

오 일 권 한국과학기술원 기계공학과 교수

| e-mail : ikoh@kaist.ac.kr

최 준 호 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

| e-mail : june1035@kaist.ac.kr

로봇의 활용도가 높아짐에 따라, 로봇은 단순한 기계가 아니라, 인간처럼 판단하고 행동하도록 지능화되고 있으며, 소프트 지능재료를 활용하여 생체 근육을 모사한 다양한 소프트 로봇에 대한 연구들이 소개 되고 있다. 이 글에서는 소프트 지능재료 중에서, 특히 유전탄성체 기반의 소프트 로봇에 대한 현재 국내외 연구동향을 소개하고 향후 전망에 대해 기술하고자 한다.

현대 사회에서 로봇(robot)은 기계, 신소재, 정보통신 등의 급속한 발전으로 산업분야에서 대량 생산을 위해 자동 생산체제가 갖춰진 공장에서 많이 사용될 뿐만 아니라, 일상생활에서 교육, 오락, 청소, 재활, 노인 및 장애 복지 등을 보조하는 서비스를 제공한다. 심지어 인간이 접근하기 힘든 특수한 환경에서 인간의 일을 대신하면서 앞으로 더욱 다양한 분야에서 로봇이 보편화 되고 계속해서 새로운 분야로 더욱 확장될 전망이다. 이를 위해 지능형 로봇이 인간과 같이 판단하고 행동할 수 있도록 감각 정보들을 제공하는 센서와 인간의 근육을 모사한 인공근육에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

전기활성고분자(EAP: Electro-active polymer)는 지능 재료(smart material)로서, 외부 전기자극에 의해 대변형이 가능하고, 생체 근육처럼 탄성력과 유연성을 갖고 있기 때문에 생체 근육의 움직임을 모사하여 다양한 움직임이 가능한 구동기가 기존의 전기 모터와 같은 구동기를 대체하고 있다.

특히, 유전 탄성체(DE: dielectric elastomer actuator,)는 전기활성고분자 재료중 하나로 1Mpa

이하의 탄성률을 가질 정도로 인간의 근육과 같이 유연성이 좋고(compliant), 200마이크로초 이하로 빠르게 반응할 수 있고(fast), 부드러우며(softness), 초소형의 제작이 가능하고(compact), 중량 대비 높은 변형량을 보여주며(highly deformation), 제작이 용이하고(easy fabrication), 단가가 싸다는 많은 장점을 지니고 있어 소프트 로봇 개발을 위해 다양하게 쓰이고 있다.

이 글에서는 미래의 다양한 소프트 로봇을 위한 유전탄성체 구동기의 국내외 연구동향을 살펴봄으로써, 향후 로봇의 발전 방향을 전망하고자 한다.

### 국내 동향

성균관대학교의 최혁렬 교수팀은 유전탄성체에 의해 구동되는 6각류 곤충을 모사한 보행 로봇을 개발하였다. 이 보행 로봇은 3D 프린팅(printing) 기법을 이용해 일체형으로 쉽게 제작이 되었으며, 전진(forward), 후진(backward), 선회(turning), 회전(rotating) 운동 등 다양한 운동과 속도 조절이 가능

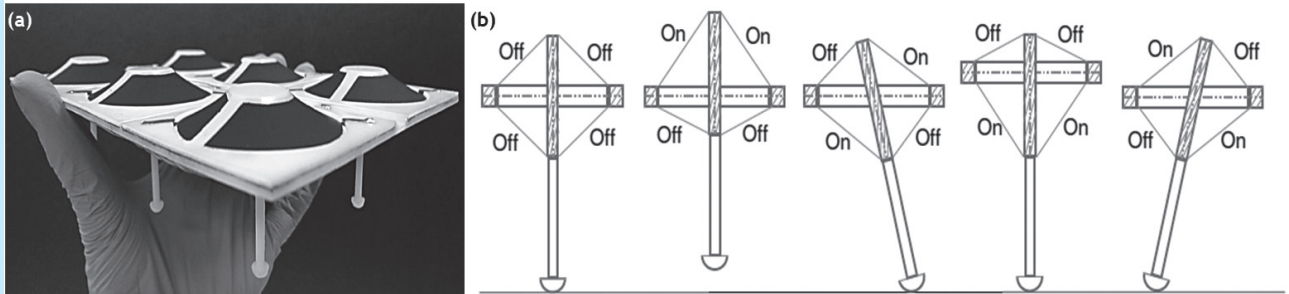


그림 1 (a) 6각 보행 로봇, (b) 전진운동을 위한 소프트 로봇 다리의 연속 동작(Choi H.R. et al., Printable Monolithic Hexapod Robot Driven By Soft Actuator 2015)

