

MMH 작업조건에 따른 몸통부위 근육군의 활동변화에 관한 연구

이욱기, 김상호, 정민근
포항공과대학 산업공학과

(The Effects of MMH Task Conditions on Muscle Activity and Fatigue of the Trunk Musculature)

Wook Gee Lee, Sang Ho Kim, Min Keun Chung
Department of Industrial Engineering
Pohang Institute of Science and Technology

Abstract

요통(Lowback Pain)을 유발하는 주요원인으로 알려져있는 MMH(Manual Materials Handling) 작업에 있어서 작업조건에 따른 변화가 근육의 활동과 피로도에 미치는 영향을 평가하기 위해 4가지 서로 다른 작업조건하에서 몸통부위(Trunk)의 주요근육에 대한 EMG 파형분석을 실시하였다. 본 연구에서의 분석대상작업은 실제 작업조건과 유사하게 설계된 120분간의 단속적인 인양(Lifting)/하역(Lowering) 작업으로서 작업중량은 작업자의 MVIS(Maximum Voluntary Isometric Strength)를 기준으로 설정되었으며, 매 10분 간격으로 EMG 측정이 이루어졌다.

작업물이 작업자의 정면에 위치한 대칭형(Symmetric) 작업의 경우 배면부(Dorsal) 근육인 천극근(Erector Spinae)과 활배근(Latissimus Dorsi)이 활동근(Active Muscle)인 것으로 나타났으며, 정중면(Medial Plane)을 중심으로 좌우측 근육이 동일한 근력을 발휘하였다. 작업물이 작업자의 한쪽 측면에 위치한 90도 비대칭형(Asymmetric) 작업의 경우 천극근과 활배근외에 작업물과 반대쪽 외사근(External Oblique)이 활동근으로 추가되었으며, 작업물과 반대쪽의 근육들이 더욱 큰 근력을 발휘하였다.

작업의 반복에 따른 근육의 피로도를 평가하기 위해 실시한 EMG 파형의 Spectral Analysis 결과, 비대칭형 작업시 작업물과 반대쪽의 천극근에서 작업시간의 경과에 따라 중위주파수(Median Power Frequency)가 저주파수대로 천이(Lower Shift)하는 현상이 나타났으며, 일정한 작업량이라도 작업중량을 줄이고 작업빈도를 높여서 작업할 경우에 이러한 현상이 더욱 두드러졌다. 작업시간의 경과에 따른 MVIS의 감소현상은 작업빈도가 높고 비대칭형 작업일 때 가장 크게 나타났다.

1. 서론

Manual Materials Handling(MMH) 작업이란 기계나 동력기구의 도움없이 작업자가 자신의 근력(muscle forces)을 이용하여 중량물을 들어올리거나(lifting) 내리고(lowering), 밀거나(pushing) 당기는(pulling) 등의 동작을 통해 원하는 장소까지 운반하는 작업을 지칭한다. 최근에는 생산자동화, 물류자동화 등의 과정을 통해 기계나 동력기구들이 작업자의 근력을 필요로하는 작업을 대신해 가고 있는 추세이지만, MMH 작업은 아직도 대부분의 작업현장에서 가장 빈번히 행해지는 작업형태의 일종이다. MMH 작업은 최근 30여년간 인간공학을 비롯한 제관련분야에서 가장 활발히 연구되어온 주제의 하나인데, 이는 MMH 작업시 과도한 중량물의 취급, 작업과정에서 반복적으로 발생하는 몸통부위(trunk)의 비틀림(twisting), 구부림(bending) 등이 요통(LBP: lowback pain)을 유발하는 주원인으로 알려져 있기 때문이다. 요통은 직업활동과 관련하여 발생하는 산업재해(work-related injuries)의 커다란 부분을 차지하는 질병이며, 작업일수의 손실, 막대한 치료비용, 대체 작업자의 교육 비용, 부상자의 고통등 요통에 따른 피해의 심각성에 대해서는 이미 많은 연구자들이 언급한 바 있다(Andersson 등, 1990; Jensen, 1988; Kumar와 Garand, 1992). MMH 작업에 의한 요통의 발생은 작업자의 순간적인 실수에 기인한 경우보다는 올바르게 못한 작업자세나 인간의 능력 한계를 고려하지 않은 작업부하, 잘못 설계된 작업공간 등과 같은 구조적 원인에 의해 만성적으로 누적되어 온 영향이 결과적으로 나타나는 경우가 대부분을 차지하고 있다. 따라서, MMH 작업에 따른 요통의 피해를 최소화하기 위해서는 작업설계시부터 작업부하량에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 대한 과학적이고 체계적인 고려가 이루어져야 하며, 이를 위해 작업현장과 작업조건의 특성을 좀 더 현실감있게 반영해줄 수 있고 쉽게 사용할 수 있는 MMH 작업분석방법이 도입되어야 할 필요성이 크다.

