Journal of the Research Institute of Industrial Technology. Vol. 20, 2003

압전소자를 이용한 소형 충전시스템의 특성해석

김동석* · 박관수** · 최형식***

*한국해양대학교 대학원, **한국해양대학교 기계공학과 교수, ***한국해양대학교 전기전자공학과 교수

A Characteristic Analysis of the Small Charging System by Piezoelectric Elements

*Dong Sok Kim** · *Gwan Soo Park*** · *Hyung Sik Choi****

**Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

***Department of Electrical Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

***Department of Mechanical Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

요 약 : 현대 정보사회는 교통수단의 발달과 더불어, 휴대용 기기의 급속적인 발전으로 인해, 초소형 발전기의 필요성이 크게 부각되고 있다. 이에 본 논문에서는 Impuls 형태의 외력을 이용한 초소형 발전기 개발에 관한 연구를 하였다. 이는 외력을 압전소자에 줌으로써 전압·전류를 발전하는 방식이다. 그러나 압전소자의 특성이 수천볼트까지의 전압 발생에 비해 매우 미소한 전류가 발생한다. 이로 인해 정확한 발전용량 측정이 어렵다. 이에 본 연구에서는 압전소자에 RC회로를 구성한 후, 콘덴서에 충전된 값을 알아보았다. 특히, 외력이 Impuls 형태이다 보니 지속적인 충전이 이루어지지 못한다. 이에 일정시간동안 Impulse형태의 외력을 주고, 콘덴서에 충전된 양을 측정하였다. 그리고 그 충전량을 비교함으로써 누적량의 선형성을 판별하였다.

핵심용어 : 초소형 발전기, 외력, 전압 · 전류, RC회로, 충전누적량

1. 서 론

현대 정보사회는 교통수단의 발달과 더불어, 휴대용 기기의 급속적인 발전이 이루어 지고 있어 초소형 발전기의 필요성이 부각되고 있다. 지금까지 개발된 초소형 발전기에는 태엽에 의한 회전력을 이용한 발전기, 회전운동을 하는 기기의 작은 회전력을 기어를 이용하여 증폭하는 방식의 발전기, 태양열이나 태양광을 이용한 초소형 발전기 등이 사용되고 있다. 또한, 최근에는 가스터빈을 이용한 초소형 발전기도 개발되었다. 그러나 이들 발전기는 기어나 태엽 등의 회전력을 증가 시키는 장비 부착으로 인해 부피와 무게가 증가하게 되며, 소음과 진동이 발생하게 된다. 그리고 태양열과 태양광을 이용한 방식은 태양광과 태양열을 집적할 수 있는 장비가 고가이기 때문에 전체 시스템의 비용을 크게 한다. 가스터빈을 이용한 발전기의 경우는 발전양은 크나 가스를 이용함에 있어 위험도가 크며, 비용도 크다. 이와 달리 본 논문에서는 평판형 압전소자를 이용한 초소형 발전기 개발에 관한 연구를 하였다.

평판형 압전소자는 부피가 매우 작고 가벼우며, Impulse 형태의 작은 외력에도 큰 전압(수천볼트)을 발생한다. 그러나 큰 전압에 비해 매우 미소한 전류발생으로 인해 정확한 발전용량 추정이 어렵다. 이에 본 연구에서는 RC방전회로를 압전소자에 결선하고 압전소자에 Impulse를 주어 콘덴서에 충전된 전기량을 측정하였다. 또한 일정시간 동안 누적된 발전전기용량을 측정하였다.

2. 압전소자의 구조와 원리

수정이나 로셀염 등의 결정에 압력을 가하면 전압이 발생하는데 이것을 압전 직접효과라고 하며, 이와 반대로 전압을 주면 결정체가 변형을 일으키는 현상을 압전 역효과라 한다. 발견자의 이름을 따서 직접효과를 퀴리 효과, 역효과를 리프먼 효과라고도 한다. 압전현상을 나타내는 압전소자는 초기에 로셀염 계통과 인산화수소가리 계통의 두 종류가 있었고, 그 후 티탄산바륨 계통의 압전소자가 알려졌으나 센서로 사용하기에는 몇가지 문제점이 있었다. 그 이후, 이성분계로 PZT라고 불리는 압전세라믹이 발견되어 가속도계 등의 센서용으로 널리 사용되고 있다. 이 PZT세라믹은 티탄산납($PbTiO_3$)과 지르코산납