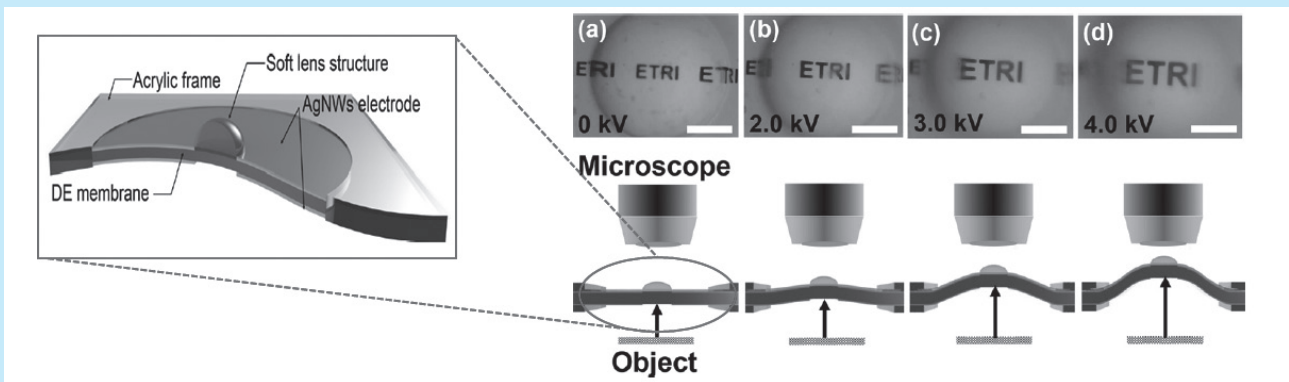


그림 2 구동 전압에 따른 능동적 박막 렌즈의 구동(Kyung K.-U. et al., A thin film active-lens with translational control for dynamically programmable optical zoom 2015)

한 것이 특징이다. 그림 1처럼, 네 개의 유전탄성체의 길항적 배치(antagonistic configuration)를 통해 서로 다른 방향과 위치에서 구동됨에 따라, 로봇의 다리가 들어올림, 앞으로 회전, 아래로 내딛음, 뒤쪽으로 회전 등의 연속동작으로 전진하는 운동을 볼 수 있다. 이처럼 유전 탄성체 구동기의 적절한 설계로 다자유도(multi-DOF)의 움직임에 갖는 소프트 로봇의 다양한 운동을 구현할 수 있다.

한국전자통신연구원(ETRI)의 경기욱 연구원 팀은 유전탄성체를 통해 인간의 눈을 모사하여 빠르게 능동적으로 보고자 하는 물체에 초점을 맞출 수 있는 렌즈를 개발하여 보고하였다. 인간의 눈은 수정체를 긴장시키고 이완시키는 모양체 근육에 의해 대상물의 위치에 따라 수정체의 초점거리가 능동적으로 미세하

게 원근 조절되는 원리를 통해 뇌에 시각정보를 제공한다. 이러한 원리를 이용하여 유전탄성체를 통해 눈의 모양체 근육을 모사하여, 유전탄성체가 수축 및 이완되는 작용을 통해 능동적으로 렌즈의 초점을 맞추도록 설계 및 제작하였다. 또한, 전체 두께가 500 $\mu$ m의 얇은 필름으로 실제 모양체의 두께와 매우 유사하며 빠른 반응으로 광학 줌(optical zoom)기능을 제공하고, 지속적인 구동에도 매우 안정적인 것이 특징이다.

