

## 발달장애아동을 위한 진동감, 굳기감, 온열감 장치

임 다 미<sup>1</sup> · 윤 인 호<sup>2</sup> · 김 상 연<sup>2</sup> · 정 구 철<sup>2\*</sup><sup>1</sup>한국기술교육대학교 온라인평생교육원<sup>2</sup>한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

# A Vibrotactile, Kinesthetic, and Thermal device for Developmental Disorder Children

Tami Im<sup>1</sup> · Inho Yoon<sup>2</sup> · Sang-Youn Kim<sup>2</sup> · Goo-cheol Jeong<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Online Lifelong Education Institute, KOREATECH, Cheon-An, Korea<sup>2</sup>Department of Computer Engineering, KOREATECH, Cheonan 330-080, Korea

### [요 약]

본 논문의 목적은 발달장애아동들을 대상으로 하여 사용자들이 교육 플랫폼을 터치했을 때 다양한 햅틱 감각을 경험할 수 있는 교육 플랫폼을 설계·개발하는 데 있다. 본 연구에서 제안하는 상호작용형 교육 플랫폼은 굳기감 제시 모듈, 진동감 제시 모듈, 온열감 제시 모듈과 제어 모듈로 구성되어 있다. 제안하는 교육 플랫폼은 충분한 세기의 압감, 진동감, 온도를 생성하고, 이를 사용자가 잘 느낄 수 있도록 설계하는 데에 중점을 두었다. 개발된 교육 플랫폼의 성능을 알아보기 위해 온열감, 진동감, 압감에 대한 사용자 실험을 진행하였고, 세 가지 모듈 모두 안전하게 교육 플랫폼으로 활용 가능한 범위에서 작동하는 것으로 나타났다.

### [Abstract]

The primary goals of this paper are to design an interactive education platform conveying a variety of haptic sensations to developmental disorder children when they touch the education platform. The proposed interactive education platform is composed of a kinesthetic module, a vibrotactile module, a thermal module, and a controller. The design focuses of the proposed education platform were to create sufficiently large kinesthetic forces, vibrations, and temperatures and to convey them to users. We have conducted experiments for evaluating the proposed system and found out three modules function safely and effectively as an educational platform.

색인어 : 운동 감각, 촉감, 상호작용형 교육 플랫폼, 온열감, 발달장애

**Key word** : Kinesthetic feeling, Tactile sensation, Interactive education platform, Thermal sensation, Developmental Disorder

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.7.1435>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 19 September 2017; Revised 17 October 2017

Accepted 25 November 2017

\*Corresponding Author; Goo-Cheol Jeong

Tel: +82-041-560-1181

E-mail: jeong@koreatech.ac.kr

## I. 서론

2015년 한국보건사회연구원이 발표한 통계 자료에 따르면 17세 이하 장애 아동·청소년 중 가장 높은 비율을 차지하는 유형은 자폐장애 (60.34%)와 지적장애 (19.71%) 순으로 나타났다[1]. 서울시 장애인 홈페이지에 따르면 자폐장애와 지적장애는 발달장애의 한 유형인 것으로 분류하고 있어[2], 이를 종합하면 장애 아동 중 발달장애아동이 차지하는 비율이 상당히 높은 것을 알 수 있다.

발달장애아동들은 모든 발달이 전반적으로 지체되어 있으며 특히 감각/운동 기능과 지각 기능 면에서 두드러진 지연을 보인다[3]. 이와 같은 감각/운동 기능과 지각 기능 지체로 인하여 그 시기에 겪어야 할 적절한 행위 (옹알이, 움직임 등) 들을 제대로 수행하지 못하며, 이런 현상들이 반복되면서 성숙, 학습, 사회적응과 같은 생활 전반에 어려움을 겪게 된다.

그러므로 발달장애아동들에게는 감각/운동 기능과 지각 기능 발달을 위한 교육이 매우 중요하여, 이를 촉진시키기 위해서는 촉각정보를 기반으로 한 감각/운동 기능과 지각 기능의 훈련이 선행되어야 한다.[3-6] 효과적인 감각/운동 기능 및 지각 기능 향상을 위해서는 발달장애아동들에게 시/촉각 및 운동기능을 종합적으로 제공할 수 있는 교육도구의 개발이 필요하다.

현재 발달장애 아동을 위한 감각/운동 기능과 지각 기능 교육은 전문 교사와 아동 간의 일대일 반복 수업을 중심으로 진행되고 있다. 기존의 교육 방법은 발달장애아동들의 흥미를 유발하기가 어렵고, 아동들이 직접 감각을 사용하며 교육받지 않기 때문에 교육 효과가 실제로 나타나기까지는 수많은 반복이 수반되어야 하는 어려움이 있다. 이와 같은 어려움을 해소하기 위해 최근 특수 교육 분야에 다양한 유형의 교육 매체가 개발 및 활용되고 있다.