($PbZrO_3$)을 일정한 비율로 섞은 것으로 사용용도에 따라 불순물을 첨가하여 여러가지 재료물성을 갖는 압전 세라믹으로 사용되고 있다. 또한, Fig. 1에서와 여러형태로 재조가 가능하여 활용도가 높다.[1]-[6]

최근에는 박막기술의 발전으로 평판형태의 압전소자 및 매우 얇은 형태의 압전필름이 개발되어 이에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있으며, 그 활용도가 커지고 있다. 최근에는 마이크로센서 등에도 이용 가능성이 검토되고 있다.[7] 본 연구에서 사용된 압전소자는 Fig. 2와 같이 평판형 구조를 가지는 압전소자로 압전소자의 특성 중 직접효과를 이용 하였다.

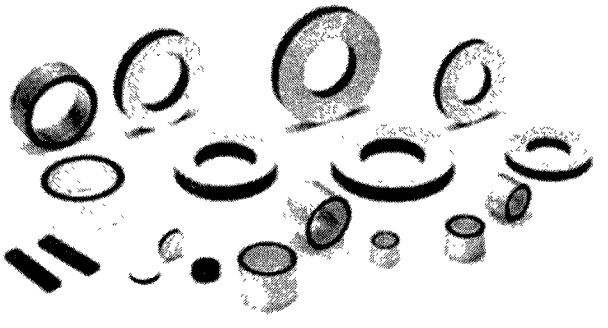

Fig. 1 여러형태의 압전소자

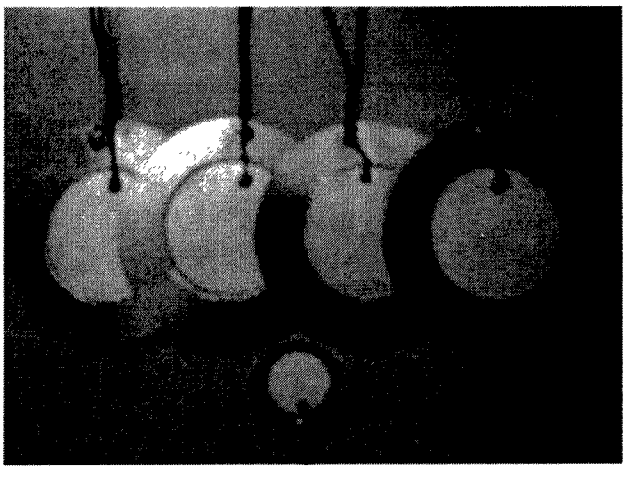

Fig. 2 평판형 압전소자

3. 충전전력량 계산법

3.1 R-C 방전회로

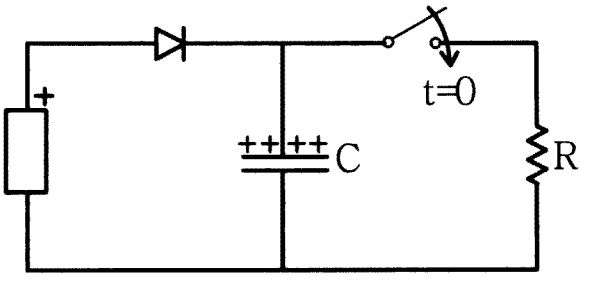

Fig. 3 R-C 방전회로

Fig. 3은 실험에 이용된 방전회로이다. 이 회로를 키르히호프의 전압법칙을 적용하면

$$Ri(t)+\frac{1}{C}\int i(t)d=0 \quad (1)$$

$$R\frac{dq(t)}{dt}+\frac{1}{C}q(t)=0\ ,\ q(0)=Q_0=CV_0 \quad (2)$$

$$q(t)=Q_0e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3)$$

$$i(t)=\frac{dq(t)}{dt}=-\frac{Q_0}{RC}e^{-\frac{t}{RC}}=-\frac{v_0}{R}e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4)$$

$$v(t)=\frac{q(t)}{C}=\frac{Q_0}{C}e^{-\frac{t}{RC}}=V_0e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

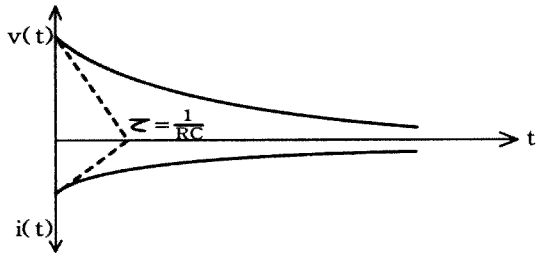

Fig. 4 R-C 방전 그래프

이다.

