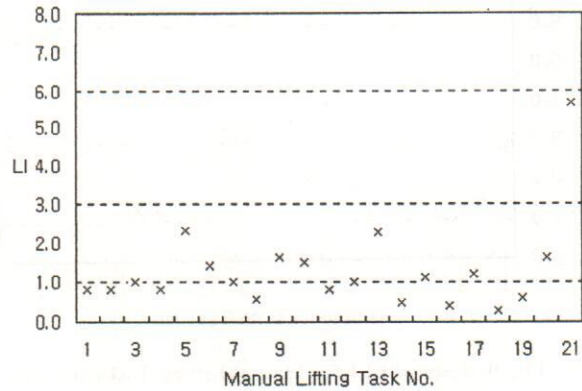


Fig. 10. Results of LI for Manual Lifting Tasks at Motorcar Department  
(21 is a manual lifting task with parts box in Department of Materials).

Table 13. Comparison of Manual Lifting Tasks with Recommended Criteria at Motorcar Department

Task No.	Task Type	Load Weight(kg)	NIOSH, 1994	
			RWL(kg)	LI
1	gear link	5	6.2	0.82
2	pedal support	8	10.4	0.80
3	front damper	5	5.1	1.00
4	front bumper	11	14.6	0.80
5	bracket	13	5.6	2.30
6	spring	11	7.8	1.40
7	compressor	6	5.8	1.03
8	exhaust pipe	6	10.8	0.56
9	fuel tank	12	7.7	1.63
10	wheel	6	5.0	1.48
11	radiator	6	7.8	0.80
12	tire	11	10.8	1.01
13	instrument panel	12	5.4	2.25
14	rear bumper	5	10.4	0.48
15	front glass	11	9.9	1.13
16	rear glass	4	9.4	0.41
17	battery	10	8.3	1.20
18	front bumper	3	9.5	0.30
19	two-seat	5	8.0	0.62
20	battery	13	8.1	1.60



Table 14. Comparison of NIOSH Criteria with Incidence Rate of LBP by Department

Dept.	ILBP <sup>1)</sup>	Load Weight (kg) <sup>2)</sup>	NIOSH 1981			NIOSH 1994(LI)		
			LI <sup>3)</sup>	AL <sup>4)</sup> (%)	LI > 3 <sup>4)</sup> (%)	LI <sup>5)</sup>	RWL > 1 <sup>5)</sup> (%)	LI > 3 <sup>6)</sup> (%)
Bus 1	18.28	19.70	2.23	93.8	37.5	2.76	93.7	43.8
Bus 2	15.45	15.70	1.92	100.0	22.2	1.971	100.0	11.1
Bus 3	8.57	12.80	1.75	87.0	13.0	2.26	91.3	39.1
Bus 4	18.55	16.20	1.78	88.5	15.4	2.18	92.3	26.9
Truck 1	5.23	11.20	1.05	63.6	0	1.32	68.2	0
Truck 2	14.18	12.50	1.45	72.6	9.1	1.86	95.5	18.2
Truck 3	10.05	12.30	1.41	87.5	16.7	1.94	91.7	20.8
Motorcars	8.88	7.40	0.67	30.0	0	0.95	50.0	0

1) : Cumulative Incidence rate of Low Back Pain

3) : Violation Percentage of AL(LI' = 1)

5) : Violation Percentage of RWL(LI = 1)

2) : Geometric Mean

4) : Violation Percentage of MPL(LI' = 3)

6) : Violation Percentage of LI' = 3

LI가 가장 높은 작업은 Bracket 장착작업(LI= 2.30)으로 나타났다.

소형조립과는 전반적으로 LI의 수준이 다소 낮은 것으로 나타났으며 이는 차체가 소형인 관계로 취급 부품의 무게도 다른 부서의 부품무게보다 적은 것이 원인인 것으로 보인다. 그러나 Underbody공정은 Conveyor가 작업자 머리 위에 설치되어 있어서 작업 시엔 항상 손을 머리위로 들고 작업을 해야 하므로 Lifting 이외의 다른 요인들이 요통의 위험을 증가시킬 수도 있을 것으로 여겨진다.

