

Effects of initial setting on seat and steering wheel adjustment during mock-up experiment

Chung Sik Kim¹, Sung H. Han¹, Min K. Chung²

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

² National Research Foundation of Korea, Daejeon, 305-754

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study is to investigate effects of initial setting of seat and steering wheel on seat and steering wheel adjustment during mock-up experiment. **Background:** Mock-up experiment is one of the representative methodology for investigating driving posture. There are several experimental design factors which could influence on driving postures such as gender, age, instruction for driving posture, and initial setting of seat and steering wheel. Among those factors, we focused on effects of initial setting of seat and steering wheel on driving posture by analyzing seat and steering wheel adjustment because previous studies about driving posture have been used different initial settings. **Method:** Sixteen male drivers were participated for the experiment. Experimental task was adjusting five adjustable components to support their ordinary and natural driving posture. Five components were seat height, fore-aft location of seat, seatback angle, steering wheel height and fore-aft location of steering wheel, and were set by three kinds of initial settings: minimum, intermediate, and maximum setting. Participants conducted experimental task 4 times by initial setting types. After each task, adjusted location of five components were measured. **Results:** Effects of initial setting of five components were statistically significant. Generally participants adjusted five component close to initial location. **Conclusion:** Initial setting of seat and steering wheel affected on seat and steering wheel adjustment for supporting driving posture. This fact should be fully considered when designing mock-up experiment for investigating driving posture. **Application:** Result of this study could help deciding initial setting of seat and steering wheel for mock-up experiment.

Keywords: Initial setting of seat and steering wheel, seat and steering wheel adjustment, driving posture.

1. Introduction

자동차가 보편화 되고 관련 기술이 발전함에 따라 자동차 설계에 있어 연비, 속도와 같은 성능뿐만 아니라 편의성, 안락감 등의 사용성 측면의 요소 역시 중요해지고 있다(Park, 2006). 특히 운전석 설계에 대한 연구는 편의성, 안락감 등의 만족도 향상에 더불어 조작 미숙이나 운전자 피로 등으로 인한 자동차 사고를 경감시킬 수 있어 중요하게 다루어지고 있다(Kim et al., 2013).

운전석의 인간공학적 설계를 위해 다양한 연구가 진행되어 왔으며, mock-up을 활용하는 실험은 대표적인 연구 방법 중 하나이다. Mock-up 실험은 운전석 설계 인자를 다양하게 조절할 수 있기 때문에

운전석 설계 및 평가에 유용하게 활용될 수 있다. Mock-up의 활용을 통해 운전자들이 선호하는 운전 자세를 수집하고 분석하는 연구가 다수 진행되어 왔으며(Kyung et al., 2007; Park et al., 2000; Park et al., 2012; Reed, 2005; Reed et al., 2000, 2002), 이 외에도 대표 운전자세의 도출(Kyung et al., 2010; Park, 2000; Park, 2006), 승하강 패턴 도출 (Ait El Menceur et al., 2008; Chateauroux and Wang, 2010) 등의 다양한 연구가 진행되어 왔다. 이 중 이 중 운전자세를 수집하고 분석하는 연구는 제품 개발 초기 단계에서부터 제품에 대한 설계 및 평가를 용이하게 하는 3D CAD model의 근간이 되기 때문에(Porter et al., 1993) 중요한 연구 분야 중 하나라고 할 수 있다.

Mock-up에서 운전자세를 수집하는 연구는 보통 다음과 같은 방식으로 진행된다. 먼저 시트 높이,

시트 앞뒤 위치, 스티어링 휠 높이 등과 같이 운전 자세를 취하기 위해 조절해야 하는 인자들을 특정 상태로 초기화 해놓은 후, 피실험자들이 해당 인자들을 자유롭게 조절하여 운전자세를 취하도록 한다. 이러한 mock-up 실험에서 운전자의 성별, 나이와 같은 운전자 특성, 차량 종류, 시트 타입과 같은 차량 특성, 운전자세의 정의, 조절 인자의 초기 설정 상태와 같은 실험 설계 관련 특성 등의 다양한 인자들이 최종 결과 값인 운전자세에 영향을 미칠 수 있기 때문에 실험 설계 시 목적에 맞게 해당 인자들을 충분히 검토하여야 한다.

