

## 운수유통업의 운반자세에 대한 근력예측모델을 이용한 위험수준 파악에 관한 연구

한 정 수

한성대학교 산업시스템공학부, 안전과학기술연구소  
(2000년 10월 20일 접수, 2000년 12월 16일 채택)

### The Study for Evaluating the Physical Loading Condition Utilizing Muscle Force Predict Model on the Working Posture of the Trasporation Industry

J.S. Han

Department of Industrial System, Hansung University. Center for Safety Science and Technology

(Received October 20, 2000. Accepted December 16, 2000)

**요 약 :** 본 연구는 요통재해를 일으킬 수 있는 위험요소를 많이 내포한 운수유통업의 인력운반방법 (Manual Material Handling)에 대한 요통발병의 위험정도를 측정하였다. 운수유통업에서 이루어지고 있는 운반작업은 우리나라의 제반환경특성상 도구를 사용하지 않고 대부분 사람에 의해 이루어지고 있다. 운반방법도 깊어지는 형태인 등짐작업이 많이 이용되고 있다. 그러나 이에 대한 체계적인 연구가 수행되고 있지 않은 실정이다.

본 연구의 목적은 등짐자세로 물건을 운반할 때와 물건을 하역하여 정리하는 작업이 요추에 미치는 물리적 힘이 어느정도인지 규명하여 위험수준을 파악하는데 그 목적이 있다. 등짐운반과 정리작업(비대칭형 작업)에 대한 역학적인 연구를 수행하기 위하여 몸통근육에 미치는 internal force를 규명하여 정량화한 Han's (1991) model을 이용하여, 이들 작업에 대한 역학적인 분석을 실시하였다.

**Abstract :** This study is to understand and identify the risk factors of manual materials handling tasks involved in the backpack mode of carrying based on biomechanical approach. Such an working posture required in transportation industry is very prevalent in Korea, whereas it is unusual in the western industries. The postures of backpack mode of carrying and arranging tasks are easily found in the delivery business. However, the biomechanical risk analysis preventing the back pain from workers has not been investigated.

The purpose of this study is to evaluate the physical loading condition of lower back during backpack carrying tasks. Therefore, backpack carrying and arrangement tasks required unsymmetrical behavior of trunk posture were analyzed biomechanically using Han's dynamic model. From this model, the internal muscle forces as well as disc forces (anterior-posterior and lateral shear force, compressive force) were calculated quantitatively during dynamic lifting condition.

**Key words :** Risk Factors, Physical loading conditions, Dynamic model, Dynamic lifting, Disc force

## 서 론

작업성 상해 중에서 요통 (LBD, low back disorder)이 차지하는 비중은 미국의 경우전체 상해의 약 20%와 산재

보상액의 약 40%를 차지하고 있으며, 우리 나라에서도 구로공단지역의 조사에서 밝혀진 바에 의하면 약 8-10%의 재해 건수와 4-6%의 보상액을 차지하고 있다.

특히 들기(lifting) 작업은 요통의 발생에 가장 큰 기여를 하고 있다고 알려지고 있으며, 들기와 운반에 의한 요통재해가 전체의 50-75%에 달한다고 보고하고 있다. 요통재해의 위험요인은 다양하게 분류할 수 있겠으나 Marras[1995]는 ① 나르는 무게, ② 정적인 자세(static work posture), ③ 잦은 몸통의 숙임(bending) 또는 비틀림(twi-

이 논문은 1997년도 한국과학재단 지원에 의해 수행되었음. KOSEF (특정)95-0200-08-03-3

통신저자 : 한정수, (136-031)한성대학교 산업시스템공학부

Tel.(02)760-4323, Fax.(02)760-4329

E-mail,jshan@hansung.ac.kr

sting), ④ 복합적인 인력운반작업, ⑤ 반복작업으로 분류하고 있다.

그간의 연구에서 이상과 같은 다섯 가지의 위험요인들이 요통재해의 위험성을 증가시키는 요인으로 반복적으로 지적되고 있다. 그러나 이러한 위험요인들에 얼마나 노출되는 것이 요통재해를 일으키며 또 이러한 요인들이 복합적으로 작용했을 때 요통재해의 위험이 얼마나 증가되는지에 대한 정량적인 평가가 불가능하였다.

뿐만 아니라, 이제까지의 요통재해에 대한 위험요인의 평가에서는 동역학적인 요인에 대한 고려가 미흡하였다. 즉 몸통 이동속도가 증가될수록(즉, 들기속도가 증가될수록) 몸통의 근활동도와 복강내압(intra-abdominal pressure), 척추부하(spine loading)를 증가시키려는 것으로 나타나고 있고 compressive loading보다 shear, torsional loading이 더 큰 위험의 요인이 되기도 한다고 알려지고 있다[8].