3.2 Battery의 Capacitance 측정법

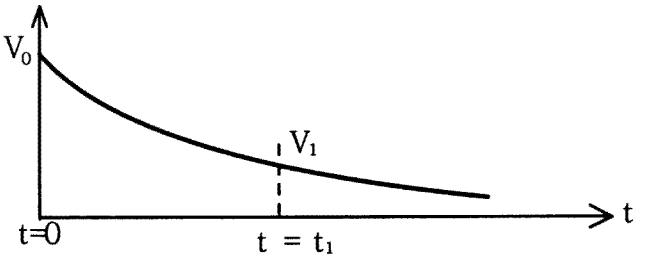

Fig. 5 콘덴서 방전 그래프

방전 시작(t=0)시 전압을 V_0라하고, 어느 정도 시간이 지났을때(t=t1)의 전압을 V_1이라고 하면

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \tag{6}$$

$$e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{V_1}{V_0} \tag{7}$$

$$\frac{t_1}{RC} = \log \frac{V_0}{V_1} \tag{8}$$

따라서 정전용량은

$$C = \frac{t_1}{R \cdot \log(\frac{V_0}{V_1})} \quad [F] \tag{9}$$

이다.

3.3 Battery의 충전 전력량 계산

C 와 V_0를 알면

$$Q_0 = CV_0 \tag{10}$$

방전회로에서

$$i(t) = -\frac{Q_0}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} \tag{11}$$

$$v(t) = \frac{Q_0}{C} e^{-\frac{t}{RC}} \tag{12}$$

전력은

$$\begin{aligned} P(t) &= v(t) \cdot i(t) \\ &= -\frac{Q_0}{C} \cdot \frac{Q_0}{RC} e^{-\frac{2t}{RC}} \\ &= -\frac{Q_0^2}{RC^2} e^{-\frac{2t}{RC}} \\ &= -\frac{V_0^2}{R} e^{-\frac{2t}{RC}} \end{aligned} \tag{13}$$

이다.

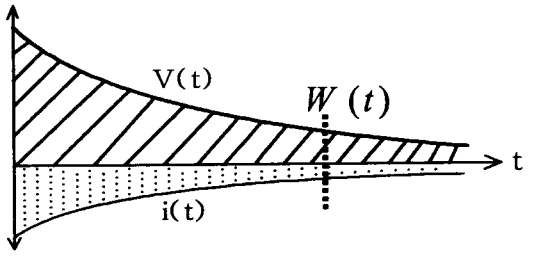

Fig. 6 R-C 방전회로에서 전력량

전력에너지는

$$\begin{aligned} W &= \int_0^\infty P(t)dt \\ &= -\frac{V_0^2}{R} \int_0^\infty e^{-\frac{2t}{RC}} dt \\ &= -\frac{1}{2} CV_0^2 \end{aligned} \tag{14}$$

따라서 R-C 방전회로에서

$$\begin{aligned} W(t) &= \int v(t) \cdot i(t)dt \\ &= \frac{1}{2} CV_0^2 \end{aligned} \tag{15}$$

이다.

4. 압전소자에 Impulse형태의 외력을 준 경우

4.1 압전소자 발생 전압

압전소자 한개에 Impulse 형태의 외력을 일정한 주기로 주었다. Fig. 7은 이때의 압전소자에서 발생한 전압 파형이며, 이를 통해 매우 큰 전압이 발생함을 알 수 있다. 한편, Fig.7 파형은 충전이 가능 하였지만 Fig. 8과 같은 파형은 충전이 되지 않았다. 이를 통해 파형의 발생 지속시간이 짧은 경우 충전이 되지 않음을 알 수 있으며, 충전이 가능한 최소 지속시간의 정의가 필요하다.

