

들기작업 시 몸통각도와 상완각도가 작업부담에 미치는 영향에 관한 연구

장성록* · 박형구*

부경대학교 안전공학부 · *부경대학교 안전공학과
(2008. 8. 15. 접수 / 2009. 3. 23. 채택)

A Study of the Effects of the Trunk Angles and the Upper Arm Angles on Workloads in the Lifting Work

Seong Rok Chang* · Hyung Gu Park*

Division of Safety Engineering, Pukyong University
*Department of Safety Engineering, Pukyong University
(Received August 15, 2008 / Accepted March 23, 2009)

Abstract : It is well-known that lifting capacity of a worker is influenced by body posture during the task. When a task analyst make use of RULA and REBA Trunk and upper arm angles are recorded in a separate item. It means that the interaction between the angles of two body segments may be ignored in a final score. The NLE(NIOSH Lifting Equation) has been used to supplement this problem. However, there is no study to validate the result of RWL (Recommended Workload Limit) under the existence of interactions between trunk and upper arm angles. The goal of this study was to assess the effect of the interaction between trunk and upper arm angles. Three responses, including NMVC(normalized maximum voluntary contraction), RWL(Recommended Weight Limit) and subjective judgment in psychophysical method (Borg's scale), were recorded according to the combinations of three trunk angles and nine upper arm angles. The results showed that lifting capacity is highly influenced by interaction of two body segments(trunk and upper arm). It means that the task workload has to be analyzed along with the interaction of trunk angles and upper arm angles when the task analyst assesses potential risk factors on the postures. This study may be able to be a fundamental study to develop an assessment method for lifting task analyses according to body postures.
Key Words : lifting capacity, MVC, RWL, trunk angle, upper arm angle, borg's scale

1. 서론

작업관련 근골격계질환(Work-related Musculoskeletal Disorders, 이하 WMSDs)이란, 특정 신체부위 및 근육의 과도한 사용으로 인해 근육, 관절, 혈관, 신경 등에 미세한 손상이 발생하여 손, 손목, 팔목, 어깨, 목, 견갑골, 허리 등에 주로 나타나는 만성적인 건강장해를 말한다. 미국의 경우 2001년 전체 산업재해환자 중 34%가 근골격계질환자로, 이에 따른 연간 작업손실일수가 620,000일에 달하며, 한해 \$150억~200억의 보상비가 지급되었다¹⁾. 국내의 경우 작업관련 근골격계질환자 수는 2001년부터 2003년까지 증가세를 보였으나, 2004년과 2005년에는

감소하는 추세를 보였다. 그러나 산재통계 인정기준이 바뀌면서 2006년에는 근골격계질환자 수가 급격하게 증가하였으며, 2007년에는 2006년보다 1490명이 증가한 7723명으로 집계되었다²⁾. 아래의 Fig. 1은 연도별 작업관련 근골격계질환자 수의 변화 추이를 나타내었다.

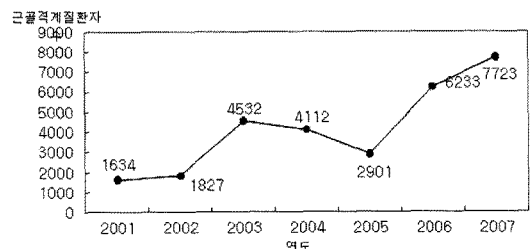


Fig. 1. Number of WMSDs according to years,

* To whom correspondence should be addressed.
srchang@pknu.ac.kr

산업현장의 기계화 확산에도 불구하고, 과도한 인력운반(Manual Materials Handling, 이하 MMH)작업으로 인해 발생하는 근골격계질환은 여전히 작업시간의 손실, 비용 증가, 그리고 신체장애를 야기하는 중대한 원인으로 대두되고 있다³⁾.

MMH작업에 의한 근골격계질환의 발생은 작업자의 순간적인 실수에 기인한 사고성 재해인 경우도 있으나, 부자연스러운 작업자세나 인간의 능력한계를 고려하지 않은 작업부하, 잘못된 설계된 작업공간 등과 같은 구조적 원인에 의해 만성적으로 누적되어 온 피로가 결과적으로 나타나는 경우가 대부분을 차지하고 있다.

