

대형구조물에서 과부하 및 충격 검출용 센서 개발

Development of sensor for over-load and impulse in large structure

*이상실¹, 노진희¹, 김철민¹, 김지성¹, 강동배¹, 황진동¹, 안중환¹

*S. S. Lee¹, J. H. Noh¹, C. M. Kim¹, J. S. Kim¹, D. B. Kang¹, J.D.Hwang¹, #J.H.Ahn¹ (jhahn@pusan.ac.kr)

¹ 부산대학교 기계공학과

Key words : Over-load, Impulse, PVDF, Strain, Vibration

1. 서론

오늘날 기술의 발전으로 사람들은 보다 나은 삶을 누리고 있다. 대형화와 고속화된 운송장비는 전세계를 짧은 시간에 많은 물자와 사람의 이동을 가능하게 하였고, 건설장비는 많은 인력이 투입되던 노동과 장시간의 작업을 짧은 시간에 가능하도록 하였다. 뿐만 아니라 건설 분야에서도 갈수록 고층화, 대형화가 이루어지고 있다. 그러나 대형화는 사람들에게 많은 혜택을 주지만, 사고 발생 시에는 많은 인명 피해와 경제적인 손실을 초래하게 된다. 따라서 이런 대형장비의 안전성 문제에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 구조물의 안전성에 영향을 미치는 외부 변수 중에는 부하 및 충격을 들 수 있다. 이러한 과부하 및 충격의 검출은 구조물의 건전성 모니터링에 주요한 데이터로 이용된다.

본 연구에서는 이러한 대형 구조물 장비에서 과부하 및 충격 검출을 위하여 유연성이 있는 압전 재료인 PVDF Film Sensor를 적용하여 과부하 및 충격 검출용 센서를 개발하고자 한다.

2. PVDF 기반 과부하 및 충격 센서

일반적으로 대형 구조물에서 외부의 부하는 구조물의 변형을 발생시키고, 순간적인 충격은 구조물의 형상과 재질등의 변수에 의하여 정해진 고유진동수로 진동을 하게 된다.

외부의 부하에 인하여 구조물에 발생된 변형은 스트레인 게이지에 의하여 측정되고, 충격으로 인한 구조물에 발생된 진동은 압전형 가속도 센서의 의하여 측정된다.

본 연구에서 이용한 PVDF 필름 센서는 압전 재료이며, 유연성을 가지고 있어, 스트레인 게이지처럼 변형에 반응하고 가속도 센서처럼 충격에 민감하게 반응한다.

따라서 두 개의 센서를 사용하지 않고도, 하나의 센서로써 충격과 부하의 검출이 가능성을 가지고 있다.

