

## 자동차 시트의 안락감 평가 방법 연구

남윤의<sup>1</sup> · 이영신<sup>1</sup> · 박세진<sup>2</sup> · 민병찬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 기계설계공학과 / <sup>2</sup>한국표준과학연구원 인간공학연구그룹

### A Study on the Development of Comfort Evaluation Method for Automotive Seat

Yoon Eui Nahm · Young-Shin Lee · Se-Jin Park · Byung-Chan Min

The improvement of automotive seating system, particularly for the driver, has been the subject of intense interest. In this study, the methods for evaluating the seating comfort are investigated. A subjective evaluation has been the general method for evaluating the seating comfort of automotive seat. Therefore, the survey using the roadside interview is conducted. In addition, the subjective evaluation with a questionnaire using the laboratory set-up is investigated. With this subjective evaluation, in order to evaluate the comfort objectively, the body pressure distribution, seat physical characteristics and eletromygram are investigated. These objective evaluation methods are compared with the subjective evaluation. As a result, the body pressure distribution, seat physical characteristics and electromygram are recommended as the objective technique for the seating comfort evaluation.

#### 1. 서 론

최근 각종 공학의 눈부신 발전에 힘입어서 자동차 성능, 안락성 등이 크게 향상되고 있으며, 이와 관련하여 운전자 및 승차자와 가장 밀접한 부분인 시트의 안락성 향상에 대한 관심이 더욱 높아가고 있다[1].

자동차 시트는 시대와 나라의 문화, 그리고 그 국민의 체위에 부응하여 변화되고 있으므로 그 설계 형태가 다양하며, 시트의 안락성에 관하여 선진 외국에서는 수많은 연구가 행하여져 왔으나 국내 자동차의 안락성에 대한 연구는 미비하다[2,3,4,5,6].

자동차 시트는 넓은 범위의 인체 특성값을 수용해야 하며 진동과 쇼크로부터 운전자와 승차자를 보호해야 한다. 이들 요구를 만족하기 위해서는 해부학, 행동과학, 생체역학, 생리학 등이 결합된 학제적 연구가 수행되어야 한다[7].

자동차 시트 시스템의 개발은 주요한 연구 과제가 되어왔

으며 이러한 분야의 연구들은 일반적으로 두 개의 형태로 나누어지는데 그 첫번째는 자동차 시트의 위치나 인체 측정학적 인 요구 조건(positional and anthropometric requirements)에 대한 연구이고 두 번째는 시트의 안락감 성능(comfort performance)에 대한 연구이다[2,6,8,9,10,11]

본 연구는 두 번째 형태에 속하는 것으로 이에 대한 연구 결과들을 간단히 살펴보면 다음과 같다. Corlett과 Bishop은 피 실험자에게 불편함을 느끼는 신체 부위에 등급을 매기거나 비율을 주도록 하는 불편함에 초점을 두는 것이 더 좋은 방법이라고 하였다[12]. 문제의 초점을 어디에 두는가는 매우 중요하다. Wachslar와 Learner는 안락감과 매우 상관 관계가 있는 요인은 등과 엉덩이 부분의 안락감이라는 것을 밝혔다[13].

같은 결과가 최근 UMTRI(university of michigan transportation research institute)에서 수행한 Roadside Interview에서 보고되었다[14].

주관적 평가 방법에는 신체 부위에 초점을 두는 것과는 달

리, 예를 들어 CFL(chair feature checklist)처럼 피실험자가 시트 특성에 주의를 기울이는 방법도 있다. 그러나 주관적 판단에서의 공통된 편기 현상이나 주관적 평가에서 피실험자들의 제한된 능력이 보고되었다. 따라서, 본 연구의 주관적 평가시에는 평가자의 판단이 비교적 용이하고 선호도가 아닌 감각의 강도를 척도로 하여 평가할 수 있도록 전체 안락도 평가를 의미 미분 척도법(semantic differential method)을 사용하여 5점 척도로 구성하여 안락도 평가지를 작성하였다.

또한, 이러한 주관적 평가를 객관적으로 입증하기 위한 연구들이 수행되어 왔는데, 그 중 가장 보편적인 방법이 체압 분포 측정이다. Dempsey는 시트 쿠션은 적당하게 신체 무게를 잘 배분해야 하며 쇼크와 진동을 흡수해야 하고 신체 무게의 75%가 엉덩이에 의해 지지되며 특히 높은 체압이 좌골결절의 25cm<sup>2</sup>에 집중되어 있다고 하였다[15]. Drummond 등은 신체 무게의 18%가 각 좌골 결절에 분포된다는 것을 밝혔다[16]. 그러나 이들 결과에서는 체압의 패턴에 의해서 안락감을 정성적으로 평가할 뿐 정량적 데이터는 언급하고 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 안락감 평가를 위해 체압비에 의한 정량화를 시도하였다.

두 번째로, Wenqi Shen과 Vertiz는 시트 안락감의 이해를 위한 새로운 개념을 제안하였는데, 시트의 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 요구 조건이 만족되기 위해서는 시트의 물성이 중요하다고 하였다. 또한, 안락감을 초기, 일시적, 동적 안락감의 3가지로 구분하였으며, 시트의 하중-변형 곡선에 의해 시트들 사이의 차이를 규명하기 위한 방법을 시도하였다[17]. 그러나 이 연구 또한 일반적인 경향만 제시할 뿐 정량적 값을 제시하지는 못했다. 따라서, 본 연구에서 이러한 하중-변형 곡선에 의해서 뿐만 아니라 시트 전반적인 물성 분석에 의한 안락감의 정량화를 시도하였다.

세 번째로, Bush 등은 각기 다른 형상을 가진 시트의 영향을 객관적으로 측정하기 위한 방법으로 근전도 측정기(electromyography)를 사용하였다. 정적인 상태에서 근육의 활동을 살펴보기 위한 실험을 수행하였고 이 근전도 신호를 분석함으로써 median frequency에서의 변화가 근육 피로도 측정을 위한 실행 가능한 수단임을 입증하였다[18]. 따라서, 본 연구에서는 동적인 상태에서도 근전도 측정/분석에 의해 안락감을 평가할 수 있는지를 살펴보았다.

따라서, 본 연구에서는 이와 같은 연구 결과들을 토대로 자

동차 시트의 안락감 평가 방법 개발에 초점을 둔다. 본 연구의 전체 진행 과정을 정리하면, 1) 우선 자동차 시트에 대한 안락감은 실제 운전시의 감성에 지배되기 때문에 불특정 다수의 운전자들이 느끼는 기존 시트의 불편 요인을 추출하기 위해서 roadside interview를 통해 동적인 상태에서의 신체 불편 부위와 불편 정도를 추출하고, 2) 모델이 다른 자동차 운전석을 선정하여 시트에 대한 조절 장치 작동 여부, 불편 및 안락감 인지 여부 등을 갖춘 전문 평가자를 선발하여 시트 안락도 평가지에 의해 정적인 상태에서 시트를 평가함으로써 안락감에 영향을 미치는 주요 인자를 추출한다. 3) 이러한 주관적 평가 결과를 객관적으로 정량화하기 위하여 시트의 안락감에 영향을 미치는 중요한 요인 중의 하나인 체압 분포를 이용하여 운전자가 표출하는 감성인 시트 안락감의 보다 더 객관적인 평가 방법을 연구한다. 4) 이와 함께, 시트의 스프링 상수, 쿠션성, 진동 전달률, 커버지의 경도와 같은 물리적 특성을 측정하여 주관적 평가와의 상관성을 밝힌다. 5) 마지막으로, 실제 운전시의 근전도를 측정하여 주관적 평가와 객관적 측정값으로써 근전도 측정 사이의 관계를 조사하고 근전도 측정이 시트 안락감 평가시 객관적 기준으로 이용될 수 있음을 입증함으로써 자동차 시트의 안락감을 평가하는 방법을 구축하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 시트 안락감의 주관적 평가

