

Haptic 인터페이스 현황

최 한 호

대우전자 전략기술 제1연구소

I. 서 론

가상현실이란 인간의 오감에 신호를 전달하여 실제하지 않는 환경이나 먼 거리에 있는 환경을 현재 그 환경에 실재한다는 착각을 일으켜 상호작용을 가능하게 하는 기술이다. 따라서 가상현실 시스템에서는 사용자에게 자연스럽게 편리한 상호작용을 허락하는 것이 현실감을 극대화하는데 매우 중요한 요소가 되고 이는 사용자의 행위전달이 자유로워야 하며 가상세계에 실재하고 있는 착각을 일으키게 할 되먹임과 적절한 감각 생성이 제공되어야 함을 의미한다. 가상현실 시스템에서 감각 생성을 위해 고안된 인터페이스 장치들은 시각 표시 장치, 위치 추적용 장치, 장갑형 입력장치, haptic (촉감이나 힘 되먹임이 가능한) 인터페이스 장치, 음향 인터페이스 장치, 움직임 인터페이스 장치, 후각용 인터페이스 장치 등으로 구별할 수 있다.

현재상황에서는 시각용, 위치 추적용, 장갑형 등의 사용자 인터페이스 장치가 실용적인 가상환경 응용에 적절하고 잠재적인 사용자들이 적절한 상용 제품을 쓰임에 맞게 선택할 수 있다. 그리고 음향이나 haptic 인터페이스 장치는 현재 연구개발 응용에 제한적으로 적용되고 있으나 haptic 인터페이스 장치의 광범위한 사용이 음향 장치의 사용보다 뒤쳐지겠지만 음향이나 haptic 인터페이스 장치들은 그러한 장치들이 요구되는 실제 응용에 적용되리라 조만간 예견된다. 전체 몸의 움직임을 모사하기 위한 움직임 인터페이스 장치들의 연구개발 현황을 살펴보면, 수동적으로 전정감각의 모사를 제공해주는 놀이 동산에서 손쉽게 볼 수 있는 것

들이 많이 나와 있고 또한 오락 시장을 겨냥하여 새로운 종류의 수동적인 움직임을 제공하는 장치들의 개발에 초점이 맞춰져 많은 연구가 수행되고 있다. 그러나 인간의 일반적인 다양한 움직임을 지원해주는 인터페이스 장치들은 현재 여러 가지 접근 방법을 통해 연구되고 있지만 향후 3-5년 안에 실제 쓰임에 적절한 것이 개발되지는 못할 것이다. 후각용 인터페이스 장치의 연구 개발은 앞서 언급한 다른 인터페이스 장치들과 비교할 때 가장 뒤쳐진 분야로 향후 3-5년 안에 실제 쓰임에 적절한 것이 개발되지는 못 할 것이다. 그리고 모든 현재의 가상현실용 인터페이스 기술은 가장 많이 쓰이고 연구개발이 성숙기에 접어든 시각용, 위치 추적용, 장갑형 등의 사용자 인터페이스 장치조차도 제약점을 갖고 있어 어떠한 인터페이스 기술도 인간의 감각을 뒤따르지 못한다.

시각용, 위치 추적용, 장갑형 등의 사용자 인터페이스 장치 등은 응용사례들과 함께 많은 책자 [1-6]를 통해 소개되어 있으므로 본고에서는 본 저자가 연구 개발하면서 얻은 정보들과 [10]을 비롯한 여러 자료 등을 통해 얻은 지식을 토대로 가상현실 시스템에서 haptic 감각 정보를 생성해주기 위한 장치들의 연구 개발 현황을 살펴 haptic 감각 정보 생성이 필요로 하는 가상현실 응용 시스템을 연구 개발하거나, 로봇틱스, 제어 시스템 공학 또는 감성 공학 관련 분야에 흥미를 갖고 있는 연구자들에게 도움이 될 수 있도록 하겠다.

II. 본 문

Haptic이라는 단어는 그리스어로 만지다를 의미하는 말에서 유래한 것으로서 haptic감각이란 손을 사용하여 느끼는 모든 지각을 의미한다^[7]. 인간의 haptic 감각 정보는 크게 촉감정보와 운동감각 정보로 나눌 수 있는데 보통 동시에 감지되며 인간이 어떤 물체를 손으로 쥐거나 만질 때 피부를 통해 느껴지는 질감이나 표면 모양 등의 정보가 촉감정보이고 팔이나 손의 움직임과 이에 느껴지는 힘과 물건의 무게 등의 정보가 운동감각정보이다.

