

근전도를 이용한 시내버스 운전자 피로도 분석

The Analysis of Muscle Fatigue for Urban Bus Driver using Electromyography

김 경* · 김재준** · 이찬기*** · 김동원*** · 권대규†

Kim Kyong, Kim Jae-Jun, Lee Chan Ki, Kim Dong Won, Kwon Tae-Kyu

Key Words : Electromyography(근전도), Muscle Fatigue(근 피로), Urban Bus Driver(시내버스 운전자), Discomfort(불편도)

ABSTRACT

Since driving include complicated actions that require a variety of ability and cause extreme concentration or strain, drivers tend to feel tired easily. However, drivers can't recognize fatigue degree by himself and accordingly the methods to measure quantitative fatigue degree exactly is quite difficult to be secured. In this study, the most efficient driving posture was suggested based on the analysis of quantitative muscular strength and fatigue degree according to posture. The driver whom we experimented included 9 commercial bus drivers. We also analyzed quantitative legs' muscular strength according to operating each pedal, left and right then we analyzed muscular strength and muscular fatigue degree according to driving pattern while driving commercial buses. And then we suggested the most efficient driving posture.

1. 서론

시내버스 운전자는 장시간 운전으로 인한 과도한 업무량에 노출되어 있으며, 이와 관련한 불만이 꾸준히 제기되고 있다. 치명적 사고의 25%가 운전자의 피로에 기인하고, 사업용 자동차 운전자의 30% 이상이 만성피로증상을 호소하는 등 직업운전자의 운전 피로도 관리가 시급한 실정이다. 또한, 운전 시간이 증가함에 따라 운전자의 주의력이 떨어지고 이에 따라 사고의 위험이 높아진다고 보고되었으며, U.S Department of Transportation Federal Highway 의 보고서에 따르면 고속도로에서 발생하는 사고 중 약 절반 이상의 원인을 운전자의 피로도 누적에 의한 것이라고 보고하고 있다.

시내버스 운전자의 피로도 및 안락감은 자동차의 성능을 평가하는 가장 중요한 요소 중의 하나

이며 현재까지의 시트의 안락감 및 피로도 평가는 운전자가 시트에 직접 앉아서 설문지를 작성하는 것과 주관적인 방법이 보편적으로 제시되었다. 하지만, 최근 자동차 시트 업계는 객관적인 정량적 데이터를 제공하는 시트 평가 방법을 연구하고 있고, 정량적인 운전자 피로도 측정을 위해서, Electromyography(EMG), ECG, EEG 등과 같은 생리신호를 측정하는 방법 등을 이용한 분석하고 있고, 본 연구과제에서는 근전도를 이용한 피로도 분석방법을 제시하고 있다.

근전도를 이용한 피로도 분석방법으로 한정수 등은 근전도를 통한 척추 근육의 피로도의 정량화 및 척추 손상에 미치는 영향에 대해서 고찰하였고 [1], 안재용 등은 근전도를 이용한 근 피로도 측정을 통하여 근전도 신호처리 기법을 개발하였다.[2] 근전도를 이용한 운전자 피로도 분석으로써는 이인혁 등은 긴장한 운전자의 근육활동에 대해서 사고를 인지한 운전자는 긴장하는 경향이 있으며 이때의 근육 긴장은 운전자의 Kinematics와 Kinetics를 변화시킨다고 고찰하였다[3]. 김선웅은 자동차 운전자의 주행 피로도들 분석하는데 있

† 권대규; 전북대학교 바이오메디컬공학부
E-mail : kwon10@chonbuk.ac.kr
Tel : (063) 270-4066, Fax : (063) 270-2247

* 전북대학교 의용생체공학과
** 전북대학교 생체정보공학과
*** 전북대학교 산업정보시스템공학과

어 생리신호를 이용하여 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 제안하고자 하였으며, 운전자의 피로 감 평가 결과 elbow angle, trunk-thigh angle, knee angle 등을 충분히 크게 하여 운전을 할 경우 그렇지 않은 경우에 비해 피로도를 상당부분 감소시킬 수 있는 것이라고 고찰하였다[4-6].

