
햅틱 인터랙션을 위한 공기촉감 제시장치의 개발 및 실험

– 손끝 부착 형 공기촉감 제시장치의 개발 및 심리 물리학적 실험

Design and Experiments of Pneumatic Tactile Display for Haptic Interaction

김영미, Yeongmi Kim*, 이안 오클리, Ian Oakley**, 류제하, Jeha Ryu***

요약 가상환경 또는 실제 환경에서 정보를 제공하는 햅틱 인터페이스의 필요성이 점점 증가함에 따라 촉감을 제공하기 위한 다양한 햅틱 장치가 개발되었고 각 장치의 특성과 성능 평가를 위해 기초적인 정신(심리) 물리학적 연구가 수행되고 있다. 본 논문에서는 여러 가지 햅틱 인터페이스 중 손가락 끝에 부착하는 형태의 새로운 공기 촉감 제시장치(PTI: Pneumatic Tactile Interface)를 제시하고 이 장치의 유용성을 입증하기 위해 localization rate, 시간 분해능, 길이 분해능, 강도의 세기 등의 심리 물리학적 실험(Psychophysical Experiment)의 수행 결과를 제시한다. 공기촉감 시스템은 50개의 출력까지 확장 가능한 공기촉감 하드웨어로 구성되어 있고 손가락 끝에 부착하는 형태로 구성하기 위해 5x5의 배열의 디스플레이를 제작하였다. 16명의 피 실험자가 A, B 두 그룹으로 나뉘어 각각 2가지의 심리물리학 실험을 수행하였다. localization rate의 경우 9개의 다른 자극의 위치를 구별하기 위해 3x3 배열로 구성된 밀집된 디스플레이와 확장된 디스플레이로 측정을 수행하여 각각 58.13%, 85.9%의 localization rate를 얻을 수 있었다. 그리고 100번의 반복 실험을 통해 공기촉감제시장치의 길이 분해능을 얻을 수 있었고 자극 강도 실험의 경우, 실제의 강도가 세어짐에 따라 피 실험자들이 느끼는 강도의 척도도 증가하며, 강도가 약해지면 피 실험자들이 느끼는 강도 역시 거의 선형적으로 감소함을 알 수 있었다. 그러나 시간 분해능의 경우에는 시스템을 구성하는 밸브의 성능으로 인해 20ms 이하의 시간 분해능 측정은 제한되었다. 이러한 심리 물리학적 실험을 통하여 개발된 공기 촉감 제시장치가 다양한 정보를 전달하는데 충분하다는 결론을 내릴 수 있으며, 향후 연구에서는 제안된 시스템을 사용하는 여러 가지 어플리케이션을 제시할 것이다.

Abstract This paper presents a novel pneumatic tactile display that can deliver some useful information. The air-jet display forms 5 by 5 arrays and features air nozzles with an external diameter of 2.4mm and internal diameter of 1.5 mm. In comparison with other tactile displays such as vibrotactile, there is little concrete psychophysical data relating to pneumatic displays, a fact which hinders their adoption. This paper addresses this challenge, and presents brief psychophysical studies examining localization rate, the two point threshold, stimulus intensity and the temporal threshold of cues produced by pneumatic air jets. Two groups of subjects were used in these studies, subsequently termed groups A and B. Both were comprised of eight participants. In the case of localization study we obtained 58.13% and 85.9% of localization rates each for dense display and sparse display. Two-points threshold test showed the length of gap between two air-jet stimuli which subjects can detect. However, it was formidable to find out precise temporal resolution of PTI owing to the limitation of capability of the pneumatic valves. Lastly, the results of stimulus intensity study suggest that by varying the size of a pneumatically created tactile stimulus, we can effectively vary its perceived magnitude.

핵심어: *pneumatic tactile display, psychophysical, haptic interface, two-point threshold, localization rate, temporal resolution, stimulus intensity*

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(IITA-2005-C1090-0502-0022) 및 실감 모델링 개발 사업 지원에 의하여 연구되었음.

*주저자: 광주과학기술원 기전공학과 박사과정

**공동저자: 한국전자통신연구원 연구원

***공동저자: 광주과학기술원 기전공학과 교수

*교신저자: 광주과학기술원 기전공학과 박사과정; e-mail: kym@gist.ac.kr

1. 서론

우리는 가끔씩 실생활에서 촉각 정보에 의존하여 어떤 행동을 하거나 판단을 내릴 때가 있다. 깜깜한 방의 전등 스위치를 더듬어 찾는다거나 극장에서 시각적 의존 없이 팝콘을 먹는 것이 그 대표적인 예가 된다. 그 밖에도 옷을 구입할 때 질감을 만져보거나 아기분유를 탈 때에도 손으로 만져서 온도를 측정하기도 한다. 이와 같이 촉각 정보는 이미 우리 생활에 중요한 부분을 차지하고 있으며 이러한 촉각에 관한 연구는 역감(kinesthetic) 및 촉감(tactile) 제시 등 여러 분야에 걸쳐 이루어져왔다.

