

석사학위논문

자연스러운 동작 분석을 통한
냉장고 **Half Guard** 조립체의 인간공학적 개선

김수진 (金秀眞)

기계산업공학부 산업경영공학과 (인간공학 전공)

포항공과대학교 대학원

2010

자연스러운 동작 분석을 통한
냉장고 **Half Guard** 조립체의 인간공학적 개선

An Ergonomic Development
of a Half Guard Assembly Part of a Refrigerator
Based on Natural Human Motion Analysis

**An Ergonomic Development
of a Half Guard Assembly Part of a Refrigerator
Based on Natural Human Motion Analysis**

by
Sujin Kim

**Department of Industrial & Management Engineering,
(Human Factors and Ergonomics Program)
Pohang University of Science & Technology**

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

Pohang, Korea

December, 2009

Approved by

A handwritten signature in black ink, reading "Heecheon You", written over a horizontal line.

Heecheon You, Major Advisor

자연스러운 동작 분석을 통한
냉장고 Half Guard 조립체의 인간공학적 개선

김 수 진

위 논문은 포항공대 대학원 석사 학위논문으로 학위논문
심사위원회를 통과하였음을 인정합니다.

2009년 12월 29일

학위논문심사 위원회

위원장

유 희 천

(인)

위 원

정 민 근

(인)

위 원

김 광 재

(인)



MIE **김수진, Sujin Kim, An Ergonomic Development of a Half Guard**
20080207 **Assembly Part of a Refrigerator Based on Natural Human**
Motion Analysis, 자연스러운 동작 분석을 통한 냉장고 Half
Guard 조립체의 인간공학적 개선, Department of Industrial &
Management Engineering, 2010, Advisor: Heecheon You, Text in
Korean.

Abstract

An ergonomic product based on natural human motion improves user satisfaction and increases efficiency. This study is proposed to develop ergonomic half guard design (groove and projection) which is applied to natural motion for the use of product and validate effect of the development. So, there are three objectives in this study. First is to grasp the characteristics of half guard design and the natural motion for the use of a half guard quantitatively. Second is to develop new half guard design through applying the extracted natural motion. Third is to propose the product design evaluation process used motion analysis and analyze the effect of developed half guard design based on the process.

The approach to design a half guard considering user natural motion has 3-steps; design characteristics analysis, natural motion analysis, and design improvement. Design characteristics analysis is the step to understand fundamental design characteristics of a half guard (e.g. product components, use environment, and related patents). Natural motion analysis is the step to analyze quantitatively natural human motion for the use of

half guard. At first, we capture the natural motion from 18 participants (mean age = 44, SD = 9.0) by motion analysis system, and regression analysis is performed to grasp the tendency of the user natural motion and to extract representative trajectory for applying the user natural motion to half guard design. Design improvement is the step to design a half guard with applying the user natural motion. The improvement process consists of 4-steps; design parameter analysis, constraint analysis, design ideation, design determination. Through the 4-steps, 2 types of half guard design are developed; Trapezoid wedge with reference point (Trap_{RP}) and Curved wedge_{RP} (Curv_{RP}).

To validate effect of developed half guards in the 3rd step, usability for new (Trap_{RP}, Curv_{RP}) and previous half guard designs (Nipper, Nipper_{RP}, Rectangular wedge_{RP}; Rect_{RP}) are compared for 18 participants (mean age = 43, SD = 7.7). The usability evaluation is composed to a quantitative measure (trajectory similarity; minimum distance between natural motion and trajectory for the use of each half guard) and a qualitative measure (subjective rating for satisfaction of the use of the half guards; 7 point-scales: totally satisfied, 4: neutral, 1: totally unsatisfied). The developed design includes natural motion and the idea of the reference point (RP). The trajectory of developed designs (Curv_{RP}, Trap_{RP}: 1.0 ± 0.1 cm) are more similar to natural motion than previous designs (Nipper_{RP}: 1.6 ± 0.1 , Rect_{RP}: 1.9 ± 0.1 , and Nipper: 2.0 ± 0.1). And participants were highly satisfied with developed designs (Curv_{RP}: 6.3 ± 0.2 point, Trap_{RP}: 5.5 ± 0.3) than previous designs (Rect_{RP}: 5.3 ± 0.3 , Nipper_{RP}: 4.2 ± 0.3 , and Nipper: 3.3 ± 0.3).

목차

Abstract	5
1. 서론.....	1
1.1. 연구 배경 및 필요성.....	1
1.2. 연구 목표	5
1.3. 논문 구성	7
2. 문헌 조사.....	8
2.1. 동작 측정 방법.....	8
2.1.1. Motion capture system.....	8
2.1.2. Marker set.....	12
2.2. 동작 분석을 통한 제품 평가.....	13
2.3. 자연스러운 동작 분석을 통한 제품 평가 및 설계.....	17
3. 자연스러운 동작을 고려한 냉장고 half guard 설계.....	20
3.1. Half Guard 설계 특성 분석	21
3.2. 자연스러운 동작 파악.....	23
3.2.1. 자연스러운 동작 측정	23
3.2.2. 자연스러운 동작 분석	27
3.3. Half Guard 신규 설계	32
4. Half guard 설계 평가.....	41
4.1. 평가 방법	41

4.1.1. 실험 참여자	41
4.1.2. 실험 환경 구성	42
4.1.3. 평가 대상	42
4.1.4. 수행 작업	45
4.1.5. 실험 절차	45
4.1.6. 실험 계획	46
4.2. 평가 결과	49
4.2.1. 궤적 유사도	49
4.2.2. 장탈착 용이성	51
5. 토의	54
6. 결론	58
References	60
부록	64
부록 1. 실험 참여자 정보	64
부록 2. Half guard 설계 평가 실험 유인물	66
부록 3. Half guard 사용성 평가 결과	71

그림 목차

그림 1-1. 제품-사용자 interface	1
그림 1-2. 냉장고 half guards.....	4
그림 1-3. 냉장고 half guard 의 조립체	5
그림 2-1. Motion capture system setup	9
그림 2-2. 광학식 motion capture process	11
그림 2-3. 전신 reflective marker set.....	13
그림 2-4. Keyboard 사용 손동작 분석을 위한 실험 setup	14
그림 2-5. 냉장고 선반 높이 별 척추 관절각 변화.....	16
그림 2-6. Pitch, row, yaw angle 에 따른 다양한 keyboards.....	17
그림 2-7. 자연스러운 동작을 고려한 세탁기 설계.....	19
그림 2-8. 자연스러운 사용 동작에 근간한 제품 평가.....	19
그림 3-1. 자연스러운 사용 동작을 고려한 half guard 설계 과정	20
그림 3-2. Half guard 구성 요소	21
그림 3-3. Half guard 설계에 관한 선행 특허 분석 예	22
그림 3-4. 자연스러운 half guard 사용 동작 측정을 위한 setup.....	25
그림 3-5. 자연스러운 half guard 장탈착 동작	26
그림 3-6. 자연스러운 half guard 장탈착 동작 궤적	29
그림 3-7. Half guard 장탈착 동작 구간	30
그림 3-8. 자연스러운 동작 적용을 통한 half guard 설계 개선 과정	32

그림 3-9. 조립홈/턱의 수직 마찰 부위 예	33
그림 3-10. Half guard 설계 제약 조건 분석 예	34
그림 3-11. 제약조건 분석을 통해 선정된 조립홈 설계 치수.....	34
그림 3-12. 1 차 회귀식 적용을 통한 half guard 설계	36
그림 3-13. 운형 빼기 설계 과정 예	37
그림 3-14. Half guard 조립 참조점	38
그림 3-15. 조립 참조점 유무에 따른 장착 궤적 비교.....	39
그림 4-1. Half guard 장탈착 동작 측정을 위한 mock-up	43
그림 4-2. 궤적유사도 분석을 위한 궤적간 최소거리 산출 예.....	46
그림 4-3. Half guard 장탈착 용이성 설문지 예	48
그림 4-4. Half guard design 과 높이에 대한 궤적 유사도.....	51
그림 4-5. Half guard design 과 높이에 대한 장탈착 용이성	53

표 목차

표 2-1. 동작 분석을 활용한 제품 사용성 평가.....	15
표 3-1. 자연스러운 동작 측정 실험 참여자 선발 기준.....	23
표 3-2. Half guard 높이 선정을 위한 benchmarking	24
표 3-3. 회귀 분석을 통한 대표 자연스러운 장탈착 동작 궤적 추출.....	31
표 3-4. 자연스러운 동작 궤적을 적용한 half guard 신규 설계	40
표 4-1. 개선 효과 평가 대상 half guard	44
표 4-2. Half guard 사용 궤적 유사도에 대한 분산분석	50
표 4-3. Half guard 장탈착 용이성에 대한 분산분석	52

1. 서론

1.1. 연구 배경 및 필요성

사용자의 제품 사용 편의성과 만족감 향상을 위해 사용 자세와 동작을 고려한 제품 설계가 중요시되고 있다. 그림 1-1에 도시된 제품과 사용자 간의 interface 와 같이, 제품 사용 자세 및 동작은 제품의 효율성 및 제품 사용 시 사용자가 느끼는 신체적 편안함과 밀접한 관계가 있다(장준호 외, 2006). Nelson et al. (2000)은 keyboard 의 설계 각도(예: pitch angle)에 따라 손가락 관절의 움직임과 손목 힘줄의 길이 변화가 증가함을 규명하여, 불편한 사용 동작을 유도하는 제품을 장시간 사용하는 것은 신체 부위의 통증을 유발할 수 있다고 주장하였다. 그러므로 사용자가 선호하는 자연스러운 제품 사용 자세와 동작을 고려한 제품 설계는 제품 사용 편의성과 만족감을 향상시킨다.

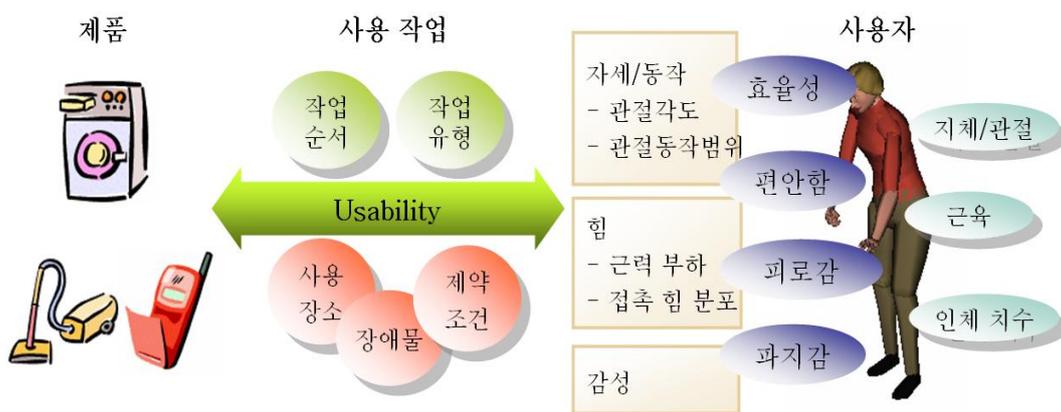


그림 1-1. 제품-사용자 interface (장준호 외, 2006)

사용자의 제품 사용 자세 및 동작 특성을 고려하여 제품을 평가하는 방법에 대한 연구가 수행되고 있다. 제품 사용 자세 및 동작 특성을 고려한 제품 평가 관련 연구들은 수행도, 제품 설계 변수에 따른 신체 변화를 정량적으로 파악했다. 예를 들어, Treaster et al. (2000)은 높이 및 간격 조절이 가능한 alternative keyboard 를 이용하여 keyboard 사용 시 설계 변수(예: pitch angle, separation distance)에 따른 손가락 관절, 손목 각도를 측정하고 손목 힘줄의 길이 변화를 추정하여 pitch angle 이 증가함에 따라 손목 힘줄의 길이 변화가 감소함을 파악하였다. 또한 Karlqvist et al. (1999)은 mouse 와 track-ball 사용에 대한 사용 자세(예: shoulder rotation), EMG (%MVE), 그리고 피로도(modified Borg scale, 범위: 0 ~ 14)를 측정하여, track-ball 사용이 mouse 대비 어깨 및 손목 부하를 감소(예: 승모근(trapezius muscle)의 %MVE: track-ball 사용 시 1.5 % 감소)시키는 것으로 평가하였다. Treaster et al. (2000)과 Karlqvist et al. (2000)의 연구와 같은 제품 평가에 관한 기존 연구들은 제품 설계 변수와 사용 자세 및 동작과의 연관성에 대해 파악하였으나 신체 부하를 감소하는 개선 방안에 대한 연구는 부족했다. 또한 기존 설계에 대한 동작 측면에서의 사용성 평가 이외에도 사용자 입장에서의 편안하고 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작에 대한 고려가 요구된다.

사용자가 선호하는 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작을 고려한 제품 평가 및 설계에 관한 연구가 수행되고 있으나, 자연스러운 동작을 객관적으로 정량화하여 제품 설계에 반영하고 평가하는 연구는 미흡한 실정이다. 장준호 외(2006)는 가정용 청소기의 자연스러운 사용 동작에 대해

8개 신체부위(예: 손목, 어깨)의 range of motion (ROM)을 정의하고, 이를 기준으로 기존 청소기(4종)에 대한 동작 측면에서의 사용성 평가 방법론을 개발하고 평가하였다. 장준호 외(2006)의 연구는 자연스러운 동작을 객관적으로 정량화하여 동작 측면에서 제품 설계를 평가하였으나, 제품 설계에 자연스러운 동작을 적용하는 방안은 제시하지 않았다. Nyberg and Kempic (2006)은 세탁물 출입 시 사용자의 자연스러운 자세 및 동작을 정성적(예: 사용자 interview, contextual inquiry)으로 분석하여 편안한 자세로 세탁물 출입 동작이 가능하도록 드럼 세탁기 입구 방향을 대각선 방향으로 개선하는 것을 제안하였다. 그러나 세탁기 설계 개선 과정에서 정량적인 근거가 제시되지 않았다. 자연스러운 사용 동작을 유도하는 제품을 설계하기 위해서는 제품 사용 시 사용자가 선호하는 자연스러운 자세 및 동작을 정량적으로 분석하여 제품 설계에 반영하고 개발된 제품의 개선 효과를 평가하는 체계적인 제품 개발에 관한 연구가 필요하다.

한편, 냉장고 half guard (그림 1-2 참조)는 사용 시 불편한 동작을 유발하는 제품의 예로 자연스러운 사용 동작을 고려하여 half guard 설계를 개선할 수 있다. 냉장고를 주로 사용하는 30 ~ 50대 주부 20명을 대상으로 냉장고 사용에 대한 Focus Group Interview (FGI)를 수행한 결과, 90% 이상의 주부들이 half guard 장착 및 해체(이하 장탈착) 동작에 대한 부자연스러움과 불편함을 느낀 경험이 있다고 밝혔다. 또한 5종의 냉장고 half guard 장탈착 동작의 용이성에 대한 주관적 만족도 평가를 수행한 결과 half guard 조립체(조립홈과 조립턱, 그림 1-3 참조)의 형태에 따라 만족도에 차이가

있었으므로, 부자연스러운 장탈착 동작을 유발하는 주요 원인이 조립체의 형태라고 가정하였다. 자연스러운 half guard 사용 동작의 특성을 파악하고 기존 half guard 조립체에 적용하여 신규 설계를 도출한다면 부자연스러운 사용 동작이 개선될 수 있을 것이다. 자연스러운 half guard 사용 동작을 파악하고 제품 설계에 적용하기 위해서 half guard 설계 요소 특성을 파악하고 자연스러운 사용 동작을 객관적으로 정량화하는 방법이 요구된다. 또한 개발된 신규 half guard 의 개선 효과를 평가하기 위하여 기존 half guard 에 대한 사용성을 정량적, 정성적으로 비교할 수 있는 방안이 필요하다. 자연스러운 사용 동작 적용을 통한 half guard 설계 개선은 half guard 의 사용성 향상에 중요한 역할을 할 것이다.



