

햅틱 테크놀로지를 활용한 장애 아동 교육 콘텐츠 연구

Haptic Technology for Educational Contents for Children with Disabilities

권정민*, 남보람**
이화여자대학교 특수교육과*, 이화여자대학교 특수교육과 석사과정**

Jung-Min Kwon(eai.research@gmail.com)*, Bo-Ram Nam(spe_edu@naver.com)**

요약

햅틱 감각은 인간 오감의 하나로 인지적 발달과 일상적 생활에 영향을 주는 필수적인 감각이다. 최근 햅틱 테크놀로지에 대한 논의와 연구가 활발해지기 시작하였는데, 본 논문에서는 햅틱의 의미와 학습에 있어서의 중요성을 살펴보고, 이를 교육에 활용한 콘텐츠의 사례를 연구한 후, 햅틱 테크놀로지를 장애아동의 교육에 활용할 수 있는 방법을 논하였다. 그 방법으로, 국 내외 데이터베이스를 검색하여 햅틱을 교육에 활용한 논문만을 선정하여 이를 메타분석적 방법으로 분석하였다. 햅틱 테크놀로지를 이용한 몇 안 되는 연구는 일반학생의 과학과 수학 학습에 집중되어 있었으나, 햅틱 테크놀로지는 감각적, 학습적, 인지적 장애를 포함한 다양한 장애와 특성을 가진 아동의 교육에 유용한 도구가 될 수 있으며, 과학, 수학 뿐 아니라 음악, 미술, 역사 등 교과외의 여러 분야에 걸쳐 활용될 수 있을 것이다.

■ 중심어 : 햅틱 | 가상현실 | 교육 콘텐츠 | 장애 | 터치 | 촉감 | 운동감각 |

Abstract

The haptic sense is one of the five human senses that deeply affects cognitive development and everyday lives of children and adults. Recently, researchers and developers have started active discussions and research on haptic technologies. The purpose of this paper is to explain the role of haptics in learning, review studies that have attempted to use haptic technologies to teach students, and discuss how these technologies can be applied in special education context. National and international databases were searched and analyzed using meta-analysis methods. The few studies that have been completed so far are heavily focused on math and science learning. However, haptic technology has great potentials for children with disabilities who can benefit from extra assistance from these devices in wide areas of curriculum including math, science, music, art, history, and so on.

■ keyword : Haptics | Virtual Reality | Special Education Technology | Disability | Touch | Kinesthetic | Feeling |

I. 서론

1. 교육에 있어서의 햅틱의 중요성

햅틱은 쉽게 표현해 "만질 수 있는"이라는 의미를 갖

고 있다. 햅틱은 인간 오감의 하나로, 시각, 청각, 후각, 미각과 함께 우리가 일상의 생활을 하는데 있어 필수적인 감각이다. 시각은 표면적인 정보만 줄 수 있는 반면, 햅틱은 사물의 내재적 정보까지도 줄 수 있다[1]. 햅틱

접수번호 : #101020-013
접수일자 : 2010년 10월 20일

심사완료일 : 2011년 02월 15일
교신저자 : 권정민, e-mail : eai.research@gmail.com

은 인간의 인식에 있어서 매우 중요한 역할을 하는데, 실제적으로 인간이 하는 대부분의 행동과 활동에 관여되는 감각이라 할 수 있다[2].

감각으로서의 햅틱은 인간의 인지발달과 학습에 중요한 역할을 한다. Piaget와 Inhelder[3]에 의하면 출생 직후부터 2세까지의 아동은 감각운동적 인식을 통해 학습하는데, 유아는 자신이 처한 환경을 햅틱을 포함한 다양한 감각을 통해 느끼며 인지적 발달을 이어간다. 특히 이때 발달하는 것이 인과 관계에 대한 이해인데, 원하는 변화를 일으키기 위해 적극적으로 구체적인 조작을 하는 시기라고 할 수 있다. 이 시기에는 물체의 공간적 위치를 이해하고 기억하는 능력이 발달하며 2세 즈음이 되면 반복적인 행동을 이용해 물체의 변화에 대한 간단한 실험을 할 수 있게 된다. 이 시기에 햅틱 감각을 통해 형성된 개념은 훗날 추상적 사고의 밑거름이 된다.

햅틱을 이용한 학습은 Howard Gardener[4]가 주장한 다양한 학습 스타일 중 하나(신체운동적 지능-bodily-kinesthetic intelligence)로도 인정이 되는데, 교육학 분야에서는 이는 주로 헨즈온(hands-on) 학습[5]을 비롯한 구체물 사용, 경험적 학습[6] 등으로 적용이 되고 있다. 연구에 의하면 헨즈온 학습은 학생들이 학습 내용을 더 잘 기억하게 하며, 성취감을 갖게 하고, 학습내용을 다른 상황으로 더 잘 전이시킨다고 한다[7][8]. 언어적, 행동적, 학습적 어려움이 있는 학생들에게 헨즈온 학습은 학생들의 참여 유도과 다양한 방법을 통한 이해를 도모할 수 있으며, 학생들간의 상호작용도 증진시킬 수 있다고 보고한다[9].

그러나 Minogue & Jones[10]가 밝히듯이 아직까지 햅틱 감각을 이용한 학습에 관한 연구는 시각이나 청각에 비해서는 매우 적다. 특히 디지털 콘텐츠를 기반으로 하는 교육이 많아짐에 따라 햅틱을 이용한 학습보다 시, 청각적 자극에 의존하는 E-learning, 온라인 토론, 웹기반 학습, 비디오, Facebook, 싸이월드 등을 이용한 사회적 학습, 모바일 러닝, 게임 등이 근래 교육 테크놀로지 연구의 관심사가 되고 있다. 이들의 대부분은 컴퓨터를 기반으로 하기 때문에 눈으로 보는 것과 귀로 듣는 것을 통한 학습과, 마우스와 키보드를 이용한 인

풋이라는 한계가 있었고, 이것은 장애아동 교육을 위한 소프트웨어에서도 마찬가지였다. 도깨비한글(아이소리)과 같은 교육용 소프트웨어도, 국립특수교육원의 에듀에이블(www.eduable.net)과 같은 이러닝 인터페이스도 시각적, 청각적 자극이 학습을 지원하는 모달리티(modality)의 전부를 차지한다.

본 논문을 쓴 목적은 다음과 같다. 장애인 학습과 훈련에 활용할 수 있는 테크놀로지가 다양한 분야에서 지속적으로 연구, 개발되고 있는 것에 비해, 이것이 실제 교육 현장에서 활용되기는 아직까지 매우 드물다. 특히 장애 아동 교육 전문가들과 관련 분야 종사자들에게 햅틱은 학습에 있어 매우 중요한 감각으로 이해되고 있으나, 어떤 기술이나 장비들이 현재 활용가능한지에 대해 거의 무지하다고 해도 과언이 아니다. 이에, 본 논문의 목적은 장애인 교육 및 훈련과 관련한 전문가에게 친숙한 용어로, 햅틱을 구현해낼 수 있는 인터페이스의 종류를 먼저 설명하고, 이러한 기술을 활용한 장비들이 교육에 어떻게 기존에 활용되었는지 분석하고, 향후 국내의 장애아동 교육에 어떤 가능성이 있는지를 장애별로 논의하기 위함이다. 본 논문의 타겟 독자층은 장애인 관련 종사자들과 특수교육, 일반교육, 유아교육 관련 전문가들로, 최첨단 기술에 대한 공학적 설명이나 아이디어 제시보다는, 이미 활용되고 있거나, 교육 현장에서 활용 잠재성이 있는 장비들에 대한 설명과 장애별 활용 가능성 제시에 있음을 명시한다.

