



## 압전고분자 기반 햅틱기술 동향

최 승 태\*

(울산대학교)

### 1. 머리말

최근 휴대용 전자기기(mobile electronic devices)에서 촉감 기술의 발달은 사용자에게 시각적 및 청각적 인지와 더불어 접촉 감각을 제공하여, 실감나는 사용자 경험(user experience)을 제공하는 데에 큰 기여를 하고 있다. 시각 및 청각 피드백은 비교적 쉽게 구현할 수 있는 반면, 촉각(haptic) 피드백은 구현이 쉽지 않아 현재 스마트폰과 같은 휴대용 전자기기는 전체진동(gross vibration) 방식이 주를 이루고 있다. 하지만, 태블릿 PC(tablet PC)와 같이 큰 크기의 터치스크린이 장착된 휴대용 전자기기의 경우에는 전체진동 방식은 매우 비효율적이어서 사용이 되지 않고 있다. 하나의 대안으로 그림 1과 같이 정전기력을 이용하여 투명하고 대면적에 사용 가능한 촉감 및 질감을 제공하는 소자들이 Tesla Touch, Toshiba, Pacinian 등에 의해 개발되고 있다<sup>(1-3)</sup>. 하지만, 정전기력의 크기가 미약하여 손가락이 정지한 상태에서는 느낄 수가 없고, 손가락을 움직여야만 느낄 수가 있는 단점이 있다. 또한, 최근에는 종이처럼 얇고 유연한 기판을 이용해 손상 없이 휘거나, 구부리거나, 말 수 있는 유연한 표시소자(flexible display)의 개발이 활발해지고 있다. 향후 예상되는 유연한 표시소자에서의 입출력(user interface, UI)는 유연한 터치센서와 햅틱 피드백이 가능한 유연한 구동기

라고 할 수 있으나, 현재 확보된 기술은 거의 없는 편이다. 이 글에서는 압전고분자에 대해 소개하고, 이를 이용한 햅틱피드백 기술에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 압전고분자

압전재료(piezoelectric material)는 압력이 가해지면 전압이 발생하기 때문에 감지기(sensor)로 사용될 수 있으며, 전압을 가하면 변형이 발생하는 성질을 이용하여 구동기(actuator)로 사용할 수 있다. 현재 주로 사용되고 있는 압전고분자로는 poly vinylidene fluoride(PVDF)가 있으며, 특히 PVDF 기반의 고분자 중에서 두 개의 단분자 VDF(vinylidene fluoride)와 TrFE(trifluoroethylene)의 조합으로 구성된 P(VDF-TrFE)는 다른 압전 고분자보다 높은 압전특성을 보여주어 널리 사용

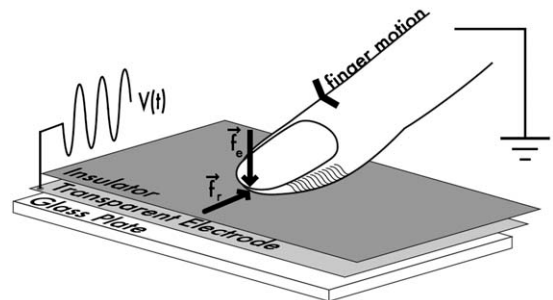


그림 1 Tesla Touch의 작동원리<sup>(3)</sup>

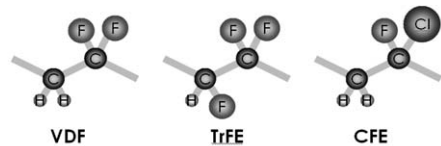
\* E-mail : stchoi@ulsan.ac.kr / Tel : (052)259-2127

되고 있다.

