

모바일 기기용 햅틱스를 위한 센서 및 구동기

김상연, Sang-Youn Kim

요약 본 논문에서는 모바일기기에 적용가능한 햅틱 액츄에이터들을 제시한다. 모바일 디바이스에서 햅틱감각을 전달하기 위하여 동작주파수, 자극의 세기 뿐 아니라 크기나 전력소모까지도 고려해야 한다. 그러므로 현재까지 많은 모바일 기기에서는 햅틱감각을 생성하기 위하여 크기가 작고 쉽게 장착가능한 진동모터를 많이 사용하고 있다. 본 논문에서는 진동 모터와 다양한 햅틱 감각을 생성할 수 있는 햅틱 액츄에이터들에 대하여 소개한다.

Abstract This paper addresses a haptic actuator which can be applied to mobile devices. For haptic feedback in mobile devices, we have to consider not only stimulating force and frequency but also the size and the power consumption of a haptic module. Thus far, vibration motors have been widely used in mobile devices to provide tactile sensation. The reason is that a vibration motor is small enough to be inserted into a mobile device. This paper addresses vibrotactile actuators and other haptic actuators which can generate a wide variety of tactile sensations.

핵심어: *Vibrotactile actuator, mobile device, haptic sensation*

*주저자 : 한국기술교육대학교 Interaction Lab, e-mail: sykim@kut.ac.kr

1. 서론

현재 현장감 및 몰입감을 증대시켜주는 햅틱 기술을 이용한 시스템들이 많이 개발되고 있다. 사람의 햅틱(haptic) 감각은 크게 근 감각 (역감, kinesthesia, or kinesthetic sensation) 과 피부 감각 (재질감, tactility, or tactile sensation)으로 나뉘어 진다. 근 감각은 물체의 질량, 물체가 딱딱하고 무른 정도, 물체의 외형 등을 파악할 때 근육과 관절의 움직임을 통해서 느껴지는 감각을, 피부감각은 물체 표면의 거칠기나 작은 모양들, 또는 온열감 등을 의미한다.

사람들은 정보를 얻기 위해 시각정보를 가장 많이 이용하지만, 모바일 기기에서는 시각 디스플레이 (LCD 등)의 크기가 실제감이나 흥미진진한 느낌을 전달하기에 부족하므로 햅틱 피드백이 몰입감을 증가시키는데 중요한

요소가 된다. 그러므로 모바일 기기와의 몰입감있는 인터랙션을 위하여 시각정보뿐 아니라 햅틱 정보까지 함께 전달할 필요가 있다. 본 논문에서는 사람의 햅틱 센서(mechanoreceptor) 들에 대하여 간단히 설명하고 모바일 기기에서 사용 가능한 햅틱 액츄에이터 들에 대하여 언급한다.

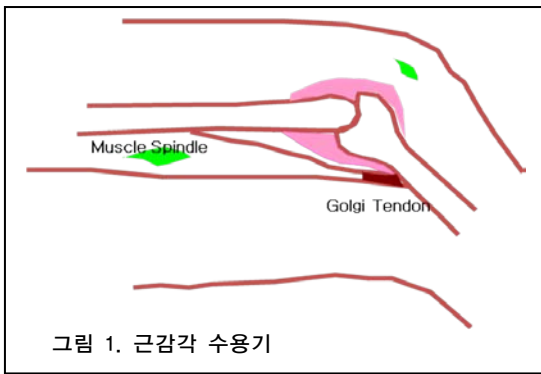
2. 휴먼 햅틱스 (Human Haptics)

2.1 근감각

사람의 촉각은 앞서 설명한 것과 같이 크게 근 감각 (역감, kinesthesia, or kinesthetic sensation) 과 피부 감각 (재질감, tactility, or tactile sensation)으로 나뉘어 진다. 사람이 촉각을 받아 들이는 부분 즉 사람의 촉각

센서를 수용기(receptor) 라고 하는데 피부 내에 존재하는 수용기들은 재질감을 받아 들이며 근육 내에 존재하는 수용기들은 압력이나 관절의 움직임을 센싱하여 근육 활동을 보고하고 조절하는 기능을 한다.

