



## 압전 에너지 하베스팅 기술 동향

글 \_ 정영훈  
한국세라믹기술원

### 1. 서론

지금까지 화석연료, 수력, 핵연료 등의 형태로 얻어진 전기에너지는 배터리 등에 저장되어 다양한 전자기기를 구동시키는데 이용되어 왔다. 그러나 최근에 에너지 원료의 고갈과 환경오염 문제는 새로운 에너지원에 대한 관심을 증대시켰고, 전자기술의 빠른 발전에 따른 전자기기의 소형화와 구동 에너지 감소는 에너지 절감 기술의 대안으로 에너지 하베스팅 기술을 대두시켰다. 에너지 하베스팅 기술은 자연에 존재하는 태양광, 진동, 열, 풍력, 위치에너지, 전자기파 등과 같은 에너지를 수확하여 사용할 수 있는 전기에너지로 변환하고 이용하는 것을 뜻하며, 에너지원에 대한 비용이 없고, 대용량 발전 보다는 독립 전원이나 발전 기술로 다양한 응용 분야에 적용할 수 있기 때문에 널리 연구되고 있다.

스마트폰 시장이 성숙기로 접어들면서 요즘 IT/전자업계에서 이슈가 되고 있는 무선센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)용 센서 노드와 웨어러블 디바이스(wearable device) 분야가 향후 유력한 산업으로 인식되고 있다.

수십-수백 mW 수준의 비교적 저전력을 가지는 무선센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)용 센서 노드 분야에 에너지 하베스팅 기술이 적용되면서 기존 센서 노드의 전력을 공급하던 배터리를 대체하기 위한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 저전력 무선센서 노드의 효율적인 운영을 위해서 빌딩 및 산업 자동화, 구조

물 진단, 상태 모니터링 등에 적용 가능한 무선전송 네트워크의 에너지 절감 기술로서의 에너지 하베스팅의 필요성은 더욱더 부각되고 있다.

웨어러블 기술은 진보된 전자산업 기술을 적용할 수 있는 의류나 착용이 가능한 액세서리 형태의 전자부품에 적용이 가능한 기술을 의미한다. 최근 전세계적으로 주목받고 있는 웨어러블 기기용 전자 디바이스는 스마트 워치, 스마트 안경, 신체나 의류에 장착이 가능한 피트니스 트래커(fitness tracker)나 헬스케어(health care)용 전자 장치들이 대표적인 제품들이다. 지금까지 웨어러블 기술이 적용된 대다수의 제품들은 모바일폰이나 휴대용 컴퓨터, 카메라, 손목시계, 헤드폰이나 RFID 칩이 장착된 의류 등을 예로 들 수 있다. 이들은 큰 시장을 형성하고 있지만, 웨어러블 기술의 개념은 전혀 새로운 것이 아니며, 웨어러블 기술이라는 용어는 불과 2011년 또는 2012년 즈음부터 사용되기 시작하여 지금까지 대표적인 미래 기술 용어로 쓰이고 있다. 최근의 웨어러블 기술 분야에서 주로 언급되는 대표적 마케팅 제품은 스마트 워치나 각종 센서를 통해 생체정보를 수집하고 운동량 측정이 가능한 피트니스 트래커, 착용가능한 음향 장치인 헤드셋과 같은 제품에 집중되어 있다. 그러나, 소위 웨어러블 기기의 히스토리를 보면 이들 제품 이외에도 훨씬 광범위한 제품들이 존재하며, 웨어러블 산업의 향후 성공적인 산업 패러다임은 배터리, 저전력 프로세서, 센서, 디스플레이, 정보통신 기술의 융합 기술의 완성에 있다고 할 수 있다(Fig. 1).



Fig. 1. 웨어러블 기기의 역사.<sup>1)</sup>

본 고에서는 이러한 무선센서 네트워크용 센서 노드와 웨어러블 디바이스용 제품에 응용되고 있는 각종 소재 기술 현황과 향후 두 분야 산업의 전망에 대해 서술하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1. 무선센서 네트워크용 센서 노드

#### (1) 무선전송 네트워크용 에너지 하베스팅 기술

최근 아날로그와 디지털, 하드웨어와 소프트웨어, 사물과 사람 등 융합기술이 고도화되면서 유비쿼터스 환경이 초래하고 그에 따른 각종 센서(온도, 가속도, 위치 정보, 압력, 지문, 가스 등)의 전원 공급과 초저전력형 휴대 전자기기의 효율적 활용을 위한 전원 확보 문제가 대두되었다. 그러나 현재 전원기술은 주로 배터리를 이용하기 때문에 시스템 수명의 한계와 지속적인 전원 공급을 위한 주기적인 배터리 교체 및 관리로 인한 추가적인 비용 문제와 환경오염 문제가 발생하는 단점이 있다.

따라서 배터리 사용이 제한되거나 문제시되는 곳과 제어 시스템 관리의 자동화가 필요한 곳에서는 무선센서 네트워크 기술과 에너지 하베스팅을 이용한 에너지 저감 기술의 접목을 통해 문제 해결의 실마리를 찾게 되었다. 또한, 에너지 효율을 개선하기 위한 스마트 그리드, 저전력 박막 전자 기술의 향상, 에너지 하베스팅 전원 관리 솔루션은 에너지 하베스팅 기술의 토털 솔루션을 발전시키는데 크게 기여하였다. 현재 에너지 하베스팅 기술을 이용하여 제품의 신규 시장을 형성하는데 무선센서 네트

워크 시장이 중요한 역할을 하고 있으며, 빌딩, 교량과 같은 대형 구조물 상태관리, 산불, 홍수와 같은 환경 재난 관리, 수산 생태 환경 관리, 화물 관리, 홈 네트워크 등 관련 제품의 상용화를 이끌 다양한 응용 분야에서의 기술이 소개되고 있다.

