

## 주행중 운전자세 측정을 통한 주행조건 영향 분석

김태일<sup>1</sup> · 최광수<sup>1</sup> · 정의승<sup>1\*</sup> · 박성준<sup>2</sup> · 최재호<sup>3</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 산업시스템정보공학과 / <sup>2</sup>남서울대학교 산업환경시스템 공학부 /

<sup>3</sup>대진대학교 산업시스템공학과

## Effects of Driving Environment on Driver's Posture

Taeil Kim<sup>1</sup> · Kwangsoo Choi<sup>1</sup> · Eui S. Jung<sup>1</sup> · Sungjoon Park<sup>2</sup> · Jaeho Choi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea University, Dept. of Industrial systems and Information Engineering, Seoul, 136-701

<sup>2</sup>Namseoul University, Dept. of Industrial Engineering, Chonan, 330-707

<sup>3</sup>Daejin University, Dept. of Industrial System Engineering, Pocheon, 487-711

Automotive occupant packaging has been a part of main ergonomics interests, especially, in terms of driver's posture. Previous research on driver's posture has mainly focused on the initial optimal posture for driving sedans. However, customer preferences on cars are shifting from sedans to RV and automobile manufacturing companies seek to understand temporal changes in drivers' posture according to driving environment. So the main aim of this study was to develop a driver's posture measurement system during driving and investigate casual changes due to duration, car type, traffic flow. Four male drivers participated in the experiments during one week. It was shown that considerable changes in their postures were caused with respect to driving environment, which implies that not only static optimal postures but their dynamic changes should be taken into consideration for proper design and evaluation of interior packaging. The research is expected to help packaging designers understand human drivers so as to improve their comfort.

**Keyword:** Driver's posture, driving environment

### 1. 서론

자동차는 제품적인 특성상 가장 대표적인 인간 기계 시스템(Man Machine Systems)으로서, 인간을 고려한 디자인이 가장 중요한 고려요소이다. 운전자의 운전자세는 시트, 공조 시스템과 함께 운전 편의성 및 안락도에 영향을 미치는 대표적인 요소이다. 또한 패키지(Occupant Packaging) 기술의 발달로 인하여 보다 상세한 인체 자료에 대한 요구가 증대되고 있다. 따라서 패키지 레이아웃(Package Layout)을 설계하는 단계에서 사용자의 신체특성에 기초한 설계가 요구된다. 이를 위해서는 운전자의 주행중 운전자세에 대한 데이터를 뽑아내고, 특히 외부 요인에 따른 운전자세의 변화를 분석하는 것이 중요하다. 이를 위해서 실제 주행중의 운전자세를 측정하는 시스템

의 개발이 필요하고, 이를 이용한 실제적 운전자세를 분석하는 연구가 필요하다. 운전자세는 초기의 최적 운전자세가 그대로 유지되는 것이 아니라, 외부의 교통상황, 주행 경과시간, 인체의 피로 등에 따라 연속해서 변화하고, 운전자의 신장이나 그 외의 인체치수에 따라 운전자세가 상이하기 때문에, 주행조건 변화에 따른 운전자세의 변화 추이 및 동적 운전자세를 정의하는 것이 중요하다(Park, 2002).

한편, 소비자의 차량 구매 경향의 변화로 몇 년 전만 해도 오프로드(비포장도로)에서 레저활동을 즐기는 일부 애호가에게 주로 찾았던 RV(Recreational Vehicle)는 이제 일반 소비자가 즐겨 타는 대중차로 확고히 자리잡고 있다. 지난 해 국내 승용차 시장(123만대)에서 RV(52만대)가 차지한 비중은 42.5%였고, 미국의 경우처럼 소형 버스와 소형 트럭을 RV차량으로 포함

\* 연락저자 : 정의승 교수, 136-701 서울특별시 성북구 안암동 5가 1번지 고려대학교 산업시스템정보공학과, Fax : 02-929-5888, E-mail : ejung@korea.ac.kr

2003년 9월 접수; 2003년 10월 수정본 접수; 2003년 11월 게재 확정.

하여 정의한다면 다목적 차량(MPV(Multi Purpose Vehicle))으로도 불리는 RV 비중은 90% 수준에 이른다. RV가 승용 세단 위상을 위협하는 세대교체 차종으로 확실히 자리잡는 것이다(매일경제, 2003). 이러한 구매 경향의 변화로 인해 패키지 흐름의 변화가 야기되었다. 따라서, 새로운 형태의 차종에 따른 운전자세에 대한 연구가 필수적 요소가 되고 있다.

Rebiffe(1969)는 운전중의 운전자의 활동(Task)을 분석하고, 이러한 활동에 맞는 자세와 인체의 위치 등을 운전자의 시계성에 중점을 두어 이론적으로 연구하였다. 인체역학적인 모델과 간단한 기하학적인 작도를 이용하여 안락하고 효율적인 운전자의 이론적인 관절각도를 제안할 수 있었다. Albert 등(1985)은 최적 운전자세를 무릎관절각도, 팔꿈치관절각도 등 총 10개의 관절각도로부터 정의하였다. 또한 Trebbi 등(1986)은 3가지 수준(Sufficient, Fair, Good)으로 운전의 편의성을 구분하여 운전자세의 우열을 평가하는 방식으로 운전자세를 평가하였다. 이후, Judic(1993)은 최소 불편도의 개념을 도입하여, 각 관절각도의 범위를 얻어냈다.

현재까지 운전자세와 관련한 이러한 기존의 연구는 차량 시뮬레이터나 실험실 환경에서의 연구로서 실제적인 운전중의 운전자세의 변화를 평가하는 데 한계점을 가지고 있었으며, 운전자세의 관절각도 범위를 너무 넓게 제시함에 따라서 직접적으로 차량 설계에 반영하기 어려웠다. 또한 관절은 서로 유기적으로 연계되어 운동한다는 특성을 무시하고, 운전자세를 관절별로 독립적으로 제시함으로써, 관절별 평균치의 단순한 조합을 통한 부적합한 운전자세의 가능성을 내포하고 있다. 최근에는 운전자가 시트나 그 외의 운전 공간들을 조절할 수 있는 상황에서의 운전자가 선호하는 자세에 대한 데이터를 수집하는 연구가 주로 진행되고 있다(Gyi, 1998; Park, 2000).

