

# MPG에 의한 유비쿼터스 센서 및 설비분야에의 적용전망

첨단 건물 및 도시 등에 설치된 유비쿼터스 센서 네트워크의 안정적인 운용을 위하여, 이 시스템에 지속적으로 전력을 공급할 수 있는 Micro Power Generation 기술을 소개하고자 한다.

이 윤 표

한국과학기술연구원 에너지메카닉스 연구센터 (yplee@kist.re.kr)

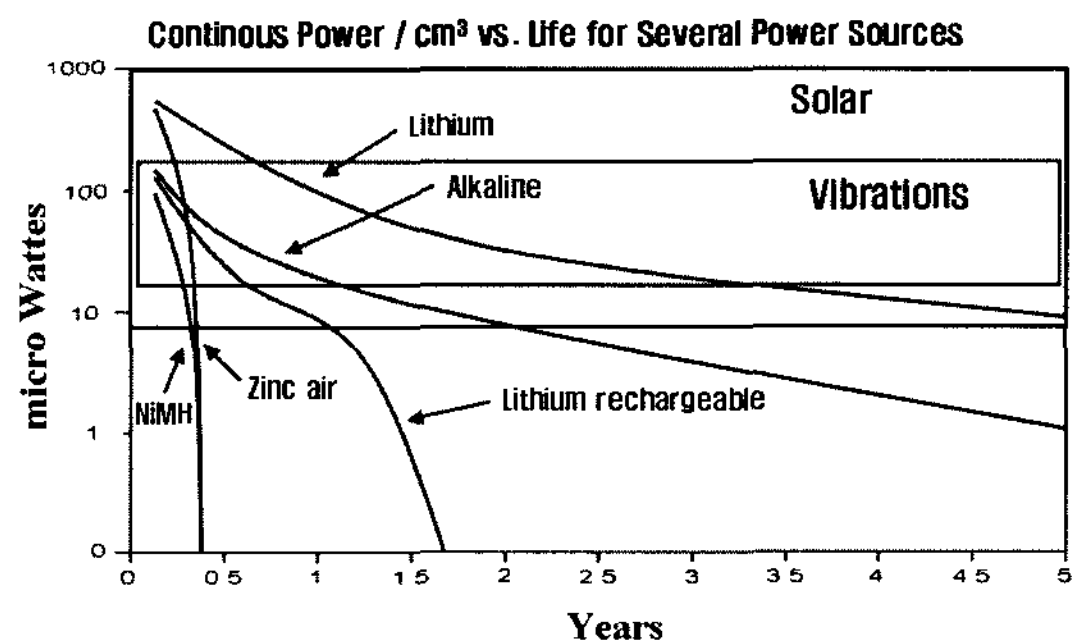
최근에는 U-빌딩, U-city라 하여, 건물 및 도시들이 수백, 수천 개의 센서가 무선 네트워크를 이루는 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network, 이하 USN)를 통해 제어되는 것이 점차 일반화되고 있다. 그러나 한 건물에도 수천개에 달하는 센서의 배터리를 정기적으로 교체하여 주는 일은 그리 간단하지 않다. 이는 배터리 교체 작업에 많은 인력들이 요구될 뿐만 아니라, 내장센서의 경우 배터리 교체 자체가 불가능하기 때문이다. 일반적으로 MPG(Micro Power Generation)라 함은 초소형 동력원을 일반적으로 지칭하는 용어로서 초소형 연료전지, 초소형 배터리를 모두 의미하지만 본 소고에서는 연료의 주입이나 배터리 없이 온도차, 진동, 햇빛, 인체의 움직임 등 주변의 환경에너지로부터 에너지를 획득(Harvest 또는 Scavenging)하여 센서의 구동원으로 이용하는 기술에 국한한다.

