

간섭계형 Optical Fiber Sensor를 이용한 부분방전 현상에 대한 연구

박윤석*, 이철규*, 이종길**, 이준호***, 신대용*

*호서대학교 대학원 전기공학과 **안동대학교 기계공학교육과 ***호서대학교 전기공학과

Investigation of Partial Discharge Phenomenon Using Interferometric Optical Fiber Sensor

Yoon-Suk Park*, Cheol-Kyou Lee*, Jong-Kil Lee**, June-Ho Lee***, Dae-Yong Shin*

*Hoseo Univ, **Andong National Univ, ***Hoseo Univ

Abstract - 본 논문에서는 전력케이블, 전력용 변압기 및 가스 절연차단기와 같은 전력설비의 열화로 인한 방전현상 검출을 위해서 간섭계형 광섬유 센서를 제작하고, 방전 현상을 측정하였다. 광섬유 센서는 아크릴과 알류미늄 광섬유를 수회 감은 맨드릴형으로 선택하였으며, 간섭계는 Sagnac 간섭계를 선택하여 실험하였다. 방전현상은 절연유내에 방전모의셀을 설치하여 방전현상을 일으켰고, 광섬유 센서로 방전신호를 검출하였다.

또한 광섬유 센서는 광섬유를 따라 도파하는 광의 미소한 위상 변화를 측정하는 광간섭계 기술(Optical interferometric technique)을 이용하여 음장, 자기장과 기계적인 압력장을 전기적으로 변환할 수 있는 지구로서 이것은 음장의 경우 음향 신호가 광섬유에 응력으로 작용하고 그 기계적 응력이 광섬유내 광학적 경로 길이에 영향을 주는 광탄성 효과를 이용하는 것이다.

모든 광섬유 센서는 동작모드에 따라서 외부동작형 센서(extrinsic sensor)와 내부동작형 진성센서(intrinsic sensor)로 구분되는데, 빛이 광섬유를 빠져나와 동일 광섬유나 또는 다른 광섬유로 입사되기 전에 별도 구역에서 변조되는 것을 외부 동작형 센서라고 하며, 빛이 광섬유 내부로 들어가 있는 동안 측정하고자 하는 양에 반응하여 변화되는 것을 내부 동작형 진성센서라고 한다.

1. 서 론

부분 방전은 전력기기의 절연상태에 대한 정보를 외부로 전달해주는 중요한 물리량 중 하나이기 때문에 전력 설비의 진단에 부분방전의 측정방법이 널리 이용되고 있다.

음향 신호를 이용한 방전 신호 검출 방법으로는 통상 압전재료로 만들어진 초음파 센서를 이용하는 데 이 방법은 EMI나 전기적 잡음의 영향을 받지 않고 자석식 고정장치를 이용하여 원하는 부위에 설치가 용이하다는 장점을 가지고 있다 그러나 부분방전에 의해 발생한 음향신호는 초음파 센서에 전달되는 과정에서 매질이나 절연구조물 등에 의해 감쇠되기 때문에 센서로부터 먼 거리의 부분방전 신호를 검출하기 어렵다. 또한 음향 신호가 전달되는 과정에서 방전 발생원으로부터 직접 전달되는 신호와 금속벽과 같은 다른 매질을 통하여 간접적으로 전달되는 신호가 중첩되는 경우 방전크기나 위치 검출이 어려워 질 수 있다.[3]

이에 본 연구에서는 실리콘 절연유 내에 광섬유 센서를 제작 설치하고 실리콘 절연유 내에 부분방전 모의 셀을 설치하여 전압을 가할 때 발생하는 부분방전 신호를 측정할 수 있는가에 대하여 연구하였다. 이를 통하여 광섬유 센서의 유용도에 대하여 고찰을 하였다.

2. 본 론

부분방전(partial discharge)이란 합은 절연체가 파괴되기 전에 국부적으로 발생하는 방전으로 정의된다. 일반적으로 부분방전은 절연체내의 보이드나 강한 전계가 집중되는 곳에서부터 시작되며, 절연시스템 내부의 상태를 외부로 전달할 수 있는 중요한 물리량 중 하나이다. 따라서 전력케이블, 변압기 GIS(Gas Insulated Substation)등과 같은 전력기기에서 발생하는 부분방전을 정확히 측정하고 이를 올바르게 해석하는 작업은 신뢰성 있는 진단법을 개발하고 이를 현장에 적용하는데 있어 대단히 중요한 과제이다.