## 2. NIOSH 기준치들과 요통 발생률의 비교

각 부서별 NIOSH 방정식에서 산출된 기준치들과 요통발생률(산재 및 공상자료 이용)은 Table 14에서 제시하고 있다. 163개 Manual Lifting 작업에서 산출된 각 기준치들(AL, LI', RWL, LI)과 부품무게는 기하분포를 보이고 있었으므로 각 부서별 Lifting 작업의 부품무게, LI' 및 LI의 평균값은 기하평균을 이용하였다.

각 부서별 일반특성 비교시 작업자의 신장, 체중, 근무시간은 별 차이를 보이지 않았으나 연령과 근속연수는 다소 차이를 보였다. 따라서 부서별 요통발생률은 연구대상부서를 포함한 전체 부서를 표준인구로 하여 부서별 연령과 근속연수에 따른 차이를 보정해 주었다. 표준인구의 요통발생률은 작업자 1000명당 6.22명이었다. 간접표준화한 결과 큰 차이가 없었으므로 연령과 근속연수는 요통발생률에 영향을

거의 미치지 않는 것으로 보이며 오히려 작업조건, 작업자세, 작업방식, 작업순응정도가 영향을 더 미칠 것으로 보인다.

### 1) 상관분석 및 회귀분석

NIOSH 기준치들과 요통발생률과의 관계를 보기 위해 SPSS 7.0을 이용하여 상관분석을 하였으며 그 결과는 Table 15와 같다.

상관분석 결과 각 부서별 평균 LI'와 요통발생률이 유의한 상관관계를 나타내었으며 상관계수(R)는

Table 15. Correlation between Incidence Rate of LBP and Various Factors

Dependent Variable	Independent Variable	R	P-value
Incidence Rate of LBP	LI <sup>1)</sup>	0.734*	0.038
	AL > 1 <sup>2)</sup>	0.353	0.391
	LI' > 3 <sup>3)</sup>	0.562	0.147
	LI <sup>4)</sup>	0.671**	0.069
	RWL > 1 <sup>4)</sup>	0.589	0.125
	LI > 3	0.519	0.188
	Load Weight	0.796*	0.017

1) : Geometric Mean

2) : Violation Rate of AL

3) : Violation Rate of MPL

4) : Violation Rate of RWL

\* : Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

\*\* : Correlation is significant at the 0.10 level (2-tailed)

0.734이었다( $p<0.05$ ). 또한 각 부서별 평균 LI와 요통발생률간에 유의한 상관관계를 보였으며, 상관 계수(R)는 0.671이었다( $p<0.10$ ). 취급부품무게와 요통발생률간에 상관분석을 한 결과 상관계수(R)는 0.796으로 유의한 상관관계를 나타내었다( $p<0.05$ ).

요통발생률과 유의한 상관관계를 나타낸 각 부서별 평균 LI, 평균 LI, 부품무게를 각각 독립변수로 요통발생률을 종속변수로 두고 SPSS 7.0을 이용하여 선형 회귀분석을 하였으며 그 결과는 Table 16 과 같다.

단순 선형 회귀분석을 실시한 결과 각 부서별 평균 LI와 요통발생률의 선형관계는  $Y = 1.343 + 7.213X$ , LI와 요통발생률과의 관계는  $Y = 1.207 + 5.867X$ 였으며, 부품무게와 요통발생률과의 관계는  $Y = -1.843 + 1.057X$ 였다. 평균 LI, 부품무게와 요통발생률간의 선형관계는 총변동의 53.9%, 63.5%의 설명력을 지니며( $p<0.05$ ), 평균 LI와 요통발생률간의 선형관계는 총변동의 44.9%의 설명력을 지닌다( $p<0.10$ ). 따라서 NIOSH의 1981년과 1994년 기준은 요통발생률에 대해 유의한 설명력을 지니는 것으로 나타났다.