그림 1-2. 냉장고 half guards

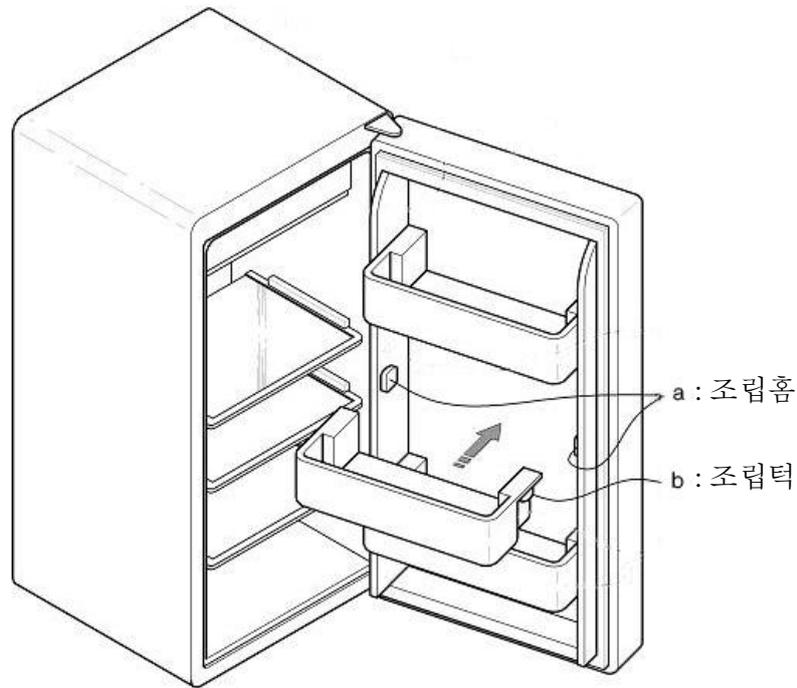


그림 1-3. 냉장고 half guard의 조립체(조립홈과 조립턱)

1.2. 연구 목표

본 연구는 자연스러운 half guard 사용 동작을 분석하고 적용하여 인간공학적 half guard 조립체를 개발하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 다음의 세 가지 세부 목표를 포함한다.

첫째, half guard의 설계 특성을 체계적으로 분석하고 자연스러운 사용 동작 특성을 정량적으로 정의한다. 본 연구의 제품 설계 개선 과정은 half guard 설계 분석 단계와 자연스러운 제품 사용 동작 분석 단계로 구성된다. half guard 설계 분석 단계에서는 제품의 설계 특성을 분석하고 제품과 사용자 사이의 물리적인 interface를 분석하여 제품과 사용자의 특성을 파악한다.

자연스러운 제품 사용 동작을 객관적으로 정량화하기 위하여 half guard 설계 분석을 기반으로 자연스러운 동작 분석 protocol 을 수립하고 동작 분석 시스템을 활용하여 자연스러운 제품 사용 동작을 측정하고, 동작의 특성을 파악한다.

둘째, 파악된 자연스러운 half guard 사용 동작 궤적을 적용하여 자연스러운 사용 동작을 유도하는 half guard 조립체의 설계 대안을 개발한다. Half guard 설계 변수와 제약 조건을 분석하여 자연스러운 동작 궤적을 half guard 에 적용하는 방안을 고려한다. 예를 들어, 개선 설계에 적용할 자연스러운 동작 궤적을 결정하거나 자연스러운 동작이 적용될 수 있는 설계 변수를 선정한다. 선정된 부위에 자연스러운 동작 궤적을 적용하여 자연스러운 동작으로 half guard 사용이 가능하도록 하는 half guard 조립체의 개선안을 제안한다.

셋째, half guard 신규 설계와 기존 설계의 사용성을 평가하고 비교 분석하여 신규 설계의 개선 효과를 평가한다. 신규 설계와 기존 설계의 사용성 평가 방법은 정량적인 평가 방법인 궤적 유사도와 정성적인 평가 방법인 장탈착 용이성으로 구성된다. 신규 설계와 기존 설계의 사용성을 비교하여 개선 효과를 평가함으로써 본 연구에서 수행한 자연스러운 동작 궤적을 적용한 인간공학적 제품 설계 방안에 대한 타당성을 검증한다.

1.3. 논문 구성

본 논문은 6개의 장과 2개의 부록으로 구성되어 있다. 제 1장은 연구의 배경, 필요성과 같은 연구의 전반적인 개요에 대한 서술로 구성되어 있다. 제 2장은 문헌조사를 통해 파악된 연구 진행에 필요한 기초 정보 및 지식, 동작 분석을 통한 제품 설계 및 평가에 관한 기존 연구에 대해 서술하고 있다. 제 3장은 자연스러운 동작 궤적을 적용한 half guard 설계 개선에 관한 내용으로 half guard 설계 특성 분석, 자연스러운 half guard 사용 동작 측정 및 분석, 자연스러운 동작 궤적을 적용한 half guard 설계 과정에 대해 서술하고 있다. 제 4장에서는 제 3장에서 제안된 half guard 신규 설계와 기존 half guard 설계의 사용성을 비교하여 개선 효과를 평가하는 과정에 대해 서술하고 있다. 제 5장은 본 연구의 의의, 기대 효과에 대해 서술하고 있으며, 제 6장은 연구의 결론에 대해 서술하고 있다. 부록은 각 장에서 예시로 서술된 분석 정보의 모든 내용을 포함한다.

2. 문헌 조사

2.1. 동작 측정 방법

2.1.1. Motion capture system

Motion capture 는 사물의 동작을 기록하고 분석 가능한 데이터로 변환하여 컴퓨터로 읽어 들이는 과정으로 다양한 분야(예: 애니메이션, 의료 분야)에서 활용된다. Motion capture 는 주로 애니메이션 제작 시 역동성을 지닌 움직임의 움직임을 생성하는 데에 활용된다(최태준 외, 2007). 또한 의료 분야에서는 재활의학적 측면에서 환자의 걸음걸이나 움직임의 정상 여부를 판단하기 위한 진단의 목적으로 사용된다(이제희, 2003). 이외에도 스포츠 과학, 인간 공학, 군사, 영화 속 특수 효과 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다(이제희, 2003).

대표적인 motion capture system 은 비디오 카메라를 이용한 광학식(optical) system, 전자기장을 이용한 전자기식(electro-magnetic) system, 기계 골격을 활용한 기계식(mechanical) system 이 있으며 근래에는 실용성과 정확성의 이유로 광학식 system 이 가장 주목 받고 있다(이제희, 2003). 광학식 system 은 특정 주파수를 받아들이는 filter 를 갖춘 여러 대의 비디오 카메라로 구성된다. 측정 원리는 연기자의 몸에 부착된 reflective marker 를 반사시키는 카메라의 적외선 광원이 카메라에 녹화되는 방식으로, 2 대 이상의 카메라를 통해 측정된 reflective marker 의 3D 좌표를 삼각함수를 이용하여 계산한다. 전자기식 system 은 transmitter 로 3차원의 공간상에 전자기장(electro-magnetic field)을 형성시키고 연기자의 몸에 부착된 sensor 들이 전자기장으로부터

스스로의 위치와 방향을 계산할 수 있도록 한 방법이다. 기계식 system 은 연기자의 몸에 부착된 기계 골격(mechanical skeleton) 관절의 sensor 로부터 동작을 인식하는 방법이다. 연기자의 움직임을 제약하지 않는다는 장점과 사용 편의성으로 인해 광학식 방법이 가장 많이 활용되고 있다.



그림 2-1. Motion capture system setup (<http://tic.honam.ac.kr/>)

일반적으로 광학식 motion capture system은 그림 2-1과 같이 카메라, server, 운용 컴퓨터, 측정 및 분석 프로그램으로 구성되어 있다 (<http://tic.honam.ac.kr/>). 카메라는 측정 대상에 부착된 reflective marker의 움직임을 녹화하고 server는 녹화된 analog 형식의 data를 digital data로 변환하는 역할을 수행한다(<http://tic.honam.ac.kr/>). Server를 통해 운용 컴퓨터로 전송된 digital data는 분석 프로그램을 통해 후처리 과정(editing)을 거친다(이상기, 2006). 후처리 과정에서는 reflective marker의 위치(예: 팔꿈치 관절)가 잘못 지정된 경우와 같이 측정 오류를 보정한다. 측정 오류는 촬영 시 reflective marker가 가려지는 경우, data가 server를 통해 digital 형식으로 변환되는 과정에서 발생하며 측정 오류가 여러 frame에서 반복적으로 발생할 경우, 보정 작업을 거쳐도 정확한 data로 간주할 수 없는 경우가 있다(<http://www.motionanalysis.co.kr/>). 광학식 motion capture system을 이용한 동작 측정은 그림 2-2 와 같이 6단계로 구성된다(이제희, 2003).

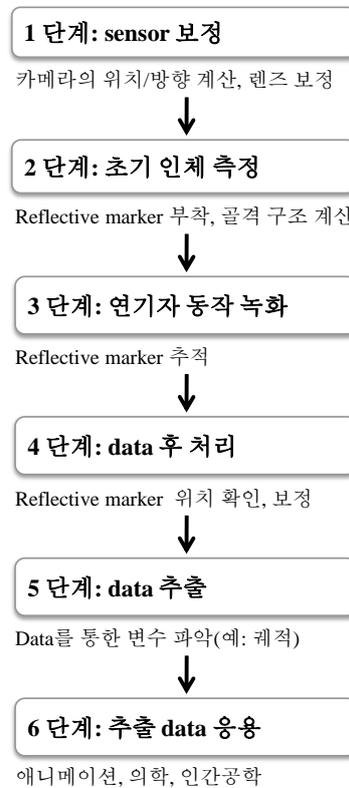
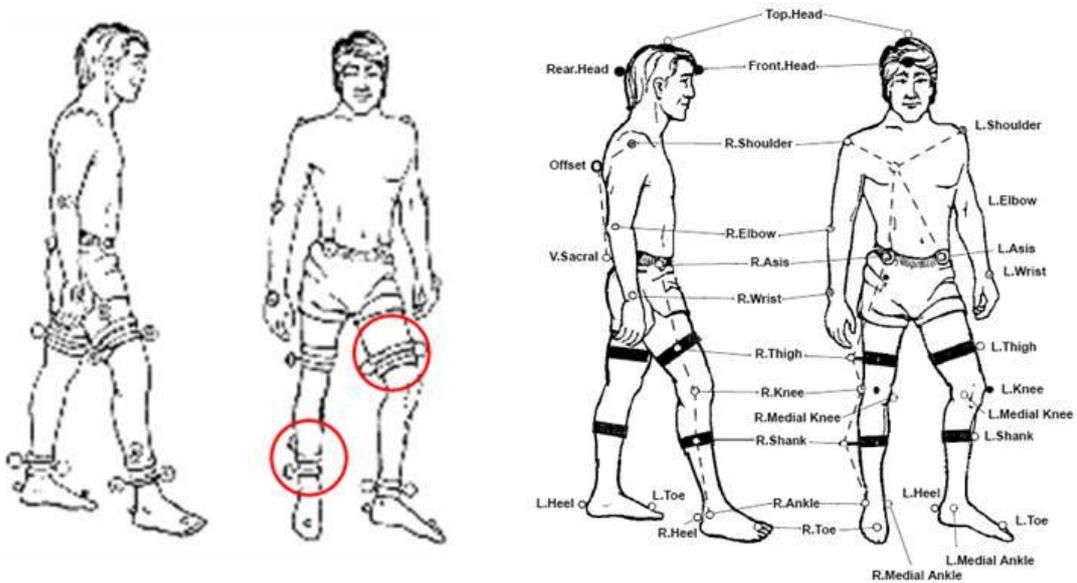


그림 2-2. 광학식 motion capture process

광학식 motion capture system의 경우 digital system과 analog system의 두 종류가 있으며, digital system의 신호도가 높아지고 있다 (<http://www.motionanalysis.co.kr/>). Digital system은 analog system과 차별적으로 digital data 형태로 측정되어 server를 통한 변환 과정이 불필요하다(이제희, 2003). 따라서 analog system에 비해 측정 오류 횟수가 적고 후처리 과정이 단축된다는 장점이 있다. Digital system의 가격이 analog system과 크지 않아 digital system의 활용도가 증가하고 있다(<http://www.motionanalysis.co.kr/>).

2.1.2. Marker set

광학식 motion capture system을 활용한 동작을 촬영을 위하여 신체 관절 혹은 피부 표면에 부착되는 reflective marker의 위치는 측정 목적에 따라 원활한 측정 및 분석을 위한 대표적인 기준 marker set이 있다(Richards and Bruening, 2006). 대표적인 reflective marker set으로는 치료를 목적으로 의학 분야에서 개발된 Cleveland Clinic marker set 과 Helen Hayes marker set이 있다(Richards and Bruening, 2006). Cleveland Clinic marker set의 특징은 3개 이상의 reflective marker로 구성된 rigid triad (marker group)들을 주요 신체 관절 사이에 붙이는 것이다(그림 2-3(a) 참조). 각 rigid triad은 일정한 간격으로 배열된 3개 이상의 reflective marker로 구성되어 측정 오류로 한 개 marker의 위치가 측정되지 않은 경우에 측정되지 않은 reflective marker 양 옆의 marker들로 위치를 추정하여 보완할 수 있다(Richards and Bruening, 2006). 그러나 marker들을 관절 위에 붙이는 것이 아니기 때문에 정지 자세 측정을 통해 관절 값을 정의해야 하는 단점을 가지고 있다. Helen Hayes marker set은 reflective marker들을 신체 관절과 관절 사이에 골고루 부착하는 것이다(그림 2-3(b) 참조). Helen Hayes marker set은 별도로 정지 자세를 측정할 필요가 없어 측정이 용이하다(최훈우, 2005). 대표적인 marker set들은 전신 측정을 기준으로 수립되었으나 필요한 경우 측정 목적에 따라서 marker set에서 부분적으로 marker 위치를 추출하여 사용할 수 있다(Richards and Bruening, 2006).



(a) Cleveland Clinic marker set

(b) Helen Hayes marker set

그림 2-3. 전신 reflective marker set (최훈우, 2005)

2.2. 동작 분석을 통한 제품 평가

사용자의 제품 사용 자세 및 동작 특성을 고려한 인간공학적 제품 평가에 대한 연구가 수행되고 있다(표 2-1 참조). Karlqvist et al. (1999)은 mouse와 track-ball의 사용 자세(예: wrist extension, shoulder rotation)와 주관적 만족도를 측정하여 제품의 사용성을 비교 평가하는 제품 평가 방법을 제안했다. Rempel et al. (2006)는 기존 keyboard 6종과 alternative keyboard 사용 시의 손목 각도 변화, 팔 자세, 그리고 수행도(예: typing speed, accuracy)를 측정하여 제품의 사용성을 평가하였다. Karlqvist et al. (1999)과 Rempel et al. (2006)의 연구는 제품 사용 자세 및 동작 측면에서 제품의 사용성을 평가

하였으나, 사용자가 선호하는 제품 사용 동작에 대한 고려는 부족했다. Andreoni et al. (2002)은 동작 분석을 통해 cushion, backrest와의 interaction을 관찰하여 자동차 설계를 개선하려 했지만, 실험을 통해서 운전자의 관절 동작 범위(range of motion; ROM)만이 파악되었다. Karlqvist et al. (1999)과 Rempel et al. (2006), 그리고 Andreoni et al. (2002)과 같은 제품의 사용성 평가에 관한 기존 연구들은 기존 제품 사용 자세 및 동작과 수행도를 기준으로 평가되고 있으므로 사용자가 선호하는 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작을 고려한 연구가 필요하다.