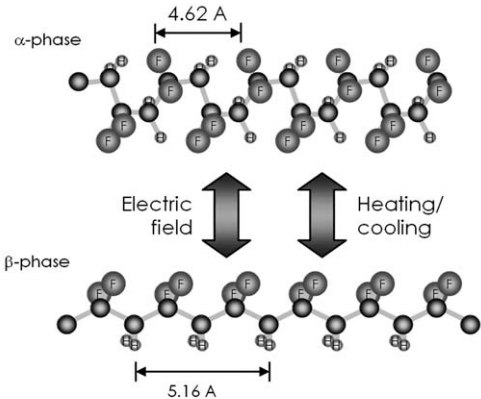
PVDF 기반의 압전 고분자의 미세 구조 (microstructure)에는 고분자 사슬(polymer chain)이 규칙적으로 배열되어 있는 결정영역(crystallite region)과 무질서하게 배열되어 있는 비정질영역(amorphous region)이 공존하게 된다. 고분자 사슬이 규칙적으로 배열된 결정영역은 주로  $\alpha$ 상 혹은  $\beta$ 상의 형태로 존재하게 된다.  $\beta$ 상으로 존재하는 영역은 강유전 구역(ferroelectric domain)에 해당하며,  $\alpha$ 상으로 존재하는 영역은 상유전 구역(paraelectric domain)에 해당한다. 강유전 구역은 전기적 쌍극자(electric dipole)가 한 방향으로 정렬되어 있어 압전특성을 보여주나, 상유전 구역은 전기적 쌍극자의 합이 0이 되어 압전 특성을 나타내지 않는다. 따라서, PVDF 기반의 고분자로 구동기 제작하려고 할 때에는 가능한 한 많은 영역을 압전특성이 높은 강유전 구역으로 만들어 주어야 하며, 또한 모든 강유전 구역들의 분극 방향을 정렬할 필요가 있다.

한편, 압전 고분자의 일종인 PVDF 기반의 완화형 강유전 고분자인 P(VDF-TrFE-CFE) [poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene-chlorofluoroethylene)] 또는 P(VDF-TrFE-CTFE) [poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene-chlorotrifluoroethylene)] 고분자는 20~150 V/ $\mu$ m 정도의 electric field 하에서 최대 5~7 % 수준의 strain을 발생하는 매우 유망한 재료이다<sup>(4-5)</sup>. 그림 2(a)는 P(VDF-TrFE-CFE)를 구성하는 3개의 단분자인 VDF, TrFE, 및 CFE를 보여준다. 여기서 3번째 단분자인 CFE는 그림 2(b)에 도시된 것과 같은 강유전 고분자인 P(VDF-TrFE)의 배열에 의도적인 결함을 도입하게 되고, 이러한 결함은 일관성 있는 분극영역(all-trans chains)을 나노 극성영역(all-trans chains interrupted by trans and gauche bonds)으로 분할하게 된다. 영역의 크기가 나노 크기로 작아지면 영역의 상변이 혹은 분극 방향의 전환에 필요한 에너지 장벽이 낮아지게 된다. 이로 인해 낮은 수준의 전압만으로도 쉽게 분극의 정렬이 가능하며, 또한 그림 2(c)와 같이 낮은

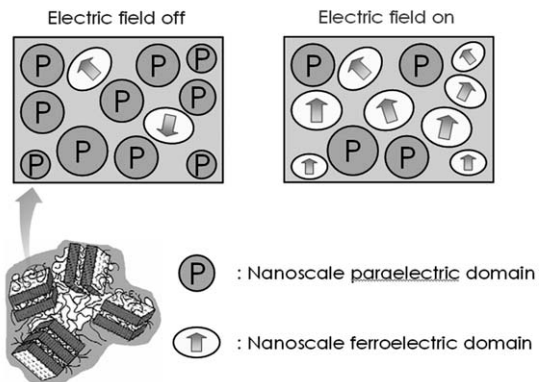
전압에 의해  $\alpha$ 상에서  $\beta$ 상으로 상변이까지 일어나 기존  $\beta$ 상의 정렬된 분극과 상변이가 일어난  $\beta$ 상의 분극까지 더해지면서 많은 수의 전기적 쌍극자를 가지게 된다. 전기적 쌍극자가 많아지면 압전상수가 커지게 되면서 전기-기계 결합계수(electromechanical coupling coefficient)가 높아지며 큰 변형을 유발하게 된다<sup>(4)</sup>. 또한 완화형 강유전 고분자는 1 mm 두께 기준 광 투과도가 93 %로써 매우 투명도가 높아 투명한 구동기에



