

# Cantilever형 바이몰프 압전소자의 출력특성에 관한 연구

|         |
|---------|
| 논 문     |
| 59-3-15 |

## A Study on the Output Characteristics for the Cantilever Piezoelectric Bimorph

김 용 혁\*  
(Yong-Hyuk Kim)

**Abstract** - Using piezoelectric elements to harvest energy from ambient vibrations has been of great interest over the past few years. Due to the relatively low power output of piezoelectric materials, there are many study to improve the energy harvesting efficiencies. This paper is study the efficiencies of the output energy considering the cantilever piezoelectric bimorph using aluminum vibration beam. when the length of vibration beam and the piezoelectric body becomes same and the maximum output power comes out. DC voltage was increased as the beam thickness and vibration frequency was increased. The vibration beam was able to achieve very large energy value.

**Key Words** : Cantilever type, Vibration beam, Piezoelectric bimorph, Energy harvester, Self-generation

### 1. 서 론

최근에 무선기술이나 MEMS기술의 발전으로 인하여 휴대용기기나 무선감시장치의 소형화와 더불어 자체 전원공급에 대한 필요성이 한층 증가되었다. 현재 사용되고 있는 대부분 휴대장치들은 전원공급용 전지의 수명한계로 인하여 전지를 주기적으로 충전시키거나 외부전원에 연결해야만 하는 불편함을 안고 있다. 이와 같이 제한된 수명 때문에 재래의 전지들은 많은 무선설비나 센서장치에 적용하는데 있어서 심각한 불편을 초래하고 있다. 지금까지 자체발전설비를 갖춘 휴대용 장치의 대부분은 GPS를 이용하여 야생동물의 위치추적 장치나 교량의 구조변형 검출센서의 동작전원 등에 국한되어 사용되어 왔다.

만약 주위환경으로부터 에너지를 얻을 수만 있다면 기존의 전지를 대신하거나 전지에 에너지를 충전할 수 있는 신재생에너지원으로 활용할 수 있을 것이다. 이 중 하나의 방법이 압전소재를 이용하여 주위의 진동에너지를로부터 전기를 생산하는 방법이다. 진동에너지를로부터 생성되는 에너지는 압전소재를 이용하여 진동하는 물체로부터 쉽게 얻을 뿐만 아니라 영구적으로 사용할 수가 있다. 압전체에 기계적 에너지가 가해지면 전기전하의 생성에 의해서 전기에너지로 변환되는 특성을 나타내고 반대로 전기에너지를 가하면 기계적 에너지로 변환하는 특성을 나타낸다.

이와 같이 압전체는 전기에너지와 기계에너지간의 상호 변환이 가능하고 응용분야에 따른 설계와 제작이 간단하기 때문에 각종 트랜스듀서나 센서소자로서 폭 넓게 응용되고 있다.

이러한 관점에서 많은 연구자들이 기존의 전지공급방식을 대신할 충전이 필요 없는 자체전원장치의 한 분야로써 압전소재를 사용한 에너지 하베스팅 연구개발에 집중해 왔다.

특히 진동에너지를 전기에너지로 변환되는 기능을 센서를 구동시키기 위한 발전에너지로 응용하고자 하는 기초연구가 많은 연구자들에 이루어졌다[1-5].

1996년 Umeda *et al* 에 의해서 PZT발전에 대한 등가모델이 보고되었다[6]. 이어서 2001년 Gonzalez *et al* 은 기계에너지- 전기에너지의 변환과정에서 일어나는 출력변화를 이론적으로 예측하였다[7]. 그리고 Lefeuve, E *et al* 은 진동력발전의 여러 가지 설계모델을 비교분석하였다[8]. 최근에 Shen *et al* 은 시험질량을 갖는 압전 바이몰프에 있어서 출력에너지에 미치는 파라미터들을 제시하였다[9].

이들 연구의 대부분은 PZT 바이몰프의 전압과 전력출력 특성에 대한 이론적 해석 내지는 진동모델 그리고 고주파진동 특성에 관한 것이다. 그러나 실용적으로는 실제 바이몰프의 주기적인 저주파 굴곡변화에 의해서 발생하는 전압이나 에너지에 대한 실험적 해석을 통해 에너지 하베스터로서 직접 활용할 수 있는 있는 구조와 이를 근거로 한 데이터 산출이 더욱 바람직할 것으로 본다.

따라서 본 연구에서는 출력에너지를 극대화시킬 수 있는 방법으로써 진동빔 구조를 도입하여 PZT계 바이몰프 압전소자에 저주파수 진동에너지를 가할 때 발생하는 출력전압과 에너지의 변화를 연구 조사하였다. 이를 위하여 전기적 등가회로 해석을 통해서 진동에 따른 발생전압의 변화를 예측하였으며 실험을 통하여 진동빔의 두께, 길이 주파수에 의한 출력전압의 크기와 에너지량을 산출하였다.