광섬유(fiber optic)를 이용한 센서의 기술은 최근에 신호처리 및 다중화(multiplexing) 기술의 발전과 함께 음향, 계측, 기계 및 항공 등의 다양한 분야에서 활발히 응용이 되고 있다. 또한 수중 음향 센서로서 광섬유 하이드로폰(hydrophone)은 별도의 전자장비 없이 원하는 신호를 높은 감도로 감지할 수 있는 잇점 때문에 미국 및 유럽 등지에서 매우 적극적으로 연구되고 있다.

Sagnac 간섭계

회전하는 물체의 감지에 이용하는 간섭계측기는 1910년 무렵에 이를 연구한 프랑스 물리학자 Georges Sagnac(1869-1928)의 이름을 따서 Sagnac 간섭계라고 부르고 있다.

Sagnac 간섭계의 기본원리는 빔을 둘로 쪼개고, 서로 반대방향으로 광폐회로를 통과시킨 후, 간섭시키는 것이다. 광섬유 Sagnac 간섭계를 통하여 동작원리를 설명하면, 반도체 레이저인 광원으로로부터 나온 간섭성 빛이 렌즈에 의하여 편광유지 광섬유인 단일모드 광섬유에 입사된다.

3. 실험

3.1 간섭계 구성

본 연구에서 사용된 광섬유 간섭계 센서는 광간섭계의 일종인 Sagnac 간섭계의 원리와 Mach-Zehnder 간섭계의 원리를 이용한 것이다.

본 실험에 들어가기 전에 구성된 광섬유 간섭계가 정확하게 측정되는지를 조사하기 위하여 구성된 광섬유 간섭계에 PZT를 연결하여 실험하였다.

레이저 광원은 파장 1550nm의 레이저 다이오드를 사용하였다. Sagnac 간섭계는 레이저 다이오드에서 방출된 레이저 광이 2×2 광결합계를 통하여 Sagnac 간섭계의 루프로 입력된다. 또한 Mach-zehnder 간섭계는 레이저 다이오드에서 방출된 레이저 광이 1×2 광결합계를 지나 기준 암(50m)과 센싱 암(27m)을 거쳐 2×2 광결합계로 입사된다.

검출된 광섬유 신호의 주파수가 PZT에 인가한 신호와 거의 일치하고 있으므로 이 결과로부터 구성된 광섬유 센서가 정상적으로 작동하는 것을 확인 할 수 있다.

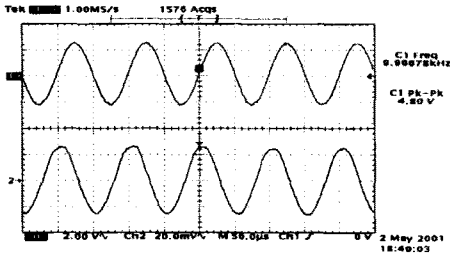


그림 1 PZT에 인가된 정현신호와 Sagnac 간섭계의 광섬유센서의 검출 신호

CH1 : PZT에 인가한 신호
CH2 : 필터를 거친 광섬유 신호

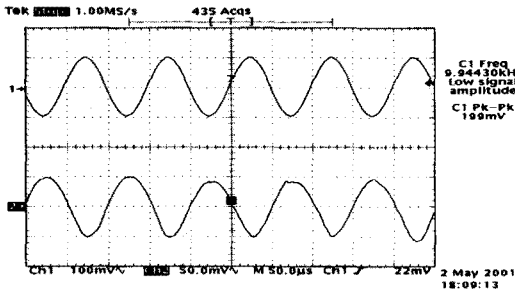


그림 2 PZT에 인가한 정현신호와 Mach-zehnder 간섭계의 광섬유센서의 검출 신호

CH1 : PZT에 인가한 입력 신호
CH2 : 필터를 거친 광섬유 신호

3.2 광섬유 Sagnac 간섭계와 Mach-Zehnder 간섭계의 음파 검출

먼저 본 실험에 앞서 절연유에서 광섬유 맨드릴형 센서가 음파신호를 제대로 받아 들이는지 확인하기 위해서 절연된 프로젝터를 유중 속에 넣어 음파 신호를 발생시켜 광섬유 맨드릴형 센서가 신호를 검출 하는지 확인하였다.

