



탄성중합체 기반 촉각 기술

최재영, 구자춘*

(성균관대학교)

1. 머리말

촉각 기술(tactile technology)은 물리적인 접촉에 의해서 정보를 획득하기 위한 기술을 말하며 촉각 센서 연구 분야에서 요구된다. 촉각 센서(tactile sensor)는 시각, 청각, 후각, 미각 등 다른 감각을 통해서 얻을 수 없는 접촉유무, 온도 감지, 진동, 압력 및 더 나아가 미끄럼 감지 등에 대한 외부환경 정보를 제공하여 준다. 촉각 센서 기술은 최근 들어 활발히 연구되고 있는 로봇틱스(robotics) 분야에서 보다 높은 기능의 실현과 안전성 향상을 위해 필수불가결의 기술로 인식되고 있다. 기존의 촉각 정보를 획득하기 위해 사용되는 센서는 높은 가격, 복잡성 그리고 전력 소모 등의 특징과 외부 충격과 자극에 민감하기 때문에, 촉각 센서 연구에서 충격과 자극에 안정적이고 여러 환경에서 접촉이 가능한 특징이 강조되고 있다. 따라서 촉각 센서를 개발하기 위해 외부 자극에 빠른 응답성을 보이고 다양한 환경에 접촉이 가능할 수 있도록 유연하며 변형 후 원래 상태로 돌아올 수 있는 재료의 선정이 중요하다.

탄성중합체(elastomer)는 앞서 말한 촉각 센서에 필요한 특징을 만족할 수 있는 재료로 많은 연구진들이 센서를 만드는 과정에서 사용하고 있다. 탄성중합체의 대표적인 것에 합성고무와 실리콘이 있으며 고무와 같이 탄성거동을 하는 고

분자(polymer)를 말한다. 탄성중합체에 힘을 가하면 늘어나고 그 힘을 제거하면 원래의 안정된 상태로 돌아오는 성질이 있다. 탄성중합체를 만드는 과정에서 화학적 물질을 첨가하여 재료의 기계적 강도를 증가시키거나 유연성을 향상시킬 수 있다.

촉각 센서 연구에서의 탄성중합체는 캐패시터를 형성하는 유전물질(dielectric material)로의 역할 뿐만 아니라 센서 자체의 구조(structure)를 위한 역할로써 사용된다. 또한 탄성중합체는 가공틀(mold)에 따라 미세단위(micro-unit)의 구조물을 만들 수 있는 뛰어난 성형성을 가지고 있어 그 활용이 무궁무진하다. 촉각 기술을 위한 센서는 접촉을 통한 외부 물리량을 획득하기 때문에 외부 자극에 변화 후 복원할 수 있는 능력이 필요하며 탄성중합체의 성질인 우수한 탄성 물성치(elastic property)는 촉각 센서의 특징을 만족하는 재료로 적합하다.

2. 탄성중합체를 기반으로 한 촉각 기술의 연구

(1) 캐패시터 차이를 통한 3축 힘 측정

이탈리아 IIT(Istituto Italiano di Tecnologia)의 연구팀은 유연한 재질의 3축 힘 측정 센서(flexible three-axial force sensor)를 만들기 위해 탄성중합

* E-mail : jckoo@skku.edu / Tel : (031)290-7454

체를 기반으로 센서 physics를 구성하였다⁽¹⁾. 그림 1에서 보는 것과 같이 하나의 직물 전극(textile electrode)과 4개의 직물 전극들을 아랫면에 배치하여 4개의 캐패시터(capacitor)를 형성한다. 외부 자극에 의해 캐패시터는 물리적으로 변형되는데, $C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{h}$ 수식에서 직물 전극 사이의 면적(A)와 높이(h)의 변화로 각 캐패시터의 측정값이 달라지게 된다. 센서에 작용한 수직력(normal force)과 전단력(tangential force)은 캐패시터 측정값과 4개의 캐패시터 관계 의해 측정할 수 있다.

이 과정에서 탄성중합체는 전극사이에 공간을 만들어 유전물질(dielectric material)로 사용되며 전체 센서의 형상을 이루는 프레임이 된다.

