

## Title

### A Classification of Sitting Strategies based on Driving Posture Analysis

#### ABSTRACT

**Background:** A sitting strategy which statistically represents comfortable driving posture can be used as a reference posture of a humanoid in virtual design and evaluation of a driver's seat. Although previous research has classified sitting strategies for driving postures in various occupant package layout (OPL) types, the existing classification methods are not objective and factors affecting sitting strategies have not been identified.

**Objective:** The present study is intended to objectively classify upper- & lower-body sitting strategies and identify the effects of gender and OPL type on the sitting strategies.

**Method:** Forty drivers' preferred driving postures in three different OPL types (coupe, sedan, and SUV) were measured by a motion capture system. Next, the measured driving postures were classified by K-mean cluster method.

**Results:** Sitting strategies of upper-body were classified as erect (33%), slouched (41%), and reclined (26%) postures, and those of lower-body were classified as knee bent (42%), knee extended (32%), and upper-leg lifted (26%) postures. Significant differences at  $\alpha = 0.05$  in the upper-body sitting strategy by gender and lower-body sitting strategy by OPL type were found.

**Application:** Both the classified sitting strategies and identified factors would be of use in ergonomic seat design and evaluation.

#### Keywords

Sitting strategy, Driving posture, Occupant package layout, Motion capture system

## 1 Introduction

차량 운전석의 인간공학적 설계를 위해 운전자세에 대한 다양한 연구들이 수행되고 있다. 운전자세는 운전자의 주행 능력 및 착좌 안락감에 직접적인 영향을 미치는 인자로서 운전석 설계 시 중요하게 고려되고 있다. 예를 들어, 운전자세는 운전석의 시계성, 도달성, 그리고 여유공간 설계를 위한 기반자료로 활용되고 있으며(Andreoni et al., 2002), 허리 통증을 예방하기 위한 운전석 설계에도 활용되고 있다(Grieco, 1986). 또한, 안락한 운전석 공간을 설계하고자 Park et al. (2000)은 운전자세와 seat configuration 간의 상관관계를 분석하였으며, Kyung and Nussbaum (2009)은 안락한 운전자세에 대한 관절별(neck, shoulder, elbow, wrist, torso, hip, knee, ankle) 각도 범위를 파악하였다. 한편, 인체모델(digital human model, DHM)을 이용한 가상환경 기반의 운전석 설계 및 평가 연구가 활발해지면서 Park et al. (2010)은 RAMSIS 인체모델로 추정된 운전자세의 적합성을 평가하였으며, Reed et al. (2002)은 인체모델의 운전자세를 정확하게 추정하기 위한 통계 모형을 개발하였다.

인간공학적 운전석 설계/평가를 위해 사람들이 선호하는 운전자세의 유형(좌좌전략)을 파악하기 위한 연구들이 수행되고 있다. *Andreaoni et al. (2002)*은 성인 남성 8명을 대상으로 선호되는 좌면과 등받이의 체압 분포를 시각적으로 분석하여 좌좌전략을 파악하였다(상체: lumbar, dorsal, dorsal scapular 전략; 하체: ischiatic, intermediate, trochanteric 전략). *Choi et al. (2013)*은 성인 남녀 40명을 대상으로 다양한 occupant package layout (OPL) 조건(coupe, sedan, SUV)에서 하체 및 상체 부위별 체압 비율(body pressure ratio, BPR)을 정량적으로 분석하여 하체(hip concentrated, hip and mid-thigh concentrated, hip and mid-thigh distributed 전략)와 상체(mid-back and scapular, mid-back and lumbar, lumbar 전략)에서 좌좌전략을 파악하였다. *박성준(2006)*은 한국인 남성 126명을 대상으로 선호 운전자세에서의 관절 각도를 측정된 후 측정된 각도들을 군집분석하여 DHM에 사용될 수 있는 대표운전자세들을 파악하였다.

기존 연구에서는 좌좌전략에 대한 분류 방법이 정성적이거나 관련 인자(예: 성별, 차종) 분석이 미흡한 실정이다. *Andreaoni et al. (2002)*은 체압 분포를 시각적으로 분석했기 때문에 분류된 좌좌전략의 신뢰성이 낮은 한계가 있다. *박성준(2006)*은 군집분석을 통해 대표운전자세를 객관적으로 파악하였으나, 실험참여자가 모두 남성이었다는 점과 운전자세에 영향을 미치는 인자들(예: seat height)에 대한 분석은 수행하지 않았다.