인간의 haptic 시스템은 인간과 주위환경간의 상호작용을 쉽고 정밀하게 할 수 있도록 해주는 것으로 우리가 일상적으로 하는 세수하고 이빨 닦고 신을 신고 문을 잠그고 글을 쓰고 운전하는 등 haptic감각이 없으면 불가능한 작업들이 매우 많다. 이와 같이 haptic 시스템은 인간이 가상현실 속에서 상호 작용하는데 매우 중요한 역할을 수행하는데 시각이나 청각 시스템과 달리 haptic 감각은 환경을 감지하고 환경에 영향을 미칠 수 있다 또한 인간 활동에 있어 빼놓을 수 없는 매우 중요한 감각이다. 인간 haptic 시스템으로 들어가는 입력은 haptic 감각 표시장치를 통해 제공되고 haptic 시스템에서 나오는 출력은 주요 변수가 힘과 위치에 따라 주어지는 동작 명령의 형태를 띠게 된다. 효과적이며 성공적인 응용에 절실하게 요구되는 현실감을 제공하기 위해 가상현실 시스템은 인간의 haptic 시스템에 적절한 감각 입력을 제공하고 결과를 나타내주어야 한다.

다음의 절들에서 우리는 촉감(tactile) 인터페이스 장치와 힘 되먹임(force feedback) 장치의 연구 개발현황들을 살펴보겠다.

1. 촉감 인터페이스 장치

촉감은 물체의 판별과 조작에 매우 중요한 역할을 하는데 많은 경우 작업 성능에 매우 중요한 요소가 된다. 예를 들면 복강경 수술시 복강경을 통한 시각적인 되먹임만을 쓰는 것은 불충분하고 직

접 손을 집어넣어 시각적인 되먹임과 함께 종양조직을 손으로 찾는 것이 매우 효율적이라고 한다. 특히 Howe는 정교한 작업을 위해 최적의 힘을 사용하여 힘 되먹임을 할 때 촉감의 되먹임이 매우 커다란 도움이 됨을 보였다^[8].

촉감 인터페이스 장치는 다음 절에 소개될 힘 되먹임 인터페이스 장치와 마찬가지로 기존의 원격작업이나 장애인들을 위해 개발된 장치를 시초로 하여 개발되어 왔는데 현재도 활발하게 세계 유수의 연구소에서 연구 개발되고 있다. 미국의 Armstrong Lab.에서는 원격작업이나 가상현실 응용을 위해 형상기억합금으로 만든 촉감 소자들의 배열을 사용하여 촉감 인식 특성을 연구하였고 PHANToM이라는 상용 힘 되먹임 장치에 촉감을 일으키는 장치와 결합시킨 가상현실용 장치를 연구개발하고 있다. 미국 Harvard Univ.의 응용과학부에서는 원격작업에서의 정교한 조작을 위한 촉감 감지 및 표시 장치를 개발하고 있으며, 원격작업을 수행할 때 작업대상에 대한 형상 정보의 역할에 대한 연구와 촉감 인터페이스를 이용한 형상 정보 취득 방법 개발을 수행하고 있다. 일본의 홋카이도 대학에서는 인간 손에 여러 감각을 되먹임 시키기 위한 시스템을 개발하고 있는데 특히 온도나 압력 등의 촉감 정보를 표시하기 위한 장치의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 영국의 Hull Univ.의 전기공학과에서는 전기장을 가하면 순간적으로 액체상태에서 의사고체상태로 상변화를 일으키는 전기유동학적인 유체를 사용하여 촉감을 표시하기 위한 장치를 연구하고 있다. 미국의 MIT 기계공학과 Touch Lab.에서는 인간의 환경에 대한 조작과 인식 행위 방법을 연구하고 이를 토대로 가상현실 시스템이나 원격존재를 위한 인간과 기계 인터페이스 장치, 로보틱스, 장애자의 치료 등에 이용하려고 시도하고 있다. 독일 Karlsruhe 연구 센터의 공학기술부에서는 내시경용 집게와 함께 사용하기 위한 촉감 되먹임 시스템을 연구 개발하고 있다. 미국의 Sandia National Lab.에서는 고밀도로 배열되어 해상도가 높은 촉감 표시 장치를 개발해 왔고 개발된 촉감 표시 장치를 사용해 가상 물체의 질감이나 표면에 대한 다양한

정보를 제공해주기 위한 알고리즘을 개발하고 있다. 영국의 Univ. Salford의 전기공학과에서는 접촉압력과 재질 온도 등의 되먹임이 가능한 장갑형의 촉감 인터페이스장치가 개발되고 있다.

