

도시·주택 적용 미관용 에너지 블록의 발전성능 평가

Evaluation on the Performance of Power Generation of Energy Harvesting Blocks for Urban and Housing Application

노명현¹ · 김효진² · 박지영³ · 이상열⁴ · 조영봉⁵

Myung-Hyun Noh¹, Hyo-Jin Kim², Ji-Young Park³, Sang-Youl Lee⁴ and Young-Bong Cho⁵

(Received April 5, 2012 / Revised April 19, 2012 / Accepted April 25, 2012)

요 약

최근 에너지 관련 연구분야에서 새롭게 주목받는 것이 주변의 에너지를 수확하는 에너지 하비스팅 기술이다. 본 논문에서는 다양한 에너지 하비스팅 기술들 중 압전 기술과 전자기 유도 방식을 조합한 에너지 블록의 발전성능이 조사되었다. 본 연구의 목적은 개발된 에너지 하비스팅 블록의 주택·도시 분야 적용성을 평가하기 위한 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 실험실 규모의 다층 에너지 하비스터의 현 발전수준을 평가하여 제시하였다. 그 다음으로 증폭기술이 적용된 프로토타입의 특징을 설명하고 개발된 프로토타입 모듈의 발전성능을 다각적으로 평가하여 제시하였다. 성능 평가 결과, 개발된 에너지 블록은 기존 상용 제품에 비해서 255%와 505%까지 성능이 향상되었고 그 우수성이 입증되었다. 마지막으로 에너지 하비스팅 블록의 후속 연구 방향을 제시하였다.

주제어 : 에너지하비스팅, 압전 하비스터, 에너지블록, 프로토타입 하비스터

ABSTRACT

A technology that newly attract attention in the area of energy-related study is the energy harvesting(or scavenging) technology. In this paper, the performance of power generation for the energy harvesting block with a combination of piezoelectric technology and electromagnetic technology among various energy harvesting technologies was investigated. The goal of this study is to evaluate on the applicability of our developed energy harvesting block into the field of urban & housing. First, we evaluated the performance of power generation for the multi-layer energy harvester at laboratory scale. Second, we described the features of our developed prototype module that includes amplification technologies to improve power density per module and evaluated the performance of power generation for the energy harvesting block in a variety of ways. From the test results, the developed product increased the performance of power generation up to 255% or 505% compared to the existing product and its superiority were shown. Finally, we suggested the direction for the improvement of the energy harvesting block module.

Key words: Energy Harvesting, Piezoelectric Harvester, Energy Block, Prototype Harvester

1. 서론

현재 국내에서 사용되는 전체 에너지량 중 약 1/4은 주거용 및 상업용 구조물들을 통해 소모되고 있다. 이는 구조물이 운영 및 유지되는 동안 엄청난 양의 에너지가 낭비되고 있다

는 것을 보여준다. 환경파괴에 영향을 미치지 않고 에너지 절감이 지속되는 구조물을 개발 및 유지하기 위해서는 에너지 효율성을 높여야 한다. 이를 위해, 세계 각국은 국가적인 온실가스 감축목표 달성의 수단으로서 도시와 건축물 부분의 에너지 및 탄소저감 목표를 국가별로 설정하여 운영 중이다.

1) 포항산업과학연구원 에너지인프라연구본부 Sr.Researcher(주저자: mhnoh@rist.re.kr)

2) 토지주택연구원 건설환경연구실 연구위원(교신저자: hyojin@lh.or.kr)

3) 토지주택연구원 건설환경연구실 수석연구원

4) 국립안동대학교 토목공학과 교수

5) (주)셀블 에너지사업부 본부장

우리나라의 2020년까지 국가온실가스 중기 감축목표는 발생 예상량(BAU) 대비 30%이다. 도시와 건축물 부문은 단계적으로 26.9%를 감축하고, 2025년부터는 제로에너지 주택 보급 목표를 국제적으로 발표하였다. 이러한 도시 및 건축물 부문의 목표는 산업부문의 감축목표(18.2%)에 비해 월등히 높은 것이다. 따라서 기존의 에너지성능 강화를 위한 패시브(Passive) 기술 및 신재생에너지로 대표되는 액티브(Active) 기술과 더불어 새로운 에너지 획득수단인 에너지 하비스팅(Energy Harvesting) 기술의 선제 개발을 통한 대응이 필요한 실정이다.