그림 1 은 근 감각에 해당하는 수용기들이다. Muscle spindle 은 근육의 정적/동적 움직임을 감지하는 수용기로 길이 변화에 반응하며 반응 특성은 느리고 불 규칙적이다. 그리고 tendon 의 결합 조직에 연결되어 있는 Golgi tendon 은 근 긴장의 변화에 반응하여 근육의 텐션을 감지하는 수용기로 빠르고 규칙적으로 반응하며 activation force 는 0.5 ~ 2.7mN 정도가 된다. 이는 햅틱 장치를 제작하는 스펙중 하나가 되는데 햅틱 장치를 통하여 0.5mN 이하의 힘을 가해도 사람은 느끼지 못하기 때문에 햅틱 장치로 표현할 수 있는 힘의 범위는 0.5mN 이상이어야 한다.



사람의 특성 중에서 햅틱 시스템을 설계할 때 필수적으로 알아야 하는 것이 차이식역(JND: Just Noticeable Difference) 이다. 차이식역 (JND)란 시공간적으로 떨어진 두 개의 자극을 구별할 수 있는 최소한의 차이를 의미한다. 힘 차이식역(Force JND)을 파악하기 위한 가장 대표적인 실험 순서는 다음과 같다.

- F0 라는 힘을 기준시간 (약 5 초이내)동안 피 실험자에게 가함
- 일정시간 이내(대부분 3 초 이내)에 F0 또는 F0 + ΔF 를 기준시간 동안 가함
- 두 힘이 서로 다른지 같은지를 대답하게 함.

차이식역을 파악하기 위하여 많은 연구들이 수행되었다. 가장 대표적인 것은 L.A. Jones[1] 의 연구로, 연구결과에 따르면 사람은 0.5N 이하에서는 힘 차이식역이 약 25% 이내이며 0.5N~200N 사이에서는 힘 차이식역이 약 10% 이내이다. 이와 같은 연구결과는 햅틱 액츄에이터 또는 햅틱 렌더링 기법을 설계 시 유용하게 사용될 뿐만 아니라 햅틱 시스템을 평가하는 도구로 사용될 수 있다. 현재 근감각을 제공할 수 있는 많은 액츄에이터들을 이용하여 햅틱 장치들이 개발되어 왔으나 부피가 커서 모바일 환경에서 사용하기는 어려운 실정이다.

2.2 피부감각

재질감(tactility, tactile sensation)은 사람의 피부에서 느껴지는 감각을 의미한다. 사람의 피부는 손등과 같이 털이 있는 피부(hairy skin) 와 손바닥 등처럼 털이 없는 피부 (glabrous skin) 으로 나뉘어 진다. 사람이 물체와 인터랙션을 할 때 주로 손바닥이나 손가락을 이용하므로 본 논문에서는 털이 없는 피부(glabrous skin) 에 대하여 주로 설명한다.

표 1. 기계적 수용기의 역할 및 동작 주파수

Receptor Type	Stimulus Frequency (best freq) Hz	Characteristics	Function
Merkel Disks	0-3	Irregular discharge rate	Edges, Intensity
Ruffini Corpuscles	0-10	Regular discharge rate	Static force, Skin stretch
Meissner Corpuscles	20-50	Discharge mostly at the onset of the stimulus	Velocity, Edges
Pacinian Corpuscles	100-300	Discharge only once for each stimulus	Acceleration, Vibration

