

μW급 자가충전 전원모듈용 에너지/전력 반도체 기술 동향과 전망

양일석·김중대 (ETRI), 구용서 (단국대학교)

I. 서론

교토의정서 등의 지구 온난화 방지노력과 글로벌 환경규제의 확대로 그린 부품/시스템 개발이 절실히 요구되는 상황에서 연구소, 학교, 산업체에서는 부품/시스템의 성능을 향상시키는 동시에 절전기능을 강화하여 비용절감이 가능한 그린기술 개발에 대한 수요 급증으로 전력반도체 및 에너지 반도체 기술이 매우 중요한 기술로 부각되고 있다. 전력반도체 기술은 한정적인 안정한 배터리 전원을 다양한 부하 변동에 능동적으로 대처하여 배터리 전원을 효율적으로 관리하여 배터리 수명을 연장하는 것이 주된 목적으로 현재 각종 부품/시스템의 친환경화 및 에너지 절감화에 크게 기여하고, IT기기의 성능을 향상시키는 동시에 절전기능을 강화하여 기업의 비용절감이 가능한 친환경 절전형 전력반도체 기술 개발이 요구되고 있다^[1].

에너지/전력반도체 기술(Energy & Power Semiconductor Technology)은 다양한 종류의 주변 자연환경 에너지 변환 소스들에서 불안정하고 간헐적으로 수확되는 AC 혹은 DC 환경 에너지를 안정하고 지속적인 유용한 전기 에너지

로 변환, 저장 및 분배하는 기술이다.

<표 1>은 다양한 주변 자연 환경 에너지 변환 소스들과 최대 에너지 밀도를 보여준다^[2]. 1개의 에너지 소스에서 수확되는 에너지 밀도는 적으나 여러 개의 에너지 소스를 어레이로 구성하면 원하는 μW급 에너지를 얻을 수 있다.

에너지/전력반도체 기술은 주변의 온도, 열, 진동, 압전, 태양광, 풍력 등 자연환경 에너지를 유용한 전기 에너지로 변환 및 저장하여 지속적

<표 1> 다양한 에너지 변환 소스들

에너지 소스	최대 에너지 밀도
Ambient radio frequency	< 1 μW/cm ² Unless near a transmitter
Ambient light	100 mW/cm ² Out doors
	100 μW/cm ² Illuminated office
Thermoelectric	60 μW/cm ² T = 5C
Vibrational microgenerators	4 μW/cm ³ human motion ~Hz
	800 μW/cm ³ machine ~kHz
Ambient airflow	1 mW/cm ² microelectromechanical turbine at 30liters/min.
Push buttons	50 μW/N at 3 V DC
Hand generators	30 W/kg

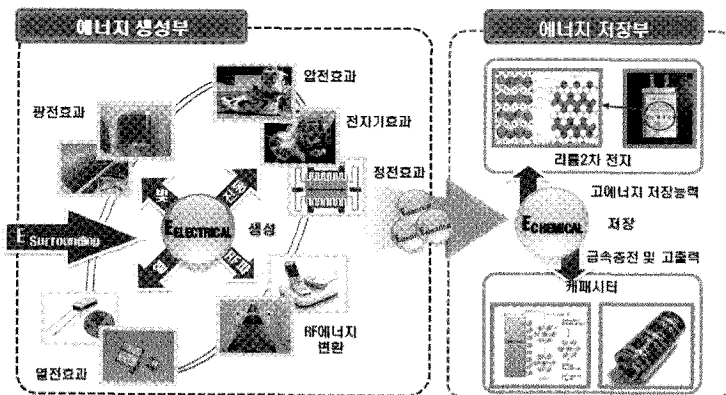
인 활용이 가능하도록 하는 것이 주된 목적으로 최근에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 본고에서는 주변의 온도, 열, 진동, 압전 등에서 수확되는 주변 환경에너지를 전기 에너지로 변환, 저장 및 분배하는 μW 급 자가충전 전원 모듈용 에너지/전력반도체 기술 동향과 시장에 대해 논의하고자 한다.

