

압전필름을 센서로 사용한 접촉식 계수장치 개발

Development of a Contact-Type Counting Device Using a Piezoelectric Film as a Sensor

유 완 동* · 김 진 오† · 박 광 훈**

Wan Dong Yoo, Jin Oh Kim, and Kwang-Hoon Park

(2004년 12월 28일 접수 ; 2005년 1월 13일 심사완료)

Key Words : Piezoelectric Film(압전필름), Sensor(센서), Counting Device(계수장치), Bending Vibration(굽힘진동)

ABSTRACT

This paper deals with the development of a contact-type counting device using a piezoelectric polymer film as a sensor. The piezoelectric and vibration characteristics of the film under a bending vibration were investigated theoretically and experimentally. A counting device, which includes filters, an amplifier, an analog-digital converter, and a display, was designed and fabricated. The performance of the piezoelectric polymer sensor was evaluated in the sense of the responses to contact force, contact frequency, and contact speed. The life and the temperature effect were also investigated for the piezoelectric film sensor.

1. 서 론

압전(壓電)현상은 역학적 변형이 전기적 신호로 변환되거나, 이와 반대로 전기적 신호가 역학적 변형으로 변환되는 것이다. 압전 소재에 스트레인(strain)이 생기면 전위차가 발생하고, 반대로 전위차가 압전 소재에 인가되면 물리적 변위가 발생한다. 역학적 진동을 감지하여 전기신호로 출력하는 정압전현상은 센서에 활용되고, 전기적 신호를 역학적 운동으로 변환하는 역압전현상은 액추에이터에 활용된다.⁽¹⁾

압전체 소재로는 PZT와 같은 세라믹이 요즘은 보편적으로 사용되지만, PVDF(polyvinylidene difluoride)와 같은 폴리머도 다양한 분야에 응용되고 있다.⁽²⁾

압전 폴리머는 유연하여 간단한 스위치에서부터 로봇의 촉각센서나 의학센서 등과 같이 복잡한 센서에 이르기까지 활용방안이 많이 모색되고 있고,⁽³⁾ 구조물의 진동을 감지하는 분포형 센서로의 활용이 시도되고 있다.⁽⁴⁾

생산라인의 자동화 설비인 컨베이어 시스템에서, 이송되는 물품을 계수하는 장치가 사용되고 있다. 기존의 기계적 접촉식 장치는 단순하고 저렴한 반면에, 마모로 인하여 수명이 길지 않고 출력신호가 없어 자동화에 활용할 수 없는 단점이 있다. 한편 광학적 비접촉식 장치⁽⁵⁾는 마모되지 않지만, 광원 등의 부속품으로 인하여 가격이 비싸고 부피가 큰 단점이 있다. 압전 폴리머 필름의 정압전현상을 이용하여, 기존 장치들의 단점을 극복하고 장점을 유지하는 방식의 접촉식 계수 장치를 개발하고자 이 연구를 수행하였다.

이 연구에 사용된 압전 필름은 미국 MSI사의 제품이며,⁽⁶⁾ 실물 사진이 Fig. 1(a)에 있다. 이를 활용한 계수 장치의 개념도가 Fig. 1(b)이다. 컨베이어 시스템에서 물체의 이동경로에 압전필름을 배치하면, 물

† 책임저자 : 정희원, 숭실대학교 공과대학 기계공학과
E-mail : jokim@ssu.ac.kr

Tel : (02)820-0662, Fax : (02)820-0668

* 숭실대학교 대학원 기계공학과

** (주)피앤에스미캐닉스

체가 이동하며 접촉할 때 압전필름에 굽힘변형이 생기고, 그에 상응하여 전압이 발생한다. 필름 형태의 압전 폴리머에서의 전기적 출력 신호의 크기와 성분을 예측하기 위하여, 압전 특성과 진동 특성을 해석하고 실험을 통해 확인하였다. 압전 필름 센서의 출력 신호를 여과하고 증폭하며 계수하는 회로를 설계하고 계수 결과를 표시하는 장치를 제작하였으며, 압전 센서의 응답 특성 및 내구성 등의 성능을 평가하였다.

2. 압전필름의 굽힘 압전 및 진동 특성

Fig. 1(a)에 보인 압전 폴리머 필름은 왼쪽 끝이 고정될 때 Fig. 2와 같이 외팔보로 간주 할 수 있다. 압전필름 자유단 부분에 충격력이 가해져서 굽힘 변형 될 때의 압전특성과 진동 특성을 해석하고, 결과 비교를 위한 실험을 행하였다. 파악된 특성은 계수

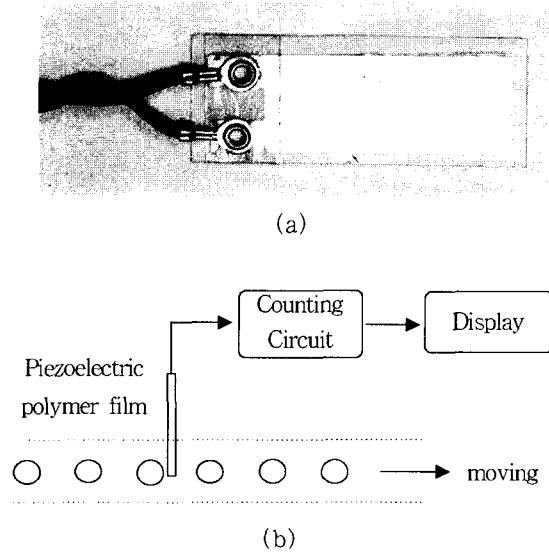


Fig. 1 Counting concept using a piezoelectric film: (a) piezoelectric film photograph, (b) concept of a counting device

