

마이크로 에너지 수확 : Still Scientific Curiosity?

김재은*

(대구가톨릭대학교 기계자동차공학부)

핵심 IT 산업군을 형성하며, 미래 유비쿼터스(ubiquitous) 사회를 견인하고 있는 'RFID/USN 산업'의 급성장 속에서 마이크로 에너지 수확 기술은 그 한 축을 함께 할 준비가 되어 있다. 이에 마이크로 에너지 수확 기술 분야의 개요 및 최근 동향에 대해 살펴보고자 한다.

1. 머리말

에너지 수확(energy harvesting)이란 자연 또는 생활 환경에서 일상으로 존재하지만 쓸모 없이 버려지는 다양한 형태의 에너지를 획득(capturing) 후 전기 에너지로 변환(transduction)하여 이를 축적(accumulating), 저장(storing), 전력 관리(power condition & management) 등의 일련의 과정을 통해 다양한 응용 분야에 지속적으로 공급(supply)하기 위한 관련 기술 분야로 정의된다. 문헌에서는 이 기술과 관련하여 다양한 용어(energy (power) scavenging, -generation, -reclamation 등)를 사용해 오고 있으나, 에너지 변환 관점에서 보면 사실 이는 오래 전 개발되었던 수차, 풍차 및 태양열 시스템 등에서 그 근원을 찾을 수 있다. 여기서 시작된 풍력, 태양광/태양열, 조력, 지열 등의 재생 친환경 에너지에 대한 관심은 최근 전 세계적인 화석 연료 자원의 고갈로 인한 에너지 시장 불안과 온실 가스로 인한 지구 온난화에 따른 환경 문제에 대한 인식이 높아지면서 다시금 높은 관심을 받고 있다. 그런데, 이러한 에너지 수확 기술은 kW급에서 MW급에 이르는 대규모 전력을 생산하기 때문에 매크로(macro) 에너지 수확이라고 불리기도 하며 기존의 전력망에 대한 보완 및 대안으로서의

의미가 있다.

한편, 최근 비약적으로 진행되고 있는 유비쿼터스(ubiquitous) 지식 정보 사회의 전개로 인한 IT 환경의 변화는 휴대용/무선 전자 장비, 무선 센서 네트워크의 센서 노드 등의 전원으로서 사용되어 왔던 기존 배터리를 대체/보완할 수 있는 지속 가능한(sustainable) 전원 개발을 요구하게 되었다. 이러한 요구에 부응하고자 1980년대 후반부터 그 기술이 태동한 분야를 마이크로(micro) 에너지 수확이라고 한다. 마이크로 에너지 수확 기술이 대상으로 하는 에너지 원으로는 빛(solar, artificial light), 열 구배(thermal difference), 진동(environmental/machinery vibration), 인간의 동작(human motion), RF파, 소리(sound), 유체유동(fluid flow) 에너지 등이 있으나 대부분 그 발생 전력량이 μW 에서 기껏해야 mW 에 이른다. 그러나, 최근 전기 전자 회로 기술의 발달로 인해 변화된 환경은 이 미소한 전력량도 의미 있게 하였으며, 바야흐로 미래 유비쿼터스 사회의 필수적인 요소인 무선 센서 네트워크의 센서 노드를 배터리 없이 구동 가능하게 하는 시대가 왔다. 이 글에서는 마이크로 에너지 수확 기술의 다양한 응용 가능 분야에 대해 살펴보면서, 국내 및 해외 기술의 현 주소를 제시하고자 한다.

* E-mail : jekim@cu.ac.kr / (053) 850-2657

2. 기술적 배경, 종류 및 구성 요소

2.1 마이크로 에너지 수확의 기술적 배경

최근 비약적으로 발전해온 무선 통신 기술 및 배터리는 신호 전송선 뿐만 아니라 외부 전력선 조차 불필요한 무선 전자 제품의 개발을 가져왔다. 그러나, 다양한 소비자의 요구에 부응하기 위해 꾸준히 증가되는 휴대용 IT 기기 기능의 부가는 추가적인 에너지 소비를 요구한다. 또한, 원격지 무선 센서 노드에 사용되는 배터리는 주변 환경에 따른 예상치 못한 방전으로 인해 정보 전송의 신뢰성에도 문제가 발생할 여지가 있으며, 배터리 교체에 따른 노동 비용이 부가되어 시스템의 총 유지 비용을 증가시킨다. 그 어느 경우에도 전력 유지를 위한 배터리의 교환은 배터리 폐기로 인한 환경 오염의 문제 또한 가지고 있다. 마지막으로 현재 각종 전자 제품에 사용되는 배터리는 그 사용 시간에 있어서 상당히 제한적이다. 그 동안의 반도체를 포함한 전자 부품 관련 기술은 상당한 발전을 하였지만, 반면 전원 배터리 기술은 기껏해야 같은 기간 중 2 배 정도의 발전을 이루었을 뿐이다(Paradiso and Starner(2005)). 이러한 사항들을 고려해 볼 때 마이크로 에너지 수확 기술은 무선 휴대용 전자 제품에 사용되어 온 배터리 중심의 전기 에너지 공급원에 대한 대안으로서 발생하였다고 볼 수 있다. 더욱이, 대상으로 하는 에너지 원은 주위 환경 어디에나 존재하는 무한정의 친환경 에너지이기 때문에 그 사용량에 제한이 없다. 그러나, 이 기술이 계속 연구되어 오면서 현실화될 수 있었던 중요한 기술적 배경으로는 무선 기술의 발전, MEMS 및 지능 재료 기술의 발전으로 인한 소형 센서/트랜스듀서 관련 기술의 발전과 더불어 CMOS 회로 및 VLSI 설계 기술의 발전으로 인한 저전력(ULP : ultra low power) 전자 소자