1994년 NIOSH 기준은 1981년 기준에서 사용된 변수 이외에도 비대칭 Lifting 요인과 손잡이 상태 요인 등 작업조건을 더 많이 고려한 기준이므로 요통 발생률과 상관관계가 더 클 것으로 예상되었지만 요통 발생률과의 관계를 비교해볼 때 1981년 기준에 비해 1994년 기준이 설명력이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 근로자들을 보호할 목적으로 Manual Lifting 작업환경을 평가하는데는 작업조건을 더 많이 반영하여 보다 안전하고 엄격한 기준을 제시하는 1994년 기준을 이용하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

### 3. 대책

#### 1) 인간공학적 평가에 따른 대책

##### (1) LI를 이용한 Lifting 작업 구분

LI(NIOSH, 1994)를 이용하여 각 Manual Lifting 작업을 구분하고 적절한 대책을 마련한다.

① 다수에게서 Lifting 관련 요통의 위험이 증가하는 수준인 LI가 3을 초과하는 작업은 반드시 공학적 방법을 적용하여 Lifting 작업환경을 다시 설계하여야 한다. 즉 호이스트(Hoists)나 이동 트랩(Ramps), 인공 보조 팔(Articulated support arms) 등의 보조장치를 이용하거나 수평위치(H), 수직위치(V), 수직 이동거리(D)를 줄이기 위해 작업환경을 다시 배열하거나 다시 설계토록 한다.

② LI가 1 이상이며 3 이하에 해당하는 작업은 그 원인을 분석하고 공학적 방법이나 행정적 개선을 통하여 작업조건을 LI를 1 이하로 내려야 한다.

③ LI가 1 이하의 작업은 대부분의 근로자에게 적절한 것으로 판정한다.

##### (2) LI를 이용한 개선 절차

요통의 위험도를 추정할 수 있는 LI를 이용하여 개선해야 할 작업을 선별한다.

① LI가 높을수록 요통(Low Back Pain, LBP)의 위험이 증가하므로 각 작업중 LI가 가장 높은 것부터 우선적으로 개선해나가도록 한다.

② Manual Lifting되는 물체의 위치 중 물체의 들기 전 위치(Origin)와 물체를 들어서 장착한 위치(Destination)를 비교하여 LI가 높은 곳부터 먼저 개선토록 한다.

③ LI가 높은 작업을 우선 순위로 하되 작업환경 조건이나 기술적, 경제적 여건에 맞추어 개선 가능한 것부터 하도록 한다.

Table 16. Regression Analysis between Incidence Rate of LBP and LI, LI, Load-Weights

Dependent Variable(Y)	Independent Variable(X)	R <sup>2</sup>	R	SE <sup>2)</sup>
Incidence Rate of LBP	LI <sup>1)</sup>	0.539	0.733*	3.6045
"	LI	0.449	0.671**	3.9360
"	Load Weight	0.635	0.797*	3.2050

1) : Load Weight/AL by 1981 NIOSH equation

2) : Standard error

\* : Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

\*\* : Correlation is significant at the 0.10 level (2-tailed)



## 2) 구체적인 개선방법

Manual Lifting 작업은 작업환경 조건에 따라, 취급 부품무게에 따라 작업자에게 미치는 영향이 달라지게 된다. 위험도가 큰 작업의 순위를 정할 때 사용되는 기준은 LI이며, LI는 취급 물체 무게와 RWL의 비이다.

$$LI = \frac{\text{물체 무게 (kg)}}{\text{RWL (kg)}}$$

Manual Lifting 작업환경에서 산출된 권고기준(RWL)보다 더 무거운 부품을 Lifting할 경우(LI>1), 부품무게를 줄이거나 RWL을 높이면 LI는 낮아지게 된다. 그러나 각 취급 부품무게는 생산품 목에 따라 쉽게 변경시키기 어려우므로 Manual Lifting 작업조건을 변경시켜 RWL을 최대한 높일 수 있도록 하여야 한다. RWL은 다음의 방정식에 의해 산출된다.

여기서 RWL에 영향을 미치는 요인으로는 수평위치에 의한 승수(Horizontal Multiplier, HM), 수직위치에 의한 승수(Vertical Multiplier, VM), 물체의 이동거리에 의한 승수(Distance Multiplier, DM), 비대칭 승수(Asymmetric Multiplier, AM), 작업빈도에 따른 승수(Frequency Multiplier, FM), 물체를 잡는 데 따른 승수(Coupling Multiplier, CM)가 있다. 이 승수값들을 높일 수 있다면 RWL은 높아지게 될 것이다. 각 요인별로 승수값들을 높이기 위한 방법들은 다음과 같다.