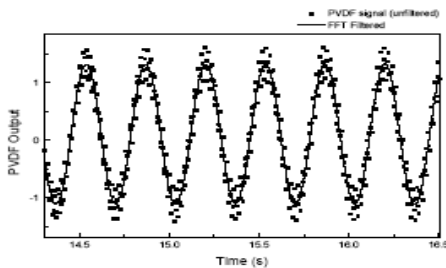


Fig. 1 FFT Filter applied to PVDF raw signal

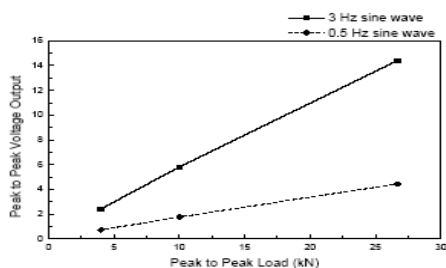


Fig. 2 Loading amplitude and frequency dependence of PVDF output

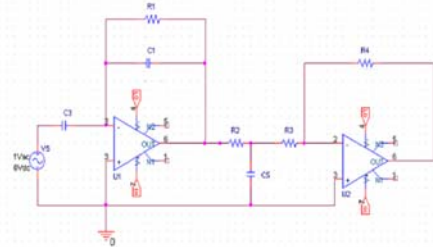


Fig. 2 The equivalent circuit of PVDF and Amplifier

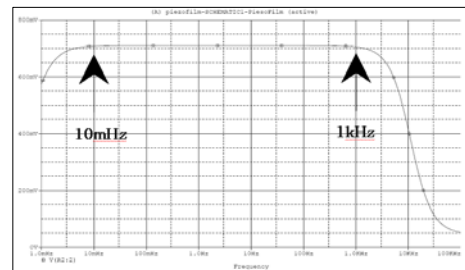


Fig. 3 The simulation result of designed circuit

기존의 PVDF 필름 센서의 연구결과^{1,2)}에서 Fig. 1처럼 PVDF 필름 센서가 일정한 저주파의 변형량에 대하여 일정한 출력이 나오는 것을 볼 수 있다. 이것은 일정 주파수를 가지는 정현파 변형에 대해서 PVDF 필름 센서가 스트레인 게이지를 대체하여 사용이 가능함을 보여주고 있다.

그러나 Fig. 2의 결과에서 보는 것과 같이 동일함에 대하여 저주파 변화 시의 출력의 민감도가 다르게 나타나는 문제점이 있었다. PVDF 필름 센서가 압전 재료이므로, 저주파의 변형에 대하여 감쇠현상이 나타난다.

따라서 본 연구에서 Fig. 2와 같이 저주파응답 특성을 보완한 회로를 설계하여, Pspice를 이용하여 시뮬레이션을 통한 검증은 하였고, 개선된 결과는 Fig.3처럼 나왔다.

3. 실험 및 결과

실험 장치는 Fig.4와 같이 구성하였다. 부하 특성 실험을 위하여 굽힘을 줄 수 있게 모션 컨트롤러와 서보 모터를 이용한 서보제어계를 사용하였고, 데이터 획득은 NI사의 PXI를 이용하여 신호를 획득하였다.

3.1 부하 특성 실험

부하 특성 실험은 기존의 부하로 인한 변형측정 센서인 스트레인 게이지 센서와 PVDF 필름 센서의 출력신호를 비교하였다. 실험은 크게 2가지로 나누어 실험하였다.

첫째는 변형 속도의 변화에 따른 필름 센서의 출력 특성을 볼 수 있는 실험이고, 둘째는 변형 크기 변화 실험은 외부의 입력 크기에 따른 센서의 민감도를 볼 수 있는 실험이다.

실험에서 센서의 스트레인 게이지와 PVDF 필름센서는 상반대로 부착되어 있어, 결과에서는 신호가 상반되게 나왔다.

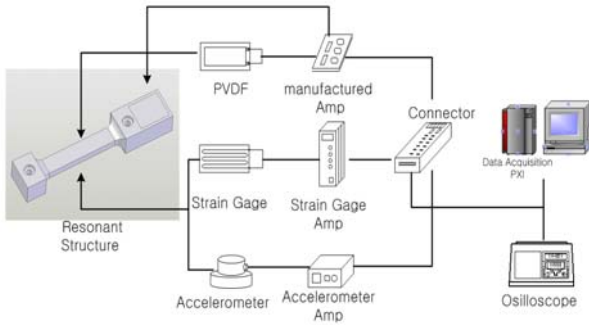


Fig. 4 The experimental setup for load and impulse

변형 속도변화 실험에서 센서의 출력신호는 Fig.5과 같이 나왔고, 실험은 각각의 주파수별로 5회 정현파를 입력하고 평균을 취하였다.

PVDF 센서가 민감하여, 실험 장비의 진동 노이즈가 들어왔으나, 디지털 필터링을 거친 신호는 스트레인 게이지 출력에 50% 정도의 크기로 나왔다. 스트레인 게이지에 대한 상대 오차는 Table 1에 정리하였다.

입력 크기 변화 실험에서 동일한 변형속도(1Hz)에 대하여 입력의 크기를 0.5 ~ 1.5mm까지 변화시키며 실험하였다. 크기 변화 실험은 속도 변화 실험에 비하여 안정적인 결과가 나왔다.

PVDF 필름 센서의 출력 신호가 스트레인 게이지 출력 신호에 비하여, 더욱 민감하게 나올 것으로 예상했으나, 저주파 특성을 보완하기 위하여, 전하 증폭단에 저항과 캐패시터 용량을 높인 결과로 PVDF센서의 출력신호보다 스트레인 게이지의 출력이 크게 나왔다.

