

EAP 재료 및 응용



글 · 김재환 / 인하대학교 기계공학과, 부교수
e-mail · jaeshwan@inha.ac.kr

이 글에서는 생체모방 인공근육의 가능성이 높은 EAP를 소개하고 기계분야의 폭넓은 응용 및 발전을 기대한다.

과거 10여 년 간 Electro-Active Polymer(EAP) 분야는 큰 변형을 낼 수 있는 지능재료들이 출현함에 따라 인공근육을 만들 수 있는 가능성으로 인해 많은 관심이 모아지고 있다. EAP는 외부의 자극에 따라 큰 변위를 생성할 뿐만 아니라 근육과 같이 탄력성이 있는, 다른 재료기술들이 낼 수 없는 특성과 성능을 가지고 있다. EAP가 갖는 생체근육과 같은 작동을 할 수 있는 가능성은 곧 공상과학의 꿈을 이루고자하는 희망을 갖게 하며 인류의 문명발전에 크게 기여할 것이다. EAP는 차세대 마이크로 로봇, 오락산업 또는 초소형 비행체의 구동과 같은 인공근육 작동기의 응용분야를 창출하고 있다. EAP 작동기의 응용성은 폭넓으며 새로운 기술혁신의 기대를 불러일으키고 있다.

과학자들은 전기적 자극이 가해졌을 때 길이나 부피가 늘거나 줄어드는 경량재료를 개발하기를 추구하여왔다. 이러한 물질은 운동을 일으키는 작동기(actuator)로 사용되어 초소형 응용분야에 사용하기에는 너무 무겁거나 큰 전기모터나 공압 실린더를 대체할 수 있다. EAP의 새로운 탄생은 인공근육으로서 가능성을 보이고 있다. EAP는 전기장에 의해 작동되는 것과 이온에 의해 작동하는 것으로 대별되며 전기장에 의한 EAP에는 압전, 전액, 강유전성의 재료가 있다. 이온화에 의한 것은 외부에서 전기와 같은 자극이 가해졌을 때 폴리머 내부에 이온의 편류가 발생하여 변형이 발생

하는 것으로 폴리머, 젤, IPMC(Ionic Polymer Metal Composite), 탄소나노튜브, 도전성 폴리머 그리고 ER유체가 있다. 이외에는 종이, 천 등의 다양한 EAP 재료가 현재 연구되고 있다.

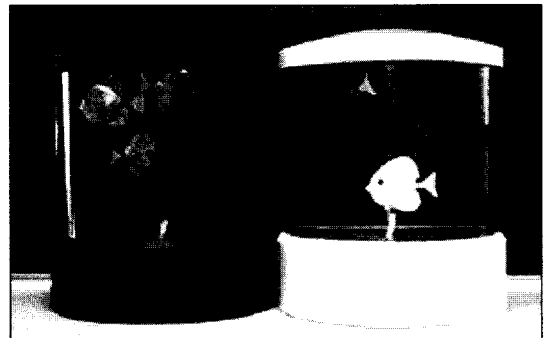
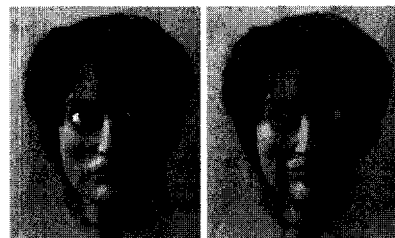


그림 1 EAP를 이용한 fish robot

전기 작동고분자 시연을 위한 장치



로봇 인간의 안면 표정(데이빗 한센 작품, 텍사스대)