기존의 실제 주행중 운전자세를 측정할 연구의 경우에도, 주행중 운전자세 측정은 근거리 측정으로 인하여, 운전자세 전체를 기록하는 데 어려움이 있고, 또한 카메라 렌즈에 의한 왜곡 현상이 두드러지게 나타나기 때문에, 지금까지는 운전자세를 단순히 촬영한 후 화면을 보고 운전자세 변화 패턴을 정성적으로 파악하는 수준의 분석이 이루어져왔다. 따라서, 운전자세를 인체 관절의 좌표값이나 관절각도를 통해 지속적으로 평가하기 어려웠다.

이를 요약하면, 기존의 운전자세에 관한 연구는 관절각도에 기초하여 운전자세를 평가하고, 실제 주행보다 실험실 상황에서의 측정 및 분석이 대부분이었다. 이는 초기의 운전자세에만 관심을 둔 연구로서, 시간의 흐름이나 교통량의 변화 등 외부 요인에 따른 운전자세의 변화 및 차종에 따른 운전자세의 변화를 측정하고 분석하는 데 한계가 있었다. 이와 같은 한계점을 극복하고 운전 편의성을 고려한 자동차 설계에 필수적인 자료를 수집하기 위해서 본 연구에서는 실제 주행중의 운전자세를 측정하였다. 본 연구의 목표는 주행중 외부 환경적 변수에 따른 운전자세의 변화를 측정하여, 환경적 변수들이 운전자세에 주는 영향을 정량적으로 분석하는 데 있다. 환경적 변

수로는 운전자의 피로도와 관련된 시간적 요소와 운전자세에 영향을 주는 차종을 선정하였다. 또한 추가적으로 교통의 흐름을 환경 변수로 추가시킴으로써, 교통환경에 따른 운전자세의 변화를 파악하고자 하였다. 특히, 현실의 공간에서 실제 주행중의 운전자세를 측정할 수 있는 주행중 운전자세 측정시스템을 이용하여 보다 현실에 가까운 자료를 수집하고자 하였다.

## 2. 주행중 운전자세 측정 시스템

주행중의 운전자세 측정을 위해 주행중 운전자세 측정 시스템을 우선적으로 개발하였다(Park, 2003). 이 측정 시스템은 근거리의 측정을 위해 차량의 보조석에 CCD 카메라를 부착시키고, 운전자의 인체 기준점에 랜드마크를 부착하여 영상을 촬영한다. 기존의 연구에서도 주행중의 영상을 촬영하는 예는 많이 있었지만, 촬영된 영상에서 인체 기준점의 좌표나, 관절각도를 뽑아내서 운전자세를 분석하는 정량적인 분석은 미비하였다.

주행중 운전자세를 측정하기 위한 장비로는 CCD 카메라, 디지털 캠코더, 영상편집보드, 조명 등이 있다. 운전자세 측정 시스템은 색상의 HIS(Hue, Intensity, Saturation) 값에 기초한 영역 및 좌표 인식을 하기 때문에, 차량의 외부 햇빛에 의한 조도의 변화로 인하여, 같은 색깔의 랜드마크를 사용하더라도, 같은 색상으로 인식하지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 시스템의 한계점을 극복하기 위하여, 적절한 조명 수준을 확보하였으며, 모든 장비의 전원은 차량(cigar jack)에서 공급되고, 주행중의 운전자세 측정은 대단히 짧은 거리(80cm~120cm)에서 이루어지기 때문에 최대 광각의 CCD 카메라를 이용하였다.

CCD를 통해 촬영된 영상은 캠코더에 저장되고, 저장된 영상은 일반적인 영상 편집 보드를 이용해 일반적인 비디오 파일 형태인 Mpeg이나 Mpeg2포맷으로 변형된다. 영상 인식 부분은 비전기술에 기반을 두고 있으며, 이는 측정된 영상 한 프레임 내에서 랜드마크가 가지고 있는 HIS(Hue, Intensity, Saturation)값을 기억, 학습시킨다. BPN(Back Propagation Network)을 통해 진행되는 영상에서 학습되어진 HIS값과 유사한 값을 가진 영역을 영상에서 찾아내고, 이렇게 추적된 영역 중 중심을 계산하여, 각 랜드마크의 좌표값으로 DB에 저장한다.

현재 대부분의 영상 인식 프로세스는 색상을 통한 관심영역이나 객체 추출시 이를 분리하는 방법에서 한계점이 많이 드러나는데, 색상을 HIS의 세 가지 요소의 상호작용으로 표현하면, 즉 갈라 이미지를 이용하여 탐지하면 이를 해결할 수 있었다.

운전자세 측정 시스템은 영상 상에서 인체의 각 부분에 부착되어진 랜드마크의 좌표를 인식하고, 이를 DB에 저장하여 내부적 연산을 통하여 실제 길이 및 크기로 변환시키고, 관절각도를 계산하거나, 각 관절각의 시간대별 값을 저장하여 시

간의 변화에 따른 관절각의 변화를 볼 수 있는 기능들을 가진다. 특히 카메라 렌즈의 왜곡 현상을 보정하는 알고리즘을 개발하여 실제 2차원적 오차가 0.5mm 이내가 되도록 보정하였다.

장이 작은 2명과 큰 2명의 피실험자에 대해서 반복하여 실험을 진행하였다. 또한 피실험자는 3년 이상의 운전경력을 가지고 있는 자로서, 평균 4.7년(3년~10년)이었다. 각 피실험자는 실험계획에서 언급되는 바와 같이 차종과 교통상황에 대해 4가지 조건을 모두 주행실험을 수행하였으며, 하루 걸러 실험하여 총 1주일간 실험에 참여하였다.

### 3. 연구방법

본 연구에서는 외부요인에 따른 운전자세의 변화, 즉 관절각의 변화에 관심을 두어 연구를 수행하였고, 측정된 자료는 기존의 차량 설계에 활용되고 있는 SAE(Society of Automotive Engineers) 운전자세 기준들과 비교하였다.

