



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0058668
(43) 공개일자 2025년04월30일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 5/00 (2006.01) B25J 9/12 (2006.01)
B25J 9/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B25J 5/00 (2013.01)
B25J 9/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0137727
(22) 출원일자 2024년10월10일
심사청구일자 2024년10월10일
(30) 우선권주장
1020230142127 2023년10월23일 대한민국(KR)

- (71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
차영수
서울특별시 성북구 화랑로 210-26, 104동 603호
김소현
서울특별시 성북구 안암로9길 64, 101호
(74) 대리인
김동용

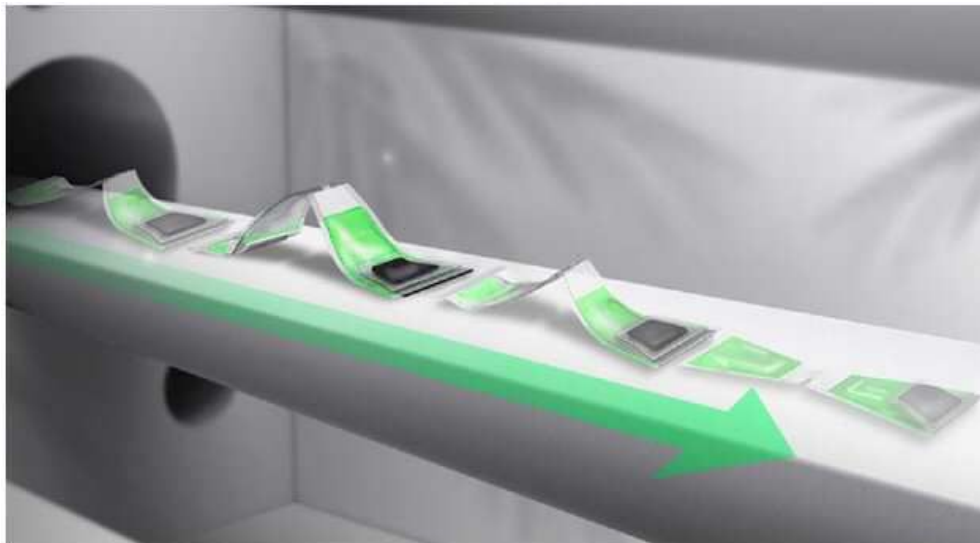
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 전기유압 액추에이터 기반 모바일 로봇

(57) 요약

전기유압 액추에이터 기반 모바일 로봇이 개시된다. 본 발명에서 제안하는 크롤링 로봇은 헤드 모듈 부착부와 테일 모듈 부착부를 포함하는 바디 프레임, 상기 헤드 모듈 부착부 상에 부착되는 헤드 모듈, 상기 테일 모듈 부착부 상에 부착되는 테일 모듈, 상기 헤드 모듈 부착부의 하면에 부착되는 헤드 패드, 및 상기 테일 모듈의 하면에 부착되는 테일 패드를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B25J 9/142 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711157479
과제번호	2021M3E5D2A01023887
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래융합기술개발
연구과제명	전략적 탐색 신경회로 작동방식에 기반한 가치 지도화 알고리즘 개발 및 검증 연구
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

헤드 모듈 부착부와 테일 모듈 부착부를 포함하는 바디 프레임;
상기 헤드 모듈 부착부 상에 부착되는 헤드 모듈;
상기 테일 모듈 부착부 상에 부착되는 테일 모듈;
상기 헤드 모듈 부착부의 하면에 부착되는 헤드 패드; 및
상기 테일 모듈의 하면에 부착되는 테일 패드를 포함하는 크롤링 로봇(crawling robot).

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 헤드 모듈 부착부는 하변이 상기 크롤링 로봇의 전방에 위치하는 사다리꼴 형상을 갖고,
상기 테일 모듈 부착부는 하변이 상기 크롤링 로봇의 후방에 위치하는 사다리꼴 형상을 갖고,
상기 헤드 모듈 부착부와 상기 테일 모듈 부착부는 연결 수단에 의해 연결되는,
크롤링 로봇.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 헤드 모듈은 동일 형상을 갖는 두 개의 제1 필름의 모서리가 접합되어 형성되는 파우치 내부에 유전체 유체를 포함하고,
상기 테일 모듈은 동일 형상을 갖는 두 개의 제2 필름의 모서리가 접합되어 형성되는 파우치 내부에 유전체 유체를 포함하는,
크롤링 로봇.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 헤드 모듈의 양면에는 전도성 물질로 형성된 전극을 포함하는,
크롤링 로봇.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 헤드 모듈 부착부와 상기 테일 모듈 부착부는 유연한 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET) 필름으로 구현되고,
크롤링 로봇.

청구항 6

제4항에 있어서,
상기 전극에 전압이 인가되면, 상기 헤드 모듈에 포함된 유전체 유체의 이동에 따라, 상기 헤드 패드가 지면에 접한 상태에서 상기 헤드 모듈 부착부가 상방향으로 이동하는,

크롤링 로봇.