### 2.1 동적인 상태에서의 신체 불편도 평가

#### 2.1.1 실험 방법 및 대상

본 조사는 불특정 다수의 운전자들이 느끼는 기존 시트의 불편 요인을 추출하기 위한 신체의 불편도 평가에 관한 설문 조사이다. 조사 방법으로는 인터뷰를 통한 설문 조사 방법으로 주관적 평가 방법을 이용하였으며, 신체의 불편도 평가를 위해서 신체 부위 중 머리, 몸통, 팔, 다리 부위 등에서 28개 부위를 선정하여 불편 정도와 불편 형태를 해당 신체 부위에 구분하여 체크하도록 하였다. 또한 배기량에 따라 시트의 설계 개념이 다르기 때문에 설문 조사시 정적인 평가 결과와의 일관성 유지를 위해 자동차 인구 중 가장 많이 사용하고 있는 1500cc에서 1800cc 배기량의 승용차의 운전자를 선별 조사하도록 하였다.

이때 불편함의 정도는 3점 척도(약간, 중간, 심하다)로 표현하도록 하고, 불편함의 형태는 5점 척도(쓰라림, 쭈심, 마비, 약간의 통증, 기타)로 표현하도록 하였다. 설문 조사는 경부

고속 도로에서 휴식중인 운전자 250명을 대상으로 하였으며, 주요 신체 부위의 불편 정도와 불편 형태의 수준을 비교함으로써 기존 시트의 안락도에 대한 주관적 평가를 수행하였다. 운전자에 대한 기본 정보가 <표 1>에 제시되어 있다.

표 1. 운전자의 기본 정보

구분 (연령)	표본수	운전 경력(연) 평균±표준편차	휴식 간격(시간)
20 ~ 29	60	3.4 ± 2.3	1.8
30 ~ 39	108	6.4 ± 4.5	1.8
40 ~ 49	54	6.9 ± 5.5	1.7
50 ~ 59	24	13.5 ± 8.6	1.4
60세 이상	4	5.5 ± 2.1	1.3

표 2. 시트 안락도 평가지

실험일자:		시트 번호:					피실험자 번호:						
구분	만족 형태	만족 정도					만족 정도						
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	좌판의 경도	딱딱하다					부드럽다	불편					안락
2	엉덩이가 빠져 들어가는 감	크다					작다	불편					안락
3	좌판 형상의 적합성(횡방향)	나쁘다					좋다	불편					안락
4	좌판 형상의 적합성(종방향)	나쁘다					좋다	불편					안락
5	대퇴 압박감	크다					적다	불편					안락
6	대퇴 측면 지지감	작다					크다	불편					안락
7	엉덩이 측면 지지감	작다					크다	불편					안락
8	Hip sliding감	크다					작다	불편					안락
9	좌판의 이물감	많다					없다	불편					안락
10	등판의 경도	딱딱하다					부드럽다	불편					안락
11	등판 형상의 적합성(횡방향)	나쁘다					좋다	불편					안락
12	등판 형상의 적합성(종방향)	나쁘다					좋다	불편					안락
13	요추지지 위치	높다					낮다	불편					안락
14	요추 압박감	크다					작다	불편					안락
15	옆구리 불편함	크다					없다	불편					안락
16	등이 앞으로 굽어지는 감	많다					없다	불편					안락
17	등이 뒤로 굽어지는 감	많다					없다	불편					안락
18	복부 압박감	크다					작다	불편					안락
19	등판의 이물감	많다					없다	불편					안락
20	헤드레스트 경도	딱딱하다					부드럽다	불편					안락
21	머리와 헤드레스트 거리	멀다					가깝다	불편					안락
22	헤드레스트 형상의 적합성	좋다					나쁘다	불편					안락
23	전체 안락감							불편					안락

## 2.2 정적인 상태에서 시트 안락감 평가

### 2.2.1 시트 안락도 평가지에 의한 평가

Branton은 의자를 평가한다는 것은 사용자의 안락함이 아니라 의자의 안락도를 평가하는 것이며, 사용자는 의자에 대한 정보를 평가자에게 전달하는 유일한 경로임을 주지하였다. 그럼에도 불구하고 의자의 좋고 나쁨에 따른 직무 수행도의 변화를 탐지해내기는 극히 어렵다. 그러므로 의자 평가의 실질적인 대안은 안락도를 측정하는 것이다.

결국 의자의 안락도를 측정하기 위해서는 체크 리스트를 작성해야 한다. 수많은 연구자들이 저마다 다른 체크 리스트를 작성해서 의자를 평가했다. 이러한 체크 리스트들 중 대표적인 몇 가지에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다[19].

- (1) 2점 척도 (2 point scale : McLeod et al. 1980) comfortable / uncomfortable을 적당한 선으로 연결
- (2) 3점 척도 (3 point scale : Grandjean et al. 1973; Wotzka et al. 1969) uncomfortable, medium, comfortable의 3개로 구분
- (3) 7점 척도 (7 point scale : Shvartz et al. 1980) extreme discomfort에서 extreme comfort까지를 7개로 구분
- (4) 11점 척도 (11 point scale : Shackel et al. 1969) 11개 문장으로 나누어진 approximately equal interval scale

위에서 언급한 체크 리스트 중 2점 척도나 3점 척도는 평가자의 판단이 용이하고 패널 선정에 있어 큰 제약을 받지 않는다는 장점이 있으나, 척도간에 대소 관계만 정의될 뿐 비례적 관계는 존재하지 않고 통계 분석에 있어 비모수 검정(nonparametric test)밖에 할 수 없기 때문에 정량화에 제약이 따른다. 한편 7점 척도나 11점 척도는 척도간에 대소 관계뿐만 아니라 비례 관계도 성립하므로 비모수 검정과 모수 검정(parametric test)을 둘 다 해볼 수 있다는 장점이 있으나 평가자가 판단하는데 있어서 어려움이 많고 고도로 훈련된 패널 요원이 선정되어야 한다는 단점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 주관적 평가와 정량적 분석을 할 수 있도록 평가자의 판단이 비교적 용이하고 선호도가 아닌 감각의 강도를 척도로 하여 평가할 수 있는 시트 안락도 평가지를 작성하였다. <표 2>에서와 같이 시트 안락도 평가지는 시트가 갖는 여러 가지 물리적 특성에 대한 22개의 항목과 그에 따른 전체 안락도 평가를 의미 미분 척도법(semantic differential method)을 사용하여 5점 척도로 구성하였다.

### 2.2.2 패널 요원 및 실험 시트 선정

본 연구 수행을 위해 모델이 다른 국내의 자동차 운전석 16대를 선정하였으며, 배기량에 따른 시트의 설계 개념이 다르기 때문에 평가에 있어서 오류의 가능성을 최소화하기 위해 배기량이 1500cc에서 1800cc에 속하는 자동차 시트를 선정하였다.