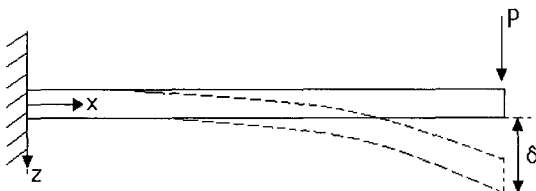


Fig. 2 Cantilever model of the piezoelectric film

장치 회로부의 필터 설계에 활용되었다.

2.1 압전필름의 구조 및 물질

이 논문에서 대상으로 하는 압전필름은 MSI사의 LDT1-028K/L⁽⁶⁾로서, 길이 $a=41.4\text{ mm}$ 이고 폭 $b=16.3\text{ mm}$ 이며 전체 두께 $t=205\text{ }\mu\text{m}$ 이다.⁽⁷⁾ 이 압전 필름은 PVDF 층(두께 $t_2=28\text{ }\mu\text{m}$)의 위와 아래에 각각 폴리우레탄 층(두께 $t_1=52\text{ }\mu\text{m}$)과 폴리에스터 층(두께 $t_3=125\text{ }\mu\text{m}$)이 덮혀 있는 복합 보 형태이다.⁽⁷⁾ PVDF 양면의 $6\text{ }\mu\text{m}$ 이하의 얇은 은 전극은 무시할 만하다.

이러한 형태의 압전필름을 탄성학 관점에서 다룰 때에는 하나의 PVDF로 이루어진 단순 보로 등가화 할 수 있고, 이 등가 단순 보의 단면 모멘트 I_{eq} 는 다음과 같이 구한다.⁽⁸⁾

$$\begin{aligned} I_{eq} &= m I_1 + I_2 + n I_3 \\ &= m \int_{-h_1}^{-(t_2+t_3-h_2)} z^2 b dz + \int_{-(t_2+t_1-h_2)}^{-(t_1-h_2)} z^2 b dz \\ &\quad + n \int_{-(t_3-h_2)}^{h_2} z^2 b dz \\ &= \frac{b}{3} [m h_1^3 + (t_2 + t_3 - h_2)^3 (1 - m) \\ &\quad - (t_3 - h_2)^3 (1 - n) + n h_2^3] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $m(=E_1/E_2)$ 과 $n(=E_3/E_2)$ 은 Young률의 비로서 E_1, E_2, E_3 는 각각 폴리우레탄, PVDF, 폴리에스터의 Young률이다. 또한 h_1 과 h_2 는 각각 윗면 및 아랫면으로부터 중성축까지의 거리로서, 그 값은 다음과 같이 계산된다.⁽⁷⁾

$$h_2 = \frac{m t_1^2 + t_2^2 + n t_3^2 + 2m(t_2 + t_3)t_1 + 2t_2 t_3}{2(m t_1 + t_2 + n t_3)} \quad (2a)$$

$$h_1 = t - h_2 = t_1 + t_2 + t_3 - h_2 \quad (2b)$$

각 재료의 Young률은 $E_2=3\text{ GPa}$, $E_1=0.4\text{ GPa}$, $E_3=2.4\text{ GPa}$ 이므로,^(6, 9, 10) $m=0.133$, $n=0.80$ 이다. 따라서 $h_1=120.6\text{ }\mu\text{m}$, $h_2=84.4\text{ }\mu\text{m}$ 이다. 이러한 수치들을 대입하여 계산된 I_{eq} 값은 $5.33 \times 10^{-15}\text{ m}^4$ 이다.

전체 길이가 41 mm 인 압전필름의 전선 쪽 끝이 고정 장치에 물리고 남은 길이는 $L=33.18\text{ mm}$ 이다. 압전필름의 외팔보 부분의 치수(L, b, t)로부터 계산된 부피 $1.097 \times 10^{-7}\text{ m}^3$ 와 이부분의 측정된 질량 $0.089 \times 10^{-3}\text{ kg}$ 으로부터 구해진 밀도는 $\rho=803\text{ kg/m}^3$ 이다.

2.2 특성해석

(1) 변형에 따른 전기적 출력

탄성학에서 다루는 보의 처짐 관계식^(8, 10)을 적용하면, Fig. 2의 압전필름 외팔보의 자유단에 가해지는 하중 P 와 변형량 δ 의 관계가 다음과 같이 표현된다.

$$P = \frac{3E_2 I_{eq}}{L^3} \delta \quad (3)$$

이 식에 의해 변형 크기 δ 로부터 충격력 크기 P 를 파악할 수 있다. 이는 정역학적 관계식이지만, 충격력이 가해지는 동역학적 상황에서도 근사값으로 사용될 수 있다. 고정부로부터 거리 x 만큼 떨어진 지점의 굽힘 모멘트 M 은 다음과 같다.