Fig. 2에 나타낸 것처럼 임의로 분포된 무선센서 노드는 배터리, 센서, 마이크로프로세서, 라디오 통신부로 구성되며, 네트워크 시스템은 각 요소별 전력을 소비하는 비율이 노드 설계에 따라 다소 차이가 있을 수 있지만, 대체적으로 통신계통 시스템이 60% 수준으로 가장 많은 전력을 소비하고, 감지 신호를 처리/제어하는 회로부인 제어계통 시스템이 약 25% 가까이 소모하며, 나머지 감지 대상의 물리적 환경 정보를 감지하는 센서계통 시스템이 약 15% 수준으로 전력을 소비하게 된다(Fig. 3). 무선센서 노드의 각 구성 요소별 전력 소비에 영향을 미치는 요인을 살펴보면, 배터리는 방전율, 배터리 크기, DC/DC 변환 효율 등이 있으며, 센서부에서는 신호처리 손실, 신호 상태 등이, 마이크로프로세서에서는 동작 주

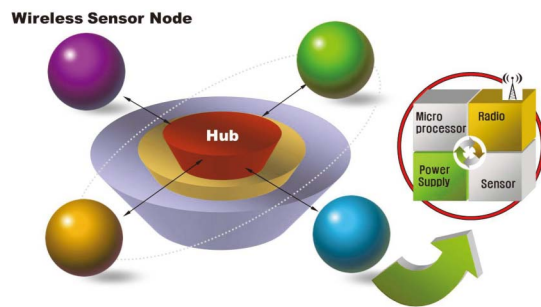


Fig. 2. 무선센서 네트워크 시스템 구성.

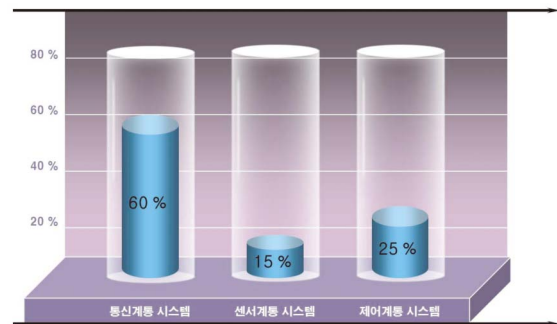
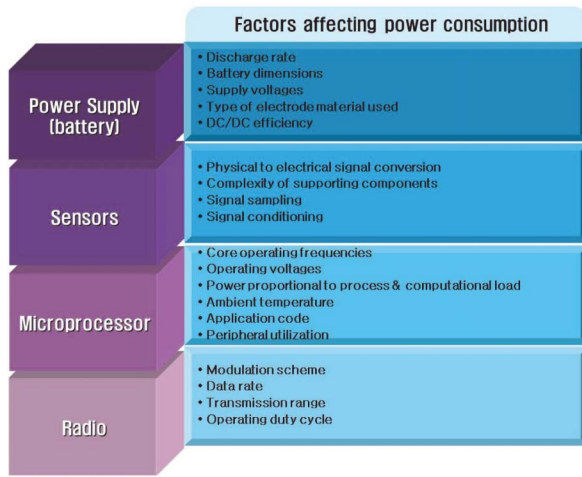


Fig. 3. 무선센서 노드 전력소비 비율.



**Fig. 4.** 무선센서 노드의 전력소비에 영향을 미치는 요소<sup>1)</sup>  
 파수와 전압, 온도 등이 영향을 미치며, 통신부에서는 데이터 속도, 전송량, 사용률(Duty cycle) 등이 주요 전력 소비원이 될 수 있다(Fig. 4).

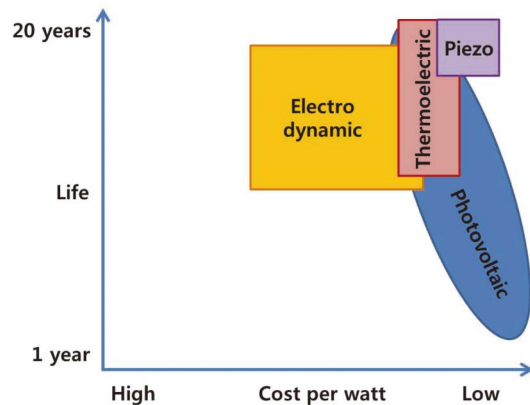
기존의 무선센서 네트워크를 구성하는 센서 노드는 대부분 소형 건전지로 동작을 하였기 때문에 제한된 수명에 기인하여 접근성이 어려운 곳에 설치된 센서 시스템의 경우, 장기적이고 안정적인 운영을 요구하는 무선센서 네트워크의 작동이 어려웠다. 이로 인하여, 무선센서 노드의 전력소비를 최소화하기 위한 다양한 요소 기술이 개발되기 시작하였다. 전력소비에 기반한 다양한 무선통신용 프로토콜 중에서 특히 Bluetooth, ZigBee 등은 저전력 운영이 가능하기 때문에 무선오디오, 무선헤드셋 등 모바일 전자기기나 가정, 산업 분야의 정보 통신 서비스에 주로 활용이 되어왔다. 이들 통신 프로토콜은 수십 mW 이하의 낮은 전력을 소비하기 때문에 에너지 하베스팅 기술을 이용한 자가 전력 공급 기반의 무선센서 네트워크 시스템에 적극 활용이 되었다.