패널 선정에 있어서 대상 시트에 대한 전반적인 안락감 평가를 위해 자동차 시트를 설계 및 생산하는 업체의 전문 평가자 35명이 선발되었다. 이와 같이 전문 평가자를 선발한 이유는 시트에 대한 조절 장치의 작동 여부, 불편 및 안락감 인지 여부 등을 갖추지 못한 운전자는 실제로 그 시트에 대한 안락감 평가가 제대로 이루어지지 않기 때문이다. <표 3>에 평가자에 대한 인체 측정 데이터가 제시되어 있다.

### 2.2.3 실험 방법

<그림 1>에서와 같이 각 시트는 설계상의 위치를 유지하도록 지그상에 설치되었고 각 평가자는 각자의 발과 위치를 조절할 수 있도록 시트를 앞 뒤로 이동할 수 있게 허용하였으며 등판의 각도도 조절할 수 있게 하였다. 그 밖에 다른 행동은 제한되었다. 물론, 안락감 평가시 핸들이나 클러치 또는 변속기를 잡고 있는 상태에서의 안락감을 평가하는 경우와 그렇지 않은 경우에는 안락감에 차이가 있을 것으로 사료되지만 앞에서 언급한 바와 같이 본 연구는 자동차 시트의 레이아웃에 관한 평가라기보다는 자동차 시트 그 자체의 안락감 성능에 관한 내용이며 위 조건들을 모두 포함시키고 실험을 한다는 것은 여러 가지 제약이 따르고 본 연구의 주 목적을 흐리게 할 소지가 있으므로 본 연구에서는 무시되었다.

각 평가자는 각 시트에 대해 30분 측정하고 30분 휴식을 취함으로써 이전에 측정된 시트에 대한 느낌이 연속되지 않도록 하여 정확한 평가가 이루어질 수 있도록 하였다.

표 3. 평가자의 인체 측정 데이터 (단위: cm)

구 분	평균	표준 편차	최대값	최소값
몸무게(kg)	68.2	13.0	95.5	44.9
신장	171.3	6.5	185.0	156.0
앞은 키	91.0	3.3	97.3	83.5
앞은 목 뒤 높이	67.2	6.0	89.8	58.8
앞은 어깨 견갑골 너비	43.2	3.0	48.4	36.7
앞은 엉덩이 너비	34.3	3.0	38.9	23.0
엉덩이 오금 길이	46.3	3.0	51.2	39.5
엉덩이 무릎 길이	56.2	3.8	68.2	48.1

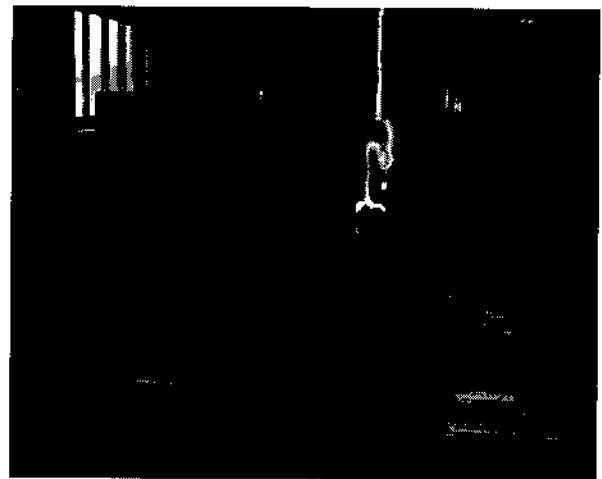


그림 1. 실험적 세트업.

2.3 평가 결과 및 분석

2.3.1 동적인 상태에서의 신체 불편도 평가 결과 및 분석

<그림 2>에 제시된 바와 같이 응답자 중 가장 불편함을 느끼고 있는 신체 부위로는 목을 중심으로 한 어깨 부위와, 엉덩이 부위, 무릎 부위로서 응답자의 86% 정도가 목과 어깨 부위의 불편함을 호소하고 있으며 88% 정도가 요추 부위의 불편함을 호소하였다.

가장 불편한 신체 부위로는 응답자 56.8%가 요추 가운데 부위가 불편하다고 하였으며 다음으로 목 부위로서 46.4%가 불편하다고 하였다. 운전자 대부분이 목과 요추 부위가 가장 불편하다고 느끼고 있음은 기존 시트가 요추 지지를 제대로 해주지 못하고 있으며 요추 지지 부위를 자유롭게 조절할 수 없기 때문인 것으로 판단된다.

시트가 요추 지지를 제대로 해주지 못할 때 운전자는 부자연스런 운전 자세를 취하게 되고 따라서 운전자의 몸이 시트에 밀착이 되지 못하고 시트 등판으로부터 이탈되어 목과 어깨 등의 부위에 피로를 가중시키는 결과를 주게 된다. 이러한 자세가 지속될 때 운전자로 하여금 불필요한 움직임을 주게 되어 피로가 빨리 오게 된다.

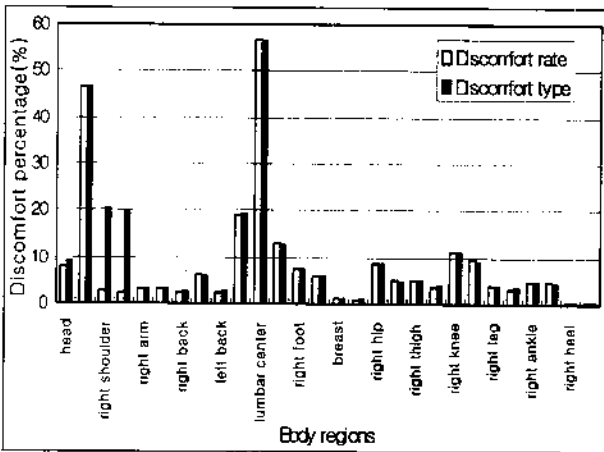


그림 2. 고속 도로 설문 조사에 의한 신체 불편 부위와 불편 정도.

2.3.2 시트 안락도 평가 결과 및 분석

가. 시트 안락도 평가지의 타당성 검토

측정은 추상적 개념을 경험적 지표로 구현시키는 과정이라 할 수 있고 이때 문제가 되는 것은 측정의 타당성이다. 즉, 각 문항들이 어떤 한 개념을 측정하는 것이 아니라, 둘 이상의 여러 개념을 동시에 측정하고 있을 가능성이 있는데 이런 가능성을 탐색하거나 또는 제시된 척도의 타당성을 입증하기 위

표 4. 요인 분석 결과

구분	1요인	2요인	3요인	4요인	5요인
Y18	.89483	.08885	.03146	.34577	-.08996
Y21	.87245	.08890	.13612	-.02380	.11608
Y17	.84637	.04922	.13079	.24277	-.15025
Y13	.79068	.00722	.14265	.32080	-.22745
Y14	.76751	-.02833	.35706	.08068	-.04492
Y16	.74828	.13245	.27767	.36300	.36713
Y11	.73918	.32358	.31214	.21252	.26306
Y12	.67560	.39244	.52579	.21597	.00123
Y1	-.07523	.94807	.06672	.04506	.11523
Y10	.20534	.93018	-.03203	-.08936	.11654
Y19	.12992	.89420	.02903	.01975	.24905
Y9	.00390	.82433	.43886	.04926	.07515
Y7	.26356	.59454	.34637	.41178	.10884
Y8	.19757	.09776	.91090	.09367	.15034
Y22	.53916	.19499	.71634	.04125	.17243
Y3	.47676	.15119	.60050	.50862	.16311
Y4	.47536	.45220	.57559	.40769	-.02594
Y5	.17114	.26193	.17218	.84099	-.01104
Y2	.28163	-.33886	-.07160	.79116	.15066
Y6	.48189	.01984	.47602	.66990	-.03449
Y15	-.17258	.19082	.07269	.01192	.82421
Y20	.18107	.42696	.21361	.11485	.76304

하여 요인 분석(factor analysis)이 활용될 수 있다.