근골격계질환이 산업재해 중 핵심요인으로 부각됨에 따라, 근골격계질환을 예방하기 위해 많은 사업장에서 작업평가를 실시하고 있다. 조선업 및 제조업에서는 작업평가의 기법으로 Rapid Upper Limb Assessment⁴⁾ (이하, RULA)와 Rapid Entire Body Assessment⁵⁾ (이하, REBA)가 주로 사용되고 있다. RULA와 REBA 평가기법은, 작업 자세, 발휘근력, 반복성 등의 분석을 통해 간편하게 작업의 유해성을 평가하는 기법이다. 현재 사용되고 있는 RULA와 REBA의 평가기법에서는 몸통의 각도와 상완의 각도가 평가 group의 한 부분으로서 점수를 환산하는데 영향을 주게 된다.

RULA와 REBA에서는 몸통의 각도와 상완의 각도가 별개의 체크항목이며, 상호 연관성에 대한 내용이 없으므로 들기 작업에서는 몸통의 각도와 상완의 각도에 따라 정확한 평가에 한계가 있다. 이러한 점을 보완하여 NIOSH Lifting Equation(이하, NLE) 기법을 사용해왔다⁶⁾. 하지만, NLE기법은 중량물 취급 작업의 평가를 주된 목적으로 만들어졌으며, 제한된 조건아래에서 적용이 가능하다. 이러한 점을 고려할 때, MMH작업에 있어서 몸통의 각도가 결정되었을 때 상완의 각도를 고려하여 보다 보편적인 작업평가의 방법을 재설계할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 몸통각도와 상완각도의 변화에 따른 최대발휘근력과 주관적 불편도, NLE를 적용한 Recommended Weight Limit(이하, RWL)를 산출하여 상호 관계를 알아봄으로써, 몸통각도와 상완각도가 들기작업 시 미치는 영향을 분석하여 작업평가기법의 재설계 및 수정에 관한 기초자료 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 실험 설계 및 방법

2.1. 피실험자 선정

Table 1. Summarized characteristics of subjects

	age(years)	weight(kg)	height(cm)	BMI
average	24.4	72.7	178.4	22.7
S.D.	1.16	12.90	8.16	2.7
maximum	27	88	188	25.2
minimum	23	50	162	16.1

본 실험은 근육 및 신경계통에 병력이 없는 건강한 20대 남자를 대상으로 실시하였다. 피실험자들의 개인적 신체 특성이나 컨디션의 차이 등에 의한 실험결과와의 편차를 줄이기 위해 많은 인간공학 관련 연구에서는 피실험자의 수를 10~15명으로 결정하여 실험을 하였다^{7,8)}. 따라서 본 실험에서도 이러한 영향을 최소화하기 위해 과거에 근골격계질환의 병력이 없는 피실험자 12명을 선정하였다. 피실험자가 실제로 실험을 수행하기 전에 실험의 내용 및 방법, 절차 등에 대하여 설명하였으며 특히, 주관적 불편도 값 작성에 대한 이해도를 높여 보다 정확한 측정이 되도록 하였다. 그리고 최근 근력운동을 하고 있는 사람과 평균이상으로 상지 근력이 발달하거나 또는 발달하지 않은 피실험자는 제외하였으며 가급적 비슷한 체격의 사람을 대상으로 실험을 실시하였다. 아래의 Table 1에 피실험자의 인체특성 자료를 정리하여 나타내었다.

2.2. 실험기기

본 실험에서는 근력 측정을 위하여 dynamometer, 스트레인게이지, 실험을 위해 제작된 바(bar)를 사용하였으며, 실험장비의 배치는 Fig. 2와 같다.