II. 연구 방법

본 논문에서 탐색한 문제는 다음과 같다:

- 1) 햅틱 인터페이스의 종류에는 무엇이 있는가?
- 2) 햅틱 인터페이스를 교육에 적용한 사례들의 콘텐츠는 무엇이었는가?
- 3) 햅틱 테크놀로지를 활용한 교육 콘텐츠는 장애아동 교육에 어떤 가능성을 갖고 있는가?

위의 질문에 답하기 위하여 연구자는 일반적인 문헌 고찰 연구 방법을 사용하였다. 본 연구자는 교육 데이

터베이스인 ERIC과 심리학 데이터베이스인 PsycInfo, 그리고 공학 데이터베이스인 Applied Science Full Text에서 haptics, tactile, touch 세 가지의 키워드를 education, learning과 조합하여 검색하였고, 모든 경우에 technology가 키워드에 포함되었다. 이렇게 검색된 논문이 총 17편이었다. 또한 LNCS 중 haptics 키워드가 들어있는 논문을 일일이 검색하여 교육과 연관성이 있는 것만 선별하였다. 교육과 연관성이 있다함은 1) 저자가 교육에의 활용을 논문 중에 언급하였거나, 2) 햅틱이 사용된 컨텍스트가 교과와 하나일 경우(음악, 미술, 수학 등), 그리고 3) 햅틱을 이용한 인지적 활동이 논문에 포함된 경우였다. 이런 방식으로 선정된 논문이 총 33편으로 본 논문에 사용된 문헌은 총 50편이었다. 국내 연구는 본 연구에 포함되지 않았는데, 그 이유는 햅틱을 이용한 장애인 교육에 관한 학술지 논문은 아직까지 출판된 것이 없기 때문이었다. 학위 논문은 본 연구에 포함시키지 않았다.

연구에 포함된 햅틱 장비의 기준은 다음과 같다. 마우스, 키보드, 전통적 조이스틱 등은 모두 수동적 햅틱 장치로 분류될 수 있다. 이들은 모두 한 방향으로만 통신을 하기 때문이다. 한편 진동을 주는 게임 컨트롤러, 클릭 시 진동으로 피드백을 주는 핸드폰 등은 적극적 햅틱 기기로 볼 수 있는데, 이들은 양방향 통신을 하기 때문이다[2]. 본 논문에서 다루는 햅틱 기기는 이러한 적극적 햅틱 인터페이스를 사용하는 기기로 국한시킨다.

III. 연구결과

1. 연구문제 1: 햅틱 인터페이스의 종류

Srinivasan와 Basdogan[11]은 햅틱 인터페이스를 크게 세 종류로 나눈다. 첫째, 그라운드 베이스(ground-based) 장치, 둘째, 바디 베이스(body-based) 장치, 그리고 셋째, 택타일 디스플레이(tactile display)가 그 종류이다. 그라운드 베이스 햅틱 장치는 비디오 게임 컨트롤러와 조이스틱, 포인트 인터랙션 장비 등이 그 예가 될 수 있다. 즉, 바닥이나 책상, 손바닥 등에 기

반이 되는 몸체가 있고 그것에 컨트롤러나 스틱이 이어져있고 고정된 자리에서 움직이거나 느낄 수 있는 장치이다. 한편, 바디 베이스 장치는 장갑이나 신발, 옷처럼 사람의 몸에 직접 착용하는 장치로써, 기계에 고정되어 있지 않고 사용자의 모션의 자유도가 그라운드 베이스에 비해 훨씬 높다는 장점이 있다. 바디 베이스 햅틱 장비의 예로는 입는 로봇인 엑소스켈레톤, 햅틱 장갑 등이 있다. 마지막으로 택타일 디스플레이 장치는 면(표면)을 통해 햅틱 피드백을 느낄 수 있는 장치로, 조끼, 의자, 장갑, 브레일 디스플레이 등이 이에 해당된다. 그러나 기술의 진보와 더불어 이 세 종류의 햅틱 장치의 경계는 흐려져 가고 있다. 예를 들어, 햅틱 장갑은 바디 베이스와 택타일 디스플레이의 성격을 모두 갖고 있고, 브레일 마우스는 그라운드 베이스와 택타일 디스플레이의 성격이 혼합된 장비이다. 다음은 이러한 햅틱 인터페이스의 구체적 사례들을 살펴보겠다. [표 1]은 햅틱 인터페이스의 종류를 정리한 것이다.

표 1. 햅틱 인터페이스의 종류

구분	특성	장비
그라운드 베이스	기반이 되는 몸체에 컨트롤러나 스틱이 이어져있고 고정된 자리에서 움직이거나 느낄 수 있는 장치	비디오 게임 컨트롤러, 조이스틱, 포인트 인터랙션 장비
바디 베이스	사람의 몸에 직접 착용하는 장치	엑소스켈레톤, 햅틱 장갑
택타일 디스플레이	표면을 통해 햅틱 피드백을 느낄 수 있는 장치	조끼, 장갑, 브레일 디스플레이

1.1 비디오 게임 컨트롤러

그라운드 베이스 햅틱 장치 중 일상에서 가장 쉽게 접할 수 있고 널리 알려진 것으로 비디오 게임 컨트롤러를 들 수 있다(그림 1). 컨트롤러는 조이스틱의 발전된 형태로 볼 수 있는데, 사용자가 게임을 할 때 손에 진동을 느끼게 함으로 비디오 게임의 실제감을 높이는데 사용된다.



그림 1. 비디오게임 컨트롤러



그림 2. VirTouch Braille Mouse

1.2 햅틱 마우스

햅틱 감각을 지원하는 마우스의 종류는 몇 가지가 있는데, 그 중 진동하는 마우스는 진동 컨트롤러와 비슷한 개념을 가진 마우스이다. 대표적으로 Logitech사의 진동 마우스 안에는 작은 모터가 내제되어 있어 게임을 할 때(예를 들면 총을 쏠 때) 진동을 함으로 현실감을 높일 수 있게 했다. 또 다른 형태의 햅틱 마우스는 브레일 마우스로, 이는 손가락 끝에 닿는 부분에 글씨를 자동으로 브레일로 바꾸어주는 장치를 갖고 있는 마우스이다. 이 마우스를 이용하여 화면상의 커서를 텍스트 위에 대면 커서 아래의 알파벳이 즉시로 브레일 점자로 변환되어 2-4 글자씩 찍힌다. 브레일 마우스는 그라운드 베이스 장치에 택타일 디스플레이를 겸한 장치로 볼 수 있다. [그림 2]의 VirTouch 마우스의 경우, 8-핀 브레일을 나타낼 수 있으며, 글자 뿐 아니라 그래프와 그래픽, 색의 명암 정도까지 브레일로 변환시켜준다. 그러나 브레일 마우스들은 일반적인 마우스와 비슷하거나 조금 큰 형태를 유지하기 때문에 브레일을 디스플레이할 수 있는 칸이 한정되어 있다. VirTouch의 경우 브레일을 디스플레이할 수 있는 칸이 네 개인데, 이로 인해 사용자가 읽는 속도에 한계가 있을 수 있다.

