



# 셀룰로오스 기반 햅틱 기술

김재환\*, 고현우  
(인하대학교)

## 1. 머리말

휴대용 모바일 기기의 사용이 증대되면서 단순히 시각적 감각구현을 넘어서는 감각의 구현하는 기술이 요구되고 있다. 특히 햅틱 기술은 사용자에게 작은 장치로 촉각적 자극(tactile)을 주는 것만으로 사용자의 몰입감을 높일 수 있어 크기에 제약을 받는 모바일 기기의 특성상 유용하다. 따라서 모바일용 햅틱은 다양한 방식으로 연구 및 개발되고 있다. 현재 모바일 기기에 상용화된 햅틱 액추에이터로는 선형 공진 모터(linear resonance actuator, LRA)를 이용한 액추에이터가 있다. LRA 형태의 액추에이터는 높은 강도의 햅틱 감각을 제공하지만 다양한 햅틱 감각을 제공하지 못하고, 사용자 손가락과 모바일 기기의 터치스크린이 접촉하는 부위에서 진동을 발생시키기 못하는 등의 한계점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 햅틱 감각을 제공하고 즉, 다양한 주파수에서 진동이 가능하고, 사용자의 손가락과 터치스크린이 접촉하는 부위에서만 진동이 가능하고, 얇은 두께를 갖는 모바일 기기에 장착할 수 있을 정도로 작은 크기를 갖는 햅틱 액추에이터 개발을 소개한다. 특히 필름형 햅틱 액추에이터는 얇은 두께와 유연성, 투명성을 가지고 있으며 다양한 주파수의 구현이 가능하여 기존의 모터방식은 물론 충격에 취약한 압

전 세라믹 방식의 햅틱 액추에이터에 비해서도 큰 장점을 갖는다.

## 2. 셀룰로오스 소재

셀룰로오스는 지구상에 가장 흔한 생체 고분자 재료 중 하나로 종이, 옷감, 건축용 목재 등 다양한 분야에 사용된 재료이다. 셀룰로오스는 식물 및 해조류에서 얻는 천연재료로써 셀룰로오스는  $\beta$ -D-글루코오스가  $\beta$ -글루코시드결합을 통해 선형구조를 갖는 다당류 고분자로써, 식물 세포벽의 주된 구성성분이다. 셀룰로오스 미세섬유는 세포벽의 견고함과 구조적인 성향을 부여하는 비교적 경직된 구조로 되어 있으며, 글루칸이 밀접하게 배열되어 매우 안정적이고 강인하다. 셀룰로오스의 물성은 밀도가 낮고 강도 및 강성이 높아서 비강성 및 비강도가 탄소복합재료와 대등하다. 이러한 셀룰로오스는 자연에 널리 존재하고 생적합성이 매우 우수하며 지속가능하다는 장점을 통해 미래 녹색산업 재료로 높은 평가를 받고 있다. 또한 셀룰로오스 압전 특성을 가지고 있어 그 활용의 범위를 작동기, 물리 센서 등 다양한 분야로 넓혀가고 있다.

셀룰로오스 아세테이트(CA)는 셀룰로오스의 수산기(hydroxyl group)이 아세틸화 반응을 통해 만들어진 것으로 투명하고 유연하여 사진의 필

\* E-mail : jaehwan@inha.ac.kr / Tel : (032)860-7326

름, 안경테의 재료 등으로 사용된다. CA 필름은 약 85%의 투명도를 갖고 약 6.5의 유전상수를 갖는데, 이는 다른 일반적인 물질의 유전상수보다 높은 값으로, 유연하고 투명한 필름 중 하나