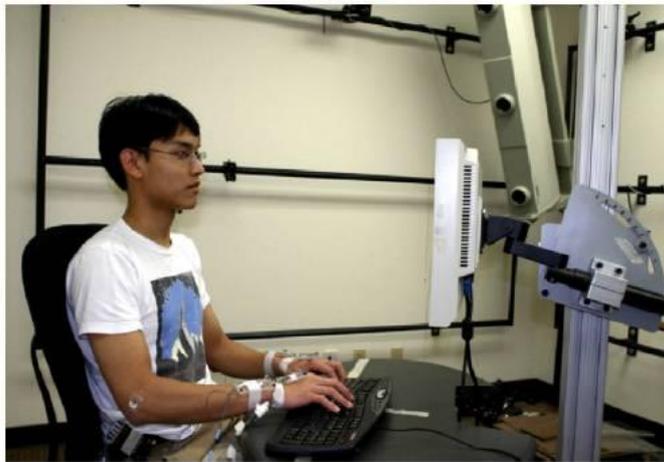


그림 2-4. Keyboard 사용 손동작 분석을 위한 실험 setup (Rempel et al., 2007)

표 2-1. 동작 분석을 활용한 제품 사용성 평가

Author (Year)	Product	Measures	Other measures
Karlqvist et al. (1999)	Mouse track-ball	Wrist angle	Muscle load, subjective rating
Treaster and Marras (2000)	Keyboard	Finger angle, wrist angle, tendon travel	
Nelson et al. (2000)	Keyboard	Finger angle, wrist angle, wrist deviations, tendon travel	Subjective rating
Andreoni et al. (2002)	Car	Neck ROM, lumbar ROM, hip ROM, knee ROM, elbow ROM, shoulder ROM	Pressure
Moffet et al. (2002)	Notebook	Head angle, upper arm angle, trunk angle, wrist angle	Muscle load, subjective rating
Kerrigan et al. (2005)	Shoes	Knee joint torque	
Rampel et al. (2006)	Keyboard	Wrist extension, ulnar deviation, forearm pronation	Subjective rating, typing speed, typing accuracy

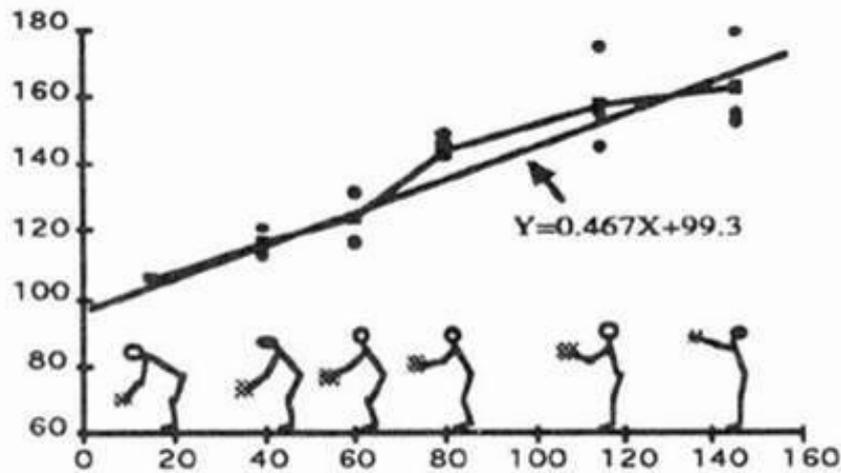


그림 2-5. 냉장고 선반 높이 별 척추 관절각 변화(박재희 외, 1995)

제품 사용 자세 및 동작 특성을 고려한 제품 평가에 대한 연구가 수행되고 있으나, 연구 결과를 근간으로 구체적인 제품 설계 방법을 제시하는 연구는 드물다. 박재희 외 (1995)는 3D motion과 근전도를 측정 및 분석하여 냉장고 사용 동작(예: 냉장고 내부 선반에서 사용자가 음식물을 넣고 꺼내는 동작) 측면에서의 사용성을 평가하였다. 박재희 외 (1995)의 연구는 선반의 높이 별로 척추 관절의 각도 변화와 척추 관절의 근전도를 측정하여 작업부하를 평가하여 작업부하가 최소화 되는 선반의 높이는 파악되었으나(그림 2-5 참조), 평가 결과를 추후 제품 설계에 반영하여 제품의 사용성을 향상시키는 구체적인 방안에 대한 연구는 포함하지 않았다. Nelson et al. (2000)과 Treaster and Marras (2000)은 높이 및 간격 조절이 가능한 alternative keyboard 를 이용하여 keyboard 사용 시 손가락 관절 및 손목의 각도 변화를 측정하고 손목 힘줄의 길이 변화를 추정하여 키보드 4종에

대한 사용성을 평가하였다. Keyboard의 높이와 각도가 keyboard 사용 시 검지 손가락과 손목에 영향을 미친다는 연구 결과를 도출하였으나, 적정 keyboard 설계에 대한 구체적인 높이 혹은 각도에 대한 정보는 제공하지 않았다. 기존 연구들을 제품 사용 자세 및 동작 특성을 고려하여 제품을 평가하였으나 제품 사용성 향상을 위하여 평가 결과를 제품 설계 개선에 직접 적용할 수 있는 방법의 개발이 요구된다.

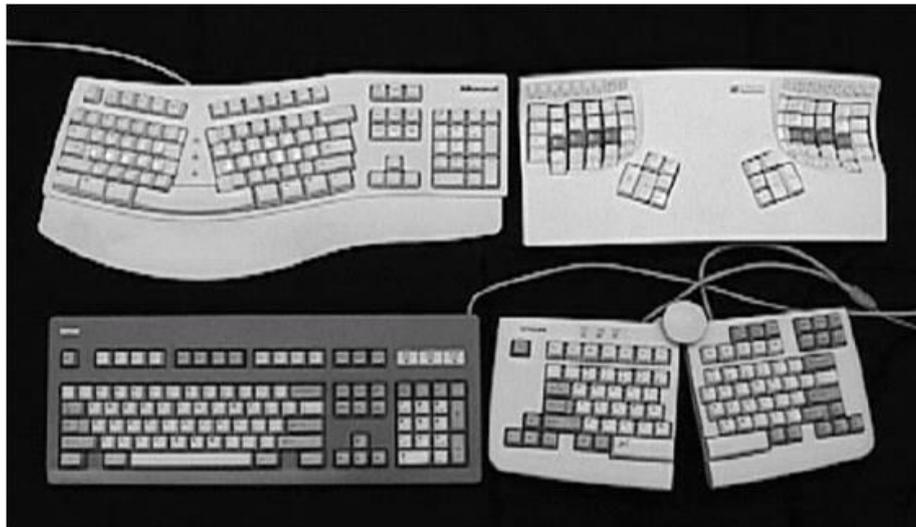


그림 2-6. Pitch, row, yaw angle에 따른 다양한 keyboards (Treaster and Marras, 2000)

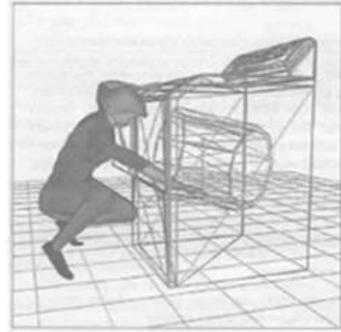
2.3. 자연스러운 동작 분석을 통한 제품 평가 및 설계

사용자의 자연스러운 자세 및 동작을 정량적으로 파악하여 기존 제품을 평가하는 연구가 수행되고 있으나, 자연스러운 동작을 제품 설계에 반영하는 방법론과 설계된 제품을 체계적으로 검증하는 연구는 미흡한 실

정이다. Nyberg and Kempic (2006)은 세탁물 출입 시 자연스러운 사용자의 자세 및 동작 분석을 통해 드럼 세탁기의 입구 방향을 편안한 사용 자세 및 동작이 가능한 대각선 형태로 개선하였다(그림 2-7 참조). Nyberg and Kempic (2006)의 연구는 자연스러운 세탁기 사용 자세 및 동작을 반영하여 드럼 세탁기의 입구 방향을 제안하였으나, 정성적인 조사 방법(예: 사용자 interview, contextual inquiry)을 통해 제품 개선안을 제안하였으므로 객관적이고 정량적인 근거가 부족하다. 장준호 외(2006)는 사용자가 자연스러운 동작으로 가정용 청소기 사용 시 8개 신체부위(예: 손목, 어깨)의 range of motion (ROM)을 정의하고, 이를 기준으로 기존 청소기들(4개)에 대한 동작 측면에서의 사용성 평가 방법론을 개발하고 평가하였다(그림 2-8 참조). 장준호 외(2006)의 연구는 자연스러운 자세 및 동작을 정량적으로 파악하여 제품의 사용성을 평가하는 방법을 개발하였으나, 정량적으로 파악된 자연스러운 제품 사용 동작을 설계 개선에 적용하는 방법에 대한 연구가 미흡하다. 그러므로 자연스러운 동작으로 사용 가능한 인간공학적 제품 설계를 위해서는 사용자가 선호하는 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작을 정량적으로 분석하여 제품을 개선에 반영하는 체계적인 방법의 개발이 필요하다.



(a) 개선 전

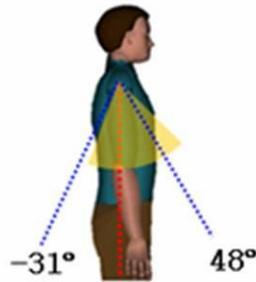


(b) 개선 후

그림 2-7. 자연스러운 동작을 고려한 세탁기 설계(Nyberg & Kempic, 2006)

실제 제품 사용 동작과 비교

유사도: 76 %



▶ 자연스러운 동작 범위
 실제 제품 동작 범위

그림 2-8. 자연스러운 사용 동작에 근간한 제품 평가(장준호 외, 2006)

3. 자연스러운 동작을 고려한 냉장고 half guard 설계

본 연구에서는 그림 3-1과 같이 3단계 설계 과정을 통하여 자연스러운 동작을 고려한 냉장고 half guard 의 조립틱과 조립홈을 설계하였다. 첫째 단계에서는 half guard 설계 요소와 작업 특성을 분석하여 half guard 사용에 영향을 미치는 요소를 파악하였다. 둘째 단계에서는 motion capture system 을 이용하여 자연스러운 half guard 사용 동작을 측정하였다. 그리고 측정된 half guard 사용 동작을 분석하여 추후 half guard 설계에 반영될 자연스러운 half guard 사용 동작 궤적을 추출하였다. 셋째 단계에서는 추출된 자연스러운 동작 궤적을 적용하여 half guard 의 신규 설계안을 도출하였다.



그림 3-1. 자연스러운 사용 동작을 고려한 half guard 설계 과정

3.1. Half Guard 설계 특성 분석

본 단계에서는 half guard 의 설계 특성을 분석하여 사용자의 half guard 사용 동작에 영향을 미치는 요소를 파악한다. 본 단계는 half guard 의 구성을 파악하기 위한 설계 요소 분석과 half guard 로 수행하는 작업들을 이해하기 위한 작업 특성 분석의 2 부분으로 구성된다. 설계 요소 분석에서는 제품의 형태, 높이, 길이, 두께 등의 specification (예: 형태, 길이, 두께) 분석을 통해 기본적인 제품 설계 특성을 이해한다. 그림 3-3는 benchmarking 을 통한 제품 설계 특성 분석의 예로, half guard 의 dimension 정보이다. Half guard 의 설계 특성 분석 단계에서는 specification 분석 외에도 사용자 조사와 선행 특허 분석(그림 3-4 참조) 등이 수행되어 대상 제품의 설계 trend 파악과 대상 제품에 대한 이해도 향상을 도모한다.

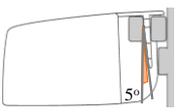
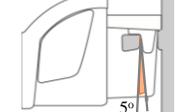
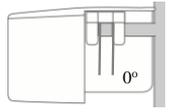
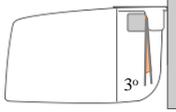
Parameter	S 사				W 사				L 사				M 사				
																	
조립홈	형태	직사각형				사다리꼴				정사각형				정사각형			
	너비(cm)	윗면	2.0	아랫면	2.0	윗면	2.0	아랫면	1.8	윗면	2.0	아랫면	2.0	윗면	2.0	아랫면	2.0
		좌측면	2.8	우측면	2.8	좌측면	2.0	우측면	1.6	좌측면	2.0	우측면	2.0	좌측면	2.0	우측면	2.0
	두께(cm)	1.0				1.0				1.0				1.0			
조립턱	형태	가느다란 췌기형				사다리꼴 췌기형				집게형				사다리꼴 췌기형			
	너비(cm)	윗면	0.9	아랫면	0.6	윗면	3.0	아랫면	2.0	윗면	4.2	아랫면	1.0	윗면	2.0	아랫면	1.8
		좌측면	4.4	우측면	4.0	좌측면	3.0	우측면	3.0	좌측면	2.5	우측면	3.5	좌측면	2.4	우측면	2.2
	두께(cm)	1.0				1.0				1.0				1.0			
	위치	가드 외벽 끝 (냉장고 문 내측)				가드 외벽 끝 (냉장고 문 내측)				가드 내벽측 (냉장고 문 외측)				가드 외벽 끝 (냉장고 문 내측)			
																	
기울기(°)	5				5				0				3				

그림 3-2. Half guard 구성 요소

	출원번호	1997-0034023	출원일	1997.11.26
	공개번호	1999-0020544	공개일	1999.06.15
	등록/공개번호	0217350	등록공개일	2001.01.09
	IPC	F25D-023/02		
	특허/실용신안권자	삼성전자 주식회사		
	목적	가드 높이 조절		
	상세기술	하프식 가드에 있어서, 도어에 형성된 내상벽에는 외부에서 내부패널로 하향 경사를 이루는 턱이 형성되고, 하프식 가드의 양측면에 턱에 대응하는 홈이 형성되어서, 삽입홈에 돌출턱이 삽입되어 하프식 가드가 도어의 내상벽에 고정되는 것을 특징으로 한다.		
	고안의 창출효과	가드의 세밀한 높이 변경		
	인간공학적 평가척도	a. 탈착 용이성 b. 높이조절 용이성		

그림 3-3. Half guard 설계에 관한 선행 특허 분석 예

작업 특성 분석은 half guard 의 사용 특성(예: 사용 목적)과 제품 사용 동작 특성(예: 사용 신체 부위, 사용 동작에 제약을 가하는 부위)을 파악하는 단계이다. 30 ~ 50대 주부 20명을 대상으로 FGI 를 수행한 결과 half guard 는 주로 냉장고 청소를 위해 냉장고 문으로부터 장탈착되며, 참여한 주부의 90% 이상이 장탈착 작업에 불만족을 느끼는 것으로 나타났다. Half guard 사용 동작에 영향을 미치는 설계 요소는 제품 사용 모습을 관찰하거나 혹은 실험자가 직접 제품을 반복적으로 사용하여 분석되었다. Half guard 사용 시 주요 사용 신체 부위는 팔과 손이었으며, 허리의 경우 half guard 장탈착 시 움직임이 뚜렷이 나타나지만 half guard 의 거치 높이에 따른 움직임이므로 허리 동작은 본 연구의 측정 대상에서 제외되었다. 그림 3-2 와 같이 냉장고와 half guard 의 결합을 보조하는 조립체(조립홈과 조립턱)는 half guard 장탈착 시 사용자의 동작에 제약을 주는 요소로 파악되었다.

3.2. 자연스러운 동작 파악

3.2.1. 자연스러운 동작 측정

3.2.1.1. 실험 참여자

자연스러운 half guard 사용 동작 측정을 위해 가정용 냉장고 사용 빈도가 높은 30 ~ 50 대 전업 주부 18명(평균 나이 \pm SD = 44 \pm 9.0세)이 실험에 참여하였다. 본 연구에서는 키 측면에서 다양한 사람이 참여할 수 있도록 Size Korea(2004) 자료의 여성 키를 각각 3개(33th percentile 이하, 33th ~ 67th percentile, 67th 이상) 영역으로 구분하여 실험 참여자를 선발하였다(표 3-1 참조). 실험 참여자의 키는 평균 157.4 cm (SD = 5.3 cm)로 나타났으며 범위는 148.7 cm ~ 173.5 cm로 조사되었다. 실험 참여자의 기본 정보는 키, 몸무게, 외에도 동작에 영향을 미칠 수 있는 팔 길이와 어깨 높이로 구성된다(부록 1 참조).

표 3-1. 자연스러운 동작 측정 실험 참여자 선발 기준(신장, 단위: cm)*

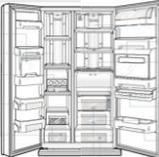
성별	신장		
	소	중	대
	$\leq 33^{\text{rd}}$ percentile	33 rd ~ 67 th percentile	67 th percentile \leq
여	≤ 155.0	155.0 ~ 159.7	159.7 \leq

*Size Korea(2004), 30 ~ 59 세 여성 2,164 명

3.2.1.2. 실험 환경 구성

자연스러운 half guard 사용 동작 측정을 위해 그림 3-5와 같은 냉장고 문 mock-up이 사용되었다. Mock-up은 half guard 거치 높이 별로 half guard를 장탈착할 수 있도록 aluminum profile과 합판으로 조립 제작되었다. Half guard 거치 높이는 S사 냉장, 냉동실의 half guard 높이를 참조하여 6단의 높이(15, 45, 75, 95, 125, 155 cm)로 구성하였다(표 3-3 참조).

