

## 마우스형 통합 질감 제시 시스템 개발

### Development of an Integrated Mouse Type Tactile Display System

경기욱, 손승우, 양기훈, 권동수\*, 김문상  
(Ki-Uk Kyung, Seung-Woo Son, Gi-Hun Yang, Dong-Soo Kwon, and Munsang Kim)

**Abstract :** In this paper, we suggest an integrated tactile display system that provides kinesthetic force, pressure distribution, vibration and slip/stretch. The system consists of two parts: a 2 DOF force feedback device for kinesthetic display and a tactile feedback device for displaying the normal stimulation to the skin and the skin slip/stretch. Psychophysical experiments measure the effects of fingerpad selection, the direction of finger movements and the texture width on tactile sensitivity. We also investigate the characteristics of lateral finger movement while subjects perceive different textures. From the experimental results, the principal parameters for designing a tactile display are suggested. A tactile display device, using eight piezoelectric bimorphs and a linear actuator, is implemented and attached to a 2 DOF translational force feedback device to simultaneously simulate the texture and stiffness of the object. As a result, we find out that the capability of the suggested device is sufficient to display physical quantities to display the texture.

**Keywords :** tactile sensation, tactile display, haptic, tactile feedback, kinesthetic feedback, virtual reality

#### I. 서론

햅틱 인터페이스의 주요 연구분야는 손가락이나 팔 등에 힘을 전달하여주는 반력 생성 장치(kinesthetic force feedback device)와 피부의 표면에 촉감을 전달하는 질감 제시 장치(tactile display device)로 나뉠 수 있다. 반력 생성 장치는 물체의 외형이나 표면의 굽기, 변형 정도를 표현하는데 목적이 있으며, 질감 제시 장치는 물체의 표면의 거칠기, 미세한 모양, 온감 등의 재질감을 표현하는데 목적이 있다. 지금까지 연구된 햅틱 인터페이스는 대부분이 반력 생성 장치를 중심으로 연구되어 왔으며 질감 제시 장치에 관한 연구는 여러 연구자들에 의하여 다양한 구조와 자극방법으로 제작이 시도되어왔으나, 소형제작, 많은 수의 액츄에이터 동시 제어, 응답속도 및 변형력의 한계, texture modeling 연구 부족 등으로 인하여 아직도 초보 수준에 머무르고 있다[1].

질감 제시 장치를 위한 기존 연구로는 크게 기계적 자극 방법과 전기적 자극 방법의 두 방향으로 이루어져왔다. 기계적 자극방법은 피부에 직접 자극을 가할 수 있는 핀이나 기타 장치를 이용하는 방법으로, 압전 재료, 솔레노이드, 형상 기억 합금, electro-active polymer, 공압 구동기 등의 액츄에이터를 이용하는 연구가 시도되어왔으나[2,3,4], 대부분 특정한 재질의 상대적 차이만을 구현할 수 있는 한계점을 가지고 있다. 기계적 자극 방법에 비해 전기적 자극 방법은 에너지 소비가 적고 빠른 응답과 작은 부피를 갖는다는 장점이 있으며 피부와의 지속적 접촉을 유지할 수 있고 움직이는 부분이 없어 오작동이 비교적 적으나, 피부를 문지르면서 느끼는 촉감을 구현할 수 없는 한계가 있으며 모델링이 어려운 한계가

있다[5,6].

본 논문에서는 원격지 혹은 가상의 물체와 촉감 상호작용(haptic interaction)을 할 수 있는 햅틱 인터페이스 시스템에 관하여 서술한다. 본 연구에서 목적으로 하는 촉감 제시 장치는 컴퓨터용 마우스에 적용될 수 있으면서 반력과 질감을 동시에 생성할 수 있는 장치이다. Akmatsu에 의하여 반력과 질감을 동시에 제시할 수 있는 마우스에 관한 연구가 이루어진 적이 있으나[7], 1개의 핀의 진동에 의한 자극과 표면의 마찰력을 구현할 뿐이었다. 본 연구에서는 물체의 표면의 작은 모양과 거칠기를 표현할 수 있으면서도 물체의 형상과 굽기를 동시에 표현할 수 있는 햅틱 인터페이스 시스템의 개발을 목표로 한다.

본 논문의 2장에서는 사람 피부 감각의 생리학에 관해 알아보고 질감 제시 장치의 설계 요구사항을 분석하며, 3장에서는 피부에 수직, 수평 자극을 위한 장치의 상세 설계를 위한 인지생리학적 실험 결과를 소개한다. 4장에서는 2, 3장에서 결정한 설계 변수를 이용한 질감 제시 장치의 개발과 힘과 질감을 동시에 전달할 수 있는 통합 질감 제시 시스템의 구축에 대하여 논하고, 5장에서 본 논문의 내용을 정리하고 적용분야 및 향후 연구 분야에 관하여 논한다.

