

# PVDF 필름을 이용한 힘과 온도 동시검지에 대한 연구

## A study of Simultaneous Force and Temperature Sensing with PVDF Film

이용국, 한득영  
(Yong-Kuk Lee, Deuk-Young Han)

### Abstract

This paper is concerned on method of simultaneous force(stress) and temperature sensing with PVDF film. PVDF film has piezoelectric and pyroelectric properties. Therefore, it senses changes of stress and temperature. But it's output is affected with two properties. Using different medium in a sensing element, this problem is solved. Two structures induce different equations that its solutions are changes of stress and temperature. This method and result is applicable in skin sensor that has complexity of material and structure.

**Key Words** : PVDF film, force sensing, temperature sensing, sensitive skin

### 1. 서 론

PVDF 필름은 압전성을 가진 물질로서 매우 다양한 분야에 적용되고 있으며[1], 이에 대한 많은 연구가 있었다[2]. 압전성과 초전성을 같이 나타내므로 힘과 온도의 변화분을 검출할 수 있는 재료이지만, 한 구조만의 검지요소로는 두 가지 물리량에 대한 출력이 같이 나타나므로 실제의 측정은 매우 제한된 환경 하에서만 가능하다. 그러나, polymer의 유연성 때문에 skin 센서로서 적용하고자 하는 연구가 계속되고 있다[3]. 현재 skin 센서에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있지만, 센서자체에 많은 검지요소가 있어야 하며, 다양한 물리량을 검지할 수 있어야 하는 구조적 문제를 안고 있다[4-6].

따라서, 본 논문에서는 검지요소의 구조를 조정하여 힘과 온도를 동시에 검출할 수 있는 방법을 제시하고 이를 이용하여 skin 센서의 적용성을 검토하고자 한다.

### 2. 온도 및 응력식

자계의 영향을 무시할 경우 압전 정방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$dD_m = d_m^{\theta} dT_i + \epsilon_{mk}^{\theta} dE_k + p_m^T d\theta \quad (1)$$

여기서,  $p_m^T$ 는 초전상수(pyroelectric constant),  $d_m^{\theta}$ 는 압전상수(piezoelectric constant),  $\epsilon_{mk}^{\theta}$ 는 유전상수(dielectric constant),  $\theta$ 는 온도이고, 첨자  $i$ 는 1~6,  $m, k$ 는 1~3까지의 정수이다. 외부에서 전계가 가해지지 않는다면 (1)식은

$$dD_m = d_m^{\theta} dT_i + p_m^T d\theta \Rightarrow D = dT + p\theta \quad (2)$$

로서 외부의 응력변화와 온도변화는 전하밀도의 변화에 영향을 준다[7][8]. 본 논문에서는 혼동을 없애기 위하여 식(2)에서의 변화분 표시와 첨자를 생략한다.

두개 이상의 매질로 구성된 바에 가해지는 응력에 의한 총 변형에너지(strain energy)  $U$ 는 각 매질에 가해지는 각각의 변형에너지의 합이 된다[9].

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{T_i^2 t_i}{2E_i A_i} \quad (3)$$

여기서,  $E$ 는 Young률(Young's modulus),  $t$ 는 응력

건국대학교 공과대학 전기공학과  
(서울특별시 광진구 화양동 1번지,  
Fax: 02-457-9186  
E-mail : leeyongkuk@korea.com)

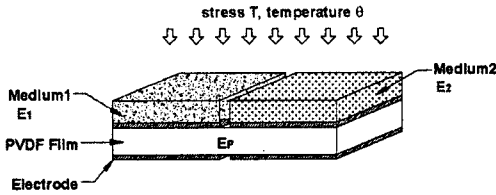


그림 1. 검지요소의 구조  
Fig. 1. Structure of sensing element

에 직각방향인 매질의 두께, A는 응력을 받는 응력에 직각방향인 매질의 면적을 나타낸다. 따라서, 그림 1과 같은 검지요소에서 pad1에 가해진 응력 T에 의한 총변형에너지  $U_1$ 은 중간매질1의 변형에너지  $U_{M1}$ 과 PVDF필름의 변형에너지  $U_{P1}$ 의 합이다.