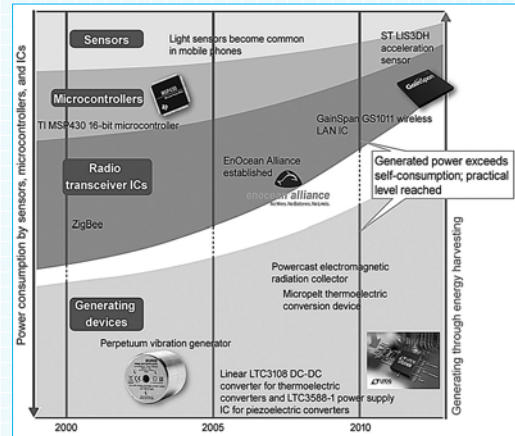


그림 1 하드웨어 전력 소모량 대비 마이크로 에너지 수확 장치의 발생 전력량
(Nikkei Elec-tronics Asia, Nov., 2010)

기술의 발전이 제일 큰 영향을 미쳤을 것이다(그림 1). 현재에는 수백 μW 급의 전력으로도 구동되는 센서 노드가 상용화되어 마이크로 에너지 수확 장치를 전원으로 하는 무선 센서 네트워크(WSN : wireless sensor network)의 구현이 가능하다. 또한, 배터리 없이 지속적으로 유지 가능한 무선 센서 네트워크 뿐만 아니라 소형 휴대용 전자 제품의 전력원에 대한 보완 및 대체 수단을 제공하여 자급 충전(self-sufficient) 전자 제품을 가능하게 하기에 미래의 유비쿼터스 사회는 더욱 새로운 국면을 맞이하게 될 것이다.

2.2 마이크로 에너지 수확 기술의 종류

마이크로 에너지 수확 기술이 대상으로 하는 에너지 원은 다양하게 존재하나 현실적으로 가용한 출력 파워 밀도 크기를 고려하면 일반적으로 다음과 같은 것들이 주로 연구되어 왔다.

· 태양광 및 인공 빛

마이크로 에너지 수확에 대한 연구가 본격

적으로 진행되어 온 2000년 초부터의 기간 중에 단일 에너지 원으로서 빛을 이용한 마이크로 에너지 수확 관련 연구는 많지 않다. 이는 태양광을 이용한 발전이 이미 기존의 신재생 에너지 분야에서 연구/개발되어 왔기 때문이며, 출력에 있어서 태양광 에너지 수확은 매크로 분야에 더욱 적합하기 때문이다. 그러나, 태양광을 에너지 원으로 하되 에너지 수확 장치의 규모가 응용 분야의 특성으로 인해 매우 작거나, 태양을 제외한 실내 인공 빛을 이용하는 경우에는 마이크로 에너지 수확의 한 분야로서 취급이 가능하다. 에너지 변환 수단으로 사용되는 태양 전지 셀은 실리콘 및 기타 화합물을 포함한 무기물, 유기물, 그리고 연료 감응형 등으로 구분되며, 광전 효과(photoelectric effect)에 의해 전기가 발생한다(그림 2(a)). 이 중 최대 효율을 보이는 단결정 실리콘 태양 전지의 이론상 최대 효율은 약 29% 정도가 되는 것으로 알려져 있으나 현실적으로는 약 15~20% 정도이다. 그러나, 실내 인공 빛을 이용하여 전기 에너지로 변환할 경우에는 빛 주파수 분포의 특성상 오히려 박막으로 제조되는 비결정질 실리콘(a-Si) 및 CdTe 계열이 효율 5~10% 정도로서 더욱 적합한 것으로 알려져 있다. 태양 전지는 단위 셀당 무부하 출력 전압이 낮아서 일반적으로 여러 개를 직렬로 연결하여 사용하고 대체로 안정적인 직류 전압을 제공한다. 그러나, 온도 및 조광 조건에 따른 I-V 특성의 변동과 최대 전력을 고려하여 일반적으로 전압 조정기(voltage regulator)가 필요하며 또한 충전을 위한 2차 전지와 같이 사용된다.

· 열 구배

열전 현상 중 Seebeck 효과를 이용하여 전기를 발생시키는 마이크로 에너지 수확 기술이다. 그림 2(b)에 보인 바와 같이 서로 다른 두

종류의 전도체로 이루어진 열전대(thermocouple)의 두 접점들이 서로 다른 온도(ΔT)에 놓일 때 다음과 같은 식에 의해 전압이 발생한다.

$$V_{oc} = \alpha_1 \Delta T - \alpha_2 \Delta T \quad (1)$$

위의 식 (1)에서 α_1 및 α_2 는 각 물질의 Seebeck 계수로서 일반적으로 이 값이 큰 반도체를 사용하고 p형과 n형의 반도체에서는 서로 다른 부호를 가지므로 전압이 더해진다. 열전 에너지 수확에서는 다수의 열전대를 전기적으로는 직렬로, 열적으로는 병렬로 배열하여 열전대열(thermo-pile)을 형성한다. 따라서, 이 방법을 통해 최대 전력을 얻기 위해서는 열 발산을 효과적으로 하기 위한 방사판(radiator), 열 분기(thermal shunt) 등을 포함하여 열전대열을 최적으로 설계하는 것이 필요하다.

· 환경 및 기계 진동

환경 및 기계류의 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하는 에너지 수확 기술로서 마이크로 에너지 수확 분야에서 가장 폭넓고 다양한 연구가 진행되어 온 분야이다. 이는 전술한 바와 같이 2000년도 중반이 넘어서야 저전력 전력 관리 회로 및 이를 통해 작동이 되는 무선 센서 노드가 상용화되어 그 적용 가능성이 보였기 때문이라 생각된다. 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하기 위해서는 적당한 에너지 변환 수단이 필요한데 MEMS 분야에서는 이미 전도성 평행판 사이의 거리 및 축전 에너지와의 관계에 기반한 정전기(electrostatics) 현상을 이용하여 왔다. 또한, Faraday의 전자기 유도 현상 또한 초기 진동 기반 마이크로 에너지 수확 기술 태동기부터 적용되어 왔으며, 최근에는 압전, 자기 변형 물질 등 지능 재료를 이용한 연구가 활발히 진행되어