### 2. 바이몰프 진동자의 전기적 등가회로

압전 바이몰프는 2개의 세라믹 판 중간에 얇은 금속판을 삽입한 샌드위치 모양의 구조를 이룬다. 중간에 삽입된 얇

\* 정 회 원 : 경원대학교 전기공학과 교수

E-mail : kimyh@kyungwon.ac.kr

접수일자 : 2009년 11월 13일

최종완료 : 2010년 1월 18일

은 금속판은 큰 진폭이나 충격에 대해서 소자의 굴절이나 파손을 방지하는 보강층 역할로 사용된다. 바이몰프의 한 쪽 끝이 힘을 받게 되면 압전 세라믹스 판이 구부러지는 과정에서 한 층에서는 팽창하고 반대 층에는 수축작용이 일어난다. 이러한 작용으로 인하여 압전판 양측에 전하가 발생하게 되고 출력전압으로 나타난다.

한 쪽이 고정된 cantilever형 바이몰프에서 가변부의 변위가 일정한 경우 진동모델은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다 [10].

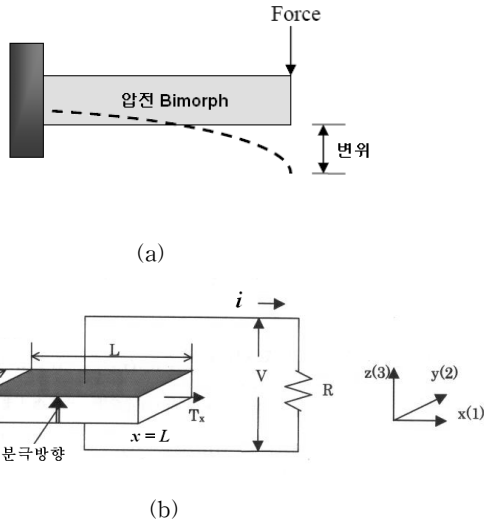


그림 1 바이몰프의 진동모델 (a) 진동변위 (b) 전압출력  
Fig. 1 Vibration model of Bimorph (a) vibration displacement (b) Voltage output

그림 1의 진동모델에서, 바이몰프의 변형분포는 길이  $x$ 에 비례하므로 고정단의 변형을  $S_0 \exp(j\omega t)$ , 가변부의 변형을  $\beta S_0 \exp(j\omega t)$  ( $\beta$ : 감쇄비)라고 하면  $x$ 방향에 따른 총 변형은 다음 식으로 나타낸다.

$$S_x(x) = \left\{ 1 - \frac{(1-\beta)x}{L} \right\} S_0 \exp(j\omega t) \quad (1)$$

그리고 압전체의 압전방정식은 각각 다음 식으로 주어진다.

$$S_x = S_{11}^E T_x + d_{31} E_z \quad (2a)$$

$$D_z = d_{31} T_x + \epsilon_{33}^T E_z \quad (2b)$$

여기서,  $D_z$ :  $z$ 방향의 전기변위성분( $C/m^2$ ),

$\epsilon_{33}^T$ : 응력이 일정할때의 유전율,

$d_{31}$ : 압전정수

$S_x$ :  $x$ 방향의 변형량,  $T_x$ :  $x$ 방향의 응력( $N/m^2$ )

$E_z$ :  $z$ 방향의 전기계성분( $V/m$ )

$S_{11}^E$ : 전계가 일정한 경우의 탄성 compliance

변형에 의해서  $z$ 방향으로 발생하는 전압과 전류는 다음 식으로 된다.

$$\text{전압 } V = - \int E_z dz = -h E_z \quad (3a)$$

$$\text{전류 } i = \frac{d}{dt} \left( \iint D_z dx dy \right) = j\omega \iint D_z dx dy \quad (3b)$$

따라서

$$\begin{aligned} \iint D_z dx dy &= d_{31} \iint T_x dx dy + WL \epsilon_{33}^T E_z \\ &= \frac{d_{31}}{s_{11}^E} \iint S_x dx dy + WL \epsilon_{33}^T \left( 1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T s_{11}^E} \right) E_z \end{aligned} \quad (4)$$

그리고

$$\iint S_x dx dy = WS_0 \int_0^L \left( 1 - \frac{1-\beta}{L} x \right) dx = \frac{WL(1+\beta)S_0}{2} \quad (5)$$

그러므로 전류  $i$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$i = j\omega \frac{d_{31} WL(1+\beta)S_0}{2 s_{11}^E} - j\omega \frac{WL \epsilon_{33}^T}{h} \left( 1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T s_{11}^E} \right) V \quad (6)$$

