

# 압전소자를 이용한 자가 구동 및 진동측정과 이를 통한 구조건전도 모니터링 Self Actuation and Vibration Sensing and Its Application to Structural Health Monitoring

정성빈\* · 박준홍† · 이제필\*\*  
Seongbin Jeong, Junhong Park and Jupil Lee

## 1. 서론

구조물의 건전도를 모니터링 할 수 있는 기술의 필요성은 이미 오래 전부터 제기되었다. 현재 구조물의 건전도를 모니터링 할 수 있는 다양한 기술들의 연구가 진행되고 있으며 이미 상용화 되어 현장에서 사용되고 있는 기술들도 있다. 하지만 내재된 한계로 인해 전 시스템에 걸쳐 직접 결함을 찾기 위한 기술이라기 보다는 대략적으로 확보된 결함의 위치에서 보다 정확한 결함의 위치와 크기를 알아내는 기술들이 대부분이다.

그래서 이러한 단점을 극복하고 전 구조물에 걸쳐 결함을 찾기 위한 기술들이 제안되고 있다. 그 중 파동전파특성을 이용한 건전도 모니터링 기술은 구조물에 영향을 미치지 않고 전 구조물에 걸쳐 결함의 위치를 찾을 수 있어 본 연구 이전부터 기술 개발이 진행되고 있다.

본 연구는 이전부터 진행되고 있는 파동전파특성을 이용한 구조물의 건전도 모니터링 방법으로 지능 구조물(압전소자)을 이용하여 구조물의 진동을 유발시키고 측정하였다.

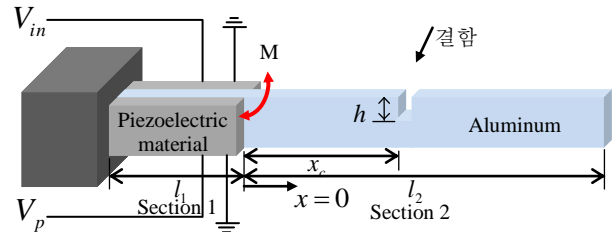
## 2. 본론

### 2.1 압전소자를 이용한 자가 가진 및 진동측정

그림 1 을 보면, 두 개의 압전소자를 구조물에 부착하여, 하나는 모멘트를 발생시켜 구조물의 진동을 유발하고, 다른 하나는 변화를 측정하게 된다.

식 (1)은 classical 보 이론을 적용한 4 계 편미분 방정식으로 이를 통해 Section 2 에서의 굽힘 강성을 모델링 할 수 있다.

그림 1. 압전소자를 이용한 자가 가진 및 진동측정



$$D_{1,2} \frac{\partial^4 w_{1,2}}{\partial x^4} + m_{1,2} \frac{\partial^2 w_{1,2}}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

여기서  $D_{1,2}$  는 빔 Section 1, 2 의 굽힘 강성,  $m_{1,2}$  는 빔 Section 1, 2 의 길이당 질량이다. 또한 식 (1)을 만족시키는 보 방정식은 식 (2)과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{w}_1(x) &= \hat{A}_1 \sin \hat{k}_{b1}x + \hat{A}_2 \cos \hat{k}_{b1}x + \hat{A}_3 e^{\hat{k}_{b1}(x+l_1)} + \hat{A}_4 e^{-\hat{k}_{b1}x} \\ \hat{w}_2(x) &= \hat{B}_1 \sin \hat{k}_{b2}x + \hat{B}_2 \cos \hat{k}_{b2}x + \hat{B}_3 e^{\hat{k}_{b2}(x-l_2)} + \hat{B}_4 e^{-\hat{k}_{b2}x} \end{aligned} \quad (2a-b)$$

여기서  $\hat{k}_{1,2}$  는  $\hat{k}_{1,2} = \left( \omega^2 m / \hat{D}_{1,2} \right)^{1/4}$  에서 얻을 수 있는 각주파수와 관련된 복소 파동수이다. 그리고 그림 1 에 표시된 바와 같이 고정-자유의 경계조건은 다음 식으로 나타낸다.

$$\begin{aligned} \hat{w}_1(-l_1) = \frac{\partial \hat{w}_1(-l_1)}{\partial x} = \frac{\partial^2 \hat{w}_2(l_2)}{\partial x^2} = \frac{\partial^3 \hat{w}_2(l_2)}{\partial x^3} = 0, \\ \hat{w}_1(0) = \hat{w}_2(0), \frac{\partial \hat{w}_1(0)}{\partial x} = \frac{\partial \hat{w}_2(0)}{\partial x}, \frac{\partial^3 \hat{w}_1(0)}{\partial x^3} = \frac{\partial^3 \hat{w}_2(0)}{\partial x^3}, \\ \hat{D}_1 \hat{k}_{b1}^2 \frac{\partial^2 \hat{w}_1(0)}{\partial x^2} - \hat{D}_2 \hat{k}_{b2}^2 \frac{\partial^2 \hat{w}_2(0)}{\partial x^2} = M \end{aligned} \quad (3a-h)$$

이러한 경계조건을 적용함으로써 고정-자유 경계 조건 보 전달함수를 구할 수 있다. 그리고 이 전달함수로 Newton-Raphson 법을 사용해 복소 파동수를 얻을 수 있으며 이를 통해 복소 굽힘 강성을 구할 수 있다.

