

셀룰로스 종이를 포함하고 있는 생체모방 종이 작동기에 있어서, 셀룰로스의 마이크로 피브릴(micro fibril)이 일정한 방향으로 배열되게 한 종이(1), 이 종이의 양면에 설치되는 전극(2), 외부로부터 전기장을 수신하여 직류로 변환시키는 박막의 렉테나(rectenna)(4), 및 직류전원의 신호를 수신하여 동력 변환/제어하는 PAD 논리회로(5)로 이루어진 생체모방 종이 작동기.

청구항 2.

제 1항에 있어서, 초박막형 배터리 층(6)을 결합시켜서 마이크로파가 전달되지 않을 때 배터리 전원이 사용될 수 있도록 한 생체모방 종이 작동기.

청구항 3.

생체모방 종이의 작동방법에 있어서, 셀룰로스 종이 양면에 얇은 도전성 전극을 설치하고, 종이 한 끝을 고정시켜서 전기장이 가하여지면 굽힘변형이 발생되도록 하며, 종이를 두 평면 사이에 위치시켜서 전기장을 가하여 길이방향 변형이 발생되도록 하는 생체모방 종이의 작동방법.

청구항 4.

제 3 항에 있어서, 마이크로파를 송신함으로써 원격적으로 구동하는 생체모방 종이의 작동방법.

청구항 5.

셀룰로스의 마이크로 피브릴이 일정한 방향으로 나열된 종이를 제조하는 방법에 있어서, 셀룰로스 펄프를 녹여 셀룰로스 용액을 만든 후, 셀룰로스 용액을 스핀코팅하여 원심력에 의해 셀룰로스의 마이크로 피브릴(micro fibril)들이 일정한 방향으로 배열되게 하거나, 셀룰로스 용액을 미세한 슬릿을 통해 압출하면서 약간의 인장력을 가함으로써 마이크로 피브릴들이 일정한 방향으로 배열되도록 종이를 제조하는 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 초경량이면서 대변형, 저전압, 저전력소모, 및 적절한 응답속도를 갖는 생체모방 종이 작동기(Biomimetic electro-active paper actuators), 및 생체모방 종이의 작동방법에 관한 것이다.

전기-작동 폴리머(electro-active polymer(EAP)) 분야는 과거 10여 년 동안 큰 변형을 낼 수 있는 지능재료들이 출현함에 따라, 인공근육을 만들 수 있는 가능성이 제기되어 많은 관심이 모아지고 있다. EAP는 외부의 자극에 따라 큰 변위를 생성할 뿐만 아니라 근육과 같은 탄력성이 있는 것으로, 다른 재료기술들이 낼 수 없는 특성과 성능을 가지고 있다. EAP는 차세대 마이크로 로봇, 오락산업 또는 초소형 비행체의 구동과 같은 인공근육 작동기의 응용분야를 창출하고 있다. EAP 작동기의 응용성은 폭넓으며 많은 산업응용분야에 이용가능성을 제시하고 있다. 하지만, 지금까지 개발된 EAP는 제한된 성능을 가지므로 새로운 EAP재료의 개발이 현재로서는 매우 중요하다. EAP연구에 있어서 극복해야 할 점들은 작동력의 증가, 빠른 응답, 낮은 작동신호, 그리고 내구성 등이다. 특히, 초경량의 EAP작동기에 있어서 전력의 공급은 응용 디바이스와 연계하여 매우 중요한 문제이다.

일반적으로 EAP는 작동원리에 따라 다음과 같이 전기 EAP(electronic EAP)와 이온 EAP(ionic EAP)로 나눈다:

(1) 전기 EAP : 펜실베이니아 주립대학의 장 박사(Dr. Zhang)는 전자 방사된 P(VDF-TrFE) 공중합체에서 괄목할 만한 전왜현상을 얻어냈다. 낮은 주파수에서 $150 \text{ V}/\mu\text{m}$ 의 전압을 가했을 때 약 4%의 전왜 변형률을 얻을 수 있었고 1 GPa 이상의 탄성계수를 가지고 있다. 그러나, 전자를 방사하여 제조하므로 제작단가가 비싼 단점이 있다. 이는 의료 탐사장비, 수중음향, 스테레오 스피커 등에 쓰일 음향 변환기(transducer)를 개발하는데 이용되고 있다. 에스알아이 인터내셔널(SRI International)에서는 지난 10년간 유연 전극이 입혀진 탄성중합체의 전기장 인가에 따른 응답에 기인한 EAP작동기 기술을 개발해오고 있다. 아크릴 필름을 이용하여 이중 보우-타이(double bow-tie)나 롤(roll) 형태의 선형 작동기를 제작하여 6축 보행로봇, 초소형 비행체의 상하회전식 날개(flapping wing)과 같은 생체모사 로봇의 인공근육에 응용하고 있다. 그러나 $200 \text{ V}/\mu\text{m}$ 정도의 높은 전압을 인가해야하고, 길이방향으로 예비변형(prestrain)을 주어야 하는 단점이 있다. 나사 랭글리(NASA Langley) 연구소에서는 $140 \text{ V}/\mu\text{m}$ 를 가했을 때 약 4%정도의 변형을 내면서도 560 MPa의 높은 기계적 탄성계수를 갖는 그래프트된 탄성중합체의 전왜폴리머를 개발하였다. 그래프트된 탄성중합체는 유연성을 갖는 백본(backbone)에 결정을 구성하는 그래프트된 폴리머로 구성되어 있다. 이러한 전기 EAP들의 문제점은 높은 작동전압이 필요하다는 것인데, 이로 인해 전압 파괴(voltage breakdown) 차폐, 패키징(packaging), 소형화, 디바이스 구성 및 구현에 어려움이 있다.

