

한국인 20대 남성의 NIOSH Lifting Equation 계수평가에 관한 연구

배동철[†] · 김용재^{*}

호서대학교 안전보건학과 · *부경대학교 해양스포츠학과

(2009. 1. 30. 접수 / 2009. 4. 10. 채택)

A Study on the Evaluation of Horizontal, Vertical, Asymmetric and Coupling Multipliers of the NIOSH Lifting Equation in Korean Male

Dong Chul Bae[†] · Yong Jae Kim^{*}

Department of Safety and Health Engineering, Hoseo University

^{*}Department of Aquatic Sports, Pukyong National University

(Received January 30, 2009 / Accepted April 10, 2009)

Abstract : The objective of this paper was to evaluate the effectiveness of horizontal, vertical, asymmetric and coupling multipliers for manual material handling. Lifting tasks with 5 different horizontal distances (30~70cm) for 6 vertical distances(ankle, knee, waist, elbow, shoulder and head height) were experimented. The muscle activity and muscle exertion level during asymmetric load handling(without trunk flexion) was experimented. Lifting tasks with and without handle tote box for three postures(straight, bending, right angle posture) were experimented. The degrading tendency did not appeared almost in 60~70cm interval's horizontal distance. As a result of ANOVA, MVC paid attention to horizontal and vertical distance but cross effect was insignificant($p<0.01$). The change of the MVC according to the horizontal, vertical distance appeared similar from of RWL. The results of normalized MVC measurement were decreased about 16%, 24%, 34% respectively as the asymmetry angle was 30°, 60°, 90°. RMS.EMG values of right erector spinae muscles were decreased as the work posture went to 90° and those of left erector spinae muscles were increased until the asymmetry angle was 40° but decreased continually over 40°. 7 subjects, activities of left and right latissimus dorsi muscles were maintained constantly, while for remainder, those were irregular. MVC reduced maximum 23% by type of handle. MVC was highest in straight posture, but was lowest in right angle posture. As a result of ANOVA, MVC paid attention to posture, coupling($p<0.01$). To all handle types, biceps brachii activity was increased in right angle posture, but reduced in straight posture. Based on the results of this study, it is suggested that the NIOSH guideline should not be directly applied to Korean without reasonable reexamination. In addition, we need to afterward study through an age classification.

Key Words : horizontal multiplier, vertical multiplier, asymmetric multiplier, coupling multipliers, manual material handling, MVC, RMS.EMG, NIOSH guideline

1. 서론

산업현장에 있어서 기계화의 확산에도 불구하고, 과도한 인력운반(Manual Materials Handling; MMH) 작업으로 인해 발생하는 근골격계질환(Musculoskeletal Disorders; MSDs)은 여전히 작업시간의 손실, 비용 증가, 그리고 신체장애를 야기하는 중대한 원인으로 대두되고 있다¹⁾. 급격한 산업의 발달로 대부분의 산업현장이 자동화가 이루어져 있다 하더

라도 아직 우리나라에서 대기업을 물론 중소기업에 이르기까지 완전 자동화는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 2003년 현재 국내 전체 사업장 3,187,916개 중 3,157,160개 사업장이 50인 미만인 사업장으로 전체의 99%가 중소기업으로 나타나 향후로도 들기작업, 앞·뒤·옆으로 옮기기 등의 인력 운반작업은 계속될 것으로 사료된다^{2,4)}.

인력운반작업에 의한 근골격계질환은 작업자 실수에 의한 사고성 재해인 경우도 있으나, 부적절한 작업자세와 작업대 설계, 잘못 고려된 작업하중 등에 의한 누적성 재해가 대부분을 차지하고 있다⁵⁾.

[†] To whom correspondence should be addressed.
baedc@hoseo.edu

또한 2007년 근골격계질환 분류에 사고성요통이 포함됨에 따라 발생 증가율은 급증하고 있는 추세이다. 따라서 이러한 인력운반작업은 지난 30년간 인간공학을 비롯한 관련분야에서 가장 활발히 연구되고 있는 주제 중 하나이며, 인력운반 작업시 과도한 중량물의 취급, 작업환경으로 인한 수직, 수평거리의 과도한 뺨침, 작업과정에서 반복적으로 발생하는 몸통부위의 비틀림, 구부림 등이 요통을 유발하는 주원인으로 알려져 있다⁶⁾.