## Energy Harvest의 개념

에너지 하베스트는 배터리나 연료의 주입없이 주변에서 얻을 수 있는 빛, 온도, 진동, 그리고 인체의 움직임 등을 이용하여 동력원을 얻는 것이다. 그림 1은 각종 배터리의 시간 경과에 따른 출력을 나타낸

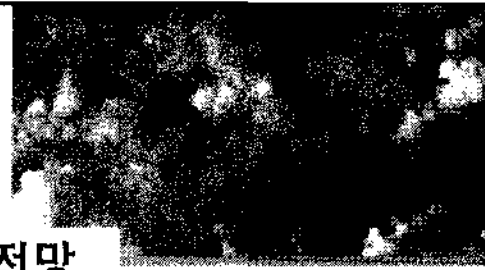
것이다. 충전 배터리라 하더라도 시간 경과에 따라 출력이 급격히 하강하는 것을 나타내고 있다. 일반적으로 충전용 리튬 배터리인 경우 45 W/cm<sup>3</sup>, 재충전용 리튬 배터리인 경우 7 W/cm<sup>3</sup>의 에너지 밀도를 얻을 수 있다. 그러나 비록 충전 배터리라 하더라도 3년 이후에 충전은 거의 불가능하게 된다. 반면 주변에 산재한 열, 빛, 진동, 인간의 움직임 등으로부터 에너지를 획득하여 센서 등의 에너지원으로 이용할 수 있다면 배터리 교체 없이 지속적으로 구동 가능한 시스템이 구현될 수 있다.

그림 2는 주변에너지로부터 최종 전기에너지로의



[그림 1] 시간 경과에 따른 각종 전원의 출력<sup>1)</sup>

1) Shad Roundy, Paul K. Wright, Jan Rabaey, 2003, "A study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes", Computer Communications Vol. 26, pp 1131~1144