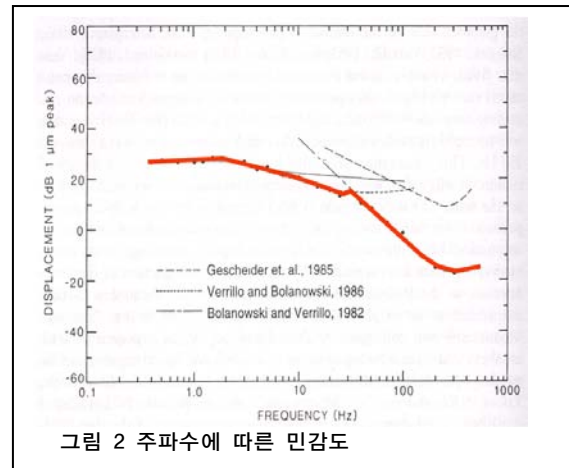


그림 2 주파수에 따른 민감도

재질감을 받아들이는 수용기는 크게 온도에 반응하는 온열감 수용기(thermoreceptor)와 물체의 거칠고 매끄러운 정도를 받아들이는 기계적수용기(mechano receptor) 가 존재한다. 기계적 수용기에는 Merkel' s disk, Meissner' s corpuscle, Ruffini ending, Pacinian corpuscle 의 4 종류가 존재한다[2]. Merkel' s disk 는 표피 (epidermis)와 진피(dermis)사이에 존재하며 피부에 가해지는 압력에 반응한다. 기계적 수용기는 자극의 주파수에 따라서 반응하는 수용기들이 달라지는데 Merkel' s disk 의 경우에는 주로 정적 자극 또는 저주파의 자극(0~3Hz)에서 가장 잘 반응한다. Meissner corpuscle 은 진피층에 존재하며 약 30~40Hz 의 자극에 가장 잘 반응하므로 거친 진동자극을 받아들인다. Pacinian corpuscle 은 피부의 가장 얇은 부분에 존재하며 진동자극에 반응하고 최적의 주파수는 약 200~250Hz 정도가 된다. Ruffini ending 은 피부의 진피층 내에 존재하며 피부의 당김이나 늘어남에 반응한다. 표 1 은 기계적 수용기의 역할과 동작 주파수를 정리한 것이다. 그림 2 [2]은 실험을 통하여 얻은 주파수에 따른

민감도이다. 두꺼운 실선으로 표시해 놓은 것은 주파수에 따른 절대 역(absolute threshold)이다.

이와 같은 피부자극을 전달하기 위한 액츄에이터들은 근감각 생성을 위한 액츄에이터들 보다 쉽게 소형화가 가능하기 때문에 모바일장치에서 사용이 가능하다. 다음장에서는 모바일장치에서 사용가능한 액츄에이터들에 대하여 설명한다.

3. 모바일 장치를 위한 햅틱 액츄에이터

현실감을 전달해주기 위한 햅틱 액츄에이터는 다음과 같은 스펙을 만족해야 한다.

- 빠른 응답 속도
- 진동발생을 위한 액츄에이터인 경우, 진동의 주파수와 크기는 독립적으로 제어 가능해야 함
- 주파수 대역이 0 ~ 200Hz 정도를 보장해야 함 (사람의 기계적 수용기들을 모두 자극가능)
- 기계적 수용기들을 직접적으로 자극할 수 있어야 함

모바일 장치를 위한 햅틱액츄에이터는 크기 및 소비전력의 문제로 인하여 위와 같은 스펙을 모두 만족시키는 것은 매우 힘들다. 그러므로 좀더 한정적인 느낌을 제공할 수 밖에 없는 실정이다. 현재까지 모바일 장치에서 햅틱 피드백을 위하여 많은 사람들은 진동 모터, 솔레노이드, 피에조 액츄에이터등을 많이 사용하고 있다. 본 섹션에서는 각각의 액츄에이터들에 대하여 설명한다.