현재 가장 널리 쓰이고 있는 역감 제시장치(예: PHANTOM™ [2])는 다양한 역감과 촉감, 그리고 역감 큐를 제공한다. 또한 외골격(exo-skeletal) 같은 기계적 구조나 모터를 이용한 장치들을 통해 가상 객체의 표면 질감이나 마찰력, 모양 등을 느낄 수 있다. 그러나 피부 표면에 직접적으로 정보를 제시하지 못하는 단점이 있고, 전형적으로 이러한 장치의 end-effect는 힘을 느끼기 위해 쥐어지는 형태의 펜 타입[2] 또는 구 모양[6] 또는 thimble[2] 같은 형태로 이루어져 있다.

기존의 공기 촉감 제시장치들은 대부분 가상환경과 상호작용을 하기 위해 연구되었는데 가상 객체의 무게를 느끼기 위한 시스템(Gurocak et al., 2002) [11], 원격 수술 시 가상객체의 텍스처나 모양, 컴플라이언스 등을 느낄 수 있게 하는 텔레택션(teleaction) (G. Moy 2000)[10]을 예로 들 수 있다. 그리고 손가락 끝에 연결되어 가상객체의 정보를 제공하는 display에 관한 연구도 많은 관심의 대상이 되어왔는데 그 중에서 pneumatic air-jet display는 본 연구와 흡사한 점이 있다. Amemiya and Tanaka [4]는 손가락 끝을 두르는 air-jet display를 제시하고 가상객체의 모서리나 면 등을 사용자가 인식할 수 있도록 촉감정보를 제공하였다. 여러 가지 촉감제시장치 중에서 이러한 장치가 역감제시장치와 통합이 용이한 이유는 아마도 사용자의 손가락 끝에 접촉하는 기계적인 조립이 필요 없으며, 특히 공기촉감 장치는 유연하고 가벼운 튜브를 사용하는 이점이 있고 힘이 나오는 곳에서 공기 촉감을 제시하여 복합적인 햅틱 디바이스가 될 수 있기 때문이다.

진동자나 전류를 이용한 연구에 비해 air-jet 을 통해 피부에 자극을 주는 연구는 많이 진행되지 않았다. 특히 진동 촉감제시장치를 이용하여 교육, 오락, 군사, 의료 등 다양한 분야에 적용된 연구가 이미 활발히 진행되었으며, 뿐만 아니라 진동자를 이용한 심리물리학적 실험이 다양하게 수행되었다[15]. 공기촉감 제시장치의 경우 Amemiya 와 Tanaka 는 가상객체의 모양을 공기촉감 제시장치로 제공하는 시스템을 개발하였다. 그리고 엄지와 집게손가락의 변수들과 공기촉감 장치의 two point different threshold를 결정하려고

시도했으나 각각의 독립적인 변수가 미치는 영향으로 인해 실험으로부터 얻은 데이터로는 구체적인 결론을 지을 수가 없었다. 또한 Amemiya 와 Tanaka의 논문에서는 길이 분해능을 손가락 끝의 두 자극점사이의 길이가 아닌 손가락 끝과 공기 노즐 사이의 거리로 정의했다. 그래서 우리는 제안된 새로운 공기촉감제시장치를 사용하여 air-jet 자극에 관한 집게손가락(index finger)의 길이 분해능 (two-point different threshold), localization rate, 시간 분해능 (temporal resolution), 강도(intensity) 등의 심리 물리학적 실험을 수행하였다.

본 논문에서는 새로운 공기촉감 제시장치를 설명하고 기존의 연구를 바탕으로 우리가 제시한 공기촉감 제시장치의 유용성을 입증하기 위해 심리 물리학적 실험을 제시하고 분석할 것이다. 그리고 유용한 응용분야를 제시하여 결론지을 것이다. 2장에서는 공기 촉감 제시장치의 전체적인 시스템 구성에 대해 설명을 하고 손끝에 부착할 수 있는 형태로 만들어진 display 디자인에 대해 설명을 할 것이다. 3장에서는 본 논문에서 제시한 공기 촉감 제시장치를 이용하였을 때 검지 끝(fingertip)에서의 여러 가지 심리물리학적 요인들을 알아보기 위한 여러 가지 실험을 설명하고 결과를 분석할 것이다. 그리고 마지막으로 결론에서는 본 논문에서 제시한 공기 촉감 제시장치와 수행한 심리물리학적 실험을 결론짓고 향후 논문에서 제시한 장치를 이용한 몇 가지 유용한 어플리케이션을 제시할 것이다.

2. 공기 촉감 제시장치

2.1 공기 촉감 제시장치의 시스템 구성

시각정보와 청각정보는 눈과 귀를 통해 획득할 수 있듯이 촉각정보를 얻기 위해서는 촉각 제시장치와 피부가 접촉이 되어야 한다. 전체적인 시스템 구성을 살펴보면 촉감 제시장치의 display 부분은 사용자의 몸에 부착되며 시리얼 통신을 통해 공기촉감제시장치는 PC로부터 입력 값을 실시간으로 받을 수 있다(그림 1).

