

장시간 주행에 따른 피로도 평가방법에 관한 연구 An Assessment Method of Fatigue in a Long-term Driving

김선웅, 박세진

대전광역시 유성구 도룡동 1 한국표준과학연구원 인간·정보연구그룹
성홍모
강원도 원주시 흥업면 연세대학교 의용공학과

Abstract

본 연구에서는 자동차의 안락성에 큰 영향을 미치는 운전자세와 운전 시간에 따른 피로도를 평가하는 방법에 대해 다루고자 한다. 이러한 피로도를 평가하기 위해서 EMG, ECG와 같은 생리신호를 이용한 정량적인 평가방법과 졸림감, 주관적 피로도 등과 같은 정성적인 평가방법을 동시에 수행하였다.

본 실험은 실제 차량에서 동일한 구간을(호남고속도로 대전-정읍)을 왕복 주행하면서 수행되었으며, 실험에 참여한 인원은 총 6명이었다.

실험 결과 운전시간이 증가함에 따라 근육의 피로가 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 동시에 졸림감 또한 증가하였다.

운전 자세에 따른 피로도의 평가 결과 졸림감이 중요한 요인으로 나났는데, 이는 안락한 운전 자세 뿐만 아니라 안전한 운전을 위해서도 아주 중요한 요인이라 생각된다.

본 연구는 실제 차량을 통한 피로도의 평가를 하는데 있어서 피로를 평가하는 방법에 대한 가이드로써 그 역할이 충분하리라 생각이 되며, 무엇보다도 실제 차량에서 실험한 결과 샘플수가 적기 때문에 객관적인 결과라고 말하기엔 어렵겠지만, 운전 자세에 따라서 유의한 차이를 보였다.

1. 서론

자동차는 인간에게 교통수단을 제공해 줄 뿐만 아니라, 레저 생활 및 작업대상으로서 인간과 매우 밀접한 관계에 있다. 자동차를 소유하는 것은 개인적인 이동 및 운송수단으로서의 기본적인 역할뿐만 아니라, 운전 자체의 즐거움, 마음을 편히 할 수 있는 개인적인 공간의 확보, 또는 자기표현으로서 소유하는 것 자체의 즐거움 등 많은 효용을 가진다.

또한, 자동차는 첨단 공업 기술이 고도로 집적되어 있는 하나의 공업제품이며 동적인 인간-기계 시스템이다. 운전에 대한 부하를 절감하고 자동차에 대한 새로운 감성요구를 실현하기 위해서는 진행되고 있는 공업기술의 응용이 필수적이며, 인간의 특성에 맞게 받아들여야 할 것이다. 또한, 미래의 자동차 기술이 갖추어야 할 것은 인간의 오감 특성에 맞는 차량 유닛의 개발, 체성감각에 맞는 자동차 운동성능의 실현 등 인간의 감성이 고려된 개

념으로 변화해야 할 것이다[1].

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

하지만, 최근 자동차 시트 업계는 객관적인 정량적 데이터를 제공하는 시트 평가 방법을 연구하고 사용해 왔다. 정량적인 데이터를 제공하는 시트 평가 방법으로는 EMG, ECG, EOG 등과 같은 생리신호를 측정하는 방법, 차체와 시트면의 진동량을 측정하여 진동 승차감을 평가하는 방법, 운전자세 및 시트 Dimension을 측정하는 방법 등 여러 가지 방법이 있다. 이와 같이 시트의 평가 과정에서 주관적이고 객관적인 측정 시스템을 조합함으로써 시트의 안락감 및 운전 시간에 따른 피로도에 대한 평가가 좀 더 쉽고 효율적일 것이라고 예상된다[2].

시트와 운전자세 사이의 관계는 수십 년 동안 시트 설계자, 인간공학자, 해부학자들에게 큰 관심의 대상이었다. Rebiffe는 안락한 운전 자세를 위한 각 관절 각도를 연구하였고, 작은 사람부터 큰 사람에 이르는 운전자들을 모두 수용할 수 있는 운전대와 페달들에 대한 안락한 영역을 제시하였으며, 운전자들의 임무에 대한 분석을 수행하고 이론적으로 시계성에 중점을 둔 운전시의 요구조건에 가장 잘 맞는 자세와 신체 위치를 연구하였다[3]. 비슷한 연구가 Preuschen과 Dupuis, 그리고 Verriest에 의해 행해졌다[4]. 비록 그 결과들은 선호하는 각도의 범위가 매우 넓고 실제적인 3차원상의 각도가 아니라 2차원의 평면 각도였지만, 그들은 자동차 내부 설계자들에게 매우 중요한 지침을 제공하여 주었다.