MMH 작업은 작업자의 신체 근력을 바탕으로 한 작업으로서, 주어진 작업조건에 따른 각 근육의 기능(역할)과 발휘근력의 변화 및 그 한계 등은 안전작업기준을 설정하는과정에서 가장 크게 고려되어야 하는 내용이다. 이러한 맥락에서 근육의 활동과 관련된 정보를 얻기위한 방법론인 근전도(EMG: electromyogram) 분석은 MMH 작업의 분석과정에서 가장 필수적인 부분으로 인식되고 있다. MMH 작업분석 과정에 근전도가 활발히 사용되기 시작한 것은 1980년대 중반 이후부터이며, 기존의 연구사례에서 근전도의 이용방식은 크게 두가지 종류로 분류해 볼 수 있다. 첫번째 방식은 MMH 작업조건의 특성이 발휘근력에 미치는 영향을 파악하기위한 연구들로, 작업조건의 변화에 따른 근전도 신호(EMG signal)의 크기(amplitude) 변화를 분석하여 작업의 상대적 난이도, 즉 부하량의 증가를 추정하는 방식이다. Cook과 Neumann(1987)은 작업물의 위치와 중량의 변화에 따른 근전도 신호의 크기 변화를 분석한 결과, 작업물의 중량이 증가할수록 근전도 신호의 크기도 증가하며, 작업물과 반대쪽(contralateral) 근육들이 같은쪽(ipsilateral) 근육들에 비해 큰 근력을 발휘한다는 사실을 밝혔다. 이러한 결과는 근전도 신호의 크기 분석시 나타나는 일반적인 현상들과 일치하는 내용이다. Leskinen(1992) 등은 self-paced와 force-paced 작업의 차이를 근전도 신호의 크기 차이를 이용해 규명한 바 있다. 1990년대에 들어서면서는 시상면(sagittal plane)을 중심으로 한 대칭형(symmetric) 작업과 비대칭형(asymmetric) 작업의 특성차를 분석하기 위해 근전도 분석이 이용되

고 있다. MMH 작업의 분석과정에 있어 근전도가 이용되는 두번째 방식은 생체역학모델의 개발 및 검증에 의해 몸통부위 근육군의 근전도 파형변화를 분석하는 것으로 이 부류에 대한 연구사례들로는 McGill과 Norman (1986), Marras와 Sommerich (1991), McGill(1992) 등을 들 수 있다.

한편, MMH 작업이나 그밖의 단속적(intermittent)이고, 동적(dynamic)인 환경의 작업을 수행하는 과정에서 나타나는 피로도를 분석하기 위해 근전도 분석을 이용한 소수의 연구사례가 존재한다. Hagberg(1981)는 팔 근육의 근전도 크기 분석을 통해 반복적인 수기(arm elevation) 작업시의 피로도를 분석하였으며, Habes등(1985)은 팔근육을 이용한 반복적인 인양(arm lifting) 작업에서 작업물의 높이, 중량, 수평거리가 피로도에 미치는 영향을 분석하기 위해 근전도 신호의 크기와 주파수 변화를 이용하였다. 이밖에 몸통부위 근육의 피로도와 관련하여 Moritani 등(1992)이 중위 주파수(MPF: median power frequency)를 이용하여 요통을 경험한 적이 있는 사람들이 정상인에 비해 훨씬 더 피로에 민감하다는 결과를 얻었으며, Dieen등(1993)이 반복적인 MMH 작업시 천극근(erector spinae muscle)의 피로현상에 대해 연구한 사례가 있다.

피로란 작업자의 업무수행 능력을 저하시키는 요소로서 연구자에 따라 다양하게 해석되고 있지만, 근육의 활동과 관련된 피로는 근력의 연속적인 발휘로 근육내에 젖산(lactic acid)이 축적되어, 동일한 작업을 수행하기 위해 점점 더 많은 노력을 기울여야하고, 결국 요구되는 근력을 더 이상 발휘할 수 없게되는 현상을 의미한다. 근전도신호를 이용한 피로 현상에 대한 연구는 Piper(1912), Cobb와 Forbes(1923)의 연구를 필두로 최근까지도 활발히 진행되고 있다. 특히, 1960 - 1970대의 활발한 연구를 통해 근육에 피로가 누적될수록 근전도의 신호 크기 증가와 신호의 주파수 이동 현상이 나타난다는 사실이 보고된바 있다. Lippold(1960), Stephens와 Taylor(1972) 등의 연구에 의하면, 일정한 힘을 유지하는 동안(sustained contraction) 근전도 신호는 피로가 누적될수록 저주파 지역으로 이동하며, 이러한 현상은 body tissue의 low-pass filtering 효과에 의한 근전도 신호의 에너지 증가, motor unit이 동시에 동원되는 것을 의미하는 synchronization, motor unit에서 전하의 이동 속도를 의미하는 conduction velocity에 의한 것이다. Synchronization 현상은 요구되는 힘을 발휘하기 위하여 동원되는 motor unit의 firing rate에 의한 것으로 주파수 변화를 유발하며, 대부분 40Hz 이하의 주파수 영역에 영향을 주는 것으로 알려져있다. 또한, 근육의 단면적과 같은 근육의 특성에 영향을 받는 conduction velocity는 주파수 변화의 주요인인 것으로 알려져 있으며 (Basmajio-*n, 1985), 혈관의 막힘은 젖산의 누적과 conduction velocity의 감소를 유발하여 주파수에 영향을 준다(Mills, 1982). 근전도 신호의 피로의 측정을 위해 이용되는 근전도 신호의 주파수 분석에는 mean, median, center frequency등이 사용되고 있는데, Stulen(1981)은 근전도 신호 분석시 이용되는 기존 방법론에 관한 비교 연구에서 중위주파수가 잡음(noise)에 강하며, 잡음 발생 가능성이 높은 실험에서는 중위주파수를 사용할 것을 추천한 바 있다.

2. 연구의 목적 및 기대효과

기존의 연구들을 통해 살펴보았듯이 근력의 발휘과정에는 피로현상이 필수적으로 수반되며, 피로에 의한 작업능력 손실을 고려하지 않은 작업설계는 산업재해를 유발하는 주요원인으로 작용하게 된다. 그러나, MMH 작업설계와 관련된 기존의 많은 연구들에서는 작업순간의 일시적인 부하량을 기준으로 안전작업기준을설정하는 등, 반복횟수가 많거나 장시간에 걸친 작업으로 인한 피로현상에 대한 고려가 크게 부족한 실정이다. 또한, MMH 작업에 따른 근육의 피로현상을 규명하기 위한 일부의 연구들도 현실 작업조건과 부합되지 않는 정적인(static) 작업자세나 연속적인 근력발휘시(sustained contraction)의 피로현상을 대상으로 하거나, 일부 근육만을 대상으로 하는 경우가 대부분을 차지하고 있다.