또한 출력전압은  $V = Ri$ 로 주어지므로 간략화 된 전기적 등가회로는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

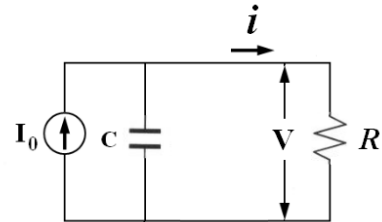


그림 2 전기적 등가회로  
Fig. 2 Electrical equivalent circuit

따라서 압전 바이몰프는 외부 진동력에 의해서 변위되고 그 결과는 전기적 출력전압  $V$ 로 나타난다. 결국 출력전압은 외부 진동력의 함수로 작용하게 되며 이때 압전 바이몰프에 가해지는 진동력과 출력전압의 관계는 다음 식으로 주어진다.

$$V = \frac{-d_{31} t_b}{\epsilon} \cdot \sigma \quad (7)$$

여기서,  $V$ : 출력전압,  $d_{31}$ : 압전변위계수,  $\epsilon$ : 유전상수,

$t_b$ : 압전바이몰프의 두께

$\sigma$ : 바이몰프에 가해지는 진동력

### 3. 실험방법

본 실험에 사용된 압전 바이몰프(piezo systems, inc.)의 구조 및 재료정수를 각각 그림 3과 표 1에 나타내었다.

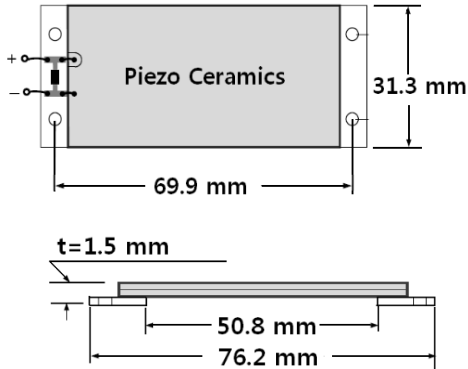


그림 3 바이몰프의 모양 및 크기  
Fig. 3 Sharp and Magnitude of Bimorph

표 1 압전 바이몰프의 재료정수  
Table 1 Material constant of Piezo bimorph

| 파라미터                    | 단위               | 정수                     |
|-------------------------|------------------|------------------------|
| Dielectric coefficient  | 1kHz             | 1800                   |
| d33                     | C/N              | $390 \times 10^{-12}$  |
| d31                     | C/N              | $-190 \times 10^{-12}$ |
| $k_{33}$                |                  | 0.72                   |
| Mechanical Q            |                  | 80                     |
| Elastic Modulus $Y_3^E$ | N/m <sup>2</sup> | $5.2 \times 10^{10}$   |
| Stiffness               | N/m              | $1.9 \times 10^2$      |

바이몰프의 진동에 따른 전기적 특성을 조사하기 위하여 회전진동장치를 제작하였다. DC 변속모터에 의해 구동되는 회전축에 롤러를 부착하여 바이몰프와의 접촉저항을 최소화하였고 바이몰프는 고정 받침대를 이용하여 고정하였다. DC 변속모터의 회전수는 전원장치의 전압을 변화시키는 방법으로 조절하였다. 회전장치의 암에 의해서 힘을 받게 되는 바이몰프는 운동에 의한 굴곡작용으로 인해 양 표면에 전하가 발생된다. 이때 발생한 전하는 그림 4와 같이 브리지회로를 통해 전과정류된 다음 470[uF]의 커패시터에 저장되도록 회로를 구성하였다. 바이몰프에서 발생한 파형, 출력전압 등의 정보는 오실로스코프(agilent, DOS3062A)에 연결된 컴퓨터를 이용하여 분석 처리하였다. 그림 5에 본 실험에서 사용된 실험장치 사진을 나타내었다.

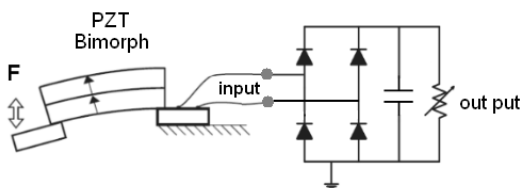


그림 4 출력회로  
Fig. 4 Output circuit

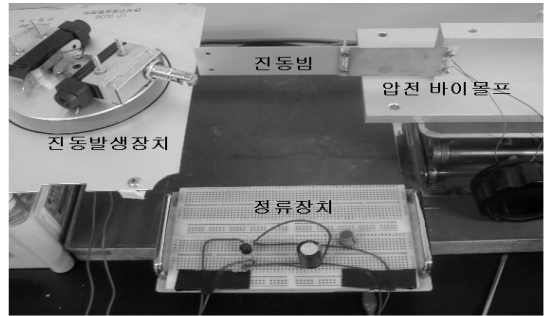


그림 5 실험장치 사진  
Fig. 5 Photo of experimental apparatus

### 4. 실험결과 및 검토

본 실험에서 사용한 PZT 바이몰프의 진동특성을 그림 6에 나타내었다. 압전 바이몰프는 2개의 압전판으로 구성되어 있기 때문에 진동시에 상, 하 양면이 동시에 팽창과 수축을 반복하면서 전하를 발생시키게 되므로 발생파의 (+), (-)가 반복적으로 나타나면서 상, 하 대칭적인 진동특성을 보인다.

