



에너지 하베스트 기술 동향



이영기 책임연구원 (한국전자통신연구원 전력제어소자연구실)



1. 서론

우리나라는 에너지 자립도가 3% 미만으로 대표적인 자원 빈국이다. 나머지 97%의 에너지를 수입에 의존하고 있으며, 현재 세계 10대 에너지 수입국 중에 미국, 일본, 독일, 이탈리아에 이어 5위를 차지하고 있다. 국제유가가 배럴당 100달러에 육박하고 있고 온실가스 배출량은 세계 10위에 이르고 있지만 우리나라의 경제 산업 구조상 화석에너지의 소비를 줄이는 것은 쉽지 않아 보인다. 따라서 에너지 절약 노력과 함께 환경을 훼손하지 않으면서도 안정적 공급이 가능한 (Sustainable) 미래 에너지 자원을 확보하기 위해 다양한 노력을 기울여야 할 때다.

에너지 하베스트 (Energy harvest) 기술은 여전히 각광을 받고 있다 [1-3]. 주변 환경에서 필요한 에너지를 끌어 쓸 수 있는 대표적인 청정에너지 시스템 중 하나이기 때문이다. 수소 원을 얻기 위해 석유를 다시 개질해야 하는 연료전지나 바이오매스의 생산과정에서 기존의 녹지가 축소되거나 이산화탄소의 배출량이 오히려 늘어나는 그야말로 무늬만 청정·대체 에너지인 경우와는 달리, 자연 및 주변의 비교적 저급의 에너지를 그대로 활용할 수 있는 새로운 친환경 에너지 활용 기술이다.

에너지 하베스트 기술은 리튬전지보다 역사가 깊다. 1954년 벨연구소에서 태양전지 기술이 처음 발표되면서 빛에너지 하베스트의 개념이 처음으로 대두되었다고 볼 수 있다. 다소 진부한 영역이라 느껴질 수도 있겠으나 그럼에도 불구하고 최근에 이 기술이 크게 주목받는 이유는 주변에서 수확할 수 있는 에너지의 형태 및 환경에 따라 에너지 하베스트의 구조 및 성능도 지속적으로 진화하고 있기 때문이다. 또한, 에너지 하베스트 기술이 결국에는 배터리 전력에 대한 필요성을 줄이거나 아예 대체할 수 있을 것이라 기대하고 있기 때문이다. IT-NT 및 IT-BT 융합기술의 발달로 의료 분야에서 정보통신에 이르는 다양한 디바이스들이 출현하고 있으나 유한한 에너지 용량의 1차 전지와 유선을 통한 충전형 2차 전지의 성능이 한계에 이른 상황이다. 따라서 사용시간 및 수명이 극대화되면서도 선으로부터 자유로운 새로운 인간친화적인 독립전원기술이 절실히 요구되고 있다.

본고에서는 2장에서 에너지 하베스트 기술의 개념 및 종류에 대해서 소개하고 3장에서는 본 연구소에서 진행한 결과를 포함한 에너지 하베스트 기술의 최신 연구동향을 소개하고자 한다. 또한, 4장에서는 에너지 하베스트 기술이 IT 디바이스에 응용될 수 있는 가능성에 대해 간략히 소개하겠다.



2. 에너지 하베스트 개념 및 종류

에너지 하베스트 기술이란 주변에 존재하는 진동, 열, 빛, 전자기파 등의 에너지를 전기에너지로 변환하는 기술을 의미한다. 앞서 간략히 언급했듯이, 에너지 하베스트 기술은 특정 분야의 단일 기술이 아니라 온도 차 (Thermal energy), 빛의 방사 (Light energy), 전자기장 (Electromagnetic energy), 진동 (Vibrational energy) 등 사용된 에너지의 종류에 따라 구분되는 여러 가지 기술을 포괄하는 광범위한 접근법이다. 이 중 일부 에너지 하베스트 기술은 특정 용도에 따라서 이미 산업전반에 걸쳐 적용되고 있다.