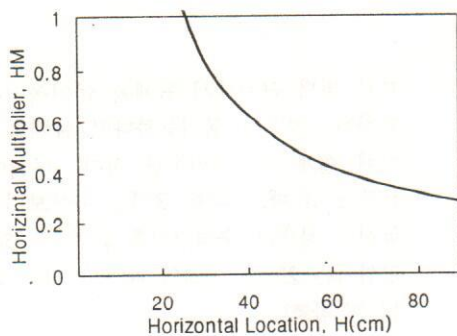
- (1) HM이 1.0 미만일 경우 수평적인 장애물을 없애거나 물건의 크기를 줄여서 물건을 작업자의 몸에 가깝게 함으로써 물체의 수평위치(H)를 최소화한다. 실제 Lifting 작업시 작업자의 몸 중심으로부터 물체가 멀리 있을수록 작업자는 생체 역학적으로 스트레스를 더 많이 받게 되기 때문에 작업자들은 물체의 크기가 클수록 몸가까이로 가져오게 된다. 물체가 바닥 가까이에 있을수록 수평거리는 커지

므로 바닥 근처에서 물체를 들어올리는 것은 피한다. 그것이 불가능하다면 물체를 다리사이에 쉽게 고정시켜야만 한다. 바닥에 있는 물체를 들 때 다리를 굽히는 자세보다 허리를 굽히는 자세가 수평위치를 줄일 수 있다. 수평위치는 25 cm 이하일 때가 가장 좋다(Fig. 11 (a) 참조).

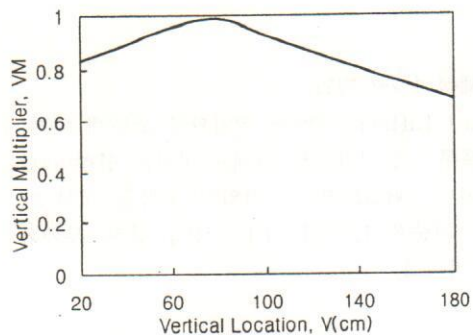
- (2) VM이 1.0 미만일 경우 lifting 작업의 처음(Origin) 높이를 올리거나 나중(Destination) 높이를 내리므로 물체의 수직위치(V)를 줄인다. 바닥 근처에서 물건을 들어올리거나 어깨 높이 이상으로 물건을 드는 것을 피한다. 수직위치는 75 cm 정도일 때 가장 적절하다(Fig. 11 (b) 참조).
- (3) DM이 1.0 미만일 경우 lifting 작업의 처음 위치와 나중 위치 사이의 수직이동거리(D)를 감소시킨다. Scissor lift(Buttle, 1995)를 이용하여 수직이동거리를 줄이는 것도 좋은 방법이다(Fig. 11 (c) 참조).
- (4) AM이 1.0 미만일 경우 lifting 작업의 처음 위치와 나중 위치를 서로 가깝게 해서 twist의 각(A)을 줄이는 방법을 쓰거나 처음 위치와 나중 위치를 서로 멀리 떨어뜨려서 작업자가 몸을 비틀기보다는 발을 돌려서 걸어가도록 하는 방법을 쓴다(Fig. 11 (d) 참조). 실제 비대칭 Lifting 작업이 대칭 Lifting 작업보다 육체적으로 더 스트레스를 받게 된다(Mital, 1987)
- (5) FM이 1.0 미만일 경우 Lifting의 빈도율을 감소시키거나, Lifting 시간을 감소시키거나, 회복기간을 길게 하는 방법을 쓴다(Fig. 11 (e) 참조).
- (6) CM이 1.0 미만일 경우 손잡이가 있거나 손에 쥘 수 있는 적절한 용기를 제공함으로써 손과 물건의 손잡이 상태를 개선하는 방법을 쓰거나, 불규칙한 모양의 물건은 손잡이 부분을 개선하는 방법을 쓴다.

