



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0174433
(43) 공개일자 2023년12월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02N 2/18 (2006.01) H02N 1/04 (2006.01)
H02N 11/00 (2006.01) H10N 10/17 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H02N 2/186 (2013.01)
H02N 1/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0075340
(22) 출원일자 2022년06월21일
심사청구일자 2022년06월21일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
김대원
서울특별시 송파구 송파대로 345 헬리오시티 316동 1401호
윤종현
경기도 용인시 기흥구 서그대로15번길 13-1, 202호
(74) 대리인
권성현, 유광철, 백두진, 강일신, 김정연

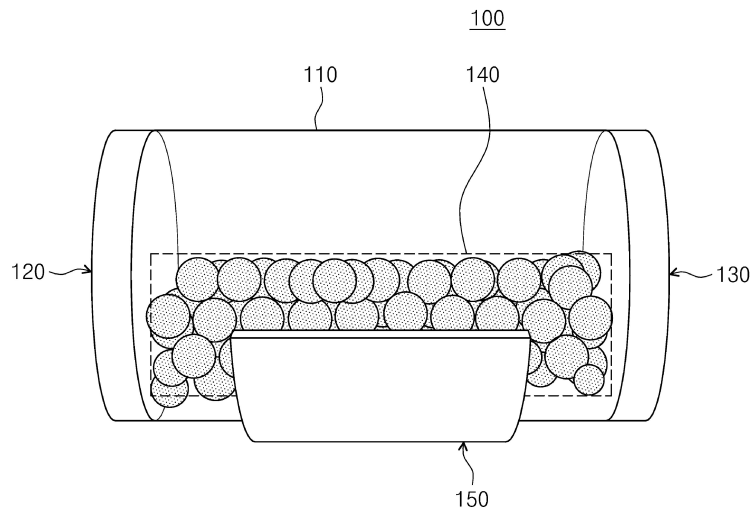
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치

(57) 요약

본 개시의 일 실시예에 따르면, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치는 진동이 가해지도록 구성된 컨테이너, 컨테이너의 일면에 포함된 한 쌍 이상의 전극, 컨테이너 내부에 구비되어 진동에 의해 전극에 충돌하도록 구성된 하나 이상의 정전기 유도 오브젝트 및 컨테이너의 외부에 구비되어 충돌에 의해 발생된 열 에너지를 이용하여 전기 에너지를 발생시키는 열전 소자를 포함하고, 한 쌍 이상의 전극은 일면의 서로 다른 위치에 배치된 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고, 하나 이상의 정전기 유도 오브젝트 각각이 진동에 의해 제1 전극에 충돌한 후 제2 전극에 충돌함에 따라, 제1 전극과 제2 전극 사이에 전기 에너지가 발생될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H02N 11/002 (2013.01)

H10N 10/17 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345332280
과제번호	2018R1A6A1A03025708
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축(R&D)
연구과제명	웨어러블융합전자연구소
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2027.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711127697
과제번호	2021R1C1C1014004
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	상용화 수준의 자가 구동 인공망막장치 개발을 위한 정전 기반의 전기 자극 장치 및
고효율 에너지 변환 시스템 연구	
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

진동이 가해지도록 구성된 컨테이너;

상기 컨테이너의 일면에 포함된 한 쌍 이상의 전극;

상기 컨테이너 내부에 구비되어 상기 진동에 의해 상기 전극에 충돌하도록 구성된 하나 이상의 정전기 유도 오브젝트; 및

상기 컨테이너의 외부에 구비되어 상기 충돌에 의해 발생된 열 에너지를 이용하여 전기 에너지를 발생시키는 열전 소자

를 포함하고,

상기 한 쌍 이상의 전극은 상기 일면의 서로 다른 위치에 배치된 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고,

상기 하나 이상의 정전기 유도 오브젝트 각각이 상기 진동에 의해 상기 제1 전극에 충돌한 후 상기 제2 전극에 충돌함에 따라, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 전기 에너지가 발생되는, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 정전기 유도 오브젝트의 형태는 볼 형태를 포함하는, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 정전기 유도 오브젝트는 고분자 가루를 포함하는, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 열전 소자는 상기 컨테이너의 외부 형태와 대응되는 형태로 변형 가능하도록 유연 물질을 포함하는, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 열전 소자가 발생시킨 전기 에너지 및 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 발생된 전기 에너지를 저장하는 전력 저장 장치

를 더 포함하는, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 컨테이너의 형태는 기둥 형태를 포함하고,

상기 제1 전극은 상기 기둥 형태의 상면에 포함되고, 상기 제2 전극은 상기 기둥 형태의 하면에 포함되는, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 열전 소자가 발생시킨 전기 에너지의 전류 세기 및 극성 중 적어도 하나를 모니터링하기 위한 모니터링 장치를

를 더 포함하는, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1 전극은 복수의 제1 전극을 포함하고, 상기 제2 전극은 복수의 제2 전극을 포함하고,

상기 복수의 제1 전극 및 상기 복수의 제2 전극은 상기 컨테이너의 일면에 교대로 배치되는, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 정전기 유도 오브젝트가 담긴 컨테이너를 전극으로 밀폐하여 진동을 인가하는 경우, 정전기 유도 오브젝트의 진동으로 인해 발생하는 열에너지와 마찰 대전에 의해 발생하는 전기 에너지를 동시에 수확하도록 구성된 마찰-열 에너지 수확 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 진동 에너지는 모터, 엔진 등 일상 생활과 밀접한 다양한 장소에서 발생하지만 적절하게 이용되지 못하고 소멸되는 에너지이다. 최근, 친환경 및 신재생 에너지의 수요가 커짐에 따라 이와 같은 진동 에너지가 저전력 에너지를 필요로 하는 곳에서의 새로운 에너지 공급원으로 이용될 수 있을 것이라는 기대 또한 커지고 있다.

[0004] 다만, 이러한 진동 에너지 수확 장치는 높은 출력을 기대하기 어려운 만큼 하드웨어의 복잡도가 낮을 것이 요구된다. 또한, 장시간의 작동으로 에너지를 수확하는 만큼, 장치를 구성하는 부재의 마모가 빠르게 진행되어 교체 주기가 짧아진다면 오히려 경제적 효율성이 떨어진다는 한계가 존재한다. 나아가, 진동 에너지는 운동 에너지로서 다양한 형태의 에너지로 분산되므로, 에너지 수확량을 최대화하기 위해서는 에너지 형태 각각에 적합한 메커니즘이 장치를 통해 동시에 구현되어야 한다는 과제가 남아있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 개시에서는 상술한 문제를 해결하기 위해 진동으로 인해 발생하는 열에너지와 마찰대전에 의해 발생하는 전기 에너지를 동시에 수확하도록 구성된 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치가 제공될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 개시의 일 실시예에 따르면, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치는 진동이 가해지도록 구성된 컨테이너, 컨테이너의 일면에 포함된 한 쌍 이상의 전극, 컨테이너 내부에 구비되어 진동에 의해 전극에 충돌하도록 구성된 하나 이상의 정전기 유도 오브젝트 및 컨테이너의 외부에 구비되어 충돌에 의해 발생된 열 에너지를 이용하여 전기 에너지를 발생시키는 열전 소자를 포함하고, 한 쌍 이상의 전극은 일면의 서로 다른 위치에 배치된 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고, 하나 이상의 정전기 유도 오브젝트 각각이 진동에 의해 제1 전극에 충돌한 후 제2 전극에 충돌함에 따라, 제1 전극과 제2 전극 사이에 전기 에너지가 발생될 수 있다.
- [0009] 일 실시예에 따르면, 정전기 유도 오브젝트의 형태는 볼 형태를 포함할 수 있다.
- [0010] 일 실시예에 따르면, 정전기 유도 오브젝트는 고분자 가루를 포함할 수 있다.
- [0011] 일 실시예에 따르면, 열전 소자는 컨테이너의 외부 형태와 대응되는 형태로 변형 가능하도록 유연 물질을 포함할 수 있다.
- [0012] 일 실시예에 따르면, 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치는 열전 소자가 발생시킨 전기 에너지 및 제1 전극과 제2 전극 사이에 발생된 전기 에너지를 저장하는 전력 저장 장치를 더 포함할 수 있다.
- [0013] 일 실시예에 따르면, 컨테이너의 형태는 기둥 형태를 포함하고, 제1 전극은 기둥 형태의 상면에 포함되고, 제2 전극은 기둥 형태의 하면에 포함될 수 있다.
- [0014] 일 실시예에 따르면, 열전 소자가 발생시킨 전기 에너지의 전류 세기 및 극성 중 적어도 하나를 모니터링하기 위한 모니터링 장치를 더 포함할 수 있다.
- [0015] 일 실시예에 따르면, 제1 전극은 복수의 제1 전극을 포함하고, 제2 전극은 복수의 제2 전극을 포함하고, 제1 전극 및 제2 전극은 컨테이너의 일면에 교대로 배치될 수 있다.

