

## Impulse 형태의 외력을 이용한 초소형 발전기 개발에 관한 연구

김 동 석 , 오정민 , 최형식 , 박 관 수  
한국해양대학교 전기공학과 , 기계공학과

### Development of the Small Power Generator by Using Impulse Forces

Dong Sok Kim , Jeong Min Oh , Hyung Sik Choi , Gwan Soo Park  
Dept.of Electrical Engineering , Dept.of Mechanical Engineering , Korea Maritime University

**Abstract** - 현대 정보사회는 교통수단의 발달과 더불어, 휴대용 기기의 급속적인 발전이 이루어지고 있다. 이에 초소형 발전기의 필요성이 부각되고 있다. 지금까지 개발된 초소형 발전기로는 태양열을 이용한 발전기, 기기의 회전력을 이용한 발전기, 태양열을 이용한 발전기 등이 있다. 이와 달리 본 논문에서는 평판형 압전소자를 이용한 초소형 발전기 개발에 관한 연구를 하고 있다. 평판형 압전소자는 부피가 매우 작고 가벼우며, Impulse 형태의 작은 외력에도 큰 전압을 발생한다. 그러나 매우 작은 전류로 인해 낮은 전력이 발생한다. 이로 인해 정확한 발전용량 측정이 어렵다. 이에 본 연구에서는 압전소자의 발전전기를 콘덴서에 충전, 이때의 정전용량을 측정하고 일정시간 동안 누적된 발전전기용량을 측정하였다. 이를 바탕으로 발전전기량 향상 방법을 개발하고 있다.

#### 1. 서 론

현대 정보사회는 교통수단의 발달과 더불어, 휴대용 기기의 급속적인 발전이 이루어지고 있다. 이에 초소형 발전기의 필요성이 부각되고 있다. 지금까지 개발된 초소형 발전기에는 태양열을 이용하여 발전기를 돌리는 형태와 회전하는 기기의 회전력을 이용한 형태 등이 있으며, 주로 태양열을 이용한 초소형 발전기를 사용하고 있다. 또한, 최근에 가스 터빈을 이용한 초소형 발전기도 개발되었다. 그러나 이들 발전기는 가격이 비싸 전체기기의 비용을 크게 하고 있다. 이와 달리 본 논문에서는 평판형 압전소자를 이용한 초소형 발전기 개발에 관한 연구를 하고 있다.

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. 이에 본 논문에서는 미소전류 발생시 전력량 추정방법을 제시하였고, 외력시 압전소자에서 발전되는 발전 용량을 추정하였다. 또한 압전소자에 일정 Impulse를 주는 방법을 제시하였다.

#### 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. 발전자의 이름을 따서 직접효과를 퀴리효과, 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. 그이후 이성분계로 PZT라고 불리는 압전 세라믹이 발견되어 가속도계등의 센서용으로 널리 사용되고 있다. 이 PZT세라믹은 티탄산납(PbTiO3)과 지르코산납(PbZrO3)을 일정한 비율로 섞은 것으로 사용용도에 따라 불순물을 첨가하여 여러가지 재료물성을 갖는 압전 세라믹으로 사용되고 있다.

최근에는 박막기술의 발전으로 압전필름이 개발되어 이에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있으며, 마이크로센서등에 이용 가능성이 검토되고 있다.

본 연구에서는 압전소자의 직접효과를 이용하여 초소형 발전기를 개발하고자 하였다.



그림 1. 평판형 압전소자

#### 3. Battery 의 충전전력량 계산법

### 3.1 R-C 방전회로

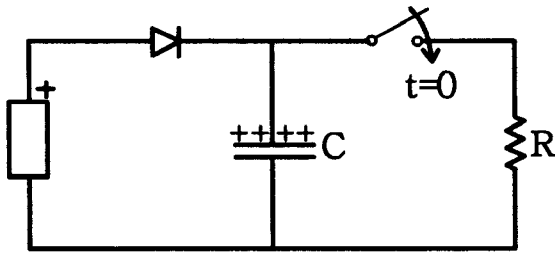


그림 2. R-C 방전회로

그림 2는 실험에 이용된 R-C 방전회로이다. 이 회로를 키르히호프의 전압법칙을 적용하면

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

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

$$q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3)$$

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

$$v(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{Q_0}{C} e^{-\frac{t}{RC}} = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4)$$

$$v(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{Q_0}{C} e^{-\frac{t}{RC}} = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