현재 에너지하비스팅 연구는 에너지 수확원별로 에너지를 수확하는 다양한 방법들이 제시되고 있다(Harrop와 Das, 2008; Kazmierski와 Beeby, 2011). 대표적인 방법은 압전, 전자기장, 열전 및 광전 등을 이용하는 것이다(김상우, 2011; 윤병동, 2011; 이우영, 2011; 정승희, 2011; 김진상, 2011; 이상균, 2011; 堀口睦弘, 2011; 田村光男, 2011). 현재까지 에너지 하비스팅 시스템을 갖춘 구조물의 설계, 해석, 평가 및 유지관리 등의 연구는 차량의 운동 에너지 하비스팅을 위한 압전 소자 활용 기초연구가 수행된 바 있다. 미국은 태양전지패널을 이용해 에너지를 수확하는 솔라로드라는 도로 포장체의 공학적 개념설계가 수행되어 이를 상용화하기 위한 기초연구를 수행한 바 있다(윤태양, 2010). 그러나 기존의 에너지수확 기술은 발전장치의 소형화를 목적으로 개발되어 모듈당 발전 수확 용량이 마이크로($\mu\text{W} \sim \text{mW}$) 수준에 머물러 있다. 용도 또한 센서 및 초소형 전자기기 등의 전원 공급용에 제한적으로 적용되고 있어 수확된 에너지를 중/대용량급(수~수백 W)의 도시·주택 분야 활용처에 적용하기 위해서는 많은 양(넓은 면적)의 에너지 소자를 설치해야하는 단점이 있다. 이러한 면적 증가 방식의 증폭 방법은 초기 투자비용이 많이 소요되어 상용화에 큰 걸림돌이 되고 있어 제한된 에너지 모듈 크기에서 전력을 최대한 증폭할 수 있는 연구개발이 필요한 실정이다(노명현 등, 2012).

따라서 본 논문에서는 도시·주택 분야 미관 및 생태 블록으로 적용할 수 있는 에너지하비스팅 블록의 증폭 기술 적용 가능성을 검토하고자 한다. 먼저, 2장에서는 압전 및 전자기 유도 방식 에너지하비스팅 기술의 기본개념 및 이론을 간략히 기술한다. 3장에서는 실험실 규모의 PZT 기반 에너지 하비스터의 현 발전수준 평가결과를 토대로 증폭 기술 적용의 필요성을 제시한다. 4장에서는 증폭기술이 적용된 프로토타입의 특징을 설명하고 개발된 프로토타입 모듈의 발전성능을 평가하는 방안을 다각적으로 제시한다. 5장에서는 개발된 에너지 블록과 기존 상용 제품과의 발전성능 비교 실험을 통해 개발된 에너지 블록의 우수성을 입증한다. 마지막으로 향후 에너지 하비스팅 블록 모듈의 개선 방향을 제시함으로써 에너지하비스팅 블록의 연구 개발 방향을 제시하고자 한다.

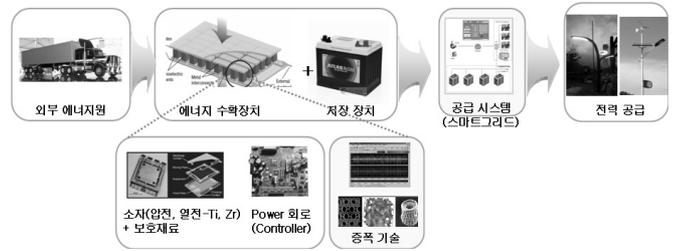


그림 1. 에너지하비스팅 기술의 개념도

2. 기본 개념 및 이론 고찰

본 연구에서 초점을 두고 있는 에너지 하비스팅의 기본 개념은 건물 및 도시 환경에 상시 존재하고 있는 열, 진동, 바람, 인간의 도보 등의 에너지 원(source)을 전기에너지로 변환하여 주택 및 도시에 적용하는 것이다. 이러한 에너지 하비스팅의 구성요소 및 시스템의 개념도는 그림 1과 같다. 이는 현재 버려지는 압력, 진동, 열원으로부터 새로운 에너지를 수확하여 생산하는 신재생에너지와는 또 다른 기술이다.

압전 하비스터의 이론적 발전 성능 평가를 위해서는 PZT 소자의 전기적 특성 평가가 선행되어야 한다. 일반적으로 1kHz에서 Impedance Analyzer(Agilent 4294A)에 의해 정전용량 C 가 측정되며 식 (1)을 통한 이론적 추정치가 가능하다(백종후 등, 2006).

$$C = \frac{\epsilon^{T_{33}} \epsilon_0}{S t} \quad (1)$$

여기서, C 는 정전용량, S 는 시편의 면적, t 는 시편의 두께, ϵ_0 는 진공 중의 유전율($8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$), 그리고 ϵ_{33} 은 상대유전체상수(relative dielectric constant)를 의미한다. 식 (1)로부터 계산된 C 값을 식 2에 대입함으로써 압전 하비스터의 최대 발전 성능을 이론적으로 도출할 수 있게 된다(Priya와 Inman, 2009).

$$P_{\max} = \frac{1}{\omega_r^2} \frac{R_L C^2 \left(\frac{2Y d t b^*}{\epsilon} \right)^2}{(4\zeta_m^2 + 4\kappa^4)(R_L C \omega_r)^2 + 4\zeta_m \kappa^2 (R_L C \omega_r) + 2\zeta_m^2} a^2 \quad (2)$$

여기서, R_L 은 저항 하중, Y 는 PZT 소자의 탄성계수, d 는 압전 변형률 계수, t 는 PZT 소자 두께, b^* 는 압전 발전기의 치수와 관련된 상수, ϵ 은 유전체 상수, ω_r 은 공진주파수, ζ_m 은 역학적으로 유도되는 감쇠계수, κ 는 압전 재료의 전기-역학적 커플링 계수, a 는 진공 가속도를 의미한다.