#### II. 피부감각의 생리학

질감 제시 장치의 개발을 위해서는 사람이 촉감을 받아들이는 정신물리학적 연구(psychophysics of tactile perception)와 생리학적 연구(physiology)가 선행되어야 한다. 본 장에서는 기존에 연구된 사람의 촉감 인지 특성을 바탕으로 하여 질감 제시 장치의 개발을 위해서 요구되는 사항을 도출하고자 하였다.

Weinstein은 각각 인체의 모든 부위에서의 촉감 신경 분포와 촉각 인지 역치(threshold)를 조사함으로써 촉감에 가장 예민한 부분을 조사하였는데 사람의 엄지 손가락과 집게 손가락, 윗입술 등이 가장 예민한 신체 부위로 나타났다[8]. 이 사실로부터 질감 제시 장치는 손가락을 대상으로 개발하는 것이 가장 유리하며, 마우스형 인터페이스로 개발할 경우 상

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 3. 16., 채택확정 : 2004. 10. 18.

경기욱, 손승우, 양기훈, 권동수 : 한국과학기술원 기계공학과  
(kyungku@robot.kaist.ac.kr/sonsw@robot.kaist.ac.kr/yanggh@robot.kaist.ac.kr/words@kaist.ac.kr)

김문상 : 한국과학기술연구원 지능로봇연구센터(munsang@kist.re.kr)

※ 본 연구는 KIST(미래원천 산업의 Tangible Interface 기술 사업)와 정보통신부(2004-S-30, 스마트 햅틱인터페이스 디바이스)의 지원을 받아 수행되었음.

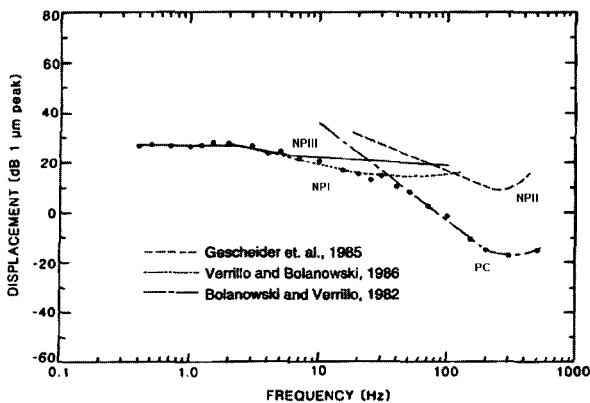


그림 1. 촉감의 생리학적 채널[10].  
Fig. 1. Physiological channel for tactile sensing.

대적으로 자유로운 엄지손가락 부위에 질감 제시 장치가 접촉될 수 있는 가능성을 발견할 수 있다.

Gescheider, Bolanowski 등은 촉감에 대한 4가지 인지 생리학적 채널을 제시하였으며 관련된 수용기 섬유를 분류하고 각 수용기의 응답 특성 및 인지 역할을 연구, 정리하였다[10]. 그림 1은 정신 물리학적 채널의 주파수와 각 채널에서의 역치 사이의 상관 관계를 보여준다. PC채널은 Pacinian corpuscle 과 Pacinian 섬유가 관계되어 있으며 40~500Hz범위의 진동을 감지한다. NPI채널은 Meissner corpuscle과 RA 섬유가 관계되어 있으며 피부의 떨림(flutter)을 센싱하고 2~40Hz 범위를 감지한다. NPII 채널은 Ruffini 말단과 SA II 섬유가 관계되어 있으며 접촉 면적이 매우 좁은 경우의 진동을 센싱하는 것으로 알려져 있으며 100~500Hz를 감지한다. NPIII채널은 Merkel 수용기와 SA I섬유가 관계되어있으며 피부의 압력을 센싱하며 0.3~10Hz 범위를 감지한다. 언급한 연구 결과들을 바탕으로 하여 질감 제시 장치가 구현해야 하는 주파수 범위와 동작 범위 등의 요구 사항을 예측할 수 있다.

따라서 질감 제시 장치는 다음과 같은 요건을 갖추어야 할 수 있다.

- 피부에 대해 수직방향으로 0Hz부터 500Hz이상의 진동수로 자극할 수 있어야 한다.
  - 감각 수용기의 역치의 10배 수준의 자극까지 구현하는 것을 목표로 할 경우 저주파에서는 60dB  $\mu\text{m}$ (약 1 mm), 500 Hz에서도 최소 35dB  $\mu\text{m}$ (약 56.2 $\mu\text{m}$ )의 수직방향 동작 범위를 가질 수 있어야 한다.
  - 작은 모양을 표현하며 고정된 상을 유지할 수 있어야 한다.
  - 핀 배열을 이용할 경우 각 핀은 피부를 수직방향으로 1mm 이상 변형 시킬 수 있는 충분한 힘을 가할 수 있어야 한다.
  - 질감 제시 장치의 피부와의 접촉면은 질감을 표현할 수 있을 만큼의 넓이 이상이어야 한다.
- 반력과 질감을 동시에 제시할 수 있는 마우스형 인터페이스의 개발을 위해서는 다음과 같은 조건이 추가적으로 요구된다.
- 질감 제시 장치는 마우스에 내장될 수 있을 만큼 충분히 작은 크기로 개발되어야 한다.
  - 역감과 질감을 동시에 제시할 수 있는 설계가 필요하다.