$$M(x) = P(L-x) \quad (4)$$

굽힘 모멘트의 작용에 따른 x 방향 응력 σ_x 는 다음과 같다.

$$\sigma_x(x, z) = -\frac{M(x)}{I_{eq}} z \quad (5)$$

압전현상을 묘사하는 일반적인 관계식 (1)로부터 단 순화하면, x 방향 응력 σ_x 에 의해 발생하는 z 방향 전기장 E_z 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_z = -g_{31} \sigma_x \quad (6)$$

여기서 g_{31} 은 압전상수로서, 압전필름 LDT1- 028K/ L 에서는 $g_{31}=0.216$ Vm/N 이다.⁽⁶⁾ 전기장 E_z 와 전압 V 의 관계는 $E_z = -dV/dz$ 이므로, 적분을 하여 전압을 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} V(x) &= -\int_{-(t_2+t_3-h_2)}^{-(t_3-h_2)} E_z dz \\ &= g_{31} \int_{-(t_2+t_3-h_2)}^{-(t_3-h_2)} \sigma_x dz \\ &= -g_{31} \frac{M(x)}{I_{eq}} \int_{-(t_2+t_3-h_2)}^{-(t_3-h_2)} z dz \\ &= g_{31} \frac{P(L-x)}{I_{eq}} \frac{(t_2+t_3-h_2)^2 - (t_3-h_2)^2}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 압전 폴리머 표면 전체에서의 평균적인 출력 전압 V 는 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{L} \int_0^L V(x) dx$$

$$= \frac{g_{31} PL[(t_2+t_3-h_2)^2 - (t_3-h_2)^2]}{4I_{eq}} \quad (8)$$

가령 필름 끝의 굽힘 변형 $\delta=10$ mm가 발생하는 충격 접촉 때에 압전필름의 출력 전압 크기는 식 (8)로부터 16.33 V로 계산된다.

(2) 충격에 의한 진동 응답

압전필름의 출력 신호 중 잡음 신호를 여과하기 위하여 필터를 사용하는데, 필터의 차단 주파수를 선정하기 위하여 압전필름의 진동 응답의 주파수 대역을 파악할 필요가 있다. 충격 가진에 따른 진동 응답에 고유진동 성분이 가장 크게 기여하므로, 외팔보형 압전필름의 고유진동수를 파악하였다.

Fig. 2에 보인 외팔보에 대해서 변위를 $y(x, t)$ = $X(x) \exp(i\omega t)$ 형태로 변수분리 할 때, 지배방정식과 경계조건은 다음과 같다.⁽¹¹⁾

$$\frac{d^4 X}{dx^4} - \beta^4 X = 0 \quad (9)$$

$$X(0) = X'(0) = X''(L) = X'''(L) = 0 \quad (10)$$

여기서 $\beta^4 = \rho A \omega^2 / E_2 I_{eq}$ 이고, 단면적 $A = bt$ 이다. 식 (9)와 (10)으로부터 구해지는 특성방정식은 다음과 같다.

$$\cos \beta L \cosh \beta L = -1 \quad (11)$$

이 특성방정식의 근은 $\beta L = 1.875, 4.694, 7.855, \dots$ 이다.

압전필름 외팔보에 대해서 굽힘진동의 고유진동수 f 는 다음 식으로부터 구해진다.

$$f = \frac{(\beta L)^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E_2 I_{eq}}{\rho A}} \quad (12)$$

수치들을 대입하여 구한 1차 고유진동수는 39 Hz이다.

2.3 실험

컨베이어와 같은 실제 상황에서 센서에 반복적으로 접촉이 가해지는 것처럼 충격적 접촉을 압전 필름에 가하기 위하여, 돌출부가 부착된 회전체를 제작하였다. Fig. 3(a)는 3차원 CAD 프로그램인 SolidWorks로 작성된 설계도로서, 왼쪽 부분이 모터를 핵심 부품으로 하여 구성된 회전장치이고, 가운데 기둥에 압전 필름이 설치되며, 오른쪽 상자에 모터 회전수 조절기

