

## 근력을 포함한 가상환경하에서 사용자가 느끼는 무게감에 관한 분석\*

### An Analysis on the Human Cognition of Weight in the Virtual Environment Including the Force Input

김필주\*\* · 남기선\*\* · 심송용\*\*\* · 문규\*\* · 송창근\*\*

Pil-Joo Kim, Ki-Seon Nam, Song-Yong Sim, Gyu Moon, Chang-Geun Song

**Abstract :** This paper studies on the human cognition of object's weight in virtual environment. We design the force input device which consists of a 3D mouse and a simple spring. It provides users with force feedback. The user can measure the weight of an object by the grasping force to move or lift it up in the virtual environment. Three kinds of experiments are performed. The first one is performed to analyze the relationships between the object's weight and its volume. The second one is to find the relationships between the object's weight and its texture and finally the third one is to find the relationships between the object's weight and the force used to move an object. We conclude from the analysis of the experiment that object's volume or texture are not the critical factor for user to realize its weight. But the grasping force is critical and meaningful in realizing its weight so that the virtual environment with force cue provides users with more immersive environments. And, also the force input device is effective enough for user to feel the weight of the object.

**Key words :** Virtual Reality, Force Input, Human Cognition of Weight, Sense of Presence

**요 약 :** 본 논문에서는 가상환경하에서 사용자가 느끼는 물체의 무게감에 관해 연구하며, 3D mouse에 스프링의 탄성력을 이용한 근력입력장치를 새롭게 디자인한다. 근력입력장치는 몰입형 가상환경에서 사용자들의 악력을 이용하여 힘이나 무게를 느낄 수 있도록 고안된 장비이다. 본 논문에서는 물체의 부피와 무게감에 관한 실험, 물체의 재질과 무게감에 관한 실험, 근력입력장치의 악력과 무게감에 관한 실험 등 세 가지 실험을 수행하여 비교·분석한다. 실험결과와 통계적 분석 및 사용자 설문지 분석을 통해서 얻은 결론은 몰입형 가상환경하에서 부피와 재질은 사용자들에게 현실감 있는 무게감을 느끼는 데 중요한 역할을 하지 못하지만, 근력입력장치의 악력을 사용할 경우 현실감을 증대시키며 무게감을 느끼는 데 중요한 역할을 한다. 본 연구에서 제안한 근력입력장치는 무게감을 제공하는 데 효과적이다.  
**주요어 :** 가상현실, 근력입력, 무게감, 현실감

## 1. 서 론

현실감 있는 가상환경을 만들어 내기 위해서는 여러 가지 감각요소를 결합하여 사용자에게 제공하고, 사용자로부터 입력되는 여러 감각신호들을 분석하여 환경에 관한 정보를 얻어 현실감을 느끼게 해야

한다. 그러나 지금까지 대부분의 가상환경은 시각과 청각요소를 위주로 구축되었으며, 후각이나 촉각요소를 가상환경에 추가하려는 연구는 드물게 진행 중에 있다. 특히, 힘이나 무게감을 느낄 수 있는 가상환경에 관한 연구는 현재까지 잘 이루어지지 않고 있다. 일반적으로 시각적인 요소와 촉각적인 요소를 함께

\* 본 연구는 2001년도 한림대학교 교비 연구비 지원을 받아 수행하였음.

\*\* 한림대학교 정보통신공학부

\*\*\* 한림대학교 수리정보과학부

제공하면 보다 효과적으로 인간의 지각력을 높여 준다[7]. 또한, 사람의 감각특성을 보면 시각적인 반응보다 촉각적인 반응에서 주위환경의 변화를 더 빠르게 인지한다[1]. 그러나 대부분의 촉각에 관한 연구는 feedback 장비들에 관한 것으로 특별한 가상환경에만 적용이 가능하며, 장비의 가격이 고가이므로 일반적인 가상환경에 적용하기는 상당히 어렵다. 그리고 사용자가 가상환경에서 물체의 무게를 느끼거나 물체에 적용되는 중력과 같은 힘을 느끼게 하는 것은 어려웠다[3].

