

## 기관사 상지 근육의 피로도 변화에 대한 연구

### A study on upper extremity muscle fatigue changes of train driver

장혜연<sup>†</sup> · 이용기<sup>\*</sup> · 장재호<sup>\*</sup> · 김태식<sup>\*</sup> · 홍성준<sup>\*</sup> · 한창수<sup>\*</sup> · 한정수<sup>\*\*</sup> · 안재용<sup>\*\*\*</sup>

Hye-Yoen Jang · Yung-Gi Lee · Jae-Ho Jang · Tae-Sik Kim · Sung-Jun Hong

Chang-Soo Han · Jung-Soo Han · Jae-Yong Ahn

**Abstract** The purpose of this study is to investigate changes in the forearm-muscle fatigue of a train driver operating the MasCon by using EMG (electromyogram) measurement technique. Train drivers usually use their forearm 4hours/day for normal operation. Accordingly, four different EMG signals of deltoid, biceps brachii, brachioradialis, flexor carpi ulnaris muscle of upper extremity have been measured and analyzed. The raw EMG Signals have been converted into median frequency using spectrum analysis. As the result, 80% of 10 subjects (real train drivers) showed that median frequency value of all four muscles has been reduced after 30 minutes of train operation. This results demonstrated that operating MasCon for 30 minutes could induce muscle fatigue.

**Keywords** : MasCon (master controller), Muscle Fatigue, EMG (electromyogram), MF (median frequency), Train simulator

**요 지** 본 연구는 기관사가 지하철 가/감속 장치인 마스콘을 구동 할 때의 시간에 따른 근피로도 변화를 근전도를 이용하여 측정 및 분석하였다. 기관사들은 대부분 하루에 평균 4시간 정도를 상지를 이용하여 마스콘을 구동한다. 4개의 근전도 채널을 상지의 어깨세모근(deltoid muscle), 위팔노근(brachioradialis muscle), 위팔 두갈래근(biceps brachii muscle) 그리고 자쪽 손목 굽힘근(flexor carpi ulnaris muscle)에 부착하여 각 상황에 따른 근전도 신호를 중앙주파수(MF)를 구하여 그 피로도를 분석하였다. 분석결과, 운행 30분 후 10명의 피험자(실제 기관사)의 80%이상의 중앙주파수 값이 유의하게 감소하였다. 이 결과는 30분의 마스콘 구동만으로도 기관사의 상지 근육에 피로를 유발함을 의미한다.

**주 요 어** : 마스콘, 근피로, 근전도, 중앙주파수, 열차 시뮬레이터

## 1. 서 론

최근 우리나라도 300km/h이상의 속도를 내는 고속열차를 도입하였고, 지하철은 서울, 부산, 인천, 대구 등 주요 도시에 주된 교통수단으로 이용되고 있다.

대부분 자동운전시스템을 갖추고 있지만, 서울의 1,2,3,4호선의 경우 아직 기관사가 수동으로 운전하고 있다.

지하철 운행 및 제동은 열차 가/감속장치인 마스콘(Fig. 1)에 의해 제어되며 기관사의 운행 중 졸음을 방지하기 위해 마

스콘을 일정한 힘으로 누르고 있는 상태로 운행하게 된다. 만약 마스콘이 일정 이상의 압력으로 눌리지 않은 상태가 되면 바로 열차가 급정차를 하게 된다.

기관사는 하루에 평균 4시간 운행을 하게 되어 있으며, 수동운행을 할 경우 기관사의 마스콘을 잡고 있는 팔에 근피로가 쌓일 수 있다. 근피로란 근육에 가해지는 자극이 일정하게 유지 뒀에도 불구하고 힘이 감소하는 것을 말한다. 즉 일정자극에 의해 근육의 수축이 약해지는 현상을 근피로라고 한다(권영국의, 2000). 기존의 기관사에 관한 연구로는 철도 차량 운행 속도에 따른 기관사의 인지과정에 대한 연구(김사길외, 2007), 철도 기관사의 스트레스와 관련한 직무강도 평가(김사길외, 2006), 시뮬레이터 운행 시 운전자의 생리학적 반응에 대한 연구(장혜연외, 2006)등이 진행되어왔다. 스트레스 및 생리학적인 반응의 경우, 심리적인 원인이 주를 이