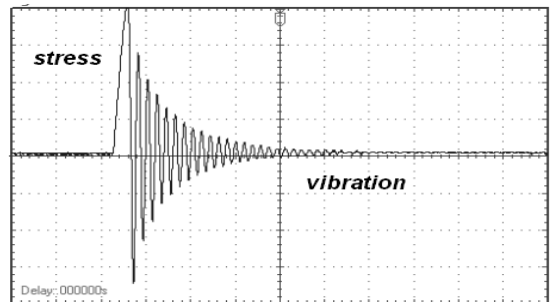


그림 6 PZT 바이몰프의 진동특성  
Fig. 6 Vibration characteristics of PZT bimorph

이러한 특성으로 인하여 한 쪽 면에서 전하를 발생하는 유니몰프에 비해 보다 많은 전하가 발생되므로 상당한 에너지를 얻을 수가 있다. 그림과 같이 바이몰프에 한 번 응력이 가해지면 바이몰프의 상, 하 진동에 의해서 진동에너지가 발생하면서 바이몰프의 진동이 멈출 때까지 계속해서 진행된다.

#### 4.1 진동빔의 길이 변화에 따른 AC출력전압

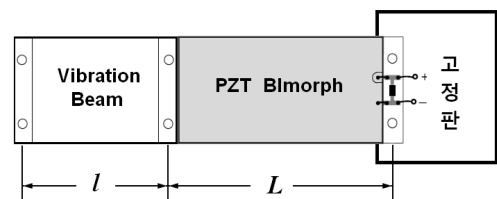


그림 7 진동빔이 결합된 바이몰프 구조  
Fig. 7 Bimorph structure with vibration beam

바이몰프의 진동효과를 증폭시키기 위하여 그림 7과 같이 PZT 바이몰프의 한쪽 단을 고정판에 고정시킨 상태에서 두께 0.5mm의 알루미늄 진동빔을 PZT 바이몰프에 접속하였다. 진동빔의 길이는 압전 바이몰프 길이 L을 기준으로 하여  $l=0.5L(44mm)$ ,  $l=1.0L(79mm)$ ,  $l=1.5L(109mm)$ 의 크기로 하였다.

그림 8에 진동빔의 길이  $l$ 을 변수로 하였을 때의 발생 파형에 의한 AC출력전압  $V_{rms}$  (실효치)의 변화를 나타내었다. AC출력전압은 오실로스코프 상으로는 그림 6과 같이 사인파 진동으로 측정이 되지만 내부 변환회로를 통해서 실효값으로 출력된다.

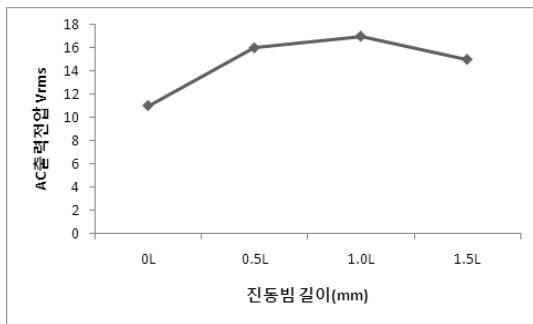


그림 8 진동빔의 길이 변화에 따른 AC출력전압  
Fig. 8 AC output voltage according to vibration beam length

진동빔이 없을 때( $l=0$ )의 AC출력전압이 ~10V 정도가 되었으나 진동빔을 설치한 경우 0.5L~1.5L 에서 AC출력전압이 15~17V로 크게 증가되었다. 특히 진동빔 길이가 바이몰프 길이와 같은  $l=1.0L$ 의 시편에서는 17V로 가장 크게 나타났다. 이와 같은 특성은 진동빔이 바이몰프의 기본진동주기와 정합을 이루면서 가장 안정된 진동효과를 나타낸 것으로 생각된다. 진동빔의 길이  $l=1.5L$ 에서는 다소 전압이 다소 감소되는 특성을 나타내었다.

