

들기 작업시 중량물의 비대칭 무게중심 및 상체 옆으로 기울임에 따른 허리근육의 Peak EMG 진폭 비교

한승조¹, 김선욱^{1*}
¹단국대학교 산업공학과

Comparison of Peak EMG Amplitude on Low Back Muscles according to Asymmetric Load Center of Gravity and Trunk Lateral Bending while Lifting

Seung Jo Han¹ and Sun-Uk Kim^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Dankook University

요약 본 연구의 목적은 중량물 들기 작업시 비대칭 무게중심과 상체 옆으로 기울임 여부가 어떻게 L5/S1 주변 허리 근육의 Peak EMG 진폭에 영향을 미치는지를 알아보는 것이다. 요통을 포함한 근골격계질환은 무겁지 않은 물체의 지속적인 반복 취급뿐만 아니라, 일회성의 커다란 부하도 신체 조직의 부담으로 작용하여 발생할 수 있다. 11명의 20대 대학생 남성은 15.8kg의 물체를 들어올리는 Task를 3회 실행하였다. 이 때 대칭 무게중심의 물체를 상체를 기울이지 않고 들어 올리는 경우, 비대칭 무게중심의 물체를 상체를 기울이지 않고 들어 올리는 조건, 그리고 비대칭 무게중심의 물체를 상체를 기울여서 들어 올리는 경우에 따라 6개의 L5/S1 주변의 근육들로부터 Peak EMG 진폭이 수집되어 분석되었다. 결과는 비대칭 무게중심을 지닌 물체 취급시 무게중심에서 먼 쪽의 허리 근육에서 Peak EMG 진폭이 발생하고, 그 진폭의 크기는 대칭 무게중심 물체를 취급하는 경우보다 크게 나타났다. 또한, 비대칭 무게중심의 물체를 취급할 경우 물체나 상체를 물체의 무게중심 방향으로 기울이는 것은 기울이지 않을 때보다 대측성 등근육에서 Peak EMG 진폭 증가시켰다. 이러한 연구 결과는 비대칭 무게중심의 중량물을 들어 올리는 작업에서 요통 발생을 예방하기 위한 행정적인 조치로써 가능하면 상체를 전두면 기준으로 기울이지 않는 작업자 자세 조인이 필요함을 말해준다.

Abstract This study was aimed at the relationship between peak EMG amplitude on low back muscles acting on L5/S1 and load center of gravity, trunk lateral bending while lifting an object. Musculoskeletal disorders including low back pain can occur even when handling heavy objects only once as well as when doing non-heavy materials repeatedly. 11 male subjects with average 23 age were required to lift a 15.8kg object symmetrically three times. Peak EMG amplitudes on 6 muscles related with L5/S1 were recorded and analyzed. The lifting conditions consisted of lifting symmetric load with no trunk lateral bending, asymmetric load with no trunk lateral bending, and asymmetric load with trunk lateral bending to the load center of gravity within an object. The results showed that peak EMG amplitude on back muscles contralateral to load center of gravity was observed greater in comparison with the symmetric load. Also, in case of lifting asymmetric load the posture with trunk lateral bending increased peak EMG amplitude on muscles contralateral to load center of gravity more than with no trunk lateral bending. This research can be used as one administrative intervention in order to reduce the low back pain incidence with suggesting workers that they keep the trunk not bending to load center of gravity if possible when lifting a heavy asymmetric object.

Key Words : Asymmetric Load, Load Center of Gravity, Low Back Muscles, Peak EMG Amplitude, Trunk Lateral Bending

*Corresponding Author : Sun-Uk Kim

Tel: +82-10-9563-3070 email: kimsunuk@dankook.ac.kr

접수일 12년 07월 11일

수정일 (1차 12년 08월 01일, 2차 12년 08월 16일)

게재확정일 12년 10월 11일

1. 서론

근골격계질환(Musculoskeletal Disorders)에 대한 관심이 높아지고 본격적으로 산업체 전반에 걸쳐 통계적 자료가 구축된 1998년 이후 해마다 전체 산업재해 비율 중 근골격계질환이 가파르게 증가하고 있는 추세이다[1]. 2010년 전체 산업재해자수 98,645명 중 근골격계질환 환자는 5,502명으로 5.6%를 차지하고 있었으며, 근골격계 질환 중 요통(Low Back Pain, LBP)관련 질환은 4,008명으로 72.8%를 차지하였다[2]. 요통의 60% 이상이 들기(Lifting) 작업과 연관되므로[3], 들기 작업이 요통에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 방안의 연구가 전체적인 요통의 비율, 더 나아가서 전체 근골격계질환의 비율을 낮출 수 있는 핵심이다.

