

연구진



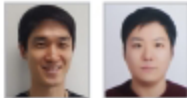
문 승 언

한국전자통신연구원
ICT소재연구그룹 그룹장
Tel. 042-860-5603
E-mail. semoon@etri.re.kr

공동연구진



김 준 수 이 재 우



김 종 현 김 정 훈



김 승 언 이 승 민

정부지원내용

- 사업명
국가과학기술연구회 운영비지원사업
(과학기술정보통신부)
- 과제명
웨어러블 사용자 열전발전 시스템 기술 개발
- 출연구간
2019년~2020년

인체 열해석 기반 연성열전모듈 설계 및 시스템 패키징 기술 개발

"웨어러블 소자의 동작 전일용으로 체온을 이용하여 발전하는 열전복합모듈"

연구배경 및 필요성 웨어러블/IoT 소자의 유한한 전원

제4차 산업혁명을 선도할 디지털 헬스케어나 IoT용 시스템에서는 센서, 프로세서, 통신 소자 등의 다양한 부품에서 전원이 요구되는데, 현재는 배터리가 주로 사용되고 있다. 하지만 건강관리, 환경 관리, 구조물 관리 서비스 등을 위해서는 끊임없는 데이터의 취득이 필요한데, 유한한 배터리의 용량 특성상 주기적인 충전으로 인한 데이터의 연속성 부족이나 불편함은 서비스의 확장에 제약이 되고 있다. 이를 위해 인체 어디서나 사용자 주의 환경에서 에너지를 얻을 수 있는 기술이 필요하고, 이러한 대안으로 열전효과를 이용하여 사용자의 체열을 전기로 변환하는 기술이 연구 중이며, 효율적인 전력 추출을 위해, 고효율 열전소재 외에도 인체 굴곡과 열저항 등을 고려한 건식접촉 유연소자와 고효율 열전소자, 고방열 히트싱크, 고효율 전력관리회로의 개발이 매우 중요하다.

기술의 내용 및 성과의 차별성 · 우수성 세계 최고 수준의 출력밀도를 가진 체열기반 열전모듈 개발

본 연구 과제를 통해 건식접촉 유연소자와 고효율 열전소자, 고방열 히트싱크, 고효율 전력관리회로 등으로 구성된, 세계 최고 수준의 출력 밀도를 가진 체열기반 전력 생산용 열전복합모듈을 개발하였다. 위 모듈에 사용된 건식접촉 유연소자는 기존의 화학적인 부착에서 전이물을 남기거나 재사용이 불가능하거나, 물리적인 부착에서 지나치게 얇은 두께로 인해 기계적 강성이나 신뢰도가 부족하였으나, 추가적인 화학적 처리 없이도 소재의 마이크로/나노 계층 구조를 이용해 계면간의 균일한 접촉 방법을 고안하여 이온 및 제작 공정의 측면에서도 새로운 방향을 제시한 결과로, 개발된 표면에 자발적으로 둘러붙는 비선형 구조체는 세로 수준의 거칠기에서도 빈틈없이 접촉하면서도 우수한 기계적 안정성 등의 기술의 우수성과 다양한 응용 가능성을 인정받아 Advanced Materials 논문의 Frontispiece 표지로 선정되어 출판되었다. 또 열적, 전기적 모델링과 방정식을 이용하여 착용 환경에서의 열전발전 소자의 발전량을 계산/측정하는 방법을 개발했으며, 이를 기반으로 다양한 설계 변수에 따른 발전량을 검토하여 요구조건에 맞는 열전소자를 설계하고, 대량 생산이 가능한 제작법을 개발하였다. 또한 고방열 인체모사 히트싱크는 온도에 따라 땅의 양을 조절하여 주위 온도에 따른 가변형 방열이 가능한 인체 망생을 모사한 소자로서, 특정 온도를 전후로 물의 흡수성이 달라지는 상질을 가진 폴리머를 임프린트기반 제작방식으로 망생 구조와 비슷한 고폭분 나노/마이크로 혼성 구조체를 만들어서 온도에 따른 증발량을 개구량 변화로 조절하였다. 이런 다양한 기술들이 적용되어 개발된 열전복합모듈은 같은 열전소자에 같은 두께의 평형 히트싱크와 인체모사 히트싱크를 장착하여 발전전력을 측정했을 때 후자의 경우 약 5배 정도의 발전출력에서의 향상 효과를 얻었고, 이는 세계 최고 수준의 체열 기반 열전발전 소자의 성능 대비(출력밀도: 20 uW/cm², 미국 NCSU) 약 1.5배 이상의 출력밀도인 35 uW/cm² 달성하였다. 체열 열전발전소자용 고효율 전력관리회로는 transformer 대신 inductor를 그리고 저전압 구동부는 소자 동작의 시작에만 사용하여 고효율화와 동시에 fractional open circuit 방법과 피드백을 이용하여 열전발전소자와 회로의 임피던스 매칭을 통해 최대 파워를 전달하는 기능을 구현하면서도 초소형화하여 웨어러블 소자에 적용가능하도록 개발하였다. 관련 기술들은 6편의 SCI논문 출판과 6건의 특허 출원 그리고 3건의 기술 이전 등을 통해 관련 기업에서 현재 상용화에 박차를 가하고 있다.