그림 2 안면표정 로봇

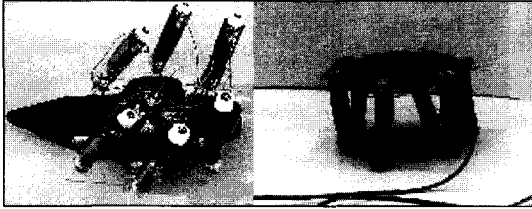


그림 3 MER 작동기를 이용한 skitter

전기적 EAP 재료

펜실베이니아 주립대학의 Dr. Zhang은 P(VDF-TrFE)에 전자 방사를 시킴으로써 괄목할 만한 전왜현상을 얻을 수 있음을 발견하였다. 그 결과 바 이모프 형태의 작동기로 만들었을 때 5% 이상의 변형을 얻을 수 있고 1GPa 이상의 탄성계수를 가지고 있으며 높은 주파수까지도 작동이 가능하다. 그러나 높은 전압을 가해야 하는 단점이 있었는데 최근에는 높은 유전율을 갖는 유기물을 첨가하여 인가전압을 낮추었다.

SRI International에서는 지난 8년간 유연 전극이 입혀진 탄성중합체의 전기장 인가에 따른 응답에 기인한 Electro-strictive Polymer Artificial Muscle(EPAM)을 연구하고 있다. 작동원리는 두 개의 유연 전극 사이에 탄성 중합체를 적층시키고 상하의 두 전극 사이에 전위차를 걸어 주면 폴리머는 두께 방향으로 눌려지면서 평면 방향으로 늘어난다. 이 변형은 전기장의 자유전하로 인한 정전기력에 기인한 것으로 알려져 있다. 최근에는 3M사에서 제작하는 아크릴 탄성 중합체를 사용했을 때 양방향 대칭의 제한 하에서 300% 이상의 평면 변형을 일으킴을 발견하였다. 아크릴 EPAM을 사용하여 음향 스피커나 소음 제어를 위한 음원, 그리고 군화의 전원발생장치의 개발을 연구하고 있다. 또한 아크릴 박막을 스프링과 조합하여 감아서 만든 다기능(MER : Multifunctional

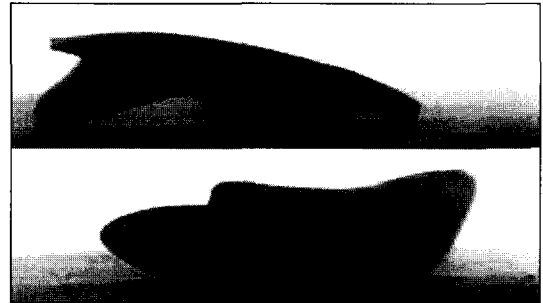


그림 4 이온젤을 이용한 불가사리

Electroelastomer Roll)작동기(actuator)는 직선운동뿐만 아니라 굽힘운동을 일으킬 수 있어서 신호에 따라 3차원의 운동을 할 수 있다. 이를 이용하여 6축 보행로봇을 만들기도 하였다.

이온 EAP 재료

이온 폴리머 젤에 대한 연구는 Arizona 대학의 Calvert, 비이온 폴리머젤은 일본 Shinshu 대학의 Hirai, 동경대학의 Inoue 교수팀을 비롯하여 헝가리 부다페스트 대학에서는 자기장에 의해서 작동하는 ferrogel을 연구, 개발하고 있다. 이러한 폴리머 젤은 기어 다니는 곤충과 같은 로봇을 만드는 데 쓰일 수 있다.

IPMC는 가장 일반적으로 알려진 EAP로서 낮은 전기장이 인가되었을 때에는 큰 굽힘 변형을 내며 현재 주로 사용되는 것으로는 기본 폴리머 Nafion에 금속성 전극이 입혀진 perfluorinated IPMC이다. 미국 JPL과 뉴멕시코 대학에서는 화성 탐사선의 시료 채취용 그리퍼, 와이퍼 등을 IPMC를 이용하여 만들었으며 일본 ONRI에서는 능동 Catheter를 개발하였고 무소음 수영로봇, 산호초와 유사한 섬모, 조립형 로봇, 날개를 저어서 날아가는 기구 등에 응용하는 노력을 경주하고 있다. IPMC는 내