뉴미디어를 활용한 국내 특수 교육 연구 동향을 분석한 이현기, 양장훈[7]에 따르면 주제별로는 사회적 기술에 관련된 연구가 가장 많이 나타났고, 자아 존중감 향상, 집중력 향상, 언어, 학습지원시스템, 놀이에 관련된 연구가 진행되고 있는 것으로 나타났다. 매체별로는 모바일, PC(Personal Computer), 로봇, VR(Virtual Reality) 활용 등 다양한 매체를 활용한 연구가 진행되고 있는 것을 알 수 있다[7]. 해외에서도 많은 연구를 통해 컴퓨팅 테크놀로지를 활용한 교육은 발달장애아동들에게 효과적인 교육 방법으로 제안되어왔다[8-9].

이현기, 양장훈[7]은 사회적 증진을 위한 스토리텔링 기반 플래시 콘텐츠를 개발하여 발달장애아동들이 그림책과 같은 이야기 속에서 선택의 상황을 겪고 스스로의 선택에 따라 다른 결과를 경험할 수 있도록 하였고, 파일럿 테스트 결과 발달장애아동의 흥미 유발과 집중력 향상에 도움이 되는 것을 관찰하였다[7]. 강정배 등[10]은 언제 어디서나 인터넷 접속을 통해 PC나 스마트폰 등을 이용해서 실행할 수 있는 N-스크린 서비스 형태의 발달장애 아동용 놀이활동교육 콘텐츠를 개발하였고, 3명의 아동에게 적용해본 결과 개발된 콘텐츠가 교사와 학생 간의 상호작용 매개체로 활용 될 수 있음을 발견하였다[10]. 이현진 등[11]은 발달장애아동들의 감각통합치료, 사회적 훈련, 협응능력 측정과 관

련된 VR-Tangible Interaction 치료 시스템을 디자인, 개발하였다. 개발된 프로토타입을 기반으로 발달장애아동들을 대상으로 임상 테스트를 한 결과 기존의 감각통합 치료 적용에 어려움을 보였던 아동들이 VR-Tangible Interaction 치료에는 잘 적응하는 것으로 관찰되었고, 치료 효과에 관해서도 긍정적인 효과를 예측하게 하는 정성적, 결과를 확인한 바 있다[11]. Ke 와 Im은 발달장애 아동의 사회적 교육을 위한 시뮬레이션 기반 교육 환경을 개발하여 아동들이 교육을 마친 후 사회적 자신감과 여러 상호작용, 대화 수행 부분에서 향상되는 결과를 얻었다[12]. 자폐 스펙트럼 장애 학생을 대상으로 하는 증강현실기반 교육 콘텐츠 연구 동향 분석 연구에서는 모바일 기기를 활용한 연구와 초등학교 대상 연구가 주를 이루는 것으로 나타났다[13]. 고성영 등[14]은 발달장애아동들의 자기주도학습과 창의성 향상을 위해 불빛, 온열감, 진동 자극 등을 제공하는 햅틱 인터랙션 시스템을 개발한 바 있으나, 이 시스템은 제어가 별도로 존재하여 컨트롤이 쉽지 않고 발달장애아동들이 활용하기에는 부피가 크다는 한계점을 가지고 있다.

기존의 연구에서 개발된 교육용 콘텐츠들은 장애아동들에게 다양한 경험을 제공하고, 효과적인 학습을 가능하게 하지만, 주로 보고 듣는 위주의 콘텐츠로는 감각통합교육을 하기 힘들고 크기나 작동 방법 등의 제약점으로 인해 발달장애 아동들이 장난감처럼 쉽게 가지고 학습하는 것은 한계가 존재한다. 그러므로 본 연구에서는 감각/지각적 자극과 우발적 학습을 통해 신체 각 부위의 운동 기능을 향상시키고 직관적인 UX(User Experience)를 통해 놀면서 집중력 있게 교육을 할 수 있는 완구형 통합감각교육시스템을 개발하였다. 제안하는 시스템을 이용하면, 발달장애아동들의 우발적 행동 경험을 학습으로 연결시킬 수 있으며 온열감/진동감/균기변화 등 다양한 촉각을 통해 발달 장애아동들의 주의집중력을 향상시킬 수 있다.

본 연구에서 제안하는 통합감각교육시스템은 따뜻하고 차가운 느낌을 제공해주는 온열감 제시 모듈, 딱딱하고 무른 정도를 제공해주는 근감각 제시 모듈, 떨림을 제공해주는 진동감 제시 모듈, 그리고 이들을 제어하기 위한 제어 모듈로 구성하였다. 따뜻하고 차가운 온도를 생성하기 위한 온열감 제시모듈은 펠티어 소자와 소형 온도센서를 이용하여 구성하였다. 진동감 제시모듈은 휴대용기기에서 많이 사용되는 선형 공진 모터 (Linear Resonant Actuator, LRA)를 이용하였다. 그리고 딱딱하고 무른 정도를 생성하는 근감각 제시모듈은 자기유변유체를 (Magnetic Rheological Fluid, MR 유체) 이용하여 구현하였다.