진동빔 효과를 자세하게 규명하기 위하여 진동빔 끝단의 변위량과 바이몰프의 실제 변위량의 관계를 표 2에 나타내었다. 진동빔의 변위량을 20mm로 고정시켰을 때, 바이몰프의 가장 큰 변형량은 20mm 정도로써 진동빔이 없는 경우이다. 진동빔의 길이가 증가될수록 바이몰프의 변형량이 이에 반비례하여 감소되었음에도 불구하고 AC출력전압은 오히려 크게 증가되었다. 이와 같은 결과는 바이몰프의 출력전압이 단지 바이몰프 자체의 변형량에만 의존되는 것이 아니라 진동빔과의 진동주기의 합성효과에 의존된다는 것을 보여준 것이다.

또한 진동빔은 출력전압의 증가효과 이외에 바이몰프에 가해지는 응력을 간접적으로 작용시키기 때문에 바이몰프의 피로작용을 크게 감소시킴으로서 보다 안정된 진동특성을 기대할 수가 있다.

표 2 진동빔의 길이와 바이몰프 변위량의 관계  
Table 2 Vibration beam length and bimorph displacement

| 진동빔 길이( $l$ ) | 0L   | 0.5L | 1.0L | 1.5L |
|---------------|------|------|------|------|
| 바이몰프 변위량      | 20mm | 16mm | 8mm  | 4mm  |

#### 4.2 진동빔의 두께에 따른 AC출력전압 특성

바이몰프에 작용되는 진동력은 가해지는 외부 응력의 크기에 따라서 달라지지만 일단 한 번의 응력이 가해지고 나면 그림 6과 같이 자체 진동력에 의해서 연속적으로 전압이 발생하게 된다. 이때 발생하는 에너지의 양을 증가시키는 방법은 바이몰프의 진동력을 가능한 한 오래 동안 유지시키는 것으로 바이몰프 가변단에 시험용 질량을 매단 상태에서 응력을 가하는 방법이다.

본 실험에서는 시험용 질량 대신에 진동빔의 두께를 변화 시킴으로서 질량효과를 갖도록 하였다. 일정 크기의 진동빔 두께를 증가시키게 되면 결국 진동빔의 질량을 증가시키는 효과를 갖게 되므로 시험 질량을 갖는 진동자로 간주해도 별 문제는 없다.

그림 9에 진동빔의 두께에 따른 AC출력전압을 나타내었다. 진동빔의 크기  $l=0.5L$ 의 경우, 두께  $t=1.5mm$ 까지는 출력전압이 증가하였으나 그 이후에 진동빔의 두께에 관계없이 거의 일정한 특성을 나타내었다. 이 결과는 진동판의 길이가 짧게 되면 빔 자체의 진동효과가 미비하여 PZT 바이몰프의 진동에 의해서만 전압이 발생되기 때문인 것으로 생각된다.

진동빔의 길이  $l=1.0L$ 과  $l=1.5L$ 에 있어서는 빔의 두께가 증가할수록 출력전압이 큰 폭으로 증가하였다. 이 현상은 진동빔의 진동효과와 함께 질량효과가 크게 나타났기 때문으로 생각된다. 그리고  $l=1.0L$ 의 출력전압이  $l=1.5L$ 보다 다소 크게 나타난 것은 그림 8의 진동빔 길이 변화특성과 같은 양상이 그대로 작용한 것으로 볼 수 있다.

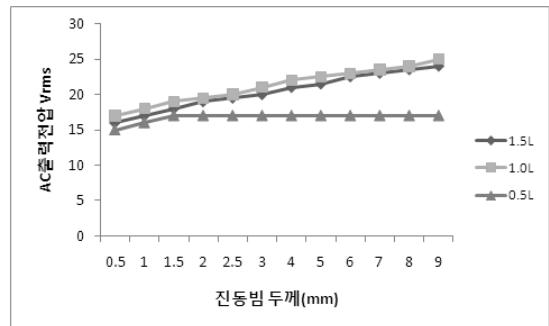


그림 9 진동빔의 두께에 따른 AC출력전압 특성  
Fig. 9 AC output voltage according to vibration beam thickness

#### 4.3 진동빔 주파수에 따른 AC출력전압

압전 바이몰프에 가해지는 응력의 주기가 변하는 경우 바이몰프 내부의 진동 주기에 영향을 미치기 때문에 출력특성의 변화를 수반하게 된다.

진동빔의 진동주파수에 따른 AC출력전압 파형을 그림 10에 나타내었다. 진동주파수가 증가함에 따라서 AC파형의 피크-피크 값이 약간 증가되는 현상이 나타났다. 이와 같은 현상은 진동주파수가 증가하게 되면 전 단계 진동이 완전히 끝나지 않은 상태에서 다시 진동이 시작되기 때문에 진동 전, 후에 발생한 진동의 일부가 중첩되어 출력파형의 피크치가 다소 증가되는 것으로 생각된다.

