Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 2 pp.43-50, May 2006

병원 환자 운반 업무의 작업 부하 분석에 NIOSH 들기 작업 공식의 적용 가능성

기 도 형

계명대학교 산업시스템공학과

Applicability of NIOSH Lifting Equation to analysis of Workload for Patients Transferring

Dohyung Kee

Department of Industrial & Systems Engineering, Keimyung University, Taegu, 704-701

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate applicability of NIOSH lifting equation(NLE) to analysis of workload for patient transferring. In principle, the NLE is not applied to analyzing workload of patient transferring, because 1) the task is generally performed by two or more persons; 2) unlike ordinary objects, human body of patients is basically unstable load with their location of the center of mass significantly varying during lifting activity; and 3) the task is done in a restricted work space. This study was conducted through comparison of NIOSH lifting indexes(LIs) and L5/S1 compressive forces by 3DSSPP for patient transferring tasks performed by 2~6 persons. The results showed that LIs are linearly correlated with L5/S1 compressive forces with correlation coefficient of 0.92, which resulted in a significant simple linear regression equation for LIs and L5/S1 compressive forces. Consequently, it was concluded that the NLE is applicable to transferring patient only with slight modification. Based on the results, instead of 1.0 originally used by NIOSH, the LI of 1.5 was proposed as a gauge to estimate whether or not the task needs corrective action to reduce risk for developing lifting-related low back pain.

Keyword: NIOSH lifting equation(NLE), Patient transferring, 3DSSPP, L5/S1 compressive force

1. 서 론

동력 기계나 기구의 도움 없이 작업자가 자신의 근력을 이용하여 작업물을 원하는 위치까지 이동시키는 작업을 의미하는 인력 운반 작업(manual materials handling tasks)이 요통의 주요 원인으로 알려져 있다. 미국에서는 요통이 산업재해의 약 3.0%를 차지하고, 근골격계질환의 약 20%를 차지하는 등 산업재해에서 주요한 위치를 차지하고 있다. 요통 발병 원인으로는 들기 작업이 약 36%로 단일 원인으로는 가장 높게 나타났다(Mital et al., 1999). 우리나라에서는 요통 원인으로 들기 작업이 추락 다음으로 높은 것으로 조사되었다(기도형, 정민근, 1995). 이러한 이유로 들기, 내리기, 밀기, 당기기, 운반 등의 여러 형태의 인력 운반 작업 중에서 들기 작업이 인간공학 분야에서 가장 많은 연구가 되어 왔다.

들기 작업의 부하를 분석하기 위한 도구로는 NIOSH 들기 작업 공식(NIOSH lifting equation: NLE)(Waters et

교신저자: 기도형
주 소: 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000, 전화: 053-580-5319, E-mail: dhkee@kmu.ac.kr

al., 1993), Washington Administrative Code 296-62-051714(WAC)(Washington State, 2000), Snook과 Ciriello(1991)의 최대허용중량/힘에 관한 표 등을 들 수 있다. NLE는 생체역학적 기준, 생리학적 기준, 심물리학적 기준을 바탕으로 개발되었다. 취급하는 중량물의 수평거리, 수직위치, 수직이동거리, 작업 빈도, 손잡이 상태, 비대칭 각도 등에 따른 권장무게한계(recommended weight of limit: RWL)를 제시한다. WAC은 NLE를 바탕으로 개발되었으며 NLE의 변수 중 중량물의 수직 · 수평 위치, 비대칭 각도, 들기 작업 빈도, 작업 시간만을 고려하여 한계 무게(weight limit)를 제시하여, NLE에 비하여 간단하게 사용할 수 있는 장점이 있다. Snook과 Ciriello(1991)의 표는 손 위치, 작업자 집단, 이동거리 및 빈도에 대한 들기, 내리기, 밀기, 당기기, 운반 작업의 한계를 제시하고 있다. WAC은 고려하여야 하는 변수가 적어 사용하기 간편하고, Snook과 Ciriello(1991)의 표는 다양한 인력 운반 작업을 다루고 있는 장점이 있다. NLE는 이들 기법에 비하여 변수 수가 많아 복잡하나 결과에 대한 해석의 용이, 개선 방향의 가시화 등의 장점으로 산업 현장에서 들기 작업 분석에 가장 많이 사용되고 있다.