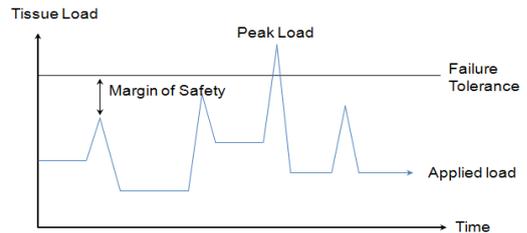
들기 작업과 요통의 관계에서 물체와 관련된 요인(Object Characteristics)으로 물체의 무게, 손잡이 형태, 물체 형태 등이 고려되었고, 작업자 자세 요소(Lifting Postures)로는 드는 속도, 물체와 L5/S1까지의 수평거리, 들기 방법(Squat, Stoop, Freestyle) 등이 주로 연구되었다. 하지만 기존 연구에서 물체 내부의 무게중심(Load Center of Gravity, LCG)은 대부분 물체 중앙에 있는 경우(Symmetric Load)가 고려되었고, 상대적으로 무게중심이 물체의 중앙에서 떨어져 있는(Deviated) 경우(Asymmetric Load)는 연구가 미비한 실정이다.

하지만 산업체 및 일상생활에서 비대칭 무게중심 물체를 다루는 경우는 대칭 무게중심 물체를 다루는 경우만큼 흔하다. 예를 들어 Desktop PC 본체의 무게중심은 부품 중 가장 무거운 전원 공급 장치(Power Supply Unit)가 위치한 곳으로 주로 본체 중앙에 있지 않으며, 전자레인지의 조작부(Control Panel)가 좌나 우측에 있고, 이 조작부가 위치한 쪽으로 무게중심이 옮겨가 있다.

들기 작업에서 물체의 무게중심이 전두면(Frontal Plane) 기준으로 옆으로 이동된 경우라면, 무게중심이 위치한 에서 물체가 기울어지고 상체가 동시에 기울어지는 현상이 발생한다. 인간의 상체 및 외부 물체로부터 발생하는 부하는 척추(Spine)와 허리 주위의 근육이 발생된 부하를 대부분 담당하고 있다. 하지만 허리 주위의 근육 측면에서 비대칭의 무게중심을 취급할 경우 상체의 옆으로 기울임이 허리 주위의 근육에 어떻게 영향을 미치는 지에 대한 연구는 심도 있게 수행되지 않고 있다.

물체를 들 때 허리 부위에 부과되는 부하(Applied Load)는 EMG 진폭(Amplitude)을 통해 측정될 수 있으며, 주로 작업 시간 동안의 평균 진폭(Mean Amplitude, μV) 이나[4,5] 기간 동안 최대 진폭(Peak Amplitude, μV)을 사용하여 분석된다[6]. 그림 1에서 요통을 포함한 근골격계

질환은 Safety Margin Concept에 근거하여 평균 EMG 진폭과 같은 부하가 근육을 포함한 신체조직의 한계(Failure Tolerance)를 넘지는 않지만 일정기간 누적된다거나, Peak EMG 진폭과 같이 장기간 누적되지 않더라도 한 번의 부과로 Failure Tolerance를 넘는 경우 발생할 수 있다 [7,8].



[그림 1] 요통과 외부 부하의 관계를 설명할 수 있는 Safety Margin Concept

[Fig. 1] Safety Margin Concept able to Explain the Relation between LBP and Applied Load

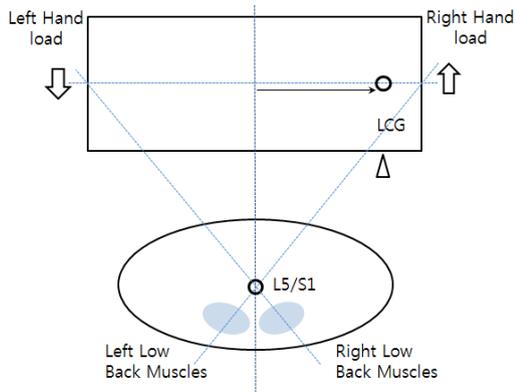
따라서 본 연구의 목적은 Safety Margin Concept에서 Peak Load의 척도로 이용될 수 있는 EMG의 Peak 진폭에 중점을 맞추어, 무게중심의 영향과 비대칭 무게중심 물체 취급시 상체의 옆으로 기울임 여부의 영향을 생체역학적 해석과 검증실험을 통해 알아보는 것이다.

