

광섬유 센서로 측정한 절연유에 따른 방전신호 특성

김태영, 남진호, 서광석, 김상준  
\*고려대학교 재료금속공학부, \*\*전력연구원

The Characteristics of Discharging signal  
in various kinds of insulation oil using Optical Fiber Sensor

Tae Young Kim, Jin Ho Nam, Kwang S. Suh, Sang Joon Kim

\*Division of Materials Science and Engineering, \*\*Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - The characteristics of ultrasonic signal in insulation oil were investigated by optical fiber sensor(OFS) utilizing Mach-Zehnder interferometer. For checking the response properties of OFS ultrasonic signal was generated by function generator in various kinds of insulation oil. The attenuation of ultrasonic signal linearly increased with the increase of viscosity of insulation oil in log scale. Discharging signal was produced by neele-sphere electrode system. Intensity of discharging signal was plotted in terms of cumulative  $y^2$  and the intensity of discharging signal in new oil was little bigger than that in serviced one.

1. 서 론

전력케이블을 비롯한 전기설비는 사용도중 부분방전등의 전기적인 현상에 의하여 극심하게 열화되는 현상이 단점으로 지적되어 왔고 따라서 방전현상에 관한 연구가 활발하게 이루어져 왔다 [1, 2].

기존의 방전현상측정은 크게 전기적인 방법과 비전기적인 방법으로 나눌수 있는데, 기존에 가장 널리 사용되어온 전기적인 방법은 측정값의 크기가 너무 작고 주변의 전기적인 잡음에 의한 영향이 매우 큰 단점이 있다. 비전기적인 방법은 방전시 발생하는 빛, 음향등을 측정하는 방법으로 최근에는 변압기를 중심으로 하여 압전소자로 이루어진 초음파 센서를 사용하여 방전시 발생하는 음파를 측정하는 방법이 이용되고 있다 [3-5]. 이는 음파를 측정하는 방법이므로 주변 전기적인 잡음이 전기적인 방법에 비하여 작다는 장점이 있지만 음파가 전달되는 과정에서 직접경로와 간접경로를 통해 신호가 왜곡되어 방전 위치를 검출하기 어렵고 방전 위치를 확인하기 위해서는 여러개의 초음파센서를 부착해야 하는 불편함이 있다. 광섬유 센서는 초음파 센서와 마찬가지로 음파를 검출하는 방법이지만 분포센서로도 사용되며 주변 전자기파의 간섭을 받지 않고 저손실성, 경량성, 높은 절연내력등의 장점을 가지고 있어 매우 유용한 측정방법이 될수 있다. 특히 방전 신호의 측정과 전송을 동시에 할 수 있다는 큰 장점이 있다 [6].

본 연구에서는 여러 종류의 절연유를 사용하여 절연유의 상태에 따른 신호변화를 해석하고 절연유내에서 발생하는 방전신호를 광섬유 센서를 이용하여 측정하여 방전 크기와 신호의 크기의 상관관계에 관한 연구를 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서 사용한 광섬유센서의 개략도가 그림 1에 나와 있다. 본 연구에서는 높은 측정감도를 갖는 단일모드 광섬유를 이용한 Mach-Zehnder 간섭계로 시스템을

구축하였다. 먼저 633 nm의 파장을 갖는 He-Ne Laser로부터 나온 빛은 directional coupler (DC)를 통하여 50:50 으로 분리된후 하나는 아무런 물리적 변화를 거치지 않는 기준부 (reference arm)로 보내지고 다른 하나는 측정하고자 하는 음향신호의 영향을 받는 센서부 (sensing arm)로 보내진다. 각각의 빛은 DC를 통하여 다시 하나로 합쳐지는데, 이때 유동방전시 발생한 음파의 압력으로 인하여 센서부의 광섬유는 미세한 길이변화와 굴절률의 변화를 겪게 되어 빛의 광로를 변화시킨다. 따라서 합쳐진 빛은 광로의 차이에 비례하는 위상차로 인하여 간섭을 일으키게 되고 광검출기에 의해 광강도의 변화로 측정된다. 기준부에는 편광의 변화로 인해 발생할수 있는 신호의 소멸현상을 방지하기 위해 편광조절기(PC)를 사용하였으며 신호의 드리프트현상을 방지하기 위해 1 kHz high pass filter를 사용하였다. 증폭기 ( $\times 10$ )를 통과하여 측정된 신호는 디지털 오실로스코프에 저장되며 이를 다시 컴퓨터를 통해 신호처리하였다.

본 연구에서는 광섬유 센서의 응답특성과 절연유의 종류에 따른 음파의 전달특성을 알아보기 위하여 초음파 진동자를 통하여 초음파를 발생시켰다. 이 장치의 구성도를 그림 2 에 나타내었다. 센서 방향으로만 음파를 발생시키기 위해 초음파 진동자의 한쪽 면을 에폭시로 차단하였고 음파의 반사에 의한 신호의 중첩현상을 감소시키기 위해 음파 흡수체로 벽면을 처리하였다.