본 연구에서는 이상과 같은 문제점을 해결하기 위하여 실제 작업조건과 유사하게 설계된 단속적인 인양(lifting) / 하역(lowering) 작업시 주요활동근육인 몸통부위의 여러 근육들에 대한 근전도 분석을 통해 MMH 작업조건에 따른 각 근육의 역할변화와 작업시간의 경과에 따른 피로현상을 규명해보고자 한다. 또한, 피로에 따른 작업능력 저하정도를 평가하기 위한 수단으로 하나로 작업시작 이전과 종료 후의 최대 등척성 근력(MVIS : maximum voluntary isometric strength)의 변화를 살펴보고자 한다. 본 연구를 통하여 실제작업시와 유사한 각 근육의 피로누적 경향과 작업조건에 따른 근육의 역할변화를 규명함으로써, 반복적인 MMH 작업설계시 작업부하량을 산정하는 과정에 도움을 줄 수 있으며, 궁극적으로는 적절한 작업부하량을 지닌 작업설계로 산업재해를 예방하는 과정에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 연구의 내용, 방법 및 범위

3-1. 피실험자의 선정 / 훈련

본 연구의 피실험자는 포항공대에 재학중인 20대의 남자학부생 3명으로 구성되었으며, 요통이나 그밖의 근골격계와 관련된 과거의 병력이 없고, 현재의 건강상태가 양호한 사람들로 선정하였다. 선정된 피실험자들은 본 실험에서 수행할 각자의 작업중량을 결정하기 위해 Caldwell 등(1974)에 의한 표준 근력측정방법(standard static strength testing procedure)에 따라 각자의 무릎높이에서 하루에 2회씩 일주일간 MVIS를 측정하였으며, MVIS 값이 안정기에 도달한 이후의 평균치를 이용하여 각자의 작업중량을 산정하였다. 또한, 본 실험에서 훈련효과가 나타나는 것을 방지하기 위해 설정된 작업중량을 이용하여 본 실험과 동일한 예비실험과정을 거쳤다. 표 1은 실험에 참여한 피실험자들의 인체특성 자료를 정리한 것이다.

표 1. 피실험자의 인체 특성자료

작업자	연령	몸무게 (kg)	키 (cm)	무릎높이 (cm)
1	23	65	174	50.7
2	23	67	175	51.2
3	22	64	175	51.5

3-2. 작업 내용

본 연구에서 분석대상으로 선정한 MMH 작업은 실제 작업상황과 유사하게 설계된 120분간의 단속적인 인양/하역 작업으로서 작업자가 주어진 시간동안 수행해야할 총 작업중량은 작업자의MVIS에 따라 일정하게 할당하였다. 작업조건을 변화시키기 위하여 수준수가 각각 2인 두가지 요인을 고려하여 총 4가지 서로 다른 작업조건하에서 실험을 실시하였다. 작업조건의 첫번째 변화요인은 시상면을 중심으로 한 작업의 대칭성 정도로서 작업물이 작업자의 정면에 위치한 대칭형 작업과 작업자의 오른쪽 측면에 위치한 90도 비대칭형 작업을 분석대상으로 한다. 두번째 변화요인은 작업수행방식으로서 10%MVIS 무게로 분당 4회 작업 (15초/1회)과 20%MVIS 무게로 분당 2회 작업 (30초/1회)을 수행하였다 (표2, 표3).

표 2. 피실험자별 MVIS와 작업하중

작업자	%MVIS	10%MVIS	20%MVIS
	평균(kg)	편차	(kg)
1	144.15	11.79	28.8
2	129.07	4.88	25.8
3	129.67	4.48	25.9

표 3. 작업조건

작업종류	빈도수	무게	자세	작업시간
작업 1	2회 / 분	20%MVIS	대칭형	2시간
작업 2	4회 / 분	10%MVIS	대칭형	2시간
작업 3	2회 / 분	20%MVIS	비대칭형	2시간
작업 4	4회 / 분	10%MVIS	비대칭형	2시간

그밖의 작업조건은 다음과 같이 일정하게 유지하였다. 작업대의 높이는 바닥으로부터 72 cm이

며, 작업물은 좌우 52cm, 앞뒤 37cm, 높이 24cm인 플라스틱 tote box로서 box 내부에 모래주머니를 채워 중량을 조절하였다. 작업은 컴퓨터에서 발생시킨 신호음에 의해 시작되며, 작업자세와 속도는 피실험자가 자의적으로 결정하되 급격한 동작이 발생하지 않도록 하고, 작업이 진행되는 전체 기간동안 일정한 pace를 유지하도록 하였다. 1회의 작업은 작업물을 바닥으로부터 들어올려 작업대 위에 올려놓았다가 다시 제자리에 내려놓는 것으로 정해진 빈도수에 따라 120분간 반복하였다. 대칭형 작업은 상자를 들어 올린 후 일보 전진하여 작업대에 올려놓았다가 다시 제자리에 내려놓으며, 비대칭형 작업은 대칭형 작업자세에서 상체를 90도 오른쪽으로 비튼 상태에서 상자를 들어올려 정면의 작업대에 올려놓았다가 다시 제자리로 내려놓는 작업이다(그림 1).