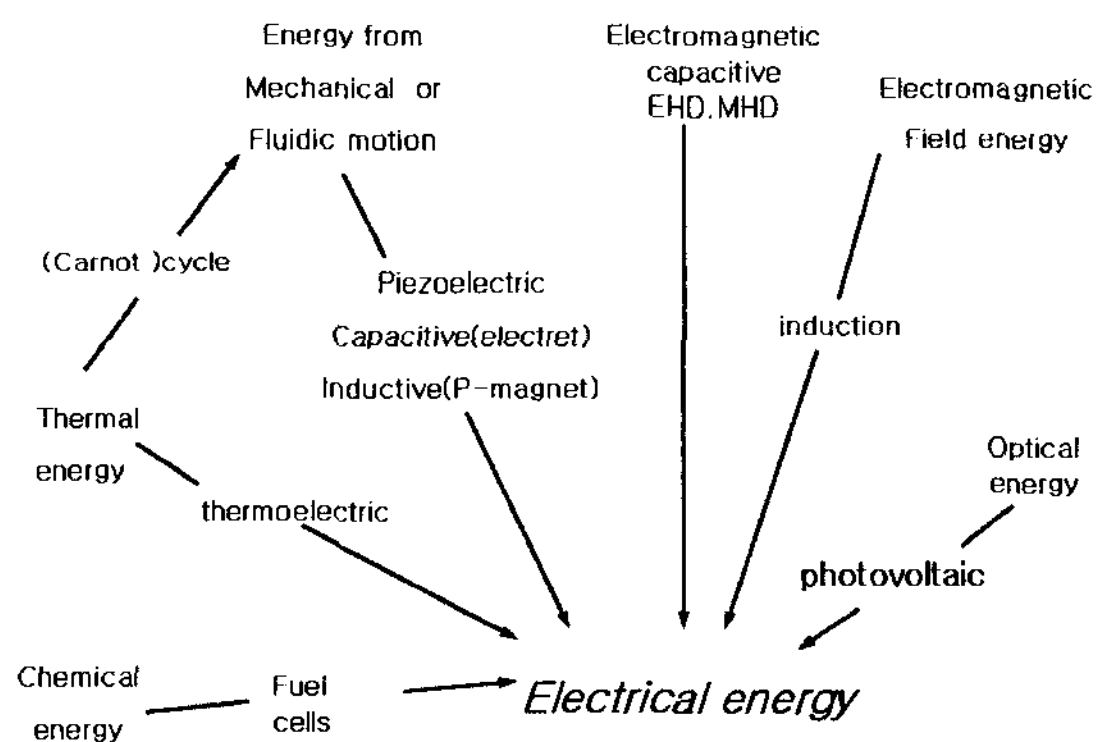


변환 개념도이다. 열에너지의 경우 발전소에서와 같이 터빈 등을 이용하여 기계에너지를 거쳐 전기에너지로 변환된다. 그러나 이 경우 Carnot 싸이클에 의해 제한을 받게 되며 에너지 형태가 바뀔 때마다 효율이 곱하여지므로 최종 전기에너지로 변환되는 전체 효율은 낮아진다. 반면 열을 바로 전기로 변환할 수 있는 Thermoelectric 재료를 이용하면 중간 과정 없이 바로 전기를 얻을 수 있다. 일반적으로 에너지 원으로부터 바로 전기로 변환할수록 최종 전기로의 변환 효율은 높아진다.

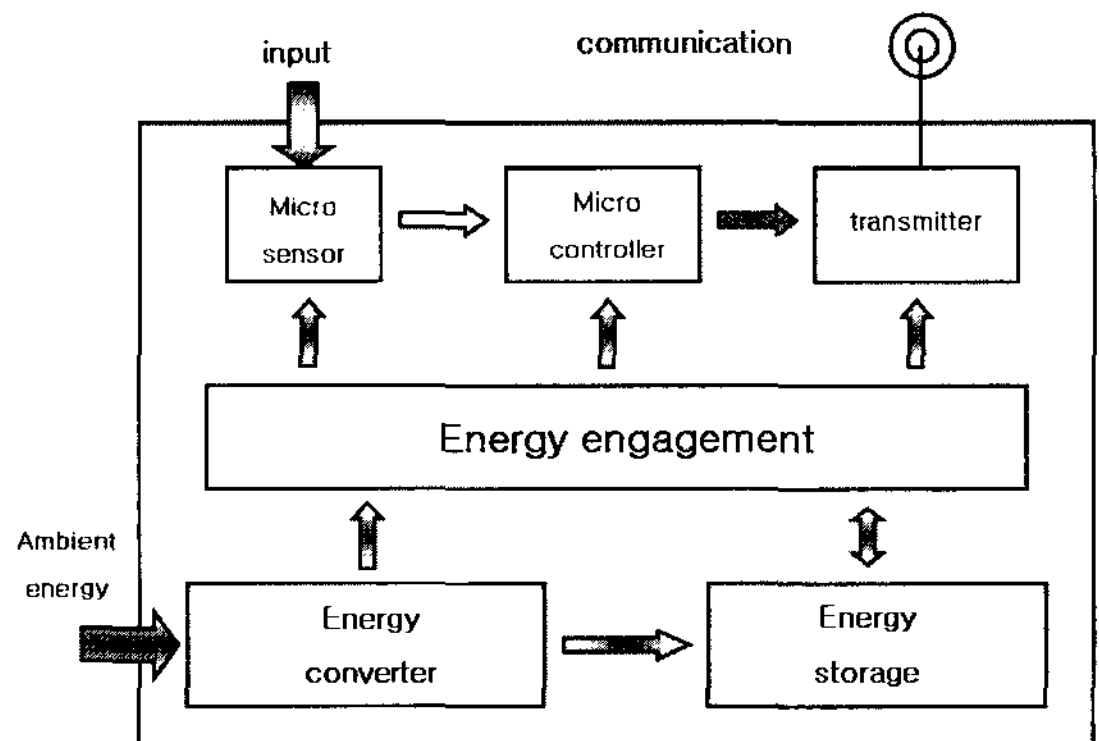
표 1은 각종 에너지원으로부터 추출 가능한 출력을 보여주고 있다. 맑은 날 실외에서 얻을 수 있는 태양광의 Power 밀도는 약  $15,000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 이며, 흐린 날은 약  $150 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 이다. 그러나 실내의 경우는

$6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 로 대폭 줄어든다. 진동 에너지를 압전 재료 즉 Piezoelectric material 을 이용하여 전기로 변환하면  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 800 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , Electromagnetic 방법을 이용하면  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 전기를 얻을 수 있다. 일반적으로 Electromagnetic 방법은 사용하면 효율은 좋으나 코일의 부피 때문에 전체 부피가 커지는 단점이 있다. 열을 전기로 변환하는 열전소자는  $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 의 온도차에서  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 60 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 을 얻을 수 있다고 보고되어 있다.