표 3-2. Half guard 높이 선정을 위한 benchmarking

냉장고 model 명	SBS* 홈바형	SBS 트윈 홈바형	SBS 외장형	SBS 외장형(구주향)	평균(SD)	
						
Half guard 위치						
냉장실	Dairy guard	152.5	152.5	152.5	159.5	154.3 (2.6)
	1st half guard	127.6	127.6	127.6	123.5	126.6 (1.5)
	2nd half guard	72.5	73.6	72.5	-	72.9(0.4)
	3rd half guard	40.0	40.0	40.0	48.0	42.0(3.0)
	4th half guard	-	-	-	13.5	13.5(0.0)
냉동실	1st half guard	154.8	154.8	153.5	153.5	154.2(0.6)
	2nd half guard	128.0	128.0	-	-	128.0(0.0)
	3rd half guard	97.0	-	-	-	97.0(0.0)
	4th half guard	69.7	70.0	67.5	59.0	66.6(3.7)
	5th half guard	43.0	43.5	43.5		43.3(0.2)

*SBS: side by side

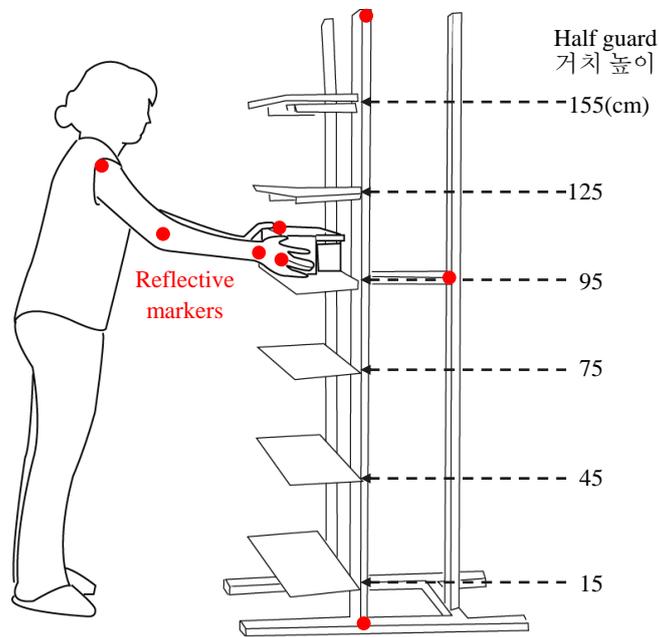


그림 3-4. 자연스러운 half guard 사용 동작 측정을 위한 setup

자연스러운 half guard 사용 동작은 광학식 motion capture system을 활용하여 측정되었다. Motion capture 카메라는 전신자세 측정용 Hawk-I (Motion Analysis Co., U.S.A.) 6 대가 사용되었다. 카메라는 효과적으로 동작을 측정할 수 있도록 냉장고 문 mock-up 주변에 설치되었으며, sampling rate는 60 Hz로 설정되었다. 또한, 자연스러운 사용 동작 측정을 위한 marker는 그림 3-5에 나타난 것과 같이 지름이 1.2 cm인 marker를 오른 팔에 4개(손, 손목, 팔꿈치, 어깨), half guard에 1개, 그리고 냉장고 문 mock-up에 3개를 부착하였다. 본 연구에서는 신체의 좌우가 대칭을 이루며 유사하게 동작하는 half guard 장탈착 동작의 특성을 고려하고 측정 및 분석 편의를 위해 오른 팔의 동작을 측정하였다.

3.2.1.3. 수행 작업

본 연구에서의 자연스러운 half guard 장탈착 동작은 사용 동작에 제약을 가하는 조립체를 제거한 후 냉장고 문 mock-up 의 합판 위에 half guard 를 장탈착 하는 것이다. 그림 3-6와 같이 장착은 가슴 높이에 들고 있던 half guard 를 해당 높이의 합판에 올리는 동작이며, 분리는 합판 위에 올렸던 half guard 를 가슴 높이로 원위치 하는 동작이다. 장탈착 동작은 6단의 half guard 설치 높이에서 각 2회 반복 측정되었다. 장탈착 동작은 냉장고 문 mock-up 정면에서 수행하도록 통제되었으나 mock-up 으로부터 실험 참여자까지의 거리는 연습을 통해 실험 참여자가 선호하는 위치로 결정되었다. Half guard 장탈착 수행 높이 순서는 무작위순(random)으로 제시되었다. 자연스러운 동작 측정 시, 실험 참여자에게 본 연구에서 정의된 자연스러운 동작에 대해 충분히 이해시켜야 하지만, 실험 참여자의 선호 동작을 고려하지 않고 본 실험에서 정의된 자연스러운 동작을 강하게 권유하여 부자연스러운 동작이 측정되는 것을 주의하였다.

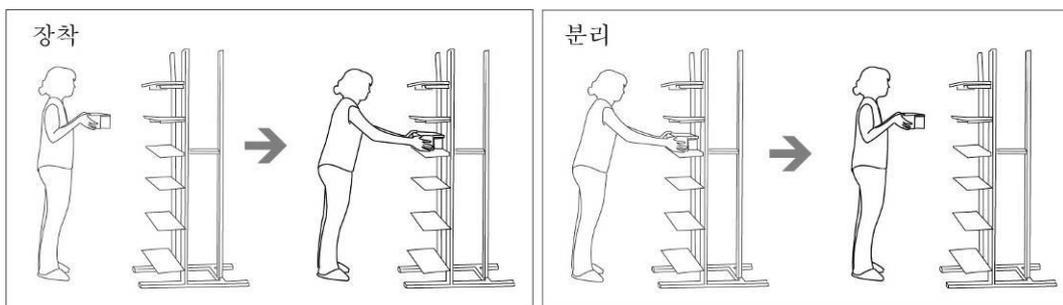


그림 3-5. 자연스러운 half guard 장탈착 동작

3.2.1.4. 실험 절차

자연스러운 half guard 장탈착 동작 측정은 6단계로 이루어졌다. 첫째 단계에서는 실험 목적과 방법을 실험 참여자에게 설명한 후 실험 참여 동의서를 받았고, 둘째 단계에서는 실험 참여자의 인체크기를 측정하였다. 셋째 단계에서는 자연스러운 half guard 사용 동작 측정을 위하여 실험 참여자에게 reflective marker 를 부착하였다. 넷째 단계에서는 실험 참여자에게 약 10분간 냉장고 mock-up 을 이용하여 half guard 장탈착 동작을 연습하도록 하였다. 다섯째 단계에서는 약 1시간에 걸쳐 6단 높이에서의 자연스러운 half guard 장탈착 동작을 측정하였다. 마지막 단계에서는 실험 참여자의 실험 소감을 설문한 후 실험 참여비를 지급하였다.

3.2.2. 자연스러운 동작 분석

3.2.2.1. 분석 방법

Motion capture system 을 통해 측정된 data 는 정확한 분석을 위하여 후처리 과정을 거쳐야 한다. 후처리 과정은 reflective marker 들의 위치 identification, noise 제거, 그리고 장착 완료 지점 alignment 의 3 가지로 구성되며, EVaRT 와 MATLAB 을 이용하여 수행되었다. 측정 오류로 reflective marker 의 위치가 손실되어 동작 궤적을 분석할 수 없는 data 는 noise 로 분류되어 제외하였다. 432 개(half guard 거치 높이(6단) × 장탈착(2회) × 반복(2회) × 실험 참여자(18명))의 자연스러운 동작 data 에서 noise 로 판명된 data 를 제외한 359개의 data 가 분석에 사용되었다. Alignment 는 실험 수행 시

마다 motion capture 카메라로 하여금 좌표를 인식하게 하는 calibration 위치의 미세한 차이로 실험 참여자의 동작 궤적 간에 장착 완료 지점이 불일치 한 경우 장착 완료 지점을 일치시키는 작업이다. MATLAB 프로그램을 사용하여 수행된 alignment 작업은 정확한 분석을 위한 필수적인 과정이다.

3.2.2.2. 분석 결과

자연스러운 half guard 사용 동작 궤적은 half guard 거치 높이 별로 유사한 pattern 을 보였다. 그림 3-6은 실험 참여자 18명의 자연스러운 half guard 장탈착 동작 궤적으로 실험 참여자의 신체 조건(예: 키, 팔 길이)에 따라 half guard 위치에 차이가 있다. 그러나 half guard 가 합판 위에 놓여지는 지점에서는 동작 궤적 pattern 이 half guard 높이 별로 유사한 것을 볼 수 있다.

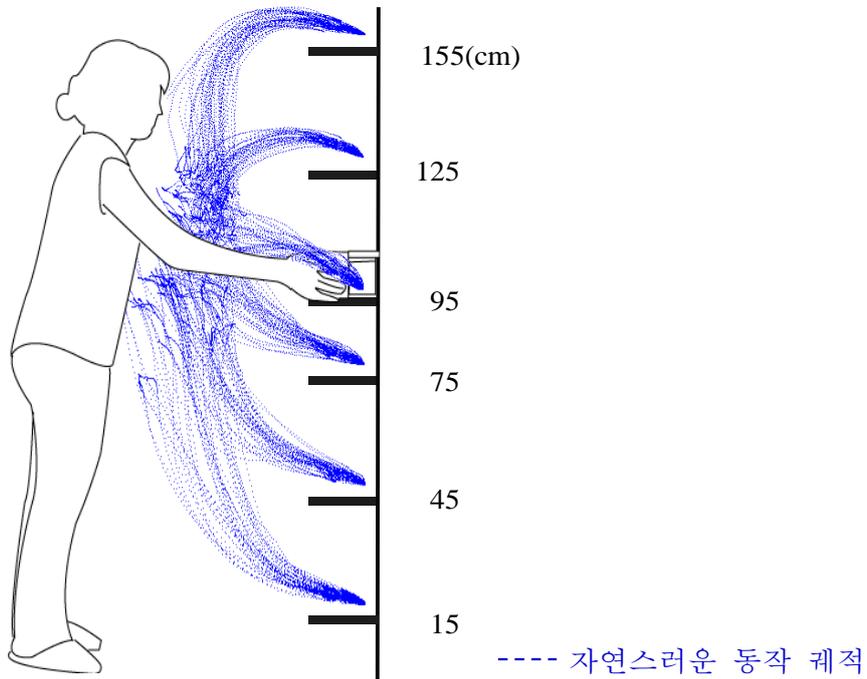


그림 3-6. 자연스러운 half guard 장탈착 동작 궤적

측정된 자연스러운 half guard 장탈착 동작 궤적에 대한 회귀분석을 수행하여 half guard 설계 개선에 활용할 대표 자연스러운 동작 궤적을 추출하였다. 대표 자연스러운 동작 궤적은 여러 실험 참여자들의 자연스러운 동작 궤적을 대표하는 궤적이며 자연스러운 장탈착 동작을 유도하는 half guard 설계에 이용되는 핵심 요소이다. 회귀분석에는 실험 참여자가 half guard 를 장탈착하는 동안의 모든 궤적이 사용되지 않고 half guard 가 냉장고에 삽입되는 부분의 궤적이 사용되었다. Half guard 가 냉장고 문에 삽입되는 부분은 half guard 조립체가 half guard 장탈착 동작에 영향을 미치는 구간으로 그림 3-7에서 구간 b (6 cm) 이다. 그림 3-8은 사용자가 half guard 를 장착하는

궤적을 임의로 나타낸 것이다. 구간 a 는 half guard 가 장착 높이에 도달하기까지의 동작으로 half guard 의 장탈착 동작 시 느끼는 불편함과 직접적인 관련이 없다. 그러나 half guard 가 냉장고 문에 장착되는 구간 b 는 조립체의 형태에 따라 동작 궤적이 달라지는 구간으로 장탈착 동작 시 느끼는 불편함과 직접적인 관련이 있다. 그러므로 구간 b 의 자연스러운 동작 궤적을 바탕으로 개선 설계에 적용될 대표 자연스러운 동작 궤적을 추출하였다. 대표 자연스러운 동작 궤적 추출을 위하여 회귀 분석을 수행하여 1차, 2차 회귀식을 도출하였으며(표 3-3 참조), stepwise regression ($p_{in} = 0.05$, $p_{out} = 0.1$)을 수행하여 회귀 분석에서 모든 회귀 계수가 유의함을 파악하였다($p < 0.001$).

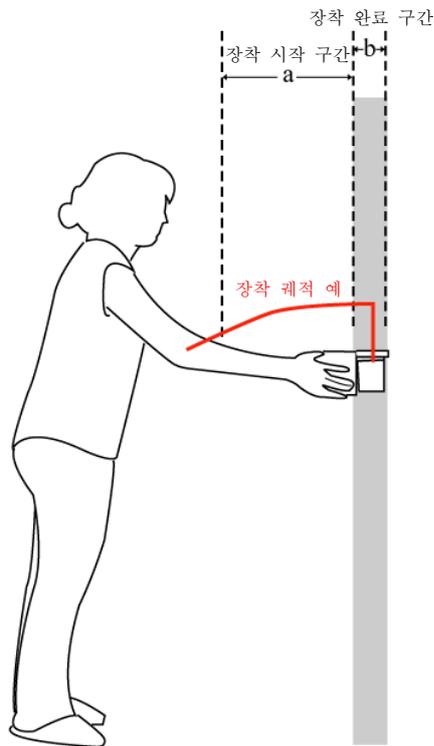


그림 3-7. Half guard 장탈착 동작 구간

표 3-3. 회귀 분석을 통한 대표 자연스러운 장탈착 동작 궤적 추출

— 대표 자연스러운 동작 궤적
 - - - - - 모든 피실험자의 자연스러운 동작 궤적

Half guard 거치 높이 (cm)	1차 회귀분석		2차 회귀분석	
	Trajectory plot	Formula (cm)	Trajectory plot	Formula (cm)
155		$\hat{y} = 155.002 - 0.397x$ $R^2 = 0.85$		$\hat{y} = 154.986 - 0.455x - 0.001x^2$ $R^2 = 0.85$
125		$\hat{y} = 125.020 - 0.625x$ $R^2 = 0.83$		$\hat{y} = 124.939 - 0.918x - 0.006x^2$ $R^2 = 0.85$
95		$\hat{y} = 95.027 - 0.619x$ $R^2 = 0.74$		$\hat{y} = 94.957 - 0.821x - 0.004x^2$ $R^2 = 0.75$
75		$\hat{y} = 75.024 - 0.437x$ $R^2 = 0.74$		$\hat{y} = 74.994 - 0.528x - 0.002x^2$ $R^2 = 0.74$
45		$\hat{y} = 45.031 - 0.529x$ $R^2 = 0.75$		$\hat{y} = 44.993 - 0.651x - 0.003x^2$ $R^2 = 0.75$
15		$\hat{y} = 15.068 - 0.532x$ $R^2 = 0.74$		$\hat{y} = 15.010 - 0.724x - 0.004x^2$ $R^2 = 0.75$

3.3. Half Guard 신규 설계

신규 half guard 는 자연스러운 사용 동작 궤적을 고려하여 설계되었으며, 설계 과정은 그림 3-8과 같이 4단계로 구성되었다. 첫째 단계에서는 설계 대상 요소를 파악하기 위하여 설계 변수를 분석하였다. 설계 변수 분석은 자연스러운 동작을 고려한 half guard 설계 과정 중 첫째 단계인 Half Guard 설계 특성 분석 결과(그림 3-2 참조)를 근간으로 수행되었다. 설계 대상 변수는 11개로 조립턱의 좌/우측면 길이, 위/아랫면 너비 등으로 구성되었다(그림 3-10 참조).