2. 기존 연구 및 생체역학적 해석을 통한 가설 설정

물체 무게중심의 위치와 좌·우 쌍으로 이루어진 허리 부위 근육에서 나타나는 좌·우 평균 EMG 진폭을 연구한 결과에 따르면 균형효과(Balance Effect)가 나타난다는 것에 주목한다[4,5,9]. 즉, 허리 부위의 근육처럼 좌·우 쌍으로 이루어진 근육 그룹은 앞·뒤로 물체 내에서 무게중심이 시상면(Sagittal Plane)을 따라 움직이면 무게중심이 앞에 있는 경우가 뒤에 있는(몸쪽 가까이) 경우보다 물체와 L5/S1의 수평거리를 증가시켜 EMG 진폭의 평균이 커진다.

하지만 그림 2에서 무게중심이 좌·우로 전두면(Frontal Plane)을 따라 움직이는 경우 무게중심 쪽의 손에 부과되는 부하(Hand Load or Hand Force)는 증가하고 반대로 무게중심 반대편의 손에 부과되는 부하는 감소하다. 만약 그림 2처럼 무게중심이 우측으로 이동된 경우라면, L5/S1을 받침점(Supporting Point)으로 하여 모멘트

(Moment) 측면에서 4개의 모멘트 암(Moment Arm; L5/S1부터 왼손·오른손·왼쪽 허리근육·오른쪽 허리근육까지의 수평거리)은 무게중심이 중앙에 위치했을 경우와 비교하여 변하지 않는다. 모멘트 암은 동일하나 오른손에 부과되는 부하는 증가하였고 왼손에 부과되는 부하는 감소하였으므로, 왼쪽 허리근육의 힘(Force)은 증가하고 오른쪽 허리근육의 힘은 반대로 감소되어야 한다. 따라서 근육의 부하를 EMG 진폭으로 측정할 경우, 왼쪽 허리 근육의 진폭은 증가하고 오른쪽 허리 근육의 진폭은 감소한다.



[그림 2] 무게중심 이동이 양손 및 허리근육에 미치는 영향
 [Fig. 2] Effects of LCG Movement on Bilateral Hand and Low Back Muscle Loads

여기서 주목할 부분이 무게중심의 반대편에 위치한 (Contralateral to LCG) 허리근육의 진폭은 증가하고, 무게중심에서 가까운 쪽의 (Ipsilateral to LCG) 허리근육의 진폭은 감소하며, 이를 평균하면 무게중심의 위치에 무관하게 진폭의 평균은 일정하다는 점이다[10]. 즉, 허리근육 좌·우측 중 한쪽이 증가하면, 증가한 만큼 반대쪽에서 진폭이 감소한다. 이러한 쌍으로 이루어진 근육 그룹에서의 진폭의 균형효과는 진폭의 평균을 통한 부하의 상대적 비교를 어렵게 한다.

하지만 Peak EMG 진폭의 경우도 균형효과가 나타나지는 아직 깊게 연구되지 않았다. Meyers and Keir[6]의 연구에서 물체 내 무게중심이 좌·우로 움직이면 대측성의(Contralateral) 허리근육의 Peak EMG 진폭이 증가한다고 연구되었지만, 좌·우 평균을 통한 균형효과를 밝히지 못했고, 허리부위의 L3 주변의 한 쌍의 좌·우 근육만을 대상 근육으로 한정하였다.

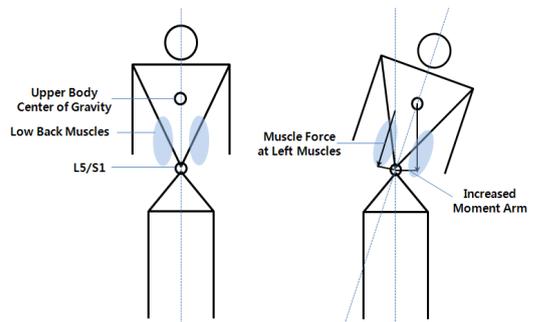
상체 및 외부 물체로부터 발생하는 부하는 주로 허리의 L5/S1 주변에 집중되는데, L5/S1와 연관된 대표적인

허리근육은 L1 주변의 최장근(Longissimus), L2 주변의 장늑근(Iliocostalis), 그리고 L5 주변의 뭇갈래근(Multifidus)이 있다[9]. 비록 최장근과 장늑근의 주된 부위가 L5/S1 주변이 아닌 L1과 L2 주변이지만, 두 근육 하부의 근육과 인대(Ligament)는 L5/S1을 일정부분 덮고 있기 때문에 상체 및 외부부하를 담당하는 L5/S1 주변의 주된 허리 부위의 근육으로 간주된다.