병원에서 일어나는 업무 중 가장 힘든 작업으로 알려져 있는 환자 운반 작업도 들기 혹은 내리기 작업의 일종이나(Marras et al., 1999), NLE는 1인이 수행하는 보통의 양손 들기 작업의 부하를 분석하기 위하여 개발되어 환자 운반 작업에는 적용할 수 없다. 그 이유는 첫째, 환자 운반은 2인 이상이 공동으로 작업을 수행하고, 둘째, 환자는 운반 작업 중 무게 중심이 고정되어 있지 않고 일정 범위 내에서 변하는 불안정한 물체(unstable object)이고, 셋째, 제한된 공간에서 작업을 수행하여 작업자가 원하는 자세를 취하지 못하기 때문이다(NIOSH, 1991). 이러한 이유로 환자 운반 작업의 작업 부하 분석에는 3DSSPP나 EMG-assisted model을 이용하여 L5/S1 compressive force를 계산하여 부하를 추정하는 방법과, OWAS, RULA, REBA 등의 자세 부하 분석 기법이 사용되고 있다.

EMG-assisted model을 사용하기 위해서는 등(back)의 10개 근육에 대한 EMG 신호를 측정하여야 하기 때문에 작업 현장에서 사용하기는 어렵다. 3DSSPP 적용의 경우도 하지와 상지의 각 관절 동작에 대한 수직, 수평 각도를 측정하여야 하고, 생체역학에 대한 기본적 지식을 요구하여 일반인들이 사용하기가 쉽지 않은 문제가 있다. 또한, OWAS, RULA, REBA 등의 자세 부하 분석 기법은 간단하여 사용 편의성은 매우 높으나, 분석 결과의 정확성이 떨어지는 개략적 분석 기법으로 알려져 있어 정확한 부하 분석이 어렵다.

NLE는 자세 부하 분석 기법에 비하여 변수가 많아 적용이 복잡하기는 하나 결과에 대한 신뢰도가 높으며, 분석 과정에서 개선 방향이 드러나는 장점이 있다. NLE는 3DSSPP, EMG-assisted model과 비교할 때 고가의 장비와 소프트웨어 없이, 줄자, 고니오미터(goniometer)와 같은 간편한 도구로 부하를 쉽고 정확하게 분석할 수 있다. 또한, 그 적용 절차도 비교적 간단하여 사용이 용이하다. 이러한 이유로 NLE가 들기 작업 분석에 사용할 수 있는 대표적 기법으로 알려져 있으며, 실제 들기 작업 부하 분석에 가장 많이 사용되고 있다. NLE를 환자 운반 작업에 적용할 수 있다면 위와 같은 NLE가 가지고 있는 장점을 이용할 수 있어 환자 운반 작업 분석 및 개선이 좀 더 용이하여질 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 박스와 같은 물체의 양손 들기 작업과 같은 제한적인 들기 작업 분석에 사용되는 NLE 기법이 환자 운반 작업 분석에 적용 가능한 지를 실제 사례를 통하여 검토하여 보고자 한다. NLE 적용에 여러 제한점이 있어 사용에 많은 한계가 있으나 환자 운반 작업에 적용이 가능하다면 NLE의 적용 범위가 좀 더 일반적인 들기 작업으로 확장될 수 있을 것이다.

2. 방 법

2.1 분석 대상 작업

본 연구에서는 모 종합 병원에서 일어나는 환자 운반 작업을 대상으로 환자 운반 작업 부하 분석에 NLE가 적용 가능한 지를 검토하였다. 환자 운반 작업은 응급실, 병동, 수술실, CT, MRI 촬영실 등 검사를 위한 공간에서 주로 일어난다. 환자 운반은 휠체어에서 침상으로, 침상에서 휠체어로, 침상에서 침상으로 환자를 옮기는 형태로 이루어진다. 휠체어에서 침상으로 혹은 반대 방향으로의 환자 운반은 1~2인이, 침상에서 침상으로 환자를 운반할 때는 2~6인이 통상적으로 수행한다. 본 연구에서는 환자 운반 작업 과정에서 실제 들기 작업이 일어나는 것으로 관찰된 2~6인에 의한 환자 운반 작업 방법을 다룬다.

환자 운반 작업은 작업 인원, 작업자, 작업 공간에 따라 다양한 방법으로 수행되고 있으나, 본 연구에서는 작업 현장 관찰과 담당자와의 면담을 통하여 작업 인원에 따른 대표적 방법을 선정하였다. 환자 운반 방법은 그림 1에 나와 있다. 2인 휠체어 운반 작업에서 한 명은 몸통을, 다른 한 명은 다리 부위를 잡고(그림 1a), 3인 운반 작업은 환자 몸통 부위를 2명이 잡고, 1명은 다리 부위를 잡는 방식으로 이루어진다(그림 1b). 4인 작업에서 한쪽의 작업자 2명은 환자를 들어서 밀어 주고, 다른 쪽 작업자 2명은 환자를 들어서 당긴다(그림 1c). 5인 운반 작업에서는 2인은 침상 위에 올라서서 환자를 들어서 당기고, 3인은 침상 아래에서 환자를 들어

서 밀어주는 방식으로 작업이 이루어진다. 6인 운반 작업은 5인 작업에서와 같이 침상 위에 2명, 아래에 4명이 위치하며 작업 방법은 5인 작업과 같다(그림 1d). 본 연구에서는 작업 인원, 작업자 위치, 환자 성별 및 체중에 따른 56개 단위 작업에 대한 들기 작업의 부하를 분석하였다.

