

## 자동차 조립 작업에서의 직업성 요추부염좌의 위험도에 대한 평가

인하대학교 산업공학과<sup>1)</sup>

박 동 현<sup>1)\*</sup> · 허 국 강<sup>1)</sup>

### -Abstract-

### An Evaluation of Automobile Assembly Jobs for Low Back Injury

Dong-Hyun Park<sup>1)\*</sup> · Kuk-Kang Hur<sup>1)</sup>

Dept. of Industrial Engineering, Inha University<sup>1)</sup>

The aim of this study was to evaluate the prevailing ergonomic conditions regarding low back injury in an assembly factory. In this study, analytic biomechanical model and NIOSH guidelines were applied to evaluate risk levels of low back injury for automobile assembly jobs. Total of 246 workers were analysed. There were 10 jobs with greater back compressive forces than 350kg at L5/S1. Also there were 44 jobs over Action Limit in terms of 1981 NIOSH guidelines. This could in part be explained by the ergonomic conditions of the companys analysed as not hazardous, with a relatively low duration of 'combined' extreme work

posture. However, more ergonomic intervention could be done based on those results.

**Key Words :** Low back injury, Automobile assembly job, Biomechanical model, NIOSH guidelines

접수일 : 2000년 3월 24일, 채택일 : 2000년 10월 16일

\* 교신저자 : 인천시 남구 용현동 253 인하대학교 산업공학과

Tel) 032-860-7370, E-mail) dhpark@dragon.inha.ac.kr

## I. 서론

Manual Material Handling(MMH)에 기인하는 직업성 요통(Low Back Injury)문제는 오래 전부터 구미 선진국에서 주요 산업재해의 하나로 인식되어져 왔고, 그 동안 발생원인과 발생에 따르는 경제적 손실에 관한 많은 연구가 행하여졌다. 미국 국립안전협의회(US National Safety Council)에 따르면 미국의 경우 직업성 요통은 모든 직업 관련 부상의 31%를 차지하며 건당 의료 보상비는 60,000달러에 달한다(NSC, 1993). 또한 직업성 요통으로 인하여 약 1억 일의 작업시간이 손실되고, 약 400억불의 정도의 직접, 간접비용이 발생되며, 특히 제조업에서의 발생빈도가 높은 것으로 알려져있다(Mital 등, 1997). 우리나라의 경우, 직업성 요통의 산업재해 여부에 대해서 많은 논쟁이 있어 왔으나 최근에 와서 산업 재해로 인정되고 있다.

직업성 요통과 여러 가지 위험요인과의 관계는 앞서 언급한 바와 같이 많은 연구가 있어왔으나 아직 정확한 관계 규명은 안 되어있는 상태이다. 한가지 확실한 사실은 직업성 요통의 발생은 작업 부하와 매우 관련이 깊다는 것이다. MMH환경(무거운 물건을 들어올리고, 밀고, 당기고, 옮기는 일을 일상적으로 하는 작업환경)에 노출된 작업자들은 앉아서 일하는(sedentary work)작업자들에 비해서 발병 확률이 높다고 알려져 있다(Engstrom 등, 1999). Ingelgard (1996)의 경우, CTDs와 같은 다른 근골격계질환에서 많은 영향을 미친다고 알려진 사회심리학적요인과 MMH작업과의 관계를 살펴보았는데 직업성요통은 사회심리학적요인과 밀접한 관계가 없는 것으로 나타났다. 이제까지 MMH작업에 있어서 요추부염좌에 일반적으로 위험한 영향을 미친다고 알려진 요인들은 체격 및 신체치수, 비만도, 나이, 성별, 심물리학적 요인, 훈련, 정적인 자세, 작업빈도, 공간제약, 열적환경 등이 있으며, 이런 모든 요인들을 고려하여 MMH 문제를 해결하기 위한 접근방법은 첫째, 역학

적(Epidemiological)방법, 둘째, 신체 역학적(Biomechanical)방법, 셋째, 생리학적(Physiological)방법, 넷째, 심물리학적(Psychophysical)방법이다(Chaffin, 1984).

본 연구에서는 근골격계질환의 호소율이 높다고 알려진 자동차 조립작업에 대한 인간공학적 연구 결과(Engstrom 등, 1999; Kudefors 등, 1996)들을 토대로하여 자동차조립의 작업 현장에서 직업성 요통 관련 실제 작업부하를 평가하기 위하여, 신체역학적 방법이라고 할 수 있는 미국 미시간 대학에서 나온 3차원 해석적 신체 역학 모델(University of Michigan Center for Ergonomic, 1993)과 위의 네 가지 방법을 모두 고려하여 개발된 NIOSH Guidelines(NIOSH, 1981)를 이용하였다. 이 두가지 기법을 이용하여 전형적인 자동차조립작업에서의 물리적인 위험요인에 대한 실태조사를 실시하여, 현재상태에서의 핵심위험요인을 도출하고 그에 대한 개선대책을 제시하고자한다.