## II. 시스템 구성

기존의 PC 기반의 소프트웨어 콘텐츠들은 장애아동들이 쉽게 활용하기 어렵고 감각통합 교육을 지원하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 장애아동들이 흥미를 가질 수 있도록 감각, 지각적 자극과 우발적 학습을 통해 신체 각 부위의 운동 기능을 향상을 시키고 학습준비기능을 향상시킬 수 있는 소프트웨어가 탑재된 임베디드 키트 형태의 통합감각시스템을

개발하였다. 개발된 통합감각시스템은 그림 1과 같이 2개의 근감각 제시 모듈, 2개의 온열감 제시 모듈, 2개의 진동감 제시모듈로 구성하였다.

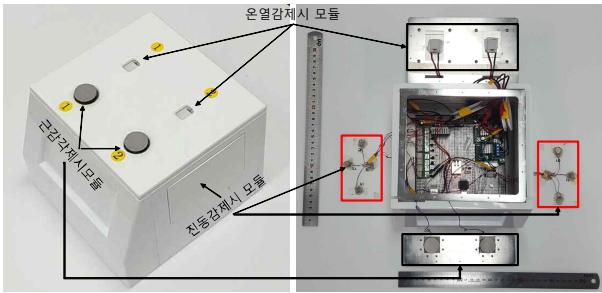


그림 1. 통합감각시스템의 하드웨어  
Fig. 1. Hardware Design of the Proposed System

근감각 제시모듈은 발달장애 아동에게 굳기 감각(딱딱한 정도)을 생성할 수 있는 액츄에이터를 개발함으로 구축되었고, 온열감제시모듈은 펠티어 소자를 이용하여 구성되었다. 그리고 진동감제시모듈은 통합감각시스템의 좌측과 우측에 각각 4개의 리니어 공진 진동모터를 배치하여 구축되었다. 제어기는 ARM Cortex core를 장착한 마이크로프로세서에 여러 가지 주변 I/O들을 부착함으로서 개발되었다. 제어 시 발생하는 노이즈 및 외란을 차단 및 제거하기 위해 저역 통과 필터(Lowpass filter)를 설계하여 연결하였으며, 순간적인 과도한 전력 소비로 인한 시스템 정지를 방지하기 위해 여러 개의 커패시터들을 병렬로 연결하여, 사용하는 전원 중 일부를 커패시터에 저장하도록 하였다. 그림 1은 근감각 제시모듈, 온열감 제시 모듈, 진동감 제시 모듈로 구성된 통합감각시스템을 보여 주고 있다. 진동모터는 통합감각시스템의 양쪽 펠림판에 4개씩 부착되었으며 근감각 생성 액츄에이터는 발달장애아동들이 누르기 좋은 위치인 윗면에 설치하였다. 온열감 액츄에이터 또한 아동들이 편하게 손을 올려 놓을 수 있는 윗면에 설치하였다.

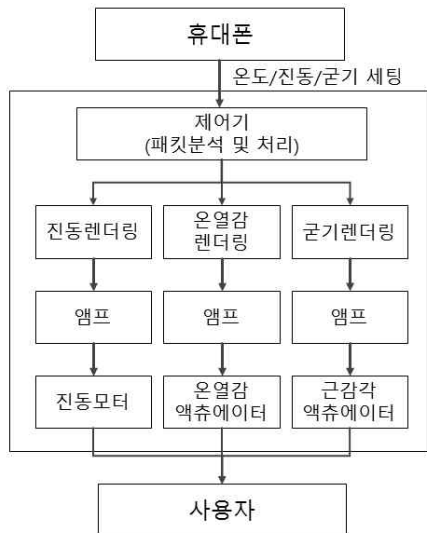


그림 2. 통합감각시스템의 신호 흐름도  
Fig. 2. Signal flow of the proposed system

그림 2는 제안하는 시스템의 신호흐름을 보여준다. 휴대폰에 세팅된 진동/온도/굳기값이 제어기로 무선 통신을 통해서 전달되며, 제어기는 전달받은 패킷을 분석하고 처리하여 진동 렌더링 모듈을 통해 진동모터를 구동하여 사용자에게 다양한 진동느낌을 전달한다. 세팅된 온도값 역시 무선통신을 통해 마이크로프로세서로 전달되어 분석되고 비례적분미분제어기(Proportional Integral Derivative(PID) Controller)를 거쳐 앰프를 통해 온열감 액츄에이터로 전달되어 사용자에게 따뜻하거나 차가운 느낌을 전달한다. 굳기값 역시 마이크로프로세서로 전달되어 버튼을 원하는 굳기로 세팅되어 사용자가 버튼을 누를 때 딱딱한/말랑말랑한 정도를 전달받는다.