1.3 포인트 인터랙션 장비 (point interaction device)



그림 3. 포인트 인터랙션 장비

교육적 활용 가능성이 가장 큰 포인트 인터랙션 장치([그림 3])는 책상 위 (desktop)에 둘 수 있는 크기의 전자기계 장비(electro mechanical device)로, 가장 대표적인 예로 Phantom 이 있다. Phantom은 가상의 물체를 만질 때의 감각을

인공적으로 만들어 내고 사용자로 하여금 느낄 수 있게 하는 장치로, 고체의 형태나 표면, 움직임에 재현해낼 수 있는 기계이다. 이 장치는 컴퓨터의 포트에 바로 연결하여 사용할 수 있으며, 촉각적 감각과 운동적 감각을 세 개의 모터와 모터에 연결된 센서를 이용해 만들어 낸다[12]. 사용자는 이 장비의 직선 핸들을 손으로 잡거나 핸들 끝에 달린 장치에 손가락 끝을 끼고 장비가 인공적으로 만들어내는 포스피드백(force feedback)을 느낄 수 있다. 예를 들면, 컴퓨터에 가상의 3D 정육면체를 만들고 이를 Phantom을 이용해 만지면 실체처럼 각 꼭지점의 각도와 정육면체의 단단함, 표면의 거칠기 등이 기계의 움직임을 통해 느껴지는 것이다. 이를 이용해 의사들이 미세 수술 시뮬레이션을 할 정도로 정교할 수 있고[13], 다양한 재료와 툴을 이용해 그림을 그리거나 찰흙(clay)을 빚는 시뮬레이션을 할 수 있을 정도로 다양한 감각을 만들어 낼 수 있다[14].

1.4 햅틱 글러브 (Haptic Glove)



그림 4. 햅틱 글러브

햅틱 글러브([그림 4])는 장갑을 끼고 가상 물체의 크기, 무게, 질감, 온도, 움직임 등을 느낄 수 있게 하는 장비이다. 햅틱 글러브는 엑소스켈레톤과 비슷한 방법으로 작동할 수 있다. 즉, 기계적 장치의 움직임을 이용해 손가락을 움직이게 하는 것이다. 이러한 방법으로는 물체의 크기, 무게, 움직임, 대략적 질감 등을 느낄 수 있다. 동시에, 손가락 끝에 햅틱 디스플레이를 달아 가상적 물체의 온도, 미세한 질감 등을 느끼게 할 수 있다. 햅틱 글러브의 손가락 마디마다 센서를 달수도 있는데, 이를 이용해 손을 움직이면 화면 안의 가상의 손이 똑같이 움직이게 할 수 있다. 이러한 방법으로 수화 애니메이션을 만들 수도 있으며, 수화를 음성언어로 자동으로 바꾸게 하는 프로그램을 만들 수도 있다[15].

1.5 햅틱 의자

햅틱 장치들은 주로 손 끝에서 가장 많이 다루어지지

만, 등(back)의 감각으로도 느낄 수 있는 장치도 있다 [16][17]. Tan 등[16]에 의하면 등에 주는 햅틱 피드백은 시-공간적 주의(visual-spatial attention)를 재빨리 전향시키는 효과가 있는데, 등에 진동을 통한 햅틱 피드백을 줌으로써 의자에 앉아있는 사람이 시각적 자극에 대응하는 시간을 줄일 수 있다고 한다. 이들은 이것을 운전석에 사용하였는데, 운전 시 위험 상황이 왔을 때 시각과 청각적 피드백은 효과가 떨어지지만 등이나 몸체의 햅틱 감각은 뇌로의 전달속도가 빨라 긴급한 상황에서 훨씬 효과적으로 대처하도록 도울 수 있다.

1.6 햅틱 조끼

햅틱 조끼는 몸으로 햅틱 감각을 느낄 수 있게 만든 것으로 이 조끼는 공기의 부피와 움직임들을 이용해 햅틱 감각을 만들어내며 게임과 호환성을 갖고 있어 총에 맞는 느낌, 펀치 등을 실제처럼 느낄 수 있도록 디자인 되었다(TN Games 3rd Space Vest).

이상 설명한 여섯가지 햅틱 인터페이스의 특징과 각각의 장, 단점을 [표 2]에 정리하였다.

표 2. 햅틱 인터페이스의 특성

햅틱장비	특징	장점	단점
햅틱게임 컨트롤러	그라운드 베이스 조이스틱의 발전된 형태 게임을 할 때 손에 진동을 제공	실제감을 높일 수 있음 저렴하고 구하기 쉬움	교사나 부모 수준에서의 프로그래밍이 쉽지 않음
햅틱 마우스	햅틱 베이스 마우스에 모터가 내장되어 진동하는 진동 마우스 화면의 내용을 점자로 변환해주는 브레이일 마우스	진동마우스의 경우 가격 저렴, 시각장애인인 구하고 사용하기 쉬움 브레이일 마우스는 글자, 그래픽, 색의 명암 등 까지 표현 가능	브레이일마우스의 경우 디스플레이 칸이 적어 사용자가 읽는 속도에 한계를 가짐
포인트 인터랙션 장비	그라운드 베이스 가상의 물체를 만질 때의 감각을 인공적으로 만들어 내고 사용자 하여금 느낄 수 있게 함	교육적 활용 가능성이 높음 컴퓨터의 포트에 바로 연결 가능 다양한 감각 만들어 냄	가격이 높은 편 전문가의 프로그래밍 필요
햅틱 글러브	햅틱 베이스 장갑을 끼고 가상 물체의 크기, 무게, 질감, 온도, 움직임 등을 느낄 수 있게 함	손의 움직임을 화면에 동일하게 구현할 수 있음 교육적 활용 가능성 높음	가격이 높은 편 전문가의 프로그래밍 필요
햅틱 의자	그라운드 베이스 의자에 진동을 자극을 설치하여 햅틱 피드백을 제공	시각적 자극에 대응하는 시간을 줄임 긴급한 상황에서	정밀할수록 가격이 높아짐

		효과적으로 대처하도록 도움 청각장애인의 음악 교육에 효과적	
햅틱 조끼	햅틱 베이스 공기의 부피와 움직임을 이용해 햅틱 감각 제공	게임과 호환성을 가져 햅틱 감각을 실제처럼 느낄 수 있음	국내에서는 구하기 어려움

2. 연구문제2: 햅틱 테크놀러지를 활용한 교육 콘텐츠의 예

2.1 과학

최근 햅틱 테크놀러지를 이용해 학생들의 과학 교과의 이해를 돕는 방법이 연구되고 있는데, 그 예로 Jones 등[18]의 나노과학(nanoscience) 교육에 대한 연구들을 들 수 있다. 나노는 1미터의 10-9의 크기로, 육안으로 보이지 않으며 직접적으로 만져볼 수 없는 크기의 단위이다. Jones 등[18]은 바이러스와 같은 나노크기의 물질을 특수 바늘로 조작하는 장면을 컴퓨터 3-D 그래픽으로 변환하였다. 그리고 이것에 Phantom을 연결하여 햅틱으로 나노 크기의 물질들을 움직이고 만져보게 하였다. 결과, 나노물질을 햅틱으로 경험을 한 학생들은 바이러스의 모양에 대한 개념이 평면적(2-D)에서 입체적(3-D)이 되었으며, 나노 스케일에 대한 이해도 이전보다 더 정확해졌고, 전자현미경의 작동에 대한 이해도 깊어졌으며, 전반적으로 과학에 대하여 긍정적인 태도를 갖게 되었다고 보고한다.