II. μW 급 자가충전 전원모듈용 에너지/ 전력반도체 기술

기존의 RFID/USN 센서노드용 전원모듈은 원통형 알카리전지 혹은 버튼형 2개 직렬연결된 3V 일차전지를 사용하여 짧은 수명에 따른 잦은 전지 교체, 전지가 차지하는 부피 및 중량으로 인한 초소형화 한계에 직면하고 있으며, 유비쿼터스 환경의 도래에 따라 언제 어디서나 편리하게 고품질 정보서비스가 가능한 지능형 센서망(RFID/USN)이 필요하며, 이에 대한 독립적 전원공급 체계가 시급히 요구되는 상황에서 자가충전 전원모듈 및 에너지/전력반도체 기술 개발은 필연적이다. 자가충전 마이크로 전원모듈은

μ -네트워크 상에서 감지신호의 처리, 해석, 판단까지 자체적으로 수행할 수 있는 독립적 전원 체계로서 스마트 무인경비/방범, 우범지대 및 μ -작업장 보안/감시, 재해재난, 지능형 홈 네트워크 등의 산업 환경을 기반으로 하는 에너지 자족의 지능형 센서노드용 전원으로 활용 가능하며, 현재 가장 큰 에너지 효율을 갖는 태양광 셀은 언제/어디서나 이용 가능한 센서노드의 에너지원으로써 장마 등 여러 가지 제약이 있어 이를 보강하기 위한 다양한 에너지 변환소자의 발굴이 요구되고 있다.

μW 급 자가충전 전원모듈용 에너지/전력반도체 기술은 크게 자가충전 전원모듈 기술과 에너지/전력반도체 기술로 구성되어 있다. 친환경 자가충전 마이크로 전원모듈은 주변의 열, 진동 등 자연환경 에너지를 유용한 전기 에너지로 변환하여 지속적인 활용이 가능하도록 하는 다양한 에너지 변환소자들로 구성된 에너지 생성부와 2차 전지, 슈퍼커패시터 등 수확된 에너지를 저장하는 에너지 저장소자들로 구성된 에너지 저장부로 구성되어 반영구적이고 장시간 사용가능한 자가충전 전원모듈을 제공한다. <그림 1>은 μW 급 자가충전 전원모듈 기술을 보여준다. 자가충



<그림 1> μW 급 자가충전 전원모듈 기술

전 전원모듈에서 열전 혹은 압전 등 다중 에너지 변환 소자 및 어레이 설계/제조 기술과 고효율 저장소자 설계/제조 기술이 매우 중요한 기술이다.

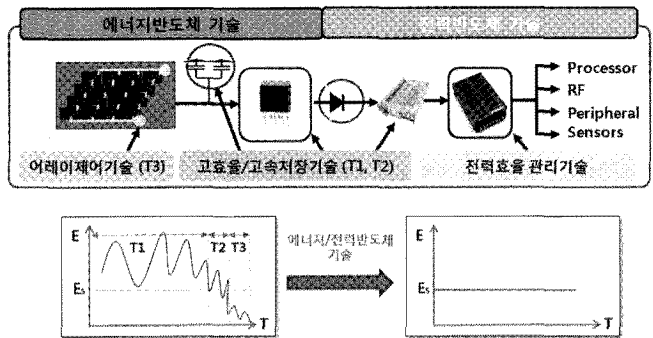
에너지/전력반도체 기술은 친환경 자가충전 마이크로 전원모듈 내의 에너지 자원의 효율적 활용과 안정적 에너지/전력 수급을 위해 수확되는 에너지를 매우 효율적으로 변환 및 저장하는 에너지반도체 기술(Energy Semiconductor Technology)과 저장된 전력을 부하에 잘 분배 및 관리하는 전력반도체 기술(Power Semiconductor Technology)로 구성되어 자가충전 전원모듈의 에너지 효율을 상승시켜 그린 IT 구현을 가능케 한다. <그림 2>는 에너지/전력반도체 기술을 보여준다. 에너지 반도체 기술에서 주위 환경변화에 따라 출력에너지가 불규칙적이고 시간에 따라 변화는 전원을 안정적이고 시간에 따른 변화가 없는 자가충전 전원모듈용 에너지 변환 어레이 제어 및 고효율/고속 저장기술이 매우 중요한 기술로 에너지관리 칩(Energy Management IC)으로 대표되고 전력반도체 기술에서 고효율 출력부하 전력관리 및 에너지반도체 제어 기술이 매우 중요한 기술로 전력관리 칩(Power Management IC)으로 대표된다. 에너지 관리