본 연구는 운전자세 기반의 좌좌전략을 객관적으로 분류하고 관련 인자들을 파악하였다. 본 연구는 다양한 인체크기를 가진 40명의 운전자들을 대상으로 3가지 OPL 조건(coupe, sedan, and SUV)에서의 운전자세를 motion capture system으로 측정하였다. 측정된 실험 참여자들의 운전자세는 RAMSIS humanoids를 통해 재현되어 관절 각도로 추출되었다. 마지막으로 추출된 관절 각도는 군집분석을 통해 통계적으로 분류되었으며, 분류된 좌좌전략에 대해 운전자 성별 및 OPL 조건에 따른 영향이 분석되었다.

## 2 Methods

### 2.1 Participants

본 실험에는 운전경력 2년 이상인 20~50대 남녀 40명(남: 20명; 여: 20명)이 참여하였다. 실험 참여자들은 Size Korea (2010) 남녀 신장을 3개(< 33<sup>rd</sup> %ile, 33<sup>rd</sup> ~ 66<sup>th</sup> %ile, > 66<sup>th</sup> %ile) 영역으로 나누어 다양한 키의 사람들이 참여할 수 있도록 모집되었다. 실험 참여자들의 키는 남성의 경우 평균 173 cm 이며(SD = 6.2, 범위 = 157 ~ 181 cm), 여성은 평균 161 cm (SD = 5.8, 범위 = 150 ~ 170 cm)로 조사되었다.

### 2.2 Measurement of driving Postures using motion capture system

실험에서는 Figure 1과 같이 reconfigurable seating buck과 motion capture system이 활용되었다. Seating buck은 다양한 OPL 조건(예: seat height = 176 mm for coupe, 240 mm for sedan, 305 mm for SUV)이 구현될 수 있도록 브레이크 페달, 가속 페달, 운전대, 운전석의 위치 및 각도가 조절 가능하도록 설계되었으며, 주행 시물레이션 프로그램과 연동되어 모의 주행을 가능하도록 개발되었다. Seating buck에는 Equus seat (Hyundai-Kia Motors, Korea)가 장착되었는데, Equus seat는 운전석의 위치, 쿠션 길이 및 쿠션 각도, 등받이 각도, 그리고 머리받침 위치가 조정될 수 있다. Motion capture system은 Hawk-I (Motion Analysis Co., USA; sampling rate = 60 Hz) 카메라 6대로 구성되었으며, 측정이 용이하도록 seating buck 주위에 배치되었다.

실험은 3단계 절차(실험 준비, 운전자세 측정, debriefing)로 수행되었다. 실험 준비 단계에서는 실험의 목적과 방법을 실험 참여자에게 설명한 후 실험 참여 동의서를 받았다. 그리고 RAMSIS의 인체측정 지침서(Speyer, 2005)에 따라 실험 참여자의 21개 신체부위의 크기를 Martin식 인체계측장비로 측정하였다. 본 연구는 인체측정 오류를 최소화하기 위해 동일 인체변수에 대해 2회 반복 측정하였으며, 측정치들 간 차이가 0.5 cm 이상인 경우 재측정하였다. 그리고 운전자세 측정을 위해 26개 markers ( $\phi = 1.2$  cm)가 실험 참여자의 전신에 부착되었다. 운전자세 측정 단계에서는 실험 참여자가 seating buck에서 10분 동안 모의 주행을 하면서 운전석의 높이와 등받이 각도 등을 자신이 선호하는 위치로 조정(self-adjustment driving)하였다. 자세는 양손을 steering wheel의 3시와 9시에 위치시킨 상태에서 motion capture system을 이용하여 측정되었다. 마지막으로, debriefing 단계에서는 간단한 실험 소감을 설문하였고 실험

참여자에게 참여비를 지급하였다.

측정된 운전자세는 3단계 절차(reference points 생성, reference points 위치 보정, reference points와 markers 연동)를 통해 RAMSIS®(Human Solution GmbH, Germany) 가상인체모델로 재현되었다. Reference points 생성 단계에서는 실험 참여자에게 부착된 markers의 위치를 고려해 가상인체모델의 피부 표면에 reference points를 생성한다. Reference points 위치 보정 단계에서는 실험 참여자에게 부착된 marker들 간의 거리 정보를 바탕으로 가상인체모델의 reference points 위치를 보정한다. 마지막으로 reference points와 markers 연동 단계에서는 가상인체모델의 reference points와 markers를 1대 1로 연동시킨다. Reference points와 markers 간의 연동은 RAMSIS에서 제공하는 *animation simulator* 기능(한번에 최대 38개 markers와 reference points 연동)을 이용하여 이루어졌다. RAMSIS를 활용하여 재현된 가상인체모델의 운전 자세로부터 Figure 2와 같이 실험 참여자들의 6개 관절 각도(head, neck, torso, hip, knee, and ankle angles)를 추출하였다.