한편, 전자기유도 방식 하비스터의 이론적 발전 성능 평가를 위해 자기장은 자석과 떨어져서 변하는 것으로 가정한다. 이때 유도 기전력은 다음과 같이 구해진다(Kazmierski와 Beeby, 2011).

$$\text{e.m.f.} = -N \cdot S \cdot \frac{dB}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} = \kappa \cdot \frac{dz}{dt} \quad (3)$$

여기서, N 은 코일의 회전 수, S 는 코일의 유효 면적, dB/dz 는 자속 밀도 경사, dz/dt 는 자석과 코일의 상대속도, κ 는 전자기유도 커플링 계수를 의미한다. 하중 및 코일 저항으로 발생하는 최대 평균 발전 성능은 다음 식에 의해 이론적인 추정치가 가능하다(Kazmierski와 Beeby, 2011).

$$P_e = \frac{ma^2}{16\zeta_m\omega_r(1-R_c/R_L)} \quad (4)$$

여기서, m 은 하비스터의 질량, a 는 진동 가속도, ζ_m 은 역학적으로 유도되는 감쇠계수, ω_r 은 공진주파수, R_c 와 R_L 은 코일과 하중의 저항을 의미한다.

3. 실험실 규모의 3-layer 압전 하비스터의 현 수준 성능 평가

본 연구에서는 실험실 규모(Lab-scale)의 3-layer PZT 소자의 발전 성능 수준을 평가하기 위하여 그림 2와 같은 PZT 기반 캔틸레버 타입 압전 하비스터를 제작하였다. PZT는 3개 층(layer)으로 적층되어 있다. PZT의 정전용량은 1302 nF(at Frequency 1kHz, Test Signal level 1V, Parallel Circuit Mode)이며, 크기는 40mm×50mm×0.35mm이다. PZT가 부착된 기저판(substrate)은 SUS 430 재료가 적용되었고, 그림 2에서 보는 바와 같이 캔틸레버 형식으로 구성하였다. 구성된 압전 하비스터의 현 수준 성능 평가를 위해 적용한 실험 변수는 캔틸레버 기저판의 고정단부에서 PZT 압전소자 부착지점(좌측 끝단)까지의 거리(0mm, 2mm, 5mm, 10mm) 및 캔틸레버 기저판의 두께(0.4mm, 0.8mm)이다. 고정단 부위에 PZT를 부착한 이유는 힘응력 및 변형이 집중되는 부위로서 D31모드의 변형량이 증가되어 발전 효율이 높은 지점이기 때문이다. 또

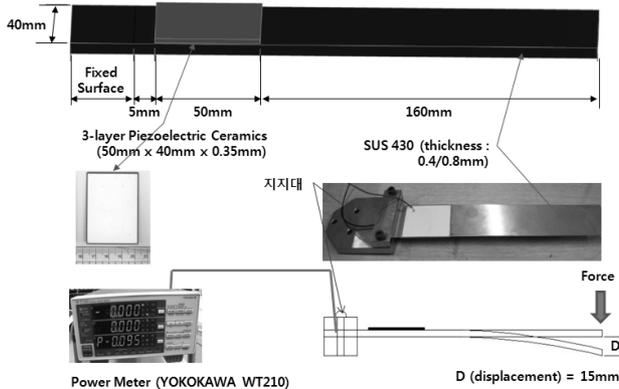
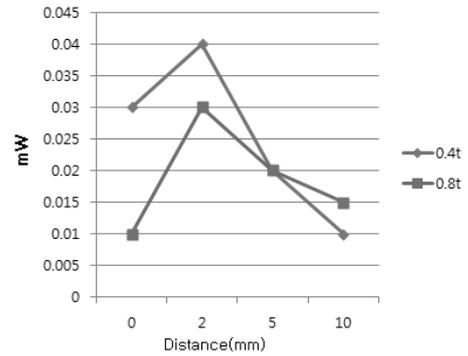
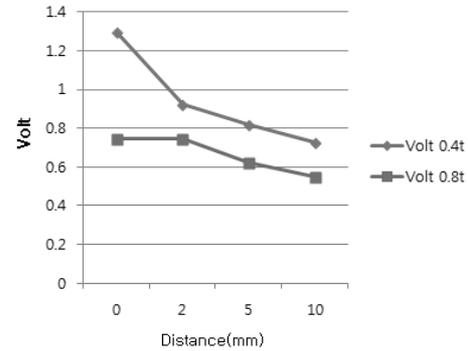