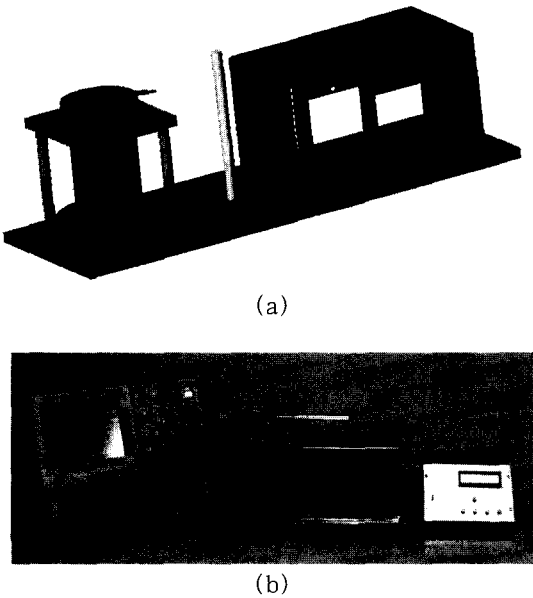


Fig. 3 Experimental apparatus: (a) design, (b) photograph

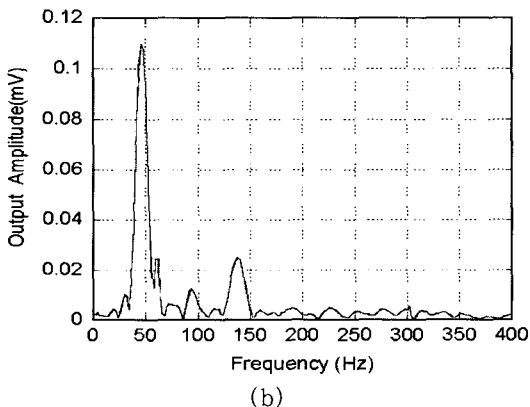
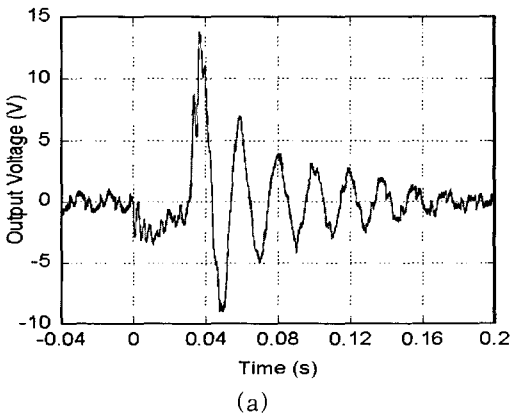


Fig. 4 Output signal: (a) waveform, (b) frequency spectrum

와 회전수 표시기가 들어간다. Fig. 3(b)는 제작된 장치가 사용되는 모습을 보여주는 사진이다. 회전장치의 회전 원판에 돌출된 부분이 매 회전마다 한번씩 접촉센서에 충격을 가하므로, 초당 회전수가 접촉 발생 빈도에 해당한다. 또한 회전중심에서 돌출부까지의 거리와 회전수의 곱이 접촉 물체의 이송속도에 해당한다.

실험 중에 회전수에 변화를 주기 위해서 회전장치에 사용된 모터는 회전수 변속이 필요하다. 모터는 저속으로의 감속을 원활하게 하기 위하여 기어박스에 연결될 수 있는 모델(SPG, S6I06GB-S12)이다. 회전 속도 조절을 정교하게 하기 위하여 스피드 컨트롤러(MaxLine, AMS-FR)를 사용하였다. 이 컨트롤러는 1rpm 간격의 속도 조절을 가능케 한다.

앞 절의 해석 결과들과 비교하기 위하여, 출력 신호의 크기와 성분을 측정하는 실험을 하였다. 필름 끝의 굽힘 변형 $\delta=10\text{ mm}$ 를 발생시키는 충격력이 가해질 때, 압전필름의 출력 전압 신호를 관찰한 예가 Fig. 4에 보여 있다. Fig. 4(a)의 파형에서 출력 신호 크기가 약 13.8 V라고 측정된다. 이 크기는 2.2절에서 해석을 통해 계산한 출력 크기 16.33 V와 대략 비슷하되 15% 오차가 있다. 오차 원인은 정역학적인 힘과 변형의 관계를 동역학적인 충격력에 적용하였기 때문인 것으로 판단되며, 이러한 오차를 감안할 때 측정결과와 계산결과가 일관된 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

또한, Fig. 4(a)의 출력 신호를 주파수 분석한 결과 Fig. 4(b)와 같은 스펙트럼이 나왔다. 여기에서 피크 위치의 주파수 46.0 Hz는 1차 감쇠고유진동수 f_d 에 해당한다. Fig. 4(a)의 감쇠운동 파형으로부터 구한 감쇠비⁽¹¹⁾ $\zeta=0.099$ 이다. 따라서 $f=f_d/(1-\zeta^2)^{1/2}$ 의 관계로부터 구한 1차 비감쇠 고유진동수 f 는 45.7 Hz이다. 이는 2.2절에서 계산하여 구한 고유진동수 39 Hz와 약 16%의 오차가 있는데, 그 원인은 계산에 사용한 물성치 특히 밀도 값의 오차에 기인하는 것으로 추정된다.

3. 계수 장치 설계 및 제작

앞 절에서 특성 파악이 된 압전 폴리머 필름을 센서로 사용하여, 물체의 접촉 횟수를 계수하는 장치를 설계하고 제작하였다. 압전 필름의 전기적 출력 신호

로부터 계수 결과를 표시하기까지의 신호처리 과정이 Fig. 5에 보여 있다. 압전 필름의 출력 신호에 포함된 잡음(noise)신호를 여과하고 증폭한 후, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 계수 회로를 거치면서

누적된 숫자가 화면에 표시된다.

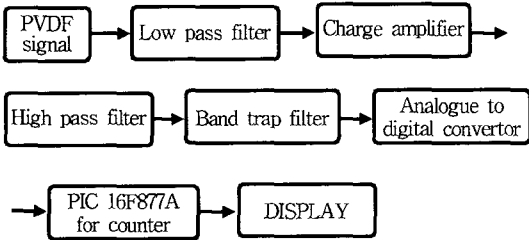


Fig. 5 Flow chart of signal processing

3.1 필터 및 증폭기

압전필름의 출력신호에 포함되어 있는 잡음신호들을 걸러내기 위하여, 저역통과필터(LPF : low-pass filter)와 대역차단필터(BTF : band-trap filter) 및 고역통과필터(HPF : high-pass filter)를 사용하였다. 그리고 신호는 증폭기(amplifier)를 통과한 후 계수에 활용되었다. Fig. 6은 신호처리를 위한 저역통과필터, 대역차단필터, 증폭기, 고역통과필터를 통합한 모듈의 회로도이다.