## II. 연구 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 A 자동차의 작업현장에서의 생산을 직접 담당하고있는 4개 부서(부서1, 부서2, 부서3, 부서4)의 작업자 총 252명중 조사가 가능하였던 총 246명의 작업자들의 작업을 분석하였다. 이 부서들은 소형자동차담당(부서1, 부서2)과 중형자동차담당(부서3, 부서4)로 나눌 수 있는데, 특히 부서1 과 부서3은 직접 생산현장에서 조립을 담당하고있는 부서들이고, 부서2와 부서4는 각각 소형(부서1)과 중형(부서2)의 조립공정을 지원하는 작업들로 이루어졌다. 대상 작업자들의 평균 나이는 32.8세였으며, 평균 신장 및 체중은 각각 170.38cm와 65.27kg 이었다. 4개 부서를 통틀어서 분석된 총 작업의 수는 163개 였으며, 모든

작업과 작업자들에 대하여 L5/S1에서 압축력 등을 계산하는 신체역학적(biomechanical) 분석과 NIOSH guidelines를 적용하였다.

## 2. 연구 방법

연구에서는 신체역학적 분석과 NIOSH guidelines를 적용하기 위하여 작업에 드는 힘, 하중물의 무게, 그밖에 NIOSH Guideline의 적용에 필요한 자료들은 현장에서 실측하여 취하였고 실제 작업 수행시의 자세는 디지털 카메라로 각 작업당 2~3장씩을 촬영하여 동작분석을 수행하였다. 특히 작업당 2~3개의 자세중 제일 열악한 자세를 본 분석에 이용하였다.

### 1) 신체역학적 분석

먼저 신체역학적 분석에 대한 이론적 배경을 살펴보면 다음과 같다. 인간공학 측면에서 요통의 주요인은 무거운 물건을 많이 들어올릴 때 요추부에 대해서 발생하는, 매우 큰 외부 모멘트를 대항하기 위한 내력(internal force)이다. 일반적으로 인간공학이나 신체역학분야에서는 이 내력으로 작용하는 것이 두 가지가 있다고 보는데, 하나는 척추에서 평균 5cm

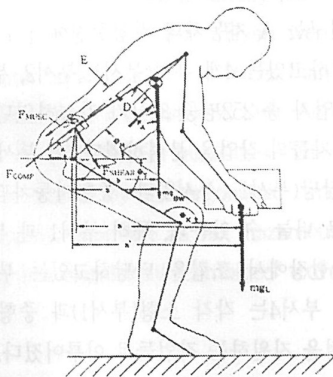


Figure 1. Low Back Model

뒤에 위치한 등근육(extensor erecto spinae muscle)이고, 또 하나는 척추 앞부분에서 발생하여 허리를 바로 세우게 하는 배압력(abdominal pressure)이다. 이러한 내력들의 작용은 Figure 1에서와 같이 요추부에서 또 다른 반력(압축력-Fcomp)을 발생시키며, 이 압축력(Fcomp)이 디스크 파손에 결정적인 역할을 한다고 알려져있다(Chaffin, 1984).

또한 신체역학적 분석을 하기위해서는 역학적인 개념이외에 신체역학의 특성상 여러 가지 인체계측학적(anthropometry), 운동학적(kinematics)개념들이 필수적이다. 먼저 척추와 골반과의 기하학적 관계를 적용해야 한다(Figure 2). 이러한 Data들로부터 Segment(pelvic-sacral and lumbar-thoracic segments)로 이루어진 허리부위의 운동모델(kinematic torso model)의 운동은 Dempster의 경험적 Data로부터 결정할 수 있다(Chaffin 등, 1972). Figure 3은 Dempster의 경험적 Data를 바탕으로 골반각도(pelvic angle)와 둔부각도(hip angle;  $\theta'_H$  &  $\theta'_T$ )의 관계를 표시하고 있다(Dempster, 1955).

다음 단계는 two-segment모델 상에서의 L5/S1에 걸리는 힘, 모멘트 등을 표현하는 역학모델의 구성인데 그 첫 단계로 hip에 걸리는 모멘트  $M_H$ 를 생각할 수 있고, 이 모멘트는 물건을 들어올릴 때 손에 걸리는 하중을 segmental approach (손→손목→팔꿈치...)를 적용하여 각 관절에서 발생하는 모멘트를 다음 관절로 전달하여 결국에는 hip에 걸리는 모멘트를 구할 수 있게 하는데, 구체적으로 모멘트는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} M_H &= M_{bodyweight} + M_{load} \\ &= b \, mg_{bodyweight} + h \, mg_{load} \end{aligned}$$

여기서 나온 hip관절에서의 모멘트는 횡경막과 배근육의 수축, 확장으로 인하여 발생하는 배압력( $P_A$ : Abdominal Pressure)을 계산하는데 사용된다.  $M_H$ 와  $P_A$ 와의 관계는 다음과 같이 표시된다.

$$P_A = 10^{-4} [43 - 0.36(\theta_H + \theta_T)] [M_H^{1.8}]$$

when  $P_A$  : Abdominal Pressure(mm of Hg)  
 $\theta_H, \theta_T$  : Hip & Thigh angles measured  
 from the vertical axis(degrees)  
 $M_H$  : Load moment at the hip(Nm)