### III. 햅틱 감각 생성

#### 3-1 진동감 제시

본 연구에서 진동을 생성하기 위해 자석을 포함한 특정 질량체와 솔레노이드로 구성된 선형 공진 모터(LRA, Linear Resonant Actuator)를 사용하였다. 선형 공진모터의 경우 솔레노이드에 가해지는 입력전압의 주파수에 따라 특정 질량체가 솔레노이드와 상호작용하면서 위/아래로 움직이며 주파수가 공진주파수와 같아지면, 선형공진모터에서 진동이 발생한다. 본 연구에서는 주파수를 조정하기 위해 액츄에이터로 들어가는 펄스신호를 생성하여 주파수를 변경하였다. 이와 같이 발생한 진동은 특정점에서 판을 떨리게 한다. 본 연구에서는 진동이 특정 장소에서 발생하여 원하는 방향으로 이동하는 느낌을 전달해주는 동적진동렌더링 기법[15]을 적용한다. 본 연구에서 적용한 동적진동렌더링 기법을 설명하기 위해, 그림 3과 같이 진동이 왼쪽에서 오른쪽으로 흘러가는 느낌을 발생시키는 방법을 생각해보자. 이와 같은 1차원 이동진동의 느낌을 생성하기 위해 두 개의 모터의 전압크기와 입력지연시간이 조정된다. 우선 오른쪽 모터를 먼저 구동한 후 왼쪽 모터를 구동하면 파형의 합성이 디바이스의 왼쪽부근에서 발생하고 두 모터를 동시에 구동하면 파형의 합성이 디바이스의 중앙에서 발생한다. 또한 왼쪽 모터를 먼저 구동한 후 오른쪽 모터를 구동하면 파형의 합성이 디바이스의 오른쪽에서 발생한다. 이와 같이 모터의 구동시간 차이를 조정하면 특정점에서 다른 곳으로 이동하는 진동을 생성할 수 있다.

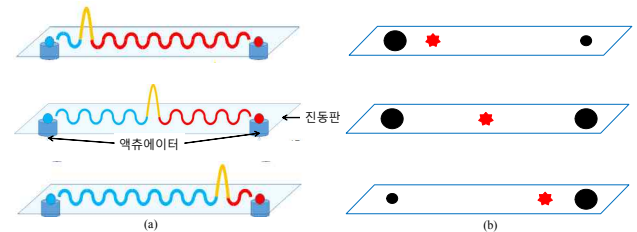


그림 3. 동적진동렌더링기법의 원리 (a) 제어 시간을 조정 (b) 터널효과를 적용

Fig. 3. Principle of dynamic vibration flow (a) Control operating time (b) apply funneling effect

조금 더 확실하게 진동의 흐름을 표현하기 위해 터널효과를 이용하였다. 터널효과란 두 개의 자극이 일정시간 간격 내에 제시되면 사람은 두 개의 자극을 이산 자극이 아니고 하나의 자극으로 인식되는 것을 의미한다. 이런 터널효과는 가해지는 두 자극의 크기에 따라 인식되는 자극의 위치가 달라지는데 그림 3(b)와 같이 왼쪽 자극이 오른쪽 자극에 비해 더 강하게 가해지면 왼쪽 자극의 가까운 곳에 자극이 발생 되었다고 인식하고, 같은 크기로 두 자극이 가해지면 두 자극의 정 가운데에서 자극이 가해진 것처럼 인식한다.

마지막으로 오른쪽 자극이 왼쪽 자극보다 더 강하게 주어지면 진동판의 오른쪽에 진동이 가해진 것과 같이 인식한다. 이와 같은 방법을 이용하여 본 연구에서는 사용자의 설정에 따라 진동이 왼쪽에서 오른쪽, 오른쪽에서 왼쪽, 위에서 아래, 아래에서 윗방향으로 이동하는 진동감제시 모듈을 개발하였다.

### 3-2 굳기감 제시

본 연구에서는 다양한 굳기를 표현하기 위하여 자기장에 반응하는 스마트 물질인 자기유변유체(MR fluid)를 이용하였다. 자기유변유체는 실리콘 오일에 매우작은 마이크로 또는 나노 크기의 철 입자들이 균일하게 분포되어 있는 유체이며, 자기장을 인가하면 자속선을 따라 철 입자들이 나란히 정렬하여 자기 체인을 형성하여 굳기 정도가 달라지는 성질을 가지고 있다. 일반적으로 자기유변유체에는 흐름 모드(Flow mode), 전단 모드(Shear mode), 압축 모드(Squeeze mode)라는 세가지의 동작 모드를 가지고 있다. 흐름 모드(Flow mode)는 자기체인이 형성된 구간에 유체의 흐름이 발생되었을 때 유체의 흐름을 방해하는 역감이 생성되는 상태이며, 전단 모드(Shear mode)는 두 평행 판 사이에 자기 체인이 형성되어있을 때 두 판이 수평적 움직임에 반발하는 힘이 생성되는 상태이다. 그리고 압축모드(Squeeze mode)는 두 평행한 판 사이에 자기 체인이 형성되어있을 때 두 판의 압축에 반발하는 힘을 생성할수 있는 상태이다.