$$RWL (kg) = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

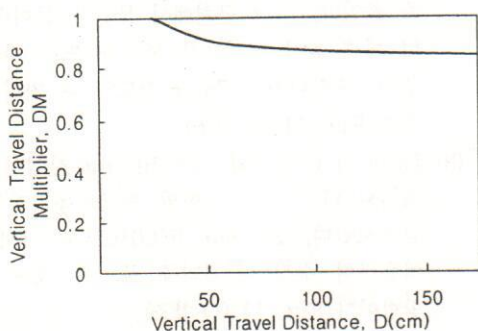
$$RWL = 23(25/H) \{1 - (0.003|V-75|)\} \{0.82 + (4.5/D)\} \{1 - (0.0032A)\} (FM) (CM)$$



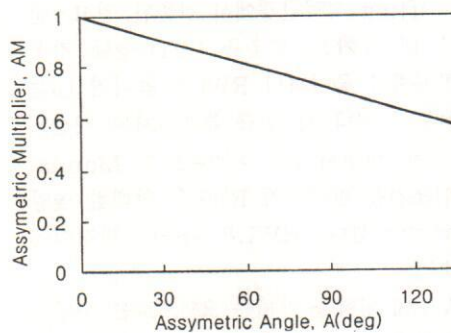
(a) Horizontal factor monogram



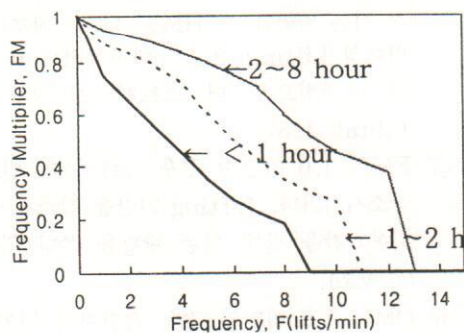
(b) Vertical factor monogram



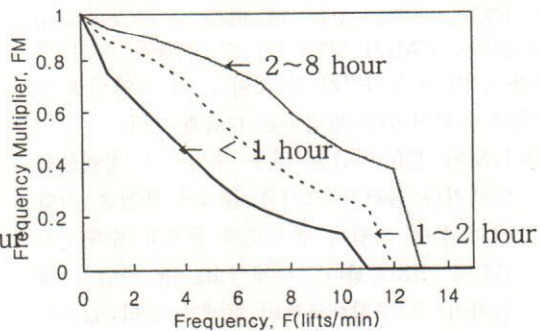
(c) Vertical travel distance factor monogram



(d) Asymmetric factor monogram



i. Vertical location is below 75cm.



ii. Vertical location is 75cm above.

(e) Frequency of lift factor monogram

Fig. 11. Multipliers of Factors for RWL(NIOSH, 1994).



- (7) RWL(Destination) < RWL(Origin) : 작업 조건을 다시 설계하거나 용기나 물건의 특성(예, 크기)을 조절하여 Destination에서 물건을 다시 손으로 잡지 않아도 되도록 한다.

### 3) 기타 개선 대책

관리적·행정적 측면에서의 일반적인 대책을 제시하고자 한다.

- (1) Manual Lifting 작업자에게 Lifting 작업에 대한 작업자세, 작업규칙, 안전수칙과 같은 적절한 교육을 실시토록 한다.

① Lifting 작업을 2인이 하도록 규정되어 있는 경우엔 반드시 2인이 하도록 한다.

② 부품을 한꺼번에 2개씩 드는 경우가 없도록 한다.

③ 운반기구로 리프트, 호이스트, Air valance 등이 설치되어 있거나 이동 배차 등이 비치되어 있는 경우엔 다소 번거롭더라도 반드시 운반기구를 사용하도록 한다.

④ Lifting할 때 주의하지 않거나 숙련된 형태로 하지 않을 경우 신체 손상의 위험도가 증가한다는 것을 숙지하도록 한다. Lifting 작업중 기대치 못한 상황, 즉 갑자기 물체의 손잡이가 없어지거나 작업 복이 못 같은데 걸려서 찢어짐, 미끄러짐, 발이 걸려 넘어짐 등을 피하도록 하며 이러한 경우에 대처할 수 있도록 한다.