현재 가상 물건을 쥐었을 때 접촉 힘을 느끼게 하거나 온도 되먹임을 제공하는 촉감 인터페이스 장치들이 상용 제품으로 나와있는 상태인데 표 1.은 현재 구매 가능한 상용 제품들을 정리한 것이다. 인간이 힘을 감지할 수 있는 최소 대역폭은 20-30 Hz라고 하는데 대부분의 장치들은 이를 만족시킨다. 이론적으로 핀 배열을 통한 감각 표시장치는 인간이 서로 다른 점이라고 느낄 수 있는 공간 해상도의 한계치에 가깝도록 크기가 1 mm인 핀들을 1.5-3 mm정도의 간격으로 배열시키는 것이 가능하기 때문에 다양한 감각을 모사할 수 있는 매우 좋은 수단이지만 현재 기술로는 최대 5-6 개 정도의 핀들만으로 배열을 구성할 수밖에 없기 때문에 핀 배열을 통한 감각 표시장치들은 단순한 감각들을 모사하기에도 부적절한 상태이다. 현재 연구실에서 개발된 프로토타입이나 상용 제품을 막론하고 한가지 감각을 모사하기 위한 것들이 대부분이다. 그리고 보통 손가락 끝 부분처럼 매우 작은 영역에서만 감각 모사를 일으킬 수 있을 뿐이고 넓은 영역에 걸쳐 감각 모사를 일으켜줄 수 있도록 확장시키기 매우 어렵다. HMD등에 비할 때는 촉감 인터페이스 장치가 작지만 손가락의 움

직임을 부자유스럽게 하고 방해하는 경우가 종종 있는 등 해결해야할 문제점들이 많다. 그리고 현재 촉감 인터페이스 장치들은 구동기로 솔레노이드, 피에조일렉트릭 결정 소자, 형상기억 합금, 보이스 코일, 공압기, 열펌프 시스템 등을 사용하여 미끄러짐, 재질감, 떨림, 접촉힘, 온도와 관련된 감각을 제공하기 위해 연구되고 있다. 솔레노이드를 사용하는 경우 정상상태에서 큰 힘을 얻을 수 있고 다른 구동기보다는 상대적으로 좋은 대역폭을 얻을 수 있으나 상대적으로 무겁고 비선형적인 특성으로 제어하기가 쉽지 않다. 피에조일렉트릭 결정 소자는 공간적으로 매우 좋은 해상도를 낼 수 있도록 장치를 꾸밀 수 있으나 공진주파수에 따라 성능이 제한을 받는 단점이 있다. 형상기억 합금을 스프링형태로 말아 구동기로 사용하는 경우 무게에 비해 낼 수 있는 힘이 크다는 장점이 있으나 수축할 때 효율이 매우 떨어지는 단점이 있다. 보이스 코일은 시간에 따라 변하는 다양한 재질감의 표현에 탁월하고 상대적으로 작아서 손의 움직임에 방해하지 않도록 장치를 만들 수 있으나 공간적인 해상도가 떨어지고 넓은 영역에 걸친 촉감 모사가 가능한 장치를 만들기 힘들다는 단점이 있다. 공압을 사용하는 경우 가볍게 만들 수 있으나 시간적 공간적 해상도가 떨어지고 대역폭에 제한을 받는다. 열펌프는 피부에 열에너지를 전달하도록 꾸며 유체의 사용 없이 온도 되먹임 장치를 만

<표 1> 상용 촉감 인터페이스 장치의 특성

제품명	제작사	표시장치 장착부위	촉감표시방식	가격
CyberTouch	Virtual Technologies, Inc	손끝, 손바닥	진동에 의해 접촉힘을 느끼게 함	\$ 14,800
TouchMaster	EXOS, Inc.	손끝	보이스 코일의 진동에 의해 접촉힘을 느끼게 함	\$ 4,000*
Tactool System	Xtensory, Inc.	손끝	형상기억합금으로 만든 여러 핀 배열의 진동으로 접촉힘을 느끼게 함	\$ 1,500
Displaced Temperature Sensing System	CM Research, Inc.	손끝	열전자 기열 펌프로 온도를 변화시켜 온도를 느끼게 함	\$ 10,000

* 93년 현재

들 수 있지만 시간적 공간적인 해상도가 떨어지고 장치가 매우 커지며 대역폭에 제한을 받는 등의 단점을 갖는다.