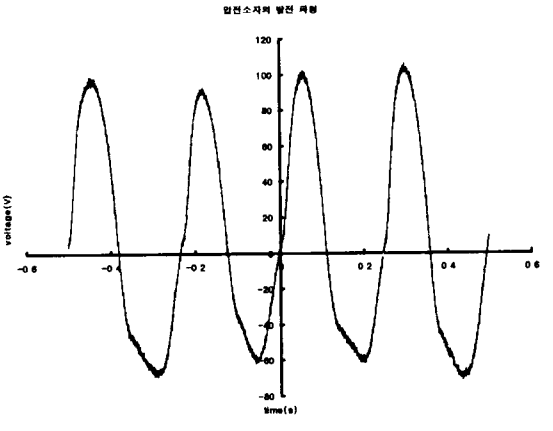

Fig. 7 압전소자에 Impulse형태의 외력을 주었을 때의 압전소자 발생전압

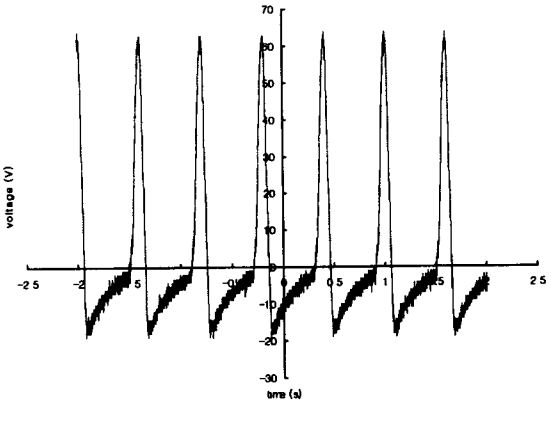

Fig. 8 충전되지 않는 압전소자의 발전전압 파형

4.2 일정시간동안 누적된 충전량

압전소자로부터 발생한 전력의 시간에 따른 충전여부를 판별하기 위하여 표시정전용량 1[uF] 콘덴서와 1[MΩ]의 저항으로 R-C회로를 구성한 후 일정시간동안의 충전량을 측정하였다.

먼저, 5분간 Impulse 형태의 외력을 준 후 그 충전량을 측정하였다. Fig. 9는 이때의 방전 그래프이다. 이 측정값을 식 9를 이용하여 계산하면 식 24와 같이 0.98[uF]의 정전용량이 나온다. 표시정전용량의 값과 거의 같은 값을 얻었다.

$$C = \frac{2}{10\times10^{6}\times \log\left(\frac{12.4}{1.6}\right)} \quad [F] = 0.98[\mu F] \tag{24}$$

이를 값을 식 15에 적용하면 식 25과 같은 75.1×10^{-6} [Ws]의 충전량을 알 수 있다.

$$W(t) = \frac{1}{2}\times0.98\times10^{-6}\times12.4^{2} = 75.1\times10^{-6}[Ws] \tag{25}$$

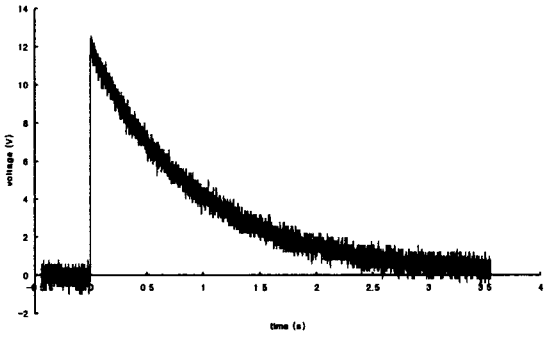

Fig. 9 압전소자에 5분간 외력을 준 경우

다음에는 압전소자에 10분간 Impulse 형태의 외력을 준 후 그 충전량을 측정하였다. Fig. 10은 이때의 방전 그래프이다. 이 측정값을 식 9를 이용하여 계산하면 식 26과 같이 1.1[uF]의 정전용량이 나온다. 표시정전용량의 값과 거의 같은 값을 얻었다.