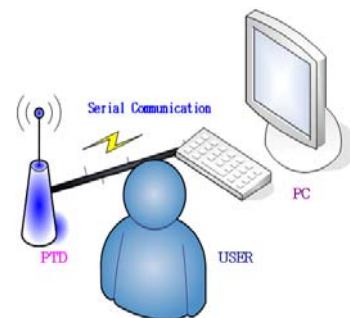


그림 1. 공기 촉감 제시장치의 전체적인 시스템 구성도

그림 2 a)는 전체적인 공기촉감 제시장치를 보여준다. 편리

한 이동을 위해 바퀴를 장착한 프레임 제작하고 박스 안에 공압 밸브와 밸브를 제어하기 위한 회로가 구성되어 있다. 그림 2 b)는 박스 안에 장착된 제어부 하드웨어를 보여 준다. 50개의 출력을 가진 공압밸브는 마이크로 컨트롤러에 의해 독립적으로 제어가 되며, 밸브를 구동시키는 전원은 24V의 충전 가능한 배터리를 사용하고 DCDC converter로 5V의 마이크로 컨트롤러(ATMega 128)의 전원을 인가할 수 있다.

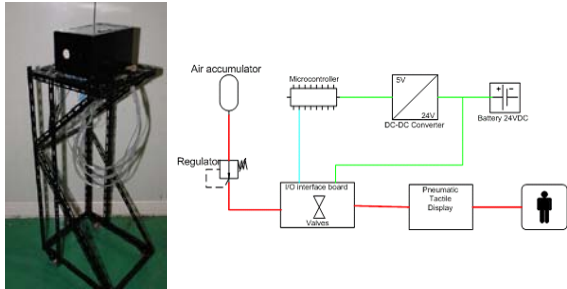
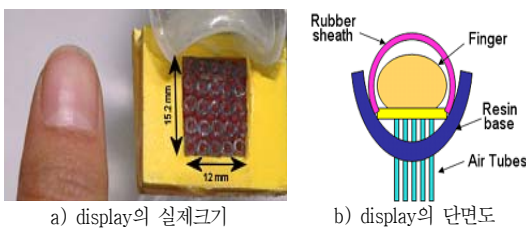


그림 2. a) 전체 시스템, b) 시스템 구성도

2.2 Display 디자인

지금까지의 연구 결과를 보면 손가락 끝(fingertip)부분은 신체 중에서 상당히 민감한 부분이다. 그래서 우리는 사용자에게 효과적으로 유용한 정보를 제공하고 또한 향후에 PHANToM™과 같은 역감제시 장치와 연동하는 시스템을 만들기 위하여 손가락에 끼우는 형태의 촉감 제시장치 display를 5x5 형태의 배열로 구성하였다. Display 구성에 사용된 튜브의 크기는 내경 1.5mm, 외경 2.4mm인데, 손가락 끝의 크기의 제한으로 인해 가로로 배치된 튜브 사이에는 공백이 없으나 세로로 배치된 튜브 사이에는 0.8mm의 공백을 두었다. 따라서 실질적으로 손가락 끝에 자극을 주는 display의 총 면적은 가로 12mm, 세로 15.2mm이다 [그림 3].



a) display의 실제크기

b) display의 단면도



c) display의 end-effector

그림 3. 손끝 부착형 display

그림 3 b)는 구현된 display의 단면을 보여주는 그림이다. 5x5 배열의 튜브 끝이 손가락의 평평한 면에 접촉을 하게 하

고, 사용자가 display에 손가락을 끼웠을 때 잘 맞게 하기 위해 고무 밴드로 손가락 형태를 만들었으며 향후 PHANToM™ thimble에 끼우기 위해 레진으로 손가락 크기만 한 end-effector 부분을 디자인하였다 [그림 3 c)].

3. 심리물리학적 실험 (Psychophysical Experiments)

공기촉감 하드웨어에서 제시되는 촉감 큐(tactile cue)를 잘 이해하기 위해 우리는 여러 가지 기초적인 테스트를 수행했다.

3.1 실험 환경

16명의 피 실험자를 A, B 두 그룹으로 나누고 각각의 그룹은 8명으로 구성하였다. 8명은 3명의 여성과 5명의 남성으로 이루어져 있으며, 나이는 22세부터 29세이고 모두 오른쪽 손을 사용한다. 그룹 A는 localization 수행과 거리 분해능에 관한 실험을 수행하였고, 그룹 B는 자극의 강도(stimuli intensity)와 시간 분해능 실험을 수행하였다.

네 가지의 심리 물리학적 실험 모두 연습세션과 실제 실험으로 이루어졌다. 실험 전 피 실험자들은 실험 설명서를 읽고, 컴퓨터 스크린 앞에 앉는다. 그리고 왼쪽 검지에 촉감제시장치를 부착하고 연습 세션을 시작한다. 연습 세션이 끝나면 외부의 소음을 차단하기 위해서 헤드폰을 쓰고 실험 장소에 홀로 남겨진 후 실험을 시작한다. 신뢰성 있는 데이터를 얻기 위해 연습 세션의 데이터는 실험 분석에 사용되지 않는다. 그리고 네 가지의 실험에서 사용된 압력의 세기는 15psi 이다.

3.2 Localization Performance 실험

3.2.1 과제 (Task)

이 실험은 손가락 끝의 localization performance를 측정하기 위한 실험이다. 9군데의 다른 위치를 테스트하기 위해 3x3 배열을 밀집된 형태와 확장된 형태로 나누어 두 가지 경우에 관한 localization performance를 측정하였다. 그림 4는 밀집된 3x3 display [그림 4 a)]와 확장된 3x3 display [그림 4 b)]를 보여준다. 그리고 그림 4 c)는 9개의 출력부분과 키보드의 숫자 패드의 번호가 매치됨을 보여준다.