(a) 완화형 강유전 고분자 P(VDF-TrFE-CFE)를 구성하는 3개의 단분자 VDF, TrFE, 및 CFE의 분자구조



(b) 완화형 강유전 고분자에서 전기장 혹은 온도 변화에 의해 발생하는 상변이에 대한 모식도



(c) 전기장에 의한 완화형 강유전 고분자의 대변형 구동에 대한 모식도

그림 2 완화형 강유전 고분자의 구동원리에 대한 설명

사용이 적합하며, 분극처리를 필요로 하지 않는 장점이 있다.

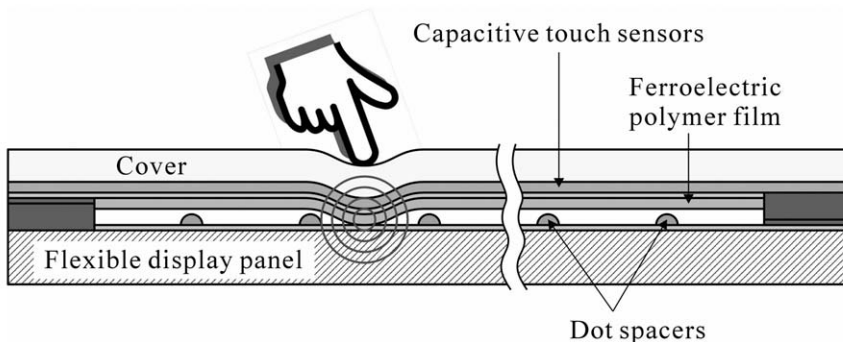
### 3. 대면적 햅틱 터치스크린의 개발 현황

촉감은 물체가 피부에 물리적으로 접촉하여 느껴지는 감각이다. 특히, 물체 표면의 거칠기, 미세한 패턴, 온감, 마찰력 등과 같이 피부를 통해 전달되는 물체의 표면 특징에 대한 다양한 감각을 질감(tactile)이라 한다. 터치스크린은 스크린에 표시되는 멀티미디어 객체를 직접 만지면서 상호작용하는 것과 같은 실감나는 사용자 경험을 제공하기 위해, 최근에는 질감제공이 가능한 구동기에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 정전기력을 이용하여 투명하고 대면적에 사용

가능한 질감표현 소자들이 Tesla Touch, Toshiba, Pacinian 등에 의해 개발되고 있다<sup>(1-3)</sup>. 정전기력을 이용하는 방법은 크게 손가락과 투명 전극 사이에 발생하는 정전기력의 변화를 이용하는 방법<sup>(2,3)</sup>과 전극이 도포된 두 장의 판 사이에 공간을 두고 두 전극면을 대전시키는 방법<sup>(1)</sup>을 사용하고 있다. 이러한 정전기력을 이용하는 방법은 진동의 크기와 주파수를 변화시켜 매끄럽고 울퉁불퉁한 느낌, 부드러운 느낌, 진동 등과 같은 다양한 질감의 표현이 가능한 유망한 기술이라고 할 수 있다. 하지만, 정전기력의 크기가 너무 미약하여 손가락이 정지한 상태에서는 느낄 수가 없고, 손가락을 움직여야만 느낄 수 있는 단점이 있다. 또한, DC가 아닌 AC 전압을 가해서 힘을 지속적으로 변화시켜주어야 한다. 다만 아직까지는 사람



(a)



(b)

그림 3 (a) 유연한 촉감제공 표시소자의 모식도 및 (b) 압전고분자 막을 이용한 국소적인 진동을 제공하는 촉감제공 소자의 단면도<sup>(6)</sup>

에 따라 불편함을 느끼는 부분도 있고, 높은 전압(100~200 V<sub>pp</sub>)을 이용해야 하며, 수분 등의 환경에 큰 영향을 받는 것이 한계점으로 지적 받고 있다.