† 책임저자 : 회원, 한양대학교, 기계공학과  
E-mail : hyjang82@hanyang.ac.kr  
TEL : (031)400-4062 FAX : (031)406-6398

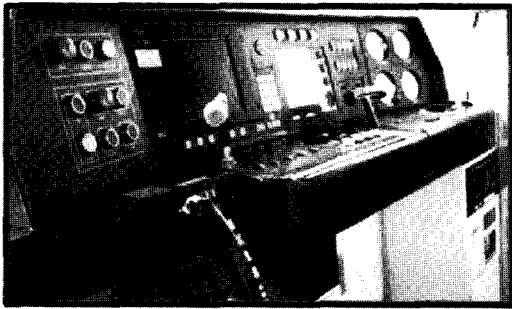
\* 한양대학교 기계공학과

\*\* 한성대학교 기계시스템 공학과

\*\*\* 성균관대학교 의과대학 삼성제일병원



Fig. 1. MasCon using the real-subway



(a) Control Desk using Dae-Gu subway



(b) Control Desk using simulator

Fig. 2. Control Desk

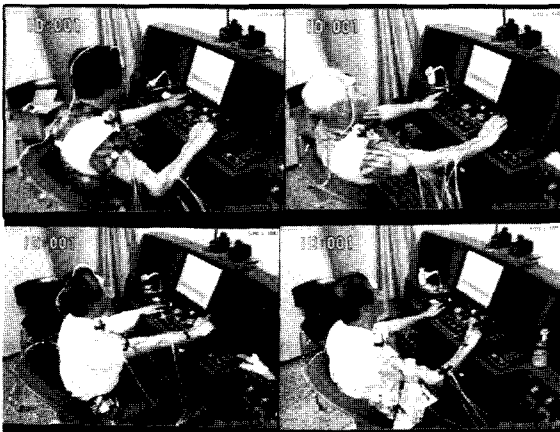


Fig. 3. Subject (real train driver)

를 수 있다. 하지만 직접 조작에 의한 물리적인 근피로 및 신체 반응에 대한 연구는 활발히 진행되고 있지 않다.

실제 근피로에 관한 연구는 주로 운동선수의 활동에 관한 것이 주를 이룬다(김유신 외, 2007; 이한준 외 1999; 김기진, 1999). 근피로는 또한 근육이 최대로 수축할 수 있는 힘으로부터 감소하는 과정을 말한다. 이러한 근피로를 측정하기 위해서는 주로 주동근(agonist)과 길항근(antagonist)의 근전도를 측정, 분석한다.

근전도(EMG: electromyogram)는 근섬유를 따라 전도되는 운동단위활동전위를 기록한 것이다.

또한 표면 근전도(sEMG: surface electromyogram)의 경우에는 표면전극을 피부표면에 붙이는 비 침습성 방식이므로, 불쾌감이 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있어 널리 사용되는 방법이다. EMG 측정 분석의 결과물로는 RMS[ $\mu$ V](root mean square), MF[Hz](median frequency), MPF[Hz](mean power frequency), ZCR[%](zero crossing rate), AEMG[ $\mu$ V](average EMG) 등이 있으며, 피로를 측정하는 방법으로 주로 사용되는 방법으로는 근전도 신호의 진폭을 반영한 실효치[ $\mu$ V]와 주파수 스펙트럼 분석에 의한 MF[Hz](중앙 주파수), MPF[Hz](평균 주파수) 등을 이용한다. MF[Hz]값은 SEF50[Hz](spectral edge frequency 50)이라고 표현하기도 하며 이는 파워 스펙트럼으로부터 0-100% 사이로 정규화한 누적 파워분포 중 누적 파워값이 50%에 해당하는 주파수값을 말한다.

