

# 소형 질감제시 모듈 개발 및 펜형 촉감 인터페이스

## Development of a Compact Tactile Display Module and Its Application to a Haptic Stylus

경기옥, Ki-Uk Kyung, 박준석, Jun-Seok Park

한국전자통신연구원(ETRI) 차세대 PC 연구그룹 스마트인터페이스팀

**요약** 본 논문에서는 질감제시장치와 진동모터를 내장한 펜형 햅틱(haptic) 인터페이스에 대해서 기술한다. 본 연구의 목적은 다양한 장치에 적용할 수 있는 소형 질감제시 모듈을 제안하고, 개발된 모듈을 펜과 같은 모양의 인터페이스에 내장하여 그 성능을 검증하는데 있다. 본 연구의 수행을 위해 핀배열을 내장하고 있으며, 저전력, 저소음으로 동작하며, 수직방향으로 1mm 이상의 변위를 일으키는 소형 질감제시 모듈을 개발하였다. 그리고 개발된 모듈은 PDA 나 Tablet PC 등에서 흔히 사용되는 스타일러스(Stylus)와 같은 펜모양의 인터페이스에 내장되었다. 펜형 인터페이스의 헤드부분에는 펜케익 모터를 내장하여 사용자에게 진동 촉감을 제공할 수 있도록 하였다. 개발된 펜형 인터페이스의 성능을 검증하기 위하여 Mobile Tablet PC 상에서 내장된 질감제시 모듈이 점자정보를 촉감으로 전달할 수 있는지에 관한 실험을 수행하였으며, 모든 실험은 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)상에서 이루어졌다. 또한 모든 버튼 조작시 ‘클릭’하는 느낌을 재현하였다. 실험은 동시에 다양한 자극의 주파수와 시간의 변화 조건에서 시행되어 의도하는 촉감을 가장 잘 전달하는 자극방법에 관한 연구를 동시에 수행하였다. 또한 개발된 펜형 인터페이스를 이용하여 이미지와 함께 데이터 베이스화 되어있는 질감을 재현할 수 있는 방법에 관한 기초 연구를 수행하였다.

**핵심어:** Haptic, Pen, Tactile Display Module, Stylus, GUI

### 1. 서론

오랫동안 컴퓨터의 인터페이스는 사용자의 눈과 귀를 통해 정보를 전달하는 수준에 머물러 오다가, 1990년대 초반에 서야 촉감을 느끼게 하고 전달하는 인터페이스에 관한 연구가 비로소 시작되었으며, 관련 연구분야가 현재는 햅틱스(Haptics)라는 하나의 학문의 영역으로 발전되어 가고 있다. 특히 2006년 2월 세계적인 경제 전문지 포브스(Forbes)가 인류의 미래를 바꿀 10가지 기술이라는 기사에서 ‘햅틱스’를 그중 하나로 꼽을 만큼 [1], 최근 촉감 정보를 전달하는 기술이 주목을 받고 있다. 연구 분야에서도 촉감을 전달하는 기술은 다양한 인터페이스에 현재의 오디오 기술만큼이나 널리 사용되게 될것으로 예측되고 있다[6].

그러나 지금까지 햅틱스 연구는 ‘힘’과 ‘질감’으로 나뉘는 인간의 촉감 영역 중에서 힘을 전달하는 장치(force feedback device) 개발에 집중되어있으며, 질감의 전달에 관한 연구는 아직 초보적인 수준에 머물르고 있다[2]. 질감을 전달하는 장치는 수직방향으로 동작하여 피부를 자극하는 다수의 핀배열을 이용하는 방식이 가장 일반적이다. 이러한 구조의 질감제시장치는 휴대폰이나, PDA, 모바일 PC등에서 다양한 촉감 정보를 전달할 수 있을 것으로 기대되고 있으나 그 제작 방법의 어려움으로 인하여 실질적인 제품의 개발은

‘진동’ 정보를 전달하는 수준에 머물르고 있다. 휴대용 기기에 사용되기 위한 질감 제시장치는 촉감을 재현할 수 있는 성능 뿐 아니라 소형화, 고집적화, 빠른응답, 충분한 변위, 저전력, 저소음, 저발열, 안전성 등의 문제 또한 고려되어야만 한다. 질감제시장치 개발에 관한 많은 연구자들의 노력이 있었으나 아직은 만족할만한 수준의 성능을 보이지 못하고 있다[3].

질감제시장치(Tactile display)의 현재까지 개발되어온 장치 중에 작은 크기를 가지면서도 우수한 성능을 보이는 것을 살펴보면 다음과 같다. 표면에 대해 수직방향으로 직접 핀들이 움직이면서 피부를 자극하는 질감제시장치의 예를 들면, Ikei의 경우 “Texture Explorer”라는 장치를 제안하였는데, 2x5행렬로 이루어진 핀 배열을 개발하여 표면의 무늬나 재질감을 표현할 수 있음을 보였다[7]. 이 장치는 바이모프 형태의 압전 구동기(piezoelectric bimorph)를 사용하였는데, 250Hz의 자유진동주파수를 사용하고도 22um라는 작은 변위만을 생성할 수가 있어서 뚜렷한 무늬를 생성하여 촉감으로 전달 하는 데는 한계가 존재하였다. Summers의 경우 기존의 방식을 더욱 발전시켜서 10x10의 행렬형태의 핀배열을 개발하여 무늬를 전달하는데 효과가 있음을 증명하였으나, 최대변위가 50um로 피부를 통해 감각을 전달하기에는 충분하지 못한 수준이었다[8]. 앞선 장치들의 경우 구동구조 등