각 필터의 차단주파수는 $f_c = 1/\pi RC$ 이다. 여기서

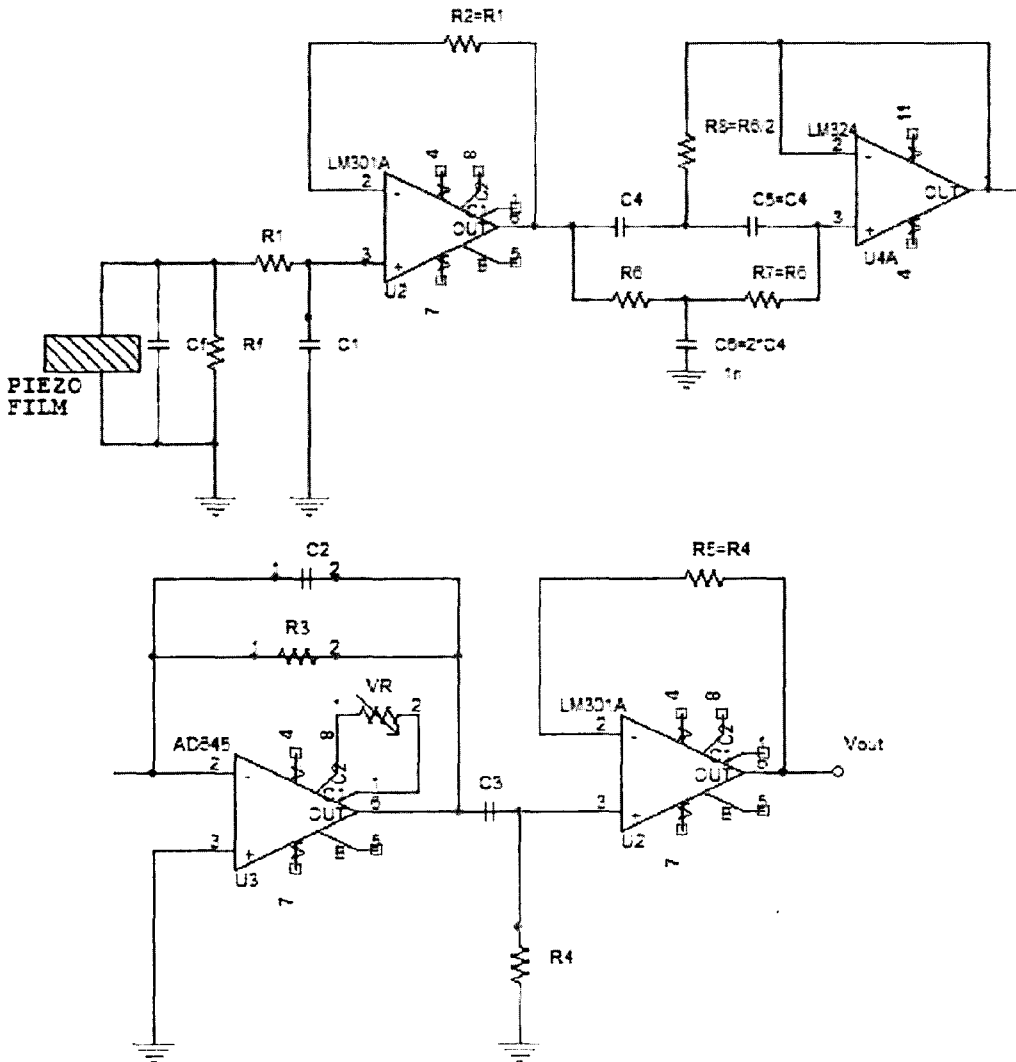


Fig. 6 Circuit diagram of the LPF-BTF-Amp-HPF module

R 은 저항값이고 C 는 용량값(capacitance)이다. 통합 모듈의 첫째 부분인 저역통과필터는 충격 가진에 따른 압전 필름의 자유진동 응답에 해당하는 전기신호를 주로 통과시키는 역할을 한다. 앞 절에서 파악한 바와 같이 본 연구에 사용된 압전 폴리머 필름의 기본진동수는 약 46 Hz이므로, 이보다 약간 높은 100 Hz를 차단 주파수로 설정하였다. 둘째 부분인 대역 차단필터는 60 Hz의 전자기와 잡음신호를 차단시키는 역할을 한다. 셋째 부분인 고역통과필터는 구조물의 진동에 의한 잡음신호를 여과하는 역할을 하며, 차단주파수를 0.5 Hz로 설정하였다.