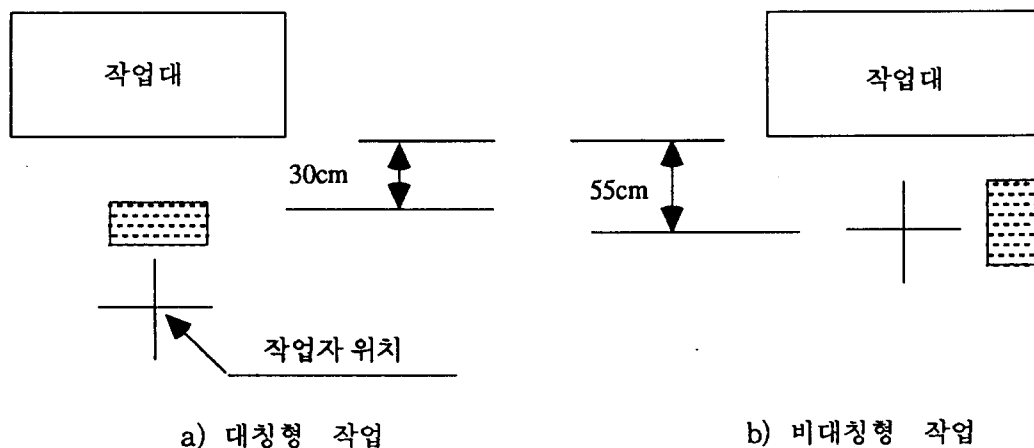



그림 1. 작업장 평면도( : 상자)

3-3. 근전도 및 MVIS의 측정

근전도 측정에는 무선형 근전도 측정장치인 Polygraph System을 이용하였으며, 몸통부위의 좌우 천극근(erector spinae:LES/RES), 좌우 활배근(latissimus dorsi:LLD/RLD), 좌우 외사근(external oblique:LEO/REO), 좌우 직복근(rectus abdominus:LRA/RRA)의 총 8개의 근육에 bipolar surface electrodes를 부착하여 작업 시작후 매 10분 간격으로 근전도를 측정하였다(그림 2). Electrode 부착시 두 electrode(active, referece)의 사이 간격은 3cm로 유지하였으며, ground electrode는 근육활동이 발생하지 않는 부위인 쇄골(clavicle)과 장골(ilium)에 부착하였다. 천극근은 L3 높이에서 좌우로 3cm, 활배근은 T9 높이에서 몸통의 가장 측면, 외사근은 배꼽 위 3cm에서 좌우로 각 10cm, 직복근은 배꼽위 좌우 3cm 거리에 electrode를 부착하였다.

Electrode 부착 부위는 피부 각질을 제거하여 피부 저항이 100k Ω 이하를 유지하도록 하였으며, electrode 부착 후 30분의 Aging 시간이 경과한 이후에 실험을 실시하였다. 또한, electrode 선의 흔들림등 잡음(<20hz)에 의한 영향을 고려하여 passband가 30 - 360Hz인 6차 analog Butterworth bandpass filter를 사용하여 잡음을 제거하였다. Sampling frequency는 주파수

분석 범위를 고려하여 1024Hz로 결정하였으며, 1회 작업의 시작과 끝이 모두 포함될 수 있도록 충분한 시간(7초) 동안 근전도 신호를 측정하였다.

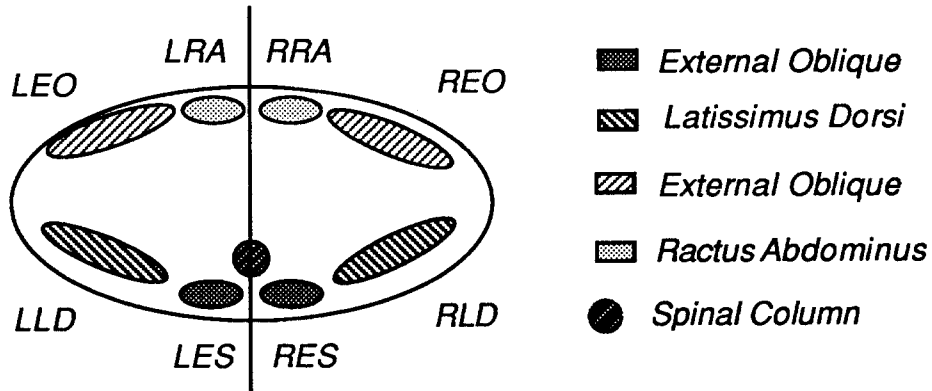


그림 2. 몸통부위 근육군의 단면도

한편, 작업 시간의 경과에 따른 MVIS 변화 현상을 살펴보기 위하여 작업 시작전과 작업 종료 직후에 근력 측정장치(Strength Tester)를 이용하여 MVIS를 측정하였으며, MVIS측정에 따른 피로를 고려하여 MVIS 측정과 작업시작 사이에 10분간의 휴식시간을 가졌다.

3-4. 근전도 신호 분석

7초 동안 측정된 전체 근전도 신호중 작업물을 인양하는 시간대의 (lifting time) 신호를 대상으로 신호의 크기와 주파수 분석을 실시하였다. 근전도 신호의 크기분석에서는 각 근육별 근전도 신호를 이용하여 근육별 기작(activation)시간과 기작시간 동안의 평균 근전도 크기를 계산하였다. 계산된 평균 근전도 크기와 MVIS 측정시의 최대 근전도 크기, 휴지(resting)시의 근전도 크기를 이용하여 각 근육별 근전도 크기를 평준화(normalize)하였다.

