

Master's Thesis

그립감 향상을 위한
인간공학적 차량 Moving Handle 설계 및
평가 방법

Hayoung Jung (정 하 영)

Department of Industrial and Management Engineering

(Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang University of Science and Technology

2016

그립감 향상을 위한
인간공학적 차량 Moving Handle 설계 및
평가 방법

An Ergonomic Vehicle Moving Handle Design
and Evaluation Method for Grip Comfort

An Ergonomic Vehicle Moving Handle Design and Evaluation Method for Grip Comfort

by

Hayoung Jung

Department of Industrial and Management Engineering

(Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang University of Science and Technology

A thesis submitted to the faculty of the Pohang University of Science
and Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree
of Master of Science in the Department of Industrial and Management
Engineering (Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang, Korea

12. 21. 2015

Approved by

Heecheon You (Signature)

Academic Advisor

A handwritten signature in black ink, reading 'Heecheon You', written in a cursive style.

An Ergonomic Vehicle Moving Handle Design and Evaluation Method for Grip Comfort

Hayoung Jung

The undersigned have examined this thesis and hereby certify that it is
worthy of acceptance for a master's degree from POSTECH

12/21/2015

Committee Chair Hee Cheon You



(Seal)

Member Byung In Kim



(Seal)

Member Ki Hyo Jung



(Seal)

DIME 정하영, Hayoung Jung

20142212 An Ergonomic Vehicle Moving Handle Design and Evaluation Method
for Grip Comfort,

그립감 향상을 위한 인간공학적 차량 Moving Handle 설계 및
평가 방법,

Division of Industrial and Management Engineering (Human Factors
and Ergonomics Program), 2016, 78P, Advisor: Heecheon You, Text in
Korean.

ABSTRACT

A vehicle moving handle used for opening car door is important in terms of grip comfort. Grip comfort of moving handle can be improved by design dimension optimization. Previous studies evaluated applied forces, pressures, electromyograms (EMGs), and satisfactions to recognize optimal handle design dimension for muscle load reduce, work efficiency and customer satisfaction improvement. But proposed handle design dimensions based on cylindrical handle cannot be applied to complicated shape of moving handle design. And previous studies measured only objective measures like force, pressure, EMG and overall satisfaction, so that detailed grip comfort on Moving Handle use was not analyzed enough.

The present study is intended to choose important moving handle design dimensions

for grip comfort and analyze optimal size of each design dimension by grip comfort evaluation. The proposed study consists of five steps: (1) understanding design characteristics through design analysis and benchmarking, (2) major design dimension selection and develop experimental design based on Taguchi method, (3) ergonomic moving handle evaluation protocol establishment, (4) develop optimal moving handle design and validation.

First, in design characteristics analysis step, 12 design dimensions of length, angle, and curvature was defined using 8 reference points and 2 reference line with shape of top, front, right, and cross section view. The size and range of each design dimensions was analyzed by benchmarking of 5 vehicles moving handles.

Second, handle height, handle width, and handle side angle, grip part central curvature, inner-upper curvature, inner-middle curvature, inner-lower curvature was selected as major evaluation target design dimensions by the evaluation of design dimension priority according to grip posture and grip area change inducement. To recognize preferred size of selected design dimensions, grip comfort evaluation experiment by mixed-level of Taguchi Design L18 ($2^1 \times 3^6$) was performed.

Third, 20 participants (male: 10, female: 10) with various hand length and width was recruited and grip comfort of developed moving handle was relatively evaluated with specified evaluation measures (easy to control, fitness, length, angle, curvature of propriety, pressure distribution suitability, overall satisfaction) and 11-point bipolar scale (-5: very

unpleasant, 0: no difference, 5: very pleasant) compared to reference moving handle. Handle height and width was significant design dimension to grip comfort. Handle height was preferred as 12.5% at minimum value (26.0 mm, $p < 0.05$) compare to maximum value within the design factor levels, and handle width was preferred as 11.0% at maximum (22.0 mm, $p < 0.05$) value compare to minimum value within the design factor levels. Handle side angle was preferred at maximum value (76.4°), inner-middle curvature was preferred at maximum value (40.0 mm), and grip part central curvature was preferred at mean value (583.9 mm) without significance.

Lastly, optimal moving handle was developed by considering sensitivity and preferred trend of design dimensions and optimization effect was validated. The sensitivity of moving handle design dimensions was analyzed as following order in terms of overall satisfaction: handle width (3.9), handle height (3.5), handle side angle (2.0), inner-upper curvature (1.0), inner-middle curvature (0.8), inner-lower curvature (0.4), grip part central curvature (0.4). The grip comfort of suggested evaluation best ODH and estimation best ODH was 24% ~ 48% higher than reference ODH, so that optimal moving handle design effect was validated. The moving handle design and evaluation method proposed in this study can be applied for optimal handle design to improve grip comfort of grip able handle products.

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT	I
TABLE OF CONTENTS	IV
LIST OF FIGURES.....	VI
LIST OF TABLES	VIII
I. Introduction.....	9
1.1. Research Background.....	9
1.2. Objectives of the Study	15
1.3. Organization of the Thesis	17
II. Literature review.....	18
2.1. Anatomy of the Hand	20
2.1.1. Bones and Joints of the Hand	20
2.1.2. Muscles of the Hand	22
2.1.3. Functional Anatomy of the Hand.....	25
2.2. Ergonomic Evaluation Method of Hand Tools.....	27
2.2.1. Evaluation Protocols of Hand Tools	27
2.2.2. Experimental Design of Hand Tools.....	28
III. Design Analysis of Moving Handle.....	30
3.1. Geometrical Dimensions of Moving Handle.....	30
3.2. Ergonomic Priority Evaluation of Moving Handle Dimensions	35
3.3. Moving Handle Design Characteristics Benchmarking	37
IV. Grip Comfort Evaluation of Moving Handle Designs.....	39
4.1. Methods.....	39

4.1.1.	Participants	39
4.1.2.	Apparatus.....	39
4.1.3.	Measure and Task	42
4.1.4.	Experimental Design	44
4.1.5.	Statistical Analysis.....	48
4.2.	Results.....	48
V.	Design Optimization of Moving Handle	57
5.1.	Development of an Optimized Moving Handle	57
5.1.1.	Sensitivity Analysis of Design Factors	57
5.1.2.	Shape Optimization of Moving Handle	59
5.2.	Validation of the Optimized Moving Handle	61
5.2.1.	Methods	61
5.2.2.	Results	63
VI.	Discussion.....	67
6.1.	Design Analysis Method	67
6.2.	Moving Handle Evaluation Method.....	68
6.3.	Sensitivity Analysis Method.....	70
6.4.	Optimization Method	70
REFERENCES	73
Acknowledgements	75
Curriculum Vitae	77

LIST OF FIGURES

Figure I.1. 차량 moving handle 종류	10
Figure I.2. Dong et al. (2007)과 Herring et al. (2011) 연구의 평가 대상 handles	11
Figure I.3. 차량 moving handle의 최적 설계 연구 절차.....	16
Figure II.1. Handle 연구 문헌 선별 절차.....	18
Figure II.2. 손의 뼈 및 관절	22
Figure II.3. 손의 굴근 및 외전근	23
Figure II.4. 손의 신전근	24
Figure II.5. 손가락의 외전근	24
Figure II.6. 손의 grip 유형들.....	26
Figure III.1. SAE vehicle coordination system	30
Figure III.2. Moving handle 기준점 및 기준선 선정 결과: ODH의 예.....	31
Figure III.3. 설계특성별 moving handle design dimension의 종류	35
Figure III.4. Moving handle design dimension 중요도 평가 방법: ODH의 예.....	36
Figure III.5. Moving handle benchmarking 대상 차량.....	37
Figure III.6. Moving handle benchmarking 절차.....	38
Figure IV.1. Moving handle 평가 실험 환경.....	40
Figure IV.2. Moving handle Adapter 제작: ODH의 예	40
Figure IV.3. Moving handle 평가항목 제시화면: ODH 높이 적절성의 예	41
Figure IV.4. Moving handle 평가 항목 세분화 절차.....	43

Figure IV.5. Moving handle grip comfort 평가 실험 절차.....	45
Figure IV.6. 손 크기 측정 도구 및 방법	47
Figure IV.7. Outside door handle (ODH) 18종 설계조합별 만족도비 분석 결과	53
Figure IV.8. Moving handle 설계 guideline: ODH의 예	55
Figure V.1. Moving handle 최적 설계 조건 선정 방법 및 결과	59
Figure V.2. ODH 최적 설계 효과 검증 결과.....	63

LIST OF TABLES

Table I.1. Handle의 인간공학적 연구 동향.....	14
Table II.1. Handle 연구 문헌 조사 핵심어	19
Table II.2. Handle 연구 문헌 조사 결과	19
Table III.1. Moving handle design dimension 선정 결과: ODH의 예	32
Table III.2. Moving handle design dimension 정의: ODH의 예	33
Table IV.1. Moving handle의 인간공학적 grip comfort 평가 항목	42
Table IV.2. Moving handle design dimensions benchmarking 결과 및 설계 수준	44
Table IV.3. Taguchi experimental design (L18).....	46
Table IV.4. Design dimension별 grip comfort 평가 ANOVA 결과	49
Table IV.5. Moving handle design dimension 설계수준별 선호 경향	50
Table IV.6. Outside door handle (ODH) 18종 설계조합별 만족도 평가 결과	52
Table V.1. Moving handle design dimension별 중요도 분석 결과.....	58
Table V.2. Taguchi method를 이용한 moving handle 만족도 추정 결과.....	60
Table V.3. 검증평가 대상 ODH 설계 치수	62
Table V.4. 평가 우수 및 추정 우수 ODH 검증 평가 결과.....	66

I. Introduction

1.1. Research Background

차량 moving handle은 승하차 시 문 개폐에 사용되는 handle로서 심미성, 사용 편의성, 사용자 감성 측면에서 중요한 제품으로 인간공학적 설계 중요성이 강조되고 있다. 차량 moving handle은 그 종류로서 Figure 1-1과 같이 차량 외부의 outside door handle (ODH), 차량 내부의 inside door handle (IDH), door trim grip handle (DTGH), 그리고 door trim pull handle (DTPH)등이 있다. 차량 외부 표면에 돌출된 형상으로 설계되는 ODH는 차량 exterior의 design identity를 반영하는 제품으로 형상, 재질, 색상 등의 design feature는 심미적 측면에서 중요한 요소로 평가된다. Moving handle의 설계 형상은 승하차 시 발생하는 작용 힘, 압력 분포, 동작 효율성, 사용자 만족감 등의 사용 편의성에 영향을 줄 수 있으며(Blackwell, Kornats, & Heath, 1999; Grant, Habes, & Steward, 1992; Yakou, Yamamoto, Koyama, & Hyodo, 1997) 다양한 사용자의 감성을 유도할 수 있다(Herring, Castillejos, & Hallbeck, 2011). 제품 사용시 발생하는 긍정적 사용자 감성은 사용자 만족도와 제품 시장경쟁력 향상에 기여할 수 있으므로(Kim & Nam, 1999) 운전자의 긍정적 사용자 감성 유도, 사용 편의성 향상을 위한 차량 moving handle의 인간공학적 설계가 필요하다.

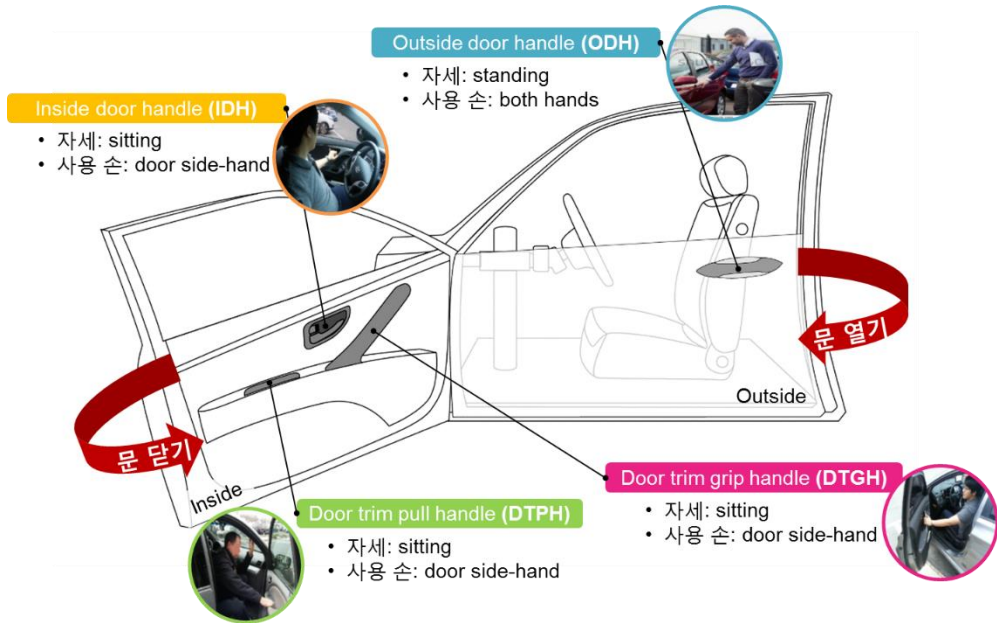
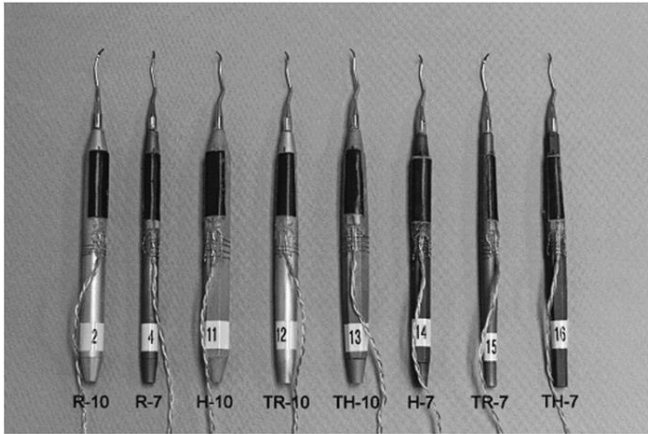


Figure I.1. 차량 moving handle 종류

Handle의 최적 design dimension은 인간공학적 평가를 통하여 규명될 수 있으며, 최적화된 design dimension은 사용 편의성 및 사용 만족도의 향상에 유의한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. Dong et al. (2007)은 치과의사와 치위생사들의 손목 터널 증후군 발병률 감소와 사용 편의성 및 작업 효율 증진을 위해 다양한 shape (4수준) 및 diameter (2수준)의 scaling instrument handle들을 평가하여 최적 handle dimension을 규명하였다. Herring et al. (2011)은 Neutron detector handle 사용편의성 개선을 위해 shape (8수준)과 perimeter (3수준)가 다양한 8가지 handle에 대하여 선호도가 높은 handle 규명을 위한 평가 protocol 수립 및 적용하여 최적 handle shape 및 perimeter를 규명 하였다.



(a) Dong et al. (2007)

Handle	Shape	Height width ratio	Shape
C	Circular with two flat sides	01:01.3	
A	Circular with flat side	01:01.3	
D	Square	01:01.3	
E	Rectangular	01:01.0	
B	Triangular	-	
F	Rectangular	01:01.5	
G	Rectangular	01:01.8	
H	Rectangular	01:02.0	

(b) Herring et al. (2011)

Figure I.2. Dong et al. (2007)과 Herring et al. (2011) 연구의 평가 대상 handles

기존 handle 관련 연구들은 주로 작업 효율 향상, 인체부하 감소 및 사용 만족도 향상을 목적으로 force, electromyogram (EMG), satisfaction를 평가하여 handle 최적 형상 및 크기를 규명하였다. Welcome, Rakheja, Dong, Wu, and Schopper (2004) 과 Aldien, Welcome, Rakheja, Dong, and Boileau (2005)는 근골격계 질환 예방을 위해 cylindrical handle의 diameter에 따라 handle 및 force plate에 작용하는 grip force, push force, contact pressure 등을 규명하였으며 30 mm 또는 40 mm의 handle에서 가장 높은 contact force가 발생하는 것을 파악하였다. Grant et al. (1992)은 과도한 힘 발생으로 인한 인체 손상을 방지하기 위해 grip strength 및 muscular effort에 대한 cylindrical handle diameter의 영향을 평가하였으며, handle diameter의 영향은 grip strength 및 muscular effort에 유의하며

handle diameter가 사용자의 inside grip diameter보다 작을 때 인체부하가 감소한다고 보고하였다. Blackwell et al. (1999)은 작업 효율을 높이고 인체 부하를 감소시키는 handle 설계를 위해 handle circumference의 EMG 및 grip force에 대한 영향을 분석하였으며, handle circumference 130 mm 및 160 mm에서 근육 부하가 최소화되고 최대 grip force가 발생하는 것을 파악하였다. 또한 Y. K. Kong, Freivalds, and Kim (2004)은 hand tool의 작업 효율 향상을 위해 handle 형상에 따른 손가락 작용 힘, 주관적 만족도를 규명하였으며, 작은 handle diameter (30 mm, 37 mm > 45 mm)에서 만족도가 높게 파악되었다고 밝혔다.

인간공학적 handle design dimension 규명을 위한 다양한 연구가 수행되고 있으나 복잡한 형상의 handle에 대하여 사용자 감성을 고려한 handle design 연구는 미흡한 실정이다. 기존 연구에서 규명된 handle의 dimension은 cylindrical handle과 같은 단순한 형태의 핸들에 대하여 주로 연구되어 기존의 연구 결과를 moving handle과 같이 복잡한 형상의 handle 설계에 적용하기 어려우며, 주로 handle diameter 및 circumference를 design dimension으로 선정하여 3가지 이상의 design dimension의 조합을 통한 복합적인 설계 효과에 대한 규명은 부족하였다. 또한 기존 handle 평가 protocol은 grip force 및 pressure, EMG와 같은 객관적 평가에 집중되어 있거나 handle의 전반적인 선호도만을 파악하여 handle 사용시 발생하는 세부적인 사용자의 감성을 규명하기 어렵고 사용자 감성과 관련된 설계 특성 확인은 미흡하였다. (Aldien et al., 2005; Blackwell et al., 1999;

Dong et al., 2007; Grant et al., 1992; Harih & Dolsak, 2014a, 2014b; Herring et al., 2011; Jung & Jung, 2010; Y.-K. Kong & Lowe, 2005; Y. K. Kong et al., 2004; Mahmut, 2004; McDowell, Wimer, Welcome, Warren, & Dong, 2012; McGorry, Maikala, Lin, & Rivard, 2009; Seo, Armstrong, Ashton-Miller, & Chaffin, 2007; Welcome et al., 2004; Yakou et al., 1997).

Table I.1. Handle의 인간공학적 연구 동향

No.	Authors	Year	Measures		
			Force	EMG	Satisfaction
1	Aldien et al.	2005	Contact pressure, peak pressure	-	-
2	Dong et al.	2007	Thumb pinch force	FDS, FPL, EDC, ECR	6-point (0-5)
3	Eksioglu et al.	2004	Maximum voluntary isometric grip force (MVGf)	-	5-point (1-5), bipolar (1, 3, 5, 3, 1)
4	Grant et al.	1992	Maximum grip strength	Right forearm (flexor, extensor)	-
5	Harih and Dolšak	2014	-	-	7-point
6	Herring et al.	2011	-	-	2-point (0, 1)
7	Kong and Lowe	2005	Finger force, toque	FDS, ED	7-point
8	McDowell et al.	2012	Force ratio (measured / baseline), grip force	-	-
9	Welcome et al.	2004	Grip force, push force, contact pressure	-	-
10	Böhlemann et al.	1994	-	DPA, FCR, ED, FCUD, FCUS	4-point, bipolar
11	Harih and Dolšak	2013	-	-	7-point
12	Harih and Dolšak	2014	Contact pressure	-	-
13	McGorry et al.	2009	Grip force	-	-
14	Blackwell et al.	1909	Grip force	FDS	-
15	Kong et al.	2004	Finger force, phalange force	-	7-point
16	Seo et al.	2007	Grip force, total normal force, fingertip force, thumb force	-	-

1.2. Objectives of the Study

본 연구는 차량 moving handle의 그립감 향상을 위해 (1) design analysis 및 benchmarking을 통한 설계 특성 파악, (2) 주요 design dimension 선정 및 Taguchi method 기반 실험 디자인, (3) 인간공학적 moving handle 평가 protocol 정립, (4) moving handle 최적 설계 개발 및 효과 검증의 네 가지 목표를 가진다. 첫째, 본 연구는 moving handle의 그립감에 주요한 영향을 미치는 design dimension을 정립하기 위하여 둘레길이, 폭/너비, 각도, 곡률 측면의 design dimension들을 파악하고 양산 차량의 moving handle을 benchmarking 하여 moving handle 설계 특성을 파악한다. 둘째, 본 연구는 파악된 design dimension들의 중요도 평가를 수행하여 평가 대상 design dimension을 정립하고 다양한 design dimension 및 설계 수준을 고려한 grip comfort 평가를 수행하기 위하여 Taguchi design (L18: 21 × 36)을 적용하여 설계 수준을 선정하고 실험을 설계한다. 셋째, 본 연구는 moving handle 사용시 발생하는 다양한 사용자 감성을 체계적으로 평가하기 위하여 grip comfort 평가에 최적화된 평가 항목 선정, 평가 척도 선정 및 평가 장비 개발을 통하여 인간공학적 차량 moving handle 평가 protocol을 정립한다. 차량 ODH의 design dimension별 grip comfort 평가는 성인 남녀 20명을 대상으로 (1) controllability, (2) shape (length, angle, and curvature), 그리고 (3) overall satisfaction 측면의 11가지 평가 항목에 대하여 11-point bipolar scale을 이용하여 기준 차량 moving handle에 대하여 평가 대상 moving handle 시료 18종을 상대적으로

평가한다. 마지막으로, 본 연구는 주관적 만족도 평가 결과를 기반으로 파악된 만족도 design dimension별 최적 설계 수준을 적용하여 moving handle의 최적 설계를 개발하고 설계 효과를 검증한다. 본 연구는 grip comfort 향상에 통계적으로 유의한 design dimension 및 설계 수준을 규명하고 design dimension별 중요도를 파악하여 moving handle의 최적 설계 수준을 규명한다. 본 연구결과의

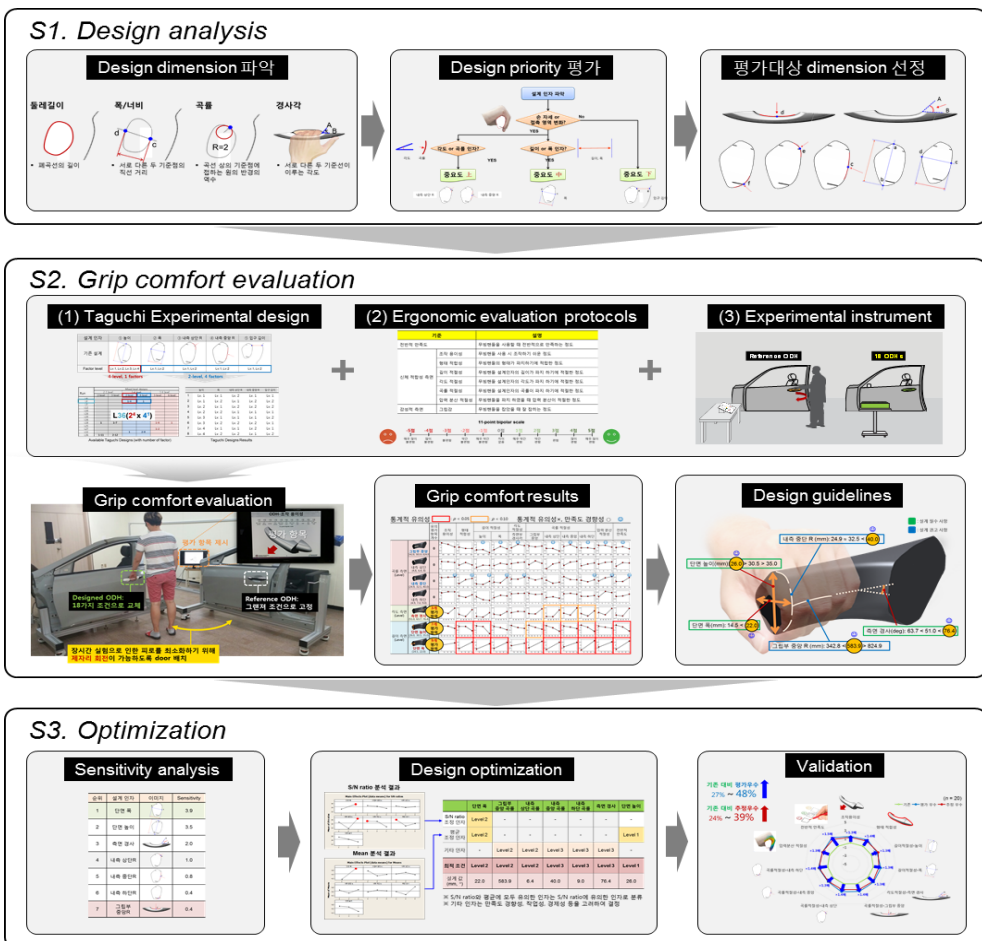


Figure I.3. 차량 moving handle의 최적 설계 연구 절차

검증은 평가 우수, 추정 우수, 기준 차량 moving handle을 대상으로 본 연구에서 정립된 평가 방법을 이용하여 성인 남녀 20명을 대상으로 수행한다.

1.3. Organization of the Thesis

본 논문은 7개의 장으로 구성되어 있다. 제 1장은 연구의 배경 및 필요성, 연구 목적 등의 전반적인 연구 개요를 서술하고 있으며, 제 2장은 기존 문헌을 참고하여 손의 해부학적 구조 및 기능을 파악하고, Web 기반 문헌 조사를 통하여 handle의 최적 설계를 위한 기존의 연구 방법 및 동향을 서술하고 있다. 제 3장은 moving handle design의 설계 특성 분석 방법을 기술하고 있으며, 제 4장은 그립감 향상을 위한 차량 moving handle 평가 방법과 ODH의 설계인자별 설계 수준의 평가 결과를 기술하고 있다. 제 5장은 3장과 4장에서 분석된 결과를 기반으로 moving handle의 최적 설계를 제안하고, grip comfort가 개선된 ODH의 검증평가를 통하여 본 연구 내용의 효용성을 검증한다. 제 6장은 제 3장과 제 4장에서 제안된 moving handle 평가 방법 및 선호 설계 분석 결과에 대한 본 연구의 의의 및 한계에 대한 토의 내용을 서술하고 있으며 제 7장은 본 연구의 결론 및 추후 연구에 대하여 서술하고 있다. 마지막 부록은 각 장에서 기술된 구체적인 분석 내용 및 정보를 제시하고 있다.

II. Literature review

본 장에서는 (1) 손의 해부학적 구조 및 기능에 대하여 기술하고 (2) handle 평가 방법 및 최적 설계의 연구 동향을 정리하고 한계점을 파악하였다. 손의 해부학적 구조 및 기능은 Functional Anatomy of the Limbs and Back (David B. Jenkins, 2002)을 참고하여 기술하였으며, 문헌 조사는 Keyword 선별, Title screening, Abstract screening, 입수 문헌의 관련도 평가, 최종 review 대상 문헌 선별의 5가지 단계를 통하여 수행되었다. Table 2-1에 정리된 주요 핵심어(Keywords)를 조합하여 문헌 검색 사이트인 Scopus (www.scopus.com)에서 검색한 결과, 184건의 논문이 검색되었고 title과 abstract를 검토하여 최종적으로 Table 2-2와 같이 20편의 연구가 선정되었다.

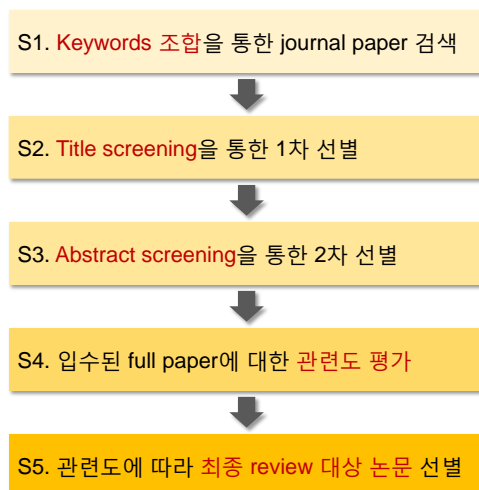


Figure II.1. Handle 연구 문헌 선별 절차

Table II.1. Handle 연구 문헌 조사 핵심어

구분	Keywords
Domain	Handle, hand, grip
Design dimensions	Size, span, grip span, diameter, shape

* 검색 조건: title, abstract, keyword 위주로 검색

** 검색 분야: Ergonomics, biomechanics 분야의 journal paper

Table II.2. Handle 연구 문헌 조사 결과

No.	Authors	Year	Title	Source
1	Aldien et al.	2005	Contact pressure distribution at hand-handle interface: role of hand forces and handle size	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
2	Dong et al.	2007	The effect of tool handle shape on hand muscle load and pinch force in a simulated dental scaling task	<i>Applied Ergonomics</i>
3	Eksioglu et al.	2004	Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
4	Grant et al.	1992	An analysis of handle designs for reducing manual effort: The influence of grip diameter	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
5	Harih and Dolšak	2014	Comparison of subjective comfort ratings between anatomically shaped and cylindrical handles	<i>Applied Ergonomics</i>
6	Herring et al.	2011	User-centered evaluation of handle shape and size and input controls for a neutron detector	<i>Applied Ergonomics</i>
7	Kong and Lowe	2005	Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
8	Kong and Lowe	2005	Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
9	McDowell et al.	2012	Effects of handle size and shape on measured grip strength	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
10	Welcome et al.	2004	An investigation on the relationship between grip, push and contact forces applied to a tool handle	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
11	Cuijpers et al.	2004	On the Relation Between Object Shape and Grasping Kinematics	<i>Journal of Neurophysiology</i>
12	Böhlemann et al.	1994	Ergonomic assessment of handle design by means of electromyography and subjective rating	<i>Applied Ergonomics</i>

13	Dusenberry et al.	2009	Effect of handrail shape on graspability	<i>Applied Ergonomics</i>
14	Etherton et al.	1996	Handtool-task strength comparison between younger and older tractor operators using adjustable rollover protective structures	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
15	Horsfall et al.	2005	The effect of knife handle shape on stabbing performance	<i>Applied Ergonomics</i>
16	Harih and Dolšak	2013	Tool-handle design based on a digital human hand model	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
17	Harih and Dolšak	2014	Recommendations for tool-handle material choice based on finite element analysis	<i>Applied Ergonomics</i>
18	McGorry et al.	2009	Oxygenation kinetics of forearm muscles as a function of handle diameter during a repetitive power grip force task	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>
19	Blackwell et al.	1999	Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis	<i>Applied Ergonomics</i>
20	Kong et al	2004	Evaluation of handles in a maximum gripping task	<i>Ergonomics</i>

2.1. Anatomy of the Hand

손은 뼈, 인대, 근육, 힘줄, 혈관 등으로 구성되며 해부학적으로 복잡한 구조를 가지고 있다. 본 장에서는 손의 근골격계 구조와 grip와 관련된 손의 기능 및 구조에 대하여 설명한다.

2.1.1. Bones and Joints of the Hand

손은 27개의 뼈(14개의 지절골, 5개의 중수골 및 8개의 수근골)와 8개의 관절(원위 요척관절, 요골수근관절, 수근골간관절, 수근중앙관절, 수근중수관절, 수근간관절, 수근중앙관절 및 지절간관절)로 구성되어 있다. (Figure 2-2.) 지절골(phalanges)은 손가락을 구성하는 뼈로 말절(distal), 중절(middle),

기절(proximal)로 구성되어 있다. 중수골(metachapal)은 손바닥을 구성하는 뼈로 지절골 및 수근골과 연결되어 있다. 수근골은 손목을 구성하는 뼈로 8개의 수근골이 근위열 및 원위열의 두줄로 배열되어 있다. 근위열의 3개의 큰 골은 외측에서 시작하여 주상골(scaphoid), 월상골(lunate) 및 삼각골(triqueterum)으로 구성되어 있으며 두상골(pisiform)은 삼각골의 수장면 위에 위치하고 있다. 원위열은 외측에서 내측으로 대능형골(trapezium), 소능형골(trapezoid), 유두골(capitate) 및 유구골(hamate)로 구성된다. 원위요척관절(distal radioulnar joint)은 회내 및 회외 운동을 가능하게 하는 요골 및 척골 사이의 차축관절(trochoid or pivot joint)이며 L자형의 특징을 가진다. 요골수근관절(radiocarpal joint)은 요골위 관절면과 주상골, 월상골 및 삼각골 사이에 형성된 관절이다. 수근간관절(intercarpal joint)과 수근중앙관절(midcarpal joint)은 수근골 근위열의 각 골 사이 및 원위열의 각 골 사이에 위치한 관절이다. 수근중수관절(carpometacarpal joints) 독립된 관절장을 갖는 안상관절이며 제 1중수골은 외전, 내전, 굴곡, 신전 및 회전 운동이 가능하다. 중수지절관절(Metacarpophalangeal joints)는 굴곡, 신전운동 등에 관여하는 관절이다. 지절간관절(interphalangeal joint)은 중수지절관절과 달리 경첩관절(hinge joint)이며 굴곡과 신전만이 가능한 관절이다.

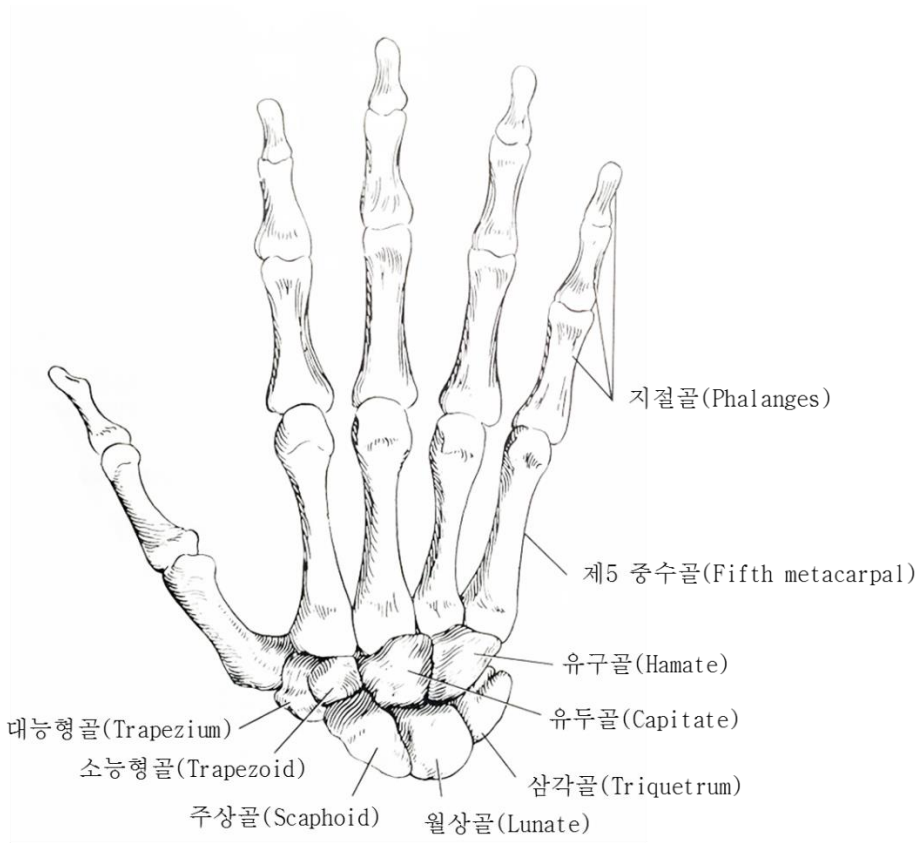


Figure II.2. 손의 뼈 및 관절

2.1.2. Muscles of the Hand

내측 4개의 손가락의 굴곡 운동은 심지굴근, 천지굴근 및 수장부의 근육들에 의하여 발생한다. 심지굴근(*flexor digitorum profundus*)은 원위지절간관절의 굴곡에 관여하며, 천지굴근(*flexor digitorum superficialis*)은 근위지절간관절의 굴곡에 주로 관여하며, 중수지절관절의 굴곡운동에도 도움을 준다. 수장부의 근육 중 골간근(*interosseous*)은 중수지절관절의 주요한 굴곡근으로 작용하며, 긴

굴곡근들은 손을 힘껏 쥐는데 필요하며 손목을 신전시킨 상태에서 역학적 효율이 좋다. 손가락의 신전은 2개조의 근육의 협력에 의해서 이루어지며 지신근(extensor digitorum)과 충양근(lumbrical) 및 골간근(interosseous)이 손가락의 신전에 관여한다. 손가락의 외전운동은 배측 골간근 및 무지와 소지의 외전근들에 의해 발생하며, 내전운동은 장측 골간근 및 무지의 내전근에 의해 일어난다.

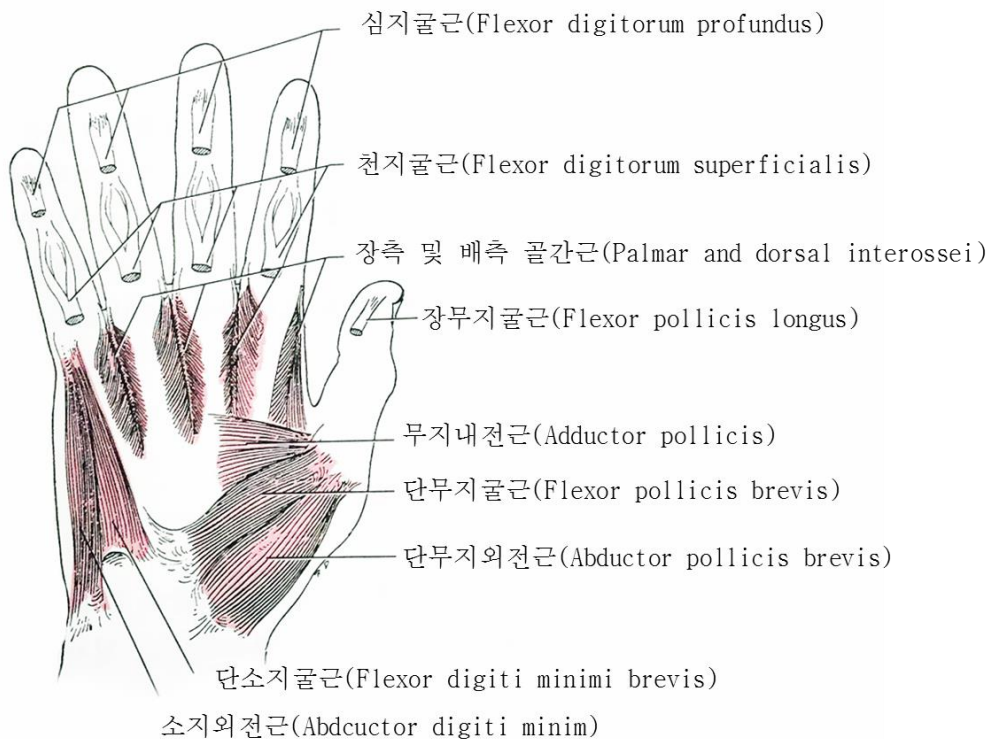


Figure II.3. 손의 굴근 및 외전근

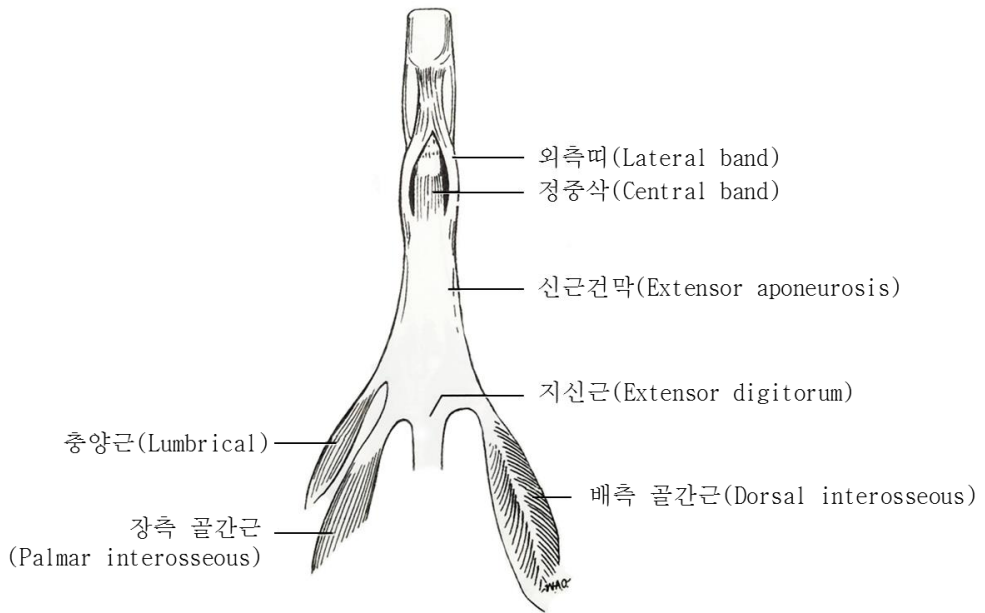


Figure II.4. 손의 신전근

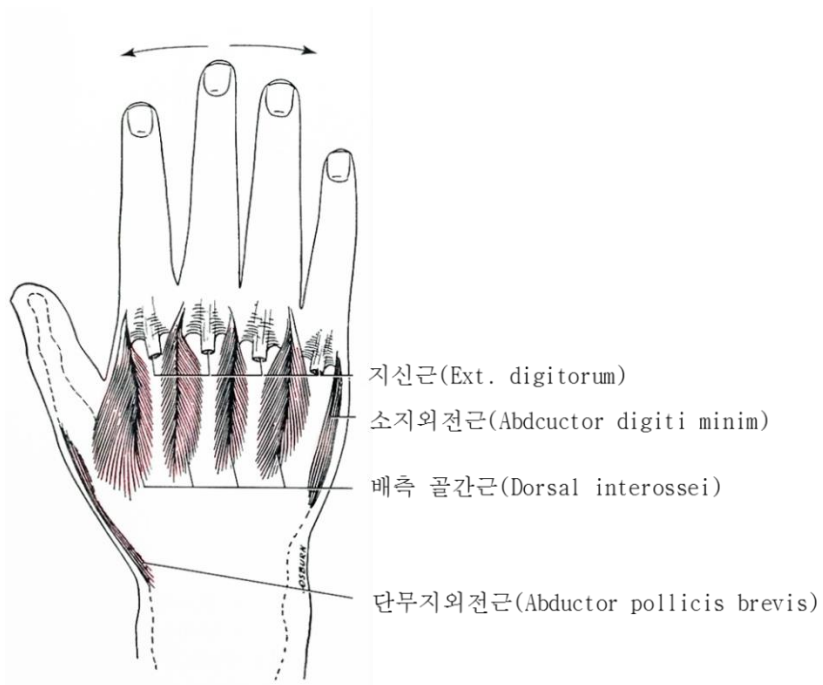
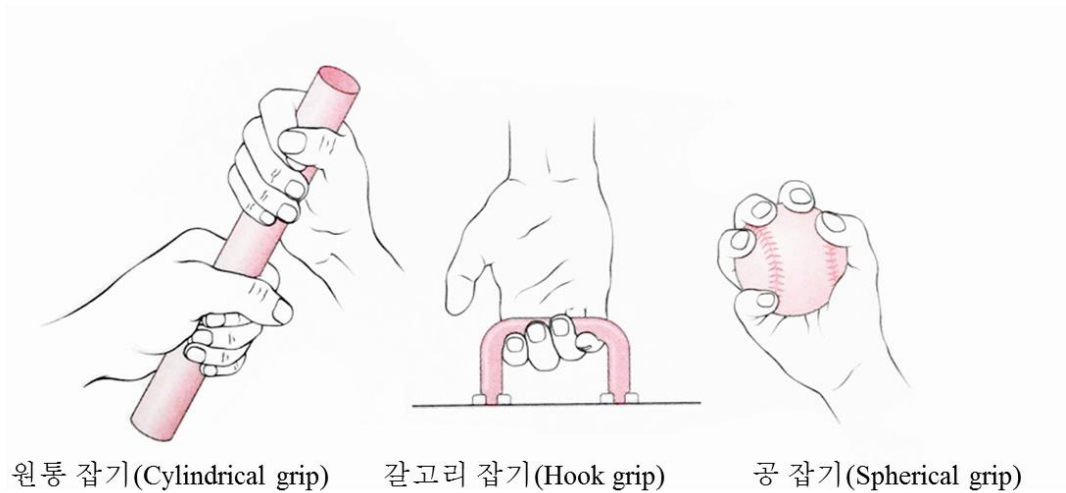


Figure II.5. 손가락의 외전근

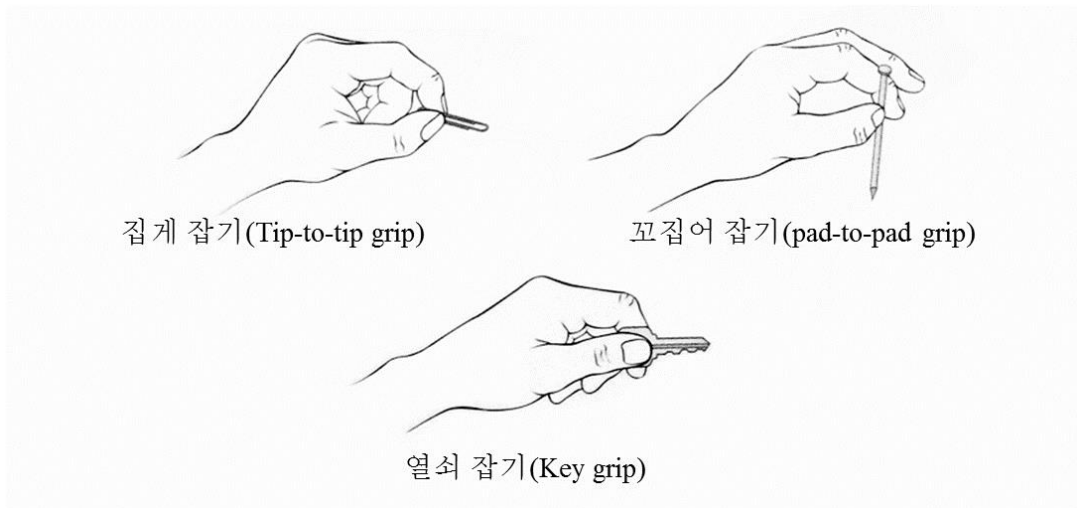
2.1.3. Functional Anatomy of the Hand

강하게 잡기(power grips)는 손가락과 엄지들이 모두 포함되어 물체를 잡는 동작으로 빗자루의 손잡이나 운전대 혹은 테니스 라켓을 잡는 원통잡기(cylindrical grip), 가방이나 수대를 운반할 때 사용되는 갈고리 잡기(hook grip), 야구공이나 오렌지 등을 잡을 때 강하게 잡는 공 잡기(spherical or ball grip)이 있다. 원통잡기에서는 손가락들이 손잡이 주위에서 단단히 굴곡되는데 굴곡과 회전은 내측 손가락에서 더 많이 발생한다. 엄지는 가장 강하게 움켜잡기 위해 손가락들 위에 겹치거나 손잡이의 길이를 따라 놓게 된다. 원통잡기에서는 잡는 물체와 전완의 장축이 일직선으로 정렬될 수 있도록 수부는 수근관절에서 내전이 되는 특징을 가진다. 갈고리 잡기의 경우 손가락들은 긴 굴곡근들의 수축에 의해 지절간관절들에서 굴곡되고 중수지절관절들은 신전된 채로 유지된다. 엄지와 손바닥은 갈고리 잡기의 경우에는 작용하지 않는다. 공잡기에서는 손가락과 엄지의 중수지절관절과 지절간관절이 굴곡되고 손가락이 외전되어 물건을 잘 감싸도록 한다. 섬세한 잡기(precision grips)는 좀더 작은 힘이 사용되지만 근육의 작용 측면은 더 복잡하고 정교한 작용이 이루어진다. 섬세한 잡기는 엄지와 손가락의 끝으로 물건을 잡는 끝과 끝으로 잡기(집게잡기, tip-to-tip grip or pinch grip), 엄지의 볼(pad, pulp)과 인지 또는 중지의 볼이 대립되어 잡는 볼과 볼로 잡기(꼬집어 잡기, pad-to-pad grip or pinch grip), 그리고 무지의 볼과 인지의 요측면으로 잡는

볼과 측면으로 잡기(열쇠 잡기, pad-to-slide grip for key grip)의 종류가 있다.



(a) Power grip



(b) Precision grip

Figure II.6. 손의 grip 유형들

2.2. Ergonomic Evaluation Method of Hand Tools

2.2.1. Evaluation Protocols of Hand Tools

Handle의 평가시 시 작용 힘, 압력, 인체 부하, 주관적 만족도의 평가항목들이 활용되어 최적 handle diameter가 결정 될 수 있다. Welcome et al. (2004)와 Aldien et al. (2005)는 handle에 작용하는 힘과 압력분산 정도를 grip force, push force, 그리고 contact force로 구분하여 평가하였으며, 3가지 수준의 handle diameter(30 mm, 40 mm, 48 mm) 중 상대적으로 크기가 작은 handle diameter (30, 40 mm > 48 mm)에서 최대 힘이 발생하고 압력이 더 높게 분산되는 것을 파악하였다. Eksioglu et al. (2004)는 개인의 손 크기별 상대적인 최적 handle diameter 파악을 위해 자발적 최대 힘(maximum voluntary isometric grip force), 근육 효율성(muscle efficiency, %MVC), 그리고 주관적 만족도의 측정을 수행하였으며, 사용자의 thumb crotch length (TCL) 보다 20 ~ 25 mm 작은 handle diameter에서 grip force, 근육 효율성, 주관적 만족도가 가장 높게 파악된다고 보고하였다. 한편 Harring et al. (2011)과 Kong et al. (2004)은 다양한 handle 크기 및 형상에 대하여 주관적 만족도를 평가하여 각각 36 mm, 35 mm의 handle diameter에서 가장 주관적 만족도가 높게 평가되는 것을 확인하였다. 또한 Harih and Dolsak (2014)은 hand tool의 optimum shape 도출을 목표로 anatomical handle과 cylindrical handle에 대한 만족도 비교를 위하여 17가지의 주관적 만족도 평가 항목을 제안하였으며, 형태 적합성(fits the hand), 기능성(is functional), 힘전달 효율성(has a good force and

movement transmission), 고품질성(is a high quality handle), 그립감(offers nice grip feeling), 수행 효율성(offers a high task performance) 등의 측면에서 anatomical handle이 더 선호되는 것을 파악하였다.

손 크기가 다양한 실험참여자들을 3가지 그룹으로(small, middle, large)로 구분하여 평가하면 handle design dimension별 손 크기에 따른 효과를 파악할 수 있다(Kong et al., 2004). 기존 연구는 실험 참여자 모집 시 다양한 손 크기의 실험참여자를 고려하기 위해 hand length 및 hand width를 기준으로 small (min ~ 33rd%ile), middle (34 ~ 66th %ile), large (67th%ile ~ max)의 3가지 그룹으로 구분하여 실험 참여자를 모집하였다(Herring et al., 2001; Kong and Lowe, 2005; Kong et al., 2004). 한편 본 연구에서 파악된 기존 연구의 70% (14건)는 평균적으로 20명(min: 8, max: 73)의 실험참여자를 모집하여 평가를 수행하였으며 남녀 비율은 1:1.2 정도로 파악되었다.

2.2.2. Experimental Design of Hand Tools

Handle의 최적 형상 및 크기 파악을 위해 기존 연구들은 다양한 handle design dimension에 대해 실험을 설계하고 평가를 수행하였다. Dong et al. (2007)은 치과의사 및 치위생사용 scaling instrumental handle 최적 형상 도출을 위해 2가지 수준(7 mm, 10 mm)의 handle diameter와 4가지 수준의 handle 단면 형상(round, hexagonal, tapered round, tapered hexagonal)에 대한 EMG, pinch force, 주관적

만족도를 평가하여 10 mm의 round shape handle이 가장 선호되는 경향을 파악하였다. 기존 연구에서는 cylindrical handle의 diameter를 3가지 수준으로 평가한 연구들이 활발히 수행되었다. Aldien et al. (2005), Welcome et al. (2005), 그리고 McGorry et al. (2009)는 30mm, 40 mm, 48 mm의 cylindrical handle에 대한 평가를 수행하였고, Cuijpers et al. (2004)는 30mm, 40 mm, 50 mm의 cylindrical handle 및 34 mm, 47 mm, 60 mm의 Jamar handle에 대하여 평가를 수행하였다. Seo et al. (2007)는 45.1 mm, 57.8 mm, 83.2 mm의 handle에 대한 평가를 수행하였다. 한편 Blackwell et al. (1999)은 4가지 수준의 handle circumference (100mm, 130 mm, 160 mm, 180 mm)에 대한 평가를 수행하였으며, Kong and Lowe (2004)는 5가지 수준의 handle diameter (25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm)와 handle orientation (vertical, horizontal)에 대한 실험 계획을 수립하고 handle 사용시 작용힘, torque, EMG, 주관적 만족도를 평가하였다.

III.Design Analysis of Moving Handle

본 연구는 차량 moving handle의 grip comfort 향상을 위해 moving handle 의 설계 특성을 분석하였다. Moving handle의 설계 특성 분석은 (1) moving handle design dimension 파악, (2) design dimension별 중요도 평가 및 주요 design dimension 선정, (3) 양산 차량 moving handle benchmarking의 세 단계의 절차로 수행되었으며 전반적인 차량 moving handle 의 설계 특성이 분석되었다.

3.1. Geometrical Dimensions of Moving Handle

본 연구는 복잡한 형상의 차량 moving handle의 설계 특성 분석을 위하여 (1) moving handle 정렬, (2) 정면, 평면, 측면, 단면 형상을 기준으로 기준점과 기준선 정의, (3) 둘레길이, 폭/너비, 각도, 곡률 측면 design dimension 파악의 세 단계의 절차가 수행되었다. 첫째, 차량 moving handle 정렬은 SAE vehicle axis

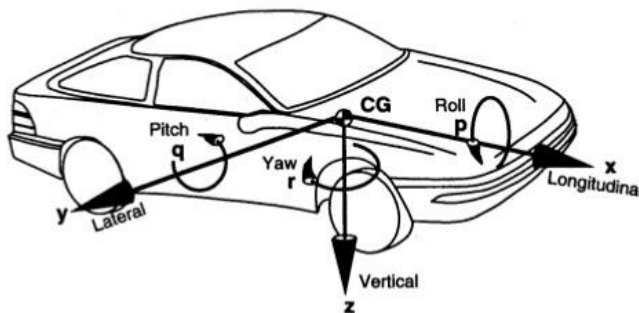
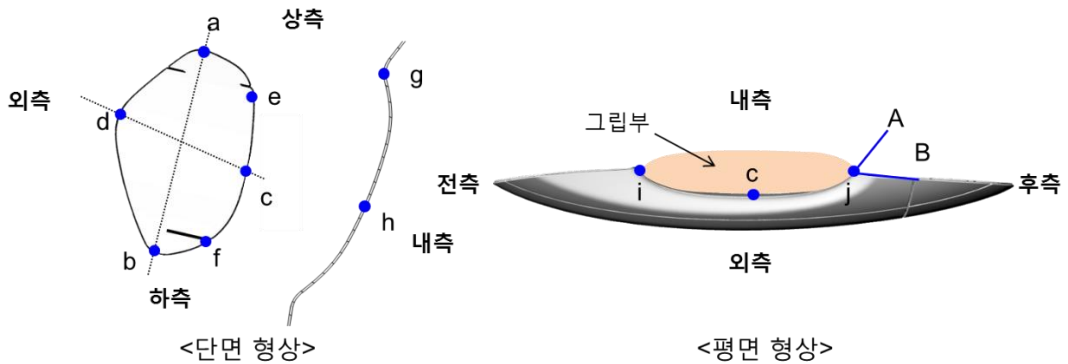


Figure III.1. SAE vehicle coordination system

system (Figure 3-1)을 적용하여 x축은 차량 전후 방향, y축은 차량 좌우 방향, z축은 상하 방향으로 결정되었다. ODH 경우 승차 시 사용자의 상지동작 측면의 편의성을 고려하여 x축을 기준으로 10~15° 정도 회전되어 설계되는데, 본 연구에서는 용이한 분석을 위해 handle 조작 방향이 지면과 평행하도록 정렬된 후 분석이 수행 되었다.

둘째, 차량 moving handle의 형상 분석을 위해 Figure 3.2와 같이 각 형상별 기준점과 기준선이 정의되었다. 기준점의 정의는 moving handle 형상의 기하학적 특징이 파악될 수 있도록 외형의 변곡점, 최우측 및 최좌측점, 최상측



기호	명칭	기호	명칭
a	장측 상측점	g	손등 접촉 최고 높이점
b	장측 하측점	h	손가락 중간관절 접촉 중앙점
c	단측 내측점	i	그립부 최전측점
d	단측 외측점	j	그립부 최후측점
e	내상측 곡률 전환점	A	그립부 내후측 곡면 입사선
f	내하측 곡률 전환점	B	도어 접촉면 모서리선

Figure III.2. Moving handle 기준점 및 기준선 선정 결과: ODH의 예


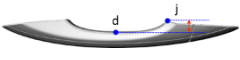
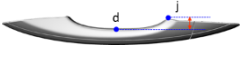
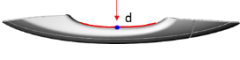

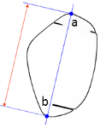
및 최하측점, 중점 등의 특징적인 부위에 대하여 정의되었다. 기준선의 정의는 각도 파악 및 기준점 정의를 위하여 기준점들을 연결하여 정의되거나 기준점 주변의 기울기에 대하여 정의되었다. 정의된 기준점과 기준 선은 Figure 3.2와 같이 기호, 명칭과 함께 정리되었다. 본 연구에서는 ODH의 기준점 10개와 기준선 2개가 정의되었다.

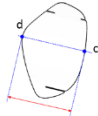
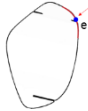
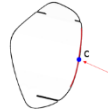
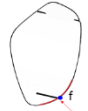
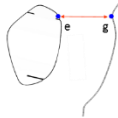
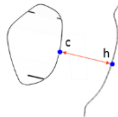
셋째, 본 연구는 앞서 정의된 기준점 및 기준선을 이용하여 둘레길이, 폭/너비, 각도, 곡률 측면의 geometrical design dimensions를 정의하였다. 예를 들어 단면 높이의 경우, 기준점 a (장축 상측점)와 b (장축 하측점)를 이용하여 두 점 사이의 최단거리로 정의되었으며, 측면 경사의 경우 기준점 j (그립부 최후측점), 기준선 A (그립부 내후측 곡면 입사선)와 B (도어 접측면 모서리선)를 이용하여 기준점 j를 기준으로 기준선 A와 B가 이루는 각도가 측면부 경사각으로 정의되었다. ODH의 design dimension은 평면 기준 4종, 단면

Table III.1. Moving handle design dimension 선정 결과: ODH의 예

Design dimension	그립부 중앙 곡률	내측 상단 곡률	내측 중앙 곡률	내측 하단 곡률	측면 경사	단면 높이	단면 폭
그림							
중요도	상	상	상	상	중	중	중
기준면	평면	단면	단면	단면	평면	단면	단면

Table III.2. Moving handle design dimension 정의: ODH 의 예

No.	선정 기준면	명칭	단면도	기준점/기준선	선정 근거	설명
1	평면	그립부 길이		i(손잡입부 최진측점) j(손잡입부 최후측점)	66 ~ 99 th %ile의 손너비 수용	기준점 i와 j에 이르는 직선 거리
2	평면	손 조작 공간		d(손접촉부 단축 외측점) j(손잡입부 최후측점)	66 ~ 99 th %ile의 손두께 수용	기준점 d와 j에 이르는 직선 거리
3	평면	측면부 경사각		A(그립부 내후측 곡면 입사선) B(도어 접촉면 모서리선)	조작 시 미끄러움을 방지하기 위한 측면부 경사	기준선 A와 B가 이루는 각도
4	평면	그립부 중앙 곡률		d(손접촉부 단축 외측점)	그립 시 handle 중앙부 접촉 영역	기준점 d에서의 곡률
5	단면	둘레 길이		-	그립시 handle 중앙부 접촉 영역	단면 최대 둘레
6	단면	높이		a(손접촉부 장축 상측점) b(손접촉부 단축 하측점)	손가락 첫재 및 끝 관절 접촉 영역	기준점 a와 b에 이르는 직선 거리

No.	선정 기준면	명칭	단면도	기준점/기준선	선정 근거	설명
7	단면	폭		c(손접촉부 단측 내측점) d(손접촉부 단측 외측점)	그립시 handle 중앙부 접촉 영역	기준점 c와 d에 이르는 직선 거리
8	단면	내측 상단 곡률		e(손접촉부 내상측 곡물 전환점)	손가락 첫재 및 끝 관절 접촉 영역	내측 상단의 곡률
9	단면	내측 중앙 곡률		c(손접촉부 단측 내측점)	손가락 중앙 관절 접촉 영역	내측 중앙의 곡률
10	단면	내측 하단 곡률		f(손접촉부 내하측 곡물 전환점)	손가락 끝 관절 접촉 영역	내측 하단의 곡률
11	단면	앞구 깊이		e(손접촉부 내상측 곡물 전환점) g(손삽입부 손등 접촉 최고 높이점)	그립 시 손등과 도어의 간섭 방지	기준점 e와 g에 이르는 직선 거리
12	단면	공간 최소 깊이		c(손접촉부 단측 내측점) h(손삽입부 손가락 중간관절 접촉 중앙점)	그립 시 손가락 중간관절과 도어의 간섭 방지	기준점 c와 h에 이르는 직선 거리

기준 8종으로 총 12종이 파악되었다. 본 연구에서 파악된 moving handle별 design dimension은 선정 기준면, 명칭, 선정 기준점 및 기준선, 선정 근거와 함께 Table 3.2과 같이 정리되었다.

3.2. Ergonomic Priority Evaluation of Moving Handle Dimensions

본 연구에서 파악된 12종의 moving handle design dimension들은 설계특성 및 활용목적에 따라 중요도를 구분하기 위해 감성공학적 design dimension, 인체공학적 design dimension, 안전공학적 design dimension으로 분류되었다. 인체공학적 design dimension은 사용자의 인체 치수와 여유공간을 고려하여 결정될 필요가 있는 dimension이며, Figure 3-3a의 예와 같이 공간 최소 깊이는 한국인 99th %ile의 중지 중간관절 폭과 여유길이를 더하여 결정할 수 있으므로 인체공학적 design dimension으로 선정 가능하다. 안전공학적 design dimension은

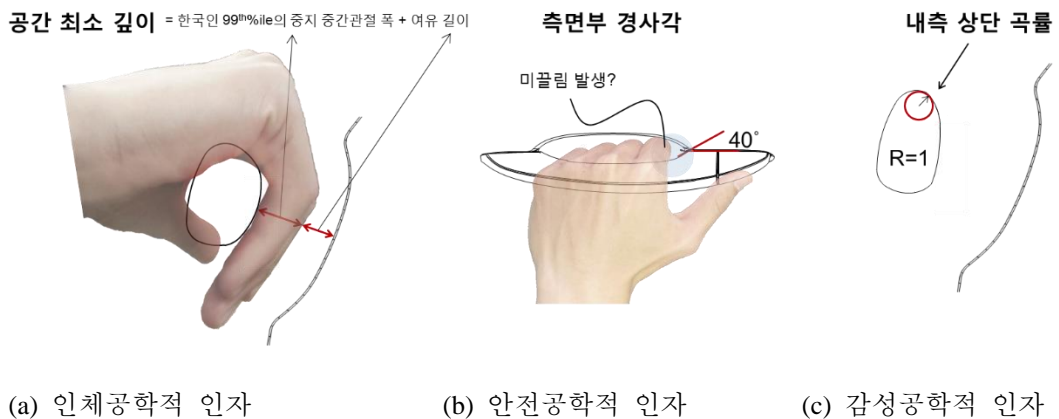


Figure III.3. 설계특성별 moving handle design dimension의 종류

실험적으로 사용자의 안전과 사용성을 고려하여 결정될 필요가 있는 dimension이며, Figure 3-3b의 예와 같이 측면부 경사각은 위기 상황에서 차량 문 개방을 위한 조작 시 미끄럼 발생에 영향을 줄 수 있으므로 안전공학적 dimension으로 선정 될 수 있다. 감성공학적 design dimension은 실험적으로 사용자의 grip comfort를 고려하여 결정될 필요가 있는 dimension으로 Figure 3-3a와 같이 곡률을 예로 들 수 있다. Design dimension 분류 결과 감성공학적 design dimension은 8종, 인체공학적 design dimension은 3종, 안전공학적 design dimension은 1종으로 파악되었다.

손 자세 및 접촉 영역을 기준으로 중요도 평가가 수행되어 design dimension별 우선순위가 평가되었다. 주요 design dimension 선정을 위해 감성공

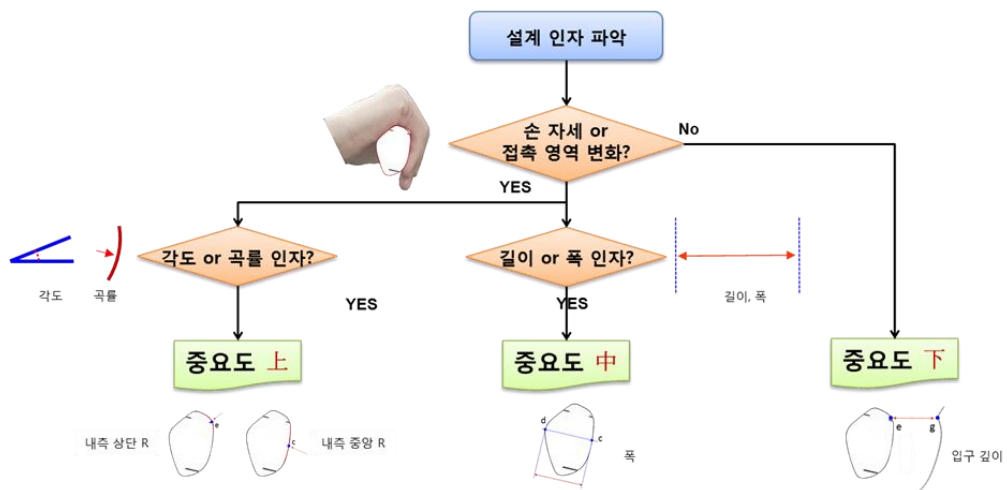


Figure III.4. Moving handle design dimension 중요도 평가 방법: ODH의 예

학적 design dimension에 대하여 Figure 3-5의 절차에 따라 단면 폭, 측면 경사각, 내측 상단 곡률과 같이 사용자가 handle을 파지하였을 때 손 자세나 접촉 영역 변화를 유도하는 design dimension은 중요도 중, 상으로 분류되었고 입구 깊이 같이 자세 및 접촉 영역에 영향을 주지 않는 design dimension는 중요도 하로 분류되었다. ODH의 우선순위 평가 결과 측면부 경사각, 그립부 중앙 곡률, 내측 상단 곡률, 내측 중앙 곡률, 내측 하단 곡률은 중요도 상으로 분류되었고, 단면 높이, 단면 폭은 중요도 중으로 분류되었다.

3.3. Moving Handle Design Characteristics Benchmarking

본 연구에서는 기존 차량 moving handle의 설계 경향 및 세부 설계 치수 파악을 위해 크기와 형태가 다양한 양산 차량 5종이 선정되었으며 본 연구에서 선정된 design dimension (Table 3.1)에 대한 benchmarking이 수행되었다. Moving handle benchmarking은 (1) 분석 대상 moving handle CAD data 입수 및 정렬, (2) moving






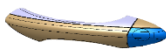
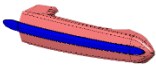

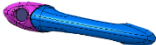

차종	A	B	C	D	E
그림					
ODH					

Figure III.5. Moving handle benchmarking 대상 차량

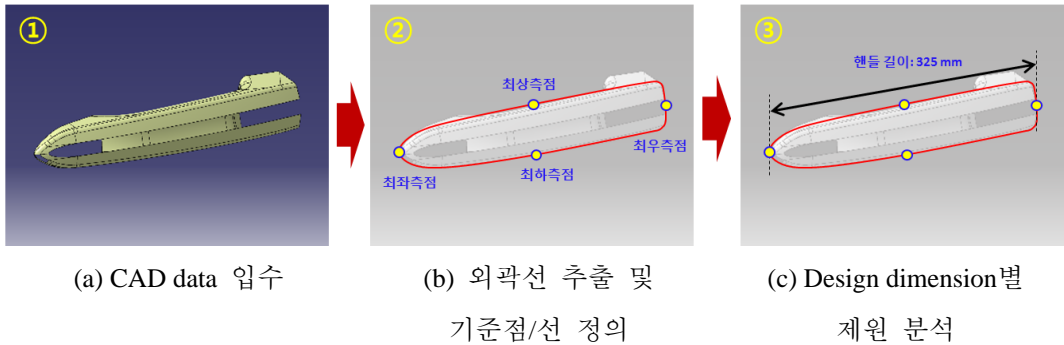


Figure III.6. Moving handle benchmarking 절차

handle 외곽선 추출 및 기준점/기준선 적용, 그리고 (3) design dimension 제원 분석의 세 가지 단계로 수행되었다. 첫째, 분석 대상 moving handle data 입수 단계에서는 기존 CAD data를 활용 또는 3D scanning 방법을 이용한 surface data 획득 방법이 활용 될 수 있다. 본 연구에서는 기존에 설계된 CAD data가 활용되었다. 둘째, moving handle의 외곽선 추출은 측정 기준면에서 도출하고자 하는 형상을 유도하는 curve를 projection 하여 정면, 평면, 측면, 단면 측면의 moving handle 표면 외곽선이 도출 되었다. 도출된 외곽선에 대하여 최좌측, 최우측, 최상측 및 최하측 부위에 대하여 기준점이 정의되었으며 Alias automotive 2012 CAD software (Autodesk INC., USA)가 활용되어 길이, 각도, 곡률 측면의 design dimension의 제원이 분석되었다.

IV. Grip Comfort Evaluation of Moving Handle Designs

4.1. Methods

4.1.1. Participants

차량 moving handle design dimension에 대한 주관적 만족도 평가를 위해 다양한 손크기의 20 ~ 50대 실험 참여자 20명(M: 10, F: 10)이 모집되었다. 모집된 실험 참여자들의 손너비(78.7 ± 5.1 mm)는 2010년 6차 국민표준체위 조사 결과(한국표준과학연구원, 2010)에서 제시하는 20 ~ 50대 남녀($n = 271$)의 손너비(81.4 ± 9.1 mm)와 유사($t[289] = 1.326$, $p = 0.186$)하였으며, 실험 참여자는 손너비에 따라 Small (< 33rd%ile) 9명, Medium (33rd%ile~67th%ile) 8명, Large (> 67th%ile) 3명으로 분포되어 있었다. 실험 참여자들은 본 실험에 앞서 실험의 내용을 충분히 숙지하고 실험 참여에 동의하였다.

4.1.2. Apparatus

Moving handle grip comfort 실험은 Figure 4.1과 같은 Seating buck, moving handle 평가부, 평가항목 제시부로 구성된 평가 환경이 제공되어 handle 사용 시의 주관적 만족도가 체계적으로 평가되었다. Seating buck은 실제 차량과 동일한 크기와 구조를 구현하기 위해 실제 차량의 부품을 이용하여 제작되었고, 기준 handle 대비 상대평가에 효율적으로 활용하기 위하여 동일한 크기 및 형태의

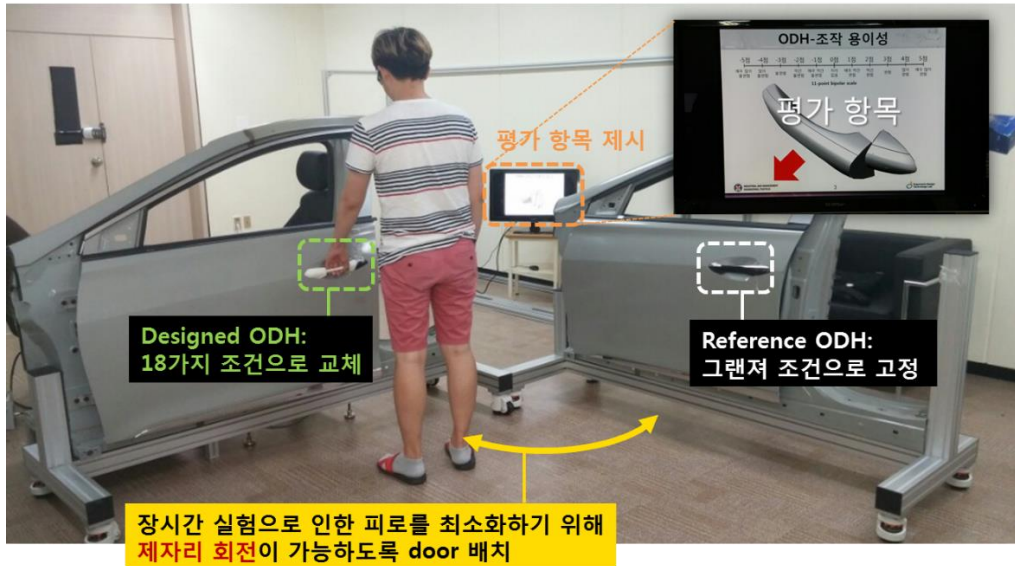


Figure IV.1. Moving handle 평가 실험 환경

2가지 seating buck이 사용되었다. Moving handle 평가부는 4가지 종류의 moving handle별 18종 평가용 시료가 개발되었으며 이의 용이한 교체 및 평가가 가능하도록 adapter가 적용되어 설계되었다(Figure 5.2). 평가 대상 moving handle은 용이한 설계를 위하여 CATIA (ver. 5.20)의 parametric modeling 방법이

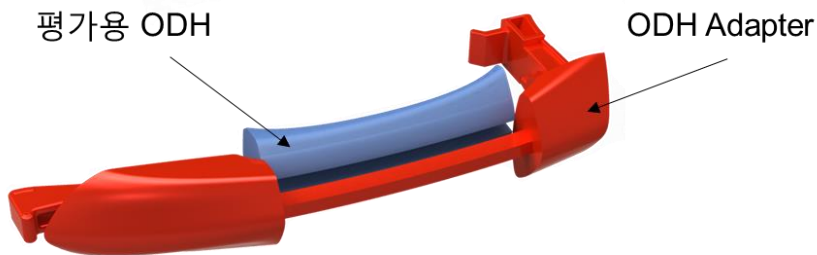


Figure IV.2. Moving handle Adapter 제작: ODH의 예



Figure IV.3. Moving handle 평가항목 제시화면: ODH 높이 적절성의 예

적용되어 설계되었으며, 3D printer (Dimension SST, Stratasys INC, USA)를 이용하여 제작되었다. 본 연구에서는 효율적이고 정확한 평가를 위해 평가 대상 부위, 평가 척도, 평가 항목 등의 moving handle 평가 관련 정보가 평가화면 제시부(모니터)를 통하여 실험 참여자에게 제공되었다. (Figure 4.3) 또한 실험참여자의 효율적인 평가를 위해 Figure 4.1과 같이 seating buck을 배치하여 장시간 실험으로 인한 실험참여자의 피로를 최소화 하였다. Seating buck은 실차와 유사한 handle 사용 환경을 연출하기 위하여 handle 높이는 실차 수준으로 조절되었다.

4.1.3. Measure and Task

본 연구는 사용성 평가 관련 문헌(Han et al., 2001)에서 제공된 인간공학적 평가 measure을 대상으로 moving handle 설계인자와의 연관성 검토를 수행하여 (1) controllability, (2) shape, (3) satisfaction 측면의 차량 moving handle에 특화된 평가 항목을 도출하였다. 본 연구에서는 grip comfort 평가에 적합한 measure 선별을 위해 사용성 평가 관련 문헌에서 제시된 19가지 유관 사용성 measure 와 본 연구에서 제안된 28가지 설계인자간 연관성 검토를 수행하였다. 연관성 분석 결과, 수행 만족도 측면의 조절성(controllability), 감성 만족도 측면의 형태감(shape)과 만족성(satisfaction)이 인간공학적 평가 measure로 선정되었으며

Table IV.1. Moving handle의 인간공학적 grip comfort 평가 항목

기준		설명
전반적 만족도		핸들을 사용할 때 전반적으로 만족하는 정도
신체 적합성 측면	조작 용이성	핸들 사용시 조작하기 쉬운 정도
	형태 적합성	핸들의 형태가 파지하기에 적합한 정도
	길이 적절성	핸들 design dimension의 길이가 파지하기에 적절한 정도
	각도 적절성	핸들 design dimension의 각도가 파지하기에 적절한 정도
	곡률 적절성	핸들 design dimension의 곡률이 파지하기에 적절한 정도
	압력분산 적절성	핸들을 파지하였을 때 압력 분산이 적절한 정도
감성적 측면	그립감	핸들을 파지하였을 때 핸들 파지 측면에서 만족하는 정도

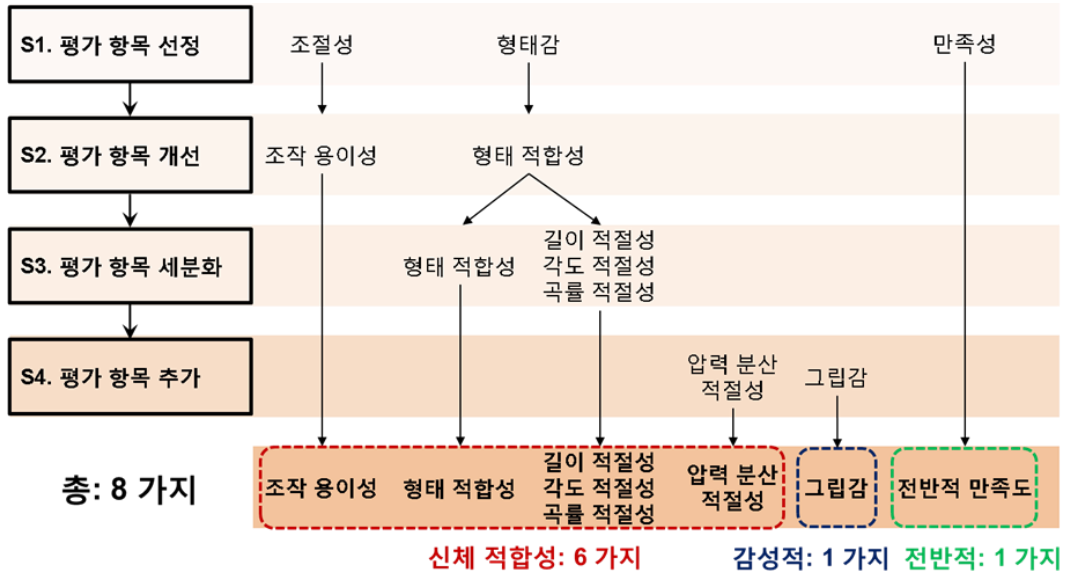


Figure IV.4. Moving handle 평가 항목 세분화 절차

차량 moving handle에 특화된 measure로 평가항목을 개선 및 세분화하여 신체적합성 측면, 감성적 측면, 전반적 만족도측면의 8가지 주관적 만족도 평가 항목을 도출하였다. 본 연구에서 도출된 moving handle의 인간공학적 평가 measure는 controllability 측면의 조작 용이성, shape 측면의 단면 폭 적절성, 단면 높이 적절성, 측면부 경사각 적절성, 그립부 중앙 곡률 적절성, 내측 상단 곡률 적절성, 내측 중앙 곡률 적절성, 내측 하단 곡률 적절성, 그리고 overall satisfaction 측면의 형태 적합성, 압력분산 적절성, 그립감, 전반적 만족도로 파악되었다.

차량 moving handle의 주관적 만족도 평가 실험은 grip comfort 평가에 특화된 8가지 평가 항목에 대하여 왼손을 이용하여 차량 문을 열고 닫는

task를 수행하며 grip comfort가 평가되었다. 본 연구는 outside door handle 평가시 왼손의 손등이 하늘을 향하는 hook grip을 사용하도록 moving handle 사용 자세를 통제하였다. 실험 참여자는 모니터에 제시된 grip comfort 평가 항목에 대하여 평가 기준 moving handle (평가 기준: 0 점) 대비 평가 대상 moving handle을 11-point bipolar scale bipolar scale (-5: 매우 많이 불편, 0: 차이 없음, +5: 매우 많이 편함)을 이용하여 상대적으로 평가를 수행하였다. 본 연구에서는 평가순서에 대한 영향을 제거하기 위하여 Balanced Latin Square를 적용하여 실험 참여자별 서로 다른 순서로 moving handle 시료를 평가하도록 하였다.

4.1.4. Experimental Design

Grip comfort 평가 실험 수준은 3장에서 파악된 양산 차량 5종 moving handle의

Table IV.2. Moving handle design dimensions benchmarking 결과 및 설계 수준

Design dimension	단위	A	B	C	D	E	1수준 (min.)	2수준 (mid.)	3수준 (max.)
① 그립부 중앙 R	mm	423.5	824.9	342.8	619.4	751.9	342.8	583.9	824.9
② 내측 상단 R	mm	5.0	6.3	5.9	5.6	4.8	4.8	6.4	8.0
③ 내측 중앙 R	mm	36.5	34.9	26.0	24.9	25.0	24.9	32.5	40.0
④ 내측 하단 R	mm	9.0	6.3	5.9	5.6	4.9	4.9	7.0	9.0
⑤ 측면 경사	° (deg)	51.9	65.6	76.4	51.0	67.9	51.0	63.7	76.4
⑥ 단면 높이	mm	30.1	35.0	29.6	27.0	29.4	26.0	30.5	35.0
⑦ 단면 폭	mm	19.6	20.1	18.5	20.0	18.4	14.5	-	22.0

design dimension 분석 결과 내에서 최소, 중간, 최대값을 이용하여 3가지 수준이 선정되었으며 인접인자간 종속성을 고려하여 설계 값이 결정되었다. ODH의 경우 design dimension benchmarking 결과가 동일하게 실험수준별 설계 값으로 적용되었다(Table 4.2). 본 연구에서 선정된 주요 design dimension의 평가는 효율적인 실험 진행을 위해 L18($2^1 \times 3^6$) orthogonal array 가 적용되어 7가지 design dimension이 grip comfort에 미치는 영향이 분석되었다. Design dimension의 실험 수준은 handle 사용시 접촉 영역, 접촉 빈도, 그리고 상대적 중요도를 고려하여 각각 2수준 또는 3수준으로 선정되었다. ODH의 경우 그림부 중앙 곡률, 내측 상단 곡률, 내측 중앙 곡률, 내측 하단 곡률, 측면 경사, 단면 높이는 3가지 설계 수준으로 선정되었고 단면 폭은 2가지 설계 수준으로 선정되었다. ODH는 핸들 조작시 4개의 손가락을 걸쳐 당기는 hook grip으로 주로 사용되기 때문에 단면 폭의 중요도가 다른 design dimension에 비해 낮게 판단되었으며, 효율적인 실험을 위하여 2가지 설계 수준으로 결정되었다. 본 연구에서 선정된 design dimension 별 설계 수준을 고려하여 Table 4.3과 같이 moving handle별 Taguchi Design L18을 이용한 실험계획이 수립되었다.

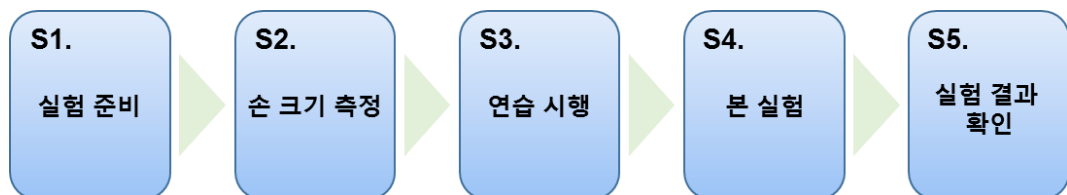


Figure IV.5. Moving handle grip comfort 평가 실험 절차

Table IV.3. Taguchi experimental design (L18)

Design dimension	단면 폭	그립부 중앙 곡률	내측 상단 곡률	내측 중앙 곡률	내측 하단 곡률	측면 경사	단면 높이
Level	2 수준	3수준	3수준	3수준	3수준	3수준	3수준
L1	14.5	342.8	4.8	24.9	4.9	51.0	26.0
L2	14.5	342.8	6.4	32.5	7.0	63.7	30.5
L3	14.5	342.8	8.0	40.0	9.0	76.4	35.0
L4	14.5	583.9	4.8	24.9	7.0	63.7	35.0
L5	14.5	583.9	6.4	32.5	9.0	76.4	26.0
L6	14.5	583.9	8.0	40.0	4.9	51.0	30.5
L7	14.5	824.9	4.8	32.5	4.9	76.4	30.5
L8	14.5	824.9	6.4	40.0	7.0	51.0	35.0
L9	14.5	824.9	8.0	24.9	9.0	63.7	26.0
L10	22.0	342.8	4.8	40.0	9.0	63.7	30.5
L11	22.0	342.8	6.4	24.9	4.9	76.4	35.0
L12	22.0	342.8	8.0	32.5	7.0	51.0	26.0
L13	22.0	583.9	4.8	32.5	9.0	51.0	35.0
L14	22.0	583.9	6.4	40.0	4.9	63.7	26.0
L15	22.0	583.9	8.0	24.9	7.0	76.4	30.5
L16	22.0	824.9	4.8	40.0	7.0	76.4	26.0
L17	22.0	824.9	6.4	24.9	9.0	51.0	30.5
L18	22.0	824.9	8.0	32.5	4.9	63.7	35.0

차량 moving handle의 grip comfort 실험은 Figure 4.5와 같이 실험 준비 및 손 크기 측정, 연습 시행, 본 실험, 확인의 다섯 단계의 절차로 수행되었다. 첫째, 실험 준비 단계에서는 실험참여자에게 실험에 대해 설명하고 실험 참여동의를 구하였다. 둘째, 손 크기 측정 단계에서는 Sizekorea에서 제안하는 손크기 측정 방법을 참고하여 버니어스 캘리퍼를 이용하여 Figure 4.6와 같이 손너비 및 손길이를 측정하였다. 셋째, 연습 시행 단계에서는 실험 참여자가 실험 방법에 익숙해 지도록 1가지 moving handle에 대하여 2~3가지 평가항목의 grip comfort를 측정하며 연습을 수행하였다. 넷째, 본 실험에서는 18종 moving handle별로 왼손을 이용하여 모니터 화면에 나타난 11가지 평가항목에 대한 grip comfort가 측정되어 실험 참여자 별로 198번(18종 × 11가지 항목)의 평가가



(a) 손크기 측정도구: 버니어스캘리퍼스 (b) 손크기 측정 기준 및 방법: 손너비

Figure IV.6. 손 크기 측정 도구 및 방법

수행되었다. 마지막으로, 확인 단계에서는 실험 진행자가 198회의 grip comfort 평가 data를 확인해 보고 측정이 제대로 이루어지지 않은 시행에 대하여 재수행하였으며, 실험 종료 후 실험참여비가 지급되었다.

4.1.5. Statistical Analysis

차량 moving handle design dimension별 주관적 만족도 평가 결과는 signal-to-noise (S/N) ratio와 mean에 대한 analysis of variance (ANOVA)를 수행하여 분석되었다(유의수준: 0.05). S/N ratio는 주관적 만족도를 최대화 하는 design dimension을 규명하기 위하여 망대특성(larger-the-better)으로 정의되었다. Design dimension별 중요도(Sensitivity)는 각 design dimension의 설계수준별 S/N ratio의 최대 차이(Delta = high S/N - low S/N)를 비교하여 만족도 평가 항목별로 분석되었다. 본 연구의 통계 분석에는 Minitab (ver. 14)이 활용되었다.

4.2. Results

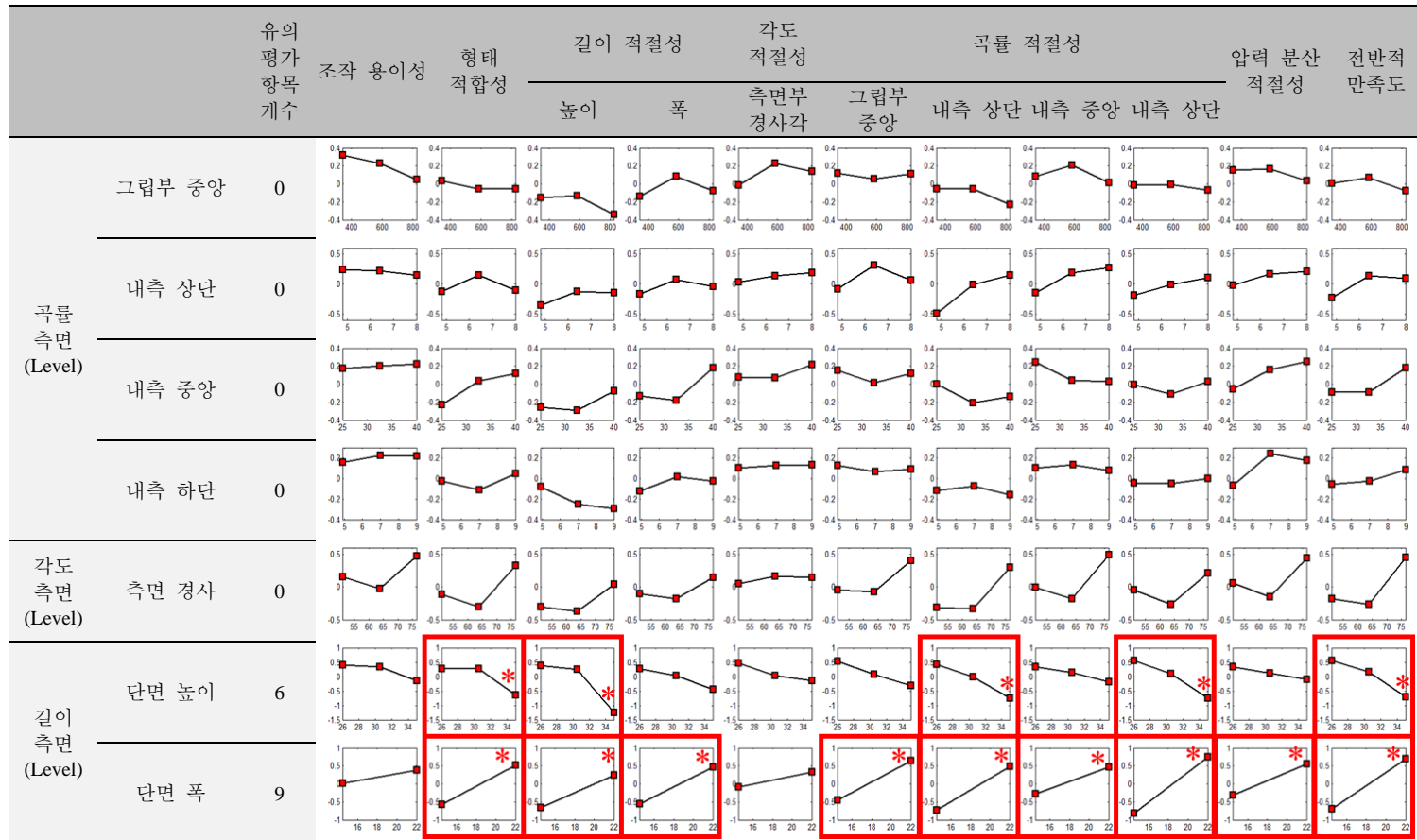
차량 ODH의 7가지 design dimension 중 단면 높이, 단면 폭이 grip comfort에 대하여 유의한 영향을 미치는 design dimension으로 파악되었다. ODH는 단면 높이가 설계 수준 내 최소값(26.0 mm)일 때, 단면 폭은 설계 수준 내 최대값(22.0 mm)일 때 가장 선호되는 것으로 파악되었다. 단면 높이는 11가지 평가 항목 중 형태 적합성, 높이 적절성, 내측상단 곡률 적절성, 내측 하단 곡률 적절성, 전반적 만족도의 5가지 평가 항목의 평가 점수가 최소값(26.0 mm)

Table IV.4. Design dimension별 grip comfort 평가 ANOVA 결과

평가 항목	조작 용이성	형태 적합성		높이 적절성		폭 적절성		측면부 경사각 적절성		그립부 중앙 곡률 적절성		내측 상단 곡률 적절성		내측 중단 곡률 적절성		내측 하단 곡률 적절성		압력 분산 적절성		전반적 만족도			
		Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p		
그립부 중앙 곡률	1	0.3		0		-0.2		-0.1		0		0.1		-0.1		0.1		0		0.2		0.01	
	2	0.2	0.684	-0.1	0.931	-0.1	0.735	0.1	0.804	0.2	0.659	0.1	0.965	-0.1	0.704	0.2	0.708	0	0.914	0.2	0.808	0.07	0.916
	3	0		-0.1		-0.3		-0.1		0.1		0.1		-0.2		0		-0.1		0		-0.08	
내측 상단 곡률	1	0.2		-0.1		-0.4		-0.2		0		-0.1		-0.5		-0.1		-0.2		0		-0.23	
	2	0.2	0.942	0.2	0.583	-0.1	0.682	0.1	0.789	0.1	0.837	0.3	0.341	0	0.104	0.2	0.269	0	0.236	0.2	0.565	0.13	0.557
	3	0.1		-0.1		-0.1		0		0.2		0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.09	
내측 중앙 곡률	1	0.2		-0.2		-0.3		-0.1		0.1		0.2		0		0.2		0		-0.1		-0.09	
	2	0.2	0.986	0	0.485	-0.3	0.731	-0.2	0.556	0.1	0.822	0	0.846	-0.2	0.68	0	0.601	-0.1	0.668	0.2	0.425	-0.09	0.669
	3	0.2		0.1		-0.1		0.2		0.2		0.1		-0.1		0		0		0.3		0.18	
내측 하단 곡률	1	0.2		0		-0.1		-0.1		0.1		0.1		-0.1		0.1		0		-0.1		-0.06	
	2	0.2	0.971	-0.1	0.854	-0.3	0.755	0	0.914	0.1	0.991	0.1	0.97	-0.1	0.938	0.1	0.967	0	0.937	0.2	0.41	-0.03	0.91
	3	0.2		0		-0.3		0		0.1		0.1		-0.2		0.1		0		0.2		0.08	
측면 경사각	1	0.2		-0.1		-0.3		-0.1		0		0		-0.3		0		0		0.1		-0.18	
	2	0	0.348	-0.3	0.183	-0.4	0.392	-0.2	0.654	0.2	0.899	-0.1	0.183	-0.3	0.084	-0.2	0.087	-0.3	0.073	-0.2	0.117	-0.27	0.18
	3	0.5		0.3		0		0.1		0.1		0.4		0.3		0.5		0.2		0.4		0.45	
단면 높이	1	0.4		0.3		0.4		0.3		0.5		0.5		0.4		0.3		0.6		0.3		0.55	
	2	0.3	0.251	0.3	0.048(*)	0.2	0.008(*)	0	0.217	0	0.174	0.1	0.058	0	0.018(*)	0.2	0.173	0.1	0.002(*)	0.1	0.24	0.17	0.045(*)
	3	-0.1		-0.6		-1.3		-0.4		-0.1		-0.3		-0.8		-0.2		-0.7		-0.1		-0.72	
단면 폭	1	0		-0.6		-0.7		-0.6		-0.1		-0.5		-0.7		-0.3		-0.8		-0.3		-0.69	
	2	0.4	0.196	0.5	0.008(*)	0.3	0.017(*)	0.5	0.021(*)	0.3	0.117	0.6	0.005(*)	0.5	0.003(*)	0.5	0.015(*)	0.8	0.000(*)	0.6	0.008(*)	0.69	0.007(*)

*Shaded area: $p < 0.05$

Table IV.5. Moving handle design dimension 설계수준별 선호 경향



* Boxed area: $p < 0.05$

에서 최대값(35.0 mm)보다 유의하게 높게 평가되었으며 평균적으로 12.5% 높은 것으로 파악되었다($p < 0.05$, Table 4.4). 단면 높이의 조작 용이성, 단면 폭 적절성, 측면부 경사각, 그립부 중앙 곡률, 압력 분산 적절성은 설계 범위 내 최소값에서 최대값보다 평균적으로 5.7% 높게 선호되는 경향을 나타냈지만 통계적으로 유의하지는 않았다($p > 0.05$, Table 4.4). 단면 폭은 11가지 평가 항목 중 형태 적합성, 높이 적절성, 단면 폭 적절성, 그립부 중앙 곡률 적절성, 내측 중단 곡률 적절성, 내측 중앙 곡률 적절성, 내측 하단 곡률 적절성, 압력 분산 적절성, 전반적 만족도의 9가지 평가 항목의 평가 점수가 최대값(22.0 mm)에서 최소값(14.5 mm)보다 유의하게 높게 평가되었으며 평균적으로 11.0% 높은 것으로 파악되었다($p < 0.05$, Table 4.4). 단면 폭의 조작 용이성, 측면부 경사각은 설계 범위 내 최대값에서 최소값보다 평균적으로 4.0% 높게 선호되는 경향을 나타냈지만 통계적으로 유의하지는 않았다($p > 0.05$, Table 4.4). 측면 경사각은 측면부 경사각 적절성 평가 항목을 제외한 10가지 평가항목의 평가 점수가 최대값(76.4°)에서 중간값(63.7°)보다 평균적으로 5.4% 높게 선호되는 경향을 나타냈지만 통계적으로 유의하지는 않았다($p > 0.05$, Table 4.4). 내측 중단 곡률은 11가지 평가 항목 중 조작 용이성, 형태 적합성, 단면 높이 적절성, 단면 폭 적절성, 측면부 경사각, 내측 하단 곡률 적절성, 압력 분산 적절성, 전반적 만족도의 8가지 평가 항목의 평가 점수가 최대값(40.0 mm)에서 최소값(24.9 mm)에 비해 평균적으로 1.7% 선호되는 경향을 나타냈지만 통계적으로 유의하

Table IV.6. Outside door handle (ODH) 18종 설계조합별 만족도 평가 결과

평가 항목		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18
조작 용이성		-0.1 (1.61)	-0.3 (1.34)	-0.3 (1.62)	-0.4 (1.73)	0.7 (1.87)	0.1 (1.77)	0.6 (1.36)	-0.2 (1.54)	-0.1 (1.85)	0.9 (1.84)	0.7 (1.76)	1.0 (1.56)	-0.1 (1.43)	0.4 (1.63)	0.7 (1.81)	0.5 (1.79)	0.2 (1.57)	-0.7 (1.66)
형태 적합성		-1.0 (2.06)	-0.5 (1.36)	-1.0 (1.36)	-1.9 (1.35)	0.4 (2.01)	-0.2 (1.50)	0.2 (1.36)	-0.9 (1.71)	-0.5 (1.85)	1.0 (1.88)	0.7 (1.66)	1.0 (1.47)	-0.1 (1.45)	0.8 (1.62)	0.7 (1.84)	1.0 (1.62)	0.5 (1.50)	-0.7 (1.66)
길이 적절성	높이	-0.6 (2.11)	-0.6 (1.27)	-1.4 (1.54)	-1.9 (1.46)	0.1 (2.39)	0.2 (1.04)	0.2 (1.23)	-1.7 (1.22)	-0.2 (2.26)	0.6 (1.96)	-0.1 (1.79)	1.2 (1.57)	-1.2 (1.35)	1.2 (1.67)	0.8 (1.96)	0.7 (1.92)	0.4 (1.57)	-1.4 (1.50)
	폭	-1.0 (2.09)	-1.1 (1.12)	-0.6 (1.15)	-0.9 (1.57)	0.0 (2.13)	-0.5 (0.89)	-0.2 (1.39)	-0.5 (1.28)	-0.5 (2.35)	0.6 (1.79)	0.1 (1.68)	1.1 (1.39)	-0.3 (1.42)	1.4 (1.50)	0.8 (1.96)	0.7 (1.57)	0.6 (1.39)	-0.6 (1.60)
각도 적절성		-0.5 (1.50)	-0.6 (0.94)	-0.4 (1.19)	-0.2 (1.40)	0.3 (1.71)	0.0 (0.97)	0.1 (1.15)	-0.2 (0.81)	0.6 (1.35)	0.3 (1.17)	0.2 (1.14)	0.9 (1.46)	0.0 (1.21)	1.1 (1.28)	0.3 (1.75)	0.5 (1.47)	0.1 (1.39)	-0.2 (1.32)
곡률 적절성	그립부 중앙	-0.6 (1.23)	-0.7 (1.22)	-0.8 (1.54)	-1.1 (1.57)	0.5 (1.70)	-0.4 (1.05)	-0.3 (1.13)	-0.8 (1.29)	0.0 (1.45)	0.5 (1.32)	1.2 (1.64)	1.1 (1.47)	-0.3 (1.30)	1.0 (1.39)	0.7 (1.31)	1.2 (1.67)	0.7 (1.18)	-0.2 (1.60)
	내측 상단	-0.9 (1.42)	-1.0 (1.32)	-0.9 (1.29)	-1.7 (1.66)	0.3 (1.80)	-0.5 (1.36)	-0.6 (1.15)	-1.4 (1.27)	0.1 (1.57)	0.2 (1.85)	0.8 (1.82)	1.4 (1.53)	-0.8 (1.40)	1.0 (1.70)	1.5 (1.57)	0.8 (1.65)	0.3 (1.21)	-0.6 (1.54)
	내측 중앙	-0.6 (1.27)	-0.7 (1.17)	-0.3 (1.48)	-0.6 (1.28)	0.5 (1.54)	0.0 (1.21)	-0.1 (1.10)	-0.8 (0.85)	-0.1 (1.54)	0.0 (1.12)	1.0 (1.69)	1.1 (1.50)	-0.3 (1.66)	0.5 (1.32)	1.1 (1.77)	0.7 (1.57)	0.6 (0.89)	-0.3 (1.21)
	내측 하단	-0.6 (1.36)	-1.2 (1.14)	-1.2 (1.20)	-1.9 (1.63)	0.1 (1.76)	-0.5 (1.15)	-0.6 (0.99)	-1.4 (1.43)	-0.2 (1.58)	0.8 (1.25)	0.5 (1.43)	1.6 (1.15)	-0.2 (1.24)	1.2 (1.81)	1.3 (1.33)	1.3 (1.89)	0.8 (1.15)	-0.3 (1.34)
압력 분산 적절성		-0.9 (1.74)	-0.6 (1.39)	0.1 (1.61)	-0.7 (1.75)	0.5 (1.96)	-0.3 (1.52)	-0.1 (1.48)	-0.4 (1.53)	-0.5 (1.57)	0.5 (1.76)	0.5 (2.04)	1.4 (1.81)	0.1 (1.74)	0.6 (1.90)	0.8 (1.61)	1.0 (1.64)	0.4 (1.57)	-0.3 (1.55)
전반적 만족도		-1.2 (1.60)	-1.1 (1.45)	-1.0 (1.43)	-1.8 (1.86)	0.6 (2.14)	-0.2 (1.44)	-0.3 (1.26)	-1.3 (1.45)	-0.2 (2.11)	1.0 (1.88)	0.9 (1.73)	1.5 (1.70)	-0.5 (1.64)	1.2 (1.81)	1.1 (1.86)	1.4 (1.73)	0.6 (1.39)	-0.7 (1.66)

* Mean (SD)

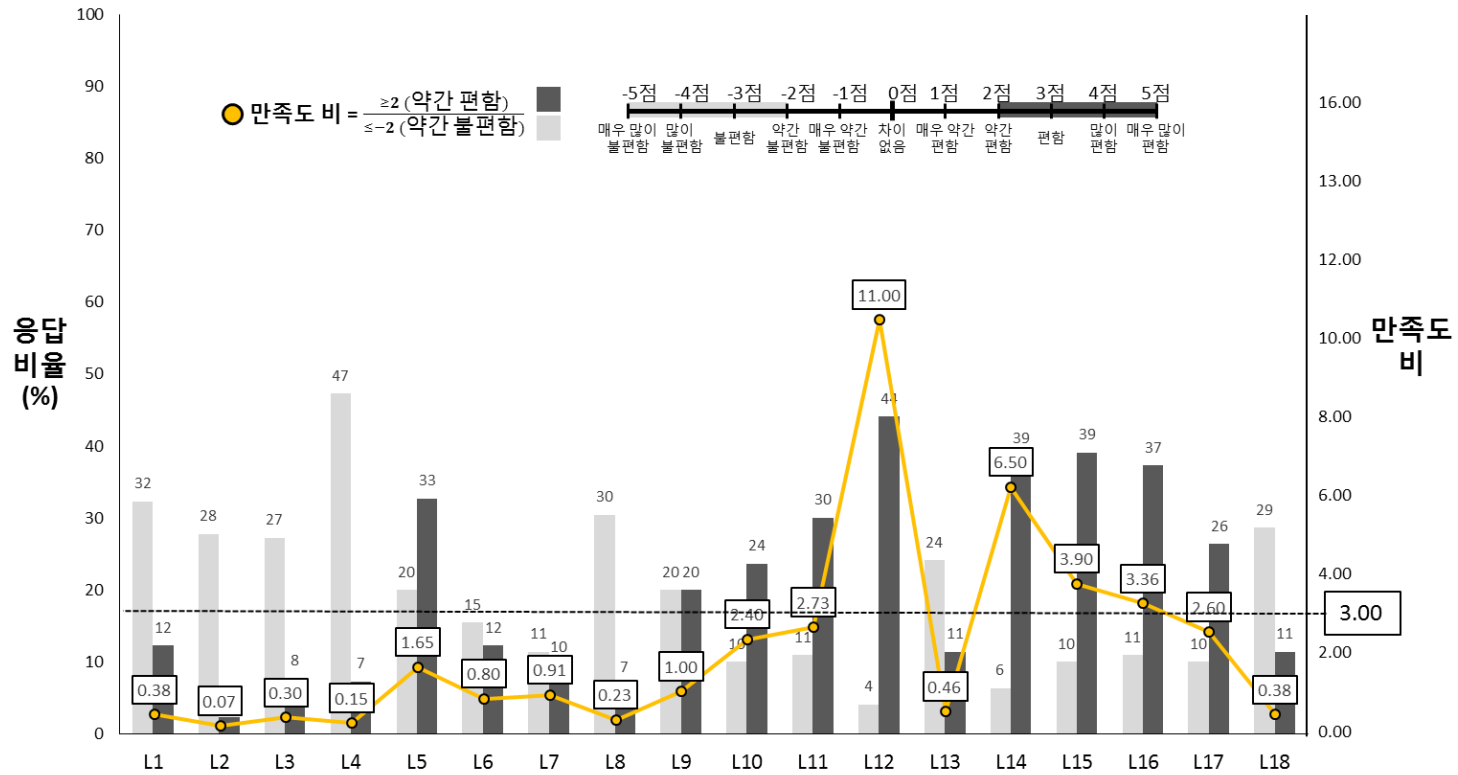


Figure IV.7. Outside door handle (ODH) 18종 설계조합별 만족도비 분석 결과

지는 않았다($p > 0.05$, Table 4.4). 그립부 중앙 곡률은 11가지 평가 항목 중 단면 높이가 적절성, 단면 폭 적절성, 측면부 경사각 적절성, 내측 상단 곡률 적절성, 내측 중앙 곡률 적절성, 내측 하단 곡률 적절성, 압력분산 적절성, 전반적 만족도의 8가지 평가 항목의 점수가 중간값(583.9 mm)에서 가장 선호되는 경향을 나타냈지만 통계적으로 유의하지는 않았다($p > 0.05$, Table 4.4).

본 연구의 Taguchi Design L18에 의해 설계된 평가용 ODH 시료 중 모든 평가 항목의 평균 점수가 0점 이상인 시료는 8가지로 파악되었으며, L12 시료는 주관적 만족도의 평균 및 만족도 비 측면에서 가장 우수하게 평가되었다. L12는 grip comfort에 대한 모든 평가 항목의 평균 점수가 1.2점으로 평가 되었으며, L14 (1.0 점), L15 (0.9 점), L16 (0.9 점), L11 (0.6 점), L10 (0.6 점), L17 (0.5 점), L5 (0.4 점) 순으로 만족도가 높게 평가 되었다. L12는 조작 용이성(1.0 점), 형태 적합성(1.0 점), 내측 하단 곡률 적절성(1.6 점), 압력분산 적절성(1.4 점) 및 전반적 만족도(1.5 점) 측면에서 주관적 만족도가 가장 높게 평가 되었으며, 불편함 대비 편함의 비율인 만족도 비 측면에서 11.0점으로 평가되어 가장 우수한 ODH 시료로 평가되었다. L14는 높이 적절성(1.2 점), 폭 적절성(1.4 점) 및 측면부 경사각 적절성(1.1 점) 측면에서 주관적 만족도가 가장 높게 평가되었으며 만족도 비는 6.5점으로 평가되었다. L15는 내측 상단 곡률 적절성(1.5 점), 내측 중앙 곡률적절성(1.1 점) 측면에서, L11은 그립부 중앙 곡률 적절성(1.2 점) 측면에서 주관적 만족도가 가장 높게 평가되었으며,

1. 설계 필수 사항: 통계적 유의성 ○, 만족도 경향성 ○

2. 설계 권고 사항: 통계적 유의성 ×, 만족도 경향성 ○

■ : 설계 필수 사항
■ : 설계 권고 사항

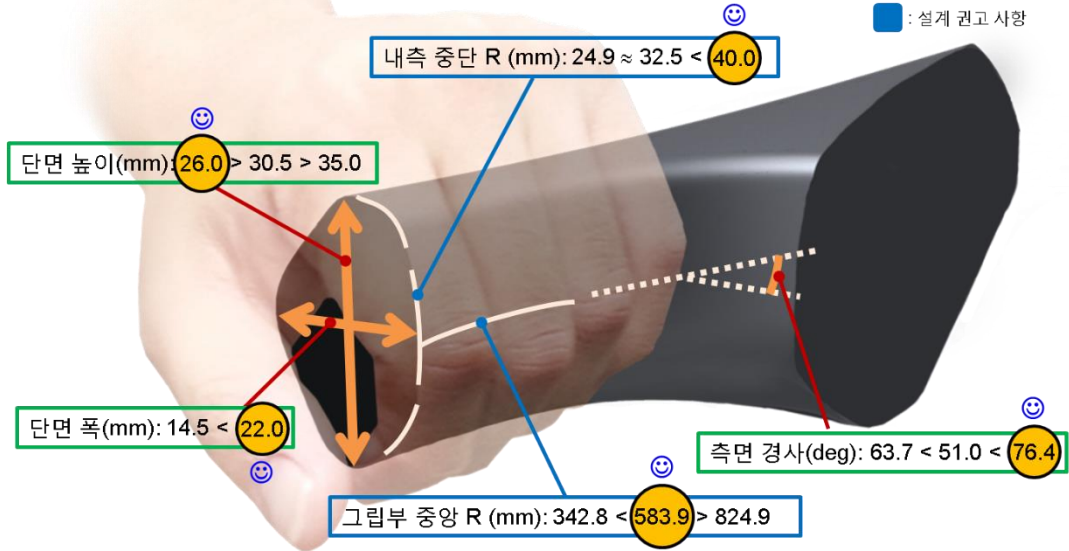


Figure IV.8. Moving handle 설계 guideline: ODH의 예

만족도 비는 각각 3.9점, 3.4점으로 평가되었다.

Grip comfort 측면에서 통계적으로 유의한 design dimension으로 파악된 단면 높이, 단면 폭은 각각 설계 범위 내 최소값(26.0 mm), 설계 범위 내 최대값(22.0 mm)에서 가장 선호되었고, 측면 경사, 그립부 중앙 곡률, 내측 중단 곡률, 설계인자는 통계적으로 유의하지는 않지만 각각 설계 범위 내 최대값 (76.4°), 설계 범위 내 중간값(583.9 mm), 설계 범위 내 최대값(40.0 mm)에서 가장 선호되는 경향으로 파악되었다. 본 연구는Grip comfort에 대한 통계적 유의성과 만족도 경향성을 고려하여 Figure 5.8과 같은 평가 항목별 설계

guideline을 제공하였다. 통계적 유의성과 만족도 경향성을 모두 갖춘 단면 높이, 단면 폭은 설계 필수사항으로 제안되었으며, 통계적 유의성은 없지만 만족도 경향성을 갖춘 내측 중단 곡률, 그립부 중앙 곡률, 측면 경사는 설계 권고 사항으로 제안되었다.

본 연구에서 평가된 11가지 항목의 주관적 만족도는 연령과 성별의 효과가 미미한 것으로 파악되었다. 연령별 만족도 효과를 사후 검정한 결과 조작 용이성($p = 0.03$, $MD = 0.5$ 점), 폭 적절성($p = 0.01$, $MD = 0.3$ 점), 그립부 중앙 곡률 적절성($p = 0.01$, $MD = 0.5$ 점), 내측 중단 곡률 적절성($p = 0.01$, $MD = 0.3$ 점), 내측 중앙 곡률 적절성($p < 0.001$, $MD = 0.5$ 점), 내측 하단 곡률 적절성($p = 0.03$, $MD = 0.3$ 점) 측면에서 유의한 차이를 나타냈지만, 만족도 점수 차이가 1.0점 미만으로 연령에 따른 주관적 만족도의 차이는 미미한 것으로 분석되었다. 성별 만족도 효과를 사후 검정한 결과 높이 적절성($p = 0.02$, $MD = 0.5$ 점), 측면부 경사각($p = 0.003$, $MD = 0.4$ 점), 내측 하단 곡률 적절성($p = 0.02$, $MD = 0.4$ 점) 측면에서 유의한 차이를 나타냈지만, 만족도 점수 차이가 1.0점 미만으로 성별에 따른 주관적 만족도의 차이는 미미한 것으로 분석되었다.

V. Design Optimization of Moving Handle

본 장에서는 (1) design dimension 중요도 분석, (2) moving handle 최적 설계 개발, 그리고 (3) moving handle 최적 설계 검증 평가 및 결과를 기술하였다. 첫째, design dimension 중요도는 design dimension 별 만족도 평가 결과에 대한 S/N ratio 를 분석하여 design dimension 별 상대적인 중요도를 파악하였다. 둘째, moving handle 최적 설계 개발은 design dimension 의 설계 수준별 만족도에 대한 통계적 유의성과 경향성을 고려하여 최적 설계 수준이 결정되었다. 셋째, moving handle 최적 설계 효과의 검증을 위해 3 가지 ODH 가 선정 및 평가되었으며, 기준 ODH 대비 최적 ODH 의 설계 효과가 정량적으로 파악되었다.

5.1. Development of an Optimized Moving Handle

5.1.1. Sensitivity Analysis of Design Factors

Design dimension 별 중요도(Sensitivity)는 각 design dimension 의 설계수준별 S/N ratio 의 최대 차이($\Delta = \text{high S/N} - \text{low S/N}$)를 비교하여 만족도 평가 항목별로 analysis of variance (ANOVA)를 수행하여 분석되었다(유의수준: 0.05). 본 연구는 개별 design dimension 의 설계 수준 변화에 따른 grip comfort를 분석한 결과 길이 측면의 design dimension 이 각도 및 곡률 측면의 design dimension 보다

중요한 것으로 파악되었다. 길이 측면의 design dimension (단면 높이, 단면 폭)은 곡률 측면의 design dimension (그립부 중앙 곡률, 내측 상단 곡률, 내측 중앙 곡률, 내측 하단 곡률)에 비해 평균적으로 4.5배 정도, 각도 측면의 design dimension (측면 경사)에 비해 평균적으로 1.8배 정도 중요한 것으로 파악되었다. 단면 폭은 11가지 평가 항목 중 형태 적합성(1.10), 단면 폭 적절성(1.02), 그립부 중앙 곡률 적절성(1.10), 내측 상단 곡률 적절성(1.21), 내측 하단 곡률 적절성(1.57), 전반적 만족도(1.40)의 6가지 평가항목 측면에서 가장 중요한 design dimension으로 파악되었다. 단면 폭의 상대적 중요도는 4순위인 내측 상단 곡률을 기준으로 형태적합성 4.0배, 단면 폭 적절성 4.2배, 그립부 중앙 곡률 적절성 2.8배, 내측 상단 곡률 적절성 1.9배, 전반적 만족도 3.9배로 평가

Table V.1. Moving handle design dimension별 중요도 분석 결과

		조작 용이성	형태 적합성	길이 적절성		각도 적절성		곡률 적절성			압력 분산 적절성	전반적 만족도
				높이	폭	측면부 경사각	그립부 중앙	내측 상단	내측 중앙	내측 하단		
곡률 측면	그립부 중앙	0.267	0.092	0.208	0.225	0.250	0.058	0.175	0.192	0.058	0.133	0.142
	내측 상단	0.100	0.275	0.233	0.242	0.158	0.392	0.642	0.408	0.300	0.233	0.358
	내측 중단	0.050	0.350	0.217	0.367	0.150	0.133	0.208	0.217	0.133	0.308	0.275
	내측 하단	0.067	0.158	0.208	0.142	0.033	0.058	0.083	0.058	0.050	0.308	0.142
각도 측면	측면 경사	0.492	0.625	0.408	0.317	0.117	0.483	0.633	0.667	0.483	0.592	0.717
길이 측면	단면 높이	0.542	0.908	1.633	0.717	0.600	0.833	1.167	0.525	1.292	0.442	1.267
	단면 폭	0.378	1.100	0.917	1.022	0.428	1.089	1.211	0.750	1.572	0.867	1.389

되었다. 단면 높이는 11가지 평가 항목 중 조작 용이성(0.54), 단면 높이 적절성(1.63), 측면부 경사각 적절성(0.60)의 3가지 평가 항목에서 가장 중요한 design dimension으로 파악되었다. 단면 높이의 상대적 중요도는 4순위인 내측 상단 곡률을 기준으로 조작 용이성 3.8배, 단면 높이 적절성 3.9배, 측면부 경사각 적절성 2.7배로 평가되었다(Table 5.1).

5.1.2. Shape Optimization of Moving Handle

본 연구의 ODH 최적 설계는 grip comfort 향상을 위해 design dimension별 만족도(mean), 중요도(S/N ratio), 그리고 만족도 경향성이 고려되어 최적 설계 수준이 결정되었으며 Taguchi method로 추정 가능한 설계 조합 중 가장 우수한 ODH 시료가 개발되었다. 추정 우수 ODH의 design dimension별 설계 수준 선정

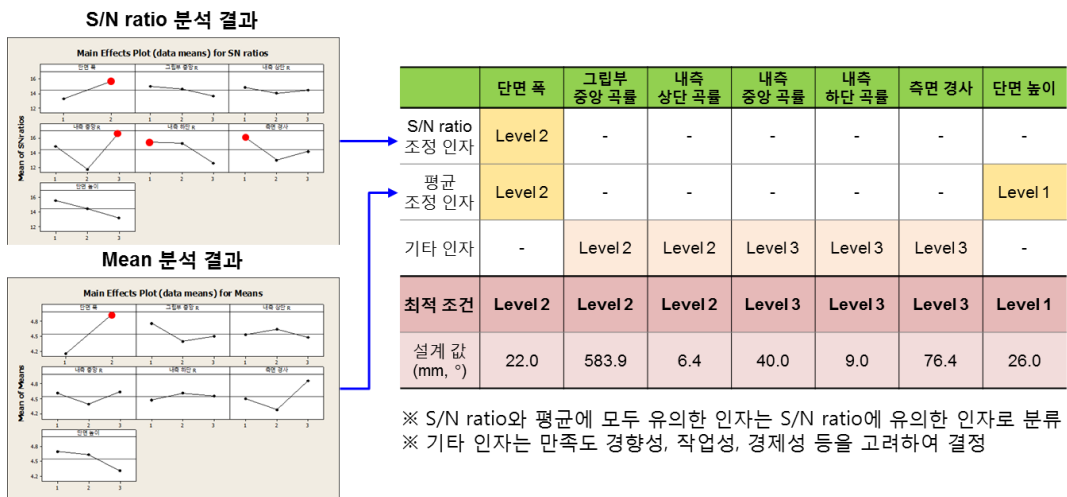


Figure V.1. Moving handle 최적 설계 조건 선정 방법 및 결과

은 Figure X와 같이 S/N ratio 조정인자(중요도) 및 평균 조정인자(만족도)에 대한 통계적 유의성을 기준으로 최적 설계수준이 결정되었다. S/N ratio 조정인자 및 평균 조정인자의 권장 설계수준이 상이한 경우 S/N ratio 조정인자의 설계수준이 최적 설계로 결정되었으며, S/N ratio 조정인자 및 평균 조정인자 모두 통계적으로 유의하지 않은 경우, 작업성, 경제성, 만족도 경향성 등을 고려하여 최적 설계 수준이 결정되었다. 추정 우수 ODH의 설계 수준은 Figure 5.3과 같이 단면폭 2수준(22.0 mm), 단면 높이 1수준(26.0 mm), 그림부 중앙 곡률 2수준(583.9 mm), 내측 상단 곡률 2수준(6.4 mm), 내측 중앙 곡률 3수준(40.0 mm), 내측 하단 곡률 3수준(9.0 mm), 측면 경사각 3수준(76.4°)으로 결정되었다. 본 연구에서 제안된 추정 우수 ODH 설계 조합은 Taguchi method로 추정 가능한 1,458(=3⁶ × 2¹) 가지 설계 조합 중 가장 우수한 ODH시료로서, grip comfort 평가 결과를 기반으로 2.2점(약간 편함)으로 예상되었다. (Table 5.2)

Table V.2. Taguchi method를 이용한 moving handle 만족도 추정 결과

	기존 ODH		평가우수 ODH		추정우수 ODH	
평가 대상	기존 ODH 시료		평가된 18가지 시료 중 가장 우수한 시료		Taguchi method로 추정 가능한 1,458가지 시료 중 가장 우수한 시료	
평가 항목	전반적 만족도		전반적 만족도		전반적 만족도	
결과	실제	추정	실제	추정	실제	추정
	0.0	0.0	2.4	1.0	2.0	2.2

5.2. Validation of the Optimized Moving Handle

5.2.1. Methods

실험참여자

차량 moving handle design dimension에 대한 주관적 만족도 평가를 위해 다양한 손크기의 20 ~ 50대 실험 참여자(37.2 ± 9.0 세) 20명(M: 10, F: 10)이 모집되었다. 모집된 실험 참여자들의 손너비(79.1 ± 5.1 mm)는 2010년 6차 국민표준체위 조사 결과(한국표준과학연구원, 2010)에서 제시하는 20 ~ 50대 남녀(n = 271)의 손너비(81.4 ± 9.1 mm)와 유사($t[289] = 1.131, p = 0.259$)하였으며, 실험 참여자는 손너비에 따라 Small (< 33rd%ile) 10명, Medium (33rd%ile~67th%ile) 7명, Large (> 67th%ile) 3명으로 분포되어 있었다. 실험 참여자들은 본 실험에 앞서 실험의 내용을 충분히 숙지하고 실험 참여에 동의하였다.

Evaluation protocols

본 연구는 앞서 제안된 ODH 최적 설계 효과 검증을 위해 추정 우수 ODH, 평가 우수 ODH 및 기준 ODH의 3가지 handle이 평가 대상으로 선정되었다. 추정 우수 ODH는 design dimension별 중요도 평가 결과와 grip comfort 평가 결과를 반영하여 design dimension별 최적 설계 수준이 적용되어 개발되었다(Table 5.3). 평가 우수 ODH는 모든 항목의 주관적 만족도 평균 점수와 만족도 비 측면에서 가장 우수한 평가용 시료를 선정하여 L12가 선정

Table V.3. 검증평가 대상 ODH 설계 치수

검증 대상	단면 높이	단면 폭	그립부 중앙 곡률	내측 상단 곡률	내측 중앙 곡률	내측 하단 곡률	측면 경사
기준 ODH	30.1	19.6	423.5	5.0	36.5	9.0	51.9
평가우수 ODH	26.0	22.0	342.8	8.0	32.5	7.0	51.0
추정우수 ODH	26.0	22.0	538.9	6.4	40.0	9.0	76.4

되었다. 본 연구는 앞서 제안된 최적 설계 효과의 검증을 위하여 기준 ODH 을 선정하여 신규 ODH 와 함께 grip comfort를 평가를 수행하였다. 최적 설계 효과 검증 평가는 기준 ODH 대비 평가 우수 ODH 및 추정 우수 ODH의 grip comfort를 상대적으로 평가하였으며 평가 도구로 11-point bipolar scale bipolar scale (-5: 매우 많이 불편, 0: 차이 없음, +5: 매우 많이 편함)가 활용되었다. 실험 환경은 4장에서 설명된 바 같이 2개의 seating buck, moving handle adapter, 평가항목 제시부가 제공되어 기존 grip comfort 평가 실험과 동일한 환경이 제공되었으며 동일한 인간공학적 measure 및 task가 적용되어 grip comfort 가 평가되었다. 본 검증실험에서는 평가순서에 대한 영향을 제거하기 위하여 Balanced Latin Square를 적용하여 실험참여자별 서로 다른 순서로 검증 대상 ODH를 평가하도록 하였으며, ODH 평가 measure 별 grip comfort 평가 순서는 기존과 동일하게 유지되었다. ODH 최적 설계 효과 검증의 통계분석은 평가대상 ODH간 grip comfort 점수 차이 검정을 목표로 평가 결과의 점수가 정규분포를 따르는 것으로 나타나 유의수준 0.05에서 paired t-test가 적용되었다.

5.2.2. Results

개선효과 검증 결과, 평가 우수 ODH 및 추정 우수 ODH 는 기준 ODH 대비 Figure 5.2 와 같이 11 가지 평가항목 측면에서 전반적으로 24% ~ 48% grip comfort 가 향상된 것(평가 우수 ODH: $t[219] = 19.6, p < 0.001$; 추정 우수 ODH: $t[219] = 14.7, p < 0.001$)으로 파악되었다. 추정 우수 ODH 는 높이 적절성, 압력 분산 적절성 측면에서 가장 우수하게 평가되었으며, 높이 적절성(1.4 점)은 기준 ODH (0 점)보다 28%정도 유의하게 향상된 것으로 나타났고, 압력 분산 적절성(1.8 점)은 기준 ODH (0 점)보다 35%정도 유의하게 향상된 것으로 나타났

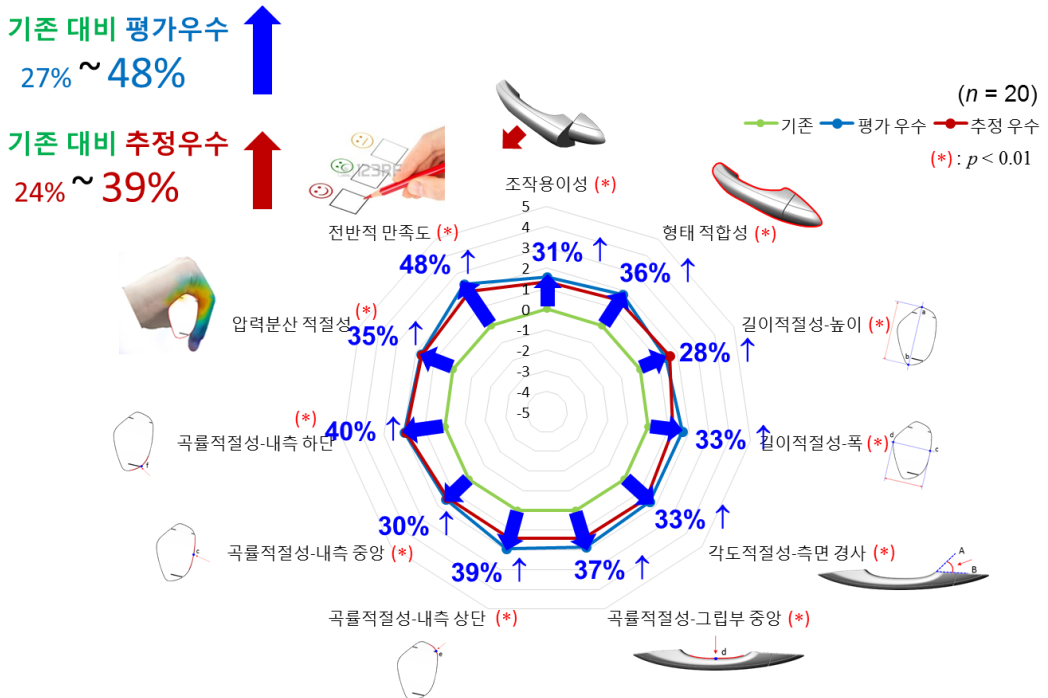


Figure V.2. ODH 최적 설계 효과 검증 결과

다. 평가 우수 ODH 는 기준 ODH 대비 조작 용이성(1.6 점) 31%, 형태 적합성(1.8 점) 36%, 단면 폭 적절성(1.7 점) 33%, 측면부 경사각 적절성(1.7 점) 33%, 그립부 중앙 곡률 적절성(1.9 점) 37%, 내측 상단 곡률 적절성(2.0 점) 39%, 내측 중앙 곡률 적절성(1.5 점) 30%, 내측 하단 곡률 적절성(2.0 점) 40%, 전반적 만족도(2.4 점) 48% 측면에서 가장 우수하게 평가되었다. (Table 5.2).

본 연구에서 제안된 2 가지 유형의 최적 설계 ODH 에 대한 설계 개선 효과를 비교한 결과 평가 우수 ODH (1.8 점)가 추정 우수 ODH (1.5 점)에 비해 전반적으로 6% 정도 선호되는 것($t[219] = 2.31, p = 0.02$)으로 파악되었다. 평가 우수 ODH 는 추정 우수 ODH 대비 그립부 중앙 곡률 적절성($MD = 0.6$ 점), 내측 하단 곡률 적절성($MD = 0.5$ 점), 내측 상단 곡률 적절성($MD = 0.4$ 점), 단면 폭 적절성($MD = 0.3$ 점), 측면부 경사각 적절성($MD = 0.3$ 점), 형태 적합성($MD = 0.3$ 점), 조작 용이성($MD = 0.2$ 점), 내측 중앙 곡률 적절성($MD = 0.1$ 점) 측면에서 선호되는 것으로 파악되었으며, 전반적 만족도($MD = 0.4$ 점) 측면에서는 8% 정도 선호되는 것으로 파악되었다. 한편 평가 우수 ODH 와 추정 우수 ODH 간 평가 항목별 만족도 점수 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 파악되었다.

본 연구에서 파악된 추정 우수 ODH 의 grip comfort 에 대한 검증 평가 결과는 Taguchi method 를 이용한 만족도 추정 값과 유사한 것($MD = 0.2$ 점)으로

파악되었다. 전반적 만족도 평가항목을 기준으로 추정 우수 handle 은 주관적 만족도가 2.2 점으로 예상되었고, 검증 평가 결과 2.0 점으로 평가되었다.

Table V.4. 평가 우수 및 추정 우수 ODH 검증 평가 결과

		조각 용이성	형태 적합성	길이 적절성		각도 적절성	곡물 적절성			압력 분산 적절성	전반적 만족도		
				높이	폭	측면부 경사각	그립부 중양	내측 상단	내측 중앙			내측 하단	
평가 우수	Mean	1.6	1.8	1.3	1.7	1.7	1.9	2.0	1.5	2	1.7	2.4	
	SD	1.3	1.4	1.6	1.2	1.6	1.3	0.9	1.6	1.2	1.3	1.1	
	SE	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	
	Min	-1	0	-2	0	-1	0	0	-2	0	-1	0	
	Max	3	5	4	4	5	4	4	4	4	4	5	
	T-value	5.3	5.6	3.8	6.0	4.6	6.5	9.8	4.3	7.6	5.8	9.4	
	P-value	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	
추정 우수	Mean	1.4	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.6	1.5	1.6	1.8	2.0	
	SD	1.2	1.3	1.7	1.7	1.5	1.6	1.4	1.6	1.7	1.7	1.5	
	SE	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	
	Min	-1	-1	-1	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-2	-1
	Max	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	
	T-value	5.1	5.4	3.6	3.6	4.0	3.5	4.8	4.1	4.0	4.7	6.2	
	P-value	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	< 0.001 (*)	

VI. Discussion

6.1. Design Analysis Method

본 연구는 차량 moving handle의 설계 특성을 체계적이고 정량적으로 파악할 수 있는 설계 특성 분석 방법 및 절차를 제안하였다. 차량 moving handle의 설계 특성을 파악하기 위하여 grip comfort 측면에서 중요한 moving handle design dimension이 선정되었다. 본 연구에서 선정된 moving handle design dimension은 정면, 측면, 평면, 그리고 단면의 moving handle 형상에 대하여 기준점 및 기준선을 정의하여 둘레길이, 폭/너비, 곡률, 그리고 각도 측면의 design dimension 56종을 파악하였다. 본 연구는 Grip comfort 측면에서 중요한 design dimension을 선정하기 위하여 손 접촉 부위 변화 및 자세에 대한 영향을 기준으로 중요도 평가를 수행하여 moving handle별 7종의 design dimension을 선정하였다. 본 연구는 양산 차량 moving handle의 design dimension을 benchmarking하여 moving handle 설계 특성을 정량화 하였다. 본 연구는 형태와 크기가 다양한 양산 차량 5종의 moving handle 17종을 분석하여 design dimension별 세부 설계 치수 및 설계 범위를 파악하여 moving handle design dimension의 특성을 정량화 하였다. 본 연구에서 제안된 moving handle 형상 분석 방법은 다양한 형태의 handle 설계 특성의 분석에 용이하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들면, 청소기 handle, 냉장고 handle, 실내 door

handle 등에 적용되어 사용 특성 및 평가 목적에 따라 design dimension을 파악할 수 있으며 인간공학적 평가 measure를 가변적으로 적용하여 인간공학적 평가를 수행할 수 있다.

6.2. Moving Handle Evaluation Method

본 연구는 체계적이고 종합적으로 차량 moving handle의 grip comfort를 평가할 수 있는 인간공학적 평가 protocol을 개발하였다. 본 연구에서 제안된 인간공학적 평가 measure는 조절성, 형태감, 그리고 만족감 측면의 사용성 measure를 세분화하여 moving handle 평가에 특화된 평가 measure로 제안되었다. 또한 기존 handle 연구에서 주로 활용되는 전반적 만족감, 선호도 외에 사용자 감성을 세부적으로 규명할 수 있는 평가 measure들이 제안되었다. 본 연구는 기존 moving handle 대비 평가 대상 moving handle 의 grip comfort의 체계적인 평가를 위해 상대적 평가 방법이 적용되었으며, 11-point bipolar scale이 평가 도구로 선정되어 grip comfort의 세부적인 평가가 수행되었다. 본 연구에서 활용된 상대적 평가는 평가 항목이 변경될 때 마다 반복적으로 기존 moving handle 및 평가 대상 moving handle 조작 후 평가가 수행되도록 통제하여 평가 기준의 변동을 최소화 하였다. 또한 본 연구는 평가 항목과 관련된 정보를 모니터 화면에 제시하여 실험참여자에게 효율적인 실험 환경을 제공하였다. 평가 화면 제시 부에는 평가 measure, 평가 척도, 평가 대상 design dimension에

대한 전반적인 정보가 그림과 함께 제공되었다.

본 연구에서 ODH의 단면 높이와 단면 폭은 grip comfort 측면에서 통계적으로 유의한 design dimension으로 파악되었다. ODH 단면 높이는 설계 수준 내 최소값(26.0 mm)에서 가장 선호되는 것으로 파악되었으며 형태 적합성, 높이 적절성, 내측상단 곡률 적절성, 내측 하단 곡률 적절성, 전반적 만족도 측면에서 설계 수준 내 최대값(35.0 mm)보다 평균적으로 12.5% 높은 것으로 파악되었다($p < 0.05$). 단면 폭은 설계 수준 내 최대값(22.0 mm)일 때 가장 선호되는 것으로 파악되었으며 형태 적합성, 높이 적절성, 단면 폭 적절성, 그립부 중앙 곡률 적절성, 내측 상단 곡률 적절성, 내측 중앙 곡률 적절성, 내측 하단 곡률 적절성, 압력 분산 적절성, 전반적 만족도 측면에서 설계 수준 내 최소값(14.5 mm)보다 평균적으로 11.0% 높은 것으로 파악되었다($p < 0.05$). 단면 높이 및 단면 폭은 다른 design dimension에 비해 설계 수준 변화에 따른 handle 형상 변화가 크기 때문에 유의한 design dimension으로 선정된 것으로 사료된다. 한편 본 연구의 결과로서 선정된 단면 폭 대비 단면 높이 비($\frac{\text{단면 높이}}{\text{단면 폭}} = 1.2$)는 단면이 둥글고 높이/폭의 비율이 유사한 handle이 가장 선호되는 기존 연구 결과와(Herring et al., 2011) 유사한 경향으로 파악되었다.

본 연구에서 제안된 인간공학적 moving handle 평가 방법은 ODH 외에 차량 door trim 내부에 위치하는 IDH, DTGH, 그리고 DTPH의 인간공학적 평가 및 최적 설계에 적용될 수 있다. 또한 moving handle 외 청소기, 냉장고, joystick

및 controller handle 등의 개선 및 최적 설계에 적용되면 grip comfort 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

6.3. Sensitivity Analysis Method

본 연구는 design dimension의 설계 수준별 만족도에 대한 S/N ratio를 분석하여 design dimension들의 상대적인 중요도(sensitivity)를 분석하였다. 본 연구에서는 길이 측면의 design dimension이 grip comfort 측면에서 가장 중요도가 높은 것으로 파악되었으며 곡률 측면의 design dimension에 비해 4.5배, 각도 측면의 design dimension에 비해 1.8배 정도 중요한 것으로 파악되었다. 한편 moving handle의 상대적 중요도는 설계 guideline으로 활용되어 grip comfort 관리에 유용하게 활용될 수 있다. Moving handle design dimension들은 상호 종속적으로 설계되어 인접 design dimension이 변경되면 설계 치수가 변동될 수 있는 특징을 가진다. 신규 design 개발 및 design 변경 시 상대적 중요도가 높은 design dimension을 우선적으로 고려하면 design 변화에 따른 grip comfort 변화를 최소화 할 수 있으며 grip comfort 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

6.4. Optimization Method

본 연구는 Taguchi method의 orthogonal array 을 이용하여 grip comfort 향상을 위한 효율적인 moving handle 최적 설계 방법을 제안하였다. 본 연구에서

규명하고자 하는 모든 설계 조합($3^6 \times 2^1$) 평가시 1,458가지의 경우로 비효율적이나, Taguchi method의 L18 Design을 이용하면 18번의 평가를 통해 설계변수의 주 효과를 파악할 수 있어 효율적이다. 본 연구에서는 mixed-level의 orthogonal array L18을 이용하여 다양한 형태의 moving handle 시료가 개발되었으며, grip comfort 평가를 통하여 design dimension별 최적 설계수준이 적용된 moving handle 시료가 개발되었다.

본 연구에서 제안된 moving handle 최적 설계는 기존 moving handle 대비 평균적으로 24 ~ 48%의 grip comfort 향상이 있는 것으로 파악되어 최적 설계 효과가 검증되었다. 평가 우수 ODH는 기존 ODH 대비 27% ~ 48% 정도, 추정 우수 ODH는 기존 ODH 대비 24% ~ 39% 정도 grip comfort가 향상되었다. 본 연구의 검증 평가 결과에서 나타난 바와 같이 평가 우수 ODH 및 추정 우수 ODH의 만족도 평균이 유사한 것은 중요도가 높은 design dimension의 설계 치수가 동일하여 grip comfort 측면에서 유사한 설계 효과를 나타내는 것으로 추정된다.

본 연구에서 제안된 grip comfort 평가 protocol의 인체역학적 측면의 제고를 위해서는 주관적 만족도와 함께 grip force, contact pressure, EMG 등의 객관적인 평가가 필요하다. 객관적 평가를 수행하면 본 연구에서 파악된 design dimension 설계 수준별 효과를 주관적 만족도 선호 경향과 비교하여 정량적으로 분석할 수 있을 것으로 기대된다. 한편 본 연구에서 우선순위가

높게 평가된 design dimension들의 교호작용 효과를 파악하기 위하여 실험 계획법에 근간한 평가를 수행해 볼 필요가 있다. Design dimension 간의 교호작용의 효과를 규명하면 moving handle의 grip comfort 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Aldien, Y., Welcome, D., Rakheja, S., Dong, R., & Boileau, P. E. (2005). Contact pressure distribution at hand–handle interface: role of hand forces and handle size. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(3), 267-286. doi: 10.1016/j.ergon.2004.09.005
- Blackwell, J. R., Kornats, K. W., & Heath, E. M. (1999). Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. *Applied Ergonomics*, 30, 401-405.
- Dong, H., Loomer, P., Barr, A., Laroche, C., Young, E., & Rempel, D. (2007). 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. doi: 10.1016/j.apergo.2006.09.002
- Grant, K. A., Habes, D. J., & Steward, L. L. (1992). An analysis of handle designs for reducing manual effort: The influence of grip diameter. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10, 199-206.
- Harih, G., & Dolsak, B. (2014a). Comparison of subjective comfort ratings between anatomically shaped and cylindrical handles. *Applied Ergonomics*, 45(4), 943-954. doi: 10.1016/j.apergo.2013.11.011
- Harih, G., & Dolsak, B. (2014b). Recommendations for tool-handle material choice based on finite element analysis. *Applied Ergonomics*, 45(3), 577-585. doi: 10.1016/j.apergo.2013.07.014
- Herring, S. R., Castillejos, P., & Hallbeck, M. S. (2011). User-centered evaluation of handle shape and size and input controls for a neutron detector. *Appl Ergon*, 42(6), 919-928. doi: 10.1016/j.apergo.2011.02.009
- Jung, H. S., & Jung, H. S. (2010). A survey of the optimal handle position for boxes with different sizes and manual handling positions. *Appl Ergon*, 41(1), 115-122. doi: 10.1016/j.apergo.2009.06.004
- Kim, K., & Nam, S. (1999). A study on structure of sensibility on colors. *Journal of Korean Society of Color Studies*, 13, 105-116.

- Kong, Y.-K., & Lowe, B. D. (2005). Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(12), 1073-1084. doi: 10.1016/j.ergon.2005.04.009
- Kong, Y. K., Freivalds, A., & Kim, S. E. (2004). Evaluation of handles in a maximum gripping task. *Ergonomics*, 47(12), 1350-1364. doi: 10.1080/00140130410001715697
- Mahmut, E. (2004). Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(1), 1-12. doi: 10.1016/j.ergon.2004.01.007
- McDowell, T. W., Wimer, B. M., Welcome, D. E., Warren, C., & Dong, R. G. (2012). Effects of handle size and shape on measured grip strength. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(2), 199-205. doi: 10.1016/j.ergon.2012.01.004
- McGorry, R. W., Maikala, R. V., Lin, J.-H., & Rivard, A. (2009). Oxygenation kinetics of forearm muscles as a function of handle diameter during a repetitive power grip force task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(2), 465-470. doi: 10.1016/j.ergon.2008.10.014
- Seo, N. J., Armstrong, T. J., Ashton-Miller, J. A., & Chaffin, D. B. (2007). The effect of torque direction and cylindrical handle diameter on the coupling between the hand and a cylindrical handle. *J Biomech*, 40(14), 3236-3243. doi: 10.1016/j.jbiomech.2007.04.023
- Welcome, D., Rakheja, S., Dong, R., Wu, J. Z., & Schopper, A. W. (2004). 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. doi: 10.1016/j.ergon.2004.06.005
- Yakou, T., Yamamoto, K., Koyama, M., & Hyodo, K. (1997). Sensory evaluation of grip using cylindrical objects. *Jsm International Journal Series C-Mechanical Systems Machine Elements and Manufacturing*, 40(4), 730-735.