발명의 효과

- [0017] 본 개시의 일 실시예에 따르면, 진동으로부터 마찰 대전에 의한 전기 에너지와 열에너지로부터 획득된 전기 에너지를 동시에 수확하여 높은 수확률의 에너지 수확 장치를 제공할 수 있다.
- [0018] 본 개시의 일부 실시예에 따르면, 정전기 유도 오브젝트의 형태를 볼 형태로 제작하여 정전기 유도 오브젝트가 전극에 충돌할 때의 접촉 면적을 일정하게 함으로써, 에너지를 효율적으로 수확하기 위한 정전기 유도 오브젝트, 컨테이너 및 전극 각각의 크기, 부피, 개수 등을 쉽게 최적화할 수 있다.
- [0019] 본 개시의 일부 실시예에 따르면, 시간이 경과함에 따라 정전기 유도 오브젝트의 마모가 진행되더라도, 마모에 따른 에너지 수확률의 감소를 최소화할 수 있다.
- [0020] 본 개시의 일부 실시예에 따르면, 유연한 소재의 열전 소자를 이용하여 열에너지를 수확함으로써 열에너지 손실을 최소화할 수 있고, 다양한 형태의 컨테이너에 적용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 개시의 일 실시예에 따른 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치의 사시도이다.
- 도 2는 본 개시의 일 실시예에 따른 열전 소자 내부의 사시도이다.
- 도 3은 본 개시의 일 실시예에 따른 마찰-열 에너지 수확 장치 및 정전기 유도 오브젝트의 광학 이미지의 실험 결과를 나타낸다.
- 도 4는 본 개시의 일 실시예에 따른 마찰-열 에너지 수확 장치의 작동 메커니즘 및 작동 메커니즘에 따른 유한 요소법을 이용한(Finite element method) 시뮬레이션 결과를 나타낸다.
- 도 5는 본 개시의 일 실시예에 따른 열전 소자에 대한 유한요소법을 이용한(Finite element method) 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

도 6은 본 개시의 일 실시예에 따라 정전기 유도 오브젝트의 부피비, 진동 주파수 및 작동 시간에 따른 열 에너지를 측정하기 위한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

도 7은 본 개시의 일 실시예에 따른 마찰-열 에너지 수확 장치의 에너지 효율을 비교 분석한 결과를 나타낸다.

도 8는 본 개시의 일 실시예에 따른 마찰-열 에너지 수확 장치의 에너지 효율을 비교 분석한 결과를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 개시의 실시를 위한 구체적인 내용을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 다만, 이하의 설명에서는 본 개시의 요지를 불필요하게 흐릴 우려가 있는 경우, 널리 알려진 기능이나 구성에 관한 구체적 설명은 생략하기로 한다.
- [0024] 첨부된 도면에서, 동일하거나 대응하는 구성요소에는 동일한 참조부호가 부여되어 있다. 또한, 이하의 실시예들의 설명에 있어서, 동일하거나 대응되는 구성요소를 중복하여 기술하는 것이 생략될 수 있다. 그러나 구성요소에 관한 기술이 생략되어도, 그러한 구성요소가 어떤 실시예에 포함되지 않는 것으로 의도되지는 않는다.
- [0025] 개시된 실시예의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 개시는 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 개시가 완전하도록 하고, 본 개시가 통상의 기술자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것일 뿐이다.
- [0026] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 개시된 실시예에 대해 구체적으로 설명하기로 한다. 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 개시에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 관련 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 개시에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 개시의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.
- [0027] 본 명세서에서의 단수의 표현은 문맥상 명백하게 단수인 것으로 특정하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한, 복수의 표현은 문맥상 명백하게 복수인 것으로 특정하지 않는 한, 단수의 표현을 포함한다. 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 '포함'한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다.
- [0028] 도 1은 본 개시의 일 실시예에 따른 진동에 의해 유도된 마찰-열 에너지 수확 장치(100)의 사시도이다. 도시된 바와 같이, 마찰-열 에너지 수확 장치(100)는 컨테이너(110), 한 쌍 이상의 전극(120, 130), 하나 이상의 정전기 유도 오브젝트(140) 및 열전 소자(150) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0029] 컨테이너(110)는 마찰-열 에너지 수확 장치(100)의 바디(body)를 구성할 수 있다. 구체적으로, 컨테이너(110)는 마찰-열 에너지의 발생을 유도하기 위해 마련된 하나 이상의 용기를 지칭할 수 있다. 예를 들어, 컨테이너(110)는 원기둥 형태일 수 있다. 보다 구체적인 예시로, 컨테이너(110)는 외경, 내경 및 높이가 각각 42(mm), 32(mm) 및 55(mm)인 중공(hollow) 기둥 형태일 수 있다. 다른 예를 들어, 컨테이너(110)는 (예: 삼각 또는 사각 등) 중공 형태일 수 있다. 추가적으로, 컨테이너(110)는 컨테이너(110) 내부를 관측할 수 있도록 투명한 형태의 소재(예: 아크릴)로 구성될 수 있다. 이에 따라, 컨테이너(110) 내부에 위치하는 정전기 유도 오브젝트(140)의 움직임, 마모 정도 등이 관측될 수 있다.
- [0030] 한 쌍 이상의 전극(120, 130)은 마찰 대전(Contact Electrification 또는 Triboelectrification)을 발생시키기 위한 대상 오브젝트로서 마련될 수 있다. 즉, 한 쌍 이상의 전극(120, 130)은 마찰 대전에 의한 전기 에너지를 발생시키기 위해 구비될 수 있다. 이를 위해, 한 쌍 이상의 전극(120, 130)은 컨테이너(110)의 일면에 포함될 수 있다. 한편, 한 쌍 이상의 전극(120, 130)은 열 에너지를 발생시키기 위해 구비될 수도 있다. 이는 임의의 물체가 한 쌍 이상의 전극(120, 130)에 마찰(또는, 충돌)하는 경우, 마찰 대전에 의한 전기 에너지와 함께 열 에너지가 발생하기 때문이다.
- [0031] 일 실시예에 따르면, 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 각각은 컨테이너(110)의 상면 및 하면에 배치될 수 있다. 이 경우, 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 각각은 컨테이너(110)에 결합되어 컨테이너(110)를 밀폐시키기 위해 컨테이너(110)의 일부와 대응되는 형태일 수 있다. 예를 들어, 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 각각은 컨테이너(110)의 상면 및/또는 하면과 대응되는 형태일 수 있다. 또한, 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 각각은 컨테이너

(110)에 결합되기 위한 결합 유닛을 포함할 수 있다. 예를 들어, 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 각각의 내부 측면은 나선형(예: 볼트형, 너트형 등) 결합 유닛을 포함할 수 있다. 이에 대응하여, 컨테이너(110)의 측면 또한 대응되는 나선형 결합 유닛을 포함할 수 있다. 이와 같은 결합 유닛에 의해, 마찰-열 에너지 수확 장치(100)는 밀폐되어 온도, 마찰-열 에너지 수확 장치(100)에 대한 외부 환경(온도, 습도 등)의 영향이 최소화될 수 있다.

[0032] 추가적으로 또는 대안적으로, 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 각각은 컨테이너(110)의 측면에 배치될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍 이상의 전극(120, 130)은 복수의 제1 전극 및 복수의 제2 전극을 포함하고, 복수의 제1 전극 및 복수의 제2 전극은 컨테이너(110)의 측면에 교차로(예: 제1 전극, 제2 전극, 제1 전극, 제2 전극편) 배치될 수 있다.

[0033] 일 실시예에 따르면, 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 각각은 금속 물질로 구성될 수 있다. 예를 들어, 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 각각은 알루미늄 소재로 구성될 수 있다. 이 경우, 한 쌍 이상의 전극(120, 130)에 포함된 제1 전극(120)과 제2 전극(130)은 전기적으로 연결될 수 있다. 이에 따라, 정전기 유도 오브젝트(140)가 진동에 의해 제1 전극(120)에 충돌한 후 제2 전극(130)에 충돌하는 경우, 마찰 대전 및 전기적 평형 유지 현상에 의해 제1 전극(120) 및 제2 전극(130) 사이에 전류가 흐를 수 있다.

[0034] 정전기 유도 오브젝트(140)는 마찰 대전을 발생시키기 위한 나머지 대상 오브젝트로서 마련될 수 있다. 즉, 정전기 유도 오브젝트(140)는 마찰 대전에 의한 전기 에너지를 발생시키기 위해 구비될 수 있다. 이를 위해, 정전기 유도 오브젝트(140)는 볼 형태일 수 있다. 이 경우, 정전기 유도 오브젝트(140)의 직경은 컨테이너(110)의 폭 및/또는 높이보다 작게 구성될 수 있다. 한편, 정전기 유도 오브젝트(140) 또한 열 에너지를 발생시키기 위해 구비될 수 있다. 이는 정전기 유도 오브젝트(140)가 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 및/또는 컨테이너(110) 중 적어도 하나에 마찰(또는, 충돌)하는 경우, 마찰 대전에 의한 전기 에너지와 함께 열 에너지가 발생하기 때문이다.

[0035] 일 실시예에 따르면, 정전기 유도 오브젝트(140)는 마찰 대전을 효율적으로 발생시키기 위해 전기 음성도가 높은 물질로 구성될 수 있다. 예를 들어, 정전기 유도 오브젝트(140)는 전기 음성도가 높은 불소를 다량 포함하는 PTFE(Polytetrafluoroethylene)로 구성될 수 있다.