본 연구는 요통재해를 일으킬 수 있는 위험요소를 많이 내포한 운수유통업의 인력운반방법 (Manual Material Handling)에 대한 요통발병의 위험정도를 측정하였다. 운수유통업에서 이루어지고 있는 운반작업은 우리나라의 제반환경특성상 도구를 이용하기 힘든곳이 많아 대부분 사람에게 의해 이루어지고 있으며, 1회 운반중량은 평균 53 kg, 운반거리도 평균 20 m 이상이어서 앞으로 물품을 들어 운반하는 것보다 등에 짊어지는 형태인 등짐작업이 작업자들 사이에서 많이 이용되고 있다. 그러나 이에 대한 체계적인 연구가 수행되고 있지 않은 실정이다.

본 연구의 목적은 등짐자세로 물건을 운반할 때와 물건을 하역하여 정리하는 작업이 요추에 미치는 물리적 힘이 어느정도인지 규명하여 위험수준을 파악하는데 그 목적이 있다. 등짐운반과 정리작업(비대칭형 작업)에 대한 역학적인 연구를 수행하기 위하여 몸통근육에 미치는 internal force를 규명하여 정량화한 Han's (1991) model을 이용하여, 이들 작업에 대한 역학적인 분석을 실시하였다.

작업자세로 인한 작업부하를 평가하기 위해서는 부적절한 작업자세를 구분하는 것이 중요하다. 그러나, 부적절한 작업자세 (Poor Working Posture) 혹은 적절한 작업자세 (Good Working Posture)를 명확히 제시하고 있는 연구결과는 아직 부족한 상태이며, 특히 작업자세로 인한 작업부하를 정량적으로 평가하는 연구는 더욱 미진한 상태이다. 작업자세로 인한 작업부하의 경감은 작업자의 안전성 및 작업 편의성 확보, 생산성의 향상을 유도할 수 있다. 그러나 이를 위해서는 작업자세로 인한 부하정도, 인체에 미치는 영향에 대한 충분한 이해가 필요하며, 이러한 노력은 현재까지도 충분히 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 작업자세로 인한 작업부하의 정량적 평가 기법을 개발함으로써 이러한 문제점을 해결하고자 하였다.

## 연구방법 및 이론

### 1) 운수유통업의 인력운반형태

본 연구를 통한 조사연구에 의하면, 우리나라의 유통업의 특징은 크게 세가지로 볼 수 있다. 첫째는 운반도구(cart, 손수레 등)를 사용하여 운반할 장소가 많지 않다는 것이다. 그러므로 거의 모든 작업은 인력운반을 통해서 이루어 진다. 둘째는 교통문제로써 도로에서 보내는 시간이 업무시간의 절반이상을 차지하고 있으며, 운전과 운반을 모두 수행해야하는 작업자에게 상당한 스트레스를 주는 것으로 나타났다. 셋째는 사용되는 운반차량이 대부분 평범한 트럭으로써, 인력운반의 효율성을 저해할 뿐만 아니라 상당한 위험요인을 가지고 있다. 이상과 같이 살펴보았을 때 작업자들이 근무하는 환경은 매우 열악하다. 특히 두 번째, 세 번째 특징은 환경적인 요인으로써 개선사항을 쉽게 도출할 수 있지만, 첫 번째 특징은 쉽게 개선사항 및 행동적 기준정립을 할 수 없기 때문에 현재의 운반작업자세에 대한 보다 구체적인 연구가 필요하다.

그림 1은 대표적인 운반형태로써 왼쪽은 정리작업자세



그림 1. 정리작업자세 및 등짐운반작업자세

Fig. 1. Arrangement and back loading operation posture

이고, 오른쪽은 등짐운반작업자세이다.

본 연구에서는 위험요소가 많이 내포되어 있는 위의 두 가지 작업에 대한 역학적인 분석을 실시함으로써, 작업정도가 위험한 수준인지 파악하였다.

2) Han's model 고찰

본 연구에서 이용한 Han's(1991) model은 요통재해의 원인이 되는 여러 가지 인력운반작업시 허리에 미치는 부하를 수치적으로 구해내기 위해서 몸통을 구성하고 있는 여러개의 근육을 22개로 구분하여, 허리(L3/4)에 물리적인 힘이 실렸을 때 각 근육들이 어떠한 형태로 반응하는지에 대한 조사를 통하여 정확한 근력예측모델을 개발함으로써, 보다 정확하고 직접적으로 허리(L3/4)에 미치는 힘을 구하는 model이다. 이전까지 근력예측모델을 위하여 수학적인 model을 이용하여 물리적인 힘이 몸통구조에 미치는 내부적인 힘이나 스트레스를 찾으려는 노력이 많았다. 작업자세에 대한 동적인 연구는 상당히 중요하지만, 대부분의 근력예측모델은 정적인 자세하에서 연구되었고, 동적인 자세하에서 연구된 경우는 많지 않았다. Han's(1991) model은 이러한 동적인 상태에 대한 분석이 가능한 근력예측모델이다.