Lee와 Ferraiuolo는 EMG 활동 수준과 체압 분포가 정적인 착좌 실험에 대해 주관적 데이터와 상호 관련이 있음을 밝혔고[7], Reed 등은 운전자의 불편함에 관계된 연구에서 EMG 측정을 수행하였으며 동적인 상태에서 전기적 신호를 분석하였다[8]. Greiff와 Guth는 긴장 발생의 지속 시간을 측정하였고 짧은 시간에 대한 낮은 근육 활동 수준이 운전가가 안락하다는 것을 의미한다고 가정하였다. 그리고, Tamuara와 Kuntal 등은 각기 다른 외형의 시트를 사용하여 정적인 상태에서 근육의 활동을 살펴보기 위한 실험을 수행하였고, 중간 주파수(median frequency)에서의 변화가 근 피로도 측정을 위한 실험 가능한 수단임을 입증하였다[9]. 이와같이 운전 피로도에 관한 연구는 여러 연구자에 의해 진행되어 왔지만 대부분 개인용 일반 자동차의 운전석을 대상으로 하고 있어서, 연구 결과를 시내버스 운전석 설계에 적용하기는 어려운 실정이다.

본 연구에서는 운전 중 관찰된 버스 운전자의 주요 동작에 대해 근전도 신호를 측정하여 운전자의 피로 수준을 정량화하고, 피로도를 유발하는 원인을 분석하였다. 정량화할 수 없는 피로도라는 개념을 근전도 신호를 측정하여 유추하고, 이를 이용하여 운전 시 누적되는 피로의 양을 최소화할 수 있는 방법을 고찰하였다.

2. 시스템 구성

본 연구에서 시내버스 운전자의 피로도를 정량화하기 위해서 운전자의 하지부부의 근전도 신호를 측정하여 분석하고, 이를 이용하여 운전 시 누적되는 피로의 양을 최소화할 수 있는 방법을 고찰하였다. 또한 이를 위하여 버스 운전자의 운전 시 근육 사용량 및 피로도에 관한 정량적인 분석을 하고자, 시내버스용 가상 운전 시스템을 제작하였다.

실제 운행 상황을 재현하기 위해 가상의 버스 운전석 목업을 제작하였으며, 실제 운전하고 있는

시각적인 상황을 부여하기 위하여 운전자 정면에 대형 모니터를 설치하여 주행화면을 디스플레이 함으로써, 시각 및 청각적 자극을 제공하였다. 디스플레이 화면은 실제 버스에 차량용 CCTV 카메라를 장착하여, 일정 구간의 운전 동안 운전자의 시각과 일치하는 화면을 녹화함으로써 제공되었다.

버스 운전 시 도로의 불규칙적인 표면 조건을 인가하기 위하여, 제작된 운전석 목업을 6-자유도 모션베이스 위에 장착하였다. 모션베이스와 실제 영상을 보여줌으로 인하여, 시각과 청각 자극 및 도로의 진동 조건을 나타내는 체성 감각 자극까지 제공함으로써, 실제 운전과 똑같은 상황을 부여하였다. 운전석 목업 제작 시, 강성 스프링을 이용하여 클러치의 밟는 압력과 같은 조건을 제공하였고, 회전형 MR 댐퍼를 이용하여 운전자가 실제 버스의 스티어링 휠 구동할 때 느끼는 힘과 똑같은 힘을 제공하였다.

본 시스템은 또한, 운전 시, 운전자의 생리 신호 분석을 위하여 실시간으로 근전도의 생리신호를 측정할 수 있도록 구축하였다.