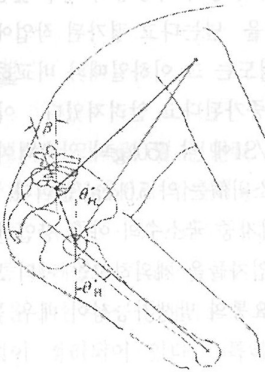


Figure 2. Torso Linkage System

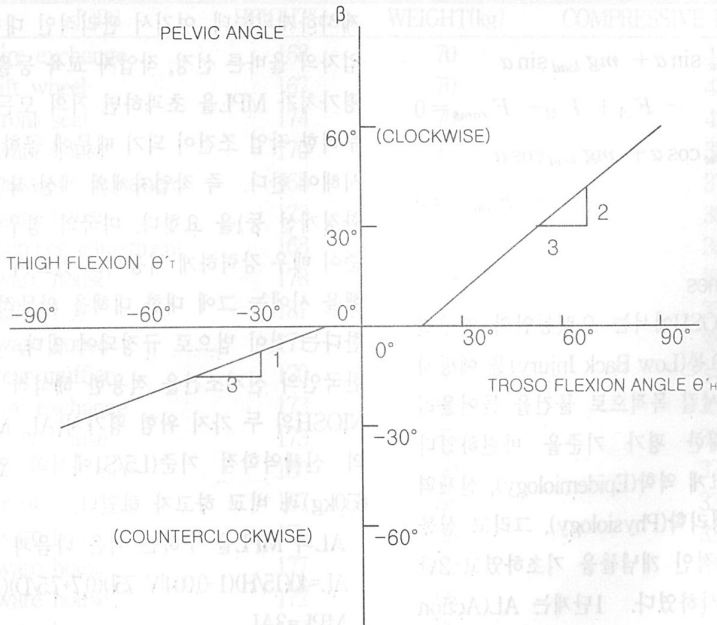


Figure 3. Pelvic Angle vs Torso Flexion & Thigh Flexion Angles

또한 배압력 ( $P_A$ )에 의해서 발생하는 힘

( $F_A$ )에 대한 moment arm(D)은 다음과 같은 경

험식으로 표현 될 수 있다(Fisher, 1967).

$$D(cm) = 6.7 + 8.2 \sin(\theta_T - \theta_H)$$

$F_A$  와 더불어 L5/S1 에 걸리는  $F_{comp}$ 를 대항하  
 는 또 다른 힘 성분 ( $F_M$ ) 은 척추 뒤에 있는 등근육  
 (erector spinae muscle)에서 발생한다고 보는 견해  
 가 지배적인데 L5/S1부터 근육 중심까지의 moment  
 arm(D)은 평균적으로 5cm내외라고 알려져 있다  
 (Chaffin, 1984).

이제까지 축적된 정보와 인체 계측학적 정보를 바  
 탕으로 세 가지 미지수와 세 가지 평형식으로 이루어  
 진 역학 모델을 구축할 수 있다. 여기서 미지수는 등  
 근육에서 발생하는 힘( $F_M$ ), L5/S1에서 발생하는 압축



력( $F_C$ ) 그리고 L5/S1에서 발생하는 전단력( $F_S$ )이다.

이 모델의 모멘트 평형식 으로부터  $F_M$ 을 구하면 다음과 같다.

$$\sum M_{L5/S1} = b(mg_{bw}) + h(mg_{load}) - D(F_A) - E(F_M) = 0$$

$$F_M = \frac{b(mg_{bw}) + h(mg_{load}) - D(F_A)}{E}$$

$F_M$  : Force generated by erector spinae muscle

b, h, D, E : Moment arms

$mg_{bw}$  : Body segment weight above L5/S1 level

$F_A$  : Force generated at the center of diaphragm by  $P_A$

$mg_{load}$  : Weight of load in the hands.

$F_{comp}$  와  $F_{shear}$  는 다음과 같은 각 방향의 힘 평형식으로 부터 구할 수 있다.

$$\sum F_{comp} = mg_{bw} \sin \alpha + mg_{load} \sin \alpha - F_A + F_M - F_{comp} = 0$$

$$\sum F_{shear} = mg_{bw} \cos \alpha + mg_{load} \cos \alpha - F_{shear} = 0$$

## 2) NIOSH Guidelines

1981년에 미국 NIOSH에서는 오랫동안의 연구결과를 토대로 직업성요통(Low Back Injury)을 예방하고 작업환경을 개선시킬 목적으로 물건을 들어올리는(Lifting)작업에 대한 평가 기준을 마련하였다(1981). 이 기준은 크게 역학(Epidemiology), 신체역학(Biomechanics), 생리학(Physiology), 그리고 심물리학(Psychophysics)적인 개념들을 기초하였고 2단계의 위험수준을 제시하였다. 1단계는 AL(Action Limit)인데, 작업평가결과가 이 수준을 넘어가면 부

상율과 부상의 정도가 AL수준 이하일 때보다 증가한다. 신체역학적으로 AL은 L5/S1에 걸리는 압축력이 350kg정도이고, 생리학적으로 고찰하였을 때 분당 에너지 소비 價는 약 3.5kcal/분이다. 따라서 이 수준은 젊고 건강한 작업자(남자작업자 중 99%, 여자작업자 중 75%)에게는 일반적으로 별 무리 없이 허용될 수 있는 수준이다. 두 번째 위험수준(MPL: Maximum Permissible Limit)은 거의 모든 작업자들에게 있어서 부상의 가능성이 매우 높은 위험 수준이다. 이 수준을 넘는다고 평가된 작업에 있어서 부상율과 부상정도는 그 이하일때와 비교하여 매우 심각할 정도로 증가된다고 알려져있다. 이 수준에 이르게 되면 L5/S1에 약 650kg의 압축력이 발생하며 평균 에너지 소비價는 약 5.0kcal/분이다. 따라서 이 경우에는 작업자중 극소수의 아주 강인한 체격과 체력을 지닌 작업자들을 제외하고는 거의 모든 작업자에게 직업성 요통의 발생가능성이 매우 높아진다고 할 수 있다.