3.1 진동모터

편심 모터는 크기가 작고 전력소모량이 비교적 작아서 거의 모든 휴대폰에 장착되어 있으므로 이를 이용한 많은 햅틱자극에 대한 연구들이 진행되어 왔다 [3,4,5,6,7]. 편심모터는 모터의 회전부의 한쪽 부분에 질량을 붙여서 모터가 회전할 때 발생하는 편심력으로 인하여 기계적인 진동을 발생시키는 액츄에이터이다. 편심모터는 실린더형과 코인 형이 주를 이루고 있는데 코인형은 동전과 같은 형상이며 실린더형은 대부분 편심 질량이 밖으로 돌출되어 있는 형상을 띄고있다 (그림 3). 개발되어 사용하고 있는 진동모터들의 동작 주파수는 대부분 100~200Hz 정도이고 진동의 세기 역시 절대역 (Absolute threshold) 보다 크기 때문에 Pacinian corpuscle 을 자극하여 사람에게 진동 자극을 생성하기에 적합하다.

삼성 전기에서는 기존의 편심모터와는 달리 기계적 마모 등이 감소되고 동일한 체적하에 진동량을 최대화시키며 공진주파수를 이용함으로써 주파수에 따른 진동량 제어가 가능한 공진주파수를 이용한 선형 진동 모터를 개발하였다 [8]. 그림 4 와 같이 선형진동 모터는 크게 탄성스프링, 영구자석, 스테인레스 진동자, 그리고 솔레노이드로 구성되어 있다. 솔레노이드 안에 코어가 없는 형태여서, 자석이 솔레노이드 안에서 접촉되지 않고

허공에서 상하로 진동하므로 마찰력을 최소화 하였으며, 스테인레스 진동자는 공진주파수가 생성되도록 Mass 를 맞춰주기 위해 존재한다. 스테인레스 진동자에 의해 응답속도가 다소 느려질 가능성이 있지만 상하 이동하는 자석의 무게만으로는 진동의 크기가 약할 수 있기 때문에 진동의 크기를 증대시키는 역할도 수행한다. 탄성 스프링은 운동부와 연결되어 주파수인가시 공진점에서 최대 변위가 발생하게 하여 진동을 유발시키는 역할을 한다 [8].



그림 3 편심을 이용한 진동모터

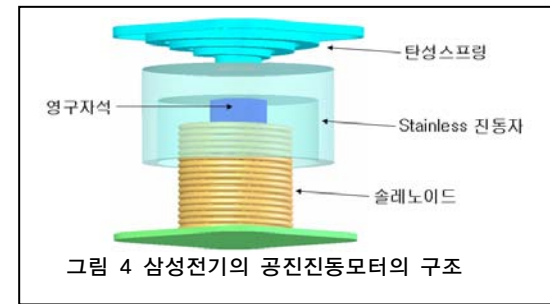


그림 4 삼성전기의 공진진동모터의 구조

3.2 솔레노이드 액츄에이터

개발되어 사용하고 있는 진동모터들은 모터회전수의 제공에 진동의 세기가 비례하고 (주파수와 크기를 독립적으로 제어를 할수 없다) 집중된 진동력을 발생시키기 때문에 진동 모터들로부터 발생한 진동 효과는 경고나 알림등에 더 적합하며 진동 렌더링이 없다면 실제감을 전달해 주기 매우 힘들다. 또한 진동렌더링을 통한 진동자극을 생성하였을 지라도 Pacinian corpuscle 이 아닌 다른 기계적 수용기(mechanoreceptor)들을 자극하기 어렵기 때문에 풍부한 햅틱 감각을 생성하는 것은 쉽지 않다. 다양한 햅틱 감각의 생성을 위하여는 저주파에서 고주파까지 모두 자극할 수 있는 액츄에이터를 고려해야 한다.

