

가상환경에서 시각정보와 사전 경험이 힘전달에 미치는 영향에 대한 연구

이재훈^{1†} · 황호성¹ · 윤원식¹

Investigation of the Force Transmission Affect by Visual Information and Previous Experience in Virtual Environment

JaeHoon Lee · HoSung Hwang · WonSik Yun

ABSTRACT

The purpose of this paper is to examine how the humans learn and perceive the weight of objects corresponding to visual information in virtual environment. We conducted two kinds of load-on-tasks with two virtual objects that have same weight but different visual cues; have same visual cues but changed weight by trails. We found that the subject could not generate appropriate force for the smaller and changed weight objects in the beginning of the trials. the discrepancy between the expected weight and actual force consequences sue to visually invoked size and previous experience made subjects perceive the small object were heavier. one the other hand, after the tasks were repeated, the subject responded the weights were the same or very similar when the mismatch between the expected weight and the actual weight became vanished. this means that the sensorimotor feedback influences the anticipatory control scheme and weight perception aggressively in virtual environment.

Key words : Weight learning, Weight perception, Haptic, Wirtual environment

요 약

본 논문에서는 시각정보와 경험이 가상환경에서 햅틱 디바이스로 상호작용 하는데 미치는 영향에 대한 연구이다. 이를 알아보기 위해 Load-on-task를 통하여 물체의 크기와 누적된 경험이 가상환경에서 무게를 예측하고 상호작용 하는데 영향을 미친다는 사실을 확인하였다. 또 가상환경에서 물체 이동 실험을 통해 물체에 대한 정보가 다를 경우 빠르게 잘못된 정보를 보상하고 안정적인 힘 조절을 확인하였다. 위 실험을 통해 가상환경에서의 경험이 물체의 시각적인 정보보다 많은 영향을 주지만, 경험이 없는 환경의 경우 시각적인 정보가 가상환경에서 물체와의 상호작용에 크게 영향을 주는 요소라는 것을 확인하였다. 따라서 가상환경에서 정밀한 조작(로봇 수술 등)이 필요한 의 경우 실제 물체의 물성치와 시각 데이터를 기반으로 유사한 환경을 조성해야 하며, 만약 그러한 환경 조성이 어려울 시에는 충분한 사전시험을 통하여 가상환경이 가진 특성을 경험할 수 있게 준비해야 한다.

주요어 : 무게 학습, 무게 인지, 햅틱, 가상환경

1. 서 론

우리는 살아가면서 주변 환경 및 물체와 상호작용을

하면서 살아가고 있다. 이러한 상호작용을 할 때 해당하
는 물체에 적절한 힘을 가하여 만지거나 잡는 행동을 하
게 된다. 이때 사람이 가하는 힘의 크기를 결정하는 가장
큰 요소는 물체에 대한 과거 경험을 통해 생성된 기억이
다. 만약 물체에 대한 경험이 없다면 유사한 물체에 대한
기억이나 그 물체의 크기 색깔 등 시각적인 정보에 의존
하여서 물체와 상호작용할 힘을 결정하게 된다.

Friedman 과 Flash는 2007년 발표한 논문에서 물체의
크기와 형태의 인지가 물체에 가하는 힘의 크기를 결정하

*이 연구는 가상환경에서 시뮬레이션 한 연구결과이다.
접수일(2012년 6월 22일), 심사일(2012년 9월 12일),
게재 확정일(2012년 9월 25일)

¹⁾LIG 넥스원 연구개발본부 연구원

주 저 자 : 이재훈

교신저자 : 이재훈

E-mail; jaehoon.lee@lignex1.com

는지에 대한 연구결과를 발표하였다^[1]. 또한 물체에 대한 파악이 끝난 이후에 감각 피드백이 물체의 상호작용에 미치는 영향에 관한 연구결과를 발표하였다^{[2][3]}.

최근 로봇틱스 영역에서도 단순한 작업을 하던 로봇이 점차 사람과 협업을 하거나 사람의 동작을 따라하는 경우가 많아졌다. 이러한 로봇 제어에서 가장 중요한 요소 중 하나는 로봇이 얼마만큼의 힘으로 주어진 동작을 수행할까이다. 적절한 힘을 주기 위해서는 사람을 위협하지 않는 수준의 힘 제어를 위한 물체의 특성과 제어 메커니즘에 대한 연구가 필요하다^{[4][5]}. 이러한 준비과정 없이 작업을 진행하려면 움직이는 과정마다 얼마나 힘을 주어야 할지에 대한 예측이 필요하다. 힘 예측을 위하여 힘 예측 모델을 설계하고 테스트를 통하여 검증이 필요하다.

햅틱 인터페이스 장치를 통하여 우리는 가상의 물체나 공간을 직접 만지거나 물체의 감각이나 점성 그리고 무게에 대한 정보를 사용자에게 직접 전달할 수 있게 되었다. 햅틱 인터페이스를 통하여 로봇에 대한 조작성이 더욱 정밀하게 할 수 있게 되었다. 이러한 인터페이스를 이용한 원격 조작성도 좀 더 정밀한 힘 제어가 가능하게 되었다. 햅틱 인터페이스의 등장으로 가상환경에서 물체와의 정밀한 힘 제어 및 응답 또한 가능하게 되었다.