(2) 이온 EAP : 이온 폴리머 젤 (Ionic Polymer Gel)은 생체근육과 유사한 힘과 에너지 밀도를 내는 작동기를 합성해 낼 수 있는 가능성이 있다. 아리조나 대학의 캘버트(Calvert)는 가교 결합된 폴리아크릴아미드와 폴리아크릴 산 하이드로젤(hydrogel)을 겹층으로 전극사이에 쌓아서 근육과 유사한 동작을 할 수 있는 작동기를 만들었다. 하이드로젤을 두 전극사이의 물 속에 넣으면 전기장에 따라 휘게 된다. 그러나 이러한 다중층 이온젤 구조물은 젤 속으로 이온이 확산하는데 시간이 필요하므로 응답이 늦다. 이온성 폴리머-금속 복합체(ionomeric polymer-metal composites(IPMC))는 전기장을 가했을 때 폴리머 망에 양이온의 이동에 의해 굽힘변형을 발생시키는 잘 알려진 이온 EAP이다. 일본 오사카 내셔널 리서치 오이인스티튜트(Osaka National Research Institute (ONRI)의 오구로(Oguro), 미국 뉴 멕시코(New Mexico)대학의 샤힌푸어(Shahinpoor)등 많은 연구자들이 IPMC의 작동원리 및 성능에 대하여 연구를 해왔다. 이를 이용하여 더스트 와이퍼(dust wiper), 그리고, 무소음 수영로봇, 능동 카테터, 산호초와 유사한 섬모 조립형 로봇, 인공 촉감 시스템 등을 시연하였다. 도전성 폴리머(conducting polymer, CP)는 산화환원(redox) 사이클 중에 일어나는 가역적인 반대-이온(counter-ion) 충전과 방전에 의해 작동한다. CP를 이용한 작동기는 미국, 일본, 호주, 이탈리아, 스페인 등 여러 나라에서 연구하고 있는데, CP 필름과 체적변형이 없는 필름의 적층에 따라 이중층(bilayer) 구조, 삼중층(trilayer) 구조가 지금까지 개발되었다. 스웨덴 링크핑스(Linköpings) 대학에서는 도전성 폴리머 작동기를 이용하여 개별적으로 제어할 수 있는 팔꿈치, 팔목 및 2-4개의 손가락을 가진 로봇 암을 만들어 0.1 mm의 유리구슬을 0.25 mm정도 옮기는데 성공하였다. 단일벽 탄소 나노튜브(single-walled carbon nanotube (SWNT))를 이용한 작동기는 자연 근육보다 높은 응력을 생성하며, 높은 탄성계수를 갖는 강유전체보다 높은 변형을 발생시킨다. 자연근육과 같이 거시적인 SWNT 작동기는 수 십억개의 개별 나노튜브가 조합된 형태로서, 작동기의 수명을 단축시키는 이온교환이 불필요하므로 긴 수명을 유지할 수 있으며 낮은 전압에서도 동작한다. 이러한 이온 EAP는 낮은 작동전압의 장점이 있는 반면에 작동속도가 늦고 전해질이나 수분이 있어야 한다는 단점이 있다.

상기한 바와 같이, 지금까지 연구된 전기 EAP는 빠른 응답과 비교적 큰 변위가 나오지만 높은 작동전압이 요구되고, 이온 EAP는 낮은 작동전압에 큰 변위가 나오며 근육과 같은 탄력이 있지만 응답속도가 늦고 수분이 항상 유지되어야 하는 단점이 있다.

