

# Development of a Design Factor Quantification Method to Increase a Grip Comfort of Outside Door Handle (ODH)

Baekhee Lee<sup>1</sup>, Seunghoon Lee<sup>1</sup>, Hayoung Jung<sup>1</sup>, Jawon Lee<sup>1</sup>, Teukgyu Choi<sup>2</sup>, Mina Lee<sup>1</sup>, Hogeun Kim<sup>2</sup>, Eunha Kim<sup>1</sup>, Hojun Jeon<sup>3</sup>, Youngbum Cho<sup>4</sup>, Seungwoo Seo<sup>4</sup>, and Heecheon You<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang, 790-784

<sup>2</sup>Product Development Team, Humanopia, Co., Pohang, 790-834

<sup>3</sup>R&D Research Team, SEED Technology, Co., Bucheon, 420-806

<sup>4</sup>Moving Engineering Design Team 1, R&D Division, Hyundai Motor Company, Hwaseong, 445-706

## ABSTRACT

**Objective:** The present study is to evaluate satisfaction of vehicle outside door handles (ODHs) by design factor for improving grip comfort. **Background:** Existing studies have mainly focused on size and/or shape of typical handles (e.g., cylindrical handle); therefore, a specialized research for ergonomic ODH design is needed. **Method:** Satisfaction (operation, shape, height, width, tilting angle, central radius (R), inside upper R, inside middle R, inside lower R, pressure distribution, and overall satisfaction) by design factor (2-level: section width; 3-level: central R, inside upper R, inside middle R, inside lower R, tilting angle, and section height) were analyzed by applying a Taguchi L18 design ( $2^1 \times 3^6$ ). Design levels by design factor were determined referring to 5 existing ODHs. 18 ODHs developed in the study were relatively evaluated comparing with a reference ODH (0 point) through an 11-point bipolar scale (-5: extremely dissatisfaction, 0: no difference, +5: extremely satisfaction) by twenty participants aged 20s ~ 50s. **Results:** Section width and inside upper R were significant on satisfaction of ODH. **Conclusion:** A design guideline for ODH was established considering users' satisfaction. **Application:** The design factor evaluation protocol using Taguchi method applied in the study can be applicable to the other vehicle moving handles (e.g., inside door handle, door trim grip handle, door trim pull handle).

Keywords: Outside door handle, Vehicle door design, Design factor, Grip comfort, Taguchi design

## 1. Introduction

사용자 특성 및 감성을 고려한 moving handle (예: outside door handle)의 인간공학적 설계 필요성이 대두되고 있다. 차량 moving handle은 차량 승·하차 시 차량 문 개폐에 사용되는 handle로서 Figure 1과 같이 차량 외부에 장착된 outside door handle (ODH)과 차량 내부에 장착된 inside door handle (IDH), door trim grip handle (DTGH), door trim pull handle (DTPH)로 구분된다. 차량 문 개폐를 위해 사용되는 moving handle의 grip comfort 향상은 차량의 시장경쟁력을 갖추기 위한 차별화 전략이 될 수 있다.

기존 연구들은 주로 전형적인 handle (예: cylindrical handle)의 크기나 모양에 대한 평가 및 설계를 수행해 왔으나, 차량 moving handle에 특화된 연구는 미흡했다.

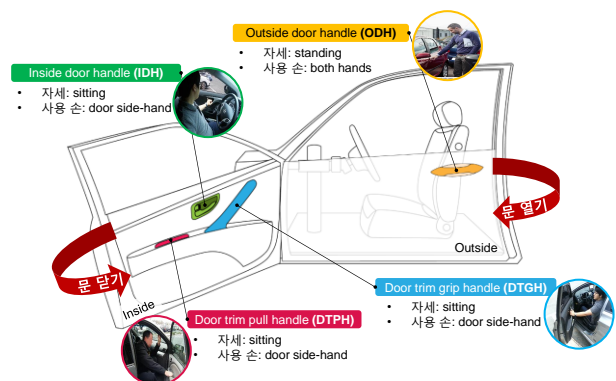


Figure 1. Moving handles for opening and shutting vehicle doors by gripping with the hand

기존 연구들은 cylindrical handle, ellipsoidal handle, customized handle에 대한 지름, 형상, 재질 등에 대하여 주로 grip force, finger force, contact pressure, 또는 satisfaction을 평가해왔다(Aldien et al., 2005; Böhleemann et al., 1994; Cuijpers et al., 2004; Dong et al., 2007; Dusenberry et al., 2009; Eksioğlu, 2004; Grant et al., 1992; Harih and Dolšak, 2014; Herring et al., 2011; Kong and Lowe, 2005; McDowell et al., 2012; Welcome et al., 2004). 예를 들면, McDowell et al. (2012)는 cylindrical handle의 지름이 50 mm일 때보다 30, 40 mm에서 grip force가 유의하게 증가하는 것을 파악하였다. 한편, 차량 moving handle에 대한 연구는 아직까지 미흡한 것으로 조사되어 grip comfort 향상을 위해서는 인간공학적 연구가 필요한 것으로 나타났다.