상기 인자들 중 조절 인자의 초기 설정 상태에 대해 기존 연구들을 살펴보면, 크게 세 가지 유형으로 나누어지는 것을 확인할 수 있다. 첫째로, 각 조절 인자를 조절 범위의 중간값 (intermediate) 혹은 평균값으로 설정하는 유형이다(Reed, 2005; Reed et al., 2000). 이는 초기 설정 값을 극단 값으로 할 경우 초기 설정의 방향성에 따른 편의(bias)가 발생할 수 있기 때문이다(Reed et al., 2000). 둘째는, 초기 상태를 무작위로 설정하는 유형이다(Jeong, 2011; Park et al., 2012). 마지막으로 조절 범위의 극단 값으로 설정하는 유형이다. Park et al. (2000)은 각 조절 인자의 조절 범위 중 최소값으로 초기상태를 설정하였으며, Porter and Gyi (1998)은 최소값(minimum)과 최대값(maximum)으로 번갈아 가며 설정하였다.

이처럼 기존 연구들에서 운전석 초기 설정 방식은 다양하고 일관되어 있지 않다. 이러한 불일치는 운전자세 분석을 위한 mock-up 실험을 설계하는데 있어 혼선을 줄 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 mock-up을 활용한 후속 연구 설계를 위한 기반 자료를 제공하기 위해, 시트 및 스티어링 휠의 초기 설정 상태가 편안한 운전자세를 위한 시트 및 스티어링 휠 조절에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. Method

2.1 Subjects

총 16명의 운전자가 실험에 참여하였다. 운전자의 연령과 성별이 운전자세에 영향을 미칠 수 있기 때문에 20세 이상 65세 미만의 남성만을 대상으로 피실험자를 모집하였다. 또한, 운전 경험이 적고 오랫동안 운전을 하지 않았을 경우 운전자세에 대한 내부 기준이 확립되어 있지 않을 수 있기 때문에, 최소 한 달에 한번 이상 운전을 하는 사람만을 대

상으로 모집하였다. 모집된 피실험자의 나이는 평균 31.7세 (표준 편차=9.3), 신장은 170.3cm (표준 편차=4.8), 체중은 70.1kg (표준 편차=8.8)였으며, 운전 경력은 6.6년(표준 편차=7.2), 운전 빈도는 한 달에 17.8회(표준 편차=12.2)였다.

2.2 Apparatus

본 실험에 사용된 mock-up은 figure 1과 같다. 시트에 대하여 시트 앞뒤 위치(fore-aft seat position; L53), 시트 높이(seat height; H30), 등받이 각도(seatback angle; A40), 시트 쿠션 각도(seat cushion angle; L27)의 네 가지 인자가 조절이 되며, 스티어링 휠에 대하여 스티어링 휠 앞뒤 위치(fore-aft steering wheel position; L11)과 스티어링 휠 높이(steering wheel height; H17)의 두 인자가 조절된다.

스티어링 휠의 직경은 외경 기준 470mm이며, mock-up 바닥의 높이는 465mm이다. 시트는 최근 대형버스에서 가장 많이 사용되고 있는 멀티펄션 시트(multi-function seat)를 사용하였고, 페달은 현대 자동차의 대형버스인 유니버스에 사용되고 있는 페달을 사용하였다. 기어시프트, 대시보드, 안전벨트 등의 인자들은 기존 연구를 참고하여 구현하지 않았다(Park et al., 2000; Park, 2006; Reed, 2005; Reed et al., 2000, 2002, Kyung and Nussbaum, 2008).