인력운반작업에 의한 근골격계질환의 예방을 위해서는 작업에 요구되는 적절한 작업하중 및 작업상황을 평가할 수 있어야 한다. 즉, 작업자세를 고려한 생체역학적 분석이나, 근전도(Electromyography; EMG)를 이용한 작업자의 근육 피로도 분석을 위한 생리학적 분석 등을 통한 작업 개선이 필요하다. 이와 관련하여 미국, 일본, ILO 등에서는 각기 중량물 및 인력운반 권장기준을 내놓고 있으나 우리나라는 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Safety & Health, 이하 NIOSH)의 기준인 NIOSH lifting equation(이하 NLE)을 그대로 적용하고 있다. NIOSH에서는 두 가지 권고기준인 안전작업중량(Action Limit; AL), 최대허용중량(Maximum Permissible Limit; MPL)과 단일작업 해석에서 중량물을 옮기려는 거리나 들기 회수 등의 작업 조건으로부터 권고중량한계(Recommended Weight Limit; RWL)를 사용하고 있다⁷⁾. NLE 기준 자체는 제약조건이 11가지로 실제 작업장에서 이루어지는 복합적인 들기작업 형태에 대해서 한계를 나타내고 있어 적용 시에 어려움이 많은 것이 사실이다. 그럼에도 불구하고 들기작업 평가시 빈번하게 사용되고 있다.

이관석 등에 의해 NLE 기준을 한국인에게 그대로 적용 가능한지를 알아보기 위한 직접추정법에 의한 평가실험이 대표적인 연구 예이다⁸⁾. 또한 박지수 등에 의해 인체심리학적 접근법을 사용한 최대허용중량 결정에 관한 연구와 생리적 작업능력에 대한 연구결과 등에 따르면 한국인과 미국인 사이에는 신체능력에 따른 차이가 나타나며, NLE 기준을 한국인에게 그대로 적용할 경우 무리가 있으므로 보정이 필요하다고 하였다⁹⁾.

따라서 본 연구에서는 NLE의 계수를 수평·수직계수, 비대칭 각도, 손잡이 상태의 3가지의 그룹으로 분류하여 기존의 수식이 한국인의 인체계측치와 상이하여 발생하는 적용 시 문제점과 한계상황을 파악하여 국내에 적용하기 위한 수식 재설계를

위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 연구 방법

수평·수직거리의 수준에 따른 최대발휘근력 변화, 비대칭각도에 따른 최대발휘근력 및 근전도 변화와 손잡이 상태에 따른 최대발휘근력 및 근전도 변화의 3가지 실험을 통하여 NLE에서 권고하고 있는 각 계수치에 대한 한국인 성인 남성의 적합성을 검토하였다.

2.1. 피실험자

수평·수직거리, 비대칭 각도, 손잡이 상태의 영향에 대한 실험을 위해 과거 요통이나 근골격계 및 신경계통의 과거 병력이 없고, 현재의 건강상태가 양호한 남자 대학생 각 10명을 피실험자로 선정하였다. 피실험자의 선정시 오른손을 주로 사용하는 사람을 선정하였으며 실험을 실시하기 전 피실험자들에게 실험목적 및 절차를 설명하여 실험에 대한 이해도를 높이도록 하였다. 실험에 참여한 피실험자의 인체계측치는 다음의 Table 1과 같다.

2.2. 실험방법

1) 수평·수직계수에 대한 실험방법

본 실험에서 분석대상으로 선정한 들기 작업은 실제 현장에서 수평·수직거리로 인해 발생할 수 있는 작업형태로 허리와 무릎을 굽힌 상태에서 이루어졌다. 작업조건은 시상면을 기준으로 하여 작업자의 비대칭 각도 0°에서 최대발휘근력을 측정

