

Fabry-Perot을 이용한 두 개의 광섬유 센서배열의 횡방향 음압 감지 특성

Lateral direction acoustic detection of fiber optic sensor array using Fabry-Perot

이종길*

Jongkil Lee

Key Words : Fabry-Perot Interferometer(패브리-페롯 간섭계), Fiber Optic Sensor Array(광섬유 센서 배열), Lateral Acoustic Detection(횡방향 음압 감지), Frequency Spectrum(주파수 스펙트럼), 횡방향 선진동(Lateral String Vibration)

ABSTRACT

To detect external acoustic signal, fiber optic sensor array using Fabry-Perot interferometer which had benefit of minimize and light-weight was used. The sensor head has 1cm in length, total length of fiber is 9.5cm, and the sensor supported at both ends, simply. External sound applied in lateral direction and detected two signals were compared each other. It was confirmed that the Fabry-Perot interferometric sensor array detected acoustic signal, effectively.

1. 서 론

광섬유 센서를 이용한 배열기술은 하나의 광섬유에 다수의 센서를 연결할 수 있으며, 다양한 형태로 구성할 수 있다. 센서들 중 비교적 감도가 높고 특정 배열시스템에의 적용이 용이한 형태가 간섭계형 센서로 알려져 있으며, 간섭계형 광섬유 센서 기술은 최근 전력설비의 열화진단에도 많이 적용하고 있다.[1-2] 압전재료를 이용한 센서나 광섬유 센서 등은 지능구조물의 모니터링에 사용되며, 특히 광섬유 센서는 압전재료와 같은 전기적 방식에 비하여 전자파의 영향을 받지 않으며 저손실, 다중화 등의 장점이 있어 최근 그 연구가 활발히 진행되고 있다[3-9]. 지능 구조물의 모니터링 방법은 광섬유 센서를 이용한 진동계측이 주로 연구되고 있으며[3-8], 구조물의 결합 검사에도 이용되고 있다[9-13]. 지능 구조물의 모니터링 방법은 광섬유 센서를 이용한 진동계측이 주로 연구되고 있으며[3-8], 구조물의 결합 검사에도 이용되고 있다[9]. 광섬유 간섭계의 형태는 주로 Mach-Zehnder, Sagnac, Speckle, Fabry-Perot 등이 있으나, 센서헤드부를 소형화 할 수 있는 간섭계로 Fabry-Perot 간섭계가 널리 쓰이고 있다.

Lee[10]는 Fabry-Perot 간섭계를 제작하고 이를 콘크리트 구조물의 여러지점에 매설 및 부착하여 재하실험을 하였으며 구조물의 변형상태를 모니터링 하였다.

Park[11] 등은 Fabry-Perot 압력센서를 제작하여 두께가 0.6 μ m인 Si 박막에 접착하여 여러 가지 압력으로 감지특성을 실험하였다. Naono[12] 등은 Fabry-Perot 간섭계를 이용하여 두 반사막 사이의 길이가 0.075mm이고 끝단에 다이어프램(diaphragm)이 설치된 구조의 광섬유 마이크로폰을 제작하여 실험하였다. Matsumoto[13] 등도 Naono[12] 등의 결과와 유사한 연구를 하였다. 기존의 음향센서로서의 Fabry-Perot 센서에 관한 연구는 주로 압력센서로 개발되고 있으며 그림 1과 같이 광섬유의 길이방향 즉 종방향(longitudinal direction)으로 압력이 가해지는 경우에 음향을 감지하는 구조이다. 외부음향이 다이어프램에 가해지면 박막의 진동으로 종방향 압력이 발생하고 이것이 두 개의 반사막을 통과한 빛에 음향정보를 실어준다.

2. 음향계측 및 실험결과

양단이 고정된 Fabry-Perot 센서부의 공기중 음향감지 특성을 보기 위하여 그림 2와 같이 실험장치를 구성하였다. 광원은 파장이 1550nm인 레이저(DFB Fiber coupled laser source, THORLAB S3FC1550)를 이용하여 2x2 방

* 안동대학교 기계교육과

E-mail : jlee@andong.ac.kr

Tel: (054)820-5487, Fax: (054)823-1766

방향성 결합기(Directional coupler, E-TEK SMFC5250PL211)에 입력되도록 하였다. 방향성 결합기를 통과한 빛은 음향 신호가 입력되는 센서헤드(Sensor head)를 거쳐 거울에 반사하여 다시 방향성 결합기에서 센서헤드를 거치지 않은 빛과 간섭을 일으키게 된다.