<표 4>와 같이 요인 분석 결과 22개 변수들은 5개의 요인들에 의해 잘 설명되고 있는 것으로 나타났는데, 제1요인은 시트 등판 형상(복부 압박감, 뒤로 젖혀지는감, 요추부 지지 높이, 요추부 지지압, 등이 굽어지는 감, 등판 형상의 적합성), 제2요인은 시트의 경도(쿠션의 경도, 등판의 경도, 쿠션 및 등판의 이물감, 엉덩이 측면 불편감), 제3요인은 시트 좌판 형상(hip sliding감, 좌판 형상의 적합성), 제4요인은 대퇴부(대퇴부 지지 강도, 대퇴부 측면 지지감), 제5요인은 헤드레스트 경도를 나타내는 요인으로 소속 변수를 잘 대별해 준다.

나. 시트 안락도 평가 변수간의 상관 분석

시트 안락도 평가 변수들간의 관계를 알아보기 위해 상관 관계를 구하였다. <표 5>에 시트 안락도 평가에 대한 상관 분석 결과가 제시되어 있다.

본 상관 분석을 통해 운전하기 전 최초 착석시 시트에 대한 안락한 느낌은 등판 형상의 종방향으로의 적합성(Y12), 좌판 형상의 종방향으로의 적합성(Y4), 등판 형상의 횡방향으로의

표 5. 시트 안락도 평가 변수간의 상관 분석 결과

변 수	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
상관계수	0.5505*	0.1471	0.7682**	0.8783**	0.4895	0.6345*
유의수준	0.027	0.587	0.001	0.000	0.054	0.008
변 수	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
상관계수	0.6832*	0.5544*	0.6179*	0.6381*	0.8362**	0.8967**
유의수준	0.004	0.026	0.011	0.008	0.000	0.000
변 수	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18
상관계수	0.5979*	0.6318*	0.2177	0.7794**	0.6660*	0.7254**
유의수준	0.014	0.009	0.418	0.000	0.005	0.001
변 수	Y19	Y20	Y21	Y22		
상관계수	0.6159*	0.5631*	0.6548**	0.7905**		
유의수준	0.011	0.023	0.006	0.000		

※: 유의수준  $p < 0.05$ , \*\*: 유의수준  $p < 0.001$

적합성(Y11), 좌관 형상의 횡방향으로의 적합성(Y3), 헤드레스 트 형상의 적합성(Y22), 등이 굽어지는 감 순으로 나타났다.

여기서 알 수 있듯이 시트의 안락한 느낌은 시트 형상의 적합성(fitting)으로부터 온다고 판단되며 이것은 운전 자세 유지를 위한 지지감이 좋아야 안락함을 느낀다는 것을 보여준다.

### 2.3.3 동적 상태의 신체 불편도에 대한 단시간의 정적

#### 평가에 의한 평가 대변성 검토

실제적인 인간 공학적 시트 설계 시스템을 구축하기 위해서는 단시간에 승차자들이 원하는 시트에 대한 감성을 파악하고 분석할 필요성이 있기 때문에 단시간에 효과적으로 주관적 평가를 수행할 수 있어야 한다.

그러나 시트의 불편·안락함에 대한 평가는 실제 운전시 어느 정도 시간이 지난 후에 가능한 것이기 때문에 이러한 실차 운전에서 오는 신체 불편도를 현재 기존 시트 생산업체들이 수행하고 있는 단시간의 정적 평가에 의해 대변할 수 있는지를 밝히는 것이 중요하다. 본 연구 결과를 토대로 볼 때, 동적 운전에서 유발되는 주요 신체 불편 부위가 목을 중심으로 한 어깨 부위와 요추 부위, 엉덩이 부위, 무릎 부위 등으로 나타났듯이 이는 실험적 세트업을 통한 단시간의 정적 평가 결과, 시트의 안락감에 중요한 영향을 미치는 요인으로 제시된 시트 등판 형상의 적합성, 좌관 형상의 적합성 및 경도, 헤드레스 트의 형상 등의 결과로서 일맥 상통한 결과가 도출되었다.

이로써 장시간의 실차 운전에서 유발되는 신체 불편도를 단시간의 정적 평가를 통하여 대변할 수 있음을 알 수 있고 단시간의 정적 평가를 통해 시트의 안락감을 평가하는 것이 타당하다고 판단된다.

### 3. 객관적 평가에 의한 주관적 평가의 정량화

주관적 평가는 단지 평가자 개인의 감성에 의존할 수밖에 없으므로 이러한 주관적 평가를 객관적으로 정량화할 필요성이 분명히 있다. 따라서, 현재까지 체압 분포(body pressure distribution)의 패턴에 의해 간접적으로 평가할 수 있었던 것을 패턴뿐만 아니라 각 부위별 체압비를 통해 객관적인 데이터를 도출하고자 한다. 또한, 시트에 대한 물리적 특성들을 여러 가지 측면에서 검토하여 측정을 수행함으로써 시트의 물리적 특성과 주관적 안락감과의 연관성을 밝힌다. 마지막으로, 근육의 수축에 의해 발생하는 전기적 신호인 근전도를 실제 운전시 측정·분석함으로써 근전도 측정이 객관적 평가 방법으로 사용될 수 있음을 입증한다.

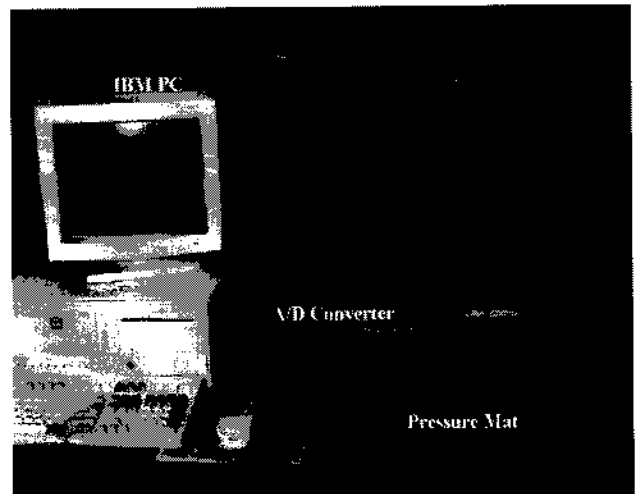


그림 3. 체압 분포의 측정 장비.

3.1 체압 분포의 정량화

3.1.1 측정 준비 및 측정 장비

체압 분포 측정을 위해 한국인 표준 체형에 속하는 피실험자 1명(몸무게:68kg, 신장:173cm)이 선발되었으며, 유사한 배기량의 자동차 시트 7대가 선정되었다.

이렇게 선정된 자동차 시트에 대해 차후 체압비와의 정량적 분석을 위해서 주관적 평가가 선행되었고, 체압 분포 측정 시 선정된 7개의 시트에 대한 차이를 최소화하기 위해 좌판 각도, 등판 각도, 엉덩이 기준점에 3차원 마네킹을 이용하여 가능한 한 동일 조건을 유지하도록 하였다.