으로 인하여 질감제시장치 자체의 크기가 휴대용으로 사용되기에는 너무 크고, 사람이 촉감을 느끼기에는 충분한 변위를 생성하기가 어려운 단점이 있었다. KAIST에서는 기존의 질감제시장치를 더욱 보완하여 핀간격이 1.8mm수준이면서, 360Hz라는 큰 대역폭과 큰 수직 운동변위(0.7mm)를 보이는 작은 질감제시장치를 개발하였다[9]. 그리고 이 장치를 상용 마우스에 내장하여 질감제시장치와 마우스기능을 동시에 갖는 시스템을 제안하기도 하였는데, 이 장치는 높은 전압과 전류를 필요로 하여 휴대용으로 개발하기에는 전원부를 소형화하기가 어려워 보였다. 수직방향으로 피부를 직접 자극하는 방식이 효과적이기는 하나 소형화하여 개발하기 어려운 점이 있어서, 캐나다 Mc Gill대학의 Hayward 교수와 연구진들은 피부를 스치듯 자극하는 방법을 활용하는 아이디어를 도출하였다[11]. 이들이 만든 새로운 장치는 PDA에 내장되어 PDA의 다양한 기능을 촉각으로 전달하여 활용성을 높일 수 있는 방법을 제안하였다. 그러나 피부를 스치는 자극하는 장치의 구조가 사용자가 집중하지 않고도 원하는 자극을 충분히 전달할만한 성능을 보이기는 어려우며 또한 압전구동기를 사용함으로써 외부에 소형화되지 않은 별도의 전원공급부가 존재하는 점이 휴대동기기에 내장되기 어렵게 하고 있다.

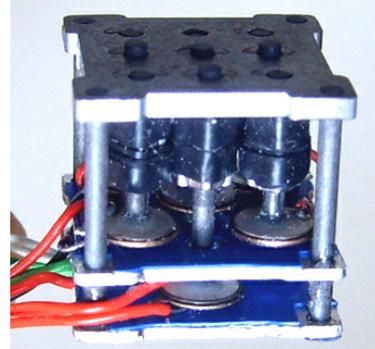
피부를 직접 기계적인 방법으로 자극하는 핀배열의 형태를 벗어난 질감제시장치에 관한 연구도 진행되어왔는데, 대표적인 것으로 Konyo등이 연구한 EAP(electro-active polymer) 물질을 이용하는 방법이다[11]. 이 장치는 기계적 구조를 많이 요하지 않으므로 얇게 개발될 수 있는 장점이 있으나 외부환경(습도, 온도)에 민감하게 반응하고 고전위차를 요하는 단점을 가지고 있다. 이외에서도 Ploetto 및 Kajimoto등 여러 연구자가 시도한 새로운 방법을 직접적인 전기자극을 활용하는 방법이었다[12-13]. 촉감정보도 기계적수용기(mechanoreceptor)를 거치면서 전기신호로 변환되어 신경으로 전달되기 때문에 직접적인 전기신호를 활용하는 방법이나 사용자에게 널리 사용되기에는 안전과 건강에 관련된 문제를 해결 해야 하는 과제를 안고 있다.

그러므로 본 연구에서는 모바일 기기에 적용될 수 있는 질감제시장치의 요구 조건을 만족시키는 소형 질감제시 모듈을 개발하는 것을 목표로 하여 새로운 핀배열 장치를 설계 및 개발 하였으며, 핀 배열의 성능을 검증하였다. 또한 개발된 질감제시 모듈을 활용하는 방법의 하나로 모바일 기기에서 흔히 사용되는 스타일러스(stylus)에 개발 모듈을 장착한 프로토타입을 개발하였으며 사용성 검증을 실시하였다.

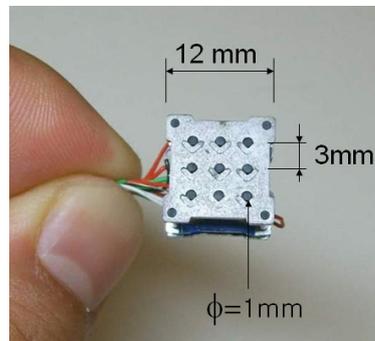
## 2. 소형 질감제시 모듈

소형 질감제시 모듈을 개발하기 위하여 초소형 선형 초음파 모터를 주요 구동기(TULA35, Piezoelectric Technology Co.)로 선택하였다[4]. 그림1은 개발된 질감제시 모듈을 보여준다. 선형 초음파 모터는 축이 고정되어있고 이동자가 움직이는 구동기이나, 본 연구에서는 부가적인 구조를 회피하기 위해 이동자를 고정시키고 축 자체가 수직으로 움직여 피부를 자극하는 핀 역할을 하게 하였다. 또한 2층 구조로 나누어 구동기를 엇갈림 배치 함으로써 축간의 간격을 최소화 하였다(그림 1-(a) 참조). 그림1-(b)에서 보는 것처럼 3x3 행렬 형태로 제작된 것이 모서리길이 12mm이내의 정육면체 크기 이하로 제작되었다. 또한 수직방향으로 피부를 변형시

키는데 충분한 0.2N의 힘으로 1mm이상의 변위를 일으키며 [15], 구동기당 최대 400mW 이내의 전력을 소비함으로써 제어부 또한 소형화 설계가 가능케 하였으며, 20Hz의 대역폭, 전체 중량은 2.5g으로 기존의 질감제시장치들에 견주어 크기와 질량의 측면에서 발전을 이루었다. 또한 구동기 동작시 소음을 발생시키지 않는다.