2.3. 실험변수

본 실험에서의 관심인자는 몸통의 각도와 위팔의 각도, 관심인자들의 조합에 따른 종속변수로는 MVC(Maximum Voluntary Contraction), 주관적 불편도, RWL이다. 몸통의 각도는 곧바로 선 자세를 0°로 정의하고, 상체를 앞으로 숙인 자세에서 hip joint

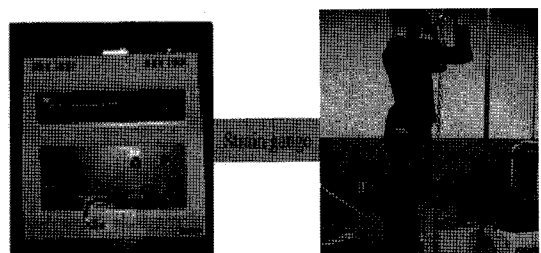


Fig. 2. Strain gauge and other experimental equipments.

Table 2. Experimental variables

독립변수	종속변수	조절변수
몸통의 각도 위팔(어깨)의 각도	MVC 주관적 불편도 RWL	아래팔의 각도

의 각도에 따라 0°, 30°, 60°의 3 수준으로 정했다. 또 위팔의 각도는 각각의 몸통각도에서 몸통과 위팔이 일직선 일 때 0°로 정의하고, -30°, -20°, 0°, 20°, 30°, 45°, 70°, 90°, 110°의 9개 수준으로 실험하였다. 본 연구에 사용된 실험변수를 다음의 Table 2에 정리하였다.

2.4. 실험방법

피실험자가 실험실에 도착한 후 실험순서에 대한 브리핑과 간단한 준비운동이 먼저 실시되었다. 최대발휘근력 측정 시 취해야 하는 자세에 대한 설명과 자세의 시범이 본 실험 이전에 이루어졌다. 본 실험에서는, 기존 RULA와 REBA에서 사용되는 몸통과 어깨 각도에 따라 아래팔의 각도를 최대 힘을 낼 수 있는 각도인 90°~100°로 고정한 후, 바를 수직방향으로 들어 올려 언더핸드 그림의 방법으로 바(bar)를 잡고 최대발휘근력을 측정하였다. 최대발휘근력은 해당 자세에서 3~5초 동안 바(bar)를 잡아당겨 가장 큰 힘이 발휘된 순간으로 기록되었다⁹⁾. 각 총 27개의 실험조건에 대한 실험순서는 완전 랜덤화하였다. 실험조건이 바뀔 때마다 5분의 휴식시간을 두어 근육피로로 인한 영향을 배제하고 재현실험의 정확성을 유지하도록 하였다. 또한, 몸통각도와 상완각도에 따른 각각의 자세에서 1회 실험 실시 후 Table 3의 Borg's scale을 이용하

Table 3. Modified Borg's CR-10 rating scale

Scale	Rating
10	Extremely strong(Almost maximum)
9	
8	
7	Very strong
6	
5	Strong
4	
3	Moderate
2	Weak
1	Very weak
0.5	Extremely weak(Just noticeable)
0	Nothing at all

여 해당 자세의 주관적 불편도를 기록하였다. RWL 값은 NIOSH 들기 작업 지침을 이용하여 작업 점의 수직위치와 수평거리의 변화에 따른 RWL을 산출하였다. 수직위치와 수평거리만을 이용하여 RWL을 산출하기 위하여, 거리계수, 비대칭계수, 빈도계수, 커플링계수는 '1'로 설정하였다.

3. 결과와 토의

3.1. NMVC 분석 결과

피실험자 12명의 실험 결과 측정된 발휘근력을 최대발휘근력 기준으로 표준화 하였다¹⁰⁾. 표준화된 최대발휘근력 값(normalized Maximum Voluntary Contraction, 이하 NMVC)을 구하기 위해 각 피험자의 27가지 자세에서의 MVC 값 중 가장 큰 값이 NMVC의 분모 값으로 사용되었다. NMVC의 분모 값으로 사용된 값들은 주로 상지의 각도가 30°, 45°, -30°에서 관측 되었다.