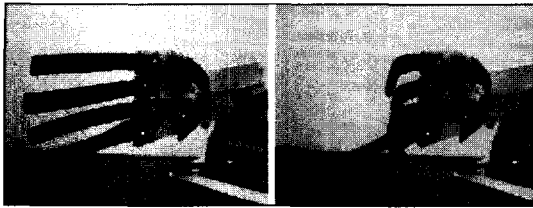


그림 5 IPMC를 이용한 손

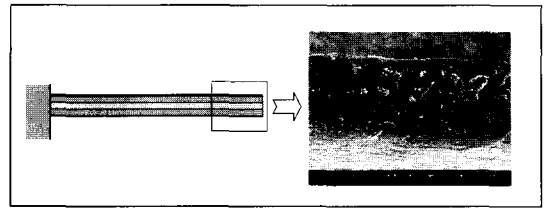


그림 7 생체모방 인공근육을 위한 종이 작동기(EAPap)



그림 6 도전성 폴리머를 이용한 MEMS형 초소형 로봇 암 : 100µm 유리구슬을 250µm 이동하고 있다.

구성이 좋고 수분 속에서 사용할 수 있으며 센서로서의 역할도 하므로 다양한 응용이 가능하다.

도전성 폴리머는 지능 재료 시스템에 요구되는 성질들을 갖고 있으므로 새로운 기능성 재료로서 각광 받고 있다. 도전성 폴리머에서는 polypyrrole (PPy), polyaniline(PANi) 그리고 Polythiophene (PTh) 등 세 종류가 주로 지능재료로 이용되고 있다. 도전성 폴리머를 이용한 3층 구조의 작동기는 호주 Wollongong 대학, 스페인, 미국의 MIT, JPL 등 여러 곳에서 성공적으로 만들었으며, 스웨덴 Linkopings 대학에서는 도전성 폴리머 작동기를 이용하여 개별적으로 제어할 수 있는 팔굽치, 팔목 및 2~4개의 손가락을 가진 로봇 암을 만들었다.

Single-walled carbon nanotube(CWNT)를 이용한 작동기는 자연 근육보다 높은 응력을 생성하며, 높은 탄성계수를 갖는 강유전체보다 높은 변형을 발생시킨다. 자연근육과 같이 거시적인 CWNT작동기는 수십억 개의 개별 나노튜브 작동기가 조합된 형태로서 작동기의 수명을 단축시키는 이온교환이 불필요한 작동기구를 가지므로 긴 수명을 유지할 수 있다. 낮은 전압에서도 동작하

는 나노튜브 작동기는 인공근육으로 개발되고 있다. 소금물에 탄소나노튜브의 bucky paper를 넣고 +1V 또는 -1V를 인가하였을 때 작동하는 것을 독일의 Max-Flank 연구소 및 미국의 Allied Signal에서 공동으로 확인하였다. 이때 약 1%의 변형률이 나왔으며 bucky paper의 종탄성계수가 수 GPa이므로 1Tera Pa를 넘는 개별적인 탄소나노튜브보다는 장점이 있다. 탄소나노튜브를 폴리머와 혼합하면 기계적 성질과 전기적 성질을 개선하여 기능성 복합재료(smart skin) 및 인공근육을 만들 수 있는데 이에 대한 연구가 주목을 받고 있다.

종이를 이용한 작동기를 인하대학에서 세계 최초로 연구하였다. 종이는 셀룰로스를 주성분으로 하는 섬유질과 흡진제 그리고 화학적 첨가제에 의해 만들어지는데 전기장에 의해 변위가 발생하는 ElectroActive Paper(EAPap)를 만들 수 있는 가능성이 있다. 지금까지 셀룰로스 종이를 이용한 EAPap은 0.35V/µm의 낮은 전압에도 작동을 하고, 소모전력이 ~mW/cm²로 낮고, 길이 대비 약 10%의 굽힘변형이 나오며, 30Hz까지 작동이 가능한 것을 확인하였다. 더욱이 EAPap은 수분을