본 실험에서 사용되어진 절연유는 실리콘유로써 100cst인 시료를 사용하였고 프로젝터에서 인가된 입력 신호는 5kHz의 정현신호를 넣었다.

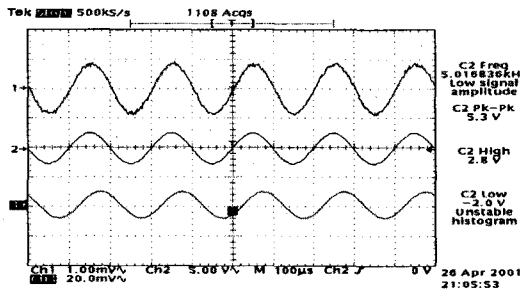


그림 3 절연된 프로젝터에 인가한 정현신호와 Sagnac 간섭계와 초음파 센서에서 검출된 신호

Ch1 : 초음파 센서 신호, Ch2 : 입력신호,
Ch3 : 광섬유 센서 신호

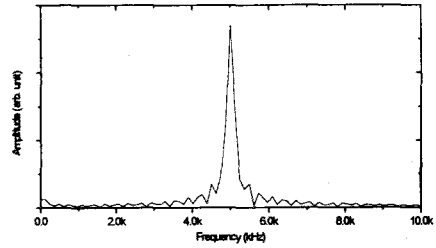


그림 4 Sagnac 간섭계에서 맨드릴에서 감지한 신호에 대한 FFT 분석

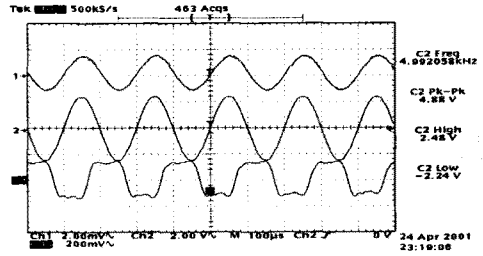


그림 5 절연된 프로젝터에 인가한 정현신호와 Mach-zehnder 간섭계와 초음파 센서에서 검출된 신호

Ch1 : 초음파 센서 신호, Ch2 : 입력 신호,
Ch3 : 광섬유 센서 신호

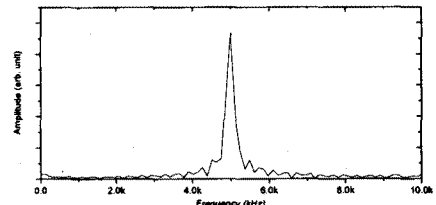


그림 6 Mach-zehnder 간섭계 맨드릴에서 감지한 신호에 대한 FFT 분석

실험에 사용된 아크릴 맨드릴형 광섬유 센서에 감은 광섬유의 길이는 34m 이고, 기준 암의 광섬유의 길이는 50m 이다. 각 간섭계의 신호는 외부 환경에 민감하고, 광신호 noise가 있어서 P.D (Photo detector) 뒷단에 Low pass filter를 설치하였고, Mach-Zehnder, Sagnac 간섭계 모두 50kHz의 Cut-off 주파수를 가진 필터를 적용하여 신호를 검출하였다.

3.3 방전 발생장치에 의한 방전 실험

방전 실험은 그림 3-7과 같이 실험을 구성하였고 방전 모의 셀은 평판 대 평판으로 시료는 두께 약 0.5mm 정도를 사용하여 부분 방전이 일어나도록 유도했다. L.D(Laser Diode)는 1550nm를 사용하였다. 신호의 측정에는 부분 방전시 사람의 귀에도 들리는 가청 주파수 대역의 신호를 측정하였다.