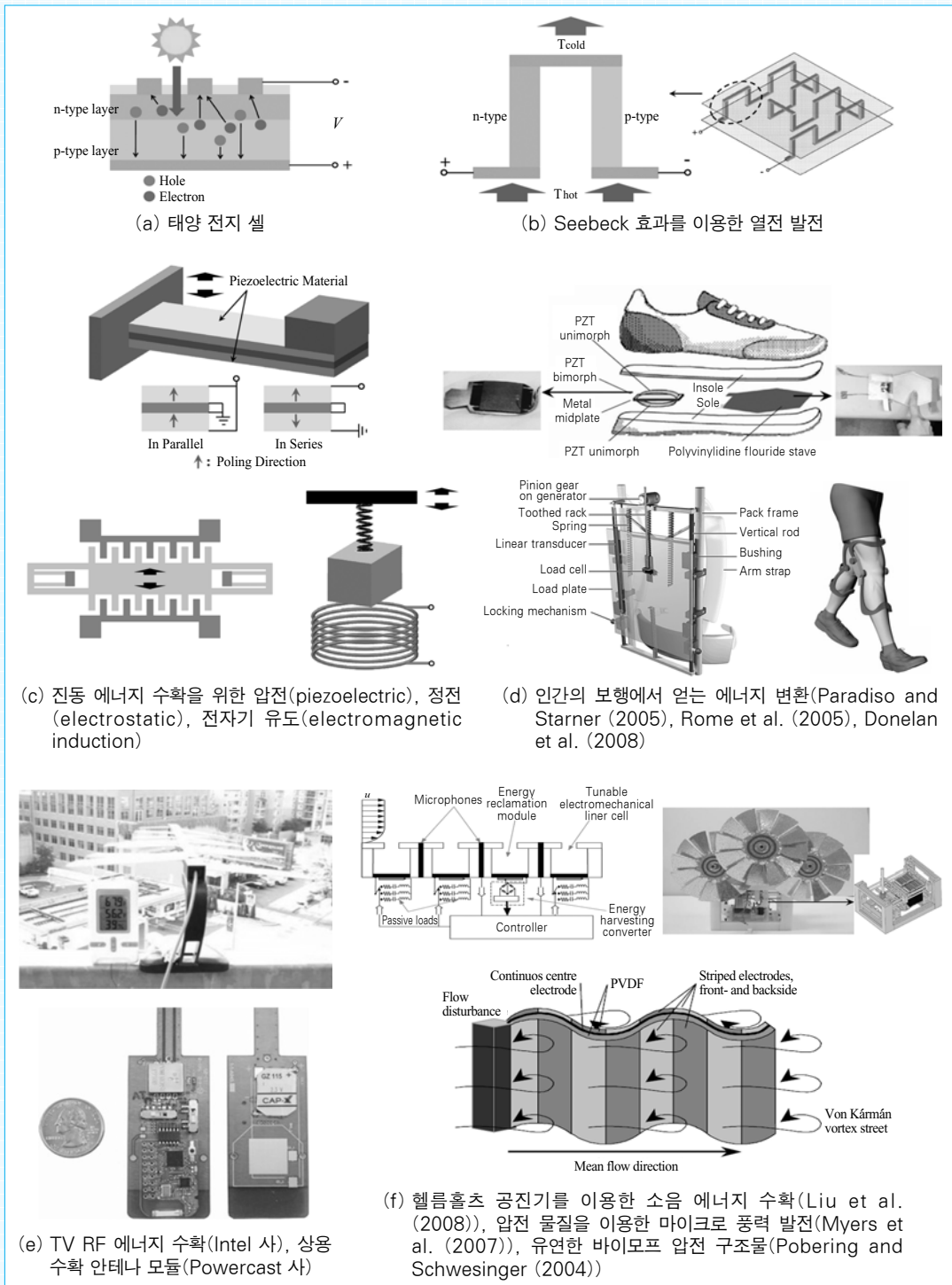


그림 2 마이크로 에너지 수확의 다양한 전력 변환 메커니즘

표 1 진동 에너지 변환 수단의 에너지 밀도

Type	Practical maximum (mJ/cm ²)	Aggressive maximum (mJ/cm ²)
Piezoelectric	35.4	335
Electrostatic	4	44
Electromagnetic	24.8	400

(Roundy et al. (2005))

왔다. 특히, 압전 물질은 다른 진동 에너지 변환 수단에 비해 상대적으로 높은 에너지 변환 효율, 구성의 간단함 및 소형화의 가능성 등으로 인해 전망이 높다(표 1). 진동 에너지를 효과적으로 변환하기 위해서는 앞서 열거한 변환 수단 중 2개 이상의 선택도 가능한데, 특히 자기 변형 물질 및 압전 물질을 적층하여 자기-전기(ME : magneto-electric) 효과를 이용할 수 있다. 이를 통해 외부 진동 에너지 및 그에 따라 변화하는 자기 에너지가 모두 전기 에너지로 변환 가능하여 압전 에너지 수확 장치보다 더욱 향상된 전력을 발생시키는 것으로 보고된 바 있다.

그런데, 진동 에너지 수확 장치의 가장 큰 단점은 외부 가진력의 주파수가 장치의 고유진동수와 일치하는 경우에만 최대 전력을 발생시키고 이를 벗어난 가진주파수에서는 생성 전력량이 급격히 감소한다는 점이다. 따라서, 이를 위해 능동 및 수동으로 에너지 수확 장치의 고유진동수를 조절하는 방법, 다자유도계로 구성하거나 비선형 진동을 이용하여 출력 주파수 대역폭을 넓히는 방법 등이 연구되고 있다.

· 인간의 동작

일반적으로 인간은 평균 약 120 W의 파워를 소모한다고 한다. 따라서, 일찍이 이러한 인간의 동작에서 에너지를 수확하고자 하는 노력이 있었다. 1980년대에 Seiko사는 전자기

유도에 의해 보행 중 인간의 팔 동작으로부터 수확한 전기 에너지를 손목 시계의 보조 전원 수단으로 사용한바 있으며, Freeplay사는 1990년대 초에 태엽을 감기 위한 손잡이가 달린 라디오, 랜턴 및 휴대폰 충전용 발전기를 출시한 바 있다. 2000년 무렵에는 미국 MIT대학을 중심으로 한 연구자들이 에너지 수확 장치가 부착된 신발을 개발하여 보행 중 에너지를 수확하고자 하였는데, 에너지 변환 수단으로는 앞서 진동 에너지 수확 장치에서 기술한 것들이 사용되었다. 이 외에도 Science지에는 무릎에 부착하여 보행 에너지 수확을 위한 장치 및 보행 시 배낭의 움직임에서 에너지를 얻고자 한 배낭 발전기 등이 소개되어 있다.