한편, 초소형 벌레로봇, 초소형 비행체, 엔터테인먼트 기구들과 같이 초경량, 대변위가 요구되는 응용분야에서는 이러한 요구가 절실하다. 초경량이면서 대변위가 요구되는 응용을 위해서는 EAP가 초경량이면서 큰 변위를 내는 것뿐만 아니라, 빠른 응답속도, 낮은 소모전력, 그리고 내구성이 요구된다. 특히, 초경량의 EAP응용 디바이스는 소모전원을 탑재하기 어려운 난점이 있으므로, 소모전력을 최소화 할 뿐 아니라 무게를 더욱 줄이기 위하여 원격전원을 사용하는 것이 바람직하다. 이렇게 원격전원을 사용한다면 EAP 응용디바이스를 더욱 경량화하고 소모 전력을 줄이고 디바이스의 민첩성을 향상하며 활동범위를 넓혀서 EAP의 응용분야를 더욱 확장할 수 있게 된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출한 것으로서, 본 발명의 목적은 대기 중에서 대변형, 저에너지, 빠른 응답성, 내구성을 가지며 원격구동이 가능한 초경량의 생체모방 종이작동기를 제공하는데 있다.

또한, 본 발명에서는 초경량의 생체모방 종이작동기를 구현하기 위하여 마이크로파를 이용한 원격구동기술을 접목한 생체모방 종이작동기의 작동방법을 제공하고자 한다.

발명의 구성

본 발명의 상술한 목적과 여러 가지 장점은 이 기술분야에 숙련된 사람들에 의해 첨부된 도면을 참조하여 후술되는 발명의 바람직한 실시예로부터 더욱 명확하게 될 것이다.

이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명한다.

본 발명에 따라 이용되는 생체모방 종이 작동기는 셀룰로스를 주성분으로 하는 종이로 만들어 지는 바, 셀룰로스의 마이크로 피브릴(micro fibril)이 일정한 방향으로 배열되도록 종이를 만들고 이 종이에 전극을 설치하여 전기장을 가했을 때 변형이 발생하는 작동기이다.

이러한 지능재료에서 중요한 것은 셀룰로스의 마이크로 피브릴이 일정한 방향으로 나열된 종이를 만드는 것이다. 이를 구현하기 위해서는 강알칼리를 이용한 비스코스(viscos)방법 등으로 셀룰로스 펄프를 녹여 셀룰로스 용액을 만든 후, 셀룰로스 용액을 스펀코팅하여 원심력에 의해 셀룰로스의 마이크로 피브릴(micro fibril)들이 일정하게 배열되게 하거나 셀룰로스 용액을 작은 슬릿을 통해 압출하면서 약간의 인장력을 가해 마이크로 피브릴들이 일정하게 배열되도록 한다.

제조된 셀룰로스 종이에 전극을 설치하는 방법에 따라 다양한 변형을 얻어내게 되는데 이에 대한 예시를 도1 및 2에 나타내었다. 도 1은 제조된 셀룰로스 종이 양면에 얇은 도전성 전극을 설치하고 종이 한 끝을 고정시킨 상태에서 전기장을 가했을 때 굽힘 변형이 발생하는 현상을 설명한 것이고, 도 2는 전극이 설치된 종이를 두 평면 사이에 위치시키고 전기장을 가했을 때 길이 방향 변형이 발생하는 예를 나타낸 것이다. 이 때 프와송비에 의해 길이가 변하면 두께방향의 변형이 발생하게 된다.

구체적인 작동 원리는 셀룰로스 파이버의 결정영역과 비결정영역이 인가된 전기장에 의해 반응하는 압전효과와 이온전이 효과에 의해 변형이 발생하게 된다. 마이크로 파이버가 일정 방향으로 배열되면 결정영역의 결정구조에 의해 압전효과가 발생한다. 나무 및 셀룰로스에 압전효과가 있는 것은 이미 알려진 사실이다. 한편, 종이는 이온 도전체(ionic conductor)로 일반적으로 알려져 있다. 종이 제조 과정에서 펄프에 여러 가지 금속이온이 녹아 들어갈 수 있으며 수분이 흡착수(adsorbed water)나 자유수(free water) 상태로 종이 내부에 존재하게 된다. 이러한 이온들이나 수분은 전기장이 인가됨에 따라 양전극 또는 음전극으로 몰리게 되는데 이에 따라 변형이 발생하게 된다. 종이 작동기의 작동원리를 정리하면, 셀룰로스의 결정영역에 의한 압전효과와 비결정영역의 이온전이효과에 의해 변형이 발생한다.