본 논문에서는 간단하면서도 효과적인 방법으로 가상환경에서 힘이나 무게를 느끼게 할 수 있는 장치를 제안하려 한다. 새롭게 고안한 근력입력장치(force input device)를 가상환경에 적용하여 그 사용성과 유용성에 대해 알아 본다.

우선 가상환경에서 시각적인 요소인 부피와 재질의 차이로 무게감을 느낄 수 있는지를 알아 보기 위해 현실에서의 실험과 가상에서의 실험을 통해 정량적으로 비교·분석하여 본다. 새롭게 설계된 장치의 유용성을 검증하기 위해 이 장치를 사용하여 현실과 가상환경하에서 동일한 실험을 시도하며, 이 때 사용자가 무게감을 얼마나 느꼈는지 정성적으로 알아 본다. 앞의 두 실험의 결과와 비교·분석을 시도한다.

## 2. 관련연구

대부분의 force feedback 장비들의 경우, 사용자가 가상에서 접하고 있는 물체의 느낌을 손으로 느낄 수 있게 고안된 촉각(tactile)장비가 대부분이다. 그리고 이러한 촉각장비 이외에 force feedback 장비로 PANTOM<sup>TM</sup>이 있다[7]. 이것은 사용자가 손가락으로 어떤 물체를 누를 때 그 물체를 누르는 느낌을 그대로 재연해 주는 장치로 force feedback 장치 중 가장 잘 알려진 장비라고 할 수 있다. 이 외에도 입력장치로 가장 많이 사용되는 마우스에 force feedback 기능을 장착한 장비가 있다. 그 중 대표적인 것이 FEELit<sup>TM</sup>이다[7]. 또한 마우스 대신 조이스틱과 drive motor를 이용하여 제작한 입력장치도 있다[6].

위에서 언급한 입력장치는 누르는 느낌이나 만지고

있는 물체의 느낌, 특정위치에서 반발력을 유도시켜 그 느낌으로 가상공간을 이해하게 하는 장비였다. 이것과는 조금 다르게 force feedback 장비를 이용하여 가상환경에서 탐색(navigation)속도와 방향을 조정하는 입력장치도 연구된 바 있다[5]. 이 외에도 고무공처럼 생긴 형태의 force feedback 장비도 있다. 이것은 고무공을 누르는 힘을 측정하여 물건을 어느 정도의 힘으로 잡았는지 알아 낼 수 있는 장비이다[10].

본 논문에서 고안한 근력입력장치는 용수철(spring)의 힘을 이용한 force feedback 장비이다. 이처럼 용수철의 탄성을 이용한 입력장치의 연구는 이전에도 있었으나[4] 본 연구에서와 같이 힘과 무게감에 적용한 형태는 아니었다. 그리고 물체의 부피와 무게감에 관한 연구나 물체의 재질과 무게감에 관한 연구는 아직 발표된 적이 없으며, 가상공간에서 물체의 크기와 물체의 조작에 관한 연구는 1999년 발표된 적이 있다[8].

## 3. 근력입력장치

근력입력장치는 용수철의 탄성력을 이용하여 외부로부터 힘을 받아 변화한 길이를 측정하여 그 값을 사용자가 입력한 힘의 양으로 환산해 주는 장치이다.

$$F \propto X, F = kX$$

( $k$ =용수철 상수, 단위는 N/m)

용수철의 탄성력  $F$ 는 탄성체의 변형된 길이  $X$ 와 비례한다. 즉, 용수철이 줄어들거나 늘어난 길이를 측정하면 그 힘을 알 수 있다. 근력입력장치는 자체제작한 3D mouse의 손잡이 부분에 레버를 달아 그 레버를 누르는 힘을 측정하여 디지털화해 주는 입력장치이다. 레버에는 용수철이 부착되어 있으며, 그 용수철이 줄어든 길이를 측정하여 디지털값으로 바꿔 주게 된다.



