기초강좌

모바일 기기의 햅틱 액추에이터

손 정 우*
(금오공과대학교 기계설계공학과)

1. 머리말

최근 스마트폰과 테블릿 PC를 대표로 하는 다양한 모바일 기기의 사용이 폭발적으로 증가하고 있다. 일반적으로 이러한 모바일 기기는 휴대용이라는 제약으로 인해 디스플레이의 크기는 제한되어 있다. 오감을 통한 정보 획득 중에서 시각 자극에 의한 정보 획득이 가장 많은 부분을 차지하지만, 모바일 기기의 제한된 크기의 디스플레이에서 제공되는 시각 정보만으로는 물체의 입체감이나 현장감 등의 사실적인 느낌의 전달력이 부족하다. 따라서 시각 자극과 더불어 오디오를 이용한 청각 자극, 햅틱 액추에이터를 이용한 촉각 자극을 함께 제공하여 사실적인 느낌을 전달하고자 노력하고 있다. 이번 강좌에서는 현재 사용되고 있거나 연구가 진행되고 있는 모바일 기기의 여러 가지 햅틱 액추에이터에 대해 알아보고자 한다.

2. 모바일 기기의 햅틱 액추에이터

현재 사용되고 있는 대부분의 모바일 기기의 햅틱 액추에이터는 진동을 발생시켜 사용자에게 햅틱 효과를 전달하고 있다. 일반적으로 진동 발생용 햅틱 액추에이터는 빠른 응답속도와 넓은 주파수 대역을 가지며 진동의 크기와 주파수를 독립적으로 제어할 수 있어야 다양한 햅틱 효과를 구현할 수 있다. 그러나 현재 모바일 기기에 사용되는 햅틱 액추에이터의 경우 모바일 기기의 내부 공간 제약에 따른 액추에이터의 크기 제한, 배터리 용량 제한에 따른 액추에이터의 소비 전력 제한, 가격 제한 등의 여러 제약 사항에 의해 이러한 성능을 만족시키지 못하고 제한된 햅틱 효과만을 제공하고 있다. 또한 최근 모바일 기기들이 대부분 터치 입력 방식을 적용함에 따라 다양한 햅틱 효과를 만들 수 있는 햅틱 액추에이터에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

2.1 편심 진동 모터

편심 진동 모터(eccentric rotating mass vibration motor, ERM)는 관성형 액추에이터의 일종으로 크기가 작고 구조가 간단하여 장착하기 쉬우며, 소비 전력과 부품 가격이 낮아 기존 휴대폰 등에서 많이 사용되었고 최근에도 일부 스마트폰에 적용되어 사용되고 있다. 편심 진동 모터는 이름에서 보는 바와 같이 모터 회전부의 한 쪽에 질량체가 붙어 있고 모터가 회전할 때 발생하는 편심력으로 진동을 발생시키게 된다. 편심 진동 모터는 실린더 형과 코인 형이 있으며 그림 1과 그림 2에 편심 진동 모터의 사진과 구조를 각각 나타내었다. 실린더 형 편심 모터는 길이가 약 10 mm, 지름은 4~7 mm이며, 동작 전압은 3V 이고, 0.5~1G 정도 세기의 진동을 발생시킬 수 있다. 코인 형 편심 모터는 지름이 8~10 mm, 두께는 30 mm이며, 동작 전압은 3V, 0.7~1.4G 정도 세기의 진동을 발생시킨다. 이러한 편심 진동 모터는 모터 회전수의 제곱에 비례하여 진동의 세기가 결정되므로 주파수 및 진동 세기를 조절하여 다양한 햅틱 효과를 발생시키는 것은 불가능하고,

* E-mail : jwsohn@kumoh.ac.kr / Tel : (054) 478-7378

기초강좌

진동을 이용한 단순한 알람 등에 더 적합하다고 할 수 있다. 또한 반응 속도는 50~100 ms로 다른 햅틱 액추에이터에 비해 응답 시간이 느린 단점이 있으며, 터치 방식의 모바일 기기에서 구현이 필요한 버튼 클릭감과 같은 햅틱 효과를 내기에는 적합하지 않다. 또한 편심 진동 모터는 윙윙거림과 같은 소음이 발생하는 단점도 있다.