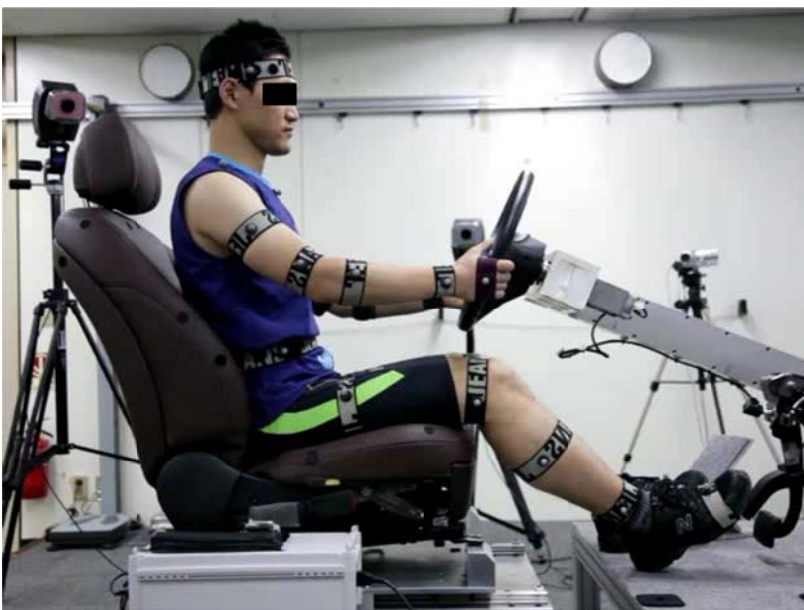


Figure 1. Measurement of driving postures using motion capture system

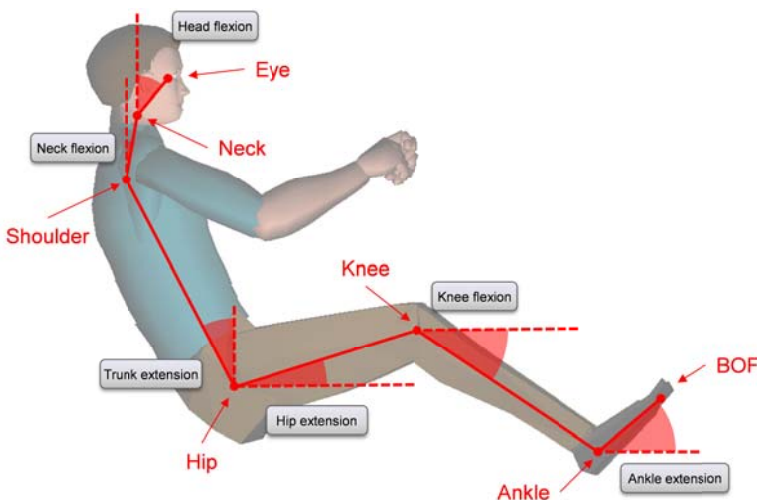


Figure 2. Selected joint angles for driving posture analysis

### 2.3 Classification of sitting strategies by cluster analysis

운전자들의 착좌전략 유형은 3단계(최적 군집수 결정, 착좌전략 분류, 착좌전략 특성 분석)로 파악되었다. 운전자세의 최적 군집수는 실험참여자들의 6개 관절 각도에 Ward's method를 적용하여 도출된 dendrogram의 Euclidean distance를 분석해 결정되었다. 착좌전략 분류 단계에서는 결정된 최적 군집 수에 기반해 K-means cluster 방법을 활용해 운전자세의 착좌전략을 통계적으로 분류하였다. 마지막으로 착좌전략 특성 분석 단계에서는 분류된 착좌전략에 대한 운전자세 특성을 대표할 수 있는 명칭을 부여해 착좌전략의 유형을 정의하였다.

## 3 Results

### 3.1 Classification of sitting strategies

운전자세 기반의 상체 착좌전략은 Figure 3과 같이 slouched, erect, 그리고 reclined posture로 나타났다. 상체 관련 관절인 head, neck, 그리고 trunk의 각도를 대상으로 한 군집분석 결과, 움크린 자세(slouched posture), 꼳꼳이 선 자세(erect posture), 그리고 뒤로 누운 자세(reclined posture)유형으로 분류되었다. 상체 자세의 착좌전략 유형별 비중은 slouched posture가 41%, erect posture가 33%, 그리고 reclined posture가 26%로 나타났다.

운전자세 기반의 하체 착좌전략은 Figure 4와 같이 knee bent, knee extended, 그리고 upper-leg lifted posture로 나타났다. 하체 관련 관절에 대한 군집분석 결과, 무릎 굽힌 자세(knee bent), 무릎 편 자세(knee extended), 그리고 윗다리 든 자세(upper-leg lifted)의 3가지 군집으로 분류되었다. 하체 자세의 착좌전략별 비중은 knee bent posture가 42%, knee extended posture가 32%, 그리고 upper-leg lifted posture는 26%로 나타났다.