그림 2. 실험실 규모의 다층 압전소자 발전 성능 평가 개요



(a) 출력 전력



(b) 출력 전압

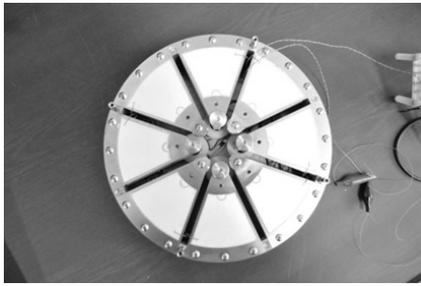
그림 3. 실험실 규모의 다층 압전소자의 발전 성능 평가 결과

한 기저판의 휨강성이 발전 성능 측면에 미치는 영향을 평가하기 위해 캔틸레버 기저판 두께를 시험변수로 고려하였다.

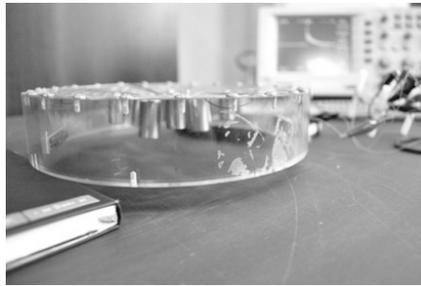
실험실 규모의 다층 PZT 소자의 현 발전수준 평가결과, 그림 3에서 보이는 바와 같이 캔틸레버 기저판의 고정단부에서 PZT 압전소자 부착지점까지의 거리가 2mm이고 캔틸레버 기저판의 두께가 0.4mm인 하비스터에서 출력이 가장 높게 나타난다. 그 이유는 PZT 소자가 고정판에 가깝고, SUS 기저판의 두께가 얇을수록 휨 응력과 D31모드의 변형이 크게 발생하기 때문이다. 그러나 3-layer PZT의 발전성능이 0.04mW에 불과하여 이 캔틸레버 구조를 W급 용량의 도시·주택 분야 활용처에 직접 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 단위 하비스터 모듈 당 출력을 증폭시킬 수 있는 방안을 다각적으로 고려할 필요성이 제기된다. 적용 가능한 증폭기술은 다양한 에너지를 수확할 수 있도록 두 가지 이상의 에너지하비스팅 기술을 하이브리드로 구성하는 방식, 다층 (multi-layer) PZT의 면적을 증가시키는 방식, D31 휨 변형모드를 증폭시키는 구조 적용방식을 고려할 수 있다.

4. 증폭기술이 적용된 하비스터 타입별 발전성능 평가

그림 4는 3절에서 제시한 발전량 증폭기술을 적용하여 구성된 에너지 하비스터의 타입들을 보여준다. 하이브리드 타입은 압전 원리를 이용한 에너지 하비스팅 기술과 전자기유



(a) 하이브리드 하비스터 (PZT 양면)



(b) 하이브리드 하비스터 (PZT 단면)



(c) 캔틸레버 하비스터

그림 4. 발전 성능 평가를 위한 하비스터 타입

표 1. 하비스터의 타입별 발전 성능평가 방법 및 결과

시험구분	발전특성하비스터	에너지 소자 개수	실험방법	발전방식	Average Power(mW)
1	하이브리드 하비스터	PZT 양면 총 32개→2판	10mm 높이 자유낙하	압전체	3.3
2		코일 4개	10mm 높이 자유낙하	전자기	0.81
3	하이브리드 하비스터	PZT 양면 총 8개→1판	캔틸레버 약 5mm 변형 후 복원력	압전체	13.82
4		코일 4개	캔틸레버 약 5mm 변형 후 복원력	전자기	0.81
5	윗면 부착 캔틸레버 하비스터	PZT 단면 1개	캔틸레버 약 5mm 변형 후 복원력	압전체	2.69
6	양면 부착 캔틸레버 하비스터	PZT 양면 2개	캔틸레버 약 5mm 변형 후 복원력	압전체	1.66
7	아랫면 부착 캔틸레버 하비스터	PZT 단면 1개	캔틸레버 약 5mm 변형 후 복원력	압전체	1.81



그림 5. 하비스터 발전성능 평가 실험

도 원리를 이용한 에너지하비스팅 기술을 조합한 하이브리드 방식이다. 압전 원리를 이용하는 압전 파트는 PZT 소자가 금속 캔틸레버 기저판에 부착되며, 금속 캔틸레버 끝단에 팁 매스(SUS)가 결합되어 있다. 전자기유도 원리가 적용되는 전자기 파트는 압전 파트에 부착된 SUS 재질의 팁 매스 일부를 자석(Magnetics)으로 대체한 자석부와 케이스 상하단에 부착된 코일부로 구성된다. 하이브리드 에너지하비스팅 발전 타입은 외부진동에 의해 압전 캔틸레버가 상하로 진동하며, 압

전체가 D31모드로 변형하며 전하를 발생시킨다. 이와 동시에 전자기 파트에서는 캔틸레버 끝단의 자석 매스가 코일 속을 상하로 진동하며, 자속변화로 인한 전하를 발생시킨다. 본장에서 검토한 하이브리드 에너지하비스팅 블록의 특징은 다음과 같이 3가지로 요약할 수 있다. 1) 하이브리드(압전+전자기유도 조합) 방식의 증폭기술 적용, 2) 다층(Multi-layer) PZT에 의한 면적 증가방식의 증폭기술 적용, 3) 압전-전자기 파트의 탈부착 및 면적증가가 용이한 모듈구조.