결론적으로 기존에 연구 개발된 촉감 인터페이스 장치들은 크게 다음과 같이 1) 질감이나 모양 등 가상 물건 표면의 특성 표현 능력에서의 제한; 2) 촉감 표현 장치들의 저급한 성능; 3) 매우 적은 영역에 제한된 촉감 되먹임; 4) 촉감 신호의 효율적인 발생을 위한 모델과 알고리즘의 결여 등 4가지 단점들을 가지고 있다. 앞서 설명한 여러 연구소에서 활발한 연구와 많은 진전이 이루어져 프로토타입을 사용한 응용 예가 조만간 여러 가지 선보이리라 예견되지만 촉감 인터페이스장치가 2-3년 안에 널리 보급되어 가상현실 시스템 구현에 쓰이지는 못할 것이다.

2. 힘 되먹임 인터페이스 장치

앞서 설명했듯이 주위 환경과 인간의 상호작용의 대다수가 대상 물체를 조작하는 것이기 때문에 가상현실 시스템에서도 이를 지원해줄 필요가 있다. 가상현실 시스템에서 대상 물체의 조작은 물론 음성, 키보드 또는 마우스 등을 사용해서 이루어질 수도 있으나 자연스러운 물체의 조작은 앞절에서 소개한 촉감 인터페이스 장치와 대상 물체의 무게나 단단한 정도 등등의 조작 대상 물체의 성질을 모사할 수 있는 힘 되먹임 인터페이스 장치의 도움을 필요로 한다. 물체의 조작에 있어서 힘 되먹임의 중요성은 Howe[8]등과 같은 사람들에 의해 많이 지적되었고 Ouh-Young등[9]은 분자 결합을 위한 가상현실 시스템에서 시각 표시장치만을 사용한 것보다 힘 되먹임을 곁들일 경우 훨씬 좋은 성능을 얻을 수 있음을 보이고 또한 시각 표시장치나 힘 되먹임만이 가능한 경우에도 힘 되먹임을 사용하는 것이 시각 표시장치를 사용하는 것보다 더 좋은 성능을 얻을 수 있음을 보였다.

현재 연구 개발되거나 예정인 힘 되먹임 장치들은 전자기 모터, 공압기, 수압기, 피에조일렉트릭 모터, 형상기억합금, 자기장을 걸었을 때 형상이 변하는 물질을 이용한 모터 등 다양한 구동기들을 사용하여 꾸며졌다.

현재 가장 많이 쓰이는 힘 되먹임 장치들은 다음과 같이 크게 5가지로 나눌 수 있다. 1) 어깨, 팔, 손등에 착용하는 외골격형 장치; 2) 손에 쥘 수 있는 손잡이, 조이스틱 또는 펜형의 물건을 통해 힘 되먹임을 하는 틀형 인터페이스 장치; 3) 사용자의 손가락 끝에 힘 되먹임을 하는 골무형 장치; 4) 로봇으로 실제 물건을 사용하여 사용자에게 자연스러운 힘을 가할 수 있도록 고안된 로봇틱 그래픽스 시스템; 5) 뒤에 소개되는 미국 Rutgers Univ. 에서 개발한 RM-II와 같은 기타 앞의 4가지 부류에 들지 않는 장치. 일반적으로 외골격형 장치들은 자체적인 구조상의 제약으로 움직임에 제약을 가하고 상호작용의 형태가 제한 받는다. 또한 틀형이나 골무형의 인터페이스 장치는 대부분이 탁상에 놓고 사용하도록 되어있어 사용자의 움직임을 몇 센티미터에서 40센티미터 정도까지로 제한한다. 그리고 대부분 서보 모터로 구동되는 기계적인 장치이기 때문에 마찰력과 안정도 등에 문제를 갖고 있다. 로봇틱 그래픽스 시스템은 사용자의 움직임을 방해하지 않고 상대적으로 넓은 영역의 움직임을 지원하지만 로봇의 작업범경 안에 사용자가 위치하기 때문에 안전에 문제가 있다.

힘 되먹임 인터페이스 관련 기술도 기존의 원격 작업이나 장애인들을 위해 개발된 장치를 시초로 하여 개발되어 왔는데 현재도 활발하게 세계 유수의 연구소에서 연구 개발되고 있다. 미국 Boeing Computer Services의 연구자들은 항공기의 조작이나 제작 설계 등에 활용하기 위해 그에 상응하는 동작범위에 걸쳐 힘 되먹임이 가능한 고충실도의 장치를 연구하고 있다. 사용자의 동작을 사용자로 하여금 착용하게 한 가벼운 외골격형의 장치 등의 추적장치를 통해 추적하여 사용자가 의도하는 조작을 파악하고 해당되는 장치를 사용자가 사용할 수 있도록 로봇으로 이동시키고 사용자가 힘 되먹임을 받으면서 실제 조작하는 것처럼 느낄 수 있게 할 수 있는 가상현실 시스템을 로봇틱 그래픽스 시스템에 기반하여 개발하고 있다. 미국의 Computer Graphics Systems Development Corporation의 연구자들도 비행훈련이나 설계검증에 사용하기 위하여 사실적인 힘과 촉감을 느끼며