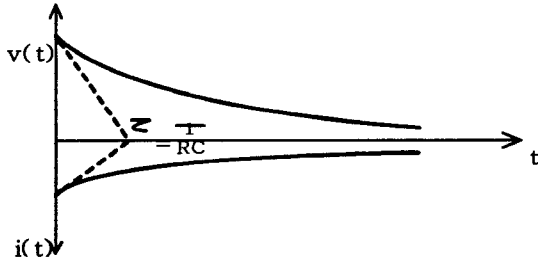


그림 3. R-C 방전 그래프

### 3.2 Battery의 Capacitance 측정법

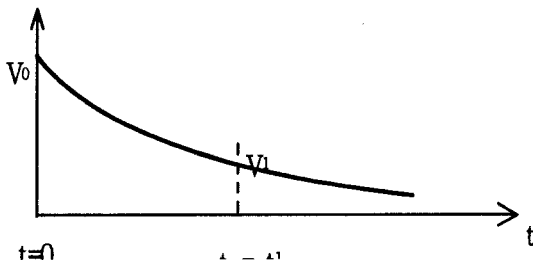


그림 1. 콘덴서 방전 그래프

방전 시작( $t=0$ )시 전압을  $V_0$ 라하고, 어느 정도 시간이 지났을때( $t=t_1$ )의 전압을  $V_1$ 이라고 하면

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

$$e^{-\frac{t_1}{RC}} = \frac{V_1}{V_0} \quad (7)$$

$$\frac{t_1}{RC} = \log \frac{V_0}{V_1} \quad (8)$$

따라서 정전용량은

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

이다.

### 3.3 Battery의 충전 전력량 계산

C 와  $V_0$ 를 알면

$$Q_0 = CV_0 \quad (10)$$

방전회로에서

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

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

전력은

$$P(t) = v(t) \cdot i(t)$$

$$= -\frac{Q_0}{C} \cdot \frac{Q_0}{RC} e^{-\frac{2t}{RC}} \quad (13)$$

$$= -\frac{Q_0^2}{RC^2} e^{-\frac{2t}{RC}}$$

$$= -\frac{V_0^2}{R} e^{-\frac{2t}{RC}}$$

전력에너지는

$$W = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

$$= -\frac{V_0^2}{R} \int_0^{\infty} e^{-\frac{2t}{RC}} dt \quad (14)$$

$$= -\frac{1}{2} CV_0^2$$

따라서 R-C 방전회로에서

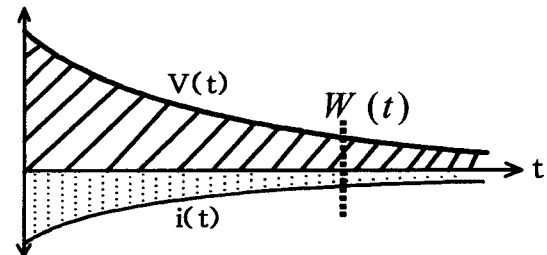


그림 4. R-C 방전회로에서 전력량

$$W(t) = \int v(t) \cdot i(t) dt \quad (15)$$

$$= \frac{1}{2} CV_0^2$$

#### 4. 임의전압에 대한 R-C 방전실험

##### 4.1 25[V] 전원

최대전압 25[V], 정전용량 100[μF]의 콘덴서와 저항 10[kΩ]을 가지고 R-C 방전회로를 꾸민 후, 먼저 25[V]의 전압을 걸어주었다. 그림 6은 이때의 방전 그래프이다.

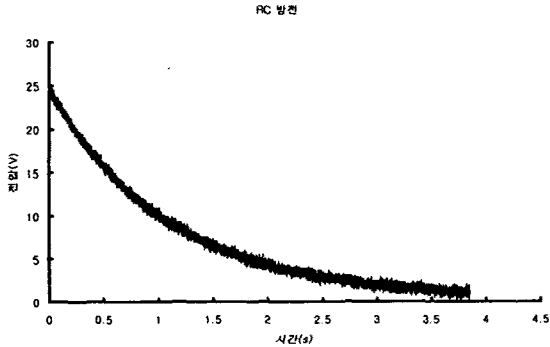


그림 5. 25[V] 100[μF] 콘덴서, 10[kΩ] 저항, 25[V]전원

측정값을 식 9를 이용하여 계산하면 정전용량이 113[μF]이다.

$$C = \frac{2}{10 \times 10^3 \times \log\left(\frac{24.6}{4.2}\right)} [F] = 113 [\mu F] \quad (16)$$

이를 통해 콘덴서의 정전용량과 R-C회로를 이용한 측정값이 같음을 알 수 있다.