일반적으로 이에 대한 대책으로는 위험 평가치가 AL을 초과하고 MPL에는 미달하면 관리적인 대책을 제시하게되는데, 여기서 관리적인 대책이라 함은 작업자의 올바른 선정, 작업자 교육 등을 말한다. 만약 평가치가 MPL을 초과하면 거의 모든 작업자들에게 무리한 작업 조건이 되기 때문에 공학적인 대책을 제시해야 한다. 즉 작업자체의 개선(작업 재설계, 작업환경개선 등)을 요한다. 미국의 경우에는 NIOSH기준이 매우 강력하게 적용되고 있으며 각 기준을 초과했을 시에는 그에 대한 대책을 의무적으로 강구해야 한다는 것이 법으로 규정되어 있다. 본 연구에서는 한국인의 신체조건을 적용한 해석적 모델의 결과와 NIOSH의 두 가지 위험 평가치(AL, MPL)에 있어서의 신체역학적 기준(L5/S1에서의 압축력; 350kg, 650kg)과 비교 하고자 하였다.

AL과 MPL을 구하는 식은 다음과 같다.

$$AL = 40(15/H)(1 - 0.004|V - 75|)(0.7 + 7.5/D)(1 - F/F_{max})$$

$$MPL = 3AL$$

여기서,

H : 발목 중간 지점에서부터 물체 질량중심까지의 수평거리

V : 바닥에서부터 물체 질량중심까지의 수직거리

D : 수직이동거리

F : 분당 작업빈도(Fmax: 분당 최대작업빈도)

### III. 결 과

#### 1. 해석모델

##### 1) L5/S1에서의 압축력 및 전단력

앞서 언급한 L5/S1에서의 압축력을 계산해 본 결과, 잠재적으로 위험한 수준이라고 하는 350kg을 넘는 작업은 총 10개였다. Table 1에는 350kg이 넘는 10개의 작업을 포함하여, 상대적으로 위험도가 높은 20개의 작업이 정리되어 있다. 특히 Figure 4와

Figure 5에서 볼 수 있듯이 타이어교환 작업은 (Figure 4) 모든 관절이 과도하게 변위가 된 상태에서 바닥에 있는 무거운 하중물을 들어올리고, 프론트 시트 취부 작업(Figure 5)의 경우, 작업하는 손의 위치가 지지하고 있는 발과의 거리가 너무 멀어서 전반적으로 작업자세가 불안정하다고 볼 수 있다. 그 밖에도 Table 1에 있는 작업들은 들어올리는 물건의 폭이 넓거나, 비대칭적 lifting을 하거나, 발(지지점)에서부터 손(작업점)까지의 수평거리가 너무 크거나, 허리굴절각도가 크거나 하는 등의 직업성요통의 위험요인들의 대부분을 가지고 있는 것으로 나타났다.

##### 2) 몸통 및 둔부 Strength

해당 작업중에 요추부에 연결되어 있는 두 부위에 요구되는 강도를 계산하였다. 특히 부서 2의 빔 플레이트 작업(Figure 6)의 경우, 매우 높은 몸통강도 (torso strength)를 요구하는 것으로 나타났다. 여기서 35라는 숫자는 남자작업자들의 경우 약 35%만이

Table 1. Jobs with compressive force at L5/S1 over 300kg.

| GROUPS | JOB               | HEIGHT(cm) | WEIGHT(kg) | COMPRESSIVE FORCES(L5/S1)(kg) |
|--------|-------------------|------------|------------|-------------------------------|
| 1      | tire exchange     | 168        | 70         | 448.2                         |
| 2      | lift wheel        | 167        | 70         | 437.7                         |
| 2      | front seat        | 174        | 70         | 424.6                         |
| 2      | ware house        | 170        | 73         | 383.1                         |
| 1      | bumper adjustment | 168        | 67         | 372.3                         |
| 2      | ware house        | 173        | 72         | 368.0                         |
| 1      | bumper adjustment | 168        | 67         | 363.3                         |
| 3      | ware house        | 178        | 65         | 359.4                         |
| 1      | EBCM              | 181        | 90         | 356.5                         |
| 3      | ware house        | 171        | 72         | 354.6                         |
| 1      | rear muffler      | 170        | 63         | 345.6                         |
| 1      | tire exchange     | 173        | 66         | 334.5                         |
| 2      | ware house        | 173        | 67         | 325.6                         |
| 1      | wheel balance     | 160        | 60         | 324.4                         |
| 2      | front rear seat   | 167        | 58         | 323.8                         |
| 3      | ware house        | 178        | 65         | 321.8                         |
| 1      | ware house        | 177        | 70         | 314.2                         |
| 1      | ware house        | 172        | 66         | 313.2                         |
| 4      | ware house        | 175        | 66         | 309.0                         |
| 2      | ware house        | 171        | 58         | 303.3                         |



Figure 4. Tire exchanging job.



Figure 6. Beam plate job.



Figure 5. Front seat job.