근육이 피로하면 그 결과로 진폭(amplitude)이 증대되고, 주기(duration)가 연장되고, 근육세포의 탈분극 이후 전기적 재분극 과정, 즉 회복과정이 지연된다(민병찬 외 2006). 이는 근육세포의 전기적 불응기간이 길어짐을 의미한다. 따라서 탈분극간 간격에 해당하는 한 주기가 길어지게 되어 서서히 저주파 성분으로 편향한 분포를 보이는 것이다.

따라서 본 연구에서는 기관사가 마스크를 구동하는 동안 손목과 팔근육에 쌓이는 피로도도에 대해 가장 분석이 쉽고 근피로 분석을 위해 많이 사용되는 MF값을 이용하여 마스크 구동과 근피로의 관계에 대해 실험 및 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 실험대상

피 실험자(Subject)는 실제 오랜 시간 지하철을 운행해본 경험이 있는 실제 기관사 10명(Fig. 3)을 대상으로 하였다.

일반인이 피 실험자가 될 경우 마스크를 조작하는데 무리한 힘이 들어가거나, 조작미숙으로 인해 올바른 데이터를 얻을 수 없기 때문에 전문가 집단으로 피험자를 정하였다.

또한 실험 전 충분한 휴식을 취하여 근육에 무리가 가지 않

도록 하였으며, 가능한 실제 운행 시와 유사한 신체 상태를 유지하도록 하였다.

### 2.2 실험환경

실제 열차 운행 시에 측정하는 것은 근전도 측정에 영향을 줄 수 있고, 실제 운행 중인 기관사를 실험하는 것은 지하철 운행시 안전의 문제와 직접적으로 영향을 줄 수 있으므로 실제 열차 운행환경과 같은 시뮬레이터를 구성하여 실험하였다.

또한 실험에 사용된 운행 데스크는 Fig. 2에 나타나 있는 실제 대구지하철데스크를 그대로 옮겨서 실험하였으며, 영상은 실제 광주지하철의 일부 구간을 모델로 제작한 시뮬레이터 영상으로 하였다(Fig. 4).

그러므로 운행 시 출발하고, 정차하고 하는 등의 모든 운행조작을 실제와 같게 하였고, 마스크의 가/감속비율(가속도 3.0km/h/s, 제동 감속도 3.5km/h/s, 비상제동 감속도 4.5km/h/s)도 실제 지하철과 같도록 모델링하여 실제 운전 시와 유사한 제어가 가능하게 하였다.

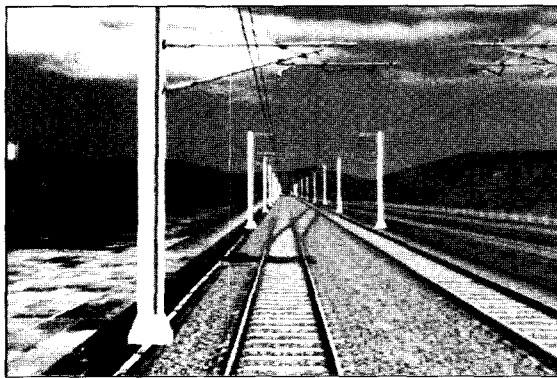


Fig. 4. Image of the simulator

### 2.3 측정방법

실제 지하철 운행 시 평균 80km/h 정도이며, 한구간당 2-3분이 소요된다. 즉 기관사는 2-3분에 한번 씩 정차 및 출발하게 된다. 기관사는 계속 마스크를 누르고 있어야 하며 조작을 하는 팔에 무리가 갈 수 있으므로, 팔의 상박과 하박의 근육에 근전도를 측정하였다.

측정장비는 (주)락씨의 QEMG-4 (LXM3204)를 사용하였고, 샘플링 주파수는 1024[Hz]이며 측정 주파수 범위는 256[Hz]로 하였다. 분석 소프트웨어는 Telescan을 사용하여 후 분석 하였다.

