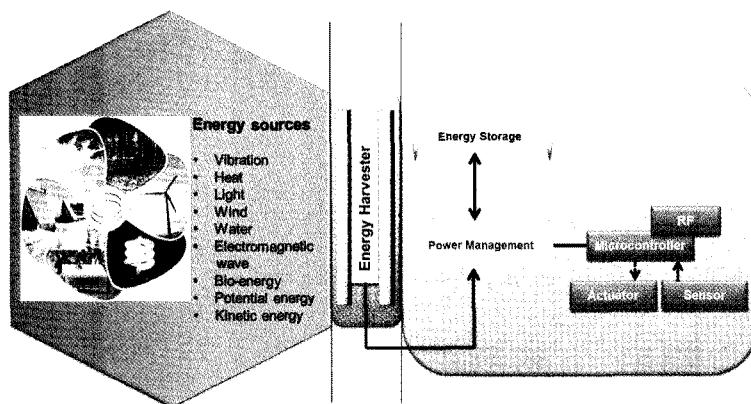


인체의 물리적 에너지 이용해 전력 생산한다



▶ 에너지 수학 기술 개념도

현대사회는 시간과 장소에 구애 받지 않고 누구나 정보를 자유롭게 이용할 수 있는 유비쿼터스 지식 사회로 변하고 있다. 여기에 스마트 폰, 태블릿 PC와 같은 휴대용 IT 기기의 발달은 유비쿼터스 지식 사회의 발달을 가속시키고 있으며 의료, 가전, 통신 등 전 산업에 걸쳐 광범위하게 영향을 주고 있다.

휴대용 IT 기기들이 점점 소형화되고 고기능화되는 반면, 배터리와 같은 전기 에너지원의 발달은 상대적으로 더딘 편으로 배터리의 충전 및 유지, 보수 방식은 IT 기기의 개발 초기와 크게 달라진 바가 없다. 특히 도심이 아닌 야외에서는 배터리를 충전할 수 있는 방법이 태양전지를 이용하는 방법 외에는 딱히 없는 실정이다. 이에 따라 기존의 전기 에너지원을 대체할 수 있는 방안으로 주위 환경으로부터 에너지를 수학하여 전력으로 변환하는 에너지 수학 기술에 대한 수요와 그에 따른 연구가 증가하고 있다.

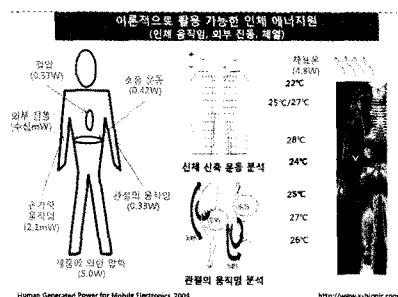


글 김용준 연세대학교
기계공학과 교수
yjk@yonsei.ac.kr
글쓴이는 연세대학교 전기
공학과 졸업 후 미주리대학
캘리포니아캠퍼스에서
석사학위를, 조지아공대에
서 박사학위를 받았으며 삼
성전자 중앙연구소 책임연
구원 등을 지냈다. 현재 파
이오니어 사업 인체에너지
융합연구단 단장 등을 겸임
하고 있다.

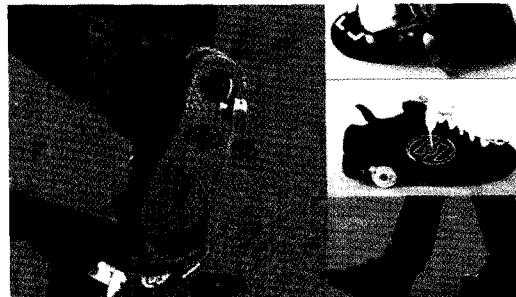
진동, 열, 태양 등에서 친환경 에너지 수학

에너지 수학 기술이란 외부환경에서 얻을 수 있는 진동, 열, 태양 등의 다양한 형태의 에너지 등을 흡수하여 압전 및 열전 소자, 태양 전지와 같은 에너지 수학 소자를 통해 전기에너지로 변환 후 전력으로 사용할 수 있는 기술이다. 이는 궁극적으로 추가적인 에너지 공급 없이 주변의 에너지를 이용하여 전자기기를 독립적으로 구동 가능하도록 하는 친환경 기술이라 할 수 있다.

