구조물 음향진동 모니터링을 위한 광섬유 센서 설계

Fiber Optic Sensor Design for the Monitoring of Structural Sound and Vibration

이종길†
Jongkil Lee

Key Words : Sound and vibration monitoring(소음·진동 모니터링), Fiber optic sensor(광섬유 센서), Latticed structure(격자형 구조), Fiber optic acoustic net(광섬유 음향 네트)

ABSTRACT

In this paper, fiber optic sound and vibration monitoring sensor which is latticed shape structure based on Sagnac interferometer is fabricated and tested in laboratory conditions. To detect external vibrations surface mounted fibers on the latticed steel wire fence with a dimension of 170cm by 180cm is used. To detect external sound frequency the tightened fiber optic itself wire netting fence with a dimension of 50cm by 50cm is used. Experiments for the detection of the excited vibration and sound signals were performed. A small vibrator induced external vibration signal and it is applied to the latticed structure in the range of 100Hz to several kHz. External sound signal applied to the fiber optic sensor net using non-directional sound speaker. The detected optical signals were compared and analyzed to the detected both accelerometer and microphone signals in the time and frequency domain. Based on the experimental results, distributed fiber optic sensor using Sagnac interferometer detected effectively external vibration and sound signal and had a good performance. This system can be expanded to the monitoring of a significant system and to the structural health monitoring system.

기 호 설 명

m=상수
R= 반경
Ω,=각속도
v= 접선속도
λ=파장
c=광속도
A=면적
Δt=시간차
T=빛의 주기
Δφ=위상변화

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

1. 서 론

Mach-Zehnder, Sagnac, Speckle, Fabry-Perot 등의 광섬유 간섭계는 음향진동 센서로 널리 쓰이고 있다[1, 2]. 지능 구조물의 모니터링 방법은 광섬유 센서를 이용한 진동 계측이 주로 연구되고 있는데, 구조물의 결함 검사에도 이용되고 있다[3, 4]. 본 연구에서는 선행연구[1, 2, 5, 6]에서 보여준 광섬유를 이용한 Sagnac 간섭계를 이용하여 격자 구조물에 광섬유를 분포시킨 형태로서 외부 음향 및 진동 주파수를 탐지하고자 하였다.

Sagnac 간섭계의 원리는 입사광을 둘로 쪼개고, 서로 반대방향으로 광폐회로를 통과시킨 후, 간섭시키는 것으로서, 이때 각각의 광경로 차이에 비례하는 위상차가 발생하여 검출광의 세기에 변화가 일어나고 이를 측정함으로서 광섬유 센서에 가해진 물리량의 크기를 검출하게 된다.[5, 6] $\Delta t=4A\Omega/\{c^2(1-v/c)\}$이며, v<<c 이 때에는 근사 관계식이 얻어 진다. 단일 주파수인 빛의 주기가 λ/c이면, 이 위상변화는 각속도 Ω에 비례한다. 감도를 높이기 위하여 빛이 폐회로 주위를 여러 번 통과하도록 만든다.

광섬유 간섭계를 설계할 때 위상변화는 L=2mπR이고, 간섭계의 위상변화는 광섬유의 길이 L과 구성반경 R에 비례하므로 감도를 높이기 위하여 간섭 길이를 길게 할 필요가 있으며, 이러한 Sagnac 간섭계의 위상변화를 이용하여 외부 가진 주파수를 효과적으로 감지할 수 있을 것이다. 또한, 광섬유 간섭계의 길이 L을 늘이면 이론적으로 측정감도는 향상되므로 이의 실험적 검증도 필요하다고 판단된다.[1, 2, 5, 6]

2. 실험장치 구성

사각 격자형 구조물에 외부 음향 및 진동 주파수를 탐지하기 위하여 Sagnac 간섭계를 구성하고, 상용 광섬유를 격자형 구조물 상에 분포시켜 분포형 센서를 Fig. 1~Fig. 4와 같이 구현하고 이를 실험하였다. 간섭을 일으킨 빛은 광검출기에서 전기신호로 변환되며 오실로스코우프와 주파수 스펙트럼 분석기를 이용하여 주파수 신호를 분석하였다.