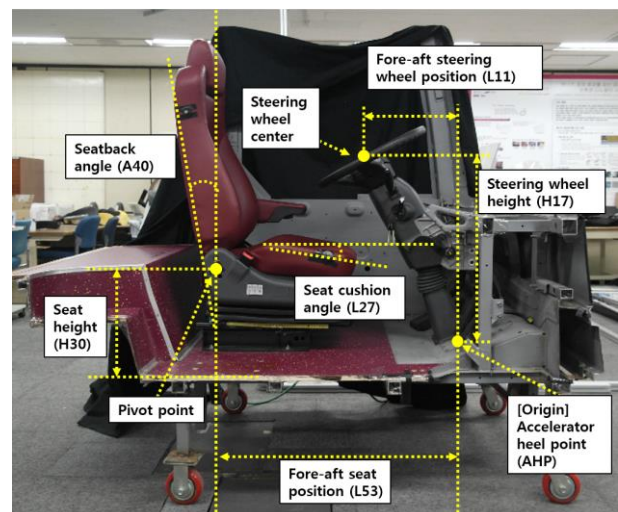


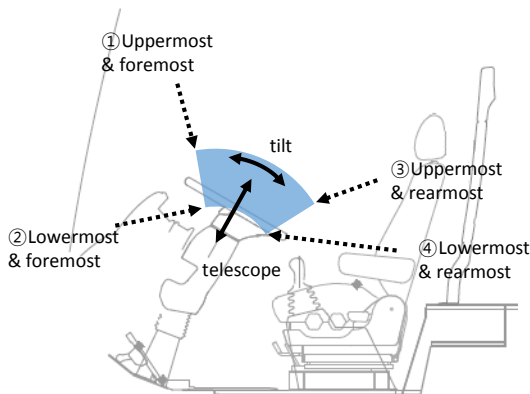
Figure 1. Mock-up geometry. Expressions in parentheses are Society of Automotive Engineers nomenclature from SAE J1100 (SAE, 2005)

운전석 조절상태 측정을 위해 Motion Analysis사의 motion capture system (Hawk(i))과 EVART software를 사용하였다. 스티어링 휠의 앞뒤 위치 및 높이, 등받이 각도, 시트 쿠션 각도를 파악하기 위하여, 스

티어링 휠의 중심, 등받이, 시트 밑면, 등받이와 시트 밑면의 접점에 각각 1개의 마커를 부착하였다.

2.3 Experimental design

시트 및 스티어링 휠 조절 인자의 정의는 SAE J1100 (SAE, 2005)을 참고하였다. SAE J1100에 의하면, 시트 앞뒤 위치는 AHP (accelerator heel point)로부터 SgRP (seating reference point)까지의 거리를 의미하며, 시트 높이는 AHP로부터 SgRP까지의 높이를 의미한다. 본 연구에서는 SgRP 대신 등받이 회전 중심점(pivot)을 사용하였다. 시트 앞뒤 위치는 815mm ~ 1010mm까지 총 195mm를 15mm씩 13단계로 나누어 조절 가능하며, 시트 높이는 275mm ~ 355mm까지 공기 압축기(air compressor)를 사용하여 조절 가능하다. 등받이 각도는 지면과의 법선과 등받이가 이루는 각도를 의미한다. 스티어링 휠 앞뒤 위치는 AHP로부터 스티어링 휠 중심까지의 거리를 의미하며, 스티어링 휠 높이는 AHP로부터 스티어링 휠 중심까지의 높이를 의미한다. 스티어링 휠은 tilt와 telescope를 통해 조절되며, 범위는 figure 2와 같다.