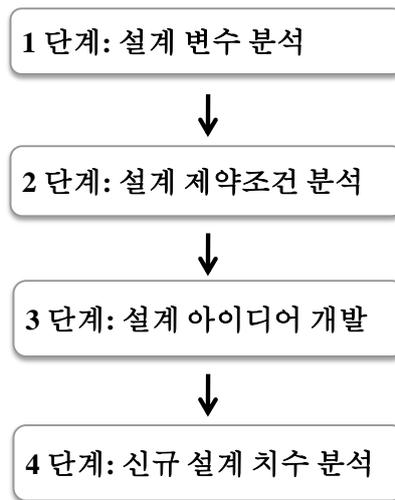


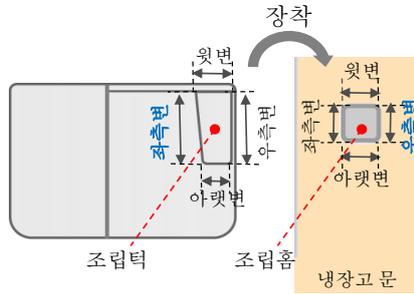
그림 3-8. 자연스러운 동작 적용을 통한 half guard 설계 개선 과정

둘째 단계에서는 S 사의 half guard 설계 지침을 참조하여 설계 제약 조건을 분석하였다(그림 3-10 참조). 설계 지침에 따르면, half guard 는 냉장고 문에 장착되었을 시에 23.7 kg 의 하중을 유지해야 한다. 하중 유지에 관한

지침에 따른 설계를 위하여 조립체 간의 마찰 부위의 면적을 분석하였다(그림 3-9 참조). 수직 마찰 길이는 장탈착 동작 시 수직 동작이 유발되는 원인으로 아치형 궤적과 같은 자연스러운 동작 궤적과는 판이하다. 그러므로 조립체 간의 수직 마찰 길이는 최소 길이로 설계하되 하중 유지를 위하여 기존 설계의 최소값으로 설계되어야 한다. Benchmarking 을 통해 4개 냉장고 제조사의 half guard 분석 결과 수직 마찰 길이가 가장 작은 W 사의 길이(0.3 cm)를 신규 설계에 적용하기로 했다. 조립턱은 형태 및 크기에 대한 제약이 없으나, 조립홈은 기존 설계에 비해 크면 냉장고 용량 산출에 영향을 끼치므로 기존 설계 치수 범위를 넘지 않도록 설계되어야 한다. 또한 조립홈 내부 공간에 발포액 충전 시 방해되지 않도록 단순한 형상으로 설계되어야 한다. 제약 조건 분석을 통하여 조립홈의 설계 치수는 그림 3-11과 같이 기존 설계의 최소값(2.0 cm × 2.0 cm × 1.0 cm)으로 설계되었으며, 형태는 기존 설계의 형태를 참조하고 단순화하여 정사각형으로 설계되었다.



그림 3-9. 조립홈/턱의 수직 마찰 부위 예



장착 시 조립턱 좌측변과 조립홈 우측변이 접함

설계 변수		제약 조건(S 사 설계 지침 참조)			
조립홈	형태	제약 없음			
	길이(cm)	윗변	2.0	아랫변	1.8~2.0
		좌측변	2.0~2.8	우측변	2.0~2.8
	두께(cm)	1.0			
조립턱	형태	제약 없음			
	길이(cm)	윗변	제약 없음	아랫변	제약 없음
		좌측변	제약 없음	우측변	제약 없음
	두께(cm)	1.0			
	위치	제약 없음			
	기울기(°)	제약 없음			

그림 3-10. Half guard 설계 제약 조건 분석 예

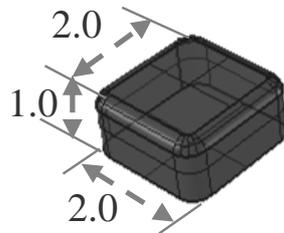


그림 3-11. 제약조건 분석을 통해 선정된 조립홈 설계 치수

셋째 단계에서는 추출된 대표 자연스러운 half guard 장탈착 동작을 적용하여 자연스러운 장탈착 동작을 유도할 수 있도록 조립체 설계 개선 아이디어를 제안하였다. 조립체 설계 개선 아이디어는 각 half guard 장탈착

구간(그림 3-7 참조)에서 자연스러운 동작을 유도하기 위한 방안을 고려하는 과정에서 도출되었다. 그림 3-7에 도시된 half guard 장탈착 구간은 장착시작구간과 장착완료구간으로 구성된다. 장착시작구간은 조립체의 형태가 장탈착 동작에 영향을 미치지 않는 구간이지만, 장착완료구간은 조립체 간 결합이 발생하는 구간으로 조립체의 형태가 동작 궤적에 영향을 미친다. 그러므로 조립체가 결합하는 과정에서 대표 자연스러운 동작 궤적을 유도하는 방안을 고려하여 개선 아이디어를 제안하였다. 아이디어의 핵심은 조립체의 결합 시 조립체 간 순차적으로 마찰하는 접점이 대표 자연스러운 동작 궤적과 같은 궤적을 형성하도록 하는 것이다. 대표 자연스러운 동작 궤적이 조립체 설계에 투영되면 조립체 접점이 자연스러운 동작 궤적과 유사한 궤적을 형성하게 되어 자연스러운 장탈착 동작을 유도할 수 있다고 판단하였다. 조립체는 제약 조건 분석을 통해 이미 설계되었으므로 조립체에 대표 자연스러운 동작 궤적이 적용되어 설계되었다. 특히 장탈착 시 조립체와 조립체가 마찰하는 조립체의 좌측면과 아랫면 부분에 자연스러운 동작 궤적을 적용하였다.

본 연구에서 대표 자연스러운 동작 궤적을 조립체 설계에 적용하는 방안은 2가지로 조립체에 1차 회귀식 적용을 통한 방안과 2차 회귀식 적용을 통한 방안이다. 1차 회귀식 적용을 통해 설계된 조립체 신규 설계안은 half guard 거치 높이 별 상이한 회귀식의 특성을 고려하기보다 제조 용이성을 고려하여 6단 높이에서의 조립체 design 이 동일하게 설계되었다(그림 3-12 참조). 조립체의 기울기는 각 거치 높이에서의 대표 자연스러운 동작 궤적(1차

회귀 분석)의 평균 기울기(- 0.52; 약 60°)로 결정되었으며, 조립턱의 아랫변에 적용되었다. 조립턱의 좌측변은 제약 조건 분석에서 결정된 최소 수직 마찰 길이(0.3 cm)로 설계되었으며, 그림 3-12에서와 같은 사다리꼴의 조립턱 형태가 형성되어 1차 회귀식 적용을 통한 신규 설계는 사다리꼴 췌기로 명명하였다. 2차 회귀식 적용을 통해 개발된 신규 설계는 자연스러운 사용 동작 궤적의 특성을 강조하기 위하여 각 거치 높이에서의 자연스러운 동작 궤적을 조립턱에 반영하여 설계되어 높이 별로 조립체 design 이 다르다. 그림 3-13은 높이 125 cm 에서 운형 췌기 설계 과정의 예로 2차 회귀 분석을 통해 도출된 대표 자연스러운 동작 궤적이 조립턱 설계에 적용되는 과정을 도시한 것이다. 사다리꼴 췌기와 동일하게 대표 자연스러운 동작 궤적은 조립턱 아랫변에 적용되었고, 조립턱의 좌측변 길이도 최소 수직 마찰 길이(0.3 cm)로 설계되었다. 2차 회귀식이 적용된 조립턱은 곡선을 포함하는 기하학적 형태로 도출되어 운형 췌기라고 명명하였다.

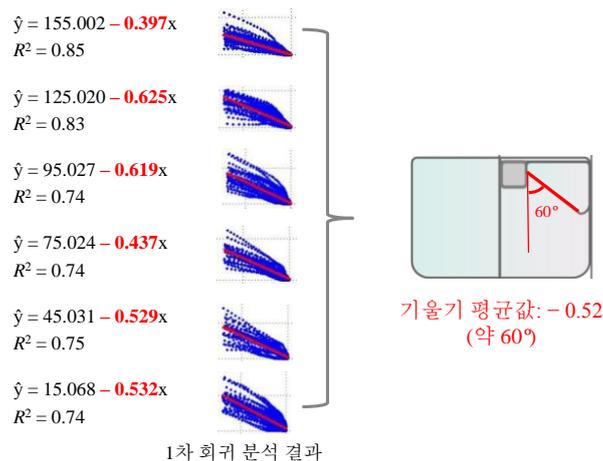


그림 3-12. 1차 회귀식 적용을 통한 half guard 설계

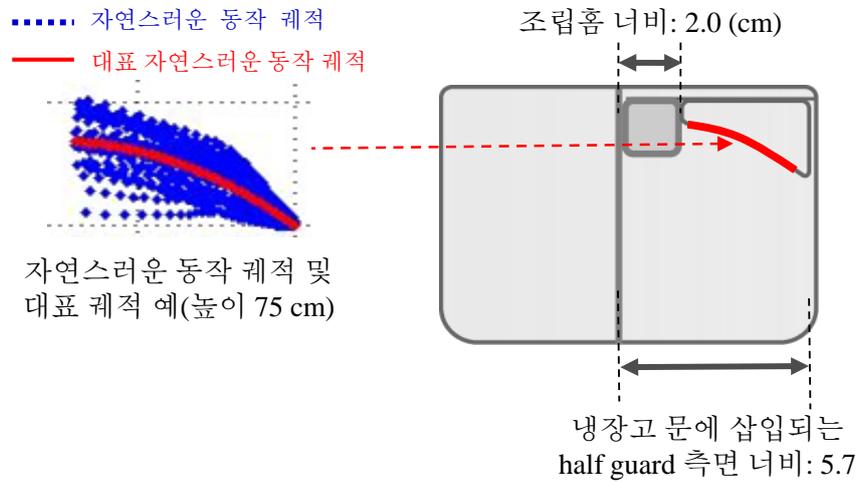


그림 3-13. 운형 썰기 설계 과정 예

장착완료구간에서 조립체 간에 마찰을 유발할 수 있도록 장착시작구간에서의 궤적이 통제되어야 하며, 통제를 위하여 조립 참조점을 제안하였다. 조립 참조점은 그림 3-14와 같이 냉장고 문 조립홈의 상단에 위치하여 half guard 장착 지점을 안내한다. 조립 참조점 높이에 half guard의 윗면을 맞추어 장착하면 half guard가 장착시작구간에서 장착완료구간에 도달하는 시점에 조립체 간의 마찰이 발생하게 되며, half guard는 조립턱의 형태를 따라 대표 자연스러운 동작 궤적을 형성하며 장착된다(그림 3-15 참조). 그림 3-14와 같이 조립 참조점은 조립홈 높이에서 조립턱의 높이만큼 더한 높이에 위치한다. 조립 참조점의 design은 회색의 원형(지름: 0.7 cm)으로 제작하여, 백색으로 된 냉장고 문에 부착되었을 때 심미성을 해치지 않도록 하였다. 조립 참조점은 장착 궤적을 최소화하는 장착 지점을 안내한다. 그림 3-15는 조립 참조점의 유무에 따른 장착 동작 궤적 차를 비교하고 있다. 조립

참조점이 없는 경우는 half guard 최적의 삽입 지점을 모르기 때문에 그림 3-15의 좌측과 같이 사용자가 임의대로 삽입지점을 선택한다. 그러나 조립 참조점이 있는 경우에는 그림 3-15의 우측과 같은 궤적으로 장착하여 장착 궤적을 최소화할 수 있다.

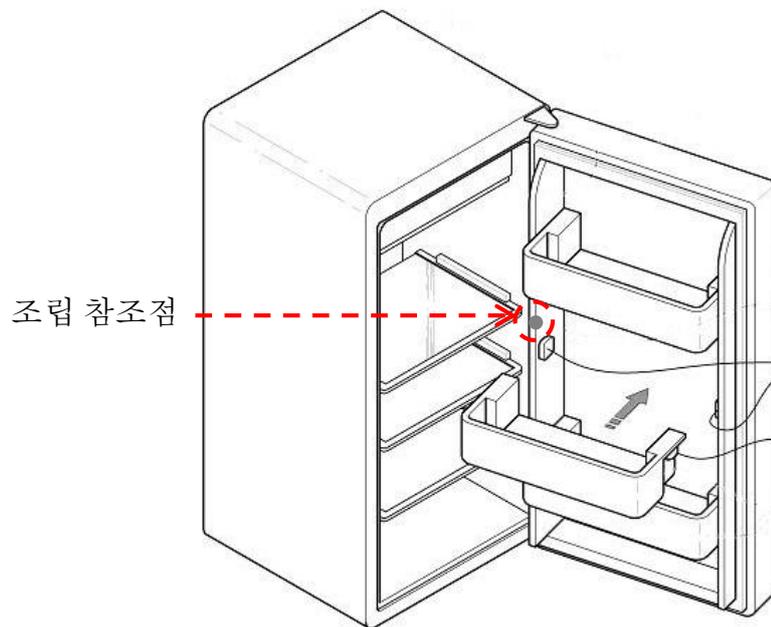


그림 3-14. Half guard 조립 참조점

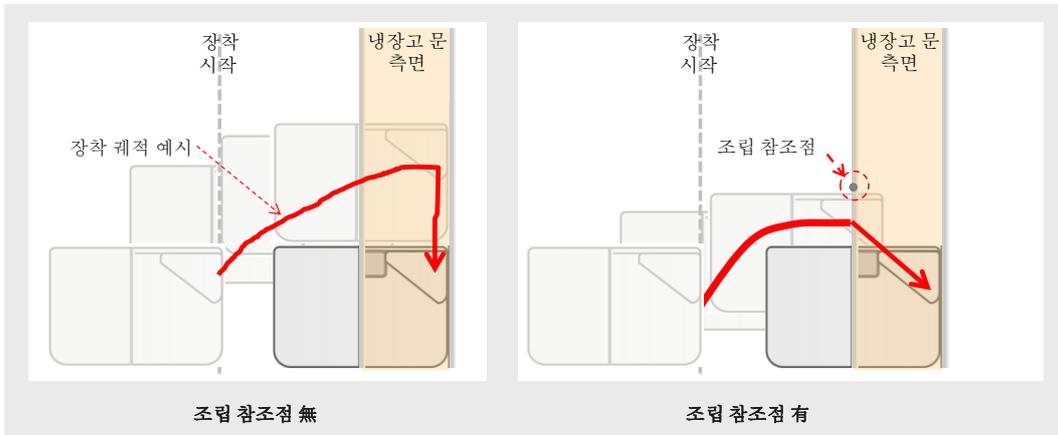
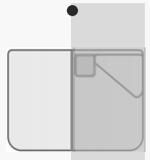
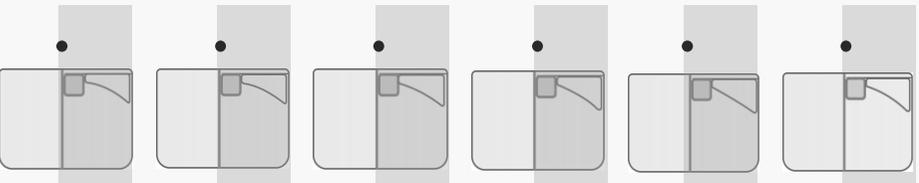


그림 3-15. 조립 참조점 유무에 따른 장착 궤적 비교

넷째 단계에서는 조립체의 세부적인 수치를 결정하여 최종 개선안을 도출하였다(표 3-4 참조). 조립홈의 크기는 설계 제약 조건에 의해 결정되었으며, 조립턱 좌측면의 길이는 최소 마찰 면적을 고려하여 0.3 cm 로, 윗면과 아랫면의 너비는 자연스러운 동작 궤적을 최대한 적용할 수 있도록 3.7 cm 로 결정되었다. 설계 가능한 조립턱의 최대 너비는 그림 3-15에서와 같이 half guard 가 냉장고 문에 삽입되는 너비(냉장고 문 측면 너비; 5.7 cm)에서 조립홈의 너비(2.0 cm)를 뺀 너비이다.

표 3-4. 자연스러운 동작 궤적을 적용한 half guard 신규 설계

설계 변수		사다리꼴 썰기 + 조립 참조점				운형 썰기 + 조립 참조점			
									
조립홈	형태	정사각형				정사각형			
	길이(cm)	윗변	2.0	아랫변	2.0	윗변	2.0	아랫변	2.0
		좌측변	2.0	우측변	2.0	좌측변	2.0	우측변	2.0
두께(cm)	1.0				1.0				
조립턱	길이(cm)	윗변	2.0	아랫변	4.8	윗변	3.7	아랫변	측정 불가
		좌측변	2.0	우측변	3.0	좌측변	0.3	우측변	높이 별 다름(2.2 ~ 3.2)
	두께(cm)	1.0				1.0			
	위치	가드 외벽 끝				가드 외벽 끝			
	기울기(°)	60				-			
조립 참조점		O				O			

4. Half guard 설계 평가

본 연구에서 제안한 자연스러운 half guard 사용 동작을 고려한 인간공학적 제품 설계 방안에 의해 도출된 half guard 신규 설계의 개선 효과를 파악하기 위해 기존 half guard 설계와 신규 설계의 사용성을 비교 평가하였다. 비교 평가에 사용된 half guard 는 5종으로 기존 설계 3종, 자연스러운 동작 궤적 적용을 통하여 개발된 신규 설계 2종(사다리꼴 췌기, 운형 췌기)으로 구성되었다. Half guard 사용성은 5종의 half guard design 의 장탈착 동작에 대한 자연스러운 동작 궤적과의 궤적 유사도와 장탈착 용이성에 대한 만족도로 평가되었다.