<그림 3>은 체압 분포 측정을 위해 본 연구에서 사용된 측정 장비를 제시한다. 본 측정 장비는 일반 로드셀이나 스트레인 게이지가 아닌 박막형 폴리머 필름으로 구성된 매트를 사용하기 때문에 전단력에 의한 체압의 왜곡을 방지할 수 있고 이동이 편리하며 휴대가 용이하고 자료 습득과 저장이 용이하다.

3.1.2 체압 분할 기준 및 체압비 계산

체압 분포의 정량화를 위해 <그림 3>과 같이 시트를 5개 구역으로 분할하였다. 등판의 경우 피실험자에 대한 등판 체압이 주로 요추 부위에 걸리므로 요추 부위 하나로 한정하였고, 피실험자의 앉은 자세에서 5번째 요추까지의 높이가 약

23cm이고 시트들의 요추 지지 최고점까지의 높이가 약 20cm 이므로 몸무게에 의해 좌판이 침강하는 것을 고려하여 이 부분을 포함하도록 선정하였다( $R_A$ ).

좌판의 경우는 신체의 하중이 가장 많이 걸리므로 시트 중심선을 기준으로 좌우의 대칭성을 한 요인으로 하였고( $R_p$ ), 다음으로 좌골 결절을 중심으로 한 엉덩이 부분을 한 구역으로 하였다( $R_b$ ). 3-D 마네킹에 의한 시트들의 엉덩이 기준점 위치와 피실험자의 좌골 결절 사이의 거리(약 12cm)를 고려하여 최대 체압이 걸리는 위치를 포함할 수 있는 면적으로 하였다. 또한 대퇴부의 체압 면적( $R_t$ )도 한 요인으로 선정하였다.

3.1.3 평가 결과 및 분석

가. 상관 분석

상관 분석 결과 주관적 평가 항목의 전체 안락감 변수( $Y_{23}$ )와 체압비가 상호 연관성이 좋은 것으로 나타났다. 통계적으로 유의한 항목으로는 엉덩이 체압비( $R_2=0.9699$ ), 대퇴의 체압비( $R_2=-0.8977$ ), 시트 좌판의 좌우 대칭성( $R_2=0.7811$ ), 요추의 체압비( $R_2=0.6212$ )의 순으로 나타났다.

이것은 주관적 평가 결과에 의해 전체 안락감에 중요한 요인으로 작용한 좌판과 등판 형상의 적합성과 밀접한 관계가 있음을 제시한다.

여기서 주목할 만한 것은 엉덩이 체압비와 요추 체압비는 전체 안락감 변수와 양의 상관관계를 보이고 있다. 즉, 주관적 안락감이 증가할수록 체압비가 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 엉덩이와 요추 부위에서 충분한 지지를 해주고 있는 시트로부터 더욱더 안락함을 느끼는 것을 알 수 있고 반면에 대퇴의 체압비는 음의 상관관계를 보이고 있으므로 주관적 안락감이 증가할수록 대퇴 체압비가 감소 경향을 보이고 있다. 이는 대퇴의 지지감은 작은 것이 더욱더 안락한 것으로 나타났다. 또한 좌우 대칭성이 좋을수록 안락함을 느끼는 것을 알 수 있다.

나. 다중회귀 분석 및 t-test

전체 안락도 평가( $Y_{23}$ )를 종속 변수로 하여 상관 관계가 좋은 것으로 나타난 체압비들이 설명력이 있는가를 알아보기 위해 다중 회귀 분석을 수행하였다. 가정된 회귀 모형을 구성하기 위해 선택된 독립 변수들은 상관 관계 분석에서 전체 안락감 평가와 유의한 상관 관계를 보인 변수들이었다. 회귀 분석 결과 추정된 회귀 모형은 다음과 같다.

$$Y_{23} = -75.8 - 103.7R_l + 730.8R_b - 134.8R_t - 57.1R_p \quad (3.1)$$

분석 결과로부터 선형 모형의 적합도를 측정하는 데 이용

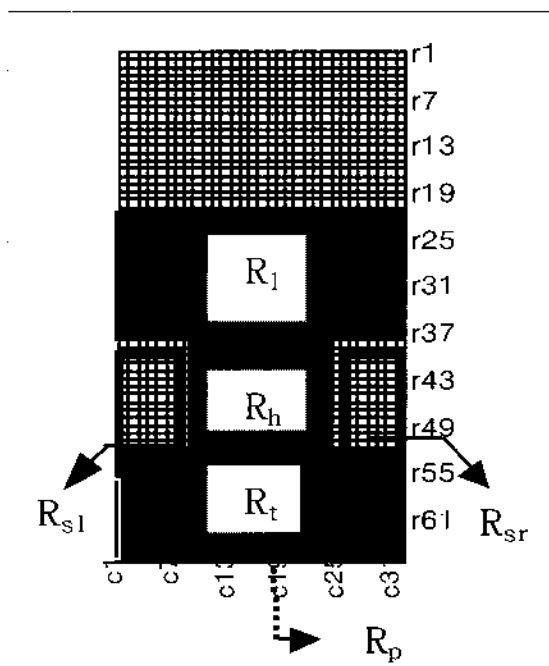


그림 4. 시트 구역 분할.

표 6. t-test 결과

구분		$R_b$	$R_s$	$R_{sr}$	$R_{sm}$	$R_t$	$R_l$	$R_p$
안락한 시트	평균	0.494	0.171	0.181	0.176	0.316	0.719	0.929
	표준편차	0.014	0.016	0.012	0.012	0.027	0.044	0.068
불편한 시트	평균	0.451	0.171	0.170	0.171	0.389	0.602	0.726
	표준편차	0.005	0.045	0.029	0.012	0.021	0.076	0.124
유의수준		$p < 0.01$	$p > 0.1$	$p > 0.1$	$p > 0.1$	$p < 0.01$	$p < 0.1$	$p < 0.1$

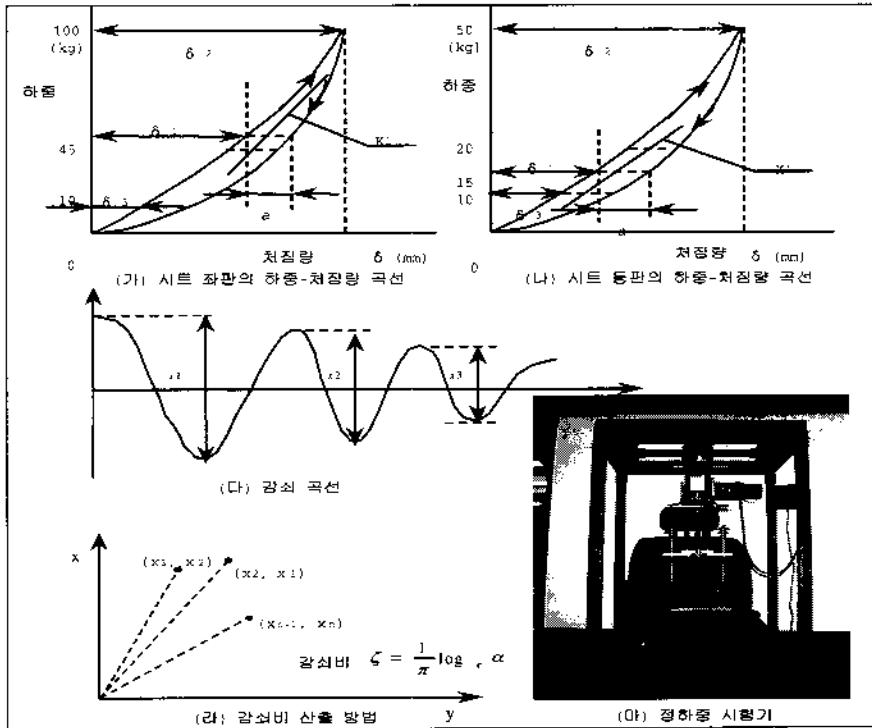


그림 5. 시트의 물리적 특성 측정 방법.