[0036] 일 실시예에 따르면, 정전기 유도 오브젝트(140)의 크기는 수확되는 전기 에너지의 양이 최대가 되도록 컨테이너(110)의 크기를 기초로 결정될 수 있다. 예를 들어, 정전기 유도 오브젝트(140)의 전체 부피는 컨테이너(110) 내부 부피의 40%를 차지할 때 마찰-열 에너지 수확 장치(100)에 의해 수확되는 전기 에너지의 양이 최대가 될 수 있다.

[0037] 열전 소자(150)는 마찰-열 에너지 수확 장치(100)에서 발생된 열 에너지를 전기 에너지로 변환하기 위해 구비될 수 있다. 이를 위해, 열전 소자(150)는 컨테이너(110)의 외부에 구비될 수 있다. 이에 따라, 정전기 유도 오브젝트(140)가 컨테이너(110) 및/또는 한 쌍 이상의 전극(120, 130) 중 적어도 일부와 마찰함으로써 발생한 열 에너지를 이용하여 전기 에너지를 발생시킬 수 있다. 한편, 열전 소자(150)는 마찰-열 에너지 수확 장치(100)에서 발생된 열 에너지를 효율적으로 수확하기 위해 컨테이너(110)의 외부와 접촉할 수 있다. 이 경우, 열전 소자(150)는 컨테이너(110)의 외부와 대응되는 형태(예: 실린더 측면과 대응되는 곡면 형태)로 변형 가능하도록 유연 물질을 포함하여, 컨테이너(110) 외부와의 접촉 면적이 증가됨으로써 열 에너지를 보다 효율적으로 수확할 수 있다.

[0038] 위와 같은 구성(들)에 의해, 마찰-열 에너지 수확 장치(100)는 전기 에너지를 발생, 수확 및/또는 저장할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 마찰-열 에너지 수확 장치(100)는 차량, 선박, 비행기 등과 같은 동력 장치의 엔진에 구비되어, 엔진의 진동에 의해 진동이 가해질 수 있다. 이에 따라, 마찰-열 에너지 수확 장치(100)는 마찰 대전에 의한 전기 에너지 및/또는 열전 소자에 의해 발생된 전기 에너지를 수확할 수 있다. 다른 실시예에 따르면, 마찰-열 에너지 수확 장치(100)는 모니터링 장치(미도시)를 더 포함할 수 있다. 이 경우, 모니터링 장치는 마찰 대전에 의한 전기 에너지 및/또는 열전 소자에 의해 발생된 전기 에너지의 출력(진동수, 진폭, 주기 등), 정전기 유도 오브젝트(140)의 진동 방향 등을 측정하고, 측정된 출력 및/또는 진동 방향을 기초로 마찰-열 에너지 수확 장치(100)가 구비된 엔진의 상태를 결정할 수 있다. 또 다른 실시예에 따르면, 마찰-열 에너지 수확 장치(100)는 응급 및 긴급 구조 신호 전달을 위한 장치(예: 손전등)에 구비되어 긴급 전력을 제공하거나, 진동이 발생하는 다양한 장소, 장치 등에 구비되어 전기 에너지를 제공할 수 있다.

[0039] 도 2는 본 개시의 일 실시예에 따른 열전 소자(220) 내부의 사시도이다. 도시된 바와 같이, 열전 소자(220)는 컨테이너(210)의 외부에 구비되어 마찰-열 에너지 수확 장치(200)에 발생된 열 에너지를 전기 에너지로 변환 및

/또는 저장할 수 있다. 한편, 상술한 바와 같이 열전 소자(220)는 컨테이너(210)의 외부 형태와 대응되는 형태로 변형 가능하도록 유연 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 열전 소자(220)는 유연성이 있음과 동시에 열전 효율이 낮은 고분자 물질(예: 폴리우레탄(Polyurethane))로 구성될 수 있다. 이러한 구성에 의해, 마찰-열 에너지 수확 장치(200)에 발생된 열 에너지는 효율적으로 열전 소자(220)에 의해 수집될 수 있다.

[0040] 일 실시예에 따르면, 열전 소자(220)는 열 에너지를 전기 에너지로 변환하기 위한 적어도 하나의 소자(230, 240, 250)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 열전 소자(220)는 p 타입 레그(240) 및 n 타입 레그(250)를 포함하는 한 쌍 이상의 열전 레그(240, 250)를 포함할 수 있다. 이 경우, p 타입 레그(240) 및 n 타입 레그(250)는 각각 Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te₃ 및 Bi₂Se_{0.3}Te_{2.7}로 구성될 수 있다. 추가적으로, 열전 소자(220)는 열전 레그(240, 250) 각각 사이를 전기적으로 연결하기 위한 금속 소자(230)를 더 포함할 수 있다. 이 경우, 금속 소자(230)는 구리 소자일 수 있다.

[0041] 일 실시예에 따르면, p 타입 레그(240)와 n 타입 레그(250)는 금속 소자(230)에 연결될 수 있다. 예를 들어, p 타입 레그(240)와 n 타입 레그(250)는 납 페이스트 등에 의해 금속 소자(230)에 연결될 수 있다. 이에 따라, p 타입 레그(240)와 n 타입 레그(250)는 금속 소자(230)에 의해 열적(thermal)으로는 병렬, 전기적으로는 직렬로 연결된 π 구조를 형성할 수 있다.

[0042] 이하, 도 3 내지 8에서는 마찰-열 에너지 수확 장치의 실험레 및 실험 결과가 상세히 후술된다. 한편, 본 개시의 실험에서 사용된 마찰-열 에너지 수확 장치의 제조 방법 및 사양은 아래와 같다.

[0043] 먼저, 컨테이너는 외경, 내경 및 높이가 각각 42mm, 32mm 및 55mm인 아크릴 중공 실린더로 구성되었다. 마찰 대전을 유도하기 위한 정전기 유도 오브젝트로서 직경 6mm의 상용 PTFE 비드가 사용되었다. 그리고 나서, 컨테이너와 전극 각각에 마련된 나사형 결합 유닛을 사용하여 컨테이너의 양쪽 입구(즉, 상면과 하면)에 전극(들)을 고정함으로써 컨테이너의 양쪽 끝을 밀봉하였다.

[0044] 열전 소자는 72쌍의 열전(TE) 레그(Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te₃(p-type) 및 Bi₂Se_{0.3}Te_{2.7}(n-type)), 구리 필름 전극 및 폴리우레탄이 이용되었다. 먼저, p 타입 레그 및 n 타입 레그를 납땜 페이스트로 구리 필름에 부착하여 열적으로 병렬 및 전기적으로 직렬인 π 형 구조를 형성했다. 그리고 나서, π 형 구조 사이에 폴리우레탄(PU) 용액을 채웠다. 폴리우레탄은 유연성과 낮은 열전도율 때문에 열전 소자를 제작하는데 사용되었다. 용액의 경화 후, 레그의 다른 쪽도 Cu 전극에 부착되었다. 열전 소자의 크기는 55mm X 55mm X 3mm로 제작되었다.

[0045] 전기 에너지의 출력 측정에는 electrodynamic shaker(LW139.138-40, Labworks Inc., USA)가 사용되었다. 또한, National Instruments의 LabVIEW 소프트웨어가 있는 데이터 수집(DAQ; Data Acquisition) 시스템이 로우 데이터를 분석하기 위해 사용되었다. 마찰-열 에너지 수확 장치의 성능 측정에 필요한 로우 데이터는 전위계(electrometer; Keithley 6514, Tektronix co., USA)에서, 열전 소자의 성능 측정에 필요한 로우 데이터는 소스-미터(source-meter; Keithley 2450, Tektronix co., USA)에서 수집되었다.

[0046] 유한요소법을 이용한(Finite element method)시뮬레이션은 하이브리드 장치(여기서, 마찰-열 에너지 수확 장치)의 작동 방식을 이해하는 데 사용되었다. 마찰-열 에너지 수확 장치에 대한 AC/DC 모듈의 정전기 인터페이스로서 PTFE 비드 1개, 알루미늄 전극 2개 및 아크릴 중공 실린더가 사용되었다. 마찰-열 에너지 수확 장치의 전위 분포는 수학적 1 및 수학적 2에 따라 시뮬레이션 되었다.

수학적 1

[0047]
$$E = -\nabla V$$

수학적 2

[0048]
$$\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r E) = \rho v$$

[0049] 여기서 E, V, ϵ_0 , ϵ_r 는 각각 전기장, 전위, 공기의 비유전율, 재료의 비유전율 및 공간 전하 밀도를 나타낸다. 열전달 모듈(여기서, 열전 소자)을 통한 열전 효과는 14쌍의 레그를 사용하여 시뮬레이션되었다. 이 경우, 열유속은 수학적 3 및 수학적 4에 따라 산출될 수 있다.