각 피실험자 i 의 표준화 MVC 는 다음의 식 (1) 과 같이 정의되었다.

$$NMVC_i(x) = \frac{MVC_i(x)}{MVC_i(max)} \quad (1)$$

여기서, $NMVC(x)$ = 피실험자 i 의 변수 x 에서의 표준화값

$MVC_i(x)$ = 피실험자 i 의 변수 x 에서의 최대발휘근력값

$MVC_i(max)$ = 피실험자 i 의 최대발휘근력 값의 최대값

2-way ANOVA 통계모델을 이용한 분석에 앞서 잔차를 이용한 정규성검정과 동일분산검정을 통해 모델의 적합성을 검증하였다. 정규성과 동일분산 가정을 만족시키지 못한 데이터는 Arcsine과 Natural log를 이용하여 가정한 모델에 적합시켰다¹¹⁾. 또한, 각각의 피실험자를 블록으로 처리하여 피실험자간의 개인차에 의한 잡음을 제거하였다.

Table 4는 통계프로그램인 SAS®와 Minitab®을 사용하여 최대발휘근력에 대한 몸통의 각도와 상완의 각도 그리고 몸통과 상완의 상호작용을 분산분석(Analysis of Variance; ANOVA)을 통해 얻은 결과이다. 분산분석 결과 몸통각도와 상완각도 그리고 몸통과 상완각도 간의 상호작용 모두가 매우 유의하게 나타났다. 즉, 몸통각도와 상완각도 및 두

Table 4. Results of ANOVA for NMVC

	Degree of freedom	Mean Square	F value	p-value
Trunk Angle	2	1.598	141.17	<.0001
Upper Arm Angle	8	0.781	68.95	<.0001
Trunk Angle * Upper Arm Angle	16	0.136	12.04	<.0001
Block (Subject)	11	0.026	2.31	0.01
Error	286	0.011		
Corrected Total	323			

변수의 상호작용 효과는 최대발휘근력에 유의한 영향을 준다고 할 수 있다. 상호작용이 유의한 결과를 보였으므로, 상호작용에 관한 사후검정은 Bonferroni 방법을 이용하였다.

Fig. 3은 각 수준의 몸통각도와 상완의 각도에 따른 NMVC값들의 교호작용을 나타내고 있다. 몸통의 각도에 따라 NMVC를 비교했을 때 몸통각도가 0°일 때 가장 큰 근력을 발휘하였으며, 몸통의 각도가 증가할수록 NMVC는 감소하였다. RULA와 REBA의 이론적 근거에 따르면 몸통의 각도가 0°일 때 부담정도가 가장 적으며, 0°에서 증가하거나, 감소할 때 부담정도가 커진다고 알려져 있으므로, 본 연구의 결과와 일치한다고 할 수 있다.

Bonferroni 방법을 이용한 교호작용의 사후분석 결과, 몸통각도가 0°이고 상완각도가 -30°일 때와 45°일 때 나머지 상완각도의 수준들과 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이는 몸통각도 0°일 때 상완각도의 변화에 따라 작업점이 몸의 중심으로부터 거리의 차이(수평거리)가 크게 변하지 않기 때문에 NMVC값이 크게 변하지 않는 것으로 사료된다.

몸통각도 30°와 60°에서 NMVC 값은 상완의 각도가 증가함에 따라 지속적인 감소추세를 보였으

나, 몸통각도에 대한 사후분석 결과 두 레벨의 몸통각도 사이에서는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 즉, 상체가 직립했을 때 -몸통각도 0°일 때- 보다 큰 근력을 발휘할 수 있지만, 몸통각도가 30°와 60° 사이에 있을 때에는 유의한 차이가 없는 것으로 보인다. 위의 결과는 Bonferroni 방법을 이용한 교호작용의 사후분석 결과에서도 확인되었다. 즉, 모든 수준의 상완각도에서 두 수준의 몸통각도(30°와 60°)는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 관찰되었다. 그러나 몸통각도 0°와 몸통각도 30°, 60°일 때를 비교하면, 상완의 각도가 증가함에 따라 두 그룹 사이(몸통각도 0° vs. 몸통각도 30°, 60°)에는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(유의수준 $p < 0.05$). 특히, 상완의 각도가 20° 이상에서 유의한 차이를 나타내었으며(유의수준 $p < 0.05$), 상완각도가 0°, -20°, -30°일 때 세 레벨의 몸통각도 사이에 유의한 차이가 관찰 되지 않았다.