근전도 신호의 주파수 분석에서는 신호의 왜곡을 줄이기 위해 Hamming windowing을 실시한 후 spectral analysis를 위해 512 point FFT를 실시하였다. FFT를 통해 얻어진 power spectrum을 이용하여 중위 주파수를 계산하였다.

4. 결과

4-1. MVIS 변화량

각 작업자별로 작업이 시작되기 이전과 작업 종료후에 각각 측정한 MVIS의 변화량을 평균한 결과는 그림 3과 같다. 작업 조건에 따라 MVIS는 작업이 끝난 후 20%- 30% 정도 감소하였으며, MVIS의 감소 현상은 작업 4에서 가장 두드러지게 나타났다.

Reduction trends of MVIS

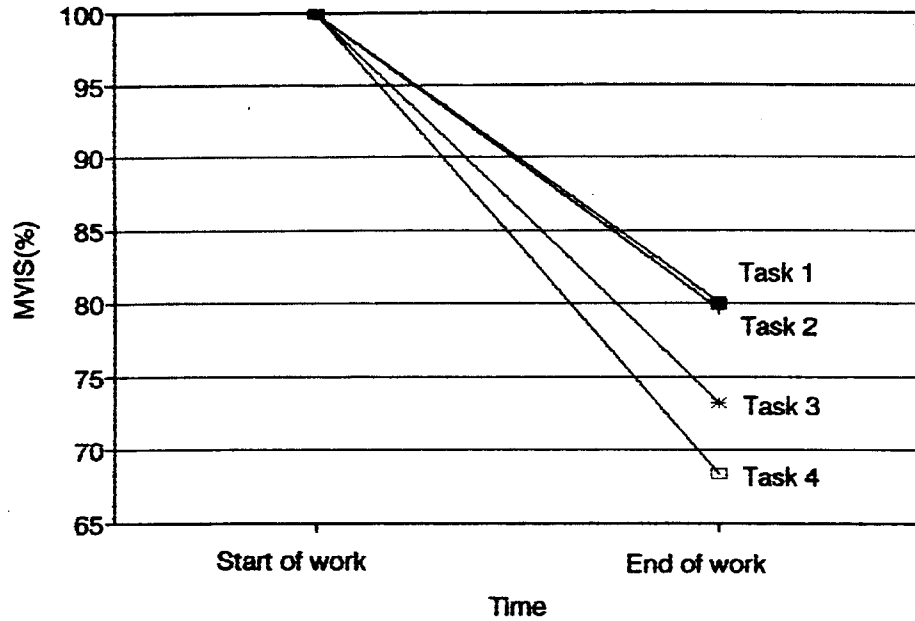
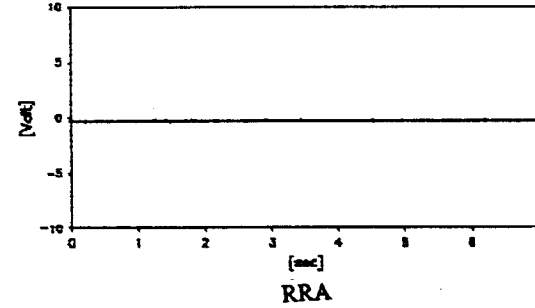
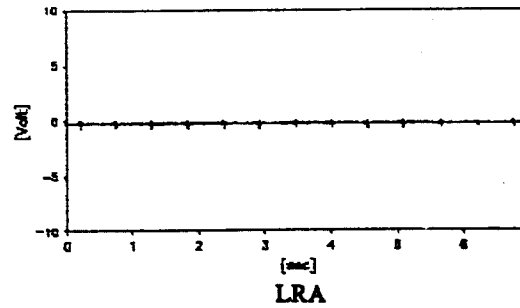
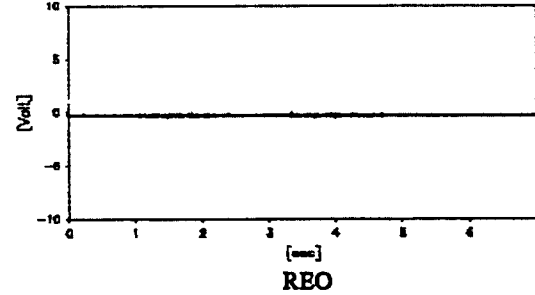
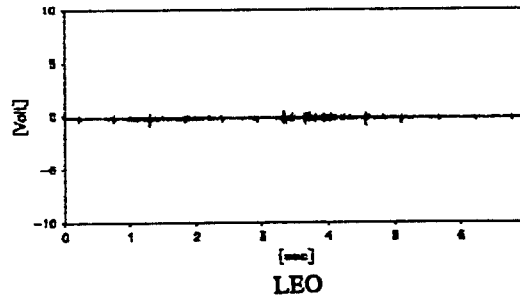
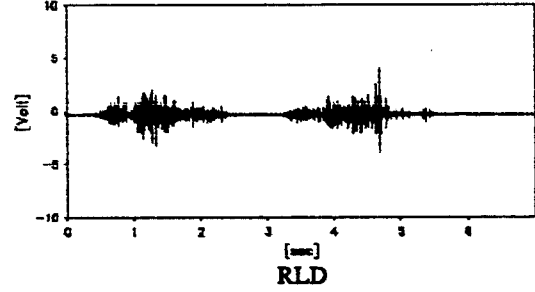
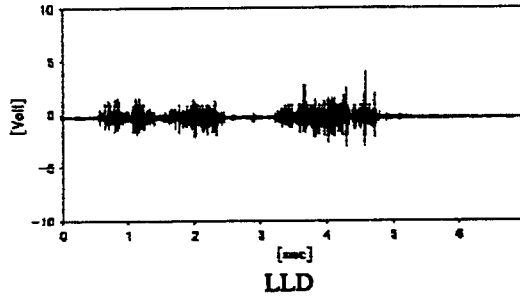
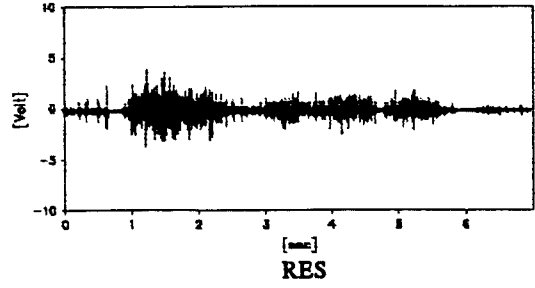
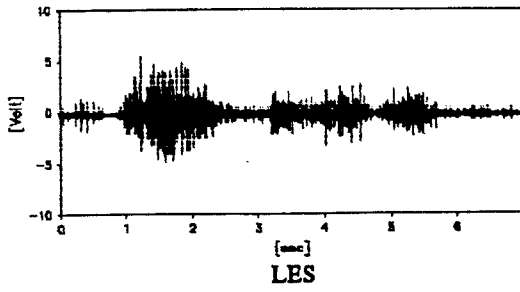