청구항 7

제6항에 있어서,

인가된 전압이 제거되며, 상기 테일 패드가 지면에 접한 상태에서 상기 크롤링 로봇이 완료되어, 상기 크롤링 로봇이 전방으로 이동하는,

크롤링 로봇.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 테일 패드의 마찰 계수는 상기 헤드 패드의 마찰 계수보다 큰,

크롤링 로봇.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 모바일 로봇에 관한 것으로, 특히 전기유압 액추에이터의 유연한 구조와 부드러운 움직임 특성을 이용하여 애벌레와 같은 생물의 크롤링 움직임을 모사하는 모바일 로봇에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 로봇 공학 분야의 목표 중 하나는 인간이 접근하기 어려운 지형의 탐사 및 정찰에 특화된 모바일 로봇을 개발하는 것이다. 대표적으로 애벌레와 같은 생물의 자연 모델 및 동작 원리를 적용하여 나뭇가지에 오르거나 복잡한 땅을 탐색할 수 있는 다양한 유형의 크롤링 로봇이 연구되고 있다.

[0003] 크롤링 로봇은 예상치 못한 환경에서 쉽게 적응하기 위해 상호 작용에 유용하고, 유연한 움직임을 가져야 한다. 또한, 크롤링 로봇은 장애물 사이를 쉽게 지나가기 위하여 두꺼운 두께 및 큰 크기를 갖는 구조적 문제를 해결해야 한다.

[0004] 목적을 달성하는 방법 중 한 가지는 부드러운 재료와 구조를 기반으로 하는 소프트 로봇을 이용하는 것이다. 소프트 로봇은 생물학적 구조에 영감을 받아 유연하고 얇으며, 연속적인 동작을 구현할 수 있다.

[0005] 소프트 로봇의 개발을 촉진하기 위해 필수 구성요소인 소프트 액추에이터의 연구가 필수적으로 발전되어야 한다. 알려진 소프트 액추에이터의 종류는 형상 기억 합금 액추에이터(SMA), 소프트 공압 액추에이터(SPA), 및 유전체 탄성체 액추에이터(DEA)가 있다.

[0006] 형상 기억 합금 액추에이터(SMA)는 큰 작동력, 경량성, 및 유연성을 제공한다. 소프트 공압 액추에이터(SPA)는 큰 스트로크(stroke)를 달성하고 높은 작동력을 실현한다. 유전체 탄성체 액추에이터(DEA)는 높은 작동 변형과 고속 작동을 제공한다.

[0007] 하지만, 형상 기억 합금 액추에이터는 작동 시간이 길어 효율이 낮고 변형률이 낮으며 높은 전류가 필요하다. 소프트 공압 액추에이터는 외부 압력 기기가 연결되어야 하므로 휴대성이 제한된다. 또한 유전체 탄성체 액추에이터는 사전 신축성을 부여해야 하며 강한 전기장을 필요로 한다.

[0008] 최근에는 기존 소프트 액추에이터의 한계를 극복하기 위해 정전기력과 유압력을 동시에 사용하는 전기유압 액추에이터가 연구되어지고 있다. 전기유압 액추에이터는 정전기력에 의해 내부 유체가 이동하는 방식으로 큰 변형과 빠른 작동의 장점을 갖는다. 더불어 외부 기기가 필요하지 않고, 전력을 사용하기 때문에 제어가 간편하다. 또한 사전 신축성을 부여하지 않아도 되어 다양한 디자인으로 제작하기 용이하다.

[0009] 본 발명에서는 전기유압 액추에이터를 이용하여 크롤링이 가능한 모바일 로봇을 제공한다. 전기유압 액추에이터의 모듈 디자인은 로봇이 대칭적으로 굽어지는 동작을 구현한다. 액추에이터의 부드러운 움직임 특성에 따라 물결 모양의 연동 운동이 가능하며 이는 애벌레의 움직임을 모사한 모바일 로봇을 제공한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2018-0090196호 (2018.08.10. 공개)
(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제2023-0029316호 (2023.03.03. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 다양한 환경에서의 크롤링 동작을 구현하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 얇고 유연한 구조의 모듈화된 전기유압 액추에이터를 기반으로 하여 물결 모양의 연동 운동을 구현하고, 좁은 공간 이동이 용이한 모바일 로봇을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 크롤링 로봇(crawling robot)은 헤드 모듈 부착부와 테일 모듈 부착부를 포함하는 바디 프레임, 상기 헤드 모듈 부착부 상에 부착되는 헤드 모듈, 상기 테일 모듈 부착부 상에 부착되는 테일 모듈, 상기 헤드 모듈 부착부의 하면에 부착되는 헤드 패드, 및 상기 테일 모듈의 하면에 부착되는 테일 패드를 포함한다.

발명의 효과

- [0013] 본 발명의 모바일 로봇은 얇고 가벼운 소형화된 디자인을 제공하며 외부의 압력 소스 없이 작동할 수 있다.
[0014] 전기유압 액추에이터의 부드러운 동작 특성을 이용하여 애벌레의 연동 크롤링 동작을 유사하게 구현할 수 있다.
[0015] 좁거나 기울기가 있는 지면에서 전방으로 나아가는 동작이 가능하며 해당 원리를 이용하면 매니퓰레이터나 모바일 로봇 분야 등에서 다양하게 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.
도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 크롤링 로봇의 컨셉 디자인을 도시한다.
도 2a는 본 발명이 일 실시예에 따른 크롤링 로봇의 디자인과 사진을 보여줍니다.
도 2b는 도 2a에 도시된 크롤링 로봇의 구조를 도시한다.
도 2c는 헤드 모듈과 테일 모듈의 제작 과정을 도시한다.
도 2d는 헤드 모듈 액추에이터의 동작 메커니즘을 도시한다.
도 3a는 크롤링 과정에서 크롤링 로봇의 단면도를 도시한다.
도 3b는 소프트 크롤링 로봇의 유리 판에서의 움직임에 대한 스냅샷을 도시한다.
도 3c는 0.02 Hz에서 크롤링 이동 결과를 도시한다.
도 3d는 0.02 Hz에서 크롤링 이동 결과를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.
[0018] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예