### III. 인지 생리학적 실험

본 장에서는 질감 제시 장치의 상세한 설계를 위해서 수행한 생리학적 실험을 서술한다. 생리학적 실험을 통하여 얻고자 하는 문제는 다음과 같다.

- 어떤 손가락에 자극을 가할 것인가?
- 손가락은 어느 방향으로 문지르게 하는가?
- 손가락의 접촉면은 어느 정도면 충분한가?
- 손가락으로 문지르며 촉감을 느낄 때 왕복 운동 속도와 폭은 어느 정도면 충분한가?

1절에서는 엄지와 집게 손가락의 촉감 인지와 촉감을 느끼기 위하여 손가락으로 문지르는 방향에 대한 영향을 살펴 보았다. 2절에서는 손가락과의 접촉면의 폭이 촉감 인지에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였으며, 3절에서는 표현성질을 인식하기 위하여 손가락을 문지를 때 움직이는 운동범위에 관한 실험을 수행하였다.

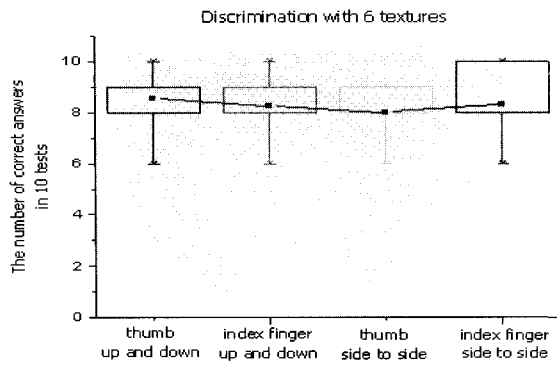
#### 1. 손가락 선택과 문지르는 방향이 촉감 인지에 미치는 영향

손가락과 그 움직임 방향에 따른 민감도의 영향을 알아보기 위해 거칠기가 다른 재질의 구별 정도를 측정하였다. 6개의 각기 다른 사포(sandpaper #80, #150, #220, #320, #400, #600)를 엄지나 검지로 충분한 접촉 면적을 가질 수 있도록 5cm x 2.5cm로 준비하고, 피실험자로 하여금 스스로 구별 가능하다고 느끼는 재질을 선택하도록 한다. 피실험자는 각기 구별 가능한 표본 재질을 선택한 후 임의로 제시되는 재질을 번갈아 가며 손가락으로 문지러 충분히 느끼고 임의로 제시된 재질의 거칠기를 대답한다. 손가락은 엄지와 검지, 손가락의 움직임은 상하와 좌우로만 한정하였다. 피실험자 15명이 실험에 참여 했으며 각각 10번의 임의의 순서대로 제시되는 재질의 거칠기를 대답하였다.

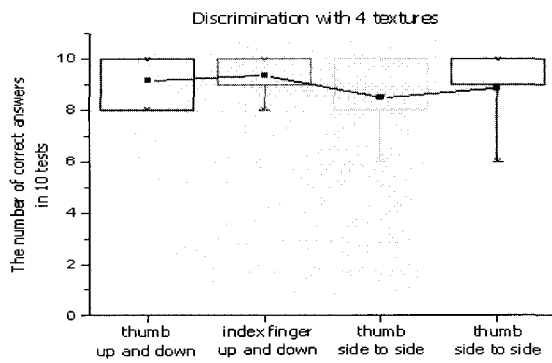
15 명의 피실험자는 6개 재질의 거칠기를 모두 구별한 그룹(9명)과 4개 재질의 거칠기만을 구별한 그룹(6명)으로 나뉘었다. 그림 2(a)는 6개의 표본을, 그림 2(b)는 4개의 표본을 선택한 그룹의 결과이다. 각 4가지 구별 방법의 결과가 큰 차이를 보이지는 않지만, 두 그룹 모두 엄지 상하와 검지 상하 운동의 경우에서 대답의 정확도가 높음을 알 수 있다. 특히 엄지, 검지 좌우 방향일 때 피실험자의 질감 정확도가 상대적으로 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이는 손가락의 관절 특성상 좌우 움직임보다는 상하 움직임이 더 자연스럽고 불편함을 주지 않기 때문인 것으로 생각된다. 6개 표본 그룹에서는 엄지 상하 움직임일 때 평균 8.56, 4개 표본 그룹에서는 검지 상하 움직임일 때 평균 9.33으로 가장 좋은 결과를 보였다. 하지만 두 그룹 모두에서 엄지 상하 움직임과 검지 상하 움직임은 차이가 크지 않음을 알 수 있었고 엄지 상하 움직임은 4개 표본 그룹에서도 구별 능력이 6개 표본 그룹의 검지 상하 움직임 보다 더 높은 것을 알 수 있었다. 따라서 실험 결과로부터, 질감 제시에서 수평 방향 자극은 엄지 피부 수평면의 상하 움직임으로 구현하는 것으로 결정하였다.

