

광섬유 배열센서의 방향성에 따른 음압 탐지 실험

Experimental Investigation of Directional Sound Detection of Fiber Optic Sensor Array

이종길†

Jongkil Lee

1. 서 론

광섬유 센서(optical fiber sensor) 기술은 최근에 신호 처리 및 다중화 기술의 발전으로 음향·진동계측, 기계, 항공 분야에 활발히 응용이 되고 있다. 이는 높은 정밀도와 분포 계측 가능성, 소형 및 내구성 때문에 여러 분야에서 광섬유를 이용한 각종 음압 감지 센서를 연구하고 있다^(1~5).

광섬유 센서는 주로 간섭계를 이용하여 신호를 획득하며 음향 진동 신호의 감지에 주로 쓰이는 간섭계는 Sagnac형이다. Sagnac 간섭계의 원리는 입사광을 둘로 쪼개고, 서로 반대방향으로 광폐회로를 통과시킨 후, 간섭시키는 것으로서, 이의 구성도를 Fig. 1에 보였다.

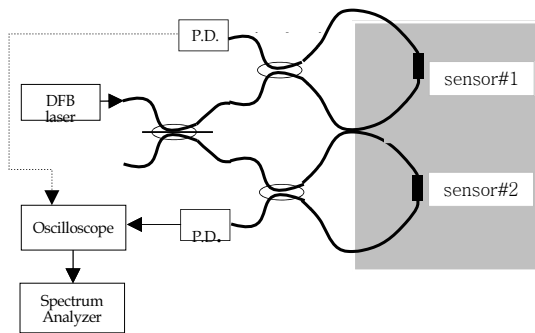


Fig. 1 Sagnac interferometer using two sensors

Fig. 1에서와 같이 레이저에서 나온 빛은 2×2 coupler (beam splitter)를 거쳐 광섬유 루프를 서로 반대방향으로 진행하게 된다. 각 방향으로 진행되는 레이저 광은 측정하고자 하는 물리량에 의해 광섬유에 가해지는 변화에 상응하는 광경로의 변화를 겪은 후 beam splitter에서 다시 합쳐져 광검출기로 검출된다. 이때 각각의 광경로 차이에 비례하는 위상차가 발생하여 검출광의 세기에 변화가 일어나고 이를 측정함으로써 광섬유 센서에 가해진 피측정량의 크기를 검출하게 된다. 음압의 변동에 따른 위상변화는 광섬유 폐회로의 길이 L에

비례하므로 광섬유 센서의 감도를 증대시키기 위하여 길이 L을 되도록 크게 하는 것이 좋다.^(6~7) Sagnac 루프가 m개의 루프를 가지면 위상 변화 $\Delta\phi$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta\phi = m \frac{8\pi A}{c\lambda} \Omega = \frac{4\pi LR}{\lambda c} \Omega. \quad (1)$$

식 (1)에서 $\Delta\phi$ 를 증가 시키면 감도가 좋아진다.

2. 맨드릴의 제작 및 실험

광섬유 음향 센서용 맨드릴 형상은 실제 광섬유를 이용한 음압을 감지하는데 매우 중요한 요소 중 하나이다. 맨드릴의 형상은 여러 가지로 생각할 수 있으나 일반적으로 중공 원통형(hollow cylinder)을 많이 이용한다. 외부 음압이 광섬유에 접촉하면 작은 음압을 오랫동안 유지하기 위하여 두께가 얇은 중공 원통형을 고안하게 된 것이다. 속이 찬 원통형은 맨드릴의 자체 진동을 계속 유지하기 힘든 구조이나 중공 원통형 속에 음압이 유입될 경우 오히려 작은 음압에 의한 진동을 방해하는 경우가 발생하게 된다.

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 알루미늄 맨드릴에 단일 모드 광섬유를 50m 씩 감고 각각의 센서를 배열로 구성하고 Fig. 2와 같이 종방향(센서 #1)과 반경방향(센서 #2)으로 배치하였다. 무지향성 음원과 센서의 떨어진 거리는 50mm이며 음원의 주파수는 0.5kHz로 선정하였다.

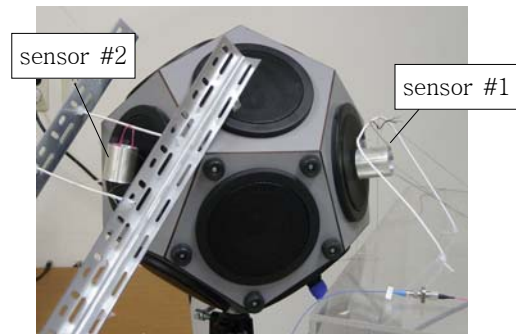


Fig. 2 Photograph of the experimental set up

† 교신저자; 안동대학교 기계교육과
E-mail : jlee@andong.ac.kr
Tel : (054) 820-5487, Fax : (054) 823-1766

