

운전석 체압분포 기반의 착좌전략 분류

최영근¹ · 박장운¹ · 이백희¹ · 정기효² · 사성진³ · 유희천^{1*}

¹포항공과대학교 기계산업공학부 / ²울산대학교 산업경영공학부 / ³현대기아자동차 연구개발본부

A Classification of Sitting Strategies Based on Seating Pressure Distribution

Younggeun Choi¹ · Jangwoon Park¹ · Baekhee Lee¹ · Kihyo Jung² · Sungjin Sah³ · Heecheon You¹

¹Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Gyeongsangbuk-do, 790-784, Korea

²School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 680-749, Korea

³Automotive Research and Development Division, Hyundai Motor Group, Uiwang, Gyeonggi-do, 437-815, Korea

Drivers' sitting strategies are considered in car seat design. Existing research has identified representative sitting strategies by visual inspection of seating pressure measurements collected from a small sample size of drivers. The present study recruited 20 female and 20 male participants, measured seating pressure, and classified sitting strategies by cluster analysis. The participants' sitting postures were classified based on seating pressure distribution into mid-back and scapular, mid-back and lumbar, and lumbar sitting strategies for the upper body and hip concentrated, hip and mid-thigh concentrated, and hip and mid-thigh distributed sitting strategies for the lower body. The effects of gender and occupant package layout (OPL) on sitting strategy were not found significant. The identified sitting strategies would be of use for the design and evaluation of an OPL and a seat.

Keywords: Sitting Strategy, Seating Pressure Distribution, Seat Design

1. 서론

운전석 체압은 운전자의 안락감 및 피로도에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Mergl *et al.*(2005)과 Zenk *et al.*(2006)은 착좌체압이 운전자의 신체적 피로도에 중요한 영향을 미친다고 주장하였는데, 특정 신체부위에 체압이 너무 적게 분포되면 운전석이 운전자를 고르게 지지하지 못하여 해당 부위의 근육이 쉽게 피로해지는 반면, 체압이 너무 많이 분포되면 특정 신체부위를 압박하여 혈액순환 장애에 따른 신체적 피로를 저하시킨다고 보고하였다.

운전석의 효과적인 인간공학설계 및 평가를 위해 운전자들의 다양한 선호 운전자세와 체압분포의 특성을 분석하고 표

준화하려는 연구들이 수행되었다. Park(2006)은 운전자들의 선호 운전자세에서의 관절 각도를 군집분석하여 5가지 표준 운전자세 유형들을 분류하였다. 또한, Andreoni *et al.*(2002)은 seat-back과 seatpan에서 발생하는 운전자들의 선호 체압분포를 도식화한 후 이를 시각적으로 분석하여 체압 특성에 기반한 착좌전략(상체 : lumbar, dorsal, dorsal scapular 전략; 하체 : ischiatic, intermediate, trochanteric 전략)을 분류하였다.

운전자들의 선호 착좌전략 유형을 분류한 연구들이 수행되었으나 기존 연구는 분류된 유형에 대한 심층적인 분석 및 분류방법의 객관성 측면이 미흡한 것으로 나타났다. 예를 들어, Andreoni *et al.*(2002)은 운전자의 체압분포를 상체와 하체로 구분하여 착좌전략 유형을 분류하였으나, 체압분포를 시각적으

본 연구는 현대·기아자동차의 지원과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 "IT명품인재양성사업"의 연구결과(C1515-1121-0003)로 수행되었음.

* 연락저자 : 유희천 교수, 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산31 포항공과대학교 기계산업공학부, Tel : 054-전화번호, Fax : 054-전화번호,

E-mail : hcyou@postech.ac.kr

2013년 1월 28일 접수; 2013년 3월 5일 수정본 접수; 2013년 3월 6일 게재 확정.

로 분석했기 때문에 분류 방법의 객관성이 부족하였다. 또한, 분류된 좌좌전락 유형을 차량 설계에 효과적으로 활용하기 위해서는 유형의 특성에 대한 심층적인 분석(예 : 운전자 성별, OPL 유형에 따른 영향)이 필요하나 기존 연구들은 분류된 좌좌전락 유형에 대한 심층적인 분석은 수행하지 않았다.

본 연구는 운전자들의 선호 체압분포를 정량적으로 측정 및 분류한 후 운전자의 성별 및 인체크기와 occupant package layout (OPL) 조건이 좌좌전락에 미치는 영향을 분석하였다. 체압 분포는 다양한 인체크기를 가진 운전자들을 대상으로 세 가지 OPL 조건(coupe, sedan, and SUV)에서 측정되었다. 측정된 체압분포는 군집분석을 통해 통계적으로 대표성을 가진 좌좌전락으로 분류되었다. 또한, 분류된 좌좌전락은 운전자 성별과 OPL 조건에 따른 영향이 분석되었다.