Fig. 1 Sound detection fiber net

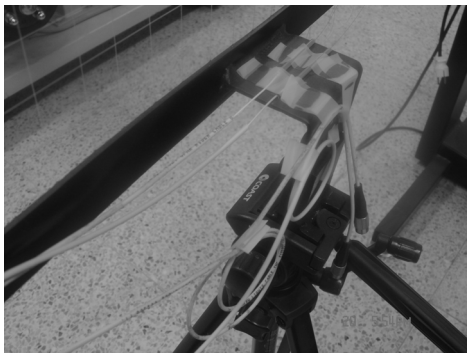

Fig. 2 Experimental setup for the sound detection

Fig. 2 및 Fig. 4에는 광섬유 네트에 입력되는 광원의 손실을 줄이기 위하여 방향이 전환되는 지점에 굽힘 반경을 최소화하도록 설치된 모습을 보인 것이다. 보통의 광섬유를 네트 형태로 제작할 때 가장 유의하여야 할 사항이 굽힘 손실이며 이것 때문에 네트의 크기가 제한되는 경우가 많다. Fig. 3의 왼쪽 프레임 부분에는 굽힘 손실을 줄이기 위한 실제 메카니즘을 보인 것이다.

Fig. 3 Experimental setup for the vibration detection

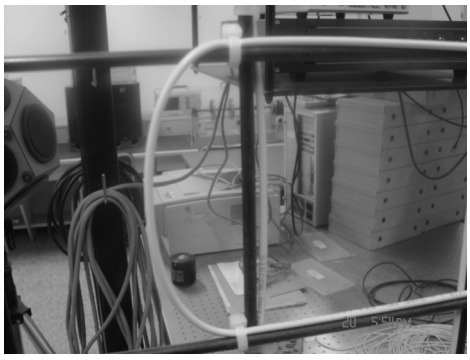

Fig. 4 Fiber bending loss avoid mechanism

3. 실험결과

광섬유 네트 바깥의 외부 음원 및 외부 가진원을 탐지하기 위하여 광섬유 격자 구조물의 중앙부에 무지향성 음원과 가진기를 각각 설치하였다. 마이크로폰과 가속도계를 부착하여 분포형 광섬유 센서의 감지 신호와 비교토록 하였다. 먼저, Fig. 5에는 240Hz의 음원을 무지향성 스피커로 주었을 때 광섬유 네트가 감지한 신호를 주파수 분석한 것이다. 구조물에 가진을 주지 않았을 때 광섬유 센서와 가속도계가 잡은 신호는 주파수 전 구간에 대하여 평탄특성을 보였다.

격자형 구조물은 주요 시설물의 외부 침입자 방지용 및 감시용으로 사용되는데, 이는 본 실험에서 구현한 광섬유 시스템이 주요 구조물의 모니터링 시스템으로 사용 가능함을 확인시키는 것은 침입자의 손으로 구조물을 흔들었을 때 감지된 진동은 대부분 저주파이다. 격자 구조물을 타고 넘어가는 현상을 보기 위하여 철선의 상단에 사람의 발로 충격을 주었더니 저주파의 신호를 잘 감지하였다.