(a) 2인

(b) 3인

(c) 4인

(d) 5~6인

그림 1. 2~6인에 의한 환자 운반 작업 장면

2.2 연구 방법

L5/S1 compressive force 값은 NLE 개발 시 근간으로 사용되었고, 요통의 가장 좋은 예측치(predictor)로 알려져 있다(Herrin et al., 1986). 따라서, 본 연구에서는 L5/S1 compressive force와 NLE LI 값을 비교하여 환자 운반 작업에 NLE 적용이 가능한 지를 검토하였다.

L5/S1 compressive force값은 3DSSPP를 이용하여 구하였다. 산업 현장에서 많이 사용되고 있는 OWAS, RULA, REBA 등의 자세 부하 분석 기법은 결과의 신뢰성 문제로, EMG를 이용한 방법은 현장에서 EMG 사용의 어려움 등의 현실적 이유로, 본 연구에서 사용한 환자 운반 작업 부하 분석 기법에서 배제하였다.

NLE, 3DSSPP 적용을 위하여 환자 운반 작업을 cam-corder로 촬영하고, 현장에서 이에 필요한 자료를 줄자, 고니오미터를 이용하여 측정하였다. NLE 적용 시 사용되는 수평거리는 환자 운반 작업에 따라 35~63cm(63cm를 초과하는 경우는 NLE 적용을 위하여 63cm로 가정함), 수직위치는 침상과 휠체어 높이에 따라 50~100cm 범위에 있었다. 환자운반 작업은 보통 하루 10회 이내 간헐적으로 이루어져 들기 작업 회수는 분당 0.2회 이내, 들기 작업 시간은 1시간 이내로 하였다. 환자 몸에는 손잡이가 없고 무게 중심이 운반 작업 도중에 변할 수 있기 때문에 coupling 계수는 나쁨(poor)으로 하였다.

3DSSPP, NLE를 이용한 환자 운반 작업의 부하 분석을 위하여 다음 가정을 하였다: 1) 운반 작업을 수행하는 간호사 혹은 치료사의 연령은 25~29세이고, 인체 측정치는 기술표준원의 2003~2004년도 한국인 인체치수 조사 자료에 근거하여 평균치로 추정한다(기술표준원, 2005) – 남자의 경우 신장 172.5cm, 체중 70.1kg, 여자의 경우 신장 159.3 cm, 체중 54.8kg; 2) 2인 휠체어 운반과 3인 운반 작업에서 환자 체중은 다리 부위와 이를 제외한 부위로 나누어져 각 작업자에 분산된다. 즉, 두 부위의 체중은 신체 부위별 체중 분포 비율(Chaffin et al., 1991)에 의하면 남자의 경우 다리 부위(발 포함) 남자 11.8%, 여자 9.9%, 다리를 제외한 부위는 남자 88.2%, 여자 90.1%이며, 이 비율에 따라 각 작업자에게 환자 체중이 분산된다. 3인 운반 작업에서 몸통 부위를 잡는 두 작업자에게는 다리 부위를 제외한 체중이 고르게 분산된다; 3) 4인 이상 운반 작업에서 환자 체중은 각 작업자에게 고르게 분산된다.

3. 결 과

3.1 L5/S1 compressive force

3DSSPP를 이용하여 구한 환자 운반 작업의 L5/S1 compressive force 값은 표 1에 정리되어 있다. NLE의

표 1. 환자 운반 작업의 L5/S1 compressive force(N)