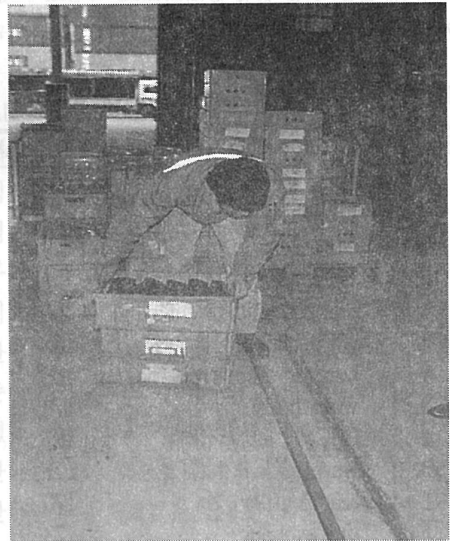


Figure 7. Warehouse job.

이 작업을 견딜 수 있는 몸통 강도를 요구한다는 것을 의미한다. 이외에도 부서 1의 도어탈거 작업 그리고 부서 2의 휠올림작업 등이 상대적으로 높은 몸통

강도를 요구하는 것으로 나타났다. 둔부강도(hip strength)의 경우 몸통강도의 경우보다 더 많은 작업들이 높은 둔부강도(hip strength)를 요구하는 것으

로 나타났다. 부서 2의 자재보급작업(Figure 7)의 수치는 41로서 전체남자작업자의 41%만이 이 작업을 하기에 충분한 강도를 가졌다는 것으로서 매우 큰 눈부강도를 요구하는 작업이라고 할 수 있다.

### 3) 부서별 / 과별 L5/S1 압축력

부서별로 압축력 및 전단력을 살펴보면 그 크기가

부서 4, 부서 3, 부서 1, 부서 2 순으로 나타났다(Figure 8). 과별로 살펴보면 부서 1에서는 4과의 작업들이 상대적으로 위험한 것으로 나타났고(Figure 9), 부서 2에서는 2과가 평균 압축력이 제일 높았다(Figure 10). 앞으로 직업성 요통예방을 위한 대책을 준비한다면 앞서 언급한 순서의 우선도에 따라 작업들을 심층적으로 분석하는 것이 필요하다고 사료된다.

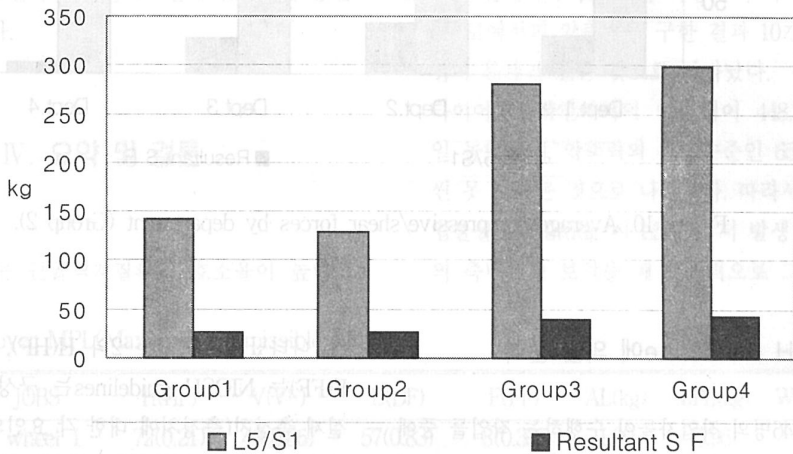


Figure 8. Average compressive/shear forces by Group.

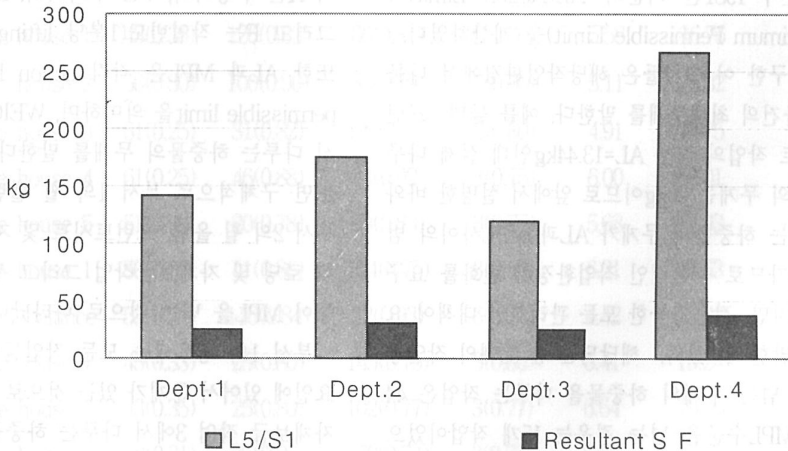


Figure 9. Average compressive/shear forces by department (Group 1).