### 2.4 실험과정

실험은 위에 언급한 바와 같이 실제 기관실과 유사한 시뮬레이터환경에서 진행되었으며, Fig. 5에서 나타난 바와 같이 총 30분씩 측정하였다. 마스크 구동 시 등척성구동과 등장성구동이 뚜렷히 구별되지 않고 섞여서 이루어지므로, 여러 곳의 근전도를 추출하여 분석하였다.

일반적인 지하철 운행의 경우 열차가 2-3분에 한번 씩 정차 함으로, 정차 후 출발한 다음부터 실험상황에 의한 피험자의 긴장이 어느정도 해소 된 후인 실험초반과 실험 종료 직전인 후반부에 각각 2분씩, 운행 중 근전도를 측정하였다.

또한 중간 15분경 급정거를 하게 하여 갑자기 돌발 정차 시 마스크 구동을 하였을 때의 행위가 근피로를 유발하는지 여부를 10명의 기관사를 상대로 실험하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 근전도 측정

마스크를 계속 누르고 있는 상태의 근육피로를 측정하기

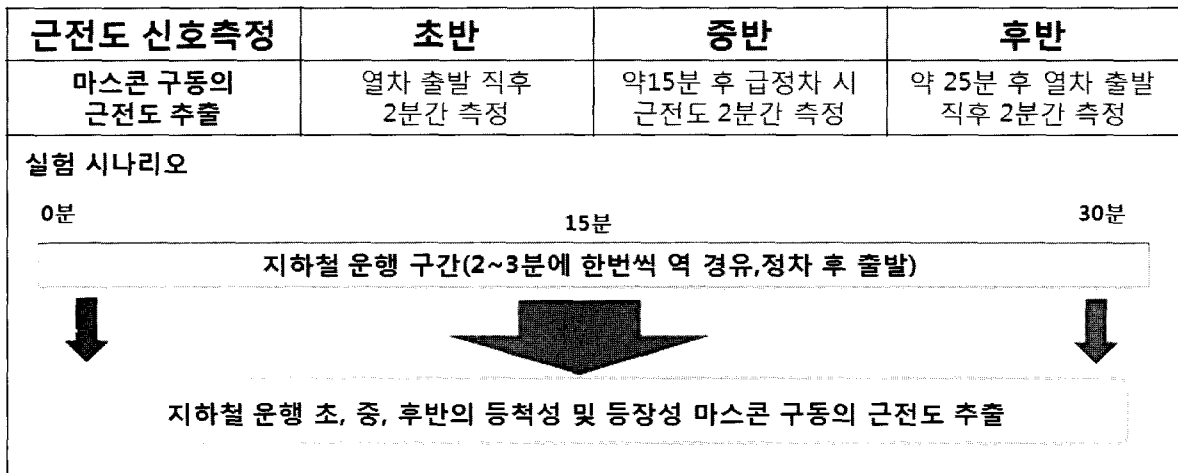


Fig. 5. Experiment scenario

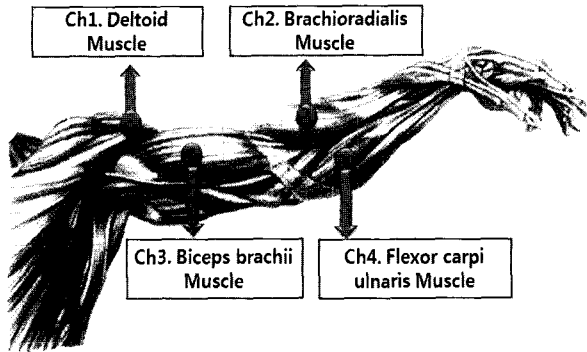


Fig. 6. Position of EMG electrode

위해 팔의 상박의 어깨세모근(deltoid muscle)과 위팔 두갈래근(biceps brachii muscle), 팔의 하박의 위팔노근(brachioradialis muscle)과 자쪽 손목 굽힘근(flexor carpi ulnaris muscle)의 마스크 구동시의 근전도 신호를 처음 운행시와 중간 15분 경의 급정거 시, 30분 이상 마스크 구동을 하였을 때를 각각 측정하여 근피로의 변화를 비교 분석 하였다.

