# The Use of Electromyography for Fatigue Evaluation of Automotive Seats
# 자동차 시트의 피로도 평가를 위한 근전도 측정기의 사용

이 영 신*, 남 윤 의**, 박 세 진***

(*;충남 대학교, **; 충남대(원), ***;한국 표준 과학 연구원)

## ABSTRACT

The ride comfort is one of the most important indices which decide the quality of automotive seats. A subjective evaluation is the general method for comfort evaluation of automotive seats. But the subjective evaluation assess the individual sensibility using questionnaire.

Therefore, a need to develop methodologies to obtain objective measurements of the fatigue evaluation is evident. In an effort to monitor muscle activity during driving, electromyography (EMG) was employed. In an experimental setting, the subjective evaluation was conducted using questionnaire under the static conditions (8 subjects) and the fatigue was induced in muscles using EMG under the dynamic conditions (2 drivers). The resultant EMG signals were then sampled for three different muscles. In test involving 2 subjects of similar size and build, utilizing four different automotive seats, test results support the use of EMG to quantify muscular fatigue as a viable means of objective evaluation for the different automotive seats.

## 1. INTRODUCTION

자동차의 승차감은 자동차의 성능을 평가하는 가장 중요한 요소 중의 하나이며 현재까지의 시트의 안락감 평가는 사람들이 시트에 직접 앉아서 설문지를 작성 하는 것과 같은 주관적인 방법이 보편적이었다.

최근 자동차 시트 업계는 객관적인 정량적 데이터를 제공하는 시트 평가 방법을 연구하고 사용해 왔다. 그 중 하나로 신체와 시트면 사이의 체압분포가 시트 안락감에 영향을 미치는 가장 중요한 요인들 중의 하나로 여겨져 왔다. 이와 같이 시트의 평가 과정에서 주관적이고 객관적인 측정 시스템을 조합함으로써 안락한 시트를 설계하는 과제가 좀더 쉽고 효율적일 것이라고 예상된다. 본 연구에서는 이러한 목적의 하나로 근전도 측정이 수행되었다.

어떤 사람이 앉아 있을 때 많은 생리학적인 문제가 발생하며 적절히 설계된 시트 라함은 신체가 해부학적인 상태 그대로 유지되고 정상적인 신체 기능들을 유지하도록 하는 것을 의미한다.

근전도 측정기를 사용한 몇몇 시트 관련 연구들이 수행되어 왔다. Lee 와 Ferraiuolo 는 EMG 활동 수준과 체압 분포가 정적인 착좌 실험에 대해 주관적 데이터와 상호 관련이 있음을 밝혔고 Reed 등은 운전자의 불편함에 관계된 연구에서 EMG 측정을 수행하였으며 동적인 상태에서 전기적 신호를 분석했다. Greiff 와 Guth 는 긴장 발생의 지속 시간을 측정했고 짧은 시간에 대한 낮은 근육 활동 수준이 운전자가 안락하다는 것을 의미한다고 가정했다. Tamara 와 Kuntal 등은 각기 다른 외형의 시트를 사용하여 정적인 상태에서 근육의 활동을 살펴보기 위한 실험을 수행하였고 median frequency 에서의 변화가 근육 피로도 측정

을 위한 실행 가능한 수단임을 입증하였다.

따라서, 본 연구에서는 국내 자동차 운전석 4 대를 대상으로 하여 주관적 평가지를 통한 안락감 평가를 수행하였으며 동일 운전석에 대해 2 시간 30 분 동안의 운전을 통해 근전도를 측정하였다. 이와 함께 주관적 평가와 객관적 측정치로서 근전도 측정 사이의 관계를 조사하고 근전도 측정이 시트 안락감 평가시 객관적 기준으로 이용될 수 있음을 입증하고자 하였다.

## 2. SUBJECTIVE EVALUATION USING QUESTIONNAIRE

주관적인 평가 방법이 사용될 때 주관적으로 등급을 매기거나 비율을 주는 것은 다음과 같은 조건들이 만족되어야 하는 제약이 따른다.

