



2014년 에너지 하베스팅 산업화 동향

글 _ 강중윤, 정우석
한국과학기술연구원

1. 서론

에너지 하베스팅 기술이란 주변에 버려지는 빛, 열, 운동, 진동 에너지 등을 모아 저장하여 웨어러블 전자기기 또는 무선 센서 네트워크 등의 유용한 전력원으로 변환하는 기술로, 발전소의 경우 에너지원(석탄, 석유 등)에 대한 막대한 소요 비용이 발생하는 반면, 에너지 하베스팅 기술의 경우 에너지원에 대한 비용이 전혀 없고, 대용량 발전 보다는 응용에 직접적으로 사용 가능한 독립 전원 또는 발전 기술로 다양한 응용 분야에 기술 접목을 위해 연구 개발을 매우 활발히 진행 중이다. 일반적인 에너지 하베스팅의 에너지원은 Table 1과 같이 설명될 수 있다.

현재까지 빛에너지를 이용하는 태양전지 기술은 기술 성숙도가 매우 높고 상용화에 이르렀으나 운동에너지를 활용하는 압전, 정전, 전자기 유도 에너지 하베스팅 기술과 열 에너지를 이용하는 열전 에너지 하베스팅 기술은 아직 기술 성숙도가 낮다. 이와 같은 분야의 경우, 대학이나 연구소 주축으로 원천 소재 중심 연구가 지난 10년

간 활발히 이루어져 관련 소재 기술은 세계적 수준에 도달하였다고 할 수 있다. 그러나 이러한 소재 기술을 바탕으로 하는 상용화 기술인 에너지 하베스팅 모듈 또는 시스템 기술은 아직 국내 기술 개발 수준이 낮고 연구 개발 지원도 다소 미비한 실정이다. 국내 에너지 하베스팅과 관련된 회사는 중소기업을 중심으로 몇몇 기업에서 진행 중에 있으나 아직 상용화에 크게 성공하지 못한 초보 단계에 머물고 있는 것으로 판단된다. 또한 국내 대기업 전자 업체 중심으로 에너지 하베스팅에 대한 기술적 관심도는 매우 크게 증가하고 있으나 아직 본격적인 상용화 개발은 이루어지지 못하고 있다.

2. 국외 에너지 하베스팅 상용화 동향

에너지 하베스팅 기술은 소재의 중요성이 높으나 다음과 같은 기술 개발이 뒷받침되어야 상용화에 성공할 것으로 전망된다.

- 최대 효율을 갖는 에너지 하베스팅 소자 기술
- 승압 또는 강압 회로 등의 전자 인터페이스 소자 및 모듈 기술
- 커패시터, 박막전지, 슈퍼커패시터 등 부수적 에너지 저장 소자
- 에너지 저장 소자 이용한 output power management 회로 기술

국외 에너지 하베스팅 관련 상용화는 다양한 기술을 바탕으로 매우 활성화 되고 있다. 에너지 하베스팅과 관

Table 1. 에너지 하베스팅 에너지원¹⁾

Source	Description
Mechanical Energy	from sources such as vibration, mechanical stress and strain
Thermal Energy	waste energy from furnaces, heaters, and friction sources
Light Energy	captured from sunlight or room light via photo sensors, photo diodes, or solar panels
Electromagnetic Energy	from inductors, coils and transformers
Natural Energy	from the environment such as wind, water flow, ocean currents, and solar
Human Body	a combination of mechanical and thermal energy naturally generated from bio-organisms or through actions such as walking and sitting
Other Energy	from chemical and biological sources

런된 해외 기업 현황은 Table 2와 같다. 미국, 유럽 등을 중심으로 에너지 하베스팅 관련 선진 회사들이 출현되고 있으며, 주요 회사의 에너지 하베스팅 기술 및 제품은 Table 3과 같다. 독일 EnOcean사는 압전, 열전, 태양전지 등 다양한 에너지 하베스팅 기술을 바탕으로 무선 센서 네트워크 모듈 개발에 주력하고 있으며, 영국의 Perpetuum사는 기계적 진동을 전기 에너지로 변환하기 위해 전자기 에너지 하베스팅 기술을 개발하고 이를 철도 산업 등의 안전 진단 모니터링 기술에 활용하고자 하고 있다. 프랑스의 Arveni사는 캔틸레버 형태의 압전 에