#### 2. 접촉면의 폭이 촉감 인지에 미치는 영향

질감 제시 장치가 작고 가볍게 개발될수록 다른 시스템에 내장 시키거나 휴대 가능한 모양으로 개발하는 것이 유리하다. 그러므로 본 절에서는 사람이 촉감을 느끼고자 할 때 필요한 최소 접촉 폭을 알아보는 실험을 수행하였다.



(a) Experimental results using 6 textures



(b) Experimental results using 4 textures

그림 2. 손가락과 방향에 따른 실험결과.  
Fig. 2. Tactile sensitivity by finger selection.

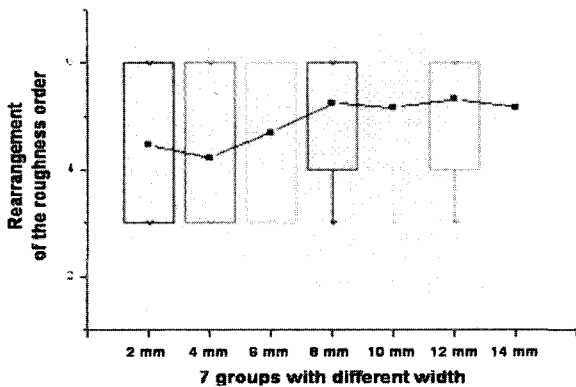


그림 3. 접촉면의 폭에 따른 질감 인식.  
Fig. 3. Tactile sensitivity by contacting width.

표 1. 재질에 따른 손가락 운동 범위와 속도.  
Table 1. Rubbing velocity and lateral slip range by roughness.

Coarse Texture	Motion Range	Velocity (mm/s)	Fine Texture	Motion range	Velocity (mm/s)
Sub 1	19.1	73.3	Sub 1	48.0	117.1
Sub 2	11.9	47.8	Sub 2	32.0	65.3
Sub 3	14.7	52.6	Sub 3	48.8	113.4
Sub 4	18.5	63.9	Sub 4	46.7	194.7
Sub 5	20.6	55.6	Sub 5	45.0	99.9
Average	17.0	58.6	Average	44.1	118.08

15명의 피실험자에게 눈을 가린 상태에서 다양한 폭(2mm, 4mm, 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, 14mm)의 6개 각기 다른 거칠기를 갖는 사포들(sandpaper #80, #150, #220, #320, #400, #600)이 주어진다. 같은 폭에서 6개의 재질들은 거칠기에 상관없이 무작위로 섞여 있다. 피실험자는 같은 폭의 그룹 내에서 6개의 재질을 엄지손가락을 접촉한 채 상하로 문지르면서 거칠기를 가장 거칠게 느끼는 것부터 부드럽게 느끼는 순으로 정렬하고 대답한다. 이 각 표본 그룹에서 피실험자의 대답은 폭에 따라 질감의 구별이나 느끼는 정도를 나타낸다.

피실험자의 대답이 6개 모두를 순서대로 구별했다면 점수는 6이 되고, 6개중 4개까지만 구별을 했다면 점수는 4가 된다. 그림3의 실험 결과를 보면 알 수 있듯이, 재질의 폭이 질감의 구별과 느끼는 정도에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 각 폭에 따른 평균 점수는 각각 2mm의 경우 4.46, 4mm의 경우 4.23, 6mm의 경우 4.69, 8mm의 경우 5.23, 10mm의 경우 5.15, 12mm의 경우 5.31, 14mm의 경우 5.15였다. 실험 결과 그래프로도 확인되듯이, 재질의 폭이 질감에 미치는 영향이 존재하는 것으로 확인되었다. 실험 결과 그래프를 보면 알 수 있듯이 폭이 8mm이상의 경우는 더 이상 인식률이 향상되지 않는 것으로 보아, 질감 제시 폭이 8mm이상인 경우에 사람의 질감 능력에 영향이 상대적으로 적어진다고 분석할 수 있다. 따라서 본 연구결과는 다음 장에서 이어지는 실험 결과로부터 질감 제시 장치에서 구현할 질감의 폭 범위를 결정하는데 적용된다.