$$U_1 = U_{M1} + U_{P1} \quad (4)$$

이것의 양변에 각 요소에 대한 체적으로 나누면 변형에너지밀도(strain energy density)로서 표현될 수 있다.

$$\frac{U_1}{V_1} = \frac{U_{M1}}{V_{M1}} \frac{V_{M1}}{V_1} + \frac{U_{P1}}{V_{P1}} \frac{V_{P1}}{V_1} \quad (5)$$

$$u_1 = u_{M1} \frac{V_{M1}}{V_1} + u_{P1} \frac{V_{P1}}{V_1}$$

변형에너지 밀도  $u = T^2/2E$  을 이용하여 pad1 PVDF필름이 받는 응력과 검지요소에 대한 검지요소의 응력관계를 구할 수 있다.

$$T_{P1}^2 = \left( \frac{E_{P1}}{E_1} \frac{V_1}{V_{P1}} - \frac{E_{P1}}{E_{M1}} \frac{V_{M1}}{V_{P1}} \right) T_1^2 \quad (6)$$

$$= \alpha_1 T_1^2$$

또한, pad2에 대해서도 같은 방법으로 응력관계를 구할 수 있다.

$$T_{P2}^2 = \left( \frac{E_{P2}}{E_2} \frac{V_2}{V_{P2}} - \frac{E_{P2}}{E_{M2}} \frac{V_{M2}}{V_{P2}} \right) T_2^2 \quad (7)$$

$$= \alpha_2 T_2^2$$

매질에 열에너지가 가해지면 다음과 같은 식에 의해 온도의 변화가 발생한다[10].

$$\Delta H = (AL\rho)c\Delta\theta \quad (8)$$

여기서 c는 열용량(heat capacity per unit mass),  $\rho$ 는 밀도이다. 검지요소에서 입사되는 총 열에너지는 중간매질과 PVDF필름에서의 열에너지의 합으로 나타낼 수 있으며, 이것을 풀면 다음과 같이 각 pad에서의 온도변화분을 계산할 수 있다.

$$\Delta\theta_{P1} = \frac{A_1 L_1 \rho_1 c_1 - A_{M1} L_{M1} \rho_{M1} c_{M1}}{A_{P1} L_{P1} \rho_{P1} c_{P1} - A_{M1} L_{M1} \rho_{M1} c_{M1}} \Delta\theta_1 \quad (9)$$

$$= \beta_1 \Delta\theta_1$$

$$\Delta\theta_{P2} = \frac{A_2 L_2 \rho_2 c_2 - A_{M2} L_{M2} \rho_{M2} c_{M2}}{A_{P2} L_{P2} \rho_{P2} c_{P2} - A_{M2} L_{M2} \rho_{M2} c_{M2}} \Delta\theta_2 \quad (10)$$

$$= \beta_2 \Delta\theta_2$$

이와 같은 사실로부터 pad1과 pad2에서의 압전식은 식(6),(7),(9),(10)을 이용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$D_1 = dT_{P1} + p\theta_{P1} = d\alpha_1 T_1 + p\beta_1 \theta_1 \quad (11)$$

$$D_2 = dT_{P2} + p\theta_{P2} = d\alpha_2 T_2 + p\beta_2 \theta_2 \quad (12)$$

그런데,  $T_1 = T_2$ ,  $\theta_1 = \theta_2$  이므로 결국, 외부에서 가해진 응력과 온도의 변화분을 얻을 수 있다.

$$T = \frac{D_2 - \frac{\beta_2}{\beta_1} D_1}{d\alpha_2 - d\alpha_1 \frac{\beta_2}{\beta_1}} \quad (13)$$

$$\theta = \frac{D_2 - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} D_1}{p\beta_2 - p\beta_1 \frac{\alpha_2}{\alpha_1}} \quad (14)$$

### 3. 실험결과 및 고찰

온도변화를 측정하기 위한 센서로는 Platinum 100Ω의 STD60-PT100S를 사용하였으며 검지요소로 사용된 PVDF 필름은 그림2와 같은 구조의 표 1과 같은 크기를 가진 DT1-028K(MSI)를 사용하였다.