Minogue & Jones[10]는 Phantom과 햅틱 게이밍 조이스틱, 마우스를 이용한 조작을 비교해 보기도 하였다. Phantom은 이 세 가지 중 가장 구체적이고 실제적인 조작을 가능한 조건이었고, 햅틱 게이밍 조이스틱은 그라운드 베이스이기 때문에 Phantom에 비해서는 수동적인 햅틱 기기였으며, 마우스를 이용한 조작은 컴퓨터 화면을 통해 시각적 피드백만을 제공했다고 볼 수 있다. 연구 결과, 햅틱적 요소가 강할수록(Phantom>조이스틱>마우스) 학생들은 과학이 재미있다고 느꼈으며 참여도도 높았다는 것을 알 수 있었다. 또한 학생들이 배운 것을 설명하는 단어도 달랐는데 Phantom을 사용한 학생들이 다른 두 그룹에 비해 감정을 나타내는 단어("쿨하다", "바이러스는 징그럽다")를 많이 사용하였고, 나노물질에 대하여 활동적이고 구체적인 동사 표현

(“마주 부딪쳤다”, “종이를 마는 것 같다”, “대항하여 싸운다”)과 햅틱과 관련한 단어(“떨어져있다”, “단단하다”, “울퉁불퉁하다”)를 더 많이 사용하였다고 보고한다. Minogue & Jones[10]에 의하면 햅츠온을 사용했을 때처럼 햅틱 장비를 사용하였을 때 학생들은 학습 경험에 대해 더 긍정적이고 적극적이었다.

Phantom을 이용해 지렛대의 원리와 작용의 교육의 효과를 실험한 연구도 있었다[19]. 이들은 햅틱 장비와 가상현실 시뮬레이션을 이용해 학생이 막대와 받침점, 추의 위치와 크기 등을 변화시켜 실험하게 하였다. 즉, 컴퓨터 화면상의 지렛대를 Phantom을 이용해 움직이며 누를 때 필요한 힘의 변화 등을 체험하게 하였다. Wiebe et al.[19]은 같은 활동을 시각적 피드백으로만 받은 집단과 비교하였는데, 시각만 사용한 집단의 점수가 더 큰 향상이 있었던 것으로 드러났다. 그러나 그들의 눈동자 움직임을 추적한 결과, 햅틱 집단이 지렛대의 핵심적인 곳을 더 많이 본 것으로 나타났다. 연구자들은 햅틱 감각을 사용한다 해도 시각적 피드백은 학습에 있어 여전히 중요한 요소임을 강조하였다.

이와 비슷하게 햅틱 조이스틱과 웹기반의 3-D 프로그램을 이용해 2-6학년 학생들에게 단순한 기계(simple machine)의 개념을 학습하게 하였다[20]. 단순한 기계는 지렛대, 도르레, 스크류, 바퀴와 축, 빗면(inclined plane) 등의 다섯 가지였으며, 학생들은 햅틱 조이스틱을 이용해 이러한 기계의 작동과 원리를 시각적 정보와 햅틱 감각을 통해 학습하였다.

Wies 등[21]은 햅틱 진동 마우스를 이용해 전기장(electric fields)을 교육할 수 있는 방법 연구하였다. 이것은 시뮬레이션 상의 어떤 물체에 전기를 흐르게 했을 때 전기의 세기와 그 물체의 전도율에서 비롯되는 전기장의 차이를 마우스의 진동과 소리 피드백으로 느끼게 하는 방법이었다. 예를 들면 커서가 물체에 가까이 갔을 때 마우스가 진동을 하였고, 전기장의 경계를 햅틱 감각과 오디오를 통해 알게 하는 방법이었다. 또한 시뮬레이션 데이터를 그래프와 표로 제시하여 수치를 볼 수 있게 하였다. 화면상의 모든 내용은 스크린리더로 읽을 수 있게 했다. 이들은 실험연구를 하지는 않았고, 이것을 전문가와 맹학생에게 해보게 한 후 인터뷰를 했

는데, 모든 참여자들의 반응은 매우 긍정적이었다고 연구자들은 보고한다. 학생들은 전기장의 세기가 물체 가까이에서 가장 세다는 것을 처음 알게 되었다고 하는가 하면(p.57),ダイナ믹하게 변하는 특성을 쉽게 이해할 수 있는 점이 긍정적이었다고 답하기도 하였다.

2.2 수학

수학 교수에서의 햅틱 장비 사용에 대한 연구는 그래프 인식에 집중되어 있다. 이 중 University of Glasgow의 Brewster는 시각장애인이 수학적 그래프를 소리와 햅틱으로 느낄 수 있는 방법을 연구하고 있다 [22][23]. 전통적으로 그래프와 다이어그램은 브레일로 표시되어왔다. 그러나 일반적으로 이러한 방법은 정확성이 많이 떨어지고, 그래프에 많은 정보가 부가되어 있으면 그것을 손으로 느껴 읽어야 하는 사람에게서는 혼란을 초래할 수 있으며, 특히 다이내믹한(움직이는) 그래프는 맹인이 접근하기 어렵다는 점이 전통적 그래프의 가장 큰 약점이었다. 그래서 이들은 Phantom 장비를 이용해 화면상의 그래프를 읽을 수 있게 하는 방법을 개발했다. 선이 여러 개일 경우 마찰의 정도를 달리 하여 선을 구분하였고, 그래프의 높이는 격자를 만들어 칸을 느낄 수 있게 하였다. 연구 결과 연구에 참여한 모든 비장애인은 눈으로 화면을 보며 장비를 이용해 그래프를 탐색할 때 이러한 기능들은 매우 효과적이었고, 그래프의 이해에 도움을 주었다고 응답하였다. 그러나 맹인의 경우, 극히 일부만 모든 기능을 사용하였고, 대부분의 연구 참여 맹인들은 혼란을 느꼈음을 보고하였다. 맹인이 처음 접하는 물체를 탐색할 때에는 먼저 물체의 경계선을 만져봄으로서 물체의 크기와 대략적인 모양을 파악하는데, Phantom과 같은 포인트 인터랙션 장비는 한손으로 한 점의 움직임만으로 탐색을 해야 하기 때문에 이러한 혼란을 겪는 것으로 연구자들은 해석한다. 웨스트 버지니아 대학의 Van Scoy팀은 함수를 햅틱으로 가르치는 방법을 연구하였다[24][25]. 키보드를 이용해 함수를 입력하면 컴퓨터가 이것을 소리로 읽어주고, 자동으로 그래프를 만든다. 사용자는 Phantom을 이용해 이렇게 만들어진 그래프를 탐색할 수 있다. Van Scoy et al.는 컴퓨터 키보드를 이용해 다양한 명

령을 사용하여 햅틱 장비를 더욱 다양하게 사용할 수 있게 하였다. 예를 들어 함수를 기억하는 명령 (C), 기억한 함수를 불러오는 명령 (V), X좌표 모드로 전환 (S), Y좌표 모드로 전환 (X)등의 다양한 명령을 오른손으로 햅틱 장비를 사용하는 동시에 왼손으로 넣을 수 있다. 이들은 또한 그래프의 기울기나 모양을 음악으로 표현하기도 하였다. X좌표와 Y좌표의 값을 각각 음의 길이와 음의 높이로 표현해 컴퓨터가 음악을 만들어내도록 하였는데, 이는 단순히 의미 없는 소리의 사용을 넘어서 소리와 소리 사이의 관계를 이용해 의미있는 소리를 만들어내며 그것을 수학적 그래프 인식에 사용하

는 점에서 흥미롭다.