너지 하베스팅 모듈 개발을 통해 배터리가 없는 remote controller를 구현하였다. 이스라엘의 Innovattech의 경우, 압전 에너지 하베스팅 모듈을 도로, 철도, 교량 등에 매립하여 차량 통행, 보행 등에 의해 발생하는 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하여 도로 주변의 에너지원으로 활용하고자 하고 있다.

3. 에너지 하베스팅 시장

2012년도 IDTechEx에서 발표한 Energy Harvesting and Storage for Electronic Devices 2012-2022 보고서에 따르면⁶⁾ Table 4 및 Fig. 1과 같이 에너지 하베스팅 시장은 2012년도 7천억원 시장에서 2022년도 5조원 시장으

Table 2. 국외 에너지 하베스팅 업체 현황¹⁾

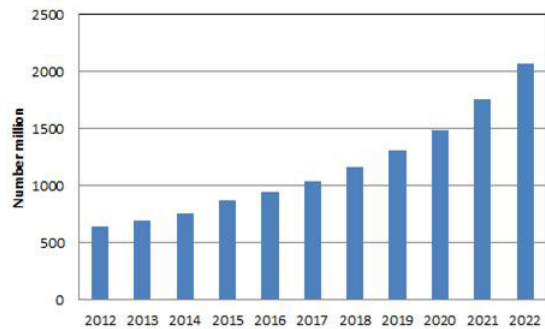
Category	Company
Piezoelectric	AdaptivEnergy
	Advanced Ceramics
	Face International Corp
	MicroStrain
	Mide Corporation
Thermoelectric	Ferrotec
	Marlow Industries
	Melcor
	Micropelt
	Perpetua
Photoelectric	Clare
	Enocean
	Plastecs
	Powerfilm
Electromagnetic	Enocean
	Ferro Solutions
	KCF Technologies, Inc.
Energy harvesting electronics	Advanced Linear Devices
	Ambient Micro

Table 3. 주요 해외 회사의 에너지 하베스팅 기술 및 제품

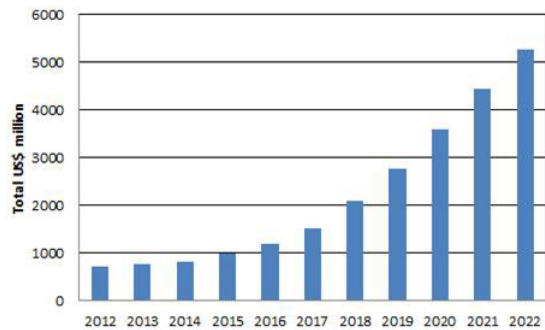
Company	Country	Technology	Product
EnOcean [®]	Germany	 Electromagnetic Solar cell Thermolectric	 Wireless sensor module
Perpetuum [®]	UK	 Electromagnetic	 Wireless monitoring (rail & industry)
Arveni [®]	France	 Piezoelectric 200 mW @ 50Hz 5 m/s ²	 Batterless remote
Innovattech [®]	Israel	 Piezoelectric	 Road - local energy 400kW from 1km long

Table 4. 전세계 에너지 하베스팅 시장 전망 2012-2022년

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Number million	641.8	695.6	751.7	867.4	941.7	1038.4	1162.6	1308.78	1462.1	1755.3	2067.8
unit value dollars	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
Total value millions of dollars	706.3	761.8	818.5	978.4	1178.8	1520.4	2097	2766.6	3588.2	4431.8	5380.7



(a) 전세계 에너지 하베스팅 수량 (단위 백만개)



(b) 전세계 에너지 하베스팅 시장 (단위 백만불)

Fig. 1. 전세계 에너지 하베스팅 시장 전망.