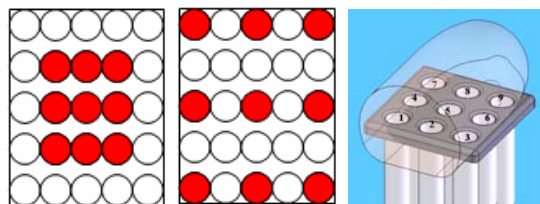


그림 4. a) 밀집된 배열, b) 확장된 배열, c) display

그림 5. a)는 실험에 사용된 그래픽 인터페이스를 보여주는

데, 이것은 손가락 끝에 부착된 display 의 3x3 배열에 부합하고 사용자의 반응과 정답을 보여준다. 두 가지의 실험 모두 각각의 시도동안 시작을 하기 위한 키를 누르고 1000ms 이후에 500ms 동안 air-jet으로부터 자극을 받게 된다. 만약 왼쪽 가장 아래의 air-jet에서 자극이 발생하면 피 실험자는 키보드에 있는 숫자 1을 입력하게 된다. 입력된 숫자는 기록이 되면 붉은색으로 변하고 500ms 후 정답이 파란색으로 표시되게 된다. [그림 5 b)]. 90번 시도의 연습 후 180 번의 실험 데이터가 저장되어 이 때 각 air-jet 은 20번씩 랜덤한 순서로 디스플레이 된다.

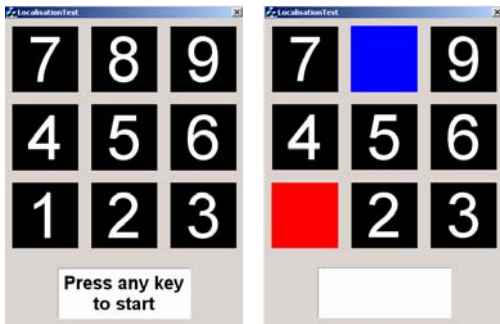


그림 5. a)localization 인터페이스, b)사용자 응답 인터페이스

3.2.2 결과 및 고찰

그림 6은 각각의 실험에서 개별 air-jet의 localization rate를 보여준다.

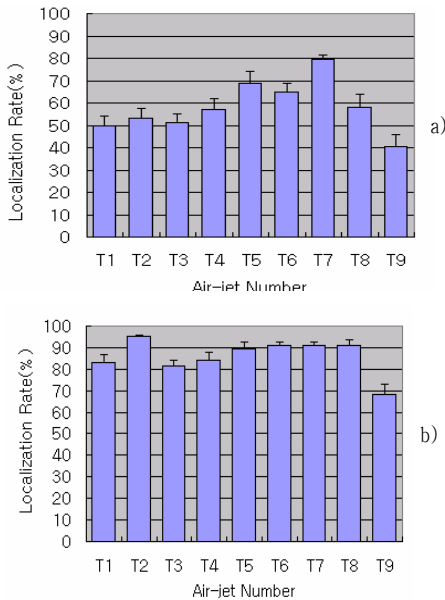


그림 6. localization rate (막대는 표준편차를 나타냄). a) 밀집된 3x3 배열, b) 확장된 3x3 배열

두 실험의 localization 수행을 비교하는 T-test를 통해 유의 차이(significant differences)가 있음을 알 수 있었고 ($p < 0.001$), 실험 결과로부터 밀집된 배열의 display인 경우 58.13%, 확장된 배열의 경우는 85.9%의 localization rate

를 얻을 수 있었다[그림 7].

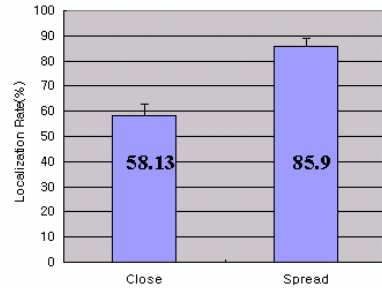


그림 7. localization rate 평균 (막대는 표준편차를 나타냄)

Localization performance 실험 결과로부터 air-jet 자극에 대한 인식이 상대적으로 손가락 끝에 균등하다는 것을 알 수 있다. 이것은 우리의 단순한 하드웨어 디자인의 유용성을 입증하는 것이 새로운 심리물리학(psychophysics) 적인 통찰을 제공함을 알 수 있다. 그러나 확장된 배열의 경우 배열의 맨 끝단에 위치한 air-jet은 인식이 현저히 떨어지기 때문에 한 가지 유의해야 할 것이 있다. Air-jet이 충분히 손가락 끝의 곡선부분 아래에 위치해 있으면 손가락의 접촉 부위와 공기의 방출구 사이의 길이가 인식의 결함을 줄 만큼 커져 버릴 수도 있다. 따라서 이와 같은 결함을 보완하기 위해서 더 작은 치수의 array를 사용하거나 손가락 끝에 잘 밀착시키는 형태의 display를 디자인해야 할 것이다.