차량 moving handle에 대한 사용자의 satisfaction을 정량화하여 설계 가이드라인을 수립하면 grip comfort 향상에 기여할 수 있다. Harih and Dolsak (2013)은 handle 평가 시 objective measure나 mathematical model를 사용하면 grip comfort의 예측이 어렵기 때문에 subjective measure의 사용을 권장하였다. Kong et al. (2004)는 double-frustum handle은 30 ~ 45 mm 중 45 mm, oval handle은 30 ~ 37 mm 중 37 mm의 지름에서 satisfaction이 가장 낮은 것을 파악하였다. 차량 moving handle 설계에 사용자의 감성을 효과적으로 반영하기 위해서는 moving handle에 인간공학적 설계 및 평가 방법의 개발과 satisfaction 평가 결과가 반영된 설계 가이드라인의 수립이 필요하다.

본 연구는 차량 outside door handle (ODH)의 최적 grip comfort 구현을 위하여 ODH 설계 인자들에 대한 satisfaction을 평가하고 설계 가이드라인을 제공하였다. 7가지 ODH 설계 인자가 satisfaction에 미치는 효과가 Taguchi design (L18:  $2^1 \times 3^6$ )이 적용되어 분석되었다. 설계된 18조건 ODH의 satisfaction은 H사의 reference ODH와 비교 평가되었다.

## 2. Method

### 2.1 Selection of ODH design factors

ODH 유관 13가지 설계 인자 중 grip comfort에 영향을 미치는 7가지 평가 대상(그립부중앙R, 내측상단R, 내측중앙R, 내측하단R, 측면경사각, 단면높이, 단면폭)이 선정되었다. 본 연구의 ODH 주요 설계 인자는 Figure 2에 나타난 것과 같이 ODH grip 시 손 자세나 접촉영역을 변화시키는 인자들로 선정되었다.

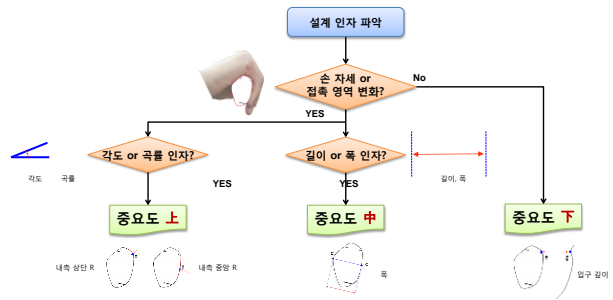


Figure 2. Selection of target design factors considering a grip posture and/or contact area change

Table 1. Design factors of outside door handle (ODH)

설계인자	그립부 중앙 R	내측 상단 R	내측 중앙 R	내측 하단 R	측면 경사	단면 높이	단면 폭
그림							
기준점/선	d: 손접촉부 단축 외측점	e: 손접촉부 내측곡 곡률 전환점	c: 손접촉부 단축 내측점	f: 손접촉부 내측곡 곡률 전환점	A: 그립부 내측곡면 입사선 B: 도어 접촉면 곡선	a: 손접촉부 장축 상측점 b: 손접촉부 단축 하측점	c: 손접촉부 단축 내측점 d: 손접촉부 단축 외측점
비고	그림 시 handle과 손이 접촉하는 영역	손가락 첫째 관절 접촉 부위	손가락 중간 관절 접촉 부위	손가락 끝 관절 접촉 부위	조각 시 미용성을 방지하기 위한 측면부 경사	손가락 첫째 및 끝 관절 접촉부	그림 시 handle 중앙부의 최대 폭 길이

### 2.2 Experimental design

Taguchi method의  $2^1 \times 3^6$  design (L18)이 적용되어 7가지 ODH 설계 인자가 satisfaction에 미치는 효과가 분석되었다. 본 연구의  $2^1 \times 3^6$  design에서는 단면폭이 2수준으로, 나머지 6가지 설계 인자가 3수준으로 설계되었다.

### 2.3 Development of ODH prototypes

설계된  $2^1 \times 3^6$  design (L18)에 따라 7가지 설계 인자 수준이 상이한 18가지 ODH가 CATIA (ver. 5.20)의 parametric modeling을 통하여 Figure 3에 나타난 것과 같은 prototype으로 제작되었다. 설계 인자별 수준은 5종의 ODH를 benchmarking하여 3수준의 경우 최소값, 중앙값, 최대값으로, 2수준의 경우 최소값, 최대값으로 결정되었다.