표 1. PVDF 필름의 크기

Table 1. Dimension of PVDF film.

PVDF Film	B	D	t	Sensing Area
Dimension	12mm	30mm	28 $\mu$ m	360mm <sup>2</sup>

동일한 중간매질을 가진 검지요소에 동일한 응력을 인가할 경우에는 그림 3과 같이 출력전압도 동일하게 나타난다. 그러나 중간매질의 물리적성질이 다를 경우는 PVDF필름에 인가되는 응력이 달라지므로 그림 4와 같이 출력전압도 달라진다. 중간매질의 물리적성질을 나타내는 특성값을 알고 있다면 상기의 유도식에서와 같이 그 출력값을 예

측할 수 있으며, 역으로 출력값으로부터 검지요소에 인가되는 응력을 계산할 수 있다.

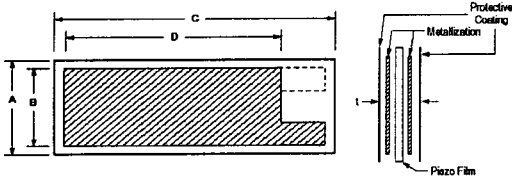


그림 2. PVDF 필름(DT1-028K, MSI)  
Fig. 2. PVDF Film(DT1-028K, MSI)

또한, 외부에서의 응력이 없을 경우, 외부로부터 검지요소에 열이 입사되거나 전달된다면 PVDF 필름은 그림 5와 같은 출력을 나타낼 것이다. 여기에 동일한 중간매질이 있는 구조라면 그림 6과 같은 출력을 나타낸다. 그러나 중간매질의 물리적 성질이 다를 경우에는 열에너지의 흡수정도에 따라 그림 7과 같이 출력전압이 다르게 나타난다.

이러한 인가되는 응력과 온도에 대하여, 중간매질의 상이한 특성이 출력전압값을 변화시킨다면 이것을 이용하여 하나의 검지요소로부터 응력과 온도를 계산할 수 있을 것이다.