또한 탄성중합체는 외부에서 작용하는 물리적 힘을 캐패시터로 전달하는 역할을 하는데, 수직과 수평방향으로의 힘에 의해 변형되어 캐패시터 값의 변화를 가져온다. 수직방향으로의 힘은 각 캐패시터의 높이를 변화시키고 수평방향으로의 힘은 캐패시터를 이루고 있는 두 전극사이의 면적의 변화를 일으킨다. 그림 2는 센서의 힘이 작용될 때 단면을 나타낸 것이다.

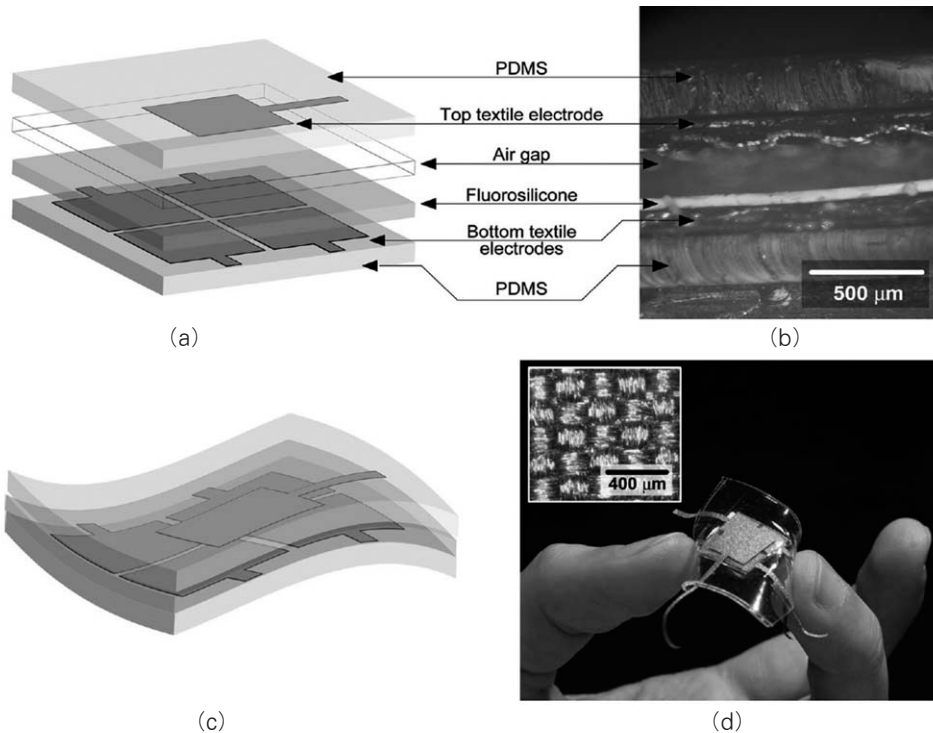


그림 1 탄성중합체를 기반으로 한 센서 구조(sensor architecture)⁽¹⁾

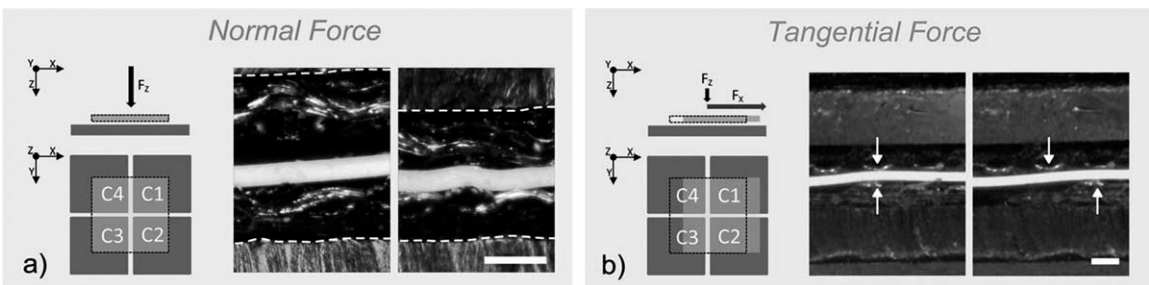
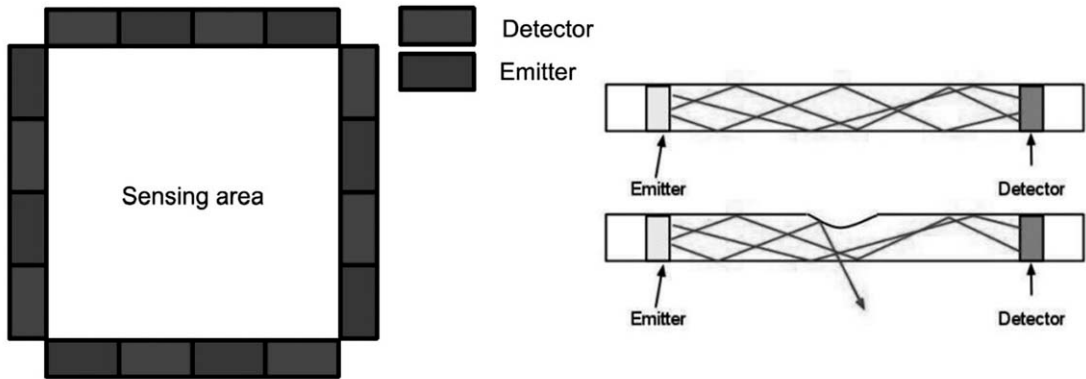
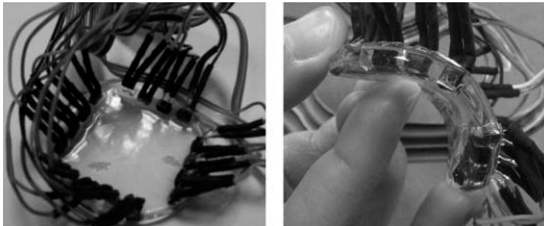
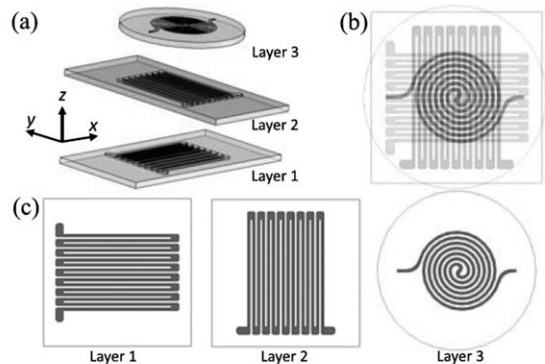


그림 2 수직방향(a)과 수평방향(b)의 힘이 작용 될 때의 센서의 단면⁽¹⁾

그림 3 압력 센서 장치와 센서 작동 원리⁽²⁾그림 4 도파관(waveguide)으로 탄성중합체를 이용한 전자 피부⁽²⁾

(2) 광학 신호의 강도의 차이를 통한 압력 측정
압력 측정(pressure sensing)을 위한 연구에서 탄성중합체는 또 다른 역할로 사용된다. 그림 3과 같이 방사체(emitter)에서 광학 신호(optical signal)를 방출하여 감지기(detector)를 통해 그 신호를 감지하는 시스템이 있다⁽²⁾.