작업자 수와 위치		환자 성별	환자 체중			
			50kg	60kg	70kg	80kg
2인 (휠체어에서 침상으로)	몸통 부위	여성	5,271(±423)	6,284(±498)	7,297(±574)	8,310(±637)
		남성	5,158(±414)	6,148(±488)	7,139(±562)	8,141(±649)
	다리 부위	여성	2,462(±188)	2,530(±186)	2,635(±194)	2,720(±201)
		남성	2,544(±188)	2,649(±196)	2,745(±203)	2,852(±211)
2인(침상에서 침상으로)		여성/남성	4,063(±335)	4,697(±384)	5,421(±439)	6,145(±497)
3인	다리 부위	여성	1,592(±115)	1,674(±121)	1,771(±129)	1,858(±136)
		남성	1,677(±122)	1,785(±130)	1,883(±138)	1,989(±147)
	몸통 부위	여성	4,847(±399)	5,386(±449)	6,087(±506)	6,871(±566)
		남성	4,790(±394)	5,321(±443)	5,965(±496)	6,742(±556)
4인		여성/남성	3,095(±244)	3,309(±263)	3,512(±282)	3,706(±300)
5인	침상 아래	여성/남성	3,172(±255)	3,439(±278)	3,700(±301)	3,955(±324)
	침상 위	여성/남성	2,981(±217)	3,149(±229)	3,316(±241)	3,483(±254)
6인	침상 아래	여성/남성	2,946(±235)	3,172(±255)	3,394(±274)	3,614(±293)
	침상 위	여성/남성	2,841(±206)	2,981(±217)	3,120(±227)	3,261(±237)

*괄호 안의 수치는 오차를 나타냄. **3인~6인 운반 작업은 침상에서 침상으로의 들기 작업임.

생체역학적 기준인 행동한계 3,400N, 최대허용한계 6,400 N을 경계로 L5/S1 compressive force 값을 음영으로 구분하였다. 2인 휠체어 운반 작업과 3인 운반 작업은 환자 성별에 따라 나누어 분석하였다. 그 이유는 환자 체중이 운반 작업 시 잡는 신체 부위에 따라 다르게 작업자에게 분산되는 것으로 앞서 가정하였고, 남여 신체 부위별 체중 분포가 다르기 때문이다.

2인이 휠체어에서 침상으로 환자를 운반할 때 다리 부위를 잡는 작업자의 L5/S1 compressive force는 환자 체중이 80kg일 때도 3,000N 이내에 있어 비교적 안전한 작업으로 해석할 수 있다. 그러나, 몸통 부위를 잡는 작업자의 경우는 L5/S1 compressive force가 행동한계를 벗어나고, 환자 체중이 70kg 이상일 때는 최대허용한계를 벗어났다. 2인이 침상에서 침상으로 운반하는 작업은 환자 체중이 50kg일 때부터 행동한계를 벗어나(운반 작업 방법은 4인 작업과 같음, 그림 1c 참조), 개선이 요구되는 위험한 작업으로 분석되었다. 3인이 작업을 할 때 다리 부위를 잡는 작업자의 L5/S1 compressive force는 환자 성별, 체중에 관계없이 2,000N 이내에 있어 부하가 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 몸통 부위를 잡는 두 작업자의 경우는 환자 성별, 체중에 관계없이 행동한계를 초과하고, 환자 체중이 80kg일 때는 최대허용한계를 벗어났다.

4인 작업의 경우에는 환자 체중이 70kg 이상일 경우 행동한계를 벗어났다. 5인 작업에서 침상 위에 올라서서 환자를 들어서 당기는 작업자의 경우 환자 체중이 80kg 미만이면 L5/S1 compressive force가 행동한계 이내에 있으나, 80kg을 초과하면 행동한계를 벗어났다. 침상 아래에서 환자를 운반하는 작업자의 경우는 환자 체중이 60kg 미만일 때는 L5/S1 compressive force가 행동한계 이하이나, 60kg을 초과하면 행동한계보다 크게 나타났다. 6인 작업에서는 환자 체중이 80kg일 때 침상 아래에 있는 작업자의 L5/S1 compressive force가 행동한계를 벗어났으나, 나머지 작업에서는 L5/S1 compressive force가 행동한계 이내에 들었다.

3.2 LI

환자 운반 작업은 종점에서 환자를 조심스럽게 내려놓아야 하는 상당한 조절(significant control)이 요구되므로, 시점과 종점에서 LI를 구하여 큰 값을 선택하였다(표 2). 표 2에서 LI 값은 1.0, 3.0, 6.0을 기준으로 음영으로 구분되어 있다.