3. 실험방법

3.1 피험자

본 연구에서는 운전 중 관찰된 버스 운전자의



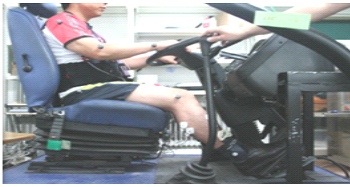
Fig. 1 Virtual driving system

주요 동작에 대해 근전도 신호를 측정하여 운전자의 피로 수준을 정량화하고, 피로도를 유발하는 원인을 분석하기 위하여 각 실험은 실제 시내버스 운전자 9명을 대상으로 수행하였으며, 신장에 따라 3개의 그룹으로 나누었다. 각 그룹은 163cm(25%ole) 미만, 163cm(25%ole) ~175cm(75%ole), 175cm(75%ole) 초과 등이다.

3.2 실험방법 및 절차

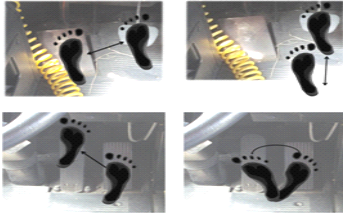
본 연구에서 정량화할 수 없는 피로도라는 개념을 근전도 신호를 측정하여 유추하고, 이를 이용하여 운전 시 누적되는 피로의 양을 최소화할 수 있는 방법을 고찰하기 위한 실험은 총 3차에 걸쳐 진행이 되었으며, 1 차 실험은 기본 운전자세 근전도 특성분석으로 클러치와 엑셀-브레이크를 밟을 때의 근력 특성을 확인하고자 클러치-엑셀-브레이크 순으로 총 5번 진행을 하였다.

1st Experiment
기본 운전자세
근전도 특성 분석



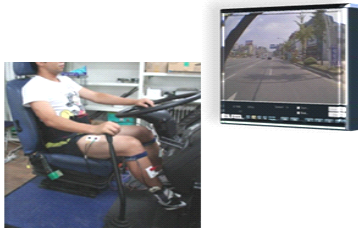
(a) 1st Experiment

2nd Experiment
주요 동작 조건
근피로도 분석



(b) 2st Experiment

3rd Experiment
장시간 가상 운전시
생리 신호 분석



(c) 3st Experiment

Fig. 2 Apparatus of the experimental setup

2차 실험은 주요 동작 조건에 대한 근피로도를 알아보고자 1차 실험에서 관찰된 주요 동작의 근피로도를 분석하였으며, 주요 동작에는 Footrest 활용여부에 따른 클러치 조작방식과 엑셀-브레이크를 밟는 방식에서 뒤꿈치를 붙이고 엑셀과 브레이크를 밟는 V자 형식과 다리를 들어 엑셀과 브레이크를 밟는 II자 형식으로 나누어 실험을 진행하였다.

3차 실험은 장시간 가상 운전 시 근전도 신호 분석으로 시각적 피드백을 위한 대형 모니터에 실제 주행화면을 재생하여 1,2차 실험에서 관찰된 습과 자세와 바른 자세의 근피로도 분석을 하였다.

EMG 신호는 근육의 수축과 이완에 의하여 일어나는 이온의 이동으로 인하여 발생하는 전위이다. EMG 측정은 MP100(BIOPAC Systems, Inc.)을 이용하였으며, 초당 1024개의 데이터를 검출하였다. EMG 대퇴직근(Rectus Femoris, RF), 대퇴이두근(Biceps Femoris, BF), 전경골근(Tibialis Anterior, TA), 비복근(Gastrocnemius, Gn)을 측정하였다. 측정된 근전도 신호는 주파수 스펙트럼 분석을 이용하여 근력의 쓰인 정도를 알아보았다. 근력의 크기는 FFT(fast fourier transform) 방법을 통하여 얻어지