3. 질감 인식을 위한 손가락의 문지름 동작 특성

사람이 촉감을 느끼는 방법은 active touch와 passive touch의 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. active touch란 질감이 있는 재질을 사람의 손가락으로 직접 문지르는 가장 자연스러운 촉감인식법을 말하며, passive touch란 사람의 손은 가만히 있는 상태에서 재질의 움직임을 통해 질감을 인식하는 방법이다[12]. 질감 제시 장치를 개발하는데 있어서 active touch와 passive touch에 관한 연구가 중요한 이유는 active touch만으로 사람이 촉감을 느끼게 하려면 질감 제시 장치는 언제나 사람과 분리되어 있어야 하는 제약이 따르기 때문이다. passive touch로 active touch를 대신할 수 있다면 장감모양과 같은 착용형 질감 제시 장치 개발에 유리하며, 질감 제시 장치가 손가락을 문지르는 모든 구간을 모사하지 않아도 되므로 소형의 질감 제시 장치를 개발하는데 유리하기 때문이다.

본 연구에는 마우스 모양의 촉감 인터페이스를 개발할 뿐 아니라 개발된 인터페이스를 촉감 모델링 연구에 사용할 예정이다므로 passive touch를 구현할 수 있는 설계를 추구하였다. 질감 인식을 위해 사람이 손가락을 이용하여 재료를 문지르는 동작의 운동 범위와 문지름 속도에 관한 특성을 살펴보았다.

손가락과 움직임 방향은 3.1절에서 결정한 바와 같이 엄지로 상하 운동일 때에 대해서만 조사하였으며, 고운 재질과 거친 재질일 경우 사람의 문지름 특성이 다를 수 있으므로 거친 재질(coarse texture)인 #80사포와 고운 재질(fine texture)인 #400 사포에 대하여 각각 실험을 수행하였다. 이때 사람의 손가락의 움직임은 ascension technology corporation 社의 3차원 자기위치센서인 flock of birds를 손가락에 부착하여 측정하였다. 실험에는 총 5명이 참가하였으며 각각의 촉감 인지를 위

한 손가락의 문지름 특성을 측정된 결과는 표 1에서 보는 것과 같다.

측정결과를 보면 개인별로 큰 편차가 나타나기는 하지만 고운 재질을 느끼기 위해서 손가락으로 더 넓은 범위를 더 빠르게 문지르는 특성이 분명하게 드러나고 있다. 이러한 결과를 보이는 이유는 Hollins 등의 연구에서 언급한 것처럼 고운 재질을 인식하는데 있어서 진동수가 중요한 역할을 하기 때문이다[11]. 표면의 미세한 질감을 피부 표면에서의 미세한 압력 분포를 통해서 감지 하기 보다는 빠르게 문지름으로써 피부와 접촉면 사이에서 발생하는 stick-slip 현상이 일으키는 진동을 통해 고운 정도를 인식하려고 하기 때문이다. 위 실험 결과는 최소 50mm의 운동범위와 150mm/sec의 수평운동 속도를 구현할 수 있는 passive touch 메커니즘을 설계하는데 적용되었다.

IV. 시스템 설계 및 제작

본 장에서는 2장과 3장에서 언급한 설계 요구 사항을 만족시키는 질감 제시 장치와 질감과 반력을 동시에 전달할 수 있는 통합 질감 제시 시스템의 구체적인 설계와 제작 결과에 대해서 설명한다. 1절에서는 질감 제시 장치의 피부 수직 방향 자극 메커니즘에 대해서 설명하고, 2절에서는 질감 제시 장치의 passive touch 구현을 위한 피부 수평 방향 자극 메커니즘을 다루며, 3절에서는 반력 생성 장치 메커니즘을 설명하고, 4절에서는 질감과 힘을 동시에 전달할 수 있는 통합 질감 제시 시스템에 대하여 설명한다.

1. 수직 방향 자극 메커니즘

2장과 3장에서 언급한 질감 제시 장치의 요구사항을 만족시키기 위하여 8개의 압전 바이모프(piezoelectric bimorph)를 액츄에이터로 사용하였으며, 각 액츄에이터에 6x1 핀 배열을 부착함으로써 수직방향 자극을 통한 질감 제시 메커니즘을 개발하였다. 각 바이모프에 부착된 6x1 핀 배열이 바이모프의 굽힘 운동에 의해서 피부 수직 방향의 자극을 유도할 수 있다. 그림 4는 압전 바이모프와 핀 배열을 이용한 피부 수직 방향 자극 메커니즘을 실제 제작, 조립한 모습이다.

액츄에이터는 physik instrumente corporation社의 PL-140.251이며 전압을 인가하였을 때 바이모프의 끝 단에서 수직방향으로 0.5N의 힘과 최대 2mm변위를 만들 수 있다. 각 바이모프에 6x1 핀 배열을 부착하여 바이모프의 굽힘 운동에서 피부 수직 방향의 자극을 유도할 수 있다. 바이모프의 입력 전압 대 끝 단의 변위는 그림 5와 같이 27.36 $\mu$ m/V이다.