물체의 무게중심이 물체 내에서 좌나 우측으로 치우친다면 작업자는 무게중심이 있는 쪽으로 물체를 기울이고, 이 때 상체도 기울어지는 것이 일반적이다. 비대칭 무게중심의 물체 취급시 과연 무게중심 쪽으로 물체나 상체를 자연스럽게 기울이는 것(Object Tilting, Trunk Lateral Bending)과 인위적으로 기울이지 않는 것(No Object Tilting, No Trunk Bending)이 Peak EMG 진폭 측면에서 어느 것이 유리한지는 알려진 바가 없다.

외부 물체가 부여되지 않고 단지 선 자세에서 상체를 우측으로 기울이면, 좌측 등근육의 EMG 진폭은 증가하고 반대로 우측 등근육의 진폭은 감소되는 현상은 Nordin과 동료들의 연구[11]에 의해 밝혀졌다. 하지만 생체역학적 해석은 배제되고 자세에 대한 EMG 반응만을 측정하였다는 한계를 나타냈다.

생체역학(Biomechanics)적으로 위 현상을 다음과 같이 설명될 수 있다. 그림 3에서 상체가 우측으로 기울어지면 L5/S1부터 상체 무게 중심까지의 거리(Moment Arm)가 늘어나게 된다.



[그림 3] 상체 옆으로 기울임에 따른 허리부위의 부하 변화
 [Fig. 3] Low Back Muscle Load according to Trunk Lateral Bending

우측으로 기울어진 상체 때문에 증가된 모멘트 암은 상체의 모멘트를 시계방향으로(Clockwise) 발생시킨다. 이에 대응하여 좌측 허리근육부터 L5/S1까지의 모멘트 암은 일정하기 때문에 좌측 허리근육의 힘(Muscle Force)은 상체를 기울이지 않았을 때와 비교하여 증가해야만 더 이상 상체가 기울어지는 것을 막을 수 있다.

따라서 상체가 우측으로 기울어지면 좌측 허리근육의 힘이 증가되고, 근육의 힘이 증가되면 EMG 진폭도 증대될 수 밖에 없다[4]. Peak EMG 진폭도 평균 진폭이 큰 근육에서 나오기 때문에, 상체가 기울어진 반대편 허리근육에서 Peak EMG 진폭이 관찰될 것이다. Nordin과 동료들의 연구[11]와 생체역학적 해석을 근거로 외부물체가 부과되더라도 상체를 기울지 않는 것이 Peak EMG 진폭을 막는 방법이라고 볼 수 있다.

이에 연구가설이 다음과 같이 설정된다. 첫째, Peak EMG 진폭의 좌·우 평균은 물체 내 무게중심의 위치 및 상체 기울임과 무관하게 균형을 이룬다. 둘째, 좌·우 허리근육 중 더 큰 Peak EMG 진폭이 나타나는 곳은 무게중심에 먼 쪽(혹은 상체가 기울어지는 반대편)의 허리근육이다. 셋째, Peak EMG 진폭은 상체를 무게중심 쪽으로 기울이지 않는 것으로 일정부분 억제할 수 있다.

3. 연구 방법

3.1 연구 대상

최근 3개월간 요통을 포함한 근골격계질환을 경험하지 않았고 모두 오른손을 주로 사용하는 대학생 20대 남성 11명이 피실험자로 선정되었다. 이들의 평균 연령, 체중, 신장은 각각 23세, 69.1kg, 175.8cm이었다.

L5/S1과 관련 있는 근육은 좌·우 쌍으로 최장근, 장늑근, 뭇갈래근이 선정되었다[9]. 들기 작업을 위해 가로, 세로, 높이가 각각 60cm, 40cm, 25cm인 6kg의 목재 상자가 이용되었으며, 내부에 직육면체의 9.8kg의 물체를 통해 무게중심의 위치를 변화시켰다.

3.2 EMG 장비 및 신호 처리방법

EMG Raw Data는 TeleMyo 2004 G2(Noraxon Inc.)가 이용되어 표면전극(Surface Electrode)으로부터 감지된 근육의 전압(μV)이 분석 S/W인 MyoResearch XP Master Edition 1.06.21(Noraxon Inc.)에 전달 되도록하여 획득되었다. 표면전극은 Ag/AgCl 전극(3M Inc.)이다. 표면전극은 최장근은 L1에서 수평으로 2cm, 장늑근은 L2에서 5cm, 그리고 뭇갈래근에서 2cm 이격된 지점에 좌·우 쌍으로 부착되었다[12].