#### 3.1 피실험자

총 4명의 실험자에 남자 피실험자가 실험에 참여하였다. 연령 분포는 24세부터 31세까지이며 평균 27.5세 였다. 피실험자의 신장분포는 164cm~180cm로서 50th percentile 기준으로 신

#### 3.2 실험계획

운전자세에 변화를 주는 예상요인으로 시간, 교통상황, 차종, 인체치수로 분류하였다. 시간은 3시간을 기준으로 연속하여 주행 전체의 운전자세를 측정하였고, 교통상황의 경우는 서울 시내의 주요 혼잡 구간과 교통의 소통이 원활한 고속도로에서의 주행 2가지의 경우로 나누어 실험을 진행하였다. 혼잡 교통상황의 경우는 평균 주행속도가 40km/h 이하의 정지와 주행이 반복되어지는 상황 하에서의 주행이었고, 원활한 교통상황의 경우는 평균 주행속도가 70km/h 이상으로 정지가 거의

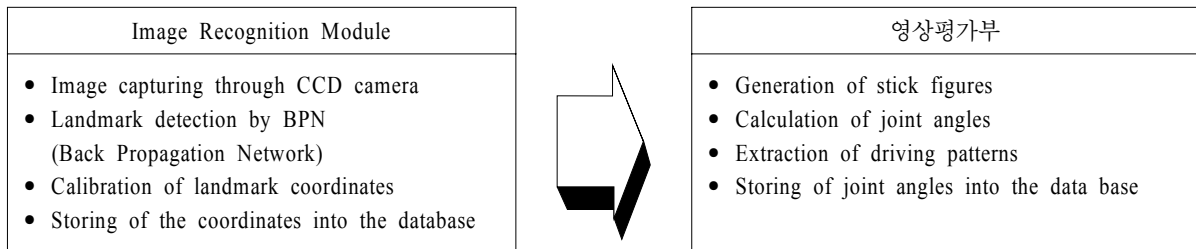


Figure 1. Functions of two main modules of the driver's posture analysis system.

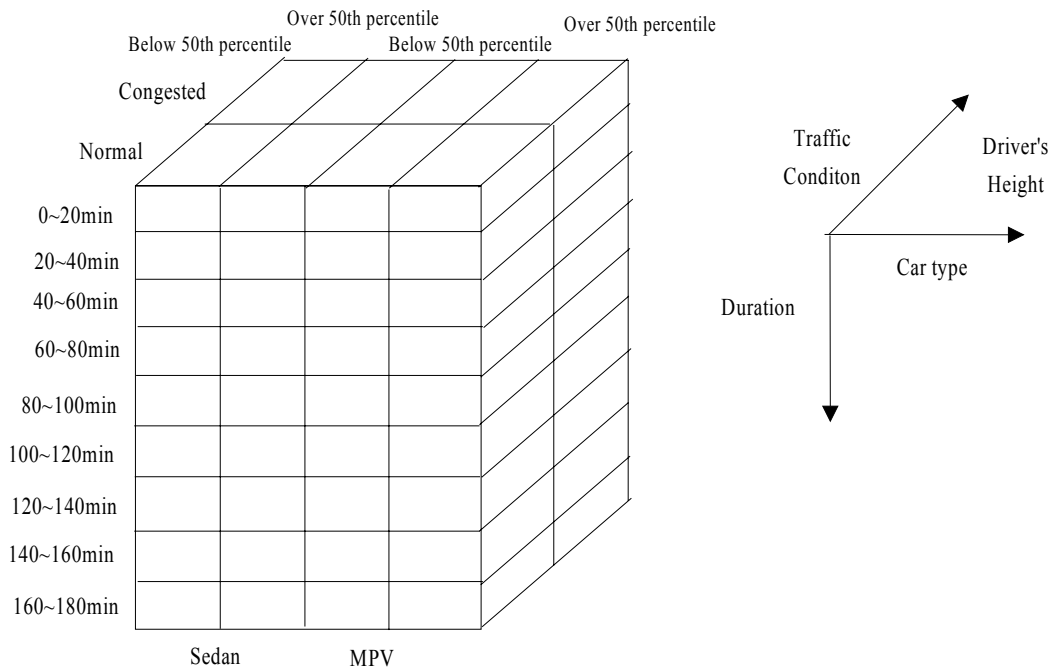


Figure 2. Design of the experiment.

없는 계속된 주행이었다. 차종은 일반적인 Sedan의 형태와 MPV의 형태 2가지에 대하여, 차종별로 같은 차량을 선정 실험하였으며, 인체치수는 앞에서 언급한 바와 같이 50th percentile 기준으로 신장이 작은 2명과 큰 2명에 대하여 주행 중 운전자세를 측정하였다. 전체 실험계획은 Figure 2에 나타난 바와 같다.

Figure 2에서 나타난 각각의 셀은 하나의 실험조건(Treatment Condition)을 이루게 된다. 본 실험은 Mixed Factors Design으로 Subject에 따른 운전자세의 변화 여부를 판단하기 위해 50th Percentile을 기준으로 2명을 한 그룹으로 한 4 Factors Mixed Design을 사용하였다.

피실험자 각각은 피로에 대한 오염요소를 배제하기 위하여, 1일의 휴식을 취하여 실험을 수행하였다. 또한 교통량의 조건을 일정하게 조절하기 위하여, 시내 주행의 경우 지정된 경로(서울의 종로, 청계천로)에 대해서 같은 시간대에 실험하였다. 다음 Figure 3은 실제 랜드마크를 붙이고 주행중의 운전을 수행한 예이다.



Figure 3. A sample image captured during the driving of a sedan.

각각의 주행 환경에 대하여 저장된 인체 기준점의 좌표값을 이용, 운전자세에서의 관절각도를 계산하였다. Figure 3에는

각 관절각도를 예시적으로 표현하였고, 각 관심 관절각도의 정의는 Table 1과 같다.

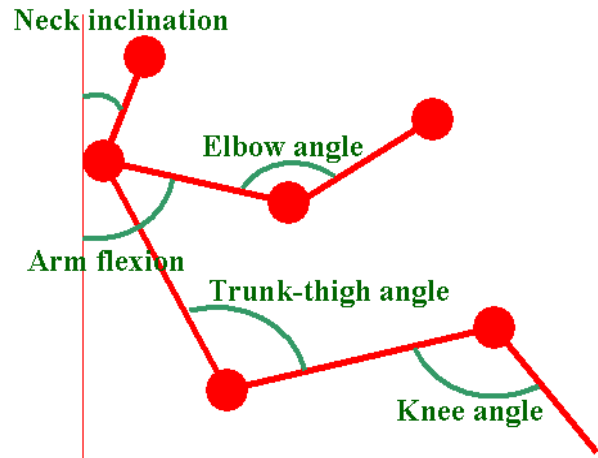


Figure 4. Graphical representation of joint angles measured.