2. Methods

2.1 실험 참여자

본 연구에는 운전경력 2년 이상의 20~50대 남녀 40명이 실험참여자로 참여하였다. 본 연구는 실험참여자 선정 시 신장 측면에서 다양한 사람이 모집될 수 있도록 Size Korea(2004) 인체측정자료를 참고하고, 2004년부터 2010년까지의 신장 증가 추세(secular trend)를 고려하여 <Table 1>과 같이 3가지 범주(2.5th~33rd %ile, 33rd~66th %ile, 66th~97.5th %ile)로 구분하여 선정하였다. 실험참여자들의 평균 키는 남성 173.5 cm(SD = 6.2), 여성 160.6cm(SD = 5.8)로 나타났다.

Table 1. Number of participants by stature groups

Gender	Stature			Total
	Small 2.5 th ~33 rd %ile	Medium 33 rd ~66 th %ile	Large 66 th ~97.5 th %ile	
Female	5 (149~157cm)	8 (157~161cm)	7 (161~169cm)	20
Male	6 (161~170cm)	6 (170~175cm)	8 (175~184cm)	20

2.2 실험 장비

운전자들의 선호 좌좌 자세의 체압분포를 측정하기 위해 <Figure 1>과 같은 seating buck이 개발되었다. seating buck은 seat, steering wheel, 그리고 pedal의 location이 조절 가능하도록 설계 되었으며, Hyundai-Kia Motors 차종(Genesis Coupe, Equus, 그리고 Santa Fe CM)의 OPL 설계 dimension을 참조하여 3가지 OPL 조건(coupe, sedan, 그리고 SUV)으로 조절 가능하도록 개발되었다.

본 실험은 실험참여자의 상체와 하체에서 발생된 체압을 측

정하기 위해 운전석의 seatback과 seatpan에 pressure mat(X3 PX 100 48×48, XSENSOR Co., Canada)를 설치하였다. Pressure mat는 실험 중 실험참여자의 착석 또는 seatback angle 조절 등 에 의해 위치가 변하지 않도록 seatback과 seatpan에 부착되었다 (<Figure 2> 참조). Pressure mat의 sampling rate는 5Hz로 설정되었다.

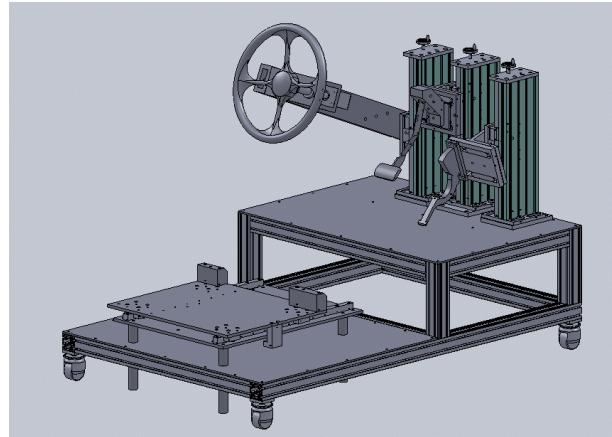


Figure 1. Seating buck

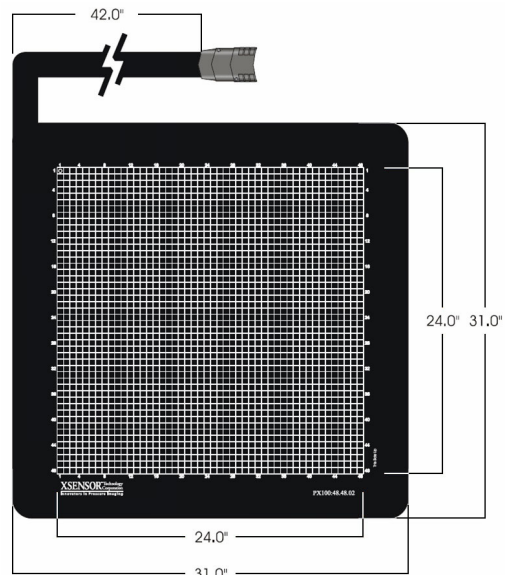


Figure 2. A pressure mat for body pressure measurement

2.3 실험 절차

본 연구의 체압분포 측정실험은 3단계 절차(preparation, exercise, driving session)로 진행되었다. Preparation 단계에서는 실험참여자에게 실험목적과 절차에 대해 설명한 후, RAMSIS 인체측정 지침서(Speyer, 2005)에 따라 실험참여자의 21개 인체 치수(예 : 키, 앞의 키, 엉덩이 너비)를 Martin식 인체계측 장비로 측정하였다.