Shackel, Oliver, Habsburg, Middendorf, Drury와 Coury의 연구에 의하면 시트 안락감의 주관적 평가 방법은 시트 성능을 평가하는 가장 보편적인 방법이고 여러 주관적 접근방법들이 전체 안락감 등급을 매기는 방법과 함께 사용되어 왔다[5, 6, 7, 8]. Corlett과 Bishop은 피실험자에게 불편함을 느끼는 신체 부위에 등급을 매기거나 비율을 주도록 하는 불편함에 초점을 두는 것이 더 좋은 방법이라고 하였다[9]. 문제의 초점을 어디에 두는가는 매우 중요하다.

Wachsler와 Learner는 안락감과 매우 상관관계가 있는 요인은 등과 엉덩이 부분의 안락감이라는 것을 밝혔다. 같은 결과가 최근 UMTRI(university of michigan transportation research institute)에서 수행한 Roadside Interview에서 보고되었다[10].

근전도 측정기를 사용한 몇몇 시트 관련 연구들이 수행되어 왔다. Lee와 Ferraiuolo는 EMG 활동 수준과 체압 분포가 정적인 좌좌 실험에 대해 주관적 데이터와 상호 관련이 있음을 밝혔고, Reed등은 운전자의 불편함에 관계된 연구에서 EMG측정을 수행하였으며 동적인 상태에서 전기적 신호를 분석했다[11, 12]. Greiff와 Guth는 긴장 발생의 지속 시간을 측정했고 짧은 시간에 대한 낮은 근육 활

동 수준이 운전자가 안락하다는 것을 의미한다고 가정했다[13]. Tamara와 Kuntal 등은 각기 다른 외형의 시트를 사용하여 정적인 상태에서 근육의 활동을 살펴보기 위한 실험을 수행하였고 median frequency에서의 변화가 근육 피로도 측정을 위한 실행 가능한 수단임을 입증하였다[14].

Wenqi Shen과 Vertiz는 시트 안락감의 이해를 위한 새로운 개념을 제안하였는데, 시트의 신체 안락감은 신체의 불편함을 제거하고 육체의 항상성(corporeal homeostasis)을 수행하는 동안 인지된 생리학적, 심리학적 상태로 정의된다고 하였고 자세 변화를 통해서 일시적인 안락감을 얻을 수는 있으나 이러한 자세에 대한 요구조건이 만족되기 위해서는 시트의 물성이 중요하다고 하였다[15].

이와 같이 운전좌석의 안락감을 향상시키기 위해서 수많은 연구들이 수행되어져 왔다. 하지만, 운전좌석의 안락감을 향상시키기 위한 수많은 요인들이 두 개 이상 동시에 고려된 연구는 수행되지 않았다. 즉, 운전 자세와 관련된 연구, 피로도 평가에 관한 연구, 승차감 평가에 관한 연구 등 서로 독립된 영역으로 여겨져 왔던게 사실이다.

실제 운전을 하는데 있어서는 이러한 모든 요인들이 복합적으로 작용을 하기 때문에 시트의 안락감에 대한 본질적인 문제를 해결하기 위해서는 여러 분야를 동시에 고려한 연구가 수행될 필요성이 있다. 하지만, 이러한 모든 요인들을 동시에 고려하기란 여간 어려운 일이 아니다.

따라서 본 연구에서는 여러 요인들을 동시에 고려하기 위한 시범적인 연구 및 방법론적인 접근을 위해서 운전자세와 피로도라는 요인을 동시에 고려하여 운전자세에 따른 피로도의 변화를 살펴보고자 한다.

2. 연구개요

본 연구에서는 운전자세를 두 가지(개방형 운전자세, 폐쇄형 운전자세)로 정의하였으며, 고속도로에서 실제차량을 운전하면서 시간의

경과에 따른 각 부위의 피로도를 살펴보고자 하였다.

2.1 피실험자

실험이 고속도로 상에서 운전을 수행하면서 이루어지기 때문에 어느 정도의 운전 경험을 가진 피실험자가 필요하였다. 따라서 본 연구에서는 3년 이상의 운전경력이 있는 건강한 2-30대(평균 29세) 남성을 실험의 대상으로 선정하였으며, 실험에 참여한 피실험자는 모두 6명이었다.