1) 응답자는 그들 자신의 안락감을 인식할 수 있어야 한다. 물론 인식에 있어서 개개인이 매우 다르다.

2) 안락감은 언어로 표현될 수 있어야 한다.

3) 응답자는 안락감(불편함)을 야기시키는 시트 특성을 식별할 수 있어야 한다.

4) 자신의 안락감(불편함)의 정도는 다른 시트나 다른 시간에서 비롯된 안락감(불편함)과 비교될 수 있도록 기억 속에 충분히 오랜 시간 동안 유지되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 위의 제약 조건을 가능한 수용하여 시트의 물리적 특성을 평가하기 위한 시트 안락도 평가지를 작성하였다. 또한, 이 분석 결과는 근전도 측정 결과와의 관련성을 밝히고자 활용 되었다.

이와 같이 시트 안락감의 주관적 평가를 위하여 모델이 다른 국내 자동차 운전석 4 대를 선정하였다. 대상 시트에 대한 전반적인 안락감 평가를 위해 자동차 시트를 설계 및 생산하는 업체의 전문 평가자(expert panel) 8 명이 선발 되었다. 평가자와 대상 운전석에 대한 기본 정보가 표 1 과 표 2 에 제시되어 있다. 이와 같이 전문 평가자를 선발한 이유는 시트에 대한 조절 장치 작동 여부, 불편 및 안락감 인지 여부들을 갖추지 못한 운전자들은 실제로 그 시트에 대한 안락감 평가가 제대로 이루어 지지 않기 때문이다. 그림 1 에서와 같이 각 시트는 설계상의 위치를 유지하도록 지그(jig)상에 설치되었고 각 평가자는 각 시트에 대해 30 분 측정하고 30 분 휴식을 취함으로써 정확한 평가가 이루어질 수 있도록 하였다.

Table 1. The basic information of expert panels.

| Classification | Age | Height | Body Weight |
|---|---|---|---|
| Mean | 30.25 | 171.63 | 64.75 |
| SD | 3.77 | 7.37 | 11.11 |

Table 2. Classification of experimental automobiles.

| Classification | Exhaust Volume | Clutch Type | Remark |
|---|---|---|---|
| A | 2000cc | manual | middle |
| B | 1500cc | manual | small |
| C | 2000cc | manual | middle |
| D | 1500cc | manual | small |

Fig.1. Experimental set up for subjective evaluation.

주관적 평가 결과가 그림 2 에 제시되어 있다. 여기에 나타난 바와 같이 전체적인 안락도 평가(평가항목:23 번)는 seat B, A, C, D 순으로 나타났다. 또한 seat D 는 전체적으로 다른 시트에 비해 불편 정도가 심한 것으로 판단되고 특히 요추부 형상(평가항목:12 번)에서의 불편도가 타 차종에 비해 나쁜 것으로 나타났다. 배기량에 따른 시트의 설계 개념이 다르기 때문에 동급 차종간의 비교에 있어서 seat A 와 seat B 가 동일 회사의 제품으로서 타 회사 제품 seat C 와 seat D 에 비해 만족도의 정도가 크고 동급 차종의 비교에 있어서도 좋은 것으로 나타났다. 이와 같은 주관적 평가 결과는 근전도 측정 결과와의 관련성을 밝히고자 사용되었다.