그림 3. 작업시간의 경과에 따른 MVIS의 변화

4-2 근육의 기작 순서와 크기

작업조건에 따라 몸통부위의 근육들의 기작되는 방식과 발휘근력에는 차이가 있는 것으로 나타났다. 작업물이 작업자의 정면에 위치한 대칭형 작업의 경우 배면부(dorsal) 근육인 좌우의 천극근과 활배근이 활동근(active muscle)인 것으로 나타났으며(그림 4), 외사근과 직복근에서는 기작현상이 나타나지 않았다. 근전도의 크기로 평가한 발휘근력에 있어서 대칭형 작업의 경우 좌우측 근육간에는 유의차가 존재하지 않았으며($p = 0.18$), 천극근이 활배근에 비해 발휘근력이 큰것으로 나타났다. 기작순서에 있어서도 좌우측 근육사이에는 유의차가 존재하지 않았으며($p = 0.123$), 천극근에 비해 활배근이 먼저 기작되는 것으로 나타났다.

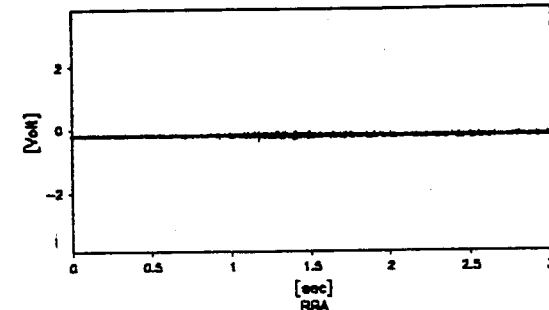
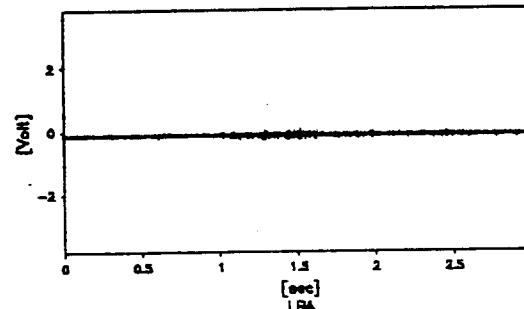
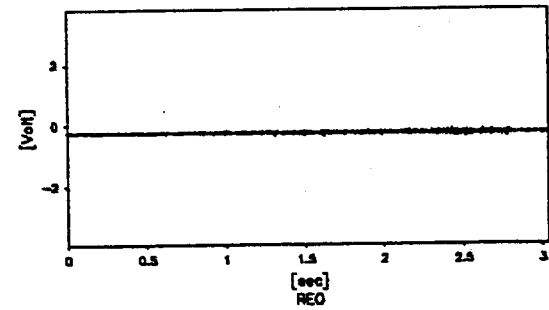
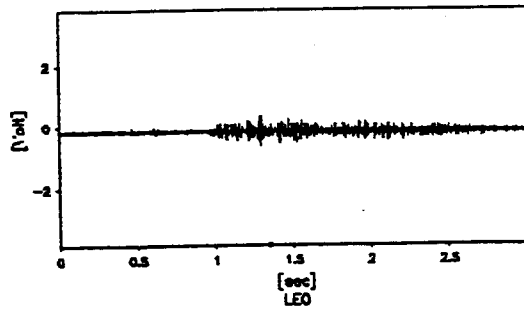
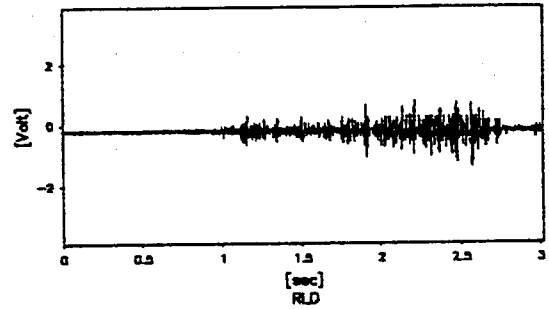
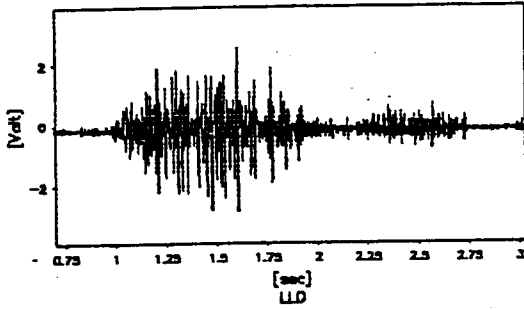
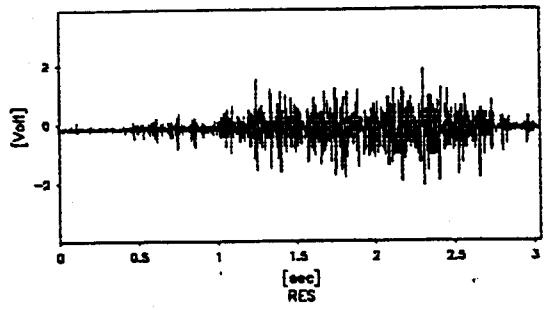
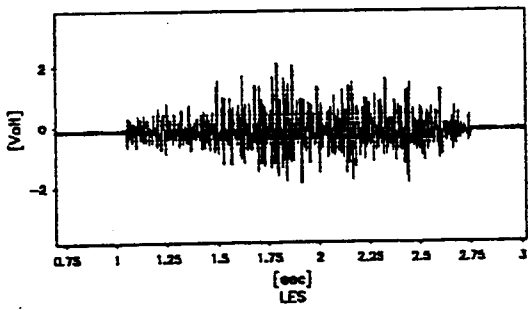
작업물이 작업자의 한쪽 측면에 위치한 90도 비대칭형 작업의 경우에는 작업의 방향에 따라 좌우측 근육이 기작되는 순서와 발휘근력의 크기에 차이가 나타났다. 본 실험의 경우 작업물의 위치와 반대쪽인 좌측의 근육들이 우측의 동일한 근육들에 비해 발휘근력의 크기가 큰 것으로 나타났으며(그림 5), 특히 좌측 천극근에서 가장 활발한 근육활동이 나타났다. 대칭형 작업과 비교할 때 두드러진 또 하나의 특징은 천극근이나 활배근에 비해 그 크기는 작지만 좌측 외사근이 활동근으로 추가된다는 점이다. 또한 근육들의 기작순서에 있어서도 좌측 활배근이 가장 먼저 기작되고 그 이후에 좌우측 천극근과 우측 활배근이 기작되는 것으로 나타났다.



