한국감성과학회지, Vol. 7, No. 1, pp. 1-7. March 2004

CAVE 공간에서 Arm-Master를 이용한 가상냉장고 도어 개폐의 조작감 평가

Evaluation of control feel in opening and closing the doors of a virtual refrigerator in the CAVE system with an Arm-Master

박재희*† · 이인석* · 김진욱** · 고희동**

Jae-Hee Park*† · In-Seok Lee* · Jin-Wook Kim** · Hee-Dong Ko**

한경대학교 안전공학과*

Department of Safety Eng., Hankyong National University

한국과학기술연구원 영상미디어센터**

Imaging Media Research Center, KIST

Abstract : This study aims to validate the effectiveness of CAVE system with an Arm-Master in the evaluation of virtual prototypes. A virtual kitchen with a refrigerator was presented in the CAVE system. Subjects put in and pull out virtual objects by using the Arm-Master. Twelve subjects, six males and six females, participated in the six experimental conditions : three types of refrigerator door grips and two reaction forces. After each trial, subjects evaluated a door grip of the virtual refrigerator in terms of easiness of operation, similarity in force, presence etc. The results show the mean values of vertical-type door grips are greater than the horizontal pocket-type door grip. Also the subjects preferred 5N in the reaction force of the Arm-Master rather than 15 N when they open and close virtual door. Unexpectedly, female subjects significantly marked low scores in the evaluation terms compared with male subjects. It explains the Arm-Master should be modified much more if it works effectively in design evaluation.

Key words : Arm-Master, CAVE, virtual prototyping, design evaluation, presence, door grip

요약 : 본 연구는 CAVE 시스템과 Arm-Master를 이용해 가상 제품의 프로토타이프를 평가할 때 효과가 있을지에 대한 실험적 검증을 하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 CAVE 시스템 상에 가상의 냉장고를 포함한 가상 주방을 모델링하였다. 실험에는 6명의 남자, 6명의 여자 피실험자들이 참여했는데, 3가지 서로 다른 형태의 냉장고 도어 그립과 가상 냉장고 도어를 열고 닫기 위한 힘의 크기 2개에 의한 조합인 6가지 실험조건에 대해 물건을 냉장고에 넣고 꺼내는 작업을 수행하도록 했다. 각 실험이 끝나면 피실험자들은 도어 개폐의 용이성, 도어 조작시의 힘과 실제 힘과의 유사성, 전반적인 현실감에 대한 평가 설문에 응답하도록 했다. 실험 결과 평균치를 기준

† 교신저자 : 배재희(한경대학교 산업안전공학과)

E-mail : maro@hnu.hankyong.ac.kr

TEL : 031-670-5283, 016-617-5283

FAX : 031-670-5015

으로 통계적으로 유의한 차이는 아니나 수직형의 도어 그립이 개폐용이성 등에서 상대적으로 좋은 평가를 받았다. 또한 힘의 크기에 있어서 피실험자들은 5N을 15N에 비해 좋은 평가를 하였다. 그러나 예상 외로 성별 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났는데, 이는 여자들의 경우 Arm-Master를 조작하는 데 더 큰 어려움을 겪었기 때문으로 풀이된다. 앞으로도 기술적 측면에서 Arm-Master가 더욱 개선되어야만 디자인 평가 과정에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

주제어 : 암-마스터, 케이브, 가상 프로토타이프, 디자인 평가, 현실감, 도어 그립

1. 서론

가상현실(VR ; Virtual Reality) 기술은 지금까지 매우 다양한 분야에 적용되어 왔다. 건축, 교육훈련, 오락 등의 분야에는 상업적 성공을 거둔 사례들도 많다. 디자인 분야에서의 virtual prototyping과 이를 이용한 디자인 평가 분야도 그 적용이 유망한 분야이다(Coomans and Oxman, 1996). 가상현실 시스템의 첫 적용 사례가 일본 마쓰시타 전기의 가상주방이었다는 것이 그 가능성을 입증해주고 있다(Nomura, 1992). 그러나 상대적으로 디자인 분야에서 아직까지 좋은 성과를 못 거둔 것도 사실이다. 그 첫째 이유는 세밀한 렌더링(rendering) 효과는 기존의 컴퓨터그래픽스 기술에 비견되지 못해 사진과 같은 현실감(visual reality)을 줄 수 없다.