알프스 일렉트릭(Alps Electric)사 는 2005 년도에 넓은 주파수 대역에서 동작 가능한 Force reactor 를 개발하였다. Force reactor 는 L 타입과 S 타입의 두가지 종류가 존재하는데 S 타입의 경우 크기가 3.0mm x 25.0mm x 2.5m, 무게는 약 0.8g 이며 동작전압은 3.3V 이고 구동전류는 약 41mA 정도로 모바일기기에 사용하기 적합하다. 또한 동작주파수는 약 0~300Hz 정도로 풍부한 햅틱 느낌을 생성할 수 있다. [9]



그림 5 알프스 일렉트릭(Alps Electric)사의 Force Reactor

Force reactor 는 주파수를 사용자가 원하는대로 조정하여 다양한 감각을 생성할 수 있다는 장점을 가지고 있는 반면에 진동의 세기가 크지 않으며 진폭을 조절하더라도 사람이 진폭만 가지고 구별할 수 있는 단계가 많이 존재하지 않는다는 단점을 가지고 있다.

3.3 피에조 액추에이터

피에조 효과란 전기에너지와 기계에너지가 서로 변환되는 효과를 의미하고 피에조 물질이란 전기적 에너지를 가하면 변형이 발생하고, 물질에 변형을 가하면 전기적 에너지가 발생하는 물질을 의미한다. 이와 같은 피에조 물질은 힘센서, 초음파 센서등 많은 곳에서 사용되고 있으며, 최근들어 햅틱 기술이 알려지면서 많은 연구자들이 피에조 물질을 이용한 햅틱 액추에이터 개발에 대한 연구를 진행하고 있다.

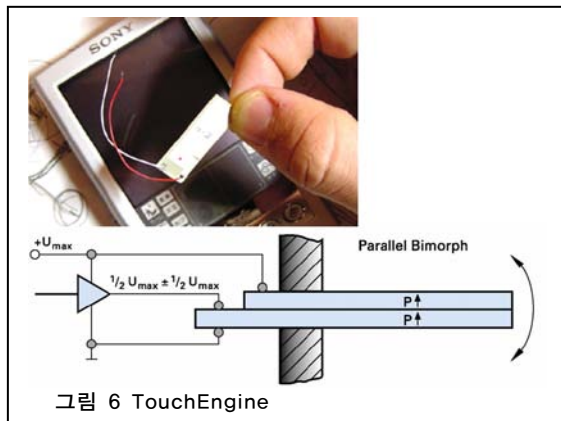


그림 6 TouchEngine

모바일기기에서 많이 사용되는 진동모터의 경우 시상수가 길어서 느낌을 정확하고 빠르게 전달하기 어렵다는 단점을 극복하기 위하여 Ivan Poupyrev 는 TouchEngine (그림 6 의 윗부분) 이란 피에조 액추에이터를 개발하고 이를 휴대용 단말기에 내장하였다[10]. TouchEngine 액추에이터는 그림 6 의 아래부분과 같은 원리로 되어 있다. 그림 6 에서 처럼 두개의 압전 소자판을 겹쳐 놓고 한쪽 끝을 고정시킨다. 그리고 전압을 가하게 되면 한 소자는 길이방향으로 압축되고 나머지 한 소자는 늘어나려는 성질 때문에 가해지는 전압에 따라서 위쪽 또는 아래쪽 방향으로 휘게 된다. 이때 펄스 전압 입력을 가하게 되면 액추에이터는 위/아래로 펄스 입력에 따라 움직인다. 펄스의 주파수는 피에조 액추에이터의 진동 주파수를 조정해 주고 펄스의 크기는 피에조 진동의 크기를 제어해 주므로 주파수와 크기를 독립적으로 제어 할 수 있다.

Physik Instrumente 회사에서도 곱힘형 압전소자 액추에이터를 개발하였다. 크기는 45 x 11 x 0.6 (mm) 이며 끝단의 최대 변위는 약 1 mm 이며 최대 force 는 약 0.5N 정도로 사람의 손끝에 자극을 가하기에 충분하다.