핀 배열을 부착하였을 때 바이모프의 주파수 응답특성을 측정해본 결과, 그림 5와 같이 바이모프의 공진 주파수는 150~180Hz에서 존재하고 공진 주파수를 넘어서는 끝 단의 변위가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 하지만 500Hz에서 약 6dB가 떨어져 21dB (약 11.22 $\mu$ m/V)이 되지만 입력 전압을 5V 이상 인가함으로써 2장에서 언급했던 고주파에서 피부 감각 수용기를 자극 하기 위해 필요한 최소 변위이상으로 충분히 동작시킬 수 있다. 또한 0.5N이 각 핀에 약 0.083N씩 분산된 채로 수직방향 자극을 가하게 되는데 이 값은 손가락 피부의 역학적 특성을 연구한 Srinivasan의 연구 결과를 토대로 볼 때[13] 피부를 원하는 만큼 변형 시키기에 충분한 크기의 힘이며, 실제 구현을 해보았을 때 손가락을 얹을 경우도 원하

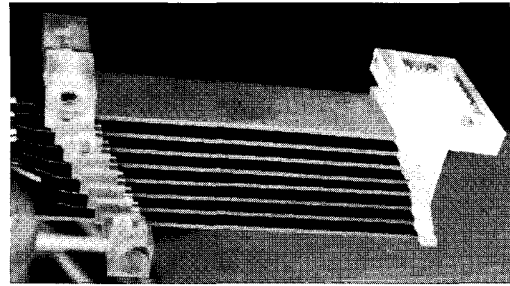


그림 4. 압전 바이모프와 핀 배열을 이용한 피부 수직 방향 자극 메커니즘.

Fig. 4. Normal stimulus mechanism.

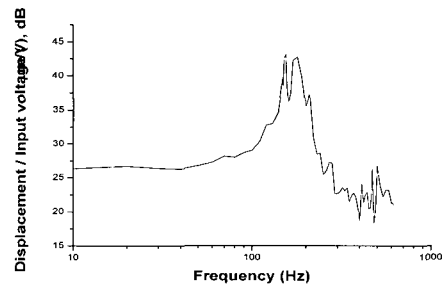


그림 5. 압전 바이모프의 주파수 응답 특성.

Fig. 5. Frequency response of piezobimorph.

는 위치를 유지함을 확인할 수 있었다. 핀 배열은 핀의 간격 차이가 0.5mm이상인 자극이 들어올 때 SAI 수용기가 반응한다는 Johnson의 연구 결과에 참고하여[9], 0.5, 0.6, 0.7mm의 직경의 세 종류의 핀을 개발하였으며, 핀 간격은 1.5, 2.0mm으로 조절할 수 있게 하였다. 그림 6에서 보이는 제작된 질감 제시 장치에서 피부 수직 방향 자극부의 전체의 크기는 55x15x24mm이며, 손가락과 접촉하는 부분의 길이는 8mm이고, 폭은 핀 간격에 따라 8~12mm로 조절이 가능하다.

2. 수평 방향 자극 메커니즘

passive touch를 생성하기 위한 수평 방향 자극 메커니즘은 마우스 크기 내에 내장될 수 있는 소형 모터와 리니어 가이드를 이용하여 1절에서 제시한 수직 방향 자극부를 선형 왕복 운동시킨다. 수평 방향 자극 메커니즘은 3장 3절의 생리학 실험 결과를 바탕으로 하여 최소 50mm의 운동범위와 150mm/sec의 수평운동 속도를 구현할 수 있게 설계되었다. 소형 모터는 타이밍 벨트로 볼-스크류를 구동시키고 볼-스크류와 리니어 가이드에 부착된 피부 수직 방향 자극부는 접촉 피부면과 상대적인 움직임으로 수평 방향 자극을 유발할 수 있다. 그림 6은 설계 요구조건을 바탕으로 제작된 질감 제시 장치의 모습이다. 그림 6에서 보듯, 1절의 수직 방향 자극부가 리니어 가이드에 부착 되어있고 리니어 가이드는 소형 모터의 구동으로 동작하게 된다. 개발된 질감 제시 장치의 전체 크기는 80x65x40mm으로 범용 컴퓨터용 마우스와 비슷한 크기를 갖는다.

3. 반력 생성 메커니즘

본 연구팀은 촉감을 제시하는 마우스 연구를 통하여 팔과 손가락에 반력을 전달하는 햅틱 마우스 인터페이스를 제안한 적이 있다[14].