#### 4. 실험결과 및 분석

Table 2는 주행조건의 변화가 관절각도에 미치는 영향을 기초적으로 분석하기 위하여 차종과 교통상황을 조합한 4가지 경우에 대해 기초통계량을 구한 것이다.

Table 2를 살펴보면 거의 모든 경우에 있어서, MPV차량으로 주행하였을 때가 Sedan 차량으로 주행하였을 때보다 표준오차가 작은 것으로 나타났다. 이는 보다 Upright Packaging 요소가 가미된 MPV 차량에서 운전자의 자세변화가 Sedan에 비해 적은 것을 의미한다. 또한, 교통상황별로는 혼잡한 경우에 운전자세의 변화가 원활한 교통상황에 비해 운전자세의 변화가 큰 것으로 나타났다. 각 관절각도별로는 팔꿈치각도의 변화가 가장 크고, 무릎각도나 엉덩이각도의 변화가 가장 작은 것으로 나타났으며, 무릎각도의 경우에 있어서 차종 간 차

Table 1. The definition of joint angles

Joint angle	Definition
Neck Inclination	The angle between the vertical and a line from the 7th cervical vertebrae to the auditory canal
Arm Flexion	The angle between the vertical and a line from the acromium to the lateral epicondyle
Elbow angle	The angle between a line from the acromium to the lateral epicondyle and a line from the ulnar styloid to the lateral epicondyle
Trunk thigh angle	The angle between a line from the acromium to the greater trochanter and a line from the lateral condyle to the greater trochanter
Knee angle	The angle between a line from the greater trochanter to the lateral condyle and a line from the lateral malleolus and the lateral condyle

이가 가장 두드러지게 나타났다.

본 연구에서는 ANOVA, Regression, Paired T test 등의 방법을 이용하여 보다 세부적인 주행조건이 운전자세에 미치는 영향을 규명하였다. 특히, 주행중의 운전자의 관절각도의 변화는 독립적으로 이루어지는 것이 아니라, 서로 유기적으로 움직이기 때문에 각 관절각도 간의 연관성을 파악하기 위해 각 관절각도별 상관계수를 상관분석을 통해 산출하였고, Table 3은 원활한 교통상황에서 Sedan 차량으로 주행했을 때의 각 관절각도별 상관관계수 표이다.

Table 3을 살펴보면 다른 관절각도와는 달리 엉덩이각도는 다른 관절각도와 음의 상관관계로 나타났다. 즉, 운전자세에서 다른 관절의 관절각도가 줄어들면 반대로 엉덩이각도 값이 늘어난다는 것이며, 이는 운전자가 보다 Upright한 자세를 취할 때 무릎이 펴지게 됨을 나타낸다. 그러나, 상관관계는 그리 깊지 않으며 4.1.4의 Table 7에서 보이는 바와 같이 관절각도는 주행시간, 교통상황 등의 변수에 큰 영향을 받지 않아 일정한 각도를 유지함을 알 수 있다.

#### 4.1 관절각도별 분석

주행중 운전자세 측정 시스템을 이용하여 얻어진 각 인체기준점의 2차원 좌표값들을 통하여 본 연구에서 관심이 되는 5개의 관절각도를 추출하여, 각각의 변수에 따른 4Way ANOVA를 실행하였으며, 유의 수준을 0.05 및 0.1로 하여 검증을 실시하였다.

##### 4.1.1 목각도

Table 4와 같이 피실험자의 인체치수(신장) 변수를 제외한 모든 변수가 운전자세의 변화에 영향을 주는 것으로 나타났다. 특히 주행시간 변수의 경우 다른 주행조건 변수들에 비하여 P값이 상당히 작게 나타났으며, 변수들 중에서도 주행시간의 변화가 목각도의 각도값 변화에 상당한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 신장과 차종 간, 차종과 주행시간 간, 교통상황과 주행시간의 교호작용이 운전자세에 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

**Table 2.** Basic statistical data for the joint angles measured under prescribed driving conditions

		Congested				
		Neck inclination	Arm flexion	Elbow angle	Trunk-thigh angle	Knee angle
Sedan	Mean	44.275	48.95	132	111.05	122.23
	STD.	5.584	2.037	7.689	5.505	5.526
MPV	Mean	45.4	51.325	130	110.3	108.95
	STD.	3.713	1.745	5.305	1.490	1.377
		Normal				
Sedan	Mean	36.3	42.775	125	116.4	120.05
	STD.	3.858	1.776	5.386	5.068	8.403
MPV	Mean	43.5	49	123.05	110.18	108.45
	STD.	3.297	1.132	3.679	1.567	1.319

**Table 3.** Correlation coefficients of joint angles

	Neck inclination	Arm flexion	Elbow angle	Trunk-thigh angle	Knee angle
Neck inclination	1.000	0.712	0.699	0.268	0.171
Arm flexion	0.712	1.000	0.780	0.301	0.460
Elbow angle	0.699	0.780	1.000	0.352	0.422
Trunk thigh angle	0.268	0.301	0.352	1.000	0.725
Knee angle	0.171	0.460	0.422	0.725	1.000

## 4.1.2 어깨각도

Table 5를 보면 목의 기울기(목각도)와 마찬가지로 피실험자의 인체치수는 어깨각도 값 변화에 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 다른 주행조건 변수들을 살펴보면, 차종의 영향에 의한 관절각도의 차이가 상당히 큰 것으로 나타났고, 교

통상황에 따른 관절각도의 변화도 발생함을 파악할 수 있었다. 또한, 여러 변수들 중에서도 주행시간의 변화가 상당히 중요한 변수임을 파악할 수 있었다. 교호작용의 측면에서도, 주요인 간의 모든 일차 교호작용이 유의하여 운전자세에 영향을 주는 것으로 나타났다.