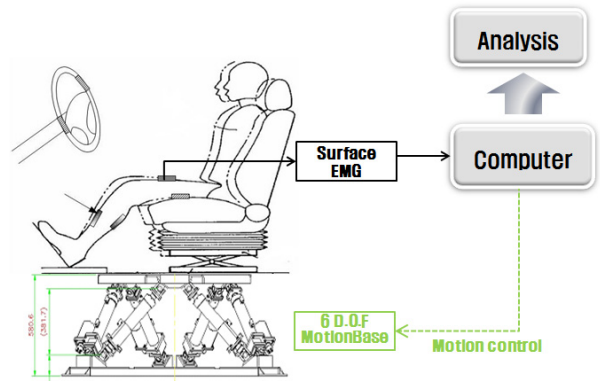


Fig. 3 Block diagram of the experiment

는 파워 스펙트럼의 면적으로 분석하였고 근피로도는 파워 스펙트럼 분석을 통한 중간주파수 (median frequency)의 감소를 통하여 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 운전 중 관찰된 버스 운전자의

주요 동작에 대해 근전도 신호를 측정하여 운전자의 피로 수준을 정량화하고, 피로도를 유발하는 원인을 분석하기 위한 실험은 3 차에 걸쳐서 이루어졌고 1차는 등각도 및 거리에 따른 근전도 기초 평가를 하였고, 2차는 조건 비교에 따른 근전도 신호 분석을 하였으며, 마지막으로 3 차에서는 장시간 가장 운전시의 근전도 신호 분석을 하였으며 각 실험마다 9명의 시내 버스 운전자들을 대상으로 실험을 하였다.



Fig. 4 Equipment for the measurement of the muscular activity

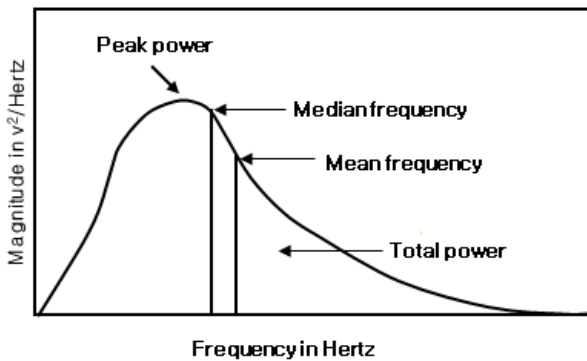


fig. 5 Muscle fatigue using the median frequency

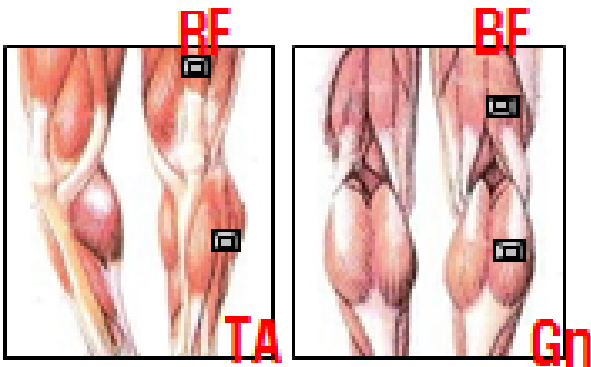
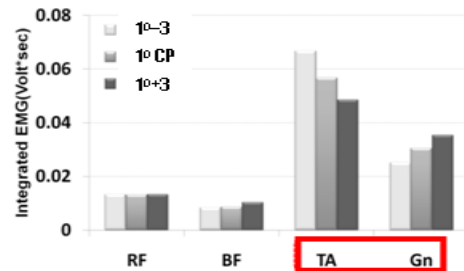


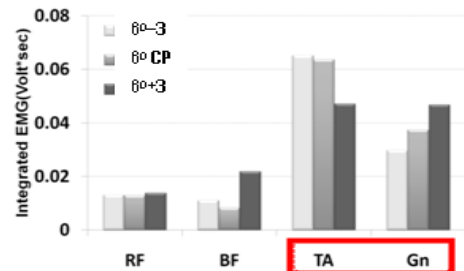
fig. 6 Measured muscle of the lower limbs

