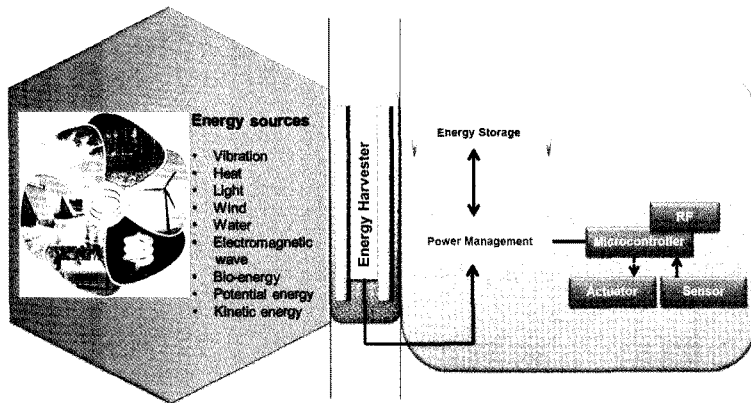


# 인체의 물리적 에너지 이용해 전력 생산한다



▶ 에너지 수확 기술 개념도

현대사회는 시간과 장소에 구애 받지 않고 누구나 정보를 자유롭게 이용할 수 있는 유비쿼터스 지식 사회로 변하고 있다. 여기에 스마트폰, 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 수확하여 전력으로 변환하는 에너지 수확 기술에 대한 수요와 그에 따른 연구가 증가하고 있다.

## 진동, 열, 태양 등에서 친환경 에너지 수확

에너지 수확 기술이란 외부환경에서 얻을 수 있는 진동, 열, 태양 등의 다양한 형태의 에너지 등을 흡수하여 압전 및 열전 소자, 태양전지와 같은 에너지 수확 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.

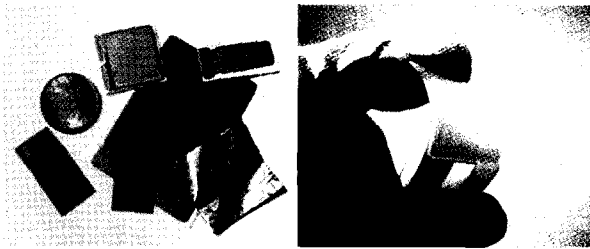
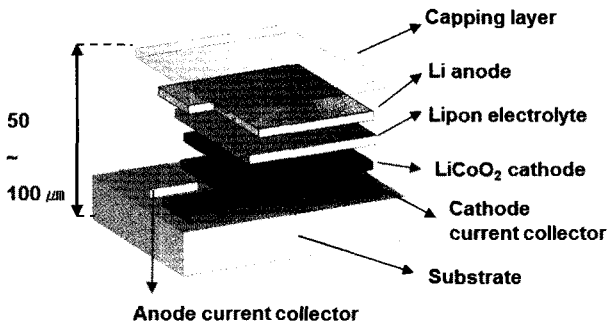
현재 실생활에 사용되고 있는 에너지 수확 기술은 주변의 진동이나 충격 등의 운동 에너지로부터 전기를 얻을 수 있는 압전 방식, 온도차에 의한 제베크 효과를 이용하여 전기를 얻을 수 있는 열전 방식, 태양광 에너지를 이용한 발전 방식 등이 있다. 이 중 압전 에너지 수확 방식은 압전 물질에 압력이 가해지거나 변형이 생기면 전기가 발생하는 특성을 이용한 것이다. 이스라엘의 이노와테크의 경우 자동차 도



글 김용준 연세대학교 기계공학과 교수  
yjk@yonsei.ac.kr

글쓴이는 연세대학교 전기공학과 졸업 후 미주리대학교 캘리포니아캠퍼스에서 석사학위를, 조지아공대에서 박사학위를 받았으며 삼성전자 중앙연구소 책임연구원 등을 지냈다. 현재 바이오에너지 융합연구단 단장 등을 겸임하고 있다.





▶▶ 박막형 에너지 저장소자

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 진동 에너지를 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 방안 에 관한 연구를 진행하고 있다.

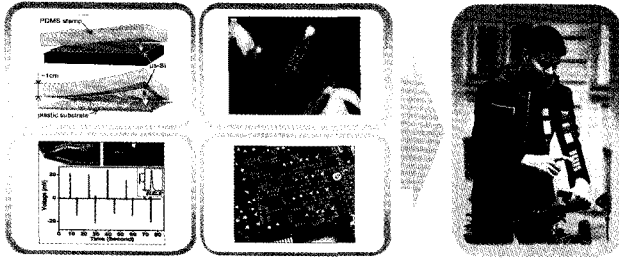
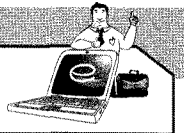
에너지 수확 소자가 획득하게 되는 인체 에너지 수확 전력량은 수  $\mu W$ ~ $mW$ 의 매우 적은 양이다. 따라서 전력전송의 손실을 최소화하기 위하여 일정 에너지량이 될 때까지 수

확 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 대응적 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. 펜실베이니아 주립 대학과 렌셀러 폴리테크닉 대학 등에서는 일찍이 에너지 수확 소자의 인터페이스 회로 기술의 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



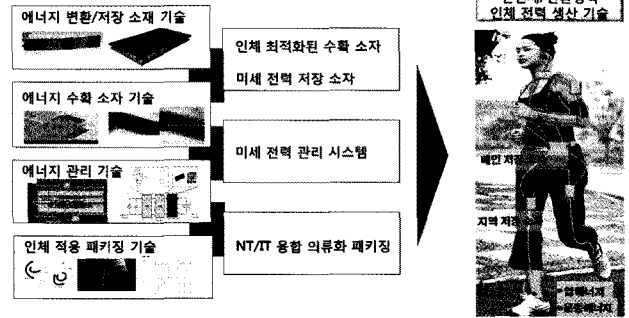
▶ 의복 패키징 기술 개념도

위해서는 인체의 활동, 환경에 따른 인체의 변화 현상을 실증적으로 고찰하고 그 결과에 기반하여 진동, 열, 압력 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 고려되어야 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 소재 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,



▶ 인체 에너지 수확 시스템 개념도

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 직물형 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 방안을 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 관찰 가능한 에너지원을 수확하는 미래 청정에너지 변환기술로 활용될 수 있으며, IT·BT·ET 산업 전반에 걸쳐 막대한 영향을 끼칠 것으로 예상된다. **ST**