Han's model의 아이디어는 동적인 활동에 의해서 생성된 inertial force와 moment를 추가적인 외부의 물리적인 힘에 의해 계산할 수 있다는 점에서 출발하였다. 이러한 분석을 위하여 electromyography, force platform, Selspot II motion 측정장치를 이용하여 들기작업에 대한 동적, 정적분석을 수행하였다. Internal force를 측정하기위한 접근방법으로 넓게 사용되고 있는 것은 optimization technique의 응용이다. 척추의 분석모델들은 대부분 선형접근방법을 기본으로 하고 있다. 선형 formulation은 여러 가지 가정이 들어가 비현실적이어서 사용하기에 문제점이 있어, Han's model에서는 비선형 optimization technique을 이용함으로써 보다 현실적이고 정확한 결과를 얻을 수 있다.

Han's model의 mathematical model은 실험에 의해 얻어진 data set을 이용하여, 여섯 개의 균형수식과 제약조건들을 요추의 L3/4 수준에서 free body diagram을 고려하여 생성시켰다. 수식은 아래와 같다. 그림 2는 L3/4에서의 free body diagram을 보여주고 있다.

$$\sum M_x = \sum m_i Z_i F_i - M_f = 0 \tag{1}$$

$$\sum M_y = \sum (l_i Z_i \pm n_i X_i) F_i + M_T = 0 \tag{2}$$

$$\sum M_z = \sum m_i X_i F_i + M_l = 0 \tag{3}$$

$$\sum F_x = \sum l_i F_i + F_L + F_{DX} = 0 \tag{4}$$

$$\sum F_y = \sum m_i F_i + F_c + F_{DY} = 0 \tag{5}$$

$$\sum F_z = \sum n_i F_i + F_{A-P} + F_{DZ} = 0 \tag{6}$$

$$F_i \geq 0 \tag{7} \sim (28)$$

$$\frac{F_i}{A_i} \leq S_i \tag{29} \sim (50)$$

$$S_i \geq 0 \tag{51} \sim (72)$$

where  $F_i$  : force in the  $i$ th muscle  
 $l_i, m_i, n_i$  : direction cosines of the  $i$ th muscle  
 $X_i, Z_i$  : coordinates of the centroid of the  $i$ th muscle  
 $F_{DX}, F_{DY}, F_{DZ}$  : disc force contribution at the L3/4 disc level  
 $M_f, M_L, M_T$  : external flexion, lateral bending, twisting moments  
 $F_c, F_L, F_{A-P}$  : external compressive, lateral shear, A-P shear forces

수식 (1)-(3)은  $X_d, Y_d, Z_d$  axes에 대한 moment equation이며, (4)에서 (6)까지의 수식을 통하여 세가지 방향의 힘의 균형을 정의한다.

위에서 제시된 formulation은 아래 그림2에서 나타났듯이, 22개의 근육을 기본으로 한 것이다. 22개의 모든 근육은 위의 수학적인 모델에 포함되어 있다.

이러한 mathematical model을 이용은 상당히 많은 수

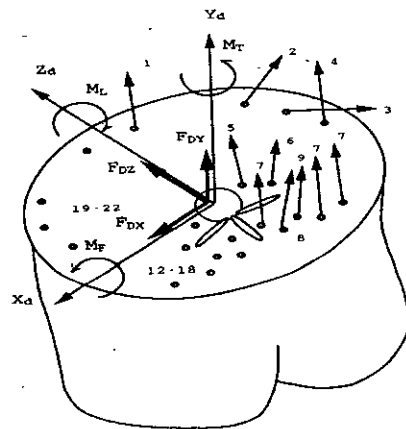


그림 2. Free body diagram  
 Fig. 2. Free body diagram

식연산을 필요로 함으로, Fortran을 이용하여 자동화 시켰다.

실 험 방 법

1) 피실험자 선정

본 실험이 Lab.에서 이루어지므로 피실험자 선정이 상당히 중요하였다. 실제 작업자를 대상으로 실시하여야 하나

여러 가지 제약조건 때문에, 실제 경험이 있는 자를 선발하였다. 이들의 평균 나이는 23.2세이며, 체격조건은 조사된 신장명세의 분포를 바탕으로 적합한 자를 선발하였다.