칩과 전력관리 칩은 서로 유기적으로 제어하여 에너지 변환 소자 및 어레이에서 수확되는 소량의 에너지를 손실없이 최대한 저장소자에 저장하고 다양한 출력부하들의 전원을 공급하는 역할을 한다. 그래서 에너지 관리 칩에서 소모되는 에너지를 최소화하는 기술이 요구된다.

에너지 관리 칩(Energy Management IC) 및 전력관리 칩 (Power Management IC)을 통합한 에너지/전력관리 칩(Energy & Power Management IC) 내장한 자가충전 마이크로 전원모듈은 자동차/도로 환경의 모니터링 시스템, 능동형 RFID 및 USN 센서노드 시스템의 반영구적 독립전원으로 응용할 수 있음은 물론, 초소형화 전원모듈까지 개발이 심화되면 인체 삽입/내장용 의료기의 전원으로서도 폭 넓게 활용될 수 있다.

III. μ W급 자가충전 전원모듈용 에너지/전력반도체 기술 동향

국외 에너지/전력반도체에 대한 연구는 미국, 일본, 유럽 등의 연구소, 학교, 산업체에서 활발히 연구가 진행 되고 있으며, 대용량 태양광용 에






<그림 2> 에너지/전력반도체 기술

너지 관리 칩(EMIC) 기술은 이미 성숙하여 상용화 단계에 있으며 응용분야의 서비스 확대를 위한 다양한 에너지원을 활용하는 에너지 관리 칩(EMIC) 기술이 새롭게 대두되고 있다. 미국 MIT, UC Berkely, Linear Technology, 프랑스 CEA/LETI, 일본 NEC, 유럽 IMEC 등에서는 태양광, 열전 혹은 압전(진동) 등 다양한 에너지 변환 소자용 저전력 회로 및 에너지관리 칩(EMIC) 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 미국 MIT, UCLA, 일본 NEC, 프랑스 CEA/LETI에서 ISSCC, VLSI Circuit 등 주요 학회에서 에너지변환용 에너지 관리 칩(EMIC)에 대한 논문 발표가 활발하며, 소형 자가충전 전원 모듈용 에너지관리 칩(EMIC)과 전력관리 칩(PMIC) 연계기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. <그림 3>은 학회에 발표된 에너지 변환용 에너지 관리 칩 기술을 보여준다^[3~5]. 수확되는 에너지원의 고에너지 변환효율을 위해 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘 적용이 에너지관리 칩(EMIC)기술에서 요구되며 미국 UCLA에서는 하드웨어 방식의 MPPT 알고리즘을 적용한 태양광 에너지변환 에너지 관리 칩(EMIC)을 개발 하였다. 미국 AltaLabs 에서는 최대 3V, 0.65A급의 환경 감시 센서노드용 태양광 전원을 상용화하였고, Advanced Linear Devices 에서는 800nW

~3uW급 열전/기전 변환소자와 슈퍼커패시터를 이용하여 WSN 노드 센서용 에너지 하베스팅 모듈 시리즈(Energy Harversting Modules)를 상용화 하였다^[3,6].

현재 마이크로 전원모듈용 에너지 관리 칩(EMIC) 기술은 하이브리드 형태의 개발 단계에 있어서 상용화를 위한 고효율 집적화 기술개발이 요구되고 주된 응용분야는 감시/보안용 RFID/USN 센서노드이다. 국내 에너지 관리 칩(EMIC)기술에 대한 연구는 태양전지를 이용한 에너지관리 칩(EMIC)에 대한 기초연구가 출연 연구소, 대학 중심으로 진행되고 있으며, 소형 자가충전 전원모듈용 에너지 관리 칩(EMIC) 기술은 초보 단계에 있다. 향후에는 다양한 입력 에너지원에 다양한 알고리즘을 적용 할 수 있는 소프트웨어 MPPT 알고리즘 적용 한 에너지관리 칩(EMIC) 개발과 수확된 에너지 소비를 최소화 하는 1V이하의 극저전압 회로기술 및 극저전력 제어 회로 기술 개발이 요구된다.