4.1 운전 자세에 따른 하지 근전도 특성분석

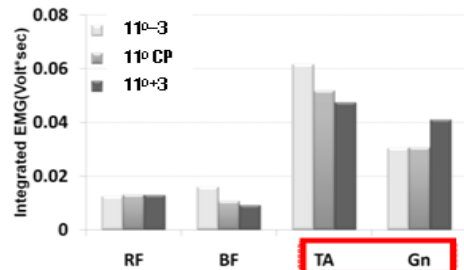
Fig. 7은 좌석 시트의 등각도와 Heel point에서 hip point까지의 거리에 따른 하지 근력의 활성도를 나타낸 것이다. 페달 조작은 주로 발목 관절 운동에 해당되기 때문에, 이에 관여하는 전경골근과 비복근에서 주로 근력이 활성화되었으며, 거리가 멀어질수록 발목관절의 배측굴곡 운동범위가 감소하므로 전경골근의 활성화 정도가 감소되고, 반면 페달을 밟을 때 발생하는 비복근의 활성화는 커지는 경향을 보인다.



(a) 1°



(b) 6°



(c) 11°

Fig. 7 Muscular activities according to the various distance from heel and hip point and back angle of seat

4.2 운전 동작 조건에 따른 근전도 특성분석

2단계로 진행된 실험은 운전 동작 조건에 따른 근전도 특성 분석으로 Footrest 사용 여부와 엑셀-브레이크 사용 방법에 따른 EMG를 비교 분석하

였다.

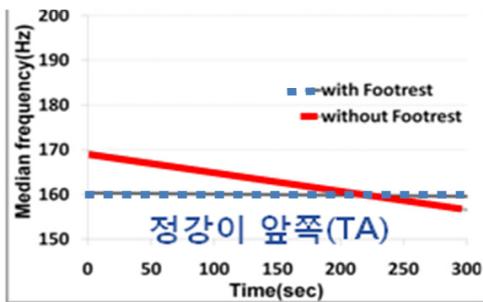
Fig. 8은 Footrest 사용 여부에 따른 EMG 분석으로 Footrest 미 활용 시 클러치 조작 반응속도가 향상되었지만, 발목관절의 배측굴곡이 커지며, 발 앞 끝으로 딛고 서있기 때문에 근피로도가 높게 측정되었다.

그러나 실제 운전자의 운전자세는 클러치 조작 반응 속도가 빠른 Footrest 미활용 자세를 선호하였다.

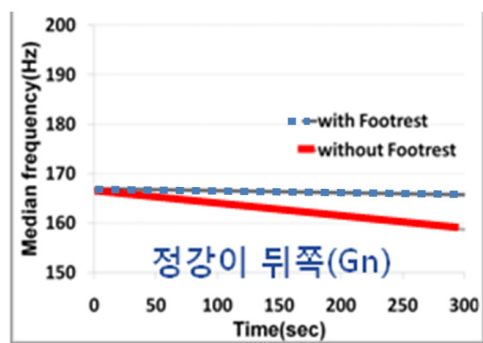
fig 9 은 엑셀-브레이크 사용 방법에 따른 EMG 분석으로, 엑셀과 브레이크 작동 시 V와 11자의 2가지 패턴이 사용되었다.

11자 방식의 경우, 엑셀과 브레이크 교차 시 허벅지의 들림 현상이 발생하기 때문에 위쪽 근육인 대퇴직근(RF) 과 전경골근(TA)이 더 피로하였다.

V자 방식의 경우, 발뒤꿈치 부분이 고정되어 있기 때문에 밟을 때 쓰이는 대퇴이두근(BF) 과 비복근(Gn)이 더 피로함을 보였다.