Steering wheel setting	Fore-aft steering wheel position (mm)	Steering wheel height (mm)
① Uppermost&foremost	313	765
② Lowermost&foremost	290	719
③ Uppermost&rearmost	382	721
④ Lowermost&rearmost	355	674

Figure 2. Steering-wheel adjustable range

실험에 사용된 초기 설정 유형은 최소, 중간, 최대 유형의 세 가지이다. 시트 앞뒤 위치, 시트 높이, 등받이 각도, 스티어링 휠 높이의 경우, 최소 유형에서 최소값을 갖고, 최대 유형에서 최대값을 갖도록 조절하였으며, 중간 유형은 최소와 최대 유형 위치의 정중앙으로 설정하였다. 스티어링 휠 앞뒤 위치의 경우, 최소 유형에서 제일 뒤로 설정되었으며,

최대 유형에서 제일 앞으로 설정되었다. 시트 쿠션 각도의 경우, 대부분의 피실험자들이 조절하지 않는 것이 예비실험을 통해 확인되었기 때문에 세 유형 모두 중립(neutral)으로 설정하였다.

2.4 Procedure

실험은 크게 준비 단계, 연습 단계, 본 실험 단계의 세 단계로 나누어 진행되었다. 준비단계에서는 피실험자에게 실험의 전반적인 목적, mock-up 및 조절 인자의 특성, 운전자세의 정의, 기타 유의사항 등을 안내하였다.

연습 단계에서는 피실험자가 mock-up에 익숙해질 수 있도록 각종 인자를 조절하고 운전자세를 취하는 연습을 수행하게 하였다.

본 실험 단계는 크게 세 단계로 나누어 진행되었다. 먼저 시트 및 스티어링 휠을 최소, 중간, 최대 유형 중 한 가지로 초기화 하였다. 초기화되는 유형의 순서는 balanced latin square presentation order를 따랐다. 이후, 피실험자는 초기화된 운전석에서 시트 및 스티어링 휠을 조절하고 운전자세를 취하는 작업을 수행하였다. 마지막으로 동작분석 시스템을 사용하여 조절 상태를 측정하였다. 상기 세 단계를 각 유형별로 4번, 총 12번 반복하였다.

3. Results

실험을 통해 얻어진 데이터에 대해 SAS 9.1.3 package를 이용하여 분산분석을 실시하였다($\alpha=0.05$). 유의한 차이를 보인 종속 변수에 대하여 SNK (Student-Newman-Keuls) 검정을 실시하였다($\alpha=0.05$).

시트 및 스티어링 휠의 초기 설정 상태가 해당 인자의 조절 상태에 미치는 영향을 분석한 결과는 table 1과 같다. 모든 인자에서 초기 설정 상태의 유형에 의해 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 시트 앞뒤 위치의 경우 조절 범위의 중간 유형이 가장 큰 값을 보였으며, 시트 높이의 경우 조절 범위의 최소, 중간, 최대 유형 순으로 높게 나타났다. 스티어링 휠 앞뒤 위치는 조절 범위의 최소 유형이 최대 유형에 비해 원점에서 더 멀었으며, 스티어링 휠 높이는 조절 범위의 최소 유형이 최대 유형에 비해 더 낮았다.

Table 1. Result of ANOVA and SNK-test by type of initial setting of component

Measure	p-value	Mean		
		Minimum	Intermediate	Maximum
Fore-aft seat position	<u><0.0001</u>	883.0 (A)	865.5 (B)	880.1 (A)
Seat height	<u><0.0001</u>	279.8 (C)	287.8 (B)	295.0 (A)
Seatback angle	<u>0.0002</u>	13.2 (B)	15.1 (A)	13.8 (B)
Fore-aft S/W position	<u>0.0146</u>	353.5 (A)	351.6 (AB)	347.7 (B)
S/W height	<u>0.0186</u>	690.6 (B)	692.7 (AB)	695.6 (A)

※ Bold with underline indicates significant at $\alpha=0.05$

※ Parentheses containing same letter are not significantly different (SNK test, $\alpha=0.05$)