그림 5는 증폭기술이 적용된 하비스터의 발전성능 평가 실험 전경을 보여주고 있는 사진이다. 그림 5에 보이는 평가할 하비스터에 충격력이 가해지면 캔틸레버 금속판이 진동하며 압전체에 변형이 발생되어 전류가 생성된다. 전자기유도 파트의 경우는 캔틸레버 끝단의 자석이 코일 속을 상하로 움직이며 전자속 변화를 발생시켜 유도전류가 흐르게 된다. 하비스터의 타입 별 발전 성능평가는 정류회로와 저항을 연결한 후 오실로스코프로 전압을 측정하고 시간-전력 그래프(time-power graph)를 작성한 후 이를 적분한 값을 기준으로 수행되었다. 발전 성능 평가에 사용된 값은 타입별로 3회에 걸쳐서 수행한 평균값을 적용하였다.

프로토타입 하비스터 최적 구성을 위해 하비스터 타입별로 발전 성능을 평가한 결과가 표 1에 제시된다. 실험 1~4는 하이브리드 하비스터 타입에 대한 평가 결과이며, 실험 5~7

은 캔틸레버 하비스터 타입에 대한 평가결과이다. 실험 1과 2는 압전 파트에 대한 평가결과이며, 실험 2와 4는 전자자유도 파트에 대한 평가결과이다. 실험 5와 7번은 각각 1개 기관에 대해서 PZT를 윗면과 아랫면에 단면으로 부착한 캔틸레버 하비스터에 대한 평가 결과이며, 실험 6은 1개 기관에 대해서 PZT를 아랫면에 단면으로 부착한 캔틸레버 하비스터에 대한 평가 결과를 나타낸다. 1개 기관의 단면 및 양면 압전 캔틸레버 실험 결과(실험 5, 6, 7)로부터, PZT 단면부착이 양면부착에 비해 발전효율이 아랫면 부착의 경우 1.09배, 윗면 부착의 경우 1.62배 우수한 것으로 나타났으며, PZT 윗면 부착의 경우가 아랫면 부착의 경우보다 효율이 좋은 것으로 도출되었다. 또한, PZT를 단면 또는 양면으로 부착한 하이브리드 파트의 발전효율의 경우는 실험 1과 3을 통해 알 수 있다. 1개 기관 당 발전성능으로 환산 해 볼 때, 양면의 경우 0.21mW/1기관, 단면의 경우 1.73mW/1기관으로 계산되고 단면 부착이 양면 부착에 비해 약 8.38배로 높은 효율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 PZT 양면 부착으로 인해 기관의 강성이 증가하여 인가되는 진동의 가속도 레벨이 하비스터에 큰 영향을 주지 못하는 구조로 변했기 때문이다. 또한, 1개 기관에 PZT를 양면으로 부착한 바이몰프 구조의 경우, 위/아래 PZT 소자에 (-)극이 붙어 있어 진동에 따른 변형 발생시 정류효과가 상쇄되는 현상이 발생되어 PZT를 단면으로 부착한 유니몰프 구조에 비해 효율이 떨어지는 것도 큰 이유라고 할 수 있다. 따라서, PZT 양면 부착을 통해 기관의 발전 효율을 높이기 위해서는 기관 사이에 절연층 또는 절연체를 포함시키는 구조가 적합할 것으로 판단된다.

한편, 1개 기관의 캔틸레버 하비스터와 8개 기관의 면적증가 방식 증폭 캔틸레버 타입의 발전성능 평가결과(실험 3과 7), 면적증가에 의한 이론적 증폭효과는 거의 손실 없이 구현되고 있음을 알 수 있다(1.73mW/1기관(증폭)≈1.81mW/1기관(단일)). 그림 6에서 보는 바와 같이 여러 가지 하비스터 타

입 중에서 PZT를 금속 기저판 윗면에 단면으로 부착한 하비스터의 경우가 가장 우수한 결과를 나타내고 있어 하이브리드 에너지 하비스팅 프로토타입의 기본 구조로 구성하였다.