둘째, 산업디자인의 대상제품이 그다지 크지 않아 가상현실의 큰 장점인 네비게이션(navigation)이 자주 사용되지 않아도 된다는 점이다. 이는 같은 디자인 분야라 할 수 있는 건축과 비교되는 점이다.

셋째로 가상현실에서는 실시간 상호작용(real-time interaction)을 위해 가상의 물체에 손을 대거나 조작하는 행위가 매우 중요한데 지금까지 시각적인 메타포(metaphor) 등을 사용한 방법으로는 높은 현실감을 주기가 쉽지 않다(Bowman and Hodges, 1997). 특히 가전제품과 같은 디자인 대상물들은 건축물과 다르게 많은 조작 행위를 내포해야 하는데 시각 중심의 가상현실 시스템에서는 이에 대한 적절한 지원을 할 수 없다는 것을 들 수 있다.

셋째 문제와 관련해, 다행히 최근에는 다양한 형태의 힘 피드백(force feedback)을 제시할 수 있는 장치들이 개발되어 이러한 점을 극복할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 지금까지 개발되어 사용되는 대표적인 힘 피드백 장치들로는 Arm-Master, Hand-Master, force glove, force joystick 등이 있다(Burdea, 1996 ; Burdea, 2000 ; Stuart, 1996).

이러한 힘 피드백이 되는 촉각적 표시장치들은 초창기 원격조작, 원격수술, 3차원 분자구조의 모델링 등에 이용되었다. 그런데 최근에는 이 장치들을 CAD과정이나, 디자인 평가에 적용해보려는 노력들이 시도되고 있다 (Hollerbach et al, 1997).

이들 가운데 Arm-Master를 이용해 가상의 제품 조작에 응용한 국내의 연구 예로는 자동차 시제품의 운전석 평가가 있었다(고희동 등, 2002). 그러나 이 연구에서 Arm-Master는 단지 자동차 운전석의 스티어링 휠(steering wheel) 등의 조종장치를 조작하는 도구로만 사용되었을 뿐이고 본격적인 Arm-Master의 현실감 등에 대한 효과는 파악하지 못했다.

이에 본 연구에서는 힘 피드백 장치의 하나인 Arm-Master가 가전제품과 같이 수조작(manual control)이 요구되는 제품의 디자인에 유용하게 사용될 수 있는 지에 대해 실험을 통해 검정하는 것을 목적으로 하였다.

대상 제품으로는 냉장고 도어의 손잡이로 하였는데, 지금까지 매우 다양한 형태의 그립(grip)이 존재하고, 실제 디자이너는 어떠한 형태가 적절할 지에 대한 평가를 원한다. 그래서 실제 냉장고를 대

상으로 한 그립 평가가 이루어지기도 했다(Park et al, 1996).

그러나 이런 실제품을 이용하는 경우 원하는 모든 위치와 형태를 구현하기가 힘들어 평가에 한계를 갖기 마련이다. 그러나 가상현실 기술을 이용한다면 이러한 부분은 쉽게 해결될 수 있다. 그리고 특히 힘 피드백 장치를 이용해 적절히 도어 그립을 잡고 냉장고 문을 열고 닫는 것을 영상과 동기화시켜 재현한다면 제품을 만들기 이전에 현실감 있는 제품평가를 수행할 수 있을 것이다.

이에 본 연구는 가상의 냉장고와 다양한 그립을 만들고 여기에 문을 열고 닫을 때의 힘을 재현해 이런 시스템이 디자인 평가 과정에 사용될 수 있는지를 검증하고자 하였다.