마지막으로 본 연구팀에서는 최근에 패턴된 유전탄성체를 이용하여 임의의 주파수를 갖는 전자기파가 입사 되었을 때 선택적으로 하나의 전자기파만을 투과시킬 수 있는 능동적 주파수 선택막을 개발하였다. 제한된 능동적 주파수 선택막은 기존 주파수 선택막의 선택적 전도성과 유전성을 갖는 구조체와 유사

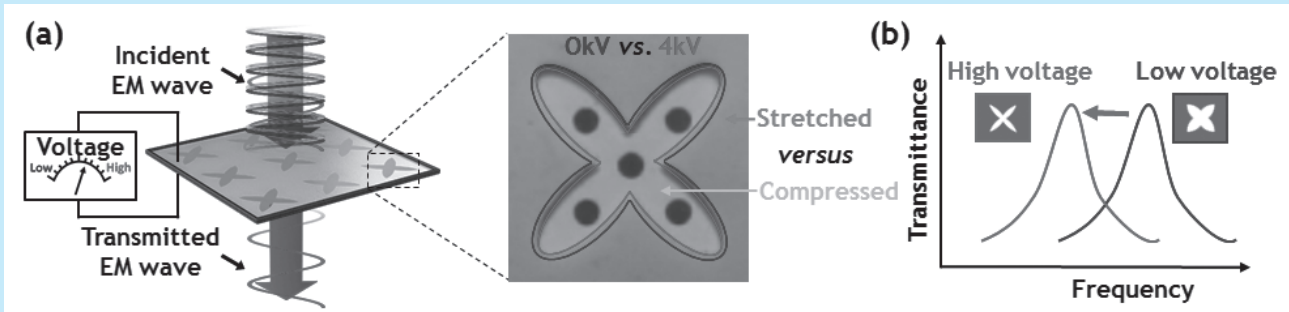


그림 3 전압에 따른 능동적 주파수 선택막의 구동 메커니즘과 선택적 전자기파 투과(Oh I.-K. et al., An Electroactive, Tunable, and Frequency Selective Surface Utilizing Highly Stretchable Dielectric Elastomer Actuators Based on Functionally Antagonistic Aperture Control 2016)

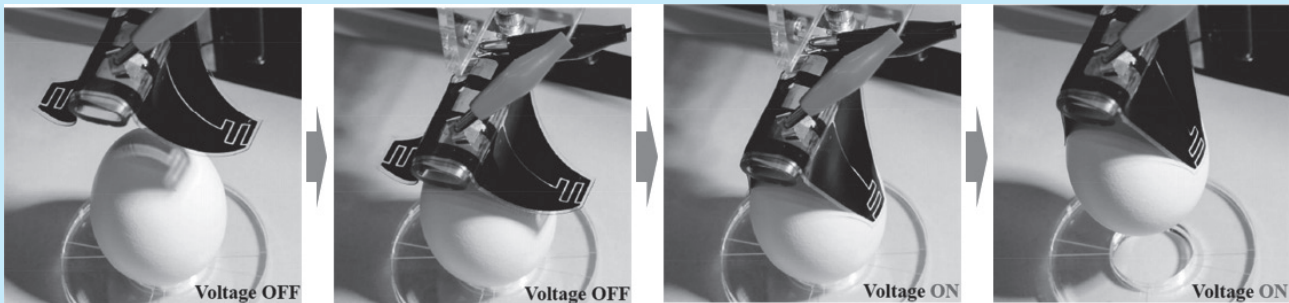


그림 4 60.9g의 날계란을 정전기적 접착력을 이용해 집어 올리는 과정(Shea H. et al., Versatile soft grippers with intrinsic electroadhesion based on multifunctional polymer actuators 2015)

하지만 우수한 전도성과 신축성을 갖는 은나노 와이어 전극(silver nanowire electrodes)과 유연성 및 변형률이 좋은 유전탄성체를 통해, 유전탄성체 위에 패터닝된 형상을 가변함으로써 전자기파를 약 1GHz의 넓은 주파수 대역에서 전자기파를 선택적으로 투과시키고 선택적으로 제어가 가능하다. 이는 기존 주파수 선택막 대비 저전력소모, 저유전손실, 간편한 제작 및 저비용 등의 장점을 가지며 다중 대역에서 전자기파를 선택적으로 투과시킴으로써, 전자기파 흡수, 통신서비스, 무선 보안시스템, 안테나 및 레이더 시스템 등 실용적으로 널리 활용될 수 있을 것으로 보여진다.

