

Fabry-Perot 형 광섬유 배열센서의 방전 음압 계측

이종길[†] · 이준호^{*} · 이진우^{**}

Sound Measurements of the Discharge Break Down Using Fabry-Perot Sensor Array

Jongkil Lee, June-Ho Lee, and Jin-Woo Lee

Key Words: Discharge break down(절연과괴), Fabry-Perot interferometer(페브리-페롯형 간섭계), Fiber optic sensor array(광섬유 센서 배열), Acoustic signal(음향신호), Frequency spectrum(주파수 스펙트럼)

Abstract

To measure discharge breakdown acoustic signal, Fabry-Perot interferometer fiber optic sensor is used. Fiber optic sensor array can measure the partial discharge acoustic signal caused by defect of power facilities such as power cables, transformers and gas insulation. Fabry-Perot interferometer is selected as a fiber optic sensor array. It is shown that Fabry-Perot fiber optic sensor array detected discharge breakdown acoustic signal, effectively.

1. 서 론

광섬유를 이용한 센서 제작 기술은 광섬유의 저손실화 및 다중화 기술의 발전과 더불어 이를 이용한 보다 효율적인 광간섭계의 개발이 이루어져 계측, 해양, 항공 등의 다양한 산업분야에 응용이 되고 있다.¹⁾ 특히, 광섬유 센서를 이용한 배열기술은 하나의 광섬유에 다수의 센서를 연결할 수 있으며, 다양한 형태로 구성할 수 있다. 따라서, 센서들 중 비교적 감도가 높고 특정 배열시스템에의 적용이 용이한 형태가 간섭계형 센서(interferometer sensor)로 알려져 있다.

간섭계형 광섬유 센서 기술은 최근 전력설비의 열화진단에 많이 적용하고 있다. 부분방전은 전력기기의 절연상태에 대한 정보를 외부로 전달해주는 중요한 물리량 중 하나이기 때문에 전력설비의 진단에 부분방전의 측정기법이 널리 이용되고 있다. 광섬유 센서를 이용한 유중 방전신호 검출 실험결과는 여러 연구자들에 의하여 발표된 바 있다.²⁻¹⁰⁾ 유중 방전신호를 광섬유 Sagnac 간섭계를 이용하여 계측하여 방전신호를 효율적으로 검출하였으며,²⁾ 유조에서 인공적인 부분방전 신호를 광섬유 센서로 검출한 실험도 있다.⁴⁾

2. 광섬유 Fabry-Perot 간섭계 배열센서

한 개의 센서헤드를 가진 Fabry-Perot 간섭계를 이용하여 부분방전을 검출한 결과가 발표되었는데 이는 센서헤드에 실리카 다이아프램(silica

[†] 안동대학교 기계교육과

E-mail : jlee@andong.ac.kr

TEL : (054)820-5487 FAX : (054)823-1766

^{*} 호서대학교 전기전자공학부

^{**} 호서대학교 전기전자공학부

diaphragm)을 표면에 덮어씌우고 고전압 변압기 속에서 실험하였다.³⁾ 그러나, 센서헤드가 2개 이상인 경우에 배열 형태로 제작하여 실험한 결과는 아직 찾아보기 어렵다.

일반적으로 Fabry-Perot 간섭계 센서는 Fig. 1에서와 같이 일정간격 사이에 2개의 거울(mirror)을 단일모드 광섬유(single mode fiber) 내에 나란히 배치하여 구성한다. Fabry-Perot 간섭계의 원리는 첫 번째 반사거울에서 반사되는 광과 첫 번째 반사거울을 통과하여 두 번째 거울에서 반사되는 광 사이의 경로차가 발생하고 광의 간섭현상이 발생하게 된다.⁶⁾

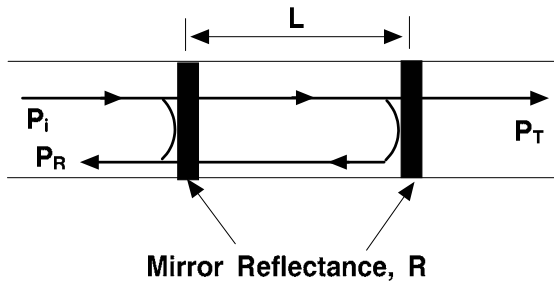


Fig. 1 Fabry-Perot interferometer with mirrors

두 개의 반사거울의 반사율이 R_1, R_2 투과율이 각각 T_1, T_2 라 할 때 입력 광전력, P_i 와 출력 광전력 P_R 의 비를 반사율 R 로 표현하면 다음과 같다.⁶⁾