피에조 테크에서는 압전효과와 소프트와 이동자간의 관성의 법칙을 이용하여 소형 모터를 개발하였다(그림 7). 최대 힘은 약 1.5 N 정도이며 5~100Hz 정도의 주파수로 동작가능하다. 이미 카메라내부의 줌 렌즈를 조종하는 용도로 현재 사용되고 있는 이 액추에이터는 모바일 기기의 햅틱장치로 사용이 가능하다[11]. ETRI 에서는 이 액추에이터를 이용하여 새로운 펜 형태의 새로운 모바일 장치를 개발하였다 [12].

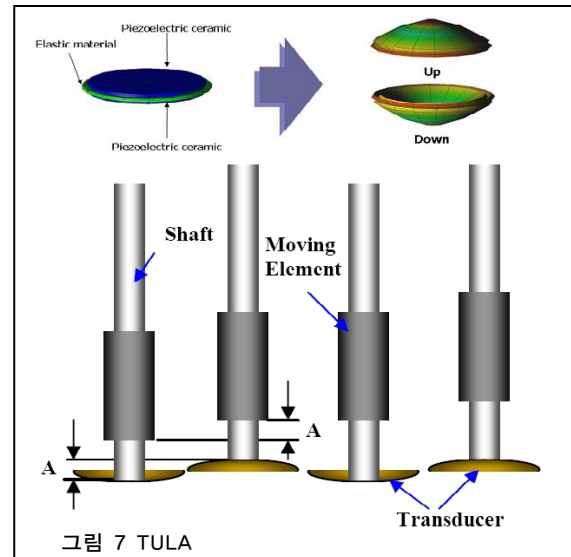


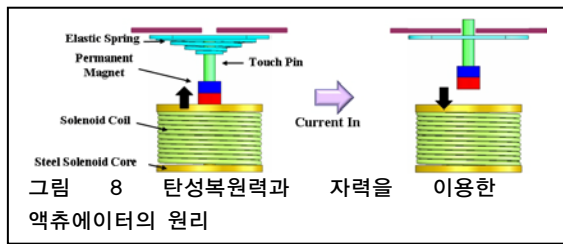
그림 7 TULA

이 외에도 서보 모터나 형상기억합금을 이용한 모터, 자력등이 햅틱 액추에이터로 사용되고 있다. 그러나 서보모터의 경우에는 액추에이터의 크기가 커서 모바일 장치에 사용되는 것은 힘들며 형상기억합금(Shape Memory Alloy, SMA) 의 경우에는 작동속도가 매우 낮아 다양한 자극을 생성하기 어려우며 cooling 시 반응속도가 늦어 구동 시 어색한 느낌을 제공할 가능성이 존재한다.

3.4 탄성반력과 자력을 이용한 햅틱 액추에이터

적어도 두개 이상의 에너지가 기계적으로 결합된다면 작은 크기에서도 고 성능의 액추에이터가 개발 될 수 있다. 코일 타입의 진동모터는 솔레노이드와 영구자석사이의 척력과 질량의 원심력이 기계적으로 결합된 형태이며, 피에조 테크의 툴라(TULA)의 경우에는 압전 트랜스듀서의 굴곡진동과 소프트와 이동자간의 관성의 법칙이 적용되어 더 큰 에너지를 생성한다. 3.2 절에서 언급한 솔레노이드 액추에이터의 경우 전자력은 코일의 턴수가 많을수록 증가한다. 그러므로 솔레노이드장치가 일정 사이즈 보다 작아지면 전자력이 약해진다. 그러므로 양태헌등[13]은 탄성 복원력과 자력을 이용하여 새로운 모바일 환경에서 사용가능한 액추에이터를 개발하였다. 새롭게 고안된 소형 액추에이터는 그림 8 과 같은 방식으로 작동하게 된다. 진류를 가하지 않은 초기 상태에 Touch Pin 에 부착되어 있는 영구자석은 탄성스프링을 인장시키며 철로 제작된 솔레노이드 코어에 붙게 된다. 솔레노이드에 전류를 가하게 되며 솔레노이드가 자화되며, 영구자석과 척력을 형성하게