이 논문의 목적은 사람이 어떻게 가상환경에서 물체의 무게에 대한 감각을 익히고 상호작용 하는지에 대한 연구이다. 물체의 크기가 달라지거나, 물체의 무게의 변화가 있었을 때 사람의 무게에 대한 예측과 반응의 변화를 확인하였다. 특히 예측한 무게와 실제무게의 차이에서 오는 SWI(size weight illusion)에 대한 재검증과 무게의 변화를 대응하는 형태를 확인하였다. 우리는 이 연구를 통하여 가상환경의 힘 피드백에 새로운 기준을 제시할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 자원 및 방법

2.1 피실험자

본 실험의 목적은 햅틱 디바이스를 이용해 가상환경에 적응하는 과정에 나타나는 변화를 파악하는 것이다. 따라서 실험환경의 적응력에 영향을 미칠 수 있는 요소(나이, 주 사용 손)를 최소화 하기위해 피실험자는 햅틱 디바이스에 대한 경험이 없는 참가자 20명(남성 15명 여성 5명; 20대 중반~30대 중반)모두 오른손잡이로 구성되었다. 피 실험자들은 수행한 실험의 목적 및 내용에 관하여 알려주지 않은 상태에서 진행하였다. 피 실험자들은 10명씩 각각 2가지 실험에 참여했으며, 실험 종료시에 실험에 관련

된 설문지를 작성하였다.

2.2 자원

사용한 햅틱 장비는 sensible사에서 제작한 phantom omni(6DOF, 최대 3.3N의 햅틱 피드백 제공)를 사용하였다. 실험 범위는 16.3cm(가로) × 12.2cm(세로) × 7.1cm(높이)의 공간에서 자유롭게 움직일 수 있게 설정하였다. 사용한 컴퓨터는 intel i5 2500코어, 4Gb RAM, 그래픽 카드는 Geforce gt520으로 사용하였다. 실험에 사용된 응용 프로그램은 오픈소스 프로그램인 CHAI3D를 개량하여서 사용하였다. 화면은 24인치 모니터를 사용하였다.

2.3 사전 실험: 가상환경 익숙해지기

본 실험에 들어가기 전에 모든 피실험자들이 햅틱 디바이스를 처음 경험하기 때문에 햅틱 디바이스에 익숙해지기 위하여 사전 동작 실험을 하였다.

실험환경은 Fig. 2의 환경이다. 각각 3가지 정육면체 박스가 가상환경에 존재하고, 피실험자는 1분동안 자유롭게 햅틱 디바이스를 이용해 박스와 상호작용 할 수 있게 하였다. 그림에 보이는 회색 공이 햅틱 디바이스의 위치



Fig. 1. Phantom Omni

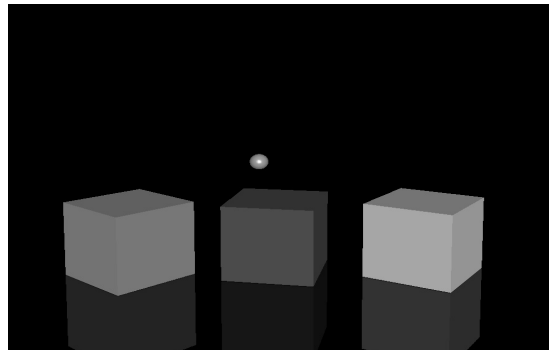


Fig. 2. Pre-experiment configuration

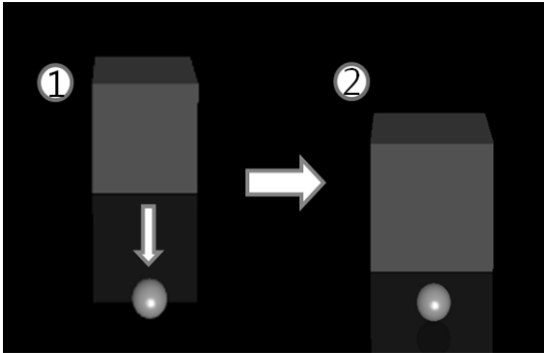


Fig. 3. Experiment 1 configuration

를 의미하며, 각각의 박스들은 색깔마다 고유의 무게(빨강: 100g, 파랑: 200g, 초록: 300g)으로 구성되었다. 사전 실험을 통해 각기 색깔과 무게가 다른 박스를 가지고 가상환경에 적응할 수 있도록 돕는다.

2.4 실험 1: SWI(Size Weight Illusion)

피 실험자 10명(남:8 여:2)은 모니터에서 약 80cm 떨어진 지점에서 실험을 수행하였다. SWI 실험에 사용된 박스는 크기가 다른 2개의 푸른색 박스로 작은 박스(3cm × 3cm × 3cm, 200g) 큰박스(6cm × 6cm × 6cm, 200g)로 박스의 크기는 다르지만 무게는 똑같이 하여서 실험을 진행하였다.