2. 방법

실험장치

실제 냉장고와 가스오븐 등의 크기와 동일하게 모델링 한 가상주방을 만들어 KIST 영상미디어연구센터에 설치되 있는 4면 영상의 CAVE(Cave-like Virtual Environment) 시스템에 이를 구현하였다(고희동 등, 2002).

가상냉장고는 냉장실과 냉동실을 갖춘 two-door 방식의 냉장고였다. 그러나 냉장실과 냉동실 도어에 부착될 손잡이(hand grip)는 시중 냉장고에 가장 많이 채택되는 3가지 형태로 변이를 주었다. 수직-돌출형(vertical-bar), 수직-포켓형(vertical-pocket), 수평-포켓형(horizontal-pocket) 등 3가지 다른 형태의 손잡이가 구현되었다(그림 1 참조).

냉장고 도어를 열고 닫을 때의 반력도 변이를 주었는데 쉽게 열고 닫을 수 있는 5N의 반력과 조금 빡빡한 느낌의 15N의 반력 2가지로 변이를 주었다. 이러한 힘 피드백은 고려대학교 송재복 교수팀이 개발한 Arm-Master를 이용해 구현하였다(류동석, 권태용, 송재복, 2001).

4개의 프로젝터에 의한 CAVE 공간에서의 영상은 CrystalEyes의 LCD 입체안경을 착용하고 보도록 해 깊이 지각이 쉽도록 하였고 현실감이 높도록 하였다.

또한 냉장고 도어를 열고 닫을 때와 냉장고 내의 물체를 Arm-Master를 이용해 집을 때 샘플링한 소리가 나도록 해서 피실험자들의 작업 수행이 용이하도록 했다.

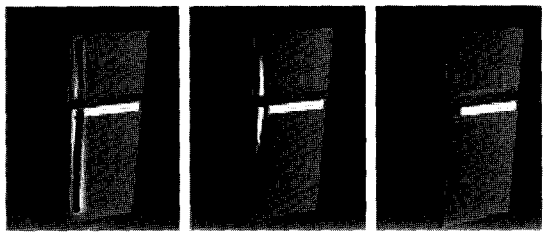

그림 1. 실험에 사용된 냉장고 도어의 형태

그림 2. 실험에 사용된 Arm-Master

그림 3. Arm-Master를 이용한 도어 개폐 실험

피실험자

실험에는 학생 혹은 일반 직장인인 6명의 남자와 6명의 여자 성인이 참가하였다. 남자 피실험자 집단의 평균연령은 24.5세였고 연령범위는 22~26세였다. 여자 피실험자 집단의 평균연령은 25.8세였고 연령범위는 19~31세였다. 실험에 사용된 Arm-Master의 구조상 피실험자는 오른손잡이로 한정하였다. 피실험자들 모두는 컴퓨터의 사용에는 익숙하였지만 입체시를 제공하는 가상현실 시스템을 직접 조작하는 것은 처음이었다.

실험절차

피실험자들은 간단한 인구통계학적 설문조사에 응답한 후 실험에 관한 설명을 들었다. 피실험자들은 본 실험 전 Arm-Master를 오른 팔에 착용하고 연습을 수행하였다. 피실험자당 연습시간은 최소한 10분 이상을 수행해 익숙해질 때까지 하도록 했다.

본 실험에서는 피실험자가 6개의 실험조건(손잡이 형태 3×반력 2) 모두에 대한 작업을 수행하는 피실험자 내(within-subject) 실험이 이루어졌고, 실험순서는 Balanced Latin Square 방식에 의해 제시되었다.

실험이 끝난 후 피실험자들은 그들이 실험 도중에 느꼈던 것을 기반으로 3가지 항목에 대한 답변을 7점 척도를 이용한 설문지에 응답하도록 했다. 설문에서의 질문 사항들은 다음과 같은 것들이었다.