· RF 에너지

전력선이 없는 유비쿼터스 사회를 실현하기 위해서 사실 이미 오래 전에 발견된 원리를 이용한 또 하나의 시도가 이뤄지고 있다. 바로 '무선 전력 전송' 기술인데, 여기에는 전자기 유도 현상, RF 방사 및 자기 공명 현상 등이 이용된다. 그러나, 앞서 기술하였듯이 주변에 일상으로 존재하는 에너지를 이용하는 것이 에너지 수확의 정의라면 RF 방사를 제외한 방법들은 사실 발전이라기 보다는 에너지 전송 및 분배 기술이라고 할 수 있다. 라디오 방송, 휴대 전화, WiFi 무선 랜 신호 등 우리가 일상 생활에서 흔히 접하고 있는 무선 통신 시스템을 통해 정보 및 신호를 송수신하듯이 전기 에너지 역시 같은 방식으로 수확하는 것이 가능하다. 그러나, 주변에 존재하는 RF파의 파장에 적합한 작은 안테나를 설계하는 문제, 대기 상태에 따른 전력 감쇠 현상, 낮은 출력 파워 밀도 등은 아직도 해결해야 할 점이다.

· 기타

이 밖에도 소리 및 유체의 운동 에너지를 수

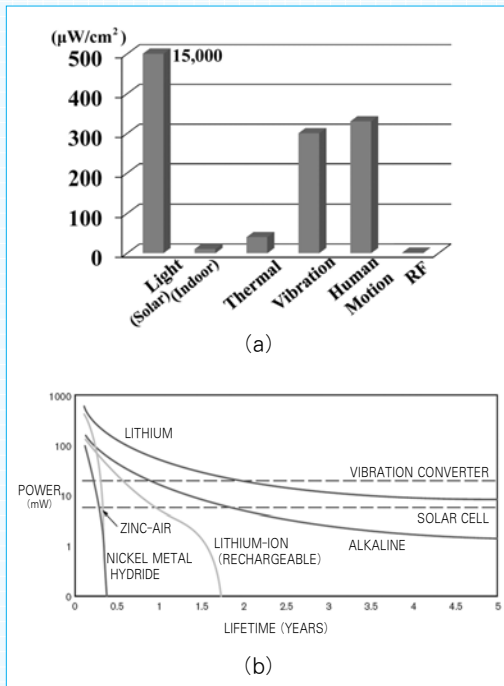


그림 3 (a) 에너지 수확 원에 대한 파워 밀도(Roundy et al. (2005)) 및 (b) 2차 전지와 비교(Roundy et al. (2003))

확하고자 하는 연구가 있었으며, 특히 고체 물리학의 포논 결정 구조에서의 파동 특성 등을 적절히 설계한다면 공기 중의 소리를 포함하여 구조물 내의 탄성과 에너지를 효과적으로 수확할 수 있다.

그림 3에 위에서 살펴 본 각 마이크로 에너지 수확 기술의 대상 에너지 원에 대한 파워 밀도를 비교하였다.

2.3 마이크로 에너지 수확 장치의 일반 구성

마이크로 에너지 수확 기술의 장점은 무엇보다도 그 에너지 원이 무한하고 자원 사용을 위해 환경을 거의 해치지 않는다는 점이다. 또한, 10년 이상 연구되어 오면서 장치의 크기는 점차 소형화되고 있지만 발생 전력은 증가되어 왔다. 그러나, 마이크로 에너지 수확

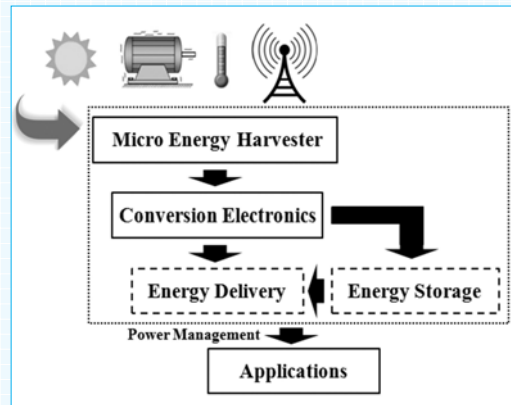


그림 4 마이크로 에너지 수확 장치의 구성

기술은 아직 발생 전력량이 미미하기 때문에 그림 4에 나타난 각 구성 요소에 대한 지속적인 개발이 필요하다.

· 에너지 수확 장치(energy harvester)

주변에 존재하는 다양한 에너지 원을 앞서 기술한 적당한 방법을 통해 전기 에너지로 변환하는 장치로서, 가장 효과적이고 유용하게 에너지를 수확하기 위한 첫 번째 관문에 해당하는 요소이므로 많은 연구자들의 관심 대상이 되어 왔다. 주로 단일 종류의 에너지 원을 수확하도록 설계되고 있으나 적용되는 분야의 주변 환경에 따라서 1개 이상의 에너지 원을 고려한 에너지 수확 장치의 설계가 필요할 수 있다. 예를 들면, 운송 수단에 장착된 무선 환경 센서는 운송 수단이 이동할 경우 진동을 에너지 원으로 할 수도 있으나 운행이 없는 낮의 경우에는 태양광 등을 에너지 원으로 사용하는 것이다.

· 전력 변환 회로(conversion electronics)

에너지 수확 장치를 통해 얻어진 전기는 대부분 저전압 직류이거나 교류이다. 따라서, 이러한 전기를 쓸모 있는 전기로 변환하기 위

한 목적의 회로이다. 저장 요소를 충전하거나 다른 전자 기기의 전원으로 사용하기 위해 일반적으로 정격 전압(예 : 1.8 V, 3.3 V)의 직류가 필요한데, 이를 위한 전력 변환 회로의 구성은 수확할 에너지 원에 따라서 그 구성이 정해진다. 즉, 빛이나 열 구배가 에너지 원일 경우 에너지 수확 장치에서 발생한 전기는 파워 밀도가 높은 저전압 직류이고, 진동원을 이용한 경우는 교류로서 에너지 변환 수단에 따른 출력 특성이 판이하다. 압전 재료를 이용한 진동 에너지 수확 장치의 경우 발생 전압은 높고 파워 밀도가 높지만 전자기 유도 현상을 이용한 경우 파워 밀도가 낮고 전압이 낮다. 따라서, 이 경우 고려해야 할 점은 에너지 수확 장치를 사용하여 얻어진 전기 에너지가 얼마나 유용한 에너지로 변환될 수 있는가이며 이것이 전력 회로의 효율성이다. 이를 위해 변환 에너지 효율을 높이기 위한 능동 임피던스 정합(impedance matching) 등의 회로에 관한 연구도 매우 중요하다.