5. 개발된 에너지 블록과 기존 상용 제품의 발전성능 비교

본 연구에서 개발된 에너지 블록의 프로토타입은 상부 및 하부 기관의 윗면에 단면으로 부착된 3-layer PZT가 총 16장으로 구성되고, 상부/하부 기관 끝에 Magnetic tip mass와 SUS tip mass가 8개씩 총 16개가 부착되며, SUS 기관 모듈은 부채꼴 형상으로 상부와 하부에 2개의 모듈로 구성되며 압전 및 전자기 유도 원리가 적용되는 하이브리드 에너지하비스팅 방식이다. 그림 7에 개발된 에너지 하비스팅 블록 프로토타입의 모델링 형상과 실제 제작 형상이 제시된다.

개발된 에너지 블록의 상대적 발전 성능을 검토하기 위하여 기존 S사의 에너지 블록 특성을 조사하였다. 조사 결과, 기존 에너지 블록은 압력 방식에 의한 압전 원리를 이용하는 방식으로 개발 제품과 동등 수준의 PZT 소자 면적이 적용되고 있는 것으로 파악되었다. 개발한 프로토타입 에너지 블록과 기존 S사의 에너지 블록의 상대적 발전 성능 비교는 볼드롭(ball-drop) 평가 방식이 적용되었다. 그러나 볼드롭 방식의 평가 외에도 4Hz 가진력 평가 방식이 개발 제품에 대해 적용되었고, 입수한 기존 제품의 체중별 보행 발전 특성 평가결과와 비교하였다. 여기서, 볼드롭 방식은 평가할 하비스터에 힘을 인가하기 위하여 50cm 높이에서 볼(1kg)을 낙하시키고, 낙하에 따른 충격력과 진동발생을 동시에 유발시킴으로써 발전성능을 평가하는 것이다. 반면, 4Hz 가진력에 의한 성

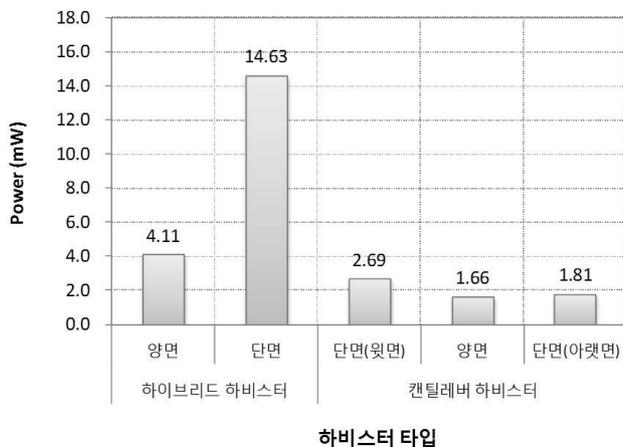


그림 6. 하비스터 타입별 발전 성능 평가 결과

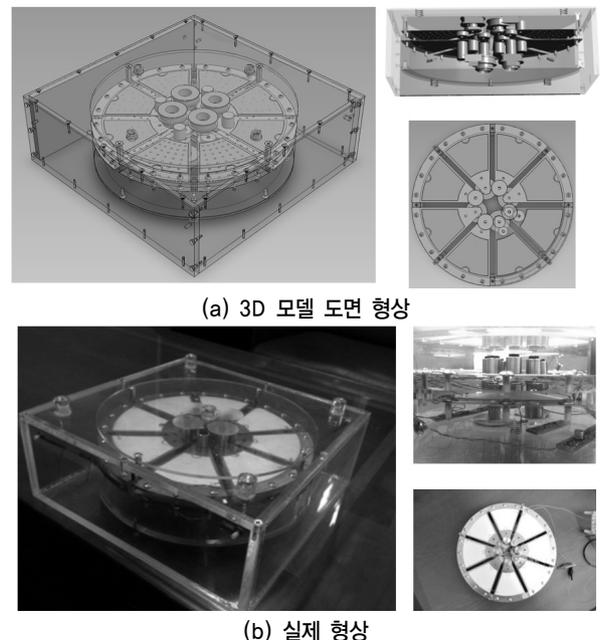


그림 7. 에너지 하비스팅 블록 프로토타입 모델

능 평가 방식은 1회 가진시 충/방전시간을 계측하고 1초당 전력 발생량으로 환산하여 발전성능을 평가하는 것이다. 두 평가 방식도 앞서 발전성능 평가 방식과 마찬가지로 정류회