휠체어에서 침상으로 환자를 운반하는 2인 작업에서 몸통 부위를 잡는 작업자(왼쪽 작업자)의 경우 LI 값이 6.0을 초과하여 매우 위험한 작업임을 보이고 있다. 침상에서 침상으로 환자를 운반하는 2인 작업과 3인 작업에서 몸통 부위를 잡는 작업의 경우 LI 값이 3.0에 근접하거나 이를 초과하고 있어, 대부분의 작업자에게 힘든 작업이 되어 상당한 위험에 노출되어 있다. 4인 작업에서 환자 체중이 70kg 이상일 경우와 5인 작업에서 침상 아래에서 체중이 80kg 이상인 환

자를 운반하는 경우, LI 값이 2.0을 넘어 많은 작업자에게 근골격계질환을 유발할 수 있는 위험한 수준인 것으로 분석되었다. 2인이 휠체어에서 침상으로 운반하는 작업과 3인 운반에서 다리 부위를 잡는 작업자의 LI 값은 1.0 이내이거나 1.0보다 크더라도 1.5를 넘지 않아 대체로 안전한 작업으로 볼 수 있다. 나머지 환자 운반 작업의 LI 값은 1.0~2.0 범위에 분포하여, 일부 작업자에게 위험한 수준임을 보였다.

2인, 4인 환자 운반 작업(그림 1c)에서 오른쪽 작업자와 같이 나란한 두 침상 중 반대편 침상의 환자를 들거나 내려놓는 경우, 침상 폭으로 인하여(약 60~80cm) 수평거리가 NLE에서 허용하는 최대 63cm를 넘게 된다. 이는 3인 작업의 중앙 작업자, 5~6인 작업의 침상 아래 작업자에게도 해당된다. 본 연구에서는 NLE 적용을 위하여 이 경우 수평거리를 63cm로 가정하여, 표 2에 나와 있는 LI 값은 실제보다 과소평가된 것이라 할 수 있다.

표 2. 환자 운반 작업의 LI

작업자 수와 위치		환자 성별	환자 체중			
			50kg	60kg	70kg	80kg
2인 (휠체어에서 침상으로)	몸통 부위	여성	6.3	7.6	8.9	10.1
		남성	6.2	7.4	8.7	9.9
	다리 부위	여성	0.7	0.9	1.0	1.2
		남성	0.9	1.1	1.2	1.4
2인(침상에서 침상으로)		여성/남성	3.1	3.7	4.3	5.0
3인	다리 부위	여성	0.6	0.7	0.8	0.9
		남성	0.7	0.8	1.0	1.1
	몸통 부위	여성	2.8	3.3	3.9	4.5
		남성	2.7	3.3	3.8	4.4
4인		여성/남성	1.5	1.9	2.2	2.5
5인	침상 아래	여성/남성	1.2	1.5	1.7	2.0
	침상 위	여성/남성	1.0	1.2	1.4	1.6
6인	침상 아래	여성/남성	1.0	1.2	1.4	1.6
	침상 위	여성/남성	0.8	1.0	1.1	1.3

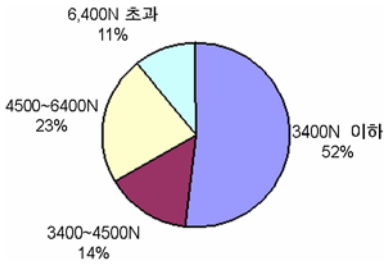
*3인~6인 운반 작업은 침상에서 침상으로의 들기 작업임.

3.3 L5/S1 compressive force와 LI 분포

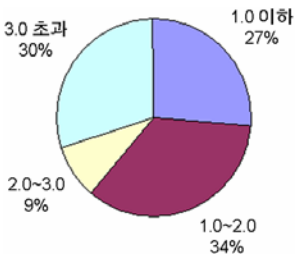
본 연구에서 분석한 56개 단위 작업에 대한 L5/S1 compressive force와 LI 값의 분포는 다음 그림 2에 나와 있다. NIOSH에서는 L5/S1 compressive force 값의 크기에 따라 행동한계 3,400N, 최대허용한계 6,400N을 기준으로 들기 작업의 부하를 분류하고 있다(NIOSH, 1981). L5/S1 compressive force가 행동한계 이내에 있으면 안전한 작업으로, 행동한계와 최대허용한계 사이에 있으면 개선이 요구되는 작업으로 판정한다. 이를 따르면 본 연구의 분석 대상 단위 작업 중 48%, 즉 절반 정도가 개선이 요구되고, 약 11%가 최대허용한계를 초과하고 있다. Chaffin과 Park (1973)에 의하면 L5/S1 compressive force가 4,500N을 초과하면 요통 발병율이 10% 이상으로 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 연구의 단위 작업 중 약 34%가 4,500N을 초과하여 요통 발병율이 10% 이상인 것으로 해석된다.

NIOSH에 의하면 LI 값이 1.0 이내이면 안전한 작업으로, 1.0~2.0 사이 값이면 일부 작업자에게, 2.0~3.0이면 많은 작업자에게, 3.0을 초과하면 대부분의 작업자에게 위험한 작업으로 분류하고 있다(NIOSH, 1991). 본 연구의 대상 단위 작업 중 LI 값이 1.0 이하, 1.0~2.0, 2.0~3.0, 3.0 초과 비율은 각각 27, 34, 9, 30%로 나타났다. 대상 작업 중 73%가 개선이 요구되는 작업으로 분석되었다.

