

PVDF 필름센서에 의한 변형률 측정에서의 속도의존성 Rate Dependency in Strain Measurement of PVDF Film Strain Sensor

*유석준¹, #허용학¹, 김동진¹, 이재현¹, 홍성구¹
*S. J. Yoo¹, #Y-H. Huh(yhhuh@kriss.re.kr)¹, D.J. Kim¹, K.H. Lee¹, S.G. Hong¹
¹ 한국표준과학연구원 산업측정표준본부

Key words : PVDF Film Strain Sensor, Composite, Strain , Frequency, Rate dependency

1. 서론

구조물의 건전성 모니터링을 위한 변형 및 손상을 측정하기 위하여 다양한 센서가 활용되고 있다. 특히 스마트 모니터링을 위한 부착 혹은 내장형 센서의 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, PZT 혹은 PVDF(polyvinylidene fluoride) 센서가 확장적으로 많이 연구되고 있다. [1-3] 최근 이들 센서중 PVDF 센서는 기존의 변형률 게이지에 비해 우수한 점이 많이 있는 것으로 알려지고 있으며, 측정하고자 하는 부위의 다양한 형상에 부착이 용이하고, 넓은 동적 주파수 영역에서 사용이 가능하며 민감도가 뛰어난 신호를 얻을 수 있으며, 유기질 폴리머로 이루어져 부식에 강한 특성을 가지고 있다. Chiu 등 [2] 과 Vodicka 와 Galea[4] 는 항공기 복합재에서의 건전성 모니터링에 PVDF 센서를 사용하기 위한 연구를 진행하였고, Gu 등[3]은 PVDF 센서를 이용하여 구조물 건전성을 무선으로 구성하는 기법 개발을 연구하였다. 권일범[1]등은 충격하중이 가해지는 외팔보에서의 응력 측정을 PVDF 센서로 하였다.

본 연구에서는 PVDF 필름 센서에 의하여 구조물의 변형과 강성을 측정하고 평가하기 위한 센서 특성을 정량적으로 결정하기 위하여 항공기 및 풍력 발전 블레이드에 사용되는 복합재에 PVDF 필름 센서를 부착하여 변형 속도에 의한 변형률 거동을 측정하였다. 변형률의 속도는 0.1 Hz 에서 40 Hz 까지 범위로 제어하여 변형률 속도에 대한 PVDF 센서의 응답성을 측정하였고, 이에 대한 속도 의존성과 속도 의존성 보상 변형률 거동을 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 PVDF 필름 센서와 시험편

PVDF film 양면에 silver layer 가 도핑된 film (Measurement Specialities)을 이용한 PVDF 변형률 센서를 제작하였으며, 두께가 28 μm 와 110 μm 를 사용하였다. 시험편은 한방향 테이프(unidirectional tape)를 이용한 Glass-Epoxy 복합재를 사용하여 너비는 12 mm, 두께는 1.1 mm 인 축 방향 인장형 시험편을 Fig. 1 과 같이 제작하였다.

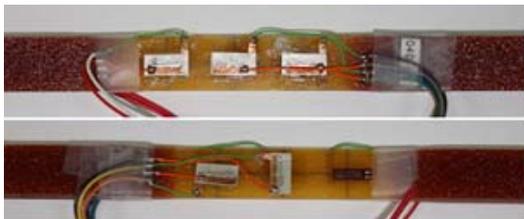


Fig. 1 Test piece patched with several PVDF film sensors and strain gage

2.2 시험 측정 시스템 및 방법

PVDF 필름 센서를 복합재 시험편에 접착제로 Fig. 1 과 같이 부착하여 각 위치에 부착된 센서의 하중에 대한 응답성을 측정하였다. 시험편의 한면에는 28 μm 두께의 PVDF 필름 센서를 게이지 부분에 상 중 하의 위치에 부착

하였으며, 그 상대 위치에 스트레인 게이지와 다른 두께인 110 μm 필름 센서 그리고 방향성이 직각인 필름 센서를 각각 부착하였다.

시험편에 부착된 센서의 응답성을 확인하기 위한 하중 부하와 측정 시스템의 구성은 Fig. 2 와 같다. 하중 시스템은 MTS 858 시스템을 변형 측정 시스템은 NI module (9205,9237)을 사용하여 1.6Kz 의 sampling Rate 로 데이터를 수집하였다.