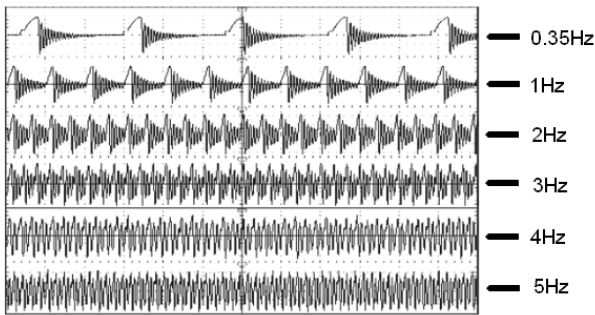


그림 10 진동 빔 주파수에 따른 AC출력파형  
 Fig. 10 AC output wave according to vibration beam frequency

그림 11에 진동 빔의 주파수에 따른 AC출력전압의 변화를 나타내었다. 진동주파수가 증가됨에 따라서 AC출력전압이 큰 폭으로 증가되는 현상으로 나타났다. 이는 특히  $f=2Hz$ 까지 크게 증가했다가 다시 완만하게 증가하는 특성을 나타내었다.

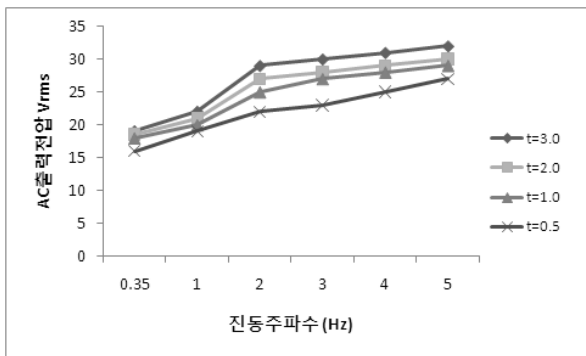


그림 11 진동주파수에 따른 AC출력전압  
 Fig. 11 AC output voltage according to vibration frequency

이와 같은 출력전압의 증가현상은 진동주파수가 낮으면 지수적으로 감소되는 파형에 의해서 출력전압이 결정되지만 진동주파수가 높을수록 비교적 큰 폭의 진동파형이 합성되는 결과로 나타나기 때문이다.

그리고 진동빔의 두께가 증가됨에 따라서 출력전압이 증가되는 현상은 그림 9의 특성 양상에 따른 것으로 볼 수 있다.

#### 4.4 DC출력전압의 진동주파수 의존성

앞에서 진동 빔의 구조변화와 진동주파수의 관점에서 AC출력전압의 특성변화를 조사하였다. AC출력전압은 에너지로서의 효율성은 있지만 실용상 에너지를 저장하거나 분배할 수 없는 한계를 갖고 있다. 그러므로 AC전압을 정류와 평활과정을 통해서 DC전압으로 변환함으로써 효율성을 높일 수 있다. DC로의 정류과정은 그림 4의 브리지 정류회로와  $470\mu F$ 의 커패시터가 병렬 연결된 회로구성으로 이루어졌다. 부하 단에는 저항 대신에 DC로 점등되는 LED를 연결하여 DC출력전압의 변화를 가지적으로 확인하였다.

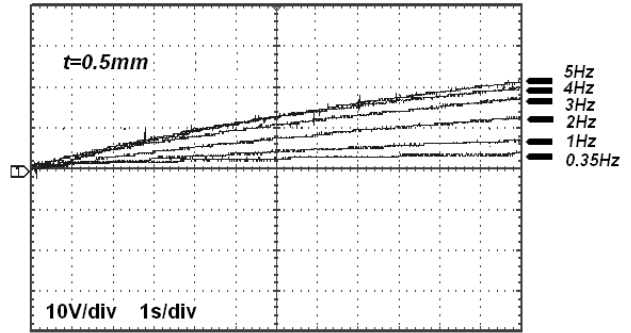


그림 12 진동주파수에 따른 DC 출력 파형특성  
 Fig. 12 DC output wave according to vibration frequency

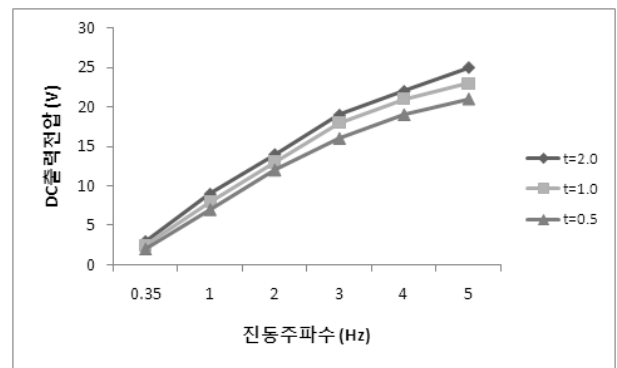


그림 13 DC출력전압의 진동주파수 의존성  
 Fig. 13 Vibration frequency dependence of DC output voltage

그림 12에  $t=0.5mm$ 의 진동 빔에 있어서, 12초간 진동시켰을 때의 DC전압 변화를 진동주파수 함수로 나타내었다.