예를 들면, 진동에너지는 압전효과, 정전효과 및 전자기효과를 이용하여 전기에너지로 변환되고 (예: 압전소자), 열에너지는 열전효과를 이용하여 전기에너지로 변환되며 (예: 열전소자), 빛에너지는 광전효과를 이용하여 전기에너지로 변환된다 (예: 광전소자). 또한, 전동 칫솔과 같은 무선충전 원리는 RF 파를 이용한 대표적인 에너지 하베스트 기술이다.

빛에너지를 이용하는 기술은 실리콘 기반의 태양전지를 중심으로 연구가 상당히 진행되어 이미 상용화 단계로 판단된다. 반면에 열에너지를 이용하는 기술은 Bi₂Te₃소재를 중심으로 활발히 개발이 진행 중에 있으나 자원의 지역 한정성 (주로 중국), 희소성, 및 고가라는 단점으로 인해 대체소재에 대한 연구개발이 시작되고 있다. 반면 진동을 이용하는 기술은, 효율은 태양전지에 비해 낮지만 소형 이하의 작은 소자용 전원으로 적용이 적합하며, 특히, 초절전형 임베디드 전자장치들에 적용이 유리한 장점이 있다. 본고에서는 주로 진동에너지 하베스트 기술을 중심으로 동향을 파악하고자 한다.

진동에너지 하베스트 기술은 오랜 기간 동



그림 1. 에너지 하베스트 기술.

안 매우 적은 양의 에너지를 획득하는 특성 때문에 보통 커패시터 형태인 에너지 저장 서브시스템을 갖추게 된다. 또한, 빛에너지 하베스트 기술과는 달리 기기가 외부에 노출될 필요가 없어 디바이스에 내장되거나 삽입형 장치에 적용이 유리하다. 항공기용 센서, 개인용 헬스케어 모니터링 시스템, 경고 시스템 등의 다양한 초소형 유비쿼터스 소자용 자가발전 시스템에 적용할 수 있다.

진동에너지 하베스트 기술은 앞에서 언급했듯이 소재/변환방식에 따라 압전효과 방식, 정전효과 방식, 전자기효과 방식으로 나누어진다.

압전효과 방식은 진동에 의해 압력이 발생하면 전기가 유도되는 현상을 이용하는 것으로 에너지 변환효율이 가장 높다. 압전재료로는 고분자, 다결정, 단결정, 및 복합체 재료 등이 사용되고 있으며, 압전율은 단결정 재료가 가장 우수한 것으로 알려져 있다.

정전효과 방식은 진동에 의해 정전기가 발생하여 전기가 유도되는 현상을 이용하는 것으로 에너지 변환효율은 압전방식에 비해 낮지만 초소형화가 가능한 장점이 있다.

전자기효과 방식은 진동에 의해 전자기 유도가 발생하면 전기가 유도되는 현상을 이용하는 것으로 에너지 변환효율도 낮고 초소형화가 어려운 단점이 있다.

표 1에 에너지 하베스트의 종류에 따른 예



표 1. 에너지 하베스트의 종류에 따른 에너지 밀도.

에너지원	에너지 밀도	Remarks	
태양광	100 mW/cm ² (직광)	poly-Si (효율 17%)	
	100 μW/cm ² (실내)		
열	60 μW/cm ²	ΔT = 5°C	
진동	동작	4 μW/cm ³ (인간) 800 μW/cm ³ (기계)	1 cm ³ 소자
	Air flow	1 mW/cm ²	30 L/min, 미소 기계터빈
	보행	800 mW (유전성 탄성 힘) Max. 700 mW (압전 액츄에이터)	1 Hz 보행-70 kg-1 cm 변형

너지 밀도를 나타내었다 [4]. 표에서 보는 것처럼, 전반적으로는 아직도 저전력이지만 태양광의 경우 에너지 밀도가 가장 우수하고, 진동에너지원을 사용하는 경우가 에너지 밀도가 가장 작은 것을 알 수 있다. 그러나 진동에너지 하베스트의 경우 변형을 유발하는 에너지의 크기에 따라 출력 및 에너지 밀도가 다양하게 구현될 수 있다. 따라서 진동을 이용하는 기술이 에너지 변환효율과 디바이스의 초소형화 관점에서 유리하다 할 수 있겠다.