$$C = \frac{2}{10\times10^{6}\times \log\left(\frac{18.4}{3}\right)} \quad [F] = 1.1[\mu F] \tag{26}$$

이를 값을 식 15에 적용하면 식 27과 같은 186.55×10^{-6} [Ws]의 충전량을 알 수 있다.

$$W(t) = \frac{1}{2}\times1.1\times10^{-6}\times18.4^{2} = 186.55\times10^{-6}[Ws] \tag{27}$$

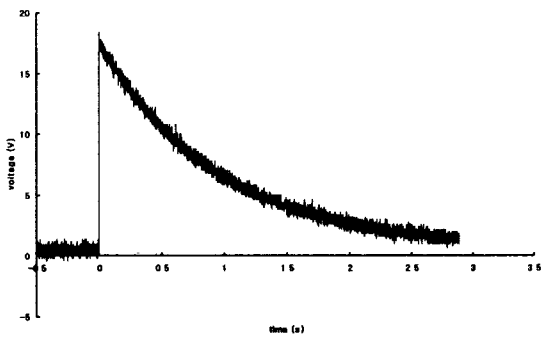

Fig. 10 압전소자에 10분간 외력을 준 경우

다음에는 압전소자에 20분간 Impulse 형태의 외력을 준 후 그 충전량을 측정하였다. Fig. 11은 이때의 방전 그래프이다. 이 측정값을 식 9를 이용하여 계산하면 식 28과 같이 0.9[uF]의 정전용량이 나온다. 표시정전용량의 값과 거의 같은 값을 얻었다.

$$C = \frac{2}{10\times10^{6}\times \log\left(\frac{29.2}{3.2}\right)} \quad [F] = 0.9[\mu F] \tag{28}$$

이를 값을 식 15에 적용하면 식 29과 같은 385.4×10^{-6} [Ws]의 충전량을 알 수 있다.

$$W(t) = \frac{1}{2}\times0.9\times10^{-6}\times29.2^{2} = 385.40\times10^{-6}[Ws] \tag{29}$$

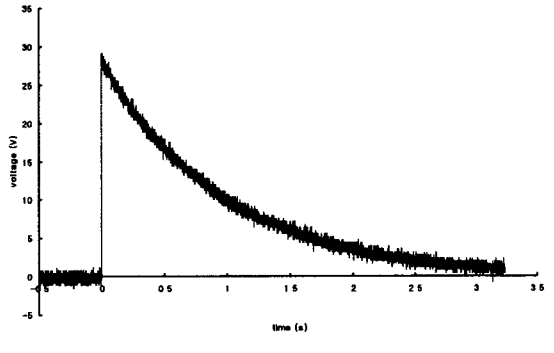

Fig. 11 압전소자에 20분간 외력을 준 경우

다음에는 압전소자에 40분간 Impulse 형태의 외력을 준 후 그 충전량을 측정하였다. Fig. 12는 이때의 방전 그래프이다. 이 측정값을 식 9를 이용하여 계산하면 식 30과 같이 1.03[uF]의 정전용량이 나온다. 표시정전용량의 값과 거의 같은 값을 얻었다.

$$C = \frac{2}{10\times10^{6}\times \log\left(\frac{49}{7}\right)} \quad [F]$$
$$= 1.03[\mu F] \tag{30}$$

이를 값을 식 15에 적용하면 식 31과 같은 1232.9×10^{-6} [Ws]의 충전량을 알 수 있다.

$$W(t) = \frac{1}{2}\times1.03\times10^{-6}\times49^{2}$$
$$= 1232.90\times10^{-6}[Ws] \tag{31}$$

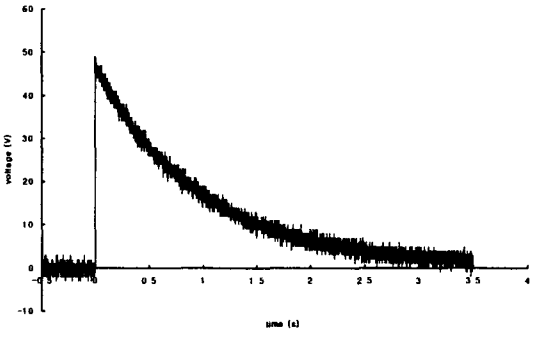

Fig. 12 압전소자에 40분간 외력을 준 경우

이들 일정시간에 따른 충전량을 종합해 보면 Fig. 13과 같이 선형적인 증가량을 가짐을 볼 수 있다. 다시 말해, 압전소자에 일정 Impulse형태의 외력을 주었을 때 충전량이 시간에 비례하여 선형적 특성을 보인다.