2.2 선형 공진 액추에이터

선형 공진 액추에이터(linear reonant actuator, LRA)는 공진주파수를 이용하여 진동의 세기를 최대화한 액추에이터로 기존의 편심 진동 모터를 대신하여 최근 스마트폰 등에 많이 사용되고 있다. 그림 3에 나타난 바와 같이 선형 공진 액추에이터는 외부 형상은 코인 타입 진동 모터와 동일하나 내부 구조는 전혀 다른 액추에이터다. 지름은 8~10 mm, 두께는 30~36 mm이고, 1~1.5G 세기의 진동을 발생시킬 수 있다. 작동 주파수는 150~250 Hz이며 가장 많이 쓰여지고 있는 액추에이터의 경우 공진주파수는 175 Hz이다. 선형 공진 액추에이터는 탄성스프링, 텅스텐 진동자, Nd 계열 영구자석, 보이스 코일 등으로 구성되어 있으며, 코일에 전류를 인가하면 영구 자석이 상하로 움직이게 되는 보이스 코일 모터 형태이다. 영구 자석만으로는 적절한 공진주파수를 생성시키기 어려우므로 텅스텐 진동자를 사용하였다. 현재는 그림 3과 같은 두께 방향으로 진동자가 진동하는 형태가 많이 사용되고 있으나, 최

(a) 실린더 형

(b) 코인 형

그림 1 편심 진동 모터 사진[1]

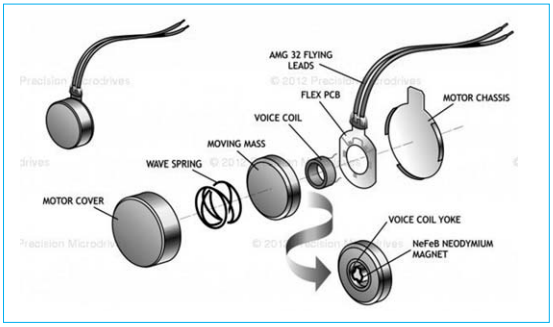
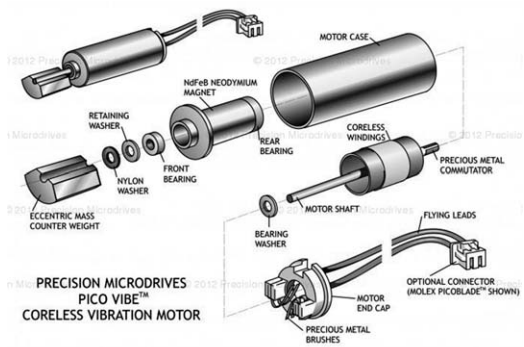
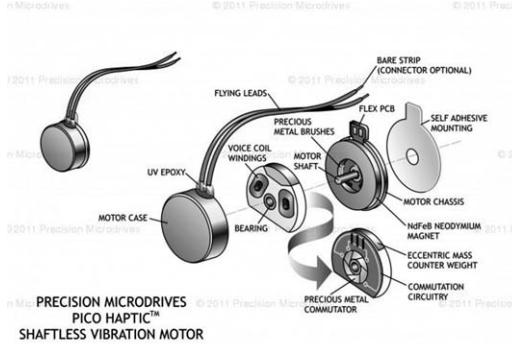


그림 3 두께 방향 선형 공진 액추에이터[1]의 구조



(a) 실린더 형



(b) 코인 형

그림 2 편심 진동 모터 구조[1]

근 들어 그림 4와 같이 평면 방향으로 진동하는 선형 공진 액추에이터에 대한 연구도 많이 진행되고 있다. 선형 공진 액추에이터의 반응 속도는 30 ms로 편심 진동 모터보다는 빠른 응답 속도를 가지고 있고 내구성이 좋은 장점이 있으나, 단일 공진주파수로 작동되므로 다양한 햅틱 효과를 발생시키는 데는 한계가 있다.

이러한 편심 진동 모터와 선형 공진 액추에이터는 소비 전력이 낮고 가격이 낮은 장점을 가지고 있으나, 주파수와 진동의 크기를 제어할 수 없다는 큰 단점을 가지고 있다. 더불어 편심 진동 모터와 선형 공진 액추에이터는 관성형 액추에이터이므로 구동 전압의 인가를 중단한 이후에도 바로 진동이 줄어 들지 않고 약간의 잔여 진동감이 느껴지는 단점이 있다. 또한 최근 스마트폰 등의 모바일 기기들이 터치 입력을 일반화하고 있어 터치하는 손가락에만 햅틱 효과를 전달하는 국부적인 햅틱 피드백이 필요하나, 편심 진동 모터와 선형 공진 액추에이터는 모바일 기기 전체를 진동하게 함으로써 원하는 위치에만 햅틱 효과를 전달하는 국부적인 햅틱 피드백이 불가능하다.