현재 실생활에 사용되고 있는 에너지 수학 기술은 주변의 진동이나 충격 등의 운동 에너지로부터 전기를 얻을 수 있는 압전 방식, 온도 차에 의한 제베크 효과를 이용하여 전기를 얻을 수 있는 열전 방식, 태양광 에너지를 이용한 발전 방식 등이 있다. 이 중 압전 에너지 수학 방식은 압전 물질에 압력이 가해지거나 변형이 생기면 전기가 발생하는 특성을 이용한 것이다. 이스라엘의 이노와테크의 경우 자동차 도



▶ 인체 에너지원의 종류



▶ 현재 보고된 인체에너지 수확 소자



로, 기차 선도, 공항 활주로 및 사람들이 다니는 보도에 압전 소자가 들어간 블록을 설치하여 무게, 움직임, 그리고 진동에 의해 야기되는 기계적 에너지를 이용하여 전기를 발생시키고, 교통신호등, 거리조명등 등 도로시설물 운영을 위한 에너지원으로 사용하는 기술을 개발하였다. 또한 일본의 NEC-도킨은 고속도로에서 자동차가 달릴 때 발생하는 바람을 이용하여 도로지시등을 점등하는 기술을 선보였다.

또 다른 에너지 수확 방식인 열전 방식은 서로 다른 종류의 금속으로 이루어진 폐회로에서 양 접점의 온도가 다를 때 전류가 흐르는 현상인 제베크 효과를 이용한다. 일례로 독일의 BMW와 벤츠에서는 자동차 머플러에 열전 소재를 입혀 폐열을 전기로 바꾼 후 다시 엔진의 보조 전력으로 사용하거나 자동차 시트의 냉·난방 등에 활용하는 기술을 개발하고 있다. 이 기술은 자동차 엔진 효율에는 아무런 간섭 없이 전기에너지를 충전함으로써 약 10% 이상의 연료 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되고 있다.

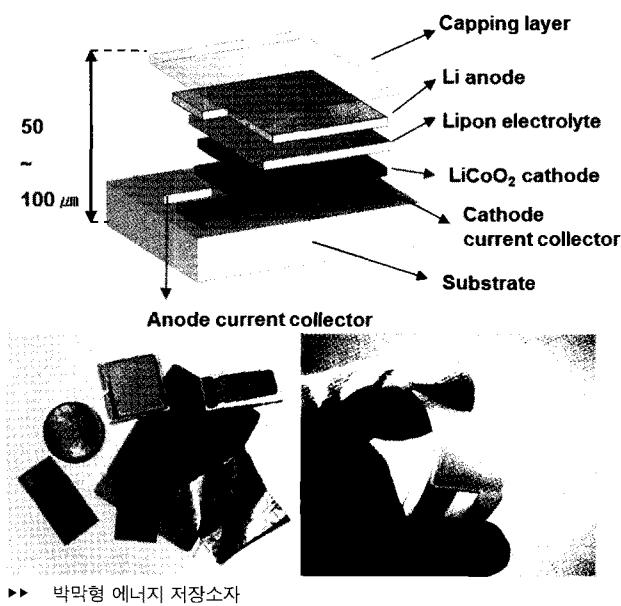
인체를 에너지원으로 하는 에너지 수확 기법

그러나 지금까지 보고된 에너지 수확 관련 기술 연구는 대다수 진동이나 열, 태양광 등의 하나의 에너지원에서 에너지를 수확하기 위한 연구로 진행되었으며, 에너지 수확에 있어서 장소와 환경의 제약을 많이 받는 단점을 지닌다. 따라서 장소와 환경의 제약을 받지 않으면서 다양한 에너지원을 지속적으로 공급할 수 있는 주변환경으로 관심이 모아지고 있다. 이에 지속적으로 에너지를 공급할 수 있는 가장 대표적인 주변 환경인 인체를 에너지원으로 하는 에너지 수확 기법이 관심을 받고 있다. 인체의 움직임