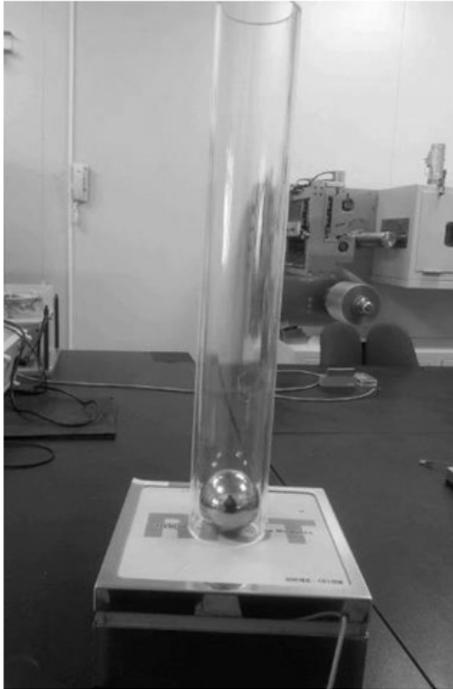


그림 8. 볼-드롭에 의한 발전 성능 평가 실험

로에 의한 정류와 발전량을 계산하기 위하여 저항을 연결 한 후 오실로스코프로 전압을 측정하고, 시간-전력 그래프(time-power graph)를 적분하여 전력 값을 도출하는 방법으로 발전량의 평가를 수행하였다. 이 때, 평가에 적용된 값은 총 5회에 걸친 평균값이다. 볼-드롭 방식에 의한 발전성능평가 실험 사진은 그림 8과 같다. 그림 9는 각 측정전압을 통해 시간-전력 그래프(time-power graph)를 작성한 예를 보여준다.

표 2와 그림 10은 개발제품과 기존 압력방식 에너지블록 제품의 발전성능 평가결과를 비교하여 나타낸 것이다. 공통으로 적용된 평가 방식은 볼-드롭 방식이며 개발 제품의 경우에 대해서는 4Hz 가진력 평가가 추가되었고, 기존 제품의 경우에는 보행자의 체중을 고려한 발전 평가가 추가되었다. 표 2의 개발 제품에 대한 4Hz 가진력 평가 결과시 4Hz 1회 가진에 따른 충/방전시간은 6초로 측정되었다. 따라서 1초당 평균 전력 발생량이 5.959 mW/s로 추산되며, 1시간 충전 시 21.454Wh의 전력이 생산될 것으로 추정된다. 그러나 이 경우 역시, 충전 및 승압과정에서의 손실, 시스템 대기 전력상에서의 손실, 저전력 인버터로 전환시 손실과 같은 에너지 손실은 고려하지 않았다.

개발제품과 기존 압력방식 제품의 비교 평가결과(I-1 vs I-2 비교, II-1 vs II-2 비교), 개발제품은 기존 압력방식 제품에 비해 볼-드롭 평가에서 505%, 4Hz 가진력 평가와 체중별 보행 발전 성능 평가 결과에서 255% 수준의 높은 효율을 보이고 있다. 그러나 이러한 수치는 이상적 평가방식에 의해 산

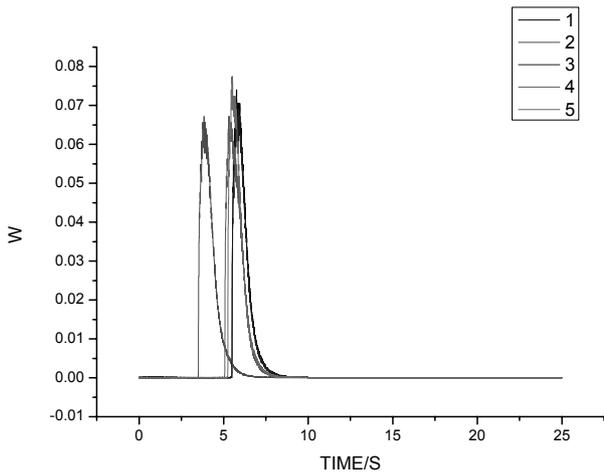


그림 9. 볼-드롭에 의한 5회 전압 측정결과를 통해 power-time graph 작성 결과

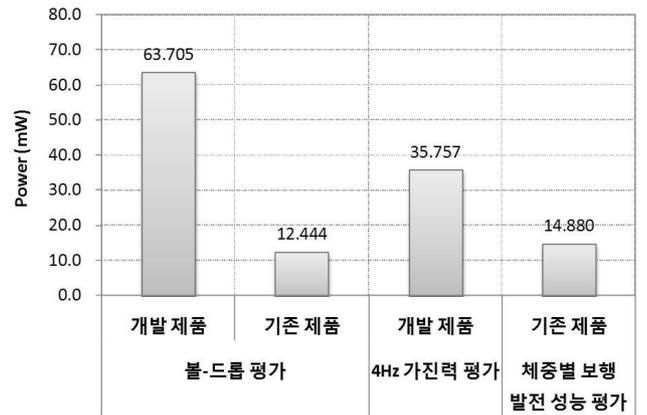


그림 10. 개발 제품 vs 기존 압력 방식 에너지 블록 제품 발전 성능 평가 비교

표 2. 개발 제품 vs 기존 압력 방식 에너지 블록 제품 발전 성능 평가 비교

구분	발전 성능 평가방식	구분	Average Power(mW)	충전량(Wh)	기존제품 대비 효율(%)
I-1	볼-드롭 평가	개발 제품	63.705	39.574	505%
I-2		기존 제품	12.444	7.831	-
II-1	4Hz 가진력 평가	개발 제품	35.757	21.454	255%
II-2	체중별 보행 발전 성능 평가	기존 제품	14.880	8.402	-

술적으로 계산된 최대치임에 주목해야 할 필요가 있다. 실제의 경우는 일정치 않은 진동인가와 전력 손실율이 발생하여 제시된 수치에 비해 훨씬 낮게 나타날 수 있다는 점을 주목해야 한다.