· 에너지 저장 요소(energy storage)

마이크로 에너지 수확을 통해 얻을 수 있는 전력의 양이 적고 또한, 응용 분야의 운용 기간을 고려하면 에너지 저장 요소 역시 이 분야에서 매우 중요하다. 마이크로 에너지 수확 기술에 사용될 수 있는 에너지 저장 요소로는 기존의 일반적인 커패시터, 슈퍼 커패시터, 박막 전지 및 리튬 이온계의 2차 전지 등이 있다. 수확한 전기 에너지를 축적하거나 보존하는 요소로서 전기 누설이 적어야 함은 물론이다. 에너지 저장 요소는 에너지 공급 최종 대상물의 주변 환경이나 파워 요구량에 따라서 정해진다. 즉, 리튬 이온계의 2차 전지는 60도 이상의 높은 온도의 주변 환경에서는 바람직하지 않다. 그리고, 박막 전지의 경우 낮은 운용 온도에서는 최대 정격 전류가 수십 mA로

서 다른 요소보다 낮다. 또한, 슈퍼 커패시터를 포함한 커패시터 계열과 박막 전지와 같이 낮은 충전/방전에도 강해야 한다.

· 에너지 전달 요소(energy delivery)

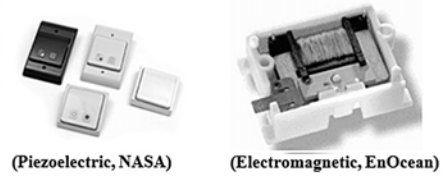
전기를 필요로 하는 최종 응용 분야에 적당한 전류 및 전압을 제공한다. 이는 에너지 저장 요소의 에너지 저장 및 파워 전달 특성을 보완하기 위해 필요하다. 예를 들면, 에너지 저장 능력이 높은 박막 전지의 경우 고전류를 전달하기 위해 부스트 커패시터를 사용할 수 있다. 또한, 더욱 안정된 직류 전압을 위해 전압 조정기가 필요한 경우도 있으며, 이 경우 에너지 저장 요소의 특성에 따라서 전력 변환 회로에 포함시키는 경우가 일반적이다.

3. 응용 분야

2009년 3월, 마이크로 에너지 수확 관련 업체 및 학계가 모인 'Embedded Systems Conference' 내의 에너지 수확 관련 패널에서 "What has really changed energy harvesting in the last two decades?" 라는 의제로 토론이 있었다. 마이크로 에너지 수확은 센서, MEMS 기술의 발전과 더불어 무선 통신, 저전력 전자 기술의 조합으로 가능할 수 있었다는 것과 에너지 수확 장치의 킬러 응용 분야에 대한 것이 주 내용이다. 그 중 진동 에너지 수확 장치 및 박막 전지로 유명한 Perpetuum사와 Cymbet사는 각각 무선 센서 네트워크 분야와 지능형 빌딩 (smart buliding)/지능 감시 (intelligent monitoring) 등을 킬러 응용 분야로서 주목하였고, Illinois 대학의 Champman 교수는 MEMS 센서 자체가 에너지 수확 장치로서 발전을 하게 될 것이라고 하였다. 현재 마이크로 에너지 수확 장치의 응용 분야로 주목 받거나 연구되고 있는 분야를 나열하면 다음과 같다.



Building Automation
(<http://www.enocean-alliance.org>)



Wireless Switch



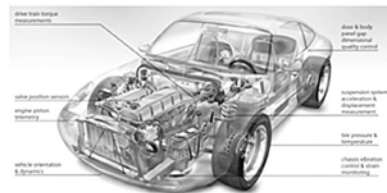
Detection of Disk Brake Frictional Heat



Piezoelectric Floors (in the Tokyo station)



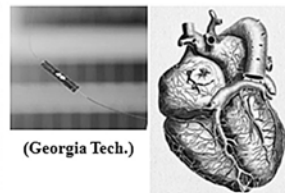
에코패스 (주) 씨브앤케어글로벌



Automotive Sensor Network (MicroStrain)



Animal Tracking (U. of Florida)



Medical Implants (Vintage Collection)



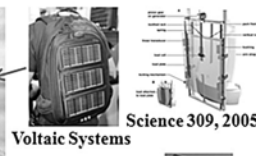
Solar Cell Phone (Samsung Crest E1107)



FIED By CSIRO



Source US Army



Nike + iPod Sport Kit

Energy harvesting in military applications

그림 5 마이크로 에너지 수확 기술의 응용 분야

- 휴대폰, PDA 등의 휴대용 IT 제품, 인장 가능 전자 제품(stretchable electronics)
- 착용형 컴퓨터(wearable computer)
- 능동형 RFID: 운송, 물류 등의 실시간 위치 추적
- 무선 센서 네트워크 : 구조 진단(SHM : structural health monitoring), 야생 동물 추적(animal tracking), 차량 통신 네트워크, 지능형 빌딩(조명, 자동 전기 제어를 위한 무선 스위치 포함) 등
- 의료 분야 : 인체 삽입형 의료 기기 (medical implants, in-ear device, skin-of-surface device), 착용형 의료 진단 기기 (wearable health monitoring) 등
- 국방 분야 : 개인 전투 체계(전투 배낭, 전투화, 손목 시계, 무릎) 및 각종 무기 체계 (저전력 통신 장치, 센서)로서 운용 시간의 제한이 없어 전투력 향상

사실 위의 분야는 대부분 비교적 근거리에서 정보를 무선으로 주고 받는 WPAN (wireless personal area network)을 배터리 전원 없이 구현하여 유비쿼터스 사회를 실질적으로 가능하게 하는 분야이다. 더욱이, WPAN의 ZigBee 및 능동형 RFID 회로는 전력 소모가 매우 낮아서 발생 전력이 미미한 마이크로 에너지 수확 기술과도 잘 맞는다. 따라서, ZigBee 무선 솔루션 업체의 모임인 ZigBee Alliance 역시 에너지 수확 기술의 가능성에 주목해 왔으며, 에너지 수확용의 무선 통신 사양인 'ZigBee Green Power' 표준 정책을 위한 논의를 2009년 중반부터 시작하였다.