(2) 진동에너지 변환에 의한 무선센서 노드

효율적인 에너지 안전 진단을 위한 신개념 기술 분야로 진동에너지 변환에 의한 무선센서 네트워크 분야를 들 수 있다. 이는 주변 환경의 기계적인 진동을 전기에너지로 변환할 수 있는 에너지 변환 소재를 통해 구조물의 안전 진단을 위한 물리적 정보를 각종 센서로부터 탐지

하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결, 구조물의 상태 정보를 관리하는 능동형 시스템 기술인 것이다. 앞서 설명한 바와 같이, 진동에너지 하베스팅 기술은 태양광, 전자기, 열전 기술을 이용한 타 에너지 하베스팅 기술과 비교하여 전력변환효율이 보다 우수한 것으로 알려져 있으며, 하베스터 모듈을 구성하는 구조물의 크기, 외부 진동 조건, 평가 장비에 따라 변하는 특성 때문에 출력 전력밀도를 절대적으로 비교하기 어렵지만 대체적으로 압전 에너지 하베스팅 기술의 효율은 상대적으로 높게 보고되고 있다. 뿐만 아니라, 산업 분야에 적용 시 사용 수명과 경제성도 매우 우수한 것으로 나타나 무선 센서 네트워크와 같은 저전력 전원이 활용 가능한 분야에서 적용 가치가 높은 것으로 인식되고 있다(Fig. 5).

Fig. 6에서 나타낸 바와 같이, 소형 전자제품의 구동 요구 전력의 크기를 보면 전자시계의 경우 1 μW 수준의 매우 낮은 소비 전력이 요구되며, RFID 태그의 경우 10 마이크로 와트 정도, 블루투스(Bluetooth), MP3의 경우 10~100 mW 수준으로 더욱 큰 전력을 요구하고 있으며, 1 W 이상의 GSM과 일반 소비 가전인 Lab top, Desk top 컴퓨터의 경우 수십 와트 이상의 소비 전력이 요구되고 있다. 하지만 무선센서 네트워크(WSN)에서 요구하는 전력은 신호의 전송이 이루어지지 않고 대기상태를 나타내는 수면 모드(Sleep mode)에서 10 μW 수준의 낮은 전력이 소모되는 반면에, 감지 데이터를 송·수신하기 위한 활성모드(Active mode)에서는 수십 mW 수준 이상



**Fig. 5.** 다양한 에너지 하베스팅 기술의 사용 수명과 경제성 비교<sup>3)</sup>

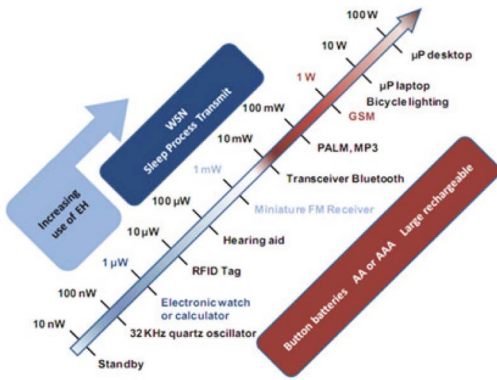


Fig. 6. 소형 전자제품의 구동 요구 전력.<sup>1)</sup>

의 구동 전력이 요구된다. 통상적으로 압전에너지 하베스팅 기술에서 보고되고 있는 출력 전력 밀도 수준은 수  $mW/cm^3$ 에서 수십  $mW/cm^3$  수준으로 무선센서 노드의 전원으로 활용이 충분히 가능하다.

Fig. 7에 나타낸 바와 같이, 한국세라믹기술원은 (주) 센블, 한전KDN 등과 협력 연구를 통해, 높은 에너지밀도를 가지는 압전 세라믹 후막 소재를 이용한 진동 에너지 하베스터를 개발하여 지속적으로 진동이 발생하는 변압기(transformer)와 같은 전력 구조물의 상태 진단을 위한 ZigBee 통신 기반의 무선센서노드의 전원으로 활용하여 성능을 평가하였다. 진동주파수 120 Hz, 1g 이하 수준의 극히 열악한 진동가속도 환경에도 불구하고, 무선센서노드의 원활한 동작이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 진동-전기 변환 에너지를 활용하여 온도센서의 감지 신호를 무선으로 전송하고 수신부에서 센서 정보를 모니

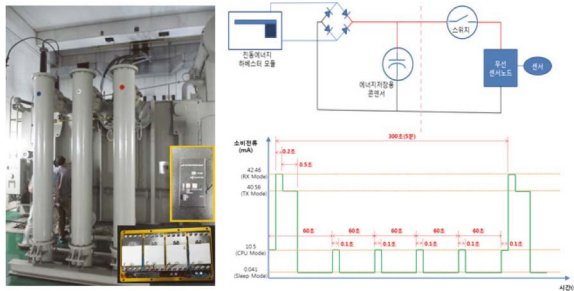


Fig. 7. 압전에너지 하베스터(좌측 사진 하단)를 적용한 변압기용 무선 온도센서 노드 및 구조와 Duty cycle.