그림 3은 주변 에너지원으로부터 에너지 하베스트에 의한 센서 구동 개념도이다. 빛, 열, 진동 등 주변의 에너지로부터 Thermo-electric material, Piezoelectric material, Electromagnetic 기구를 통하여 전기 에너지로 변환되며, 이 에너지는 센서 작동 및 데



[그림 2] 에너지 변환 개념도 주<sup>2)</sup>



[그림 3] 주변에너지로부터 에너지 하베스트에 의한 시스템 구동개념도

<표 1> 다양한 에너지원으로부터 추출 가능한 출력 비교<sup>3)</sup>

Energy Source	Technical Challenge	Estimated Power (per $\text{cm}^3$ or $\text{cm}^2$ )
Vibrations	Variability of vibrations	Piezoelectric: $100 \mu\text{W}$ to $800 \mu\text{W}$ Electrostatic: $50 \mu\text{W}$ to $100 \mu\text{W}$ Electromagnetic: $1 \mu\text{W}$ to $500 \mu\text{W}$
Light	Conform to small surface area	Outdoors: $<1 \text{ mW}$ to $100 \text{ mW}$ Indoors: $<10 \mu\text{W}$ to $100 \mu\text{W}$
Thermal	Small thermal gradients	$5$ to $10^\circ\text{C}$ gradient: $10 \mu\text{W}$ to $60 \mu\text{W}$

2) Electronic Engineering Times (October 2005), Pervasive Computing (January-March 2005)

3) Shad Roundy, Paul K. Wright, Jan Rabaey, 2003, "A study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes", Computer Communications Vol. 26, pp 1131 ~ 1144

이터 송수신 등에 이용된다. 현재 센서에 따라 차이가 있지만 대체로 데이터 측정에는 수십  $\mu\text{W}$ , 데이터 전송에는 수십  $\text{mW}$ 가 필요한 것으로 알려져 있다.

## 연구 현황

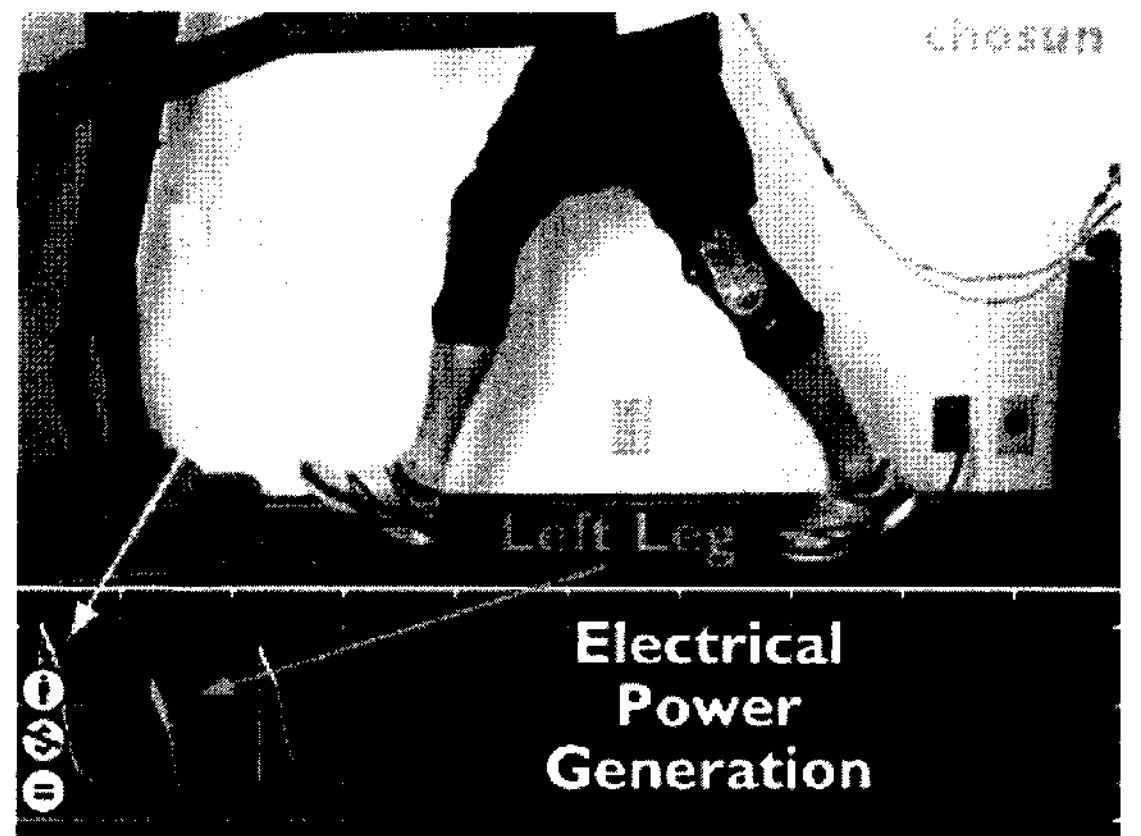
최근 급격히 보급되고 있는 USN기술과 관련하여 Energy Harvest연구가 활발하게 시작되고 있으며 구체적인 연구현황은 다음과 같다.