4. 기술 및 산업 동향

불과 수년 전만 해도 마이크로 에너지 수확

에 대한 자료를 정리하기가 현재와 같이 어렵지 않을 정도로 이에 대한 개념 및 관련 연구는 널리 알려져 있지 않았다. 그러나, 2000년도 후반 들어 마이크로 에너지 수확에 대한 학술 대회 발표 및 학술지 게재 논문 건수가 급격히 증가하였고, 유럽/북미 기업들의 관련 기술에 대한 상업화 노력의 결과로 정보의 양이 상당히 방대해졌다. 이 사실은 마이크로 에너지 수확 분야의 연구 및 기술 동향에 대한 현 주소를 단적으로 보여주고 있다.

세계적으로 유명한 미래 기술 예측 및 평가 기관의 하나인 MIT Technology Review에서는 '나노 전력 발전 소자 기술'을 2009년 10대 유망 기술 분야로 선정한 바 있다. 이 글에서는 마지막으로 현재까지 발전되어 온 마이크로 에너지 수확 기술에 대한 해외 및 국내 기술/산업동향에 대해 살펴보았다.

4.1 해외 기술 동향

유럽 및 북미 지역에서는 오랜 기간 동안의 정책적 지원아래 이뤄진 마이크로 에너지 수확 기술에 대한 연구를 바탕으로 완성도가 높은 제품이 개발되어 전 세계적으로 판매되고 있다. 이에 몇몇 중요한 마이크로 에너지 수확 관련 업체를 중심으로 현재의 기술 동향을 살펴보고자 한다.

유럽에서는 일찍이 마이크로 진동 에너지 수확 장치에 대한 연구가 수행되어 왔다. 영국에서는 관련 분야의 초기 연구로 유명한 Southampton 대학의 Steve Beeby 교수팀을 중심으로 9개 단체가 연합하여 VIBES (vibration energy scavenging) 프로젝트를 2004년부터 2007년까지 수행한 바 있다. 이들은 주변 환경의 진동 에너지 원을 이용하여 무선 센서 네트워크 센서 노드의 전력원을 마련하고자 하였다. 개발된 실리콘 미세 가공된 2 mm²의 압전 외팔보 에너지 수확 장치는 840

Hz, 2 g의 외부 가진에 대해 약 $1.4 \mu\text{W}$ 의 전력이 발생됨을 보였다(그림 6(a)). 또한 전자기 유도 현상을 이용한 에너지 수확 장치는 50 Hz, 60 milli-g의 진동 가진에 대해 $700 \text{ mV}_{\text{rms}}$ 의 전압과 $55 \mu\text{W}$ 이상의 전력이 발생하였다(그림 6(b)).

2004년 Southampton대학을 기반으로 설립된 Petpetuum사는 PMG17(perpetuum micro generator)(그림 7(a))이라는 전자기 유도 현상 기반 진동 에너지 수확 장치의 첫 상용화를

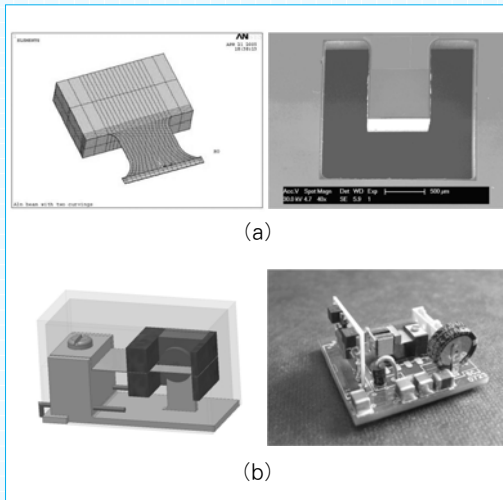


그림 6 (a) 압전 에너지 수확 장치의 유한 요소 모델과 SEM 및 (b) 전자기 유도 현상 기반 에너지 수확 장치 및 무선 가속도 센서에의 적용

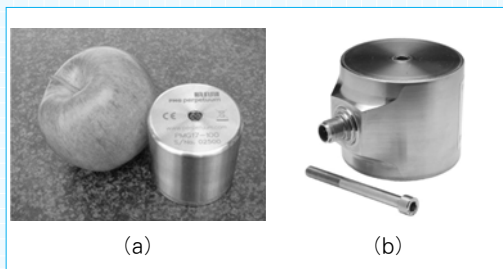


그림 7 (a) PMG17 및 (b) FSH(free standing harvester) 모듈

이룬 회사이다. 현재 다양한 모듈을 개발하여 무선 센서 네트워크의 센서 노드 전력원 등 무선 솔루션에 다양하게 적용하고 있다. PMG 계열 제품은 적어도 20년 이상 유지 보수 없이 적용 가능하도록 설계되었으며 그 중 FSG 모듈(그림 7(b))은 최대 5 V에서 외부 전기 부하의 크기에 관계없이 4 mA의 전류가 발생 가능하며 최대 20 mW의 전력 발생이 가능하다.

영국에서는 또한 Zarlink 반도체 회사의 주도하에 Perpetuum사를 포함한 6개 업체가 컨소시엄을 구성하여 SIMM(self-energizing implantable medical micro systems) 프로젝트를 진행해 오고 있다. 이들은 2006년부터 영국 DTI(department of trade and industry)의 지원을 받아 심장 박동으로부터 발생된 에너지를 이용하여 심장 박동 조절 장치(cadiac pacemaker), 제세동기(defibrillator) 등의 인체 삽입형 소형 장치에 전력을 공급할 수 있는 에너지 수확 장치를 개발해 오고 있다. 미국 심장 협회 후원의 Scientific Sessions 2008에서는 개발된 에너지 수확 장치가 심장 박동 조절 장치의 전력 공급에 필요한 에너지의 1/3을 생산할 수 있음을 보였으며 현재 의료기기 제조 업체들과 다음 단계의 프로젝트를 진행하고 있다.