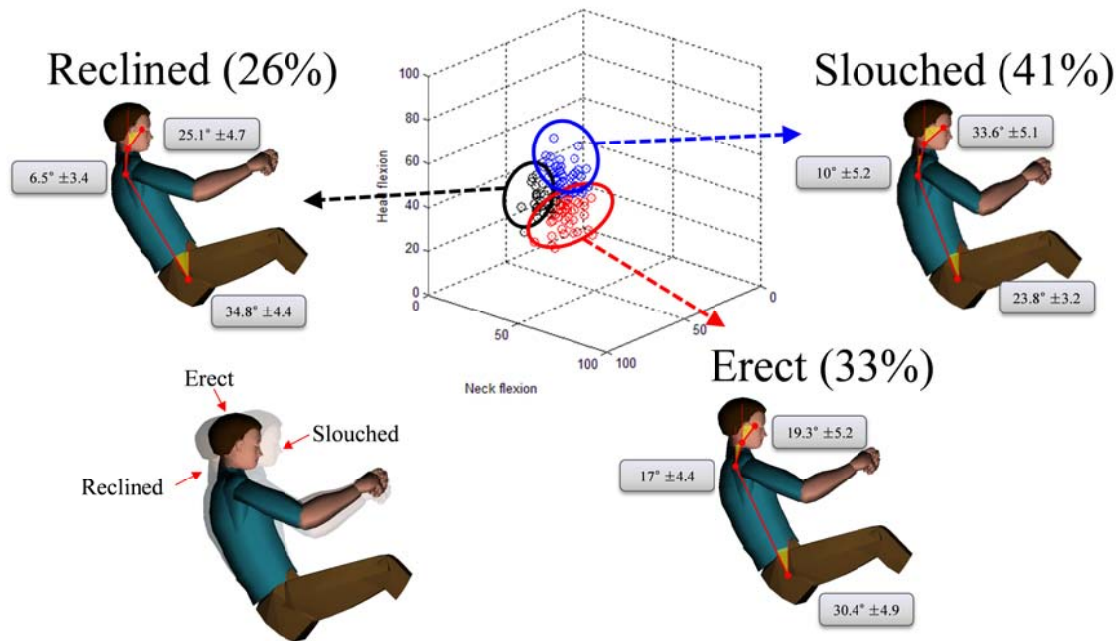


Figure 3. Classification of sitting strategy based on the upper-body driving posture

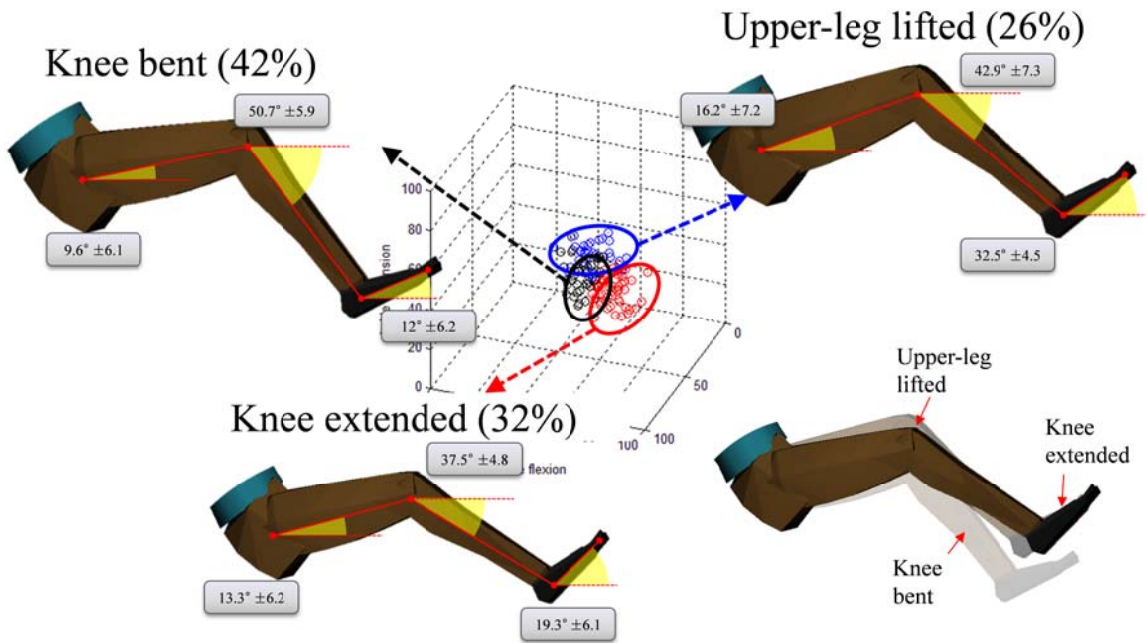


Figure 4. Classification of sitting strategies based on the lower-body driving posture

### 3.2 Identification of related factors to the sitting strategies

운전자의 성별이 운전자세 기반 착좌전략에 미치는 영향을 분석하기 위해 상·하체 착좌전략과 성별에 대해  $\chi^2$ -test를 수행한 결과(Figure 5, 6 참조), 상체 착좌전략에 대해서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $\chi^2(2) = 8.0, p < .05$ ). Erect posture는 남성이 24.1%인 반면 여성에게서 42.4%로 나타났으며, reclined posture는 남성이 36.2%인 반면 여성은 15.3%로 나타났다. 한편, 하체 착좌전략은 운전자의 성별에 따른 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다.