3DSSPP L5/S1 compressive force와 NLE LI에 의한 개선 작업 비율은 각각 약 48%, 73%로, LI에 의한 작업 개선 판정 비율이 높아 NLE가 L5/S1 compressive force에 비하여 보수적인 판정을 하는 것으로 나타났다. LI 값이 1.5 이상인 비율이 3DSSPP L5/S1 compressive force가 3,400N 이상일 비율과 거의 같았다(각 50, 48%).



(a) L5/S1 compressive forces



(b) LIs

그림 2. LI와 L5/S1 compressive force 분포

3.4 L5/S1 compressive force와 LI 관계

NLE LI와 3DSSPP L5/S1 compressive force 값의 상

관 계수가 0.92(p<0.001)에 이르러, 매우 높은 양의 선형 관계에 있음을 보여주었다. 이러한 선형 관계는 그림 3에 잘 나타나 있으며, NLE LI 값이 증가함에 따라 3DSSPP L5/S1 compressive force 값도 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 선형 관계는 다음 선형 회귀식의 결정계수(R^2) 값이 0.84로 높은 점에서도 알 수 있다. 따라서, NLE를 이용하여 환자 운반 작업의 작업 부하를 평가하여도 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

L5/S1 compressive force =

$$2209.3 + 635.4*LI(R^2: 0.84) \quad (1)$$

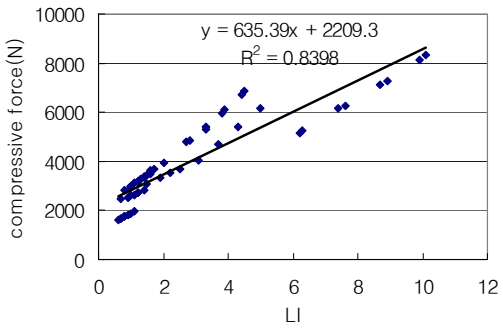


그림 3. LI와 L5/S1 compressive force의 관계

NLE LI와 3DSSPP L5/S1 compressive force 값의 선형 회귀식과 NIOSH의 L5/S1 compressive force 값의 크기에 따른 구분을 바탕으로, 환자 운반 작업의 개선 여부에 대한 LI 경계를 다음과 같이 제시한다.

1) 식 1)에서 L5/S1 compressive force의 행동한계 3,400N에 대한 LI는 약 1.8이었으나, 본 연구에서 분석한 단위 작업의 L5/S1 compressive force가 3,400N 이상일 비율이 LI가 1.5 이상일 비율과 거의 같은 점과 사용 편의성을 고려하여 LI 값이 1.5 이상이면 개선이 요구되는 작업으로 판정한다.

2) 식 1)을 이용하여 L5/S1 compressive force 최대허용한계 6,400N에 대한 LI 값을 구하면 약 6.5로 나오므로, LI 6.5를 최대허용한계로 한다.

3) L5/S1 compressive force 4,500N을 초과하면 요통 발병율이 10% 이상으로 높아지는 것으로 알려져 있고, 식 1)에서 이에 해당하는 LI 값이 약 3.5로 나와, 환자 운반 작업에서 LI가 3.5를 초과하면 요통 발병율이 상당하므로 주의가 요구된다.

4. 토 의

본 연구에서는 원칙적으로 NLE 적용 영역이 아닌 병원에서 일어나는 환자 운반 작업에, NLE를 적용하여 들기 작업 부하 분석이 가능한 지를 3DSSPP를 이용한 L5/S1 compressive force 값과의 비교를 통하여 검토하였다. 두 침상을 나란히 붙여 놓고 환자를 운반하는 작업에서 병원 침상 너비로 인하여, 수평거리가 NIOSH에서 허용하는 최대 63 cm를 넘을 때 63cm로 가정하고 NLE를 적용하여 실제보다 LI 값이 저평가되는 경우가 발생하였음에도, 3DSSPP L5/S1 compressive force 값과 NLE LI 값이 강한 양의 선형 관계를 보였다. 이는 환자 운반 작업 부하 분석에도 NLE 적용이 가능함을 보여준 것이라 할 수 있다.