4. Discussion and conclusion

시트 높이, 스티어링 휠 앞뒤 위치, 스티어링 휠 높이의 경우, 초기 설정에 비례하는 것이 확인되었다. 반면, 시트 앞뒤 위치의 경우 조절 범위의 중간 유형에서 가장 앞으로 조절되었으며, 조절 범위의 최소와 최대에서 동일한 수준으로 조절되었다. 이는 최소 유형 조건의 특성에 기인한다. 최소 유형은 시트 앞뒤 위치는 가장 앞으로, 스티어링 휠 앞뒤 위치는 가장 뒤로 하며, 스티어링 휠 높이를 가장 아래로 정의 되었다. 이처럼 조절할 경우, 시트와 스티어링 휠 사이의 간격이 매우 좁아지게 된다. 따라서, 대부분의 피실험자들이 착석하기 전에 시트를 충분히 뒤로 민 후에 운전석에 착석하여 운전석 조절을 수행하였다. 따라서, 최소 유형에서 시트 앞뒤 위치는 사실상 초기 설정이 최소 유형이 아닌 최대 유형의 의미를 갖게 되었으며, 그 결과 최대 유형과 유의한 차이가 발생하지 않았다.

등받이 각도는 최소와 최대 유형 간의 차이가 없었으며, 중간 유형에서 더욱 크게 나타났다. 이는 실험 조건의 특성에 기인한다고 판단된다. 최소 유형의 경우 등받이 각도가 약 -30° 미만이기 때문에 운전자가 앉을 수 없다. 반대로 최대 유형의 경우 등받이 각도가 약 60° 정도이기 때문에 등받이가 등을 전혀 지지해주지 못한다. 이처럼 최소와 최대 유형에서의 초기 등받이 각도가 극단적이기 때문에, 피실험자들은 등받이를 등을 지지해줄 수 있는 각도로 대략적으로 1차 조절을 한 후, 2차 세부 조절을 통해 최종적으로 원하는 각도를 맞추는 경향을 보였다. 이처럼 최소와 최대 유형 모두 등받이 각도를 대략적으로 조절하는 1차 조절 단계를 거치기 때문에 유의한 차이가 없었다고 판단된다.

또한, 최소와 최대 유형이 중간 유형보다 작게 나타난 것은 등받이 각도 조절 방식의 특성 때문이라 추정된다. 조절 방식의 특성 상 등받이 각도를 점점 증가시키는 방향으로 조절하는 것이 좀 더 용이하며, 따라서 1차 조절 시 등받이를 중간 범위보다 좀 더 작은 각도로 조절을 했을 것이라 추정된다.

이처럼 운전석 조절 인자의 조절 상태가 초기 설정 상태 방향의 편의를 보이는 것은 운전석 조절에 대한 개인내 편차(intra-individual variability)와 관련이 있다. 운전석을 편하게 조절하는 작업을 여러 번 수행할 경우, 운전석의 조절 상태는 한 점이 아닌 영역으로 나타나게 된다(Kim et al., 2013; Park et al., 2012). 또한, 가장 편안하다고 조절한 상태와 동일한 만족도를 보이는 조절 상태 역시 여러 지점으로 나타난다(Kyung et al., 2007). 일반적으로 피실험자들이 초기 설정 상태에서부터 편안한 영역으로 조절해 나가다가 만족 영역에 접했을 때 조절을 멈추기 때문에(figure 3), 초기 설정 방향에 따른 편의가 발생하게 된다고 유추된다. 또한, 그 편이의 크기는 개인내 편차 및 반복성 관련 지표에 비례할 것이다.