3.3 길이 분해능(Two point threshold) 실험

3.3.1 과제 (Task)

이 실험의 목표는 공기 촉감 자극에 대한 손가락 끝의 길이 분해능(two point different threshold)을 찾는 것이다. 그림 8과 같이 하나 또는 일정한 간격을 가진 두 개의 air-jet 자극이 주어지면 피 실험자는 주어진 자극이 하나 또는 두 개로 인식이 되었는지 응답을 해야 한다. 일정한 거리 간격을 두고 두 개의 자극이 주어지면 대부분의 사람들은 두 개로 인식하지만 만약 두 자극의 거리 간격이 매우 좁으면 두 개의 자극을 하나로 인식할 수 있다[13]. 길이 분해능 실험을 위해 자극은 그림 8과 같이 두 air-jet 사이의 거리에 따라 5가지로 주어지고, 피 실험자는 그 자극이 하나의 점에서 주어졌는지 아니면 두 점인지를 인지하고 대답을 해야 한다. 이때 두 점 중심의 사이의 거리는 0, 3.2, 6.4, 9.6, 12.8mm 이다.

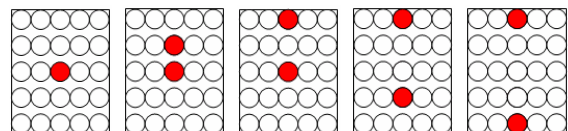


그림 8. 길이 분해능 display(길이: 0,3.2,6.4,9.6,12.8 mm)

각각의 자극은 10번씩 연습 세션 동안 수행이 되고 20번씩, 총 100번의 시도를 통해 실험 데이터가 저장되며 이때 실험에 사용된 그래픽 인터페이스는 아래 그림과 같다 [그림9].

Localization performance 실험에서와 마찬가지로 하나 또는 두 점에서의 자극이 동시에 주어질 때 피 실험자가 입력한 반응은 빨간색으로 변하지만, 정답은 표시되지 않고 다음 번의 시도로 넘어가게 된다.

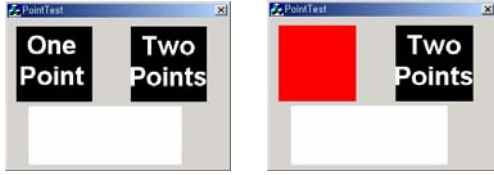


그림 9. 길이 분해능 인터페이스

그러나 첫 번째 실험을 통해 두 air-jet 사이의 거리가 넓은 경우 정확한 분해능을 찾을 수 없다는 결론을 내리고 그림 10과 같이 두 air-jet 사이의 거리를 좁혀 다시 동일한 조건에서 실험을 수행하였다. 이때 각각 두 air-jet 중심 사이의 거리는 0, 2.4, 3.2, 4.0mm 이다. 한 점에서의 자극은 90 번 수행되고 세 종류의 두 점에서의 자극은 각각 30번씩 랜덤 한 순서로 수행되어 총 180번의 시도가 데이터로 저장되었다.

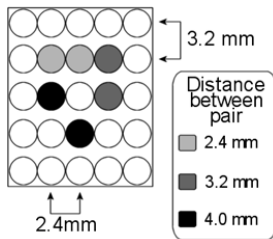


그림 10. 수정된 길이 분해능 display (길이: 0, 0.9, 1.7, 2.6 mm)

3.3.2 결과 및 고찰

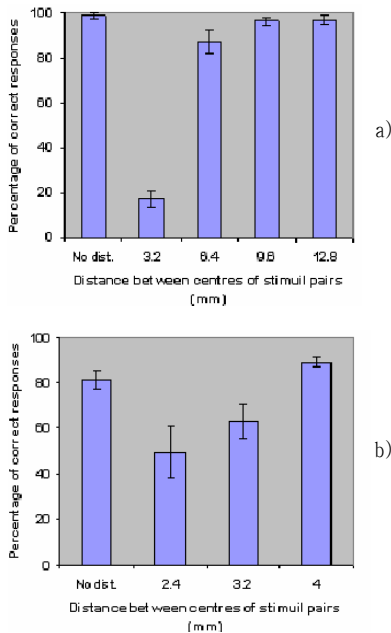


그림 11. a) 길이 분해능 결과 I (막대는 표준편차를 나타냄), b) 길이 분해능 결과 II (막대는 표준편차를 나타냄)

그림 11은 하나 또는 두 개 점의 자극을 피 실험자가 얼마나 정확히 인식하는지를 보여준다. 데이터로부터 ANOVA는 멀리 떨어진 경우의 실험과 ($F(3,7)=128.751, p<0.001$), 밀집된 배열인 경우의 실험 ($F(2,7)=11.052, p<0.001$) 에서도 유의차이(significant effects)를 보였다. 첫 번째 실험에서 피 실험자는 두 번째 실험보다 단일 자극을 훨씬 잘 인식한 반면 3.2mm 떨어진 두 개의 자극은 잘 인식하지 못했다. 이러한 격차는 아마도 첫 번째 실험 디자인에서의 bias 현상 때문일 것이다. 첫 번째 실험에서 단일 자극은 전체의 20%만 주어졌는데 이러한 데이터는 단일 자극과 두 개의 자극의 비율이 동일할 것이라는 피 실험자의 기대에 빗나가게 되는 요인이 된다. 그러나 두 번째 실험의 경우 이러한 bias 현상을 피하기 위해 단일 자극과 두 개의 자극을 동일한 비율(50%:50%)로 제공하여 air-jet에 의해 제공되는 pneumatic cue의 길이 분해능을 정확히 측정할 수 있었다. 기존의 pin-pricks를 이용하여 길이 분해능을 측정한 연구에서는 1mm의 길이 분해능을 보고했다 [16]. 두 번째 실험으로부터 우리는 pneumatic cue 가 2.4 mm 떨어져 있을 때 사용자는 약 50% 인식 한다는 것을 알 수 있다. 그리고 3.2mm 간격의 경우에 인식이 나아지긴 했지만, 4mm의 간격인 경우에 피 실험자는 안정적으로 두 개의 자극을 구분할 수 있었다.