Sampling 주파수는 Nyquist Theorem(최고 주파수의 최소 2배의 주파수로 Sampling)을 근거로 1,500Hz로 설정되었으며, 2sec 동안 수집된 Raw Data는 Bandpass Filter(10-500Hz)를 사용하여 필터링된 후 Rectification 과정을 거친 후 분석되었다[13].

3.3 실험 변수, 실험 절차, 통계분석

독립변수는 2 수준의 무게중심의 위치(Center, 10cm Deviated to the Right from the Center)와 2 수준의 상체 자세(No Trunk Lateral Bending, Trunk Lateral Bending to the Right)이며, 종속변수는 전극이 부착된 6개의 근육에서 측정된 Peak EMG Amplitude(μV)이다. 개인별 총 시행횟수는 총 3회이며, 각 조건은 SP(Symmetric Load and No Trunk Lateral Bending), AP(Asymmetric Load and No Trunk Lateral Bending), 그리고 AB(Asymmetric Load and Trunk Lateral Bending)이다.

통계변수 발생을 최소화하기 위해 두 발은 전두면 상에 평행하게 있도록 하고, 드는 도중 상체가 가로면(Transverse Plane) 기준으로 비틀어지지 않도록 Symmetrical Lifting 자세를 유지하도록 하였다. 여기서 Symmetrical Lifting은 상체가 비틀어지지 않는 자세 측면의 용어이며, Symmetric Load는 자세와 관계없이 물체 자체가 지닌 속성 측면에서의 용어이다. 또한 바닥에 물체를 10°오른쪽으로 기울어지게 놓아서,

처음부터 들기 마지막까지 Task 도중 상체 및 물체의 기울임의 변동(Variation)을 최소화하였다. 드는 속도를 통제하기 위해 바닥(Floor)으로부터 물체의 밑면이 50cm에 도달하는 동안 25cm/sec 속도로 유지 되도록 본 실험 전에 메트로놈을 통해 충분히 연습시켰다.

물체와 상체를 기울이지 않고 드는 동안(SP) 물체가 수평이 되도록 물체 상부 중앙에는 그림 2와 같이 수평계가 설치되었다.



[그림 4] 평행한 상체(좌) 및 기울어진 상체(우)
[Fig. 4] No Trunk Bending(Left) and Trunk Lateral Bending(Right)

피실험자는 본 실험 전에 전체적인 실험절차를 듣게 되고, 실험에 임하기 전에 상체는 탈의 된다. 급속 및 전

[표 1] SP, AP, AB 조건별 각 근육의 좌·우측에서 나타나는 Peak 진폭(단위: μV)

[Table 1] Average Peak Amplitudes of all Subjects on Each Muscles according to SP, AP, and AB Conditions(Unit: μV)

Sources	Longissimus		Iliocostalis		Multifidus		Mean Peak Amplitude	Peak Amplitude Difference (Left - Right)
	Right	Left	Right	Left	Right	Left		
SP	116.94	123.13	146.90	167.21	112.81	123.50	131.75	12.40
AP	110.36	132.66	125.44	184.22	103.45	125.30	130.25	34.35
AB	106.13	147.28	105.66	201.20	90.29	149.17	133.29	65.19

파 물질로부터 EMG 신호의 왜곡을 방지하기 위해 지니고 있는 휴대폰, 시계, 벨트 등은 제거되었다. 개인별 3회 시행 순서는 임의로 실험 진행자가 부여하였고(Random Ordering), 시행 사이에 5분의 휴식시간을 부여하여 전(Before) 시행이 이후(After) 시행에 대한 영향을 최소화하였다.

통계분석은 Minitab 16이 이용되었으며, 통계적 유의수준(α)은 0.05이다. 그래프에서 Error Bar는 표준오차(Standard Error)를 나타낸다.

4. 결과 분석

표 1은 6개의 허리근육이 SP, AP, AB 조건에서 반응을 보이는 모든 피실험자의 Peak EMG 진폭 평균(μV)을 보여주고 있다.

마지막 두 번째 열의 평균 Peak 진폭은 모든 피실험자의 모든 근육에서 관측된 좌측과 우측의 Peak 진폭을 평균한 값이며, 마지막 열은 모든 피실험자의 좌측 Peak 진폭에서 우측 Peak 진폭을 뺀 값이다. 3개의 근육 중 장능근에서 Peak 진폭이 가장 크게 나타났다.