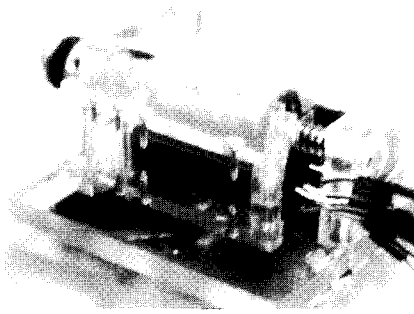


그림 6. 개발된 질감 제시 장치.  
Fig. 6. Implemented system.

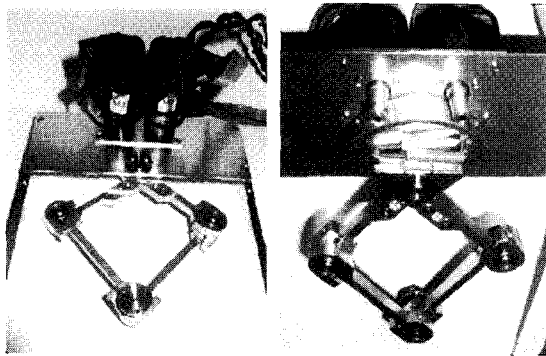


그림 7. Five-bar 링크를 이용한 반력 생성 구조.  
Fig. 7. Force feedback mechanism using five-bar linkage.

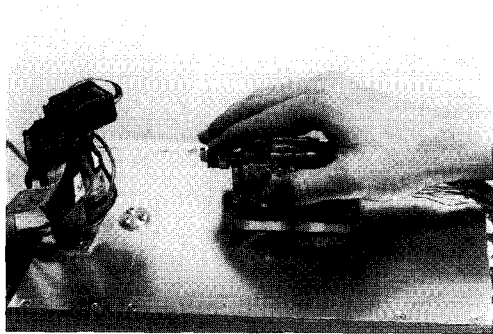


그림 8. 통합 질감 제시 시스템.  
Fig. 8. Integrated tactile display system.

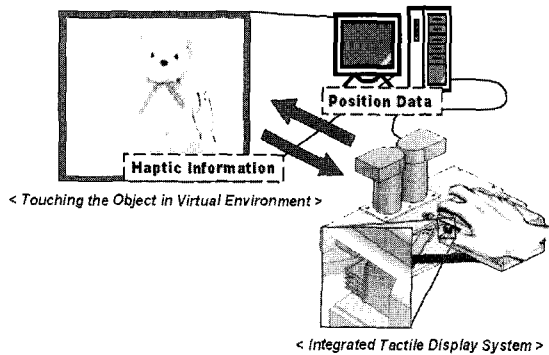


그림 9. 통합 질감 제시 시스템의 구상도.  
Fig. 9. Application of tactile display system.

마우스는 두 개의 모터에 의해서 작동되는 five-bar linkage 구조에 얹혀지는 구조였는데, 이 구조를 현재의 촉감 제시 시스템 개발에 적용하였다. 두 개의 모터는 wire-tensioning 메커니즘을 이용하여 five-bar linkage를 작동시키고 이로부터 end-effector에서 2자유도 평면 힘을 생성할 수 있다.

그림 7은 반력 생성 메커니즘의 구조를 보여주는데 end-effector에 마우스 본체가 없게 되어 마우스를 쥔 사용자의 손을 통해 반력을 전달하게 된다. 평면 위에서 각축 방향으로 최대 5N의 힘을 생성할 수 있다. 또한 2 자유도 평면 반력을 전달 할 수 있는 작동 범위는 30×40mm로 실제 사용자가 마우스를 움직이는 평균 작동 범위와 같도록 개발되었다[14].

4. 반력과 질감을 제시하는 통합 질감 제시 시스템

그림 8은 반력 생성 메커니즘의 end-effector에 개발된 질감 제시 장치를 결합하여 통합 질감 제시 시스템을 구축한 모습이다. 통합 질감 제시 장치는 3개 DC 모터와 8개 압전 바이모프를 구동기로 사용한다. 2개의 DC 모터는 2 자유도 힘 방향 장치의 구동을 위해서 사용되고 1개의 DC 모터와 8개 압전 바이모프는 질감 제시 장치의 구동을 위해 사용된다. 각 구동기의 출력을 제어하기 위해 총 11개의 D/A converter와 DC 모터의 엔코더 신호를 읽기 위해 3개의 counter가 사용되었다.

그림 9는 통합 질감 제시 시스템의 구상도이다. 사용자는 통합 질감 제시 시스템을 이용하여 마우스처럼 컴퓨터 모니터 내의 가상 환경과 상호작용을 할 수 있다. 2 자유도 힘 방향 장치의 작동 범위는 모니터와 1:1 대응되어 두 엔코더 신호로부터 사용자의 위치 정보가 입력된다. 입력된 위치 정보로부터 2 자유도 평면 힘과 엄지 손가락에 질감을 동시에 피드백 받을 수 있다. 앞서 1, 2절에서 언급했듯이, 질감 제시를 위하여 피부 수직, 수평 방향 자극을 동시에 구현할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 피부 수직, 수평 방향 자극을 모두 구현할 수 있는 질감 제시 장치를 제안하였다. 질감 제시 장치를 설계하기 위하여 인지 생리학적 문헌 접근법과 실험을 동시에 수행하였으며 질감 제시 장치 설계 요구사항을 제안하였다. 또한 제안된 설계 요구 사항을 만족시키는 질감 제시 장치를 구현함으로써 반력과 질감을 동시에 제시하는 마우스형 인터페이스 시스템을 완성하였다.