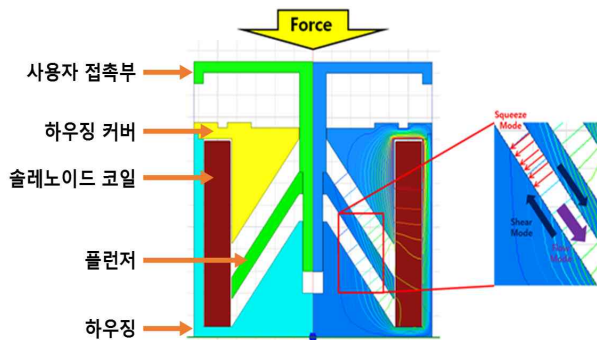


그림 4. 제안하는 굳기제시부의 구조 및 자기 패스 시뮬레이션  
 Fig. 4. Structure of the developed stiffness part and a simulation for its magnetic flux path

자기유변유체를 이용하여 액츄에이터를 개발할 때 가장 중요한 것은 자기유변 유체가 가지고 있는 세 가지 동작 모드를

모두 이용할 수 있도록 액츄에이터를 설계하는 것이다. 본 연구에서는 그림 4와 같이 자기유변 유체의 3가지 동작모드가 모두 발생하여 저항력이 극대화 될 수 있는 구조를 제안한다. 제안하는 굳기감 제시모듈은 사용자 접촉부, 자기유변유체의 차폐 및 자기 패스를 만들어주는 하우징커버와 하우징, 자기장 생성을 위한 솔레노이드 코일, 저항 힘 생성을 위한 플런저로 구성되었다. 또한 유한요소법 분석을 통하여 제안하는 굳기제시부의 자속선 시뮬레이션을 수행함하였으며, 굳기제시부에서 자기 포화 및 자기 누수가 발생하지 않고, 솔레노이드 코일 내부로 자속선이 원활하게 흐르는 것을 확인하였다. 그림 5는 25mm x 25mm x 19.5mm의 크기로 제작한 굳기 제시부이다.

사용자가 굳기제시부의 접촉 판을 누르게 되면 굳기제시부 내부에 채워져 있는 자기유변유체의 흐름이 발생하며, 플런저 아래에 채워져 있던 자기유변유체들이 압력에 의해 플런저 위쪽으로 이동하게 된다. 이때 솔레노이드에 전압을 가하여 자기장을 생성하면 자기유변유체의 점성이 굳어지면서 유체의 흐름이 방해되며 이로인해 사용자가 접촉판을 누를 때 반력이 달라진다. 그러므로 솔레노이드 코일에 인가되는 전압에 따라 다양한 굳기를 표현할 수 있다.

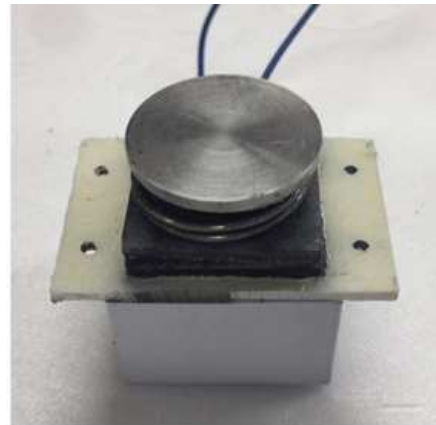


그림 5. 개발한 굳기제시부  
 Fig. 5. Developed stiffness part

### 3-3 온열감 제시

일반적으로 온열감 정보는 사용자가 물체를 접촉할 때, 물체가 차가운지, 뜨거운지, 그리고 물체의 열에 의해 자신의 피부가 다칠 수 있는지 등을 인지할 수 있는 중요한 감각 수단이다. 이러한 온열감은 자라면서 자연스럽게 경험을 통해 숙련되지만, 장애가 있는 아동의 경우 숙련되는 속도가 느리고, 열에 의해 상해를 입는 위험에 대한 인지가 부족한 경우가 존재한다.

그러므로 온도의 변화에 따라 물체를 인지하고, 열에 의한 위험성 감지 등을 훈련할 수 있는 온열감제시부를 개발하고 통합감각시스템에 탑재하였다. 개발한 온열감 제시부는 마이크로프로세서, 펠티어 소자, 온도 센서의 서보 제어 구조로 구성하였다. 마이크로프로세서의 제어에 의해 펠티어 소자는 온도를 생성하고, 펠티어 소자에 부착된 온도 센서는 실시간으로 표



면의 온도를 측정한다. 그리고 측정된 온도를 바탕으로 마이크로프로세서는 다음 시간에 표현할 온도를 계산하여 펠터어 소자를 제어하였다.