3.4 시간 분해능 실험

3.4.1 과제 (Task)

시간 분해능 또한 인간의 인식 체계의 중요한 하나의 요소이다. 짧은 시간차를 두고 두 개의 자극이 주어질 때 피 실험자들이 두 개의 자극을 하나로 느끼지 않고 두 개로 느낄 수 있는 최소한의 시간을 시간 분해능이라고 부르는데, 유용한 정보를 손실 없이 모두 전달하기 위해서 시간분해능 이상의 시간간격으로 촉감정보를 제공하는 것은 매우 중요하다. 그래서 본 논문에서도 제시한 공기촉감제시장치의 시간 분해능을 찾기 위해 다음과 같은 실험이 수행 되었다. 실험에 사용된 그래픽 인터페이스는 그림 12 a)와 같이 주어지고 25개의 air-jet중 랜덤하게 위치한 한 곳에서 한번 또는 두 번의 자극이 주어지면 [그림 12 b)], 피 실험자는 자극이 한번인지 두 번인지를 결정하여 적절한 응답을 한다. 두 자극간의 시간은 0, 10, 20, 30, 40 msec로 두었으며 각각 10번씩 랜덤한 순서로 자극이 주어졌다. 길이 분해능과 마찬가지로 피 실험자의 응답은 빨간색으로 표시가 되고 정답은 표시해 주지 않는다.

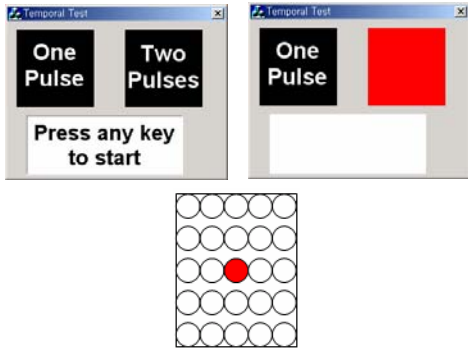


그림 12. a) 시간 분해능 인터페이스, b) 시간 분해능 display

3.4.2 결과 및 고찰

쉽게 인식하고 구별할 수 있는 속도에서 air-jet의 자극을 display 하는 것은 매우 중요한 과제일 것이다. 인간의 촉감 시스템에서 시간 분해능은 상당히 복잡한 이슈이다. 다른 종류의 기계적 수용기(mechanoreceptor) 때문에 공기촉감의 큐에 관한 적합한 시간분해능을 찾는 것은 매우 어려운 일이기 때문이다. 그림 13은 수행된 시간 분해능 실험결과를 나타내는데 두 가지의 경우 모두 정확도가 거의 100% 이고 유의차가 없음을 보여준다($p=0.43$). 그리고 우리가 사용한 밸브의 성능 규격에 의하면 응답 속도가 20ms 이므로 그 이하의 시간 분해능에 대해서는 제한적이다. 실험으로부터 얻은 결과를 살펴보면 최소시간인 10ms인 경우에도 95% 이상의 인식률을 얻었으나 하드웨어의 성능 부족으로 20ms 이하의 시간 분해능은 측정하기가 힘들다고 결론지을 수 있다. PHANToMTM과 역감 장치의 경우에는 좋은 역감을 제시하고, 안정적인 인터랙션을 위해 1kHz 로 햅틱 렌더링이 되어야하지만 촉감 제시장치의 경우 시간 분해능은 5 msec(200Hz)이고, 150 msec 이하의 시간간격 자극은 차폐 효과(masking effect)를 유발할 수 있다[13]. 따라서 우리가 제안함 시스템으로는 빠른 업데이트 rate를 요구하는 동적인 가상 객체를 표현하는 것에는 제한이 있지만, 제안된 장치의 시간 분해능으로 방송시스템에서의 터치 효과 등을 표현하거나 가상 버튼의 힘을 재현하고, 촉감 큐(tactile cue)를 충분히 제공할 수 있다.

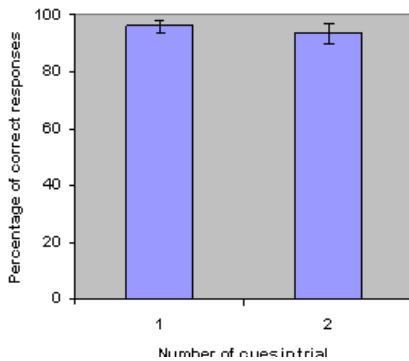


그림 13. 길이 분해능 결과 (막대는 표준편차를 나타냄)

3.5 자극의 강도(Intensity) 실험

3.5.1 과제 (Task)

본 실험에서는 air-jet 배열수를 조절하여 피부에 접촉하는 면적을 다르게 함으로써 강도(magnitude)를 작게 하거나 크게 했을 때 피 실험자가 느끼는 척도를 측정하는 실험을 수행했다. 피부에 접촉되는 면적의 크기와 진동촉감제시장치에 의해 인식되는 강도(magnitude)는 Verrillo[17]와 Oakley [18]에 의해 제시된바 있고, 다른 감각인 비전에서도 유사한 효과에 대해 잘 정리가 되어있다 [19]. localization 실험과 길이분해능 실험을 통해 우리는 근접해 있는 air-jet의 그룹을 활성화시켜 다른 크기의 면적을 자극할 수 있다.