실험 방법은 (1)번 위치에서 고정되어있던 물체는 3초의 카운트 뒤에 (2)번처럼 자유낙하한다. 이때 피실험자는 초기 위치에서 최대한 움직이지 않도록 물체의 낙하를 대비한다. 위의 과정을 2개의 박스를 번갈아가면서 9회 수행하고, 수행 후 두물체의 무게가 어느쪽이 무겁게 느껴졌는지 설문조사를 하였다. 3초 카운트 다운 이후 1.5초 동안 햅틱 디바이스의 이동거리를 저장하였다.

이 실험을 통해 예상되는 결과는 초기에 물체의 크기가 큰 물체를 받을 때 더 많은 힘을 가하고 있기 때문에 물체가 떨어져도 손의 위치가 거의 움직이지 않을 것이다. 반대로 작은 물체를 받을때는 상대적으로 가벼울 것으로 생각하여 힘을 적게 가해 손의 움직임이 많을 것이다. 하지만 실험이 거듭될수록 물체의 무게에 익숙해 지면서 두 물체 사이의 차이가 줄어들 것이다.

2.5 실험 2: 물체 이동 실험

피실험자 10명(남:7 여:3)은 모니터에서 약 80cm 떨어진 지점에서 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 박스(3cm

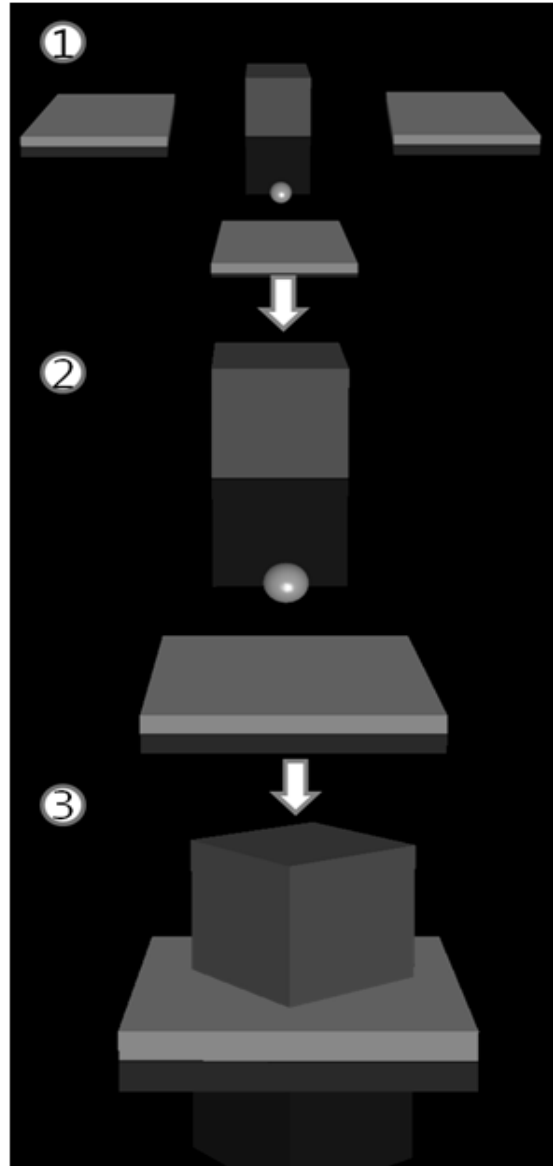


Fig. 4. Experiment 2 configuration

× 3cm × 3cm)는 중앙에 위치하고 햅틱 디바이스 바는 5cm 아래에 위치한다. 그리고 주변으로 4cm 거리를 두고 양옆 그리고 아래에 크기(6cm × 6cm × 1cm)의 박스와 다른 받침대가 생긴다.

실험방법은 (1)초기에 제공되는 박스와 받침대의 위치이다. 박스의 크기는 (3cm × 3cm × 3cm)이고 좌우 받침대와의 거리는 3.3cm, 정면의 받침대와의 거리는 5cm이다. 3초의 카운트가 지나면 (2)번처럼 나머지 2 받침대는

사라진다. 이때 빠르게 물체를 집어서 남겨진 받침대에 (3)번처럼 올려놓으면 된다. 3초안에 해결하지 못한 경우도 3초까지만 기록하였다. 3초 동안 박스를 잡는 힘(Grab force)의 변화를 측정하게 된다. 실험은 총 9회 실행되고 각각의 받침대에 3번씩 랜덤하게 올려놓게 된다. 연속으로 같은 받침대에 옮기진 않도록 하였다. 사용되는 박스의 색깔도 매번 할때마다 바뀌는데 각각 빨강(300g) 파랑(200g) 초록(100g)으로 사전실험에 사용되었던 박스의 무게를 반대로 적용하였다. 처음 시작은 항상 파란색 박스로 시작하였다.