마이크로파 원격구동의 원리는 도 3, 4, 및 5에 나타내었다. 마이크로파가 입사되면 렉테나(Rectenna)는 이를 직류전원으로 바꾸어 준다. 렉테나는 패치형과 쌍극자(dipole)형이 있고, 이들을 모두 사용할 수 있다. 렉테나의 크기는 마이크로파의 주파수에 따라 달라지기 때문에, 높은 주파수를 사용하면 렉테나의 크기가 매우 작아지므로 일정한 방향으로 배열화할 수 있고, 또한 렉테나는 박막이므로 EAPap 작동기에 통합할 수 있다. 쌍극자 렉테나에서는 마이크로파를 직류전원으로 바꾸고 이 신호를 전력 할당 및 분배(power allocation & distribution(PAD)) 논리회로의 동력변환/제어회로를 통하여 EAPap 작동기에 인가시킨다. PAD는 듀얼 게이트(dual gate) MOSFET를 이용하여 수평, 수직 두 방향의 신호가 모두 주어졌을 때 전원이 공급되도록 함으로써 그 원리를 구현한다. 이때 전극은 EAPap 양면에 구역을 나누어 설치되어 있어서 인가되는 전압을 지역적으로 조절함으로써 종이작동기의 변형을 원하는 형태로 만들어 내게 된다. 이러한 방법은 기존의 작동기 기술이 갖는 제한을 뛰어넘는 초경량 작동기 기술로서 원격구동 EAPap 작동기를 초경량화 할 수 있고 따라서 다양한 분야에 응용할 수 있다. 이러한 원격구동이 가능한 것은 EAPap의 소모전력이 인체에 해를 주지 않는 정도로 낮기 때문이다. EAPap를 무선의 마이크로파를 이용하여 전력을 공급하면 작동에 필요한 전력 배터리를 탑재하지 않아도 되므로 초경량의 원격구동 EAPap 작동기를 구현할 수 있다.

발명의 효과

이상 설명한 바와 같이 본 발명에 따르면 생체모방 종이작동기에 있어서 대기 중에서 대변형, 저에너지, 빠른 응답성, 내구성, 및 초경량의 효과가 있다.

그리고 본 발명에서는 생체모방 종이작동기에 있어서 마이크로파를 이용하여 원격구동의 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

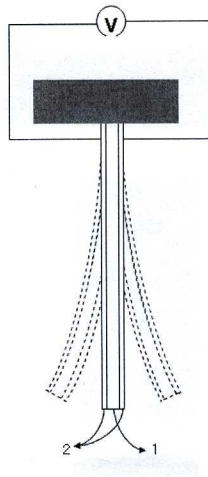
도 1은 셀룰로스 종이의 양면에 전극을 설치한 것으로 전기장에 의해서 굽힘변형이 일어나는 것을 예시한 개략도,
도 2는 평판에 셀룰로스 종이를 설치한 것으로 길이방향 변형을 나타낸 개략도,
도 3은 본 발명에 따른 생체모방 종이 작동기의 블록도,
도 4는 본 발명에 따른 제 1 실시예를 개략적으로 나타낸 사시도, 및
도 5는 본 발명에 따른 제 2 실시예를 개략적으로 나타낸 사시도이다.

<도면부호의 설명>

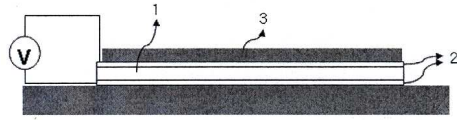
- 1: 셀룰로스 종이
- 2: 전극
- 3: 평판
- 4: 렉테나(rectenna)
- 5: PAD
- 6: 박막 배터리

도면

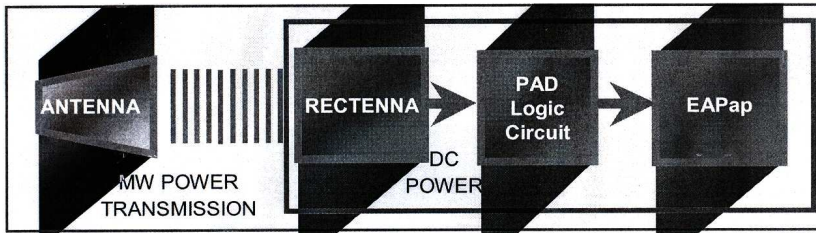
도면1



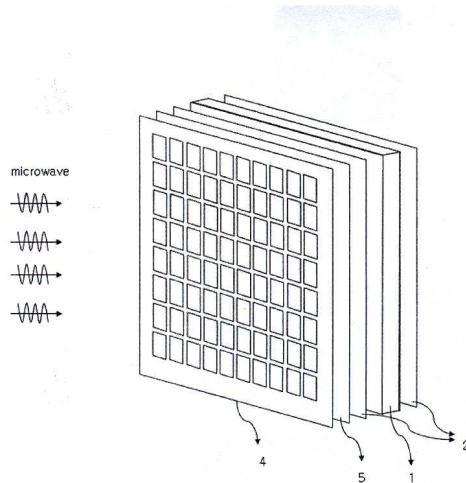
도면2



도면3



도면4



도면5