(a) 질감제시 모듈의 구조



(b) 질감제시 모듈의 크기

그림 1 개발된 질감제시 장치 모듈

개발된 질감제시 모듈을 전기적으로 제어하기 위한 컨트롤러도 휴대용기기에 내장될 수 있는 수준으로 개발되었다. 그림은 2는 개발된 질감제시 모듈 및 컨트롤러를 보여준다. 모두 9개의 구동기를 제어하는 모듈의 크기는 휴대용 기기에 충분히 내장될 수 있을 만큼 작으며, 주문제작 방식을 도입할 경우 획기적으로 작게 설계될 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 외부에서는 5V의 DC전원을 필요로 하여 리튬 폴리머 전지를 이용하여 제어할 수 있게 개발되었다. 현재 PDA, 휴대폰, 네비게이션, 스마트폰 등 대부분의 휴대용 단말기가 리튬폴리머 혹은 리튬이온전지를 사용하고, 내부에 고유의 프로세서를 내장하고 있으므로 기존의 휴대용 단말기에 내장할 경우 더욱 획기적인 설계가 가능할 전망이다

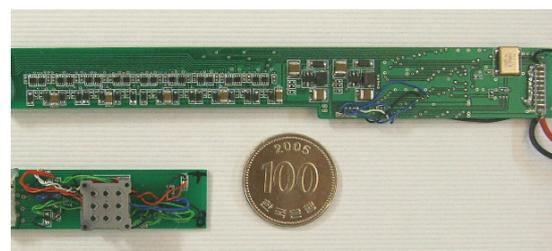


그림 2 질감제시 장치 모듈 및 컨트롤러

### 3. 펜형 촉감 인터페이스 개발

펜은 손으로 다루기 쉽고, 휴대가 용이하여 사람에게 가장 친숙한 장치 중 하나이다. 또한 현재의 각종 모바일 기기는 키보드나 마우스와 같은 인터페이스의 제공이 용이하지 않으므로 펜형 인터페이스(stylus)가 제공되는 것이 일반적인 현상이 되었다. 본 연구에서는 현재는 터치스크린에 정확한 위치 접촉이라는 기능에 한정되어있는 스타일러스를 촉감을 느끼는 상호작용 장치로 그 기능을 확대코자 하였다. 이와 관련하여 Lee등은 스타일러스 인터페이스에 접촉센서와 솔레노이드 등을 내장하여 가상의 버튼을 누르거나 물체를 이동시키는 느낌을 재현코자 하였다[14]. 본 연구에서는 관련 연구를 더욱 확장하여 2장에서 제안한 질감제시 모듈을 내장하여 버튼을 누르는 느낌이나 표면의 다양한 무늬를 전달할 수 있는 펜 형태의 인터페이스 프로토타입을 개발하였다.

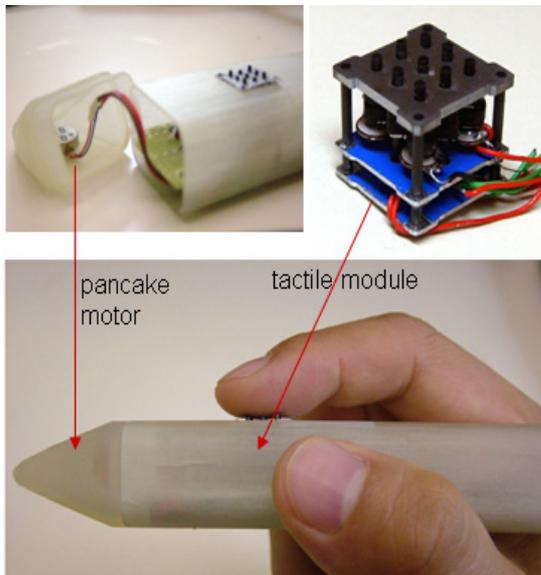


그림 3 펜형 촉감 인터페이스 프로토타입

그림3는 개발된 펜형 촉감 인터페이스의 프로토타입을 보여준다. 펜의 헤드부분에는 팬케익(pancake) 모터를 설치하였으며 터치스크린상의 아이콘이나 버튼 등을 눌렀을 때 진동을 통해 직관적으로 알려주는 역할을 한다. 실험을 통하여 약 50ms의 진동이 터치스크린상의 버튼을 누르는 효과를 잘 전달하는 것으로 나타났다. 또한 손으로 쥐는 부분의 집게 손가락이 닿는 부분에는 개발된 질감제시모듈을 설치하였으며, 각종 아이콘과 문자 등의 정보를 전달하는 것을 1차 목적으로 한다. 진동 피드백과 질감제시 장치의 효과를 검증하기 위하여 그림4와 같이 터치스크린이 있는 모바일 PC상에서 2가지 사용자 평가 관련 실험을 실시하였다. 관련 내용은 4장에서 서술한다.

현재 개발된 상태는 프로토타입으로써 펜형 사용자 인터페이스의 직경이 약 25mm로 사용자에게 따라서는 손으로 쥐고 집게 손가락을 질감제시부위에 없는데 불편함을 호소하였다. 향후 전지회로부의 개선을 통해 15mm이내로 개발될 예정이며, 개선될 크기는 일반적인 성인이 손으로 쥐었을 때 무리가 따르지 않는 크기이다.