들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

- [0019] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.
- [0020] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0021] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0022] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0023] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 크롤링 로봇(crawling robot)의 컨셉 디자인을 도시한다.
- [0025] 모바일 로봇 등으로 명명될 수도 있는 (소프트) 크롤링 로봇은 전기유압 액추에이터(electrohydraulic actuator) 기반의 모듈들, 바디 프레임, 및 패드들로 구성된다. 모듈은 유연한 필름과 유전체 유체(dielectric fluid)로 구성된다. 또한, 모듈은 전극을 갖는 헤드 모듈(head module, 헤드부 등으로 명명될 수도 있음)과 전극을 갖지 않는 테일 모듈(tail module, 테일부로 명명될 수도 있음)을 포함한다. 두 모듈은 유연한 바디 프레임을 이용하여 (직렬로) 연결된다(또는 배열된다). 이러한 디자인은 애벌레의 꿈틀거리며 가는 움직임, 크롤링 동작과 유사한 변형을 생성할 수 있다. 전진하는 움직임(forward movement)은 두 모듈의 협력을 통해 이루어진다. 더욱이, 제안하는 로봇은 경사면과 좁은 틈을 통과할 수 있다.
- [0026] 애벌레와 같은 생물들은 형태와 모양에 대한 제약이 적어 높은 자유도로 변형할 수 있다. 그들은 몸을 물결 모양으로 수축시켜 기어갈 수 있다. 이러한 생물학적 움직임을 전통적인 로봇 시스템으로 모방하는 것은 어려우며, 일반적으로 복잡한 메커니즘과 다수의 액추에이터를 필요로 한다. 크롤링에 대한 새로운 접근 방식으로, 본 발명에서는, 애벌레의 부드러운 구조를 참고하여 소프트 로봇을 설계하였다. 이 소프트 크롤링 로봇은 애벌레의 신체 기하학과 움직임에서 영감을 받았다.
- [0027] 도 2a는 본 발명이 일 실시예에 따른 소프트 크롤링 로봇의 디자인과 프로토타입을 도시한다.
- [0028] 본 발명에서는, 실제 애벌레와 유사하게, 유체로 채워진 모듈들을 갖춘 크롤링 로봇(또는 모바일 로봇)을 제안한다. 제안하는 크롤링 로봇은 소정의 부피를 가진 두 개의 모듈(헤드 모듈과 테일 모듈), 유연한 바디 프레임, 및 두 개의 패드(헤드 패드와 테일 패드)로 구성되고, 이는 도 2b에 도시되어 있다.
- [0029] 두 모듈은 직렬로 배열되어 물결 모양으로 수축하는 움직임이 가능하다. 바디 프레임은 부드러운 바디 역할을 하며, 수축 과정과 확장 과정 사이에서 자연스러운 전환을 종축 방향(길이 방향)으로 수행한다. 또한, 두 패드

는 각 모듈의 하단에 부착되어 로봇의 발 역할을 수행한다.