4.1 Peak EMG 진폭의 균형 효과

표 1에서 Mean Peak 진폭은 SP, AP, AB 조건에서 130(+ α) μV 로 차이가 나지 않는 것 같지만, 이것이 통계적으로 유의하게 차이가 없는지 알아보기 위해 다음의 분산분석이 실시된다. [표 2]는 좌·우측의 최장근, 장능근, 뭇갈래근에서 나타난 각 Peak 진폭을 평균한 Mean Peak EMG 진폭을 종속변수로 하여 One-way ANOVA를 실시한 결과이다. SP, AP, AB의 3가지 조건에서 Mean Peak EMG 진폭에는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$).

이는 무게중심의 위치와 상체 기울임 모두가 전두면을 기준으로 하고 있으면서, 좌·우 쌍으로 이루어진 등근육의 특성으로 인해 한 쪽에서 Peak EMG 진폭이 증가한 만큼 반대편에서 감소하는 균형 효과 때문이다. 따라서

서론에서 제시된 첫 번째 가설은 기각되지 않았다.

[표 2] One-way ANOVA(좌·우 Peak EMG 진폭 평균)

[Table 2] One-way ANOVA(Mean Peak EMG on Bilateral Sides)

Sources	DF	SS	MS	F	p
Conditions	2	51	25	0.02	0.98
Error	30	44,528	1,484	-	-
Total	32	44,579	-	-	-

4.2 무게중심의 위치와 상체 기울임이 Peak EMG 진폭에 미치는 허리근육의 위치

표 1의 마지막 열은 무게중심의 위치와 상체 기울임에 따라 좌측 허리근육과 우측 허리근육에서 발생하는 Peak 진폭의 정도를 비교하기 위해 도입된 것으로, 대칭 무게중심의 경우(SP)보다는 비대칭 무게중심의 경우(AP, AB)에서 Peak 진폭의 차이가 크게 나타나고, 비대칭 무게중심의 경우 상체를 옆으로 기울이는 조건(AB)이 기울이지 않는 경우(AP)보다 좌·우 Peak 진폭의 차이가 크게 나타난다. 이는 뒤에서 논의될 좌·우 상체 근육의 불균형이 요통과 연관이 있다는 점에서도 큰 의미를 지닌다.

좌측 3개의 근육의 평균 Peak EMG 진폭에서 우측 3개 근육의 평균 Peak EMG 진폭을 뺀 값(Peak EMG Amplitude Difference, μV)을 종속변수로 하여 SP, AP, AB 조건에서 통계적으로 유의하게 차이가 나는지 알아보기 위해 분산분석이 실시된다.

[표 3] One-way ANOVA (좌·우 Peak EMG 진폭 차이)

[Table 3] One-way ANOVA(Peak EMG Amplitude Difference on Bilateral Sides)

Sources	DF	SS	MS	F	p
Conditions	2	15,475	7,737	12.92	0.00*
Error	30	17,973	599	-	-
Total	32	33,448	-	-	-

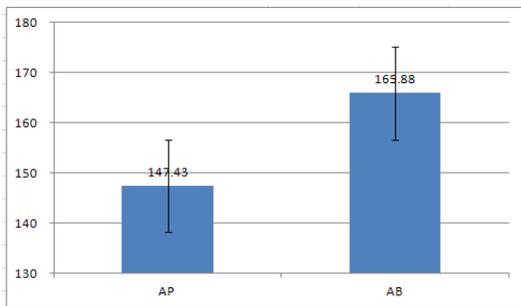
* : $p < 0.05$

[표 3]의 결과에서 보듯이 SP, AP, AB 조건별 유의한 차이가 나타나고 있다($p < 0.05$). 무거운 무게중심의 효과만 고려할 때(SP vs. AP) 대응표본 t -test시 $p = 0.009$ 로, 좌·우측 Peak EMG 진폭의 차이에서 무게중심이 옆으로 치우칠 때(AP)가 무게중심이 중앙에 있을 때(SP)보다 통계적으로 유의한 높은 값이 나타난다. 마찬가지로 비대칭 무게중심을 지닌 물체 취급시 상체 기울임 여부를 고려할 때(AP vs. AB) 대응표본 t -test시 $p = 0.002$ 로, 좌·우측 Peak EMG 진폭의 차이는 상체를 기울이는 조건에서 더 크게 나타난다고 볼 수 있다. 또한 모두 양의 값을 지니기 때문에 우측 허리근육보다는 좌측 허리근육에서 Peak 진폭이 크게 나타난다고 할 수 있다(두번째 가설).