OPL 조건이 운전자세 기반 착좌전략에 미치는 영향을 분석하기 위해 상·하체 착좌전략과 OPL 조건에 대해  $\chi^2$ -test를 수행한 결과(Figure 7, 8 참조), 하체 착좌전략에 대해서는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $\chi^2(4) = 56.3, p < .05$ ). Coupe 조건에서는 knee bent posture가 2.6%인 반면 SUV조건에서는 84.2%인 것으로 나타났다. 한편, 하체와 달리 상체 착좌전략은 OPL에 따른 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

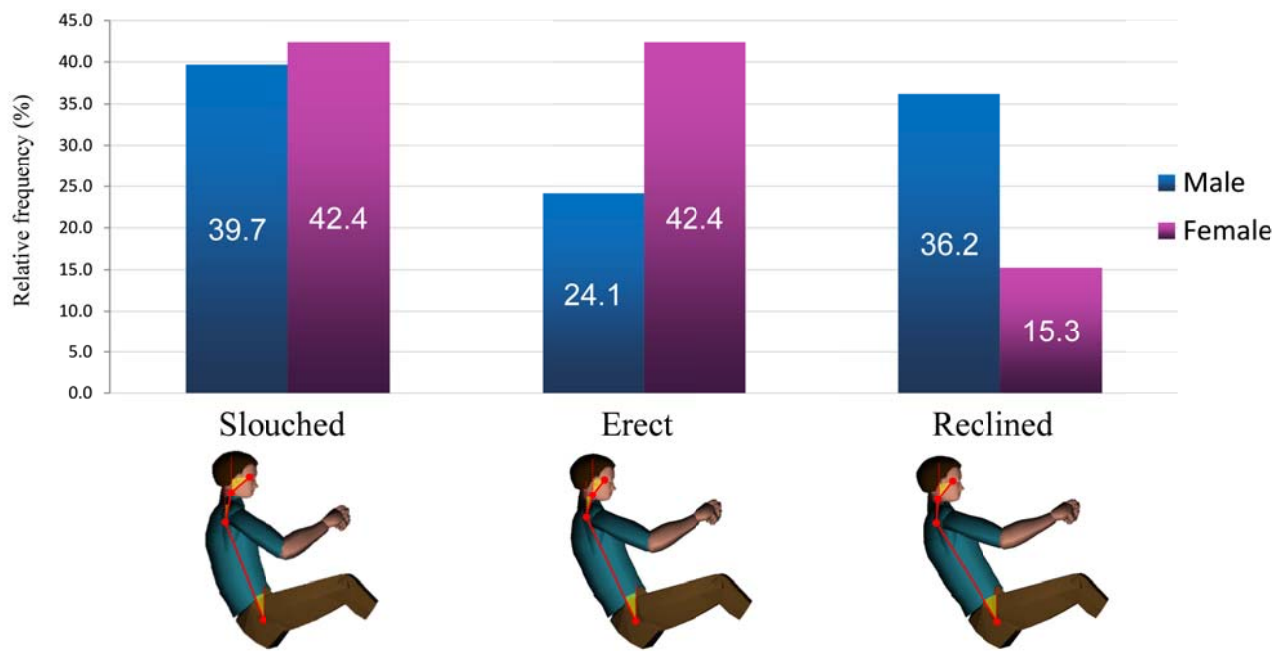


Figure 5. Percent of upper-body sitting strategies in gender ( $\chi^2(2) = 8.0, p = .019$ )