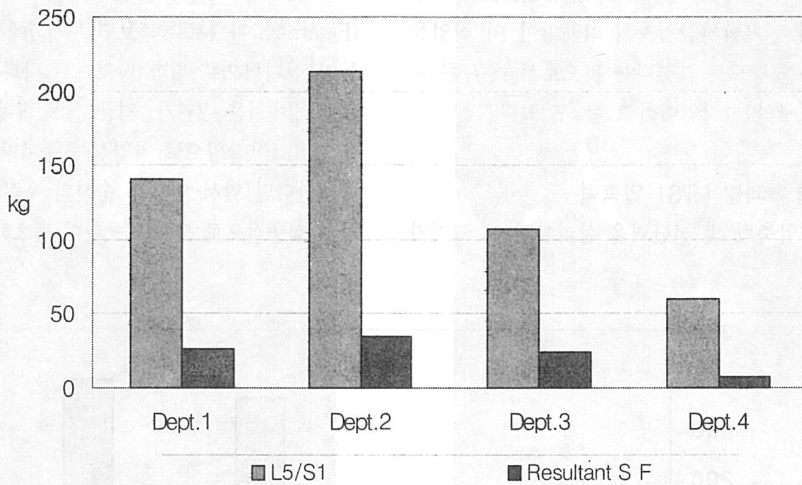


Figure 10. Average compressive/shear forces by department (Group 2).

## 2. NIOSH Guideline에 의한 분석

조사된 246명의 작업자들이 수행하는 작업들 중에서 순수 lifting작업(하중물을 들어올리고 내리는 작업)은 총 60개였으며 이 작업들에 대하여만 NIOSH Lifting Guidelines를 적용하였다. 구체적으로 각 작업에 대하여 1981년 기준의 AL(Action Limit)과 MPL(Maximum Permissible Limit)을 계산하였다.

여기서 구한 이 수치들은 해당작업환경에서 다룰 수 있는 물건의 최대무게를 말한다. 예를 들면 프런트리프트 작업의 경우 AL=13.44kg인데 실제 다루는 하중물의 무게는 20kg이므로 앞에서 설명한 바와 같이 다루는 하중물의 무게가 AL과 MPL사이의 범주에 들어가므로 근본적인 작업환경의 변화를 요구하지는 않지만, 적용가능한 모든 관리적인 대책이 요구된다고 말할 수 있다. 해당되는 총 60개의 작업중 AL수준을 넘는 무게의 하중물을 다루는 작업은 44개였고, MPL수준을 넘는 경우는 15개 작업이었으며, 이 작업들은 Table 2에 정리되어있다. 그러나 MPL을 넘는 경우에도 그 초과치가 매우 적은 것

로 나타났다. Table 2의 H(HF), V(VF), D(DF), F(FF)는 NIOSH guidelines는 구성하는 각 요인의 실제 측정치(측정치에 대한 각 요인의 factor)를 의미한다. 예를 들어 H(HF)에서 H는 lifting 시점에서의 수평거리(cm)를 말하고, (HF)는 그 수평거리를 이용한 horizontal factor(15/H의 결과)를 표시한다. 여기서 H는 수평거리, V는 수직거리, D는 수직이동거리, 그리고 F는 작업빈도(1분당 lifting 횟수)를 말한다. 또한 AL과 MPL은 각각 action limit과 maximum permissible limit을 의미하며, WEIGHT는 해당 작업시 다루는 하중물의 무게를 말한다. 이 table을 살펴보면 구체적으로 부서 1의 휠 밸런스 및 자재보급, 부서 2의 휠 올림, 프런트리프트 및 자재보급, 부서 3의 휠 로딩 및 자재보급작업 그리고 부서 4의 자재보급 등이 MPL을 넘는 것으로 나타났다.

부서 1의 경우에는 모든 작업들이 모두 수평거리 요인에 있어서 문제가 있는 것으로 들어났으며 특히 자재보급 작업 3에서 다루는 하중물의 무게가 MPL과 가장 많이 차이가 났다. 또한 휠 밸런스인 경우, 작업빈도가 분당 6회로 다른 작업보다 빈도가 높았

다. 부서 2에서는 무엇보다도 휠 올림 작업 1,2에서 다루는 하중물의 무게가 MPL과 비교하여 각각 약 24kg, 22kg의 차이를 보였다. 특히 이 작업에서는 수평거리요인(horizontal factor)과 작업빈도요인(frequency factor)이 열악한 것으로 나타났다. 부서 3인 경우에는 휠 로딩작업과 자재보급 작업들이 해당되었는데 휠 로딩작업에서는 MPL과의 차이가 약 9kg 정도 났다. 이 작업은 부서 2의 작업들과서와 같이 수평거리요인과 작업빈도요인에서 문제가 있는 것으로 나타났다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 근골격계질환의 호소율이 높다고

알려져 있는 자동차 조립작업에 있어서의 직업성 요통과 관련하여 실제 작업부하를 평가하기 위하여 NIOSH Guidelines와 신체역학적 방법을 적용하여 분석하였다. 대상은 총 246명이었으며 그들이 하는 작업에 대하여 직업성요통에 대한 위험도를 평가하였다. 이들 작업에 대한 평가결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 먼저 신체역학적 모델을 사용하여 각 작업에 대한 L5/S1에서의 압축력을 구한 결과 10개 정도의 작업이 문제가 있는 것으로 나타났다. 특히 부서의 타이어교환작업에서의 압축력이 448.2kg으로 제일 높았는데, 압축력의 위험수준인 650kg에는 훨씬 못 미치는 것으로 나타났다. 따라서 조사된 작업들을 1회 lifting 시 L5/S1에서 발생하는 압축력의 측면에서 보았을 때 전반적으로 그리 위험한

Table 2. Jobs over MPL(Maximum Permissible Limit).