자극의 강도는 주어진 강도의 세기에 따라 사용자들이 세기의 강약을 느낄 수 있는지 보기 위한 중요한 척도가 될 수 있다. 이 실험은 손가락 끝에 display 된 air-jet의 크기와 강도에 비례하여 사용자가 느끼는 공기 촉감의 양의 변화를 조사하기 위해 수행 되었다. 그림 14에서 보는 바와 같이 1개부터 9개의 air-jet 모두 동작하는 9가지의 다른 강도를 설정해 두었고 81의 연습세션 후에 162번 시도의 실험을 수행하였다.

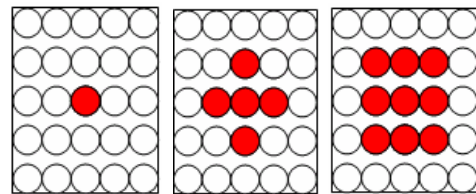


그림 14. 강도 display: 1부터 9개의 air-jet이 작동함에 따라 강도의 세기가 달라진다.

500ms 동안의 첫 번째의 자극이 display 되고 1000ms 후에 두 번째 자극이 500ms 동안 주어지는데 피 실험자는 두 개의 자극의 세기를 아래 그림 15와 같은 그래픽 인터페이스를 통해 응답을 하였다.

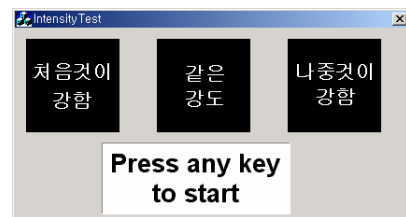


그림 15. 자극의 강도 인터페이스

3.5.2 결과 및 고찰

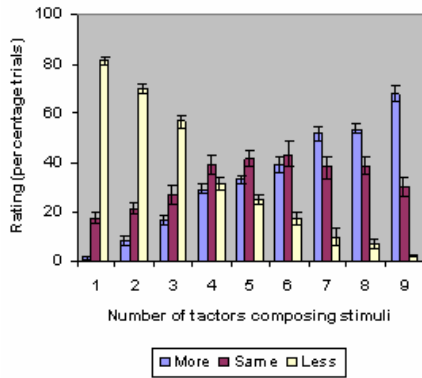


그림 16. 자극의 강도 결과

우리는 매번마다 주어진 자극에 대해 피 실험자가 느끼는 강도가 다른 자극보다 강도가 센지 약한지를 실험 결과를 통해 알 수 있다. ANOVA 결과에서 (F(8,7)=129.65, $p < 0.001$)의 통계적 결과를 얻을 수 있었다. 기록된 데이터는 두 개의 다른 강도의 자극을 비교할 수 있게 하는 척도가 되는데, 이러한 데이터를 간단히 표현하기 위해서 각각의 강도의 감소 및 증가 또는 등가의 그래프로 이를 비교할 수 있다. 그림 16 에서와 같이 실제의 강도가 세어짐에 따라 피 실험자들이 느끼는 강도의 척도도 증가하며, 강도가 약해 질수록 피 실험자들이 느끼는 강도 역시 거의 선형적으로 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 공기촉감 자극의 크기를 변화함으로써 우리는 강도를 효과적으로 증가시키거나 감소시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 1. 자극의 강도 실험 t-test의 p값 (회색은 유의 차이가 있음을 나타냄)

		Number of air jets in one stimuli							
		2	3	4	5	6	7	8	9
Number of air jets in other stimuli	1	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	2		0.46	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	3			0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	4				1.0	0.64	0.01	0.01	0.01
	5					1.0	0.01	0.01	0.01
	6						0.07	0.14	0.01
	7							1.0	0.12
	8								0.20

4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 손가락 끝에 부착하는 형태의 공기 촉감 제시장치를 설계하였다. 그리고 이 장치를 사용하여 얼마나 다양한 정보를 표시할 수 있는지를 알기 위해 검지 끝의 localization rate, 시간 분해능, 길이 분해능, 강도의 세기 등의 심리 물리학적 실험(Psychophysical Experiments)을 수행 하였다. 이와 같은 기초적인 연구는 향후 응용 시스템을 구성하여 더욱 효과적인 촉감 정보를 사용자에게 제공할 때 기초 지식으로 사용될 수 있다.

향후에는 제안된 시스템을 바탕으로 복잡한 가상의 물체, 예를 들어 휴대폰이나 PDA 같은 가전기기의 버튼을 누르는 느낌 등을 제공하고 두더지 게임 등에 적용하여 가상환경과 상호 작용 시 공기촉감 정보를 주는 시스템에 관한 연구를 수행하여 디지털 목업(digital mock-up) 모델 및 게임분야에 응용을 할 것이다. 그리고 실제감 있는 TV 시청을 위해 시청자가 영화를 감상할 때 음향 효과와 더불어 몰입감을 줄 수 있도록 효과적인 촉감 효과를 제공할 것이다. 마지막으로 공기 촉감 제시장치를 사용하는 새로운 촉감 콘텐츠에 관한 연구도 진행 될 것이다.