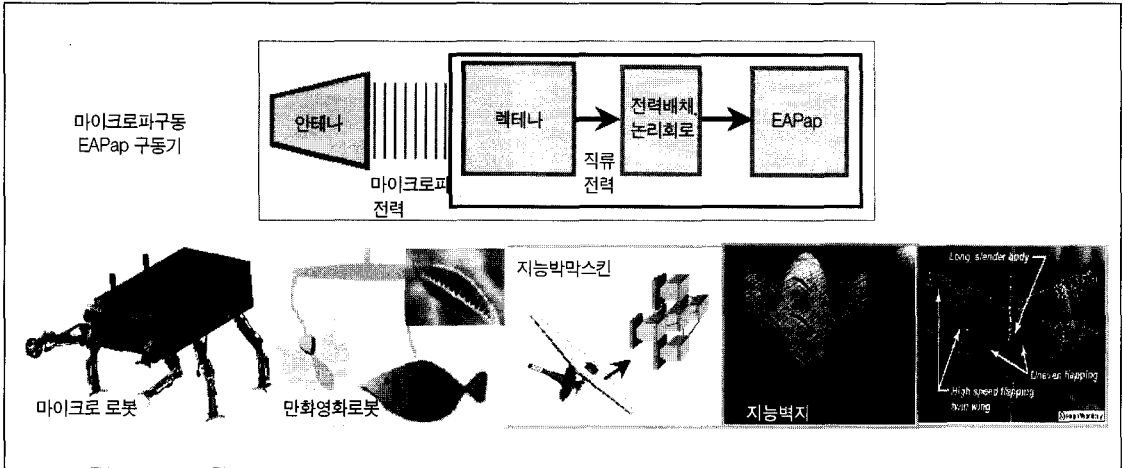
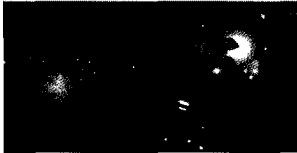


그림 8 마이크로파로 원격 구동되는 EAPap 작동기의 응용분야

특별히 공급하지 않고도 건조한 상태에서 몇 시간 동안 동작하는 특징이 있다. 이러한 특징은 초경량 소형 디바이스에 응용하기 위한 현재 EAP 재료의 한계를 극복할 수 있는 것으로 사료되며 매우 희망적이다.

특히 초소형 벌레로봇, 초소형 비행체, 오락산업의 기구들과 같이 초경량, 대변위가 요구되는 인공근육 응용분야에서는 원격구동을 함으로써 소모전원을 탑재하지 않고 활동범위를 넓힐 수 있는 초경량 EAP 작동기가 필수적인데, EAPap 작동기를 마이크로파 원격구동 장치를 통합화하면 이러한 원격구동 생체 모방 작동기의 구현이 가능하다.

ER/MR유체는 전기장 혹은 자기장에 반응하여 유동학적 성질(점성, 가소성, 탄성)의 가역변화를 나타낸다. 이러한 유체들은 마이크로미터 크기의 입자와 절연성의 오일로 구성되며 부하되는 전기장에 반응하여 유체의 가점성을 현

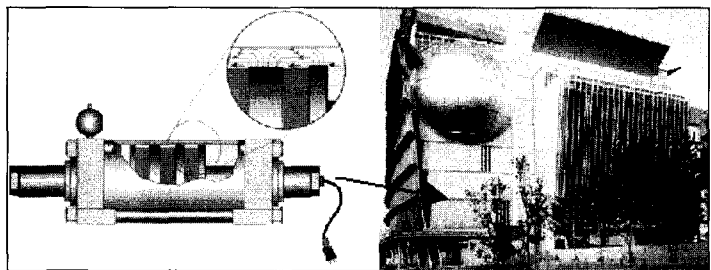


그림 9 동경의 Emerging Science and Eng. 박물관에 설치된 내진 MR 댐퍼



그림 10 Cadillac Seville에 장착된 반응동 MR 댐퍼

저히 증가시키게 한다. 또한, 이 유체는 운동부분이 없이 작동기로 작동되므로 각종 기계 시스템 설계의 단순화를 가져올 수 있으며, 상변화를 위해 요구되는 전력이 매우 낮고 유체의 반응속도가