Exercise 단계에서는 실험참여자(가)가 실험환경에 익숙해질 수 있도록 20분간 모의 주행을 수행하였는데, 이때 실험참여자(가)는 seat의 location, height, 그리고 seatback/seatpan angle 등을 임의로 조절해봄으로써 seat configuration 조절 방법을 익힐 수 있었다.

Driving session 단계에서는 OPL 유형별(coupe, sedan, 그리고 SUV)로 실험참여자(가)가 20분간 모의 주행을 하면서 자신이 선호하는 configuration으로 운전석을 조절하였다. 그리고 20분의 모의 주행을 마친 후 운전자가 자세를 유지(양손은 steering wheel의 3시와 9시 방향을 파지)하는 동안 pressure mat를 통해 체압분포를 측정하였다.

2.4 체압분포 분석 방법

운전석 체압분포는 pressure mat를 통해 측정된 상·하체 각각의 48×48 체압 data를 신체를 17개 부위로 구분하는 body grid를 활용해 신체 부위별로 분석되었다. 본 연구는 Zenk et al. (2006)과 Mergl et al.(2005)이 사용한 body grid 생성기법을 기반으로 신체부위별 체압 분석을 수행하였다(<Figure 3> 참조).

운전자의 체압분포 기반 착좌전략 유형은 17개 신체부위별 체압비율(body pressure ratio)의 군집 분석을 통해 분류되었다. 체압분포 유형 군집 분석은 Ward’s method에 기반한 Euclidean distance plot을 통해 최적 군집 수를 파악한 후, K-means clustering 기법을 통해 착좌전략 유형을 분류하였다(<Figure 4> 참조).

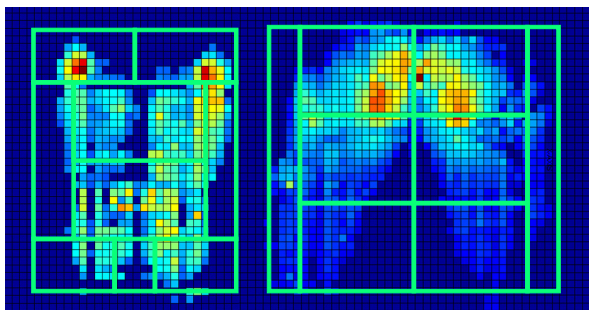


Figure 3. Body grids for body pressure analysis

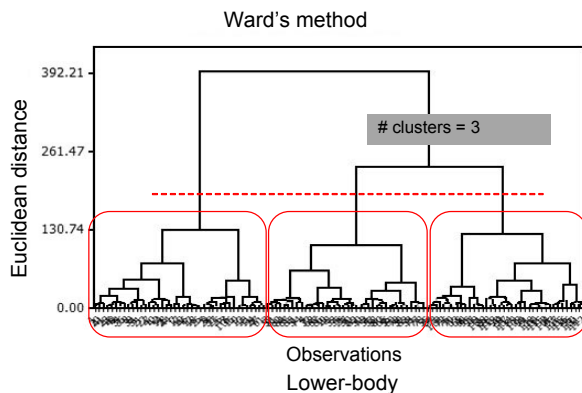


Figure 4. Determination of the optimal number of clusters for sitting strategy classification

3. Results

체압분포 기반 상체 착좌전략 유형은 3가지 유형(mid-back and scapular, mid-back and lumbar, lumbar)으로 나타났다. 착좌전략 유형 분류를 위한 군집분석을 위해 BPR 분석이 선행되었는데, 이때 상체 개별 BPR 분석의 경우 상체에 발생한 체압만을 100%로 놓고 상체 각 신체부위별 체압의 비율을 분석하였다. 체압 data set의 상체 신체부위인 body part 1~9의 BPR data를 대상으로 군집분석 결과, <Figure 5>와 같이 등과 어깨에 집중된 체압분포(mid-back and scapular), 등과 허리에 집중된 체압분포(mid-back and lumbar), 그리고 허리에 집중된 체압분포(lumbar)의 3가지 군집으로 분류되었다.