2.3 글씨 쓰기 (Handwriting)

Palluel-Germain et al.[26]은 Telemaque라는 포인트 인터랙션 시스템을 이용해 어린 학생들이 글씨 쓰기를 연습하게 했다. Telemaque는 Phantom과 비슷하게 생긴 장비로, 기계의 긴 팔 끝에 세워진 펜 모양의 손잡이가 달려있어 펜처럼 잡고 쓸 수 있게 되어있으며, 펜이 움직일 수 있는 범위 등을 프로그래밍 할 수 있게 했다. 기계의 긴 팔 끝에 달려있는 펜이 책상위 수평으로 있는 컴퓨터 모니터 위에 오게 하여 학생이 펜을 잡고 모

표 3. 햅틱 테크놀로지를 적용한 교육 콘텐츠 연구

교과	연구	사용된 햅틱장비	증재내용 / 독립변인	증속변인	결과
과학	Jones et al. [18]	Phantom	나노크기의 물질을 특수비늘로 조작하는 것에 Phantom을 연결하여 학생들의 이해를 도움 컴퓨터 3-D 그래픽으로 변환된 화면에 Phantom을 연결하여 렌즈온으로 만져볼 수 있도록 제공	바이러스의 모양에 대한 개념 파악 나노 스케일에 대한 이해 전자현미경의 작동에 대한 이해	바이러스의 모양에 대한 개념이 평면적(2-D)에서 입체적(3-D)으로 바뀐 나노 스케일에 대한 이해, 전자현미경의 작동에 대한 이해 깊어짐 전반적으로 과학에 대해 긍정적인 태도 가짐
	Minogue & Jones [10]	Phantom 햅틱 게이밍 조이스틱, 마우스	세 가지 기기를 적용해보므로써 학생들의 반응을 비교함 Phantom: 구체적이고 실제적 햅틱 게이밍 조이스틱: 수동적 마우스: 시각적 피드백만 제공	과학에 대한 느낌 참여도 배운 것을 설명하는 단어의 사용 학습 경험에 대한 태도	햅틱적 요소가 강할 수록(Phantom>햅틱 게이밍 조이스틱>마우스) 과학이 재밌다고 느끼며, 참여도가 높고 감정을 나타내는 단어, 햅틱과 관련된 단어를 많이 사용함. 학습 경험에 대해 더 긍정적이고 적극적인 태도 보임
	Wiebe et al. [19]	Phantom	시각적 피드백만 받은 집단과 햅틱 장비를 사용한 집단에게 지렛대의 원리와 작용의 교육의 효과를 실험 햅틱 장비와 가상현실 시뮬레이션 사용하여 지렛대 조절	집단의 점수 노동자 움직임	시각적 피드백만 사용한 집단의 점수에 더 큰 향상 보임 햅틱 집단이 지렛대의 핵심적인 곳을 더 많이 봄
	Williams II et al. [20]	햅틱 조이스틱	단순한 기계의 개념 학습에 햅틱 조이스틱과 웹기반의 3-D 프로그램을 이용 햅틱 조이스틱	개념 학습	햅틱 조이스틱을 이용해 기계의 작동과 원리를 시각적 정보와 햅틱 감각을 통해 학습
	Wies et al. [21]	햅틱 진동 마우스	맹학생의 전기장 교육에 햅틱 진동 마우스를 적용 시뮬레이션 상의 어떤 물체에 전기를 흐르게 했을 때 전기의 세기와 그 물체의 전도율에서 비롯되는 전기장의 차이를 마우스의 진동과 소리 피드백으로 제공 시뮬레이션 데이터를 그래프와 표로 제시	참여자 인터뷰	매우 긍정적인 반응 보임
수학	McGee et al. [22] Yu, et al. [23]	Phantom	시각장애인에게 수학적 그래프를 소리와 햅틱으로 느낄 수 있도록 전달하기 Phantom 장비를 이용해 화면상의 그래프를 읽을 수 있도록 제시. 선과 높이 등을 구분	그래프 탐색 그래프 이해	비장애인은 시각적인 정보와 햅틱이 함께 주어졌을 때 그래프의 탐색이 효과적이고 이해에 도움을 받았지만 대부분의 맹인은 혼란을 느꼈다고 보고함
	Van Scoy et al. [24] Van Scoy et al. [25]	Phantom	햅틱을 활용하여 함수 가르치기 키보드로 입력한 함수를 컴퓨터가 소리로 읽어주고, 자동으로 그래프 그리기	N/A	N/A
	Palluel-Germain et al. [26]	Telemaque	포인트 인터랙션 시스템을 이용해 글씨 쓰기 연습 글씨쓰기 연습에 Telemaque 활용하여 모니터 햅틱 펜을 잡고 글씨 따라 그리기	글씨 쓰는 속도 펜 떼는 횟수	단순 종이에 따라 쓰지만 학생들에 비해 글씨를 쓰는 속도가 빠르고 펜을 떼는 횟수가 적음

니터를 내려다보며 모니터 위에서 직접 글씨 연습을 할 수 있게 하였다. 모니터에 두 줄의 경계선을 가진 글씨가 나타나면 학생은 햅틱 장비를 잡고 그 경계선 사이를 움직여 글씨를 "그렸다". 사용자가 경계선 밖을 벗어나면 장비는 자동적으로 펜을 안쪽으로 끌어당기도록 프로그램 되었고, 훈련의 회수가 반복될 수록 이 끌어당기는 힘은 점차로 소멸되도록 했다. 또한 글씨에 따라 햅틱 펜이 스스로 움직이고 학생은 잡고 있기만 할 수도 있었는데, 회수가 반복될수록 점차로 속도를 빠르게 하였다. 이러한 훈련을 한 학생들은 단순 종이에 따라 쓰지만 한 학생들보다 글씨를 쓰는 속도가 빠르고 펜을 떼는 횟수가 적었다고 보고되었다.

이상 햅틱 인터페이스의 종류와 이들을 활용한 교육적 연구들을 살펴보고 이 [표 3]에 문헌의 메타 연구 방식으로 정리되어 있다. 햅틱 장비들은 아직까지 가격이 비싸고 상용화 되어있지 않으며, 개발의 여지가 많이 남아있기 때문에 이를 이용한 교육적 연구는 이제 시작단계라고 볼 수 있으며 이를 장애 아동 교육에 적용한 연구는 극히 적은 상태이다. 그러나 장애아동의 감각적, 학습적 특성과, 햅틱과 함께 사용되는 가상현실의 무한한 가능성을 고려해 볼 때, 장애아동의 교육에 큰 잠재성을 갖는 것은 확실하다. 마지막 부분에서는 햅틱이 장애아동의 교육에 어떻게 활용될 수 있는지 논의하고자 한다.