그림 1. 근력입력장치 시스템 블록도

그림 1은 근력입력장치의 개략적인 구조도이다. 첫째 블록은 photo interrupter 센서로 이루어져 있으며, 다이오드에서 제공되는 빛의 양을 조절하고 빛의 양에 따라 출력에는 linear한 전압특성을 그리게 된다. 둘째 블록은 ADC를 포함하고 있는 80C196KC controller 부분으로서 0~5V 사이의 아날로그 전압 신호가 들어오는 것을 디지털 데이터로 변환한다. 셋째 블록은 둘째 단계에서의 디지털 변환값을 MAX232 시리얼 통신칩을 통해 컴퓨터로 보내 주는 역할을 한다. 그림 2는 이러한 방법으로 제작된 근력입력장치의 모습이다.

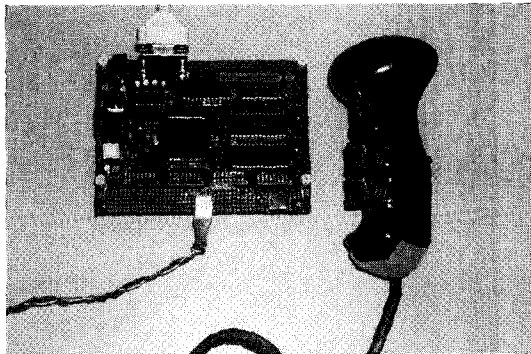


그림 2. 근력입력장치

#### 4. 실험

본 논문에서는 가상공간에서 사용자들에게 무게를 느끼게 하는 요소로서 부피와 재질에 대하여 고찰한다. 가상공간에서 무게나 힘을 느끼게 하는 대표적인 시각요소인 부피와 재질의 차이가 무게나 힘에 얼마나 영향을 주는지에 관해 알아 보기 위해 실험한다. 또한, 새로 고안한 근력입력장치를 설계하여 구현하여 이를 가상환경에 이용하는 방법을 제안하고 그 성능을 평가하는 실험을 한다. 피실험자는 모두 50명으로, 가상현실을 경험해 보지 못했거나 한 번 정도 경험해 본 사람들이다. 또한 한림대학교의 인문, 사회, 공과, 자연대학에 재학하는 대학생들을 대상으로 신청을 받아 실시하였다. 전체적인 연령분포도 20대 초반에서 20대 후반까지이다.

#### 4.1 부피와 무게감의 관계성에 관한 실험

일반적으로 같은 물체일 경우 부피의 비가 무게의 비와 같다는 사실은 거의 모든 사람들이 알고 있을 것이다. 첫 번째 실험은 이 사실을 토대로 현실과 가상공간에서 단위부피를 보여 주고 그 단위부피의 정수배의 부피를 갖는 것을 찾아 내는 실험이다. 정수배를 선택한 이유는 단지 실험의 편리성 때문이다. 먼저 현실에서 실제 정육면체를 보고 정수배의 부피를 갖는 정육면체를 찾는 실험을 하였다. 두 번째는 가상환경에서 실제환경과 같은 실험을 하였다. 실험시 질문의 내용은 두 가지 실험 모두 단위부피를 1이라고 했을 때 부피/무게가 1/2배, 2배, 3배, 5배, 10배 되는 정육면체를 찾는 것이다. 그림 3과 그림 4는 현실과 가상환경에서 사용된 상자들을 보여 준다.

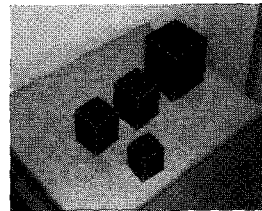


그림 3. 현실실험

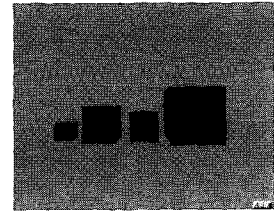


그림 4. 가상실험

#### 4.2 재질과 무게감의 관계성에 관한 실험

현실에서 사람들은 시각적으로 무거운 물체인지 가벼운 물체인지를 판단할 때 그 물체의 재질을 보고 판단하는 경우가 많다. 한편, 재질은 현실감 있는 가상환경을 꾸미는 데 없어서는 안 되는 매우 중요한 요소이다. 이렇듯 가상환경에서 현실감을 제공하는 데 중요한 역할을 하는 재질이 가상공간에서 사용자가 느끼는 무게감에 얼마나 영향을 주는지를 알아 보기 위해 두 번째 실험을 실시한다.