4.3 비대칭 무게중심의 물체 취급시 상체 기울임이 대측성의 등근육 Peak EMG 진폭을 증가시키는가?

Peak 부하는 좌·우측의 부하 중 Maximum과 관련이 있고(본 실험에서는 좌측 허리근육), 무게중심으로 인한 Peak EMG 진폭의 증가에 상체 기울임으로 인한 Peak EMG 진폭 증가가 더해져서 비대칭 무게중심 물체를 기울여 드는 것은 짧은 시간에 큰 부하가 작용하여 좌측 허리근육 및 인대 등의 신체부위에 그림 1의 Safety Margin 을 작게 한다.

그림 5는 비대칭 무게중심의 물체에서 AP와 AB에서 발생한 좌측 허리근육에서 발생한 Peak 진폭을 비교한 그래프이며, 상체를 무게중심 쪽으로 기울인 AB의 경우가 상체를 기울이지 않은 AP보다 좌측 허리근육에서 Peak 진폭이 크게 나타난다. 두 Peak 진폭의 차이는 대응표본 t -test에서 $p = 0.046$ 으로 유의하게 차이가 나타났다. 따라서 세 번째 가설도 기각되지 않는다.



[그림 5] AP와 AB에서 좌측 허리근육의 Peak EMG 진폭(μV)

[Fig. 5] Mean Peak Amplitudes(μV) on Only Left Low Back Muscles according to AP and AB

5. 결론 및 토의

일상생활이나 작업장에서 소위 "삐끗하다"는 용어를 사용하여 신체 조직에 짧은 시간 동안 큰 부하를 받는 경우를 표현한다. 이것은 인간공학적으로 Peak 부하가 일시에 부과되는 의미와 상통한다. 본 연구에서는 근골격계 질환을 발생시키는 하나의 요인인 신체 조직에 갑작스러운 부하를 들기 작업에서 Peak EMG 진폭을 통해 살펴보았다. 특히, 물체 내의 무게중심에 따라 Peak EMG 진폭이 어떻게 반응하고, 이를 줄일 수 있는 방안 중에 하나인 물체나 상체의 기울임 자세를 기존 연구·생체 역학적 해석·실험을 통해 도출해 보았다.

결과를 요약하면 쌍으로 이루어진 등근육 부위의 부하는 좌·우 허리근육의 EMG 진폭의 평균뿐만 아니라 [4,5,10] Peak EMG 진폭의 평균에서도 균형 효과가 나타나며 이는 기존 연구[6]의 결과와 일치한다. 따라서 상대 비교를 위해서는 다른 Measure가 필요하며, 본 연구에서는 좌·우측 Peak EMG 진폭의 차이를 통해 무게중심의 효과를 비교하였고, 이를 통해 무게중심에 대측성의 근육에서 Peak EMG 진폭이 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한 비대칭 무게중심의 물체를 드는 경우 상체를 무게중심 쪽으로 기울이지 않는 것이 무게중심의 대측성의 근육에서 발생하는 Peak EMG 진폭의 정도를 줄일 수 있다는 것이 연구되었다.

좌·우 진폭의 차이를 주목하는 이유는 요통이 있는 집단과 아닌 집단을 비교할 경우 요통 집단에서 좌·우 진폭의 차이가 크게 나오기 때문이다[16]. 예를 들어 스포츠 분야의 조정(Boat Race)처럼 양쪽 손을 사용하여 두 개의 노를 움직이므로써 양쪽의 균등한 등과 허리근육을 쓰는 Sculling 선수보다, Sweep Rowing처럼 한 개의 노를 주로 사용함으로써 좌·우 등과 허리근육의 부하가 다르게 사용되는 경우가 요통 위험 정도가 크다[17,18].

따라서 이러한 좌·우 등근육의 부하 차이가 발생되지 않도록 공학적(Engineering) 측면에서 물체 포장시 무게중심의 위치가 가급적 중심에 오도록 하거나, 관리적(Administrative) 측면에서 상체를 기울이지 않는 자세를 안전 관리자가 지속적으로 작업자에게 교육하고 모니터링해야 한다.