진동시간이 증가함에 따라서 DC출력전압은 거의 직선적으로 증가하는 특성을 나타내었다. 또한 진동주파수가 커질수록 DC전압의 증가 속도 기울기가 크게 커지는 특성을 나타내었다.

이 결과는 그림 11의 AC출력전압에서 보인 바와 같이 진동 빔의 주파수가 증가할수록 AC출력전압이 증가되는 현상에 관련된다. 그림 12의 결과로부터, 각각의 주파수에서 12초 동안 진동시켰을 때의 DC출력전압의 진동주파수 의존성을 그림 13에 나타내었다.

DC출력전압은 진동빔의 두께에 관계없이 진동주파수가 증가함에 따라서 매우 큰 폭으로 증가되는 특성을 나타내었다. 그리고 진동빔의 두께가 두꺼워질수록(진동빔의 무게가 증가) 약간 증가하는 경향을 나타내었을 뿐 큰 차이는 보이지 않았다. 특히  $f=0.35Hz$ 에 있어서 DC전압이 진동빔의 두께와 관계없이 12초간 진동 시에 약 3.6V로 일정하게 나타났다.

이와 같은 특성은 진동주파가 매우 낮은 경우, 진동빔이 자유로운 진동상태를 유지하기 때문에 진동 전, 후 진동이 상호적으로 영향을 미치지 않은 결과로 생각된다.

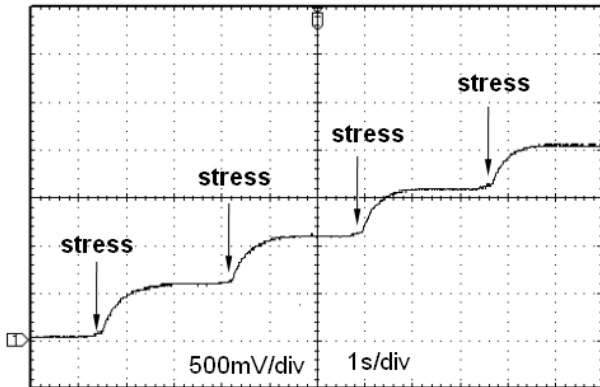


그림 14  $f=0.35Hz$ 에 있어서의 DC출력전압 파형  
Fig. 14 DC output voltage wave at  $f=0.35Hz$

그림 11의 AC출력전압과 비교할 때,  $f=0.35Hz$ 에서 AC 전압이  $16V_{rms}$ 를 나타냈으나 그림 13의 DC출력전압에서 3.6V로 낮게 나타난 것은 브리지정류 소자와 평활 커패시터의 내부저항에 의한 전압강하에 기인된 것으로 생각된다. 저주파 진동에 있어서 진동빔의 DC전압출력의 변화를 자세하게 관찰하기 위하여 주파수 0.35Hz에서의 DC전압출력 파형을 그림 14에 나타내었다. 진동이 반복될 때 마다 ~ 0.5V의 DC전압이 계단식으로 발생되고 있음을 알 수 있다. 이 주파수는 사람의 보행주기와 비슷하기 때문에 이때 발생하는 DC전압출력을 보행에 의한 자가발전용 전원으로 활용할 수 있을 것으로 본다.

4.5 진동주파수에 따른 저장에너지 특성

일반적으로 정전용량 C인 커패시터 양단에 전압 V가 생성되었을 때 커패시터에는 다음 식으로 표현되는 에너지가 저장된다.

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \tag{8}$$

그림 13의 DC출력전압으로부터,  $470\mu F$  커패시터에 저장된 에너지를 그림 15에 나타내었다. 진동주파수에 관계없이 1회 진동시에  $470\mu F$  커패시터에 0.5V가 충전되므로 (식 8)를 이용하여 에너지로 환산하면 ~0.06 mJ이 되고 진동수가 증가할수록 전압의 제곱에 비례하여 에너지가 증가되므로  $f=0.35Hz$ 인 경우 12회 진동 때의 전압 3.6V를 적용하면 약 3mJ의 에너지가 저장된다. 또한 진동빔의 두께가 증가할수록 출력에너지도 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 특히 진동빔의 두께효과가 매우 현저하게 나타났다.  $t=2mm$  진동빔의 경우 5Hz의 진동주파수에서 165mJ의 에너지가 생성되었다.