4.1. 평가 방법

4.1.1. 실험 참여자

신규 설계의 개선 효과를 평가하기 위하여 가정에서 주로 냉장고를 사용하는 30 ~ 50 대 전업 주부 18명(평균 나이 \pm SD = 43 \pm 7.7 세)이 실험에 참여하였다. 자연스러운 동작 측정 실험과 동일하게 신장 측면에서 다양한 사람들이 참여할 수 있도록 Size Korea(2004) 자료에서 여성의 신장을 3개 영역 (33th percentile 이하, 33th ~ 67th percentile, 67th percentile 이상)으로 구분하여 선발된 사람들이 참여하였다. 실험 참여자의 키는 평균 158.6 cm (SD = 5.2 cm)로 나타났다으며 범위는 149.4 cm ~ 164.9 cm로 조사되었다(부록 1 참조).

4.1.2. 실험 환경 구성

Half guard 설계 평가 실험을 수행하기 위하여 그림 4-1과 같은 냉장고 문과 half guard mock-up 이 사용되었다. 냉장고 문과 half guard는 S사의 제품이며 문 내부에는 자연스러운 half guard 장탈착 동작 측정 시와 동일한 6개의 half guard 거치 높이에 조립홈이 설치되었고 half guard에는 조립턱이 설치되었다. 조립턱과 홈은 3D printer (Elite Printer, Dimension Co., U.S.A.)로 제작되었으며 순간 접착제를 이용하여 냉장고 도어와 half guard에 부착되었다.

Half guard 장탈착 동작은 자연스러운 사용 동작 측정 시와 동일하게 motion capture system을 활용하여 측정되었다. Motion capture system의 카메라 종류, 설치 위치, sampling rate, 그리고 동작 측정을 위해 신체에 부착된 reflective marker의 종류와 위치 또한 자연스러운 사용 동작 측정 시와 동일하다.

4.1.3. 평가 대상

설계 개선 효과 평가 대상은 표 4-2 와 같이 half guard 조립체 design에 따른 5종(기존 설계 3종; 집게형, 집게형 + 조립 참조점, 직사각형 썬치 + 조립 참조점, 신규 설계 2종; 사다리꼴 썬치 + 조립 참조점, 운형 썬치 + 조립 참조점)의 half guard로 구성된다. 기존 설계의 조립턱 형태는 2종으로, 사용자 20명을 대상으로 수행한 FGI 에서 half guard 사용성에 대한 만족도를 평가한 결과, 상대적으로 낮은 점수를 받았던 L사의 집게형 조립체(평균 3.9점)와 상대적으로 선호되었던 W사(5.6점)와 S사(5.5점) 조립체의 장점을 추출한 직사각형 썬치 조립체로 구성된다. L사의 집게형 조립체는 조립 참조점의 유무에 따

라 2종으로 나뉘어 기존 제품은 3종의 design (집게형, 집게형 + 조립 참조점, 직사각형 썰기 + 조립 참조점)으로 구성된다. 신규 설계는 본 연구를 통해 도출된 개선안으로 사다리꼴 썰기 + 조립 참조점과 운형 썰기 + 조립 참조점의 2종이다.

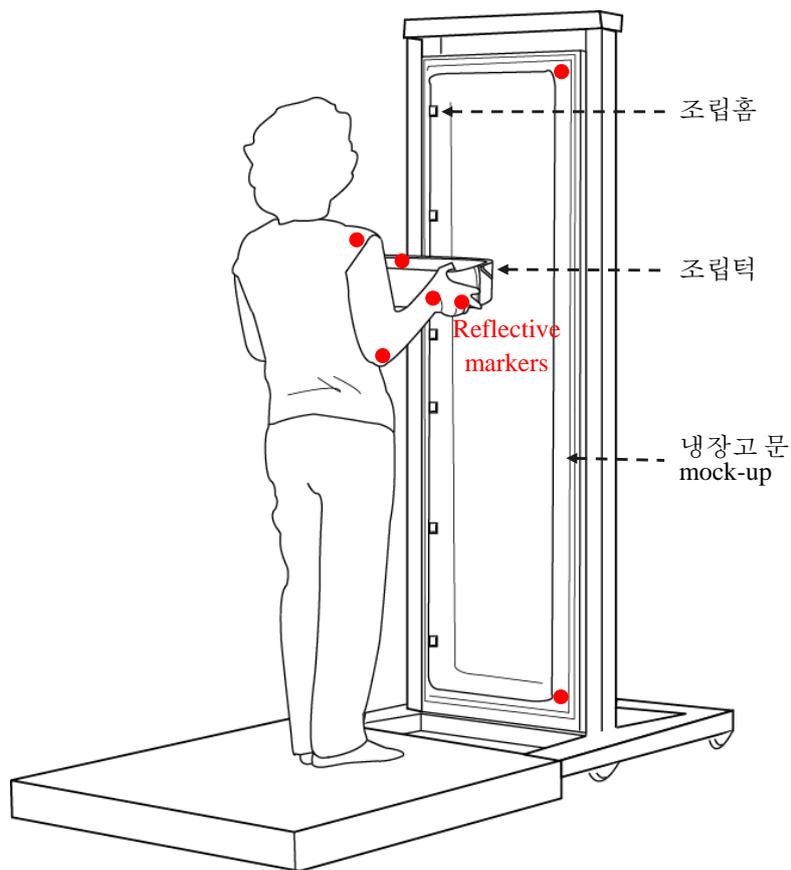
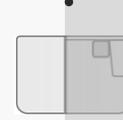
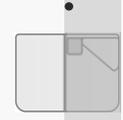


그림 4-1. Half guard 장탈착 동작 측정을 위한 mock-up

표 4-1. 개선 효과 평가 대상 half guard

설계 변수	집게형				집게형 + 조립 참조점				직사각형 췌기 + 조립 참조점				사다리꼴 췌기 + 조립 참조점				운형 췌기 + 조립 참조점				
																					
조립홈	형태	정사각형				정사각형								정사각형							
	길이(cm)	윗면	2.0	아랫면	2.0	윗면	2.0	아랫면	2.0	윗면	2.0	아랫면	2.0	윗면	2.0	아랫면	2.0	윗면	2.0	아랫면	2.0
		좌측면	2.0	우측면	2.0	좌측면	2.0	우측면	2.0	좌측면	2.0	우측면	2.0	좌측면	2.0	우측면	2.0	좌측면	2.0	우측면	2.0
두께(cm)	1.0				1.0				1.0				1.0								
조립턱	길이(cm)	윗면	4.2	아랫면	1.0	윗면	4.2	아랫면	1.0	윗면	2.0	아랫면	1.6	윗면	2.0	아랫면	4.8	윗면	3.7	아랫면	측정 불가
		좌측면	2.5	우측면	3.5	좌측면	2.5	우측면	3.5	좌측면	4.0	우측면	4.0	좌측면	2.0	우측면	3.0	좌측면	0.3	우측면	높이 별 다름(2.2 ~ 3.2)
	두께(cm)	1.0				1.0				1.0				1.0							
	위치	가드 내벽측				가드 내벽측				가드 외벽 끝				가드 외벽 끝							
기울기(°)	0				0				5				60								
자연스러운 동작 적용	×				×				×				O								
조립 참조점	×				O				O				O								

4.1.4. 수행 작업

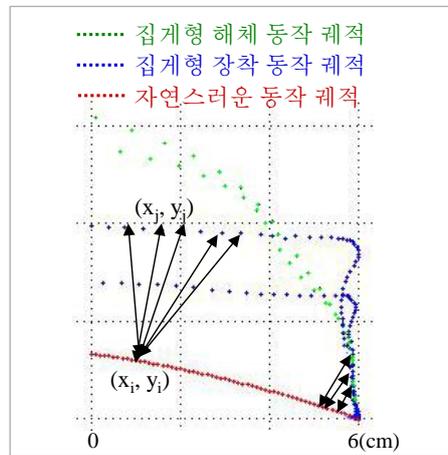
Half guard 조립체 5종의 사용성 평가는 자연스러운 사용 동작 측정과 동일하게 6단의 half guard 거치 높이에서 장탈착 동작을 각 2회 반복 측정하였으며, 장탈착 동작 시 실험 참여자의 위치는 실험 참여자의 선호에 의해 결정되었다. 실험 순서에 의한 학습 효과를 상쇄하기 위해서 half guard design과 거치 높이 별 장탈착 동작 수행 순서는 무작위순(random)으로 선정하였다.

4.1.5. 실험 절차

동작 분석을 근간으로 한 half guard 사용성 평가는 6단계로 이루어졌다. 첫째 단계에서는 실험 목적과 방법을 실험 참여자에게 설명한 후 실험 참여 동의서를 받았다. 둘째 단계에서는 실험 참여자의 인체크기를 측정하였다. 셋째 단계에서는 실험 참여자의 팔에 reflective marker를 부착하였다. 넷째 단계에서는 실험 참여자에게 약 20분간 5종의 half guard에 대해 장탈착 동작을 연습하도록 하였다. 다섯째 단계에서는 약 3시간 30분(쉬는 시간 포함)에 걸쳐 half guard 장탈착 동작을 측정하였다. 한 종류의 half guard 장탈착 동작 측정이 끝나면 10분의 주관적 평가 설문지 작성 시간과 10분의 휴식 시간을 제공하였다. 마지막 단계에서는 실험 참여자의 실험 소감을 설문한 후 실험 참여비를 지급하였다.

4.1.6. 실험 계획

개선 효과 평가 실험에서의 독립변수는 5종의 half guard design, half guard 거치 높이이다. 본 실험은 실험참여자가 모든 실험 조건에 참여하는 within-subject design 으로 계획되었다. 개선안의 효과를 정량적, 정성적 측면에서 평가하기 위하여 궤적 유사도와 장탈착 용이성을 분석하였다.



높이 95 cm에서의 한 명의 half guard 사용 동작

	장착		해체	
Mean (cm)	2.5	2.7	2.9	2.8
SD	1.3	1.3	1.7	1.7

그림 4-2. 궤적유사도 분석을 위한 궤적간 최소거리 산출 예

궤적 유사도는 본 실험에서 측정된 half guard 5종의 장탈착 동작 궤적과 제품 설계에 적용된 대표 자연스러운 동작 간의 차이(최소거리 평균)를 각각 분석하여 평가하였다. 그림 4-2는 궤적유사도 분석을 위한 궤적간 최소거리 산출 예다. 한 명의 실험 참여자가 거치 높이 95 cm 에서

집계형을 장탈착하는 궤적으로, 빨간색 궤적은 대표 자연스러운 동작 궤적이며 파란색은 장착 궤적, 그리고 초록색은 해체 궤적이다. 최소 거리의 평균은 식 4.1과 같이 대표 자연스러운 궤적 선상에서 등간격으로 추출된 100개의 점에서 장탈착 궤적까지의 최소 거리를 산출하고 최소 거리의 평균을 구하여 도출된다. 대표 자연스러운 동작 궤적과 측정된 half guard 장탈착 궤적 사이의 거리 차가 작을수록 측정된 동작이 자연스러운 동작과 유사함을 나타낸다.

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad \text{식 4.1}$$

$$D_i = \min_j (\sqrt{(x_i - x_j')^2 + (y_i - y_j')^2})$$

where: $i = 1$ to 100

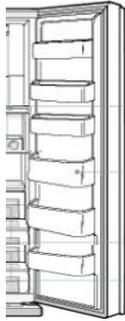
$D = n$ 개의 최소거리들의 집합

$(x_i, y_i) =$ 자연스러운 동작 궤적 좌표

$(x_i, y_i) =$ Half guard 사용 동작 궤적 좌표

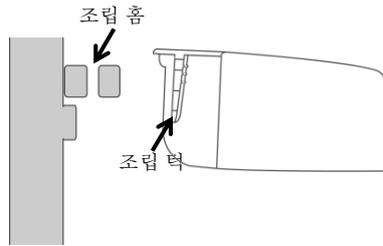
장탈착 용이성은 그림 4-3과 같은 평가 설문지를 통해 측정하였으며, half guard design 에 따라 장탈착이 용이한 정도를 높이 별 7점 척도(예: guard 를 쉽게 장탈착 할 수 있는 정도; 7점: 매우 만족, 4점: 보통, 1점: 매우 불만족)로 평가하였다. 장탈착 용이성 평가 후에는 debriefing 을 통해 half guard design 에 대한 실험 참여자의 의견을 수렴하였다.

Design A



No	Half guard 높이(cm)	Half guard를 쉽게 장착할 수 있는 정도	Half guard를 쉽게 해제할 수 있는 정도
1	155	매우 불편 (X) 불편 (X) 약간 불편 (O) 보통 (O) 약간 편함 (O) 매우 편함 (O)	매우 불편 (X) 불편 (X) 약간 불편 (O) 보통 (O) 약간 편함 (O) 매우 편함 (O)
2	125	(X) (X) (O) (O) (O) (O)	(X) (X) (O) (O) (O) (O)
3	95	(X) (X) (O) (O) (O) (O)	(X) (X) (O) (O) (O) (O)
4	75	(X) (X) (O) (O) (O) (O)	(X) (X) (O) (O) (O) (O)
5	45	(X) (X) (O) (O) (O) (O)	(X) (X) (O) (O) (O) (O)
6	15	(X) (X) (O) (O) (O) (O)	(X) (X) (O) (O) (O) (O)

평가하신 half guard design A (조립 턱과 홈)에 대해 (1) 좋은 점 및 (2) 개선될 점을 아래에 기술해 주십시오.



- (1) 좋은 점 _____
- (2) 개선될 점 _____

그림 4-3. Half guard 장탈착 용이성 설문지 예

4.2. 평가 결과

종속변수인 궤적 유사도, 장탈착 용이성에 대하여 분산분석을 수행하였다($\alpha = 0.05$). 분산분석을 수행하여 5종의 half guard design과 6단의 높이 별 통계적으로 유의한 차이가 있을 경우 SNK 분석을 수행하였고, 교호작용이 있는 경우 simple effect 분석을 수행하였다. 분석은 SAS 9.1.3 package를 이용하여 수행되었다.

4.2.1. 궤적 유사도

궤적 유사도에 대한 분산분석을 수행한 결과 half guard design, 거치 높이, 그리고 두 변수간의 교호 작용이 장탈착 용이성에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 파악되었다(표 4-2 참조). 전반적으로 운형 췌기 + 조립 참조점과 사다리꼴 췌기 + 조립 참조점이 집게형, 집게형 + 조립 참조점, 그리고 직사각형 췌기 + 조립 참조점 대비 자연스러운 동작과의 궤적 유사도가 높았다. 특히 half guard 거치 높이 15 cm ~ 125 cm 에서는 신규 설계와 기존 설계 간의 궤적 유사도 차가 컸으나, 155 cm 에서는 격차가 감소하였다(그림 4-4 참조).