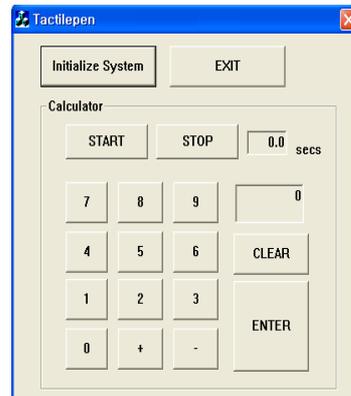


그림 4 사용자 체험 환경

### 4. 사용자 평가

#### 4.1 버튼 촉감 제한의 효과

사용자가 PDA나 UMPS등 터치스크린이 있는 개인용 단말기를 사용할 때 느끼는 가장 불편한 점 중 한가지가 화면상의 버튼이나 특정 영역을 선택했는지 하지 않았는지에 대한 확신이다. 그러므로 버튼을 누르고도 다시 눌러야 하는 상황이 발생하거나 반드시 눈으로 그 결과를 확인하는 등 여러 번의 시행착오를 겪게 된다. 펜형 인터페이스의 헤드부분에 내장된 팬케익형 모터의 순간적인 동작은 펜을 쥐고 있는 사용자에게 접촉감과 같은 느낌을 재현할 수 있다. 그러므로 본 실험에서는 접촉감과 같은 느낌을 활용하였을 때 얻을 수 있는 효과를 증명하는 것을 목적으로 한다. 본 실험의 수행을 위해 그림5-(a)와 같은 사용자의 선택에 관한 확신이 매우 중요한 요소인 계산기 프로그램을 개발하여 실험하였다. 개발된 계산기의 특징은 계산 중 사용자가 입력한 값을 확인할 수 없으며 계산 결과만 확인할 수 있다.



(a) 실험용 계산기의 구현된 모습

- (1)  $2,225,578 + 7,999,991$
- (2)  $3,333,666 + 1,112,222$
- (3)  $8,877,866 + 3,337,777$
- (4)  $4,333,322 + 8,882,122$
- (5)  $6,677,642 + 1,111,544$
- (6)  $4,273,333 + 5,544,333$

(b) 실험에 사용된 식

그림 5 사용자 체험 환경

피험자는 10명이 참여하였으며, 한 피험자가 계산기 화면의 임의의 버튼을 터치스크린을 통해 선택할 때 버튼촉각 피드백을 생성하는 옵션과 일단 스타일러스를 사용하는 것과 똑같이 기본적인 터치스크린에서의 역할만 가능하게 하는 옵션을 모두 체험할 수 있도록 실험을 설계하였으며, 실험에 사용된 계산식은 그림5-(b)에 보인 바와 같이 같은 숫자들이 반복되면서 정확하게 선택하지 않으면 실수가 유발될 가능성이 높은 식을 선택하였다. 피험자는 반드시 맞는 답을 얻을 때까지 식을 반복하여 계산하여야 하며, 모든 식은 무선회(random order)되어 2회씩 제시되었으며, 또한 촉각 피드백이 있는 경우와 없는 경우 또한 동일한 비율로 섞이면서 무선회된 상태로 제시되었다. 본 실험은 개별식의 맞는 답을 얻을 때까지의 시간을 측정함으로써 촉각 피드백의 효과를 확인코자 하였다.

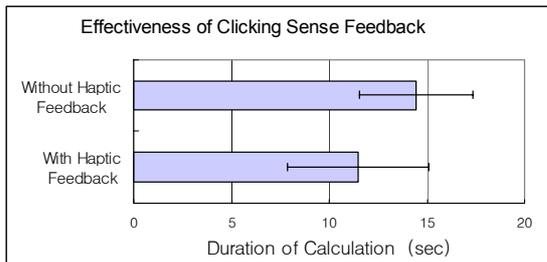


그림 6 평균 계산 시간

그림 6은 촉각 피드백이 있는 경우와 없는 경우의 평균 계산시간을 보여준다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 촉각 피드백이 있는 경우 촉각 피드백이 없는 경우와 뚜렷한 차이를 보이는데, 약 20%정도 계산 시간이 단축되는 효과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 결과를 얻을 수 있는 이유를 확인해 보기 위하여 피험자들에게 우선 촉각 피드백이 있는 경우가 터치스크린상에서 계산기를 사용하는데 도움이 되는지 질문하였는데 1명을 제외한 9명의 피험자가 도움이 된다고 응답하였다. 촉각 피드백이 효과가 있음에 동의한 피험자들을 대상으로 어떤 측면에서 도움이 되었는지 3가지 예를 들어 질문하였다(복수응답). 그림7에서 질문에 관한 응답 결과를 보여주는데 9명중 8명이 '선택에 관한 확신'을 주기 때문이라고 응답하였다.

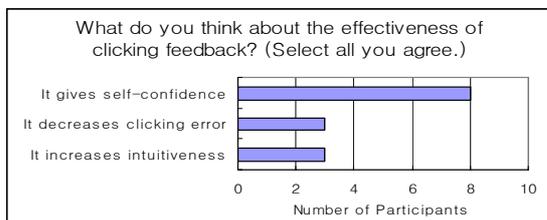


그림 7 촉각 피드백의 효과

본 section에서는 간단한 실험을 통하여 펜형 인터페이스의 버튼촉각 기능을 살펴 보았는데, 간단한 기능만으로도 터치스크린을 사용하는 사용자들에게 선택에 관한 확신을 부여함으로써 더 빠르고 정확한 사용을 가능하게 함을 확인할 수 있었다. 전자식 키보드나 버튼이 개발이 된지 오랜 세월이 흘렀음에도 불구하고 아직도 대부분의 사용자들이 기계식으로 동작하는 키보드나 휴대폰 등의 버튼을 선호하는 현상 또한 촉감을 통한 확신증가라는 것으로 설명될 수 있을 것이다.