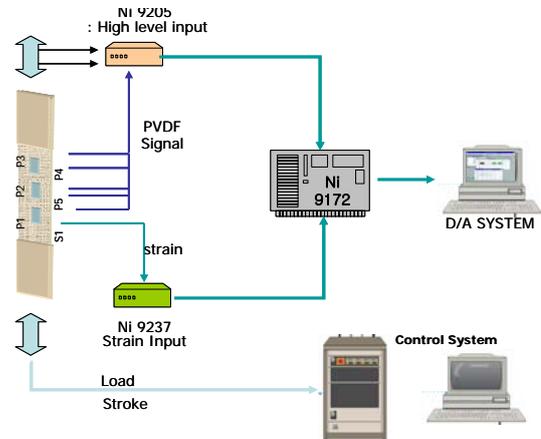


Fig. 2 Schematic diagram for applying load to the test piece and acquiring the output of the sensors

시험 하중은 시험 하중의 주파수 의존도를 측정하기 위하여 0.8±0.6 KN 하중 하에서 6 개의 주파수 수준(0.5, 1, 5, 10, 20, 40 Hz)에서 필름 센서와 게이지의 출력 응답성을 측정하였고 속도 의존성을 정량화 하기 위하여 4 개의 하중 파형(삼각형 파형)에 대하여 5 개의 주파수 수준으로 실험하였다.

3. 실험결과 및 토의

3.1 PVDF 변형률 측정

PVDF 는 양극에 전극을 입힌 경우 하나의 Capacitor 로 필름의 두께, 크기에 따라 capacitance 가 결정되며, 전압원의 크기는 센서에 가해진 압력이나 변형량 등에 정비례 하게 되고 이는 식 (1)과 같이 PVDF 출력과 변형률의 관계식으로 표현한다.

$$V = d_{31} \epsilon t \tag{1}$$

여기서 사용되는 비례상수 d_{31} 는 12 이고 t 는 PVDF필름 두께이다. 상수 d 는 PVDF필름에서 발생된 전압 및 전하밀도와 가해진 압력과의 비를 의미한다.

시험편에 부착된 PVDF 필름 센서는 축 방향의 정현파의 반복 하중에 따라 정현파의 출력 특성을 Fig. 3 과 같이 보여주고 있다. 인장-인장 반복하중에 대하여 변형률 게이지는 인장 변형률의 반복 변형률로 나타나고 있으나, Fig. 3 에 나타난 바와 같이 각 PVDF 센서는 평균이 0 인 반복 정현파의 출력을 보여주었다.

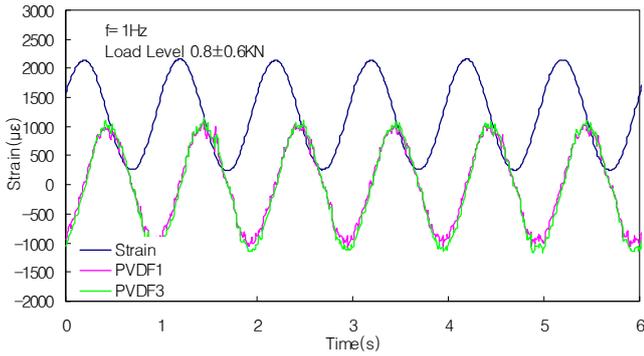


Fig. 3 Variation of output of strain gage and PVDF film sensors during tension-tension fatigue loading

3.2 주파수 응답성

Fig. 4는 일정 변형률 진폭에 대한 PVDF 출력의 주파수 변화에 대한 응답성을 나타낸다. 본 연구에서는 일정 변형률은 $1195 \pm 950 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$ 로 제어하였으며, 주파수는 0.1 Hz ~ 40 Hz로 변화하였다. Fig. 4에 보여준 바와 같이, 축 방향의 동일한 두께의 PVDF 출력은 반복 속도의 증가에 따라 2 단의 선형적 증가를 보이고 있다. 즉 10 Hz 부근까지 일정한 증가 기울기로 증가하고 그 이후에는 다소 둔감한 기울기로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이에 반해 110 μm 두께인 두꺼운 PVDF 필름 센서는 축 방향의 센서와 같이 10 Hz까지는 28 μm 두께 센서와 같은 기울기로 증가하나 그 후에는 큰 증가를 보이지 않는다. 이는 센서의 두께는 저 주파수에서는 변형률의 변화에 대한 응답성에 영향을 주지 않으나, 고 주파수에서는 변형률의 변화에 대한 응답성에 영향을 줄 수 있음을 나타낸다. 이에 비해 센싱 방향에 직각으로 배열된 PVDF 센서(PVDF5)의 출력은 축 방향의 센서 출력에 비해 매우 작게 나타나고 있음을 보여주고 있다.