이 실험의 예상결과는 무거웠던 물체(초록)와 가벼웠던 물체(빨강)물체일 때 작용하는 힘의 차이가 많이 나타날 것이다. 가벼웠던 물체를 움직일 때는 적은 힘을 가하면서 시작하였다가 시간이 여유롭지 않기 때문에 급격하게 힘을 증가하는 경향을 띠 것으로 예상된다. 반대로 무거웠던 물체에선 초기에 과도한 힘을 주었다가 점차 힘을 적게 주는 방향으로 바뀔 것이다.

2.6 데이터 저장

PHANTOM omni에서는 최소 30~100Hz로 렌더링이 가능하다. CHAI3D에서는 40Hz(25ms)로 렌더링을 한다. 사람이 근육에 명령을 주었을 때 반응하는 시간이 약 200ms이기 때문에 실험 1과 2에서 같은 위치에 바를 유지하기 위해서는 물체의 무게를 미리 예측하여서 떨어지기전에 미리 힘을 준비하여야 한다.[6] 본연구의 실험 1,2에서는 손의 움직임과 가해지는 힘을, 실험 3에서는 물체를 잡는 힘을 계측하였고, 계측 주기는 데이터 손실을 고려해 20Hz로 진행하였다.

3. 결 과

Fig. 5는 Phantom Omni의 끝 점이 움직인 거리를 그래프로 표현한 그림이다. 최초의 손의 위치를 0으로 설정하고 시간에 따라 움직인 거리를 저장하였다.

본 논문에서는 움직인 거리를 통하여 2가지 페러미터를 설정하였다

- 1) Y_p : 물체에 힘이 가해지고 난 후 200ms 동안 손의 높이의 최대 값과 최소 값의 차이
- 2) Y_a : 물체에 힘이 가해지고 난 후 200ms 동안 손이 움직인 거리

Fig. 5에서 검은색 실선이 200ms 지점을 나타내며 범

위 내의의 원점에서 낙하 직전까지 움직인 크기를 Y_p 로 나타낸다. 물체에 접촉하고 난 후에 물체의 이동한 거리 (Y_a)는 원점에서부터 벗어난 거리로 하였다. 가해지는 무게의 크기가 크다고 인식하게 되면 더욱 더 많은 거리 차이가 생겼고 실험을 반복할수록 Y_p 값과 Y_a 은 줄어들었다.

Fig. 6에서는 원점에서 신호가 떨어지고 각각의 축가해진 힘의 크기를 나타낸다. 물체의 무게에 대한 예측에 따라서 물체를 쥐는 힘(F_g)과 물체를 이동할 때 가하는 힘의 크기(F_m)로 나타낸다. F_g 의 경우 물체의 무게에 대한 예측에 따라서 수치 변화가 나타났고, F_m 은 무게에 대한 예측과 실제 무게의 차이가 클수록 더 많은 차이가 나타났다.

- 3) F_g : 물체에 힘이 가해지고 난 후 측정된 물체를 쥐는 힘의 최대값

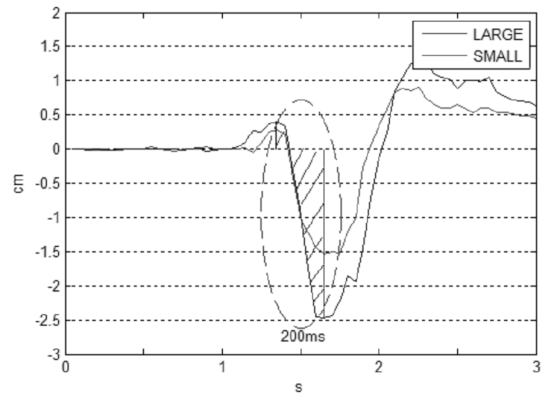


Fig. 5. Experiment 1 single result graph

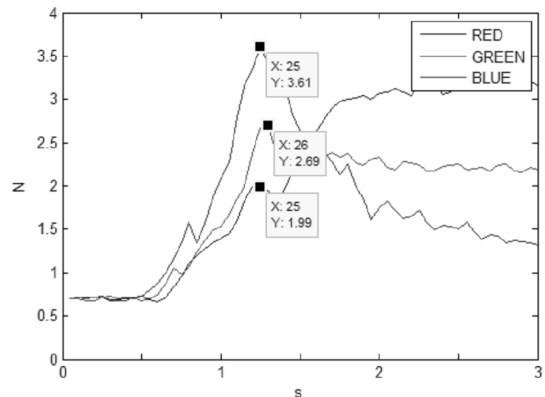


Fig. 6. Experiment 2 F_g graph

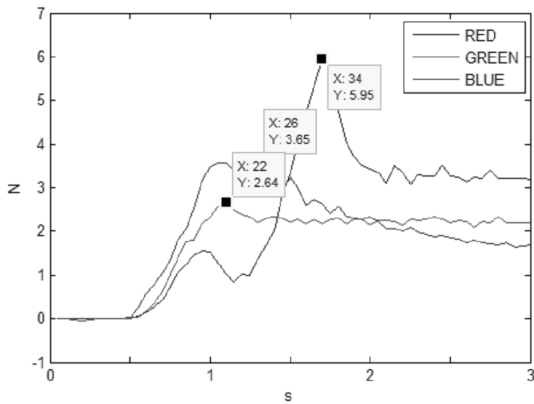


Fig. 7. Experiment 2 F_m graph

Fig. 7 물체를 이동할 때 가한 힘의 크기를 나타낸 그래프. 측정된 최대값의 크기를 페러미터로 사용하였다.