Table 1. Anthropometric measurements from subjects

Sub.	year	height (cm)	weight (kg)	ankle height (cm)	knee height (cm)	waist height (cm)	elbow height (cm)	shoulder height (cm)	upp. arm length (cm)	low. arm length (cm)
1	26	178.5	78	9	53	99	113	148	36	30
2	25	178.7	73	10	54	106	117	145	34	28
3	27	176	67.5	10	46	99	110	145	36	28
4	25	175.5	72	10	49	101	111	145	35	29
5	26	179.5	70	10	51	104	115	148	36	28
6	26	174	61	10	52	100	110	140	33	30
7	24	176	64	10	50	102	115	148	33	28
8	25	174	66	11	53	100	112	143	33	27
9	26	176	68	10	53	99	112	150	35	30
10	26	171	59	12	50	100	100	140	31	29
Ave.	25.6	175.92	67.85	10.2	51.1	101	111.5	145.2	34.2	28.7
SD	0.84	2.56	5.73	0.79	2.42	2.36	4.65	3.43	1.69	1.06

하였다. 최대발휘근력 측정시 수평거리를 30~70cm 까지 10cm 단위로 변화시키면서 각 피실험자의 발목, 무릎, 허리, 팔꿈치, 어깨 및 머리까지 총 30가지 실험조합을 구성하였다.

각 피실험자 별로 30가지 실험조합에 대하여 최대발휘근력을 5초 간 3회 측정하였으며, 실험 후 10분의 휴식시간을 두어 근육피로로 인한 영향을 배제하여 재현실험의 정확성을 유지하도록 하였다. 작업자세의 유지와 실험시의 부상을 방지하기 위하여 무릎과 허리를 굽히지 않고 비대칭 각도가 0°인 중립자세로 실험을 실시하도록 하였으며, 이러한 자세로 실험이 불가능할 경우 무릎을 굽히고 실험을 실시하도록 하였다. 앞의 두 자세로도 실험이 불가능할 경우는 무릎과 허리를 굽힌 상태에서 실험을 실시하였다. 피실험자의 인체 기능적 도달한계로 인해 작업자세 유지가 불가능하거나 근력발휘에 실패할 경우는 실험이 이루어지지 않는 것으로 보았다.

2) 비대칭 각도에 대한 실험방법

본 실험에서 분석대상으로 선정한 들기 작업은 실제 현장의 컨베이어에서 들기 작업을 하는 형태로 허리를 편 상태에서 실험하였다. 작업조건은 시상면을 기준으로 하여 작업자의 오른쪽 방향으로 허리의 비대칭 각도 0~90°까지의 최대발휘근력을 측정하였다. 최대발휘근력 측정시 손잡이의 수직위치는 실제현장의 컨베이어 높이를 고려하여 바닥으로부터 피실험자의 팔꿈치 높이인 110~115cm를 유지하였으며, 수평위치는 몸의 중심으로부터 35cm의 거리로 두었다. 작업자세는 비대칭 각도 0°를 기준으로 하여 하지의 각도는 변화시키지 않고 허리만 회전하도록 하였다. 하지의 고정을 위해 고정 밴드를 이용하여 골반과 하지관절을 고정한 채 실시하였다. 비대칭 각도 당 5초간의 최대발휘근력을 3회씩 측정하였으며, 각도당 실험 실시 후 10분의 휴식시간을 두어 근육피로로 인한 영향을 배제하였다.

3) 손잡이 상태에 대한 실험방법

본 연구에서 대상으로 한 상자 들기 작업은 현장에서 흔히 이루어지고 있는 구부린 자세(bending posture), 팔을 편 자세(straight posture) 및 팔을 90°로 굽힌 자세(right angle posture)의 3가지 작업자세를 대상으로 실험을 실시하였다. 아울러 손잡이 형태는 파워그립이 가능한 손잡이에 고무그립을 부

착한 padding형, 손잡이가 부착된 handle형, 손잡이 없이 손바닥 전체로 들어야 하는 no handle 형의 3가지 형태로 구성하였다.

실험 조건은 한 자세당 손잡이 상태에 대한 각각의 최대발휘근력값과 근전도 신호를 측정하였다. Dynamometer를 이용하여 각 실험당 5초 간의 최대발휘근력을 3회씩 측정하였고, 1회 측정 후 근육의 피로회복을 위해 10분간의 휴식시간을 두었다.

근전도 측정은 실험 전 피실험자들에게 실험목적, 방법, 주의 사항 등을 숙지시킨 후 대상근육 부위에 표면전극을 부착시켰다. 본 실험에서 대상으로 선정한 근육들은 팔꿈치 굽힘 동작시 주관절 굴곡에 동원되는 근육들 중에서 좌우 상완이두근(biceps brachii) 2개 근육을 선정하여 근전도를 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1. 수평 · 수직계수에 대한 실험결과

피실험자 10명의 실험을 통해 나타난 결과를 피 실험자간 비교하기 위해 수평 · 수직거리별 발휘근력을 최대발휘근력 기준으로 표준화 하였다.