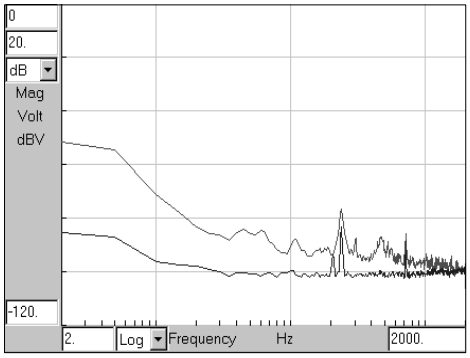

Fig. 5 Detected frequency spectrum of 240Hz external sound

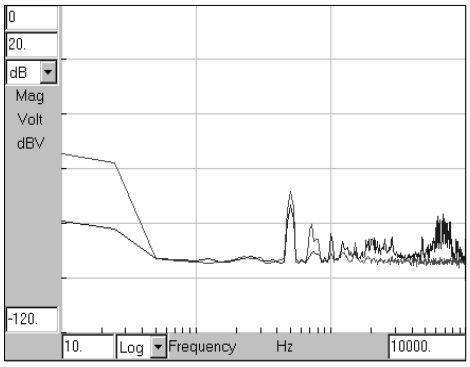

Fig. 6 Detected frequency spectrum of 500Hz external vibration

Fig. 6에는 격자형 구조물에 500Hz의 가진 주파수를 입력하여 광섬유 센서가 감지한 신호를 보았다. 500Hz 가진 신호에 대한 광섬유 센서의 주파수 스펙트럼을 보였는데 가속도계보다 신호 특성이 6kHz~8kHz 영역의 고주파수 성분이 검출되었다. 이는 제작된 격자 시스템의 고유진동 특성에서 기인된 것이라 판단된다. 광섬유 센서의 출력신호는 가진기에 입력된 신호보다 다소 찌그러진 형상이며 이는, 실험에 사용된 격자형 구조물의 진동특성이라 볼 수 있다. 즉, 철선 각 부위의 용접상태, 프레임의 부차적인 진동 등이 입력되어 합해진 신호로 판단된다. 다른 실험에서는 그림에는 보이지 않았으나 200Hz 가진 신호에 대한 주파수 스펙트럼에서는 400Hz, 600Hz, 800Hz에서 조화성분이 검출되었으며, 200Hz에서 가장 큰 진폭을 보였다. 1kHz의 가진신호에 대한 광섬유 센서의 응답특성을 주파수 영역에서 보면 광섬유 센서는 1kHz 가진신호를 잘 감지함을 알 수 있다. 1kHz의 가진신호에 대한 광섬유 센서의 응답특성은 5kHz 이하의 영역에서 다른 주파수 성분이 검출되지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 특성을 이용하여 격자형 구조물의 고유진동수를 예측할 수 있다. 구조물의 고유진동수를 찾기 위하여 외부 가진 주파수를 500Hz~1,000Hz로 변화시키면서 응답을 관찰하였는데 주파수에 대한 피크-피크 진폭은 외부 가진 주파수가 620Hz 근방에서 높은 진폭이 감지되었으며, 상대적으로 600Hz 및 900Hz에서는 낮은 진폭을 보였다. 시간영역에서의 진폭은 시간에 따라 조금씩 변화하는데 두 개의 곡선은 경향에는 큰 변화가 없음을 알 수 있었다.[5, 6] 실험에서 보인바와 같이 격자구조물에 설치된 분포형 광섬유 센서는 외부 음향 및 진동 주파수를 잘 감지함을 확인하였으며, 본 시스템은 향후 음원이나 진동이 주 입력원인 시설물의 안전 감시용에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

외부 음원이나 외부 진동이 격자형 구조물에 영향을 미치거나 혹은 이것이 가진원이 되었을 때 구조건강진단을 파악하기 위하여 본 실험이 수행되었다. 이는 기초연구로서 분포형 광섬유 센서를 개발하여 외부 음원 및 가진 주파수를 탐지하고자 하였다. 이를 위하여 무지향성 스피커와 가진기를 이용하여 구조물에 기지의 음원 및 진동 주파수를 입력하고 이를 광섬유 센서를 이용하여 감지하는 실험을 수행하였다. 분포형 광섬유 센서를 설계·제작하여 이를 170cm×180cm 크기 및 50cm×50cm의 격자형 구조물에 적용하였다. 또한, 광섬유 간섭계로는 구성이 비교적 간단한 Sagnac형을 선택하였다. 본 실험에서 구현된 분포형 광섬유 센서는 외부 음원 및 가진 주파수를 충분히 인식하여 감지함을 확인하였고, 구조물의 모니터링 시스템에 충분히 적용가능 하리라 판단된다.

참 고 문 헌

(1) Lee, J., 2003, "Vibration monitoring of the latticed fence structure using fiber optic sensor," Proceedings of the IMAC-XXI: A Conference on Structural Dynamics.

(2) Lee, J. and et al., 1997, "Experimental investigation of the acoustic signal detection performance for an interferometric fiber optic hydrophone," J. of the KSNVE, 7(6), pp. 931-936.

(3) D. A. Jackson and J. D. C. Jones, "Fiber optic sensors," OPTICA ACTA, 33(12), 1469-1503 (1986)

(4) L. M. Lyamshev and Y. Y. Smirnov, "Fiber optic sensors(review)," Sov. Phys. Acoust., 29(3), 169-180(1983)

(5) Lee, J., 2004, "Design of distributed fiber optic sensor net for the detection of external sound frequency," J. of the KSNVE, 14(7), pp. 617-624.

(6) Lee, J., 2004, "Excited vibration frequency detection of the latticed fence structure using fiber optic interferometric sensor," J. of the KSPE, 21, pp. 142-148.