1) 가상냉장고 문의 개폐 용이성
2) 가상냉장고 문의 개폐 시 느껴지는 힘과 실제와의 유사성
3) 실제 냉장고와의 전체적인 유사성
4) 실험 후 도어 그립 유형 간의 차이
5) 가상현실 시스템의 실제 냉장고 구매에 대한 영향력 예상
6) 실험 전후의 선호 냉장고 도어 그립

그림 3에는 Arm-Master를 착용한 피실험자가 CAVE 상에 구현된 가상냉장고의 도어를 열고 닫는 실험 장면을 보여주고 있다.

3. 결과와 토의

우선 냉장고 문의 개폐 용이성, 개폐 시 느끼는 힘과 실제와의 유사성, 전체적인 가상공간에서의 냉장고와 실제 환경과의 유사성(현실감)에 대한 피실험자의 평가 자료를 대상으로 분산분석(ANOVA)을 수행하였다.

분산분석의 주요인은 냉장고 문의 유형(Door), 힘의 크기(Force), 그리고 성별(Gender)이다. 표 1은 분산분석 결과를 요약한 것으로 각 평가 항목에 대한 각 요인의 유의확률 값(p-value)을 나타내고 있다. 분산분석 결과에 대한 해석에서는 유의수준(α)을 0.1로 하였다.

표 1. 분산분석 결과(p values)

Source	개폐용이성	힘의 유사성	전체적 현실감
Door(D)	0.6113	0.3835	0.4994
Force(F)	0.0526*	0.1186	0.3169
G ender(G)	0.0618*	0.0153**	0.0612*
D*F	0.3468	0.549	0.9016
D*G	0.3061	0.9694	0.6118
F*G	0.6549	0.4216	0.4282
D*F*G	0.6336	0.1915	0.7691

** statistically significant at $\alpha = 0.05$

* statistically significant at $\alpha = 0.1$

분산분석 결과 세 항목 모두 성별 간의 차이가 유의하게 나타났으며, 개폐 용이성은 힘의 크기에 따라서 차이가 있는 것으로 나타났다. 그리고 세 요인에 의한 상호작용(interaction) 효과는 모두 없는 것으로 나타났다.

그림 4는 냉장고 도어유형별 개폐용이성, 힘의 유사성, 전체적 현실감에 대한 피실험자들의 평가 결과를 보여주고 있다. 통계적 분석에 의하면 어떤 항목에 대해서도 유의한 차이는 보이지 못했지만, 전체적으로 수직형이 수평포켓형에 비해 높은 점수

를 받았다. 특히 수직돌출형이 개폐용이성 항목에서 다른 형태에 비해 높은 점수를 받았는데 이는 수직돌출형 도어 그립의 면적이 가장 넓어 Arm-Master 장치를 이용할 때 다른 형태의 도어보다 가장 잡기 쉬었기 때문으로 판단된다.

이런 결과는 설문항목 6)번의 '어떤 도어 그립을 가장 선호하는가?'라는 질문에 대한 피실험자들의 답변에서도 일치된 결과를 보여주고 있다. 실험 전, 피실험자들은 수직-돌출형을 월등히 선호했고, 다음이 수평-포켓형이었으나, 실험 후에는 수직-돌출형, 수직-포켓형, 수평-포켓형의 순서로 답을 했다(그림 7 참조). 특히 실험 전에는 수평-포켓형에 대한 선호를 나타낸 피실험자가 3명이었으나 실험 후 1명으로 변경된 것은 가상냉장고의 도어 그립의 면적이 작아 잡기가 어려웠던 것에 기인한 것 같다.

그림 5는 Arm-Master를 움직이는 데 필요한 힘에 따른 차이를 보여주고 있다. 실험에서는 5N과 15N을 유의수준 0.1에서 비교했는데, 도어 개폐용이성에 있어 5N으로 Arm-Master를 설정한 경우가 15N에 비해 개폐가 쉬었던 것으로 나타났다($P = 0.053$).