다음의 Fig. 1과 2는 NLE의 수직계수와 수평계수를 통해 권고하중값을 구한 결과와 실험을 통해 나타난 최대발휘근력의 경향을 비교한 것이다. 수평거리는 30cm, 수직거리는 팔꿈치 높이를 기준으로 하였다. Fig. 1은 NLE의 기타 계수는 최적인 상태로 두고 수평계수만을 고려하여 권고하중을 구한 것과 팔꿈치 높이를 기준으로 최대발휘근력을 측정한 결과를 나타낸 것으로 유사한 감소경향을 보였다. 특히 실험에 의한 최대발휘근력 감소경향은 수평거리 증가에 따라 선형적으로 감소함을 알 수 있었다. 기존의 NLE에서 정하고 있는 수평거리 한

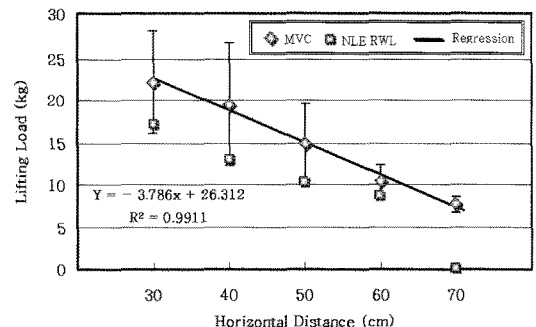


Fig. 1. Comparison according to the horizontal distance of RWL(elbow).

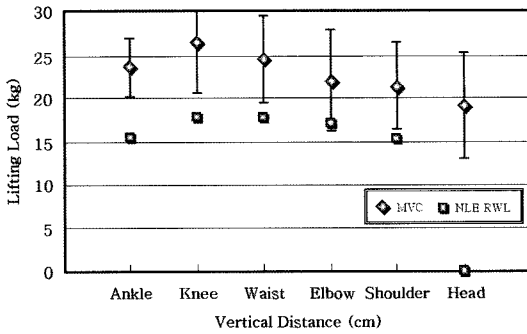


Fig. 2. Comparison according to the vertical distance of RWL (30cm).

계를 63cm으로 두고 있어 70cm에서의 RWL 값은 0으로 처리하였으나 최대발휘근력 실험에서는 감소경향이 나타났다. 따라서 수평거리 63cm 이상에서도 실험을 통한 직접추정법으로 감소율을 산정하여 적용이 가능할 것으로 사료된다.

Fig. 2는 수평거리 30cm를 기준으로 두고 수직 높이를 변화시켜 최대발휘근력을 측정하였다. 동일한 수직높이에서 기타 계수를 최적으로 한 NLE의 권고하중과 최대발휘근력 실험 결과를 비교한 결과 유사한 감소경향을 보였다. 머리 높이에서는 NLE 수직계수의 한계치인 175cm를 초과하여 분석이 불가능하므로 RWL값을 0으로 처리하였으나 최대발휘근력 실험에서는 감소경향이 나타났다. NLE에서는 여성 75%tile 및 남성 1%tile을 기준으로 하고 있으므로 본 실험에서 선정한 피실험자인 20대 남성과는 인체계측치의 상이함 및 근력특성 등에서 차이가 있을 것으로 사료된다. 최대발휘근력 실험 결과가 RWL에 비해 상대적으로 높은 수치를 보이는 것도 이러한 차이점에 기인한 것으로 판단된다.

3.2. 비대칭 각도에 대한 실험결과

피실험자간의 비교를 위하여 피실험자의 비대칭 각도별 발휘근력을 최대발휘 근력 기준으로 표준화 하였다.