본 연구에서는 또한 교육환경의 요구에 따라 상해를 입지 않는 범위의 온도를 표현할 수 있고, 온도의 변화를 표현할 수 있는 온열감 렌더링 기법도 개발하였다. 일반적으로 접촉하는 물체의 물질적 특성에 따라 두 온도가 까지 도달하는 시간이 다르게 소요되므로 이러한 특징을 이용하여 온도를 제어하였다. 이를 통해 사물의 온도변화를 훈련할 수 있는 온열감 제시 장치를 제작하여 사물의 경험을 배우는 발달장애 아동들에게 효과적이고 안전한 감각 훈련 환경을 구축하였다.

#### IV. 실험 및 평가

##### 4-1 온열감 실험

온열감을 표현할 때 중요한 것은 목표온도까지 도달하는 시간과 도달한 온도를 유지하는 것이다. 온열감 제시부의 목표온도까지 응답하는 시간과, 도달한 목표 온도 유지 성능을 파악하기 위해 실내온도(25℃)에서 시작하여 온열감 제시부가 표현하는 최저온도(15℃)를 표현하고, 다시 실내온도(25℃)를 표현하고, 마지막으로 온열감 제시장치가 표현하는 최고온도(45℃)를 표현하는 실험을 수행하였다. 그림 6은 온열감 제시장치의 목표온도까지 응답하는 시간과, 도달한 목표 온도 유지 성능이다.

그래프의 x축은 온열감 제시장치를 구동하는 시간이며, y축은 온열감 제시장치의 목표온도 및 현재온도이다. 그래프 내부의 검정색 실선은 PC가 명령한 목표온도(Target Temp)이며 빨간색 실선은 온열감 제시장치 표면에 부착된 센서가 감지한 현재 온도(Real Temp)이다.

그림 6(a)는 온열감 제시 장치가 실내온도(25℃)에서 온열감 제시장치가 표현하는 최저온도(15℃) 까지 응답하는 시간을 측정된 결과이며, 응답시간은 약 1.7초임을 알 수 있다. 그림 6(b)는 PC가 세팅한 목표온도인 15℃를 유지하고 있는 온열감 제시부의 온도 유지 성능 실험의 결과이며 목표 온도 대비 최대 ±0.42℃의 온도차이를 가지고 있음을 보여준다. 그림 6(c)는 온열감 제시장치의 최저온도(15℃)부터 실내온도(25℃)까지 응답하는 시간 (1.8초)을 측정된 결과이며 그림 6(d)와 같이 약 ±0.49℃ 이내에서 온도를 잘 유지하고 있음을 보여주고 있다.

또한 실내온도(25℃)부터 온열감 제시장치가 표현하는 최고 온도(45℃) 까지 응답하는 시간 역시 약 1.8초 정도가 소요되었으며 그림 6(e)에서와 같이 온도의 최대 오차는 ±0.47℃ 이내임을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서 개발한 모듈은 2초 이내에 목표 온도에 잘 도착하고 온도를 유지하고 있을 때 최대 오차가 ±1℃ 이내임을 알 수 있다.

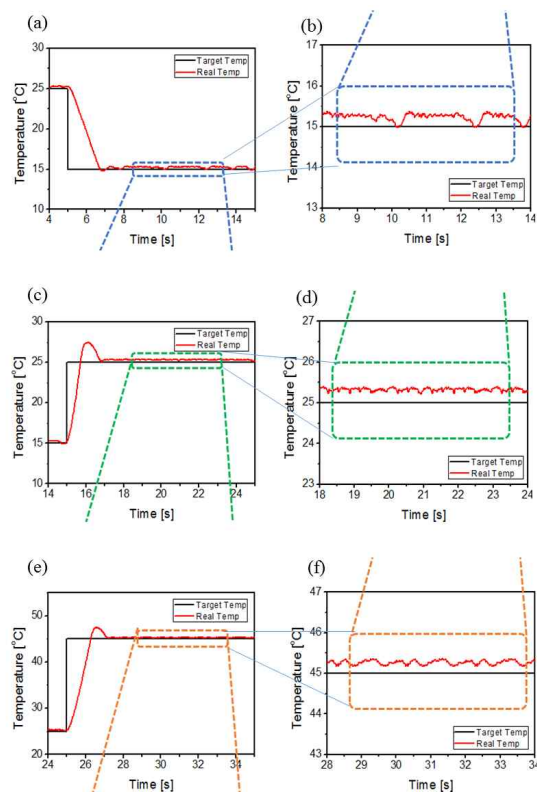


그림 6. 온열감 실험 결과  
Fig. 6. Result of the thermal information

##### 4-2 압감 실험

개발한 공기제시부의 입력전압에 따른 저항력을 측정하기 위하여 그림 7과 같은 실험환경을 구축하였다. 원통형의 가이드 내에 개발한 공기 제시부를 넣고 공기 제시부의 사용자 접촉부가 내려갈 때까지 그 위에 질량 체들을 올려놓았다.