이를 정리하면, 상완의 각도가 0° 미만일 때는 몸통각도에 의한 차이가 유의 하지 않으며, 상완의 각도가 20° 이상이고, 몸통각도가 30° 이상일 때는 발휘근력이 감소하는 추세를 관측하였다. 이는 몸통의 각도가 30°이상 일 때 상완각도가 증가함에 따라 작업점이 몸의 중심으로부터 멀어지기 때문에 NMVC값이 감소하는 것으로 사료된다. Huxley의 Sliding Filament Model에 기초한 근육의 Length-Tension Relationship에 따르면, 근이 이완 되었을 때 액틴과 마이오신 사이의 겹치는 부분이 감소하여 발휘 근력이 감소하는 것으로 알려져 있다^[2,13]. 즉, 몸통각도와 상완각도가 증가함에 따라 작업 점은 몸통에서 점점 멀어지며, 동시에 들기 작업에 동원되는 근육 또한 이완되어 발휘근력이 감소하는 것으로 보인다.

Interaction Plot for NMVC
Fitted Means

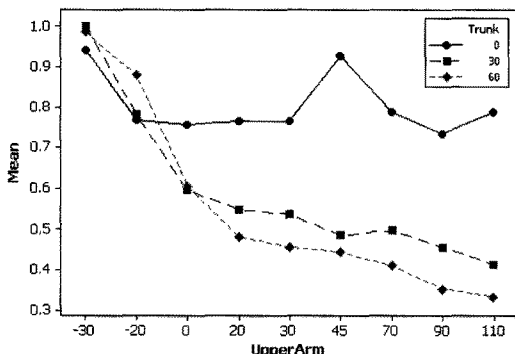


Fig. 3. Interaction plot for NMVC according to trunk angles.

3.2. RWL 분석 결과와 상관분석

몸통각도(0°, 30°, 60°)에 따른 상완각도(110°, 90°, 70°, 45°, 30°, 20°, 0°, -20°, -30°)에서 수직위치와 수평거리에 따른 RWL 값을 그래프로 나타낸 결과는 다음의 Fig. 4와 같다.

RWL 값의 계산 결과, 상체의 각도에 따른 차이가 현저하지 않았으며, 특히 NMVC 실험값들의 통계적 분석을 통해 유의한 차이가 있는 것으로 관찰된 몸통각도 0°와 30°, 60° 사이에서도 유의한 차이가 없는 것으로 관찰되었다. Fig. 4를 통한 정성적인 분석에서도 몸통각도에 따른 현저한 차이가

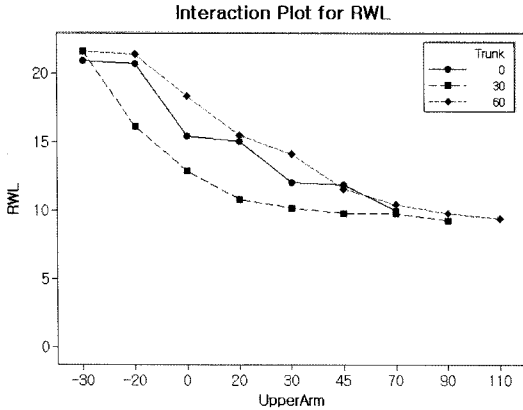


Fig. 4. Interaction plot for RWL according to trunk angles (Unit: Kg).

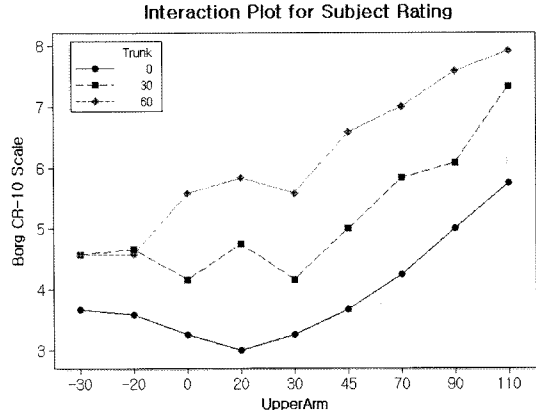


Fig. 5. Interaction plot for Borg CR 10-Scale according to trunk angles.