그러나 힘의 유사성이나 전체적 현실감에서는 힘 값 설정의 변이가 어떠한 차이도 나타내지 못하는 것으로 나타났다.

그림 6은 피실험자 집단의 성별에 따른 차이를 보여주고 있다. 개폐용이성, 힘의 유사성, 전체적 현실감 모든 평가항목에서 통계적으로 유의한 차이

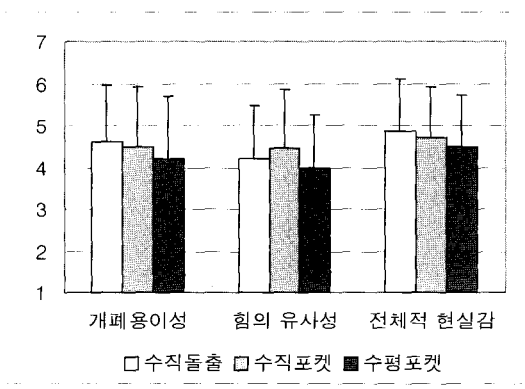

그림 4. 냉장고 도어유형별 차이

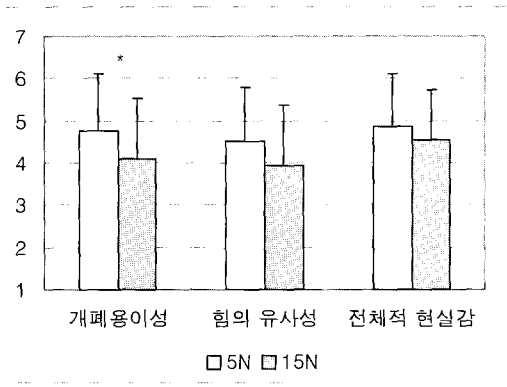

그림 5. Arm-Master반력의 크기별 차이

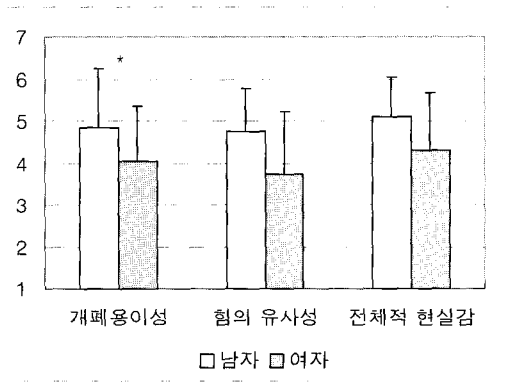

그림 6. 피실험자 성별 차이

를 나타냈는데, 남성이 여성에 비해 CAVE 가상냉장고 시스템에 대한 긍정적 결과를 보여주고 있다.

이러한 결과는 Arm-Master 시스템에서 기인한 것으로 판단된다. Arm-Master를 움직이는 데 필요한 힘이 5N이건 15N이건 오른 팔이 Arm-Master에 고정된 채 이를 조작한다는 것이 상대적으로 여자 피실험자들에게는 상당히 어려웠던 것으로 보여진다.

이러한 이유로 여자 피실험자들은 개폐용이성을 낮게 평가했으며, 같은 이유로 CAVE의 가상냉장고에 대한 조작과 가상 주방 전체에 대한 현실감도 낮게 평가한 것으로 생각된다.

이러한 여자 피실험자들의 CAVE 가상냉장고 시스템에 대한 태도는 실험 후 설문항목 4)와 5)에 대한 분석에서도 확인할 수 있었다. 항목 4) 번인 '가상현실 시스템을 통하여 서로 다른 그립 간의 차이

를 느낄 수 있었는가?'라는 질문은 가상현실 시스템이 실제품과 마찬가지로 그립 조작 시의 미세한 차이를 느끼게 해줄 수 있는가를 알아보기 위한 것인데 상대적으로 여자 피실험자들은 남자 피실험자들에 비해 그 차이를 잘 느낄 수 없었던 것으로 평가 하고 있다(그림 8 참조).