### 해외 기술현황

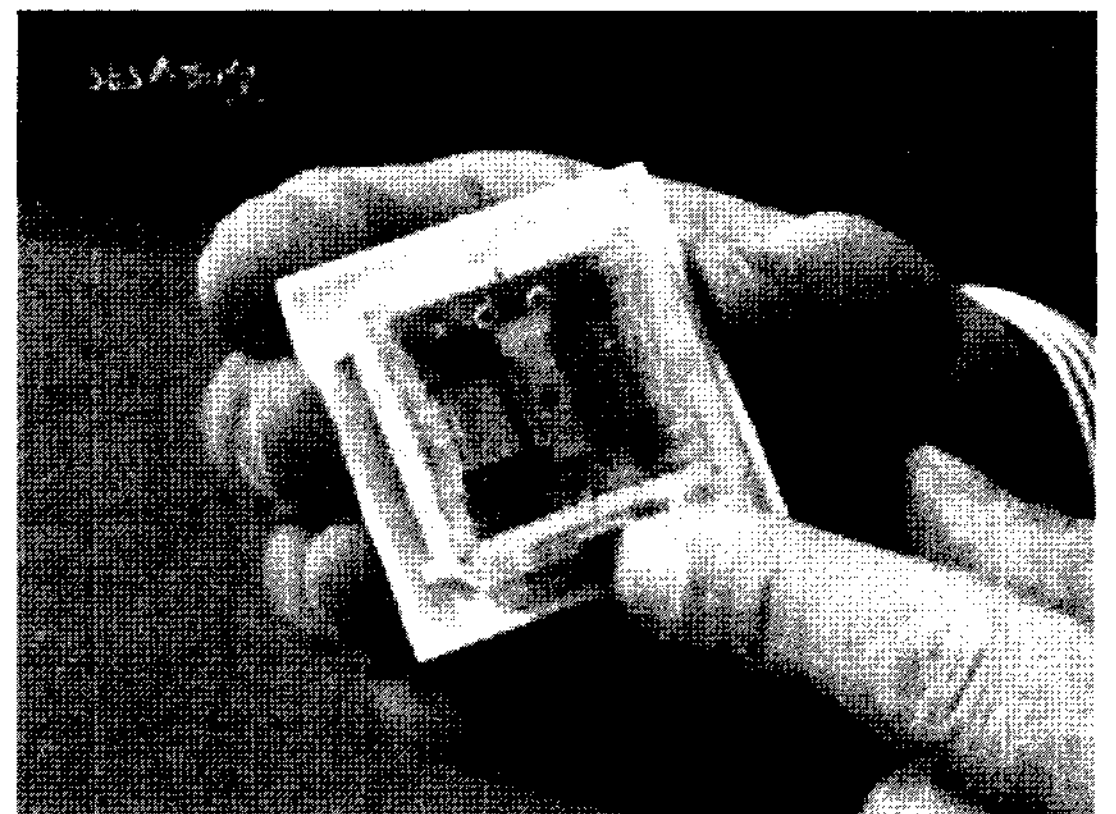
- EU에서는 'Vibration Energy Scavenging'이라는 프로젝트를 진행하고 있으며 영국의 Southampton 대학과 아일랜드의 Tydall국립대학 등이 참여하고 있다.
- 미국 마이크로소프트사는 인체에 전류를 흐르게 함으로써 몸에 지니고 있는 휴대정보기기에 지속적인 전력충전과 공급을 가능하게 하는 기술 특허를 취득하였다(US6754472, 2004).
- 최근 '나이키+아이팟+스포츠 키트'라는 아이템으로서 나이키 신발과 의류에 아이팟(애플사의 mp3 플레이어)을 연결하여 음악을 들을 수 있을 뿐 아니라 사용자가 운동한 거리와 소요된 시간, 그리고 소모한 칼로리에 대한 정보를 아이팟의