피실험자들을 대상으로 5번에 걸친 pretest를 실시하였다. Pretest의 목적은 등짐작업 및 정리작업을 익히고, 체력적으로 감당할 수 있는 피실험자들을 선발하기 위함이다.

## 2) 실험환경 및 장비

Lab. study를 위해서 작업조건 및 작업량을 다음과 같이 조사되었다.

- 1회 평균 운반중량 : 53.44 kg
- 1회 평균 운반거리 : 23.17 m
- 하루 총 운반중량 : 3.2 ton

이러한 자료를 바탕으로 선발된 피실험자를 대상으로 pretest를 거치면서 조정된 수치는 아래와 같으며, 실제자료와 차이나는 부분은 운반거리로써, 5.17 m가 짧은 거리로 책정하였다.

- 1회 운반중량은 54 kg
- 1회 운반거리는 18 m
- 운반 총중량은 972 kg (1회 운반중량(54 kg)×18회)
- Box를 드는 높이 및 내려놓는 높이는 1 m

본 실험에서는 작업자의 external flexion, lateral bending, twisting moments을 LMM(Lumbar Motion Monitor) system을 이용하여 측정하였다.(그림 3). Data sampling은 30초를 기본으로 측정하기 때문에 모든 작업이 처음부터 끝까지 연속적으로 이루어지지 않았다.

특히, 연속적인 동작을 잡기 위하여 3대의 8mm video camcorder를 이용하였다 (그림 4). 녹화된 video 영상을 computer로 encoding하여, 측정시점에서의 작업자세를 3방향에서 잡아 마네킨 소프트웨어에서 인체를 모델링할 때 이용되었으며, 허리의 각도나 몸은 twist정도는 LMM에서 얻은 데이터를 이용하여 현실 작업자세와 똑같이 만들었다.

## 3) 실험계획

실험은 다음과 같이 2가지 형태로 이루어진다. 첫번째는 차량위에서의 정리작업과 비슷한 실험으로 작업자가 1톤 정도의 짐을 바닥에서 들어서 옆으로 옮겨놓는 작업이다. box의 높이는 3box로 하였다. 이 실험에서는 0.5톤의 짐을 0.7-1m 옆으로 옮기는 task와 나머지 0.5톤은 2m 옆으로 옮기는 task가 있다.

두번째는 등짐운반작업으로써 위와 같은 실험장소에서 행해졌다. 피실험자가 1m 높이의 책상위에 있는 2개의 맥주 box를 등에 지고 정해진 경로를 따라 이동하여 다시 start point로 온다. 그 후 빈 몸으로 다시 정해진 경로를



그림 3. LMM 실험환경

Fig. 3. LMM experiment Environment

따라 움직인 후 다시 box를 등에 지고 옮기는 형태로 실험계획을 세웠다. 작업자가 작업 중에 쉬는 것은 자유롭게 하였다.

위와 같은 형태로 작업을 실시하면, 정리작업은 모든 짐을 옮기는데 9 번정도의 비슷한 동작을 취한다. 또한 등짐운반작업도 마찬가지로이다. 이러한 반복적인 작업들을 바탕으로 여러번의 pretest를 거치면서 정리작업은 9단계 등짐작업은 7단계로 분리하였다. 이렇게 분리한 이유는 역학적인 조사를 실시하기 위해 초단위의 모든 행동을 분석한다는 것은 의미가 없으며, 허리에 가장 많은 torque를 주는 동작을 중심으로 분리하였다.

## 실험분석 및 결과

실험분석을 위한 자료획득은 위에서 분리한 17개의 state로 나누어 각 state별로 실시하였다. 실험분석은 다음과 같은 절차로 분석하였다(그림 5).

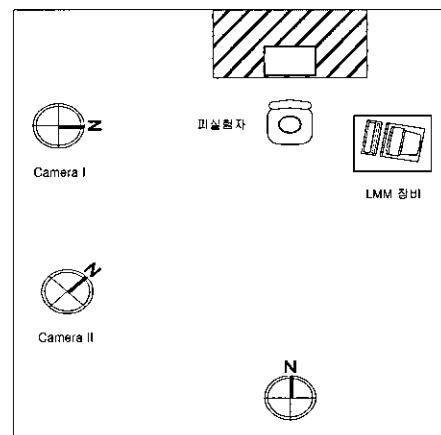


그림 4. 실험환경 구성도

Fig. 4. Experiment environment

실험에서 획득된 자료를 마네킹에 모델링하는 이유는 작업자세에 따라 물리적인 힘을 인체가 받는 Global force, global moment, local force, local moment를 구해내기 위해서이다. 이러한 수치계산은 MQ Pro(인체 모델링 프로그램) 내에서 지원하고 있기 때문에 현실과 똑같이 작업자