다섯 종류의 재질을 부피가 같은 상자 다섯 개에 각각 입혀 두 가지 실험을 준비하였다. 피실험자에게 주어진 실험은 가상환경에서 재질을 보고 무거운 느낌이 드는 것을 순서대로 나열하는 것이다. 재질은 주변에서 흔히 볼 수 있는 것으로 한다. 첫 번째 문제는 철판, 돌, 모래, 나무, 종이재질을, 두 번째 문제는 청

동, 대리석, 가죽, 천, 낙엽재질을 사용한다. 그림 5는 재질과 무게감에 관한 실험에서 무거운 것 순으로 나열하는 장면이다.

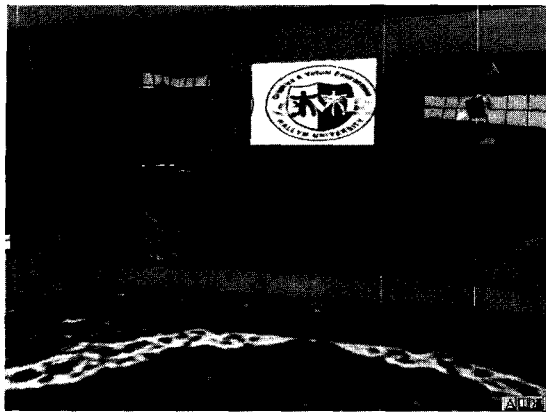


그림 5. 재질과 무게감에 관한 실험장면

### 4.3 근력입력장치와 무게감에 관한 실험

첫 번째와 두 번째 실험은 시각적인 요소와 무게감의 상호 관련성에 관한 실험이다. 세 번째 실험은 실제 근력을 힘이나 무게로 전환하여 가상환경에 적용시키는 실험이다. 이번 실험에서는 새롭게 디자인한 근력입력장치를 이용하여 물건을 들어 보고 그 무게를 비교하는 실험을 한다. 이 실험을 통해 본 논문에서 제시하는 가상환경에 힘을 포함시키는 새로운 방법이 얼마나 효과적인지 평가하고자 한다. 실험은 크게 두 가지로 나누어서 실행한다. 먼저 실제에서 무게가 다른 상자를 들어 보고 그 무게를 비교하는 실험을 하였다. 두 번째로 실제 실험과 똑같은 환경을 가상환경에 만들어 놓고 같은 실험을 한다.

현실에서 무게비교 실험은 먼저 부피가 같은 종이 상자를 다섯 개 준비하고 그 속에 각각 무게가 다른 추를 넣어 순서 없이 나열한다. 그리고 피실험자로 하여금 이렇게 준비된 종이상자를 손으로 들어 보고 무거운 순으로 나열하게 한다. 종이상자 안에 넣은 추의 무게는 200g, 300g, 400g, 500g, 600g이다. 가상환경에서의 무게비교 실험은 같은 크기의 정육면체에 각각 무게속성을 주고 근력입력장치로부터 무게보다 많은 힘이 입력되면 물체를 근력입력장치와 같이 움직

이도록 가상환경을 만든다. 정육면체의 개수는 현실에서의 실험과 동일하게 다섯 개로 한다.

또한, 가상공간에 존재하는 정육면체는 근력입력장치에서 입력되는 힘을 측정하여 최종적으로 들어올려질 것인지 판단한다. 그림 6과 그림 7은 현실과 가상에서 사용한 추가 들어 있는 상자의 모습이며, 그림 8은 실험장면이다.