항공기 제어판넬을 조작하는 것을 모사할 수 가상 현실을 이용한 항공기 조종실을 로보틱 그래픽스 시스템에 기반하여 개발하고 있다. 일본 홋카이도 대학의 Shuichi Ino 박사 연구팀은 팔뚝에 힘 되먹임을 제공하기 위한 시스템을 개발하고 있다. 사람의 팔과 비슷한 컴플라이언스를 낼 수 있는 금속 수소화물 합금을 이용한 구동기를 채용하여 외골격형 장치를 만들었는데 이를 이용하여 사실적인 무게와 반발력 등을 느끼게 할 수 있는 힘 되먹임 인터페이스 개발을 수행하고 있다. 미국 MIT의 인공지능실험실에서는 힘 되먹임 인터페이스와 관련하여 크게 두 가지를 연구하고 있다. 첫 번째는 현재 PHANTOM이 손 끝 하나에 대하여만 힘 되먹임이 가능한데 이를 확장시켜 가상공간 상에서 신체조작을 쥐거나 옮기는 등 여러 손을 사용한 조작의 모사가 가능하도록 하기 위한 연구를 수행하고 있다. 그리고 PHANTOM에 질감이나 온도 등 촉감을 모사할 수 있는 기능을 부여하기 위해서 연구하고 있다. 두 번째로는 여러 개 주어진 가상 물체들과의 상호 작용과 주어진 가상물체들의 재질이나 모양 등 정보의 입수를 힘 되먹임을 통해 사실적으로 달성하기 위해 필요한 적절한 힘 생성을 위한 알고리즘을 개발하고 있다. MIT의 기계공학과에서는 원격 수술에 미치는 제어 신호의 지연 등 원격 수술을 위한 힘 되먹임 인터페이스 시제품을 만들어 관련 연구를 수행하고 있다. McGill Univ.의 Research Center for Intelligent Machines에서는 Stylus라는 정교한 손 조작을 모사해 주기 위한 힘 되먹임 인터페이스 장치를 개발하였고 힘 되먹임과 관련된 인간공학 그리고 우주항공에 응용하기 위한 힘 되먹임 인터페이스 장치를 연구하고 있다. 일본 통산성의 AIST에서는 고속 정밀한 특성을 낼 수 있는 AC 서보모터를 구동기로 채용한 6자유도를 갖는 툴형의 힘 되먹임 조작기를 개발하여 사람 손의 공간상에서의 조작능력을 연구하고 있다. 미국 Northwestern Univ.의 기계공학과에서는 4개의 자유도를 갖는 툴형의 힘 되먹임 인터페이스 장치를 개발하였다. 그리고 역학에 기반한 haptic 상호작용을 제공하는 가상현실 시스템 개발에 쓰일 수 있는 프로그램 언어도 개

발하고 있다. Rutgers Univ.에서는 가죽으로 만든 장갑에 4개의 공압 실린더를 새끼손가락을 제외한 나머지 4개의 장갑 손 끝 부분에 연결하고 실린더의 다른 쪽을 장갑 손바닥 부분에 고정시킨 형태의 RM-II라는 힘 되먹임 인터페이스 장치를 개발하였다. 사용자가 장갑형의 장치를 착용하고 손가락을 움직이면 공압 실린더의 피스톤이 움직일 수 있는데 피스톤의 길이 변화량과 장갑에 장착된 위치 추적 장치에서 나오는 측정값들을 이용하여 손과 손끝의 정확한 위치와 방향 파악을 가능하게 한다 그리고 이러한 위치와 방향 정보를 이용하여 원하는 크기의 힘을 실린더의 공압 세기를 조절함으로써 되먹임할 수 있다. 현재 RM-II를 운용하기 위한 소프트웨어의 개발 중에 있는 데 무릎 수술의 계획과 훈련에 쓰일 수 있는 가상현실 시스템에 응용하고 있다고 한다. 일본의 스키 모타사의 연구소에서는 임의의 표면형태를 갖는 가상의 물체를 조작하는데 힘 되먹임을 이용하기 위한 방안을 연구하고 있는데 DC모터를 구동기로 하는 6개의 자유도를 갖는 툴형의 SPICE라는 힘 되먹임 장치를 개발하였다. 그리고 가상 물체와의 접촉을 감지하고 접촉힘과 방향을 계산하기 위한 알고리즘도 개발하였다. 현재 SPICE를 이용하여 CAD나 3차원 모델링 시스템용의 사용자 인터페이스를 개발하고 있는데 정형외과의사들이 수술을 준비하면서 쓸 3차원용 스케치북의 개발에 이용하려 하고 있다 한다. 일본 동경공업대에서는 4개의 줄에 연결된 캡에 손끝을 집어넣게 하고 줄에 연결된 모터로 줄의 장력을 조절하여 힘 되먹임시키는 SPIDAR라는 인터페이스 장치를 개발하였다. 현재 네트워크에 연결된 가상공간상에서 다수의 가상 물체를 힘 되먹임을 통해 조작하는 것이 가능한 다중 사용자의 공동 작업을 위한 가상현실 시스템을 개발하고 있는데 그러한 시스템의 한 가지 실현 예로써 두 개의 서로 연결된 커다란 SPIDAR를 사용한 가상 테니스 경기 데모 시스템을 개발하고 있다. 미국의 Univ. North Carolina의 Chapel Hill분교에 있는 컴퓨터 과학과에서는 힘 되먹임의 실제 응용에 관한 선구적인 연구를 해 오고 있는데 특히 분자 결합을 위한 가상현실 시