#### 4.2 질감제시 모듈을 이용한 점자 표현

두번째 실험은 질감 제시장치의 성능을 검증하는 것에 관한 것이다. 핀배열 형태의 질감제시장치의 성능을 검증하는 방법으로 기존에 많은 연구들이 특정 모양이나 패턴을 많이 활용하였으나[7][9], 모두 특정한 경우에 한한 것으로 표준화된 평가 방법이었다고 판단하기 어렵다. 그러므로 본 실험에서는 패턴이 다양하게 분포되어있으면서, 가장 일반적으로 쓰이는 촉감 패턴이며 이미 그 효용성이 증명되어있는 '점자'를 표준으로 택하였다. 그림8 같은 실험용 패넌을 제공하였으며, 촉감 장치 및 점자를 체험해보지 못한 피험자(novice)가 본인이 핀배열의 움직임으로 인해 느껴지는 자극을 판단해 터치스크린상에서 펜형 인터페이스를 이용하여 점자 숫자와 매칭시키게 하였다. 10명의 피험자가 실험에 참여하였으며, 각 피험자마다 숫자와 자극 주파수 변화를 주어 총 60회 자극이 무선회되어 제시되었다. 피험자가 펜형 인터페이스를 통해 촉감을 느끼기 위해 손가락을 얹고 쥐는 법을 Tactile Display Test Panel을 통해 조절해가며 적용할 수 있게 하였으며, 본 실험에서는 모든 선택을 펜형 장치를 이용하도록 하였는데 section 4.1에서 제시한 버튼 촉감자극을 모든 버튼에 대해서 재현 하였다.

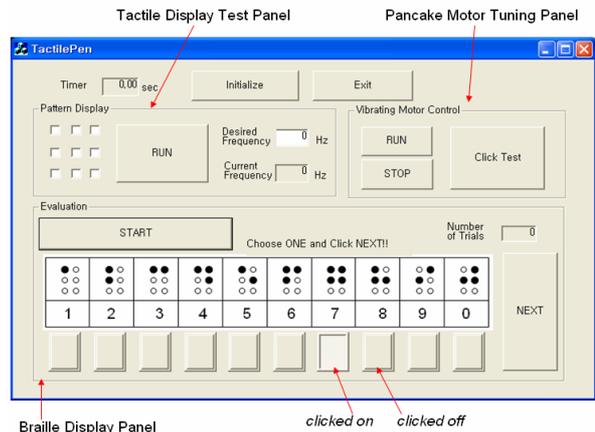


그림 8 점자 실험용 패넌

피험자는 그림4에서와 같이 UMPC(ultra mobile PC)를 사용하는 환경에 실험에 참여하였으며, 점자 숫자 1부터 10에 해당하는 핀배열 자극은 모든 숫자마다 2회가 무선회되어 반복되었으며, 핀의 동작은 표면으로 부터 돌출하여 정지하는 경우(0Hz), 2Hz와 5Hz로 왕복 운동하는 3가지 경우가 모두 무선회되어 자극이 발생하였다. 그러므로 총 60가지의 자극이 된다. 자극을 0, 2, 5Hz의 세가지 방식을 택한 이유는 펜형 인터페이스를 사용하는데 있어서 일반적으로 점자를 인식하는 방법인 표면의 돌출된 패턴 위를 손가락으로 문지르는 경우(active touch)가 다소 번거로움을 초래할 수 있다는 점을 고려하였기 때문이다. 손으로 펜처럼 쥐고 있으면서 짐에 손가락을 움직여서 패턴을 읽어낼 수도 있으나 손가락의 움직임이 좌우보다는 상하 문지름으로 제한되는 등 새로운 문제를 고려해야만 하게 된다. 그러므로 본 실험에서는 사용자가 손가락으로 문지르는 대신 손가락을 가만히 얹은 채(passive touch) 핀이 수직방향으로 운동하여 피부를 자극할 경우에도 표면 무너를 느끼는데 효과가 있다는 기존의 연구를 근거로 하여[9], 자극의 주파수를 무너를 잘 느끼는 인간의 감각주파수 영역 내에서 변화를 주어 실험하였다.

표1 점자 인식 실험 결과

	Average	Standard Dev.
Percentage of Correct Answer of All Subjects	80.8 %	11.2 %
Duration of Each Trial of All Subjects	5.24 초	1.94 초

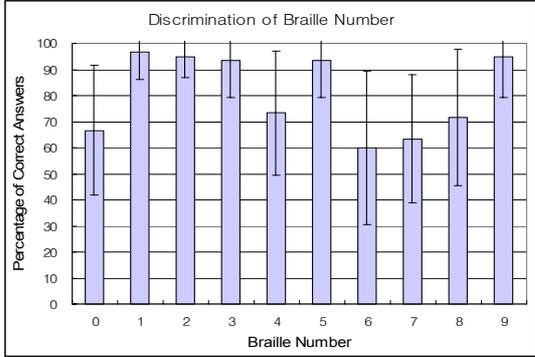


그림 9 개별 숫자별 정답률

점자 자극은 사용자가 시작한 이후로 지속적으로 자극이 발생되며, 답을 택하는 순간 다음 점자 자극으로 변화된다. 실험 중 피로도 조절을 위해 매 20회마다 2분의 휴식시간을 가졌다. 이 실험에서 점자 자극은 4개의 핀만을 사용하여도 되므로 질감제시장치의 가장 자리에 있는 4개의 핀을 사용하였는데 이 이유는 피험자가 점자에 익숙하지 않은 일반인이었으므로 점자의 패턴을 지각하는데 심각한 어려움을 초래하는 경우를 배제하기 위한 목적이었다.