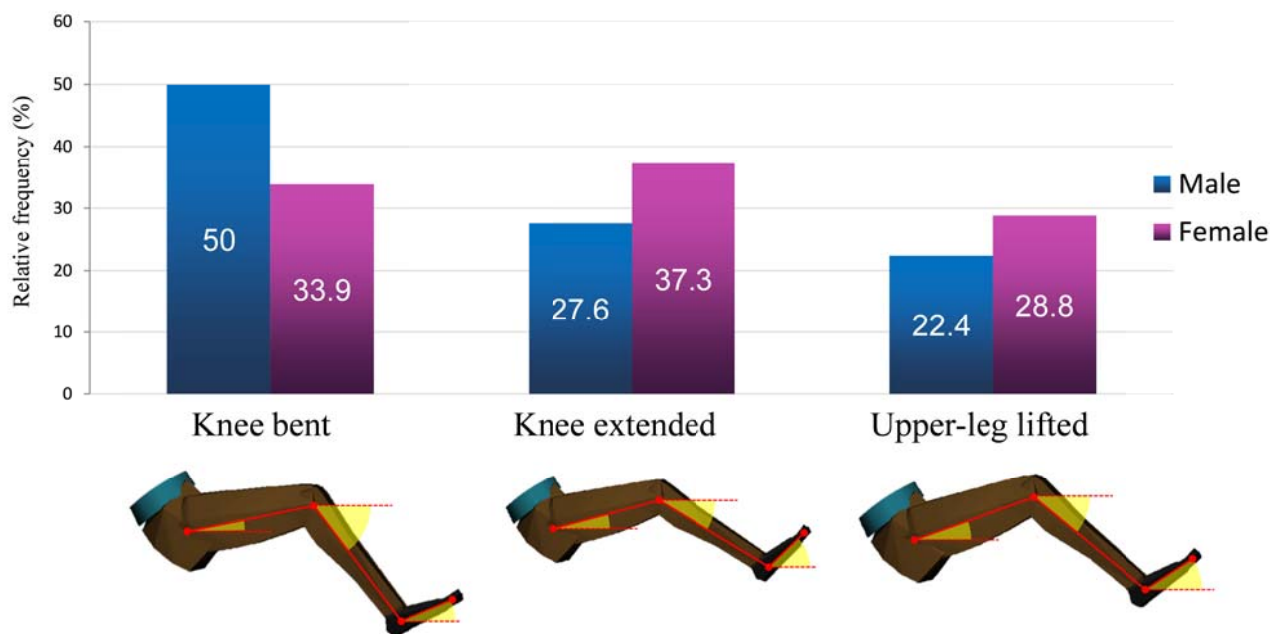


Figure 6. Percent of lower-body sitting strategies in gender ( $\chi^2(2) = 3.1, p = .21$ )

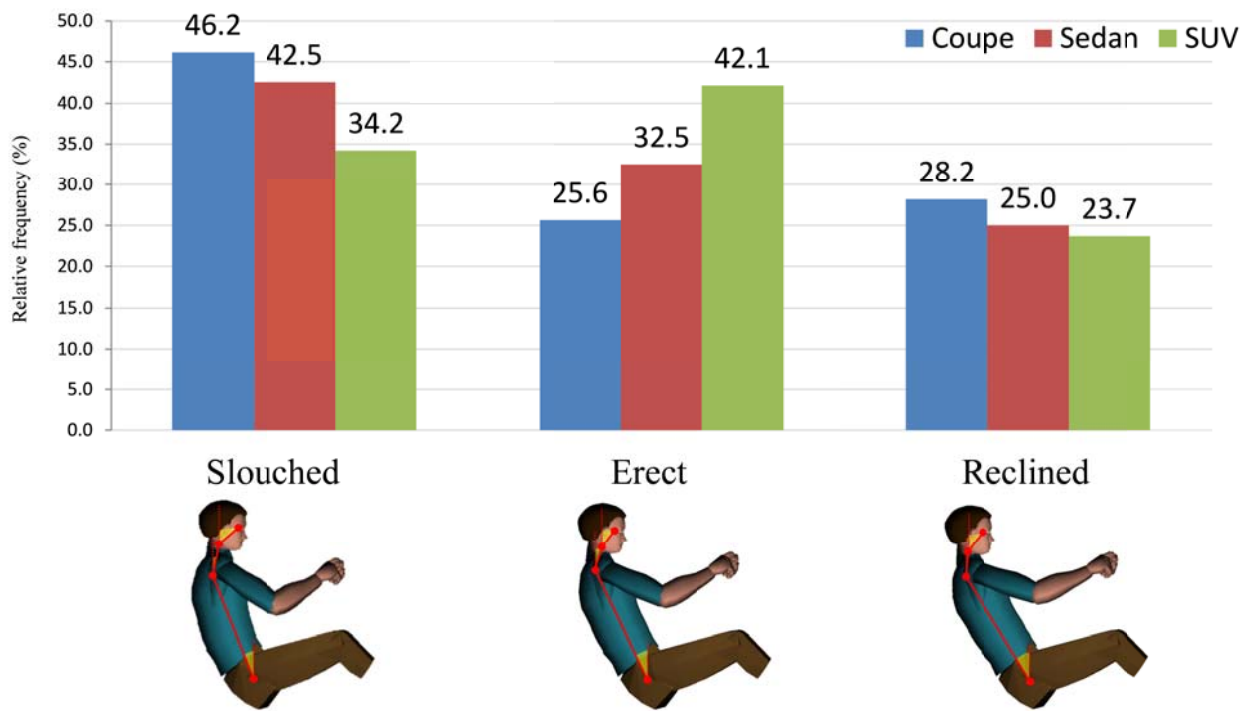


Figure 7. Percent of lower-body sitting strategies in OPL types ( $\chi^2(4) = 2.4, p = .66$ )