Mid-back and scapular 군집에는 42개 체압 data set이 포함되었으며, mid-back and lumbar 군집에는 51개 체압 data set, 그리고 lumbar 군집에는 24개의 체압 data set이 포함되었다. 이는 Andreoni et al.(2002)이 제안한 체압분포 기반 상체 착좌전략 3가지(dorsal and scapular, dorsal, 그리고 lumbar)와 자연스럽게 matching되는 것으로 파악되었다.

체압분포 기반 하체 착좌전략 유형은 3가지 유형(hip concentrated, hip and mid-thigh concentrated, hip and mid-thigh distributed)으로 나타났다. 하체 개별 BPR 분석의 경우에도 하체에 발생한 체압만을 100%로 놓고 각 신체부위별 체압의 비율을 분석하였다. 하체 신체부위인 body part 10~17의 BPR data를 대상으로 군집분석한 결과, 엉덩이에 대부분 집중된 체압분포(hip concentrated), 엉덩이에 집중되고 허벅지에 일부분 분산된 체압분포(hip and mid-thigh concentrated), 그리고 엉덩이와 허벅지에 고르게 분산된 체압분포(hip and mid-thigh distributed)의 3가지 군집으로 분류되었다. Hip concentrated 군집에는 38개 체압 data set이 포함되었으며, mid-back and lumbar 군집에는 63개 체압 data set, 그리고 lumbar 군집에는 16개의 체압 data set이 포함되었다. 이 또한 Andreoni et al.(2002)이 제안한 체압분포 기반 하체 착좌전략 3가지(ischiatic, intermediate, trochanteric)와 자연스럽게 matching되는 것으로 파악되었다.

체압분포 기반의 상체 착좌전략 유형과 하체 착좌전략 유형의 분포 파악을 위해 상대 빈도를 분석한 결과 체압분포 기반의 상·하체 착좌전략 유형은 일부 유형에 집중되어 있는 것으로 조사되었다. 상체의 경우 lumbar(L) 유형(21%)에 비해 mid-back and scapular(M&S) 유형(36%)과 mid-back and lumbar(M&L) 유형(44%)이 더 선호되는 것으로 파악되었으며(M&S vs. M&L : $p = .228$; M&S vs. L : $p = .008$; M&L vs. L : $p < .001$), 하체의 경우 hip and mid-thigh distributed(H&MD) 유형(14%)에 비해 hip concentrated(HC) 유형(32%)과 hip and mid-thigh concentrated(H&MC) 유형(54%)이 더 선호되는 것으로 파악되었다(HC vs. H&MC : $p = .001$; HC vs. H&MD : $p < .001$; H&MC vs. H&MD : $p < .001$).

성별에 따른 체압분포 기반 착좌전략 유형을 파악하기 위해 상·하체의 착좌전략 유형과 성별에 대해 χ^2 test를 수행한 결

과 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(상체 : $\chi^2(2) = 2.4, p = .31$; 하체 : $\chi^2(2) = 0.8, p = .67$).

OPL 유형에 따른 체압분포 기반 착좌전략 유형을 파악하기 위해 상·하체의 착좌전략 유형과 OPL 유형에 대해 χ^2 test를 수행한 결과 <Figure 6>과 같이 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(상체 : $\chi^2(4) = 2.5, p = .64$; 하체 : $\chi^2(4) = 7.1, p = .13$).

성별과 OPL 유형에 따른 체압분포 기반 착좌전략 유형의 경향을 파악하기 위해 성별과 OPL 유형별 상대 빈도를 분석한 결과, 체압분포 기반의 착좌전략 유형은 OPL 유형의 영향은 거의 나타나지 않으나 성별의 영향을 받는 경향이 있는 것으로 파악되었는데, 여성의 경우 허리에 체압이 집중되는 유형이 비교적 적게 나타난 것으로 조사되었다(<Figure 7> 참조).