피험자는 약 3시간 정도 장시간 운전을 해야 하기 때문에 전날의 수면시간은 운전을 하는데 줄리지 않도록 충분히 갖도록 하였으며, 생리신호에 영향을 줄 가능성이 있는 각종 카페인 함유 음료수나 커피 등은 삼가도록 하였다.

또한, EMG, ECG 등의 생리신호가 운전을 수행하는 도중에 수회의 측정이 이루어지기 때문에 전극을 붙인 상태로 운전을 수행해야 한다. 따라서 실험을 실시하기 전에 충분한 적응 시간을 갖도록 예비 테스트 및 실험 환경과 동일하게 세팅을 한 후 시운전을 충분히 실시하여 전극 부착으로 인한 피로도의 증가 및 불편함을 최소화 하고자 하였다.

2.2 실험 장비

자동차 운전에서 따른 피로도는 차량의 상태에 따라서 많은 영향을 받을 수 있기 때문에 실험에 사용된 차량은 출고된지 2년 미만의 무사고 차량을 실험차량으로 선정하였다.



그림 1. 실험 장면

또한, 실험이 특정 차량에 한정되지 않도록 하기 위해 800cc, 1500cc, 2000cc, 3000cc 등의 배기량별로 1대 씩 선정하였다. EMG와 ECG는 그림 1과 같이 Biopac 사의 mp 100 system을 이용하여 측정하였다.

2.3 도로 주행

선정된 피실험자는 대전-정읍구간을 일정한 속도(약 90km/h)를 유지하면서 왕복 주행하였다. 총 운전 시간은 약 3시간 정도가 소요되었으며, 주행거리는 약 250km 정도였다.

2.4 운전자세의 정의



그림 2. 개방형 운전자세



그림 3. 폐쇄형 운전자세

운전자세는 피험자가 운전을 하는데 무리가 가지 않는 한도 내에서 등판의 각도를 크게 하여 elbow angle, shoulder angle, trunk-thigh angle 등을 크게 하였으며, 등판이 reclining 됨에 따라 보다 넓은 시계를 갖게 되는 그림 2와 같은 개방형 운전자세를 취

하게 하였다. 폐쇄형 운전자세는 그림 3과 같이 개방형 운전자세에서 등판의 각도만 세워서 몸의 각 관절이 이루는 각도를 작게 하여 폐쇄형 운전자세를 취하도록 하였다.

2.5 신호의 측정 및 주관적 평가

신호의 측정은 출발전 안정상태, 출발 후 매 30분 간격으로 측정하였으며 마지막으로 도착 직후에 다시 한 번 측정하였다. 운전 중에는 멈추지 않고 계속 운전작업을 수행하면서 신호를 측정하였으며, 중간지점(약 90분 정도 운전)에서 주관적 피로도 평가를 위해 정차를 한 후 신호 및 주관적 평가를 수행하였다.

주관적 평가는 출발 전, 정차시, 도착직후 이렇게 3회에 걸쳐 평가를 수행하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 EMG에 의한 근육의 피로 평가

신호의 측정을 위해 Biopac 사의 MP 100 system을 사용하였으며, 신호의 sampling rate는 1000Hz로 하였으며, 신호의 대역을 5Hz~500Hz로 제한하였다.

EMG신호의 측정을 통해 운전에 의한 근육의 피로 정도를 파악하기 위해 lumbar와 neck의 두 곳을 선정하여 각각 1 channel씩 총 2 channel을 측정하였다.

측정 결과 그림 4~7에서 보는 것과 같이 개방형 운전자세를 취했을 경우 폐쇄형 운전자세를 취했을 때에 비해 피로도가 훨씬 적게 나타났다.

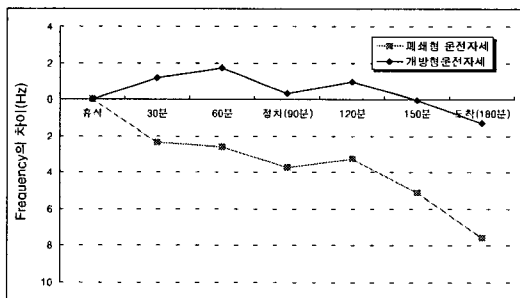


그림 4. Median Frequency의 차이 (목 부위)