된다. 이때, 영구자석에 붙어 있는 Touch Pin 은 솔레노이드와 영구자석의 척력에 탄성스프링의 복원력이 가해져 빠르고, 강하게 손가락을 자극하게 된다. 탄성스프링의 복원력과 영구자석이 코어에 붙어 있으려는 힘의 차이를 이용하여 초소형 솔레노이드의 작은 힘으로도 큰 힘과 스트로크, 그리고 빠른 동작주파수를 만들어 낼 수 있다 [13]. 개발된 액츄에이터는 직경이 2.8mm, 높이가 약 5mm 이며 입력 전압은 5V 이며 1Hz 로 동작시 소비전력은 0.15W 이며 250Hz 로 동작시에도 약 0.38W 정도가 소비되므로 소형건전지라도 충분히 동작이 가능하다. (동작 전압은 5V)



4. 결론

본 논문에서는 사람의 햅틱센서(기계적 수용기, mechanoreceptor)에 대하여 간단히 설명하고 모바일 기기에서 사용할 수 있는 햅틱 액츄에이터에 대하여 소개하였다. 보다 나은 몰입감을 사용자에게 제공하기 위해 햅틱 시스템의 개발은 필수적이며 다음과 같은 분야에 사용하여 효과를 극대화 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

- 의료 모의 훈련 시스템
- 탱크 또는 전투기 조종능력을 증가시키기 위한 군사 모의 훈련 시스템
- 사용자에게 재미를 추가 시킬 수 있는 게임 시스템

참고문헌

[1] L.A. Jones, "Kinesthetic Sensing", In Human and Machine Haptics, MIT express, 2000

[2] L.Kruger, M.Friedman, E.Carterette, "Pain and Touch", Elsevier

[3] B.L. Harrison, K.P.Fishkin, A. Gujar, C.Mochon, and R.Want, "Squeeze Me, Hold Me, Tilt Me! An Exploration of Manipulative User Interfaces," Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI' 98), pp. 17-24, 1998.

[4] T. Kaaresoja, and Jukka Linjama, "Perception of Short Tactile Pulses Generated by a Vibration Motor in a Mobile Phone," First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'05), pp. 471-472, 2005.

[5] A. Chang, S. O'Modhrain, R. Jacob, E. Gunther, and H. Ishii, "ComTouch: Design of a Vibrotactile Communication Device," ACM Designing Interactive Systems Conference, pp 312-320, 2002.

[6] J. Linjama, J. H äkkillä , and S. Ronkainen, "Gesture Interfaces for Mobile Devices - Minimalist Approach for Haptic Interaction," Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI' 05), portland, 2005.

[7] I. Oakley, S. O' Modhrain, "Tilt to Scroll: Evaluating a Motion Based Vibrotactile Mobile Interface," First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'05), pp. 40-49, 2005.

[8] 권순도, 박일웅, 손현호, 최준, 오화영, "공진주파수를 이용한 선형진동모터", 출원번호 2004-0021678, 대한민국 특허

[9] http://www.alps.com/e/news_release/2005/0608_01.html

[10] I. Poupyrev, S. Maruyama, J. Rekimoto, "Ambient touch: designing tactile interfaces for handheld devices", UIST 2002, pp. 51-60.

[11] <http://www.piezo-tech.com/product/ultrasonic.asp>

[12] K.U. Kyung and J.Y. Lee, "Ubi-Pen: A Haptic Interface with Texture and Vibrotactile Display", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 29 (1), 24-32, 2009.

[13] T. H. Yang, S. Y. Kim, C. H. Kim, D.S Kwon and W. J. Book, "Development of A Miniature Pin-Array Tactile Module using Elastic and Electromagnetic Force for Mobile Devices", World Haptics 2009, Salt Lake City, United States, March 18-20, 2009. (To appear)