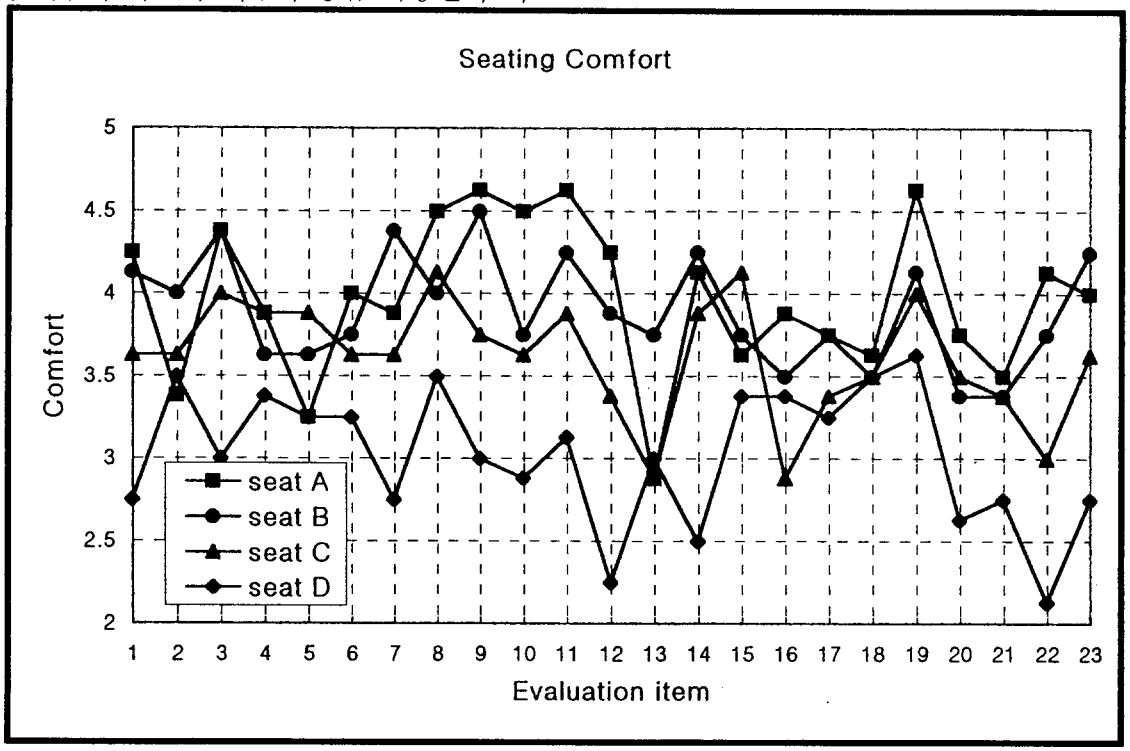


Fig.2 Subjective evaluation results.

## 3. SEATING FATIGUE EVALUATION USING ELECTROMYOGRAPHY

근육의 수축에 의하여 발생되는 전기 신호를 근전도(electromyography), 혹은 줄여서 EMG 라고 한다. 근육은 여러 개의 수축성 근섬유 다발로 구성된 운동 단위(motor units)로 구성되어 있다.

근육의 장력은 미오신(myosin)과 액틴(actin) 필라멘트(filament) 사이의 상호작용에 의하여 발생한다. 종판 시냅스, 근섬유막(sacolemma membrane), 전이도관(transverse tubule) 시스템, 그리고 근장성 망상질(sarcoplasmic reticulum)은 서로 통신망으로 연결되어 장력을 일으키는 원심성 신경 임펄스를 전달한다.

그림 3 은 근전도 신호의 발생 과정에 대한 각 단계를 나타낸 것이다. 근육이 수축되기 위해서는 뇌의 운동 피질(motor cortex)에서 발생되는 신경 임펄스가 발생하여야 하며 이 임펄스 열은 신경을 통하여 연속적으로 전달되어 수축의 정도에 따라서 필요한 수위 운동 단위들을 자극한다. 이에 따라 운동 단위들은 운동 단위 전위를 각 근섬유의 표면에서 일어나는 탈분극과 재분극에

의하여 발생시키며 이 전위들이 합쳐져서 근전도 신호를 발생시킨다.

이와 같이 근육의 피로(fatigue)에 따라서 EMG가 변화하게 되는데 이는 불충분한 산소 공급(ischemia) 또는 신진대사에 필요한 어느 한 물질의 고갈등의 이유로 근육조직이 수축 요소에 원활한 신진대사를 공급하지 못할 때 근육이 피로하게 된다. 피로의 기계적 의미는 EMG 또는 자극률이 일정하게 유지됨에도 불구하고 힘이 감소하는 것을 말한다. 역으로 이야기하면 피로가 시작된 후에도 힘을 일정하게 유지하려면 더 많은 운동 단위를 동원하여야 된다는 뜻이다. 즉 운동 단위의 전부 혹은 일부가 생성할 수 있는 단수축힘이 감소되므로 다른 운동 단위를 새로 동원하여 힘을 보충하여야 한다. 피로가 시작되면 단수축힘이 감소할 뿐 아니라 근육활동전위(muscle action potential,m.a.p)의 모양도 변하게 된다. 자발적으로 세게 근육을 수축할 때에는 각각의 m.a.p 모양을 관찰할 수 없으나, 자기상관(autocorrelation)방법을 사용하여 분석하면 동원된 m.a.p 의 평균 폭(duration)이 변화(shift)되는 것을 알 수 있다.