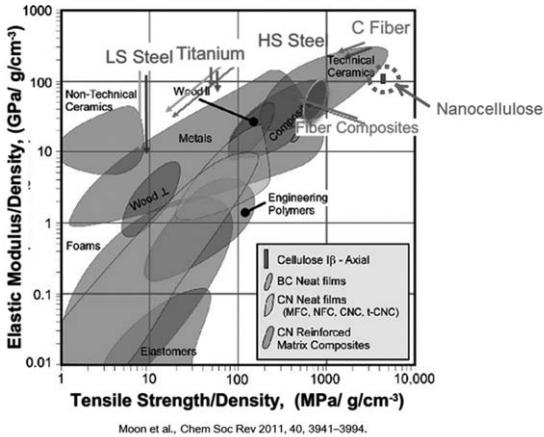


그림1 나노셀룰로오스의 기계적 물성 포지션

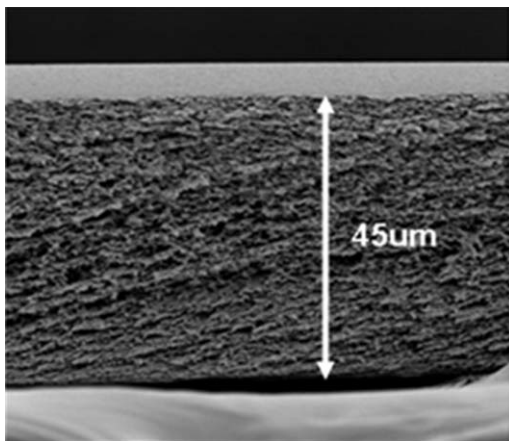


그림 2 CA 필름의 단면 SEM

인 PET 필름의 경우 약 3.2, 종이의 경우 약 2.7의 유전상수 값을 갖는 것으로 알려져 있다. 이러한 높은 유전상수 특성으로 인해 CA 필름이 electret 재료의 하나로 쓰일 수 있다. 유전상수 값이 크면 분극 능력이 크기 때문에 반영구적으로 극성을 갖는 electret의 성질과 유사한 성질을 지닌다. 또한 electret 재료 중에는 재료의 내부 구조에 무수한 구멍들이 있는 다공성 구조를 지닌 재료들이 있다. 이러한 재료는 재료의 내부 구멍에 극성을 띤 전하를 저장하여 반영구적인 극성을 띄게 된다. CA 필름은 그림 2와 같이 다공성 구조를 갖는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 CA 내부에 전하를 많이 저장하여 높은 유전율을 갖는 것으로 보인다.

### 3. 필름형 햅틱 액추에이터

CA의 장점을 기반으로 필름형 햅틱 액추에이터를 개발하였다. 셀룰로오스 아세테이트 필름이 극성을 띄는 성질을 이용하여 정전기 (electrostatic force)에 의한 진동을 생성시킬 수 있기 때문에 또한 필름형 구조는 모바일 기기 내에 장착이 가능할 정도로 얇은 두께로 제작이 가능하다. 또한 매우 간단한 구조이기 때문에 제작이 용이하다. 필름형 햅틱 액추에이터의 구조는 상판과 하판을 구성하는 필름과 상판의 굽힘운동을 구현시키기 위한 상판과 하판 사이의 지지대로 이루어져 있다. 그림 3은 CA 기반의 필름형 햅틱 액추에이터의 작동원리를 나타낸다. 전압이 액

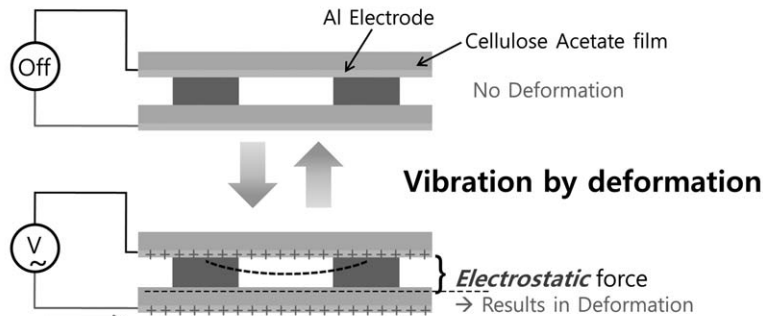


그림 3 CA 기반의 필름형 햅틱 액추에이터의 작동원리

추에이터에 작용하기 전에는 액추에이터의 상판 필름은 평형상태를 유지하고 있다. 액추에이터에 전압이 걸리면 하판의 CA 필름은 electret의 성질로 인해 극성을 띄게 된다. 다음으로 상판의 필름이 하판의 영향으로 극성을 띄게 되고 상판과 하판 사이에 정전기적 힘이 발생하여 상판의 필름의 굽힘 변형이 발생한다. 입력 전압의 신호가 사인파라면 상판의 필름이 연속적으로 굽힘 운동을 하게 되어 액추에이터가 진동을 생성하게 된다.