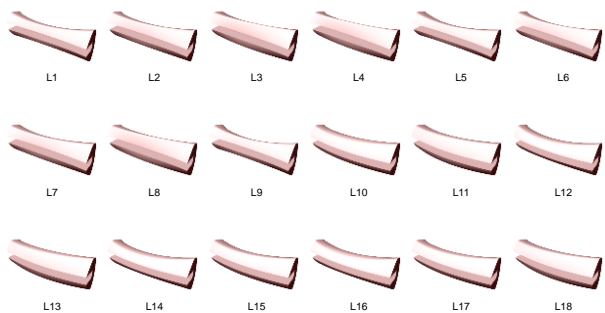


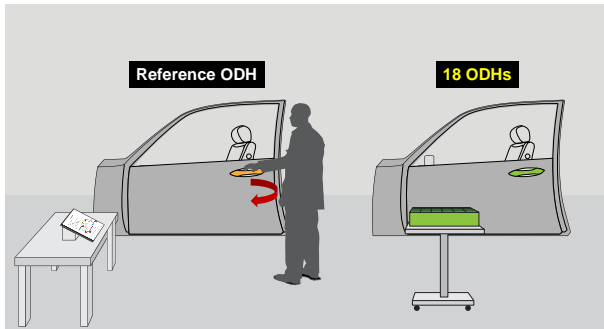
Figure 3. Prototypes of outside door handle (ODH)

## 2.4 Evaluation of ODHs

ODH에 대한 주관적 만족도는 Table 2와 같은 20 ~ 50대 남녀 20명에 의하여 평가되었다. 18가지 ODH는 11-point bipolar scale (-5: 매우많이불편, 0: 차이없음, +5: 매우많이편함)을 사용하여 Figure 4에 나타낸 것과 같이 H사의 reference ODH와 상대적으로 비교 평가되었다. ODH에 대한 주관적 만족도는 ODH를 grip하여 차량 문을 열 때의 조작용이성, 형태적합성, 높이적절성, 폭적절성, 측면부경사각적절성, 그립부중양R적절성, 내측상단R적절성, 내측중양R적절성, 내측하단R적절성, 압력분산적절성, 전반적만족도의 11가지 항목으로 구분되어 평가되었다.

**Table 2.** Age and gender distribution of participants

	20s ~ 30s	40s ~ 50s	Total
Male	5	5	10
Female	5	5	10
Total	10	10	20



**Figure 4.** Outside door handle (ODH) evaluation environment

## 3. Results

ODH의 단면폭과 내측상단R은 최대값에서 만족도가 높은 것으로 나타났다. ODH의 단면폭은 11가지 항목 모두에서, 내측상단R은 4가지 항목(형태적합성, 내측상단R적절성, 내측하단R적절성, 압력분산적절성)에서 benchmarking 범위내 최대값의 만족도가 유의하게 높았다. 한편, H사의 reference ODH보다 10가지 항목 모두 높게 평가된 ODH는 3가지(L11, L15, L18)가 있었다.

## 4. Discussion

본 연구는 차량 ODH에 대한 만족도를 평가하여 설계 인자별 가이드라인을 제공하였다. 본 연구는 ODH 만족도 평가 결과 7가지 ODH 설계 인자(그립부중양R, 내측상단R, 내측중양R, 내측하단R, 측면경사각, 단면높이, 단면폭) 중에서 단면폭과 내측상단R의 값이 클수록 높은 만족도를 제공하는 것을 파악하였다. 파악된 ODH 설계 인자별 최적값은 ODH 설계 가이드라인으로 유용하게 활용될 수 있다.

본 연구의 Taguchi method가 적용된 ODH 만족도 정량화 방법은 다른 종류의 차량 moving handle (예: inside door handle, door trim grip handle, door trip pull handle) 평가 시에도 적용될 수 있다.

## Acknowledgements

The present study was supported by the Hyundai Motor Company & Kia Motors Corporation.