되는  $R_2$ 는 변수  $R_l, R_b, R_s, R_p$ 가 투입됨으로써 종속 변수에 대한 전체 설명력이 0.9988, 즉 99%라는 것을 의미한다. 이는 통계 분석에 이용된 사례들의 99%가 표본회귀선에 적합하다는 것을 의미한다.

다음으로 안락한 시트와 불편한 시트의 체압비에서의 차이가 통계적으로 유의한지를 살펴보기 위해 t-test를 수행하였다. 우선, 분산 분석을 통해 주관적 평가 결과에 의해 안락한 시트와 불편한 시트를 그룹화하였으며 t-test 결과가 <표 6>에 제시되어 있다.

여기서 알 수 있듯이  $R_l, R_b, R_p$ 는 불편한 시트에서보다 안락한 시트에서 더 컸으며 반면에  $R_s$ 는 안락한 시트에서 더 작았다. 체압비 사이에서 통계적으로 가장 큰 차이가 있는 것은

$R_p$ 에서였다. 엉덩이, 요추, 좌우 대칭성 체압비의 차이가 통계적으로 유의하였다 ( $p < 0.1$ ).

### 3.2 물리적 특성의 정량적 산출

#### 3.2.1 측정 항목 및 방법

시트의 쿠션성을 결정하는 정적 스프링 상수는 각 나라의 국민 체위의 차이, 도로 상태의 차이, 국민성의 차이 등으로 선호가 다르다. 독일의 경우 고속 도로의 발달과 장거리 고속 주행이 많고 승차자의 체격도 크므로 시트가 단단하고(정적 스프링 상수가 크고), 고속에서 회전할 때 몸이 잘 유지되도록 좌우측의 지지가 견고하다. 시트의하중-변형 곡선은 비선형



표 7. 변수 정의

변수	정 의		변수	정 의	
CKS		정스프링 상수	CRF15	좌 판	뒤 끝단으로부터 150, 300mm 지점에서의 경도 분포
CD3	좌 판	15kg 하중에 대한 처짐량( $\delta_3$ )	CRF30		
BKS		정스프링 상수	CR10		
BD1	등 판	15kg 하중에 대한 처짐량( $\delta_1$ )	BBT20	등 판	아래 끝단으로부터 200mm 지점에서의 경도 분포
XX1		변위 X1	BL5		
XX2		변위 X2	CD15	좌 판	뒤 끝단으로부터 150mm 지점에서의 표면 경도
DAMP		자연감쇠비	CDL5		
CKD		등스프링 상수	BDL5		
CRF5	좌판	뒤 끝단으로부터 50mm 지점에서의 경도 분포		등 판	좌측 끝단으로부터 150mm 지점에서의 표면 경도

표 8. 시트 물리적 특성값

구 분	시트1	시트2	시트3	시트4	시트5	시트6	시트7
CKS	1.79	1.87	1.84	2.12	1.66	1.82	1.73
CD3	15.69	24.5	18.48	17.39	23.59	15.24	20.99
BKS	1.16	1.44	1.3	1.35	0.95	1.1	1.1
BD1	22.3	19.31	13.85	18.44	28.63	21.08	27.88
XX1	16.0	18.0	15.3	21.2	23.0	15.5	22.5
XX2	3.0	4.0	3.0	6.0	7.5	3.0	5.5
DAMP	0.45	0.45	0.55	0.42	0.39	0.45	0.43
CKD	5.65	6.45	6.04	6.45	5.26	6.45	5.26
CRF5	32.3	28.6	31.2	22.6	41.6	24.2	33.8
CRF15	31.9	33.8	26.7	26.7	49.4	36.6	42.6
CRF30	30.0	33.0	26.5	37.3	42.8	40.2	38.6
CR10	28.0	26.4	22.1	26.9	35.5	25.6	33.6
BBT20	30.9	22.8	25.0	22.9	35.1	31.2	43.1
BL5	27.1	23.4	21.0	24.3	36.6	26.5	38.4
CD15	15.2	19.0	12.1	18.4	25.3	18.7	21.4
CDL5	16.2	17.6	13.6	18.9	23.7	18.7	21.6
BDL5	9.4	9.7	10.4	12.3	20.6	13.4	20.9

관계를 갖고 하중을 가하고 제거(loading, unloading)할 때에 다른 특성을 갖는다.

따라서, 본 연구에서는 정스프링 상수와 함께 시트 감쇠비, 등스프링 상수, 경도 분포 및 표면 경도 등과 같이 시트에 대한 물리적 특성들을 여러 가지 측면에서 검토하여 측정을 수행함으로써 시트의 물리적 특성과 주관적 안락감과의 연관성을 밝히고자 하였다. 연구를 위해 유사한 배기량의 자동차 시트 7대가 선정되었고 선정된 시트에 대해 물리적 특성들과의 정량적

분석을 위해 주관적 평가가 선행되었다. 측정 방법이 <그림 5>에 제시되어 있으며 통계 분석을 위해 <표 7>과 같이 변수를 정의하였다.

<그림 5>에 제시된 바와 같이 <그림 5> (가)와 (나)에 의해 각 하중에 대한 처짐량과 정스프링 상수를 계산할 수 있으며, <그림 5> (다)의 감쇠 곡선으로부터 감쇠 파형의 진폭(X1, X2, X3, ..., Xn)을 읽고 <그림 5> (라)와 같이 각각의 수치를 X,Y 좌표상에 점(X1, X2), (X3, X2), ..., (Xn+1, Xn)으로 plot하고 직선의 기울기  $\alpha$ 를 구하고 감쇠비를 계산할 수 있다.

### 3.2.2 평가 결과 및 분석

#### 가. 상관 분석

각 시험에 의해 산출된 수치가 <표 8>에 제시되어 있다. 주관적 평가 중 전체 안락감 변수(Y23)와 시트 물리적 특성들과의 상관 분석 결과가 <표 9>에 제시되어 있다. 여기서 알 수 있듯이 CD3, CD15, CDL5, CR10, BDL5가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

이 결과로부터 시트 안락감에 대한 주요한 요인은 처짐량, 경도 분포와 표면 경도인 것으로 판단된다. 여기서 주목할 만한 것은 과거 인체 측정값에 관련된 연구 결과를 토대로 볼 때, 인간의 H.P까지의 거리와 5번째 요추까지의 높이와 관련하여 변수 CD15, BDL5가 통계적으로 매우 상관성이 높았다는 것이다 ( $p < 0.05$ ).

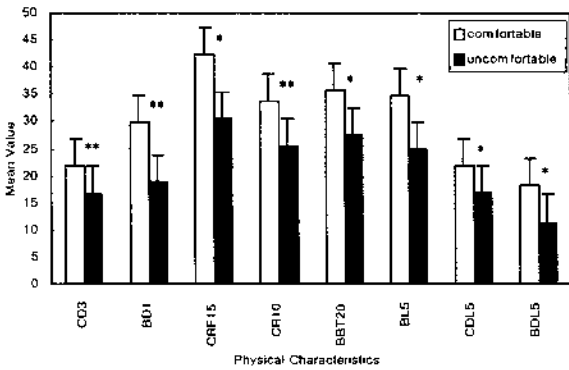
#### 나. 다중 회귀 분석 및 t-test

주관적 안락감 평가 중 전체 안락감 변수(Y23)를 종속변수로 하고 물리적 특성값들을 독립 변수로 하여 단계별 다중 회

표 9. 상관 분석 결과

변 수	CKS	CD3	BKS	BD1	XX1	XX2
상관계수	-0.1290	0.8918**	-0.5688	0.6274	0.5682	0.5875
유의수준	0.7828	0.0070	0.1826	0.1315	0.1833	0.1654
변 수	DAMP	CKD	CRF5	CRF15	CRF30	CR10
상관계수	-0.4413	0.0168	0.4116	0.7117	0.5307	0.7263*
유의수준	0.3216	0.9714	0.3589	0.0729	0.2204	0.0645
변 수	BBT20	BL5	CD15	CDL5	BDL5	
상관계수	0.6550	0.7054	0.7959	0.8036	0.8535	
유의수준	0.1103	0.0766	0.0323*	0.0295*	0.0146*	

\*: 유의수준  $p < 0.1$ , \*\*: 유의수준  $p < 0.01$



\*: 유의수준  $p < 0.05$ , \*\*: 유의수준  $p < 0.01$

그림 6. t-test 분석 결과.

귀 분석(stepwise regression analysis)을 수행하였다. 분석 결과 추정된 회귀 모형은 다음과 같다.

$$Y23 = 16.041 + 2.435CD3 + 0.447BD1 + 5.335CKD - 2.211BL5 + 5.271BDL5 \quad (3.2)$$

분석 결과  $R^2$ 가 0.99로서 회귀 방정식은 적합한 것으로 추정되며 전체 안락감은 시트 좌판과 등판의 처짐량, 동스프링 상수, 등판의 표면경도와 경도 분포에 의해 잘 설명됨을 알 수 있다.

다음으로 안락한 시트와 불편한 시트의 물리적 특성값에서의 차이가 통계적으로 유의한지를 살펴보기 위해 t-test를 수행하였다. 우선 주관적 평가 결과에 의해 분산분석을 통해 안락한 시트와 불편한 시트를 그룹화하였다. <그림 6>은 분석 결과 중 통계적으로 유의한 항목을 나타내고 있다. 여기서 알 수 있듯이 두 그룹 간 차이가 통계적으로 유의한 변수는 CD3, BKS, BD1, CRF15, CR10, BBT20, BL5, CDL5, BDL5였다( $p < 0.05$ ).

또한 주관적 평가에서 안락한 시트로 분류된 시트에서의 물리적 특성값이 컸다. 즉, 같은 하중에 대해 처짐량이 큰 것(즉, 쿠션성이 좋은 시트)으로부터 승객들은 안락함을 더 느끼는 것으로 판단된다.

### 3.3 근전도 측정에 의한 시트의 피로도 평가

#### 3.3.1 피로에 따른 근전도 변화

근육의 수축에 의해 발생하는 전기적 신호를 근전도(electromyogram), 또는 줄여서 EMG라 한다. 인체는 생체 항상성을 유지하는 과정에서 다양한 전기적인 생리 신호를 발생하고 있다. 이러한 전기적 신호는 세포 단위에서의 활동 전위가 인체라는 일종의 부피 전도계를 따라 전달됨으로써 형성되는 전류계에 의하여 나타나게 되며 인체 내부나 체표면으로부터 전극(electrode)이라는 변환기를 이용하여 전기적인 신호로 검출될 수 있다.

불충분한 산소 공급 또는 신진 대사에 필요한 어느 한 물질의 고갈 등의 이유로 근육 조직이 수축 요소에 원활한 신진 대사를 공급하지 못할 때 근육이 피로하게 된다.

즉, 운동 단위의 전부 또는 일부가 생성할 수 있는 단수축힘이 감소되므로 다른 운동 단위를 새로 동원하여 힘을 보충하여야 한다. 이러한 생리학적 현상 때문에 EMG 신호의 주파수가 저주파 영역대로 변화하고 다음 변수들이 이러한 생리학적 현상을 완전하게 설명한다.

- 1) MF(median frequency), MPF(mean power frequency), ZCR(zero-crossing rate) : 음의 변화를 일으키며 곡선은 근세포의 전위 속도 감소 때문에 시간의 함수로써 감소한다.
- 2) Aver EMG : 양의 변화를 일으키며 곡선은 새로운 운동 단위의 순환 때문에 증가한다.

표 10. 시간 경과에 따른 근전도 신호의 변화

구분		MF(평균 주파수) 변화율 (Hz/min)						총변화율
		0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	
시트 A	요추	0.7	2.5	2.1	3.8	-0.1	-3.4	-4.1
	목	11.4	0.4	2.8	4.3	1.8	5.1	-6.3
	다리	-2.6	-0.1	-0.2	-0.6	1.4	-0.2	2.4
시트 C	요추	3.3	9.4	-0.4	-17.9	-16.0	-26.7	-30.0
	목	-2.9	-0.5	-2.1	2.5	6.2	-4.6	-1.7
	다리	-2.7	4.4	-0.1	3.7	1.0	0.2	2.9
시트 B	요추	0.0	0.6	0.2	0.3	1.7	0.8	0.8
	목	0.0	0.0	0.0	-6.3	2.2	-1.9	-1.9
	다리	5.0	1.0	-0.2	-0.7	0.0	-0.9	-5.9
시트 D	요추	0.2	0.5	0.1	-0.0	-0.5	-10.1	-10.3
	목	-3.9	-3.0	0.0	-0.4	5.5	3.2	7.1
	다리	1.8	0.5	0.0	-0.7	1.4	0.4	-1.4



그림 7. 근전도 측정 장비.

3.3.2 근전도 측정 방법

본 실험을 위해 체격이 비슷한 피실험자 2명과 배기량이 1500cc, 1800cc인 국내 자동차가 각각 2대씩 선정되었다. <그림 7>은 본 실험에서 사용된 근전도 측정기 ME3000P를 나타낸 것이다. 실험에 앞서 신체 3개 부위에 각각 10mm간격으로 표면 전극이 부착되었고 전극 부착 부위별로 신호가 다르게 얻어질 수 있기 때문에 신뢰성 확보를 위해 부착 위치를 표시했다.

본 연구에서 선택된 3개의 신체 부위는 주로 요추 통증을 유발하는 요추 3, 4번의 좌우 근육, 목의 C7 근육과 종아리 근육이었다. 운전간 시트로부터 발생하는 피로를 감지하기 위해서 피실험자로 하여금 2시간 30분 동안 정속 운전을 하도록

지시하였다. 측정은 최초로부터 30분 간격으로 5분간 측정(총 6회)을 수행함으로써 시간이 경과하는 동안 근육의 피로 상태를 측정하였다. 각 피실험자는 유사한 배기량의 차량 2대를 이들에 걸쳐 하루에 한 차종씩 운전하도록 하였으며 평가의 신뢰성 확보를 위해 오전에 측정한 사람은 다음 측정도 오전에 실시하였다.