이러한 폭 변화에 의하여 EMG 스펙트럼도 역시 변화된다; Kadefors 등(1973)에 의하면, 고주파수 성분들이 감소한다. 근육이 피로할 때 근섬유에서의 전위 속도가 감소한다. 이러한 생리학적 현상은 저주파 영역대로의 주파수 변화로서 보여질 수 있다.

다음 변수들이 이러한 생리학적 현상을 완전하게 설명한다.

1) MF(median frequency), MPF(mean power frequency), ZCR(zero crossing rate)은 음의 변화를 일으키며 곡선은 근세포의 전위 속도 감소 때문에 시간의 함수로서 감소한다.

2) AVER EMG는 양의 변화를 일으키며 곡선은 새로운 운동 단위의 순환 때문에 증가한다.

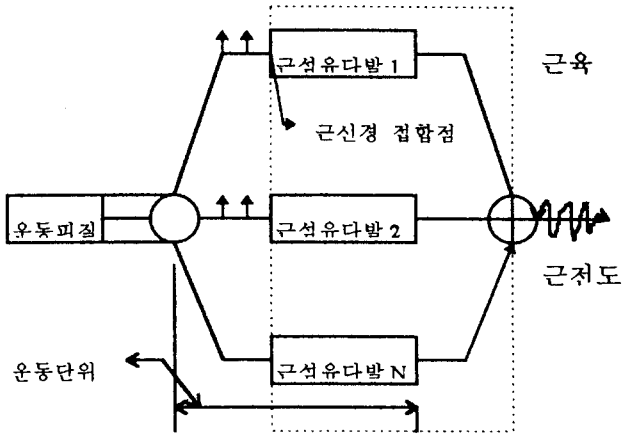

Fig.3. A processes of electromyogram signal generation.

### 3.1 Experimental protocol

본 실험에서는 시트로부터 유발되는 피로도를 측정하기 위해 근전도 측정기를 사용하였다. 실험에 앞서 그림 4 에서와 같이 신체의 3 부위에 각각 10mm 간격으로 표면 전극이 부착되었으며 전극을 부치고자 하는 부위는 눈에 보이는 모든 털을 깍고 알코올로 세척한 다음 가제 수건으로 닦음으로써 완전히 마른 상태로 했다. 또한 전극 부착 부위별로 신호가 상이하기 때문에 신뢰성 있는 데이터 획득을 위해 전극 부착 위치에 표시를 하였다.

본 연구에서 선택된 3 개의 신체 부위는 3,4 번째 요추, 다리, 목 부위였다. 운전간 시트로부터 발생하는 피로를 감지하기 위해 피실험자(2 명)로 하여금 2 시간 30 분 동안 정속 운전(차량 4 대)을 하도록 지시하였다. 측정은 최초로부터 30 분 간격으로 5 분간 측정(총 6 회)을 수행함으로써 시간이 경과하는 동안 근육의 피로 상태를 측정하였다. 각 피실험자는 유사한 배기량의 차량 2 대를 2 일에 걸쳐 하루에 한 차종씩 운전하도록 하였으며 평가의 신뢰성 확보를 위해 오전에 측정을 한 사람은 다음 측정도 다음날 오전에 실시하였다.

그림 5 는 본 실험에 사용된 시스템을, 그림 6 은 근전도 측정 장비의 실험적 셋팅을 나타낸 것이다.