터링할 수 있었으며, 에너지 저장용 콘덴서에 충전된 전압 상승의 확인이 가능하였다. 현재 사용되고 있는 무선센서 노드의 90% 이상은 에너지 하베스팅 기술 없이는 배터리 대체 기술의 실현이 불가능하기 때문에 무선센서 네트워크의 다양한 구성 요소(센서, 센서 노드, 게이트웨이 등)에 적용되는 전력 공급부가 진동에너지 하베스터를 이용한 전원 모듈에 비해 다양한 응용 프로그램에서 적용이 가능할 것으로 예상된다.

### (3) 진동에너지 하베스팅 기술의 무선전송 네트워크 산업 응용

Fig. 8에 나타낸 바와 같이, 에너지 하베스팅 기술의 적용이 가능한 건물 자동화와 같은 장치산업 시장의 성장세는 1~2년 내 10% 이하 수준이지만, 2017년경에는 연간 성장률이 62% 수준으로 급속한 성장이 이루어질 것으로 예측하고 있다. 비록 초기에는 성장세가 느리지만 향후 5년 이후 경에는 급속한 성장세 패턴을 보이게 되며, 이러한 추세는 환경 모니터링 및 산업 공정 등의 다른 유사한 응용 산업 분야에서도 관찰되어진다. 그러나 산업용 기계류에서 발생하는 진동으로부터 에너지를 수확하는 진동에너지 하베스팅 산업은 현재 에너지 하베스팅 산업 중 가장 빠르게 성장하는 형태로서 향후 2016년과 2017년 사이에는 거의 60% 가까이 연간 성장 속도를 얻을 수 것으로 예측하고 있다. 이러한 산업적 수요의 성장세를 통해 구조물 진단 분야와 화물 운송 분야와 같이 보다 세분화된 응용 프로그램이 개발되고 있다.

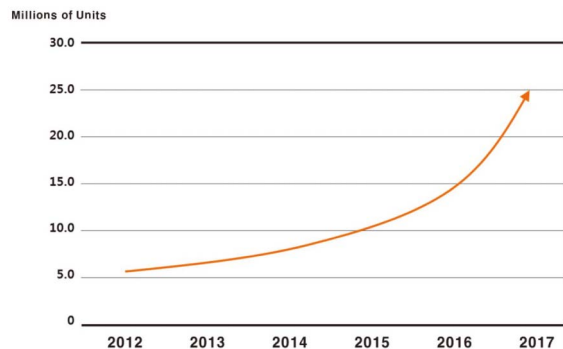


Fig. 8. 세계 에너지 하베스팅 노드 기반 건물 자동화 성장 추세.<sup>4)</sup>



산업용 기계류에서 발생하는 진동으로부터 에너지 수확을 통해 무선센서 노드에 적용하는 산업용 제품의 대표적인 응용 사례를 살펴보면, 미국 MicroStrain의 진동 에너지 하베스터 제품(PVEH)은 센서(진동, 온도, 습도 등) 노드의 전원으로 사용하기 위한 장치로서 진동이 발생하는 곳에 부착하여 진동발생 시 압전체의 변형에 따른 전하를 발생시키며 가속도 1.5 g, 주파수가 1 kHz일 때 30 mW가 발생한다고 보고하였다(Fig. 9(a)).<sup>5)</sup> 독일 Perpetuum의 Free Standing Harvester는 진동원에 부착하여 진동원의 진동 주파수를 측정된 뒤 주파수에 맞게 설계된 하베스터를 부착하여 센서 노드의 전원으로 활용이 가능한 제품을 소개하고 있다(Fig. 9(b)).<sup>6)</sup> 또한, 미국의 MIDE사에서 유연하면서도 큰 변형에도 깨지지 않는 안전하게 밀봉을 한 압전세라믹 기반의 QuickPack 압전 변환기를 사용하여 무선 압전 에너지 하베스터를 개발하고 제품화 하였는데,<sup>7)</sup> 이 하베스터는 무선 구조물 안전 진단센서 등에 자가 발전장치로 적용될 수 있다. 대만의 SUNNYTEC이란 압전세라믹 회사는 압전세라믹 복합재를 이용하여 무전원 원격스위치를 개발하였고,<sup>8)</sup> 독일의 EnOcean사는 송신단(Transmitter Module)에 압전 에너지 하베스터를 적용하여 배터리가 필요 없이 스위치를 눌렀을 때 발생하는 에너지를 센서 구동, RF 무선신

호 송신, 각종 변환기를 작동시키는데 활용하였으며, 또한 Button push 방식의 경우 3 mm×5 N의 힘을 가하였을 때 200 μW의 에너지를 얻을 수 있다고 발표하였다.<sup>9)</sup>