Table 4. Results of Analysis of variance on neck inclination

Source	DF	SS	MS	F Value	Pr>F
A (Height)	1	1.225	1.225	0.75	0.4768
B (Car type)	1	739.600	739.600	2958.40	0.0003**
A * B	1	4.900	4.900	19.60	0.0474**
C (Traffic condition)	1	722.500	722.500	222.31	0.0045**
A * C	1	0.400	0.400	0.12	0.7592
D (Duration)	9	50.475	5.608	10.09	<.0001**
A * D	9	31.525	3.503	6.30	0.0005**
B * C	1	148.225	148.225	456.08	0.0022**
A * B * C	1	1.225	1.225	3.77	0.1917
B * D	9	61.900	6.878	6.60	0.0004**
A * B * D	9	16.850	1.872	1.80	0.1385
C * D	9	93.250	10.361	12.64	<.0001**
A * C * D	9	19.100	2.122	2.59	0.0410**
B * C * D	9	65.525	7.281	7.45	0.0002**

\*\* :  $\alpha = 0.05$ , \* :  $\alpha = 0.1$

Table 5. Results of Analysis of variance on arm flexion

Source	DF	SS	MS	F Value	Pr>F
A (Height)	1	29.756	29.756	0.36	0.6107
B (Car type)	1	693.056	693.056	66.60	0.0147**
A * B	1	158.006	158.006	15.18	0.0600*
C (Traffic condition)	1	975.156	975.156	47.55	0.0204**
A * C	1	58.806	58.806	2.87	0.2325
D (Duration)	9	877.431	97.492	24.61	<.0001**
A * D	9	14.931	1.65	0.42	0.9082
B * C	1	369.056	369.056	12.31	0.0725*
A * B * C	1	8.556	8.556	0.29	0.6466
B * D	9	169.381	18.820	3.37	0.0136
A * B * D	9	97.931	10.881	1.95	0.1093
C * D	9	297.031	33.003	10.83	<.0001**
A * C * D	9	96.881	10.764	3.53	0.0109**
B * C * D	9	321.381	35.709	8.88	<.0001**

\*\* :  $\alpha = 0.05$ , \* :  $\alpha = 0.1$

4.1.3 팔꿈치각도

Table 6에서 알 수 있듯이 이전의 관절각들과 동일하게 피실험자의 인체치수는 팔꿈치각도의 변화에 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 그러나 이전의 관절각도와는 달리 차종의

변화가 팔꿈치각도에 영향을 미치는 것은 하지만 그 강도가 이전의 관절각도에서 보다는 상당히 적은 것으로 분석되었다. 또 다른 주행조건 변수인 주행시간과 교통상황의 경우는 팔꿈치각도의 변화에 상당한 영향을 미치는 것으로 드러났다 또

**Table 6.** Results of Analysis of variance on elbow angle

Source	DF	SS	MS	F Value	Pr>F
A (Height)	1	27.225	27.225	4.89	0.1574
B (Car type)	1	156.025	156.025	12.08	0.0737*
A * B	1	435.600	435.600	33.73	0.0284**
C (Traffic condition)	1	1946.025	1946.025	17298.0	<.0001**
A * C	1	44.100	44.100	392.00	0.0025**
D (Duration)	9	1921.600	213.511	35.63	<.0001**
A * D	9	106.275	11.808	1.97	0.1055
B * C	1	4.900	4.900	0.333	0.6260
A * B * C	1	60.025	60.025	3.99	0.1840
B * D	9	690.475	76.719	6.85	0.0003**
A * B * D	9	157.900	17.544	1.57	0.1997
C * D	9	405.225	45.025	7.09	0.0002**
A * C * D	9	242.650	26.961	4.25	0.0044**
B * C * D	9	142.350	15.817	1.52	0.2162

\*\* :  $\alpha = 0.05$ , \* :  $\alpha = 0.1$

**Table 7.** Results of Analysis of variance on trunk-thigh angle

Source	DF	SS	MS	F Value	Pr>F
A (Height)	1	589.056	589.056	3.13	0.2190
B (Car type)	1	486.506	486.506	4.82	0.1594
A * B	1	262.656	262.656	2.60	0.2482
C (Traffic conditon)	1	273.006	273.006	7.11	0.1166
A * C	1	10.506	10.506	0.27	0.6531
D (Duration)	9	79.381	8.820	1.28	0.3104
A * D	9	51.881	5.765	0.84	0.5910
B * C	1	299.756	299.756	14.22	0.0637*
A * B * C	1	0.006	0.006	0.00	0.9878
B * D	9	104.431	11.603	2.58	0.0413**
A * B * D	9	82.281	9.142	2.04	0.0952*
C * D	9	43.431	4.826	0.81	0.6155
A * C * D	9	21.431	2.381	0.40	0.9198
B * C * D	9	51.181	5.687	1.09	0.4147

\*\* :  $\alpha = 0.05$ , \* :  $\alpha = 0.1$

한 차종과 신장 사이의 교호작용, 신장과 교통상황 간의 교호작용 등에서는 팔꿈치각도 간의 유의한 차이가 나타났다

4.1.4 엉덩이각도

Table 7은 같이 피실험자, 차종, 교통상황 주행시간 등의 주행조건 모두가 엉덩이각도값의 변화에 끼치는 영향이 유의하지 않음을 나타내고 있다. 즉, 엉덩이각도는 지금까지 살펴본 관절각도와 달리 주행조건에 의한 변화가 거의 없는 것으로 분석되었다. 단지 교통상황과 차종 간, 차종과 주행시간 간의 교호작용이 운전자세에 약간의 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

4.1.5 무릎각도

Table 8과 같이 무릎각도의 경우 피실험자, 교통상황, 차종이 관절각도 값에 대해 유의한 영향을 주는 것이 관찰되었고, 그 중에서도 차종에 차이에 의한 영향이 큰 것으로 분석되었다. 주행시간의 관점에서는 엉덩이 각도와 마찬가지로 운전자세에 끼치는 영향이 유의하지 않음으로 나타났다. 교호작용의 측면에서는 신장과 교통상황 사이의 교호작용과 신장과 주행시간 사이의 교호작용이 무릎각도의 변화에 유의한 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

4.2 주행시간에 대한 분석

주행시간에 따른 운전자세의 변화를 보다 세부적으로 살펴

보기 위하여 각 관절각도별 회귀식을 만들었고, 전체적으로 인체치수(신장)는 차종과 교통상황에 비하여 관절각도에 미치는 영향이 적기 때문에, 차종과 교통상황을 중심으로 하여, 조합 가능한 4가지 경우에 대하여 Plotting을 하여, 시간에 따른 관절각도 변화 경향을 살펴보았다.