독일의 EnOcean사는 자급 충전이 가능한 무선 기술의 원천 기술 보유 회사이다. 빌딩 및 공장 자동화에 쓰이는 무선 에너지 수확 모듈을 개발하여 판매하고 있으며 이미 전 세계 수십만개의 빌딩에서 이 회사의 에너지 수확 기술이 적용되고 있다. EnOcean Alliance라는 컨소시엄을 구성하여 지속 가능한(sustainable) 빌딩을 위한 혁신적인 에너지 수확 기술을 개발하고 있다. 최근 세계적인 반도체 회사인 TI(Texas Instruments) 사와의 제휴를 통해 이 회사의 저전력 소자를 사용하여

개발한 에너지 수확 모듈은 진동 뿐만 아니라 빛, 열 구배 등의 모든 에너지원을 대상으로 하고 있다(그림 8).

프랑스의 Schneider Electric사는 세계적인 에너지 관리 업체 및 가정, 산업 및 빌딩 부문 전력 제어 솔루션의 선두 주자로서 2009년 6월 세계 최초로 배터리가 필요 없는 ZigBee 무선 규약 호환의 자가 발전형 스위치를 개발하여 ZigBee 유럽 지역 포럼에서 시제품을 발표한 바 있다. 이는 배터리 없이 전기 장치에 대한 제어 신호를 무선으로 라우터에 전송하여 전선의 설치 및 배터리의 유지 보수 필요성을 제거하여 지능형 빌딩에 적용되고 있다.

오스트리아에 본사를 두고 주로 자동차 분야의 마이크로 무선 반도체 센서 제품을 생산하는 SensorDynamics사는 EnOcean사와 자동

차 부문의 에너지 수확 특허 기술 사용을 위한 라이선스 계약을 2009년에 체결한 바 있다. 이로써 SensorDynamics사는 배터리가 필요 없는 원격 무선 타이어 압력 측정 시스템(TPMS)의 구축으로 자동차 분야에 완전 통합형 무선 에너지 수확 시스템 솔루션을 제공할 수 있게 되었다.

북미 지역에서는 미국의 AdaptivEnergy사가 산업용, 구조 진단용, 운송용 등 진동 에너지원의 특성에 적합한 Joule-Thief™ 상표명의 다양한 압전 에너지 수확 모듈을 이용하여 무선 센서 솔루션을 개발/판매하고 있다. 그림 9에 보인 바와 같이 Smart Energy Beam™ 구조물의 형상은 삼각형으로서 응력 및 발생 전력면에 있어서도 향상된 결과를 가져왔다. 60 Hz 고정주파수 제품의 경우 약 1 g_{rms}의 가진에 대해 3.6 V, 750 μW의 평균 전력을 발생시킨다.

Ferro Solutions사는 2002년 설립되어 미국의 The Office of Naval Research 및 MIT 공대와 제휴하여 무선센서를 포함한 다양한 에너지 수확 장치의 응용 분야에 적용 가능한 진동 기반 에너지 수확 장치를 개발해 오고 있다. 특히, 전자기 유도 현상을 이용한 에너지 수확 장치 뿐만 아니라 에너지 수확 분야 최신의 연구 결과를 반영하여 압전 및 자기 변형 현상이 연성된 전기-자기 효과를 이용한 에너지 수확 장치를 개발한 점이 주목할 만하

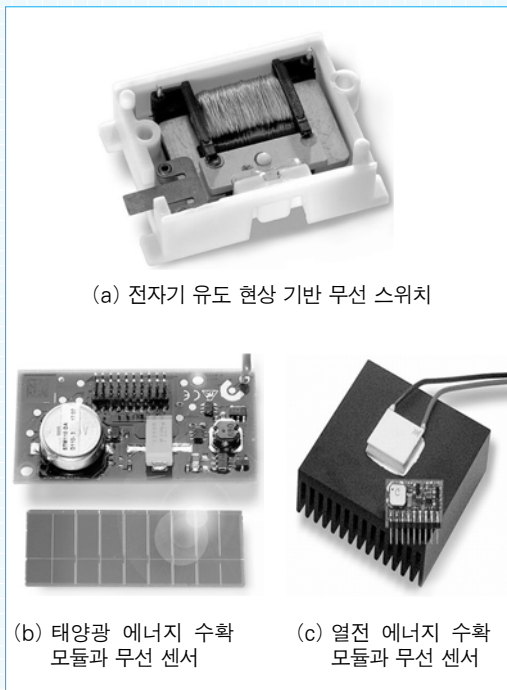


그림 8 EnOcean사의 에너지 수확 모듈

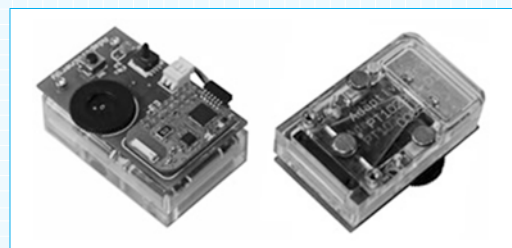


그림 9 고정 주파수 대역 Joule-Thief™ 모듈



그림 10 (a) VEH-3 및 (b) VEH-460

다. 그림 10(b)는 전자기 유도 현상을 이용한 VEH-460 모듈로서 60 Hz 근처 100 milli-g의 진동원에 대해 5.2 mW의 뛰어난 성능을 내고 있다.

TI사는 이미 에너지 수확에 대한 가능성을 인지하고 2008년 백서를 발간한 바 있다. 주로 저전력 에너지 수확 소자의 개발에 중점을 두고 있으며, 2009년 1월 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환할 수 있는 태양 에너지 수확(SHE) 개발 키트를 출시한 바 있다. 이는 신용 카드 크기로서 에너지 수확 장치용 박막 전지 개발 업체인 Cymbet사의 EnerChip™이라는 박막 전지 기술과 TI사의 마이크로 제어기 및 RF 트랜시버 등을 결합한 것으로서 개발자들이 태양광으로 자급 충전이 가능한 무선 센서 네트워크를 구성 가능하게 하였다.