| GROUPS | JOB           | H(HF)    | V(VF)     | D(DF)     | F(FF)     | AL(kg) | MPL(kg) | WEIGHT(kg) |
|--------|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|------------|
| 2      | lift wheel 1  | 72(0.21) | 40(0.86)  | 57(0.83)  | 8(0.33)   | 1.99   | 5.96    | 30         |
| 2      | lift wheel 2  | 68(0.22) | 50(0.90)  | 26(0.99)  | 8(0.33)   | 2.62   | 7.85    | 30         |
| 2      | front seat    | 72(0.21) | 87(0.95)  | 27(0.98)  | 0.5(0.96) | 7.43   | 22.30   | 25         |
| 3      | wheel loading | 50(0.30) | 70(0.98)  | 44(0.87)  | 8(0.33)   | 3.41   | 10.24   | 20         |
| 3      | ware house 1  | 43(0.35) | 120(0.82) | 66(0.81)  | 6(0.60)   | 5.58   | 16.76   | 20         |
| 3      | ware house 2  | 50(0.30) | 100(0.90) | 85(0.79)  | 6(0.60)   | 5.11   | 15.32   | 20         |
| 3      | ware house 3  | 61(0.25) | 31(0.82)  | 129(0.76) | 3(0.80)   | 4.91   | 14.75   | 20         |
| 3      | ware house 4  | 61(0.25) | 46(0.88)  | 34(0.92)  | 3(0.75)   | 6.00   | 18.01   | 20         |
| 3      | ware house 5  | 51(0.29) | 20(0.78)  | 60(0.83)  | 3(0.75)   | 5.68   | 17.03   | 20         |
| 4      | ware house 1  | 50(0.30) | 41(0.86)  | 154(0.75) | 3(0.80)   | 6.21   | 18.63   | 20         |
| 1      | wheel balance | 53(0.28) | 116(0.84) | 32(0.93)  | 6(0.50)   | 4.42   | 13.26   | 15         |
| 1      | ware house 1  | 45(0.33) | 25(0.80)  | 145(0.75) | 3(0.80)   | 6.41   | 19.24   | 20         |
| 1      | ware house 2  | 43(0.35) | 25(0.80)  | 102(0.77) | 3(0.77)   | 6.64   | 19.95   | 20         |
| 1      | ware house 3  | 48(0.31) | 25(0.80)  | 170(0.74) | 3(0.75)   | 5.58   | 16.74   | 20         |
| 2      | ware house 1  | 48(0.31) | 30(0.82)  | 124(0.76) | 3(0.77)   | 5.60   | 17.99   | 20         |



수준은 아닌 것으로 판단된다. 본 연구에서 조사한 작업장의 작업환경을 고려할 때 압축력이 높은 작업들은 해당 작업시, 다루는 하중물의 무게와 위치에 크게 영향을 받으므로, lifting 시 사용할 수 있는 보조기구등의 사용으로 압축력을 줄일 수 있다고 사료된다. 예를 들어 무거운 타이어를 바닥으로부터 들어올리는 타이어 교환 작업(Figure 4)의 경우 lifting device의 사용과 lifting 시 타이어의 수직위치를 조정하면 압축력을 상당부분 줄일 수 있다.

두 번째로 신체 역학 모델을 이용하여 요추부에 연결되어 있는 두 신체 부위(trunk, hip)에 요구되는 강도를 살펴보았다. 대부분의 작업의 경우, 몸통 및 둔부(trunk & hip) 강도 측면에서 보면 남자 작업자의 70~80%가 별 무리없이 작업수행 할 수 있는 작업이었으나 각 부서에서 한 두 작업들은 남자 작업자의 30~40% 만이 견딜수 있는 작업강도를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이들 작업에 대하여는 나이, 성별, 체력등을 고려한 작업자 선정이 필요하다고 판단된다.

순수 lifting 작업 60개에 대하여 1981년 NIOSH lifting guidelines를 적용하였다. 그 결과, AL 수준을 넘는 하중물을 다루는 작업은 거리 요인 측면에서 문제가 있었으며 특히 리어머플러, 힘올림, 머플러 취부, 프론티쉬트취부, 글라스범퍼, 타이어 교환, 콘트롤암 가조립, 휠로딩, 자재보급, 글라스장착, 리어범퍼, 휠바란스 작업 등에서 문제가 있는 것으로 나타났다.

그에 반하여 MPL 수준을 넘는 15개 작업은 수평거리요인 뿐만 아니라 빈도요인도 매우 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. MPL 수준을 넘는 작업들은 어느 부서를 막론하고 자재보급에 관련되는 것이 가장 많았고, 특히 휠올림작업에서는 MPL과 다루는 하중물 무게가 약 20kg 이상 차이가 났다. 이와 같은

작업들은 수평거리와 빈도에 의해서 가장 많은 영향을 받은 것으로 나타났다. 수평거리의 경우에는 컨베이어나 Pallet를 재설계 혹은 조정하여 수평거리를 줄일 수 있고, 작업빈도의 경우에는 lifting 작업자체를 자동화 또는 적절한 lifting 도구를 이용하여 반 자동화시키는 것이 바람직하다고 판단된다.