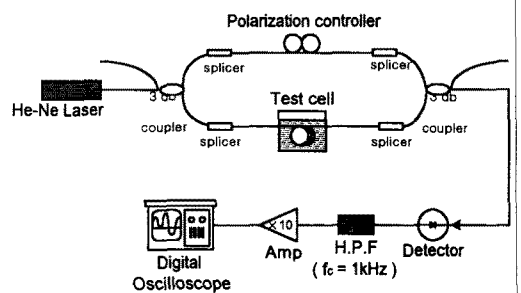


그림 1. Mach-Zehnder 간섭계의 개략도

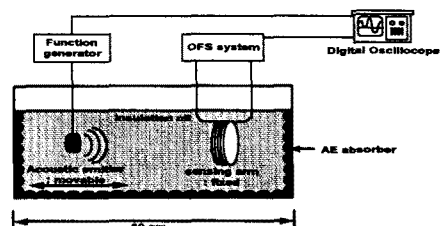


그림 2. 초음파 발생장치의 구성도

실험에 사용한 절연유는 변압기에 주로 사용되는 광유로 신유와 10년간 사용되었던 열화유 2종과 점도에 따른 실리코뉴 3종을 선정하였으며 그 특성을 표 1에 나타내었다

본 연구에서는 절연유내에서 발생하는 방전신호를 측정하기 위해 test cell을 제작하였는데, 그 개략도가 그림 3에 나와 있다. 방전을 발생시키기 위해 침대 구전극 시스템을 사용하였는데 침전극은 Ogura Jewel사의 침단 곡률반경이 10  $\mu\text{m}$ 인 바늘을 사용하였으며 구전극에는 마이크로미터를 이용하여 침전극과 구전극의 간격을 임의대로 조절할 수 있도록 하였다. 광섬유 센서의 방전신호 응답특성을 확인하기 위하여 방전시 전기적 신호는 전류프루브(Tektronix사)를 사용하여 접지측으로 흐르는 전류를 측정하였으며 오실로스코프 상에서 광신호와 동시 관찰하였다.

표 1. 본 연구에서 사용한 오일의 종류와 특성

	점도 (cSt)	비중	비고
New	8.5	0.86	Transformer
Service aged	19.7	0.83	oil*
100	100	0.965	Silicone oil**
1,000	1,000	0.969	
10,000	10,000	0.975	

\*: 극동정유, \*\*: Shinetsu Co.

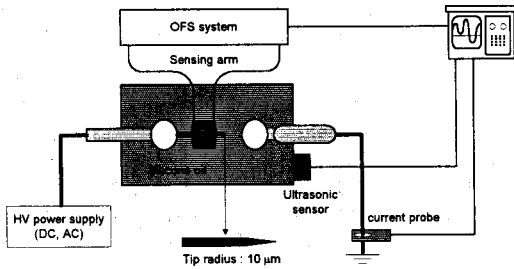


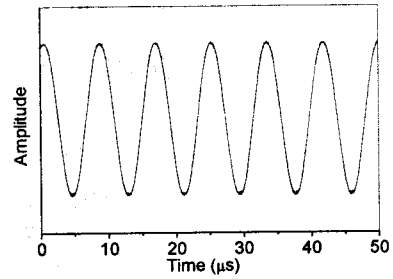
그림 3 아크발생장치의 개략도

### 3. 실험결과 및 고찰

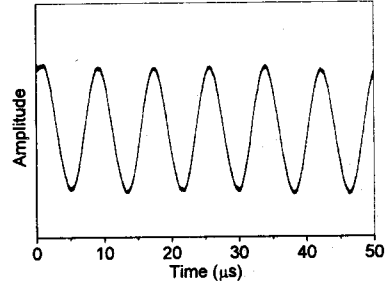
초음파 대역에서 광섬유 센서의 응답특성을 측정하기 위하여 공진주파수가 120-130 kHz인 초음파 진동자를 이용하여 광섬유 센서와의 거리를 5 cm 떨어뜨려 놓고 125 kHz의 초음파를 발생시켰을 때의 파형과 광섬유 센서를 통하여 측정된 신호를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 100 kHz이상의 주파수를 갖는 초음파 신호도 본 시스템을 통해 정확히 측정되었다.

그림 5는 여러 종류의 오일에서 거리에 따른 광신호의 감쇄 특성을 나타내고 있다. 각 오일에서 광신호 크기는 거리에 따라 감쇄함을 알 수 있으며 오일의 점도가 클수록 광신호의 감쇄 정도가 증가함을 알 수 있다. 즉, 같은 광유라 할지라도 신유와 열화유는 표 1에 나타낸 바와 같이 열화가 진행하면서 점도가 증가하므로 다른 음파전달특성을 보임을 알 수 있다. 이는 점도의 증가가 음파의 진행에 내부 마찰로 작용하여 음파전달특성의 저하를 가져온 것으로 생각된다.

그림 6은 초음파 진동자와 광섬유 센서의 거리를 25 cm 떨어뜨려 놓고 10 V<sub>p-p</sub>의 초음파 신호를 가했을 때 절연유의 점도에 따른 광신호의 감쇄 정도를 나타내고 있다. 광신호의 감쇄 정도는 절연유 점도의 로그 스케일과 직선적인 비례관계를 갖는다는 것을 알 수 있다.