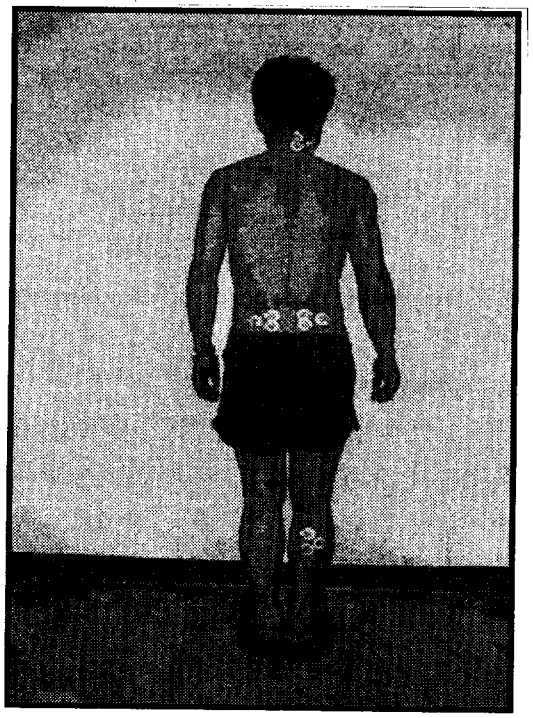

Fig.4. Test preparation.

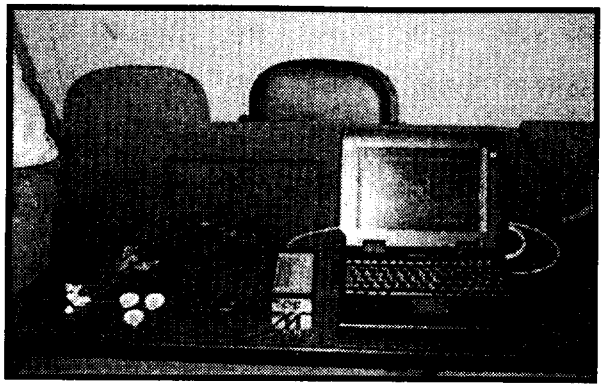

Fig.5. System components of the ME3000P Professional System.

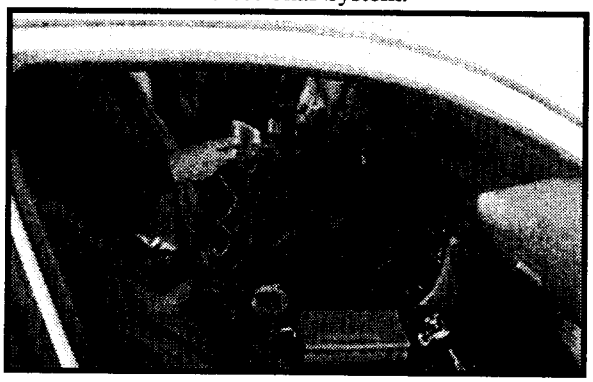

Fig.6. Experimental set up for electromyogram measurement.

**3.2 Data analysis**

시간 경과에 따른 median frequency 의 변화가 표 3 과 그림 7 에 제시되어 있다. 여기에서 알 수 있듯이 median frequency 의 변화는 최초 운전으로부터 30 분 동안에는 증가하는 것을 알 수 있으며 이는 초기에 근육 활동이 적응하고 있는 것으로 판단할 수 있고 30 분 후부터 감소하기 시작하여 2 시간이 되었을 때 그 변화가 큰 것으로 나타났다.

기울기가 떨어지는 것은 근육 피로에 일치한 median frequency 의 변화를 나타내며 기울기가 음으로 가면 갈수록 점점 더 피로율이 빨라진다. 이와 같이 운전자가 시트로부터 불편함을 느끼는 것은 어느 정도 시간이 지난 후라는 것을 추측할 수 있으며 다른 부위에 비해 요추 부위의 median frequency 의 변화가 큰 것은 지금까지의 시트 설계에 있어서 요추부의 형상과 설계가 제대로 되지 않았다는 것을 의미하는 것으로 이는 이미 여러 논문에서 제시되어 왔다. 이와 같은 사실은 주관적 평가 결과와도 잘 일치한다는 것을 알 수 있다.