(a) Tibialis anterior(TA)



(b) Gastrocnemius(Gn)

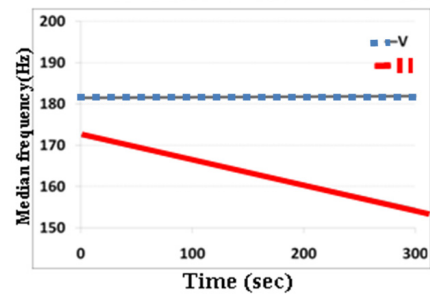
Fig. 8 Comparison of the muscle fatigue on the with and without using footrest

4.3 장시간 가상 운전 시 근피로도 분석

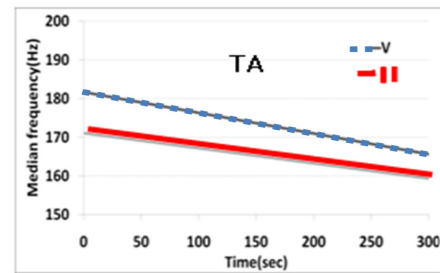
3단계에서 진행된 실험은 습관 자세와 바른 자세의 운전 자세에 대한 장시간(20분)동안의 생리

신호를 분석하였으며, 습관 자세의 경우 1, 2차 실험 시 운전자의 자세를 관찰하여 취하였으며, 바른 자세에서의 실험에서는 hip point는 좌판에, 등은 등판에 밀착하고 운전기기와 적정거리를 유지한 상태에서 이루어졌다.

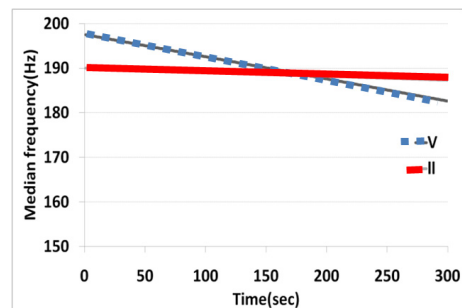
Fig. 10은 불편한 습관 자세와 안락한 바른 자세의 근피로도를 비교한 결과로 왼 대퇴직근(L.RF), 왼 전경골근(L.TA), 오른 대퇴이두근(R.BF)의 근피로도가 불편한 습관 자세에서 높게 측정되었다.



(a) Rectus femoris (RF)

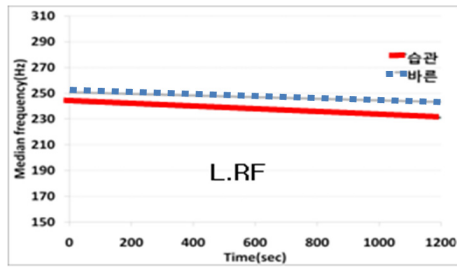


(b) Tibialis anterior (TA)

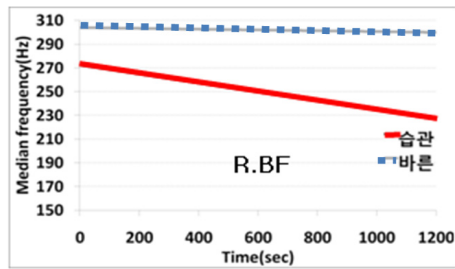


(c) Gastrocnemius (Gn)

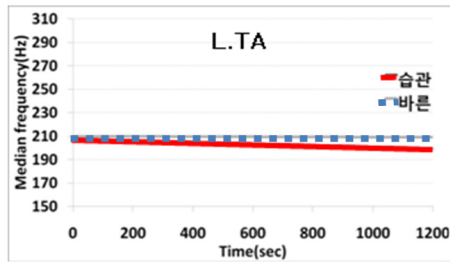
Fig. 9 Comparison of the muscle fatigue on the with and without using acceleration-brake



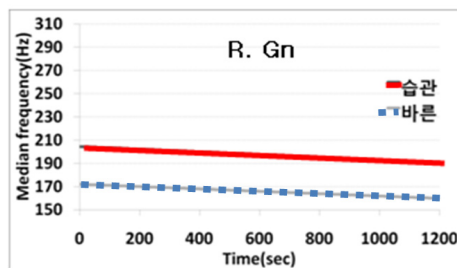
(a) Left rectus femoris (LRF)