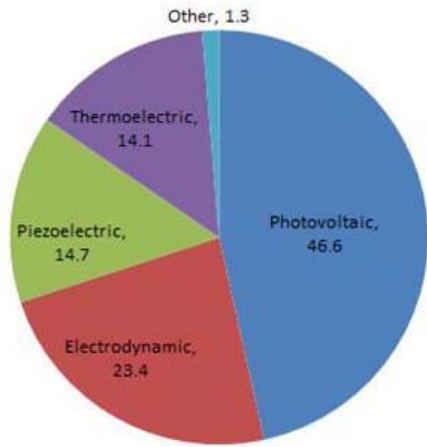


Fig. 2. 2022년 에너지 하베스팅 기술별 시장 점유율.

로 성장할 것으로 전망하고 있다. 에너지 하베스팅 모듈의 개당 가격은 2012년도 현재 약 1불대 있으나 2022년에는 보다 고부가가치 시장으로 확대되어 개당 약 2.6불대를 형성할 것으로 전망하고 있다.

이와 같은 에너지 하베스팅 시장 중 가전 (consumer electronics)이 가장 큰 시장을 형성 할 것으로 예상하는데, 2022년 2조 6천억 규모로 전체 에너지 하베스팅 시장의 약 50%를 차지할 것으로 전망하고 있다. 또한 2022년 에너지 하베스팅 기술별 전세계 시장 점유율은 Fig. 2와 같다. 태양전지 기술이 46.6% 가장 크게 에너지 하베스팅 시장에 사용될 것으로 예상하고 있으며, 전자기, 압전, 열전 에너지 하베스팅 기술이 큰 차이 없이 약 23%에서 14% 정도로 전체 에너지 하베스팅 기술로 적용될 전망이다.

4. 압전 에너지 하베스팅 기술 중심으로 바라본 발전 전망

최근 과학기술의 발전으로 전자기기는 소형화, 저전력, 유연성 등이 요구되고 휴대폰 등과 같은 필수 생활기기가 되었지만 배터리는 수명, 사이즈 등에 대한 문제로 여전히 새로운 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 따라서 배터리 대체 또는 보완하고자 주변 환경의 버려지는 에너지를 이용한 마이크로 에너지 하베스팅 기술이 주목을

받고 있다. 기계적 에너지를 전기에너지로 변환하는 압전 에너지 발전 기술은 주변 환경의 버려지는 물리적 에너지를 전기에너지로 변환하는 기술로서, 바이오 메디컬 디바이스와 신발, 시계 등의 웨어러블 디바이스 그리고 스마트폰과 MP3 플레이어 등의 주전원 또는 보조전원으로 활용이 가능하며 새로운 에너지 시장형성으로 인한 경제적 이점뿐만 아니라 친환경 관점에서도 부가가치가 큰 기술로 평가 받고 있다. 압전 에너지 하베스팅 에너지 출력량에 따른 적용 분야는 Table 5와 같다. 압전 에너지 하베스팅은 타 기술과 비교하여 경제성, 효율성 등에서 매우 우수하다. 그러나 실용화/상용화하기에는 아직 기술적으로 미흡한 실정이다. 현재까지 국내에서는 학연 중심으로 압전 에너지 하베스팅 소재에 대한 기술 개발이 주력을 이루고 있다. ZnO등을 이용한 나노 압전 소재 기술⁷⁾, 압전 나노 소재와 폴리머 소재를 중합한 유연 복합 압전 소재 기술⁸⁾, 압전 박막 소재를 유연 기판 위에 전사 공정을 통해 구현한 유연 압전 전사 공정 기술⁹⁾ 등이 활발히 개발되고 있으나, 압전 에너지 하베스팅 모듈 및 시스템 구현에 있어서 국내 기술 개발은 상용화에 근접하지 못한 실정이다. 이를 위해서는 지금까지 활발히 이루어진 고효율 압전 소재기술뿐 만 아니라 구조 설계 기술, 회로설계 기술 등의 융합연구가 필요하고 기술적 우위 선점을 통한 원천기술 확보가 시급하며 이를 위한 산업계의 과감한 투자전략이 요구된다. 압전 에너지 하베스팅 기술은 유비쿼터스 센서, 웨어러블 전자기기, 바이오메디컬 등과 같은 mW급 에너지 하베스팅뿐 만 아니라 도로, 철도, 해양 등에서 발생하는 미활용 기계적