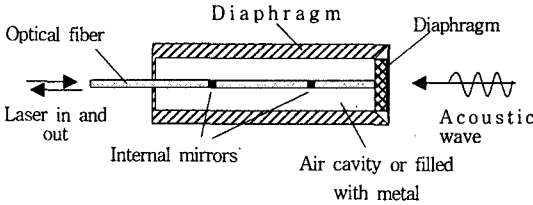


Fig. 1 Cross sectional view of the sensor head based on previous research[11-13]

간섭을 일으킨 빛은 광검출기(InGaAs fiber optic photo detector, THORLAB D400FC-1GHz)에서 전기신호로 변환되며 오실로스코프(Oscilloscope, Tektronix TDS3012)와 주파수 스펙트럼 분석기(Frequency spectrum analyzer, RION SA-76)를 이용하여 음향신호를 분석하였다.

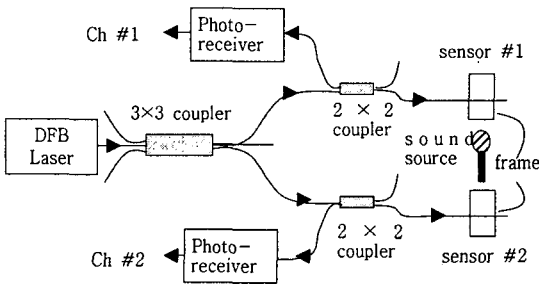


Fig. 2 Fabry-Perot interferometer sensor array and its experimental set-up

센서헤드는 음향을 감지하는 부분이며 단일모드광섬유(Single mode fiber optic)로 제작된 센서부 길이는 1cm이며 2개의 미러(Mirror)를 설치하였고 가운데 부분을 접합(Splicing)하였다. TiO_2 반사막(mirror)은 가시광이나 적외선 영역에서 높은 굴절률과 적은 광손실, 그리고 광섬유 위에 증착시 부착성이 좋기 때문에 Fabry-Perot 간섭계의 반사막으로 주로 이용된다[10-11]. 본 실험에

사용된 센서헤드부의 반사막은 TiO_2 를 광섬유 표면에 증착하여 제작하였다. 센서헤드부는 표면의 피복(Jacket)을 벗겨내고 클래딩(Cladding)직경이 $125\mu m$ 이고 코어(Core) 직경이 $10\mu m$ 인 광섬유로 제조 공정도를 거쳐 제작하였다. 따라서, 센서 헤드부는 직경이 작고 표면에 피복이 입혀진 광섬유 보다 강도가 약하기 때문에 실험에 주의하여야 한다.

Fabry-Perot 간섭계는 그림 2와 같이 제작하여 광학 테이블 위에 설치하고 외부에서 음원을 가하였다. 그림 3에서와 같이 외부 음원은 함수발생기(Sweep/Function generator, FG-7002C LG)를 이용하여 증폭기(Amplifier, VASCOM KFA-400)를 거쳐 직경이 45cm인 12각형 무지향성 스피커(Non-directional speaker, AVM D012)에서 음이 발생토록 하였다.

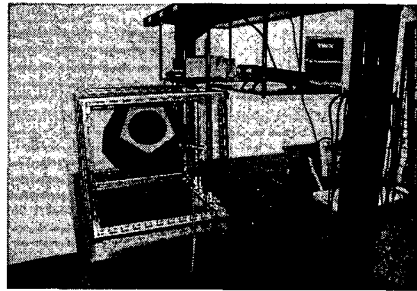


Fig. 3 Photograph of the experimental set up

기존의 연구는 그림 1에서와 같이 음향이 광섬유 헤드의 길이방향으로 입사되는 것이나, 본 실험에서는 광섬유 헤드의 횡방향(lateral direction)으로 음향이 입사되도록 하였다. 음향이 입사되면 광섬유 헤드는 그림 2와 같이 횡방향으로 압력을 받아 진동을 하게 되고 이 때문에 광섬유에 길이변화가 발생한다. 이를 Fabry-Perot 간섭계가 감지하는 원리이다. 그림 3의 부분은 길이가 9.5cm인 광섬유의 양단을 단순지지(simply supported)하는 구조이다. 그림 4에는 200Hz의 음원에 대하여 광섬유 센서 #1 및 #2가 감지한 신호를 스펙트럼 분석한 것이다. 두 개의 센서 모두 200Hz의 주파수를 감지하고 있으나, 센서 #2는 400Hz와 600Hz에서 하모닉 성분이 검출되었다.

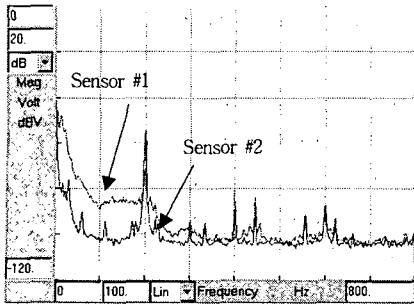


Fig. 4 Frequency spectrum of the detected signal under 200Hz(sensor #1 & sensor #2)

그림 5에는 655Hz의 음원에 대하여 광섬유 센서 #1 및 #2가 감지한 신호를 스펙트럼 분석한 것이다. 두 개의 센서 모두 655Hz의 음원 주파수를 잘 감지하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 5에서와 같이 센서 #1은 655Hz 주파수 성분에 대하여 센서 #2보다 감도가 약간 높음을 알 수 있다. 이는 같은 종류의 센서를 제작하더라도 제작 조건과 방법에 따라 특성차이가 있을 수 있기 때문이다.

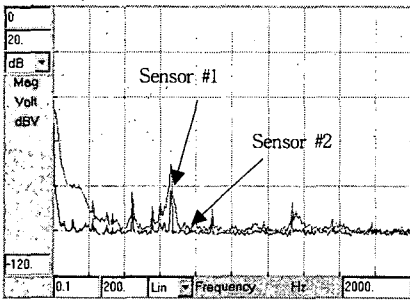


Fig. 5 Frequency spectrum of the detected signal under 655Hz(sensor #1 & sensor #2)

본 연구에서와 같이 Fabry-Perot 간섭계용 센서는 길이가 1cm 정도의 소형화, 경량화 할 수 있으며, 좁은 공간에서의 활용도가 높을 것으로 판단된다. 특히, 구조물의 건강진단 모니터링(Structural health monitoring) 분야에도 적용가능성이 높다. 음향의 감지능력 측면에서 보면 마이크로폰보다 특정 주파수 대역에서는 우수한 감지특성을 보이며, 이는 Fabry-Perot 센서헤드의 설치조건, 즉 경계조건에 따라 달라질 수 있다. 이러한 종류의 센서헤드는 삽입센서(Embedded sensor)로 가능하며, 복합구조물의 내부감시에도 효과적으로 활용할 수 있다고

판단된다.

3. 결론

양단이 단순지지된 Fabry-Perot형 센서의 음향 감지 특성을 관찰하기 위하여 200Hz, 1kHz 및 2kHz의 음향 신호를 무지향성 스피커에 인가하였으며 광섬유 센서와 마이크로폰이 잡은 신호를 비교하였다. 200Hz 및 1kHz의 신호에서 광섬유 센서의 신호가 마이크로폰 보다 감지 특성이 좋은 것으로 평가되었다. 그러나 2kHz의 입력신호에는 광섬유 센서의 감지 특성이 마이크로폰 보다 오히려 2~3dB(V) 감소하였다. 이것은 제작된 광섬유 센서의 감지 특성이 1kHz 이하에서는 마이크로폰 보다 우수하나 그 이상의 고주파 성분에서는 마이크로폰 보다 떨어짐을 나타낸 것이며, 광섬유 센서의 길이와 관련이 있어 보인다. 그러나 실험에서와 같이 실제 센서로서의 활용을 위하여 사용 주파수 대역의 정확한 분석과 센서 보호 장치의 개발이 선행되어야 하며 향후 이러한 분야의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] D. A. Jackson and J. Jones, "Fiber Optic Sensors," OPTICA ACTA, 33(12), 1469-1503, 1986.
- [2] J. Lee, "Characteristics of 2-channel TDM fiber-optic sensor array," Journal of the Korean Sensors Society, 7(5), 306-312, 1998.
- [3] M. Englund, A. Ipatti, P. Karioja, "Fiber-optic security monitoring sensor," SPIE, 3099, 284-299, 1997.
- [4] H. Guttinger and G. Pfister, "Fiber-Optic Sensors and Technology in Security Systems," 1st International Conference on Optical Fiber Sensors, 62-66, 1983.
- [5] D. Inaudi, "Field Testing and Application of Fiber Optic Displacement Sensors in Civil Structures," OSA Technical Digest Series, 16, 596-599, 1997.
- [6] C. Leung, I. Chang, and S. Hsu, "Fiber Optic Line Sensing System for Perimeter Protection against Intrusion," 4th International Conference on Optical Fiber Sensors, 113-116, 1986.
- [7] C. Bryson, "Interferometric Sensor System for Security

Applications," SPIE, 2360, 485-488, 1994.

[8] M. Englund, A. Ipatti, A., and P. Karioja, "Fiber-Optic Security Monitoring Sensor," SPIE, 3099, 284-299, 1997.

[9] S. Patsias and W. Staszewski, "Damage Detection using Optical Measurements and Wavelets," International Journal of Structural Health Monitoring, 1(1), 5-22, 2002.

[10] H. Lee, "Fabrication and characteristics of the multiplexed fiber-optic Fabry-Perot interferometric deformation sensor for the smart structure," Thesis, Kyungpook Nat'l Univ., 1998.

[11] J. Park and M. Kim, "High performance fiber-optic Fabry-Perot Pressure sensor with Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ diaphragm," Jpn. J. Appl. Phys., 38, L1562-L1564, 1999.

[12] H. Naono, M. Matsumoto, K. Fujimura, K. Hattori, "Fiber-optic microphone using a Fabry-Perot interferometer," 9th Optical Fiber Sensors Conference, 155-158, 1993.

[13] M. Matsumoto, K. Fujimura, K. Hattori, H. Naono, "Fiber-optic acoustic sensor based on Fabry-Perot interferometer," Proc. of OFS '86, 43-46, 1986.