$$R = \frac{P_R}{P_i} = [R_1 + R_2 (T_1 - R_1)^2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \times (T_1 - R_1) \cos \phi] \times [1 + R_1 R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \phi]^{-1} \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 간섭계에서의 왕복 광 위상차이며, 이는 다음과 같이 표현된다. 즉,

$$\phi = \frac{4\pi n L \nu}{c} \quad (2)$$

여기서, c 는 광속도, n 은 굴절률, L 은 두 개의 거울사이의 거리, ν 는 광주파수이다. 식 (1)에서

$R_1, R_2 \ll 1$ 이고, 거울에서의 광손실을 무시하면,

$$R = \frac{P_R}{P_i} = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \times \cos \phi \quad (3)$$

로 표현된다. 만일 두 거울의 반사계수가 동일하면 ($R_1=R_2=R^*$), 식 (3)에서 광전력비 R 은

$$R = \frac{P_R}{P_i} = 2 R^* \left\{ 1 + \cos \left(\frac{4\pi n L \nu}{c} \right) \right\} \quad (4)$$

로 유도된다. 따라서, 광전력비 R 은 광위상차 ϕ 즉, L, n, ν 의 변화에 따라 변하게 된다. L, n, ν 는 음압, 온도, 압력 등의 외부 환경의 변화에 민감하므로 이것을 이용하여 Fabry-Perot 간섭계 센서를 구성할 수 있다.

식 (4)에서와 같이 광전력비 R 의 크기는

$$R = \begin{cases} 0, & (\text{when } \cos \phi = -1) \\ 4 R^*, & (\text{when } \cos \phi = 1) \end{cases} \quad (5)$$

로 표현되며, 식 (5)는 두 거울의 반사계수의 값이 동일하다는 조건에서 유도되었으므로 이것은 광전력비의 최대값과 최소값의 차이를 가장 크게 하는 조건이므로 이것은 광간섭 무늬의 가시도 (visibility)를 높이는 데 중요한 변수가 된다.

광섬유 센서를 이용한 음압 탐지 기법은 특히 부분 방전과 같이 변압기 공간 내에서 일어나는 현상은 Fabry-Perot 간섭계 센서를 이용하여 광섬유 센서를 다중화(multiplexing) 함으로서 공간내의 음원 추적을 하는데 적합할 것이다.

3. 절연파괴 음압 계측 실험 및 결과

절연파괴시 발생하는 음압을 계측하기 위하여 Fig. 2와 같이 Fabry-Perot 간섭계 센서를 제작하여 구성하였다. Fig. 2에서는 Fabry-Perot 간섭계 끝단에 설치된 센서부를 보였는데, 센서부 길이는 1cm 이며 Fig. 1과 같이 2개의 미러를 설치하였다.

Fabry-Perot 간섭계는 Fig. 3과 같이 배열형으로 제작하여 절연파괴신호 검출용으로 센서 #1만으로 실험하였다. 이때 LD는 DFB 레이저로 대체하였으며, 3×3 방향성 결합기를 이용하였다. 1300nm의 파장을 가진 레이저가 3×3 방향성 결

합기에서 1번 센서로 광로를 통과하여 Fig. 2에서와 같이 센싱부에 음압이 전달되면 3×3 방향성 결합기로 다시 출력되어 PD에서 전기신호로 변환된다. 전기신호를 오실로스코프와 주파수 스펙트럼 분석기를 이용하여 신호를 분석하였다.



Fig. 2 Fabry-Perot interferometer with sensing part

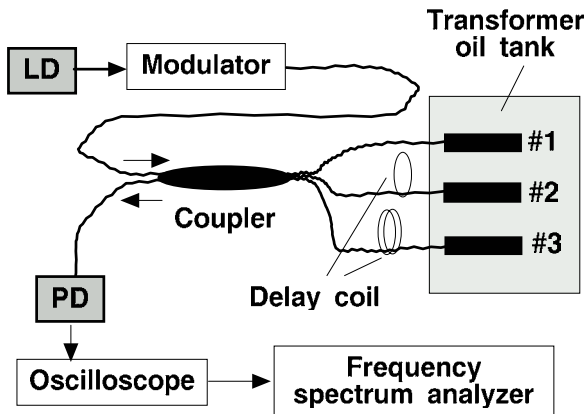


Fig. 3 Fabry-Perot interferometer with time division multiplexing(TDM)