을 통해 얻을 수 있는 진동, 굽힘 에너지와 체열 및 외부 온도의 변화로 인한 열에너지 수확은 지속적인 에너지 생산이 가능하다는 장점을 가진다. 하지만 다른 에너지원에 비해 상대적으로 수확할 수 있는 에너지량이 미약하기 때문에 인체의 물리적인 에너지를 전기 에너지로 전환하는 에너지 수확 시스템을 구현하기 위해서는 아직 해결해야 하는 많은 장벽들이 있다.

인체의 움직임을 이용한 에너지 수확 기술은 미국을 중심으로 연구가 활발히 진행되어 왔다. 1998년 파라디조 교수가 이끄는 MIT 미디어랩에서는 압전 물질인 폴리비닐리덴 불화물(PVDF)을 신발의 뒤크침에 부착하여 보행 시 발생하는 충격으로 평균 1.3mV의 에너지를 수확할 수 있는 에너지 수확 소자를 개발하였다. 이를 시작으로 이후 각 대학 및 DARPA를 비롯한 많은 연구 기관에서 인체 에너지 수확 소자에 대한 관심을 가지고 연구를 진행하였다. 2005년 펜실베니아 주립 대학의 톰 교수는 사람이 걸을 때마다 발생하는 진동 에너지를 이용하여 약 1W의 에너지를 수확할 수 있는 에너지 수확 배낭을 개발하였으며, 2008년 캐나다의 바이오닉파워에서는 보행 시 무릎이 굽혀졌다 펴지는 것을 이용하여 무릎 관절에 부착하는 형태의 에너지 수확 소자를 개발하여 판매하고 있다.

이와 같이 현재까지 보고된 인체의 움직임을 이용한 에너지 수확 소자 기술은 보행 시 발생하는 신발 뒤크침의 충격, 배낭의 진동, 무릎과 같은 관절의 움직임 등을 이용하는 방법이 대부분이다. 이러한 방법들은 인체 에너지를 수확함과 동시에 일상생활에 불편을 주게 된다. 즉, 에너지 수확을 위해 신발의 착용감 하락과 배낭의 무게 증가, 관절에 불필요한 힘이 추가로 걸리는 등의 부작용이 발생



하는 것이다. 이를 해결하기 위해서는 나노·마이크로 기술을 이용한 에너지 수확 소자의 소형화와 함께 일상생활에 불편함이 없는 비구속적인 패키징 기법이 요구된다.

인체의 불안정·불규칙·불연속성 극복이 숙제

인간 운동 주파수 스펙트럼을 분석하여 보면 관찰되는 에너지는 대부분 10Hz 이하의 주파수 대역이 주를 이루고 있다. 하지만 에너지 수확 소자의 소형화에 따른 탄성체의 탄성계수와 관성 질량의 무게 한계로 인해 수십Hz 이하의 주파수를 확보하기가 어려우므로 인체 에너지 수확을 위해 기존의 수확 소자 구조를 그대로 적용하는 것은 적합하지 않다. 따라서 효율적인 에너지 생산을 위해서는 저주파 진동에너지를 수확할 수 있는 에너지 수확 소자가 필요하며, 이와 함께 일상생활에 불편함이 없는 비구속적 에너지 수확을 위해서는 의복에 적용이 가능한 직물, 모직형 에너지 수확 소자 제작 기법이 필요하다. 이에 많은 연구자들이 에너지 수확 소자의 주파수 대역을 낮추거나 주파수 대역 폭을 넓히려는 연구와 함께 직물과 에너지 수확 소자를 결합하는 방안에 관한 연구를 진행하고 있다.