표 4-2. Half guard 사용 궤적 유사도에 대한 분산분석

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	<i>F</i>	<i>p</i>
실험 참여자 그룹(G)	2	1.84	0.92		
실험 참여자(S)[G]	15	89.12	5.94		
Half guard design (D)	4	51.00	12.75	8.16	<.001
D × G	8	11.44	1.43	0.92	0.348
D × S[G]	60	87.45	1.56		
Half guard 거치 높이(H)	5	12.95	2.59	12.92	<.001
H × G	10	1.04	0.10	0.52	0.871
H × S[G]	75	14.24	0.20		
D × H	20	5.49	0.27	2.28	0.002
D × H × G	40	6.00	0.14	1.25	0.159
D × H × S[G]	300	31.76	0.12		
전체	539	312.33			

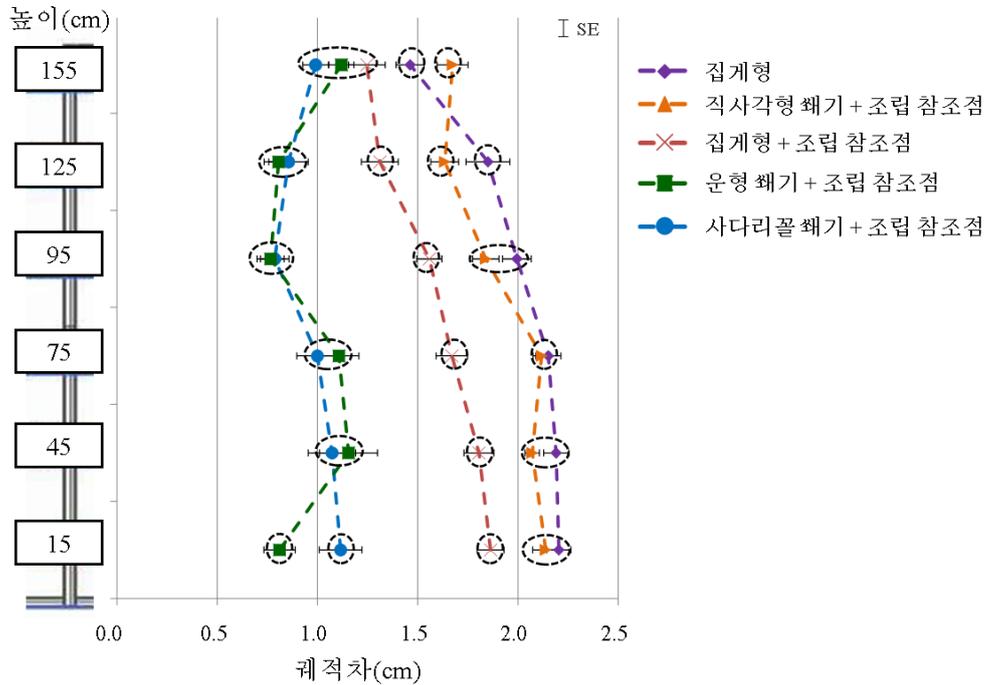


그림 4-4. Half guard design과 높이에 대한 궤적 유사도

4.2.2. 장탈착 용이성

장탈착 용이성에 대한 분산분석을 수행한 결과, half guard design, 거치 높이, 그리고 이들간의 교호 작용이 장탈착 용이성에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 파악되었다(표 4-3 참조). 모든 높이에서 전반적으로 운형 썰기 + 조립참조점의 장탈착 용이성이 다른 design 대비 높았으며, 그 다음으로는 사다리꼴 + 조립 참조점, 직사각형 썰기 + 조립 참조점 순으로 선호되었다. 거치 높이 155 cm 에서는 신규 설계(운형 썰기 + 조립 참조점, 사다리꼴 썰기 + 조립 참조점)와 기존 설계(직사각형 썰기 + 조립 참조점, 집게형 + 조립 참조점, 집게형) 간의 차가 15 cm ~ 125 cm 에서의 격차 대비 증가하여 궤적

유사도 분석 결과와 차이가 있었다. 직사각형 썰기 + 조립 참조점은 궤적 유사도 측면에서는 두 번째로 낮은 궤적 유사도를 보였으나, 장탈착 용이성에서는 사다리꼴 썰기 + 조립 참조점과 동일한 집단으로 분류되어 두 번째로 높았다(그림 4-5 참조).

표 4-3. Half guard 장탈착 용이성에 대한 분산분석

변동요인	자유도	제곱합	평균제곱	<i>F</i>	<i>p</i>
실험 참여자 그룹(G)	2	23.84	11.92		
실험 참여자(S)[G]	15	142.63	9.51		
Half guard design (D)	4	596.67	149.17	47.90	<.001
D × G	8	28.47	3.56	1.14	0.348
D × S[G]	60	186.85	3.11		
Half guard 거치 높이(H)	5	95.20	19.04	15.67	<.001
H × G	10	21.02	2.10	1.73	0.090
H × S[G]	75	91.15	1.22		
D × H	20	46.95	2.35	3.79	<.001
D × H × G	40	19.64	0.49	0.79	0.812
D × H × S[G]	300	185.91	0.62		
전체	539	1438.34			

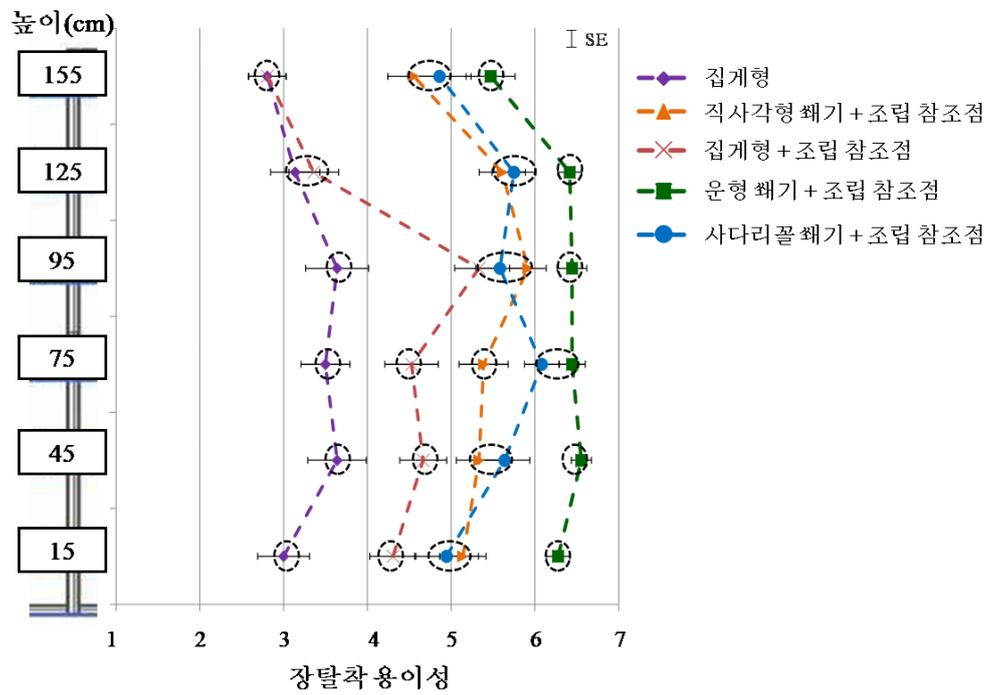


그림 4-5. Half guard design과 높이에 대한 장탈착 용이성

5. 토의

본 연구에서는 half guard 의 설계 특성과 자연스러운 half guard 사용 동작 특성에 근간한 half guard 설계 개선 방안을 제안하였다. Nelson et al. (2000) 혹은 Treaster et al. (2000)과 같은 동작 분석을 통한 제품 설계 관련 기존 연구들은 사용자가 제품을 사용하는 동작을 측정하여 제품의 사용성을 평가하였으나, 사용자가 선호하는 자연스러운 제품 사용 동작에 관한 연구는 활발하지 않았다. 또한 장준호 외 (2006)의 자연스러운 제품 사용 동작 관련 연구는 자연스러운 동작을 고려하여 제품을 평가하는 방법은 개발하였으나 자연스러운 제품 사용 동작을 고려하여 제품을 설계하는 방안에 대한 연구는 부족하였다. 본 연구에서는 half guard 설계 특성 분석, 자연스러운 half guard 사용 동작 측정 및 분석, 자연스러운 사용 동작 궤적 적용을 통한 제품 설계 과정을 통하여 half guard 신규 설계를 제안하였으며, 제안된 설계에 대한 사용성 평가를 수행하였다.

본 연구에서는 자연스러운 half guard 사용 동작 궤적을 제품 설계에 적용하기 위하여 객관적으로 정량화하는 방안을 제시하였다. 제품 사용 동작에 관한 기존 연구는 Zhang et al. (2003)과 같이 제품을 사용하는 사용자의 손 동작을 정량적으로 분석하였으나, 사용 동작을 제품 설계에 적용하는 방안에 대한 고려는 미흡했다. 본 연구에서는 광학식 motion capture system 을 이용하여 사용자가 선호하는 자연스러운 제품 사용 동작을 정량적으로 파악하였다. 또한 본 연구에서는 측정된 동작 궤적 data 로 회귀 분석을

수행하여 제품 설계에 직접 적용할 수 있는 대표 궤적을 추출함으로써 자연스러운 동작 궤적을 제품 설계에 적용하는 방안을 제안하였다.

자연스러운 사용 동작을 고려하여 설계된 half guard 신규 설계와 기존 설계의 사용성을 동작 궤적 측면에서 비교 분석하여 개선 효과를 평가하였다. 신규 설계 사용 궤적과 자연스러운 동작 궤적 간 거리 차(운형 췌기 + 조립 참조점, 사다리꼴 췌기 + 조립 참조점: 1.0 ± 0.1 cm)가 집게형 + 조립 참조점(1.6 ± 0.1 cm), 직사각형 췌기 + 조립 참조점(1.9 ± 0.1 cm), 그리고 집게형: 2.0 ± 0.1 cm)에 비해 작았으므로 신규 설계가 타 design 대비 자연스러운 동작 궤적과 높은 유사도를 보인다고 판단된다. 자연스러운 동작 궤적과 조립 참조점이 적용된 신규 설계는 동작 궤적 측면에서의 효율성이 기존 설계 대비 약 80% 향상되었다고 판단된다.

장탈착 용이성 측면에서 개선 효과를 평가한 결과, 장탈착 용이성(7점 척도, 예: guard 를 쉽게 장탈착 할 수 있는 정도; 7점: 매우 만족, 4점: 보통, 1점: 매우 불만족)은 운형 췌기 + 조립 참조점(6.3 ± 0.2 점)가 가장 높았으며, 사다리꼴 췌기 + 조립 참조점(5.5 ± 0.3 점)과 직사각형 췌기 + 조립 참조점(5.3 ± 0.3 점)이 운형 췌기 + 조립 참조점 다음으로 높았다. 그리고 집게형 + 조립 참조점(4.2 ± 0.3 점), 집게형(3.3 ± 0.3 점) 순으로 선호되었다. 신규 설계는 자연스러운 사용 동작 궤적을 적용하여 설계되었기 때문에 half guard 장탈착 시 사용자로 하여금 자연스러운 동작을 유도하여 장탈착 용이성에 대한 만족도가 높았다고 판단된다. 특히 운형 췌기 + 조립 참조점은 모든 거치 높이에서 다른 design 에 비해 장탈착 용이성에 대한 만족도가

높았다. 운형 췌기 + 조립 참조점은 곡선 형태인 자연스러운 동작 궤적의 특성을 설계에 반영하기 위해 자연스러운 동작 궤적에 대한 2차 회귀식을 적용하여 설계되었으며, 각 거치 높이 별 동작 궤적 특성에 따라 설계되었기 때문에 장탈착 용이성 측면에서 확연한 개선 효과가 있다고 판단된다. 개선 효과 평가 결과, 냉장고 half guard 에 개선 설계가 적용되어 출시될 경우, half guard 사용에 대한 동작 궤적 측면에서의 효율성과 장탈착 용이성이 향상될 것으로 예상된다.

궤적 유사도와 장탈착 용이성 결과는 직사각형 췌기 + 조립 참조점을 제외하고 유사하다. 가장 낮은 궤적 유사도(평균 궤적 차: 2.0 cm)를 보였던 집게형은 가장 낮은 장탈착 용이성(3.3점)을 보였다. 또한 궤적 유사도가 가장 높은 운형 췌기 + 조립 참조점(1.0 cm)는 가장 높은 장탈착 용이성(6.3점)을 나타냈다. 한편 직사각형 췌기 + 조립 참조점은 집게형과 함께 궤적 유사도가 낮은 집단으로 분류되었지만, 장탈착 용이성 측면에서는 신규 설계인 사다리꼴 췌기 + 조립 참조점(5.5점)과 동일 집단으로 분류되어 운형 췌기 + 조립 참조점(6.3점) 다음으로 높았다. 직사각형 췌기는 기존 설계 중 가장 선호되었던 익숙한 design 이므로 사용자들이 장탈착 동작에 대해 용이함을 느꼈다고 예측된다. 그러나 직사각형 췌기의 조립턱 우측변이 4.0 cm 로 실험 대상 중 가장 길었으므로 낮은 궤적 유사도를 나타낸 것으로 추정된다.

본 연구에서는 신규 설계의 개선 효과 평가를 위한 정량적, 정성적 방법을 제시하여 제품의 설계를 평가하는 새로운 방법을 제안하였다. 기존의 동작 분석을 활용한 객관적인 제품 설계 평가 방법들은 중립 자세, 관절 동작

범위, 힘, 수행도 등을 비교하는 방식으로 사용자의 자연스러운 사용 동작은 고려되지 않았다. 그러나 본 연구에서 제안한 방법은 사용자가 선호하는 제품 사용 동작을 기준으로 하여 기존 혹은 신규 제품의 사용 동작을 비교하는 방식으로 제품의 사용성을 정량적이고 객관적으로 평가할 수 있다. 그리고 제안된 제품 설계 평가 방법은 주관적 만족도 측정을 포함하고 있어 정성적인 사용성도 평가가 가능하다.

자연스러운 동작 적용을 통해 제품 설계를 개선할 경우, 인간공학적 측면에서 자연스러운 동작의 적절성에 대한 고려가 선행되어야 한다. 만일 사용자가 선호하는 자연스러운 제품 사용 동작이 인간공학적 제품 설계 평가 지표(예: 중립 자세) 측면에서 부적절하다면 자연스러운 동작을 적용한 설계 개선은 사용성을 향상시키지 못할 것이며 오히려 불편한 동작을 초래할 수도 있다. 예를 들어, 의자에 앉는 자세의 변화를 동작으로 간주하고 사용자가 자연스럽다고 느끼는 허리가 굽은 착좌 자세의 변화 동작을 근간으로 의자를 설계한다면 오히려 불편을 초래할 수도 있다. 그러므로 제품 사용 동작 특성 별로 인간공학적 측면에서의 자연스러운 동작에 대한 타당성 혹은 적절성에 대한 고려 및 검증이 요구된다.

6. 결론

본 연구는 half guard 의 설계 특성과 자연스러운 사용 동작을 근간으로 half guard 설계를 개선하는 방안을 제안하였다. Half guard 의 주요 설계 요소 분석과 작업 특성 분석을 통해 half guard 에 대한 이해를 도모하는 방법을 제시하였다. 또한 제품에 대한 포괄적인 이해를 바탕으로 자연스러운 제품 사용 동작을 정량적으로 파악하여 제품 설계에 적용하는 방법을 제안하였다. 궁극적으로 자연스러운 half guard 사용 동작 적용을 통해 half guard 설계를 개선하는 일련의 과정을 수행함으로써 자연스러운 제품 사용 동작을 유도하는 제품 설계 방안을 제안하였다.

제안된 자연스러운 사용 동작을 고려한 제품 설계 방안의 타당성을 검증하기 위하여 본 연구를 통해 도출된 half guard 신규 설계와 기존 설계에 대한 사용성을 비교 평가하였다. 사용성 평가는 정량적 평가를 위한 궤적 유사도와 정성적 평가를 위한 장탈착 용이성으로 구성되었다. 개선안 효과 평가 결과, 자연스러운 동작과의 궤적 유사도(궤적 간 거리 차) 측면에서는 신규 설계(운형 췌기 + 조립 참조점, 사다리꼴 췌기 + 조립 참조점: 1.0 ± 0.1 cm)가 조립 참조점 반영 기존 설계(집게형 + 조립 참조점: 1.6 ± 0.1 cm, 직사각형 췌기 + 조립 참조점: 1.9 ± 0.1 cm)와 기존 설계(집게형: 2.0 ± 0.1 cm)에 비해 통계적으로 유의하게 높은 유사도를 보였다. 장탈착 용이성에 대한 만족도는 자연스러운 동작 궤적을 적용하여 설계된 신규 설계(운형 췌기 + 조립 참조점: 6.3 ± 0.2 점, 사다리꼴 췌기 + 조립 참조점: 5.5 ± 0.3 점)가

조립 참조점 반영 기존 설계(직사각형 썰기 + 조립 참조점: 5.3 ± 0.3 점, 집게형 + 조립 참조점: 4.2 ± 0.3 점)에 비해 평균 1.2점 높았으며, 기존 설계(집게형: 3.3 ± 0.3 점)에 비해 평균 2.6점 높았다. 개선 효과 평가 결과에 따르면 제안된 제품 개발 방안은 인간공학적인 제품 개발에 활용되어 불편한 사용 동작을 요구하는 제품 설계를 사용 동작 측면에서 개선함으로써 제품의 사용 편의성 향상에 기여할 것으로 예상된다.