절연과피 신호는 평판대 평판(plate to plate) 구조에서 간극 1mm 이하로 조정하여 방전시켰다. Fig. 4는 단일 Fabry-Perot 간섭계 센서에서 검출한 음향신호를 주파수 분석한 것이다. 검출된 음향신호는 5kHz 대역임을 알수 있으며, 구성된 Fabry-Perot 간섭계는 절연과피 신호를 잘 감지함을 확인하였다. 이러한 Fabry-Perot 간섭계 센서는 변압기 내에서의 부분방전을 감지하는데 유용하

게 쓰일 수 있을 것으로 판단된다.

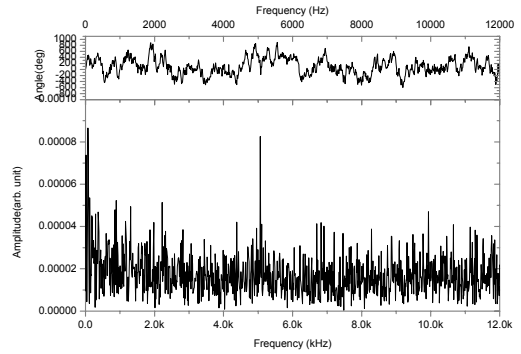


Fig. 4 Frequency spectrum of the discharge breakdown acoustic signal

4. 결 론

유중에서 절연과피 신호를 검출하기 위하여 본 연구에서는 Fabry-Perot형 간섭계를 선택하여 베열로 제작하여 실험하였다. 1개의 센서를 가진 Fabry-Perot형 간섭계는 절연과피시 발생하는 음압 신호를 잘 감지하였으며, 이를 주파수 스펙트럼으로 분석한 결과 5kHz 대역임을 확인하였다. 본 실험 결과는 열화로 인하여 부분방전이 일어나는 변압기의 실시간 모니터링 시스템에 적용 가능하리라 판단된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제임.

참고문헌

- (1) Jongkil Lee, 1998, "Characteristics of 2-channel TDM fiber-optic sensor array," Journal of the Korean Sensors Society, Vol. 7, No. 5, pp. 306-312.
- (2) J. Lee, J. H. Lee, S. J. Kim, 2000, "Discharge signal detection in insulating oil using the optical

- fiber Sagnac interferometer," *Trans. KIEE*, Vol 49C, No. 11, pp. 622-626.
- (3) J. Deng, H. Xiao, W. Huo, M. Luo, R. May, A. Wang, Y. Liu, 2001, "Optical fiber sensor-based detection of partial discharges in power transformers," *Optics & Laser Technology*, Vol. 33, pp. 305-311.
- (4) M. MacAlpine, Z. Zhiqiang, M. S. Demokan, 2002, "Development of a fiber-optic sensor for partial discharges in oil-filled power transformers," *Electric Power Systems Research*, Vol. 63, pp. 27-36.
- (5) M. Englund, A. Ipatti, P. Karioja, 1997, "Fiber-optic security monitoring sensor," *SPIE*, Vol. 3099, pp. 284-299.
- (6) H. Lee, 1998, "Fabrication and characteristics of the multiplexed fiber-optic Fabry-Perot interferometric deformation sensor for the smart structure," Master of Science Thesis, Kyungpook National University.
- (7) T. Kwon, D. Shin, J. H. Lee, J. Lee, 2002, "A study on ultrasonic location in underwater using the two optical fiber sensors," *Proceedings of the KIEEME Annual Autumn Conference 2002*, pp. 62-66.
- (8) D. Shin, T. Kwon, J. Lee, J. H. Lee, 2002, "A study on directivity of optical fiber sensor using the Sagnac interferometer in underwater," *Proceedings of the KIEE Summer Annual Conference 2002*, pp. 1714-1716.
- (9) S. Boggs, 1990, "Partial discharge part I: Overview and signal generation," *IEEE Elec. Insul. Mag.*, Vol. 6, No. 4, pp. 33-39.
- (10) A. Zargari, T. Blackburn, 1996, "Modified optical fiber sensor for PD detection in high-voltage power equipment," *IEEE ISEI*, Vol. 1, pp. 424-427.