### 국외 동향

스위스의 Shea Herbert 교수팀은 소형화된 유전

성체 기반 구동기와 이를 이용한 햅틱 디스플레이에 대한 연구를 수행 중이다. 최근 기존의 로봇 구동기가 쉽게 집어서 옮기기 어려웠던 깨지기 쉬운 날계란, 변형이 쉬운 풍선, 매우 얇은 두께의 종이카드 등을 사람의 손처럼 집을 수 있는 다용도의 부드럽고 유연한 집계를 개발하였다. 이것은 유전 탄성체 기반 구동기로 사람의 손가락처럼 구부러지는 움직임을 모사할 뿐만 아니라, 집계와 접촉된 물체 사이에서 발생하는 정전기를 제어함으로써 정전기적 접착력으로 자신의 무게인 1.5g의 약 50배가 넘어가는 82.1g의 금속 오일 캔을 집어 올릴 수 있는 사양을 가졌다. 또한 물체의 형태에 따라 달라지는 굽힘각도(bending angle)에 의해 유전탄성체에 패터닝된 유연전극으로 두 물체 사이에 발생하는 정전용량(capacitance)를 측정하여 인간의 손처럼 필요한 만큼의 힘을 계산하여 물건을

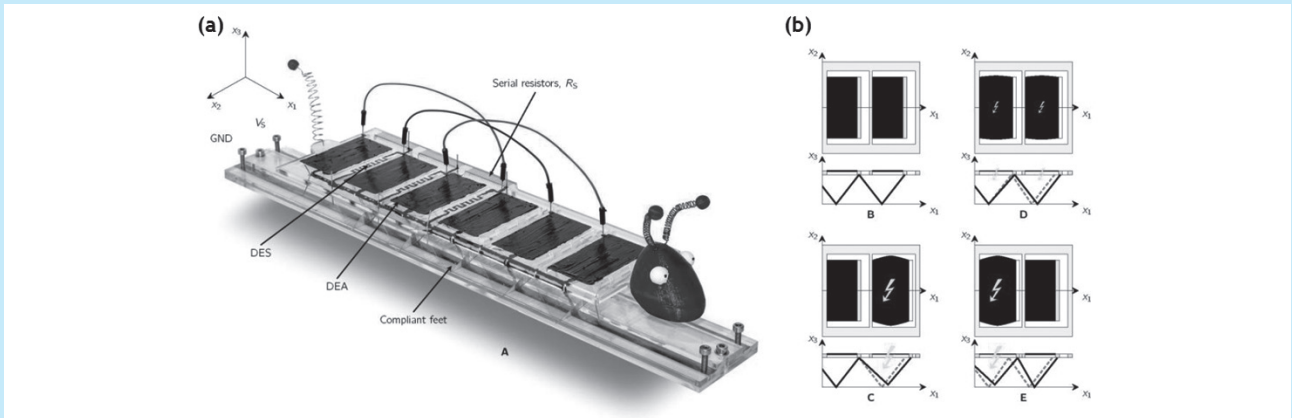


그림 5 소프트 보행 로봇의 설계와 작동 원리 ; (a) 로봇 사진, (b) 로봇의 움직임 모델(Anderson I. et al, A Soft Electronics-Free robot 2016)

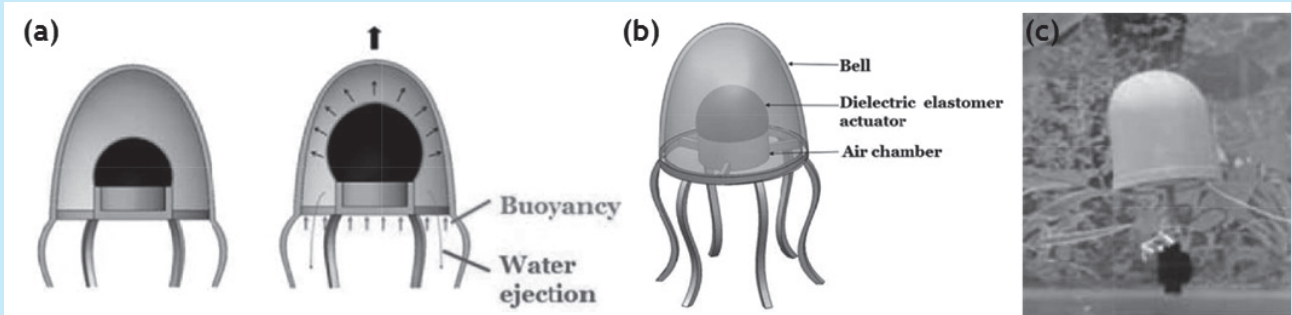


그림 6 (a) 해파리 로봇 구동 메커니즘, (b) 해파리 로봇 개요도, (c) 해파리 로봇의 실제 수중운동 모습(Zhu J. et al., A Soft Jellyfish Robot Driven by a Dielectric Elastomer Actuator 2016)