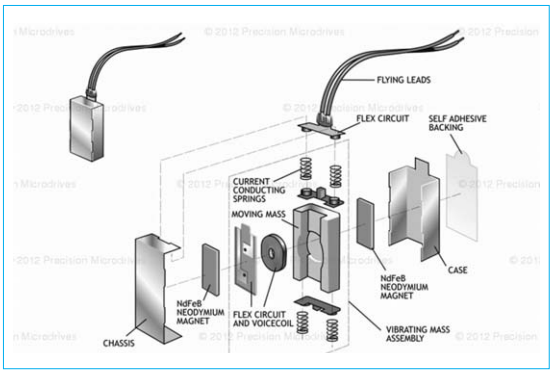


그림 4 평면 방향 선형 공진 액추에이터 구조[1]

2.3 압전 액추에이터

전기적 에너지를 가하면 변형이 발생하는 압전 특성을 이용한 햅틱 액추에이터를 모바일에 적용하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 압전 재료는 반응 속도가 5~10 ms로 매우 빠르고 크기나 두께에 대한 제약이 상대적으로 적은 장점이 있으며, 작동 주파수 범위도 광범위하기 때문에 다양한 작동 주파수에서 다양한 크기의 진동을 발생시킬 수 있어 이를 이용하여 다양한 햅틱 효과를 구현할 수 있다. 또한 관성형 액추에이터에서는 구현하기 어려운 국부적인 햅틱 피드백이 가능하다는 장점이 있다. SONY사는 압전 세라믹을 바탕으로 한 TouchEngine이라는 이름의 vibrotactile 작동기를 개발하여 모바일 기기에 적용하였으며 탭핑감, 클릭감 등의 촉감을 표현할 수 있도록 하였다. TouchEngine 액추에이터는 두 개의 압전 세라믹을 겹쳐 놓고 한쪽 끝을 고정시켜 전압을 인가하면 위쪽 또는 아래쪽으로 움직이게 되는 벤딩형 액추에이터 형태를 사용하였다. 그림 5는 TouchEngine에 적용된 압

(a) TouchEngine에 사용된 압전 세라믹 액추에이터

(b) TouchEngine을 적용한 PDA

그림 5 SONY의 TouchEngine[2,3]

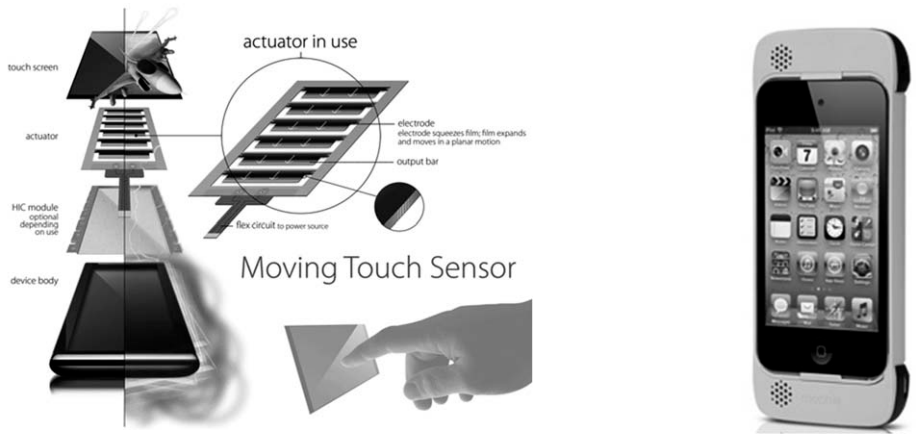
그림 6 Motorola의 ROKR E8과 압전 햅틱 액추에이터[4]

그림 7 Blackberry의 Storm2와 압전 햅틱 액추에이터[5]

전 세라믹 액추에이터와 TouchEngine이 적용된 SONY의 PDA 폰을 나타내었다. Motorola와 Blackberry도 폰 내부에 디스크 형태의 압전 세라믹을 부착하여 터치 느낌을 구현하려고 하였으며, 그림 6과 7에 압전 액추에이터가 적용된 핸드폰과 내부 구조를 나타내었다. 충분한 크기의 작동력을 발생시키기 위해서는 비교적 높은 구동 전압이 필요하지만 실제 소비 전류는 편심 진동 모터나 선형 공진 액추에이터 보다 작거나 동일한 수준이다.