## 2.2. 웨어러블 디바이스

### (1) 웨어러블 디바이스용 압전 기술

지난 수십 년 동안 무선 자동화 마이크로시스템(wireless autonomous microsystem)을 개발하기 위한 많은 연구가 진행되었다. 기존 전기화학적 배터리의 사용은 에너지의 용량과 취급에 따른 문제점으로 인해 이의 대체 노력과, 시스템의 자동화를 위한 전원, 즉 전력 공급용 전원 개발에 따른 에너지 소스를 찾기 위한 다방면의 연구자들의 노력이 수행되어왔다. 뿐만 아니라, 전자 디바이스도 역시 에너지 소비량을 줄이기 위한 기술 개발이 꾸준히 이어져 왔으며, MEMS 기술과 메카트로닉스 기술의 발전으로 인해 연구자들은 주변의 미활용되고 있는 에너지로부터 이들 마이크로시스템의 전원 공급을 위한 방법에 대한 연구가 보다 쉽게 이루어지게 되었다. 특히 인간의 지속적인 움직임이나 자각하지 못하는 규칙/불규칙적인 신체 진동들은 웨어러블 디바이스 응용을 위한 유효한 에너지 소스로 활용되기 시작하였다. 이러한 웨어러블 디바이스는 여러 과학자들의 열렬한 개발 노력에 따라 PZT라고 하는 스마트한 압전 소재의 개발로 인해 더욱 성능이 강화되고 경쟁력을 가질 수 있게 되었다. PZT 소재는 적은 양으로도 높은 탄성 밀도를 가지고 기계적인 에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는 우수한 압전 성능을 지닐 뿐만 아니라 이러한 특성을 이용하여 트랜스듀서로서 매우 우수한 성능을 가지기 때문이다.

웨어러블 디바이스는 기본적으로 신체 신호의 감지를 제어하고 감지된 정보를 통신하는 기능과 저장, 신호처리 기능을 갖고 있어야 하며, 사용의 편의성과 안전성, 내구성 등이 기본적인 요건이 되어야 한다. 압전 웨어러블 디바이스의 경우, 통상적으로 ZnO, PZT 나노로드, 나노와이어, 나노파이버 등 유연한(flexible) 소재 중심으로 연구개발이 대학, 연구소 위주로 기술 개발이 되어 왔으며, 이들 기술을 산업적으로 응용하기 위하여 에너지 하베스팅 기술이 연구되었다. 하지만, 이들 나노 구조를

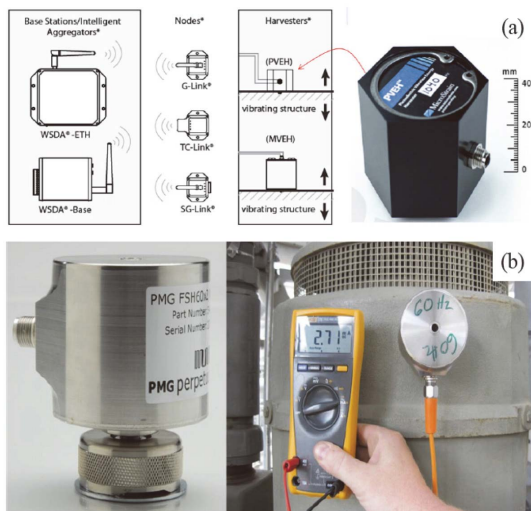


Fig. 9. (a) MicroStrain과 (b) Perpetuum의 진동에너지 하베스터.<sup>5,6)</sup>



가지는 소재는 견고한 기관이나 휘어지는 유기물 기관 소재 상에 비교적 손쉽게 결정을 성장할 수 있으며, 대면적 구조를 갖기 위한 어레이 기술도 상당 부분 진전이 이루어져 왔으나, 출력되는 전력 발전 수준이 수 mW 급으로 산업적으로 응용하기에는 다소 무리가 있었다.

최근에는 압전 세라믹 파이버와 폴리머를 결합한 복합 소재 개발을 통해 유연한 압전 성능 기반의 센서, 액추에이터 개발이 가능해 졌으며, 에너지 하베스팅으로 응용을 위한 연구도 미국의 다수 기업에서 진행이 되고 있다. 특히, 미국 NASA, Langley에서 특허 개발한 MFC (Macro-fiber Composite)라는 물질은 단면이 사각형으로 이루어진 압전 세라믹 파이버(fiber)를 다수로 어레이(array)하여 에폭시(epoxy) 유기물을 압전 세라믹 파이버의 간격 사이에 채워 넣어 상하부에 금속 전극이 패턴되어 있는 폴리머 패키징을 한 후 웨어러블 디바이스에 응용하기 위한 복합소재가 판매되고 있다(Fig. 10). 이러한 소재는 압력을 감지하기 위한 스마트 텍스타일 형태로 제조하여 웨어러블 디바이스에 응용이 가능하기 때문에, 섬유-IT 기반의 융합형 사업의 주요한 아이টে็ม으로 연구가 진행이 되고 있다.

미국 조지아 공과대학교에서는 2  $\mu$ W 두께의 손목에 붙일 수 있는 웨어러블 압전 디바이스를 개발하였다(Fig. 11). ZnO 동질 p-n 접합을 이용하여 손가락 움직임에 따라 개선된 출력 값을 보고하였다. 이러한 ZnO 동질 접합 압전 디바이스는 사람의 움직일 수 있는 다양한 근육과 관련된 응용범위가 기대되며, 이와 관련한 연구가 다양

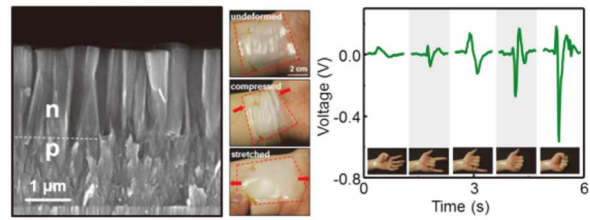


Fig. 11. ZnO 동질 p-n 접합 막의 미세구조와 손의 움직임에 따른 전압<sup>10)</sup>하게 진행되고 있다.