Chaffin과 Park(1973)에 의하면 L5/S1 compressive force가 4,500N 이상이면 요통 발병율이 10% 이상으로 높고, NIOSH에 의하면 NLE LI 값이 3.0 이상이면 대부분의 작업자에게 위험한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 제시한 L5/S1 compressive force와 LI 값의 선형 회귀식을 이용하여 L5/S1 compressive force 4,500N에 해당하는 LI 값을 추정하면 3.5가 되어, 위의 기존 연구 결과와 거의 일치함을 보이고 있다.

Karwowski et al.(1994)은 L5/S1 compressive force와 LI가 강한 양의 선형 관계를 보이고, 상관 계수가 들기 작업의 시점과 종점에서 각각 0.85, 0.84에 이름을 보였다. 본 연구에서도 강한 양의 상관 관계를 제시하여 이들의 연구와 일치하고 있다. 이들은 또한 들기 작업의 시점과 종점에서 L5/S1 compressive force와 LI간의 선형 관계식을 제시하였다. Karwowski et al.(1994)과 본 연구의 선형 회귀식을 이용한 NIOSH, 기존 연구 등에서 경계값으로 사용하는 L5/S1 compressive force 값에 대한 LI 값은 다음 표 3과 같다. 표 3에서 보는 바와 같이 Karwowski et al.(1994)의 L5/S1 compressive force에 상응하는 LI 값이 본 연구에서 보다 높게 나타났다. 이러한 차이는 다음의 이유 때문으로 판단된다: 1) 본 연구에서 환자 운반 작업에 NLE 적용 시 63cm가 넘는 수평거리를 63cm로 가정하여 LI가 과소평가되었다; 2) NLE는 동작의 제약이 없고 무게 중심이 고정되어 있는 등 비교적 원만한 환경에서 이루어지는 들기 작업에 적용할 수 있으나, 본 연구에서 다룬 환자 운반 작업은 그러하지 못하여 계산된 LI 값이 실제보다 과소평가되었다; 3) 기존 연구와 적용 업종이 서로 다르다.

Karwowski et al.(1994)이 제시한 회귀식에 의하면 L5/S1 compressive force 3,400N에 대한 LI 값이 시점과 종점에서 3.3, 5.7로 본 연구의 1.8보다 크게 높아, 본 연구에서 제시한 LI 값 1.5가 아닌 원래의 NLE에서와 같이 1.0

표 3. 본 연구와 Karwowski et al.(1994)의 L5/S1 compressive force와 LI

Compressive force \ LI	본 연구	Karwowski et al.(1994)	
		시 점	종 점
3,400N	1.8	3.3	5.7
4,500N	3.5	4.8	7.5
6,400N	6.5	7.4	10.8

을 기준으로 개선 여부를 판정하여도 큰 문제가 없을 것으로 보인다. Wang et al.(1998)과 Waters et al.(1999)은 NLE 관련 연구에서 LI 값이 1.7~2.0을 넘으면 요통 발병이 증가함을 보고하였다. Karwowski와 Brokaw(1992)는 1991년 NLE 공식이 1981년 공식에 비하여 작업을 안전하다고 판정하는 경우보다 개선이 요구되는 부하가 큰 작업으로 판정하는 경향이 있음을 밝혔다. 이는 본 연구에서 개선 대상 작업 비율이 L5/S1 compressive force로 판정할 때보다 NLE LI 값으로 판정할 때 높게 나타난 것과 일치한다. 또한, 기존 연구 결과는 본 연구에서 개선 여부를 판정하는 기준을 LI 값 1.0이 아닌 1.5로 제시한 것에 타당성이 있음을 보여준 것이라 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 환자 운반 작업에 대한 NLE LI와 3-DSSPP를 이용하여 구한 L5/S1 compressive force 값을 비교하여, 병원 환자 운반 작업에 NLE가 적용 가능함을 보였다. 기존 NLE에서는 LI 값 1.0을 기준으로 개선 여부를 판정하였으나, 본 연구에서는 1.5를 기준으로 제시하였다. 또한, L5/S1 compressive force가 4,500N을 초과하면 요통 발병율이 10% 이상이 된다는 Chaffin과 Park(1973)의 연구 결과를 바탕으로, 이에 상응하는 LI 값 3.5가 넘으면 요통 발병율이 크게 증가함을 알리는 새로운 경계값을 추가하여 NLE의 사용성을 제고하였다.