4.2.1 회귀 분석

통계 분석은 SAS를 이용하였으며, 패키지의 Best subset의 기능을 이용하여 관절각도별로 모델을 설명하기에 알맞은 변수를 선정하여, 관절각도에 대한 회귀식을 도출하였다.

$$\begin{aligned} \text{목각도}(\text{°}) = & 47.63807 + 3.14167*B - 9.15833*C - 0.74735*D \\ & - 4.03333*A*B + 2.36667*A*C + 6.07500*C*D \\ (r^2 : 0.63) \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \text{어깨각도}(\text{°}) = & 49.11364 + 1.64545*B - 5.02273*C - \\ & 0.03636*D + 3.85000*B*C + 0.16212*B*D - \\ & 0.25606*C*D (r^2 : 0.80) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \text{팔꿈치각도}(\text{°}) = & 136.96818 + 5.17500*A - 2.83409*B - \\ & 5.92500*C - 1.64015*D - 6.60000*A*B - \\ & 2.10000*A*C + 0.92424*B*D (r^2 : 0.66) \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \text{엉덩이각도}(\text{°}) = & 106.32273 + 6.40000*A + 3.10455*B \\ & + 5.35000*C + 0.33939*D - 5.12500*A*B \end{aligned}$$

Table 8. Results of Analysis of variance on knee angle

Source	DF	SS	MS	F Value	Pr>F
A (Height)	1	1422.056	1422.056	10.09	0.0864*
B (Car type)	1	6187.656	6187.656	42.63	0.0227**
A * B	1	1086.806	1086.806	7.49	0.1116
C (Traffic condition)	1	71.556	71.556	12.65	0.0708*
A * C	1	88.506	88.506	15.65	0.0584*
D (Duration)	9	25.631	2.848	0.86	0.5751
A * D	9	152.631	16.959	5.12	0.0016**
B * C	1	28.056	28.056	0.75	0.4766
A * B * C	1	166.056	166.056	4.47	0.1689
B * D	9	15.031	1.670	0.55	0.8223
A * B * D	9	91.881	10.209	3.34	0.0142**
C * D	9	31.631	3.514	1.13	0.3930
A * C * D	9	18.681	2.076	0.67	0.7283
B * C * D	9	35.131	3.903	0.80	0.6228

\*\* : α = 0.05, \* : α = 0.1



$$-5.47500*B*C - 0.28712*B*D (r^2 : 0.57) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{무릎각도}(\text{°}) = & 119.02102 + 7.05227*A - 8.06250*B - \\ & 3.66250*C - 0.36439*D - 10.42500*A*B + \\ & 2.97500*A*C + 0.58561*A*D + 1.67500*B*C \\ & (r^2 : 0.87) \quad (5) \end{aligned}$$

회귀식들을 살펴보면 엉덩이각도를 제외한 모든 관절각도에서 주행시간 앞의 계수가 모두 음의 값으로 나오는 것을 볼 수 있는데, 이는 시간이 지남에 따라 정도의 차이는 있지만 엉덩이각도를 제외한 4개의 관절각도가 시간이 지남에 따라 줄어드는 것을 의미한다. 그 중 팔꿈치각도가 시간이 지남에 따라 줄어드는 정도가 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 차종

변수의 계수들에서 팔꿈치각도와 무릎각도가 MPV 차량에서 작게 나타나고, 교통상황의 측면에서는 주행시간 변수와 마찬가지로 엉덩이각도를 제외한 모든 관절각도에서 음의 계수가 추정됨에 따라, 교통상황이 원활한 경우의 관절각도가 혼잡한 경우보다 작음을 확인할 수 있었다.

#### 4.2.2 주행시간에 대한 운전자세 분석

시간에 대한 운전자세의 변화 경향을 파악하기 위해 앞에서 설명한 바와 같이 인체치수(신장)를 제외한 차종과 교통상황 변수를 중심으로 하여, 조합 가능한 4가지 경우에 대하여 Plotting을 하여, 시간에 따른 관절각도 변화 경향을 살펴보았다.

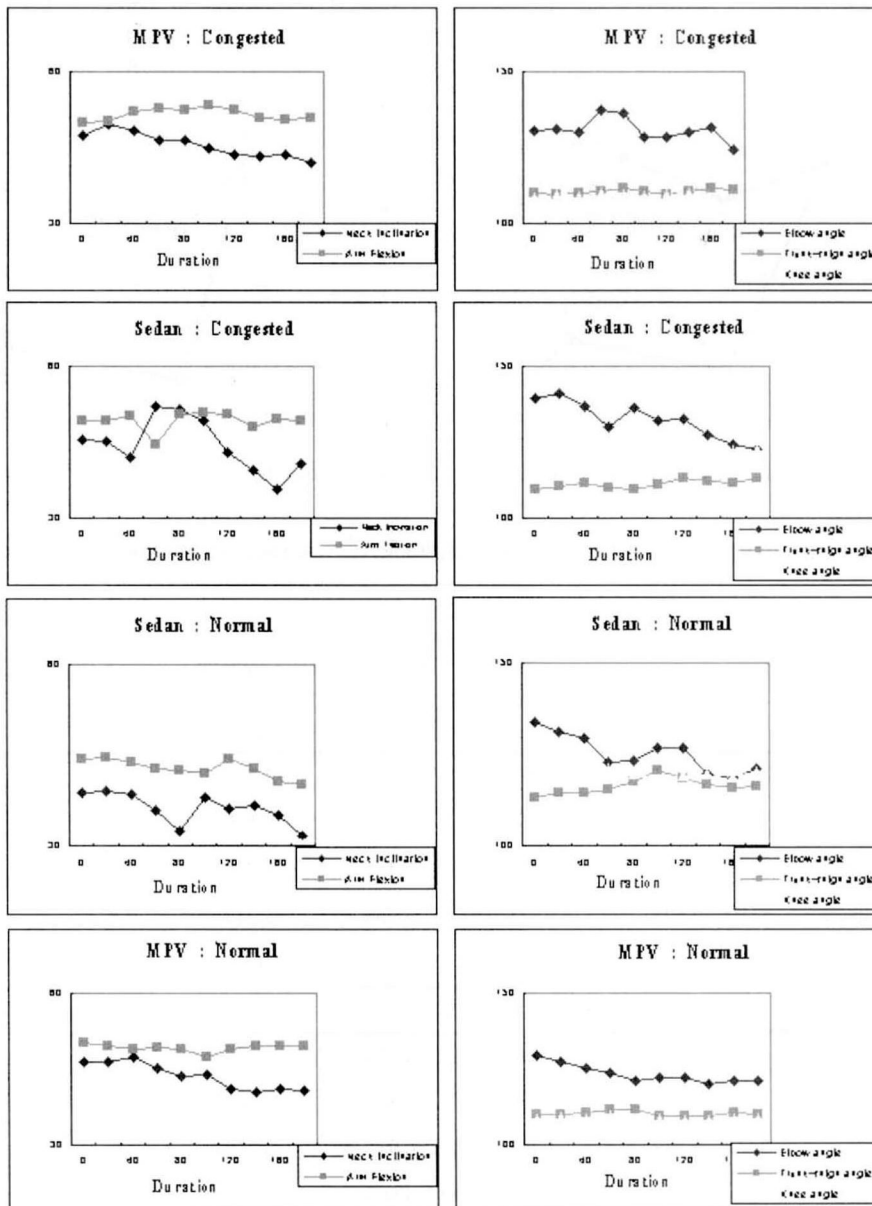


Figure 5. Changes in joint angles during driving.