이를 식 15를 적용하여 계산하면 식 17과 같은 충전량을 알 수 있다.

$$W(t) = \frac{1}{2} \times 113 \times 10^{-6} \times 24.6^2 = 34.2 \times 10^{-3} [W] \quad (17)$$

##### 4.2 10[V] 전원

최대전압 25[V] · 정전용량 100[μF]의 콘덴서와 저항 10[kΩ]을 가지고 R-C 방전회로를 꾸민 후, 10[V]의 전압을 걸어주었다. 그림 7은 이때의 방전 그래프이다.

측정값을 식 9를 이용하여 계산하면 정전용량이 112[μF]이다.

$$C = \frac{2}{10 \times 10^3 \times \log\left(\frac{9.6}{1.6}\right)} [F] = 112 [\mu F] \quad (18)$$

이를 통해 같은콘덴서에 다른 전압을 주어도 정전용량과 R-C회로를 이용한 측정값이 같음을 알 수 있다.

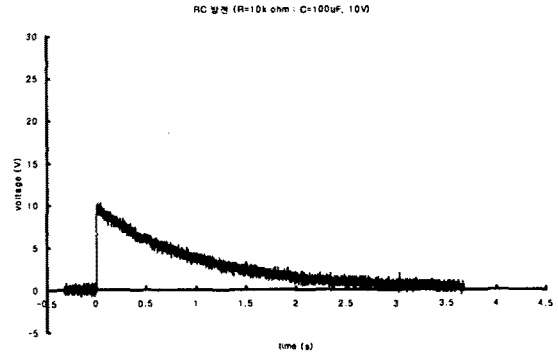


그림 6. 25[V] 100[μF] 콘덴서, 10[kΩ] 저항, 10[V]전원

이를 식 15를 적용하여 계산하면 식 19과 같은 충전량을 알 수 있다.

$$W(t) = \frac{1}{2} \times 112 \times 10^{-6} \times 9.6^2 = 5.2 \times 10^{-3} [W] \quad (19)$$

#### 5. 압전소자에 Impulse형태의 외력을 줌

##### 5.1 압전소자 발생 전압

압전소자 한개에 Impulse 형태의 외력을 일정한 주기로 주었다. 그림 8은 이때의 압전소자에서 발생한 전압 파형이다. 그림에서 보듯이 매우 큰 전압이 발생함을 알 수 있다.

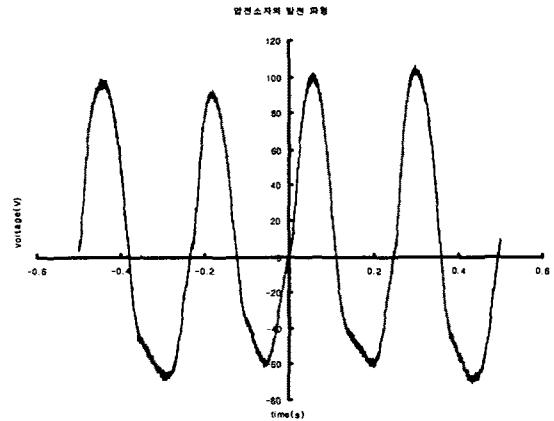


그림 7 압전소자에 Impulse형태의 외력을 주었을 때의 압전소자 발생전압

##### 5.2 일정시간동안 누적된 충전량

압전소자에 1분간 120회의 Impulse 형태의 외력을 주었다. 그림 9는 이때의 방전 그래프이다. 이 측정값을 식 9를 이용하여 계산하면 계산식 20과 같이 99.2[μF]의 정전용량이 나온다. 이는 사용한 콘덴서 정전용량과 거의 같은 값이다.

$$C = \frac{2}{10 \times 10^3 \times \log\left(\frac{0.06}{0.008}\right)} [F] = 99.2 [\mu F] \quad (20)$$

이를 값을 식 15에 적용하면 식 21과 같은  $17.8 \times 10^{-8} [W\bar{s}]$ 의 충전량을 알 수 있다.

$$W(t) = \frac{1}{2} \times 99.2 \times 10^{-6} \times 0.06^2 \quad (21)$$

$$= 17.8 \times 10^{-8} [W\bar{s}]$$

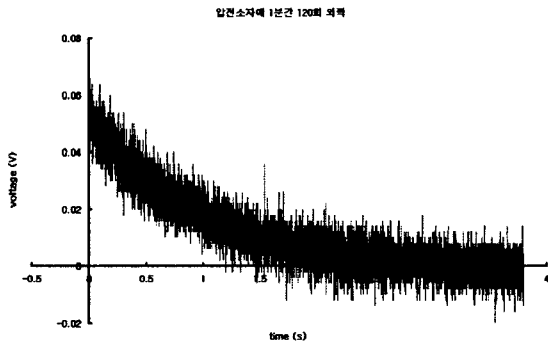


그림 8. 압전소자에 1분간 120회 외력 줌 다음에는 압전소자에 2분간 240회의 Impulse 형태의 외력을 주었다. 그림 10은 이때의 방전 그래프이다. 이 측정값을 식 9를 이용하여 계산하면 계산 식 22와 같이  $91.6 [\mu F]$ 의 정전용량이 나온다. 이는 사용한 콘덴서 정전용량과 거의 같은 값이다.