단일 모드 광섬유가 끝단이 막힌(end-capped) 중공 원통형 맨드릴에 감긴 경우 광섬유 센서에 대한 감도(sensitivity)는 다음 식과 같이 유도된다⁽⁸⁾.

$$\left(\frac{\Delta\phi}{P}\right)_C = \frac{k_0 n L}{E^m (r_2^2 - r_1^2)} [r_2^2 + r_1^2 - \nu_m (2r_2^2 - r_1^2)] (1 - n^2 p_{12} / 2) - \frac{k_0 n L}{E^m (r_2^2 - r_1^2)} \frac{n^2 p_{av}}{2} \left[(2r_2^2 - r_1^2) \left(\frac{1 - \nu_f - 2\nu_f^2}{E^f / E^m} + 2\nu_f \nu_m \right) - 2\nu_f (r_2^2 + r_1^2) \right] \quad (2)$$

3. 실험 결과

Fig. 2와 같이 배열된 두 개의 배열 센서에 외부 음압 주파수 0.5kHz를 인가하였다. 음원 주파수는 임의로 결정하였고 센서의 방향은 음원에 대하여 각각 종 방향(longitudinal direction)과 반경 방향(radial direction)으로 정하였다. Fig. 3 및 Fig. 4에는 실험 결과를 보였는데 종 방향에서 인가 음원 주파수의 2배인 1kHz가 검출되었다. 그러나 Fig. 4와 같이 반경 방향에는 음원 주파수만 검출되었다.

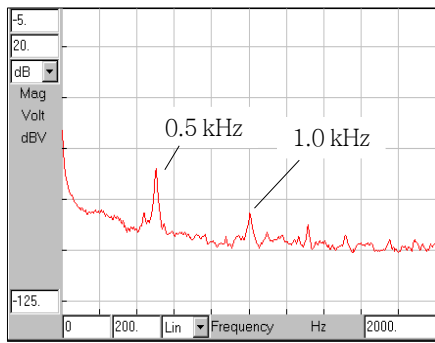


Fig. 3 Longitudinal direction sound detection of the sensor #1(frequency spectrum)

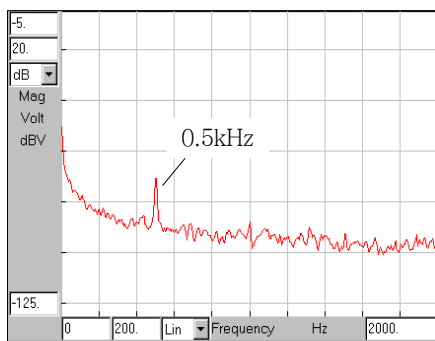


Fig. 4 Radial direction sound detection of the sensor #2(frequency spectrum)

각 방향에서의 음압 감도는 그림에서와 같이 차이를 보이지 않

았으나 다른 주파수 영역에서 다양한 경우의 위치 선정을 통하여 감도를 비교할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 Sagnac형 광섬유 간섭계를 이용하여 광섬유 센서의 방향에 따른 음압 감지 특성을 실험적으로 분석하였다. 맨드릴형 광섬유 센서를 두 개 제작하여 이를 배열로 구성하고 외부 음압 주파수를 0.5kHz로 인가하였다. 실험 결과 맨드릴의 방향이 음원과 평행일 때(종 방향) 맨드릴 내측 원통에서 1kHz의 하모닉 성분이 검출되었으나 음원 방향과 직각으로 놓인 경우(반경 방향)에는 음원 성분만 감지되었다. 이를 통하여 맨드릴이 음원과 위치한 방향에 따라 감지 특성이 다름을 확인하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2008-25) 주관으로 수행된 과제임

참 고 문 헌

- (1) Ansari, F., 1993, "Applications of Fiber Optic Sensors in Engineering Mechanics," ASCE.
- (2) Lee, J., 2009, "Experimental analysis of flow induced vibration measurement using fiber optic sensor," Proceedings of the ASK-ASJ Joint conference on acoustics, 163~166.
- (3) Nash, P. J. and Keen, J., 1990, "Design and construction of practical optical fiber hydrophones," Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 12, 201~212.
- (4) Jackson, D. A. and Jones, J. D. C., 1986, "Fiber optic sensors," OPTICA ACTA, vol. 33, no. 12, pp. 1469 ~ 1503.
- (5) Lyamshev, L. M. and Smirnov, Y. Y., 1983, "Fiber optic sensors(review)," Sov. Phys. Acoust., 29(3), pp. 169 ~ 180.
- (6) 이종길 등, 2002, "광섬유 Sagnac 간섭계를 이용한 유중방진 신호검출," 대한전기학회지, 49C(11), pp. 622 ~ 626.
- (7) 이종길 등, 1997, "실험을 통한 간섭계형 광섬유 청음기의 음향신호 감지성능 연구," 한국소음진동공학회지, 제7권 제6호, pp. 931 ~ 936.
- (8) McMahon, G. W. and Cielo, P. G., 1979, "Fiber optic hydrophone sensitivity for different sensor configurations," Applied Optics, 18(22), 3720~3722.