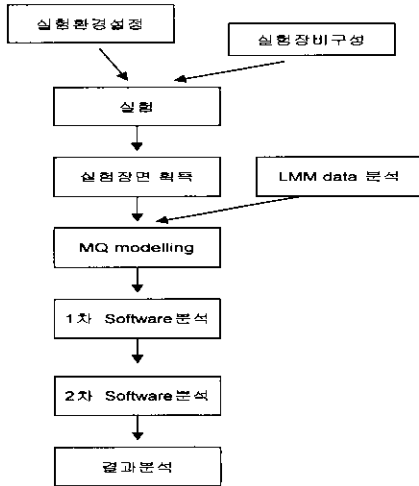


그림 5. 실험 데이터 분석 프로세스  
Fig. 5. Data analysis process

세를 모델링한다면, 현실과 똑같은 수치를 얻을 수 있다 (그림 6).

1) 1차 Software 분석

위의 단계에서 얻은 force와 moment 데이터를 이용하기 전에, 요추의 L3~L4간의 정보를 획득해야 한다. 본 단계에서 얻게 되는 자료는 다음과 같다.

- Position and direction cosine of left muscle and ligament
- Position and direction cosine of right muscle and ligament
- Cross section area of muscle and ligament(left, right)

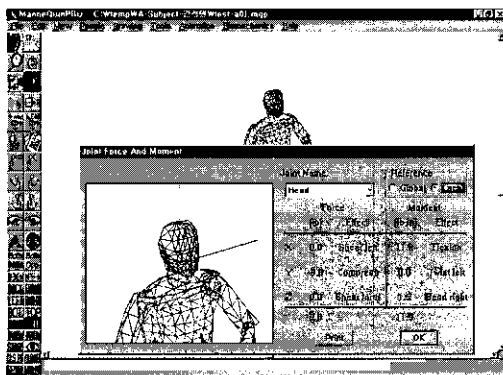


그림 6. MQ Pro를 통해 얻은 Force, Moment 데이터  
Fig. 6. Force and Moment data collection using MQ Pro

- The sequential number of ignored muscle
- Position of vertebral bodies W.R.T global axis
- L(0.6): Pos. muscles W.R.T Local Axis(left, right)

2) 2차 Software 분석

위와 같은 모든 단계를 거쳐 얻은 데이터를 이용하여 Han's model에 넣어 각 작업자세별로 Fxd, Fyd, Fzd 등을 얻을 수 있다. 아래 표2는 피실험자에 대한 작업자세 분석결과이다.

표 1. 작업자세에 대한 최종분석결과  
Table 1. Analysis result of working posture

Fx : .00	Mx : 107.60		
Fy : -536.20	My : .00		
Fz : 75.40	Mz : -.10		
1	.00	.0	.00
2	.00	.0	40.14
3	43.66	12.1	.00
4	.00	.0	76.96
5	53.09	16.0	15.37
6	35.47	13.3	25.84
7	18.55	16.7	10.37
8	1.24	3.9	1.13
9	285.72	68.2	252.75
10	484.90	74.1	450.81
11	368.06	76.7	424.54
Fxd : 211.71		Fyd : -2972.09	Fzd : 511.62
Resultant Disc force : 3023.23			

Fyd의 수치가 실질적으로 허리를 누르는 힘으로써 2972.09N으로 누르고 있음을 알 수 있다.

이렇게 해서 얻은 data들을 나타내면 다음과 같다. 이렇게 해서 얻은 data들을 정리작업 (비대칭형작업)과 등짐운반작업으로 나누어서 살펴보면 다음과 같다.

다음의 표2는 각 피실험자별로 마네킹 소프트웨어를 이용하여 얻은 자료이다. Global force을 모델링된 인체에 주면, 허리부분에서의 local force을 구할 수 있다. (표 3)에서는 실질적으로 요추에 가해지는 힘 (resultant disc force)을 나타내고 있다. 각 피실험자별로 차이가 있지만, 대부분의 경우 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) guideline에게 권고하고 있는 3500 N보다 높거나 조금 낮게 나타나고 있다. 짐의 무게는 27 kg으로써 무겁지는 않지만, 작업자세가 허리를 숙이고 몸통을 트는 형태가 많은 비대칭형 작업형태이기 때문에 이러한 결과가 나왔다. 이러한 비대칭형 작업자세에서의 27 kg의 무게는 작업자들의 허리에 상당한 무리를