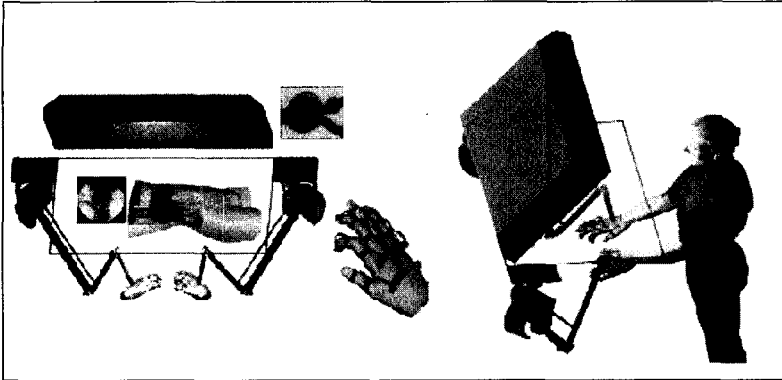


그림 II 강성을 제어하는 거울과 작동기로 구성된 햅틱 연결시스템(haptic interfacing system)

빠른 장점이 있다. 이런 우수한 특성 때문에 지능 구조물을 비롯하여 각종 속업소바, 엔진마운트, 시트댐퍼, 서보유압밸브, 클러치, 브레이크, 정밀 테이블, 그리고 로봇 팔 등에 적용이 연구되고 있다. GM의 캐딜락 승용차에는 MR 댐퍼가 장착되기 시작하였으며 일본에서는 능동 내진시스템으로 건물에 응용되고 있다.

맺음말

EAP는 비교적 신생의 연구 분야로서 생체근육

과 큰 변위를 낼 수 있는 재료 고유의 특성으로 인하여 매우 관심이 고조되는 분야이다. 그러나 지금까지의 재료들을 보면 아직 힘이 작고 응답이 늦으며 전반적으로 효과적이지 못하다. 최근에 여러 종류의 큰 변형을 나타내는 재료들이 개발되고 있다. 이러한 재료들의 개발단계에서 효과적인 작동기 개발로 발돋움하기 위

해서는 학제간 연구 인프라를 구축할 필요가 있다. 과학자, 공학자, 기술자, 의사 및 많은 여러 학문분야의 전문가들이 EAP의 현상학적 연구뿐만 아니라 EAP 및 감지기/작동기의 모델링, 기구설계, MEMS와의 통합화, 제어, 파워소모, 통신, 재료의 개선 및 제작, 전극도포를 위하여 힘을 모을 필요가 있다. 이 분야는 아직 태동 단계로서 학제적인 공동연구를 위하여 국가에서 중점 지원할 필요하다. 그래서 EAP가 산업의 여러 분야에 응용된다면 국가 산업의 경쟁력 향상과 인류사회에 큰 공헌을 하게 될 것이다.

틸팅열차(Tilting Train)

열차가 곡선부에 진입하면 캔트(cant) 부족량에 의해 열차의 탈선, 궤도 부담력 증가, 원심력에 의한 승객 승차감 저하를 방지하기 위해 열차의 속도를 감속시키게 되고 이는 열차의 여행시간 감소를 가져오는 원인이다. 따라서, 열차가 곡선부를 진입할 때 캔트 부족량을 보상하고 승객의 원심력을 감소시키기 위해 차체를 일정각도 기울임으로써 승객의 승차감 향상 및 곡선부 통과 속도 증가 등을 얻을 수 있는 철도차량을 의미한다. 일반적으로 틸팅열차는 기존열차에 비해 여행시간이 20-50% 절약된다.