스크린이나 헤드폰으로 확인할 수 있도록 하는 시스템이 개발되었다. 또한 아디다스사의 지능형 신발은 사용자의 운동량에 따라 신발 밑창의 쿠션 기능을 조절할 수 있도록 시스템을 설계하는데 성공하였다.

- 최근 2008년 캐나다 사이먼 프레이저 대학의 도날런 교수팀은 사람이 걸을 때 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환하는 '파워 브레이크'를 개발하여 지난 2008년 2월 8일 '사이언스'에 발



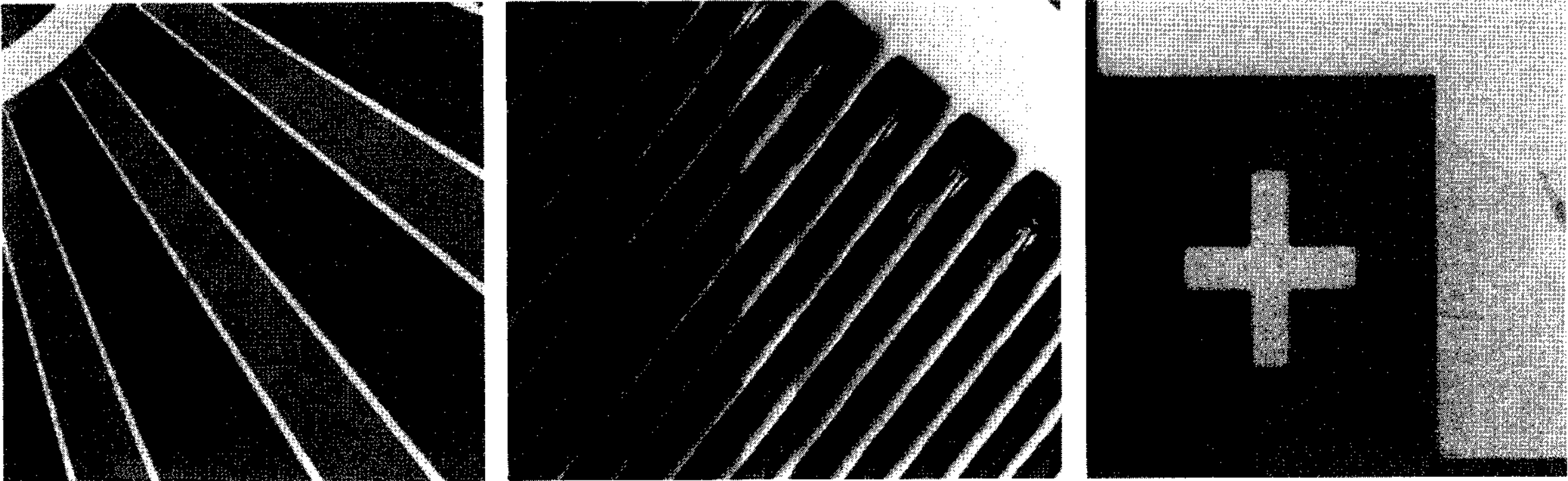
[그림 4] 다리 관절의 움직임으로 전기를 얻는 파워브레이크<sup>4)</sup>