6. 결론

본 논문에서는 도시·주택 적용 미관용 에너지 블록에 적용되는 에너지하비스팅 기술의 기본 개념 및 이론을 간략히 고찰하였고, 실험실 규모의 압전 하비스터에 대한 현 수준 성능평가 결과를 바탕으로 증폭기술이 적용된 하비스터 개발 필요성을 제기하였다. 또한, 증폭기술이 적용된 타입별 하비스터의 발전성능 평가결과를 토대로 하이브리드 에너지 하비스팅 프로토타입의 기본 구조를 구성하였다. 개발된 에너지 블록은 다층 PZT 부착 캔틸레버 구조, 면적 증가 방식에 의한 증폭 구조, 압전 및 전자자유도 방식을 조합한 하이브리드 방식을 그 특징으로 하고 있다. 개발된 프로토타입 에너지하비스팅 블록과 기존 압력방식의 에너지 블록의 발전성능을 비교한 결과, 개발된 에너지블록은 기존 압력방식 에너지블록에 비해 충전 및 발전성능이 255% 및 505%까지 향상되는 것으로 평가되었다. 다만, 이 수치는 실제적인 진동을 고려한 성능 평가 결과가 아니므로 실제 운용 중의 진동 인가를 고려할 수 있도록 성능 평가의 보완이 필요함을 제기하였다.

후속 연구는 개발된 에너지 하비스팅 블록을 도시·주택 분야의 조명등, 미관용 에너지 징검다리 등으로 상용화하기 위해 경제성과 발전성능을 절충한 에너지 블록의 합리적 개선에 초점을 맞출 필요가 있다. 또한, 본 연구에서는 고려하지 않았지만, 에너지 하비스팅 기술을 대용량의 도시·주택 분야 시설물에 적용하기 위해서는 EMIC(Energy Management IC), PMIC(Power Management IC) 기술과 같은 시스템 기술과의 융합의 필요성도 제기된다. 마지막으로, 에너지 하비스팅 기술을 도시·주택 분야에 활발히 적용하기 위해서는 대용량의 안정적 전력이 아닌 중소용량의 덜 안정적인 전력으로도 충분히 운용이 가능한 활용처를 발굴하는 노력이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김상우(2011), “압전 반도체 나노소재 기반 에너지 하비스팅 소자 기술개발”, 「2011 대한민국 녹색에너지대전 세미나」.
2. 노명현, 윤태양, 박찬희, 이관희, 안건태, 권현욱, 허정현(2012), 「진동기반 교량용 하이브리드 에너지하비스팅 프로토타입 개발」, 포항산업과학연구원 자율과제 완료보고서.
3. 백종후, 최병현, 김세기, 이미재, 김창일, 임은경, 심범승(2006), 「압전세라믹을 이용한 Automatic Power Generation System 기술개발에 관한 연구」, 산업자원부, 최종보고서.
4. 윤병동(2011), “에너지 하비스팅 산업동향 및 전망”, 「2011 대한민국 녹색에너지대전 세미나」.
5. 이우영(2011), “나노기술 기반 초고효율 열전소자 연구동향”, 「2011 대한민국 녹색에너지대전 세미나」.
6. 정승희(2011), “Potential applications of thin film battery with hybridization of energy harvesting devices”, 「2011 대한민국 녹색에너지대전 세미나」.
7. 김진상(2011), “열전발전 기술개요 및 응용”, 「2011 대한민국 녹색에너지대전 세미나」.
8. 이상균(2011), “The technical issues for PEH and energy management/storage”, 「2011 대한민국 녹색에너지대전 세미나」.
9. 윤태양(2010), 「환경과 성장을 추구하는 지속가능 녹색도로-에너지 하비스트 교량」, KICT 브랜드 총서, 한국건설기술연구원, pp. 410~430.
10. 堀口睦弘(2011), 「압전(電) 진동 발전 기술의 소개」, C&I 특집, pp. 89~93.
11. 田村光男(2011), 「발전용 압전(壓電) 바이몰프의 기초 검토」, C&I 특집, pp. 69~82.
12. Harrop, P. and R. Das (2008), *Energy Harvesting and Storage for Electronic Devices 2009-2019*, IDTechEx report (www.IDTechEx.com).
13. Priya, S. and D. J. Inman (2009), *Energy Harvesting Technologies*, Springer.
14. Kazmierski, T. J. and S. Beeby (2011), *Energy Harvesting Systems - Principles, Modeling and Applications*, Springer.