3. 연구문제3: 햅틱을 이용한 장애아동 교육 콘텐츠의 가능성

햅틱 테크놀로지는 장애아동의 교육을 더욱 효과적이고 효율적으로 할 수 있는 많은 잠재성을 갖고 있다. 현대 교육은 시각과 청각, 대뇌를 이용한 인지적 학습에 크게 의존하고 있다[27]. 따라서 시, 청각 등의 감각 장애를 갖고 있는 학생과 인지적 어려움을 겪는 인지장애 학생, 글씨나 언어를 이해하기 어려워하는 학습장애 학생 등에게 햅틱 감각을 활용하는 학습은 그들의 부족한 점을 보완해줄 수 있는 보완/대안적 교육 도구가 될 수 있다[28].

[표 4]에서는 각 햅틱 장비를 사용한 연구를 다시 장애별로 묶어 정리하였다. 본 논문에서 햅틱 테크놀로지

활용의 가능성을 각 장애별로 묶어 설명하는 이유는, 현재의 장애인의 보조공학 개발과 연구는 지체장애와 시청각을 포함한 감각장애에 치중되어 있기 때문이다 (예: 서울대의 Quality of Life Technology 프로젝트). 그러나 실제로 장애학생의 교육 현장에서 테크놀로지를 가장 필요로 하는 집단은 학습장애, 주의집중장애, 혹은 인지장애를 가진 학생들이다. 이에, 개발자와 교육자 모두에게 햅틱 테크놀로지의 다양한 활용 가능성을 설명하기 위해 장애별로 분리하여 설명하였으며, 이것은 본 논문을 특수교육 전문가들에게 보여주고, 현장에서 요구와 필요, 피드백을 반영한 것임을 명시한다.

표 4. 장애아동 교육에 적용할 수 있는 햅틱테크놀로지

햅틱장비	영역	적용 연구
햅틱게임 컨트롤러	시각 장애	기억력 증진 게임[29]
햅틱 마우스	시각 장애	수학(그래프)[22] 그래픽 인터페이스 접근성 향상을 통한 이러닝 활용 확대[30]
포인트 인터랙션	시각 장애	수학(그래프) 접근성 향상[25]
	인지/학습	가상의 2D, 3D그래픽을 직접 만져봄으로써 추상적 개념을 구체화[19] 시뮬레이션을 이용한 이해도 향상[31] 멘탈 모델 형성 연습[32] 가상 박물관 체험[33]
	건강/지체	일상생활 기술 훈련 혹은 자기 건강관리 훈련 (인술린 주사 자기 주입)[34]
	공동	여가활동으로 사용[35] 여가기술 습득을 위한 훈련용으로도 사용 가능
햅틱 글러브	인지/학습	체험적 학습[36]
	건강/지체	역사적 체험[37], 물건 구입시 체험 후 구입[38]
햅틱의자	공동	청각장애 음악 감상[39] 자폐성장애 및 경시장애 학생의 문제행동 감소 효과[40]
햅틱조끼	건강/지체	운전 시뮬레이션 훈련[41]
햅틱폰	시각 장애	모바일 학습
	인지/학습	어플리케이션 이용한 모바일 학습

3.1 시각장애

시각장애를 가진 학생에게 햅틱 테크놀로지는 그래픽 인터페이스에의 접근 가능성을 월등히 높여준다. 앞서 설명한 것처럼 수학의 그래프, 더 나아가서는 움직이는 다이나믹한 그래프까지도 손으로 느낄 수 있게 해

주며[22][24][25], 화면에서 원하는 것을 더 빨리 찾을 수 있게 함으로 학습의 효율을 높일 수가 있다[30]. 또한 스마트 모바일폰의 등장으로 시각장애인의 접근성 문제가 대두되었지만, 햅틱 기술로 이러한 문제들을 보완하는 방법을 찾는가운데 이러한 기술을 이용한 모바일 학습 테크놀로지도 개발되었다[42].

햅틱 마우스 역시 시각장애인의 교육적 접근성을 높일 수 있다. 그래픽 베이스인 데스크탑에서 마우스 커서가 아이콘에 가까이 갈 때 가장 흔히 쓰이는 접근성 기능은 소리로 그 아이콘의 이름을 컴퓨터가 자동으로 읽어주는 방법이다. 그러나 여기에 햅틱 감각을 더할 경우 일일이 읽어주지 않아도 마우스가 가까이 갔을 때 진동으로 피드백을 줄 수 있다. 그리고 위치상 대략 짐작이 가는 아이콘을 사용자가 클릭하였을 때에만 읽어주게 하는 방식을 사용한다면, 불필요한 청각적 언어 자극을 최소화함으로 사용자의 인지적 부하를 줄여줄 수 있는 대안이 될 수 있다. 컴퓨터 화면의 텍스트와 그래픽에 대한 접근성을 높인 마우스가 점차로 상용화 된다면 더 많은 시각장애인들이 e-learning의 혜택을 누릴 수 있을 기대할 수 있다. 뿐만 아니라, 시각장애인이 더 쉽게 일할 수 있도록 도울 수 있을 것이다.

3.2 인지/학습/발달 장애

한편, 인지장애나 학습장애를 가진 학생의 경우, 2D 그래픽이나 3D 그래픽을 직접 만져보고 움직여봄으로써 이전에는 이해하기 어려웠던 개념들을 더 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어, 앞서 설명되었던 지렛대의 작용[19], 매우 작은 물체의 조작[18]등을 가상현실과 함께 실제처럼 만져보며 할 수 있다면 이러한 과학 교과영역에서의 인지장애 학생들의 접근성을 높여줄 수 있을 것이며, 학습하고자 하는 동기 또한 높여줄 수 있다. 특히 학습장애 학생의 수학 교수에는 구체물이 자주 사용되는데, Singapogu & Burg[43]는 학생들이 좋아하는 음료수 캔 모양의 용기에 액체의 무게를 더했다 뺀다 하는 3-D 시뮬레이션을 Novint Falcon을 이용해 실제로 하는 것과 같은 느낌으로 하게 함으로써 학습장애를 가진 학생들이 덧셈, 뺄셈의 개념과 기술을 학습할 수 있음을 보였다.

햅틱을 이용해 장애학생들이 멘탈 모델을 마음속에 그려보는 훈련을 하도록 도울 수 있다[32]. 햅틱 장비를 이용해 3-D 시뮬레이션으로 조각을 하거나 찰흙을 빚어보는 사전 연습을 할 수 있는데[31], 이런 방법을 통해 시각적 멘탈 모델(mental model) [44]을 만드는 것을 어려워하는 장애를 가진 학생이 앞으로 만들 작품에 대한 상상을 할 수 있게 하고, 구체적으로 예측할 수 있는 연습을 가능하게 한다.

햅틱을 이용한 가상 박물관은 이미 존재한다. The Museum of Pure Form [33], The Interactive Art Museum[37] 등은 학생들이 가상의 박물관의 물체들을 햅틱 장비를 이용해 실제로 만져볼 수 있게 하였다. 그러나 앞으로는 너무 멀리 있거나 가까이 갈 수 없어서 만질 수 없는 것들 - 예를 들면 이집트의 피라미드나 대영박물관의 미라, 중국의 만리장성, 남극의 눈, 바다 깊은 곳에 사는 물고기, 아마존 정글의 열매 등 -을 가상현실이나 웹사이트에서 보면서 동시에 햅틱 장비로 만져보는 것도 가능할 것이다. 새로운 환경이나 물체에 대한 두려움이나 경계심이 많은 자폐성장애 아동이나 인지장애 아동에게 이러한 방법은 새로운 것을 탐구하고 이해하게 할 수 있는 좋은 도구가 될 수 있을 것이다.