Figure 5에서처럼 4가지 경우에 따라 관절각도의 변화하는 형태에는 차이가 있다. 공통적으로는 팔꿈치각도가 시간이 지남에 따라 작아지는 것을 확인할 수 있었고, 팔꿈치각도는 어깨각도와 상당히 유사한 형태를 보이며 변화하는 것이 나타났다. 주행시간의 관점에서는 대략 주행시간이 40분이 경과한 후에 변화가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 경우에 따라 차이는 있지만, 교통상황이 혼잡하고 차종이 Sedan 일수록 변화의 정도는 더 크게 발생하였다.

### 4.3 차종간 분석

Figure 6은 주행중 운전자세 측정 시스템을 이용하여 운전 자세의 형태를 대략적으로 도시한stick figure이다. Figure 6에서 알 수 있듯이 정성적인 분석에 있어서도 차종 간 관절각도

의 차이는 크게 나타났다.

본 연구에서는 차종의 변화에 따른 운전자세에 변화를 보다 정량적으로 분석하기 위하여, Table 9에서 보는 바와 같이 차종에 관하여 교통상황별로 Paired T test를 수행하였다.

교통상황이 혼잡한 경우 대응표본 검정의P value들은 목각도와 엉덩이각도를 제외하고 0.1이하로 나타나 어깨각도, 팔꿈치각도, 무릎각도 관절각도 값은 차종에 따라 상이하게 나타났다. 대응차의 평균 부분을 살펴보면, 무릎각도에서 가장 큰 차종 간 차이가 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 Upright Packaging이 중시된 MPV 차량은 Sedan 차량보다 Seat의 위치가 높게 설계되었기 때문으로 분석된다.

교통상황이 원활한 경우 모든 관절각도에 대해서P value가 0보다 작게 나타남에 따라 모든 관절각도에 있어 차종 간 확연한 차이가 있음을 확인하였다. 교통상황이 원활한 경우에도

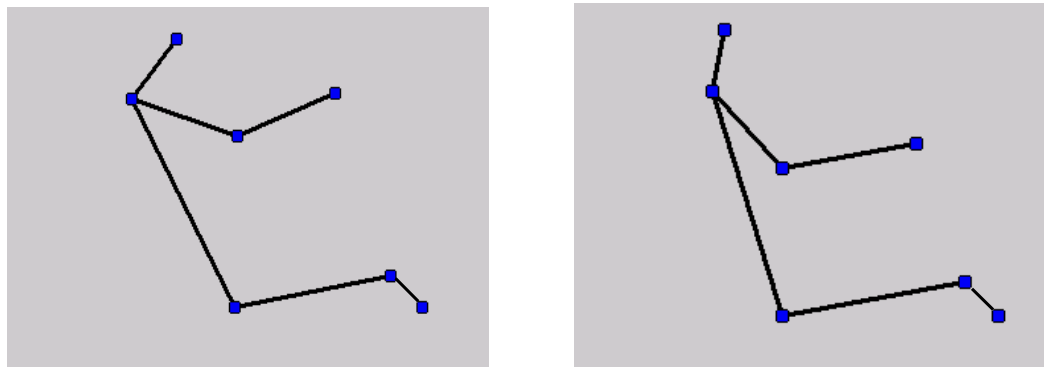


Figure 6. Stick figure representation of driver’s postures while driving a sedan(left) and a MPV(right).

Table 9. Results of a paired T-test on the differences in joint angles for car type under a specific traffic condition

Traffic condition : Congested	Difference				t	df	P-value
	Mean	STD	95% confidence interval				
			Lower	Upper			
Neck inclination	0.325	5.815	2.185	1.535	0.353	39	0.726
Arm flexion	2.400	2.762	3.284	1.517	5.495	39	0.000*
Elbow angle	2.950	8.756	0.150	5.750	2.131	39	0.039*
Trunk-thigh angle	0.675	5.121	0.963	2.313	0.834	39	0.410
Knee angle	13.150	5.290	11.458	14.842	15.724	39	0.000*
Traffic condition : normal							
Neck inclination	7.200	4.177	8.536	5.864	10.902	39	0.000
Arm Flexion	6.225	1.993	6.863	5.588	19.750	39	0.000
Elbow angle	2.325	4.423	0.911	3.739	3.325	39	0.002
Trunk-thigh angle	6.225	4.774	4.698	7.752	8.246	39	0.000
Knee angle	11.600	8.424	8.906	14.294	8.709	39	0.000

무릎각도에 있어 가장 큰 차이가 관찰되었으며, 팔꿈치각도의 차이가 가장 작았다.

4.4 교통상황에 따른 분석

교통상황 변수에 대해서도 차종 변수와 같이 동일하게 Paired T test를 수행하였다(Table 10).

Sedan 차량에서 교통상황에 따른 대응표본 검정의 P value 들이 모두 0.1이하로 모든 관절각도 값은 교통상황에 따라 차이가 있음으로 분석되었다. 대응차의 평균 부분을 살펴보면 엉덩이각도를 제외한 모든 관절에서 관절각도가 혼잡한 경우가 원활한 경우에 비해 큰 것으로 나타났다.

MPV 차량의 주행중에는 교통상황에 따라 엉덩이각도와 무릎각도에 있어서 차이가 발생하지 않았는데, 이는 주행중에 교통상황에 상관없이 Trunk thigh Angle과 무릎각도는 고정적인 것을 의미한다. 또한, Sedan 차량과 비교해 볼 때 전체적으로 MPV차량의 경우가 Sedan차량에 비해 교통상황에 영향을 적게 받음을 확인할 수 있었다.