통합 모듈의 셋째 부분인 증폭기는 압전필름의 출력 전하(charge)량 $q(t)$ 를 전압 $v(t)$ 로 변환하여 증폭한다. 증폭기에 입력되는 전류는 $i = -i_1 - i_2 + i_n$ 이다. 압전필름 센서의 전하량 $q(t)$ 와 전류 $i(t)$ 의 관계는 $i(t) = -dq(t)/dt$ 이고, $i_1(t) = v(t)/R_f$, $i_2(t) = C_f dv(t)/dt$, $i_n = 0$ 이므로 다음과 같은 식이 성립한다.^(12,13)

$$\frac{dq(t)}{dt} = \frac{v(t)}{R_f} + C_f \frac{dv(t)}{dt} \quad (13)$$

이 식을 Laplace 변환한 후 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{V(s)}{Q(s)} = \frac{s R_f}{1 + s C_f R_f} \quad (14)$$

이 식은 전하증폭기의 전형적인 전달함수(transfer function)이다.

전하증폭기에 입력되는 신호는 진동하므로, 진동수 ω 로써 식 (14)를 달리 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{V(j\omega)}{Q(j\omega)} = \frac{j\omega R_f}{1 + j\omega C_f R_f} \quad (15)$$

여기서 $\omega C_f R_f$ 항은 1보다 크므로, 식 (15)는 다음과 같이 간략화 될 수 있다.

$$V(j\omega) \approx \frac{Q(j\omega)}{C_f} \quad (16)$$

전하증폭기의 출력이 외부 회로의 용량기(capacitor)가 아닌 압전필름 내부 용량기의 영향을 받으므로, 회로 설계시 압전필름 내부 용량값을 기준으로 설계해야 한다.

3.2 아날로그-디지털 변환기

여과와 증폭을 거친 아날로그 신호를 계수회로에 입력하기 전에 디지털 신호로 변환하였다. Analogue Device사의 AD580과 AD7895를 사용하여 12 bit 축차비교형 A/D변환기를 제작하였다.

그 기본적인 원리는 Fig.7과 같이 단순화된 3 bit A/D변환기에 의해 설명이 가능하다.^(14~16) 즉, 0~8V의 아날로그 입력전압 V_1 을 변환하여 디지털 변환하여 Q_2, Q_1, Q_0 에서 출력한다. 이 경우 축차(逐次, successive)비교 레지스터(register)의 출력을 Q_2, Q_1, Q_0 의 순서로 일단 1로 설정해 두고, 내부 D/A 변환기의 출력 V_{DA} 와 아날로그 입력 V_1 을 비교하여 $V_1 < V_{DA}$ 이면 해당 레지스터의 출력 값을 0으로 한다. 이러한 방법으로 축차비교형 A/D 변환기에서는 최하위 bit Q_0 가 결정되기까지 아날로그 입력전압 V_1 와

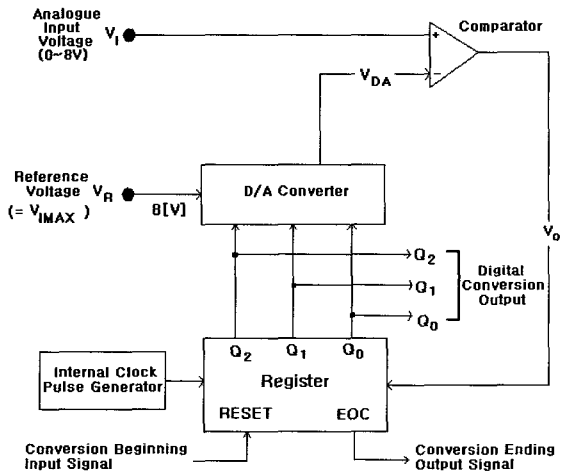


Fig. 7 3-bit analog-digital converter

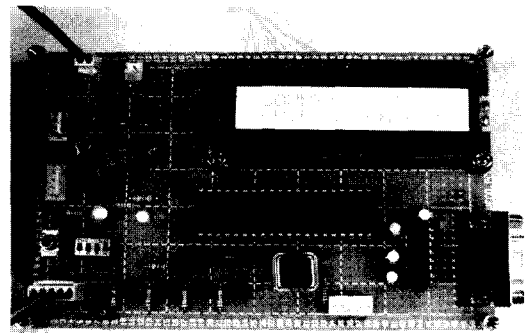


Fig. 8 Circuit of the counting device

D/A변화기의 출력 V_{DA} 의 값을 비교해가며, 그 결과를 축차비교 레지스터의 Q_2, Q_1, Q_0 에 남겨두고 가는 방법으로 시행착오적으로 변환해 간다. 그리고 이 Q_2, Q_1, Q_0 의 최종값은 아날로그 입력전압 V_I 에 대한 디지털 출력이 된다.

3.3 계수 결과 표시기

개발하는 장치의 단가를 낮추기 위하여 단순한 계수 회로인 CD4528를 사용하였다. 압전필름에서 발생된 신호는 필터와 증폭기 및 A/D 변환기를 거쳐 계수회로에 입력된다. 입력신호 크기가 설정 전압(가령, 5V)를 초과할 때 펄스가 발생하여 PIC(priority interrupt controller)의 프로그램에 의해 계수된다.⁽¹⁵⁾

계수된 숫자를 나타내는 표시기가 Fig. 8 사진의 우측 상단에 보여 있다. Fig. 8에는 또한 필터, 증폭기, A/D변환기, 계수회로 등의 배치가 보여 있다. 센서가 동작되면, 사진에서 보듯이 누적된 숫자가 표시된다.