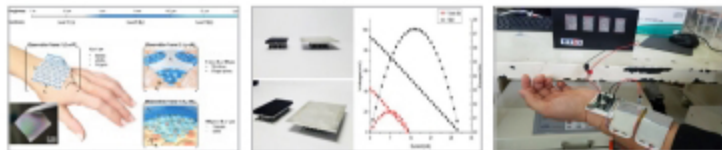


과학기술적 파급효과 체온으로 전력 생산이 어렵다는 인식의 전환

다양한 웨어러블 센서들은 개발되어 왔지만, 이의 전원으로는 현재 배터리가 유일하며, 주기적인 충전으로 인한 사용자의 불편함이 있어왔다. 건식접촉 유연소자와 열저항 매칭된 열전소자 그리고 인체모사 히트싱크, 고효율 전력관리회로가 내장된 체열 기반 고효율 열전복합모듈의 구현으로 다양한 인체 착용형 웨어러블 소자의 전원으로 활용될 수 있는 동시에 열전복합모듈을 개발하는 과정에서 확보한 소자 설계 및 제작 기술과 노하우 확보로 관련 산업 발전에 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구를 통해 얻은 기술 결과는 열원의 종류에 따른 소자 내부의 열 흐름 예측 및 측정 기술, 수치해석을 통한 소자 디자인 최적화, 고성능 방열소자 등으로 열전소자 기반 웨어러블 소자의 자가전원 소자에 있어서 획기적인 전환점을 제공할 수 있고, 또한 이러한 소자 기술을 기반으로 열전소자 기반 냉각소자 특성 향상을 통한 작습형 정수기, 전기차 배터리 온도 조절기, 열전 냉방고, 열전 에어컨 또는 AR/VR 서비스를 위한 냉온감 역추이터 등의 관련 산업의 신 시장 개척 및 신규 서비스의 구현이 기대되며, 열 해석 기술 향상에 따른 태양전지/열전 복합 발전소자 출력 향상, 고성능 방열소자 개발에 의한 전자 기기 발열 문제 해결, 그리고 저전력 센서 기술과 결합한 디지털 헬스케어 분야 기술 향상 등으로 관련 부품 시장을 선도할 수 있을 것으로 기대된다.

경제사회적 파급효과 웨어러블/IoT 사용자 자가발전 전원 기기 분야 진출

본 연구는 4차 산업혁명의 핵심 중의 하나인 웨어러블 소자나 IoT 서비스의 무한전원으로 활용되어 콘텐츠 다양화와 대중화를 이끌어, 차세대 스마트 기기 시장 형성과 IT-BT 융복합화에 따른 신시장 개척의 파급 효과를 낼 수 있는 핵심 요소 기술이며, 또한 청정 에너지 생산과 배터리의 사용을 줄임으로써 온실 가스에 의한 지구 온난화 및 기후 변화에 대한 대책과 화석연료 고갈로 인한 고유가 시대를 극복하기 위한 대안으로 활용될 수 있다. 또한 IFTechEx에 의하면 세계 에너지 수확 및 저장 시장은 2025년에 약 97억 달러로 성장할 것으로 전망되고, 2017년 현재 약 113억 달러의 웨어러블 기기 시장과 약 114억 달러의 사물인터넷 시장(2018, IDC) 관련 산업과의 융·복합적인 서비스로 연계되어 앞으로의 더 큰 성장이 기대된다. 4차 산업혁명시대를 위한 ICT 산업의 활성화와 더불어, 디지털 헬스케어, 스마트 홈/시티 등의 신개념 서비스 산업의 창출이 기대되어 IT 소재/부품 분야와 장비/설비업체의 창업 및 기존 기업의 임종전환이 예상되어 기술개발에 따른 사회적 전망도 밝은 것으로 기대되고 있다.



비선형 구조체의 계층구조 이미지와 실제 사용된 구조체의 실물 사진 / 평형 히트싱크와 인체모사 히트싱크 사진과 히트싱크에 따른 열전소자의 발전출력 실험 결과 / 착용형 열전복합모듈에 의한 LED 램프 실험 사진

Real Story

고효율의 열전복합모듈을 얻기 위하여 소재 기술 외에도 열전소자 및 특성 측정 관련 물리적, 건식접촉 소자 및 방열소자 관련 기계공학, 열전소자 설계 관련 전기공학, 전력관리회로 관련 전자공학 등 다양한 기술의 융합이 필요하였다. 다양한 계층의 다양한 전공의 연구자로 구성된 융합 프로젝트에서 힘여 연구행렬의 도전적인 연구를 통해 세계 최고 수준의 출력밀도를 가진 체열기반 열전복합모듈의 구현이 가능하였다.

주요 연구개발 성과

- 논문
Nonlinear Frameworks for Reversible and Purposive Writing on Topographic Surfaces, Advanced Materials (2017), DOI:10.1002/adma.201605078

특허

- 온도 반응성 능동형 계층 구조를 이용한 열저항 히트싱크, 한국, 2017-0146938

사업화

- 3w방법을 이용한 열전도도 측정 기술 (주세라움/주세라움), 110억원

용어해설

열전효과
열전발전소자에서의 열전 효과는 재료효과를 말하며, 온도차가 있는 소재에서 전기가 발생하는 효과로, 1821년 독일의 제백에 의해 발견된 현.