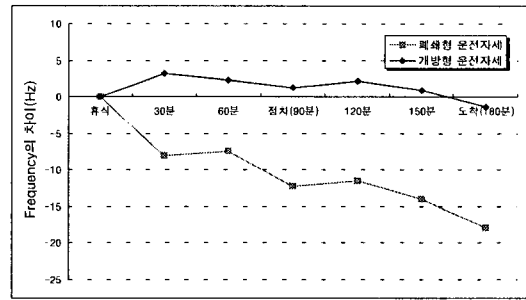


그림 5. Mean power frequency의 차이 (목 부위)

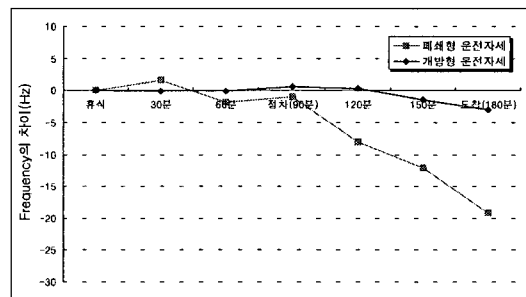


그림 6. Median frequency의 차이 (요추 부위)

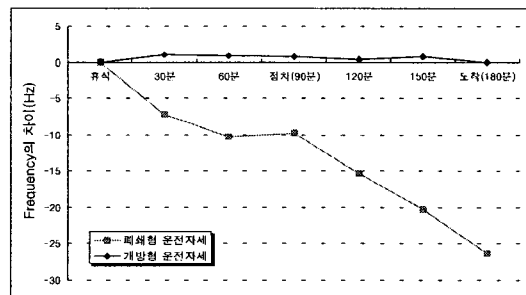


그림 7. Mean power frequency의 차이 (요추 부위)

그림 4와 5는 각각 목부위의 MF(median frequency)와 MPF(mean power frequency)의 변화량을 나타내고 있다.

폐쇄형 운전자세를 취했을 경우 초기 상태에 비해 MF 값이 약 8Hz 정도 감소되었으며, MPF의 값은 약 17Hz 정도 감소하였다.

개방형 운전자세를 취했을 경우는 그림 6, 7에서와 같이 MF값이 약 20Hz 정도 감소하였으며, MPF의 값은 약 27Hz 정도 감소하는 것을 볼 수 있었다. Tamara와 Kuntal의 말에

의하면 MF의 변화량에 의해서 근육의 피로도를 평가할 수 있다고 하였다[14]. 이에 근거하여 목 부위의 경우 약 3시간의 운전을 수행하면서 8Hz정도가 감소를 하였으나 요추 부위는 약 20Hz 정도가 감소하였다. 즉, 목 부위 보다는 요추부위의 근육이 훨씬 더 피로해 졌음을 알 수 있었다.

3.2 ECG에 의한 정신적 피로도 평가

ECG에 의한 피로도의 평가는 단위시간당의 평균 및 편차, 나아가서는 심박의 1박동 간의 간격을 1분당 심박수로 환산하여 순간 심박수로써 평가하는 것이 보통으로 본 연구에서는 1분당 심박수로 환산하여 정신적인 피로도(긴장의 완화 내지는 졸림감)를 평가해 보았다.

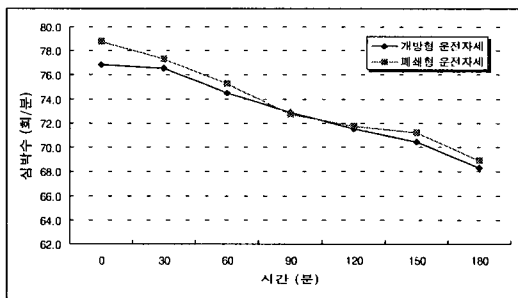


그림 8. 운전시간에 따른 심박수 변화량

평가 결과 그림 8과 같이 초기 상태에 비해서 약 10회 정도의 감소를 보였으며, 이는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($\alpha=0.01$).

하지만, 두 자세간 감소량의 차이는 피험자에 따라 많은 차이를 보였다. 평균적으로 2회/1분 내외로 통계적으로 유의한 차이는 아니었지만, 폐쇄형 운전자세를 취했을 때가 조금 더 많이 감소하는 것을 볼 수 있었다.

이러한 심장 박동수의 감소는 장시간 운전 에 따른 긴장의 완화 내지는 졸림감에 기인한 것으로 판단된다.

3.3 졸림감 평가

졸림감에 대한 평가는 KSS(Kwansei-gakuin sleepiness scale)를 이용하여 실시하였다 [16].