유럽/북미 지역에서는 이 밖에 무선 센서 네트워크용의 에너지 수확 회로 모듈을 업계 최초로 출시한 Advanced Linear Devices사, 에너지 수확 모듈에 적합에 무선 센서 노드를 개발한 MicroStrain사 및 Ambio Systems사, 에너지 수확 모듈용 마이크로 제어기를 출시한 Jennic사, 진동 및 열 에너지 수확 모듈 개발 업체인 KCF Technologies사, 전력 관리 에너지 수확 솔루션을 개발/판매하고 있는 캐나다

의 Linear Technology사 등이 있다.

한편, 2010년 5월 일본에서도 마이크로 에너지 수확 기술의 사업화를 목표로 NEC, Toyota, Panasonic, Fujitsu 등을 포함한 13개 회사가 에너지 수확 컨소시엄(energy harvesting consortium)을 발족시켰으며 그 후 Honda, Asahi Kasei 등 8개 업체가 추가로 참가하였다. 그 동안 일본에서는 대학, 기업의 관련 기술에 대한 연구/개발이 적었고 개별 기업 위주로 전기 출력량 향상만을 위한 요소 기술 개발을 해왔을 뿐이며 주변 전력 관리 회로 분야등과의 조화로운 발전 없이 상품화 및 실용화에 대한 움직임이 없었다. 이에 대한 것은 우리나라도 비슷한 실정이다. 유럽과 미국에 비해 약 10년 뒤쳐진 마이크로 에너지 수확 기술의 조기 사업화를 위해 이 컨소시엄에서는 유럽과 북미의 최신 기술을 파악하고 관계 기업간의 제휴에 의한 프로젝트, 정보 공유 등을 시행할 예정이라고 한다.

마이크로 에너지 수확 기술의 발전에 주목하여 시장 조사 전문 기관인 IDTechEx는 매년 11월 경 'Energy harvesting & Storage USA' 라는 국제 컨퍼런스 및 전시회를 개최하여 에너지 수확 기술 및 에너지 저장 분야의 최신 기술 동향, 향후 시장 예측 등에 초점을 맞추어 투자자, 공급업체, 개발자 및 정부 기관을 대상으로 관련 기술에 대한 사업화 기회를 모색할 수 있는 기회를 제공해 오고 있다. 또한, 'Energy Harvesting Journal' 을 통하여 에너지 수확에 대한 최신 기술 동향을 매일 제공해주고 있으며, 'Energy Harvesting and Storage for Electronic Devices' 라는 보고서를 발간하여 향후 10년간의 에너지 수확 기술 및 시장 동향, 응용 분야를 다루고 있다.

4.2 국내 기술 동향

정부는 2009년 1월 저탄소 녹색 성장을 뒷

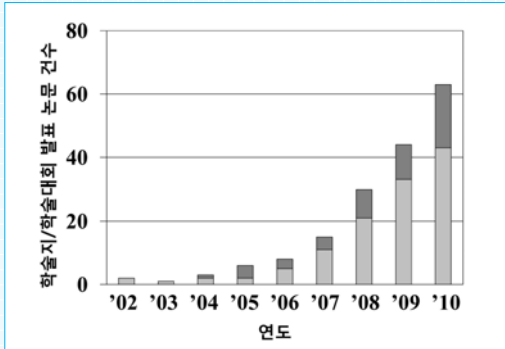


그림 11 마이크로 에너지 수확 관련 국내 연구 활동 동향 (특히, 각종 보고서 및 학위 논문을 제외한 국내에서만 연구된 활동 결과)

받침하기 위해 녹색 기술 연구 개발 종합대책을 확정한 바 있으며, 같은 해 5월 녹색성장위원회를 통해 범 부처 차원의 중점 녹색 기술 개발과 상용화 전략안을 발표하여 핵심 원천 기술 위주로 27대 중점 녹색 기술을 도출한 바 있다. 2010년에는 여러 후보 기반 기술 중 6대 핵심 기술을 다시 도출하여 녹색 기술과 관련 산업 발전의 근간이 되는 플랫폼형 기술 확보를 위해 2015년까지 총 400억원 규모의 R&D 사업을 컨소시엄 형태로 추진하고 있다. 이 6대 핵심 기술에는 ‘하이브리드 에너지 하베스팅’ 및 ‘에너지 변환 녹색 소재 개발’ 이 포함되어 있다. 또한, 한국전기연구원(KERI)은 2010년 1월, 미래를 바꿀 10대 유망 전기기술을 발표한 바 있는데 이 중 ‘마이크

로 발전 기술’ 이 포함되어 있다. 이로써 우리나라에서도 마이크로 에너지 수확 기술 개발에 대한 정책적인 지원이 시행되고 있는 것이다. 이미 국내에서는 마이크로 에너지 수확 관련 연구가 2000년 초부터 있어왔으나 개별 연구자에 의한 소극적인 것이었고 그림 11에서 보는 바와 같이 최근 들어서야 대학 및 정부 출연 연구 기관을 중심으로 그 연구 활동이 활발해지고 있다.

5. 맺음말

2000년 초에 본격적으로 시작된 마이크로 에너지 수확 기술은 그 동안 적지 않은 과학자 및 공학자들로부터 기술의 실효성에 대한 의심의 대상이 되기도 하였으나 현재는 무선 통신 기술, 에너지 변환 소재 및 저전력 소자 기술의 발달로 무선 센서 네트워크의 센서 노드의 전원에 성공적으로 적용되고 있음을 보여주고 있다. 이 기술의 킬러 응용 분야가 되리라 의심치 않는 유비쿼터스 무선 센서 네트워크(USN/WSN)의 시장이 2010년 이후에 더욱 본격적으로 성장할 것으로 예상되면서 마이크로 에너지 수확 기술은 현재 전환점을 맞이하고 있다. 마이크로 에너지 수확 기술의 발전으로 유비쿼터스 사회에 대해 사람들이 머리 속에서만 상상하던 일들이 실현될 날이 멀지 않은 것으로 보인다. KSNVE