3.3 건강/지체 장애

일상생활의 기술을 훈련하거나 행하는 데에도 햅틱은 유용한 도구가 될 수 있다. 예를 들면 포인트 인터랙션 장비는 기타건강장애에 해당되는 소아 당뇨나 천식을 앓는 아동들이 스스로 인슐린 주사를 놓기[34], 혹은 인슐린 펌프를 사용하기, 인헤일러 사용하기 등의 간단한 자기관리 차원의 의료적 기술을 실제감 있게 훈련할 수 있을 것이다. 또한 간단한 기계를 고치는 연습에 사용한다면, 변기 수조 고치기, 하수구 뚫기, 망치질이나 망치 끝을 이용하여 못 빼기 등의 연습도 가능할 수 있다. 또한 장애인의 일상적 쇼핑을 편리하게 해줄 수도 있다. 햅틱 글러브를 이용해 할 수 있는 것들 중 하나는 가상의 천(fabric)을 느껴보는 것인데[38] 아직 연구가 더 되어야 하지만, 햅틱 글러브를 이용해 물건의 크기, 무게, 천의 재질 등을 가상으로 느껴볼 수 있는 기술이

상용화 될 수 있다면 오프라인 쇼핑이 어려운 여러 종류의 신체적 장애를 가진 사람이나 노인, 건강 장애를 가진 사람들의 생활을 편하게 해줄 수 있을 것이다.

햅틱은 장애 학생의 여가기술 교육에도 가능성을 갖고 있는데, 햅틱 장비를 이용해 탁구, 테니스와 같은 볼(ball) 스포츠를 연습할 수 있으며, 특히 당구는 격렬하지 않은 볼 게임으로 공을 조준하여 칠 때의 손의 느낌을 쉽게 재현해낼 수 있어 포인트 인터랙션 장비용 게임으로 적격으로 여겨지고 있다. 이외에도 햅틱 낚시 게임[35], 블록 쌓기 게임[44], 그리고 아직 상용화 되지는 않았지만 햅틱 글러브나 조끼를 이용한 다양한 게임이 가능할 수 있다. 많은 장애 학생들이 사회성 부족이나 자신감의 결여로 인해 사회적 게임을 어려워하는 경우가 종종 있는데, 이러한 게임을 사전 교육 방법을 통해 사회적 게임에 참여할 수 있도록 보조하는 도구로 사용할 수도 있을 것이다.

IV. 결론

Biggs & Srinivasan[28]은 햅틱 인터페이스의 교육적 활용은 다음의 장점이 있다고 주장한다. 첫째, 직접 손으로 해보아야만 하는 과제들을 안전한 환경에서 할 수 있게 해준다. 둘째, 실제감을 높임으로써 학습 효율을 극대화 시킬 수 있다. 셋째, 행동의 경계를 인위적으로 만들어줌으로써 수행 과제를 집중적으로 훈련할 수 있다. 넷째, 인지적 정보 과부하(information clutter)를 줄여줄 수 있다. 본 연구를 통해 이러한 햅틱 인터페이스의 장점은 장애아동의 교육에도 해당될 수 있다는 것을 알 수 있다. 인지적, 감각적, 학습적 어려움을 가진 장애 학생에게 햅틱 인터페이스의 활용은 아직 연구되지 않은 교육적 도구로서의 가능성을 갖고 있다.

최근 국내에서도 햅틱 감각을 이용한 다양한 콘텐츠의 개발이 시도되고 있다([46-48]). 그러나 아쉬운 점은, 이러한 시도들이 일반 성인을 대상으로 사례 연구 혹은 개발 연구의 수준에 머무른다는 점이다. 최근의 교육 연구는 효과를 질적, 양적으로 증명하는 증거기반(evidence-based)의 연구가 중시되고 있다. 따라서 이

러한 개발과 시도들이 실제 교육 현장과 교육 소비자에게까지 이르기 위해서는 학습적, 인지적, 행동적 효과에 대한 측정이 반복적으로 이루어져야 할 것이다. 한편, 아직까지는 햅틱 장비의 가격이 일반 소비자가 구매하기에는 다소 부담스러운 면이 있긴 하지만, 확대되는 시장과 기술의 발달로 가격은 점차로 낮아질 것으로 예상된다. 이에, 햅틱 감각을 이용하는 상품들이 계속 나옴과 교사의 수준에서 구매 가능한 제품들을 이용해 교육적 활용면에서의 아이디어를 제시하고 이를 경험적으로 살펴보는 연구들이 병행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Taylor, S. Lederman, and R. Gibson, Tactual Perception of Texture, Handbook of Perception, Vol III: Biology of Perceptual Systems, Academic, 1973.
- [2] V. Hayward, O. R. Astley, M. Cruz-Hernandez, D. Grant, G. Robles-De-La-Torre, G. "Haptic Interfaces and Devices", Sensor Review. Vol.24, No.1, pp.16-29. 2004.
- [3] J. Piaget, B. Inhelder, *A Child's Conception of Space*, Norton, 1967.
- [4] H. Gardner, *Intelligences Reframed: Multiple Intelligences for the 21st Century*, Basic, 2000.
- [5] D. Haury and P. Rillero, *Perspectives of Hands-on Science Teaching*, ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics, and Environmental Education, 1994.
- [6] D. Kolb, *Experiential learning: Experience as the Source of Learning and Development*, Prentice Hall, 1984.
- [7] T. Bredderman, "Effects of Activity-Based Elementary Science on Student Outcomes: A Quantitative Synthesis," Review of Educational Research, Vol.53, No.4, pp.499 - 518, 1983.
- [8] P. M. Stohr-Hunt, "An Analysis of Frequency