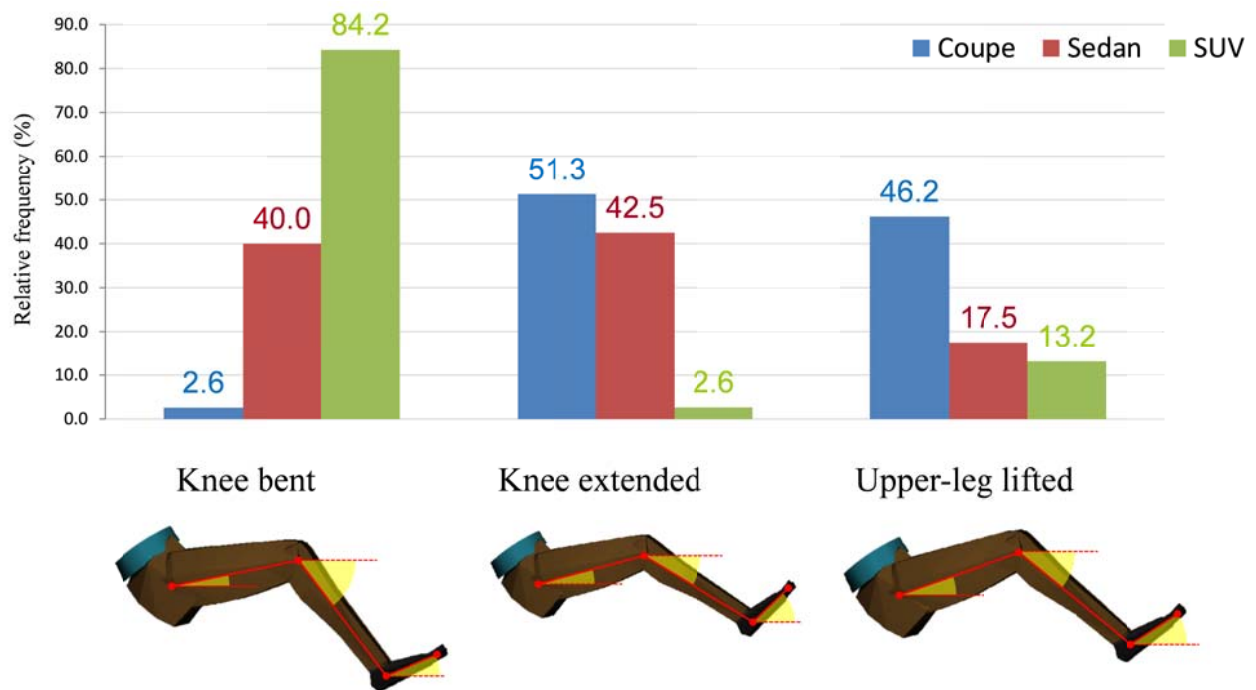


Figure 8. Percent of lower-body sitting strategies in OPL types ( $\chi^2(4) = 56.3, p < .01$ )

## 4 Discussion

본 연구는 운전자세 기반의 착좌전략을 차량 내장 설계에 활용될 수 있도록 체계적으로 파악하고 관련 연관인자를 통계적으로 규명하였다. 착좌전략은 가상환경에서의 차량 내장 설계/평가 시 humanoid의 자세 생성에 활용될 수 있다. 그러나 Andreoni et al. (2002)의 착좌전략 분류 방법은 시각적 분석에만 의존한 한계가 있다. 또한, 박성준(2006)은 체계적이고 객관적으로 착좌전략을 분류하였으나, 분류된 착좌전략에 대해 연관인자들(예: 성별, OPL 조건)을 심층적으로 분석하지 않아 분석결과를 실무에서 활용하는데 한계가 있다. 반면, 본 연구는 착좌전략을 객관적으로 파악하고 착좌전략에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 통계적으로 분석하였다. 따라서 본 연구에서 파악된 착좌전략은 추후 가상환경에서의 차량 내장 설계/평가 시 OPL 조건 및 humanoid의 성별에 따른 운전자세 생성에 유용한 reference data로 활용될 수 있다.

본 연구는 모집단의 남녀 성비와 다양한 크기의 키를 가진 실험 참여자들을 모집함으로써 실험 참여자의 대표성 및 평가 결과의 신뢰성을 확보하였다. 본 연구는 Size Korea (2010)의 인체측정자료를 활용해 키 측면에서 한국인 남녀 모집단의 인구분포율을 고려하여 실험 참여자를 선정하였다. 본 연구는 한국인 인체크기분포를 통계적으로 대표할 수 있는 남녀 40명을 모집함으로써 sitting strategy 분석 결과의 generalizability를 높이고자 하였다.