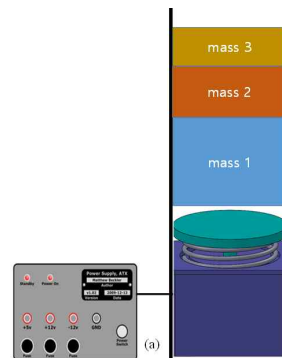


그림 7. 압감측정을 위한 실험 환경  
Fig. 7. Experimental setup for resistive force

공기 제시장치에 전압과 전류를 가하지 않았을 때에는 6.7N의 저항력이 생성되었고, 0.6A의 전류를 인가하였을 때에는 약 29N의 저항력이 생성된다. 또한 전류를 증가시킬수록 저항력도 역시 증가함을 알 수 있다.

### 4-3 진동감 실험

진동감 제시장치가 표현하는 동적 진동의 방향을 사용자가 구분할 수 있는지 확인하기 위해 사용자가 진동판을 손바닥으로 접촉한 상태에서 동적진동을 생성하였다. 그리고 4가지의 방향(앞, 뒤, 위, 아래)으로 동적진동을 생성하고 피 실험자에게 방향을 대답하게 하였다.

4개의 방향에서 ‘앞’은 진동이 손목에서 시작해서 손가락 끝으로 이동하는 방향으로, ‘뒤’는 진동이 손가락 끝에서 시작해서 손목으로 이동하는 방향으로, ‘위’는 진동이 손날에서 시작해서 엄지손가락으로 이동하는 방향으로, 그리고 ‘아래’는 진동이 엄지손가락에서 시작해서 손날로 이동하는 방향으로 정의하였다. 25세에서 32세 사이의(평균나이 26세) 11명의 실험자들이 본 실험에 참가하였으며 피 실험자는 귀마개를 이용하여 진동으로 인한 소음을 차단하였다.

**표 1.** 피실험자의 동적 진동 방향 구분 정확도 평균값  
**Table 1.** Mean of Classification Accuracy for Participants' Dynamic Vibration

방향	앞	뒤	위	아래
정확도	100%	81.8%	100%	90.9%

## V. 결론

발달장애아동을 위한 감각/운동 기능과 지각 기능 교육은 전문 교사와 아동 간의 일대일 반복 수업을 중심으로 진행되고 있다. 기존의 교육 방법은 아동들의 흥미를 유발하기가 어렵고, 아동들이 직접 감각을 사용하며 교육받지 않기 때문에 교육 효과가 실제로 나타나기까지는 수많은 반복과 시간이 수반되어야 하는 어려움이 있다. 이를 해소하기 위해 특수교육 분야에 다양한 유형의 교육 매체가 개발 및 활용되고 있으나, 여전히 감각통합교육을 하기 어렵고 발달장애아동들이 장난감처럼 쉽게 사용하며 학습하기에는 한계가 존재한다.

본 연구에서는 발달장애아동의 감각/지각적 자극과 우발적 학습을 통해 신체 각 부위의 운동기능을 향상시키고 직관적인 UX를 통해 늘면서 집중력 있게 온열감/진동감/균기 변화에 대한 교육을 할 수 있는 완구형 통합감각교육시스템을 개발하였다. 제안하는 통합감각교육시스템은 따듯하고 차가운 느낌을 제공해주는 온열감 제시 모듈, 딱딱하고 무른 정도를 제공해주는 균기감 제시 모듈, 떨림을 제공해주는 진동감 제시 모듈, 그리고 이들을 제어하기 위한 제어 모듈로 구성되어 있다.

본 연구를 통해 다양한 촉각을 자극하여 발달장애아동들의 주의집중력을 향상시키며 온열감, 진동감, 균기 변화에 대한 교육을 가능하게 하는 완구형 통합감각교육플랫폼의 가능성을 확인하였다. 본 연구의 결과물은 발달장애아동 교육에 동기 유발, 집중력 향상, 교육 효과성 및 학습 전이 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 개발된 교육플랫폼은 발