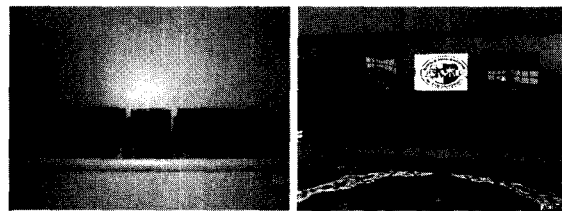


그림 6. 현실실험

그림 7. 가상실험



그림 8. 근력입력장치 실험장면

## 5. 실험결과

실험결과는 모두 세 가지 측면에서 분석하였다. 첫 번째는 정량적인 것으로 각각의 실험환경에서 피실험자가 응답한 데이터를 중심으로 얼마나 정확하게 무게를 맞추었는지를 알아 보았다. 두 번째는 과연 가상에서의 실험이 현실에서의 실험과 얼마나 동일한지 알아 보기 위해 현실실험의 데이터와 가상실험의 데이터를 통계적으로 비교해 보았다. 세 번째는 각각의 실험에서 피실험자가 정성적으로 느끼는 무게감은 어느 정도였는지를 설문응답을 통해 알아 보았다.

### 5.1 부피와 무게감의 관계성에 관한 실험

표 1을 살펴보면 전체적으로 정답의 개수가 줄어 든 것을 알 수 있다. 또한 전체적인 평균을 보면 현실에서 실험한 경우 1.44개를 맞추었으며, 가상에서 실험한 경우 평균 1.24개를 맞추었다. 다시 말해 대부분의 사람의 경우 부피의 비를 시각적으로 거의 느끼지 못한다는 것이다.

표 1. 부피와 무게감에 관한 실험결과

정답개수	현실에서 실험		가상환경에서 실험	
	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)
0	19	38	19	38
1	13	26	14	28
2	5	10	10	20
3	7	14	1	2
4	2	4	5	10
5	4	8	1	2
평균	1.44		1.24	

또한, 현실에서의 실험과 가상환경에서의 실험이 같다고 주장할 수 있는지를 통계적 추론방법인 모평균의 유의성 검증을 통해 알아 보았다.

$VOL = \text{현실에서 실험결과} - \text{가상에서 실험결과}$

귀무가설  $H_0 : VOL = 0$

대립가설  $H_1 : VOL \neq 0$

$VOL$ 의 관측값  $T = 0.8616404$

$VOL$ 의 유의확률  $Prob > |T| = 0.3931$

위에서 볼 수 있듯이 통계적으로 현실에서의 실험과 가상에서의 실험은 차이가 없다고 할 수 있다. 그리고 피실험자가 설문지에 답변한 주관적인 판단을 보면 “실험 중 여러 예제들의 부피가 다르게 느껴졌는가?”라는 질문에 전체 응답자 중 76%가 부피의 차이를 느낄 수 있었다고 대답하였다. 그러나 “실험 중 부피가 큰 것이 무겁게 느껴졌는가?”라는 질문에 대한 피실험자의 응답을 보면 86%나 되는 피실험자가 부피의 차이가 무게의 차이로 느껴지지 않았다고 대답하였다. 위 결과로 볼 때, 사람들은 현실에서나 가상에서 시각적으로 부피의 차를 정확히 구분하지 못하였고 말할 수 있다.

### 5.2 재질과 무게감의 관계성에 관한 실험

표 2를 보면 전체적으로 두 번에 걸친 실험결과가 거의 같게 나왔다.