Fig. 3에서 나타난 것과 같이 허리의 비대칭 각도가 증가될수록 NMVC는 감소하는 경향을 보였으며, 허리의 비대칭 각도 0°를 기준으로 30°, 60°, 90°로 증가함에 따라 NMVC는 83.32%, 76.32% 및 68.19%로 감소하였다. 피실험자 4가 감소율이 25%로 가장 낮았고, 피실험자 5가 감소율이 41.7%로 가장 높게 나타났다. 실험을 통해 나타난 감소경향은 NLE에서 정하고 있는 비대칭 각도의 계수와 차이가 없는 것으로 나타났으며 물류창고 작업과 취

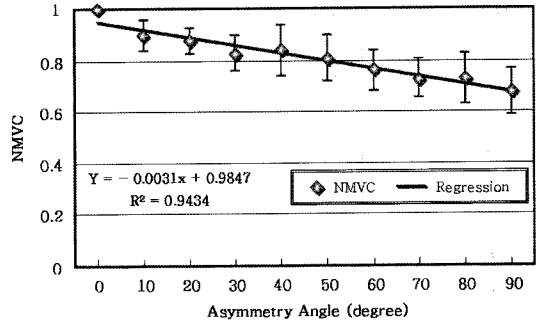


Fig. 3. Decreasing trends in NMVC for asymmetry lifting.

취기립근의 동원정도를 분석한 결과 하중변화와 비대칭 각도 증가에 따른 근육동원량이 선형적으로 증가한다는 선행연구와도 일치하는 것으로 나타났다^{10,11}. 비대칭 각도에 관한 계수는 한국인 20대 성인남성의 경우 NLE의 계수를 그대로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3. 손잡이 상태에 따른 최대발휘근력 및 근전도 측정 결과

Fig. 4에 나타난 것과 같이 자세에 대한 손잡이의 영향을 살펴보면, 구부린 자세(bending posture)의 경우 손잡이 상태가 나빠질수록 패딩 처리한 손잡이를 기준으로 최대발휘근력이 핸들인 경우 9.1%, 손잡이가 없는 경우 27.5% 감소하였고, 팔을 편 자세(straight posture)에서는 동일 기준으로 8.1%, 29.6%, 팔을 90°로 굽힌 자세(right angle posture)일 경우에는 1.2%, 24.8% 감소하였다.

Waters 등은 수직위치에 따라 손잡이 상태를 양호, 보통, 불량으로 분류하여 손잡이 유무에 따라 최대 10% 차이가 난다고 하였고⁷, Garg와 Saxena, Smith와 Jiang, Drury 등은 최대발휘근력에 있어서 들기 능력의 감소 정도가 정확히 일치되지는 않았지만 7~11%의 감소를 가져온다고 하였으며¹²⁻¹⁴,

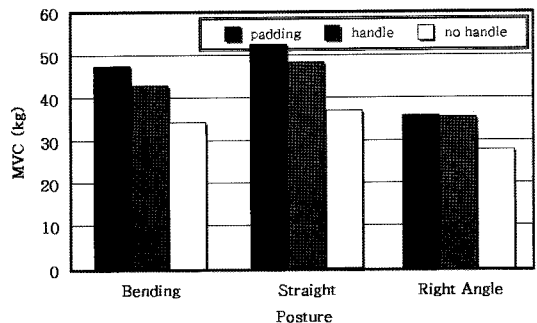


Fig. 4. Effect of posture and coupling for MVC.

1991년 NIOSH 들기 지침에서는 나쁜 손잡이 상태에 대한 벌점은 10%를 초과하지 않아야 한다고 결론지었다⁷⁾. 그러나 Davis 등은 133.8cm 미만의 높이에서 'poor' handle couple 계수는 0.85가 적당하다고 하여, 자세별 손잡이 유무(handle, no handle)에 따라 20~23% 감소를 가져온 본 연구의 결과보다 낮게 평가되어 있다¹⁵⁾. 이러한 차이가 발생한 원인은 우선 미국인과 한국인의 신체적 특성에 의한 영향으로 볼 수 있으며, 상자의 크기에 따라 들기 능력이 다르게 나타난 것으로 사료된다.

4. 결론

NLE의 수평거리, 수직거리, 비대칭각도, 손잡이 형태 등의 계수에 대한 적합성을 실험과 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

수평거리와 수직거리에 따른 최대발휘근력의 변화를 살펴본 실험에서 수직거리와 수평거리 모두 최대발휘근력에 대해 유의한 것으로 나타났으며, 수평·수직거리의 상호작용은 유의하지 않은 것으로 나타났다($P < 0.01$). NLE에서는 수평거리가 63cm를 초과한 경우 한계상황으로 보고 수평계수를 0으로 처리하나 실험결과 60~70cm 사이에서는 최대발휘근력의 변화가 거의 나타나지 않았다. 또한 수평·수직거리에 따른 최대발휘근력의 변화는 NLE의 권고하중과 유사한 형태를 취하는 것으로 나타났으며, 수직거리보다 수평거리 증가에 따른 감소 경향이 더 큰 것으로 나타났다.