집을 수 있고, 반대로 그 물체의 형상을 자가 인식 (self-sensing)할 수도 있다.

뉴질랜드의 Anderson Iain 교수팀은 기존의 전자 신호처리 장치 없이 유전 탄성체와 고분자만을 가지고 걸어다니는 생체모방 소프트 로봇을 개발하였다. 단지 DC 전압만을 공급하여 유전탄성체의 면방향 (in-plane) 변형만으로 각각의 유전탄성체의 구동이 자동으로 on/off 되어 앞으로 걸어가는 자동 조절 시스템(self-regulating system)을 설계하였다. 이는 3차원 및 스크린, 잉크젯 프린팅 기법으로 제작될 수 있는 고분자 재료만을 사용하였기 때문에, 앞으로 기존의 강성물질(rigid material) 없이 유연하고 부드러

운 소재를 이용한 로봇개발을 가속화 시킬 것으로 보인다.

싱가포르의 Zhu Jian 교수팀은 유전탄성체 구동기를 이용해 해파리의 움직임을 모사한 수중로봇을 개발하였다. 해파리는 적은 에너지로 물속에서 효율적으로 움직이는 수중 생물로 널리 알려져 있다. 그래서 형상 기억 합금(shape memorizing alloy), 이온성 고분자 금속 복합체(ionic polymer metal composites), 이온 전도성 고분자 필름(ionic conducting polymer films) 등 지능 재료를 이용한 해파리 수중 로봇이 다양하게 개발되어 왔다. 하지만, 이전의 해파리 로봇은 작은 구동력과 큰 에너지 소비,

작은 에너지 밀도, 큰 소음, 느린 반응성 등 한계점을 보여 왔다. 이를 극복하기 위해 새롭게 제안된 해파리 로봇은 유전탄성체의 큰 변형량과 높은 에너지 밀도, 빠른 반응성을 바탕으로 물속에서 해파리가 부력과 물을 분출하며 추진력을 얻는 운동을 모사하여 개발되었다. 이것은 유전탄성체 기반 구동기가 처음으로 수중로봇에 시도된 사례로, 앞으로 유전탄성체 구동기에 대한 응용범위가 더욱 확장될 것으로 사료된다.

### 맺음말

로봇의 활용도가 증대됨에 따라, 로봇은 생체 피부와 근육을 모사하여 인간의 감각적인 능력뿐만 아니라 다양하고 세밀한 운동능력이 가능하도록 발전하고 있다. 이러한 발전 추세에 따라, 보다 가볍고 유연한 소프트재료로 제작되는 소프트 로봇 및 구동기에

대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 유전탄성체가 빠르게 반응하고 대변형을 만들 수 있는 장점을 이용하여 국외에서는 보행로봇부터 수중로봇, 인간만이 할 수 있는 힘을 스스로 조절하여 다양한 형태의 물건을 인식하고 옮길 수 있는 로봇까지 연구가 진행되고 있다. 아직까지 국내에서는 로봇의 근간이 될 수 있는 센서나 다양한 기능을 갖는 구동기 형태로 주로 연구가 진행되고 있다. 소프트 로봇은 국방 및 민수 사업으로 활발히 확장되고 있는 분야이고, 앞으로 국가 경쟁력을 강화시킬 수 있는 분야이기 때문에, 이를 위해서는 유전탄성체 기반의 초정밀 센서뿐만 아니라 큰 힘과 다양한 움직임이 가능한 고성능 구동기에 대한 연구가 필요한 실정이다. 뿐만 아니라, 소프트 로봇의 실질적인 활용과 보급화를 위해 경량화 및 생산단가 절감, 신뢰성 있는 성능평가 기준 등이 마련되어야 할 것이다.