수학식 3

[0050]
$$\rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T - P \cdot J) + Q$$

수학식 4

[0051]
$$J = -\sigma(\nabla V + S \nabla T)$$

[0052] 도 3은 본 개시의 일 실시예에 따른 마찰-열 에너지 수확 장치 및 정전기 유도 오브젝트의 광학 이미지의 실험 결과를 나타낸다. 도 4의 (i) 내지 (iii)를 참고하면, 'C-TENG(Cylindrical Triboelectric Nanogenerator)'은 실험에서 사용된 정전기 인터페이스로서, 본 개시의 컨테이너, 한 쌍의 전극 및 정전기 유도 오브젝트를 포함할 수 있다. 'F-TEG(Flexible Thermoelectric Generator)'은 유연성이 있는 열전 소자를 지칭한다. 또한, 'HG-TTB(Hybridized Generator to simultaneously harvest tribo-thermal energy)'는 상술한 'C-TENG' 및 'F-TEG'이 결합된 본 개시의 마찰-열 에너지 수확 장치를 지칭한다. 도 3의 (iv)는 2시간 동안 15Hz의 진동이 가해진 정전기 유도 오브젝트(PTFE 비드)를 촬영한 적외선 이미지로, 도시된 바와 같이 정전기 유도 오브젝트의 온도는 27.7 ° C인 것을 확인할 수 있다.

[0053] 도 4는 본 개시의 일 실시예에 따른 마찰-열 에너지 수확 장치의 작동 메커니즘(410 내지 440) 및 작동 메커니즘(410 내지 440)에 따른 유한요소법을 이용한(Finite element method)시뮬레이션 결과를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 작동 메커니즘(410 내지 440)은 제1 단계(410) 내지 제4 단계(440)를 포함할 수 있다.

[0054] 제1 단계(410)는 정전기 유도 오브젝트가 제1 전극에 충돌함에 따라 마찰 대전이 발생하는 단계를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 정전기 유도 오브젝트가 제1 전극에 충돌함에 따라 정전기 유도 오브젝트에 음전하(-)가 대전되고, 제1 전극에 양전하(+)가 대전될 수 있다. 이 경우, 제1 전극 및 제1 전극의 주변 영역에 충돌에 의한 열 에너지도 발생하게 된다. 그리고 나서, 제2 단계(420)에서 정전기 유도 오브젝트는 제1 전극으로부터 멀어지게 되어, 제1 전극의 전기적 평형이 깨지게 된다. 이 때, 제1 전극에 대전된 양전하는 전기적 평형을 유지하기 위하여 제2 전극으로 이동함으로써, 제1 전극과 제2 전극 사이에 전기 에너지가 발생할 수 있다.

[0055] 제3 단계(430)는 제1 전극으로부터 떨어진 정전기 유도 오브젝트가 제2 전극에 충돌하는 단계를 나타낸다. 이 때, 제2 단계(420)에서의 전기 에너지 발생으로, 제3 단계(430)에서의 전기적 평형은 다시 회복된 상태이다. 한편, 제3 단계(430)에서도 제2 전극 및 제2 전극의 주변 영역에 충돌에 의한 열 에너지가 발생하게 된다. 그리고 나서, 제4 단계(440)에서 정전기 유도 오브젝트는 제2 전극으로부터 멀어지게 되어, 제2 전극의 전기적 평형이 깨지게 된다. 이 때, 제2 전극에 대전된 양전하는 전기적 평형을 유지하기 위하여 제2 전극으로 이동함으로써, 제1 전극과 제2 전극 사이에 전기 에너지가 발생할 수 있다. 특히, 제4 단계(440)에서 발생하는 전류의 방향과 제2 단계(420)에서 발생하는 전류의 방향은 반대이므로, 마찰 대전에 의해 발생하는 전기적 에너지는 교류(AC)에 해당된다.

[0056] 도 5는 본 개시의 일 실시예에 따른 열전 소자(예: 열전 소자(150, 220))에 대한 유한요소법을 이용한(Finite element method) 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 도 5에서 상술한 바와 같이, 마찰-열 에너지 수확 장치에 메커니즘(예: 제1 단계(410) 내지 제4 단계(440))에 따라 반복적으로 진동이 발생하는 경우, 정전기 유도 오브젝트의 충돌(또는, 마찰, 접촉 등)에 의해 마찰열이 발생될 수 있다. 이 때, 발생된 마찰열로 인해 마찰-열 에너지 수확 장치의 내부와 외부에 온도차가 발생하게 되고, 이러한 온도차는 컨테이너 및 컨테이너를 밀봉한 한 쌍 이상의 전극에 의해 보존될 수 있다. 결과적으로, Seebeck 효과를 기반으로 열전 소자는 전기 에너지를 생산할 수 있다.

[0057] 열전 소자에 대한 시뮬레이션에서 열유속과 전압에 적용된 온도차(∇T)는 1K, 2K, 3K(차가운 쪽: 296.15K, 뜨거운 쪽: 297.15K, 298.15K 및 299.15K)이고, 열전 소자는 14쌍의 열전 레그(p형의 경우 Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te₃ 및 n형의 경우 Bi₂Se_{0.3}Te_{2.7}) 및 구리 전극으로 구성되었다. 그 결과, 1K, 2K 및 3K의 온도 기울기로 시뮬레이션된 열전 소자 모델에서 각각 8mV, 16mV 및 24mV의 전위가 생성되었다.

[0058] 도 6은 본 개시의 일 실시예에 따른 컨테이너에 대한 정전기 유도 오브젝트의 부피비와 진동 주파수 및 작동 시간에 따른 마찰-열 에너지 수확 장치의 전기 에너지 출력 특성 측정한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 일반적인

로, 열-마찰 에너지 수확 장치의 개방회로 전압(V_{oc}), 단락회로에서 전달된 전하(Q_{sc}) 및 단락회로 전류(I_{sc})는 수학적식 5 내지 7에 따라 정의될 수 있다.

수학적식 5

$$V_{oc} = \frac{\sigma x(t)}{\varepsilon_0}$$

수학적식 6

$$Q_{sc} = \frac{S\sigma x(t)}{d_0 + x(t)}$$

수학적식 7

$$I_{sc} = \frac{dQ_{sc}}{dt}$$

여기서 σ , S 및 C 는 두 전극 사이의 표면 전하 밀도, 접촉 표면 및 정전 용량을 나타낸다. 정전기 유도 오브젝트의 직경이 3mm, 6mm 및 9mm인 C-TENG에서 생성된 전기 출력은 정전기 유도 오브젝트의 직경을 최적화하기 위해 조사되었다. 정전기 유도 오브젝트의 직경이 6mm인 경우, V_{sc} 및 Q_{sc} 는 각각 80V 및 34.6nC의 최대값이 측정되었다. 또한, 정전기 유도 오브젝트의 직경이 6mm인 때, 커패시터의 충전 속도가 가장 빠른 것이 관찰되었다. 따라서, 6mm 직경의 정전기 유도 오브젝트를 사용하여 열-마찰 에너지 수확 장치가 제작되었다.

한편, I_{sc} 는 정전기 유도 오브젝트의 직경이 3mm인 때 800nA의 최대값이 측정되었다. 이는 열-마찰 에너지 수확 장치에서 3mm의 정전기 유도 오브젝트가 접촉/분리하는데 소요되는 시간에 기인한다. 구체적으로, 수학적식 3에 따르면 마찰-열 에너지 수확 장치에서 생성된 I_{sc} 는 Q_{sc} 및 접촉/분리 시간의 영향을 받는다. 이에 따라, 3mm의 정전기 유도 오브젝트를 사용하는 경우, 접촉/분리 시간이 가장 짧아진다. 여기서, 뉴턴의 제1 법칙을 고려하면, 정전기 유도 오브젝트 직경 3mm의 질량은 각각 0.038g, 직경 6mm 정전기 유도 오브젝트의 질량은 각각 0.29g이므로, 동일한 힘이 인가될 때 6mm 정전기 유도 오브젝트보다 3mm 정전기 유도 오브젝트의 가속도가 더 크기 때문에 3mm 정전기 유도 오브젝트가 6mm 정전기 유도 오브젝트보다 더 빠른 속도로 움직이게 된다. 따라서 6mm 정전기 유도 오브젝트를 사용하는 경우 Q_{sc} 가 최대값을 갖지만, 후술되는 도 6에 도시된 바와 같이 3mm 정전기 유도 오브젝트를 사용하는 경우 I_{sc} 가 최대값을 갖는다.

도 6의 (a)는 컨테이너에 대한 정전기 유도 오브젝트의 부피 비율이 10%부터 90%까지 변함에 따라, 마찰-열 에너지 수확 장치에서 생성된 전기 에너지의 출력이 측정된 결과를 나타낸다. 여기서, 마찰-열 에너지 수확 장치를 5Hz로 진동시키기 위해 5N 크기의 힘이 인가되었다. 도시된 바와 같이, 마찰-열 에너지 수확 장치를 5Hz로 진동시킬 때의 전기 에너지의 출력을 측정하기 위해, 마찰-열 에너지 수확 장치가 electrodynamic shaker의 헤드에 장착되었다. 이에 따라, 마찰-열 에너지 수확 장치는 정전기 유도 오브젝트와 알루미늄 전극 사이의 반복적인 마찰, 충돌 등으로 인해 마찰 대전에 의한 전기 에너지를 생성하게 된다.