$$C = \frac{2}{10 \times 10^3 \times \log\left(\frac{0.124}{0.014}\right)} [F] \quad (22)$$

$$= 91.6 [\mu F]$$

이를 값을 식 15에 적용하면 식 21과 같은  $70.4 \times 10^{-8} [W\bar{s}]$ 의 충전량을 알 수 있다.

$$W(t) = \frac{1}{2} \times 91.6 \times 10^{-6} \times 0.124^2 \quad (23)$$

$$= 70.4 \times 10^{-8} [W\bar{s}]$$

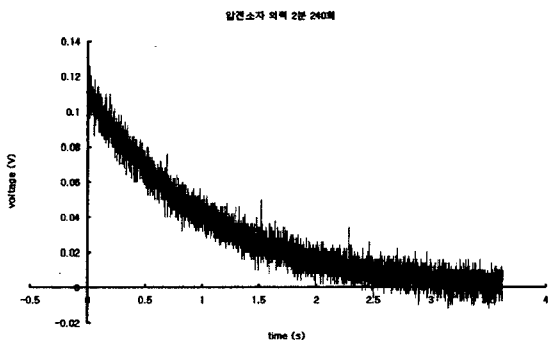


그림 9. 압전소자에 2분간 240회 외력 줌

## 6. 결 론

본 연구에서는 기존의 초소형 발전기와는 다른 Impulse 형태의 외력을 이용한 초소형 발

전기를 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 극히 작은 값을 발생한다. 이로 인해 정확한 발전량을 측정하기가 어렵다. 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 본 연구는 일정시간동안의 충전량 누적정도 및 추진량의 선형성을 알기 위해 압전소자에 일정한 크기의 외력을 일정한 주기로 일정한 시간동안 줄 수 있는 장치를 제작 중이며, 더나가 발전량 향상 방법을 제시한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 압전소자 구동장치를 이용한 로봇 손목기구의 개발 = Development of a robot assembly wrist using piezoelectric actuators / 조영화. 1992
- [2] 압전소자를 이용한 선형 액츄에이터의 개발 = Development of linear actuator using piezoelectric elements / 임영모. 1994
- [3] 압전소자를 사용한 미세변위 구동기의 정적 및 동적 특성 연구 = Study on the static and dynamic characteristics of a piezo-ceramicmicro-positioning actuator / 한국과학기술원 연구 ; 은택 연구책임 ; 정승배 연구. 1988
- [4] TELEPHONE MEMBRANE용 압전소자 개발에 관한 연구, 최종보고서 = The development of piezoelectric ceramics for telephone membrane / 한국과학기술원 주관연구 ; 김호기 총괄연구책임 ; 김병익 ... [외]연구. 1990
- [5] 압전소자를 이용한 초정밀 변위제어 시스템의 개발(1) : 압전모터 시스템의 개발, 최종보고서 = Development of a precision positioning system using PZT : development of a PZT motor system / 한국과학기술연구원 주관연구 ; 유현수 총괄연구책임 ; 은택 ; 정형진 연구책임 ; 정승배 ; 정석태 [공]연구. 1989
- [6] 압전소자로 구동되는 소형 Gripper시스템의 개발과 힘제어에 관한 연구, 최종연도연구보고서 = Development and force control of gripper driven by piezoelectric actuator / 전북대학교 주관연구 ; 홍동표 총괄연구책임 ; 정태진 ... [외]연구. 1997

- [7] 다기능 압전소자의 개발 및 특성평가 / 한국과학기술원 재료공학과 전자세라믹재료연구실 ; 한국과학기술원 전자부품. 재료설계인력교육센터 [공]연구 ; 김호기 과제연구책임 ; 김동국 ; 이치현 [공]연구.2000
- [8] Design and Fabrication of Reference SAW Oscillator Using PolyLithic Integration of Electronic and Acoustic Devices on Quartz-on-Silicon Wafer = 전자 및 압전소자의 QoS Wafer위 다층 집적화 방법을 이용한 기준주파수 SAW 발진기의 설계 및 제작 / Yun-Seong Eo. 2001