이러한 햅틱 액추에이터는 100 gram의 하중 하에서 0.3 g의 비교적 높은 가속도 성능을 보여 모바일 기기를 위한 햅틱 기기로서 높은 가능성을 보였다. 그러나 단일 셀의 크기가 5 cm × 2.5 cm × 0.1 cm로 단순한 진동을 유발할 수 있으나 접

촉 지점에 따른 선별적인 진동을 공급하는 데는 알맞지 않다. 이를 해결하고자 후속 연구로 그 크기를 2.5 cm × 2.5 cm × 0.1 cm로 줄이고 필름의 두께를 500 μm에서 350 μm로 줄인 액추에이터를 제작하고 그 성능을 평가하였다. 필름형 햅틱 액추에이터의 특성을 평가하기 위하여 입력 주파수에 따른 액추에이터의 가속도를 측정하였다. 가속도는 가속도 센서를 통하여 측정하였으며 실제 액추에이터의 사용시 가해지는 중량을 고려하여 추를 이용하여 액추에이터에 가해지는 중량이 100 gram이 되도록 하였다. 이렇게 측정된 결과를 비교하였다. 그림 4는 제작된 액추에이터들과 이 실험에 사용된 액추에이터 간의 성능을 주파수에 따라 비교한 그래프이다.

필름형 액추에이터를 기반으로 소형화된 어레이 햅틱 액추에이터를 제작하였다. 어레이 햅틱 액추에이터는 15 × 15 mm<sup>2</sup>의 크기에 4.5 × 4.5 mm<sup>2</sup>의 요소 9 개가 0.7 mm의 간격을 가지고 독립적으로 구동하도록 설계되어 손가락 끝에 다양한 감촉을 구현할 수 있도록 하였다. 어레이 햅틱 액추에이터는 앞서 서술한 필름형 햅틱 액추에이터와 마찬가지로 굽힘 변형을 통하여 진동을 생성하는 상판과 하판을 지지하는 지지대 및 하판으로 구성되며, 전기 신호를 주기위해 유연 인쇄 배선 회로 기판(flexible printed circuit board, FPCB)를 부착하였다. 액추에이터의 소형화를 위하여 상판과 하판의 제작은 PDMS