2.4 전기 활성 폴리머 액추에이터

전기 활성 폴리머(electro active polymer, EAP)를 이용한 액추에이터를 모바일 기기에 적용하기 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 미국의 AMI(Artificial Muscle Inc)는 유전탄성체(dielectric elastomer)의 양면에 전극을 도포하고 전기장을 인가하여 유전탄성체를 변형시켜 진동을 발생시키는 액추에이터를 개발하였다. 그림 8의 (a)는 개발된 액추에이터의 모습이며 이를 터치 기반 모바일 기기의 디스플레이 하단에 장착하여 사용자의 터치가 감지되면 햅틱 피드백을 제공하는 방식을 제안하였다. 그림 8의 (b)는 전기 활성 폴리머 액추에이터를 적용한 상용 제품으로써 모



(a) 모바일용 능동 폴리머 액추에이터 (b) Mophie pulse

그림 8 능동 폴리머 액추에이터의 모바일 응용[6,7]

바일 기기의 외장형 액세서리 형태로 개발된 제품이다. 모바일 기기의 외부에 장착하여 음악을 듣거나 게임 등을 할 때 햅틱 효과를 발생할 수 있도록 하였으며, 진동 세기를 증가시키기 위하여 외장형 액세서리에 포함된 배터리를 진동체로 사용하였다. 전기 활성 폴리머 액추에이터는 얇은 두께로 제작이 가능하고 반응 속도도 압전 액추에이터와 유사한 수준으로 빠른 편이나, 단위 부피당 발생할 수 있는 작동력이 상대적으로 작고, 구동을 위해서는 매우 큰 전위차를 발생시킬 수 있는 별도의 고전압 증폭기가 필요한 단점이 있다.

압전 액추에이터와 폴리머 액추에이터는 고전압 증폭장치가 필요할 뿐만 아니라 다양한 주파수와 작동력을 발생시키기 위해서는 별도의 구동칩이 함께 개발되어 활용되어야 하므로 가격 경쟁력이 낮은 편이다. 또한 압전 세락믹과 유전탄성체는 쉽게 깨지거나 찢어질 수 있어 모바일 기기의 충격 및 낙하 시험 등에서 문제가 발생할 수 있으므로 실제 적용에는 시간이 더 필요할 것으로 보인다. 그러나 다양한 작동 주파수와 작동력을 발생시킬 수 있고, 국부적인 햅틱 피드백을 제공할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있어 이를 활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

2.5 정전기력을 이용한 액추에이터

정전기력을 이용한 액추에이터는 크게 전극이 도포된 두 장의 판 사이에 일정한 공간을 두고 양쪽 전극을 대전시켜 작동력을 얻는 방법과 터치하는 손가락과 전극 사이에 발생하는 정전기력을 이용하는 두 가지 방식이 있다. 미국의 Pacinian은 전자의 방법을 이용하여 그림 9와 같이 햅틱 터치 필름을 개발하고 이를 이용하여 버튼 클릭감 등의 다양한 햅틱 효과를 구현하였다. 햅틱 터치 필름은 ITO(indium tin oxide) 필름을 장착한 두 장의 유리 사이에 스프링 역할을 하는 스페이서(spacer)를 두어 일정 공간을 유지하도록 하고, 두 유리면 사이에 순간적으로 서로 다른 전하가 충전되면 인력이 발생하고, 같은 전하가 충전되면 척력이 발생하는 원리를 이용하였다. 햅틱 터치 필름은 전체 필름이 진동하므로 국부적인 햅틱 피드백을 제공하기는 어려우며, 필름이 클수록 많은 전하가 충전되므로 보다 강한 작동력을 발생할 수 있는 특징이 있다. 디즈니 연구소(Walt Disney Research)의 Ivan Poupyrev 등은 유