- of Hands-on Experience and Science Achievement," *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.33, No.1, pp.101-109, 1996.
- [9] O. M. Amaral, L. Garrison, and M. Klentschy, "English Learners Increase Achievement Through Inquiry-Based Science Instruction," *Bilingual Research Journal*, Vol.26, No.2, pp.213-239, 2002.
- [10] J. Minogue and M. G. Jones, "Haptics in Education: Exploring an Untapped Sensory Modality," *Review of Educational Research*, Vol.76, No.3, pp.317-34, 2006.
- [11] M. Srinivasan and C. Basdogan, "Haptics in Virtual Environments: Taxonomy, Research Status, and Challenges," *Computers & Graphics*, Vol.21, No.4, pp.393-404, 1997.
- [12] T. Massie and J. Salisbury, The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects, *ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 1994.
- [13] J. K. Salisbury and M. A. Srinivasan, "Phantom-Based Haptic Interaction with Virtual Objects," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.17, No.5, pp.6-10, 1997.
- [14] T. Massie, *Initial Haptic Explorations with the Phantom: Virtual Touch Through Point Interaction*. Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [15] C. Shahabi, L. Kaghazian, S. Mehta, A. Ghoting, G. Shanbhag, and M. McLaughlin, Analysis of Haptic Data for Sign Language Recognition, *First International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (UAHCI)*, 2001.
- [16] H. Tan, R. Gray, J. Young, and R. Traylor, "A Haptic Back Display for Attentional and Directional Cueing," *Haptics-e*, Vol.3, No.1, pp.1-20, 2003.
- [17] S. Nanayakkara, E. Taylor, L. Wyse, and S. H. Ong, *An Enhanced Musical Experience for the Deaf: Design and Evaluation of a Music Display and a Haptic Chair*, *Human Factors in Computing Systems*, 2009.
- [18] G. Jones, A. Bokinski, T. Tretter, A. Negishi, D. Kubasko, R. Superfine, and R. M. Taylor, *Atomic Force Microscopy with Touch: Educational Applications, Science, Technology and Education of Microscopy: An Overview*, *Formatex*, 2003.
- [19] E. N. Wiebe, J. Minogue, M. G. Jones, J. Cowley, and D. Krebs, "Haptic Feedback and Students' Learning about Levers: Unraveling the Effect of Simulated Touch," *Computers & Education*, Vol.53, pp.667-676, 2009.
- [20] R. Williams II, M. Chen, J. Seaton, J. "Haptics-Augmented Simple Machines Educational Tutorials," *Journal of Science Education and Technology*, Vol.12, No.1, pp.16-27, 2003.
- [21] E. Wies, J. Gardner, S. Modhrain, C. Hasser, and V. Bulatov, "Web-based Touch Display for Accessible Science Education," *LNCS*, Vol.2058, pp.52-60, 2001.
- [22] M. R. McGee, P. D. Gray, and S. A. Brewster, *Haptic Perception of Virtual Roughness*, *Human Factors in Computing Systems*, 2001.
- [23] Yu, W. and Ramloll, R. Brewster, S. A. Haptic graphs for Blind Computer Users. *LNCS*, Vol.2058, pp.41-51, 2001.
- [24] F. L. Van Scoy, T. Kawai, M. Darrah, and C. Rash, "Haptic Display of Mathematical Functions for Teaching Mathematics to Students with Vision Disabilities: Design and Proof of Concept," *LNCS*, Vol.2058, pp.31-38, 2001.

- [25] F. Van Scoy, D. McLaughlin, J. Odom, R. Walls, and M. Zeppuhar, "Touching Mathematics: a Prototype Tool for Teaching Pre-Calculus to Visually Impaired Students," *Journal of Modern Optics*, Vol.53, No.9, pp.1287-1294, 2006.
- [26] R. Palluel-Germain, F. Bara, A. Hillairet de Boisferon, B. Hennion, P. Gouagout, and E. Gentaz, "A Visuo-Haptic Device - Telemaque - Increases the Kindergarten Children's Handwriting Acquisition," *IEEE WorldHaptics*, pp.72-77, 2007.
- [27] <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/ELI7029.pdf>,
- [28] S. J. Biggs and M. A. Srinivasan, *Haptic Interfaces, Handbook of Virtual Environments*, Lawrence Erlbaum, 2002.
- [29] R. Raisamo, S. Patomäki, M. Hasu, and V. Pasto, "Design and Evaluation of a Tactile Memory Game for Visually Impaired Children," *Interacting with Computers*, Vol.19, No.2, pp.196-205, 2007.
- [30] A. Hardwick, J. Rush, S. Furner, and J. Seton, *Feeling It as Well as Seeing It - Haptic Display within Gestural HCI for Multimedia Telematics Services*, Gesture Workshop, 1996.
- [31] H. Chen, H. Sun, *Real-time Haptic Sculpting in Virtual Volume Space*, Virtual Reality Software and Technology, 2002.
- [32] M. Butler, P. Neave, *Object Apperication Through Haptic Interaction*, Proceedings Ascilite Melbourne, 2008.
- [33] [http:// pureform.org](http://pureform.org).
- [34] A. Okraïneç, M. Farcas, O. Henao, I. Choy, J. Green, M. Fotoohi, R. Leslie, D. Wight, P. Karam, N. Gonzalez, and J. Apkarian, "Development of a Virtual Reality Haptic Veress Needle Insertion Simulator for Surgical Skills Training," *Studies In Health Technology And Informatics*, Vol.142, pp.233-238, 2009.
- [35] <http://www.virtualpet.com/vp/media/fishing/fishing.htm>.
- [36] P. Ramsamy, A. Haffegée, and V. Alexandrov, *Generic Control Interface for Networked Haptic Virtual Environments*, Computational Science, 2007.
- [37] M. L. McLaughlin, N. Ellison, J. Lucas, S. G. Goldberg, *The Interactive Electronic Exhibition: Restructuring the Boundaries Between Museums and Their Constituencies*, International Communication Association, 1997.
- [38] N. Magnenat-Thalmann, P. Volino, I. Bonanni, M. Summers, M. Bergamasco, F. Salsedo, and F. Wolter, "From Physics-Based Simulation to the Touching of Textiles: The HAPTEX Project," *The International Journal of Virtual Reality*, Vol.6, No.3, pp.35-44, 2007.
- [39] W. Verplank, *Haptic Music Exercises*, New Interfaces for Musical Expression, 2005.
- [40] I. O. Lundqvist, G. Adersson, and J. Viding, "Effects of Vibroacoustic Music on Challenging Behaviors in Individuals with Autism and Developmental Disabilities," *Research in Autism Spectrum Disorders*, Vol.3, No.2, pp.390-440, 2008.
- [41] T. Liukkonen, "Human reaction times as a response to delays in control systems: Notes in vehicular context," Retrieved from <http://www.measurepolis.fi/alma/ALMA%20Human%20Reaction%20Times%20as%20a%20Response%20to%20Delays%20in%20Control%20Systems.pdf>, 2009.
- [42] T. Mehigan, *Harnessing Accelerometer Technology for Inclusive Mobile Learning*, Mobile HCI, 2009.
- [43] R. Singapogu and T. Burg, *Haptic Virtual Manipulatives for Enhancing K-12 Special*

Education, ACM Southeast Regional, 2009.

- [44] D. Katz, *The World of Touch*, Erlbaum, 1989.
- [45] <http://www.sensable.com/industries-games.htm>
- [46] 박소현, "햅틱 디바이스를 활용한 문화유산 가상 현실 콘텐츠 개발 - 금산사 콘텐츠 중심으로", 한국디자인포럼, 제26권, 4호, pp.245-254, 2010.
- [47] 유용희, 조윤혜, 최근석, 성미영, "햅틱 상호작용을 제공하는 가상 전시공간 개발", 정보과학회지, 제13권, 제6호, pp.412-416, 2007.
- [48] 김래현, 박세형, "햅틱 인터페이스를 이용한 가상 조각 시스템", 정보과학회지, 제31권, 제12호, pp.682-691, 2004.

저 자 소 개

권 정 민(Jung-Min Kwon)

정회원



- 2000년 2월 : 이화여자대학교 특수교육과(학사)
- 2002년 5월 : University of Wisconsin-Madison 교육공학(석사)
- 2009년 5월 : University of Wisconsin-Madison 특수교육(철학박사)

▪ 현재 : 이화여자대학교 특수교육과 연구교수

<관심분야> : 기능성 게임, 게임기반 교육, 가상현실, 보조공학, 특수교육

남 보 람(Bo-Ram Nam)

준회원



- 2007년 2월 : 이화여자대학교 특수교육과(학사)
- 현재 : 이화여자대학교 특수교육학과 석사과정

<관심분야> : 영아 조기개입, 특수교육공학