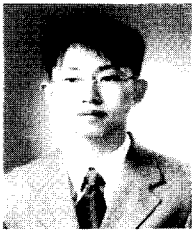
이 통합 질감 제시 시스템은 고정된 작은 표면 형상을 구현할 수 있으면서, static pressure, normal vibration, moving wave form 등의 다양한 피부 수직 방향 자극을 active, passive touch로 모두 구현할 수 있으며 핀 배열의 parameter 조절이 가능하므로 향후 tactile modeling 연구에서 다양한 조건으로 실험해볼 수 있는 test-bed 역할을 할 수 있다.

또한 개발된 통합 질감 제시 시스템은 촉감을 통해 부품의 조립상태를 시험해 볼 수 있는 3차원 CAD, 온라인 쇼핑몰 등에 적용될 수 있으며, 개발된 기술은 원격 조종 로봇이나 각종 시뮬레이터에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] G. C. Burdea. "Haptic issues in virtual environment", *Proceeding of Computer Graphics International*, pp. 295-302, 2000.

- [2] Y. Ikei, M. Yamada, and S. Fukuda, "A new design of haptic texture display-texture display2-and its preliminary evaluation", *Proc. of IEEE Virtual Reality 2001 Conference*, pp. 21-22, 2001.
- [3] V. Hayward, M. Cruz-Hernandez, "Tactile display device using distributed lateral skin stretch", *Proc. of the Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems Symposium, ASME IMECE2000, Proc. ASME*, Vol. DSC-69-2, pp. 1309-1314, 2000.
- [4] N. Asamura, N. Yokomu, H. Shinoda. "Selectively stimulating skin receptors for tactile display", *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 32-37, 1998.
- [5] C. J. Poletto and C. V. Doren, "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.
- [6] H. Kajimoto, N. Kawakami, T. Maeda, and S. Tachi, "Tactile feeling display using functional electrical stimulation", *Pro. of ICAT '99*, pp. 107-114, 1999.
- [7] M. Akmatsu, "Movement characteristics using a mouse with tactile and force feedback", *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 45, pp.483-493, 1996.
- [8] S. Weinstein, "Intensive and extensive aspect of tactile sensitivity as a function of body part, sex, and laterality", *The Skin Sense(Editor: D.R. Kenshalo)*, pp. 195-218, Springfield, 1968.
- [9] K. O. Johnson, "The roles and functions of cutaneous mechanoreceptors", *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 11, pp. 455-461, 2001.
- [10] J. D. Greenspan, S. J. Bolanowski, "The psychophysics of tactile perception and its peripheral physiological basis", *Pain and Touch (Editor: L. Kruger)*, pp. 25-104, Academic Press, 1997.
- [11] M. Hollins, S. J. Bensmaia, and E. A. Roy, "Vibrotactile and texture perception", *Behavioral Brain Research*, vol. 135, pp. 51-56, 2002.
- [12] S. J. Lederman, "The perception of surface roughness by active and passive touch", *Bulletin of the Psychonomic Society*, vol. 18, pp. 253-255, 1981.
- [13] M. A. Srinivasan, "Surface deflection of primate fingertip under line load." *J. Biomechanics*, vol. 22, no.4. pp. 343-349, 1989.
- [14] H. Choi, D. Kwon, and M. Kim, "Design of novel haptic mouse and its applications", *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robotics and Systems*, pp. 2260-2265, 2003.



**경기욱**

1999 KAIST 기계공학과 졸업. 2001년 KAIST 기계공학과 석사 졸업. 2005년~현재 KAIST 기계공학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 햅틱스(Haptics), Human-Computer Interface, 의료용 시뮬레이터.



**손승우**

2002년 KAIST 기계공학과 졸업. 2004년 KAIST 기계공학과 석사 졸업. 2005년~현재 현대중공업 기계전기연구소 기초기반연구실. 관심분야는 Robot Motion Control.



**양기훈**

2000년 KAIST 기계공학과 졸업. 2002년 KAIST 기계공학과 석사 졸업. 2005년~현재 KAIST 기계공학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 햅틱스(Haptics), Human-Comuter Interaction, 체감형 시뮬레이터.

**권동수**

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제 8 권 제 9 호 참조.

## 김문상

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제 10 권 제 9 호 참조.