그림 8 은 각 차량에 대한 median frequency 의 변화율 즉, 피로율을 나타내고 있는데 seat A 에 비해서 seat C 가, seat B 에 비해서 seat D 의 median frequency 의 변화율이 큰 것으로 나타났으며 주관적 평가 결과를 근전도 측정으로부터 정량화 시킬 수 있음을 잘 설명해 준다.

Table 3. The median frequency shift of test parts according to the time duration.

| Classification | | Median frequency shift (Hz/min) | | | | | | Total median frequency shift rate |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 min | 30 min | 60 min | 90 min | 120 min | 150 min | |
| seat A | lumbar | 0.7 | 2.5 | 2.1 | 3.8 | -0.1 | -3.4 | -4.1 |
| | neck | 11.4 | 0.4 | 2.8 | 4.3 | 1.8 | 5.1 | -6.3 |
| | leg | -2.6 | -0.1 | -0.2 | -0.6 | 1.4 | -0.2 | 2.4 |
| seat C | lumbar | 3.3 | 9.4 | -0.4 | -17.9 | -16.0 | -26.7 | -30.0 |
| | neck | -2.9 | -0.5 | -2.1 | 2.5 | 6.2 | -4.6 | -1.7 |
| | leg | -2.7 | 4.4 | -0.1 | 3.7 | 1.0 | 0.2 | 2.9 |
| seat B | lumbar | 0.0 | 0.6 | 0.2 | 0.3 | 1.7 | 0.8 | 0.8 |
| | neck | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -6.3 | 2.2 | -1.9 | -1.9 |
| | leg | 5.0 | 1.0 | -0.2 | -0.7 | 0.0 | -0.9 | -5.9 |
| seat D | lumbar | 0.2 | 0.5 | 0.1 | -0.0 | -0.5 | -10.1 | -10.3 |
| | neck | -3.9 | -3.0 | 0.0 | -0.4 | 5.5 | 3.2 | 7.1 |
| | leg | 1.8 | 0.5 | 0.0 | -0.7 | 1.4 | 0.4 | -1.4 |

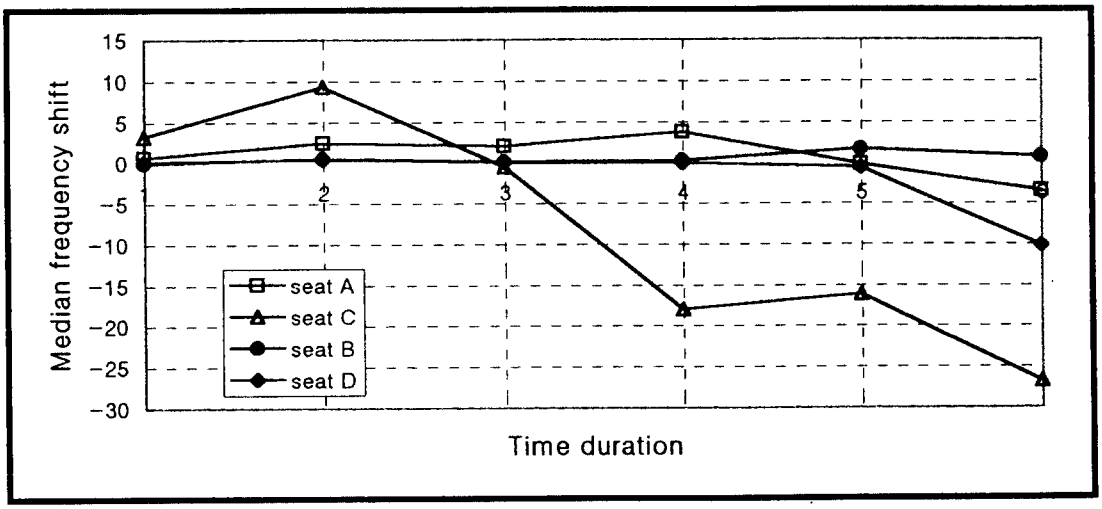


Fig.7. The median frequency shift of lumbar part according to time duration.