⑤ 불필요한 스트레스를 줄일 수 있는 Lifting 방법을 제시한다.

(2) 허리에 하중이 많이 가는 Lifting 작업을 하는 작업자는 주기적으로 작업순환이 이루어지도록 한다(Katharyn, 1997). 현재 부서별로 작업순환을 실시하는 경우도 있고 하지 않는 경우도 있으므로 이를 회사차원에서 관리하도록 하며 작업순환계획(Job Rotation Schedule)을 이용하여 Lifting 작업자를 육체적으로 덜 힘든 작업으로 순환시켜 Lifting 작업기간을 줄일 수 있도록 한다. 또한 Lifting 빈도에 영향을 많이 받는 작업은 Lifting 빈도를 줄이기 위해 작업자를 늘인다.

(3) 중량물 취급작업을 하기에 적절한 근로자를 선별할 수 있는 프로그램(예, 요추부 X-ray)이 마련되어야 한다. 이를 통해 개인의 육체

적 능력을 객관적으로 평가하여 선별된 근로자를 Lifting 작업에 배치할 수 있도록 한다. 또한 작업자의 신장 및 연령에 따라 작업 가능한 공정에 작업자를 배치하도록 한다(예를 들면 작업위치가 높은 작업에는 키가 큰 작업자를, 육체적으로 스트레스를 많이 받는 작업에는 나이가 젊은 작업자를 배치). 그리고 작업 전에 Lifting 작업에 관한 교육 및 철저한 훈련을 통해 작업에 임할 수 있도록 한다. Lifting 작업자는 채용시 신체검사, 부서 이동시, 정기 신체검사(일반검진과 특수검진)시에 디스크 환자나 기타 Lifting 작업으로 인해 악화될 수 있는 질환을 지닌 자를 선별할 수 있도록 하여야 한다.

(4) 정기적인 작업환경측정시 인간공학적인 유해인자도 평가할 수 있도록 한다.

(5) Lifting 작업자에게 하루동안 Lifting 할 수 있는 총 무게를 규제하도록 한다(일본과 호주에서는 현재 총량 규제를 실시하고 있음). 또한 1회 Lifting시 무게도 규정되어야 한다. 참고로 NIOSH 1994년 Manual Lifting 방정식에서 가장 적절한 작업조건의 경우 23 kg의 권고 무게(RWL)를 제시하고 있다. 또한 우리나라 농수산물 시장에서도 박스의 무게가 20 kg 이내가 되도록 규제하고 있다.

(6) Lifting 작업자를 대상으로 하는 요통을 예방하기 위한 프로그램과 재활 프로그램을 개발하여 실시하도록 한다.

(7) Manual Lifting 작업시 수평위치(H), 수직위치(V), 수직이동거리(D), 작업빈도(F), 비대칭각도(A) 및 손잡이 상태(C)의 영향을 최소화하는 작업조건개선을 위한 관리감독자 훈련 프로그램(Supervisor Training Program)을 개발한다.

### 4. 연구의 제한점

Manual Lifting 작업에 대한 NIOSH 평가방법은 앞에서 제시한 것처럼 제한된 Lifting 작업에만 적용하도록 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 수평위치, 수직 위치, 수직 이동거리, 빈도, 비대칭 각도, 손잡이 상태 요인만으로 Lifting 작업을 평가하였으며, 다른 작업조건들은 NIOSH 평가방법을 적