3.3.3 평가 결과 및 분석

근전도 신호와의 관계를 살펴보기 위해 주관적 평가가 선행되었으며, 주관적 평가 결과 배기량에 따른 시트의 설계 개념이 다르기 때문에 동급 차종간에 비교를 하였다.

근전도 신호 분석의 수학적 배경은 푸리에 급수이다. 분석 결과 근전도 신호 중 다른 주파수에서는 유의한 관련성이 나타나지 않았으나, 요추 부위의 MF에서는 관련이 높은 것으로 나타났다. <표 10>은 시간 경과에 따른 MF의 변화를 보여주고 있는데, 최초 운전으로부터 30분 동안에는 증가하는 것을 알 수 있으며 이는 초기에 근육 활동이 적용하고 있는 것으로 판단할 수 있고 30분 후부터는 감소하기 시작하여 2시간이 지났을 때 그 변화가 큰 것을 알 수 있다.

기울기가 떨어지는 것은 근육 피로에 일치한 MF의 변화를 나타내며 기울기가 음으로 가면 갈수록 점점 더 피로율이 빨라진다. 각 차량에 대한 MF의 변화율, 즉 피로율은 시트 A에 비해서 시트 C가, 시트 B에 비해서 시트 D의 MF의 변화율이 큰 것으로 나타났으며 이는 주관적 평가 결과 시트 C에 비해서 A가, 시트 D에 비해서 B가 안락한 것으로 나타난 것과 역의 관계로 주관적 평가 결과와 잘 일치한다. 즉, 근전도 신호의

정량화를 통해 주관적 평가를 객관화할 수 있음을 잘 설명해 준다.

#### 4. 결론

본 연구의 목적은 자동차 시트의 안락감 평가 방법을 정립하고자 하는 것이었다. 따라서, roadside interview를 통해 기존 시트에 대해 운전자들이 느끼는 시트의 불편 요인을 추출함으로써 동적인 상태에서의 시트 안락감을 조사하였으며, 현재까지 시트 안락감 평가를 위한 가장 보편적인 방법인 주관적 평가를 수행함으로써 한국인의 안락감 인자를 추출하였다.

다음으로 인간의 감성에 의존하는 주관적 평가를 객관적으로 정량화하기 위해 체압 분포 측정을 통해 이러한 주관적 평가와 체압 분포와의 상관성을 밝혔으며, 이와 함께 시트의 스프링 상수, 쿠션성, 진동 전달률, 커버지의 경도와 같은 물리적 특성을 측정하여 주관적 평가와의 상관성을 밝혔다.

특히, 과거 체압 분포의 연구 결과와 비교해 볼 때, 유사한 결과가 도출되었으며, 안락한 시트와 불편한 시트를 구분하여 체압 분포 패턴을 비교한 결과 두 패턴 사이에는 명확한 차이가 있었다. 즉, 안락한 시트는 좌골 결절을 중심으로 체압이 잘 분포되고 좌우 대칭을 이룬 반면 불편한 시트에서는 좌우 대칭을 이루지 못하고 있었다.

마지막으로 인간의 근육에서 발생하는 전기적 신호인 근전도를 실제 운전시 측정하여 주관적 평가와 근전도 측정 사이의 관계를 조사함으로써 이러한 측정 방법들이 시트 안락감 평가시 객관적 기준으로 사용될 수 있음을 입증하였다.

따라서, 현재까지는 시트의 안락감을 평가할 때 주관적 평가 방법에만 의존하던 것을 여러 가지 자동차 시트에 대한 연구를 수행함으로써 데이터 베이스를 수립하고 이를 통해 안락감을 좀더 객관적으로 평가할 수 있으며 또한 이러한 데이터 베이스를 기반으로 추후 설계시 직접 반영할 수 있는 자료가 될 수 있을 것이라고 생각한다. 그러나 본 연구에서는 어떤 수치의 체압비가 안락감을 유발하는가와 안락감을 위한 시트 물성의 범위를 밝히지 못했다. 따라서, 안락감을 위한 체압비와 시트 물성의 정량적 값을 산출하기 위해 추후 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 이장무, 염영하, 성명호, 김재수, "차륜용 시트의 설계품

질 향상을 위한 안전공학 및 인간공학에 관한 연구," *대원기술보*, Vol. 6, pp. 28-40, 1987.

2. Karnijo, K., Tsujimura, H., Obara, H. and Katsumata, M., "Evaluation of seating comfort," *SAE paper*, No. 820761, 1982.
3. Keegan, K., "Design vehicle seat for greater comfort," *Transactions of SAE*, Vol. 72, 1964.
4. Thier, R., "Measurement of seat comfort," *Automobile Engineer*, Feb, 1963.
5. Oliver, R., "A study of the comfort characteristics of production car seats," *MIRA*, 1970.
6. Habsburg, S., and Middendorf, L., "What really connects in seating comfort? studies of correlates of static comfort," *SAE paper*, No. 770247, 1977.
7. Lee, N. S., Schneider, L. W. and Ricci, L. L., "Review of selected literature related to seating discomfort," *UMTRI-90-12*, 1990.
8. Hubbard, R. P. and Reynolds, H. M., "Anatomical geometry and seating," *SAE paper*, No. 840506, 1984.
9. Phillipart, N. L., Keuchenmeister, T. J., Ferrara, R.A. and Arnold, A.J., "The effects of the steering wheel to pedal relationship on driver-selected seat position," *SAE paper*, No. 850311, 1985.
10. Reed, M. P., Satio, M., Kakishima, Y., Lee, N. S. and Schneider, L.W., "An investigation of driver discomfort and related seat design factors in extended duration driving," *SAE paper*, No. 910117, 1991.
11. Park, S. J., Lee, Y. S., Nahm, Y. E., Lee, J. W. and Kim, J. S., "Seating physical characteristics and subjective comfort: design considerations," *SAE paper*, No. 980653, 1998.
12. Corlett, E. N. and Bishop, R. P., "A technique for assessing postural discomfort," *Ergonomics*, Vol. 19, pp. 175-182, 1976.
13. Wachslar, R. A. and Learner, D. B., "An analysis of some factors influencing seat comfort," *Ergonomics*, Vol. 3, pp. 315-320, 1960.
14. Schneider, L. W. and Ricci, L., "Survey of driver seating discomfort and related factors," *University of Michigan Transportation Research Institute*, Report No. UMTRI-89-23, 1989.
15. Dempsey, C. A., "Chapter 9: posture and sitting," *McGraw-Hill*, pp. 165-180, 1963.
16. Drummond, D. S., "A study of pressure distributions measured during balanced and unbalanced sitting," *Journal of Bone and Joint Surgery*, Vol. 64(A), pp. 1034-1039, 1982.
17. Wenqi, S. and Vertiz, A. M., "Redefining seat comfort," *SAE paper*, No. 975097, 1997.
18. Bush, T. R., Mills, F. T., Thakurta, K., Hubbard, R. P. and Vorro, J., "The use of electromyography for seat assessment and comfort evaluation," *SAE paper*, No. 950143, 1995.
19. Druryy, C. G. and Coury, B. G., "A methodology for chair evaluation," *Applied Ergonomics*, Vol. 13, pp. 195-202, 1982.