표 2. 5개의 정리작업에 대한 force와 moment

Table 2. Force and Moment to five arrangement posture

		피실험자 A				피실험자 B				피실험자 C			
		N	Global N-m	N	Local N-m	N	Global N-m	N	Local N-m	N	Global N-m	N	Local N-m
		Force	Moment	Force	Moment	Force	Moment	Force	Moment	Force	Moment	Force	Moment
State1	x	0	107.6	0	107.6	0	81.5	0	81.5	0	81.3		81.3
	y	-541.4	0	-536.2	0	-591.7	0	-591.7	0	-542.0		-541.3	-0.1
	z	0	-0.1	75.4	-0.1	0	4.4	0	4.4		1.0	28.4	1.0
State2	x	0	172.7	0	172.7	0	156.8	-56.8	156.5		171.1		171.1
	y	-571.7	0	-347.8	0.7	-591.7	0	-392.5	-10.5	-542.0		-295.2	-1.2
	z		0.8	478.7	0.5	0	11.2	439.1	10.8		-1.4	454.6	-0.8
State3	x		183.0		183.0	0	142.3	-34.7	147.2		146.7		146.7
	y	-541.4		-228.8	4.3	-591.7	0	-293.1	17	-542.0		-287.2	-1.3
	z		4.8	490.7	2.0	0	45.7	512.8	19.7		-1.6	459.7	-0.8
State4	x		173.6		173.6	0	166.3	-54.7	168.8		157.2		157.2
	y	-541.4		9.4	1.8	-591.7	0	-69.4	0.7	-542.0		-140.3	-2.3
	z		1.8	541.3		0	33.2	585.1	15.9		-2.4	523.6	-0.6
State5	x		110.5	0	110.5	0	140.4	24.5	139.1		86.5		86.5
	y	-541.4	0	-490.7	-0.4	-591.7	0	-537.1	13.2	542.0		533.8	
	z		-0.9	228.8	-0.8	0	-5.9	247.1	14.9		0.1	94.1	0.1

\* Force x (+) : Shear Left (-) Shear Right  
 y (-) : Comp  
 z (+) : Shear Force

\* Moment x (+) : Flexion  
 y (-) : Twist Right  
 z (+) : Bending Right

표 3. 작업자세별 허리에 걸리는 물리적인 힘의 양

Table 3. Physical force of working posture

State	피실험자	Force (N)			Result Disc. Force $\sqrt{Fxd^2 + Fyd^2 + Fzd^2}$
		Fxd	Fyd	Fzd	
State1	A	211.71	-2972.09	511.62	3023.2
	B	-53.56	-2431.24	219.29	2441.7
	C	-188.73	-2471.14	274.89	2493.5
State2	A	339.90	-4252.62	1178.91	4426.1
	B	-121.10	-4043.82	850.20	4134.0
	C	-393.01	-4332.30	978.46	4458.8
State3	A	356.49	-4314.29	1235.31	4501.8
	B	-155.88	-3732.69	939.62	3852.3
	C	-336.28	-3746.67	910.40	3870.3
State4	A	338.06	-3891.96	1246.61	4100.7
	B	-155.86	-3885.37	1043.24	4026.0
	C	-356.73	-3829.18	1009.30	3976.0
State5	A	216.81	-2995.59	677.05	3078.8
	B	-94.0	-3759.80	645.02	3815.9
	C	-201.91	-2581.20	357.22	2613.6

표 4. 5개의 등짐작업 작업자세에 대한 force와 moment

Table 4. Force and Moment to five back loading posture

		피실험자 A				피실험자 B				피실험자 C			
		N	Global N-m	N	Local N-m	N	Global N-m	N	Local N-m	N	Global N-m	N	Local N-m
		Force	Moment	Force	Moment	Force	Moment	Force	Moment	Force	Moment	Force	Moment
State1	x		-118.7		-118.7	0	-132.6	0	-132.6		-111.0	-69.1	-119.7
	y	-806.0		-569.9	5.3	-856.3	0	-428.1	-7	-806.0		-635.2	21.3
	z		7.5	569.9	5.3	0	-8.1	741.6	-4.1		134.7	491.4	11.6
State2	x		132.5		-132.5	0	-85.4	-63.1	-85.2		-80.9	-28.8	-81.3
	y	-806		-599	-0.5	-856.3	0	-426.1	0.9	-806.0		-589.5	9.9
	z		-0.7	539.3	-0.6	0	-2	740	-6.7		14.5	549	6.4
State3	x		-119.9		-119.9	0	-71.9	-51.7	-71.8		-61.9	3.9	-60.7
	y	-806.0		-559.9	3.8	-856.3	0	-427.1	3.7	-806.0		-533.2	-11.0
	z		5.2	579.8	3.6	0	3.1	740.4	-2.9		-7.6	604.4	-9.4
State4	x		-87	-37.5	-90.4	0	-67.5	-53	-67.3		-85.7	19.8	-85.2
	y	-806.0		-437.7	7.5	-856.3	0	-373	2.4	-806		-483.0	-9.6
	z		25.5	675.8	-0.2	0	-0.1	769	-3.5		4.9	645.0	-4.6
State5	x		-109		-109	0	-88.2	0	-88.2		-92.3	8.9	-92.6
	y	-806.0		-806.0		-856.3	0	-538.9	4.5	-806		-507.2	18.6
	z		2.3		1.6	0	-5.7	665.5	3.6		26.1	626.4	16.4