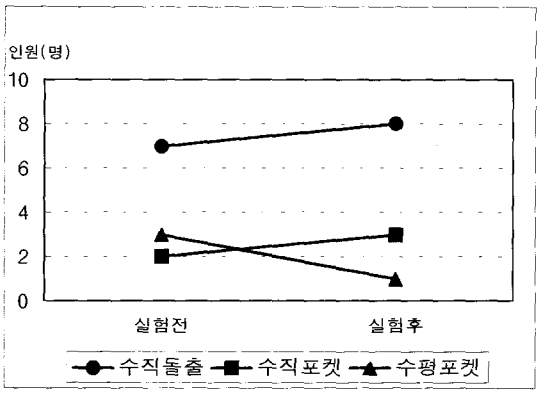

그림 7. 실험 전후 도어 그립의 선호도

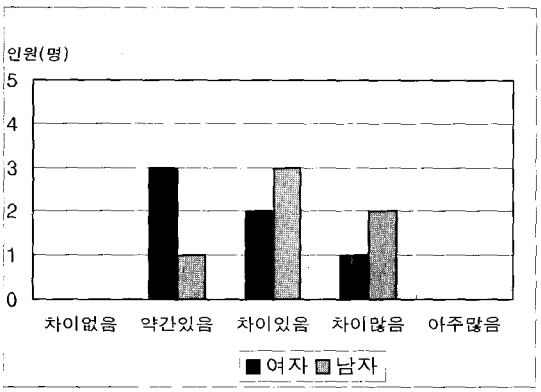

그림 8. 도어 그립 간의 차이 구분한 정도

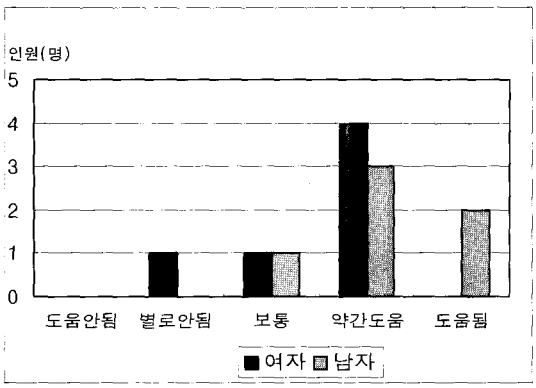

그림 9. VR시스템의 구매에 대한 영향력

항목 5) 번인 '실제 냉장고 구매에 있어서 이러한 시스템의 사용이 도움이 될 것인가?'라는 질문은가상현실 시스템의 응용가능성을 알아보기 위한 것인데, 이 항목에서도 여자 피실험자들은 남자 피실험자에 비해 소극적인 답을 한 것으로 나타났다 (그림 9 참조).

이러한 결과를 볼 때 가상현실 시스템에 CAVE형 표시장치를 도입하고, Arm-Master 장치를 사용하는 것이 시각적으로 촉각적으로 실제품의 감각을 대체할 가능성은 있으나 아직 제품의 평가 과정 등에 사용되기에는 더 많은 기술적 보완이 필요한 것으로 판단된다. 특히 Arm-Master 장치의 경우 특히 여자 사용자들이 사용하기에는 아직 너무 어렵고 불편한 점이 많이 있는 것으로 나타났다.

4. 결론과 추후 연구

이 연구는 시각적으로는 CAVE 가상환경을 사용하고 촉각(힘) 장치로는 Arm-Master를 사용하는 경우 조작감과 현실감(presence)을 높일 수 있어 제품 디자인 평가에 효과를 볼 수 있을 것이라는 가정하에 시도되었다.

통계적 결과만을 볼 때 반력의 차이만이 냉장고 도어 개폐용이성에만 영향을 주는 것으로 나타나고, 실제 냉장고 도어 그립 조작 시의 힘에 대한 유사성과 현실감 등에서는 유의한 효과를 나타내지 못했다. 오히려 여자들의 경우 Arm-Master를 조작해 가상의 도어 그립을 조작한다는 것은 매우 어렵다는 점이 나타나기도 했다.