- [0030] 다양한 환경에 적응할 수 있는 로봇을 만들기 위한 또 다른 접근 방식은 유사한 환경에서 생물이 사용하는 메커니즘을 활용하는 것이다. 대부분의 꿈틀거리며 기어가는 메커니즘의 기본 원리는 마찰이다. 제안된 크롤링 로봇의 헤드 패드와 테일 패드는, 애벌레의 발과 마찬가지로, 마찰의 원천으로 작용함으로써 움직임에서 중요한 역할을 수행한다. 로봇이 수축할 때에는, 헤드 패드만 지면에 접하고 테일 패드는 지면에 접하지 않게 설계되어 높은 마찰을 생성한다. 반면, 로봇이 안정된 상태(stable state)로 늘어날 때(이완할 때), 상대적으로 높은 마찰을 가진 테일 패드가 지면에 고정되고 헤드 패드는 표면에서 미끄러지도록 되어 있다.
- [0031] 소프트 크롤링 로봇의 제작
- [0032] 소프트 크롤링 로봇은 헤드 모듈과 테일 모듈을 포함하도록 디자인된다.
- [0033] 먼저, 액추에이터 역할을 하는 헤드 모듈은 유체를 포함하는 셸(shell, 껍질), 배선 물질(wiring materials), 및 유연한 전극들 중 적어도 하나를 포함한다(도 2c 참조). 헤드 모듈은 유연한 양축 지향성 폴리프로필렌(biaxially oriented polypropylene, BOPP) 필름으로 구성되며 유전체 유체(예컨대, FR3)로 채워져 있다. 탄소 도전성 테이프(carbon conductive tape)와 같은 전도성 물질(또는 전도성 테이프)이, 유연한 전극으로써, 셸 표면의 양쪽에 부착될 수 있다. 이때, 전도성 물질은 헤드 모듈의 양면에서 전방에 치우치도록 부착되어 전극을 형성할 수 있다.
- [0034] 실시예에 따르면, 헤드 모듈은 다각형의 형상을 갖는다. 다각형은 사다리꼴일 수 있으나, 본 발명의 권리범위가 이에 제한되는 것은 아니다. 헤드 모듈이 사다리꼴의 형상을 갖는 경우, 평행하는 두 변 중 길이가 긴 변(하변)이 크롤링 로봇이 전방(진행 방향을 의미할 수 있음)을 향하도록, 바디 프레임에 부착될 수 있다. 예시적인 헤드 모듈은 상단(상변), 하단(하변), 및 높이가 각각 2.5, 5, 및 5.5 cm인 사다리꼴 모양의 파우치 구성을 가지며, 파우치 내부에는 3 ml의 유체가 포함될 수 있다. 이때, 헤드 모듈의 크기는 BOPP 필름의 크기를 의미할 수 있다. 또한, 두 장의 BOPP 필름의 가장 자리를 접합함으로써 내부에 유전체 유체를 내장할 수 있다.
- [0035] 테일 모듈은 헤드 모듈과 유사한 방식으로 제작될 수 있다. 액티브한 헤드 모듈과 달리, 수동적인 테일 모듈은 전극을 필요로 하지 않는다.
- [0036] 실시예에 따르면, 테일 모듈은 다각형의 형상을 갖는다. 다각형은 사다리꼴일 수 있으나, 본 발명의 권리범위가 이에 제한되는 것은 아니다. 테일 모듈이 사다리꼴의 형상을 갖는 경우, 평행하는 두 변 중 길이가 긴 변(하변)이 크롤링 로봇의 후방(진행 방향의 반대 방향을 의미할 수 있음)을 향하도록, 바디 프레임에 부착될 수 있다. 즉, 헤드 모듈과 테일 모듈은 서로 대칭되도록 바디 프레임 상에 부착될 수 있다. 또한, 헤드 모듈과 테일 모듈의 크기는 동일하거나 상이할 수 있다. 예시적인 테일 모듈은 상단(상변), 하단(하변), 및 높이가 각각 2.5, 5, 및 5.5 cm인 사다리꼴 모양의 파우치 구성을 가지며, 파우치 내부에는 1 ml의 유체가 포함될 수 있다. 이때, 테일 모듈의 크기는 BOPP 필름의 크기를 의미할 수 있다. 또한, 두 장의 BOPP 필름의 가장 자리를 접합함으로써 내부에 유전체 유체를 내장할 수 있다.
- [0037] 그런 다음, 두 모듈은 직렬로 바디 프레임에 부착되어 애벌레의 물결 모양을 모방할 수 있다. 바디 프레임으로는 유연한 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET) 필름이 사용될 수 있다. 바디 프레임은, 전기유압 액추에이터의 굽힘 움직임을 물결 움직임으로 변환함으로써, 애벌레의 꿈틀거리는 크롤링 움직임과 유사한 변형을 생성한다.
- [0038] 실시예에 따르면, 바디 프레임은 헤드 모듈 및/또는 테일 모듈과 동일하거나 유사한 형상을 가질 수 있다. 일 예로 바디 프레임이 헤드 모듈이 부착되는 헤드 모듈 부착부와 테일 모듈이 부착되는 테일 모듈 부착부로 구성되어 있을 때, 헤드 모듈 부착부와 테일 모듈 부착부는 서로 대칭되도록 배치된 후 소정의 연결 수단에 의해 연결될 수 있다. 실시예에 따르면, 바디 프레임을 이루는 사다리꼴은 상단, 하단, 및 높이가 각각 2, 4.5, 및 5 cm일 수 있다.
- [0039] 헤드 모듈 부착부는 헤드 모듈과 대응되는 형상을 가질 수 있다. 헤드 모듈 부착부가 사다리꼴의 형상을 갖는 경우, 헤드 모듈 부착부는, 평행하는 두 변 중 길이가 더 긴 변(하변)이 크롤링 로봇의 전방을 향하도록, 배치될 수 있다. 그러나, 본 발명의 권리범위가 이에 제한되는 것은 아니며, 헤드 모듈 부착부와 헤드 모듈은 상이한 형상을 가질 수도 있다. 예컨대, 헤드 모듈은 사다리꼴의 형상을 갖으나 헤드 모듈 부착부는 직사각형의 형상을 가질 수 있고, 헤드 모듈은 직사각형의 형상을 갖으나 헤드 모듈 부착부는 사다리꼴의 형상을 가질 수 있다.