도 6의 (a)를 참고하면, 컨테이너에 대한 정전기 유도 오브젝트의 전체 부피가 대략 40%인 경우, I_{sc} 가 최대인 것을 확인할 수 있다. 여기서, I_{sc} 는 정전기 유도 오브젝트와 전극 사이의 전체 접촉 면적 및 정전기 유도 오브젝트의 이동 거리(즉, 제1 전극과 제2 전극 사이의 거리)라는 두 가지 요인에 의해 결정될 수 있다. 예를 들어, 정전기 유도 오브젝트의 수가 증가할수록 더 많은 수의 정전기 유도 오브젝트가 전극과 충돌하게 되므로, 전체 접촉 면적은 증가하게 된다. 그러나, 정전기 유도 오브젝트의 수가 임계치 보다 많아지는 경우(예: 컨테이너에 대한 정전기 유도 오브젝트의 전체 부피 40%가 이상인 경우), 마찰-열 에너지 수확 장치의 마찰 대전에 의한 전기 에너지의 출력은 다시 감소하게 된다. 이는, 정전기 유도 오브젝트의 수가 임계치보다 많

아지는 경우, 정전기 유도 오브젝트가 전극으로부터 멀어지기 위해 확보된 공간이 감소하게 되어 마찰 대전에 의한 전기적 에너지의 출력이 감소하기 때문이다. 따라서, V_{oc} 및 I_{sc} 가 각각 80V 및 500nA의 최대값을 갖도록 하는 정전기 유도 오브젝트의 전체 부피비는 40%로 최적화될 수 있다.

[0066] 도 6의 (b)는 진동 주파수 변화에 따른, 마찰-열 에너지 수확 장치에서 생성된 전기 에너지의 출력이 측정된 결과를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 마찰-열 에너지 수확 장치가 공진 주파수(RF; Resonance Frequency)인 15Hz로 진동하는 때에 전기 에너지의 출력이 최대가 되는 것을 확인할 수 있다. 여기서, 공진 주파수는 컨테이너 내부 정전기 유도 오브젝트의 전체 부피, 정전기 유도 오브젝트의 형태, 컨테이너의 크기, 형태 등에 따라 결정될 수 있다.

[0067] 도 6의 (c)는 마찰-열 에너지 수확 장치의 내구성을 판단하기 위해, 작동 시간에 따른 전기 에너지의 출력이 측정된 결과를 나타낸다. 종래 슬라이딩 방식으로 수평 방향의 움직임에 의한 마찰을 발생시키는 장치는, 마찰 유도를 위한 인터페이스(들)가 시간이 경과함에 따라 마모되어 마찰이 충분히 발생하지 않게 되므로, 전기 에너지의 출력 역시 시간이 경과함에 따라 저하된다. 반면, 본 개시의 마찰-열 에너지 수확 장치의 경우 방향에 관계없이 진동에 의해 마찰이 유도되므로, 도시된 바와 같이 마찰-열 에너지 수확 장치에 4시간 동안 5Hz의 진동을 인가하는 동안에도 오히려 정전기 유도 오브젝트에 마찰 대전에 의한 전하가 포화 상태가 될 때까지(즉, 컨테이너 내부의 모든 정전기 유도 오브젝트에 음전하가 대전될 때까지) 마찰 전하가 축적되게 되어 전기 에너지의 출력이 지속적으로 상승하는 것을 확인할 수 있다.

[0068] 도 6의 (d) 및 (e)는 마찰-열 에너지 수확 장치의 기울기 및 인가되는 힘의 크기에 따른 전기 에너지의 출력을 측정한 결과를 나타낸다. 먼저, 인가되는 힘의 크기가 증가할수록 전기 에너지의 출력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 반면, 기울기의 경우, (d)에 도시된 I_{sc} 와 (e)에 도시된 V_{oc} 는 서로 다른 경향을 보였다. 구체적으로, 도 1에 도시된 마찰-열 에너지 수확 장치와 같이 기울기가 0° 인 때 정전기 유도 오브젝트의 이동 방향은 중력 방향에 대하여 수직이므로, 정전기 유도 오브젝트와 전극의 접촉/분리 시간은 중력의 영향을 받지 않는다. 반면, 기울기가 증가할수록 정전기 유도 오브젝트와 전극의 접촉/분리 시간에 영향을 미치는 중력의 크기는 증가하게 된다. 이에 따라, 기울기가 증가할수록 I_{sc} 는 감소하고, V_{oc} 는 증가하는 경향을 보였다.

[0069] 도 6의 (f)는 마찰-열 에너지 수확 장치의 제1 전극과 제2 전극 사이의 저항 크기에 따른 전기 에너지 출력의 밀도를 측정한 결과를 나타낸다. 이는, 마찰-열 에너지 수확 장치의 전력-저항 분석을 조사하기 위해 수행되었다. 도시된 바와 같이, 저항 크기가 100MΩ인 때, 출력 밀도는 $23.4mW/m^3$ 의 최대값이 측정되었다.

[0070] 도 7은 본 개시의 일 실시예에 따라 정전기 유도 오브젝트의 부피비, 진동 주파수 및 작동 시간에 따른 열 에너지를 측정한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 일반적으로, 열전 발전기의 이론적인 전기 에너지 출력 전류의 세기는 수학적 식 8에 따라 산출될 수 있다.

수학적 식 8

$$J = -\sigma \nabla T$$

[0072] 여기서, J , σ , S 및 ∇T 는 각각 전류 크기, 국소 전도도, Seebeck 계수 및 온도차를 나타낸다. 먼저 열전 소자의 전기 출력 성능이 source-meter(Keithley 2450)를 이용하여 측정되었다. 여기서, 온도차(∇T)는 위와 같이 1K, 2K 및 3K가 적용되었다.

[0073] 도 7의 (a)는 5Hz의 주파수에서 2시간 동안 마찰-열 에너지 수확 장치를 작동시키는 동안, 컨테이너에 대한 정전기 유도 오브젝트의 부피비의 변화에 따른 정전기 유도 오브젝트의 온도 변화를 측정한 결과를 나타낸다. 여기서, 실험실 환경의 온도는 $23^\circ C$ 로 유지되었다. 도시된 바와 같이, 진동에 의해 발생된 열에너지는 정전기 유도 오브젝트를 열화상 카메라로 촬영함으로써 측정되었다. 도시된 바와 같이, 컨테이너에 대한 정전기 유도 오브젝트의 부피비가 40%, 50% 및 60%인 때, 정전기 유도 오브젝트의 온도는 300K 정도로 유사하게 나타났다. 즉, 정전기 유도 오브젝트의 부피비는 진동에 의한 열에너지 발생에 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있다.

[0074] 도 7의 (b)는 정전기 유도 오브젝트의 부피비를 40%로 하여 2시간 동안 마찰-열 에너지 수확 장치를 작동시키는 동안, 진동 주파수의 변화에 따른 정전기 유도 오브젝트의 온도 변화를 측정한 결과를 나타낸다. 여기서 또한,

실험실 환경의 온도는 23° C로 유지되었다. 도시된 바와 같이, 진동 주파수가 증가함에 따라 진동에 의한 열에너지의 발생이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0075] 도 7의 (c)는 진동 주파수 및 컨테이너에 대한 정전기 유도 오브젝트의 파괴비가 각각 5Hz 및 40%인 때, 진동에 의한 열에너지 발생량과 작동시간의 관계를 도시한 결과를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 마찰-열 에너지 수확 장치를 6시간 작동시키는 동안, 정전기 유도 오브젝트의 온도는 297K에서 300.85K로 상승함을 확인할 수 있다. 즉, 도 7의 (a) 내지 (c)의 실험 결과에 따르면, 진동에 의한 열에너지의 발생량은 마찰-열 에너지 수확 장치의 진동 주파수 및 작동 시간을 기초로 결정됨을 확인할 수 있다.

[0076] 추가적으로, 도 7의 (d)는 컨테이너 내부와 외부의 온도차와 열전 소자에 발생하는 I_{sc} 의 관계를 도시한 결과를 나타낸다. 일반적으로 HG-TTB의 열전 소자는 DC 출력을 생성하지만, 컨테이너의 내부와 외부의 온도차에 따라 전기 에너지 출력의 극성이 바뀔 수 있다. 컨테이너의 표면은 아크릴 소재로 구성되어 열전도율이 공기보다 낮기 때문에, 전기 에너지 출력의 극성 변화를 확인하기 위해서는 컨테이너 내부와 외부의 온도차에 대한 데이터가 요구된다.