4) F_m: 물체를 이동할 때 가하는 힘의 최대값

분석에서는 각각의 Y_p, Y_a, F_g, F_m의 4부분으로 나누고, 수행 횟수에 따라서 1~3회의 전기, 4~6회의 중기, 7~9회의 말기로 나누어서 분석하였다.

4. 결과 분석

4.1 결과 1: Y_p 분석(크기)

실험의 결과 초기에 작은 물체와 상호작용할 때(평균 3.05cm) 큰 물체 때(평균 2.36cm)보다 Y_p 값의 차이(0.69cm)가 컸다. 실험이 진행될수록 Y_p 값의 차이는 초기: 0.69cm, 중기: 0.38cm, 말기: 0.15cm로 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. Y_p 평균값의 변화는 Fig. 8에 나와 있다.

초기의 실험자들은 작은 물체에서 Y_p값(3.05cm)이 큰 물체의 Y_p값(2.36cm)보다 크게 나타났다. 그래프의 형태 역시 작은 물체에서 좀더 변화폭이 크게 나타났고, 큰 물체에서는 원만한 변화량이 나타나면서 물체의 무게를 정확하게 예측하지 못한 것을 확인할 수 있었다.

중기가 되면서 큰 물체는 1.93cm로 0.38cm정도로 변화량이 적은대 비해 작은 물체의 Y_p값은 2.31cm로 0.74cm정도로 크게 값이 변화하였다. 그래프의 형태 역시 초기의 큰 변화량에서 원만하게 변한 것을 확인할 수 있었다.

말기에서는 두 물체의 Y_p값이 각각(작은물체: 1.91cm, 큰물체: 1.76cm)로 거의 차이가 없을 뿐만 아니라 그래프

Table 1. Experiment 1 Y_p result table

	Small(cm)			Large(cm)		
	1~3	4~6	7~9	1~3	4~6	7~9
1	4.56	3.26	2.13	3.36	2.89	2.64
2	3.27	1.86	1.54	2.54	1.86	1.64
3	3.20	2.87	2.16	2.87	2.31	2.21
4	2.83	2.12	1.87	2.12	1.84	1.76
5	3.05	2.41	2.12	2.53	2.14	1.92
6	2.36	1.94	1.85	1.42	1.13	0.98
7	3.24	2.13	1.68	2.14	2.01	1.94
8	2.12	1.72	1.57	2.01	1.21	0.98
9	2.56	2.09	1.84	1.95	1.77	1.68
10	3.37	2.76	2.43	2.69	2.16	1.85
Avg	3.05	2.31	1.91	2.36	1.93	1.76

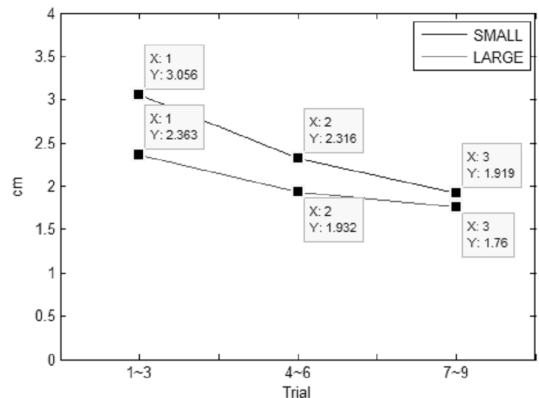


Fig. 8. Experiment 1 Y_p average graph

의 형태 역시 거의 동일하게 나타났다.

실험자들의 응답에서도 작은 물체가 무겁다는 대답이 6명, 큰물체가 무겁다는 대답이 3명, 두 무게가 유사한 것 같다는 대답이 1명으로 조사되었다. 이는 실험자가 인식한 것 보다 물체의 무게가 차이가 낮기 때문이므로 값의 변화와 동일한 결과가 나타났다.

4.2 결과 1: Y_a 분석(크기)

실험의 결과 초기에 작은 물체와 상호작용할 때(평균 -8.82cm) 큰 물체 때(평균 -6.48cm)보다 Y_p 값의 차이(1.28cm)가 작았다. 중기에서는 Y_p값의 차이가 -3.48cm로 작은 물체보다 큰 물체에서 더 많이 움직였다. 말기에는 차이가 0.3cm로 유사한 값으로 수렴하는 것을