- [0040] 테일 모듈 부착부는 헤일 모듈과 대응되는 형상을 가질 수 있다. 테일 모듈 부착부가 사다리꼴의 형상을 갖는 경우, 헤드 모듈 부착부는, 평행하는 두 변 중 길이가 더 긴 변(하변)이 크롤링 로봇의 후방을 향하도록, 배치될 수 있다. 그러나, 본 발명의 권리범위가 이에 제한되는 것은 아니며, 테일 모듈 부착부와 테일 모듈은 상이한 형상을 가질 수도 있다. 예컨대, 테일 모듈은 사다리꼴의 형상을 갖으나 테일 모듈 부착부는 직사각형의 형상을 가질 수 있고, 테일 모듈은 직사각형의 형상을 갖으나 테일 모듈 부착부는 사다리꼴의 형상을 가질 수 있다.
- [0041] 마지막으로, 바닥에 접하는 패드들은 서로 다른 마찰 계수를 가진 두 가지 물질을 이용하여 제작된다. 헤드 패드는 폴리염화비닐(polyvinyl chloride, PVC) 시트를 레이저 절단하여 제작될 수 있고, 헤드 모듈의 끝(바디 프레임의 하면)에 부착된다. 예시적인 헤드 패드는 상단, 하단, 및 높이가 각각 2.5, 5, 및 5 cm인 사다리꼴 모양을 가질 수 있다. 제작된 헤드 패드는 헤드 모듈의 (전방의) 가장 자리에 맞춰 바디 프레임 하면에 부착될 수 있다.
- [0042] 실리콘 고무(silicone rubber)로 제작될 수 있는 유연한 테일 패드는 유연성과 (헤드 패드보다 더) 높은 마찰을 갖는다. 테일 패드는 테일 모듈 끝에 부착된다. 실시예에 따르면, 테일 패드는 테일 모듈 부착부의 하면에서 크롤링 로봇의 후방 면에 접하도록, 또는 테일 모듈의 하면에서 크롤링 로봇의 후방 면에 접하도록, 또는 테일 모듈 부착부의 하면의 일부와 테일 모듈의 하면의 일부에 부착될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 테일 패드는 금형틀에 실리콘(Ecoflex 0030)을 경화시켜 제작될 수 있다.
- [0043] 헤드 모듈 액추에이터의 동작 메커니즘
- [0044] 완성된 헤드 모듈 액추에이터는, 도 2d에 나타난 것처럼, 정전기 및 유압력(electrostatic and hydraulic forces)을 사용하여 동작한다. 헤드 모듈은 유연하지만 신축성이 없는(inextensible) 폴리머 셸(polymer shell)로 구성되며, 내부는 유전체 유체로 채워져 있다. 전압 입력이 "OFF"일 때, 액추에이터는 안정 상태(resting state)에 있다. 셸의 양쪽에 부착된 전극에 전압이 가해지면, 정전기력이 전극을 끌어당겨 액체를 압축한다. 그러면, 유체는 전압 입력에 의해 영향을 받지 않는 부분(section)으로 밀려 들어간다. 전압을 일정 값 이상으로 증가시키면, 기계적 복원력이 증가하는 것을 넘어 전극이 완전히 끌려가는 "풀-인 현상(pull-in phenomenon)"이 발생한다. 풀-인 스위칭 후, 액추에이터의 작동 변형이 더욱 증가한다. 이 과정이 진행됨에 따라, 유체가 이동하는 부분의 단면이 블록해진다. 셸의 비신축성(non-extensibility)과 유체의 압력으로 인해, 비전극 부분의 단면 두께가 증가하고 측면 길이는 감소한다. 동시에, 헤드 모듈과 헤드 모듈의 하단에 부착된 PET 필름의 강성(stiffness) 차이로 인해, 액추에이터 모듈은 위쪽으로 굽는 움직임을 보인다. 셸 단면에서의 변화는 헤드 모듈의 굽힘 변형을 유발하고, 이는 물결 모양의 전환과 함께 소프트 크롤링 로봇의 전체적인 직선 수축으로 이어진다.
- [0045] 크롤링 움직임의 동작 메커니즘
- [0046] 일반적으로, 애벌레의 꿈틀거리는 걸음걸이는 앵커 이동 메커니즘(anchor movement mechanism)에 기반한다. 이 움직임은 앞발을 고정하고, 몸의 중간 부분의 근육을 수축시켜 나머지 몸을 움직인다. 애벌레는, 뒷발을 고정한 상태에서, 앞발을 뻗어 앞으로 나아간다. 이러한 패턴이 반복되어 애벌레가 땅 위를 기어갈 수 있다.
- [0047] 도 3a에 도시된 바와 같이, 로봇의 크롤링 움직임은 세 단계로 이루어진다. (1) 전원이 헤드 모듈 액추에이터에 공급되지 않으면, 로봇은 초기 상태(initial state)에 있다. (2) 헤드 모듈 액추에이터는, 헤드 패드가 표면에 단단히 고정된 상태에서, 동작한다. 헤드 모듈 액추에이터가 동작할 때, 헤드 모듈 액추에이터는 자신의 무게에 의해 고정되고, 헤드 패드는 지면에 의해 지지된다. 헤드 모듈의 굽힘 변형은, 바디 프레임에 연결된 테일 모듈을 당긴다. 이러한 방식으로, 테일 패드는 지면에 닿지 않으며, 다음 단계에서 땅에 접촉하면서 높은 마찰 값을 생성한다. (3) 변형 가능한 바디를 가진 로봇은 물결 모양의 변형과 종축 방향의 움직임을 보인다. 로봇의 바디가 테일 모듈의 무게에 의해 물결 모양으로 굽혀질 때, 테일 패드가 표면에서 지지된다. 실리콘의 상대적으로 높은 마찰 계수로 인해, 뒤쪽의 마찰이 앞쪽의 마찰보다 크다. 헤드 모듈 액추에이터가 턴-오프되면, 정전기적 인력이 서서히 사라진다. 유체 흐름에 의해 발생한 복원력(restoring force)으로 인해, 헤드 패드는 표면에서 미끄러진다. 바디는 늘어나며 앞으로 나아가게 된다. 따라서, 소프트 크롤링 로봇은, 헤드 패드와 테일 패드를 순차적으로 앵커로 사용됨에 따라, 기어가는 움직임을 구현할 수 있다.
- [0048] 헤드 모듈 액추에이터의 주기적인 동작으로, 헤드 패드와 테일 패드는 번갈아 고정되고 움직이며, 전체 소프트 로봇이 이동하게 된다. 1 주기(cycle)는 크롤링 움직임의 세 단계를 모두 포함하는 것으로 정의된다. 보폭(stride length)은 1 주기 동안 이동한 총 거리(X)이다.