시스템을 만들어 시각 표시장치만을 사용한 것보다 힘 되먹임을 결합할 경우 훨씬 좋은 성능을 얻을 수 있음을 보이고 또한 시각 표시장치나 힘 되먹임만이 가능한 경우에도 힘 되먹임을 사용하는 것이 시각 표시장치를 사용하는 것보다 더 좋은 성능을 기대할 수 있음을 보였다. 현재의 연구는 힘 되먹임 장치 사용을 지원하기 위한 소프트웨어 라이브러리의 개발에 힘을 쏟고 있으며 UCLA의 화학과 등과 공동으로 양자효과장치들과 연관된 재료 연구에서 극소단위의 구조 제작에 힘 되먹임을 적용하기 위한 연구를 수행하고 있다. 일본의 쓰꾸바대학에서는 HapticMaster를 개발하였고 이를 사용하여 3차원 형상 설계에 쓰일 수 있는 힘 되먹임 시스템을 개발하고 있다. 미국 Univ.

Washington의 전기 공학과에서는 펜형의 힘 되먹임 장치를 개발하여 원격 수술 등 매우 정밀한 조작에 필요한 응용분야에 활용하려고 하고 있으며 매우 무겁고 딱딱한 가상 물체와의 상호작용에 활용할 목적으로 2개의 자유도를 갖는 높은 대역폭의 힘 되먹임 장치를 개발하고 있다. 그리고 우주 비행사의 훈련에 쓰일 로보틱 그래픽 시스템을 개발하고 있다.

표 2.는 상용 제품의 특성을 비교해 놓은 것이다. 상용 제품들 각각은 각기 다른 응용에 적절할 뿐이고 매우 비싸다. 그리고 널리 쓰여 주목할 만한 결과를 보여준 것들도 현재로는 없는 상황이다. 힘 되먹임 시스템을 평가함에 있어 그 응용에 따라 달라질 수 있지만 최소 성능 기준을 힘 되먹임

<표 2> 상용 힘 되먹임 장치의 특성

제품명	제작사	형태	자유도	성능(힘 출력값)	가격
4 DOF Force Feedback Master EXOS, Inc.	EXOS, Inc.	조이스틱을 사용한 틀형 탁상용 장치	4	5.1-12.0 oz-in의 힘 최고 20-59 oz-in의 힘	-
Force Exoskeleton ArmMaster	EXOS, Inc.	외골격형으로 어깨와 팔에 장착	5	3.4-56.6 lb-in의 힘 최고 29-489 lb-in	\$ 99,000*
SAFiRE	EXOS, Inc.	외골격형으로 손목, 엄지, 검지에 장착	8	50-100 oz-in의 힘 최고 1-2 lb의 힘	\$ 75,000*
HEHD	EXOS, Inc.	외골격형으로 엄지, 검지, 손바닥에 장착	4	최고 1-5 lb의 힘	-
Impulse Engine 3000	Immersion Cor.	조이스틱을 사용한 틀형 탁상용 장치	3	0.00435N의 해상도 8.9N의 힘	\$ 7,950
Laparoscopic Impulse Engine	Immersion Cor.	손잡이가 있는 틀형 탁상용 장치	5	0.00435N의 해상도 8.9N의 힘	\$ 8,950
HapticMaster	Nissho Elec. Cor.	손잡이가 있는 틀형 탁상용 장치	6	2.85g중의 해상도 1.2kg중의 힘 최고 1.8kg중	-
PER-Force 3DOF	Cybernet Systems Cor.	조이스틱을 사용한 틀형 탁상용 장치	3	1 lb의 힘 최고 9 lb	\$ 9,950
PER-Force Handcontroller	Cybernet Systems Cor.	조이스틱을 사용한 틀형 탁상용 장치	6	2-3 oz의 힘 최고 20-25 lb	-
PHANTOM	SensAble Devices, Inc.	손끝에 거는 골무형 탁상용 장치	3	1.5N의 힘 최고 10N	\$ 24,000