두 겹의 탄성중합체 사이에 공기층(air gap)을 통해서 마주보고 있는 8개의 방사체-감지기(emitter-detector)가 광학 신호를 주고받을 수 있다. 탄성중합체는 이 과정에서 피복과 같이 광학 신호의 경로를 만들어 주는 도파관으로 역할을 하게 된다. 탄성중합체에 외부 접촉이 가해지면 공기층과 표면사이의 굴절률 변화가 생기고, 압력에 의해 변형된 표면은 빛의 진행을 방해하여 탐지기(detector)에 전해지는 빛의 강도(light intensity)의 감소를 가져오게 된다. 따라서 외부 접촉이 일어나기 전과 후 빛의 강도의 차이로 표면에 작용하는 압력을 측정할 수 있다. 연구에서 촉각 센서를 만들기 위해 전자 피부(electronic skin)의 개념으로 유연하고 얇으며 굽힐 수 있는

그림 5 3개의 적층면을 가진 센서 구조와 센서 각 층(layer) 디자인(layer 1: x-축 변형을 측정, layer 2: y-축 변형을 측정, layer 3: z-축 압력 측정)⁽³⁾

성질을 요구하는데 곡면이나 유연 디스플레이(flexible display)에 부착이 가능하다. 그림 4는 위 탄성중합체의 특징을 통해 완성한 광학 압력 센서의 시제품의 모습이다.

(3) 저항값의 차이를 통한 표면 변형률과 압력 측정

탄성중합체를 이용한 촉각 기술로써 저항값의 변화로 수평방향의 변형률과 수직방향으로 가해지는 압력을 측정하는 연구가 있다⁽³⁾. 앞선 연구 사례에서 광학신호의 통로의 역할로 탄성중합체가 사용되었다면 이 연구에서는 액상 도체(liquid conductors)의 미세통로(microchannel)로써 탄성중합체가 사용되었다.