Table 2. Experiment 1 Y_a result table

	Small(cm)			Large(cm)		
	1~3	4~6	7~9	1~3	4~6	7~9
1	-10.21	-5.31	-8.24	-8.06	-9.34	-8.34
2	-6.83	-4.21	-5.21	-5.52	-6.57	-5.39
3	-9.57	-3.59	-6.57	-6.57	-6.97	-6.15
4	-8.57	-3.67	-7.03	-6.34	-7.56	-6.59
5	-8.69	-4.42	-7.29	-5.97	-7.39	-7.19
6	-7.34	-4.59	-6.84	-6.52	-7.95	-5.97
7	-9.54	-5.13	-6.53	-7.29	-8.34	-6.53
8	-9.21	-3.86	-7.58	-6.59	-8.51	-7.29
9	-8.85	-4.28	-8.13	-5.97	-7.68	-6.03
10	-9.43	-4.71	-6.34	-6.09	-8.53	-6.95
Avg	-8.82	-4.39	-6.94	-6.48	-7.87	-6.64

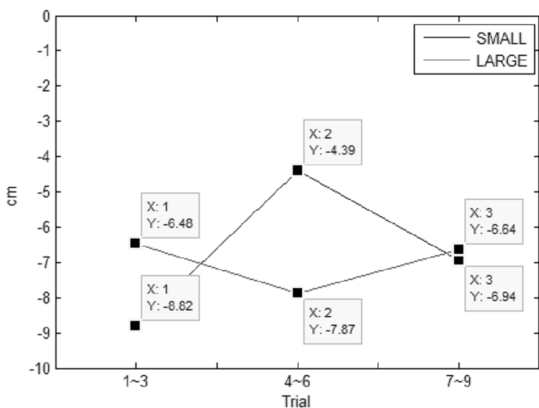


Fig. 9. Experiment 1 Y_a average graph

확인하였다.

실험 초기에 작은 물체의 Y_a값(-8.82cm)이 큰 물체(-6.48cm)보다 크게 나타났다. 물체의 접촉 이전에는 Y값의 크기가 적었지만 접촉 이후에 급격히 Y값이 커지면서 누적된 Y_a값이 작은 물체에서 크게 증가하였다. 반면에 큰 물체에서는 Y값이 급격하게 변하지 않고 물체와 접촉 시에만 약간 증가하였을 뿐 거의 큰 차이를 보이는 구간은 없었다. Y_a 평균값의 변화는 Fig. 9에 나와 있다.

증기에 오면서 크기가 작은 물체에서의 Y_a 값은 -4.39cm인데 비해 크기가 큰 물체는 -7.87cm로 나타났다. 작은 물체를 받을 때에 Y값의 변화는 초기의 큰 변화량에서 거의 변화량이 보이지 않는 형태로 변화하였다. 물체가 떨어지기 전에 준비하는 힘의 크기가 컸기 때문이고

반대로 큰 물체는 상대적으로 가볍다고 인지했기 때문에 오히려 Y값의 변화량이 커지게 되었다.

말기에서는 두 물체(작은 물체: -6.94cm, 큰 물체: -6.64cm)로 두 물체간의 Y_a값 차이가 0.3cm밖에 나지 않았고, 그래프 역시 크기만 약간 차이가 있을 뿐 그래프의 형태는 거의 동일하게 측정되었다.

4.3 결과 3: F_g 분석

사전 실험으로 각각의 박스의 무게를 파악한 실험자들에게 실험 방법을 설명하고 난 후 바로 실험2를 수행하였다. 실험 결과는 각각의 박스의 색에 따라서 측정된 F_g의 크기를 초기, 중기, 말기로 나누어서 분석하였다.

초기에 피 실험자들이 붉은색 박스(100g -> 300g)를 조작할 때 200ms 동안의 F_g의 값은 1.65N으로 물체의 무게 값(약 3N)에 못미치는 힘을 주었다. 물체와 접촉 이후에 점차 F_g의 값이 증가하여서 물체와 접촉전(약 1.12N)보다 다소 상승한 값으로 측정되었다. 푸른색 박스(200g -> 200g)에서는 물체와의 접촉 전후로 크게 변화의 모습을 보이지 않았다. 마지막으로 초록색 박스(300g -> 100g)에서는 물체와 접촉직전까지 가파르게 F_g값이 증가하다가 접촉 이후에 급격히 F_g 값이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

중기에서 붉은색 박스는 역시 점차 F_g 값이 증가하여서 200ms에 2.48N의 값을 나타내었다. 초기보다 F_g의 시작점은 커지고 경사도는 감소한 형태를 띄었다. 푸른색 박스는 초기와 변화없는 그래프 형태를 나타냈다. 평균값은 초기에 비해 상승했지만 증가속도는 초기에 비해 감소한 형태로 나타났다. 초록색 박스에서는 실험이 반복될수록 초기값이 점차 줄어드는 형태를 보여줬다.

말기에서 붉은색 박스는 초기값의 상승에 의해 거의 초기의 초록색 박스와 유사한 그래프 형태를 띄었다. 푸른색 박스는 여전히 변화없는 그래프 형태를 나타냈다. 초록색 박스의 값은 처음보다 많이 감소했지만 2N이하로 내려가고부터 감소폭이 줄어들었다.