용하는데 적합한 조건인 것으로 가정하였다. 그러나 실제 작업현장에서의 Lifting 작업은 여러 가지 다른 작업조건들이 복합되어 있다. 예를 들면 작업환경 조건상 Lifting 작업을 앉아서 하거나 무릎을 꿇고 한다든지 작업공간이 협소해서 작업자가 부적절한 자세로 작업을 하는 경우에는 작업자에게 미치는 영향이 가중될 것으로 보인다. 따라서 이러한 작업조건하의 Lifting 작업에 NIOSH 평가방법을 적용할 경우 이 평가방법으로 얻어진 기준보다 더 낮은 기준이 적용되어야 할 것이다. 본 연구에서는 NIOSH 평가방법을 적용하여 163개 Lifting 작업의 위험도를 산출하였으나 여러 가지 다른 작업조건들을 고려한다면 본 연구에서 산출된 Lifting 작업의 위험도가 보다 더 높아질 것이다. 그리고 Lifting 작업 평가시 NIOSH 평가방법이외에 추가로 작업자세 등의 다른 요인들을 평가할 수 있는 방법들이 보완되어진다면 Lifting 작업의 위험도를 보다 정확히 평가할 수 있을 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 Manual Lifting 작업에 대한 NIOSH 기준과 요통발생률과의 상관관계를 살펴보았다. Lifting 작업조건의 평가는 1996년에 이루어졌지만 요통자료는 1994년부터 1996년까지의 자료를 이용하였다. 그러나 연구 수행시 Lifting 작업조건들은 계속 개선이 진행되고 있었으므로, 개선되어 호이스트나 다른 기구를 이용하여 Lifting 작업을 하는 경우는 조사대상에서 제외하였다. 요통자료는 개선전의 작업조건에서 발생한 요통도 포함되었으므로 이러한 요인이 NIOSH 기준과 요통발생률의 상관관계를 다소 떨어뜨린 것으로 보인다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 1996년 8월 19일부터 8월 30일까지 모 자동차 제조 부서 중 버스제조부 생산과와 자재과, 트럭제조부 조립과, 소형제조부 조립과의 모든 작업공정을 대상으로 공정 순서에 따라 작업방법 및 근로자의 작업자세를 조사하였다.

위의 전체 공정 조사를 토대로 하여 주로 5 kg 이상의 부품을 손으로 들어서 장착하는 모든 작업을 대상으로 동년 11월 18일부터 21일까지 NIOSH 평가방법을 이용하여 인간공학적 평가를 실시하였다.

이때 한 작업자가 여러 부품을 장착하는 경우에는 취급 부품 무게가 5 kg 이하인 작업도 포함시켰으며, 대상 Manual Lifting 작업은 총 163개 작업이었다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전체 163개 Manual Lifting 작업에 NIOSH 1981년 기준과 1994년 기준을 적용한 바 각 작업에 대한 Action Limit, Lifting Index', Recommended Weight Limit, Lifting Index는 모두 대수정규분포를 이루고 있었다. 또한 취급하는 부품무게도 대수정규분포를 이루고 있었다.
2. 각 Manual Lifting 작업에서 취급부품무게와 NIOSH 기준치를 비교해 보았을 때 163개의 작업 중 125개 작업(76.7 %)이 감시기준인 AL을 초과하였으며, 138개 작업(84.7 %)이 권고기준인 RWL을 초과하였다. 또한 LI'이 3을 초과하는 작업은 21개(12.9 %)였으며, Manual Lifting 작업자 다수에게서 Lifting 관련 요통의 위험이 증가하는 수준인 LI 3을 초과하는 작업은 34개 작업 (20.9 %)이었다.
3. 전체 163개 Manual Lifting 작업에 대해 NIOSH 1981년 기준과 1994년 기준을 적용하였을 때 1994년 기준에 의한 권장 무게가 1981년 기준에 의한 권장 무게보다 더 낮은 것으로 나타나 기준치의 초과율이 더 높았다. 이는 1994년 기준이 비대칭 각도와 손잡이 상태 등의 작업조건을 더 많이 반영함에 따라 보다 안전하고 엄격한 기준을 제시하고 있음을 보여준다.
4. AL과 RWL의 초과율이 가장 높은 부서는 버스 생산 2과로서 초과율이 각각 100 %였으며, LI'의 3 초과율과 LI의 3 초과율이 가장 높은 부서는 버스 생산 1과로서 초과율이 각각 37.5 %, 43.8 %였다. 버스 생산 1과는 조사 대상 부서 중 가장 무거운 부품을 취급하고 있었다.