본 연구의 결과로 NLE 적용이 어려운 분야로 알려진 환자 운반 작업에 적용 가능성이 제시되어, 3DSSPP와 같은 전문적 소프트웨어나 EMG 등의 고가의 기기 없이 좀 더 쉽고 정확하게 환자 운반 작업의 부하를 평가할 수 있을 것으로 기대된다. NLE는 Excel 등에 기반한 간단한 소프트웨어를 사용하면 쉽게 적용할 수 있어(정병용 등, 2005), 3-DSSPP, EMG-assisted model에 비하여 실용성이 높다. 환자 운반 작업에 NLE를 적용함으로써 여타 들기 작업 분석 기법에 비하여 좀 더 정확한 정량적 결과를 얻을 수 있을 뿐 아니라, 개선 방향을 쉽게 파악할 수 있어 작업 개선안 수립에도 도움이 될 것으로 판단된다. 병원에서 근골격계질환 예방 업무를 담당하는 대부분의 안전 혹은 보건관리자들이 NLE에 비하여 3DSSPP나 EMG-assisted model을 잘 알지 못하거나 전혀 모르고 있는 실정을 감안할 때, 본 연구의 결과로 환자 운반 작업 분석에 NLE를 적용할 수 있게 되어 예방 업무 수행에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 운반 작업 중 환자 체중의 중심이 고정되어 있고, 체중이 들기 작업에 참여하는 작업자에게 고르게 분산되는 것으로 가정하였으나, 환자 운반 작업 도중 환자 체중의 중심이 변화하며 2인 이상의 공동 들기 작업에서는 환자 체중이 작업자에 따라 다르게 분산될 수 있다. 따라서, 좀 더 정확한 결과를 얻기 위해서는 이를 고려한 추후 연구가 요망된다.

참고 문헌

기도형, 정민근, 포항지역에서 발생한 요통재해의 발병 원인별 특성 분석, *산업공학*, 8(4), 145-154, 1995.

기술표준원, 한국인 인체측정조사자료 [http://sizekorea.ats.go.kr/], 2005.

정병용, 이종협, 김국, 유해 요인 조사용 평가 소프트웨어 개발, *대한인간공학회지*, 24(4), 79-83, 2005.

Chaffin, D. B., Andersson, G. B J. and Martin, B. J., *Occupational biomechanics*, 3rd ed., John Wiley & Sons, 1991.

Chaffin, D. B. and Park, K. S., A longitudinal study of low-back pain as associated with occupational weight lifting factors, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 47, 322-330, 1986.

Herrin, G. G., Jariedi, M. and Anderson, C. K., Prediction of overexertion injuries using biomechanical and psychophysical models, *American Industrial Hygiene Association Joyurnal*, 34(12), 513-525, 1973.

Karwowski, W. and Brokaw, N., "Implications of the proposed revisions in a draft Revised NIOSH lifting guide(1991) for job redesign: a field study", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 36th Annual Meeting*, 2(pp. 659-663), 1992.

Karwowski, W., Caldwell, M. and Gaddie, P., "Relationships between the NIOSH(1991) lifting index, compressive and shear forces on the lumbosacral joint, and low back injury incidence rate based on industrial field study", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting*, 1(pp. 654-657), 1994.

Marras, W. S., Davis, K. G., Kirking, B. C. and Bertsche, P. K., A comprehensive analysis of low-back disorder risk and spinal loading during the transferring and repositioning of patients using different techniques, *Ergonomics*, 42(7), 904-926, 1999.

Mital, A., Pennathur, A. and Kansal, A., Nonfatal occupational injuries in the United States Part II - back injuries, International Journal of *Industrial Ergonomics*, 25, 131-150, 1999.

NIOSH, *Work practices guide for manual lifting*, DHHS(NIOSH) Publication, 1981.

NIOSH, *Applications manual for the revised 1991 NIOSH lifting equation*, DHHS (NIOSH) Publication, 1991.

Snook, S. H. and Ciriello, V. M., The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces, *Ergonomics*, 34(9), 1197-1213, 1991.

Wang, M-J., Garg, A., Chang, Y-C., Shih, Y-C., Yeh, W-Y. and Lee, C-L., The relationship between low back discomfort ratings and the NIOSH lifting index, *Human Factors*, 40(3), 509-515, 1998.

Washington State, WAC 296-62-05174[http://www.lni.wa.gov/wisha], 2000.

Waters, T. R., Baron, S. L., Piacitelli, L. A., Anderson, V. P., Skov, T., Haring-Sweeney, M., Wall, D. K. and Fine, L. J., Evaluation of the revised NIOSH lifting equation, *Spine*, 24, 386-395, 1999.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V, Garg, A. and Fine, L. J., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomics*, 36(7), 749-776, 1993.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 기 도 형 ❖ dhkee@kmu.ac.kr
포항공과대학교 산업공학과 박사
현 재: 계명대학교 산업시스템공학과 교수
주요 관심분야: 산업안전, 생체역학, 근골격계질환

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 03월 29일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 05월 03일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 05월 06일