Table 5. 압전 에너지 하베스팅 출력에 따른 적용 분야

에너지 출력량	적용분야
0.1~10 mW/cm ² Low power	- 소형 저전력 시스템: MEMS 센서, 인체 삽입형 의료기기 등
10~500 mW/cm ² Middle power	- 휴대용 기기, 센서, 웨어러블 센서 및 기기 등
500 mW/cm ² 이상 High power (1km 당 200kWh급)	- 자동차, 도로, 철도 등을 이용한 에너지 수확 시스템



에너지의 kW급 에너지 하베스팅까지 전자, 에너지, 의료, 도시환경 산업 등에서 다양하게 확대 활용 가능할 것으로 전망된다.

5. 결론

웨어러블 전자 소자의 출현에 따른 마이크로 전원 기술의 요구에 따라 에너지 하베스팅 기술에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 하지만 지금까지 에너지 하베스팅에 대한 소재 원천 기술에 대한 연구가 집중된 반면 상용화를 위한 기업의 적극적인 투자가 부족하고 기대에 미치지 못한 출력으로 적용분야가 한정되어 국내외 에너지 하베스팅 산업은 아직 크게 활성화 되지 못하고 있다. 최근 에너지 하베스팅 소재 기술 발전으로 점진적으로 그 출력 에너지는 기대 이상으로 증가하고 있고 전자기술의 소형화, 집적화, 그리고 배터리의 사이즈 및 용량의 한계로 인해 향후 에너지 하베스팅에 대한 수요는 급증할 것으로 예상된다. 따라서 에너지 하베스팅에 대한 원천 기술 확보를 통한 상용화는 시대 당면 과제이며 웨어러블 전자기기 등을 비롯한 에너지 하베스팅 기술의 응용/확대를 통한 관련 산업의 활성화가 크게 기대된다.

참고문헌

1. www.energyharvesting.net
2. www.enocean.com
3. www.perpetuum.com
4. www.arveni.fr
5. www.innowattech.co.il
6. IDTechEx: Energy Harvesting and Storage for Electronic Devices 2012-2022.

7. M.-Y. Choi, D. Choi, M.-J. Jin, I. Kim, S.-H. Kim, J.-Y. Choi, S. Y. Lee, J. M. Kim, and S.-W. Kim, "Mechanically Powered Transparent Flexible Charge-Generating Nanodevices with Piezoelectric ZnO Nanorods," *Adv. Mater.*, **21** [21] 2185-89 (2009).
8. K. Park, C. Jeong, J. Ryu, and K. Lee, "Flexible and Large-area Nanocomposite Generator based on Lead Zirconate Titanate Particles and Carbon Nanotubes," *Adv. Energy Mater.*, **3** [12] 1539-44 (2013).
9. Y. H. Do, M. G. Kang, J. S. Kim, C. Y. Kang, and S. J. Yoon, "Fabrication of Flexible Device Based on PAN-PZT Thin Films by Laser Lift-off Process," *Sens. Actuators, A*, **184** 124 - 7 (2012).

●● 강종운



- 1993년 연세대학교 전기공학과 학사
- 1995년 연세대학교 전기공학과 석사
- 2000년 연세대학교 전기컴퓨터공학과 박사
- 2002년-2004년 The University of Birmingham, Post-doc.
- 2000년-현재 KIST 전자재료연구센터 책임연구원
- 2012년-현재 고려대학교 KU-KIST 융합대학원 교수

●● 정우석



- 2003년 호서대학교 전자공학과 학사
- 2005년 호서대학교 전자공학과 석사
- 2009년 호서대학교 전자공학과 박사
- 2010년-1012년 University of Toronto, Postdoc.
- 2013년-현재 KIST 전자재료연구센터 위촉연구원