국내에서도 웨어러블 디바이스와 관련된 연구가 몇몇 대학과 연구소에서 진행되고 있다. Fig. 12에 나타난 바와 같이, KAIST에서는 Laser lift-off (LLO) 공정을 통하여 대면적의 가볍고 투명하며 유연한 PZT nano-generator(NG)를 개발하였는데, 에폭시를 이용한 IDE 구조를 가지면서 높은 출력 값을 나타내었다. 현재 더 높은 출력 값을 얻기 위해 다층구조 및 3D 구조에 대한 연구가 진행 중에 있다. 또한 같은 연구실에서 플라스틱 기관에 단결정 압전 PMN-PT 박막을 제조하여(Fig. 13), 살아있는 쥐의 심장과 연결하여 심전도를 측정함으로써 고효율의 에너지 하베스터의 가능성을 확인하였고, 의료계의 다양한 응용범위 또한 예측 가능하였다. 성균관대학교에서는 P(VDF-TrFE) 폴리머와 CNT/PDMS 복합체로 이루어진 하이브리드 신축성 nanogenerator를 개발하였다(Fig. 14). 유연성 및 신축성 때문에 사람 신체 어디에도 붙일 수 있고, 사람이 움직이거나 운동을 할 때, 나오는 열로부터 우수한 출력 값을 얻을 수 있었다.

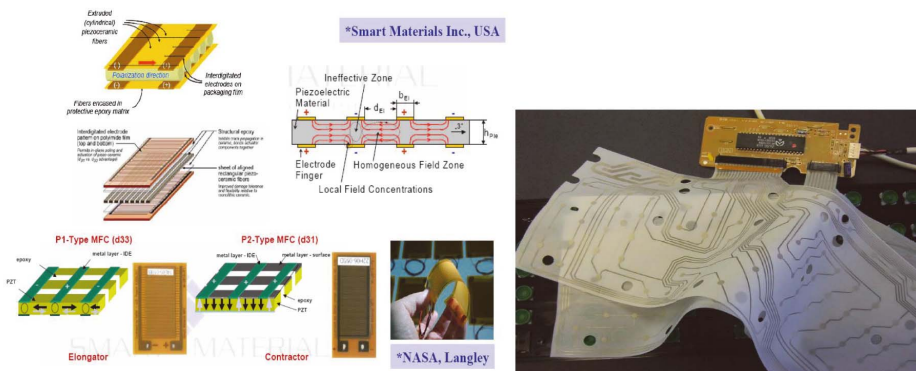


Fig. 10. 압전세라믹 복합체 MFC의 구조와 웨어러블 스마트 텍스타일 응용 예시

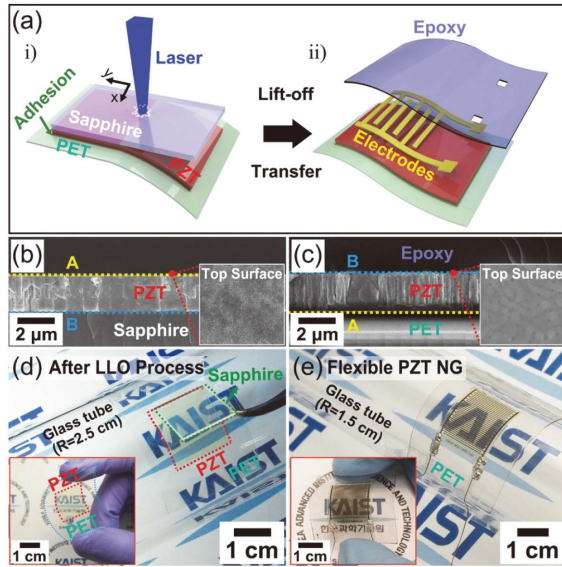


Fig. 12. Laser lift-off (LLO) 공정을 이용한 PZT nanogenerator(NG)의 미세구조 및 외형사진.<sup>11)</sup>

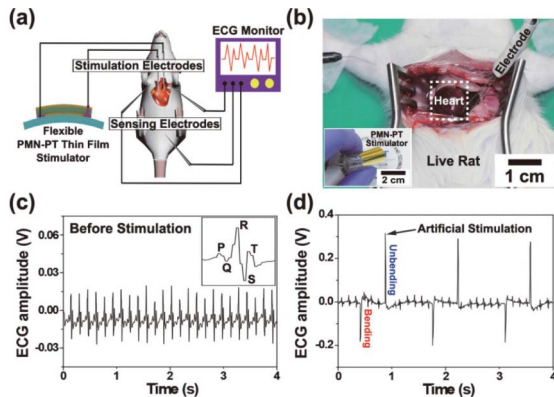


Fig. 13. 살아있는 쥐의 심장과 연결된 PMN-PT 에너지 하베스터의 심전도(electrocardiogram, ECG).<sup>12)</sup>

## (2) 웨어러블 디바이스 산업동향

웨어러블 기술은 이제 글로벌 시장에서 거대한 산업 트렌드를 이끌고 있다. 다국적 기업인 구글, 삼성, 애플 등이 시장을 선도하면서, 각 나라별로 웨어러블 디바이스의 새로운 시장을 개척하기 위한 빠른 흐름이 진행되고 있다. 이러한 시장의 흐름을 만드는 원천 수요는 웨어러블 디바이스가 스포츠, 휘트니스 산업과 결합하면서 헬스케어 기능의 강화에 대한 수요라고 할 수 있다. 최근 모바일 헬스케어 서비스에 대한 시장이 급성장하면서 기