KSS는 졸림감에 대한 평가로 22개의 항목

중에서 현재 자신의 상태에 해당하는 항목에 체크를 하게 되는데, 각 항목마다 0-7점의 점수가 부여되어 있어 이를 환산하여 졸림감의 정도를 평가하게 된다. 또한, KSS는 졸림감의 형태를 세 개의 군집으로 나누어 이에 대한 grouping을 통해 졸림감의 누적 형태를 분석할 수 있다. grouping은 표1과 같이 정의되어 있다.

표 1. KSS grouping 표

Group	졸림과 나른함
Group A	졸림과 나른함
Group B	신체적 위화감
Group C	주위집중이 곤란

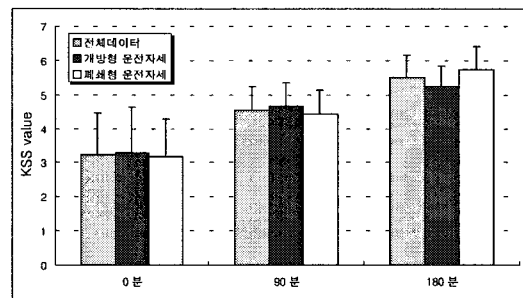


그림 9. 운전자세에 따른 KSS value의 변화

표 2. 운전시간에 따른 졸림감 누적 형태

유형	0 분	90 분	180 분
Type A	Group A	Group A	Group A
Type B	Group B	Group B	Group B
Type C	Group A	Group B	Group C
Type D	Group A	Group C	Group B
Type E	Group C	Group A	Group B

KSS에 의한 졸림감의 평가 결과 그림 9에서와 같이 운전시간이 증가하면서 졸림감도 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

전체 운전자들의 KSS의 변화량이 약 2.2 정도이었으며, 폐쇄형 운전자세를 취했을 경우 약 2.6 정도 증가한 것을 볼 수 있었다. 반면에 개방형 운전자세를 취했을 경우에는 약 1.9 정도의 졸림감의 증가를 보였으며, 두 운전자세간의 통계적 유의한 차이를 보였다($\alpha=0.05$).

표 2는 운전시간의 증가에 따른 졸림감의 누적되는 타입을 보여주고 있다.

Type A나 B와 같이 동일한 증상이 점점 심해지는 타입이 있었으며, Type C, D, E와 같이 서로 다른 증상으로 전이되면서 졸림감이 누적되는 타입도 있었다. 이 중에서 Type B, D, E의 경우 180분 정도의 운전을 수행하였을 때 신체적인 위화감을 느끼게 되어 심한 경우 주변의 상황에 적절하게 반응을 할 수 없을 정도에까지 이르게 매우 위험한 타입이다.

3.4 주관적 피로도의 평가

운전을 모두 마친 후 신체의 각 부분이 어느 정도 불편한지를 알아보기 위해서 신체 각 부위별로 불편 정도를 체크할 수 있는 평가지를 만들어 신체 불편도를 평가해 보았다[17].

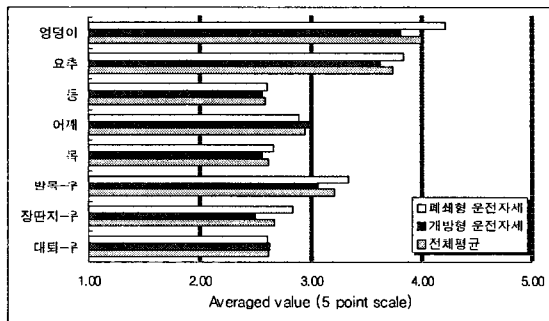


그림 10. 주관적 피로도 평가 결과

주관적 피로도는 피험자의 키에 따라서 약간 다르게 나타났지만, 일반적으로 영덩이와 요추 부분이 가장 불편한 것으로 나타났으며, 발목, 장판지, 대퇴, 어깨 등, 목 등의 부위가 불편한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 장시간 운전에서 기인한 것이겠지만, 시트 자체가 한국인 체형에 잘 맞지 않기 때문이기도 할 것이다.

본 논문에서 나타내지는 않았지만, 신체 불편도의 체형별 비교결과 5th percentile, 50th percentile, 남자와 95th percentile 남자간에는 분명히 피로 부위에 차이가 있었다. 다만, 피험자 수가 적었기 때문에 이것이 우연의 결과일지 통계적으로 유의한 결과인지는 알 수가 없다.