[그림 5] 손가락의 움직임에 의한 전원을 얻는 무선 수위치<sup>5)</sup>

4) [http://www.tagstory.com/video/video\\_post.aspx?media\\_id=V000157580](http://www.tagstory.com/video/video_post.aspx?media_id=V000157580)

5) SBS 스페셜-117 회, 2008



[그림 6] 파이형태의 d33 전극을 가진 압전소자

표했다. 사람이 걸을 때 땅을 박차며 다리를 들었다가 다시 쪽 펴면서 앞으로 내딛는 동작을 통해 톱니를 돌려 전기를 만들게 했다. 연구팀은 “다리 움직임만으로 5 W를 생산했으며, 이 정도의 출력은 휴대폰 10개를 동시에 작동시킬 수 있는 정도”라고 발표했다. 또한 연구팀은 “보행 보조기 형태의 이 시스템 무게가 한쪽 다리당 1.6 kg이나 되지만, 6명을 대상으로 실험한 결과 이 장치를 달아도 산소 소비량은 늘지 않는 것으로 나타났다”며 “감속을 돕기 때문에 오히려 걷기가 편해진다”고 밝혔다.

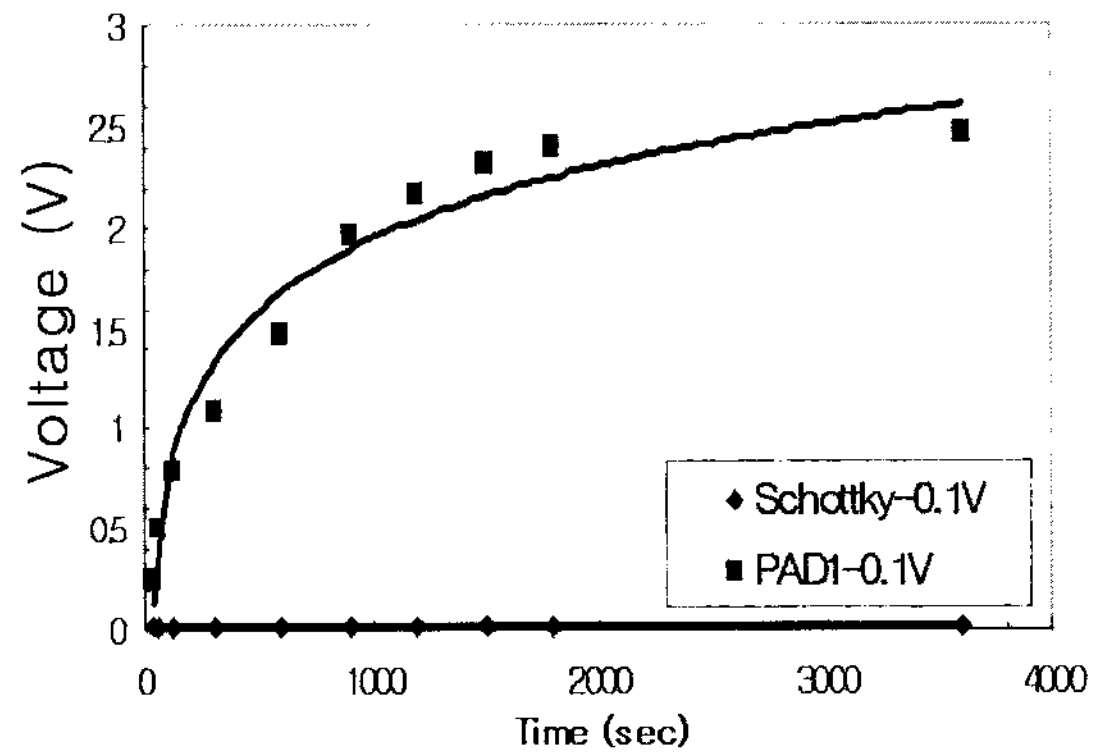
- 독일 오버하싱의 한 건물은 Electromagnetic방법에 의해 손가락의 힘으로 전기를 발생하여 배터리 없이 무선 스위치를 켜고 끄게 함으로써 건물 내 4000개의 스위치와 총 32 km에 해당하는 전선을 없앴다. 이는 5년마다 전지를 교체한다고 가정했을 때 25년 동안 총 25000개의 전지를 없애는 효과에 해당한다.