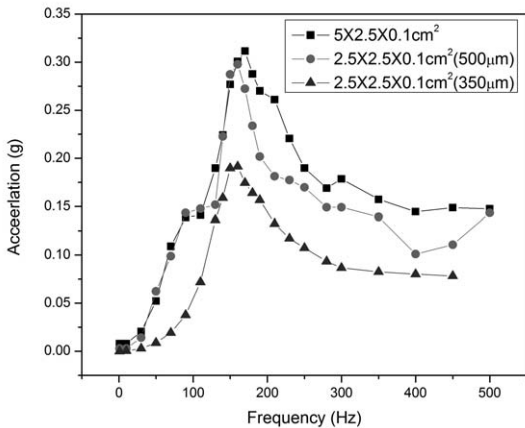


그림 4 CA 필름 햅틱 액추에이터 성능비교

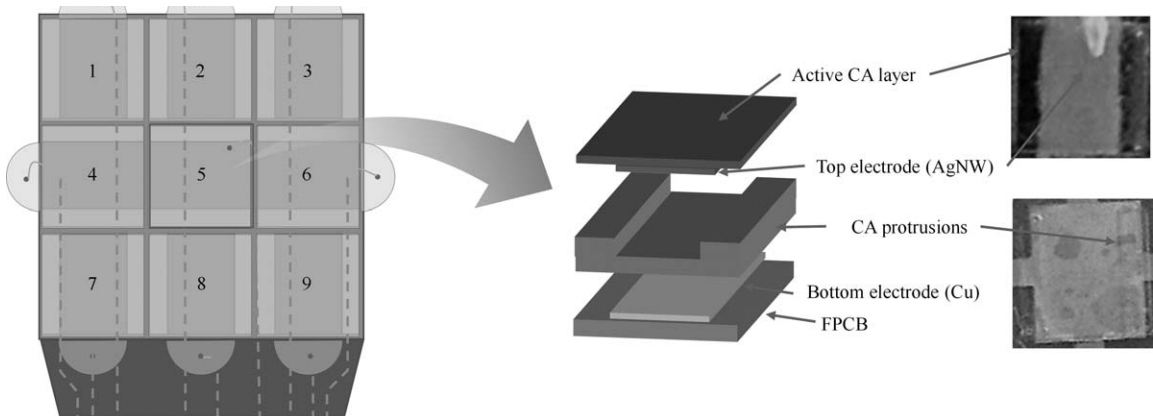
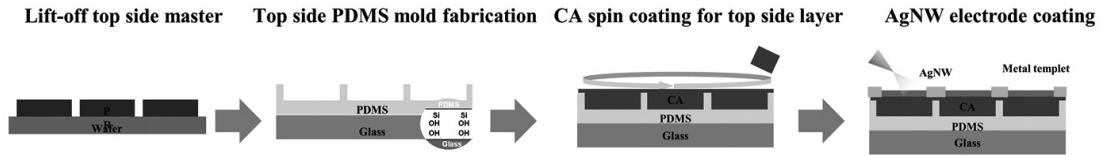
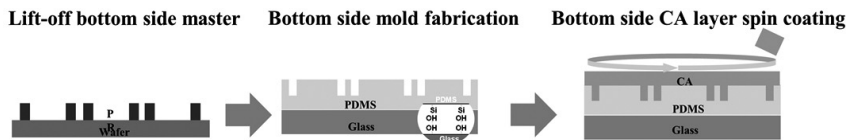


그림 5 소형화된 어레이 햅틱 액추에이터의 구조

### I. Top side CA layer Fabrication



### II. Top side CA layer Fabrication



### III. FPCB preparation



### IV. Assembly

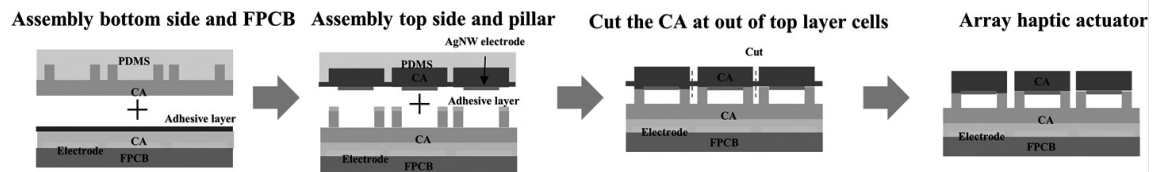


그림 6 소형화된 어레이 햅틱 액추에이터 제작 공정

(polydimethylsiloxane) 몰드를 이용한 몰딩기법을 사용하였다. PDMS 몰드는 상판과 하판 각각의 PR 마스터를 이용하여 제작하였다. 상판의 PR 마스터는 와이어의 연결을 위하여 반원형 형태의 구조를 갖도록 설계되었다. 하판은 각 셀마다 두 개의 지지대가 형성된 형태로 설계되었다. PDMS 몰드는 각각의 PR 마스터 위에 PDMS 용액을 붓고 열소결하여 제작하였다.

CA 상판과 하판은 제작된 몰드에 각각 CA 용액을 스핀코팅한 후 아세톤 분위기에서 고형화하였다. 각 요소의 상판은 변형에 강한 은 나노

와이어(silver nanowire, AgNW)전극을 형성하였다. 하판은 CA 용액을 이용하여 FPCB의 전극위에 고정하여 상하 방향으로 전계의 형성이 가능하게 하였다. 상판과 하판은 그리고 FPCB는 CA 용액으로 접착하여 일체성을 향상시켰다. 그림 6은 어레이 햅틱 액추에이터의 제작공정을 보여준다.