(a) Applied voltage (20 V<sub>p-p</sub>, sinewave)



(b) OFS signal (distance: 5 cm)

그림 4. 초음파 진동자로 발생시킨 파형과 광섬유 센서로 측정된 신호

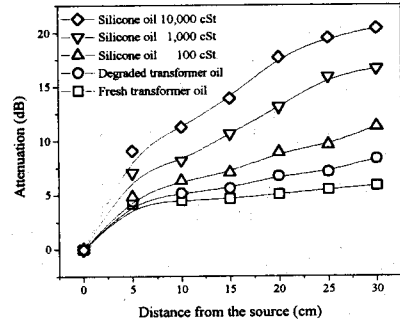


그림 5. 10 V<sub>p-p</sub>의 초음파 신호를 가한 경우 거리에 따른 광신호의 감쇄현상

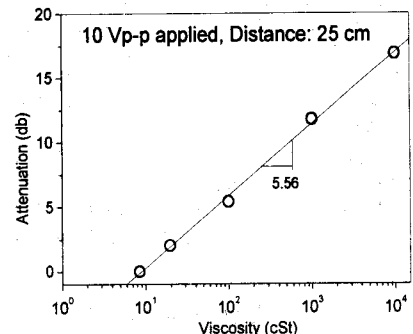


그림 6. 10 V<sub>p-p</sub>의 초음파 신호를 가한 경우 점도에 따른 광신호 감쇄현상

그림 7은 신유와 열화유의 방전 전압에 따른 광신호의 크기를 비교하고 있다. 각각의 오일에서의 광신호의 파형은 형태상으로 비슷하게 나타나지만 이 광신호를 보다 정량적으로 분석하기 위하여 cumulative  $y^2$ 으로 나타낸 결과 신유와 절연유 모두 방전전압이 증가함에 따라 광신호 크기가 증가하였고 비슷한 방전전압범위에서 신유에서의 광신호 크기가 열화유에서 보다 약간 더 큼을 알 수 있다. 따라서 절연유의 점도의 증가함에 따라 방전신호 크기가 달라짐을 알 수 있다. 거리에 따른 방전신호의 변화와 방전신호의 절연유의 점도와의 관계에 대한 보완 연구는 현재 진행중에 있다.

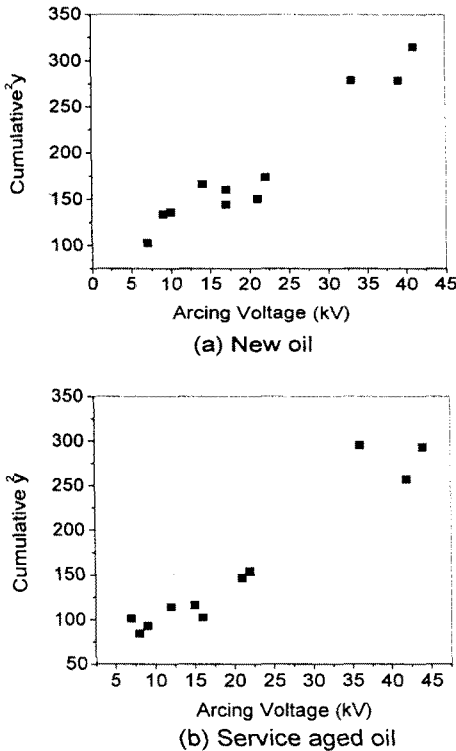


그림 7. (a)신유와 (b)열화유에서의 방전전압과 광신호크기의 상관관계

#### 4. 결 론

1. 본 연구에서는 Mach-Zehnder 간섭계로 구성된 광섬유 센서를 이용하여 절연유에 따른 초음파 신호를 측정하였으며 절연유내에서의 아크방전신호를 측정하였다.
2. 초음파 진동자와 광섬유 센서의 거리가 증가할수록 광신호의 크기는 감소하였으며 절연유의 점도가 증가함에 따라 초음파 신호의 감쇄 정도는 점도의 로그스케일과 직선적인 비례관계를 갖으면서 증가하였다.
3. 각각의 오일에서 방전전압이 증가할수록 광신호 크기는 증가하였고 유중방전신호를 정량적으로 분석한 결과 비슷한 방전전압에서 신유의 방전신호 크기가 열화유의 방전신호보다 약간 크다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] H. Borsi, IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 27, pp. 28-36, 1992.
- [2] E. Gulski and F. H. Kreuger, IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 27, pp. 82-92, 1992.
- [3] R. E. James et al., Proc. 4th ICPADM, Brisbane Australia, pp. 733-735. 1994.
- [4] R. T. Harrold, IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 20, pp. 3-19, 1985.
- [5] J. Fyhr et al., IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 28, pp. 1057-1067, 1993.
- [6] F. Tosso, Fiber Optic Communications Handbook, TAB Professional and Reference Books, McGraw-Hill, PA, USA, 1990.