a) 좌측 근육

b) 우측 근육

그림 4. 대칭형 인양작업시 몸통부위 주요근육의 근전도 파형



a) 좌측 근육

b) 우측 근육

그림 5. 비대칭형 인양작업시 몸통부위 주요근육의 근전도 파형

4-3. 피로 누적 경향

작업의 반복에 따른 근육의 피로도를 평가하기 위해 각 근육별 근전도 파형에 대한 spectral analysis를 실시한 결과, 작업시간의 경과에 따라 중위 주파수가 저주파수대로 천이하는 현상은 비대칭형 작업시 작업물과 반대쪽의 천극근에서 발견되었으며, 이러한 현상은 특히 4번 작업에서 두드러지게 나타났다(그림 6). 그러나, 대칭형 작업의 경우에는 천극근의 피로 현상을 관찰할 수 없었으며, 그밖의 근육들에 있어서도 중위 주파수의 천이현상은 나타나지 않았다.

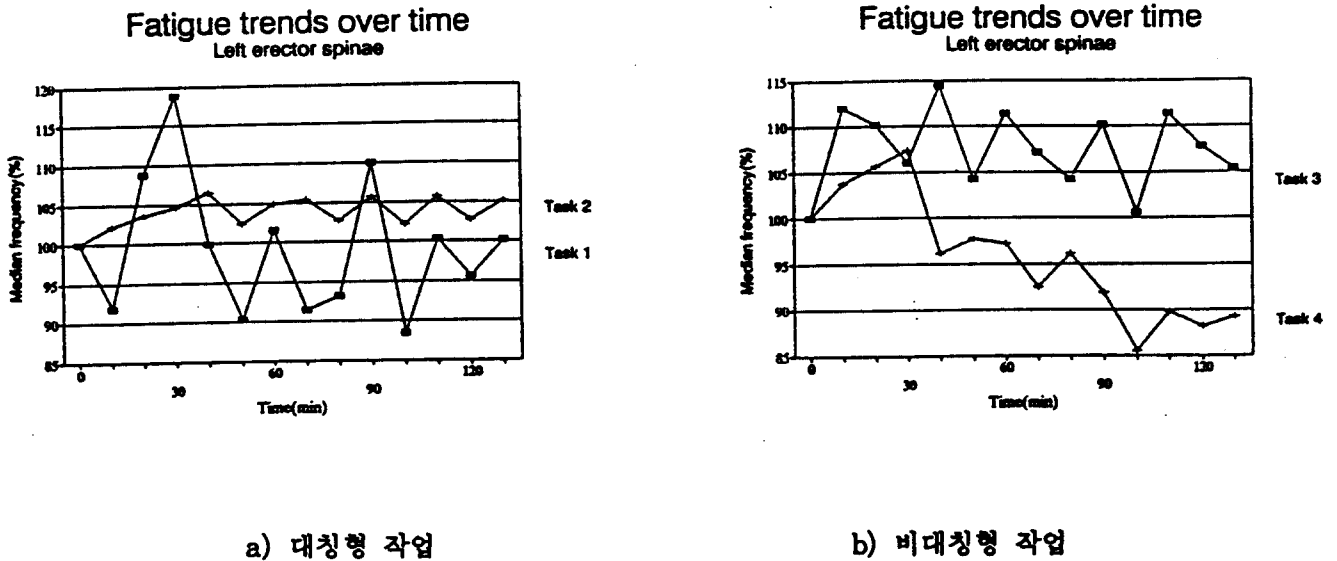


그림 6. 작업시간의 경과에 따른 천극근의 중위 주파수 천이현상

5. 결론

본 연구에서는 근전도 파형분석을 통해 4가지 서로 다른 MMH 작업조건이 몸통부위 주요근육의 활동과 피로에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 살펴보았다. 분석결과를 통해 알 수 있듯이 인양작업시 작업물의 위치에 따라 발생하는 작업의 비대칭성은 전체적인 작업부하량에 커다란 영향을 미친다. 비대칭형 작업의 경우 동원되는 근육의 종류가 대칭형 작업과 상이할뿐만 아니라 정중면을 중심으로 좌우측 근육의 발휘근력에도 차이가 나타난다. 이러한 근육들간의 발휘근력차로 인해 작업부하가 집중되는 근육들, 즉 작업물의 위치와 반대쪽 근육들의 부담이 늘어나게 되면서 작업의 난이도를 증가시키고, 부하가 집중되는 근육들에 먼저 피로가 축적되게 된다. 이러한 현상은 본 연구에서 분석한 4번 작업에서 주동근인 좌측 천극근의 피로현상과 MVIS의 가장 큰 감소를 통해서 규명될 수 있다.

인양작업과 관련하여 몸통부위의 근육들 중에서 가장 큰 근력을 발휘하는 근육은 배면부의 천극근이며, 이로 인해 피로에 가장 민감한 반응을 나타내었다. 천극근에서 나타난 중위 주파수의 천이현상을 통해 중위 주파수가 MMH 작업시 근육의 피로도를 평가할 수 있는 효과적인 평가지표임을 알

수 있다.

작업의 수행방법에 따른 근육의 피로도를 비교 평가한 결과, 동일한 작업량을 수행하더라도 1회 당 작업중량을 줄이고 작업빈도를 높여서 작업하는 방식이 작업중량을 늘이고 작업빈도를 낮추어 작업하는 방식에 비해 근육의 피로정도가 크다는 사실을 알 수 있다. 서론을 통해 이미 언급했던 바와같이 작업설계시에는 피로로 인한 작업수행능력의 저하가 충분히 고려되어야 한다. 따라서, 순간적인 작업부하량을 낮추는 것만이 가장 안전한 작업설계라고 볼 수는 없으며, 순간 작업부하량과 피로도를 동시에 고려한 작업설계가 이루어져야 한다.

6. 참고 문헌

- [1] Arendt-Nielsen, L., Mills, K.R., and Forster, A., "Changes in muscle fiber conduction velocity, mean power frequency, and mean EMG voltage during prolonged submaximal contractions", *Muscle & Nerve* Vol.12, 493-497, 1989.
- [2] Baidya, K.N., and Stevenson, M.G., "Local muscle fatigue in repetitive work", *Ergonomics*, Vol.31, 227-239, 1988.
- [3] Basmajian, J.B., and De Luca, C.J., *Muscles Alive:5th Edition*, 1985.
- [4] Caldwell, L.S., Chaffin, D.B., and Dukes-Dobos, F.N., et al, "Aproposed standard procedure for static muscle strength testing", *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol.35, 201-205, 1974.
- [5] Cobb, S., Forbes, A., "Electromyographic studies of muscle fatigue in man", *Am. J. Physiology*, Vol.65,234-251, 1923.