미국 켈컴, Maxim, 유럽의 freescale 등에서는 다양한 사양의 휴대단말기기용 전력 관리 칩(PMIC)를 양산하고 있고, 미국 National Semiconductor 와 영국 ARM 에서는 ARM 코아 와 PowerWise 기술을 결합한 Intelligent Energy 관리 칩을 양산하고 있다. 휴대기기용 고효율 전력관리 칩 기술은 고성능, 다기능 휴대

기관	UC Berkely, 미국	MIT, 미국	CEA/LETI, 프랑스
제품			
구성	태양광 변환 + DC-DC 컨버터 + 저장장치	DC-DC 컨버터 + 에너지 센싱회로 + DAC	열전 + DC-DC 컨버터 + Charge pump
출력파워	15 mW ~ 150 mW	1 uW ~ 0.1 mW	0.35 mW
변환효율	80 % ~ 84 %	82 % ~ 86 %	50 % (열전)

<그림 3> 발표된 에너지관리 칩 기술

기기의 다양한 서비스 충족을 위한 전력관리 기능이 매우 중요하여 전력관리 칩(PMIC)와 배터리 관리 칩(BMIC) 기능을 단일 칩 화하는 추세로 발전하고 있으며 현재는 배터리 관리 칩(BMIC)의 일부 기능만 추가된 전력관리 칩(PMIC) 제품을 양산하고 있고, 내부 시스템에서 요구하는 다양한 전압을 제공하기 위해 다수의 벅 컨버터, 부스트 컨버터, LDO, 배터리 충전기, 백라이트 구동회로 뿐만 아니라 효율적인 전원관리를 할 수 있도록 MCU 및 I2C 인터페이스를 내장하는 등 하나의 전력관리 칩(PMIC)가 시스템 전체의 전원을 관리할 수 있는 통합 솔루션 형태로 개발되고 있다. 국내 전력관리 칩(PMIC)에 대한 연구는 업체중심으로 상용화 연구가 진행되고 있지만 관련 제품은 전량 수입에 의존하고 있으며, 소형 전원장치에 대한 전력관리 칩(PMIC)기술에 대한 연구는 초보 단계이다.

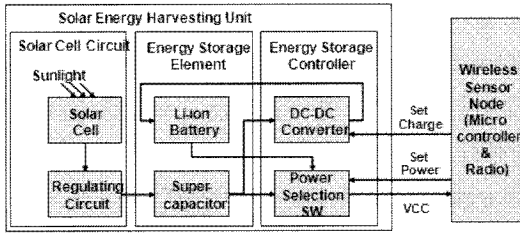
1. 태양광 에너지 변환용 에너지 관리 칩

미국 UC Berkely에서는 Wireless Sensor Networks용 Micro-Solar Power Systems 개발에 대한 연구를 오랫동안 진행 해 오고 있으며 개발한 시스템을 Great Duck Island와 Golden Gate Bridge에 적용하여 실증까지 완료 하였다. 개발 한 시스템은 RF Radio, MCU, Solar Energy Harvesting Unit 및 로드로 구성 되어 있고, 주요 로드는 온도, 습도, PIR, 가속도 센서들이다. 응용 시스템에 따라 에너지 저장 소자로 전지만 사용 혹은 커패시터만 사용 혹은 둘 다 사용하여 수확된 에너지 저장 한다. <표 2>는 개발된 Micro-Solar Power Systems을 사용한 Wireless Sensor Networks용 센서노드 시스템 규격을 보여준다^[3].

<그림 4>는 Helimote 내부 블록도 이고, Sloar Energy Harvesting Unit에서 Regulation Circuit와 DC-DC 컨버터가 주요 구성 요소이다^[3].