허리를 편 상태로 비대칭적인 정적 들기 작업에 따른 최대발휘근력 실험에서는 비대칭 각도가 30°, 60°, 90°로 증가함에 따라 NMVC는 약 16%, 24%, 34%로 감소하였으며 비대칭 각도는 최대발휘근력에 대해 유의한 것으로 나타났다($P < 0.01$). 또한 모든 피실험자에서 우측 척추기립근은 비대칭 각도가 증가할수록 감소하였고, 특히 좌측 척추기립근은 비대칭 각도 약 40°까지는 증가하다가 40°~50°를 초과할수록 다시 감소하는 경향이 나타났다.

작업 자세 및 손잡이 상태에 따른 최대발휘근력, 근전도 및 주관적 불편도를 측정된 결과 손잡이 유무에 따라 최대발휘근력은 최고 23%까지 감소되었다. 팔을 편 자세(straight posture)에서 최대발휘근력이 가장 높게 나타났으며, 팔을 90°로 굽힌 자세(right angle posture)에서 가장 낮게 나타났다. 분산 분석 결과 최대발휘근력에 대한 손잡이 상태 및 자세의 영향은 유의한 것으로 나타났으며 상호작용은

유의하지 않은 것으로 나타났다($p < 0.01$). 피실험자의 주관적 불편도를 분석한 결과 피실험자마다 다소 차이는 있었으나, 평균값을 놓고 볼 때, 최대발휘근력값이 높은 자세 및 손잡이 상태에서, 그리고 RMS.EMG값이 낮은 자세 및 손잡이 상태에서 주관적 불편도가 상대적으로 낮게 나타났다.

국내에서 인력물자취급시 주로 사용하고 있는 NLE 기법은 1981년에 최초로 제정된 이후 1991년 복수작업해석이 추가되는 등의 개정을 통해 발전된 모델을 제시하였지만 기존의 적용범위 등에 따른 한계상황은 여전히 가지고 있기 때문이다. 이에 따라 1997년 IEA Technical Group에 의해 기존의 확장을 위한 노력이 진행되었다¹⁶⁾. 그 결과 실제 현장 적용시 부하상수를 조절하는 방법과 한손작업 및 2인 작업 등에 대한 계수를 조정하는 등의 안을 제시하고 있다. 부하상수의 경우 기존의 수식에서는 23kg을 일률적으로 적용하고 있으나 초보자와 숙련자를 분리하고 청소년·고령자 집단, 일반작업자 집단, 특별한 작업자나 특별한 환경 내에서의 숙련자 집단 등에 따라 5kg에서 최대 40kg까지 유동적으로 적용하도록 권고안을 내놓고 있다. 본 실험에서는 20대의 대학생을 대상으로 하여 신체능력이 최적인 조건을 가진 집단으로 볼 수 있다. 그러나 최대발휘근력 결과를 놓고 보면 실험조건이 최적인 경우에도 NLE 기준의 부하상수 23kg 정도를 보인 것으로 나타났다. 따라서 한국인이 실제 작업환경에서 연령이나 숙련도 등을 무시하고 부하상수를 일률적으로 적용하는 것은 오히려 위험성을 증대시킬 우려가 있다 하겠다.

허리의 굴곡이 포함된 들기 작업시 비대칭적 들기 작업이 대칭적 들기 작업에 비해 최대발휘근력이 12~31% 감소한다고 하였는데, 본 연구의 실험 자세, 즉 허리의 굴곡이 포함되지 않은 자세에서도 이와 유사한 결과가 나타났다. 1991년 NIOSH 들기 작업 지침에서는 비대칭 각도에 따라 1-0.0032A의 보정계수를 주고 있는데 본 실험에서도 비대칭 각도에 따른 NMVC의 감소에 대한 회귀분석 결과 0.9545(1-0.0031A)으로 나타나 NIOSH에서 제시한 보정계수와 차이를 보이지 않았다. 또한 각 계수를 살펴보면, 수평·수직계수, 비대칭 각도 및 손잡이 상태에 따른 최대발휘근력과 근전도값 등의 변화를 살펴본 결과 수평거리에 따른 분석 한계치는 재조정할 필요가 있을 것으로 사료되며, 수평·수직거리의 관계에서 보면 수직거리보다 수평거리를 줄이는 것이 위험성 저감에 보다 효과적이라 하겠다.