Fig. 6과 같이 기관사의 마스크를 잡고있는 팔에 근전도 전극을 부착한 후 근전도 신호를 측정하였고, 30분의 마스크 조작이 근피로도에 영향을 미치는지에 대한 중앙주파수값의 증감을 유의수준 0.05의 분산분석을 통해 신뢰성 검토 후 결과를 비교 하였다. 즉 시간에 따라 측정된 중앙주파수 값들이 유의 수준보다 낮을 경우 시간의 변화에 따른 근피로도의 차이가 있다고 판정하는 것이다.

### 3.2 측정결과

#### 3.2.1 Ch1. 어깨세모근(deltoid muscle)

Fig. 7은 기관사2의 운행 초기, 중기, 말기의 근전도신호를 0-100%사이로 정규화한 누적 파워분포값을 나타내어준다. Fig. 7과 Table. 1에서 알 수 있듯이 시간이 지남에 따라 어깨 세모근(deltoid muscle)의 중앙주파수가 10명의 피험자 모두, 즉 피험자의 100%가 MF값이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한 실험 중반에 신호를 받아 급정차를 할 경우도 급정차와 관계없이 두 명의 피험자(기관사4, 기관사6)를 제외하고는 모두 근피로에 큰 영향을 받지 않았다.

#### 3.2.2 Ch2. 위팔노근 ( brachioradialis muscle )

Table 2에서 알 수 있듯이 시간이 지남에 따라 위팔 노근(brachioradialis muscle)의 SEF50주파수가 10명의 피험자 중 80%인 2명(기관사6,기관사10)을 제외하고 모두 낮아졌다. 20%의 피험자가 오히려 초반의 근피로가 높다고 측정된 것은 이러한 실험을 많이 해본 연구원이 아닌 일반 기관사를 대

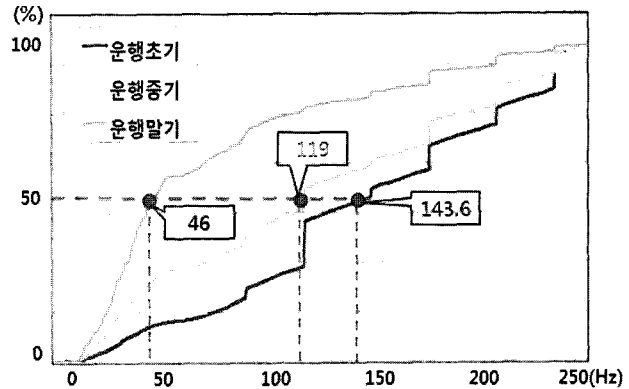


Fig. 7. Median Frequency Comparative of Deltoid Muscle

Table 1. Median Frequency of Deltoid Muscle (단위: Hz)

	측정초기 2분	측정중기 (급정차)	측정후기 (2분)	시간에 따른 SEF50 증감 (P=0.05)
기관사1	150.0	130.8	139.3	감소
기관사2	143.6	119.9	46	감소
기관사3	102.8	156.1	85	감소
기관사4	105.1	98.0	101	감소 (급정차시 제외)
기관사5	99.8	96.5	92	감소
기관사6	98.1	73.3	77.8	감소 (급정차시 제외)
기관사7	179.8	169.9	165.1	감소
기관사8	180.0	178.9	167	감소
기관사9	122.9	117.4	120.6	감소
기관사10	89.5	79.9	76.9	감소

Table 2. Median Frequency of Brachioradialis Muscle (단위: Hz)

	측정초기 2분	측정중기 (급정차)	측정후기 (2분)	시간에 따른 SEF50 증감 (P=0.05)
기관사1	152.3	152.1	152.0	감소
기관사2	149.2	144.8	137.5	감소
기관사3	180.0	179.0	46.0	감소
기관사4	180.0	140.5	122.0	감소
기관사5	154.1	153.8	148.2	감소
기관사6	179.9	180.0	180.0	증가
기관사7	151.8	149.3	139.3	감소
기관사8	153.9	179.9	141.0	감소 (급정차시 제외)
기관사9	135.1	120.0	120.1	감소
기관사10	74.5	73.7	82.1	증가

상으로 하였으므로, 평소 운행 시와는 달리, 초반에 과도한 긴장으로 인한 것으로 예상할 수 있다. 또한 모두 MF가 유의하게 감소하였다고 하더라도 그 감소률이 다른 이유는 실험 초기 약간의 안정기를 가졌다 하더라도, 초반의 긴장정도에 따라 결과에 영향을 미쳤을 것이라고 예상할 수 있다.