3. 에너지 하베스트 기술의 연구동향

에너지 하베스트 소자의 연구동향을 전체적으로 살펴보면, 에너지 하베스트 기술은 미국, 유럽 등이 기술을 주도하고 있고, 이들 기술 선진국들과 국내 기술과의 격차는 3년 이상인 것으로 판단된다. 초소형 에너지 하베스트 기술의 경우에는 미국을 중심으로 센서 노드 등과 같은 소형 디바이스의 직접전원으로서 적용하는 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 국내의 경우에는 아직도 초기 연구 단계에 머물러 있다. 대표적인 에너지 하베스트 연구 그룹들의 결과를 간략하게 소개하면 다음과 같다.

미국의 경우, DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency)의 지원 하에



그림 2. 에너지 하베스트 기술의 적용 예.

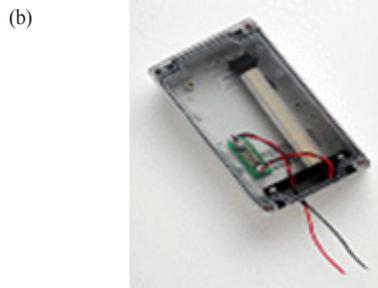


그림 3. 에너지 하베스트 기술의 적용 예 : (a) 기능성 스키, (b) 트랜스듀서.

PVdF와 PZT 소재를 이용하여 인체진동에 의한 출력특성을 연구하고 있다. 도보 시 충격 파나 기계에서 발생하는 진동을 이용하는 것으로, 에너지 효율이 아직은 만족스럽지 않아 대면적 위주로 개발이 진행되고 있다.

Advance Cerametric社는 Piezoelectric fiber composite을 이용한 소형의 에너지 하베스트 소자를 개발하여 기능성 스키/보드 및 Transducer (20 mW급@22 Hz 에너지 하베스트 Kit)에 적용하고 있다

Ferro Solutions社는 PZT 소재를 적용한



그림 4. 에너지 하베스트 소자 기술의 적용 예.

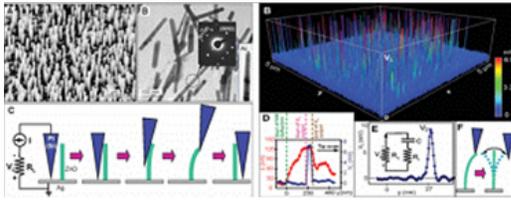


그림 5. 나노 발전기 응용 가능성 : Science 312, 242 (2006).

에너지 하베스트 소자 (9.5 mW@21 Hz)로 센서노드에 적용을 시도하였다.

Georgia Tech.의 Wang 교수는 ZnO 나노 와이어로 진동에너지 하베스트 특성을 확인함으로써 나노 발전기에 응용가능성을 제시 하였으며, 그 결과를 2006년 Science지에 게재하였다.

국내의 경우, 에너지 하베스트 분야에서 일부 그룹을 중심으로 연구가 진행 중에 있다. 하지만, 압전체 소재 관련 원천기술이 취약하고 대부분이 MEMS/NEMS 구조체 연구에 집중되어 있다.

ETRI에서는 음파에 의해 진동하여 전압을 발생하는 압전 단결정 MEMS 구조체 소자연구를 수행하였다. 특히, 인체에 무해한 초음파 영역에 공진특성이 강화된 단결정 소재를 개발하여 기존의 PZT계보다 높은 에너지 변환 효율을 발표하였다 (13.2 mWh@1 Pa & 10.8 KHz)[5].