<표 2> 개발된 Micro-Solar Power Systems을 사용한 Wireless Sensor Networks용 센서노드 시스템 규격

Nodes and Applications	Solar Panel Power	Storage Type	Storage Capacity	Sensor Node	MPP Tracking
Helimote	190mW	Ni-MH	1800mAh	Mica2	No
Everlast	450mW	Super-cap	100F	Integrated	Yes
Prometheus	130mW	Super-cap (2 units) and Li-ion	22F 200mAh	Telos	No
AmbiMax	400mW	Super-cap (2 units) and Li-polymer	10F 70mAh	Eco	Yes
Sunflower	4 PIN photo diodes instead of solar panel	Super-cap	0.2F	Integrated	No
ZebraNet	0.4W	Li-ion	2Ah	Integrated	Yes
TurtleNet	90mW	Li-ion	250mAh	Mica2Dot	No
Trio node	200mW	Super-cap	250F	Telos	No
Trio gateway	50W	Gel cell battery	17 Ah	Telos and 802.11 bridge	
SHiMmer	360mW	Super-cap	250F	Integrated	No



〈그림 4〉 Heliomote 내부 블록도

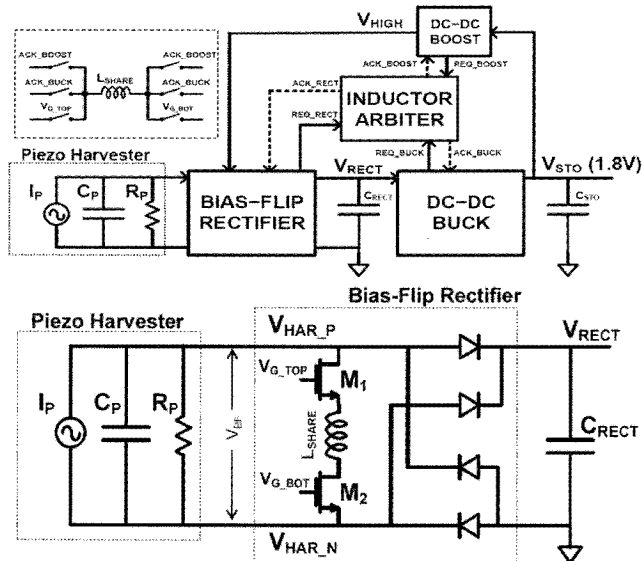
2. 압전/진동 에너지 변환용 에너지 관리 칩

압전/진동 에너지 변환소자의 출력 에너지는 AC 형태이므로 수확된 AC 에너지를 DC 에너지로 변환하는 역할을 하는 회로가 반드시 필요하다. 현재 일반적으로 풀-브리지 다이오드 정류기 회로가 가장 널리 사용되고 있다. 미국 AdaptivEnergy, Ferro Solutions, Midé Technology, Advanced Linear Devices, Microstrain, 영국 Perpetuum, 독일 EnOcean

등에서는 압전/진동 에너지 변환소자 및 WSN용 하이브리드 센서노드 시스템개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 압전/진동 에너지 변환용 에너지 관리 칩에서 압전/진동 에너지 변환소자에서 수확되는 최대 에너지를 저장소자에 저장하게하는 임피던스 매칭 역할을 하는 회로가 매우 중요하다. 〈그림 5〉는 수확되는 압전/진동 에너지를 최대한 활용할 수 있어 변환 효율을 증가할 수 있는 회로도이다 [7].