* 93년 현재

장치 출력의 해상도는 12 bits, 위치 해상도는 0.001 inch, 최소 샘플 레이트는 2000 Hz, 최소 시간지연은 1 msec, 시스템 대역폭은 50 Hz이상, 자체 마찰력은 최대 출력 힘의 1%로 보통 정한다. 그런데 PHANToM을 제외한 모든 상용 힘 되먹임 장치들은 앞서 소개된 최소 성능 기준의 일부 분만을 충족시킬 따름이다.

촉감 인터페이스 장치와 비슷하게 현재까지 개발된 힘 되먹임 인터페이스 장치도 다음과 같은 단점들을 갖고 있다. 1) 가상현실 속에서 다양한 형태의 상호작용을 가능하게 하는 정도까지는 아직 힘 되먹임을 지원하지 못한다; 2) 설정된 관절 수에 따라 힘 되먹임이 제한된다; 3) 힘 되먹임 장치 자체의 구조적인 결함이 존재하며 사용자의 움직임을 부자유스럽게 한다; 4) 운동감각 신호의 효율적인 생성을 위한 일반적인 모델과 알고리즘이 없다.

III. 결 론

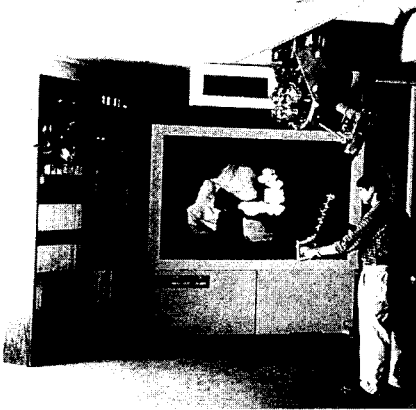
본 논문에서는 가상현실 시스템에서 가상 물체의 자연스러운 조작에 필요한 촉감과 힘 되먹임을 제공하기 위한 haptic 인터페이스 장치의 현황과 연구 개발 사례에 관하여 알아보았다. 우리는 실생활을 하면서 물건을 들어 옮기거나 만지는 등 촉감과 힘 되먹임에 의존하는 수많은 체험을 한다. 그리고 이 때문에 촉감과 힘 되먹임은 가상현실의 완성에서 필수적인 요소이지만 생리학이나 심리학의 영역에서도 시각이나 청각에 비하면 haptic 감각에 관한 연구는 뒤지고 있는 형편이고 현재까지 이루어진 haptic 인터페이스에 관한 연구들은 대부분이 하드웨어 장치 제작에 편중된 경향이 있었고 장치들 대부분이 구조적인 결함을 갖고 있으면서 일부의 제한적인 감각만을 지원해줄 뿐이다. 그리고 사용자의 편의성보다는 haptic 감각의 생성에만 초점이 맞춰져 왔다. 앞으로는 인간의 haptic 감각과 관련된 정확한 생리학 및 심리학적 지식이 축적되어 이들 지식의 뒷받침 아래에 응용분야에 알

맞으며 사용자 편의성이 고려된 장치의 개발이 요청된다. 그리고 하드웨어의 개발뿐만 아니라 기존에 개발된 하드웨어들을 사용하여 접촉힘, 변형력, 물리적인 저항감, 표면 질감 등 haptic 정보를 사실적으로 표시하는데 필요한 신호의 생성 및 처리를 위한 알고리즘 개발이 이루어져야 된다고 사료된다.