사전실험과 무게가 달라진 붉은색, 초록색 박스에서 기존 무게를 기준으로 F_g를 예상하고 있던 실험자들은

Table 3. Experiment 1 Y_a average graph

	1~3	4~6	7~9
Red	1.65N	2.48N	2.97N
Blue	2.10N	2.31N	2.08N
Green	3.14N	2.20N	1.76N

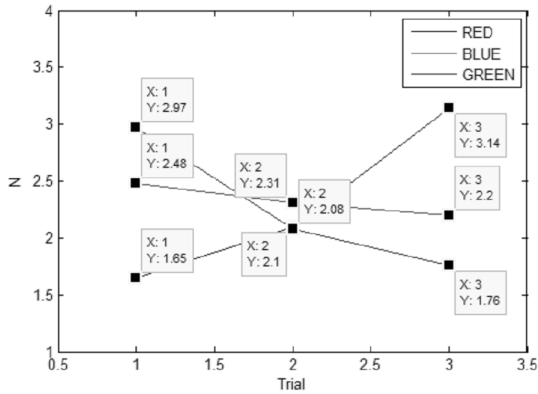


Fig. 10. Experiment 2 F_g average graphs

물체와 접촉한 이후 200ms동안 인식하고 있던 무게와 실제 무게의 차이를 줄이기 위해 빠르게 힘을 가감하는 모습을 보였다. 실험횟수가 증가함에 따라 점차 무게 인식이 변하였지만 전회의 실험의 결과에서 조금씩 영향력이 커지는 것으로 나타났다. F_g 평균값의 변화는 Fig. 10에 나와 있다.

4.4 결과 3: F_m 분석

F_g값을 계속하면서 동시에 물체에 가해진 최대 힘의 크기인 F_m을 측정하였다. F_g와는 다르게 F_m은 200ms 동안이 아니라 측정시간(3초)동안 최대로 가해진 힘의 크기를 계속하였다. 실험 결과는 각각의 박스의 색에 따라서 측정된 F_m의 크기를 초기, 중기, 말기로 나누어서 분석하였다.

초기에서 붉은색 박스는 5.03N의 큰 힘이 계속되었다. 물체와 접촉하고 나서 처음 예상했던 무게 1N에서 크게 차이나지 않는 약 1.54N정도의 힘을 가하고 있다가 무게를 경험한 이후에 급격하게 증가하여 5.03N까지 상승하였다. 이 과정에서 잠시동안 가하는 힘의 크기가 줄어드는 구간이 있었는데, 이 시간동안 무게를 인지하여 뇌를 거쳐서 손으로 다시 돌아오기까지 걸린 시간(약 200ms)을 확인할 수 있었다. 푸른색 박스에서는 F_g의 크기 때처럼 평균적으로 2N에서 약간 더 많은 힘을 가하는 모습을 보였다.

Table 4. Experiment 2 F_m mean value

	1~3	4~6	7~9
Red	5.03N	4.53N	3.40N
Blue	3.13N	2.48N	2.22N
Green	3.79N	2.27N	1.36N

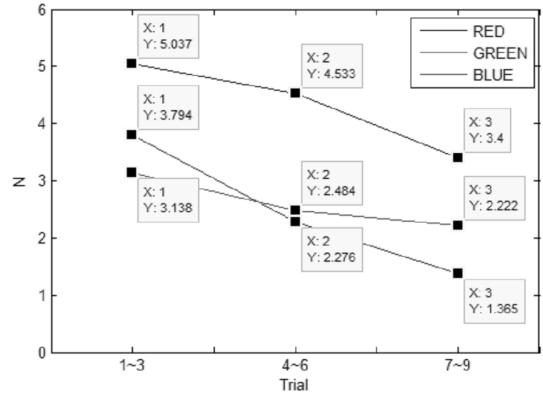


Fig. 11. Experiment 2 F_m average graph

을 보였다. 다만 물체와 접하고 나서 일정시간동안 3.13N 정도 가하여 물체의 움직임을 최소화 하려는 힘의 움직임을 보였다. 초록색 박스에서는 역시 접촉과 동시에 크게 힘이 최고치(3.79N)까지 올라갔다가 200ms이후 급격하게 떨어지는 모습을 보였다.

중기에서 붉은색 박스는 4.53N으로 초기의 F_m값보다 떨어진 모습을 보였다. 그래프의 형태도 초기의 급격한 형태로 2번 증가하는 모습에서 초기의 초록색 박스처럼 처음에 큰 힘을 가했다가 점차 줄어드는 모습으로 그래프의 형태가 변화하였다. 푸른색 박스는 3.13N에서 2.48N으로 더 적은 힘으로 물체를 움직일 수 있게 적응하는 모습을 보였다. 초록색 박스역시 초기보다 가장 큰 감소폭(3.79N -> 2.27N) 1.52N을 기록하며 빠르게 물체의 무게에 적응하는 모습을 보였다.

말기에는 모든 박스에서 그래프의 형태는 유사하지만 그 크기만 다른 형태의 결과가 나왔다. 각각 붉은색 3.40N, 푸른색 2.22N 초록색 1.36N으로 물체를 움직이는데 필요한 힘을 적절히 주어서 주어진 과제를 수행하였다. F_m 평균값의 변화는 Fig. 11에 나와 있다.