\* Force x (+) : Shear Left (-) Shear Right

\* Moment x (+) : Flexion

y (-) : Comp

y (-) : Twist Right

z (+) : Shear Force

z (+) : Bending Right

표 5. 등짐작업시 작업자세별 허리에 걸리는 물리적인 힘의 양

Table 5. Physical force of working posture

State	피실험자	Force (N)			Result Disc. Force $\sqrt{Fxd^2 + Fyd^2 + Fzd^2}$
		Fxd	Fyd	Fzd	
State1	A	29.65	-3112.03	-358.39	3132.7
	B	255.32	-3439.99	-204.07	3455.5
	C	-19.72	-2586.58	66.69	2587.5
State2	A	4.74	-3427.44	-397.10	3450.4
	B	62.82	-2372.04	142.58	2377.2
	C	-92.67	-1912.24	231.78	1928.5
State3	A	42.06	-3806.44	-562.91	3848.1
	B	35.35	-2105.03	252.38	2120.4
	C	46.28	-1461.58	397.26	1515.3
State4	A	13.40	-3447.51	-411.07	3472.0
	B	35.09	-1932.17	306.49	1956.6
	C	41.95	-1690.90	324.05	1722.2
State5	A	23.14	-3207.91	-349.09	3226.9
	B	94.35	-2639.06	79.70	2641.9
	C	-103.52	-2179.57	294.12	2201.8

줄 수 있다.

다음의 표4는 등짐작업시 각 피실험자별로 global force/moment와 local force/moment을 보여주고 있다. 등짐의 무게가 54 kg이므로 앞에서의 정리작업에 비해 global force가 1.6배 정도로 많이 가해지고 있다.

표5는 등짐작업시 작업자들의 허리에 걸리는 물리적인 힘의 양을 나타내고 있다. global force의 양이 정리작업보다 1.6배정도 크기만, 실질적으로 요추에 가해지는 힘은 NIOSH의 권고치인 3500 N보다 낮게 나타났다. 작업자체가 허리의 twisting이 없는 대칭작업이고, 짐의 무게중심이 최대한으로 허리에 가깝게 위치하게 되므로 무게가 정리작업보다 2배가 많지만 요추에 가해지는 힘은 적다.

직업성 요통과 관련하여 작업강도(work intensity)는 가장 큰 원인으로 알려져 있으며, 특히 생체역학적인 측면에서 척추에 부과되는 압축력이 6800 N 이상일 경우 요통의 확률이 2배 높아질 수 있다고 보고되어 있으며 [2] 이와 같은 생체역학적인 기준을 근거로 NIOSH에서는 인력운반에 관한 권고기준을 마련하였으며, 척추디스크에 걸리는 압축력(compression force)을 증가시키는 들기조건과 압축력의 증가로 인한 요통재해의 가능성을 예측할 수 있도록 하고 있다. 3400 N의 압축력(AL)을 유발시키는 작업조건은 안전한 것으로 평가되는 반면에 6400 N 이상의 압축력은 위험한 작업상태로 평가되도록 만들어졌다.

미국노동성 [1982]의 보고에 따르면 요통재해의 56%는 앞으로 숙인 자세와 연관되어 있으며, 33%는 비틀린 자세와 연관을 가지고 있다고 한다. 작업물과 작업자 사이의 위치적인 이유 때문에 숙인 자세나 몸을 회전시켜 물건을 들거나 운반하는 경우가 많이 발생하게 된다 [12].

지금까지 살펴본 결과, 물건의 무게가 등짐운반작업의 절반밖에 되지 않는 정리작업이 등짐운반작업보다 요추에 걸리는 힘의 양이 크게 나타났다. 이와 같은 사실은 짐무게보다는 작업자세에 의해 요통재해가 일어날 수 있다는 가능성이 더 크다는 것을 알 수 있었다. 하지만 본 실험은 기계역학적인 분석으로써 작업자의 생리적인 부담도는 측정하기 힘들다.