- [6] Cook, T.M., and Neumann, D.A., "The effects of load placement on the EMG activity of the low back muscles during load carrying by men and women", *Ergonomics*, Vol.30, 1413-1423, 1987.
- [7] Habes, D., Carlson, W., and Badger, D., "Muscle fatigue associated with repetitive arm lifts:effects of height, weight and reach", *Ergonomics*, Vol.28, 471-488, 1985.
- [8] Hagberg, M., "Work load and fatigue in repetitive arm elevations", *Ergonomics*, Vol.24, 543-555, 1981.
- [9] Klein, B.P., Roger, M.A., Jensen, R.C., and Sanderson, L.M., "Assessment of workers' compensation claims for back sprain/strains", *J. Occupational Medicine*, Vol.26,443-448, 1984.
- [10] Lippold, O.C.J., Redfearn, J.W.T., and Vuco, J., "The electromyography of fatigue", *Ergonomics*, Vol.3, 121-131,1960.
- [11] Lloyd, A.J., "Surface electromyography during sustained isometric contractions", *J. Applied Physiology*, Vol.30, 713-719, 1971.
- [12] Mills, K.S., "Power spectral analysis of electromyogram and comppond muscle fatigue and recovery", *J. Physiology*, Vol.362, 401-409, 1982.
- [13] Moritani, T., Muro, M., and Oda, S., "Myoelectric signal characteristics in lumbar back muscles during fatigue", *Interanational Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.9, 151-156, 1992.
- [14] Petrofsky, J.S., Glaser, R.M., Phillips, C.A., Lind, A.R., and Williams, C., "Evaluation of the amplitude and frequency components of the surface EMG as an index of muscle fatigue", *Ergonomics*, Vol.25, 213-223, 1982.
- [15] Piper, H., "Electrophysiologie Muschliche Muskeln", Springer-Verlag, 126, 1912.

- [16] Stephens, J.A., Taylor, A., "Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man", *J. Physiology*, Vol.220, 1-18, 1972.
- [17] Stulen, F.B., DeLuca, C.J., "Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle conduction velocity", *IEEE Trans Biomedical Engineering*, Vol.28, 515-523, 1981.
- [18] Van Dieen, J.H., Toussaint, H.M., Thissen, C., and Van De Ven, A., "Spectral analysis of erector spinae EMG during intermittent isometric fatiguing exercise", *Ergonomics*, Vol.36, 407-414, 1993.