**국내 기술현황**

- 서울대학교에서는 MEMS기반의 마이크로 가스 터빈 파워시스템을 연구 및 개발한 바 있다.
- 한국기계연구원에서는 고온의 열을 이용한 마이크로 동력 발생 기술을 개발 중에 있다.

**KIST 연구현황**

- 한국과학기술연구원에서는 지난 2000년부터 에너지 메카닉스 연구센터를 중심으로 하여 열과



[그림 7] 시간에 따른 충전전압(Vp=0.1 V, 실선은 추세선 임)

진동 에너지를 scavenging할 수 있는 수 mm<sup>2</sup>급 초소형 scavenging시스템을 개발하고 있다. 최근에는 압전 재료의 발생 출력전압이 매우 낮음을 고려하여 출력전압을 증가시키기 위한 방안으로써 일반적인 PZT 전극 구성 방식인 d31모드를 지양하고 d33모드로 압전 재료를 가공함으로써 전극간격을 조절하여 발생 전압을 제어하였다(그림 6).

- 압전 재료와 같이 소스의 내부 임피던스가 매우 크고 상대적으로 발생하는 전압이 낮은 경우 즉, 매우 작은 충전전류가 흐르는 경우에는 주로 사용되던 Schottky다이오드 대신 역방향 누설전류가 작은 PAD1다이오드를 사용하여 bridge정류 회로를 구성해야 한다는 사실을 확인 할 수 있었다(그림 7).

## 초고층 건물 재난 방제 시스템에의 응용

최근 도시의 복잡화, 인구의 도시 집중화, 과밀도시의 토지이용 극대화 뿐 아니라 사회, 문화적 역사적 가치 및 한도시의 Landmark로서 초고층이 앞다투어 건설되고 있다. 초고층 빌딩은 기존의 건물에서 최근 에너지 가격의 급격한 상승으로 온도, 습도 등의 제어를 통한 에너지의 효율적 이용이 절실할 뿐 아니라 방제 시스템을 위해 수많은 센서를 필요로 한다. 그러나 이 많은 센서를 유선으로 연결하려면 앞에서 언급한 바와 같이 엄청난 길이의 전선이 필요하다. 또한 화재 발생시 전선의 손실로 인한 방제시스템이 불통을 가져오므로 당연히 Ubiquitous Sensor Network가 필요하게 되고 이 센서에는 앞서

서술한 바와 같이 배터리의 교체문제가 발생하며 이를 빛, 진동 그리고 사람의 구동에 의한 비상 전원 등 다양한 형태의 Batteryless sensor 및 비상 전원으로 대체할 수 있게 될 것이다.

이상에서 U-City 및 Mobile Society의 기본개념인 파워에 대하여 살펴보았다. 수십  $\mu W$ 에서 수 W까지의 전원은 주변의 빛, 열, 진동, 인간의 움직임 등 다양한 에너지로부터 에너지 변환기구를 통하여 파워를 획득하는 것이 가능하다. 향후 에너지 변환기구의 효율이 더욱 향상되고 그 무게 및 부피가 더욱 줄어들었다면 건물의 설비 분야에도 Stand alone 개념의 센서 운용에 의한 다양한 기술이 적용될 수 있을 것이다. 