그림 5에서 이 센서는 3가지 센서의 적층형 구조로 아래 2개의 층은 수평방향으로 변형률(strain)을

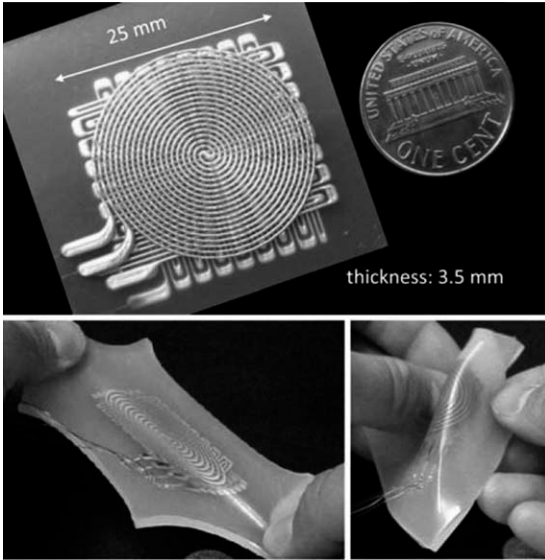


그림 6 탄성중합체 미세통로 내 액상도체를 이용한 인공 피부 시제품⁽²⁾

측정하고 그 위의 원형의 층은 수직방향으로의 가해지는 압력(pressure)을 측정한다. 기본 작동 원리는 외부 자극이 센서에 가해지면 각 센서의 양 끝단에서 저항값이 변화하게 되고 그 값으로 수평방향의 변형률과 압력을 측정하는 간단한 개념을 가지고 있다. 미세통로를 만들기 위하여 가공틀(mold)에 형상을 만든 탄성중합체를 수 차례 적층하여 하나의 레이어로 만들고 만들어진 미세통로에 액상 도체(liquid conductors)를 주입(injection)하여 센서를 만들게 된다. 탄성중합체의 응고과정(curing)이 다 끝난 센서는 그림 6과 같이 수평, 수직방향으로의 자극에 유연하게 움직이고 다시 원래의 형태로 돌아오는 특징을 가진다.

이 제작과정은 일반적으로 알고 있는 고체재료로 제작이 어렵고 외부 자극으로 인한 변형에 매우 낮은 변형률을 보여주기 때문에 탄성중합체를 통하여 제작이 가능하며 연구에서 요구하는 센서의 기본 측정 원리를 구현할 수 있다.

3. 맺음말

촉각 기술에 사용된 탄성중합체는 앞에 소개된 연구들 외에도 다양한 용도와 특징으로 사용되고 있다. 탄성중합체의 주요 특징을 외부 환경에 쉽게 적응하는 유연성, 미세 단위까지 쉽게 제작이 가능한 뛰어난 성형성, 외부 자극에 빠르게 반응하는 응답성과 변형된 후 원래 상태로 돌아오는 복원 능력으로 볼 수 있으며 탄성중합체를 기반으로 한 사례들에서 그 특징을 확인할 수 있다. 촉각 기술은 여러 가지 기본 작동원리들을 통해서 개발할 수 있는데, 실제 제작과 재료의 기계적 물성치 등의 문제로 촉각 기술을 실제적으로 구현하기 위해 한계가 있다. 현재 탄성중합체가 가지고 있는 주요한 특징들로 인해 여러 아이디어들이 구현이 가능해 지고 그 쓰임이 다양하기 때문에 촉각 기술 분야에서 주요 재료로 앞으로 활용이 더욱 기대되어 진다. **KSNVE**

참고문헌

- (1) Lucia, B., et al., 2014, Flexivle Three-axial Force Sensor for Soft and Highly Sensitive Artificial Touch, Adv. Mater., Vol. 26, pp. 2659~2664.
- (2) Lucia, B., et al., 2013, Soft, Transparent, Electronic Skin for Distributed and Multiple Pressure Sensing, Sensors, Vol. 13, pp. 6578~6604.
- (3) Park, Y.-L., Chen, B.-R., Wood, R. J., 2012, Design and Fabrication of Soft Artificial Skin Using Embedded Microchannels and Liquid Conductors, IEEE Sensors Journal, Vol. 12, pp. 2711~2718.