[0077] 도 7의 (d)를 참고하면, 컨테이너의 표면 온도가 상온보다 낮고 컨테이너 내부와 외부의 온도차가 약 4K로 I_{sc} 의 크기는 440 μA 이고, 극성은 양극인 것을 확인할 수 있다. 한편, 지속적으로 기계를 작동시킴에 따라 정전기 유도 장치 및 컨테이너(또는, 전극) 사이의 마찰에 의해 발생한 열에너지가 컨테이너 표면의 온도를 상승시키면, 열전 소자에서 발생하는 전기 에너지의 출력은 온도차의 감소에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 나서, 컨테이너의 내부와 외부의 온도가 동일하여 전기 에너지의 출력이 0인 시점을 지나, 열에너지에 의해 컨테이너 내부의 온도가 지속적으로 상승하게 되면, I_{sc} 의 크기는 증가하다가 400 μA 에서 포화되고, 극성은 음극인 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 마찰-열 에너지 수확 장치의 열전 소자로부터 발생하는 전기 에너지를 모니터링함으로써, 발생한 전기의 극성 및 I_{sc} 의 진폭에 따른 변동 시간을 기초로 진동을 검출할 수 있다. 즉, 마찰-열 에너지 수확 장치가 전기의 극성 및 전류의 진폭과 관련된 데이터를 획득할 수 있는 모니터링 장치를 포함하는 경우, 마찰-열 에너지 수확 장치는 도 1에서 상술한 바와 같이 동력 장치의 엔진에 구비되어 엔진의 이상 여부를 검출하기 위한 장치로 활용될 수 있다.

[0078] 도 7의 (e)는 컨테이너의 내부와 외부의 온도차에 따라 마찰-열 에너지 발생 장치에서 생성된 전기 에너지의 출력을 도시한 결과를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 온도차가 증가함에 따라 마찰-열 에너지 발생 장치에서 생성된 전기 에너지의 출력은 증가함을 확인할 수 있다. 그러나 도 7의 (c)에서 상술한 바와 같이, 마찰 전하의 축적 및 포화에 의해 온도차가 4K인 때부터 전기 에너지의 출력은 포화됨을 확인할 수 있다.

[0079] 도 8는 본 개시의 일 실시예에 따른 마찰-열 에너지 수확 장치의 에너지 효율을 비교 분석한 결과를 나타낸다. 먼저, 도 8의 (a) 및 (b)는 열전 소자에 의해 생성된 전기 에너지의 출력(여기서, 'F-TEG'), 마찰 대전에 의해 생성된 전기 에너지의 출력(여기서, 'C-TENG') 및 열전 소자와 마찰 대전에 의해 생성된 전기 에너지의 출력(여기서, 'HG-TTB')을 나타낸다. 도시된 바와 같이, 본 개시의 마찰-열 에너지 수확 장치와 같이 열에너지로부터 전기 에너지를 획득하는 것(여기서, 'F-TEG')과 마찰 대전에 의해 전기 에너지를 획득하는 것(여기서, 'C-TENG') 보다 위 두가지를 결합하여 마찰-열 에너지를 동시에 수확하는 것(여기서, 'HG-TTB')이 전기 에너지의 출력이 높게 나타남을 확인할 수 있다. 구체적으로, 마찰-열 에너지를 동시에 수확하는 장치로부터 획득된 전기 에너지의 정류 전압 및 정류 전압은 각각 210V 및 0.6 μA 의 값을 갖는다. 이는, 마찰 대전에 의해 생성된 전기 에너지의 출력과 비교하여 전압과 전류는 각각 1.2배 증가하였고, 열에너지로부터 획득된 전기 에너지의 출력과 비교하여 전압과 전류는 각각 16.15배 및 3.52배 증가하였다.

[0080] 도 8의 (c) 및 (d)는 마찰-열 에너지 수확 장치의 최대 출력 전력을 확인하기 위한 도표로, 도 8의 (c)는 부하 저항(Load Resistance) 크기의 변화에 따른 정전기 유도 오브젝트의 전력 밀도를 측정한 결과를 나타낸다. 도 8의 (c)를 참고하면, 부하 저항이 40M Ω 인 때, 전력 밀도가 약 29.3mW/m³로 최대값을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0081] 도 8의 (d)는 마찰-열 에너지 수확 장치의 커패시터 충전 성능을 나타내는 도표로, 열에너지로부터 획득된 전기 에너지 또는 마찰 대전에 의한 전기 에너지보다 마찰-열 에너지로부터 획득된 전기 에너지를 이용하여 커패시터를 충전하는 경우의 성능이 보다 우수한 것을 확인할 수 있다.

[0082] 도 8의 (e)는 마찰-열 에너지 수확 장치의 커패시터 충전량 및 밀도를 나타내는 도표로, 열에너지로부터 획득된 전기 에너지 또는 마찰 대전에 의한 전기 에너지보다 마찰-열 에너지로부터 획득된 전기 에너지를 이용하여 커패시터를 충전하는 경우의 성능이 보다 우수한 것을 확인할 수 있다.

패시터를 충전하는 경우의 전기적 에너지(electrical energy) 충전량이 각각 150.06배 및 1.19배 증가한 것을 확인할 수 있다.

[0083] 도 8의 (f)는 마찰-열 에너지 수확 장치의 내구성을 확인하기 위하여, 전기 에너지의 출력의 습도 의존성을 도시한 결과를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 마찰-열 에너지 수확 장치의 컨테이너 및 한 쌍 이상의 전극에 의해 형성되는 밀폐 구조로 인해, 80%의 높은 상대습도 조건에서 전기 에너지의 출력이 19% 감소하는 데 그친 것을 확인할 수 있다.

[0084] 도 8의 (g)는 마찰-열 에너지 수확 장치의 응용 예시로, 마찰-열 에너지 수확 장치를 이용한 자가 발전식 녹 제거 시스템을 실험으로 구현한 결과를 나타낸다. 일반적으로, 전기를 이용하여 녹을 제거하기 위해서는 고전압 및 고전류의 전기가 요구된다. 한편, 본 개시의 마찰-열 에너지 수확 장치는 고전압 및 고전류의 전기 에너지를 생산하므로, 마찰-열 에너지 수확 장치를 이용하여 자가 발전식 녹 제거 시스템을 구성할 수 있다. 구체적으로, 자가 발전식 녹 제거 시스템은 녹 제거 대상(실험에서는, 플라이어), 회생 전극, 탄산나트륨 전해질 및 전원 공급 장치를 포함할 수 있다. 여기서, 전원 공급 장치로서 마찰-열 에너지 수확 장치로부터 획득된 전기 에너지로 충전되는 커패시터가 제공될 수 있다. 실험에서는, 마찰-열 에너지 수확 장치를 이용하여 4.7mF의 커패시터를 10시간 동안 충전하여 전압이 5V에 도달하게 한 후, 커패시터에 저장된 에너지를 전기를 공급하였다.

[0085] 이와 다르게, 자가 발전식 녹 제거 시스템의 전원으로서 마찰 대전에 의한 전기 에너지만을 공급하는 경우, 녹 제거 반응이 활성화되지 않았다. 이는, 마찰 대전에 의한 전기 에너지의 전하 운반 능력(즉, I_{sc} 와 같은 short circuit에서의 전류 크기)이 상대적으로 낮기 때문이다. 본 개시의 마찰-열 에너지 수확 장치를 이용한 자가 발전식 녹 제거 시스템은 녹 제거 공정을 수행하는 데 총 20시간이 소요되었다.

[0086] 본 개시의 앞선 설명은 통상의 기술자들이 본 개시를 행하거나 이용하는 것을 가능하게 하기 위해 제공된다. 본 개시의 다양한 수정예들이 통상의 기술자들에게 쉽게 자명할 것이고, 본원에 정의된 일반적인 원리들은 본 개시의 취지 또는 범위를 벗어나지 않으면서 다양한 변형예들에 적용될 수도 있다. 따라서, 본 개시는 본원에 설명된 예들에 제한되도록 의도된 것이 아니고, 본원에 개시된 원리들 및 신규한 특징들과 일관되는 최광의의 범위가 부여되도록 의도된다.

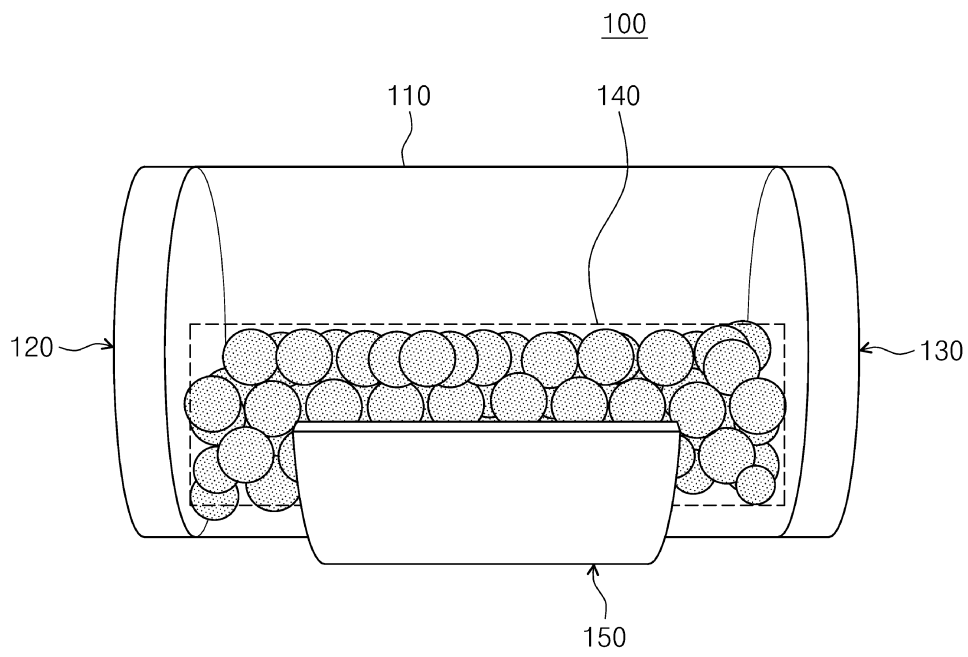
[0087] 본 명세서에서는 본 개시가 일부 실시예들과 관련하여 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자가 이해할 수 있는 본 개시의 범위를 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변형 및 변경이 이루어질 수 있다는 점을 알아야 할 것이다. 또한, 그러한 변형 및 변경은 본 명세서에서 첨부된 특허청구의 범위 내에 속하는 것으로 생각되어야 한다.