표1은 실험결과를 보여준다. 점자 자극의 주기를 고려하지 않고 모든 자극에 대한 전체 평균 정답률이 80.8%로 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 즉 사용한 질감제시장치의 핀의 동작 속도, 힘 등이 사용자로 하여금 자극을 느끼고 구분하게 하기에 충분한 정도임을 확인할 수 있었다. 아울러 평균적으로 약 5초 만에 사용자가 하나의 점자숫자를 판별하였다. 그림 9는 개별 점자 숫자별 정답률 분포를 보여준다. 0, 4, 6, 7, 8등 4개의 핀이 모두 동작하거나 뺏중 한 개의 핀만이 동작하지 않는 경우에 사용자가 약간의 혼돈을 일으키는 것을 확인할 수 있으며, 이 원인에 대해서는 장치의 자극 능력 보다는 사람의 지각능력을 중심으로 한 추가 해석이 필요할 것이다. 결론적으로 표1에서 보여주는 결과처럼 개발한 질감제시모듈은 특정 패턴을 구현하기에는 충분한 성능을 보여줌을 확인할 수 있다.

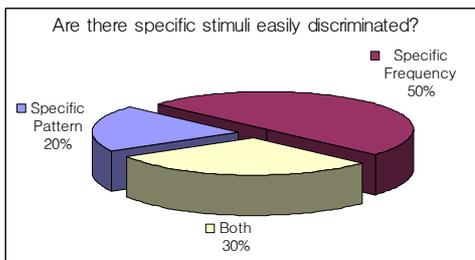


그림 10 특정 자극에 대한 선호도

본 실험에서는 자극의 주파수(자극의 대상이 되는 핀들이 동시에 수직방향으로 왕복 운동하는 초당 왕복수) 변화를 주

었다. 이 자극의 주파수 변화가 미치는 영향을 분석하기에 앞서 사용자들에게 다른 자극에 비해서 쉽게 구별할 수 있는 자극이 있었는지에 관한 설문을 실시함으로써 실험 결과로뿐만 아니라 심리적으로 사용자가 지각할 수 있는 수준인지에 관한 분석을 해보았다. 그림 10에서 볼 수 있는 것처럼 피험자에게 특별히 잘 구별할 수 있는 자극들이 있었는지에 관한 질문결과 10명의 피험자 모두가 ‘그렇다’고 대답하였다. 그리고 두번째 질문으로 ‘특정 모양이 쉽게 느껴지는가?’, ‘특정 주기로 반복되는 자극이 쉽게 느껴지는가?’, ‘두가지 모두인가?’에 관한 질문결과 8명의 피험자가 두번째 혹은 세번째 조건을 택하였다. 이러한 현상이 나타나는 이유 및 동시에 이와 같은 관찰을 하는 이유는 기존의 문헌들에서 사람이 무늬를 느끼는데 있어서 특정 주파수 자극에 민감할 수 있음을 관찰한 사례가 있기 때문임[9]을 앞서 passive touch실험의 필요성과 함께 설명하였다.

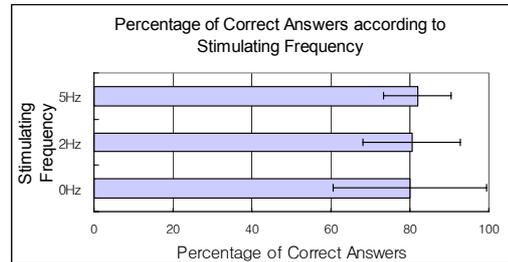


그림 11 주파수 변화에 따른 정답률

그러나 주파수 변화에 따른 정답률을 나타낸 그림 11에서 볼 수 있는 것처럼, 기대와 달리 자극의 주파수와 정답률 사이에는 큰 변화를 관찰 하기가 어렵다. 0~350Hz범위에서 관찰한 기존의 연구를 보면, 피부 내부의 감각 신경에 연결되어 무늬를 느끼는 일을 담당하는 것으로 알려진 기계적 수용기(mechanoreceptor)인 메르켈 디스크(Merkel's disk)가 가장 민감한 영역이 1~2Hz 정도로 반복되는 자극에인데, 패턴 지각시에도 같은 자극 주파수 영역에서 가장 정확도를 보여주는 것으로 나타났으므로[15], 본 연구에서도 주파수대별 차이를 보여줄 것으로 예상되었으나 그렇지 않았다. (본 연구에서 인간이 느낄 수 있는 다른 영역인 5Hz이상 수백 Hz의 고주파수 영역을 다루지 않은 이유는 해당 영역의 주파수 자극은 사람에게 고통을 전달할 수 있거나 혹은 표면의 무늬를 느끼는데 도리어 혼돈을 초래할 수 있는 영역으로 명백하게 알려져 있으므로 제외하였다.)



그림 12 주파수 변화에 따른 구별 시간

그림10에서 보여주는 결과처럼 사용자중 8명이 특정 주파수에 민감하게 느꼈다는 관찰 결과를 다른 방법으로 밝혀보기 위해, 정답률 이외의 또 다른 요소라 할 수 있는 점자를 구별해 내는데 걸린 시간을 비교하여 보았다. 그 결과 그림

12에서 보여지는 것처럼 자극 주파수에 따른 명확한 응답시간 차이를 확인할 수 있었다. 2Hz의 자극에서 다른 주파수 자극과 비교할 때 약 20~30%정도 짧은 시간에 답을 택하였다. 즉, 사용자가 핀배열을 통하여 패턴을 느낄 때 훨씬 더 어떤 패턴으로 자극이 전달되고 있는지 훨씬 더 빨리 알아챈다는 의미이다.