5. NIOSH 기준들과 요통발생률과의 관계를 알아 보기 위하여 상관분석을 하였다. 그 결과 각 부서별 요통발생률과 평균 LI간의 상관계수(R)는 0.734( $p<0.05$ )이었으며, 각 부서별 요통발생률과 평균 LI간의 상관계수(R)는 0.671( $p<0.10$ )이었다. 따라서 1981년과 1994년 기준은 요통발생률에 대해 유의한 상관관계를 지니는 것으로 나타났다. 또한 취급 부품 무게와 요통발생률도 유의한 상관관계를 나타내었다( $R=0.797$ ,  $p<0.05$ ).
6. 전체 163개 Manual Lifting 작업중 우선적으로 LI가 높은 작업부터 LI를 낮추기 위한 작업환경의 개선이 필요하며, LI가 3을 초과하는 작업에 대해서는 반드시 공학적인 대책이 수립되어야 할 것이다.

## REFERENCES

- Ramazzini B: De Morbis Artificum(Diseases of Workers) of 1713. History of Medicine, No. 7. Hafner Publishing Company, 1964
- White LA: Occupational Medicine: State of the Art Reviews, Back School Programs. Volume 7/Number 1, January-March, 1992
- 백남원 : 산업위생학개론. 신광출판사, pp. 199-226, 1995
- NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) : Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. DHHS(NIOSH) Publication No. 1-52. NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1994
- 이관형, 박정선, 이경용, 김성진, 박종수 : 작업관련성 요통발생 실태에 관한 조사 연구 - 작업관련성 요통을 중심으로. 한국산업안전공단 산업보건연구원, 1996
- NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) : A Work Practice Guide for Manual Lifting, DHHS(NIOSH) Publication No. 81-122, NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1981
- Garg A: An Evaluation of the NIOSH Guidelines for Manual Lifting, with Special Reference to Horizontal Distance. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 50(3) :157-164, 1989
- Rodgers SH: Ergonomic Design for People at Work. Van Nostrand Reinhold Company, Volume 2 :394-417. 1986
- Keysering WM: Analysis of Manual Lifting Tasks - A Qualitative Alternative to the NIOSH Work Practices Guide. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 50(3): 165-173, 1989
- Freivalds A: Comparison of United States(NIOSH Lifting Guidelines) and European(ECSC Force Limits) Recommendations for Manual Work Limits. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 48(8):698-702, 1987
- Khalil TM, Genaldy AM, Asfour SS, Vinciguerra T: Physiological Limits in Lifting. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 46(4):220-224, 1985
- Liles DH, Mahajan P: Using NIOSH Lifting Guide Decreases Risks of Back Injuries. Occupational Health & Safety, pp.57-60, 1985
- Chaffin DB, Andersson GBJ: Occupational Biomechanics. John Wiley & Sons, New York, pp. 264-334, 1994
- Putz-Anderson V, Waters TR: Revisions in NIOSH Guide to Manual Lifting. Paper presented at national conference entitled 'A National Strategy for Occupational Musculoskeletal Injury Prevention - Implementation Issues and Research Needs'. University of Michigan, 1991
- Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A, Lawrence JF: Revised NIOSH Equation for the Design and Evaluation of Manual Lifting Tasks. Ergonomics. Vol. 36, No. 7, pp. 749-776, 1993
- Chaffin DB: Manual Material Handling and the Biomechanical Basis for Prevention of Low-Back Pain in Industry - An Overview. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 48(12):989-996, 1987
- Khalil TM, Waly SM, Genaldy AM, Asfour SS: Determination of Lifting Abilities: A Comparative Study of Four Techniques. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 48(12):951-956, 1987
- Buttle S: A Case Study of Factors Influencing the Effectiveness of Scissor Lifts for Box Palletizing. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 56(11) : 1127-1132, 1995
- Mital A: Maximum Weight of Asymmetrical Loads Acceptable to Industrial Workers for Symmetrical Manual Lifting. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 48(6): 539-544, 1987
- Katharyn A, Grant JD, and Bertsche PK: Lifting Hazards at a Cabinet Manufacturing Company - Evaluation and Recommended Controls. Appl. Occup. Environ. Hyg. J., 12(4):253-258, 1997