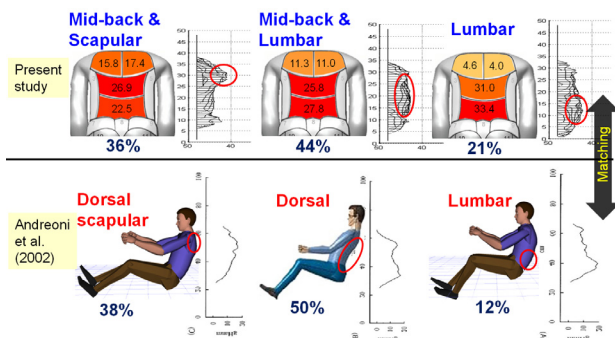


Figure 5. Sitting strategies of the upper-body

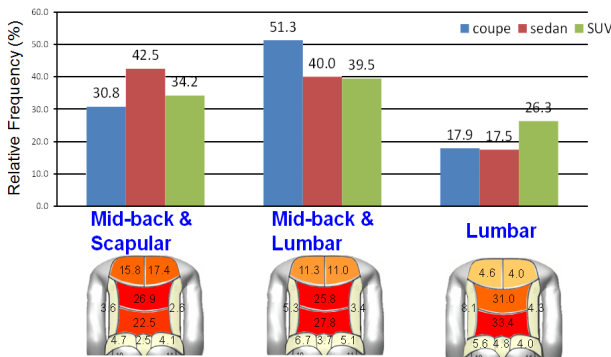


Figure 6. Sitting strategy distributions by OPL type

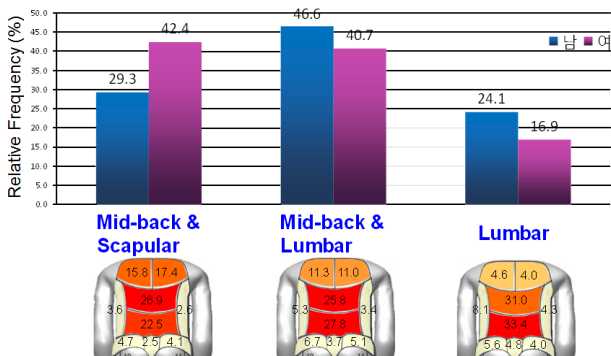


Figure 7. Sitting strategy distributions by gender

4. Discussion

본 연구는 통계적 기법을 통해 운전자의 체압분포를 정량적으로 분석하여, 체압분포를 시각적으로 분석한 기존 착좌전략 분류 연구의 한계를 보완하였다. Andreoni *et al.*(2002)은 체압분포 기반의 착좌전략 유형 분류 시 체압분포를 시각적으로 분석하여, 도출된 착좌전략 유형의 객관성이 부족했던 반면, 본 연구는 체압분포 기반의 착좌전략 유형 분류를 위해 신체를 17개로 구분하여 각 신체부위의 체압의 비율을 분석하는 BPR 분석을 통해 체압분포를 도출하고, 도출된 체압분포를 군집분석을 통하여 정량적으로 체압분포 기반 착좌전략 유형을 분류하였다.

본 연구는 남성 운전자들이 다양한 착좌전략 유형을 고르게 선호하는데(mid-back and scapular : 29.3%, mid-back and lumbar : 46.6%, lumbar : 24.1%) 반해 여성운전자들은 허리에 체압이 집중되는 체압분포 유형(lumbar)을 기피(mid-back and scapular: 42.4%, mid-back and lumbar : 40.7%, lumbar : 16.9%)하는 경향을 파악하였다. 그러나 체압분포 기반의 착좌전략 유형은 성별 또는 OPL type에 따른 영향이 통계적으로 유의하지는 않은 것으로 파악되었다.

본 연구에서 분류된 체압분포 기반의 착좌전략 유형은 다양한 인체치수를 가진 남녀 운전자 40명을 기반으로 도출되어 운전자 대표 착좌전략 유형으로 활용될 수 있다. 본 연구에서 분류된 착좌전략은 seat cushion의 물성 설계에 유용하게 활용될 수 있으며, 신규 seat 설계 시 대표 체압분포로 활용될 수 있다. 그러나 본 연구에서 분류된 착좌전략 유형은 단일 운전석(Equus seat)에 대해 측정된 체압 data를 기반으로 도출되어 다양한 seat design 에서도 동일한 착좌전략 유형이 선호되는지 추후 연구를 통해 검증될 필요가 있다.

참고문헌

Andreoni, G., Santambrogio, G. C., Rabuffetti, M., and Pedotti, A. (2002), Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers, *Applied Ergonomics*, **33**, 511-522.

Bubb, H. (2008), The ideal seat. Retrieved from Technical University of Munich.

Mergl, C., Klendauer, M., Mangen, C., and Bubb, H. (2005), Predicting long term riding comfort in cars by contact forces between human and seat, *SAE Technical Paper 2005-01-2690*.

Na, S., Lim, S., Choi, H. S., and Chung, M. K. (2005), Evaluation of driver's discomfort and postural change using dynamic body pressure distribution, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **35**, 1085-1096.

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

Size Korea (2004), Report on the Fifth Survey of Korean anthropometry, Korean Agency for Technology and Standards, Ministry of Commerce, Industry and Energy.

Zenk, R., Mergl, C., Hartung, J., Sabbah, O., and Bubb, H. (2006), Objectifying the comfort of car seats, *SAE Technical Paper 2006-01-1299*.