따라서 본 연구결과를 볼 때 조사된 조립작업들은 물리적인 작업요인 측면에서 볼때 잠재적인 위험수준에 있는 것으로 보인다. 물론 순수 lifting 작업중 15개(25%) 작업에서의 하중물의 무게가 MPL을 넘는 것으로 나타났으나, 두 세개의 작업을 빼놓고는 그 차이가 그리 크지않은 것으로 나타났다. 이것은 전반적으로 자동차 조립작업의 특성상 직업성 요통보다는 손과 손목에서 발생하는 근골격계질환의 유병율이 더 높다는 연구 결과 (Zetterberg 등, 1997)와 조사된 작업장의 작업환경이 어느 정도 인간공학적으로 고려가 된 점, 그리고 작업순환이 매우 체계적으로 이루어지고 있어서 위험작업에 집중적으로 노출될 가능성이 적다는 것을 이유로 들 수 있다. 실제로 미국에서 OSHA에서 NIOSH기준 위반으로 고발당하는 경우는 요즈음의 과도한 자동화로 인한 빠른 작업속도에 의한 빈도요인이 가장 영향을 많이 미치는데, 대부분의 경우 빈도요인이 0에 가깝게 나오며 따라서 AL, MPL도 0kg에 가깝다. 이런 측면에서 볼 때 조사된 사업장의 물리적인 작업환경은 직업성 요통과 관련하여 아주 열악한 상황이라고는 볼 수 없는 것으로 나타났다. 결론적으로 조사된 사업장은 직업성요통의 측면에서 볼 때 잠재적인 위험수준에 있는 것으로 판단된다.

따라서 조사된 사업장에서는 첫째, 정기적인 NIOSH guidelines, 해석모델 그리고 일반적인 인간공학작업분석을 통하여 도출된 위험 작업들에 대하여 인간공학적인 대책을 꾸준히 제시하는 것이 필요하다. 특히 조사된 사업장에서는 자재보급 작업들



이 일선 라인의 작업들에서 보다 상대적으로 인간공학적인 배려가 부족하여, 다루는 하중물의 무게, 작업위치등에 대한 보조기구 사용 및 작업대 제설계등이 필요하다고 사료된다. 일반적으로 MMH작업을 하는데 있어서 요추부에 거리는 하중을 줄일 수 있는 작업보조기구로서는 four-way entry pallet, revolving pallet, platform truck, portable conveyor, gravity chute, hydraulic table, monorail electric hoist, roller conveyor등이 있다. 둘째, 정신 심리적인 요인등 작업이외의 요인들도 많은 영향을 미칠 수 있으므로 정기적인 요통진단을 포함하는 의학적인 관리대책의 체계적인 제시도 시급하다고 볼 수 있다. 마지막으로 셋째, 직업성요통의 예방을 위하여 꼭 필요한 것은 작업자들을 대상으로한 안전한 lifting방법에 대한 교육이다. 아무리 훌륭한 물리적인 작업환경을 갖추었다 하더라도 작업방법이 올바르지 못하면 훌륭한 작업환경도 별로 소용이 없다고 판단된다. 일반적으로 인간공학분야에서 제안하는 안전한 lifting의 과정은 다음과 같다(Niebel & Freivalds, 1999).

첫째, lifting을 계획한다(lifting 전에).

둘째, 최적의 lifting 기법을 결정한다(lifting 전에).

셋째, 확실한 grip자세를 취한다(lifting 시에).

넷째, 다루는 하중물을 최대한 몸 가까이에 접근시킨다(lifting 시에).

다섯째, 경한(light)일과 중한(heavy)일을 번갈아가면서한다.

## REFERENCES

- Chaffin, DB and Andersson, GB. Occupational Biomechanics, John Wiley & Sons; 1984
- Chaffin, DB, Schultz, RK, Snyder RG. A prediction model of human volitional mobility. SAE paper 720002, Society of automobile engineer; 1972
- Dempster, WT. Space Requirements of the Seated Operator, WADC-TR-55-159, Aerospace medical research lab, Wright-Patterson AFB; 1955
- Engstrom, T, Hanse, JJ, Kadefors R. Musculoskeletal symptoms due to technical preconditions in long cycle time work in an automobile assembly plant: a study of prevalence and relation to psychosocial factors and physical exposure. Applied Ergonomics 1999; 30; 443-453
- Fisher BO. Analysis of Spinal Stresses During Lifting, Unpublished MS thesis, University of Michigan; 1967
- Ingelgard, A, Karlsson, H, Nonas, K, and Ostengren, R. Psychosocial and physical work environment factors at three workplaces dealing with materials handling. International Journal of Industrial Ergonomics 1996; 17; 209-220
- Kudefors, R, Engstrom, T, Sunstrom PJ. Ergonomics in parallelized car assembly: a case study with references also to productivity aspects. Applied Ergonomics 1996; 27; 101-110
- Mital, A, Nicholson, AS, Ayoub MM. Manual Material Handling; 1997
- National Safety Council. Accident Facts; 1993
- Niebel, B and Freivalds, A. Methods, Standards and Work Design; 1999
- NIOSH: Work Practice Guide for Manual Lifting. US department of health and human services, National Institute for Occupational Safety & Health, Cincinnati OH, NIOSH, technical report no. 81-122; 1981
- University of Michigan Center for Ergonomics.

3D Static Strength Prediction Program version 2.0  
user's manual; 1993

Zetterberg, C, Forsberg, A, Hansson, E,  
Johansson, H, Nielsen, P, Danielsson, B, Inge, G,  
Olsson B. Neck and upper extremity problems in

car assembly workers - A comparison of  
subjective complaints, work satisfaction, physical  
examination and gender. International Journal of  
Industrial Ergonomics 1997; 19; 277-289