이러한 결과가 나타난 원인으로 여러 가지 실험적 제약조건들을 생각할 수 있다. 예를 들면 현 Arm-Master의 구조상 의자에 앉은 채로 상체가 거의 고정된 상태에서 작업을 수행해야 했고, Arm-Master를 장착한 오른 팔도 5 자유도를 주었으나 실제보다는 자유롭게 움직이기가 어려웠다.

또한 가상냉장고 도어들 간의 상호비교보다는 실

제 냉장고 도어와의 비교, 조작 장비 상에도 Arm-Master와 일반 마우스 혹은 wired-glove의 사용을 통해 Arm-Master의 상대적 기여를 밝히는 실험이 먼저 필요했다고 판단된다. 추후 연구로 이러한 부분이 수행될 수 있을 것이다.

점차 가상현실은 시각과 청각 위주의 현실감 재현에서 촉각 혹은 힘 그리고 후각 등의 자극을 재현하는 방법들도 추가되는 양상을 띠고 있다. 이에 따라 시각과 청각만으로는 매우 제한적이었던 영역들도 이제 가상현실 기술의 응용영역으로 들어오려 하고 있다. 가전제품의 디자인과 평가도 이러한 부분이 될 터인데 미래에는 CAVE 시스템과 Arm-Master를 적절히 이용한다면 효과를 볼 수 있을 것이다. 이에 이 분야의 연구초점도 이러한 시스템들의 현실감을 높이는 방향으로 장치들의 최적화될 수 있도록 하는 연구에 맞추어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] 고희동, 안희갑, 김진욱, 김종국, 송재복, 어흥준, 윤명환, 우인수, 박연동 (2002). 케이브 기반 자동차 시제품 평가, 한국감성과학회지, 5(4), 77-84.

[2] 김종국, 박문호, 문종덕, 박홍관, 고희동, 송재복 (2001). 다면 가상현실 환경의 구축 및 설계, 한국감성과학회 2001추계학술대회발표 논문집, 30-35.

[3] 류동석, 권태용, 송재복 (2001). 사용자를 고려한 병렬형 6자유도 햅틱 핸드 콘트롤러의 설계 및 응용, 제어자동화공학회 2001 춘계학술대회 발표논문집 (B), 313-318.

[4] Bowman, D. A., & Hodges, L. A. (1997). An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments, Proceedings on symposium on interactive 3D graphics, 35-38.

[5] Burdea, G. C. (1996). Force and touch feedback for virtual reality, John Wiley & & Sons.

[6] Burdea, G. C. (2000). haptic feedback for virtual reality, International Journal of Design and Innovative Research, 2(1), 17-29.

[7] Coomans, M. K. D., & Oxman, R. M. (1996). Prototyping of designs in virtual reality, Proc. of 3 rd Conference on Design and Decision Support System in Architecture and Urban Planning, Spa, Belgium, 20-34.

[8] Nomura, J., Hikaru, O., Kayo, I., & Robert, J. S. (1992). Virtual space decision support system and its application to consumer showrooms, Matsushita white paper.

[9] Hollerbach, J. M., Cohen, E., Thompson, W. B., Freier, R., Johnson, D. E., Nahvi, A. Nelson, D. D., Thompson II, T. V., &Jacobsen, S. C. (1997). Haptic interfacing for virtual prototyping of mechanical cad designs, Proc. of Design Engineering Technical Conference.

[10] Park, J. H., Whang, M.C., Park, S.J., Kim, M.S., & Ahn, Y.-J. (1996). Ergonomic evaluation and guidelines for refrigerator design, Proc. of the 4th? Pan pacific Conference on Occupational Ergonomic, 496-499.

[11] Stuart, R. (1996). The design of virtual environments, McGraw-Hill.