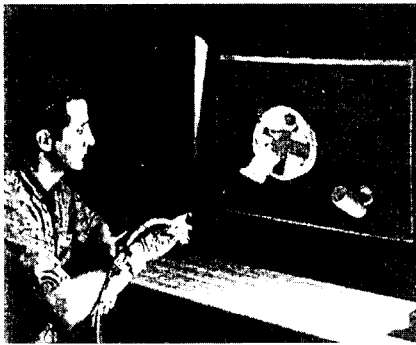
참 고 문 헌

- [1] R. Hollands, The Virtual Reality Homebrewer's Handbook, John Wiley & Sons, 1996.
- [2] R.S. Kalawsky, The Science of Virtual Reality, Addison Wesley, 1994.
- [3] G. Burdea and P. Coiffet, Virtual Reality Technology, John Wiley & Sons, 1994.
- [4] P. Stampe, B. Roehl and J. Eagan, Virtual Reality Creations: Explore, Manipulate and Create Virtual Worlds on Your PC, Waite Group Press, 1993.
- [5] 권태경, Cyber Tech 가상현실, 사이버출판사, 1996
- [6] 최한호, 가상현실 구현을 위한 소프트웨어와 하드웨어, 방송공학회지, 2권, 3호, pp. 261-275, 1997
- [7] G. Revesz, Psychology and Art of the Blind, Longmans, 1950.
- [8] R.D. Howe, "A force-reflecting teleoperated hand system for the study of tactile sensing in precision manipulation," Proc. IEEE Conference on Robotics and Automation, pp. 1321-1326, 1992.
- [9] M. Ouh-Young, D.V. Beard, and F.P. Brooks Jr., "Force display performs better than visual display in a simple 6-D docking task," Proc. IEEE Conference on Robotics and Automation, Nice France, pp. 1462-1466, 1989.

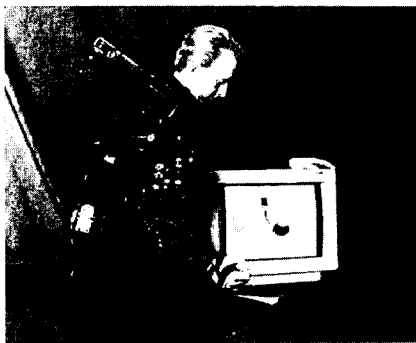
[10] C. Youngblut, R.E. Johnson, S.H. Nash, R. A. Wienclaw, and C.A. Will, Review of Virtual Environment Interface Technology, <http://www.hitl.washington.edu/scivw/>, 1996.



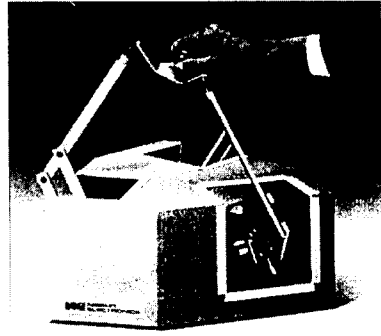
〈그림 1〉 Haptic 감각 표시 장치 Grope III를 이용한 분자결합 시뮬레이션 모습



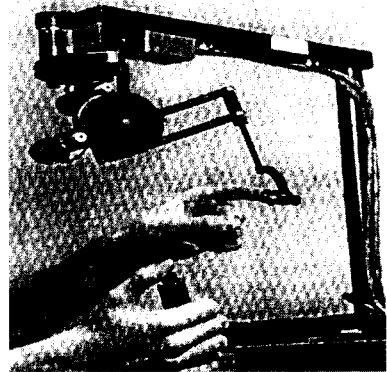
〈그림 2〉 촉감 표시 장치(Sandia National Lab.)



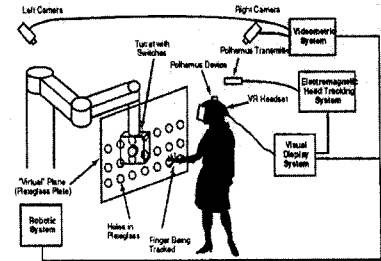
〈그림 3〉 외골격형 힘 되먹임 장치 (ArmMaster)



〈그림 4〉 틀형 힘 되먹임 장치 (HapticMaster)

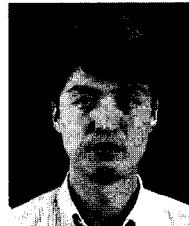


〈그림 5〉 골무형 힘 되먹임 장치(PHANToM)



〈그림 6〉 로봇릭 그래픽스 시스템

저자 소개



崔 漢 浩
 1966年 8月 25日生 1984年 3月
 ~1988年 2月 서울대 제어계측
 공학과(학사) 1988年 3月~1990
 年 2月 한국과학기술원 전기
 과(석사) 1990年 3月~1994年
 8月 한국과학기술원 전기과(박
 사)1994年 9月~현재 대우전자
 전략기술 제1연구소 주관심 분야: 로봇틱스 및 가상현실
 시스템, 강인제어, Convex 최적화