그리고 허리를 편 상태에서의 비대칭 각도에 따른 최대발휘근력과 RMS.EMG를 측정하였지만, 컨베이어 작업 등의 실제 현장상황에 적합한 중량물의 운반 및 취급시 작업 빈도와 하중을 고려한 연구도 이루어져야 할 것이다. 또한 자세 및 손잡이 상태에 따른 최대발휘근력과 근전도값 및 주관적 불편도를 측정하였지만, 인력운반작업시 한국인에게 적합한 상자 설계 및 다른 근육의 피로현상에 관한 연구도 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글 : 이 논문은 2007년도 부경대학교 박사 후 연수과정 지원사업에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) A. Bhattacharya, and D. J. McGlothlin, Occupational Ergonomics - Theory and Applications, Marcel Dekker, Inc., pp. 137~164, 1996.
- 2) 통계청, <http://kosis.nso.go.kr>, 2004.
- 3) A. M. Genaidy, K. M. Bafna, E. Delgado, and A. Mhidze, An Ergonomic Study for the Control of Upper Extremity Cumulative Trauma Disorder in Manufacturing Industry, Advanced in Industrial Ergonomics and Safety II, pp. 245~250, 1990.
- 4) E. Grandjean, Fitting the Task to the Man 4th ed., Taylor & Fancis Ltd., pp. 82~99, 1988.
- 5) 장성록, 김용수, 이관석, 김유창, 배동철, 근골격계질환의 제도적 관리에 관한 연구, 한국산업안전학회지, 제18권, 제3호, pp. 149~153, 2003.
- 6) 이육기, 김상호, 정민근, MMH 작업조건에 따른 몸통부위 근육군의 활동변화에 관한 연구, 대한인간공학회 추계학술논문집, pp. 223~235, 1993.
- 7) T. R. Waters, and V. Putz-Anderson, and A. Garg, Applications Manual for the Revised NIOSH lifting equation, Cincinnati, OH: DHHS(NIOSH), pp. 4~35, 1994.
- 8) 이관석, 박희석, 직접추정법의 대칭적인 들기 작업의 최대허용하중 결정에의 적용에 관한 연구, 대한인간공학회지, 제14권, 제1호, pp. 1~7, 1995.
- 9) 박지수, 김홍기, 최진영, 작업유형에 따른 생리학 적 작업능력의 비교분석, 대한인간공학회지, 제15권, 제2호, pp. 89~98, 1996.
- 10) 장성록, 냉동창고 출하작업의 신체부담 분석에 관한 연구, 한국산업안전학회지, 제14권, 제4호, pp. 192~198, 1999.
- 11) 장성록, L5/S1에 걸리는 부하역력과 척추기립근 근전도의 상관관계 분석, 한국산업안전학회지, 제10권, 제4호, pp. 103~108, 1995.
- 12) A. Garg, and U. Saxena, Container Characteristics and Maximum Acceptable Weight of Lift, Human Factors, Vol. 22, pp. 487~495, 1980.
- 13) J. L. Smith, and B. C. Jiang, A Manual Materials Handling Study of Bag Lifting, American Industrial Hygiene Association Journal, Vol.45, pp. 505~508, 1984.
- 14) C. G. Drury, J. M. Deeb, B. Hartman, S. Wooley, C. E. Drury, and S. Gallagher, Symmetric and Asymmetric Manual Materials Handling. Part 1. Physiology and Psychophysics, Ergonomics, Vol. 32, pp. 467~489, 1989.
- 15) K. G. Davis, W. S. Marras, and T. R. Waters, Reduction of Spinal Loading Through the Use of Handles, Ergonomics, Vol. 41, pp. 1155~1168, 1998.
- 16) T. R. Water, IEA TG Proposed Procedures for Evaluating Manual Lifting Tasks, Proceedings of the 13th Triennial Congress of the Internation Ergonomics Association, Vol. 3, pp. 586~588, 1997.