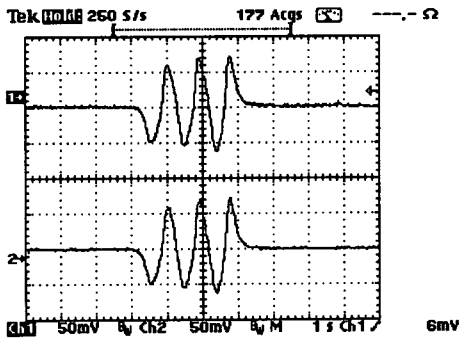


그림 3. 동일한 중간매질에서의 응력시험  
Fig. 3. Stress test with identical medium

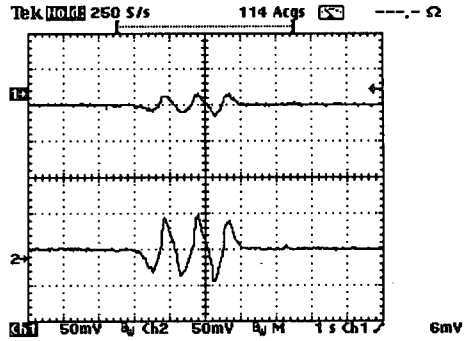


그림 4. 다른 중간매질에서의 응력시험  
Fig. 4. Stress test with different medium

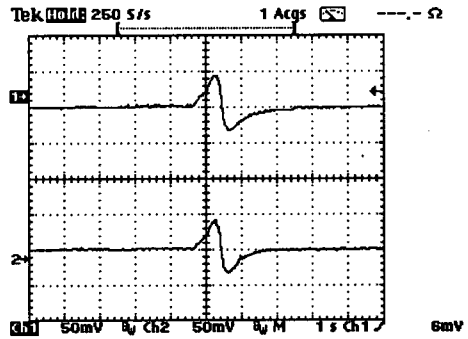


그림 5. 중간매질이 없을 경우의 온도시험  
Fig. 5. Temperature test without medium

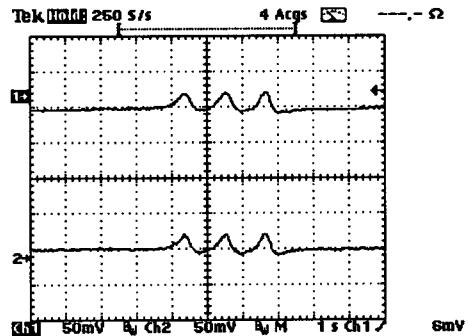


그림 6. 동일한 중간매질에서의 온도시험  
Fig. 6. Temperature test with identical medium

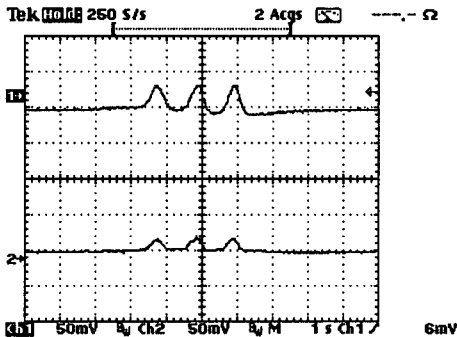


그림 7. 다른 중간매질에서의 온도시험  
 Fig. 7. Temperature test with different medium

#### 4. 결론

본 논문에서는 하나의 재료를 사용하여 힘(응력)과 온도의 변화를 동시에 검출할 수 있는 방법을 제시하였다. 사용된 PVDF필름은 압전성과 초전성을 나타내므로 힘과 온도의 변화분을 검출할 수 있는 재료이지만 한 구조만의 검지요소로는 두 가지 요소에 의한 출력이 같이 나타나므로 실제의 물리량을 측정하는 것은 매우 제한된 환경 하에서만 가능하다. 그러나 검지요소가 서로 다른 중간매질을 사용한 두 가지 구조를 가지고 있다면 각각의 압전방정식은 동일하지 않으며 결국 두 개의 해를 구할 수 있다. 이것은 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 이렇게 동일한 재료를 사용하여 약간의 구조만을 상이하게 사용한다면 복잡한 재료와 구조를 가지지 않고도 skin 센서와 같은 적용에 커다란 잇점을 줄 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

[1] Sensor Products Division, "Piezo Film Sensors Technical Manual," Measurement Specilities, Inc., 1999. pp.43-57.  
 [2] 이용국, 한득영, "PVDF필름의 압전정효과에 관한 연구," 한국전기전자재료학회, 제13권, 제9호, 2000년9월, pp.786-790.  
 [3] 윤명종, 권대규, 유기호, 이성철, "PVDF를 이용한 유연촉각센서의 제작과 특성평가," 한국정밀공학회지, 제18권 제7호, 2001, pp.161-166.  
 [4] Vladimir Lumelsky, Michael S. Shur, Sigurd Wagner, "Sensitive Skin," IEEE Sensors

Journal, Vol. 1, No. 1, June 2001, pp.41-51.  
 [5] Jun-ichiro Yuji, Katsunori Shida, "Mono-material pressure-conductive rubber sensor with temperature sensitivity for realizing artificial skin sensing," Proceedings of the 12th KACC, Oct. 1997, pp.1314-1317  
 [6] F. Jiang, Yong Xu, T. Weng, Z. Han, Y.C. Tai, A. Huang, C.M. Ho, S. Newbern, "Flexible Shear Stress Sensor Skin and Its Application to Aerodynamics," 13th IEEE International Conference on MEMS, Jan. 2000, pp.23-27.  
 [7] Yuhuan Xu, "Ferroelectric Materials and Their Applications," Elsevier Science Publishers B. V., 1991, p31.  
 [8] Warren P. Mason, "Physical Acoustics - Principles and Methods," Academic Press, 1964, p186.  
 [9] Gere, Timoshenko, "Mechanics of Materials - Third Edition," PWS-KENT Publishing Company, 1990, p91.  
 [10] S.O.Kasap, "Principles of Electrical Engineering Materials and Devices," McGraw-Hill, 1997, p578-579.