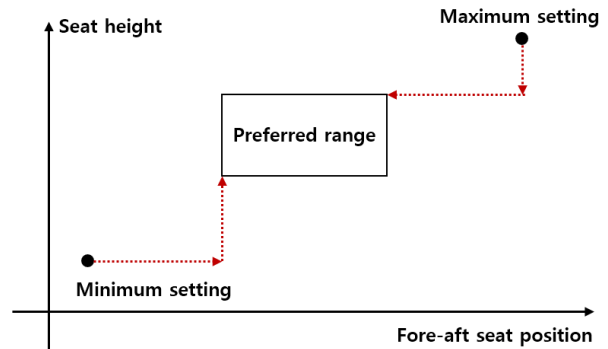


Figure 3. Hypothesis for fore-aft seat position and seat height adjustment mechanism by initial setting

이처럼 운전석 초기 설정 상태가 운전석 조절 및 운전자세에 영향을 미치기 때문에, 초기 설정 상태를 실험 설계에서 충분히 고려하여야 한다. 실험 설계에 반영하는 방식은 기본적으로 초기 설정 유형을 무작위로 제시하는 방법과 초기 설정을 한 가지로 고정하는 방법의 두 가지 방향으로 나누어 볼 수 있다. 초기 설정 유형을 무작위로 제시하는 방식은 편의에 의한 효과를 상쇄시킬 수 있다는 장점이 있다. 하지만 여러 방향의 편의가 혼재되기 때문에 편이의 영향을 파악하기는 어렵다는 단점이 있다.

반면, 초기 설정을 한 가지 유형으로 고정하는 방법의 경우 편의를 한 방향으로 통제할 수 있다는 장점이 있다. 편의를 한 방향으로 통제할 경우, 편이의 영향을 확인하기 용이하기 때문에, 실험 변인

의 영향을 파악하기 상대적으로 수월하다.

초기 설정을 한 가지 유형으로 고정하는 경우, 어떤 유형으로 고정할지에 따른 장단점이 존재한다. 먼저 최소나 최대 유형의 경우, 시트에 대하여 초기 조절 상태 그대로 운전자가 사용하기는 어렵기 때문에 모든 시트 조절 인자를 조절하도록 자연스럽게 유도할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 스티어링 휠이 최소나 최대 유형과 같이 극단값으로 조절되어 있을 경우, 일부 피실험자들(#5, #6, #9, #11, #12, #16)은 스티어링 휠의 위치를 조절 하는 작업을 여러 번 수행할 때 조절 범위 내에서 만족스러운 위치를 찾기 보다는 극단값으로 고정시키는 성향을 보인다(**figure 4**). 이러한 성향은 개인내 편차나 반복성에 대한 연구를 수행할 때 실제보다 더욱 높은 반복성을 보이고 좁은 개인내 편차를 보이게 한다.

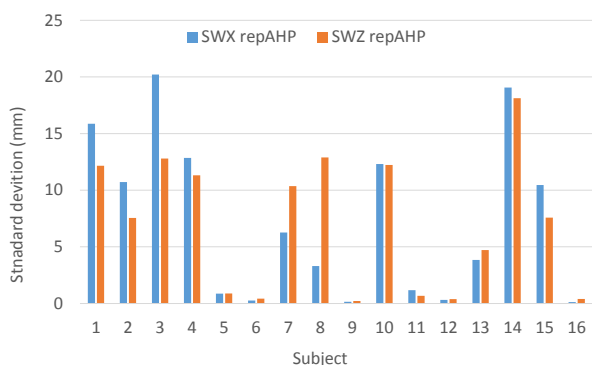


Figure 4. Standard deviation of fore-aft steering wheel position and steering wheel height by subjects

초기 설정을 중간 유형으로 고정하는 경우에는 이와 같은 스티어링 휠 조절에 대한 문제가 발생하지 않는다. 그러나, 중간 유형의 경우 초기 시트 조절 상태가 본인이 만족하는 영역에 포함되거나 가깝기 때문에, 일부 피실험자들은 시트 조절을 전혀 수행하지 않는 성향을 보이기도 한다.