부호의 설명

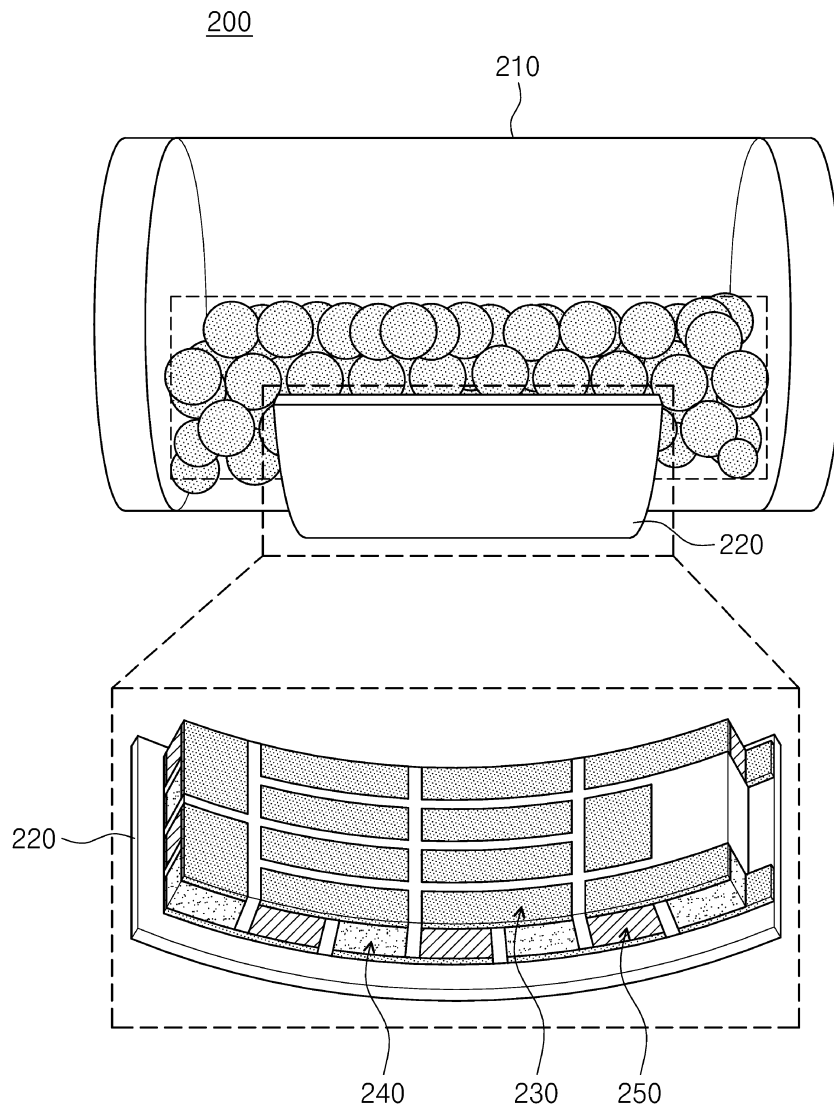
[0089] 100: 마찰-열 에너지 수확 장치
110: 컨테이너
120, 130: 전극
140: 정전기 유도 오브젝트
150: 열전 소자