**Table 3.** Median Frequency of Biceps brachii Muscle (단위: Hz)

	측정초기 2분	측정중기 (급정차)	측정후기 (2분)	시간에 따른 SEF50 증감 (P=0.05)
기관사1	157.8	163.2	151.9	감소 (급정차시 제외)
기관사2	119.7	91.6	91.5	감소
기관사3	133.6	128.1	128.5	감소
기관사4	169.0	168.8	159.1	감소
기관사5	179.9	180.0	180.0	증가
기관사6	179.9	179.5	180.0	증가
기관사7	134.8	126.7	122.4	감소
기관사8	180.0	179.9	120.0	감소
기관사9	132.0	120.0	86.3	감소
기관사10	190.9	180.9	101.5	감소

**Table 4.** Median Frequency of Flexor carpi ulnaris Muscle (단위: Hz)

	측정초기 2분	측정중기 (급정차)	측정후기 (2분)	시간에 따른 SEF50 증감 (P=0.05)
기관사1	163.8	171.8	146	감소 (급정차시 제외)
기관사2	131.6	128.7	119.9	감소
기관사3	120.0	121.5	135.8	증가
기관사4	180.1	168.5	168	감소
기관사5	155.1	138.4	135.3	감소
기관사6	158.1	120.8	127.6	감소 (급정차시 제외)
기관사7	158.8	149.2	146.6	감소
기관사8	177.8	109.0	97.4	감소
기관사9	88.6	85.1	89.9	증가
기관사10	84.9	76.8	79	감소 (급정차시 제외)

**3.2.3 Ch3. 위팔 두갈래근 (biceps brachii muscle)**

Table 3에서 알 수 있듯이 시간이 지남에 따라 위팔 두갈래근(biceps brachii muscle)의 중앙 주파수값 역시 앞의 근육들과 유사한 결과가 나왔다. 즉 2명의 피험자(기관사5, 기관사6)를 제외하고 피험자의 80%가 시간이 지남에 따라 중앙주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한 급정차 시에도 크게 영향 받지 않고 시간이 지남에 따라 차차 주파수가 낮아졌다.

**3.2.4 Ch4. 자쪽 손목 굽힘근 (flexor carpi ulnaris muscle)**

Table 4에서 알 수 있듯이 시간이 지남에 따라 자쪽 손목 굽힘근(flexor carpi ulnaris muscle)의 중앙주파수 역시 앞의 근육들과 유사한 결과가 나왔다.

10번중 두 명의 피험자(기관사3, 기관사9)를 제외하고 피험자의 80%가 처음측정시보다 30분이 경과한 후 근육의 중앙 주파수가 낮아졌다.

**4. 결론**

본 연구는 30분동안 마스콘을 잡고 있는 팔 근육 4개의 근전도를 측정하여 시간이 지남에 따라 팔근육에 피로도가 쌓이는지의 여부를 판단하였다.

측정 결과 팔의 상박의 어깨 세모근 (deltoid muscle)과 위팔 두갈래근(biceps brachii muscle), 팔의 하박의 위팔노근(brachioradialis muscle)과자쪽 손목 굽힘근(flexor carpi ulnaris muscle)의 마스콘 구동 시의 근전도 신호의 중앙 주파수 값이 10번의 실험 중 80%이상이 낮아졌다. 이는 근육세포의 전기적 불응기간이 길어져 근육의 매 탈분극간 간격에 해당하는 한주기가 길어지게 되므로 파워스펙트럼이 저주파 성분으로 편향하였다고 할 수 있다. 특히 마스콘을 조작할 경우 가장 움직이는 각도가 크고, 어깨부위에 넓게 형성되어있는 어깨 세모근의 경우 10번 실험 모두 예외 없이 증가하였다. 본 연구는 30분만의 측정결과로 분석하였으므로 실제 기관사가 운행하는 4시간 후의 근전도 신호를 분석하면 더 큰 근피로를 유발한다는 것은 자명한 일이다. 기관사에게 피로를 유발시키지 않고 졸음을 예방할 수 있는, 마스콘 조작에 대한 새로운 형태의 접근이 필요하다고 사료된다.