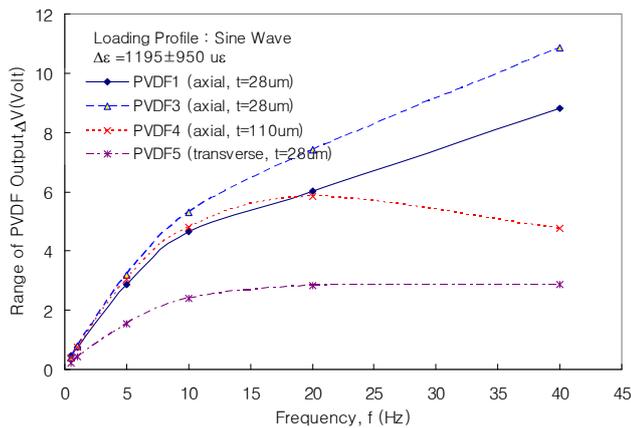


Fig. 4 Variation of output range of PVDF sensors with frequency

3.3 속도 의존성

Fig. 4에서 보여준 바와 같이 PVDF 센서는 주파수의 변화에 영향을 받고 있음을 보여주고 있어 변형률의 크기와 속도를 조절하여 이에 대한 의존성을 시험하였다. Fig. 5는 이에 대한 의존성을 축 방향의 28 μm 두께인 PVDF 센서 (PVDF1)에 대하여 보여주고 있다. 식(1)로부터 측정된 PVDF 센서의 출력은 변형률로 계산될 수 있으며, Fig. 5는 PVDF 센서의 변형률 측정치와 변형률 게이지에서 측정된 변형률의 비를 증가하는 주파수에 대한 변화를 보여주고 있다. PVDF 센서의 출력은 시험편에 삼각형 파의 하중과 주파수를 변경하여 가하여 얻어진 양이다. Fig. 5에 보여

준 바와 같이 PVDF 센서로부터 측정된 변형률의 값은 변형률 게이지에서 측정된 값에 비하여 주파수가 커질수록 그리고 하중의 증가됨에 따라 증가되고 있다. 이러한 증가 크기는 하중의 크기 즉 변형률의 크기에 대해서는 각 주파수에 대하여 일정한 값을 가지고 있다. 각 주파수에 대한 증가 크기는 Fig. 5와 같은 2 단 증가형으로 나타낼 수 있다.

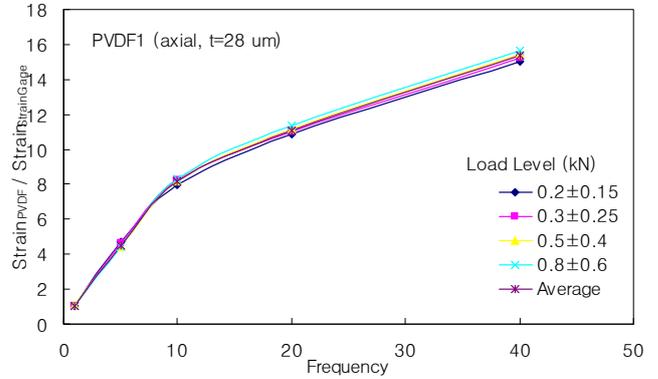


Fig. 5 Frequency dependency of the PVDF output normalized with axial strain

4. 결론

본 연구에서는 두께가 다른 두 PVDF 필름을 이용하여 변형률 센서를 제작하여 복합재 시험편을 이용하여 변형률의 속도 민감성을 측정하였다.

- (1) PVDF 센서는 인장-인장 되풀이 변형률에 대하여 평균이 0인 되풀이 출력을 보여주고 있었으며, 반복 되풀이 변형에 대하여 잘 응답하였다.
- (2) PVDF 센서의 변형률 측정은 되풀이 주파수의 증가에 따라 증가하였으며, 이는 10Hz를 기준으로 다른 증가 속도를 나타내었다.
- (3) PVDF 센서는 두께에 따라 저주기 되풀이 속도에서는 영향이 없으나, 고주기 되풀이 속도에서는 다른 출력 특성을 보여주었다.
- (4) 변형률 게이지에서 측정된 최대 변형률에 대한 PVDF 센서의 변형률 비는 변형률의 증가에 따라 일정한 값을 가지고 있었고 이를 비는 주파수의 증가에 따라 증가하는 경향을 보여주었다.

참고문헌

1. 권일범, 최만용, “압전필름센서에 의한 충격하중을 받는 보의 응력파의 측정”, 한국구조물진단학회 학술발표회 논문집, 71~88, 2000.5
2. W.K. Chiu, S.C. Galea, H. Zhang “The use of Piezoelectric Thin Film Sensors for Structural Integrity Monitoring” Journal of Intelligent Material Systems and Structures, p390~394, Vol.5, 1994.
3. Hwa Gu, Yang Zhao and Ming L.Wang, “A wires smart PVDF Sensor for structural health monitoring” Structural Control Health Monit, 329-343, 2005
4. Roger Vodicka and Stephen C. Galea, “Use of PVDF Strain Sensors for Health Monitoring of Bonded Composite Patches”, DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION, DSTO-TR-068, 1998