제작된 햅틱 액추에이터는 손의 터치에 의한 힘을 모사하기 위하여 상부에 하중을 인가하고 가속도 성능을 평가하였다. 그림 7은 인가 하중이 증가함에 따라 공진 주파수와 가속도 성능이

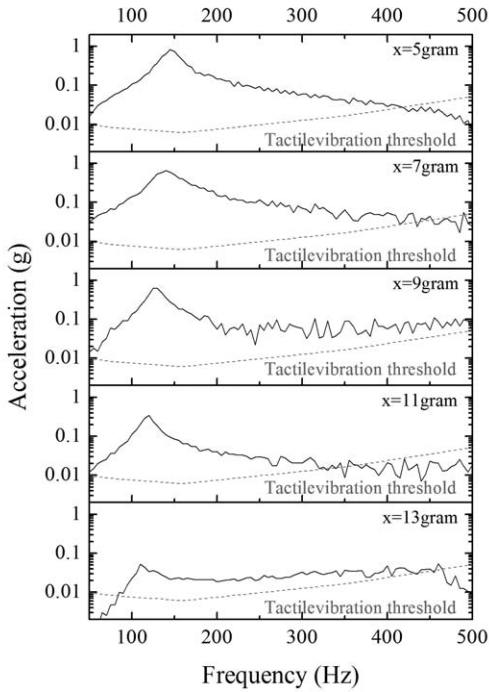
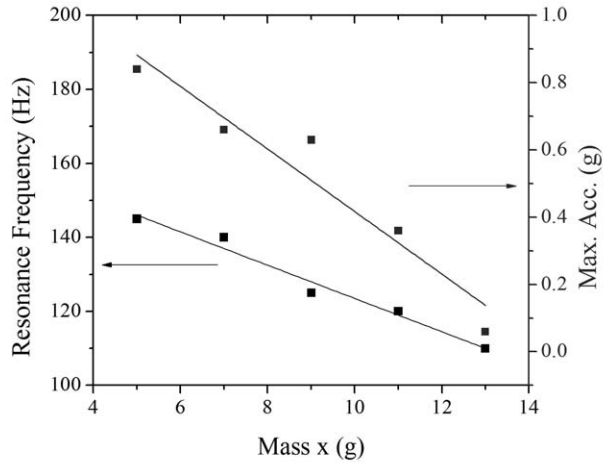


그림 7 인가 하중에 따른 소형화된 어레이 햅틱 가속도 성능



각각 감소함을 보여준다. 소형화된 어레이 햅틱 액추에이터의 가속도 성능은 100~400 Hz의 넓은 영역에서 진동 촉각 한계치 이상이며 특히 공진점에서는 한계치에 비하여 약 100배의 높은 가속도 성능을 보인다. 이는 소형화된 어레이 햅틱 액추에이터의 햅틱 기기에 대한 적용 가능성을 보여준다.

#### 4. 맺음말

모바일 기기를 사용하는 사용자에게 시각정보 뿐만 아니라 햅틱 정보까지 전달하여 현장감 및 몰입감을 증대시켜주는 햅틱 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 사람의 근감각 또는 피부감각을 자극하는 촉각 모듈에 대한 연구가 진행되고

있지만 모바일 기기에 적용하기 위해서는 크거나 다양한 햅틱 정보 생성에 대한 한계가 있다. 따라서 모바일 기기에 적용이 가능한 크기를 만족하고 다양한 햅틱 정보를 생성할 수 있는 연구가 필요하다. 이 연구에서는 CA 기반 필름형 햅틱 액추에이터를 단일형 및 배열형으로 개발하였으며, 그 성능이 햅틱의 필요치를 만족할 수 있음을 보였다. 제조된 액추에이터는 크기의 감소에도 불구하고 기존의 액추에이터와 비슷한 성능을 보였다. 촉각 모듈은 투명성, 유연성을 가지고 있어 앞으로의 유연 디스플레이에도 적용되어 사용자에게 몰입감을 증대시켜주는 햅틱 정보 전달이 가능할 것으로 기대된다. 그러나 인가 전압과 소모전력을 낮추고 많은 요소를 배열하여 초소형화하는 기술이 필요하다. [KSNVE](#)