등짐 작업은 나르는 무게의 양이 상당히 크나, 작업자세가 물품을 요추 부분에 실음으로서 물품의 무게중심을 최대한 몸통에 밀착시킬 수 있다. 그러므로 작업자의 요추에 걸리는 힘의 양이 정리작업에 비해 상대적으로 작게 나타난 것이다. 하지만 요추에 대한 압축력이 기준치보다 낮지만, 작업자의 무릎과 발목관절에 걸리는 압축력은 매우 클 것으로 예상된다. 사실 실제 작업자들에 대한 설문조사물 실시하였을 때, 요추에 대한 고통을 호소하는 만큼 무릎과 발목에 대한 고통을 호소하는 사람이 많았다.

## 결 론

본 실험의 목적은 등짐과 정리작업시 인체에 미치는 정

도를 파악하는 것이다. 근력예측 모델을 기반으로 현재의 작업량이 허리에 미치는 물리적인 힘이 어느정도인지 밝혀, 운반무게의 결정 및 작업자세의 기준 제시에 도움을 주기 위함이다.

근력예측 모델인 Han's model을 바탕으로 등짐작업과 정리작업(비대칭형작업) 자세에 대한 분석을 실시하였다. 지금까지 살펴본 결과, 물건의 무게가 등짐운반작업의 절반밖에 되지 않는 정리작업이 등짐운반작업보다 요추에 걸리는 힘의 양이 크게 나타났다. 이와 같은 사실은 짐 무게보다는 작업자세에 의해 요통재해가 일어날 수 있다는 가능성이 더 크다는 것을 알 수 있었다. 하지만 본 실험은 인체에 대한 기계역학적 분석으로써 작업자의 생리적인 부담도는 측정하지 않았다.

## 참 고 문 헌

1. Christensen, H, Pedersen M.B., and Sjogaard G., 1995, A national cross-sectional study in the Danish wood and furniture industry on working postures and manual materials handling, *Ergonomics*, Vol 38, No. 4, 793-805
2. HERRIN, G. A., JARAIEDI, M., AND ANDERSON, C. K., 1986 Prediction of overexertion injuries using biomechanical and psychophysical models. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 47, 322-300
3. KELSEY, J. L., GITHENS, P. B., WHITE, A. A. III, HOLFORD, T. T., WALTER, S. D., O'CONNOR, T., OSTFELD, A. M., WEIL, U., SOUTHWICK, W. O., and CALOGERO, J. A., 1984, An epidemiologic study of lifting and twisting on the job and risk for acute prolapsed lumbar intervertebral disc. *J. Ortho. Res.*, 2, 61-66
4. MAGORA, A., 1970A, Investigation of the relation between low back pain and occupation. *Industrial Medicine*, 39, 465-471.
5. MAGORA, A., 1970B, Investigation of the relation between low back pain and occupation, 2. *Work History. Industrial Medicine*, 39, 504-510
6. MAGORA, A., 1972, Investigation of the relation between low back pain and occupation, 3. Physical requirements: Sitting, standing and weight lifting. *Industrial Medicine*, 41, 5-9
7. MAGORA, A., 1973, Investigation of the relation between low back pain and occupation, 4. Physical requirements: Bending, rotation and sudden maximal effort. *Scand. J. Rehab. Med.*, 5, 186-190
8. MARRAS, W. S., and SOMMERICH, C. M., 1991A, A three dimensional motion model of loads on the



- lumbar spine, Part I: Model structure. Human Factors, 33, 139-137
9. MARRAS, W. S., and SOMMERICH, C. M., 1991B, A three dimensional motion model of loads on the lumbar spine, Part II: Model validation. Human Factors, 33, 139-149
  10. PUTZ-ANDERSON, V., 1988, Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Diseases of the Upper Limbs(Taylor and Francis, Philadelphia)
  11. PUTZ-ANDERSON, V., and Waters, t. r., 1991, Revisions in NIOSH guide to manual lifting, Paper presented at a national conference entitled 'A national strategy for occupational musculoskeletal injury prevention-Implementation issues and research needs', University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
  12. SNOOK, S. H., 1982, Low back pain in industry, in A. A. White and S. L. Gordon(eds), Symposium on Idiopathic Low Back Pain(Mosby, St. Louis)
  13. TROUP, J. d., and EDWARDS, F. C., 1985, Manual Handling and lifting(H.M.S. O., London)
  14. US DEPARTMENT OF LABOR 1982, Back Injuries associated with Lifting, Bulletin 2144, August (Government Printing Office, Washington, DC)
  15. US DEPARTMENT OF LABOR 1989, Back Injuries - Nation's Number One Workplace Safety Problem, Fact Sheet No. OSHA 89-09(Government Printing Office, Washington, DC)
  16. VIDEMAN, T., NURMINEN, M., and TROUP, J. D., 1990, Lumbar spinal pathology in cadaveric material in relation to history of back pain, occupation, and physical loading. Spine, 15, 728-740