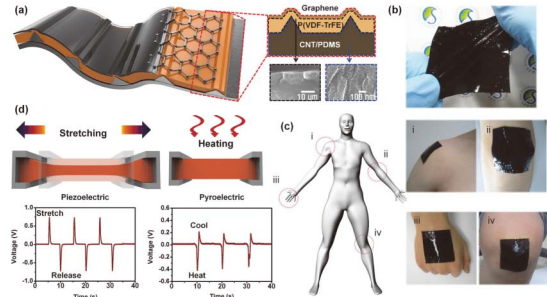


Fig. 14. Hybrid stretchable nanogenerator의 구조 및 신축성과 열에 따른 전압.<sup>13)</sup>

존 스마트폰 시장의 침체기를 극복하기 위한 돌파구로 몸에 직접 착용이 가능하고, 스마트폰으로 데이터를 손쉽게 관리할 수 있는 장점으로 인해 모바일 헬스케어 시장에서의 핵심 상품으로 가치를 높일 수 있기 때문이다. 구글 글라스와 같은 스마트 글라스 제품이 판매를 시작하였고, 게임 산업에서 마이크로소프트 키넥트와 같은 헤드업 디스플레이도 이미 활용되고 있다. 별도의 컨트롤러 없이 사람의 신체와 음성을 감지해 TV 화면 안에 그대로 반영하는 키넥트와 같은 activity monitor 시장으로 이동하고 있는 것이다. Pebble사의 스마트 워치도 판매를 시작했고 의류 분야에서도 늘어나거나 구부릴 수 있는 센서들이 급격하게 활용되기 시작하고 있다. 소니, 삼성, 은 새로운 형태의 스마트 워치를 론칭하였으며, 애플은 스마트 워치 기술에 대한 핵심 특허를 출원하고 있으며, 마이크로소프트는 스마트 글래스에 대한 특허를 전략적으로 출원하고 있다. 지속적으로 심장박동을 모니터링할 수 있는 웨어러블 기기들이 스포츠 시장과 맞물리면서 신제품이 개발되고 있는 등, 웨어러블 기술을 기반으로 한 다양한 제품이 이미 시장에서 패션과 접목하여 소비자들을 사로잡고 있으며, 인텔과 같은 프로세서 제조 기업들도 웨어러블, 사물인터넷(IoT) 기술의 핵심인 저전력 프로세서를 론칭하여 시장의 성장을 기다리고 있다.

전자미디어 분야의 시장과 기술을 분석하고 예측하는 기관인 IHS의 웨어러블 기술의 예측 시나리오 조사에 따르면, 헬스케어, 의료, 휘트니스, 인포테인먼트,ミリ터리 산업 분야에 있어서 웨어러블 기술의 장기적인 미래의 불확실성과 미래제품에 영향을 끼칠 다수의 변화요인들



을 반영하기 위한 예측 시나리오를 설계하였다. 우선, 웨어러블 기술의 부정적인 견해에 따른 시나리오 관측은 제품의 종류가 절대적으로 부족하고, 사용자 경험의 부족과 비웨어러블(non-wearable) 제품과 비교해서 웨어러블 제품에 대한 전체적인 경험 부족 등으로 인해 다소 보수적으로 전망하고 있다. 하지만, 중립적인 전망으로는 성숙한 사용자 경험과 기술의 성공에 따른 웨어러블 기술의 상당한 채택률에 대한 긍정적인 부분과 반하여 non-wearable 제품의 개선된 기능과 메이저 공급기업들의 제품소개에 대한 부족, 의료산업 분야에의 응용기능 부족이라는 부정적인 부분을 근거로 하고 있다. 최상의 시나리오에 따르면, 스마트 글래스, 스마트 워치, 무채혈 혈당 측정기(non invasive glucose monitoring)와 같은 신기술의 성공적인 진입과 메이저 브랜드의 광범위한 제품 응용성을 근거로 웨어러블 제품의 눈에 띄는 성공을 가정하고 있다.

Fig. 15에 나타난 바와 같이, 웨어러블 기술 시장은 향후 2016년에 약 300억불에서 2018년에는 약 600억불까지 성장할 것으로 예측하고 있다. 대다수의 웨어러블 디바이스는 채혈 혈당 측정기와 같은 헬스케어 응용품에 집중되어 있다. 구글의 스마트 글래스와 애플의 스마트 워치의 론칭은 새로운 형태의 무선 웨어러블 디바이스의 형태로 자리잡을 것이다. 즉, 미래에는 개인용 오락(personal entertainment)이나 군사용 제품들이 급격히 증가할 것이다. 수면 센서, 수제 터미널(hand-worn terminal), 헬멧에 부착되어 정보를 제공하는 투명 스크린과 같은

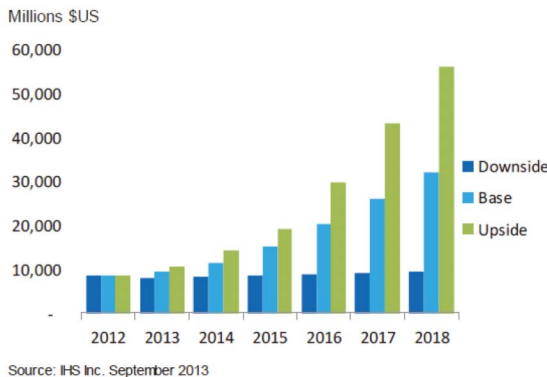


Fig. 15. IHS의 웨어러블 기술의 예측 시나리오

산업/군사용 헤드업 디스플레이와 같은 새로운 형태의 웨어러블 디바이스들은 관련 시장에서 실질적인 데이터를 소비자들에서 동적으로 공급할 수 있기 때문에 훨씬 급격한 성장을 이룰 것으로 예측하고 있다.