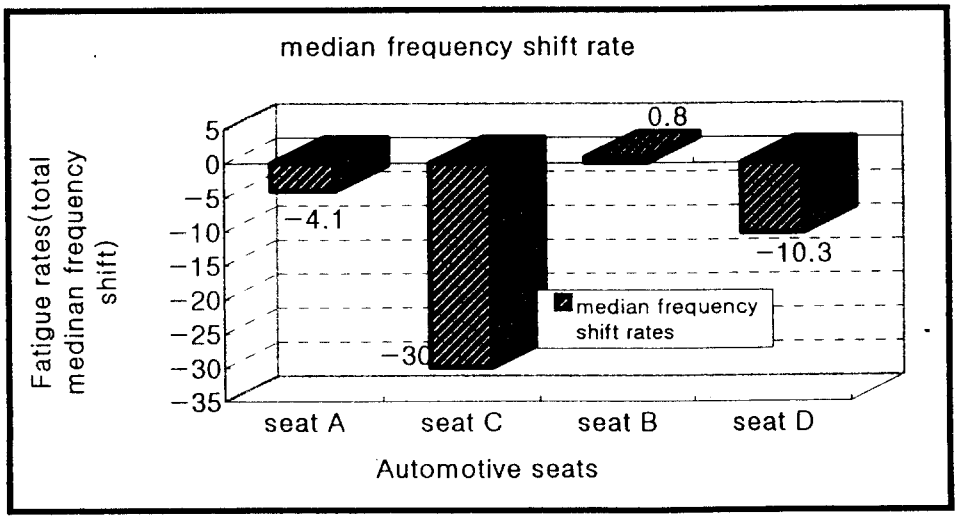


Fig.8. The fatigue rate according to automotive seats.

## 4. RESULTS AND CONCLUSION

자동차 시트의 안락감을 객관적으로 측정하기 위해 근전도 측정이 도입되었다. 모델이 다른 국내 자동차 운전석 4 대를 대상으로 시트 안락감 평가를 위한 가장 보편적인 방법인 안락도 평가지에 의한 주관적 평가가 수행되었고 운전하는 동안의 근육의 활동을 살펴보기 위해 근전도 측정을 수행하였다.

앞에서 기술한 바와 같이 근전도 합성 신호의 기울기가 떨어지는 것 즉, 저 주파수(lower frequency) 영역으로의 변화는 근육의 피로를 나타내며 이러한 결과가 주관적 평가 결과와 잘 일치함이 밝혀졌다.

이러한 사실로 부터 주관적 평가를 정량화하기 위한 한가지 방법으로 근전도 측정이 활용될 수 있다고 사료된다. 그러나, 낮은 데이터 표본 추출 때문에 통계 분석은 수행되지 않았으며 좀 더 나은 통계적 분석과 더 넓은 범위의 연구가 이러한 경향을 증명하기 위해 필요할 것이다.

추후에 좀 더 많은 표본 추출을 통해 주관적 평가를 수행하고 이 결과를 토대로 체압 분포, 근전도, 시트의 물리적 특성(감쇠비, 표면경도, 경도 분포, 변형량 등)등의 동원 가능한 객관적 방법을 수행하여 인간 공학적인 자동차 시트 설계 파라메타를 구축하고자 한다.

## REFERENCES


[1] Winter, David. A., "Biomechanics and motor control of human movement", John Wiley & Son, 1979, pp.191-210.

[2] Chaffin, Don. B. and Anderson, Gunnar B. J., "Occupational biomechanics", John Wiley & Son, 1984, pp.122-127.

[3] Joseph Goodgold, M. D. and Arther Eberstein, Ph.D., "Electrodiagnosis of neuromuscular diseases", Williams & Wilkins, 1983.

[4] Mega Electronics Ltd, "Muscle tester me3000p professional user's manual", 1996.

[5] Tamara, R. Bush., Frank, T. Mills.and Kuntal, Thakurta., "The use of electromyography for seat assessment and comfort evaluation", SAE, paper no.950143, 1995.

[6] Lee J., Ferraiuolo. P., "Seat comfort", Society of automotive engineers, paper no. 930105, 1993.