Table 1 Relative error for variable frequencies test

Frequency(Hz)	0.1	0.5	1	10	15
Error(%)	7.1	5.8	0.1	13.6	10.5

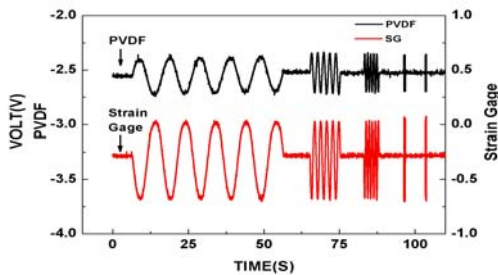


Fig. 5 The output signal of variable frequencies

Table 2 Relative error for variable amplitudes test

Amplitude(mm)	0.5	1	1.5
Error(%)	4.9	5.7	2.2

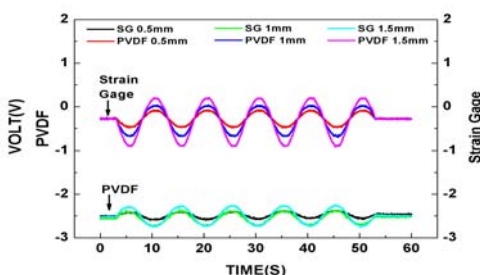


Fig. 6 The output signal of variable amplitudes

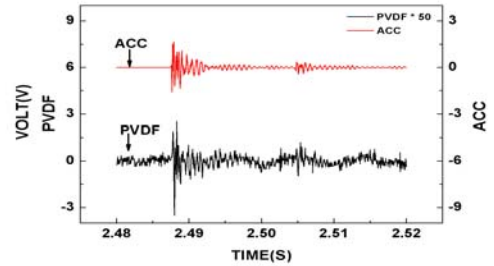


Fig. 7 The output signals of impulse

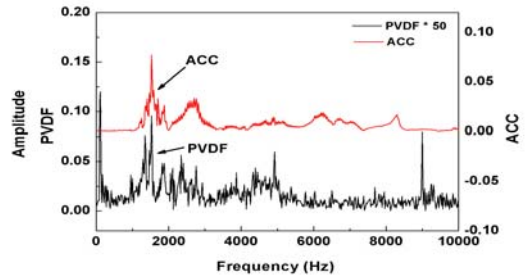


Fig. 8 The FFT result of impulse signal

3.2 충격 특성 실험

충격 특성 실험은 충격으로 인한 구조물의 진동을 압전형 가속도 센서와 PVDF 필름센서의 출력신호를 비교하였다.

충격 실험은 센서 구조물 양단을 고정하고, 해머를 이용하여 임팩트를 가한 후 가속도 센서와 PVDF 필름 센서의 신호를 비교하였다.

압전형 가속도 센서와 PVDF 필름 센서는 동일한 압전형 물질로 구성되었지만, 구조적인 차이와 힘의 전달 방향의 차이로 인한 신호의 크기의 차이가 나타났지만, PVDF 필름 센서의 출력신호를 50배 증폭시켜 비교한 결과는 Fig.6 처럼 나왔다.

주파수 분석에서도 6kHz에서 차이는 있었으나, 3kHz이하에서는 비교적 근사하게 나오는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 고분자 압전 재료인 PVDF 필름 센서를 이용하여 대형 구조물의 안전성에 영향을 미치는 과부하 및 충격을 동시에 검출하는 센서를 개발하고자 하였다.

부하 특성 실험에서 PVDF 필름 센서는 스트레인 게이지와 비교시 10Hz에서 최대 오차 13.6%로 나왔고, 저주파 응답특성은 나아지는 것을 볼 수 있었다.

충격 특성 실험에서는 가속도 센서에 비하여 미약하지만, 노이즈를 제거한 후 50배 증폭 시에는 가속도 센서의 출력과 비교 가능한 신호가 검출되는 것을 확인하였다.

참고문헌

- 1.Roger Vodicha and Stemen C.Galea, "Use of PVDF Strain Sensors for Health Monitoring of Bonded Composite Patches," Airframes and Engines Division Aeronautical and Maritime Research Lab, Technical Report, (June,1998)
- 2.In-Gul K, "Impact damage detectin in composite laminates Using PVDF and PZT sensor signals", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol 16-12/2005