4. 고 찰

신호 검출장치가 결합된 압전 폴리머 필름의 센서로서의 성능을 점검하기 위하여, 충격력 크기에 따른 응답, 접촉빈도에 따른 응답, 접촉 속도에 따른 응답 등을 시험하였다. 또한 반복적 충격 접촉에 대한 내구성과 주변 온도의 영향을 시험하였다.

4.1 충격력 크기에 따른 응답

충격력의 크기를 다양하게 하면서 압전 필름의 출력 신호 크기를 측정하는 실험을 행하였다. 압전필름

끝에 5mm 높이에서 추를 낙하시키는 방법으로 행하면서, 추의 질량을 여러 가지로 선정하여 충격력을 변화시켰다. 이때 압전필름의 굽힘 변형량을 측정하여 출력 전압 크기와 관계를 관찰하였다. 그 결과로서 굽힘 변형 δ 의 함수로 출력 전압 크기 V 를 그래프로 정리하여 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9의 그래프에서 실선은 2.2절의 해석을 통해 계산한 결과이다. 측정 결과와 계산 결과가 정확히 일치하지는 않는데, 이는 2.3절에서 언급한 바와 같이 계산에는 정역학적인 힘과 변위의 관계를 적용하였기 때문이다. 그렇지만, 제시한 오차 범위 내에서 일관된 경향을 보여주고 있다.

4.2 접촉 빈도 및 속도에 따른 응답

압전필름은 점탄성 재질이므로 접촉 충격을 받으면 Fig. 3(a)에서 보듯이 감쇠진동을 한다. 그런데 반복적 접촉을 받으면 진동이 완전히 소멸하기 전에 다시 진동을 하게 되므로, 후속 접촉이 가해지기 직전의 필름의 진동 방향에 따라 진동 더 커질 수도 있고 더 작아질 수도 있다. 그러한 영향을 살펴보기 위하여 접촉 빈도를 변화시켜가며 출력 신호의 크기를 관찰하였다.

접촉 빈도는 회전장치의 회전수에 해당하므로, 회전수를 변화시켜 가며 출력 전압을 측정하였다. 회전장치에서 압전필름에 접촉하는 돌출부의 위치를 세가지 (반경 41.8, 43.8, 44.9mm)로 달리하여 각각 측정을 하였고, 그 결과를 Fig. 10에 그래프로 나타내었다. 회전속도가 900 rpm, 즉 초당 15번 접촉까지는 출력 전압이 5~10V 범위에 있었다.

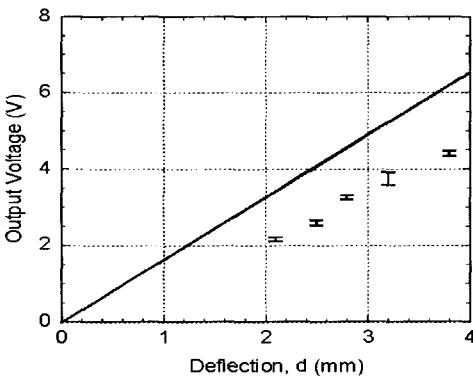


Fig. 9 Output voltage magnitude measured as a function of the deformation δ

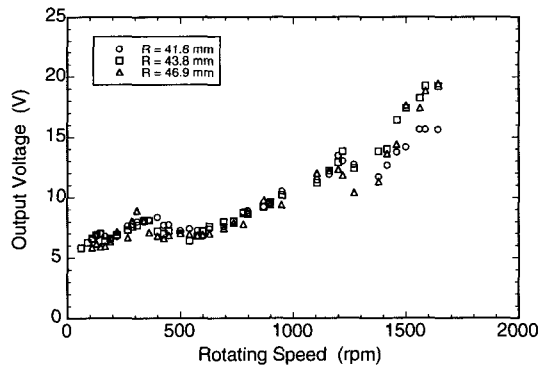


Fig. 10 Output voltage magnitude measured as a function of the impact frequency

따라서 이러한 접촉 빈도 범위에서 접촉 센서는 설정 전압(5 V)를 유지하면서 계수 센서로 사용될 수 있음을 확인하였다. 접촉 빈도가 더 많은 경우에는 설정 전압을 조정할 필요가 있다.

계수 대상 물체의 이송속도에 따라서 센서의 성능에 어떤 차이가 있는지 검사하기 위하여, Fig. 10의 데이터를 변환하여 이송속도에 따른 출력 전압 그래프를 Fig. 11에 나타내었다. 이 그래프에서 알 수 있듯이, 이송속도 4000 mm/s까지는 출력 전압이 5~10 V의 범위를 유지하고 있다. 따라서 이러한 이송속도 범위에서는 설정 전압을 변경하지 않고 계수 센서로 사용할 수 있다.

4.3 내구성 및 온도 영향

계수용 센서로서의 압전 폴리머 필름은 반복적으로 충격력을 받더라도 손상되지 않고 정상적인 신호를 내주어야 센서로서의 효용 가치가 있다. 내구성을 파악하기 위하여, 처음 충격시의 출력 신호와 50만회 반복 충격 후의 출력 신호를 비교하였다. 50만회 충격 후 각 피크에서의 출력 크기는 약 0.3~0.5 V 정도 작아지는 경향을 보였을 뿐 성능에는 변화가 없음을 확인하였다. 새로운 필름을 사용하여 반복한 실험에서도 유사한 결과를 보았다.