† 교신저자; 한양대학교 기계공학부 음향진동연구실  
E-mail : parkj@hanyang.ac.kr  
Tel : (02) 2220-0424  
\* 한양대학교 기계공학부  
\*\* 한양대학교 기계공학과

### 3. 측정 결과 및 고찰

제안된 모니터링 방법의 증명을 위해 길이 0.07 m의 압전소자와 폭 0.025 m, 두께 0.003 m의 알루미늄 보를 사용하여 고정-자유 경계조건하에서 9L/11, 5L/9 위치에 인위적으로 결함에 주어 실험을 통해 결함의 위치를 파악하도록 하였고, 아래의 그림 2, 3, 4는  $x_c = 0.252$  m ( $L = 0.447$  m)에 인위적 결함을 가한 후 실험한 결과이다.

그림 2는 측정된 전달함수를 나타낸다. 이 전달함수는 결함이 커짐에 따라 공진 주파수가 점점 감소하는 것으로 측정되었다.

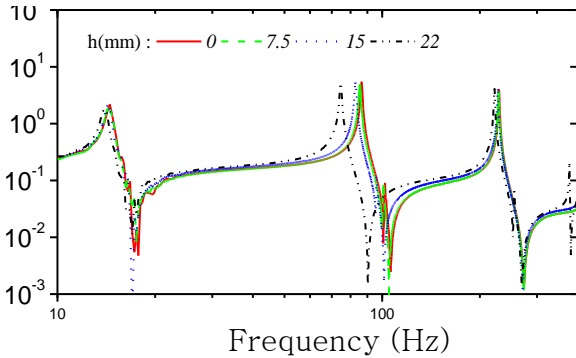


그림 2. 결함의 크기에 따른 측정된 전달함수

그림 3은 측정된 동적 강성의 주파수에 따른 경향을 나타낸 것이다. 결함의 크기가 커질수록 그 위치에서 보존에너지가 감소하여 그 변화폭도 커지는 것을 알 수 있다.

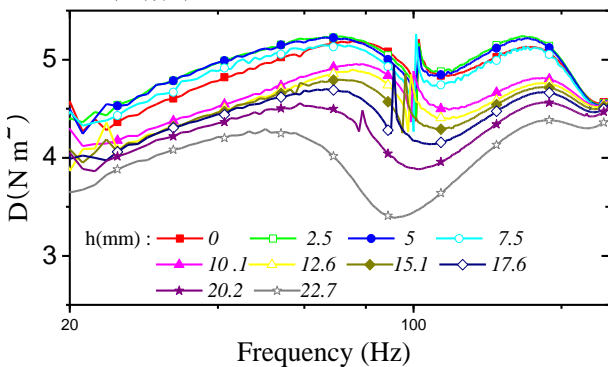


그림 3. 결함의 크기에 따른 측정된 동적 강성

그림 4에서 결함추측치는 결함의 크기에 따라 각각의 극대값을 가진다. 이 때의 극대값들은 결함의 위치를 나타내는 것으로 인위적으로 만들어진 실제 결함의 위치와 비교하여 표 1에 나타내었다.

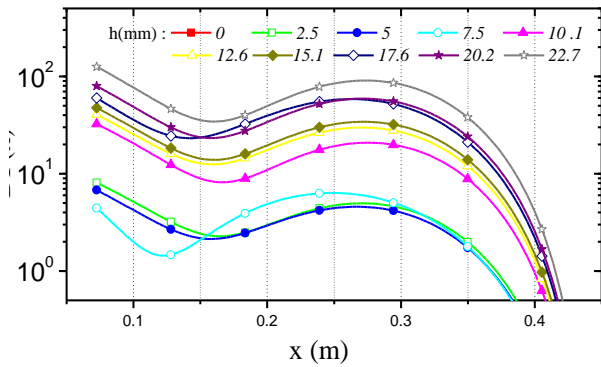


그림 4. 결함의 크기에 따른 계산된 결함추측치

결함의 크기 (mm)	x=44.8 mm (L=55 mm)		x=25.2 mm (L=44.7 mm)
	1 <sup>st</sup> Max	2 <sup>nd</sup> Max	1 <sup>st</sup> Max
2	12.7	42.5 (5.1%)	26.9 (6.7%)
2.5	12.9	41.8 (6.6%)	26.6 (5.5%)
7.5	16.4	39.7 (11.3%)	25.0 (0.7%)
10.1	13.37	42.1 (6.0%)	27.5 (9.1%)
12.6	14.2	41.6 (7.1%)	27.2 (7.9%)
15.1	12.5	43.1 (3.8%)	27.2 (7.9%)
17.6	13.6	42.1 (6.0%)	26.3 (4.3%)
20.2	13.6	42.3 (5.6%)	27.2 (7.9%)
22.7	13.4	42.5 (5.1%)	27.5 (9.1%)

표 1. 결함의 위치와 크기에 따른 관측결과

### 4. 결론

본 연구에서는 지능구조물(압전소자)을 이용한 구조물의 자가 가진 및 자가 측정법, 그리고 파동전파 특성을 이용한 구조물의 건전도 모니터링 방법을 제안하였다.

구조물의 작은 결함이라도 발생할 경우, 보존에너지에 영향을 미치게 된다. 이 때 동적 강성의 변화가 발생하게 되는데, 그 경향을 통해 구조물의 결함 위치 파악이 가능하다.

이 방법은 계산 시간이 짧아 지속적인 실시간 구조 건전도 모니터링을 할 수 있을 것으로 기대되며, 또한 압전소자를 이용한 자가 가진 및 측정법은 구조물 내부에 대한 건전도 모니터링 기술에도 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

This work was supported by the Seoul R&BD Program.