Table 5. Results of correlation analyses between NMVC and RWL according to trunk angles

	Trunk : 0°	Trunk : 30°	Trunk : 60°	Total
Correlation Coefficient (p-value)	0.167 (0.0831)	0.763 (<.0001)	0.791 (<.0001)	0.539 (<.0001)

관측되지 않았으나, 상완의 각도에 따른 지속적인 RWL의 감소를 관찰하였다. 이러한 관측은 상완각도에 따른 NMVC 값의 변화와 유사하다.

실험을 통해 얻어진 NMVC 값과 계산식을 이용해 얻어진 RWL 값 사이의 연관성을 알아보고 유해 위험작업 분석에 NLE 사용의 타당성을 입증하기 위해 상관분석이 이루어졌다.

제한된 RWL 데이터 값이 본 연구에서 얻어졌으며, 자료의 불연속적인 특성으로 인해 비모수검정 방법인 Spearman Rank Test가 상관분석에 사용되었다(Table 5).

Spearman Rank Test 결과 NMVC와 RWL은 통계적으로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다($\rho = 0.539$, $p\text{-value} < 0.0001$). 그림을 통한 정성적 분석에서 NMVC와 RWL이 몸통각도에 따라 다른 결과를 보이는 것으로 관측 되었으므로, 세 수준의 몸통각도에 따라 Spearman Rank Test가 이루어 졌다. 몸통각도가 0°일 때 NMVC와 RWL 사이에는 통계적으로 유의한 상관관계가 없는 것으로 관찰되었다($\rho = 0.167$, $p\text{-value} = 0.0831$). 그러나 몸통각도 30°와 60°에서는 매우 유의한 상관관계를 보였다 ($\rho = 0.763$, $p\text{-value} < 0.0001$), ($\rho = 0.791$, $p\text{-value} < 0.0001$). 특히, 몸통각도가 60°일 때 Spearman ρ 상관계수는 더욱 증가하였다. 즉, 본 연구의 실험 조건하에서는 몸통각도가 증가 할수록 RWL 값은 보다 정확히

작업능력을 나타내어 준다고 할 수 있다.

3.3. 주관적 불편도 측정 결과

Fig. 5는 각 피실험자의 몸통각도(0°, 30°, 60°)에 따른 상완각도(110°, 90°, 70°, 45°, 30°, 20°, 0°, -20°, -30°)에서 주관적 불편도의 응답 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

RULA와 REBA의 이론에 따르면 상완의 각도가 0°일 때 부담정도가 가장 적으며, 0°에서 각도가 증가하거나, 감소할 때 부담정도가 커진다고 알려져 있으나, 상완각도가 감소함에 따라 주관적 불편도 값도 함께 감소하는 결과를 보였다. 위 결과는 NMVC와 RWL 결과에서 나타난 것과 동일하다.

통계적 분석을 위해 각 피실험자의 몸통각도(0°, 30°, 60°)에 따른 상완각도(110°, 90°, 70°, 45°, 30°, 20°, 0°, -20°, -30°)에서 Borg CR-10 Scale을 이용해 측정된 주관적 불편도는 잔차를 이용한 정규성검정 (Anderson-Darling Normality test)과 동일분산검정 (Bartlett's Test and Levene's Test)을 만족시키지 못 하지 못하여, Friedman 2-way 비모수검정 방법을 이용해 분석하였다(Table 6, 7).

Friedman Test 결과, 몸통각도와 상완각도 모두 매우 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 몸통의 각도와 상완의 각도는 주관적 불편도에 영향을 준다고 할 수 있다. 결과에 따르면, 몸통의 각도가 커질수록 주관적 불편도는 증가 하였으며, 상완의 각도가 커질수록 주관적 불편도가 증가하였다. 위 결과는 NMVC의 결과와 일치 하였으나, 몸통각도에 따라 유의한 차이를 보이지 않은 RWL의 결과와는 상반된 것이다. 한편, 상완각도에 따른 차이는 RWL과 동일한 결과를 나타내었다.