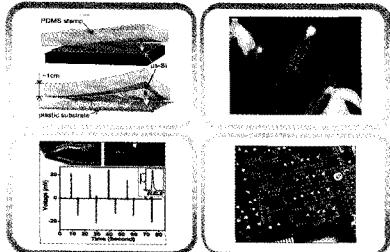
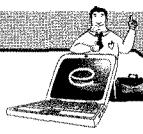
에너지 수확 소자가 획득하게 되는 인체 에너지 수확 전력량은 수 $\mu\text{W} \sim \text{mW}$ 의 매우 적은 양이다. 따라서 전력전송의 손실을 최소화하기 위하여 일정 에너지량이 될 때까지 수

학 에너지를 클러스터에 임시 저장하게 되고, 그 후 전력 전송 및 저장의 단계에 이르게 된다. 이처럼 에너지를 수확하여 사용할 수 있는 전력을 만들기 위해서는 미소 전력을 모을 수 있는 에너지 저장 소자가 필수적이다. 기존에 개발된 슈퍼캐패시터·전지는 2차원적 구조를 가지며 전극 자체의 용량이 대용적 장치에 비해 높지 않으므로 실제 적용을 위한 에너지 저장 수준에 미치지 못한다. 따라서 미소 전력을 생산하는 에너지 수확 장치의 특성에 부합하는 자가방전을 최소화하는 전지 개발과 의복화 패키징을 고려하여 온도, 습도와 같은 환경 변화에 대해 감수성이 낮은 에너지 저장 시스템 개발이 필요하다.

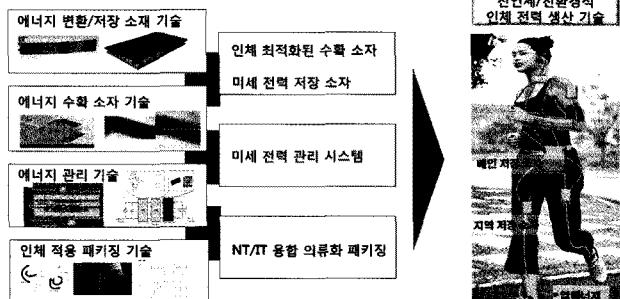
과거 초기 에너지 수확 기술에 관한 연구의 대부분은 에너지 수확 소자에 국한되었으며, 주어진 환경에서 고효율 에너지 수확 소자 개발이 주된 목적이었다. 이후 점차 에너지 수확 소자의 효율과 함께 생성된 전력을 전송하기 위한 인터페이스 회로의 역할이 부각되면서 1997년부터 에너지 회로를 형성하기 위한 기본적인 개념들이 도출되기 시작하였다. 펜실베니아 주립 대학과 렌셀러 폴리테크닉 대학 등에서는 일찍이 에너지 수확 소자의 인터페이스 회로기술의 중요성을 인식하여 관련 연구를 진행하고 있다. 이 기관들은 미소 전력의 저전력 및 높은 변환효율을 갖는 AC/DC 변환 회로 기술에 대한 연구를 중점적으로 하고 있으며, 미소 전력의 AC/DC 변환효율을 약 400% 가까이 끌어올리는 연구 성과를 발표한 바가 있다.

하지만 제안된 컨트롤러가 4~6mW의 외부 전력을 추가로 소비하는 등 실제적 응용에는 제약이 많고, 전력 변환을 위한 DC-DC 변환 회로의 경우 70%의 비교적 낮은 변환효율을 보이고 있어 미소 전력을 관리하는 인체 에너지 수확 시스템에 적용하기에는 실효성이 의문시된다. 따라서 생산된 미소 전력을 효율적으로 관리하기 위해서는 인체 에너지 수확 소자에 따른 최적화된 정류·승압·정전압회로와 함께 역류 방지용 자력스위치회로가 포함된 복합적인 인터페이스 회로의 개발과 클러스터 구성을 위한 전력감지 기술과 저장장치의 보호회로 기술 개발이 중요하다.