5. 논의 및 결론

주행조건에 따른 관절각도의 변화를 종합적으로 살펴보면, 엉덩이각도를 제외한 대부분의 관절각도에서, 본 연구에서 운전 자세에 영향을 줄 것으로 가정한 교통상황, 주행시간, 차종에 의한 영향을 받는 것으로 나타났다. 피실험자의 신장의 경우

무릎각도의 각도 값에는 유의한 영향을 미치지 않지만, 무릎각도를 제외한 관절각도에서는 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 또한 다른 관절각도와는 달리 엉덩이각도는 주행조건에 영향을 받지 않는 것으로 분석되었다. 이는 Seat와 안전벨트에 의해 변화에 제한을 받기 때문으로 해석된다. 교호작용의 측면에서는 대부분의 관절각도에서 차종과 교통상황 혹은 차종과 주행시간 사이의 교호작용에 운전자세의 변화에 영향을 주는 것으로 나타났다. 무릎각도에서는 주행시간이 단독적으로 관절각도 변화에 영향을 주지 않았지만, 신장과 주행시간의 교호작용이 영향이 큰 것으로 관찰됨에 따라서, 신장의 percentile 분류가 주행시간과 관련하여 운전자세 변화에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 차종 간의 관절각도에 대한 분석에서는 MPV 차량의 경우가 Sedan 차량의 경우에서보다 운전자세의 변화가 적음을 관찰할 수 있었고, 교통상황에 대한 분석에서는 교통상황이 혼잡한 경우가 원활한 경우보다 팔꿈치각도에서 변화가 두드러지는 점과 MPV 차량이 교통상황에 대한 영향을 Sedan 차량에 비해 적게 받음을 관찰하였다.

Table 11에서는 주행중 운전자세 측정 시스템으로 통해 얻어진 데이터를 기존의 차량설계에 활용되고 있는 SAE 운전자세 기준들과 비교하였다.

Table 11에서 보는 바와 같이 실제의 차량 설계에 기준이 되는 운전자세들과 주행조건을 고려하여 실제 측정된 데이터와는 상이한 점이 발견되고 있다. 또한 기존의 운전자세에 대한 연구들은 Sedan 차량을 중심으로 이루어진 것으로 MPV 차량에 이를 도입하여, 설계하는 데 한계가 따른다.

따라서, 보다 실제에 가까운 자료를 수집하고, 이를 실제 설

Table 10. Results of a paired T-test on the differences in joint angles for traffic condition under a specific car type

Sedan(Congested-Normal)	Difference				t	df	P-value
	Mean	STD	95% confidence interval				
			Lower	Upper			
Neck inclination	7.975	6.886	5.773	10.177	7.325	39	0.000
Arm flexion	6.175	2.707	5.310	7.041	14.427	39	0.000
Elbow angle	6.625	5.723	4.795	8.455	7.321	39	0.000
Trunk-thigh angle	5.350	4.549	6.805	3.895	7.438	39	0.000
Knee angle	2.175	5.247	0.497	3.853	2.622	39	0.012
<b>MPV(Congested-Normal)</b>							
Neck inclination	1.900	2.550	1.085	2.716	4.712	39	0.000
Arm Flexion	2.325	2.390	1.561	3.089	6.153	39	0.000
Elbow angle	7.325	6.154	5.357	9.293	7.529	39	0.000
Trunk-thigh angle	0.125	1.990	0.511	0.761	0.397	39	0.693
Knee angle	0.500	1.881	0.102	1.102	1.681	39	0.101

**Table 11.** Comparison of measured and recommended driver's postures

	Knee			Hip			Shoulder			Elbow		
	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
SAE850484	105	120	132	96	100	110	6	25	31	80	100	132
SAE865108	99	115	131	89	95	101	22	27	32	84	104	124
SAE9301130	95		135	95		120	0		50	80		170
Measured data (Sedan, Congested)	108		135	100		122				115		145
Measured data (Sedan, Normal)	103		134	108		124				118		134
Measured data (MPV, Congested)	107		111	107		113				118		138
Measured data (MPV, Normal)	106		111	108		114				119		130

계에 반영하기 위해서는 주행중 측정 시스템의 이용이 중요시 된다. 추후 연구에서는 주행중 운전자세 측정 시스템을 이용하여 보다 많은 운전자에 대해서 실험이 이루어져 보다 보편화된 자료를 수집하는데 노력할 것이며, 주행조건의 상황을 보다 야간, 주간 등 다양한 요인과 수준으로 변화해가며 운전 자세를 측정, 분석하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 이를 위해 주행중 운전자세 측정 시스템의 개발 보완 또한 이루어져야 할 것으로 생각된다.

주행중 운전자세 측정 시스템으로부터 얻어진 데이터들은 운전자세에 영향을 주는 요인들에 의한 운전자세의 변화를 정량적으로 평가를 가능하게 하였고, 실제의 데이터들은 패키징 설계안에 따른 운전자세 차이의 적합성을 평가하는 데 효과적으로 사용될 수 있다. 따라서 실제의 데이터를 사용하여 보다 인간의 운전 편의성을 고려한 차량설계, 특히 패키징에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

Hwang, I. (2003), Trends in the market share of RV-type cars,

*Maeil Kyungjae*, 2003-05-27.

- J. Mark Porter and Diane E. Gyi, (1998), Exploring the optimum posture for driver comfort, *Int. J. Vehicle Design*, **19**(3).
- Judic, J.M., Cooper, J.A., Truchot, P., Effenterre, P.V., and Duchamp, R. (1993), More objectives tools for the integration of postural comfort in automotive seat design, *SAE paper 930113*.
- Rebiffé, R. (1969), The driving seat: Its adaption to functional and anthropometric requirements, *Proceedings of a Symposium on Sitting Posture*, 132~147.
- Park, S., Kim, C. and Kim, C. (2002), Comfortable driving posture for Koreans, *International Journal of Industrial Ergonomics* **26**, 489~497.
- Park, S., and Choi, J. (2002), Estimation of optimal driver's posture and development of measuring system during driving, *Technical Report*. Hyundai Motors Co.
- Park, S. and Kim, H. (2002), Development of a Postural Evaluation for Effective Use of an Ergonomic Human Model, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **28**, 216~222
- Trebbi, G. (1986) A probabilistic method for assessing the longitudinal habitability of a car, *SAE paper 865108*.
- Weichenrider, A., Haldenwagener, H. (1985), The Best Function for the seat of a Passenger Car, *SAE paper 850484*.