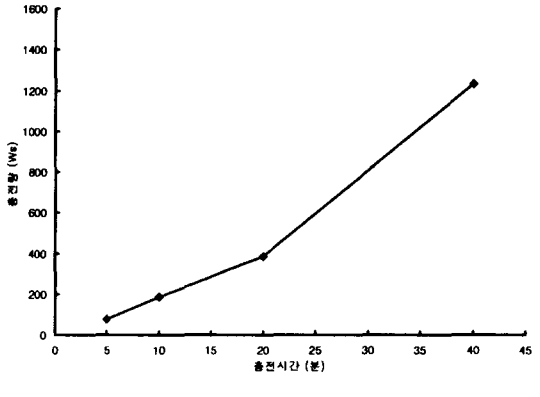

Fig. 13 일정시간 동안의 충전량 누적그래프

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 초소형 발전기와는 다른 Impulse 형태의 외력을 이용한 초소형 발전기를 개발하고자 한다. 이에 본 연구에서는 작은 외력에도 큰 전압을 발생하는 압전소자를 사용하였으며, 특히 많은 종류의 압전소자들 중에서 부피가 매우 작고 가벼운 평판형 압전소자를 사용하여 초소형 발전기를 개발하고자 하였다. 이에 먼저 압전소자의 발생특성을 알아보았다. 그 결과 압전소자는 매우 큰 전압을 발생하지만 전류는 매우 미소한 값을 발생한다. 이로 인해 정확한 발전량을 측정하기가 어렵다. 또한, 일정시간동안 충전량이 누적되어 저장여부가 필요하다. 이에 본 논문에서는 R-C 방전회로를 이용한 발전량 측정방법을 제시하고, 압전소자에 임의 불규칙 외력을 가하고 그 충전량을 측정해 보았다. 그 결과 정전용량은 사용한 콘덴서의 정전용량과 거의 비슷한 값을 얻었다. 또한, 일정시간동안의 누적된 충전량을 비교한 결과 누적정도가 거의 선형적임을 볼 수 있었다.

이를 바탕으로 압전소자에 가해지는 외력의 간격차이가 발전량의 충전 누적에 어떤 영향을 주며, 외력 하나의 유지시간에 따른 발전량 누적정도에 대한 연구가 이루어지고 있다. 더 나가 발전량 향상 방법을 제시한다.

참 고 문 헌

[1] 조영화, "압전소자 구동장치를 이용한 로봇 손목기구의 개발 = Development of a robot assembly wrist using piezoelectric actuators," 1992.

[2] 임영모, "압전소자를 이용한 선형 액츄에이터의 개발 = Development of linear actuator using piezoelectric elements," 1994.

[4] 김호기, 김병익, "TELEPHONE MEMBRANE용 압전소자 개발에 관한 연구 = The development of piezoelectric ceramics for telephone membrane," 한국과학기술원 최종보고서, 1990.

[5] 유헌수 총괄연구책임, 은탁, 정형진 연구책임, 정승배, 정석태, "압전소자를 이용한 초정밀 변위제어 시스템의 개발(1) : 압전모타 시스템의 개발 = Development of a precision positioning system using PZT : development of a PZT motor system," 한국과학기술연구원 주관연구 최종보고서, 1989.

[6] 홍동표, 정태진, "압전소자로 구동되는 소형 Gripper시스템의 개발과 힘제어에 관한 연구, 최종연도연구보고서 = Development andforce control of gripper driven by piezoelectric actuator," 전북대학교 주관연구, 1997.

[7] 김호기, 김동국, 이치헌 [공]연구, "다기능 압전소자의 개발 및 특성평가," 한국과학기술원 재료공학과 전자세라믹재료연구실, 한국과학기술원 전자부품·재료설계인력교육센터 [공]연구, 2000.