4. 결론 및 토론

자동차의 안락감을 향상시키기 위해 기존에 수행되어오던 평가 방법들은 특정한 요인에 대해서 집중적으로 연구가 수행되어져 왔다. 하지만, 자동차에 있어서 안락감은 운전자세, 시트의 물성치, 시트 재질, 서스펜션, 차체진동 등의 너무나도 다양한 요인이 결합되어 나타나는 결과로 이러한 요인들을 최소한 둘 이상 고려하여 연구를 수행한다면 보다 더 좋은 결과를 얻어 낼 수 있지 않을까 하는 생각이 든다. 물론, 그 전에 각 요인들간의 관련성에 대한 연구가 선행적으로 수행되어져야 할 것이다. 본 연구는 또한, 이러한 선행적인 연구뿐만 아니라 자동차 운전에서 따른 피로도를 평가하는 방법으로써 정량적인 평가와 정성적인 평가를 동시에 수행함으로써 이들의 관련성을 규명하고자 하였다.

본 연구 결과는 샘플 수가 적어서 통계적으로 유의한 차이가 있다거나 객관적인 데이터라고는 말할 수 없겠지만, 운전자세와 피로도간에 분명한 차이가 있음을 알 수 있었다. 즉, 등판의 각도를 90도에 가깝게 세우는 것보다는 어느 정도 각도를 크게 해 주는 것이 운전에서 따른 피로를 줄일 수 있었으며, 졸림감 또한 줄일 수 있었다.

또한, 실제 차량을 통해 고속도로를 주행하면서 얻어진 결과이기 때문에 그 의미가 더 크다고 생각된다.

추후에 지속적인 데이터의 확보가 된다면, 운전자세와 피로도간의 관계를 분명하게 규명할 수 있을 것으로 생각이 된다.

하지만, 이러한 실험은 자칫 잘못하면 대형 사고로 연결될 수 있기 때문에 실험자와 피험자 모두에게 철저한 사전교육이 필요하다.

5. 참고문헌

1. 이순요, 감성공학적 디자인 프로세스 시스템을 이용한 감성제품 개발, 인간 경영사, 1998.
2. 김선웅, 운전자세에 따른 피로도 변화에 관한 연구, 전주대학교 석사학위 논문, 2002.
3. Rebiffe, P., "Le Siege du Conducteur :

- Son Adaptation aux Exigences Fonctionnelles et Anthropométriques", *Ergonomics*, Vol. 12, No. 2, 1969.
4. Verriest, J.P., "Driving Posture and Comfort", *Recherche Transport Securite*, pp. 38-44, 1986.
 5. Drury, C.G. and Coury, B.G., "A Methodology for Chair Evaluation", *Applied Ergonomics*, Vol. 13, No. 3, pp. 195- 202, 1982.
 6. Habsburg, S.K., *Analytical Photogrammetry*, pp. 87-91, Pergamon Press, New York, 1987.
 7. Oliver. R, "A Study of the Comfort Characteristics of Production Car Seats", MIRA, 1970
 8. Shackel, B et, al., "Seating physical characteristics and subjective comfort: Design considerations", SAE Paper No. 980653, 1998.
 9. Corlett, E.N. and Bishop, R.P., "A Technique for Assessing Postural Discomfort", *Ergonomics*, Vol. 19, pp. 175-182, 1976.
 10. Weichenrieder, A., and Haldenwagner, H., "The Best Function for the Seat of a Passenger Car", SAE Paper, No. 850484, 1985.
 11. Lee, J., and Ferraiuolo. P., "Seat comfort", Society of automotive engineers, paper no. 930105, 1993
 12. Reed, M.P., et. al., "An Investigation of Driver Discomfort and Related Seat Design Factors in Extended Duration Driving", SAE Paper, No. 910117, 1991.
 13. 이영신 등, "자동차 시트의 피로도 평가를 위한 근전도 측정기의 사용", '97 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 10-16, 1997.
 14. Tamara, R.B., et. al., "The use of electromyography for seat assessment and comfort evaluation", SAE, paper no. 950143, 1995.
 15. Wenqi S. et. al., "Redefining Seat Comfort", SAE Paper, No. 970597, 1997.
 16. Kaneyoshi, et al., "Sleepiness scale and an experimental approach", *The Japanese Journal of Psychology*, Vol. 52, No. 6, pp. 362-365.
 17. 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.