도면

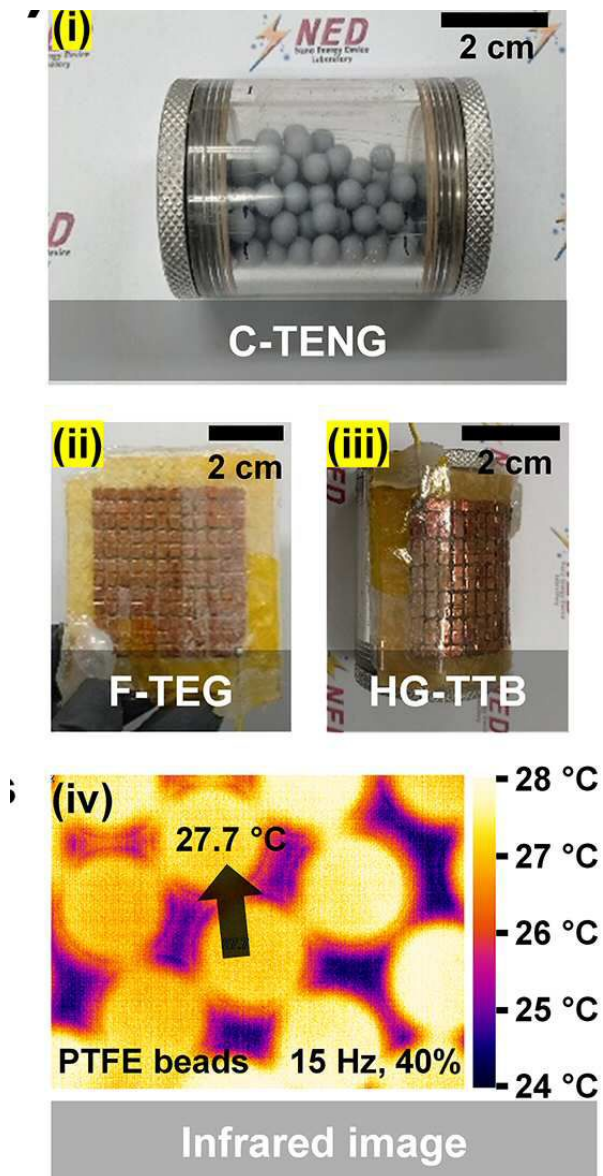
도면1



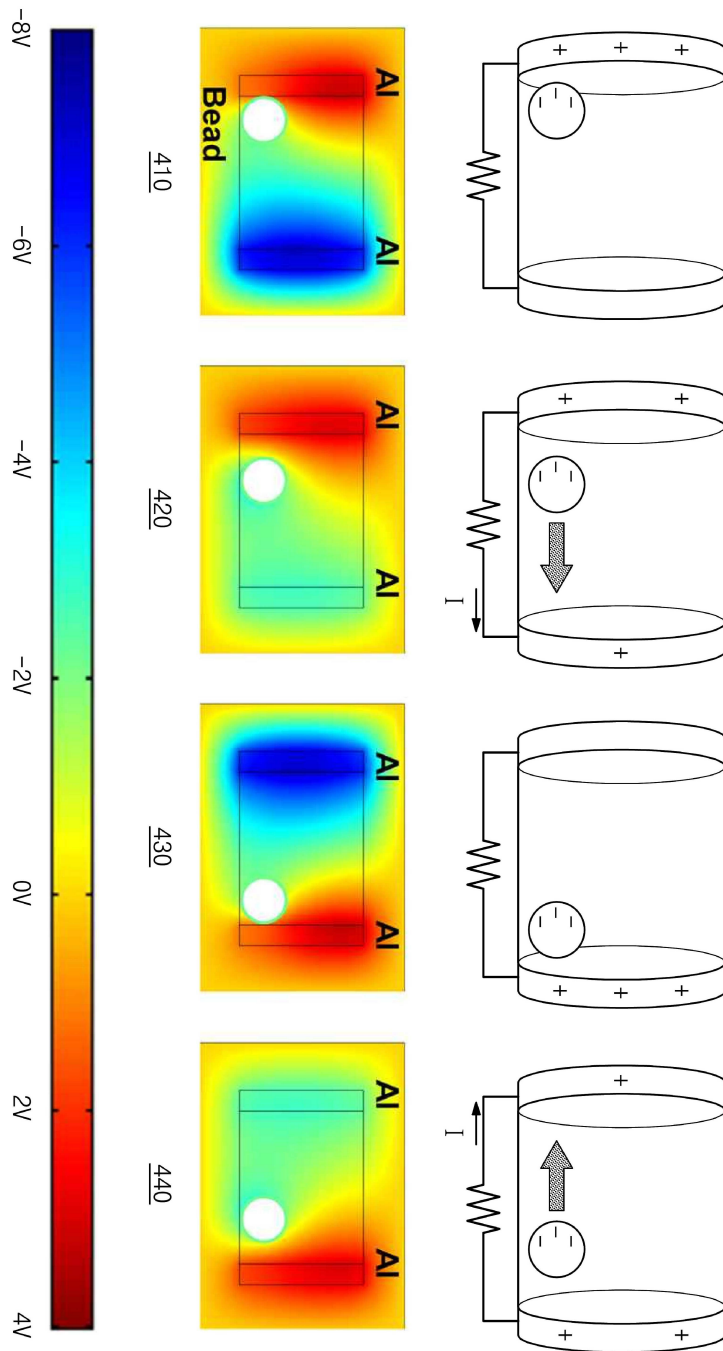
도면2

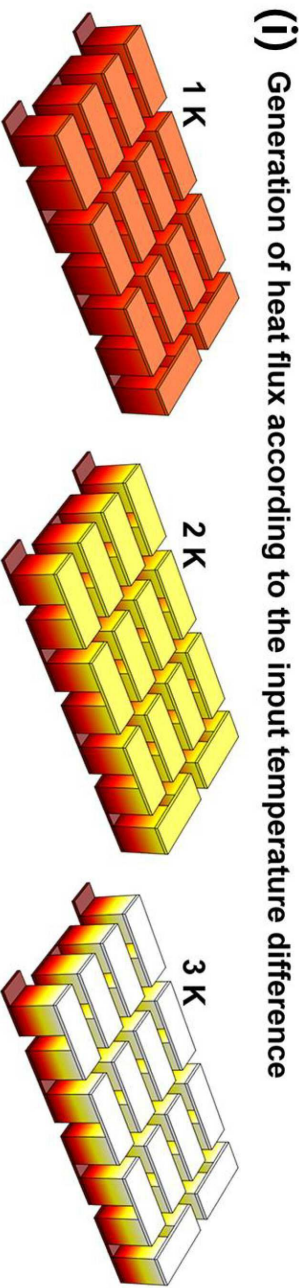
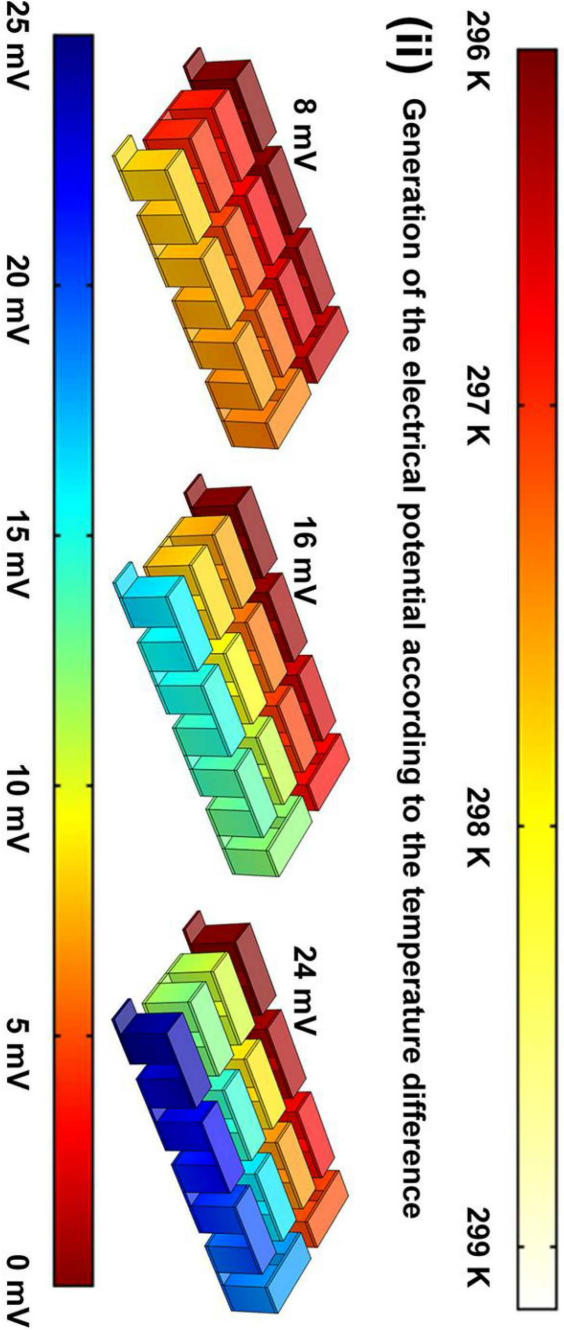


도면3



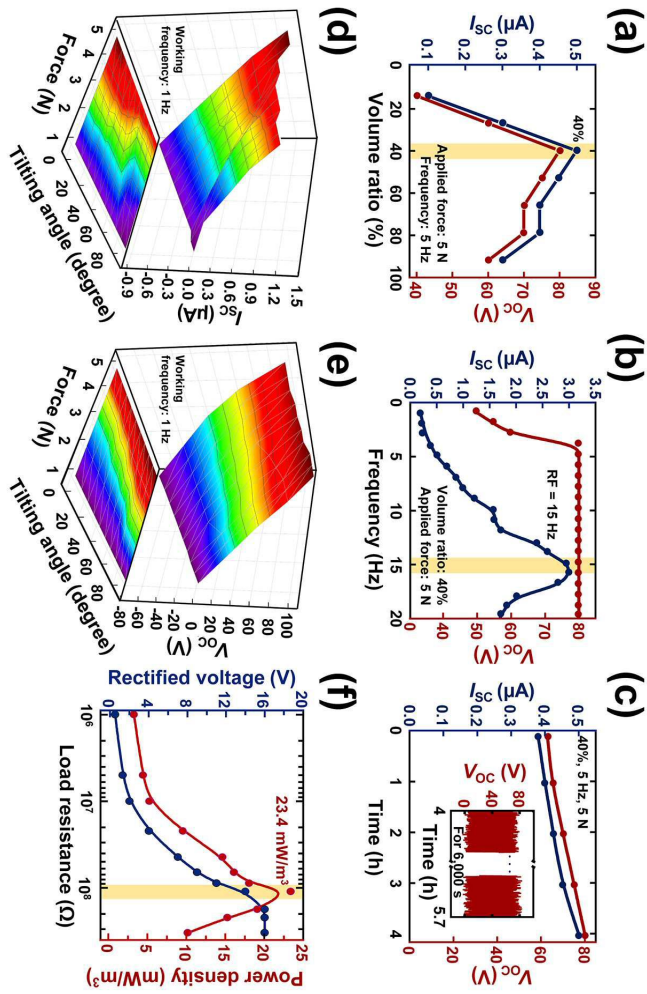
도면4



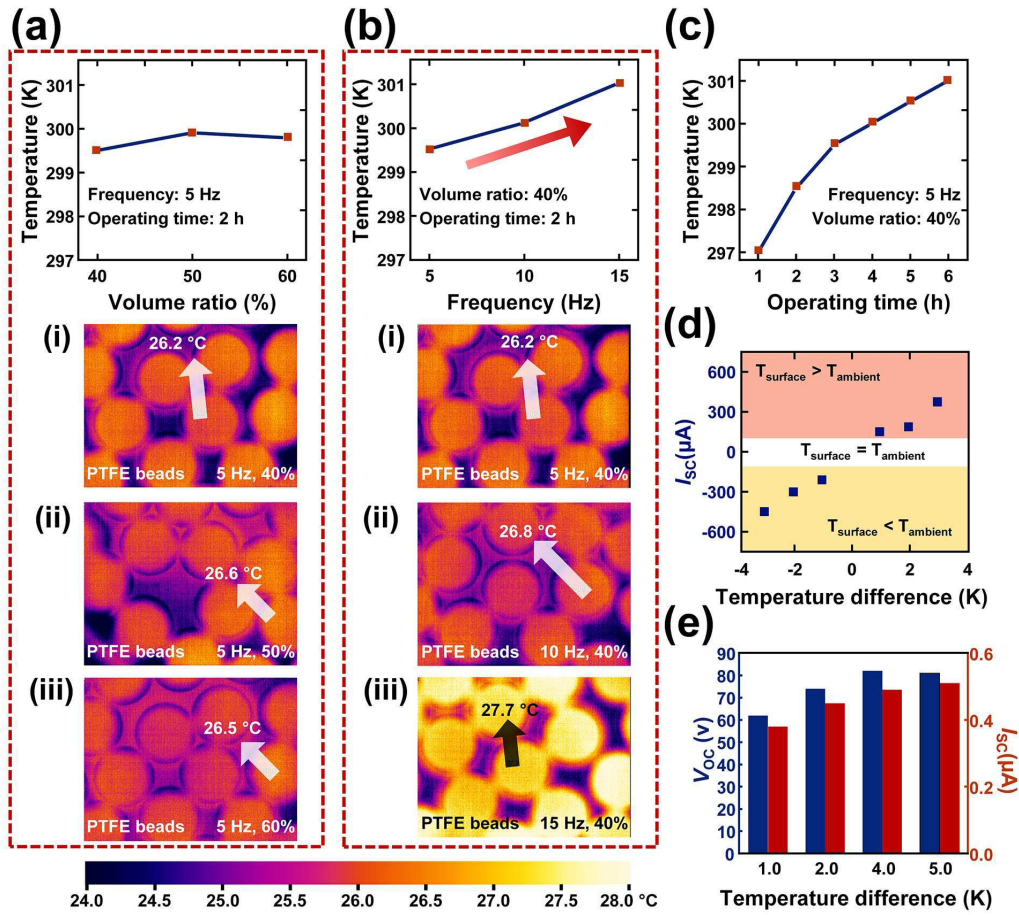


도면5

도면6



도면7



도면8