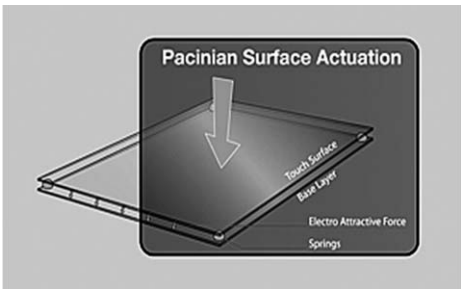
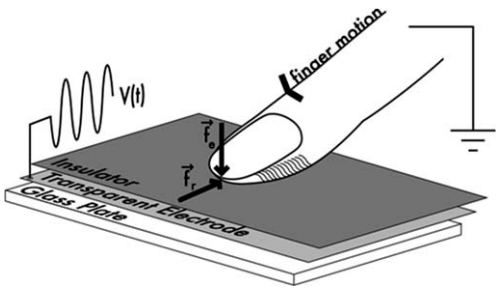
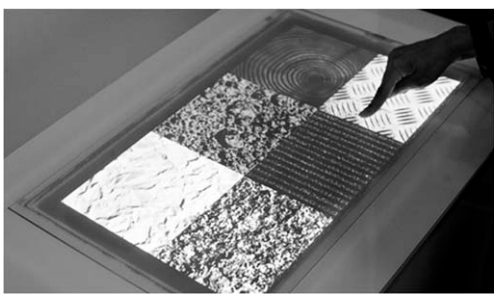


그림 9 Pacinian의 햅틱 터치 필름[8]



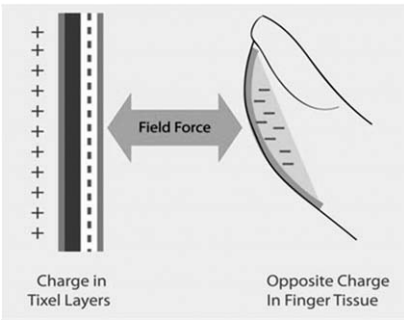
(a) 작동 원리



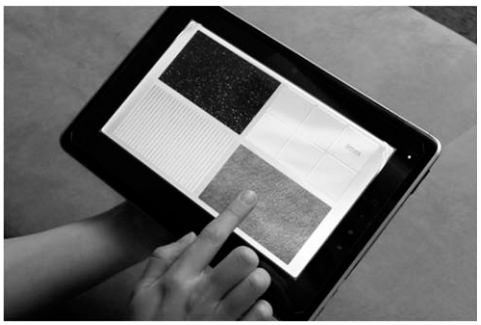
(b) 시연 모습

그림 10 Disney Research의 Tesla Touch[9]

기초강좌



(a) 작동 원리



(b) 시연 모습

그림 11 Toshiba의 Senseg[10]

리판과 투명 전극, 절연판으로 구성된 Tesla Touch를 개발하고 일반 터치 패널 위에 장착하여 다양한 햅틱 효과를 낼 수 있도록 하였다. 그림 10에 Tesla Touch의 작동 원리와 시연 모습을 나타내었다. Tesla Touch는 터치하는 손가락과 투명 전극 사이에 정전기력을 유도하고 이를 이용하여 손가락이 표면 위를 움직일 때 손가락에서 마찰감, 재질감, 진동감 등과 같은 느낌을 느낄 수 있도록 하였다. Tesla Touch는 터치 표면 위에서 손가락이 반드시 움직여야 햅틱 효과를 발생시킬 수 있으므로 손가락이 고정된 상태에서는 햅티 효과를 제공하기 어려운 단점이 있다. 일본의 Toshiba에서도 그림 11과 같이 Tesla Touch와 동일한 원리로 동작하는 Senseg를 개발하였다.

3. 맺음말

지금까지 살펴본 바와 같이 모바일 기기에서 햅틱 효과를 만들 수 있는 다양한 액추에이터에 대한 연구가 진행되고 있다. 모바일 기기의 햅틱 피드백은 진동을 이용한 단순한 알람 기능에서 벗어나 다양한 재질감과 버튼 클릭감 등을 제공하는 수준으로 발전하고 있으며, 이는 모바일 기기의 사용자 경험(user, experience, UX)과 연관되는 중요한 요소로 자리잡고 있다. 보다 효과적인 햅틱 효과의 제공을 위해서는 액추에이터 자체뿐만 아니라, 액추에이터에서 발생되는 자극에 대해서 실제로 사람이 어떻게 인지하고 느끼는 가에 대한 연구가 함께 이루어져야 할 것이다. KSNVE

참고문헌

(1) http://www.precisionmicrodrives.com
(2) http://ivanpoupyrev.com
(3) http://www.sonycsl.co.jp
(4) http://www.motoroal.com
(5) http://www.engadget.com
(6) http://www.vivitouvh.com
(7) http://www.apple.com
(8) http://www.pacinian.com
(9) http://www.disneyresearch.com/project/teslatouch/
(10) http://www.senseg.com

「기획 : 김흥수 편집위원 heungsoo@dongguk.edu」