(b) Right biceps femoris (RBF)



(c) Left Tibialis anterior (LTA)



(d) Right gastrocnemius (RGn)

Fig. 10 Comparison of the muscle fatigue on the habitual posture and correct posture

5. 결론

본 연구에서는 운전 중 관찰된 버스 운전자의 주요 동작에 대해 근전도 신호를 측정하여 운전자의 피로 수준을 정량화하고, 피로도를 유발하는 원인을 분석하였다. 정량화할 수 없는 피로도라는 개념을 근전도 신호를 측정하여 유추하고, 이를 이용하여 운전 시 누적되는 피로의 양을 최소화할 수 있는 방법을 고찰하였으며 본 연구를 통하여 다음

과 같은 결론을 얻었다.

(1) 주행 동작 중 하지 근전도 분석 결과 페달 조작을 위한 대기 자세에서 가장 큰 피로도가 발생함을 확인했다. 특히 클러치 페달의 경우 페달 높이가 높아 변속 전후로 부자연스런 발목 각도를 유발하여 정강이 앞쪽 전경골근(TA)의 근피로도가 빠르게 축적되었다.

(2) 풋레스트 활용 시 피로도를 저감할 수 있으나, 변속시 반응속도가 불리하여 실제 운전자의 풋레스트 활용도가 매우 떨어졌다. 즉, 잦은 정차 및 변속이 요구되는 주행 조건에서 운전자들이 안락한 자세보다 반응속도가 유리한 위치를 선호하는 경향을 나타낸 것이다.

(3) 엑셀-브레이크 전환방식은 2가지 패턴으로 구분되며 신장별, 지역별로 선호하는 방식이 상이하다. II 방식은 브레이크 조작 피로도를 줄여줄 수 있으나, 반응속도가 느려서 수도권 운전자의 경우 선호도가 높지 않다. 한편, V 방식은 정강이 뒤쪽 비복근(Gn)의 근피로도가 빠르게 증가하며, 현재 페달 장착상태에서 신장이 작은 운전자의 족압 분포가 고르지 않아 오작동의 위험이 있다.

후 기

본 연구는 현대자동차 NGV사업의 일환으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) J. S. Han, H. S. Kwag, "Quantification of degree of fatigue in back muscle and It's influence on back injury using electromyography measurement", J. Biomed. Eng. Res., Vol. 21, No. 2, pp. 219-224, 2000.
- (2) J. Y. Ahn, J. S. Han, K. S. Min, "Measurement of the muscle fatigue patterns using electromyography technique", J. of Korean Orthop. Assoc., Vol. 33, No. 4, pp. 1184-1192, 1998.
- (3) I. H. Lee, M. S. Mun and H. Y. Choi, "Muscular activation of bracing driver", J. of the Korea Society of Precision Engineering,

Vol. 22, No. 11, pp. 7-15, 2005.

- (4) 김선웅, 박세진, 성홍모, “장시간 주행에 따른 피로도 평가방법에 관한 연구”, 대한산업공학회/한국경영과학회, 2002 춘계공동학술대회, pp. 785-791, 2002.
- (5) 김선웅, 박세진, 이영신, “생리신호를 이용한 운전자 피로감 평가 방법 개발”, 한국자동차공학회 2003년도 춘계학술대회논문집 pp. 1208-1212, 2003.
- (6) S. J. Park, S. W. Kim, C. J. Kim, K. S. Kwon, "A study on the assessment of driver's fatigue", SAE Paper, No. 2002-01-0784.
- (7) J. Lee, and P. Ferraiuolo, "Seat comfort", Society of automotive engineers, Paper, No. 910117, 1991.
- (8) M. P. Reed, et. al., "An Investigation of driver discomfort and related seat design factor in extended duration driving", SAE Paper, No. 910117, 1991.
- (9) R. B. Tamara, et. al., "The use of electromyography for seat assessment and comfort evaluation", SAE Paper, No. 950143, 1995.