실제 온도 환경에서의 성능을 검사하기 위하여, 온도를 20~40 °C 범위에서 변화시켜 가며 압전필름의 출력 신호를 관찰하였다. 이 시험은 압전필름을 열풍 건조기(HYSC社, CO-72)에 넣어놓고 온도 조절을 해 가며 행하였다. 온도에 따른 출력 신호 크기를 관찰한 결과, 설정 온도 범위에서 성능에 별 차이가 없

는 것이 확인되었다. PVDF는 온도에 민감한 것으로 알려져 있으므로 극한적인 온도 환경에서 사용되어야 한다면 좀더 폭 넓은 온도 범위에서 성능 검사를 할 필요가 있겠다.

5. 결 론

압전 폴리머 필름을 센서로 사용하는 접촉식 계수 장치를 개발하였다. 외팔보형 압전 필름이 이동 물체의 충격적 접촉에 의해 굽힘 변형 될 때 발생하는 전기적 출력 신호의 크기와 성분을 파악하여 필터 설계에 반영하였다. 압전필름 센서의 출력 신호에서 잡음 성분을 걸러내고 신호를 증폭한 후 아날로그-디지털 신호 변환을 거쳐 계수하는 회로를 설계하고 제작하였다.

압전 폴리머 필름의 센서로서의 성능을 점검하여, 충격력의 크기에 따른 선형 비례적 응답 특성을 관찰하고, 접촉 빈도 및 접촉 속도가 변하더라도 정상적으로 응답하는 범위를 파악하였다. 이 계수 장치의 압전 센서가 반복적 접촉에 대한 내구성이 충분하며, 주변 실내 온도의 변화에 상관없이 정상 작동하는 것을 확인하였다.

후 기

이 논문은 서울지방중소기업청과 서울특별시가 지원한 2003년도 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄사업의 일환으로 수행된 과제의 결과를 토대로 작성되었음.

참 고 문 헌

- (1) Busch-Vishniac, I. J., 1999, *Electromechanical Sensors and Actuators*, Springer, New York, Chapter 5.
- (2) Ueberschlag, P., 2001, "PVDF Piezoelectric Polymer," *Sensor Review*, Vol. 21, No. 2, pp. 118~125.
- (3) Chatigny, J. V. and Robb, L. E., 1986, "Piezo Film Sensor," *Sensors*, Vol. 3, No. 5.
- (4) 유정규, 박근영, 김승조, 1997, "분포형 압전 필름 감지기와 압전세라믹 작동기를 이용한 보의 진

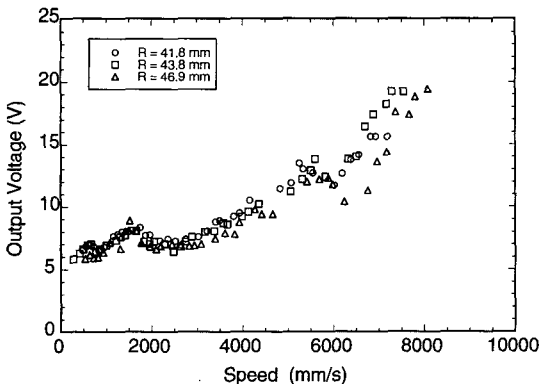


Fig. 11 Output voltage magnitude measured as a function of the impact speed

동 제어,” 한국소음진동공학회논문집, 제 7 권, 제 6 호, pp. 967~974.

(5) 홍인기, 이순걸, 김문상, 2002, “광학센서를 이용한 알약계수기의 계수알고리즘 향상에 관한 연구,” 경희대학교 산학협력기술연구논문집, 제 8 권, pp. 8~13.

(6) Measurement Specialties, Inc., 1998, Piezo Film Sensors Technical Manual, Internet Version, www.msiusa.com, Part 1, p. 4.

(7) 이용국, 한득영, 2000, “PVDF 필름의 압전정 효과에 관한 연구,” 전기전자재료학회논문지, 제 13 권, 제 9 호, pp. 786~790.

(8) Gere, J. M., Timoshenko, S. P., 1990, Mechanics of Materials, 3rd ed., PWS-Kent Publishing Co., Boston, pp. 301~308.

(9) Pilkey, W. D., 1994, Formulas for Stress, Strain, and Structural Matrices, John Wiley & Sons, New York, p. 175.

(10) Beer, F. P., Johnston, E. R. Jr., and Dewolf, J. T., 2002, Mechanics of Materials, 3rd ed., McGraw-Hill, Boston, p. 749.

(11) Inman, D. J., 2001, Engineering Vibration, 2nd ed., Prentice-Hall, New Jersey, Chapter 6.

(12) Beckwith, T. G., 1993, Mechanical Measurements, 5th ed., Addison-Wesley, Massachusetts.

(13) Neculescu, D. S., 2002, Mechatronics, Prentice Hall, New Jersey.

(14) 지일구, 엄상오, 2001, 전기전자기초 및 제어, 기전연구소, 서울.

(15) Mano, M. M., 2000, Logic and Computer Design Fundamentals, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey.

(16) Bolton, W., 1999, Mechatronics, 2nd ed., Addison-Wesley, Massachusetts.