본 연구에서는 비대칭 무게중심의 물체를 취급할 경우 자세 요인으로써 상체의 기울임만을 고려하였지만, 이외에도 상체 비틀림(In the traverse plane)이나 두 발의 위치 변화를 통해 Peak EMG 진폭이 발생하는 부위의 부하를 줄이는 방안도 연구될 가치가 있다. 또한 EMG 진폭은 근육의 수축에 비례하므로[14,15], 드는 속도를 달리하여 Peak EMG 진폭의 영향을 측정해 보는 것도 필요하다.

References

- [1] Kim, J., "Policies and strategies for preventing musculoskeletal disorders of workers in industries", Seminar for Industrial Safety, Korean Association of Certified Exercises Professionals, 2012.
- [2] "Analysis of industrial accidents at 2010" Ministry of Employment and Labor of Korea, 2011.
- [3] Kim, H., "Comparison of muscle strength for one hand and two hands lifting activity", Journal of the Ergonomics Society of Korea, 26(2), 35-44, 2007.
- [4] Han, S. J., and Kim, S., "The analysis of low back loading and muscle fatigue while lifting an asymmetric load", Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 35(2), 30-36, 2012.
- [5] Han, S. J., and Kim, S., "The model from asymmetric load to low back loading", Proceedings of the 2012 Spring Conference of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 29-34, 2012.
- [6] Meyers, B. M., and Keir, P., "Trunk muscle response to lifting unbalanced loads with and without knowledge of centre of mass", Clinical Biomechanics, 18, 712-720, 2003.
- [7] McGill, S., "The biomechanics of low back pain: implications on current practice in industrial and the clinic", Biomechanics, 30(5), 465-575, 1997.
- [8] Marras, W. S., "Occupational low back disorder causation and control, Ergonomics, 43(7), 880-902, 2000.
- [9] Roy, S. H., De Luca, C. J., Snyder-Mackler, L. Emley, M. S., Crenshaw, R. L., and Lyons, J. P., "Fatigue, recovery, and low back pain in varsity rowers", Medicine and Science in Sports and Exercise, 22(4), 463-469, 1990.
- [10] Seroussi, R. E., and Pope, M. H., "The relationship between trunk muscle electromyography and lifting moments in the sagittal and frontal planes", Biomechanics, 20(2), 135-146, 1987.
- [11] Nordin, M., Andersson, G. B. J., and Pope, M. H., Musculoskeletal Disorders in the Workplace 2nd Edition, Mosby-Year Book Inc., Missouri, 1997.
- [12] Coorevits, P. L. M., Danneels, L. A., Ramon, R. Van Audekercke., Cambier, D. C., and Vanderstaeten, G. G., "Statistical modeling of fatigue-related electromyographic median frequency characteristics of back and hip muscles during a standardized isometric back extension test", Journal of Electrophysiology and Kinesiology, 15, 444-451, 2005.
- [13] Shin, G., and D'Souza, C., "EMG activity of low back extensor muscles during cyclic flexion/extension", Journal of Electromyography and Kinesiology, 20(4), 742-749, 2010.
- [14] Bigland, B., and Lippold, O. C. J., "The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles", Journal of Physiology, 123, 214-224, 1954.
- [15] Lavender, S. A., Andersson, G. B. J., Schipplein, O. D., and Fuentes, H. J., "The effects of initial lifting height, load magnitude, and lifting speed on the peak dynamic L5/S1/ moments", International Journal of Industrial Ergonomics, 31, 51-59, 2003.
- [16] Cram, J. R., and Steger, J. C., "EMG scanning in the diagnosis of chronic pain", Biofeedback and self-regulation, 8(2), 223-241, 1983.
- [17] Reid, D. A., and McNair, P. J., "Factors contributing to low back pain in rowers", Br. j. Sports Med., 34(5), 321-322, 2000.
- [18] Roy, S. H., De Luca, C. J., Snyder-Mackler, L. Emley, M. S., Crenshaw, R. L., and Lyons, J. P., "Fatigue, recovery, and low back pain in varsity rowers", Medicine and Science in Sports and Exercise, 22(4), 463-469, 1990.

김 선 욱(Sun-Uk Kim)

[정회원]



- 1981년 2월 : 고려대학교 산업공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : Oregon State University 산업 및 제조공학과(공학박사)
- 1991년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 산업공학과 교수

<관심분야>

인간공학, 인공지능 및 전문가 시스템, 정보시스템

한 승 조(Seung Jo Han)

[정회원]



- 2002년 2월 : KAIST 산업공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : 아주대학교 경영학과(경영학석사)
- 2011년 2월 : The State University of New York at Buffalo 산업공학과(박사과정 수료)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 산업공학과 박사과정

<관심분야>

인간공학, 전문가시스템, 의사결정론