4.2장의 실험 결과를 통해 본 연구에서 개발한 질감제시 모듈의 패턴 구현 성능을 점자를 이용하여 검증하였으며, 아울러 사람이 손가락으로 직접 문질러서 무늬를 구별하는 것 이외에 가장 좋은 자극 방법을 제안할 수 있었다.

## 5. 응용 분야 및 결론

### 5.1 응용 분야

본 논문에서는 개발된 질감제시 모듈 및 이를 활용한 펜형 촉각 인터페이스의 설계 및 기능에 관한 검증은 실시하였으나, 본 논문에서는 구체적인 응용분야에서 관여서는 다루지 않는다. 본 연구팀이 현재 개발된 시스템을 활용하여 연구를 진행 중이거나 향후 연구 목표로 삼고 있는 대상은 다음과 같다.

- **이미지를 이용한 질감 표현:** 그림 13에서 보는 것처럼 터치스크린상에 특정 이미지를 로딩하여 해당 이미지를 스타일러스로 문지르면서 무늬를 느끼는 환경을 구현할 수 있다. 그림 13속의 사각형의 영역은 그림14에서 도시된 것처럼 질감제시장치의 핀배열에 맞게 분할될 수 있으며, 이미지의 Gray값이 각 핀의 자극의 강도(Intensity)로 변환되어 전달되면 사용자는 표면의 무늬뿐 아니라 울퉁불퉁한 정도를 느낄 수 있게 된다. 이 원리는 시각장애인용 컴퓨터, 웹페이지 개발, 온라인 쇼핑물 등에 적용될 수 있다

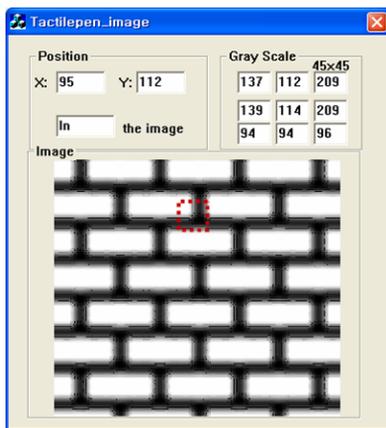


그림 13 질감 이미지 처리 환경

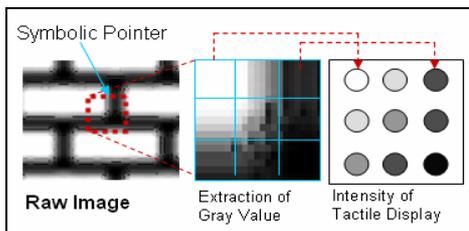


그림 14 이미지 정보를 촉각 정보로 변환하는 방법

- **가상현실 인터페이스:** 가상현실에서 촉감을 전달하는 가장 대표적인 인터페이스로 SensAble사의 PHANTOM을 꼽을 수 있다. 이 장치는 Force Feedback 장치로써 힘과 질감이라는 촉각의 두가지 요소 중에서 힘을 표현하는 장치이다. 힘과 질감을 모두 재현할 수 있는 장치는 질감제시장치(Tactile Display) 개발의 어려움 때문에 제안된 사례가 거의 없으나, 본 연구에서 제안한 질감 제시장치 및 펜형 인터페이스를 PHANTOM의 손잡이(Handle)에 해당하는 Stylus에 내장하거나 혹은 기존의 손잡이를 대체하게 할 수 있다. 그러므로 본 연구의 결과물은 힘과 질감을 동시에 재현하는 장치의 개발을 가능하게 할 것이다. 또한 촉각뿐 아니라 시청각 및 후각 재현 인터페이스 등에도 쉽게 내장되어 오감 체험 인터페이스를 개발하는데 적용될 수 있다.

- **휴대용 개인 정보 단말기:** 본 연구에서 개발한 질감제시 장치의 가장 큰 장점은 핀배열이 다양한 패턴을 형성하면서도 피부자극에 충분한 물리량을 공급하면서도 전기 제어부를 포함하여 휴대기기에 내장될 만큼 작게 개발 되었다는 점이다. 이 점은 시각장애인용 단말기 개발에 적용될 수 있을 뿐만 아니라 비장애인도 시청각뿐 아니라 촉각을 통하여 정보를 제공받을 수 있게 하므로 문자메세지, 네비게이션, 일정관리, 게임등 보안/정숙/상징/흥미 등을 요하는 다양한 영역에 적용될 수 있다.

- **시각 장애인용 시스템:** 기존의 시각장애인용 정보 입출력 장치는 크기가 커서 휴대가 불가능하거나, 휴대가 가능한 장치인 경우 제공받을 수 있는 정보가 매우 제한적인 경우가 많았다. 본 연구의 질감제시장치는 핀배열을 활용한 가장 일반적인 형태로 개발되었으며 다양한 패턴 및 무늬등을 구현하는 것을 목적으로 하고 있으나, 4장에서 수행한 실험에서와 같이 점자를 전달하는데도 충분한 성능을 보이고 있다. 특히 작으면서도 능동적으로 프로그래밍할 수 있다는 점이 큰 장점이라 할 수 있다. 또한 질감제시장치 외에도 진동기능은 각종 신호를 전달하는 역할을 할 수 있으므로 시각 장애인이 휴대용으로 가지고 다니면서 컴퓨터를 활용하고, 시간을 확인하게 하며, 길안내서비스를 가능케 하는 등 기존의 시각장애인용 인터페이스를 크게 개선시킬 수 있다.