인체의 활동을 방해하지 않으면서 인체 에너지 수확을 극대화하기 위해서는 에너지 수확 소자, 관리 회로, 저장 소자와 인체 간의 적합한 대응 구조 연구가 필요하다. 이를



▶▶ 의복 패키징 기술 개념도



▶▶ 인체 에너지 수확 시스템 개념도

위해서는 인체의 활동, 환경에 따른 인체의 변화 현상을 실증적으로 고찰하고 그 결과에 기반하여 진동, 열, 굽힘 등의 각각의 에너지 수확 소자에 적합한 인체 부위를 선정해야 한다. 또한 에너지 수확 기술과 섬유소재 기술 간의 융합을 통해 구속적이지 않고 지속적인 에너지 수확이 가능한 의복화 기술 개발 및 인체의 대면적을 충분히 활용하기 위한 인체적합형 패키징 기술 관련 연구가 필요하다.

지금까지의 내용을 정리해보면 인체의 물리적인 에너지를 전환하기 위한 전력 생산 시스템을 구현하기 위해서는 우선 인체의 불안정성, 불규칙성, 불연속성 등이 반드시 고려돼야 한다. 인체에서 발생하는 물리적 에너지는 환경의 전환 및 시간의 경과에 따라 변화하기 때문에 이에 대한 환경 적응성이 향상된 에너지 수확 소자의 개발은 효과적인 인체 에너지의 활용을 위해서 필수 불가결한 요소이다. 둘째, 생산된 전력이 미소 전력이기 때문에 이를 효율적으로 관리하고 저장하기 위한 수확 소자와 에너지 저장 소자 간의 인터페이스 회로 기술 및 에너지 저장 소자 기반 기술이 필요하다. 마지막으로 개발된 시스템을 인체에 효과적으로 적용하기 위해 시스템의 편이성 및 내구성 등이 반드시 고려되어야 한다. 이는 착용성을 극대화하여 일상생활에 영향을 주지 않는 동시에 무의식적 수확이 가능하도록 하기 위해 반드시 수반되어야 하는 요소이다.

2016년에 의류화 패키징 완료 예정

현재 교육과학기술부에서 추진하는 미래 유망 융합 기술 파이오니어 사업 중 하나인 '인체에너지변환 융합연구단'은 이러한 내용을 바탕으로 인체 에너지를 수확하여 사용할 수 있는 하나의 시스템 구현을 목적으로 하고 있으며, 현재 대학 및 KIST, 삼성전자와 협력하여 기계, 전자,

화학, 신소재 공학, 의류학 등 다양한 분야의 전문가와 함께 새로운 개념의 에너지 원천 기술을 개발 중이다.

연구단에서는 2010년부터 운동 생리학 전문가의 자문과 인체 열화상 촬영 및 모션캡처 시스템을 이용하여 체열 및 움직임을 분석하고, 이를 바탕으로 인체 에너지 수확에 적합한 적물형 에너지 수확 소자와 저진동 에너지 수확 소자 및 체열 에너지 수확 소자에 관한 연구를 하고 있다. 이와 함께 에너지 수확 효율을 향상시키기 위한 압전 및 열전 재료의 개발, 수확한 전력을 저장하기 위한 에너지 저장 소재 및 공정 개발, 그리고 수확한 미소 전력을 저장 소재로 전달하기 위한 저손실 인터페이스 회로 개발이 진행되고 있다. 현재 개발 중인 에너지 수확 시스템은 각 요소 기술을 융합하여 2016년경에 의류화 패키징을 완료한 형태로 선보일 예정이며, 추후 상용화를 통해 실생활에 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

인체에너지변환 융합연구단에서 개발 중인 인체 에너지 수확 기술은 기존의 유선 전원 공급이나 충전 방식을 대체하여 전선 없이 언제 어디서나 전력 생산을 가능하게 함으로써, 스마트 의류 및 휴대용 IT기기를 위한 부분·보조전력으로 지속적이면서도 편리하게 공급하는 방편을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 연구를 통해 확보될 진동·열전 에너지 변환 기술은 단순 인체 에너지로부터 전력 에너지를 생산하는데 그칠 것이 아니라 그 기술의 범위를 거시적인 관점으로 확장하여 기타 환경에서 활용 가능한 에너지원을 수확하는 미래 청정에너지 변환기술로 활용될 수 있으며, IT·BT·ET 산업 전반에 걸쳐 막대한 영향을 끼칠 것으로 예상된다. **ST**