오늘날, 최고의 무선 웨어러블 디바이스는 고객의 건강 정보를 사용자 편의를 위하여 진단하고 제공하는 것이다. 이 분야에서 시장을 형성하고 있는 대다수의 웨어러블 제품은 하면서 Abbott and Medtronic 사의 채혈 혈당 측정기와 Fitbit, Adidas miCoach, Nike Fuelband와 같은 운동량 모니터와 같은 디바이스들이다. Garmin, Polar, Suunto사의 휘트니스, 심장박동 모니터는 또 다른 시장을 형성하고 있다고 한다. 이러한 웨어러블 시장의 제품들을 가능하게 하는 핵심기술은 MEMS 센서 기술, 저전력 블루투스를 기반으로 한 통신기술 등이 있으며, 장기적으로는 자가발전 기반의 에너지 하베스팅 기술이 필수적이라고 할 수 있겠다.

### 3. 결론

압전 소재의 성능 개선을 통한 출력 전력 향상의 필요성은 물론이거니와 무선전송 네트워크 기술과의 융합을 통해 웨어러블 응용 제품 구현을 위한 요소 기술의 개발이 절실히 필요한 상황이다. 지금까지 열전기술, 태양광 등 대표적인 에너지 하베스팅 기술과의 경쟁을 통해 압전 분야의 제품이 선제적으로 시장에 제품을 출시하려고 노력을 하였지만, 응용 제품별 필요한 에너지를 경쟁 기술과의 공유를 통해 즉 하이브리드 기술 개발을 통해 동종 산업군 내에서 상생하려고 하는 노력이 필요할 것으로 생각된다. 에너지 하베스팅 시장의 성장이 지속적으로 증가할 것이라는 온-오프라인 분석자료가 많음에도 불구하고 체감할 수 있는 제품 시장의 규모는 그리 크지 않으며, 이를 극복할 수 있는 혁신적인 기술 개발이 필요하다. 에너지 하베스팅 산업의 아시아 시장은 급성장하고 있지만 현재 우리나라의 에너지 하베스팅 기술은 시장의 성장이 지연되면서 다소 위축되어 있는 것이 사실이다. 에너지 효율 개선을 통한 압전 기술의 성능 개선이 절실히 필요한 현재 시점에서 다시금 원천적으로 압전





소재/소자 구조의 한계점을 분석해 보고, 혁신적인 기술 개발을 통해 에너지 하베스팅 기술 기반의 무선센서 네트워크용 센서 노드, 웨어러블 산업을 주도적으로 이끌어 나가야 할 것이다.

## 참고문헌

1. Sensing, Wireless and Energy Harvesting in an Additive Manufacturing Setting, Energy harvesting and storage USA 2012, Oak Ridge National Laboratory (2012).
2. 이수진, 김상우, 함영복, 압전에너지 하베스팅 기술동향 및 전망 (2013).
3. Energy Harvesting and Storage for Electronic Devices 2009-2019, IDTechEx.com (2009).
4. Energy Harvesting & Related Energy Storage Devices: Worldwide Forecasts, 4th Edition, Darnell Group Inc. (2012).
5. Chris Townsend, Exploring Energy Harvesting Technology & Applications, Energy harvesting and storage USA 2011, MicroStrain Inc. (2011).
6. The Evolution of Power for Wireless Sensing & Automation, Energy harvesting and storage USA 2011, Perpetuum (2011).
7. <http://www.mide.com/>
8. <http://www.sunnytec.com.tw/english/>
9. <http://www.enocean.com/>
10. K. C. Pradel, W. Wu, Y. Ding, and Z. L. Wang, "Solution-Derived ZnO Homo Junction Nanowire Films on Wearable Substrates for Energy Conversion and Self-Powered Gesture Recognition," *Nano Lett.*, **14**

6897-905 (2014).

11. K. I. Park, J. H. Son, G. T. Hwang, C. K. Jeong, J. Ryu, M. Koo, I. Choi, S. H. Lee, M. Byun, Z. L. Wang, and K. J. Lee, "Highly-Efficient, Flexible Piezoelectric PZT Thin Film Nanogenerator on Plastic Substrates," *Adv. Mater.*, **26** 2514-20 (2014).
12. G. T. Hwang, H. Park, J. H. Lee, S. Oh, K. I. Park, M. Byun, H. Park, G. Ahn, C. K. Jeong, K. No, H. S. Kwon, S. G. Lee, B. Joung, and K. J. Lee, "Self-Powered Cardiac Pacemaker Enabled by Flexible Single Crystalline PMN-PT Piezoelectric Energy Harvester," *Adv. Mater.*, **26** 4880-7 (2014).
13. J. H. Lee, K. Y. Lee, M. K. Gupta, T. Y. Kim, D. Y. Lee, J. Oh, C. Ryu, W. J. Yoo, C. Y. Kang, S. J. Yoon, J. B. Yoo, and S. W. Kim, "Highly Stretchable Piezoelectric-Pyroelectric Hybrid Nano generator," *Adv. Mater.*, **26** 765-9 (2014).

## 정영훈



- 2002년 고려대학교 공과대학 재료공학과 공학사
- 2008년 고려대학교 대학원 재료공학과 공학박사
- 2008년-현재 한국세라믹기술원 지능형전자부품팀 선임연구원