5. 결론

본 실험들을 통해 시각적인 정보(물체의 크기, 색깔)와 과거의 경험 등의 요소를 통하여 가상환경에서 사람이 물체의 무게를 어떻게 인식하는지를 파악하였다.

첫 번째 실험을 통해 물체의 크기의 경우 피실험자가 움직인 폭(Y_p)과 움직인 거리(Y_a)를 통하여 분석하였다. 무게 예측보다 무게를 경우(작은 박스)일때는 물체의 무게를 경험한 이후 물체의 무게에 맞게 대비를 하여서

변동폭을 최소한으로 줄일 뿐만 아니라 실험 기간동안 움직임도 최소화 하려는 경향을 보였다. 이후 물체의 무게에 대한 경험이 축적되면서 부터는 최대한 효율적으로 물체와 대응하기 위하여 힘을 조절하는 모습을 나타내어 물체의 시각적인 정보보다 경험을 더 중요한 판단 기준으로 삼는다는 것을 확인하였다.

두 번째 실험을 통하여서는 물체의 색깔에 대한 거짓 정보(연습때와는 반대되는 무게를 제공)를 주었을 때 물체에 대한 반응을 물체를 쥐는힘 F_g 와 이동할 때 가해지는 힘 F_m 을 통하여 분석하였다. 과거 경험보다 가벼운 물체일 경우 F_g 의 크기는 예상했던 물체의 무게만큼 준비하는 모습을 보였다. 이후 물체에 대한 경험이 쌓이면서 점점 원래 무게에 유사하게 힘을 가하게 되었다. 반면 F_m 값은 초기에 물체의 무게보다 더 크게 나타났고, 적응할 때 까지 F_m 의 값이 상대적으로 높게 형성되는 모습을 보였다. 이는 첫 번째 실험 결과와 마찬가지로 물체를 조작하기 위해 물체보다 더 많은 힘을 주고 최대한 그 차이를 좁혀나가는 형태로 가상의 물체와 상호작용 한다는 사실을 확인하였다.

물체의 무게가 기존에 알고 있던 경험과 다를 경우 체의 물체의 크기에 비해 무게를 예측하는 정도와 물체의 색깔에 따라서 무게를 예측하는 정도 물체의 과거 경험에서 물체의 무게를 예측하는 정도 각각의 차이는 과거 경험이 물체의 시각적인 정보보다 많은 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만 경험이 없는 환경의 경우 시각적인 정보가 가상환경에서 물체와의 상호작용에 크게 영향을 주는 요소이며, 정밀한 조작이 필요한 환경(로봇 수술)의 경우 실제 물체의 물성치와 시각 데이터를 기반으로 유사한

환경을 조성해야 하며, 만약 그러한 환경 조성이 어려울 시에는 충분한 사전시험을 통하여 가상환경이 가진 특성을 경험할 수 있게 준비해야 한다.

참 고 문 헌

1. Friedman J, Flash T (2007) “Task-dependent selection of grasp kinematics and stiffness in human object manipulation”, *Cortex*, 2007 - Citeseer, pp. 444-460.
2. Jeremy N.Bailenson, Nick Yee (2008) “The Unbearable Likeness of Bing Digital: The Persistence of Nonverbal Social Norms in online virtual environments”, *CYBERPSYCHOLOGY & BEHAVIOR*, Volume 10, pp. 115-121.
3. K.Rabe, B.Brandauer, Y.Li, E.R.Gizewski, D.Timmann, and J.Hermsdorfer (2008) “Size-weight illusion, Anticipation, and Adaption of Fingertip Forces in Patients With Cerebellar Degeneration”, *The American Physiological Society*, pp. 569-579.
4. Jamie R.Lukos, Caterina Ansuini, and Marco Santello (2008) “Anticipatory Control of Grasping: Independence of Sensorimotor Memories for Kinematics and Kinetics”, *The Journal of Neuroscience*, pp. 12765-12774.
5. Dan Moris, Hong Tan, Federico Barbagli, Timothy Chang, and Kenneth Salisbury “Haptic Feedback enhances force skill learning”, *WHC'07*, pp. 21-26.
6. Kim J, Kim H, Tay B, Manivannan M, Srinivasan M, Jordan J, Mortensen J, Oliviera M, Slater M (2004) “Transatlantic touch: a study of haptic collaboration over long distance”, *MIT Press Journals*, Vol. 13, No. 3, pp. 328-337.



이 재 훈 (jaehoon.lee@lignex1.com)

2009 한동대학교 기계제어공학부 학사
2011 한동대학교 기계제어공학부 석사
2011~현재 LIG넥스원 재직

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 전자 제어, 영상처리



황 호 성 (hosung.hwang@lignex1.com)

1983 경북대학교 전자공학과 학사
1985~현재 LIG 넥스원 재직

관심분야 : 유도무기, 전자 제어



윤 원 식 (wsyoon@ajou.ac.kr)

1986 한국과학기술원 석사
1991 한국과학기술원 박사
1994 LG 이노텍
1994~현재 아주대학교 전자공학부 교수

관심분야 : 유비쿼터스 시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅, 유비쿼터스 네트워크, 스마트홈, 센서 네트워크