본 연구에서 제안된 자연스러운 사용 동작을 적용한 제품 설계 방안을 다른 제품(예: 휴대폰, 청소기) 설계 개선에 적용함으로써 제안된 제품 설계 방안에 대한 타당성 검증과 보완이 필요하다. 본 연구에서는 half guard 설계 특성 상 동작 궤적을 고려하여 신규 설계를 도출하였으나, 제품 설계 특성에 따른 주요 설계 요소(예: 제품 사용 시 요구되는 힘 등)를 파악하여 설계 개선에 추가적으로 이용될 수 있다. 또한 제품의 견고성을 객관적으로 파악하여 견고성 검증에 대한 추가 연구가 필요하다.

References

- 박재희, 황민철, 박세진, 김명석 (1995). 냉장고 디자인의 인간공학적 평가.
한국디자인학회, 12, 50-51.
- 이상기 (2006). 제품 설계 특성 평가를 위한 손 동작 분석 방법의 개발.
석사학위논문, 포항공대.
- 이제희 (2003). 모션 캡처의 과거, 현재, 그리고 미래. *정보과학회지*, 21(7), 24-29.
- 장준호 (2006). 동작 분석을 통한 인간공학적 제품 설계 평가 프로세스 개발.
석사학위논문, 포항공대.
- 최태준, 유석호, 이동열, 이완복 (2007). 광학식 모션 캡처(Optical Motion Capture)방식을 이용한 디지털 캐릭터 움직임. *한국콘텐츠학회논문지*, 7(8), pp. 109-116.
- 최훈우 (2005). 한국 20 대 남녀의 정상보행에 대한 운동형상학 및 운동역학적 평가. *석사학위논문*, 포항공대.
- 가상현실응용 지역혁신센터(2009). 모션캡처 기본과 활용. Retrieved September 10, 2009 from <http://tic.honam.ac.kr/>.
- Andreoni, G., Santambrogio, G. C., Rabuffetti, M., and Pedotti, A. (2002). Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers. *Applied Ergonomics*, 33, 511-522.

- Karlqvist, L., Bernmark, E., Ekenvall, L., Hagber, M., Isaksson, A., and Rostö, T. (1999). Computer mouse and track-ball operation: Similarities and differences in posture, muscular load and perceived exertion. *Industrial Ergonomics*, 23, 157-169.
- Kerrigan, D. C., Johansson, J. L., Bryant, M. G., Boxer, J. A., Croce, D., and Riley, O. O. (2005). Moderate-heeled shoes and knee joint torques relevant to the development and progression of knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil*, 86, 871-875.
- Moffet, H., and Hagberg, M., Hansson-Risberg, E., and Karlqvist, L. (2002). Influence of laptop computer design and working position on physical exposure variables. *Clinical Biomechanics*, 17, 368-375.
- Motion Analysis Korea (2009). 시스템 소개. Retrieved September 14, 2009 from <http://www.motionanalysis.co.kr>.
- Nelson, J. E., Treaster, D. E., and Marras, W. S. (2000). Finger motion, wrist, motion and tendon travel as a function of keyboard angles. *Clinical Biomechanics*, 15, 489-498.
- Nyberg, P., and Kempic, J. (2006). Transforming the Laundry process, *Ergonomics in Design*, 14(2), 16-21.
- Rempel, D., Barr, A., Brafman, D., Young, E. (2007). The effect of six keyboard designs on wrist and forearm postures. *Applied Ergonomics*, 38(1), 293-298.
- Richards, J. G., and Bruening, D. (2006). *Gait analysis marker sets*. Unpublished manuscript, University of Delaware.
- Size Korea (2004). *Report on the Fifth Survey of Korean anthropometry*. Korean Agency for Technology and Standards, Ministry of Commerce, Industry and Energy.

- Treaster, D. E., and Marras, W. S. (2000). An assessment of alternative keyboard using finger motion, wrist motion and tendon travel, *Clinical Biomechanics*, 15, 499-503.
- Zhang, X., Lee, S., and Braido, P. (2003). Determining fingers segmental centers of rotation in flexion-extension based on surface marker measurement, *Journal of Biomechanics*, 36, 1097-1102.

부록

부록 1. 실험 참여자 정보

A. 자연스러운 동작 측정

No.	나이(세)	신장(cm)	몸무게(kg)	어깨 높이(cm)	오른 팔 길이(cm)
1	42	160.4	57.3	131.0	67.7
2	38	154.8	53.3	127.3	64.0
3	37	173.5	60.5	143.2	72.0
4	39	158.2	51.9	127.0	63.5
5	40	148.7	48.7	125.5	61.5
6	41	151.5	46.3	125.5	60.0
7	41	164.8	55.2	135.0	64.0
8	30	156.4	42.1	128.0	55.3
9	46	158.7	54.6	129.3	57.2
10	52	155.7	54.4	125.3	59.5
11	57	152.2	56.1	123.0	57.5
12	36	157.6	49.7	128.5	62.0
13	53	151.1	50.8	123.5	58.5
14	55	164.8	59.4	133.5	63.0
15	57	163.7	72.1	133.0	62.0
16	55	157.9	70.3	129.4	60.6
17	49	153.6	56.7	123.5	66.1
18	29	164.8	48.5	136.0	68.2
Mean	44	158.2	54.9	129.3	62.4
SD	9	6.3	7.5	5.2	4.3

B. 개선 효과 평가

No.	나이(세)	신장(cm)	몸무게(kg)	어깨 높이(cm)	오른 팔 길이(cm)
1	53	155.8	55.2	126.5	54.5
2	57	151.5	56.6	126.0	67.0
3	46	159.5	57.7	128.0	67.0
4	49	164.9	63.9	131.0	69.0
5	42	162.1	57.1	129.5	68.3
6	49	153.0	57.9	126.3	61.5
7	30	164.8	48.5	136.2	68.6
8	41	152.0	47.2	127.0	64.0
9	41	164.8	56.3	137.0	66.0
10	40	149.4	50.9	124.4	56.0
11	38	159.6	52.6	132.6	64.5
12	52	163.7	57.7	133.0	69.0
13	38	158.6	50.9	127.5	64.5
14	36	159.0	53.9	128.0	62.7
15	53	155.0	57.0	128.0	65.0
16	36	163.6	55.8	132.3	65.2
17	49	153.6	56.7	123.2	76.4
18	35	158.8	48.5	136.5	68.5
Mean	44	158.3	54.7	129.6	65.4
SD	8	5.1	4.2	4.2	4.9

부록 2. Half guard 설계 평가 실험 유인물

A. 실험 소개서

실험 소개서

- 연구 주제: 동작 분석을 통한 냉장고 half guard의 인간공학적 설계 및 평가
- 실험 목적
 - 본 실험의 목적은 냉장고 문에 부착된 half guard (이하 guard) 장착/해체 시, 사용자의 상체 동작 측정과 guard design에 따른 주관적 만족도 조사입니다.
 - 본 실험은 half guard design (5종)에 따라 동작 측정 실험과 주관적 만족도 평가 설문이 병행되도록 계획되었습니다.
- 실험 방법 및 순서
 - 수행 작업: 냉장고 문의 높이 별 guard 장착/해체 작업(각 2회 반복)
 - Guard 장착: guard 양 측면을 두 손으로 잡고 가슴 높이에서 시작하여 냉장고 문의 조립 참조점을 이용하여 문에 장착
 - Guard 해체: 장착 동작을 완료한 후, 실험 진행자의 지시에 따라 guard를 해체하여 가슴 높이에 위치
 - 실험 순서
 - ① 실험 소개 및 실험 동의서 작성
 - ② 예행 연습: 실험에서 사용될 guard 장착/해체 방법 숙지
 - ③ Marker 부착
 - ④ 동작 측정 및 주관적 만족도 평가
 - ⑤ 실험 종료 및 실험비 지급
- 실험 소요 시간
 - 전체 소요 시간: 약 3시간 30분
 - 각 guard design 당 소요 시간: 약 30분(동작 실험: 약 25분, 주관적 평가: 약 5분)
- 실험 유의 사항
 - 실험에 관한 의문 사항이 있으시면 언제든지 실험 진행자에게 말씀해 주십시오.
 - 신체적/정신적 스트레스로 인하여 실험 진행이 어렵다고 느끼실 경우, 실험 진행자에게 말씀해 주십시오.
 - 실험 진행 중에는 수행해야 할 작업에 집중해 주십시오.

B. 실험 참여 동의서

실험 번호: _____

실험 참여 동의서

연구 주제: 자연스러운 동작 분석을 통한 인간공학적 제품 설계 및 평가
(부제: 냉장고 half guard design 개선을 중심으로)

지도 교수: 유희천 박사(산업경영공학과)

참여 연구원: 김수진, 이백희, 장윤(산업경영공학과)

- 1. 연구 목적:** 냉장고 half guard (이하 guard) 장착/해체 시의 사용 편의성 평가
- 2. 실험 구성:** 본 실험은 guard 장착/해체 시 상체의 동작을 측정하는 실험과 주관적 만족도 평가 실험으로 구분됩니다. 동작 측정 실험에서는 동작 측정 장치(marker)를 상체에 부착한 뒤, guard를 장착/해체하는 동작을 측정하게 됩니다. 주관적 만족도 실험에서는 각 half guard design에 대한 만족도를 평가하게 됩니다.
- 3. 불편함 및 피로:** 각 half guard design에 대한 실험이 완료되면 약 5분간 휴식 시간이 주어집니다. 만약, 실험 중 과도한 불편함이나 피로 등이 발생할 경우, 언제든지 휴식을 취하실 수 있습니다.
- 4. 소요 시간:** 본 실험은 약 3시간 30분 정도 소요될 예정입니다.
- 5. 개인 정보 비밀 보장:** 실험 시 수집되는 모든 개인 정보는 비밀이 보장됩니다.
- 6. 질문할 권리:** 실험 참여자는 실험 중 언제든지 질문을 할 수 있는 권리가 있습니다. 또한, 실험 참여자는 질문들에 대해 성실하고 만족스러운 답변을 들을 권리를 가지고 있습니다.
- 7. 사례비:** 실험 참여자에게는 4만원의 사례비가 제공됩니다.

본인은 실험 참여자로서 상기 사항들을 이해하고 실험에 자발적으로 참여했음을 확인합니다.

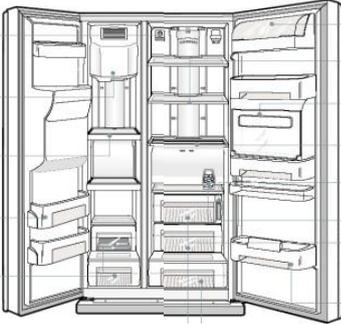
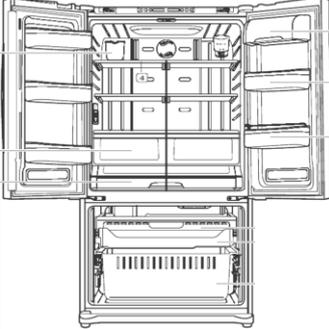
날짜: _____

실험 참여자: _____ 서명

C. 실험 참여자 신상정보 기록지

실험 번호: _____

실험 참여자 신상정보 기록지

실험 날짜	2009. . .	실험 시간	
성명		생년, 월	
키	cm	어깨 높이	cm
몸무게	kg	팔 길이	cm
사용 냉장고 유형	<p style="text-align: center;">해당 유형에 표시(✓)해 주십시오.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> SBS  </div> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> LMF  </div> </div>		

D. 장탈착 용이성 평가 설문지

실험 번호: _____

주관적 만족도 평가

안녕하십니까?

바쁘신 중에도 귀중한 시간을 내어 주셔서 감사합니다. 본 설문은 포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학 설계기술 연구실(유희천 박사, 054-279-2210)의 “자연스러운 동작 분석을 기반으로 한 인간공학적 제품 설계 및 평가” 연구의 일환으로 진행되고 있습니다.

설문 평가의 전반적인 내용은 다음과 같습니다.

- 평가 항목: 6개의 높이에 따른 5종의 half guard design에 대한 사용성 평가
- 예상 소요시간: 3시간
- 평가 방법: 진행자의 안내에 따라 guard 장착/해체 작업을 수행하신 후 주관적인 만족도를 해당되는 이모티콘에 표시(✓)

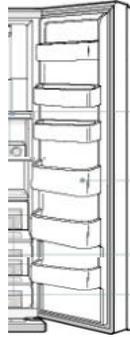
설문 예시

구분	항목	Half guard design
		Design A
Guard 해체	Half guard를 쉽게 해체할 수 있는 정도	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> 매우 불만 불만 약간 불만 보통 약간 만족 만족 매우 만족 </div>

평가 중 의문이 있으시거나, 휴식이 필요하시면 언제든지 말씀해주세요.

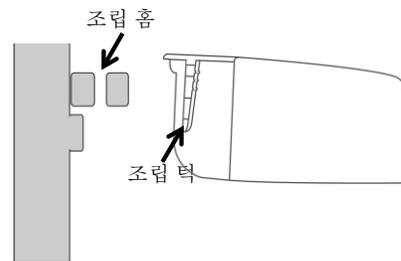
2009년 7월
포항공과대학교 산업경영공학과

Design A



No	Half guard 높이(mm)	Half guard를 쉽게 장착할 수 있는 정도	Half guard를 쉽게 해제할 수 있는 정도
1	1550	매우 불편 (X) 약간 불편 (O) 보통 (O) 약간 만족 (O) 매우 만족 (O)	매우 불편 (X) 약간 불편 (O) 보통 (O) 약간 만족 (O) 매우 만족 (O)
2	1250	(O) (O) (O) (O) (O)	(O) (O) (O) (O) (O)
3	950	(O) (O) (O) (O) (O)	(O) (O) (O) (O) (O)
4	750	(O) (O) (O) (O) (O)	(O) (O) (O) (O) (O)
5	450	(O) (O) (O) (O) (O)	(O) (O) (O) (O) (O)
6	150	(O) (O) (O) (O) (O)	(O) (O) (O) (O) (O)

평가하신 half guard design A (조립 턱과 홈)에 대해 (1) 좋은 점 및 (2) 개선될 점을 아래에 기술해 주십시오.



(1) 좋은 점 _____

(2) 개선될 점 _____

부록 3. Half guard 사용성 평가 결과

A. 궤적 유사도

높이(cm)	통계량	집계형	집계형 + 조립참조점	직사각형 췌기 + 조립참조점	사다리꼴 췌기 + 조립참조점	운형 췌기 + 조립참조점
155	Mean	1.5	1.2	1.7	1.0	1.1
	SD	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
125	Mean	1.9	1.3	1.6	0.9	0.8
	SD	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
95	Mean	2.0	1.6	1.8	0.8	0.8
	SD	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1
75	Mean	2.2	1.7	2.1	1.0	1.9
	SD	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
45	Mean	2.2	1.8	2.1	1.1	1.2
	SD	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
15	Mean	2.2	1.9	2.1	1.1	0.8
	SD	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

B. 장탈착 용이성

높이(cm)	통계량	집계형	집계형 + 조립참조점	직사각형 췌기 + 조립참조점	사다리꼴 췌기 + 조립참조점	운형 췌기 + 조립참조점
155	Mean	2.8	2.8	4.6	4.9	5.5
	SD	1.0	1.0	1.4	1.6	1.3
125	Mean	3.1	3.4	5.6	5.8	6.4
	SD	1.3	1.3	1.2	1.2	0.6
95	Mean	3.6	5.3	5.9	5.6	6.4
	SD	1.7	1.2	1.0	1.4	0.8
75	Mean	3.5	4.5	5.4	6.1	6.4
	SD	1.4	1.4	1.2	0.9	0.7
45	Mean	3.6	4.7	5.3	5.6	6.6
	SD	1.6	1.2	1.1	1.3	0.6
15	Mean	3.0	4.3	5.1	4.9	6.3
	SD	1.4	1.2	1.2	1.6	0.6