### 5.2 결론

본 연구의 목적은 다양한 장치에 적용할 수 있는 소형 질감제시 모듈을 제안하고, 개발된 모듈을 펜과 같은 모양의 인터페이스에 내장하여 그 성능을 검증하는데 있었다. 본 연구의 수행을 위해 핀배열을 내장하고 있으며, 저전력, 저소음으로 동작하며, 수직방향으로 1mm이상의 변위를 일으키는 소형 질감제시 모듈을 개발하였다. 그리고 개발된 모듈은 PDA나 Tablet PC등에서 흔히 사용되는 스타일러스(Stylus)와 같은 펜모양의 인터페이스에 내장되었으며, 펜형 인터페이스의 헤드부분에는 펜케익 모터를 내장하여 사용자에게 버튼 조작 촉감을 제공할 수 있도록 하였다. 개발된 펜형 인터페이스의 성능 검증을 위하여 2가지 실험을 수행하였는데, 첫 번째 실험을 통해 버튼 조작에 관한 촉감을 제공하였을 경우 터치스크린 상에서 정확하고 빠른 작업을 가능하게 함을 확인하였다. 두 번째 실험은 질감제시 모듈의 성능을 검증하고 효과적인 자극방법을 탐구하는 것으로써, 본 실험에서 표준 패턴으로 삼은 점자를 구현하는데 있어서 피험자들이 초심자임에도 불구하고 만족할 만한 성능을 보였으며, 사용자가 문

지르지 않고 편히 손가락으로 펜을 쥐는 상황에서도 2Hz의 대역의 자극 빈도가 가장 우수한 방법일수 있음을 보였다.

본 논문은 주로 펜형 촉감 인터페이스의 개발과 기능에 관하여 중점적으로 서술되었으나 본 연구는 향후 펜형 인터페이스를 더 작고 휴대하기 편하게 개발해갈 뿐 아니라, 이미지의 질감을 느끼거나, 각종 촉감 체험 환경의 인터페이스로 제공하거나, 각종 교육용/장애인용 인터페이스 등에 응용하여 나갈 것이다.

## Acknowledgment

본 연구는 정보통신부 선도기반기술 개발사업(2006-S-031-01, 네트워크기반 실감형 서비스를 위한 오감정보처리 기술 개발)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Forbes, 10 Things That Will Change The Way We Live, [http://www.forbes.com/2006/02/16/cx\\_cd\\_0217featslide\\_print.html](http://www.forbes.com/2006/02/16/cx_cd_0217featslide_print.html)
- [2] Srinivasan, M.A. and Basdogan, C., "Haptics in virtual environments: taxonomy, research status and challenges," Computer Graphics, Vol.21, pp.393-404, 1997.
- [3] 경기옥, 박준석, "햅틱스 기술개발 동향 및 연구 전망", 전자통신동향분석, Vol. 21, No.5, pp.93-108, 2006
- [4] Piezoelectric Technology Co., Technical Specification MODEL: TULA50, 2006.
- [5] Luk, J., Pasquero, J., Little, S., MacLean, K. E., Levesque, V. and Hayward, V. A Role for Haptics in Mobile Interaction: Initial Design Using a Handheld Tactile Display Prototype. Proc. of the ACM 2006 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2006, pp. 171-180, 2006.
- [6] Sheridan T.B., "Musings on Telepresence and Virtual Presence," Presence-Teleoperators and Virtual Environments, 1(1), 120-125, 1992.
- [7] Ikei, Y. and Shiratori, M., TextureExplorer : A tactile and force display for visual textures, Proceedings of HAPTICS 2002, Orlando, FL, pp. 327-334, 2002.
- [8] Summers, I.R. and Chanter, C.M., A broadband tactile array on the fingertip, Journal of the Acoustical Society America, Vol. 112, pp. 2118-2126, 2002.
- [9] Kyung, K.U., Ahn, M., Kwon, D.S and Srinivasan, M.A., A compact planar distributed tactile display and effects of frequency on texture judgment, Advanced Robotics, 20(5), 563-580, 2006.
- [10] Hayward V. and Cruz-Hernandez, M., Tactile display device using distributed lateral skin stretch, Proc. ASME Vol. DSC-69-2, pp. 1309-1314, 2000.
- [11] Konyo, M., Tadokoro, S. and Takamori, T., Artificial tactile feel display using soft gel actuators, Proc. of IEEE ICRA, pp. 3416-3421, 2000
- [12] Poletto, C.J. and Doren, C.V., A high voltage stimulator for small electrode electrocutaneous stimulation, Proc. of the 19th IEEE Int. Conf. on Eng. Med. & Bio. Soc., Vol. 6, pp. 2415-2418, 1997
- [13] Kajimoto, H., Kawakami, N., Maeda, T. and Tachi, S., Tactile feeling display using functional electrical stimulation", Pro. of ICAT '99, pp.107-114, 1999
- [14] Lee, J.C., Dietz, P., Leigh, D., Yerazunis, W. and Hudson, S.E., Haptic Pen: A Tactile Feedback Stylus for Touch Screens. In Proceedings of UIST 2004, ACM Press Addison-Wesley, pp.291-294, Santa Fe, NM, USA, 2004
- [15] Kyung, K.U., Ahn, M., Kwon, D.S. and Srinivasan, M.A., Perceptual and Biomechanical Frequency Response of Human Skin: Implication for Design of Tactile Displays, Proc. of World Haptics: 1st Joint Eurohaptics Conf. And Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp.96-101, Pisa, Italy, 18-20 March, 2005.