- [0049] 연속적인 크롤링 움직임
- [0050] 앵커 이동 메커니즘은 소프트 크롤링 로봇이 전진할 수 있도록 한다. 크롤링 로봇의 동작 능력을 조사하기 위해, 피크 간 전압(peak-to-peak voltage)이 10 kV일 때의 동작 주기에 따른 움직임이 분석되었다. 동작 주파수는 0.02 Hz였으며, 사각파(square wave)는 20% 듀티 사이클(duty cycle)을 가졌다.
- [0051] 도 3b는 유리 표면에서 소프트 크롤링 로봇의 동작 시퀀스에 따른 움직임을 도시한다. 동작 주기는, 0초부터 시작하여, 세 번 반복되었다. 0초에서, 로봇은 초기 상태였다. 1초에서, 헤드 모듈 액추에이터에 입력 전압이 공급되었을 때, 헤드 모듈의 셸 단면은 우선적으로 볼록해졌다. 이 변형은 로봇 바디의 굽힘 변형을 초래하였다. 헤드 패드가 고정되었을 때, 테일 모듈과 테일 패드가 앞으로 당겨졌다. 따라서, 로봇의 종축 방향 수축이 발생하였다. 상대적으로 높은 마찰력을 가진 테일 패드는 표면에 고정된 상태를 유지하였다. 10초 동안 전압을 공급한 후, 헤드 모듈의 전기적 입력이 서서히 사라졌다. 그러면, 헤드 모듈의 유체가 초기 상태로 돌아오면서, 헤드 패드는 미끄러졌다. 26초에서, 로봇이 앞으로 늘어난 상태로 나타났다. 50초에서, 로봇은 초기 안정 상태에 도달하였다. 따라서, 소프트 크롤링 로봇은 반복적인 순차적 움직임으로 크롤링 움직임을 실현하였다.
- [0052] 로봇이 특정 기간 동안 이동한 크롤링 거리는 도 3c에 도시되어 있다. 입력 신호는 10 kV의 입력 전압, 0.02 Hz의 동작 주파수, 그리고 20% 듀티 사이클을 가진 사각파였다. 헤드 모듈 끝에서 이동한 보폭은 세 주기에 걸쳐 측정되었다. 첫 번째 주기에서, 전압이 꺼진 후, 4.06초에 헤드 모듈이 움직이기 시작하였다. 로봇 바디는 11.04초 동안 앞으로 늘어나며 이동하였다. 소프트 크롤링 로봇은 두 번째 동작 주기부터 안정 상태에 도달한 것으로 간주된다. 전압이 꺼진 후 로봇이 서서히 앞으로 밀려났으며, 6.45초 후에 나타났다. 로봇 몸체가 완전히 펼쳐지는 데는 약 11.76초가 걸렸다. 사이클 1, 2, 3의 피크 간 변위는 각각 약 6.96 mm, 5.51 mm, 4.31 mm였다.
- [0053] 다음으로, 동일한 진폭 조건에서, 헤드 모듈 액추에이터의 입력 신호 주파수를 0.05 Hz로 변경하였다. 입력 신호는 20% 듀티 사이클을 가진 사각파였다. 시간 영역에서 로봇의 크롤링 거리는 도 3d에 도시되어 있다. 첫 번째 주기에서, 전압이 꺼진 후 5.30초가 지나자 크롤링 로봇이 움직이기 시작하였다. 거의 즉시 10.70초 동안 늘어났다. 안정 상태에서, 전압이 꺼진 후 6.97초에 움직이기 시작하고, 약 9.04초 후에 초기 위치로 돌아왔다. 이 값은 두 번째 및 세 번째 주기의 평균이다. 사이클 1, 2, 3의 피크 간 변위는 각각 약 3.67 mm, 2.38 mm, 2.22 mm였다.
- [0054] 결과는, 헤드 모듈에 공급된 전압이 꺼지고 전하가 완전히 방전되는 데 일정 시간이 소요됨을 보여주었다. 또한, 로봇이 미끄러지며 완전히 펼쳐지는 데 약 9~11초의 회복 시간이 필요하였다. 이는 아마도 더 높은 작동 주파수가 액체 이동을 위한 충분한 방출 시간을 갖지 못함을 나타내는 것으로 보인다. 따라서, 낮은 작동 주파수가 로봇의 작동에 더 유리하다는 결론을 내릴 수 있다.
- [0055] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성 요소, 소프트웨어 구성 요소, 및/또는 하드웨어 구성 요소 및 소프트웨어 구성 요소의 집합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성 요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(Arithmetic Logic Unit), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor), 마이크로컴퓨터, FPA(Field Programmable array), PLU(Programmable Logic Unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(Operation System, OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(Processing Element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(Parallel Processor)와 같은, 다른 처리 구성(Processing Configuration)도 가능하다.
- [0056] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(Computer Program), 코드(Code), 명령(Instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(Collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성 요소(Component), 물리적 장치, 가상 장치(Virtual Equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(Signal Wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(Embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매