추후 기관사에 관한 연구를 근피로 뿐 아니라 여러 가지 생리적인 반응에 대한 내용으로 좀 더 확대하여 진행 할 것이며, 직접운행을 하는 기관사의 피로 및 스트레스를 줄일 수 있는 방안을 찾아 기관사를 포함한 승객의 안전을 위한 연구가 지속적으로 필요하다고 판단된다.

**4. ACKNOWLEDGEMENT**

본 연구는 건설교통부 ‘철도종합안전기술개발사업’에서 지원되었다.

**참 고 문 헌**

1. 장혜연, 김태식, 장재호, 한정수, 한창수, 안재용, “열차 시뮬레이터 조작 시 운전자의 생체신호 변화에 대한 연구”, 대한인간공학회지, Vol.25, No.4, 2006, pp.129-135.
2. 안정석, 장재호, 한정수, 한창수, 안재용(2005), “Experimental Study for Measuring Range of motion and Electromyography

- Signal during selective daily activities in upper extremity for elderly”, 한국정밀공학회 생체역학부문, pp.17-21.
3. 장재호, 손영갑, 신호준, 한창수(2002), “A system on Control Algorithm of a Mobile Robot for Walking Rehabilitation”, 대한 의용 생체공학회.
  4. 민병찬, 김전환, 전광진, 이동형, 김진수(2006), “근전도에 의한 계단 상하행시 근 피로 비교”, 한국 산업 경영시스템학회.
  5. 김유신(2007), “상완삼두근 익스텐션 동작 시 저항성 운동의 종류에 따른 근피로와 근 활성도 비교”, 한국 사회체육 학회지, Vol.29, pp.307-316.
  6. 이한준, 김정은, 박준영, 김용권, 진영수(1999), “견관절의 반복적인 등속성 내, 외측 회전에 따른 근피로도의 변화”, 대한 스포츠의 학회지, Vol.17, No.2, pp.376-384.
  7. 김기진(1999), “운동피로발생시 반응시간과 전기역학적 지연현상의 변화”, 한국 운동과학회, Vol.8, No.2, pp.253-262.
  8. 권영국, 이상민(2000) “골프 캐디의 하지 근피로도 측정”, 대한 인간공학회 춘계 학술대회, pp.87-93.
  9. 김사길, 박홍준, 경태원, 변승남(2007) “철도차량 운행속도에 따른 기관사의 인지과정 분석”, 한국 철도학회 논문집, 제10권 제4호, pp.398-404.
  10. 김사길, 변승남(2006) “철도 기관사의 스트레스와 관련한 직무 강도 평가에 대한 연구”, 대한 인간공학회 춘계 학술대회 제5호, pp.221-224.
  11. 김충수, 김정평, 안준용(2002), “철도 기관사의 신념수정에 영향을 미치는 요인에 관한 연구”, 한국 철도학회 논문집, 제5권, 제4호, pp.209-214.
  12. 국광호, 한상욱, 한경록(2007) “철도 기관사의 적성검사에 대한 연구”, 한국 철도학회 춘계 학술대회, pp.14-20.
  13. Andrews, J.G., & Vaughn, C.L. (1983). “Knee shear forces during a squat exercise using barbell and a weight machine,” Biomechanics VIII-B, H. Masui and Kobayashi (Eds), Champaign, IL. Human Kinetics, 923-927.

(2007년 8월 28일 논문접수, 2007년 10월 24일 심사완료)