운전자의 성별은 운전자세 기반의 상체 착좌전략에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구는 남성 운전자가 3가지 착좌전략을 고르게 선호(ratio of slouched posture = 39.7%, erect posture = 24.1%, and reclined posture 36.2%)하는 반면, 여성 운전자는 상대적으로 웅크리거나(slouched) 꼴꼴이 선(erect) 운전자세를 선호하는 것을 파악되었다(ratio of slouched posture = 42.4%, erect posture = 42.4%, and reclined posture = 15.3%). 이러한 결과는 여성의 팔 길이가 남성에 비해 짧아 steering wheel을 적절히 파지 하기 위해 상체를 steering wheel로 가까이 위치시킴으로써 나타난 현상으로 추정된다. 또한, 여성의 낮은 키가 남성에 비해 작아 충분한 시야를 확보하기 위해 상체를 앞으로 당김으로써 slouched 또는 erect posture가 많은 것으로 추정된다. 한편, 운전자의 성별이 착좌전략에 미치는 영향은 DHM을 통한 운전석 설계 과정에서 여성과 남성의 대표 운전자세 선정에 고려 될 수 있다. 예를 들어, 여성 운전자의 인체크기를 가진 humanoid에는 slouched posture와 erect posture를 대표 자세로 활용함으로써 차량 내장 설계를 효과적으로 평가할 수 있다.

운전석의 OPL 조건은 운전자세 기반의 하체 착좌전략에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구의 실험 참여자들은 SUV 조건에서는 84%가 knee bent posture를 취한 반면, coupe 유형에서는 4%만 knee bent posture를 취했다. 이는 운전자의 하체 자세가 seat height (H30)에 영향을 받는 것을 의미하는데, H30이 높은 SUV 조건(H30 = 305 mm)의 경우 운전자가 pedal을 원활하게 조작하기 위해 seat를 pedal쪽으로 당겨 거리를 줄이고 무릎을 굽히는 것으로 사료된다. 반면, seat height가 낮은 coupe 조건(H30 = 176 mm)의 경우 운전자가 무릎을 아래로 굽힐 수 있는 높이가 확보되지 않아 seat를 pedal 반대 방향으로 이동시켜 무릎을 편 자세를 취하는 것으로 추정된다. 이러한 본 연구의 결과는 SUV 차량의 설계/평가 시 humanoid의 하체 자세를 knee bent posture로 설정해야 함을 시사한다.

## Acknowledgements

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science, and Technology 2012-011373 and the Next Generation Vehicle (NGV).

## References

Andreoni, G., Santambrogio, G. C., Rabuffetti, M., and Pedotti, A., Method for the analysis of posture and



interface pressure of car drivers, *Applied Ergonomics*, 33, 511-522, 2002.

Cappozzo, A., Catani, F., Leardini, A., Benedetti, M. G., and Della Croce, U., Position and orientation in space of bones during movement: Experimental artifacts, *Clinical Biomechanics*, 11(2), 90-100, 1996.

Choi, Y., Park, J., Lee, B., Jung, K., Sah, S., and You, H., A classification of sitting strategies based on seating pressure distribution, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 39(2), 105-108, 2013.

Grieco, A., Sitting posture: an old problem and a new one, *Ergonomics*, 29(3), 345-362, 1986.

Kyung, G., and Nussbaum, M. A., Specifying comfortable driving postures for ergonomic design and evaluation of the driver workspace using digital human models, *Ergonomics*, 52(8), 939-953, 2009.

Park, J., Jung, K., Chang, J., Kwon, J., and You, H., Evaluation of predicted driving postures in RAMSIS digital human model simulation, *IE Interfaces*, 23(2), 101-108, 2010.

Park, S., Kim, C., Kim, C., and Lee, J., Comfortable driving postures for Koreans, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26, 489-497, 2000.

Park, S., Estimation of driver's standard postures by a multivariate analysis method, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(1), 27-33, 2006.

Reed, M. P., Manary, M. A., Flannagan, C. A. C., and Schneider, L. W., A statistical method for predicting automobile driving posture, *Human Factors*, 44(4), 557-568, 2002.

Ryu, T., *A Direct Estimation of Anatomical Landmark Positions from Skin Markers by Identifying the Displacement Relationship* (Unpublished doctoral dissertation), POSTECH, Pohang, South Korea, 2006.

Size Korea, *Report on the Fifth Survey of Korean Anthropometry*, Retrieved June 26, 2010 from <http://sizekorea.kats.go.kr/>

Speyer, H., *RAMSIS Definition of Anthropometric Measurements*, Human Solutions GmbH, Germany, 2005.