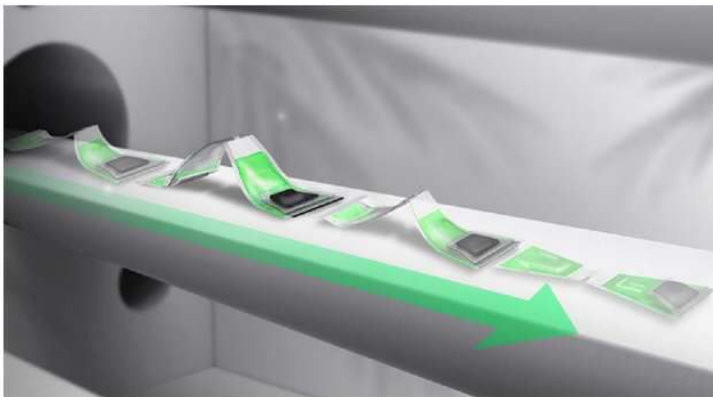
체에 저장될 수 있다.

[0057] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(Magnetic Media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(Optical Media), 플롭티컬 디스크(Floptical Disk)와 같은 자기-광 매체(Magneto-optical Media), 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0058] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성 요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성 요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

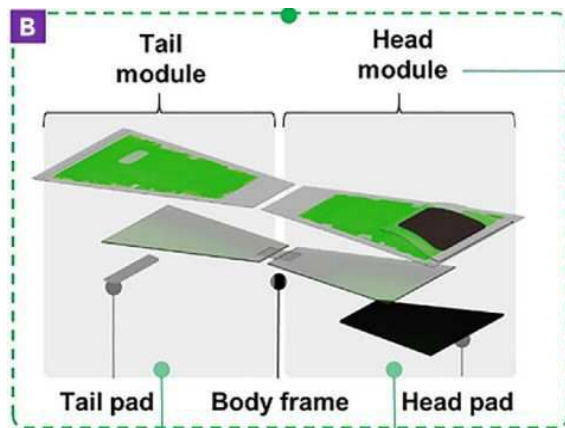
도면1



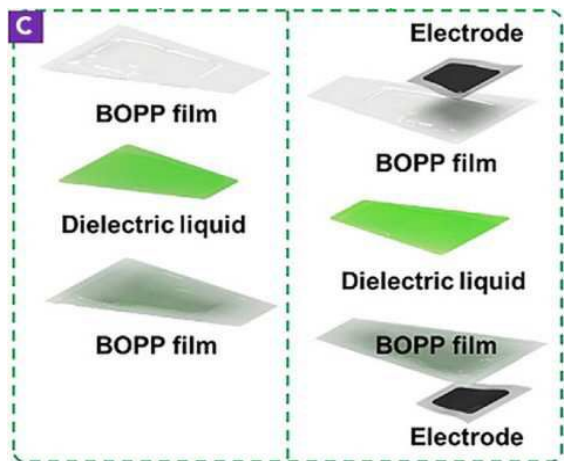
도면2a



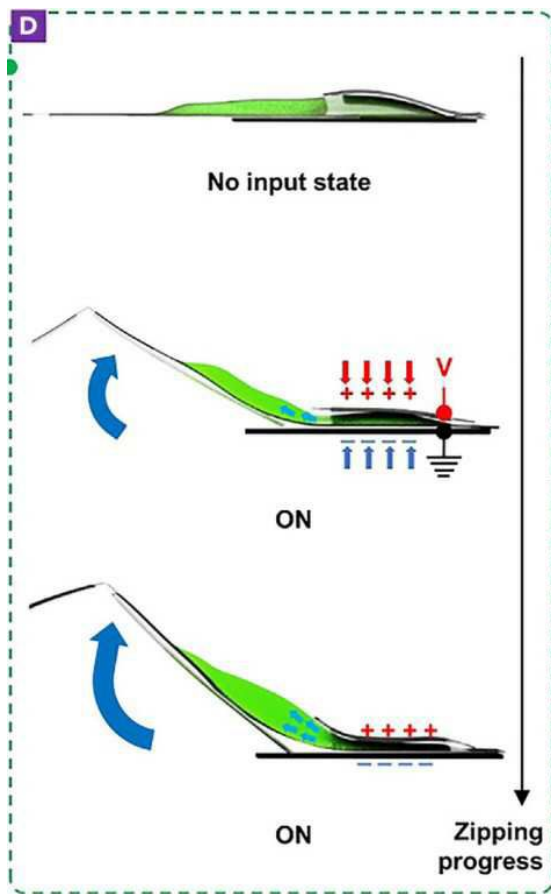
도면2b



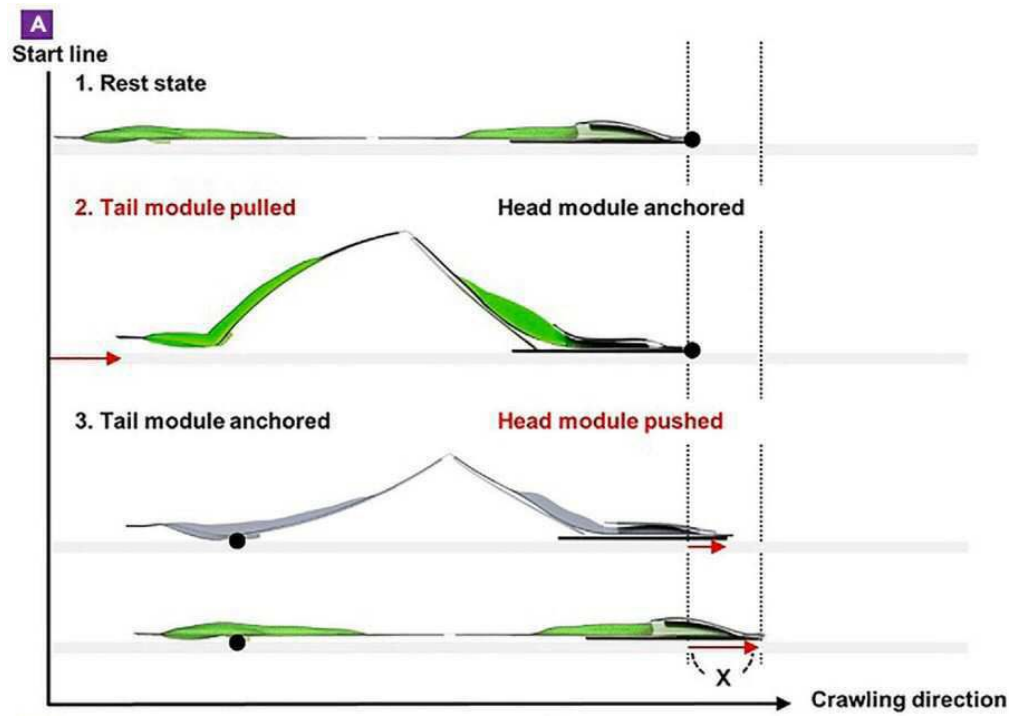
도면2c



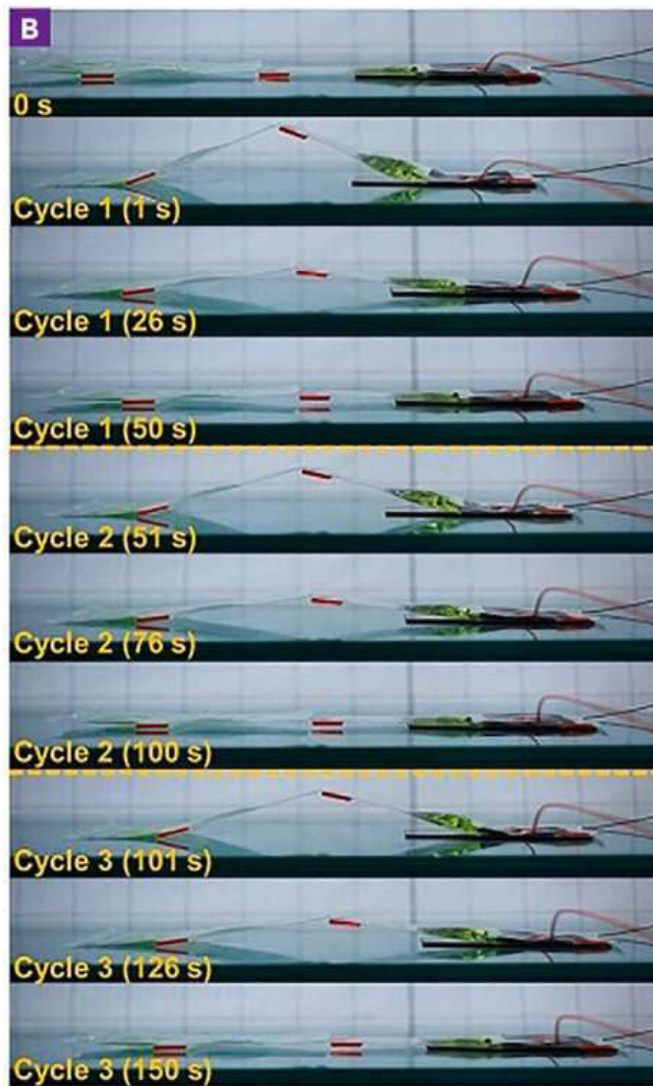
도면2d



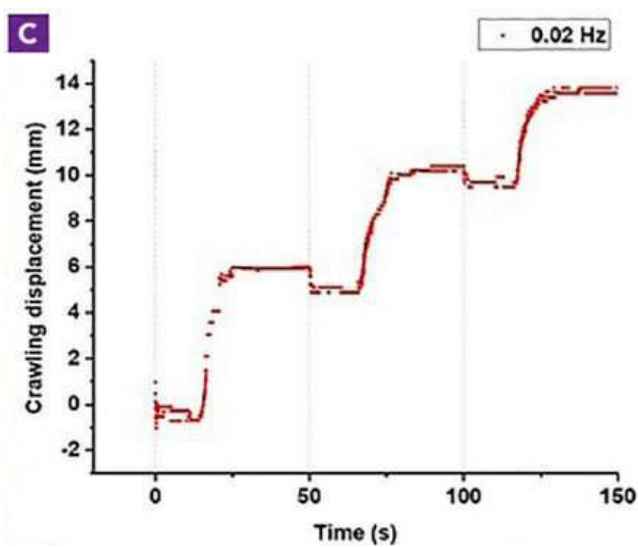
도면3a



도면3b



도면3c



도면3d