표 2. 재질과 무게감에 관한 실험결과

정답개수	첫 번째 재질실험		두 번째 재질실험	
	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)
0	6	12	6	12
1	6	12	4	8
2	19	38	12	24
3	9	18	16	32
4	7	14	1	2
5	3	6	11	22
평균	2.28		2.70	

정답평균을 비교해 보면, 첫 번째 실험 2.28개, 두 번째 실험 2.70개였다. 즉, 5개의 문제 중 한 사람이 보통 2.5개의 문제를 맞추었다는 것이다. 부피실험에 비해 정답률이 높게 나왔으나 평균 2.5개의 정답률로 보아 재질이 무게감을 느끼는 데 큰 영향을 준다고는 말할 수 없다. 그리고 재질의 경우 피실험자가 재질이 무엇인지 알아 볼 경우 경험에 의한 기억을 통해 무게를 추측하는 것이 대부분이다. 따라서, 재질로써 가상환경의 힘이나 무게감을 느끼게 하려면 신중한 재질의 선택이 필수적이라 하겠다.

또한, 피실험자가 설문지에 답변한 주관적인 판단을 보면, 두 번째 실험에서 “가상환경에서 느낀 재질이 현실과 얼마나 차이가 있었나?”라는 질문에 44%가 “어떤 종류인지 알겠으나 현실에서의 느낌과는 차이가 있었다”라고 응답했으며, 46%가 “어떤 종류인지 알겠으며, 느낌은 보통이었다”라고 응답하였다. 또한 “어떤 종류인지 모를 정도로 차이가 있었다”라고 대답한 사람은 50명 중 한 명도 없었다. 그리고 “가상환경에서 재질의 차이로 무게의 차이를 느낄 수 있었는가?”라는 질문에는 58%가 “무게차이를 조금은 느낄 수 있었다”라고 응답했으며, 32%가 “무게차이를 느낄 수 있었다”라고 응답하였다.

### 5.3 근력입력장치와 무게감에 관한 실험

표 3을 보면 현실에서 실제로 물건을 들어 보고 무

계의 순서대로 나열하는 경우, 정답의 개수와 빈도수 간에 비례하는 것을 볼 수 있다. 부피와 재질에 비하여 무게감을 느끼게 하는 데 우수함을 확인할 수 있다. 실제 실험의 평균을 보면 4.0으로 피실험자들이 실제 물건을 들어 보고 느끼는 무게감은 정확하다고 할 수 있다. 이것과 비교하여 가상환경에서 근력입력장치를 사용하여 물체를 들어 보고 무게 순으로 나열한 결과를 보면 현실에서의 실험과 마찬가지로 정답의 개수와 빈도수 간에 비례하는 것을 볼 수 있다.

표 3. 근력입력장치와 무게감에 관한 실험결과

정답개수	현실에서의 실험		근력입력장치를 사용한 실험	
	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)
0	1	2	1	2
1	4	8	6	12
2	3	6	2	4
3	10	20	11	22
5	32	64	30	60
평균	4.0		3.86	

또한, 가상환경 실험의 평균을 보면 3.86으로 4.0과 거의 차이가 없다. 다시 말해 대부분의 사람이 실제로 들어 보면 무게감을 확실히 느끼듯이 근력입력장치를 쓰면 대부분의 무게비교는 가능하다는 것을 알 수 있다. 그리고 현실에서의 실험과 가상환경에서의 실험이 같다고 얘기할 수 있는지 통계적 추론방법인 모평균의 유의성 검증을 통해 알아 보았다.

WT=현실에서의 실험결과-가상에서의 실험결과

귀무가설 H0 : VOL=0

대립가설 H1 : VOL≠0

WT의 T=0.5583706

WT의 Prob>|T|=0.5791

즉, 통계적으로 현실에서의 실험과 가상에서의 실험은 차이가 없다고 할 수 있다.

피실험자가 설문지에 답변한 정성적인 자료를 보면 근력입력장치를 사용해 본 결과 “이 장비를 이용하면 얼마나 현실감 있게 가상환경에서 무게감을 적용시킬 수 있다고 생각하는가?”라고 질문했을 때 72%가 “근력입력장치를 이용하여 무게감을 느낄 수 있다”고 대

답하였다. 이러한 결과로 보아 근력입력장치를 이용하는 것이 현실에서 실제로 물체를 들어 보는 것과 그 효과가 상당히 유사하다는 것을 알 수 있으며, 그 정확도 또한 상당히 우수하다는 것도 입증된다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 근력이 포함된 가상환경을 구축하기 위해 새롭게 디자인한 근력입력장치를 가상환경에 적용시켜 그 사용성을 평가하였다. 사용자가 가상환경에서 무게감을 어떤 요소에서 많이 느끼는지 알아보기 위해 부피와 재질에 관한 실험을 하였다.