한편 압전고분자는 박막 형태로 제작하여 상하면에 전극을 도포하고 전압을 인가하면 발생하는 전기장에 따라 음향 진동이 발생하게 된다. 이러한 압전고분자를 이용한 유연한 촉감제공 표시소자의 모식도를 그림 3(a)에 나타내었다<sup>6)</sup>. 또한 그림 3(b)에는 이러한 압전고분자를 이용한 유연한 촉감제공 표시소자의 구성 예를 나타내고 있다. 여기서 촉감제공 박막구동기는 유연한 표시소자의 상부에 위치하는 투명한 커버의 아랫면에 위치하게 된다. 커버는 촉감제공 표시소자를 보호하는 역할을 하며 손끝이 직접 접촉하는 부분이 된다. 투명한 커버의 아랫면에 상부 투명전극을 두고, 다시 상부 투명전극의 아래 부분에 압전고분자를 둔다. 그리고, 유연 표시소자의 상부에 하부 투명전극을 두며, 하부 투명전극의 상부에 도트 스페이서(dot spacer)를 두어 하부전극과 압전고분자 막이 분리되는 구조를 갖는다. 사용자의 손끝이 커버에 접촉되면 그림 3(b)와 같이 커버, 상부전극, 압전고분자 막이 국부적으로 휘어지게 되고, 이때 하부전극과 접촉하게 되어 접촉한 점에서 전기장이 국부적으로 높아져 큰 주기적 변형, 즉, 진동이 발생하게 된다. 또한, 압전고분자 막과 하부전극 사이의 접촉 시 발생하는 진동은 프레팅 진동(fretting vibration)으로서 접촉된 손끝에 전달되는 촉감을 증폭시키는 역할을 하게 된다.

#### 4. 맺음말

대면적 터치스크린 및 유연한 터치스크린에서도 사용자에게 다양한 사용자경험을 제공하기 위해 촉감제공 소자의 적용이 필요하다. 하지만, 태블릿 PC와 같이 큰 크기의 터치스크린이 장착

된 휴대용 전자기기의 경우에는 현재 주류를 이루고 있는 전체진동 방식은 매우 비효율적이어서 사용이 되지 않고 있다. 한편 압전고분자는 박막 형태로 제작하여 상하면에 전극을 도포하고 전압을 인가하면 발생하는 전기장에 따라 음향 진동이 발생하게 된다. 이러한 압전고분자를 이용한 촉감제공 소자는 박막형태로 제작될 수 있고, 우수한 광투과도를 가지고 있어, 향후 대면적 터치스크린에 적용이 가능할 것으로 판단된다. **KSNVE**

#### 참고문헌

- (1) Picinian Corp, <http://www.pacinian.com/>
- (2) Senseg, <http://senseg.com/technology/senseg-technology>.
- (3) TeslaTouch, 2010, Electro vibration for Touch Surfaces, Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology: ACM.
- (4) Bauer, F., Fousson, E. and Zhang, Q., 2006, Recent Advances in Highly Electrostrictive P (VDF-TrFE-CFE) Terpolymers, Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on 2006, Vol. 13, No. 5, pp. 1149~1154.
- (5) Xia, F., Cheng, Z., Xu, H., Li, H., Zhang, Q., Kavarnos, G. J., et al., 2002, High Electromechanical Responses in a Poly (vinylidene fluoride-trifluoroethylene-chlorofluoroethylene) Terpolymer, Vol. 14. No. 21, pp. 1574~1577.
- (6) Ju, W. E., Moon, Y. J., Park, C. H. and Choi, S. T., 2014, Flexible Tactile-feedback Touch Screen Using Transparent Ferroelectric Polymer Film Vibrators, Smart Materials and Structures, 2014;23:074004.