## References

- Aldien, Y., Welcome, D., Rakheja, S., Dong, R., and Boileau, P. E., Contact pressure distribution at hand-handle interface: role of hand forces and handle size. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(3), 267-286, 2005.
- Böhlemann, J., Kluth, K., Kotzbauer, K., and Strasser, H., Ergonomic assessment of handle design by means of electromyography and subjective rating. *Applied Ergonomics*, 25(6), 346-354, 1994.
- Cuijpers, R. H., Smeets, J. B., and Brenner, E., On the relation between object shape and grasping kinematics. *J Neurophysiol*, 91(6), 2598-2606, 2004.
- Dong, H., Loomer, P., Barr, A., LaRoche, C., Young, E., and Rempel, D., The effect of tool handle shape on hand muscle load and pinch force in a simulated dental scaling task. *Applied Ergonomics*, 38(5), 525-531, 2007.
- Dusenberry, D. O., Simpson, H., and DelloRusso, S. J., Effect of handrail shape on graspability. *Applied Ergonomics*, 40(4), 657-669, 2009.
- Eksioglu, M., Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(1), 1-12, 2004.
- Grant, K. A., Habes, D. J., and Steward, L. L., An analysis of handle designs for reducing manual effort: The influence of grip diameter. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10(3), 199-206, 1992.
- Harih, G. and Dolšak, B., Tool-handle design based on a digital human hand model. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43(4), 288-295, 2013.
- Harih, G. and Dolšak, B., Comparison of subjective comfort ratings

between anatomically shaped and cylindrical handles. *Applied Ergonomics*, 45(4), 943-954, 2014.

Herring, S. R., Castillejos, P., and Hallbeck, M. S., User-centered evaluation of handle shape and size and input controls for a neutron detector. *Applied Ergonomics*, 42(6), 919-928, 2011.

Kong, Y.-K. and Lowe, B. D., Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(12), 1073-1084, 2005.

Kong, Y. K., Freivalds, A., and Kim, S. E., Evaluation of handles in a maximum gripping task. *Ergonomics*, 47(12), 1350-1364, 2004.

McDowell, T. W., Wimer, B. M., Welcome, D. E., Warren, C., and Dong, R. G., Effects of handle size and shape on measured grip strength. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(2), 199-205, 2012.

Welcome, D., Rakheja, S., Dong, R., Wu, J. Z., and Schopper, A. W., An investigation on the relationship between grip, push and contact forces applied to a tool handle. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(6), 507-518, 2004.

## Author listings

**Baekhee Lee:** x200won@postech.ac.kr

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

**Position title:** Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Vehicle ergonomic, Clinical ergonomic, Ergonomic product design & development, Digital human modeling & simulation

**Seunghoon Lee:** shoonlee@postech.ac.kr

**Highest degree:** M.S., Mechanical Engineering, Sogang University, 2013

**Position title:** Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Digital human modeling & simulation, User-centered product design & development, Anthropometric and biomechanical methods for product development

**Hayoung Jung:** niceterran36@postech.ac.kr

**Highest degree:** B.S., Industrial & Media Design, Handong Global University

**Position title:** M.S. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Vehicle ergonomic, Ergonomic product design & development, Industrial design, HCI & UX design

**Jawon Lee:** resourcelee@postech.ac.kr

**Position title:** B.S., candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Ergonomic product design & development, Universal design, User-centered interface system

**Teukgyu Choi:** heartily0421@gmail.com

**Position title:** Assistant manager, Product Development Team, Humanopia

**Areas of interest:** Product design & development, Programming, simulation

**Mina Lee:** minari0319@postech.ac.kr

**Highest degree:** B.S., Department of Environmental Engineering, Seowon University

**Position title:** Researcher, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Vehicle ergonomic, Clinical ergonomic, Ergonomic product design & development

**Hogeun Kim:** diverkhk@naver.com

**Position title:** Assistant manager, Product Development Team, Humanopia CO., Ltd

**Areas of interest:** Product design & development, Programming, simulation

**Eunha Kim:** ehkimsky@naver.com

**Highest degree:** M.S., Food & Nutrition, Sookmyung Women's University

**Position title:** Researcher, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Eco design, Green product, Ergonomic design

**Hojun Jeon:** seed@seedtech.co.kr

**Highest degree:** Electronic engineering, Dankook University

**Position title:** CEO, SEED technology Co.,Ltd

**Areas of interest:** Vehicle simulator, Medical engineering, EMG, Human motion, Electronics

**Youngbum Cho:** youngbum97@hyundai.com

**Highest degree:** B.S., Mechanical Engineering, Hanyang University

**Position title:** Senior Research engineer, Moving Engineering Design Team 1, R&D Division, HYUNDAI MOTOR

**Areas of interest:** Vehicle design of mechanism

**Seungwoo Seo:** seungwoo.seo@hyundai.com

**Highest degree:** B.S., Mechanical Engineering, Inha University

**Position title:** Team Leader, Moving Engineering Design Team 1, R&D Division, HYUNDAI MOTOR

**Areas of interest:** Vehicle design of door and closure, organization management

**Heecheon You:** hcyou@postech.ac.kr

**Highest degree:** Ph.D., Industrial Engineering, Pennsylvania State University

**Position title:** Associate Professor, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing