JESK J Ergon Soc Korea 2018; 37(3): 361-385
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2018.37.3.361
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Optimal Embossed Grip Range of Manual Materials Handling during Two-person Team Lifting

Sang Kyun Na[1], Kimin Ban[1], Youngjae Im[2], Jaeho Choe[3], Eui S. Jung[1]

[1]Korea University, School of Industria and Management Engineering, Seoul, 02841
[2]Dong-eui University, Division of Design Engineering, Busan, 47340
[3]Daejin University, Department of Industrial Management Engineering, Pochen, 487-711

2인 인력물자취급작업시, 중대형제품을 고려한 양각 그립형태의 패키지 가이드라인 개발

나상균[1], 반기민[1], 임영재[2], 최재호[3], 정의승[1]

[1]고려대학교 산업공학과
[2]동의대학교 디자인공학부
[3]대진대학교 산업공학과

Corresponding Author
Eui S. Jung
Korea University, School of Industrial and Management Engineering, Seoul, 02841
Mobile : +82-10-8746-3391
Email : ejung@korea.ac.kr

Received : May 08, 2018
Accepted : June 02, 2018

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objective: This study is for the mobility efficiency of the two-person workforce handling. It is used to derive the optimal grip range for each type of product.

Background: With the growing size of consumer electronics products, the handling of human resources is causing musculoskeletal disorders (MSDs) of workers. Previous studies have focused on the effects on the Maximal Acceptable Weight of Load or the ergonomic pressures that are applied to the lumbar spine. However, studies are lacking on design variables that could minimize the workload. This study has produced design variables for PUIs that can minimize the workload of workers over 50kg or 100kg who are actually Manual materials handling (MMH) in environment. Determine the significance, interaction, and significance of design variables to increase the efficiency of product movement. Based on this, the optimal grip range is derived based on the size of each type of product.

Method: First, it will derive three representative sizes for the large and medium sized products that are released on the market. Based on this, the 1st research the dimensions of the product type, the grip type, the grip height, the grip length the importance of the design variables. Conduct a discomfort test with stair climbing task. In the 2nd research, the level of design variables is divided to derive the optimal range of grips according to the user-specific design variables. Conduct a discomfort test with level movement tesk and stair climbing task.

Results: The priority of PUI variables is given by the grip length, grip type, grip height, and size, depending on the behind user. And Design variable's which are revealed lowest discomfort are grip height 600~800mm, grip length 300~500mm in level movement tesk and grip height 200mm, grip length 300~500mm in stair climbing task.

Conclusion: This study evaluates the user's discomfort with dynamic task. Based on the results of the study, the optimal grip range guidelines for sizes for each type of product are grip height 600~800mm, and grip length 300~500mm and grip height 200mm, grip length 300~500mm in stair climbing task.

Application: This study is expected to be used as basic data for designing Manual materials handling (MMH), Especially Heavy electronics products. It is also applicable to MMH related product movement and manufacturing industry.

Keywords: Heavy Manual material handing (MMH), Discomfort, Grip height, Grip length, Stair climbing task, Guideline, Ergonomic design

1. Introduction

인력물자취급(MMH: Manual materials handling) 과업은 요추 통증을 비롯한 근골격계 질환의 주요 요인으로써 오랜 기간 동안 다수의 연구주제로 다루어져 왔다. 기존의 연구(Dempsey, 1998; Li et al., 2009)들을 통해서 근골격계 질환은 MMH 과업 수행 중에 발생하는 과도한 노력, 반복적이고 지속적인 과업기간, 또는 불편한 작업 자세에 기인한 것으로 드러났다. 그러므로 MMH 관련 부상을 관리하는 것은 작업자, 고용주, 사회전반에 걸쳐 매우 중요한 이슈로 부각되고 있다. MMH 과업에서의 작업자 능력을 연구함에 있어서 심리, 물리학적 방법이 보편적인 접근법으로 여겨져 왔다(Wu, 2003; Ciriello, 2007). 기존의 연구들은 1인 작업 관련 연구들에 중점을 두어왔다. 그러나, 실제 제조 및 서비스 산업에서 무거운 중량물을 운반하고 취급하는 환경은 2명 또는 그 이상의 사람들을 필요로 하는 경우가 대부분이다. 실제 현장에서 가전제품을 가정에 배송할 때, 부피가 큰 중대형제품은 2명이 작업을 진행하고 있다(KOSHA, 2014).

2인 이상의 다인 들기 작업은 1인 작업자에 요구되는 부하의 총량을 줄여주기 위한 방법으로 제안되어 왔다(Sharp et al., 1997). Marras et al. (1999)은 들기 작업 환경의 다양성으로 인해 기계적인 장치의 도움을 받기 어려운 경우 다인 들기 작업이 필요하다고 지적하였다.

다수의 연구자들이 수동물자취급 관련 연구를 수행해 왔으나, 기존의 연구들은 많은 작업장에서 다인 들기 작업이 요구됨에도 불구하고 1인 들기 작업에 대한 연구가 대부분이었다. 몇몇 연구들이 다인 들기 작업에 관해서 논의를 하였으며 남·여 혼성 작업에 대한 영향이나 다인 작업 시에 작업 능력을 다루었다. Karwowski (1988)는 2인 들기 작업에서의 작업 능력을 결정하는 가장 주요 요인은 몸무게가 더 나가는 구성원의 최대 들기 능력(maximum lifting capacity)이라고 언급하였다. Fox (1988)는 2인 남자 들기 작업을 연구하였으며 개인 작업보다 허용 중량이 33% 증가하는 것을 발견하였다. Rice et al. (1995)의 연구에서는 2인 들기 작업에서의 최대 중량은 상대적으로 힘이 약한 구성원에 의해 결정된다고 하였다.

기존의 다인 들기 작업에 관한 연구들은 최대 허용 중량(MAWL: Maximal Acceptable Weight of Load)에 대한 영향이나 요추에 걸리는 인체역학적 압력에 중점을 두어 진행되어 왔다. MAWL과 관련하여 다인 작업 시에 MAWL이 각 개인별 MAWL 합의 85% 내지 90% 수준이라고 밝힌 연구(Lee and Lee, 2001; Sharp et al., 1997)가 있는 반면, 또 다른 연구에서는 112% 수준으로 언급한 결과(Mital and Motorwala, 1995)가 있었다. 이와 같은 상반된 결과에도 불구하고 다인 작업에서의 MAWL은 개개인의 MAWL을 합산한 것 보다 낮은 것으로 여겨지고 있다(Dennis and Barrett, 2003). 한편 요추에 걸리는 인체역학적 압력은 개인 들기 작업에 비해 다인 작업에서 660~1,100N만큼의 감소 효과가 있는 것으로 나타났다(Dennis and Barrett, 2002; Marras et al., 1999). 2명 이상의 다인 들기 작업의 경우에는 앞선 결과가 적용되지 않을 수도 있지만, 대체로 다인 작업은 요추에 걸리는 인체역학적 압력을 줄여주는데 이점을 가져온다(Dempsey, 1998).

Winston and Narayan (1993)의 연구에서는 그립형태가 작업부하를 줄이는데 영향을 준다고 언급하고 있다. 또한 전통적인 수공구 선행연구에서 다양한 그립형태를 제시하고 있다. 수술도구, 키홀 톱, 핸드 톱, 스크류드라이버 등 다양한 그립을 정의하였다(Human Factor Design handbook, 1992). 다인 들기 작업이 작업부하를 줄이는데 이점이 있음에도 불구하고, 50kg 혹은 100kg 이상 되는 인력물자취급 환경에서 어떠한 방식으로 다인 작업이 이루어져야 하는 가에 대해서는 여전이 명확하지 않은 상황이다. 왜냐하면 작업무게 이외에도 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인들이 존재하며, 이에 따라 2명 이상의 실제 다인 들기 작업을 경험해본 작업자들로부터 관련 요인들에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 다인 들기 작업에 해당하는 사이즈와 중량의 중대형제품을 이동할 때, 2인작업자의 불편도(Discomfort)를 최소

화하는 최적그립의 범위를 도출하고 작업자와 관련된 설계요소의 상대적 중요도를 파악하였다. 제품유형별의 사이즈에 따른 설계변수의 불편도에 미치는 영향을 살펴보고, 상호작용을 고려해 불편도를 최소화하는 설계 가이드라인을 밝히려고 한다.

본 연구는 1차 실험과 2차 실험으로 진행하였다. 1차 실험에서는 16개의 대안을 작업자에 따른 설계변수의 유의성과 상대적 중요도를 도출하였다. 이를 바탕으로 2차 실험에서의 제품유형별 설계변수의 주요변수와 수준을 정의하고, 36개의 대안을 불편도(Discomfort)평가를 통해 설계 가이드라인을 도출하였다.

2. 1st Test

2.1 1st test method

2.1.1 Subject

본 실험에서는 20~30대로 구성된 앞, 뒤 작업자 각각 12명으로 총 24명이 실험에 참가하였다. 평균연령은 29.2세(SD=3.5)이며, 성별은 남자 24명으로 구성되었다. 신장 및 몸무게의 평균으로는 각각 175.8±4.2 (cm), 74.2±2.9 (kg)이다. 신체 크기의 전반을 포괄하기 위하여, 한국인 남성의 키의 25%ile 이하, 25~50%ile, 50~75%ile, 75%ile 이상으로 4그룹을 구별하여 각 그룹당 앞, 뒤 작업자를 3명씩 실험을 구성하였다. 본 실험은 키와 몸무게에 대한 상관성이 깊은 실험이기 때문에 각 퍼센타일별 표준몸무게로 피실험자를 모집하였다. 대상자의 선정은 신체적으로 문제가 없고, 중량물취급이 가능한 건강한 사람으로 구성하였다.

2.1.2 Design

1차 실험의 목적으로는 제품유형의 설계변수로 사이즈, 그립높이, 그립타입, 그립길이에 따른 앞, 뒤 작업자간 불편도(Discomfort)에 미치는 유의성과 상대적 중요도를 도출하고자 하였다.

먼저, 선행연구에 따르면 인력물자취급에 영향을 미치는 인자들은 거리, 중량, 빈도, 자세, 성별, 훈련, 근력발휘 방향, 근력발휘 높이, 물체의 형상 및 크기로서 총 10가지의 인자들이 있다(Mo et al., 2010). 또한 지면으로부터 손목까지 높이, 손목에서 어깨높이 그리고 지면으로부터의 어깨높이의 범위가 허용가능한 들기의 범위라고 언급하고 있다(Ayoub and Grasley, 1979). 그립타입과 관련된 선행연구에서는 똑바로 서있는 중립 자세에서 최대 악력이 발생한다고 언급하고 있으며, 도구를 손으로 감싸는 그립타입이 최대 악력을 발휘할 수 있는 최적타입이라고 언급하고 있다(Bheem et al., 1996). 이러한 인자와 들기의 범위를 바탕으로 대형제품을 취급하는데 주요한 변수로 인간공학 전문가와 중량물취급에 종사하고 있는 전문가들과 집단토론을 통하여 주요설계변수를 도출하였다. 제품유형 관련 설계변수로 1. 제품사이즈, 2. 그립높이, 3. 그립타입, 4. 그립길이 총 4가지 변수를 이용하여 실험계획을 진행하였다.

첫째, 제품유형별 사이즈의 설계변수는 기존시장에 출시된 중대형의 가전제품 중, 3가지 대표유형 제품군으로 드럼세탁기, 김치냉장고, 양문형냉장고로 제품수치를 바탕으로 부피와 중량을 고려해서 차이가 있는 대표유형 제품을 선정하였다. 또한, 2인 인력물자취급(Manual Materials Handling Tasks, MMH)의 최대허용중량(MAWL)의 극단에 해당하는 설계변수들의 물리적 특성치를 도출하였다. 다음 Figure 1은 기존시장에 출시된 제품의 리스트를 바탕으로 대표유형 제품군으로 도출하기 위해 실제 제품의 부피와 중량을 반영하였다. 둘째, 그립높이의 설계변수는 드럼세탁기와 김치냉장고의 제품높이로 각각 880mm, 750mm로 선정하였고 양문형냉장고의 경우 910mm로 제품의 너비를 활용하였다. 마지막으로 그립타입과 그립길이는 가이드라인을 참고하였다. 중력의 영향으로 수직 내리기 방향의 근력이 높은 힘을 발휘하고, 작업자의 횡단면을 기준으로 어깨의 내전각도는 약 30~45도가 이상적이라고 언급하고 있다(Mo et al., 2010). 이러한 가이드를 바탕으로 작업자에게 작업부하를 최소화할 수 있는 수준에서 그립타입은 Handle grip, Lateral grip으로 선정하였고 그립길이는 계단오르기의 환경변수를 고려하여 최대 500mm로 선정하였다(Figure 2).

따라서 1차 실험에서는 제품유형의 설계변수인 제품유형별 사이즈, 그립높이, 그립타입, 그립길이에 따른 각각 앞, 뒤 작업자에게 총 4가지 변수를 이용하여 실험계획을 진행하였다.

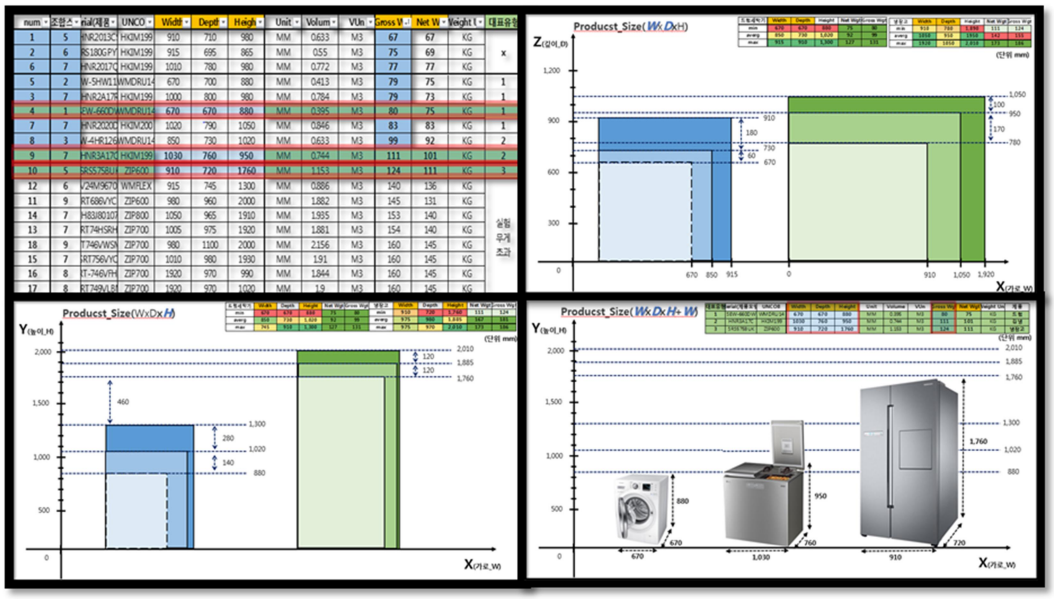

Figure 1. Derivation of representative types

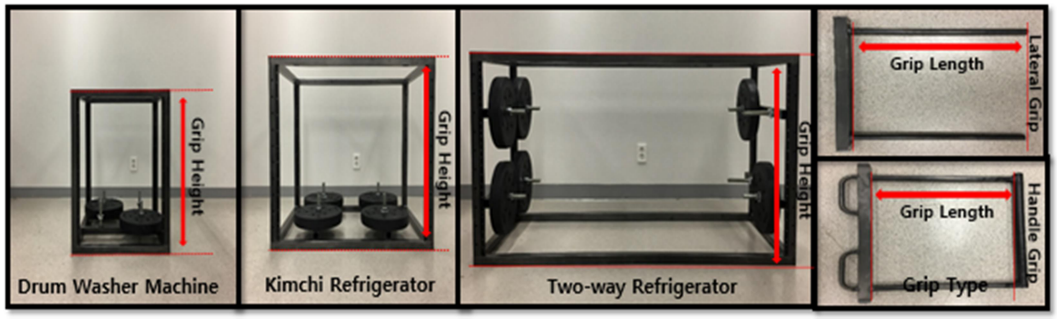

Figure 2. Frame for experimental material

Table 1. Experimental design variables and level

Design variables		Level
		W*D*H, weight (unit: mm, kg)
Size	Drum washer machine	670*670*880, 80
	Two-way refrigerator	910*720*1760, 124
Grip type		Handle grip
		Lateral grip
Grip height		400
		750
Grip length		100
		400

이때 각 수준을 2수준으로 결정하였다. 대표유형별 제품으로 가장 부피와 중량의 차이가 드러나는 드럼세탁기와 양문형냉장고를 선정하였고, 동일한 방법으로 그립높이, 그립타입, 그립길이의 변수를 각각 2가지 수준으로 정의하였다(Table 1). 따라서 16개의 대안으로 1차 실험계획을 작성하였으며(Table 2), Mixed Factors design을 계획하였다. 이때, 실험대안으로 첫 번째 대표유형 제품군으로 선정된 사이즈와 동일한 프레임으로 제작하였다. 두 번째로 제품군마다 다른 무게중심을 갖고 있기 때문에 각 제품군의 무게중심을 추정하여 반영하였다. 세 번째, 2인1조의 인력물자취급작업 시, 작업자의 근골격계 질환을 최소화하고 제품의 무게를 최적으로 분산시키기 위해 그립타입을 다음과 같이 구성하였다(Figure 3).

Table 2. Experimental alternatives

Part	Size (mm, kg)	Grip type	Grip height (mm)	Grip length (mm)
Profile 1	670*670*880, 80	Handle grip	400	100
Profile 2			400	400
Profile 3			750	100
Profile 4			750	400
Profile 5		Lateral grip	400	100
Profile 6			400	400
Profile 7			750	100
Profile 8			750	400
Profile 9	910*720*1760, 124	Handle grip	400	100
Profile 10			400	400
Profile 11			750	100
Profile 12			750	400
Profile 13		Lateral grip	400	100
Profile 14			400	400
Profile 15			750	100
Profile 16			750	400

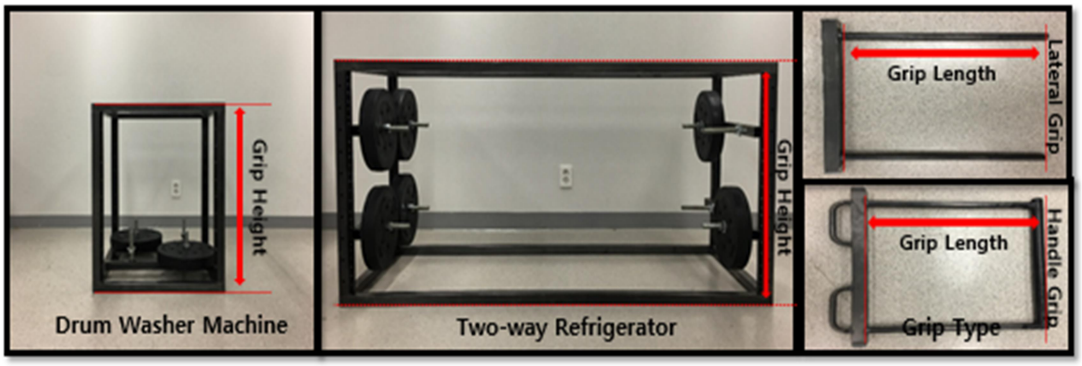

Figure 3. 1st test experimental material

2.1.3 Procedure

본 실험은 Figure 4와 같은 시나리오를 바탕으로 5단계에 걸쳐 진행되었다. 먼저, 1단계로 실험 소개 및 인적 사항을 기입하는 실험준비가 행해졌다. 다음으로 2단계에서는 과거 인력물자취급에 대한 경험유무를 확인하고 피실험자의 개별 키와 몸무게를 측정하였다. 3단계에서는 피실험자에게 본 실험의 목적에 대해 주지시킨 다음 실험 프로세스와 관련하여 교육 및 예비평가를 실시하였다. 4단계에서는 본 평가로 불편도를 7-point Unipolar scale 척도를 활용하여 평가하였으며, Counterbalancing 실험계획법을 이용하여 각 개인마다 평가해야 하는 제품유형에 따른 각 설계변수의 수준으로 평가를 진행하였다. 마지막으로 5단계에서는 정량적 평가를 보완하기 위해 불편도와 관련된 인터뷰를 활용한 정성적 평가를 시행하였다. 또한, 중량물취급과 반복평가에 따른 피로도를 방지하기 위하여 1개의 대안 조작 및 평가 후 10분간의 휴식시간을 제공하여 총 16번의 휴식시간을 부여했다.

Step 1	**Preparation of an experiment** (Introduction to experiments, Personnel details)
Step 2	**Human body measurement** (Height & Weight, Previous Use Experience)
Step 3	**Training and preliminary assessment** (Subject fitness assessment)
Step 4	**The main evaluation** (Quantitative evaluation)
Step 5	**Interview** (Qualitative evaluation)

Figure 4. Process of discomfort evaluation

대안평가의 환경은 실제 인력물자취급의 이동환경과 유사한 동적 테스크(Dynamic Task)로 구성하였다. 이에 해당하는 계단오르기로 단높이(150~180mm), 단너비(180~300mm)에 해당하는 계단에서 평가를 수행하였고(건축법시행령, 2013) 중간층(2850mm*1350mm)은 대안의 사이즈가 회전이 가능한 공간에서 '1층 오르기'로 진행되었다(Figure 5).

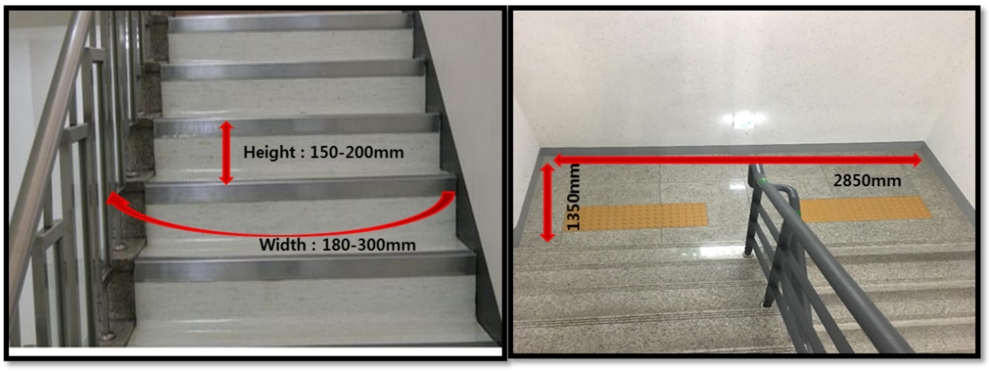

Figure 5. Placement of alternative assessment

2.2 1st test result

Spss 통계패키지를 이용하여 먼저, 분산분석을 통하여 작업자에 따른 설계변수의 유의미한 차이를 도출한 뒤, 이를 바탕으로 회귀분

석을 통하여 작업자에 따른 설계변수의 상대적 중요도를 도출하였다. 16개 대안의 실험조건을 모두 수행한 Within-subject design으로 진행하였으며, 각 앞뒤 작업자와 설계변수의 차이를 나타내기 위해 Mixed Factors design을 진행하였다. 분산분석 결과, 유의수준 0.05에서 사이즈, 그립타입, 그립높이, 그립길이가 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다(p < .014), (p <. 000), (p <. 000), (p <. 000). 2차 교호작용으로는 사이즈와 그립높이, 사이즈와 그립길이, 그립높이와 그립길이에 따라 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하였다(p < .040), (p < .014), (p < .015). 3차 교호작용은 사이즈, 그립높이, 그립길이 따라 불편도(Discomfot)에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(p < .005). 앞, 뒤 작업자도 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다(p < .000) (Table 3).

Table 3. Anova results of discomfort according to design variable

Source	SS	DF	MS	*F*	*p*
A (Size)	2.370	1	2.370	7.054	0.014*
B (Grip type)	14.699	1	14.699	34.410	0.000***
C (Grip height)	3.236	1	3.236	21.262	0.000***
D (Grip length)	80.145	1	80.145	21.134	0.000***
A * B	0.072	1	0.072	0.206	0.655
A * C	1.997	1	1.997	4.790	0.040*
B * C	1.948	1	1.948	7.135	0.014*
A * D	0.369	1	0.369	1.503	0.233
B * D	0.999	1	0.999	2.680	0.116
C * D	5.095	1	5.095	6.994	0.015*
A * B * C	0.090	1	0.090	0.254	0.620
A * B * D	0.194	1	0.194	0.590	0.451
A * C * D	3.196	1	3.196	9.947	0.005**
B * C * D	0.361	1	0.361	1.602	0.219
A * B * C * D	3.838	1	3.838	10.412	0.004**
Operator	7.221	1	7.221	18.491	0.000***
Operator*A	0.837	1	0.837	2.491	0.129
Operator*B	1.010	1	1.010	2.364	0.139
Operator*C	0.223	1	0.223	1.464	0.239
Operator*D	1.403	1	1.403	0.370	0.549
Operator*A*B	0.025	1	0.025	0.071	0.792
Operator*A*C	2.817	1	2.817	6.758	0.016*
Operator*A*D	4.592	1	4.592	16.818	0.001**
Operator*B*C	0.097	1	0.097	0.393	0.537
Operator*B*D	0.194	1	0.194	0.520	0.478
Operator*C*D	10.346	1	10.346	14.204	0.001**
Operator*A*B*C	2.026	1	2.026	5.684	0.026*
Operator*A*B*D	0.010	1	0.010	0.031	0.861

Table 3. Anova results of discomfort according to design variable (Continued)

Source	SS	DF	MS	*F*	*P*
Operator*A*C*D	19.544	1	19.544	60.837	0.000***
Operator*B*C*D	0.977	1	0.977	4.339	0.049*
Operator*A*B*C*D	5.508	1	5.508	14.942	0.001**
Subject (Operator)	9.345	22	0.425	0.133	1.000
Subject*A (Operator)	7.393	22	0.336	0.838	0.658
Subject*B (Operator)	9.398	22	0.427	1.003	0.554
Subject*C (Operator)	3.348	22	0.152	0.177	1.000
Subject*D (Operator)	83.427	22	3.792	4.369	0.003***
Subject*A*B (Operator)	7.670	22	0.349	1.102	0.493
Subject*A*C (Operator)	9.170	22	0.417	1.349	0.383
Subject*A*D (Operator)	6.006	22	0.273	0.970	0.575
Subject*B*C (Operator)	5.408	22	0.246	1.154	0.521
Subject*B*D (Operator)	8.204	22	0.373	2.014	0.340
Subject*C*D (Operator)	16.024	22	0.728	4.096	0.177
Subject*A*B*C (Operator)	7.840	22	0.356	0.966	0.531
Subject*A*B*D (Operator)	7.229	22	0.329	0.891	0.605
Subject*A*C*D (Operator)	7.067	22	0.321	0.871	0.625
Subject*B*C*D (Operator)	4.954	22	0.225	0.610	0.872
Subject*A*B*C*D (Operator)	8.110	22	0.369	·	·

*p<.05, **p<.01, ***p<.001

앞, 뒤 작업자의 불편도 점수는 각각 4.5, 6.1로 나타났다. 작업자들 모두 불편하다고 느꼈으며, 앞 작업자보다는 뒷 작업자가 더 불편도가 높게 나타났다(Figure 6).

사이즈와 그립높이에 따른 불편도의 경우, 그립높이가 상대적으로 높은 750mm에 대해 작업자들의 불편도가 높았고, 상대적으로 그립높이가 낮은 400mm에서 덜 불편한 경향을 보였다(Figure 7).

사이즈와 그립길이에 따른 불편도의 경우, 그립길이가 상대적으로 높은 400mm에서 작업자들은 덜 불편함을 보였다(Figure 8).

그립높이와 그립길이에 따른 불편도의 경우, 그립높이가 상대적으로 낮은 400mm일 때, 그립길이가 상대적으로 긴 400mm에서 덜 불편한 경향을 보였다(Figure 9).

회귀분석을 통하여 작업자에 따른 설계변수의 상대적 중요도를 도출하였다(Figure 10). 회귀분석결과로 앞 작업자와 뒷 작업자의 R^2를 살펴본 결과 각각 0.451, 0.635로 나타났다. 작업자별 불편도(Discomfort)에 영향을 미치는 설계변수에 따른 상대적 중요도는 앞 작업자의 경우, 그립길이(45.4%), 그립타입(29.5%), 제품유형별 사이즈(13.1%), 그립높이(12.1%) 순으로 나타났다. 뒷 작업자의 경우, 그립길이(67.7%), 그립타입(18.9%), 그립높이(9.6%), 제품유형별 사이즈(3.8%) 순으로 나타났다(Table 4).

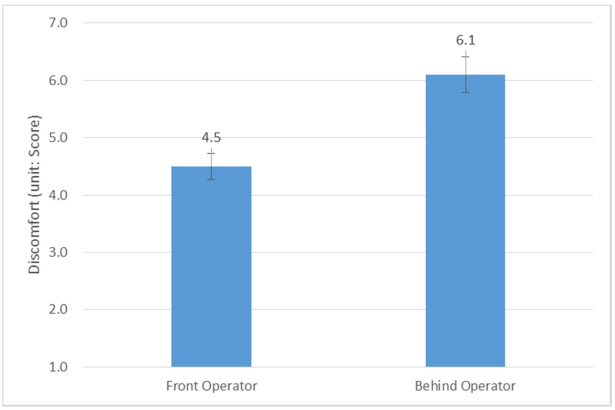

Figure 6. Operator's discomfort

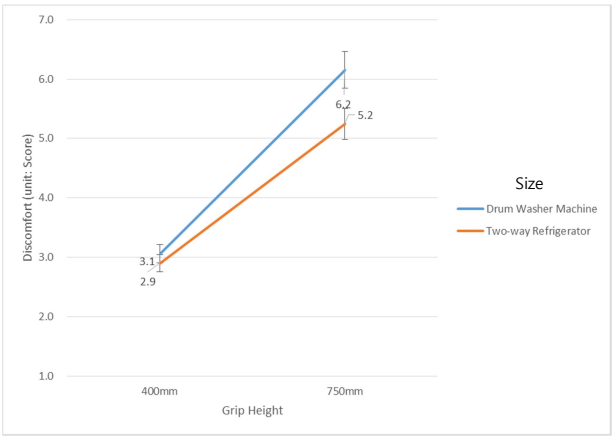

Figure 7. Size and grip height interaction plot for discomfort

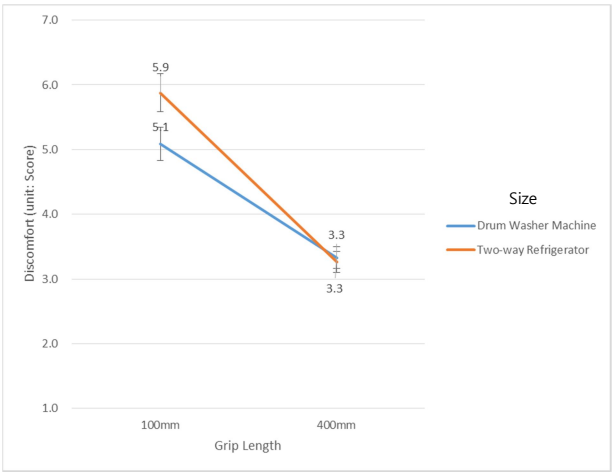

Figure 8. Size and grip length interaction plot for discomfort

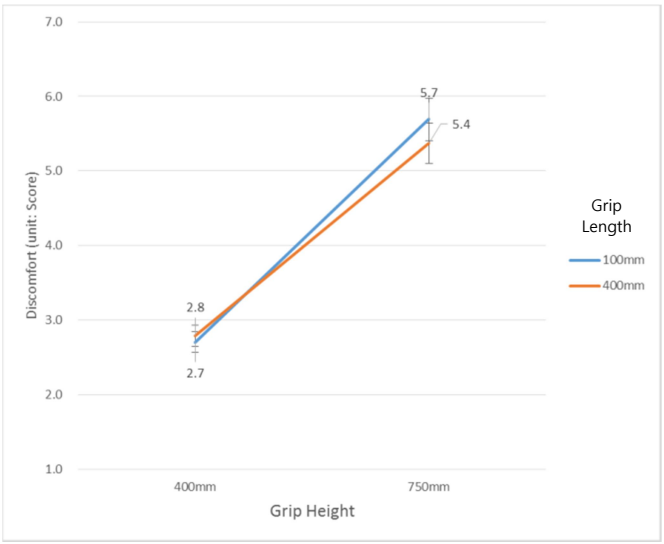

Figure 9. Grip height and grip length interaction plot for discomfort

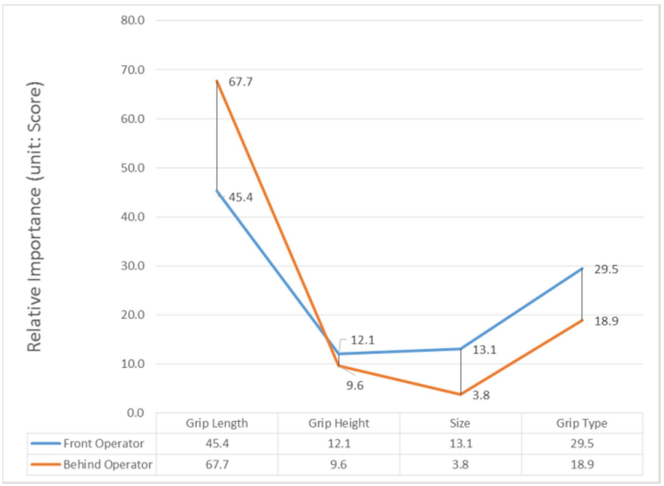

Figure 10. Relative importance by regression analysis

Table 4. Regression result of discomfort according to design variable

Source	Standardized coefficients		Relative importance	
	Front operator	Behind operator	Front operator	Behind operator
Size	0.229	0.056	13.1	3.8
Grip type	-0.515	-0.281	29.5	18.9
Grip height	0.211	0.143	12.1	9.6
Grip length	-0.793	-1.006	45.4	67.7

작업자간의 상대적으로 중요한 설계변수는 그립길이로 나타났다. 이는 앞 작업자의 경우, 제품과 작업자간의 간섭이 발생하였는데, 어느 수준에서 간섭이 발생하지 않는지를 알아보기 위해 수준을 세분화할 필요가 있었다. 그립높이의 경우, 뒷 작업자가 앞 작업자를 역전하는 추세를 보인다. 이는 그립길이와 동일하게 앞 작업자의 그립높이에 따라 제품과 작업자간의 간섭으로 인한 경향으로 보인다. 반대로 뒷 작업자가 상대적으로 낮은 중요도를 보이는 것은 계단오르기 Task이기 때문에 앞 작업자와 제품과의 간섭으로 인한 불편도보다 덜 중요하다고 느끼는 것을 보인다. 앞 작업자와 뒷 작업자의 설계변수인 사이즈의 중요도차이는 사이즈보다 동일하게 작업자와 제품의 간섭의 중요도가 더 큰 것으로 보인다. 마지막으로 그립타입 역시 동일한 간섭의 이슈로 인한 것으로 보인다. 2차 실험에서는 설계변수의 수준을 세분화하여 간섭을 고려한 제품유형에 따른 사이즈의 최적 그립범위도출을 하고자 하였다.

3. 2nd Test

3.1 2nd test method

3.1.1 Subject

본 실험에서는 20~30대로 구성된 앞, 뒤 작업자 각각 12명으로 총 24명이 실험에 참가하였다. 평균연령은 29.2세(SD=3.5)이며, 성별은 남자 24명으로 구성되었다. 신장 및 몸무게의 평균으로는 각각 175.8±4.2 (cm), 74.2±2.9 (kg)이다. 1차 실험과 동일하게 구성하였다. 또한 1차 실험에 참여한 피실험자는 재참가 할 수 있도록 하여 실험의 신뢰도와 정확도를 높였다.

3.1.2 Design

2차 실험의 목적으로는 작업자에 따른 설계변수로 제품유형의 사이즈, 그립높이, 그립길이의 수준을 세분화하여 불편도(Discomfort)를 최소화하는 그립범위를 도출하는 것이다.

1차 실험결과, 그립타입의 주효과는 유의미한 차이가 나타났지만, 2차 교호작용이 발생하지 않았다. 또한 그립타입의 불편도와 정성적 인터뷰결과도 Lateral Grip이 Handle Grip보다 덜 불편하게 나타났으며, 각 작업자에게 Lateral Grip이 제품무게를 고르게 분포시켜 주는 것으로 나타났다. 이러한 이유로 2차 실험에서는 그립타입을 Lateral Grip으로 통제하였다.

제품유형 설계변수로 사이즈, 그립높이, 그립길이로 1차 실험과 동일한 변수로 각각 수준을 나눠서 진행하였다. 제품유형의 사이즈는 3가지 수준으로 드럼세탁기, 김치냉장고, 양문형냉장고 선정하였고, 그립높이는 4가지 수준으로 200mm, 400mm, 600mm, 800mm이며 그리고 그립길이는 3가지 수준으로 100mm, 300mm, 500mm으로 정의하였다(Table 5). 따라서 36개의 대안으로 2차 실험계획을 작성하였으며(Table 6), Mixed Factors design을 계획하였다. 이때, 실험대안은 1차실험과 동일한 대표유형 제품군으로 선정된 사이즈와 동일한 프레임으로 제작하였다. 또한, 제품군마다 다른 무게중심을 갖고 있기 때문에 각 제품군의 무게중심을 추정하여 반영하였다(Figure 11).

Table 5. Experimental design variables and level

Design variables		Level
		W*D*H, weight (unit: mm, kg)
Size	Drum washer machine	670*670*880, 80
	Kimchi refrigerator	1030*760*950, 111
	Two-way refrigerator	910*720*1760, 124
Grip height		200
		400

Table 5. Experimental design variables and level (Continued)

Design variables	Level
	W*D*H, weight (unit: mm, kg)
Grip height	600
	800
Grip length	100
	300
	500

Table 6. Experimental alternatives

Part	Size (mm, kg)	Grip height (mm)	Grip length (mm)
Profile 1	670*670*880, 80	200	100
Profile 2			300
Profile 3			500
Profile 4		400	100
Profile 5			300
Profile 6			500
Profile 7		600	100
Profile 8			300
Profile 9			500
Profile 10		800	100
Profile 11			300
Profile 12			500
Profile 13	1030*760*950, 111	200	100
Profile 14			300
Profile 15			500
Profile 16		400	100
Profile 17			300
Profile 18			500
Profile 19		600	100
Profile 20			300
Profile 21			500
Profile 22		800	100
Profile 23			300
Profile 24			500

Table 6. Experimental alternatives (Continued)

Part	Size (mm, kg)	Grip height (mm)	Grip length (mm)
Profile 25	910*720*1760, 124	200	100
Profile 26			300
Profile 27			500
Profile 28		400	100
Profile 29			300
Profile 30			500
Profile 31		600	100
Profile 32			300
Profile 33			500
Profile 34		800	100
Profile 35			300
Profile 36			500

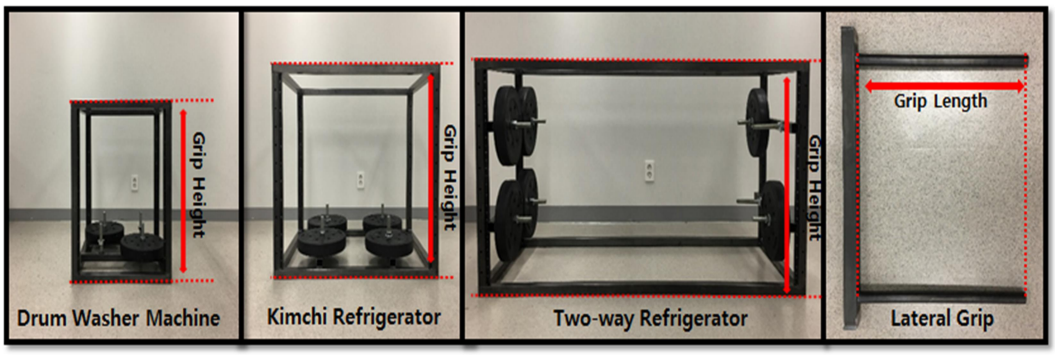

Figure 11. 2st test experimental material

3.1.3 Procedure

본 실험은 Figure 12와 같은 시나리오를 바탕으로 5단계에 걸쳐 진행되었다. 먼저, 1단계로 실험 소개 및 인적 사항을 기입하는 실험 준비가 행해졌다. 다음으로 2단계에서는 과거 인력물자취급에 대한 경험유무를 확인하고 피실험자의 개별 키와 몸무게를 측정하였다. 3단계에서는 피실험자에게 본 실험의 목적에 대해 주지시킨 다음 실험 프로세스와 관련하여 교육 및 예비평가를 실시하였다. 4단계에서는 본 평가로 불편도를 7-point Unipolar scale 척도를 활용하여 평가하였으며, Counterbalancing 실험계획법을 이용하여 각 개인마다 평가해야 하는 제품유형에 따른 각 설계변수의 수준으로 평가를 진행하였다. 마지막으로 5단계에서는 정량적 평가를 보완하기 위해 불편도와 관련된 인터뷰를 활용한 정성적 평가를 시행하였다. 또한, 중량물취급과 반복평가에 따른 피로도를 방지하기 위하여 1개의 대안 조작 및 평가 후 10분간의 휴식시간을 제공하여 총 36번의 휴식시간을 부여했다.

2차 실험의 대안평가 환경은 기존 중대형 가전제품을 배달 및 설치하는 실제 Task Flow로 정의하여 2가지 수준으로 평지이동과 계단 오르기의 Task로 환경변수를 정의하였다. 평지이동의 Task 환경은 장애물이 없는 공간에서 60m 이동하기로 진행하였다. 그리고 계단

오르기의 Task 환경은 단높이(150~180mm), 단너비(180~300mm)에 해당하는 계단에서 평가를 수행하였고(Architecture Policy, 2010), 중간층(2850mm*1350mm)은 대안의 사이즈가 회전이 가능한 공간에서 1층 오르기로 진행하였다(Figure 13).

Step 1	**Preparation of an experiment** (Introduction to experiments, Personnel details)
Step 2	**Human body measurement** (Height & Weight, Previous Use Experience)
Step 3	**Training and preliminary assessment** (Subject fitness assessment)
Step 4	**The main evaluation** (Quantitative evaluation)
Step 5	**Interview** (Qualitative evaluation)

Figure 12. Process of discomfort evaluation

Figure 13. Placement of alternative assessment

3.2 2nd test result

Spss 통계패키지를 이용하여 1차실험과 동일한 분석방법으로 진행하였다. 환경변수인 평지이동, 계단오르기 Task에 대한 분산분석을 통하여 유의미한 차이를 도출하였다. 분산분석 결과, 평지이동의 Task에서 모두 유의수준 0.05에서 사이즈, 그립높이, 그립길이가 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다(p < .000), (p < .000), (p < .000) (Table 7). 사이즈와 그립높이, 그립높이와 그립길이의 2차 교호작용이 유의수준 0.05에서 제품유형별 설계변수가 불편도(Discomfort)에 유의미한 차이를 보였다(p < .021), (p < .000). 그리고 앞, 뒤 작업자도 모두 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다(p < .000) (Table 8). 분산분석 후의 JMP 통계패키지를 이용하여, 설계변수의 사후분석을 통하여 통계적 차이를 보였다. 제품유형별 사이즈에 해당하는 드럼세탁기, 그립높이는 600mm, 그립길이는 300~500mm가 최적수준으로 나타났다(Table 9) (Table 10) (Table 11).

앞, 뒤 작업자의 불편도 점수는 각각 4.7, 6.1로 나타났다. 작업자들 모두 불편하다고 느꼈으며, 앞 작업자보다는 뒷 작업자의 불편도가 더 높게 나타났다(Figure 14).

Table 7. Anova results of discomfort according to design variable in walking task

Source	SS	DF	MS	*F*	*p*
A (Size)	28.131	2.000	14.065	39.243	0.000***
B (Grip height)	711.823	3.000	237.274	786.497	0.000***
C (Grip length)	130.078	2.000	65.039	32.884	0.000***
A * B	4.070	6.000	0.678	2.582	0.021*
A * C	0.835	4.000	0.209	0.779	0.542
B * C	123.172	6.000	20.529	69.493	0.000***
A * B * C	3.572	12.000	0.298	1.464	0.138

*p<.05, **p<.01, ***p<.001

Table 8. Anova result of discomfort according to operator variable in walking task

Source	SS	DF	MS	*F*	*p*
Operator	12.139	1.000	12.139	20.352	0.000***

***p<.001

Table 9. Post-hoc analysis result of size design variable in walking task

Size	Level	Least sq mean
Two-way refrigerator	A	3.9
Kimchi refrigerator	B	3.6
Drum washer machine	C	3.4

Table 10. Post-hoc analysis result of grip height design variable in walking task

Grip height	Level	Least sq mean
200mm	A	4.8
400mm	B	4.3
800mm	C	2.8
600mm	D	2.7

Table 11. Post-hoc analysis result of grip length design variable in walking task

Grip length	Level	Least sq mean
100mm	A	3.9
300mm	B	3.6
500mm	C	3.4

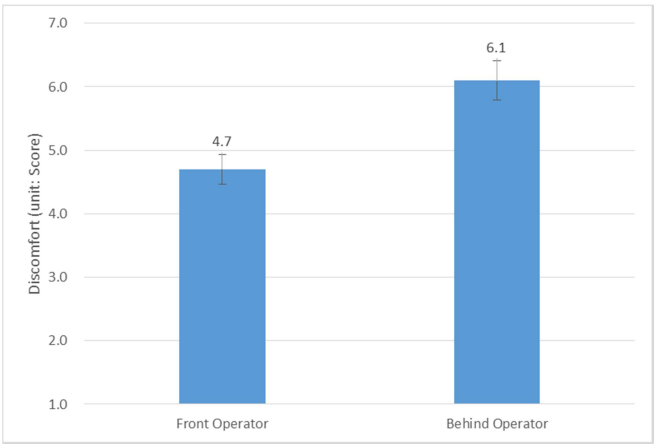

Figure 14. Operator's discomfort in walking task

제품유형별 사이즈의 불편도 점수는 드럼세탁기, 김치냉장고, 양문형냉장고가 각각 3.4, 3.6, 3.9로 나타났다. 제품유형별 사이즈가 커지고 중량이 무거워질수록 불편도 점수가 높아지는 경향을 보였다(Figure 15).

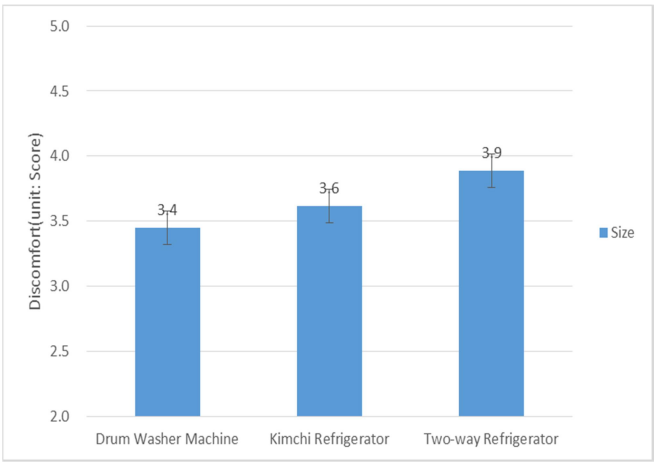

Figure 15. Size discomfort in walking task

그립높이의 불편도 점수는 200mm, 400mm, 600mm, 800mm로 각각 4.8, 4.3, 2.8, 2.7로 나타났다. 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 그립높이가 높아질수록 덜 불편한 경향을 보였다(Figure 16).

그립길이의 불편도 점수는 100mm, 300mm, 500mm로 각각 4.2, 3.4, 3.3으로 나타났다. 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 그립길이가 길어질수록 덜 불편한 경향을 보였다(Figure 17).

사이즈와 그립높이에 따른 불편도의 경우, 그립높이가 상대적으로 낮은 200~400mm의 범위에 대해 작업자들은 불편도가 높았고, 상대적으로 그립높이가 높은 600~800mm의 범위가 덜 불편한 경향을 보였다(Figure 18).

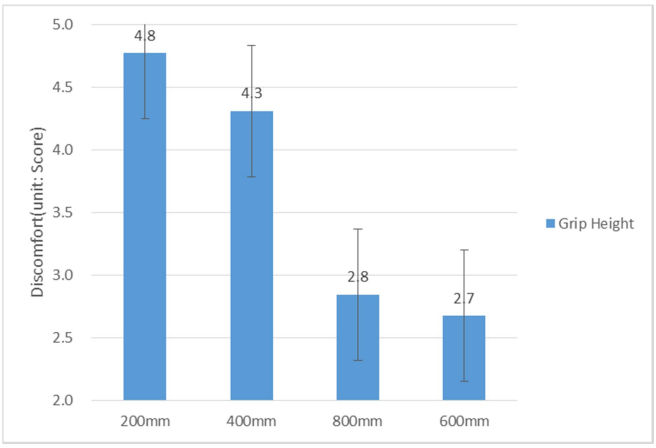

Figure 16. Grip height discomfort in walking task

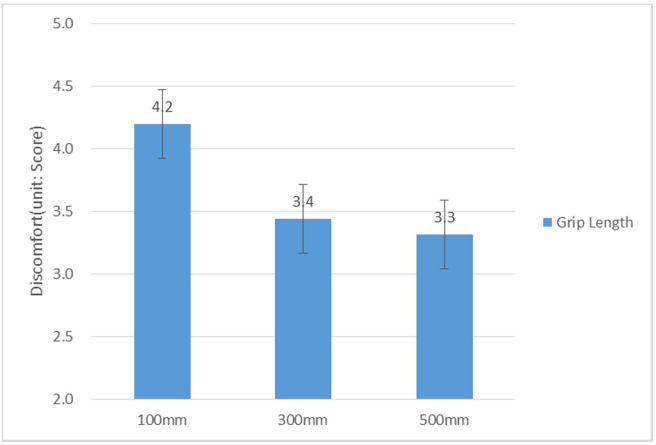

Figure 17. Grip length discomfort in walking task

그립높이와 그립길이에 따른 불편도의 경우, 그립길이가 상대적으로 짧은 100mm에 대해 작업자들의 불편도가 높았다. 그립높이가 600~800mm일 때, 그립길이는 300~500mm가 덜 불편한 경향으로 나타났다(Figure 19).

계단오르기 Task에 대한 분산분석을 통하여 유의미한 차이를 도출하였다. 분산분석 결과, 계단오르기의 Task에서 모두 유의수준 0.05에서 사이즈, 그립높이, 그립길이가 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다(p < .000), (p < .000), (p < .000) (Table 12). 사이즈와 그립높이, 그립높이와 그립길이의 2차 교호작용이 유의수준 0.05에서 제품유형별 설계변수가 불편도(Discomfort)에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(p < .022), (p < .000). 그리고 앞, 뒤 작업자도 모두 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다(p < .000) (Table 13). 분산분석 후의 JMP 통계패키지를 이용하여, 설계변수의 사후분석을 통하여 통계적 차이를 보였다. 제품유형별 사이즈에 해당하는 드럼세탁기와 김치냉장고, 그립높이는 200mm, 그립길이는 500mm가 최적수준으로 나타났다(Table 14) (Table 15) (Table 16). 사후분석을 통한 평지이동과 계단오르기 Task의 최적수준 결과는 다음과 같다(Table 17).

앞, 뒤 작업자의 불편도 점수는 각각 6.3, 4.6으로 나타났다. 작업자들 모두 불편하다고 느꼈으며, 뒷 작업자보다 앞 작업자의 불편도가 더 높게 나타났다(Figure 20).

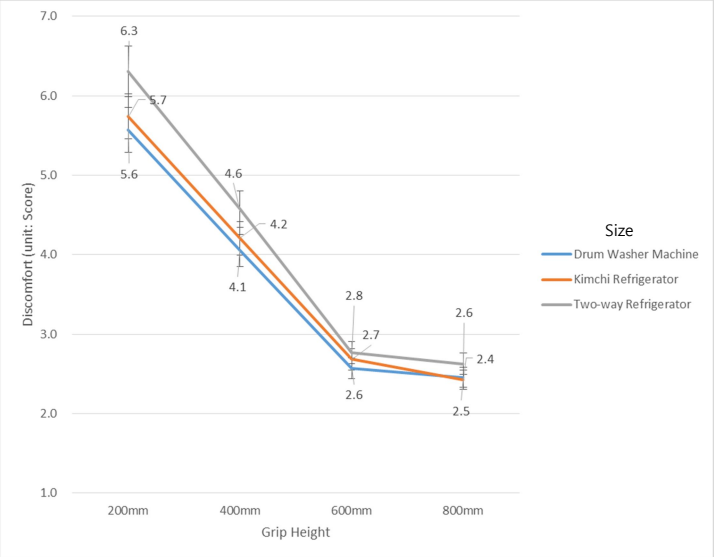

Figure 18. Size and grip height interaction plot for discomfort in walking task

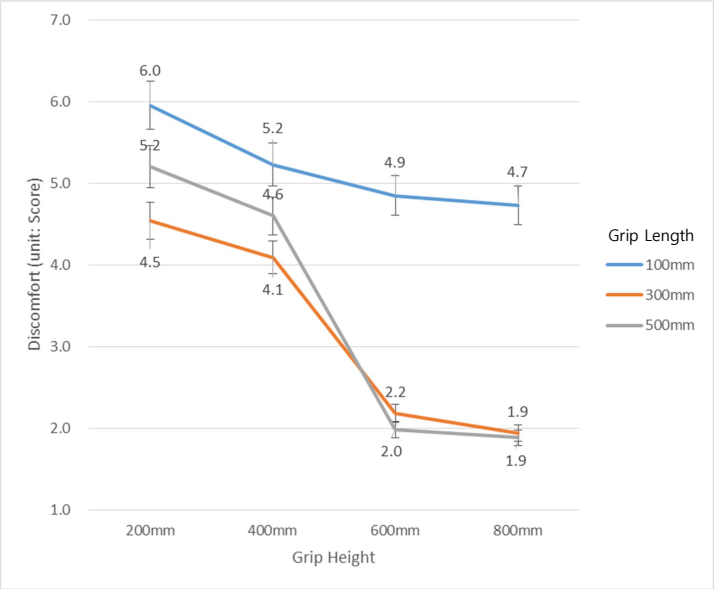

Figure 19. Grip height and grip length interaction plot for discomfort in walking task

Table 12. Anova results of discomfort according to design variable in stair climbing task

Source	SS	DF	MS	*F*	*p*
A (Size)	9.533	2.000	4.767	24.974	0.000***
B (Grip height)	25.293	3.000	8.431	38.449	0.000***
C (Grip length)	75.534	2.000	37.767	124.028	0.000***

Table 12. Anova results of discomfort according to design variable in stair climbing task (Continued)

Source	SS	DF	MS	*F*	*p*
A * B	4.374	6.000	0.729	2.566	0.022*
A * C	1.032	4.000	0.258	1.648	0.169
B * C	161.488	6.000	26.915	127.898	0.000***
A * B * C	3.969	12.000	0.331	1.641	0.080

*p<.05, **p<.01, ***p<.001

Table 13. Anova result of discomfort according to operator variable in stair climbing task

Source	SS	DF	MS	*F*	*p*
Operator	18.830	1.000	18.830	46.272	0.000***

***p<.001

Table 14. Post-hoc analysis result of size design variable in stair climbing task

Size	Level	Least sq mean
Two-way refrigerator	A	3.7
Kimchi refrigerator	B	3.6
Drum washer machine	B	3.6

Table 15. Post-hoc analysis result of grip height design variable in stair climbing task

Grip height	Level	Least sq mean
800mm	A	3.8
600mm	B	3.7
400mm	B	3.6
200mm	C	3.3

Table 16. Post-hoc analysis result of grip length design variable in stair climbing task

Grip length	Level	Least sq mean
100mm	A	4.0
300mm	B	3.6
500mm	C	3.3

제품유형별 사이즈의 불편도 점수는 드럼세탁기, 김치냉장고, 양문형냉장고가 각각 3.6 3.6, 38로 나타났다. 제품유형별 사이즈가 커지고 중량이 무거워질수록 불편도 점수가 높아지는 경향을 보였다(Figure 21).

Table 17. Post-hoc analysis result of optimal level

Source	Walking	Stair climbing	
Size	Drum washer machine	Drum washer machine	Kimchi refrigerator
Grip height	600mm	200mm	
Grip length	300mm	500mm	

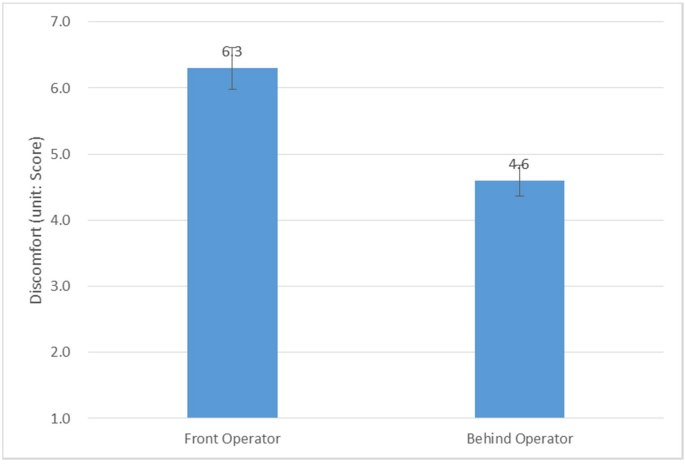

Figure 20. Operator's discomfort in stair climbing task

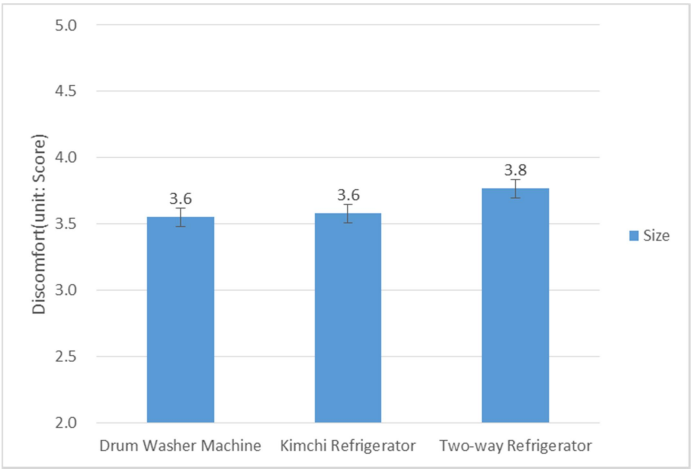

Figure 21. Size discomfort in stair climbing task

그립높이의 불편도 점수는 200mm, 400mm, 600mm, 800mm로 각각 3.3, 3.6, 3.7, 3.8로 나타났다. 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 그립높이가 낮아질수록 덜 불편한 경향을 보였다(Figure 22).

그립길이의 불편도 점수는 100mm, 300mm, 500mm로 각각 4.0, 3.6, 3.3으로 나타났다. 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 그립길

이가 길어질수록 덜 불편한 경향을 보였다(Figure 23).

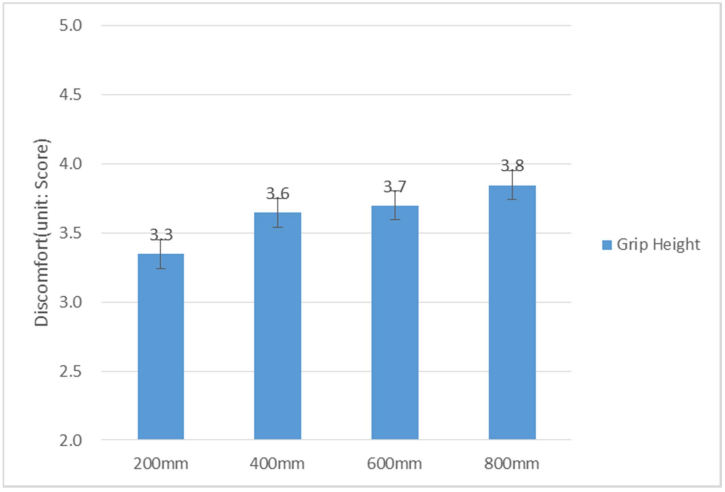

Figure 22. Grip height discomfort in stair climbing task

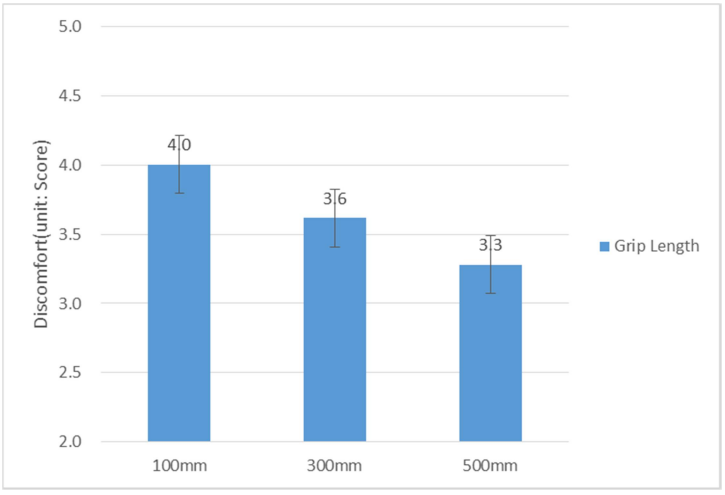

Figure 23. Grip length discomfort in stair climbing task

사이즈와 그립높이에 따른 불편도의 경우, 그립높이가 상대적으로 높아질수록 작업자들의 불편도가 높았으며, 상대적으로 그립높이가 낮은 200mm가 덜 불편한 경향을 보였다(Figure 24).

그립높이와 그립길이에 따른 불편도의 경우, 그립길이가 상대적으로 짧은 100mm에 대해 작업자들의 불편도가 높았으며, 그립높이가 상대적으로 낮은 200mm일 때, 그립길이는 300~500mm가 덜 불편한 경향으로 나타났다(Figure 25).

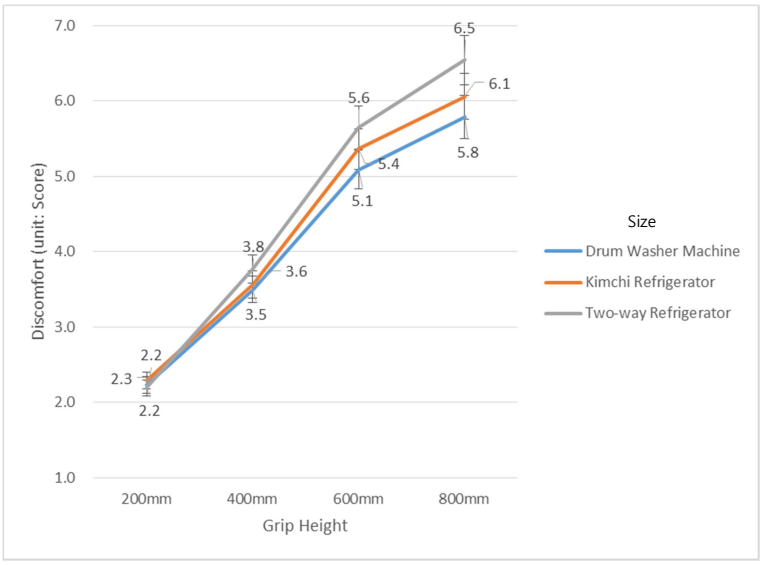

Figure 24. Size and grip height interaction plot for discomfort in stair climbing task

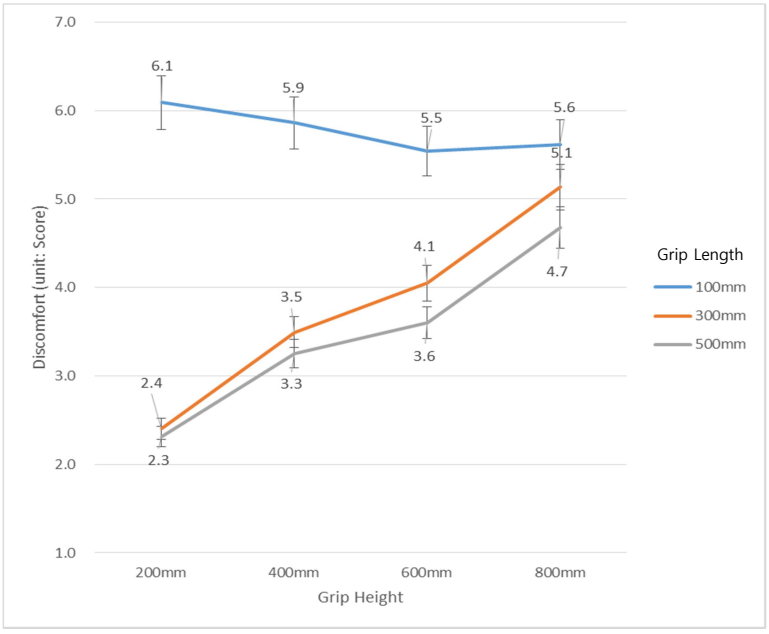

Figure 25. Grip height and grip length interaction plot for discomfort in stair climbing task

4. Discussion and Conclusion

2인 인력물자취급과업은 작업자의 요추 통증을 비롯한 근골격계 질환의 주요 요인으로써 오랜 기간 동안 다수의 연구주제로 다루어져 왔다. 하지만 오늘날 제품의 대형화되는 추세에서 제품의 최대허용중량기준을 초과하며 작업하는 것이 현실이다. 이에 따라 본 연구에서는 1차 실험에서 설계변수에 따른 작업자간 불편도(Discomfort)에 미치는 상대적 중요도와 상호작용 또는 유의성을 알아보았고,

2차 실험에서는 작업자별 변수에 따른 상대적 중요도 결과를 통해 제품유형의 사이즈, 그립높이, 그립길이의 수준을 세분화하여 불편도를 최소화하는 범위를 도출하였다. 이 장에서는 연구를 통해 알아본 결과들을 요약하며, 이를 통해 2인 인력물자취급과업 시 제품유형별 설계에 고려해야 하는 중요한 사항을 논의하고 결론을 도출하고자 한다.

먼저 계단오르기 Task의 1차 실험에서 설계변수의 상대적 중요도로 앞 작업자 기준으로 그립길이, 그립타입, 사이즈, 그립높이의 순서였다. 뒷 작업자 기준은 그립길이, 그립타입, 그립높이, 사이즈의 순서로 나타났다. 앞과 뒤 작업자간 상대적으로 중요한 변수는 그립길이였으며, 앞 작업자의 경우 계단의 기울기 때문에 작업자와 제품간의 간섭이 생겨 100mm는 400mm 보다 불편한 것으로 해석될 수 있다. 1차 실험결과 제품유형별 사이즈, 그립타입, 그립높이, 그립길이의 변수 모두 유의했다. 분산분석 결과에서 나타난 변수의 *F*값은 각각 7.034, 34.404, 21.270, 21.134로 나타났다. 그립타입, 그립높이, 그립길이에 따라 불편도에 영향을 많이 끼치는 것으로 보였다. 제품의 유형별 사이즈의 경우, *F*값이 7.034로 상대적으로 다른 변수에 비해 낮은 영향력을 보였으나, 이는 그립타입, 그립높이, 그립길이의 변수가 작업자와 제품간의 간섭발생으로 인해 상대적 영향력이 미비하다고 해석할 수 있다. 2차 실험결과, 평지이동 Task의 경우에는 제품유형별 사이즈, 그립높이, 그립길이의 변수 모두 유의했다. 분산분석 결과에서 나타난 변수의 *F*값은 각각 39.243, 786.497, 32.884로 나타났다. 그립높이가 다른 변수에 비해 상대적으로 높은 영향력을 보였다. 또한, 평지이동의 설계변수로 그립높이는 600~800mm, 그립길이는 300~500mm의 범위가 가장 낮은 불편도 점수를 얻었다. 계단오르기 Task의 경우에는 제품유형별 사이즈, 그립높이, 그립길이의 변수 모두 유의했다. 분산분석 결과에서 나타난 변수의 F값은 각각 24.974, 38.449, 124.028로 나타났다. 그립길이가 다른 변수에 비해 상대적으로 높은 영향력을 보였다. 이는 1차 실험과 동일한 해석으로 제품과 작업자 간의 간섭발생으로 인한 것으로 보인다. 계단오르기의 설계변수로 그립높이는 200mm, 그립길이는 300~500mm의 범위가 가장 낮은 불편도 점수를 얻었다. 그립높이 400~800mm의 범위는 주관적 인터뷰와 같이 해석될 수 있었다. 계단의 기울기 때문에 앞 작업자는 400mm의 그립높이에서는 제품과 작업자간의 간섭이 직접적으로 발생하지는 않지만, 간섭이 발생할 수 있다는 심리적인 불안감으로 인해 불편하다고 응답하였다. 또한, 요추에 힘이 들어가는 시점이 400mm부터라는 응답이 많았다. 그립높이가 600~800mm의 범위일 때는 직접적으로 제품과 작업자 간의 간섭이 발생하여 이동자체가 불가능했다. Task에 따른 사이즈와 그립길이, 그립길이와 그립높이의 2차 교호작용도 최적범위로써 해석이 가능하다. 이를 토대로 제품유형별로 설계변수를 고려하여 설계를 한다면, 평지이동의 경우 그립높이를 600~800mm로 고려해야 하고, 그 다음으로 그립길이는 300~500mm로 고려해야 한다. 계단오르기의 경우 우선순위를 두고 설계를 한다면 그립길이를 300~500mm로 고려해야 하며, 그립높이는 200mm로 고려해야 할 것으로 보인다.

본 연구의 한계로는 두 가지가 있다. 첫째는 작업자 간의 설계변수의 수준을 앞 작업자와 뒷 작업자를 모두 동일한 수준의 순서로 진행을 했기 때문에, 각각의 작업자의 최적 그립범위를 도출하는 하지 못한 것이 본 연구의 한계이다. 둘째, 정성적인 평가지표로 연구결과를 도출했기 때문에 추가적으로 정량적인 평가도구를 함께 고려한 추가 연구가 필요할 것이다. 마지막으로 평지이동과 계단오르기 Task를 고려한 표준화된 설계가 필요할 것으로 보인다.

References

Ayoub, M.M. and Grasley, C., Review of the Strength and Capacity Data for Manual Material Handling Activities, *Texas Tech. University Lubuck, Texas,* pp. 1-248, 1979.

Bheem, P.K., Tycho, K.F., Jeffrey, E.F. and Dong, C.L., The effect of upper-extremity posture on maximum grip strength. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18(1996), 423-429, 1996.

Ciriello, V.M., The effects of container size, frequency and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting for female industrial workers. *Applied Ergonomics*, 38, 1-5, 2007.

Dempsey, P.G., A critical review of biomechanical, epidemiological, physiological and psychophysical criteria for designing manual materials handling tasks. *Ergonomics*, 41, 73-88, 1998.

Dennis, G.J. and Barrett, R.S., Spinal loads during individual and team lifting. *Ergonomics*, 45(10), 671-681, 2002.

Dennis, G.J. and Barrett, R.S., Spinal loads during two-person team lifting: effect of matched versus unmatched standing height. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32(1), 25-38, 2003.

Fox, R.R., A psychophysical study of bimanual lifting. Masters in industrial engineering Thesis, *Texas Tech. University Lubuck, Texas,* pp. 1-84, 1988.

Human Factor Design handbook, Tools Design to Minimize Injury, 509-519, 1992.

Karwowski, W., Maximum load lifting capacity of males and females in teamwork. Proceedings of the Human Factors Society 37th Annual Meeting, Santa Monica, CA, *Human Factors and Ergonomics Society*, pp. 680-682, 1988.

KOSHA., Heavy handling Work Safety, 2014, http://guide.kosha.or.kr/quick/heavyHandlingB.do

Lee, K.S. and Lee, J.H., A study of efficiency of two-man lifting work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28(3e4), 197-202, 2001.

Li, K.W., Yu, R.F., Gao, Y., Maikala, R.V. and Tsai, H.H., Physiological and perceptual responses in male Chinese workers performing combined manual materials handling tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics,* 39, 422-427, 2009.

Marras, W.S., Davis, K.G., Kirking, B.C. and Granata, K.P., Spine loading and trunk kinematics during team lifting. *Ergonomics*, 42(10), 1258-1273, 1999.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Architecture Policy., Rules on the Standards of Evacuation and Fire Protection in Buildings, 2010.

Mital, A. and Motorwala, A., An ergonomic evaluation of steel and composite access covers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15(4), 285-296, 1995.

Mo, S.M., Kwag, J.S. and Jung, M.C., Literature Review on One-Handed Manual Material Handling. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 29, No. 5 pp. 819-829, 2010.

Rice, V.J., Sharp, M.A., Nindl, B.C. and Randall, K.B., Prediction of two-person team lifting capacity. Proceedings of the Human Factors Society 39th Annual Meeting, Santa Monica, CA, *Human Factors and Ergonomics Society*, pp. 645-649, 1995.

Sharp, M.A., Rice, V.J., Nindl, B.C. and Williamson, T.L., Effects of team size on the maximum weight bar lifting strength of military personnel. *Human Factors*, 39(3), 481-488, 1997.

Winston, G.L. and Narayan. C.V., Design and sizing of ergonomic handles for hand tools. *Applies Ergonomics*, 24, 351-356, 1993.

Wu, S.P., Maximum acceptable weight for asymmetric lifting of Chinese females. *Applied Ergonomics*, 34, 215-224, 2003.

Author listings

Sang Kyun Na: nasangkyun@korea.ac.kr
Highest degree: BA, Department of Business Administration, Yonsei University
Position title: Master's Student, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Product Development and Biomechanics

Kimin Ban: kmban@korea.ac.kr
Highest degree: MA, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Position title: Doctoral Student, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Product Development and UX Design

Youngjae Im: ergoim@deu.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Korea University
Position title: Assistant Professor, Division of Design Engineering, Dong-eui University
Areas of interest: Product Development

Jaeho Choe: jhchoe@daejin.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology
Position title: Professor, Department of Industrial Management Engineering, Daejin University
Areas of interest: Product Development

Eui S. Jung: ejung@korea.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Product Development