Table 6. Results of Friedman test for subjective ratings in terms of trunk angles

	Degree of freedom	Mean Square	F value	p-value
Trunk Angle	2	2165.24	45.97	<.0001
Block(Subj)	11	0	0	
Error	297	47.10		
Corrected Total	323			

Table 7. Results of Friedman test for subjective ratings in terms of upper arm angles

	Degree of freedom	Mean Square	F	p-value
Upper Arm Angle	2	658.44	14.65	<.0001
Block(Subject)	11	0	0	
Error	297	44.95		
Corrected Total	323			

4. 결론

본 연구의 실험에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 몸통각도와 상완각도는 작업자의 최대발휘근력 및 주관적 불편도 평가에 유의한 영향을 주었다. 직립한 상태(몸통각도 0°)에서 NMVC 값은 가장 높게 나타났으며, 몸통이 앞으로 굽혀짐에 따라 NMVC 값도 감소하였다. 그러나 NLE에 의해 계산한 RWL 값은 몸통각도 60°일 때가 몸통각도 0°, 30°일 때 보다 오히려 높았다. 이와 같은 결과는 매우 단순한 상지의 생체역학 모델을 이용한 요추부위의 부하 계산에서 얻을 수 있는 결과와도 상이하다 (e.g., shearing force). 즉, 몸통이 앞으로 굽혀짐에 따라 요추부위의 부하는 현저히 증가하나 RWL 값은 이러한 경향을 따르지 않았다.

한편, 위의 결과는 주관적 불편도 평가에서도 비슷한 경향을 보였다. 즉, 몸통이 직립할수록 주관적 불편도는 감소하는 것으로 나타났다. 위와 같은 결과는 NMVC와 RWL의 상관분석을 통해 다시 확인하였다. 즉, 몸통의 각도가 30°와 60°일 때는 0.8에 가까운 상관계수를 보였으나, 몸통의 각도가 0°일 때는 상관계수가 0.16에 지나지 않았다.

본 연구를 통해 RWL 값과 최대발휘근력과의 차이를 보였다. 그러나 실제로 요추부위의 부하를 평가하기 위해서는 EMG를 이용한 척추기립근의 근육사용량과 요추부위에 걸리는 Passive Tissue Moment의 관찰을 통해 RWL값의 유용성 여부를 다시 판

단하여야 할 것으로 보인다.

2) 몸통이 앞으로 굽혀졌을 시(몸통각도 30°, 60°)에는 상완의 각도가 몸통의 각도와 수평이 되는 각도보다 몸 뒤쪽으로 신전되는 상완의 각도에서 최대발휘근력이 현저히 증가하였다. 특히, 몸통의 각도가 30°와 60°일 때, 상완의 각도가 20°~30°사이에서 최대발휘근력은 급격히 증가하였다. 위 결과는 상완각도가 몸 뒤쪽으로 신전될 때 작업점의 수평거리가 감소하여 근육의 수축이 용이한 자세를 취하기 때문인 것으로 보인다. 또한, 해당 자세에서 주관적 불편도가 감소하였으며, RWL값이 상승하는 결과를 보였다.

3) 몸통각도와 상완각도에 따른 작업 자세에서의 RWL값을 수평거리와 수직위치의 변수만 고려하여 분석한 결과 상완의 각도가 감소함에 따라 RWL값이 증가함을 알 수 있다. RWL값이 증가한다는 것은 인력취급하중이 증가한다는 의미이며, 최대발휘근력과 주관적불편도의 평가에서도 비슷한 경향을 관찰하였다. 즉, 상완의 각도가 작아질수록 최대발휘근력은 증가하는 것으로 보인다.

위의 결과를 종합해 보면 몸통을 앞으로 숙였을 때 상완이 몸에 가까이 있는 것보다 뒤로 신전되어 있을 때 작업자들이 불편함이 적고, 들기 작업 수행 능력이 높은 것으로 나타났다. 이는 본 연구가 들기작업, 즉 위로 당기는 힘을 측정했기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다.

작업 자세에 따른 평가기법의 이론에 따라 몸통의 각도와 상관없이 상완의 각도가 0°에서 작업 수행 능력도 가장 높으며, 작업자가 느끼는 부담정도도 가장 적을 것으로 예상되었지만, 실험 결과 오히려 0°의 각도에서 보다 몸 뒤쪽으로 신전된 작업 자세가 작업수행능력이 높으며, 작업자가 느끼는 부담정도도 낮은 것으로 나타났다. 이것은 각각의 신체부위의 자세(각도)별로 작업의 부담정도를 측정하는 평가기법의 특징에 의한 것으로 사료된다. 즉, 실제 작업에서 상완이 몸 뒤쪽으로 신전되었을 때 동원되는 근육이 늘어나거나 다를 수도 있다. 예를 들어 상완각도가 0° 이하에서는 매우 큰 근육인 승모근의 사용량이 늘어나 NMVC의 증가를 유도하였을 수도 있다.

본 연구에서 측정된 최대발휘근력만으로 작업 부담을 설명하는 것은 주로 상지에서 발휘할 수 있는 힘을 측정했기 때문이다. 따라서 가장 빈번한 재해 부위로 나타나는 요추 부위에 걸리는 직접적인 영

향을 고려한 RWL과는 다소 차이가 있을 것으로 사료된다. 추후 연구에서 보다 정확한 신체부하의 산출을 위해서는 생체역학적 분석과 더불어 EMG를 이용한 동원된 근육의 사용량 측정을 통해 요추부위의 부하를 평가하는 것이 필요할 것이다.

또한 전완(아래팔)의 각도 변위를 많이 주어 몸통과 상완, 그리고 전완의 각도와 하지와 기타 신체부위의 각도에 따른 상관관계를 밝히고, 청년층뿐만 아니라 중·장년층을 대상으로 하는 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글 : 이 논문은 2007년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음(PK - 2007 - 035).

참고문헌

- 1) Hazard Evaluation System and Information Service, "A physician's Guide to the California ergonomics standard", Hazard Evaluation System and Information, 2001.
- 2) DOL, "Industrial Accidents Analysis," 2001~2007.
- 3) Bhattacharya A. and D.J McGlothlin, "Occupational Ergonomics-Theory and Applications", Marcel Dekker, Inc., pp. 137~164, 1996.
- 4) McAtamney L. and E.N. Corlett, "RULA : a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders", Applied Ergonomics, Vol. 24, pp. 91~99, 1993.
- 5) Hignett and L. McAtamney, S., "Rapid Entire Body Assessment(REBA)", Applied Ergonomics, Vol. 31, pp. 201~205, 2000.
- 6) Waters, T.R., V. Putz-Anderson, and A. Garg, "Applications Manual for the Revised NIOSH lifting equation", Cincinnati, OH: DHHS(NIOSH), pp. 4~35, 1994.
- 7) Bystrom, J.U., G.A. Hansson, L. Rylander, K. Ohlsson, G. Kallrot, and S. Skerfving, "Physical workload in neck and upper limb using two CAD applications", Applied Ergonomics, Vol. 33, pp. 63~74, 2002.
- 8) Forsman, M., R. Kadefors, Q. Zhang, L. Birch, and G. Palmerud, "Motor-unit recruitment in the trapezius muscle during arm movements and in VDU precision work", International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 24, pp. 619~630, 1999.
- 9) Stackhouse, S.K., J.E. Stevens, S.C. Lee, K.M. Pearce, L. Snyder-Mackler, and S.A. Binder-Macleod, "Maximum Voluntary Activation in Nonfatigued and Fatigued Muscle of Young and Elderly Individuals", Physical Therapy, Vol. 81, No 5, 2001.
- 10) Chang S.R. and D.C. Bae, "A study on the coupling effect during lifting", J. of the KIIS, Vol. 18, No. 2, pp. 119~124, 2003.
- 11) D.C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments, fifth ed. John Wiley and Sons, Inc, New York, 2001.
- 12) A.F. Huxley, "Muscular contraction", Journal of Physiology, Vol. 243, No. 1, 1977.
- 13) D.B. Chaffin, G.B.J. Andersson, and B.J. Martin, Occupational Biomechanics. 3rd ed., 1999.