달장애아동 뿐 아니라 시각장애인이거나 유아, 노인 등 다양한 계층의 감각 교육 및 재활 교육에 활용 가능할 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 휴대용 장치를 위한 통합 촉각 제시장치 및 촉각 렌더링 알고리즘 개발(No. 2015R1D1A1A01059649) 및 산업통상자원부의 우수기술연구센터(ATC)사업 (필름형 투명(≥90%)·고신축성(≥500%) 3D 터치 센서(1kPa~100kPa) 햅틱 액추에이터 (~250hz, 최대1N) 모듈 및 신개념 UI/UX 개발, 10077367)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] T. W. Kim, and S. A. Kim, "Challenges A Study of Current Social Support for Children with Disabilities," *Health and Welfare Policy Forum*, pp. 64-74, January 2015.
- [2] Definition and Registration Status of Disabled persons [Internet]. Available: <http://disability.seoul.go.kr/registration/registration.jsp?Dept h=1311>
- [3] H. H. Kim, B. G. Hwang, and B. K. Yoo, "The Effects of the Hand-function Training Applied Sensory Integration Group Treatment Program on the Hand-function and ADL ability of Children with Developmental Disability," *Korean Journal of Physical and Multiple Disabilities*, Vol. 54, No. 1, pp.127-143, 2011.
- [4] M. Y. Choi, H. J. Lee, and J. H. Lee, "Design and Development of Interactive Therapy System or Children with Autism", *Science of Emotion & Sensibility*, Vol.13, No. 4, pp.777-788, December 2010.
- [5] D. H. Chung, "Cognitive Development Evaluation of Haptic Puzzle Game Using a Haptic Pen", *Journal of Korea Game Society*, Vol. 9, No. 4, pp.45-56, August, 2009.
- [6] N. S. Son, S. H. Lee, H. J. Lee, D. S. Suh, and J. H. Lee, "A Study on the Development of HCI Program for Visual Sense Coordination Ability Measuring and Sensory Integration Therapy of Children with Development Disabilities", *Journal of Emotional & Behavioral Disorders*, Vol. 22, No. 3, pp. 55-79, 2006.
- [7] H. K. Lee, and J. H. Yang, "Domestic Research Trend on Special Education Exploiting New Media and Development of Storytelling Contents to Improve Sociality", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 16, No.3, pp. 513-524, 2016.
- [8] Beaumont, R., & Sofrononoff, K.. "A multi-component social skills intervention for children with Asperger

syndrome: The junior detective training program”, *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, Vol.49, No.7, pp. 743 - 753, 2008.

- [9] Schreibman, L., & Ingersoll, B. *Behavioral interventions to promote learning in individuals with autism*. Handbook of autism and pervasive developmental disorders: Vol. 2. Assessment, interventions, and policy, pp.882 - 896, NewYork, NY: Wiley, 2005.
- [10] J. B. Kang, J. H. Kim, C. G. Kim, and B. S. Song, “Development of Web Application Based on N-screen for Play Activities of Children with Developmental Disorder”, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 28, No. 4, pp.1-8, 2013.
- [11] H. J. Lee, D. S. Suh, and M. Y. Choi, “A Study on Design and Development of a VR-Tangible Interaction Therapy System for Autism Children”, *Journal of Korean Society of Design Science*, Vol. 20, No. 3, pp.215-224, May 2007.
- [12] Ke, F., and Im, T., “Virtual-reality-based social interaction training for children with high-functioning autism”, *The Journal of Educational Research*, Vol. 106, No. 6, pp. 441-461, 2013.
- [13] J. Y. Son, “A Review of Research on Augmented Reality Based Educational Contents for Students with Autism Spectrum Disorders”, *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 18, No. 1, pp. 35-46.
- [14] S.Y.Ko, G.C.Jeong, S.M.Cho, B.S. Shin, S.Y.Kim, and J.H.Lee, “A Haptic Interaction System for Developmental Disabilities”, *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, Vol. 6, No. 5, pp.113-120.
- [15] S.Y.Kim, J.O.Kim, K.Y.Kim, “Vibrotactile Traveling Waves - A New Vibrotactile Rendering Method for Mobile Devices”, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 55 No. 3, August, pp.1032-1038, 2009

**임다미(Tami Im)**



2008년 : 고려대학교 대학원 (문학석사)  
 2012년 : Florida State University (Ph.D-교육공학)  
 2012년~2014년: Florida State University, Office of Distance Learning

2014년~현재: 한국기술교육대학교 온라인평생교육원 연구교수

※ 관심분야 : 가상현실, 동기, 상호작용, 교수설계



**윤인호(Inho Yoon)**

2012년 : 한국기술교육대학교 공학사  
 2012년~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 (석박사 통합)

※ 관심분야 : 햅틱스, 액츄에이터, 가상현실



**김상연(Sang-Youn Kim)**

1997년 : KAIST 대학원 (공학석사)  
 2004년 : KAIST (Ph.D-기계공학)  
 2004년~2006년: 삼성종합기술원 책임연구원  
 2006년~현재 : 한국기술교육대학교 컴퓨터 공학부 교수

※ 관심분야 : 가상현실, 햅틱스, 센서/액츄에이터



**정구철(Goo-Cheol Jeong)**

1981년: 중앙대학교 대학원 (공학석사)  
 1988년 : 중앙대학교 대학원 (Ph.D-통신공학)  
 1982년~1984년: 기아 연구소  
 1991년~현재 : 한국기술교육대학교 컴퓨터 공학부 교수

※ 관심분야 : 변복조 시스템, 전자장 해석 및 시뮬레이션 WBI 등을 이용한 원격교육