3. 열전 에너지 변환용 에너지 관리 칩

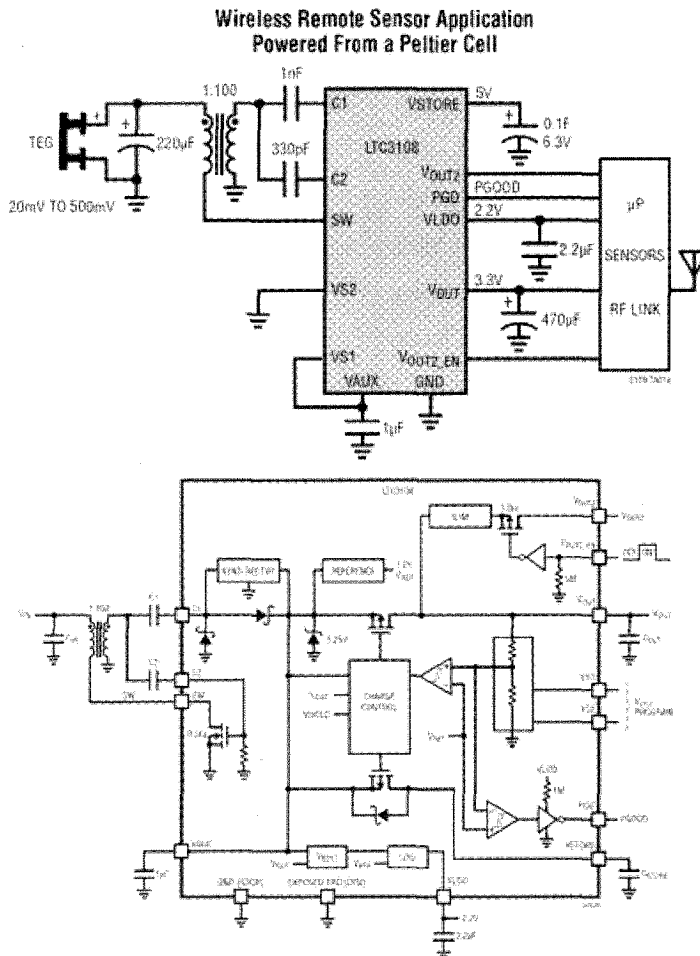
열전 에너지변환용 에너지 관리 칩은 독일 Micropelt 미국 Linear Technology 등에서 열전 에너지 변환소자 및 WSN용 센서노드 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 최근에는 자동차 배기구를 통하여 방출되는 열을 열전소자를 이용하여 다시 재활용하는 연구가 독일의 BMW사 및 Benz사에서 심도 깊게 연구



〈그림 5〉 압전/진동 에너지 변환용 에너지 관리 칩 블록도

되고 있고 일부 상용화 단계에 있다. 열전 에너지 변환용 에너지관리 칩에서도 압전/진동 에너지 변환용 회로와 동일하게 임피던스 매칭 역할을 하는 회로가 매우 중요한 기술이다. 열전 에너지 변환소자의 출력에너지는 낮은 온도 차에서 안정적인 에너지원을 수확할 수 있어야 하고, 열전 에너지 변환용 에너지 관리 칩은 낮은 에너지원의 고효율화 역할을 수행한다. 현재 CMOS MOSFET소자의 문턱전압보다 낮은 출력 에너지 때문에 전압 승압용 회로가 요구된다. 전압 승

압 및 에너지 관리 기능을 가지는 트랜스포머와 Step-up 컨버터를 사용한 열전 에너지 변환용 에너지관리 칩이 미국 Linear Technology에서 상용화 되었고 프랑스 CEA/LETI에서는 Charge Pump 와 DC-DC 컨버터 회로를 사용한 열전 에너지 변환용 에너지관리 칩 연구가 이루어지고 있다. <그림 6>은 상용화된 Linear Technology 열전 에너지 변환 에너지관리 칩 블록도 이다^[8].



<그림 6> Linear Technology 열전 에너지 변환 에너지관리 칩 블록도

IV. μ W급 자가충전 전원모듈용 에너지 /전력반도체 기술 시장동향

에너지관리 통합 칩 내장 자가충전 전원모듈의 주요 활용분야인 RFID/USN 세계시장은 특히 유통, 물류분야의 성장에 힘입어 2009년 약 160억불에서 2018년에는 약 1,275억불 정도에 이를 것으로 전망되며, 국내시장 규모는 2018년에 약 26억불로 전망된다. <그림 7>은 RFID/USN 세계시장을 보여 준다 [9].