참고문헌

- [1] Grigore C. B., Philippe C.: Virtual Reality Technology. Second Edition, by John Wiley & Sons, 2003.
- [2] SensibleTechnologies, Inc. programming the PHANToM Haptic Device with the OpenHaptics™ Toolkit, VR2005, March 13th, 2005
- [3] Stone, R.J. "Haptic feedback: A brief history from telepresence to virtual reality", Haptic Human-Computer Interaction: Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, 2058, 1-16, 2001.
- [4] Amemiya, K. and Tanaka, Y. : "Portable Tactile Display Using Air Jet", ICAT, 1999.
- [5] Tanaka, Y. and Kanamori, T. "Dynamic Force Display Device by Pneumatic Pressure Feedback," FLUCOME, Vol.2, pp.719-723, 1997.
- [6] Sebastien Grange, Francois Conti, Patrice Rouiller, Patrick Helmer, Dr. Charles Baur, "Overview of the Delta Haptic Device", Proceeding of 1th International Conference Eurohaptics, July, 2001 www.forcedimension.com.
- [7] Yeongmi Kim, Jeha Ryu, "Information Display by Wearable Pneumatic Tactile Display", HCI international 2005, 22-27 July Las Vegas, pp.459, Nevada USA, 2005
- [8] Goldstein "The Somatic Senses", in Sensation & Perception, 4th ed: Brooks/Cole, 1996.
- [9] K.B. Shimoga "A Survey of Perceptual Feedback Issues in Dexterous Telemanipulation: Part II Touch Feedback", Proceedings of IEEE International Symposium on Virtual Reality, Seattle WA, 1993.
- [10] G. Moy, C. Wagner, R.S. Fearing "A Compliant Tactile Display for Teletaction," ICRA, 2000.
- [11] Hakan G., Benjamin P., Sankar J., Uma J., "Design of a Haptic Device for Weight Sensation in Virtual environments", ASME, pp 1-9, 2002.

- [12] D.G. Caldwell, N. Tsagarakis, and C. Giesler, "An Integrated Tactile/Shear Feedback Array for Stimulation of Finger Mechanoreceptor", IEEE Int Conf. Bob. and Auto., vol 1, pp. 287-292, 1999.
- [13] Grigore C. B., Philippe C.: Force and Touch Feedback for Virtual Reality, by John Wiley & Sons.
- [14] 김영미, 류제하, "웨어러블한 뉴메틱 텍타일 인터페이스를 이용한 정보의 표현", HCI/VR/CG/DESIGN학회 학술대회, 2005.1.31-2.3, 대구, 2005.
- [15] Cholewiak, R.W., J.C. Brill, & A. Schwab, "Vibrotactile localization on the abdomen: Effects of place and space", Perception & Psychophysics, 2004, 66(6): pp. 970-987.
- [16] Johnson, K.O. & Phillips, J.R. Tactile spatial resolution - I. Two point discrimination, gap detection, grating resolution and letter recognition. Journal of Neurophysiology, 46(6):1177-1191, 1981.
- [17] Verrillo, R.T., Effect of Contactor Area on the Vibrotactile Threshold, Journal of the Acoustical Society of America, 35(12):1962-1996, 1963.
- [18] Oakley, I, Kim, Y., Lee, J. & Ryu, J. Determining the Feasibility of Forearm Mounted Vibrotactile Displays. In Proceedings of the Haptics Symposium 2006, Arlington, VA, 2006.
- [19] Sekuler, R. & R. Blake, Perception. Mcgraw-Hill College, 2002.



김영미

1999년 3월 ~ 2004년 2월 한국해양대학교 기계정보공학부 제어컴퓨터 공학과 졸업(공학사). 2004년 3월 ~ 2006년 2월 광주과학기술원 기전공학과 졸업(공학석사). 2006년 3월 ~ 현재 광주과학기술원 기전공학과 박사과정. 관심분야는 촉감제시장치 설계, 촉감방송, Psychophysics, AR 환경에서의 역/촉감 기술임



Ian Oakley

1993년 10월 ~ 1998년 6월 University of Glasgow, UK Computing Science and Psychology 졸업 (공학사). 1998년 10월 ~ 2003년 7월 University of Glasgow Computing Science학과 졸업 (공학박사). 2001년 11월 ~ 2004년 11월 Media Lab 연구원. 2005년 5월 ~ 2005년 12월 광주과학기술원 연구원. 2006

년 6월 ~ 현재 한국전자통신연구원(ETRI) 연구원. 관심분야는 다차원 HCI의 디자인, 개발 및 평가



류제하

1978년 3월 ~ 1982년 2월 서울대학교 기계공학과 졸업 (공학사). 1982년 3월 ~ 1984년 2월 한국과학기술원 기계공학과 졸업 (공학석사). 1987년 8월 ~ 1991년 12월 University of Iowa 기계공학과 졸업 (공학박사). 1994년 10월 ~ 현재 광주과학기술원 기전공학과 교수. 관심분야는 촉각기술, 촉각렌더링, 촉각장치 설계 및 제어, 촉각방송, 촉각모델링임