요약하자면 시트 및 스티어링 휠의 초기 설정 상태가 편안한 운전자세를 취하기 위한 시트 및 스티어링 조절에 영향을 준다. 또한 여러 가지 초기 설정 방식 별로 실험 진행 및 결과에 서로 다른 영향을 준다. 따라서, 운전석 **mock-up**에서 운전자세에 대한 연구를 진행할 때에는 다양한 초기 설정 방식이 주는 영향과 그 장단점을 파악하여 연구에 적합한 방식을 취할 필요가 있으며, 본 연구의 결과가 이를 위한 기반 자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

References

- Ait El Menceur, M. O., Pudlo, P., Gorce, P., Thévenon, A., and Lepoutre, F.-X., Alternative movement identification in the automobile ingress and egress for young and elderly population with or without prostheses, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (11-12), 1078-1087, 2008.
- Chateauroux, E. and Wang, X., Car egress analysis of younger and older drivers for motion simulation, *Applied Ergonomics*, 42 (1), 169-177, 2010.
- Jeong, Y. H., Obesity Effects on Preferred Driving Postures and Vehicle Interior Component Settings. Doctoral dissertation, Auburn University, 2011.
- Kim, C., Kim, H., Kang, B., Lee, M., Chung, M. and Hwang, B., Repeatability test of seat and steering wheel adjustment in a coach seating buck, *In Proceedings of 2013 Spring Conference of the Ergonomics society of Korea*, 2013.
- Kyung, G., Nussbaum, M. A. and Babski-Reeves, K., Driver sitting comfort and discomfort (part I): Use of subjective ratings in discriminating car seats and correspondence among ratings. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(5), 516-525, 2008.
- Kyung, G., Nussbaum, M. A., Lee, S., Kim, S. and Baek, K., Sensitivity of preferred driving postures and determination of core seat track ranges. *SAE Technical Paper 2007-01-2471*, 2007.
- Kyung, G., Nussbaum, M. A. and Babski-Reeves, K. L., Enhancing digital driver models: Identification of distinct postural strategies used by drivers. *Ergonomics*, 53(3), 375-384, 2010.
- 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.
- Park, S. J., Kim, C. B., Kim, C. J. and Lee, J. W., Comfortable driving postures for Koreans. *International journal of industrial ergonomics*, 26(4), 489-497, 2000.
- Park, W., Min, C., Perdu, L. and Escobar, C., Quantifying a Vehicle Interior Design's Ability to Accommodate Drivers' Preferences. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 2012*, 2012.
- Porter, J., Case, K., Freer, M. T. and Bonney, M. C., Automotive Ergonomics. Chapter 3. Computer-aided Ergonomics Design of Automobiles. Publication of: Taylor and Francis ltd, 1993.
- Porter, J. M. and Gyi, D. E., Exploring the optimum posture for driver comfort. *International Journal of Vehicle Design*, 19(3), 1998.
- Reed, M. P., Development of a new eyellipse and seating accommodation model for truck and buses, 2005.
- Reed, M. P., Manary, M. A., Flannagan, C. A. and Schneider, L. W., Effects of vehicle interior geometry and anthropometric variables on automobile driving posture. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 42(4), 541-552, 2000.
- Reed, M. P., Manary, M. A., Flannagan, C. A. and Schneider, L. W., A statistical method for predicting automobile driving posture. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 44(4), 557-568, 2002.

SAE, Motor vehicle dimensions – SAE J1100, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc, 2005.

Author listings

Chung Sik Kim: hahapius@postech.ac.kr

Highest degree: B.S, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: PhD candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Universal Design, User Experience, Occupational Biomechanics

Sung H. Han: shan@postech.ac.kr

Highest degree: PhD, Ind. & Sys. Eng. Dept., Virginia Polytechnic Institute & State University

Position title: Professor, Dep. of Ind. Mgmt. & Eng., POSTECH

Areas of interest: Human-Computer Interaction, Usability Engineering, Affective Product/Service Design, Intelligent User Interfaces, User Experience, Context Aware

Min K. Chung: deermin@nrf.re.kr

Highest degree: PhD, Industrial and Operations Engineering, University of Michigan

Position title: President, National Research Foundation of Korea

Areas of interest: Universal Design, Occupational Biomechanics, Applied Statistics and Design of Experiments