KIST는 압전체 방식의 에너지 하베스트 소자에 대한 기초 연구를 수행하면서, 주로 PZT 기반의 MEMS 구조체 개발에 연구를 집중하고 있다 (0.74 mWh/cm²).

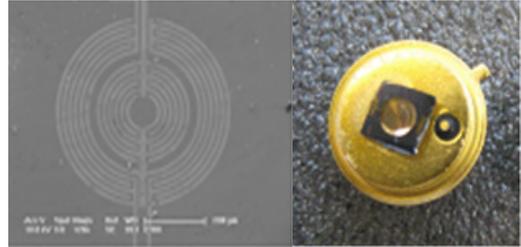


그림 6. ETRI에서 개발한 음파 진동형 압전 단결정 MEMS 구조체.

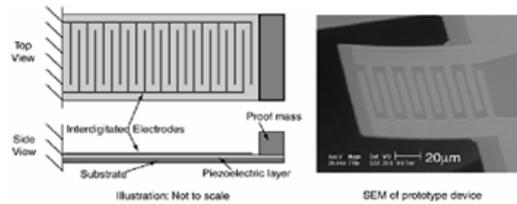


그림 7. KIST의 PZT 기반의 MEMS 구조체.

그 외, 기계연구원과 요업기술원 등에서도 압전체 소재를 기반으로한 에너지 하베스트 소자에 대한 적용연구를 수행하고 있다.

4. 에너지 하베스트 소자의 IT 디바이스 응용

에너지 하베스트 소자의 경우에는 앞서 기술동향에서 살펴본 바와 같이, 소형 및 초소형 IT 디바이스에 응용될 가능성이 높을 것으로 예상된다. 그러나 에너지 하베스트가 가진 몇 가지 단점들을 극복하지 않으면 응용분야가 한정될 가능성이 높다.

에너지 하베스트 기술의 가장 큰 단점은 바로 출력의 불연속성이다. 주위에서 진동 에너지원이 제거되면 출력이 생성되지 않는 것이 에너지 하베스트 기술의 맹점이다. 물론 무선 센서 네트워크 시스템과 같이 원격지 노드들을 순간 또는 주기적으로 동작하게 하는 경우에는 에너지 하베스트의 작동만으로 충분하다. 그러나 디바이스의 기능이 복

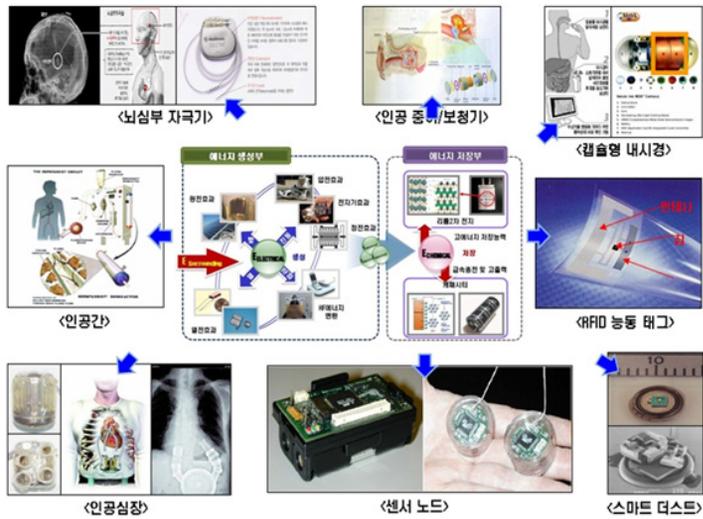


그림 8. 에너지 하베스트-스토리지 소자의 응용 가능 분야.

잡 다양해지고 그에 따른 출력의 패턴이 순간/주기형에서 지속형으로 발전됨에 따라 이러한 요구사항이 반영된 새로운 디바이스들의 출현을 요구하고 있다. 따라서 기존의 커패시터 형태의 에너지 저장 서브시스템으로는 출력의 불연속성을 극복하기에는 한계가 있다.