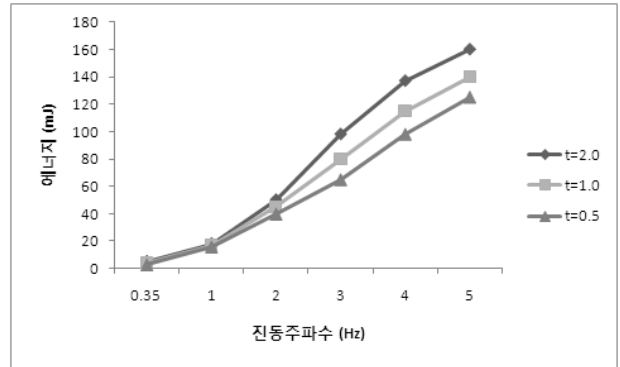


그림 15 진동주파수에 따른 저장에너지  
Fig. 15 Storage energy according to vibration frequency

5. 결 론

압전 바이몰프가 자가발전용으로 사용될 때 가장 큰 관점은 큰 에너지를 얻는 구조와 방법이다. 이 논문에서는 알루미늄 재질의 진동빔 구조를 도입하여 저주파 진동시에 발생하는 출력전압특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 진동빔의 길이와 바이몰프의 길이가 같을 때 DC출력 전압이 가장 크게 나타났다.
2. 진동빔의 두께가 증가할수록 DC출력전압이 증가하는 경향을 나타내었다.
3. 바이몰프 길이와 같은 진동 빔을 사용한 경우, 매 진동시  $470\mu F$ 의 커패시터에 약 0.06mJ의 에너지가 저장되었다.
4. 진동빔의 진동주파수가 증가될수록 출력에너지는 크게 증가하는 특성을 나타냈으며  $t=2mm$ 의 진동빔의 경우 12초간의 진동으로,  $f=0.35Hz$ 에서 약 3mJ,  $f=5Hz$ 에서는 165mJ의 에너지가 생성되었다.

0.35~5Hz 정도의 저주파 진동은 건강운동기구의 작동이나 보행 시에 발생하는 기계적 진동으로써 재생 가능한 에너지원으로 평가되고 있다. 앞으로 압전 바이몰프에 대한 보다 종합적인 해석을 통하여 효율성이 뛰어난 자가발전 장치로의 응용이 기대된다.

감사의 글

이 연구는 2009년도 경원대학교 지원에 의한 결과임

참 고 문 헌

[1] Roundy,S. "On the Effectiveness of Vibration-based Energy Harvesting," Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.16, No.10. pp.809-823, 2005

- [2] Sodano, H. A., Inman, D. J., and Park, G. "Comparison of Piezoelectric Energy Harvesting Devices for Recharging Batteries," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. Vol. 16, No.10. pp.809-823, 2005
- [3] Ng, T.H., and Liao, W. H. "Sensitivity Analysis and Energy Harvesting for a Self-powered Piezoelectric Sensor. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. Vol.16, No.10. pp.785-797, 2005
- [4] Ericka, M., Vasic, D., Costa, F., Poulin, G., and Tilba, S., "Energy Harvesting from Vibration using a Piezoelectric Membrane. *Journal de Physique IV*, Vol.128. pp.187-193, 2005
- [5] Lefevvre, E., Badel, A., Benayad, A., Lebrun, L., Richard, C., and Guyomar, D., "A Comparison between Several Approches of Piezoelectric Energy Harvesting, *Journal de Physique IV*, Vol. 128. pp. 177-186, 2005
- [6] Umeda M, Nakamura K and Ueha S., "Analysis of the Transformation of Mechanical Impact Energy to Electric Energy using Piezoelectric Vibrator *Japan. J. Appl. Phys.* Vol. 35, pp.3267-3273. 1996
- [7] Gonzalez, J. L, Rubio, A. and Moll, F. Human., "Powered Piezoelectric Batteries to Supply Power to Wearable Electronic Devices, *Int. J.-Soc. Mater. Eng. Resources* Vol.10, pp.34 - 40, 2001
- [8] Lefevvre, E., Badel, A., Richard, C., Petit, L., and Guyomar, D., "A Comprasion between Several Vibratin-Powered Piezoelectric Generators for Standalone Systems. *Sensors and Actuators A - Physical*. 126, 2, pp.405-416, 2006
- [9] Shen, D., Ajitsaria J., Choe, S, Y., and Kim, D, J., "The Optimal Design and Analysis of Piezoelectric Cantilever Beams for Power Generation Devices., *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* V3, pp.888, 2006
- [10] S.Roundy, E. Leland, J. Baker, E. Carleton.. "Improving Power Output in Vibration Based Energy Avengers" *IEEE Pervasive Computing*, Vol.4, pp.28-36, 2005

---

저 자 소 개



**김 용 혁 (金 龍 赫)**

1988년 8월 인하대학교 공학박사  
 1993년 3월 일본 명성대학 연구교수  
 1988년-현재 경원대학교 전기공학과 교수