그 결과를 요약하면, 첫째 근력입력장치를 포함한 가상환경은 사용자들에게 가상환경에서 힘이나 무게감을 느끼게 하는 데 있어서 재질이나 부피에 비하여 탁월한 효과가 있다. 또한, 본 연구에서 설계하고 구현한 근력입력장치는 3D mouse에 장착되어 있어 일반적인 가상환경에서도 쉽게 사용될 수 있으며, 여러 가지 형태의 상호작용에 적용 가능할 뿐만 아니라 그 비용도 상당히 저렴하다.

둘째, 부피와 무게감에 관한 실험에서 부피의 차이는 가상공간뿐만 아니라 현실에서도 사람들에게 무게감으로 느껴지지 않는다. 또한, 일반인들의 경우 부피의 비를 눈으로 느낄 때 대부분 길이의 비나 면적의 비로 느끼는 경향이 있다고 말할 수 있다.

셋째, 재질과 무게감에 관한 실험에서 재질은 가상공간에서 사람들에게 어느 정도 무게감으로 느껴졌으나 큰 영향을 준다고는 말할 수 없다.

위에서 결론내린 것처럼 가상환경에 무게감이나 힘을 추가하기 위해서는 시각적인 요소만으로는 상당히 어렵다. 최근에 구축되는 대부분의 가상환경에는 무게감의 요소가 결여되어 있다. 따라서, 보다 현실감 있게 힘을 적용할 수 있는 가상환경을 꾸미기 위해서는 본 논문에서 제안한 것 같은 근력입력장치를 이용하여 환경을 꾸미는 것이 필수적이다.

## 참고문헌

[1] Grigore C. Buraea(2000), “Haptics issues in

- virtual environments”, Burdea, G.C. Computer Graphics International, 2000. Proceedings, 295-302.
- [2] Ken Hinckley, Randy Pausch, John C. Goble and Neal F. Kassell(1994), “A survey of design issues in spatial input”, Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 213-222.
- [3] H. G. Hoffman, “Physically touching virtual objects using tactile augmentation enhances the realism of virtual environments.” Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium '98, Atlanta GA, 59-63. IEEE Computer Society, Los Alamitos, California.
- [4] William R. Mark, Scott C. Randolph, Mark Finch, James M. Van Verth and Russell M. Taylor(1996), “Adding force feedback to graphics systems: issues and solutions”, Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics, 447-452.
- [5] Mark A. Paton and Colin Ware(1994), “Passive force feedback for velocity control”, Proceedings of the CHI '94 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems, 255-256.
- [6] Louis Rosenberg and Scott Brave(1996), “Using force feedback to enhance human performance in graphical user interfaces”, Proceedings of the CHI '96 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems, 291-292.
- [7] Mandayam A. Srinivasan, Çağatay Basdogan, Wan-Chen Wu(1999), “Visual, Haptic, and Bimodal Perception of Size and Stiffness in Virtual Environments”, Proceedings of the ASME Dynamic Systems and Control Division 1999.
- [8] Yanqing Wang and Christine L. MacKenzie (1999), “Object manipulation in virtual environments: relative size matters”, Proceeding of the CHI '99 Conference on Human Factors in Computing Systems: the CHI Is the Limit, 48-55.
- [9] Bob G. Witmer and M. J. Singer(1998), “Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire”, PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments, 225-240.
- [10] Shumin Zhai, Paul Milgram and William Buxton(1996), “The influence of muscle groups on performance of multiple degree of freedom input”, Conference Proceedings on Human Factors in Computing Systems, 308-315.