최근 에너지 하베스트에 에너지 저장기능을 강화한 새로운 개념의 에너지 하베스트-스토리지 일체형 소자에 대한 개발들이 진행되고 있다 [6-8]. 나노 구조의 에너지 저장 구조체를 에너지 하베스트 소자와 일체화한 것으로 기존의 커패시터를 적용한 경우에 비해 수십 배 이상으로 저장능력을 향상시켰다.

이러한 출력의 연속성을 강화하면 좀 더 다양한 영역으로 디바이스의 응용분야가 확장될 수 있다. 특히, 인체삽입/내장형 의료기기 (뇌심부 자극기, 인공 중이/보청기, 캡슐형 내시경, 인공 심장, 인공간 등)용 전원 및 RFID 센서 태그용 전원, 센서 노드 및 스마트 더스트용 전원 등으로 적용이 가능하며, 마이크로 및 나노 로봇의 전원장치로도

활용이 기대된다. 이러한 근거로는 반영구적인 내장형 전원으로 적용이 가능하기 때문이고 또한, 에너지 하베스트들이 MEMS/NEMS 구조체 기술을 적용하여 최소화가능하기 때문이다.

5. 결론

에너지 하베스트 기술의 개념 및 종류에 대하여 소개하였고, 관련 기술의 최근 연구동향에 대하여 알아보았다. 에너지 하베스트 소자가 IT 디바이스에 본격적으로 응용되기 위해서는 극복해야 할 기술적 장애가 아직도 산재해 있다. 고효율의 소재 개발에서부터 출력의 안정성 확보, 게다가 반영구성을 보장할 수 있는 신뢰성 등 개발되어야 할 대상들이 아직은 무궁무진하다. 제조공정 기술 수준은 기술 선진국들과 견줄 만하나 소재의 원천기술은 상대적으로 취약한 것은 큰 문제점이다. 에너지 하베스트 소자들의 기술적 한계를 극복할 수 있으면 기술 우위에서 새로운 에너지 분야 및 시장을 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] S. P. Beeby, M. J. Tudor, N. M. White, "Energy Harvesting Vibration Sources for Microsystems Applications", in Meas. Sci. Technol. 17 (2006) R175-R195.
 [2] Z. L. Wang, J. Song, "Piezoelectric Nanogenerators Based on Zinc Oxide Nanowire Arrays", in Science, 312 (2006)



242-246.

- [3] J. Marciszewski, S. Leschin, "에너지 수확 기술로 구현하는 자가 발전 시스템", in 전자엔지니어, Dec. 16-31, 2005.
- [4] 유병곤, "MEMS 기술을 이용한 에너지 하베스팅 기술", 전자통신동향분석 제23권 제6호 (2008), 48-58.
- [5] Sung Q Lee, Hye Jin Kim, Sang Kyun Lee, Jae Woo Lee and Kang-Ho Park, "PMN-PT SINGLE CRYSTAL PIEZO-ELECTRIC ACOUSTIC TRANSDUCERS", MRS, 2007.
- [6] 이영기, 강만구, 이성규, 박강호, 김종대, "박막형의 에너지 발전-저장 소자", 한국특허 2007-82932.
- [7] 장선희, 임문혁, "2008년도 IT부품소재 기술 기획", Special Report, IT SoC Magazine (2008) 21-21.
- [8] 이영기, 김광만, 김종대, "RFID/USN용 전원소자", 전자통신동향분석 제23권 제6호 (2008), 32-37.

저자약력



성명 : 이영기

◆ 학력

- 1995년 부산대학교 공과대학 화학공학과 공학사
- 1997년 KAIST 화학공학과 공학석사
- 2001년 KAIST 화학공학과 공학박사

◆ 경력

- 2001년 - 현재 한국전자통신연구원 전력제어소자연구실 책임연구원