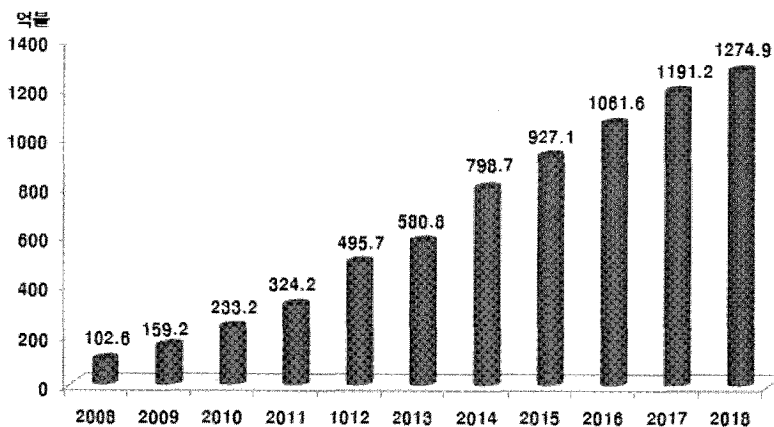
현재 소형 에너지 시장의 대부분은 휴대형 단말기 및 노트북 PC용 전원으로 적용되고 있는 소형 리튬이차전지가 대부분을 차지하고 있으나 향후 RFID 센서태그 및 USN 센서노드 그리고 인체삽입·내장형 진단/치료 의료기기 등의 새로운 첨단 디바이스 시장이 창출될 것으로 예상되며, 에너지 통합 칩 내장 자가충전 전원모듈의 주요 활용분야인 에너지 하베스팅 디바이스 세계시장은 2009년 약 5.3억불에서 2018년에는 약 30억불 정도에 이를 것으로 전망된다[9].

V. 결 론

최근 에너지 위기와 환경규제 강화 및 친환경, 녹색성장 등의 이슈가 대두되면서 주변의 온도, 열, 진동, 압전 등에서 수확되는 주변 환경에너지를 전기 에너지로 변환, 저장 및 분배하는 μ W급 자가충전 전원모듈 및 에너지/전력반도체 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있고 향후 녹색성장을 주도할 수 있는 친환경 절전형 전력반도체 핵심기술 중에 하나로 부각되고 있다.

VI. 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관 리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002077, 자가충전전원모듈 기반 EPMIC]



<그림 7> RFID/USN 세계시장

참고문헌

- [1] 양일석, 장문규, 김중대, 친환경 절전형 전력반도체기술, 전자통신동향분석 제 24권 제 6호, pp.10-21, 2009.12.
- [2] J. A. Paradiso and T. Starner, Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics, Pervasives Computing, pp.18-27, 2005.
- [3] S.Sudevalayam, P. Kulkarni, Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications, TR-CSE, pp.1-23, Dec., 2008.
- [4] Y. K. Ramadass and A. P. Chandrakasan, Minimum Energy Tracking Loop with Embedded DC-DC Converter Delivering Voltages down to 250mW in 65nm CMOS, ISSCC Feb., 2007.
- [5] H. Lhermt, C. Condem, M. Plissonnier, R. Salot, P. Audebertl, and M. Rosset, Efficient Power Management Circuit: Thermal Energy Harvesting to Above-IC Micro battery Energy Storage, ISSCC Feb., 2007.
- [6] www.aldinc.com
- [7] Yogesh K. Ramadass, Anantha P. Chandrakasan, An Efficient Piezoelectric Energy-Harvesting Interface Circuit Using a Bias-Flip Rectifier and Shared Inductor, ISSCC Feb., 2009
- [8] www.linear.com
- [9] www.idtechex.com

저자소개



양 일 석

1989년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 학사
 1994년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 석사
 2008년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 박사
 1999년~현재 한국전자통신연구원 융합부품소재연구부
 분 근무

주관심 분야 : SoC 설계, 전력반도체 설계



김 중 대

1982년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 학사
 1984년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 석사
 1994년 2월 University of New Mexico electrical and
 computer engineering 공학박사
 1984년~현재 한국전자통신연구원 융합부품소재연구부
 분 NT융합부품연구부 부장

주관심 분야 : 전력반도체 소자, NT 융합부품

저자소개



구 용 서

1981년 2월 서강대학교 전자공학과 공학학사
1983년 2월 서강대학교 전자공학과 공학석사
1992년 2월 서강대학교 전자공학과 공학박사
1983년 3월~1993년 2월 한국전자통신연구원
1993년 3월~2009년 8월 서경대학교 교수
2009년 9월~2010년 현재 단국대학교 교수

주관심 분야 : ESD Protection Device 설계, Power
Device 설계, Power Management
IC설계 등