광섬유 맨드릴은 아크릴형 맨드릴과 알루미늄 맨드릴 2가지 종류의 맨드릴을 사용하였고, Sagnac 간섭계의 광섬유 총길이는 약 150m 정도이고 맨드릴에 감은 광섬유의 길이는 아크릴은 34m 이고 알루미늄 30m 정도이다.

L.D에 Laser가 나오면 Sagnac 간섭계는 2X2 coupler에서 50:50으로 Laser가 나누어져 맨드릴로 들어가게 된다. 부분방전 발생장치에서 부분방전시 발생

되는 음파가 발생하면 그 신호를 맨드릴에서 받아 들여 그 신호를 분석하였다. P.D 끝단에 신호처리는 cut off 주파수 50kHz인 Low Pass filter를 달았다.

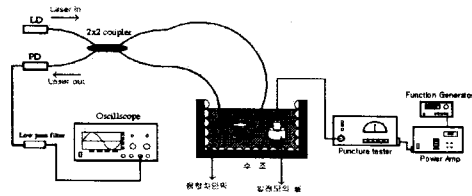


그림 7 부분방전 신호 측정을 위한 Sagnac 간섭계 실험 구성도

부분방전이 발생하는 방전모의 셀은 수조 안에 설치 되었고 인가 전압은 Function Generator에서 나오는 신호를 Power amp를 통해서 증폭시켜 상용전원 110V 60Hz의 신호를 Puncture Tester로 인가 시켰다. 그리고 인가된 신호는 다시 Puncture Tester를 통해 약 6kV의 고전압으로 증폭시켜 방전모의 셀로 인가 시켰다. 방전모의 셀 사이에는 약 0.5mm의 시료를 두어 부분방전을 일으켜 신호 검출을 하였다.

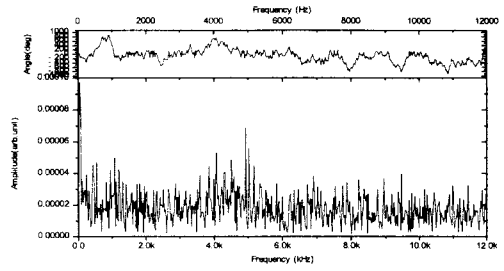


그림 10 아크릴 맨드릴에서 감지한 신호에 대한 FFT 분석

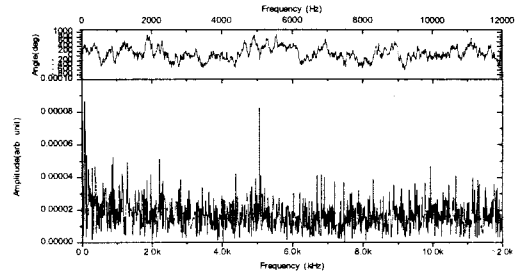


그림 11 알루미늄 맨드릴에서 감지한 신호에 대한 FFT 분석

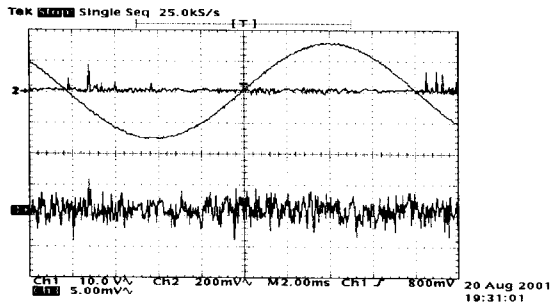


그림 8 아크릴 맨드릴에서 잡은 방전 신호

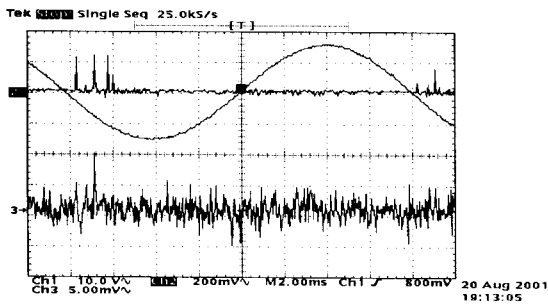


그림 9 알루미늄 맨드릴에서 잡은 방전 신호

3.4 광섬유 장비 및 소자

장 비	회 사	사 양
LD	THORLABS	1550nm
Oscilloscope	Tektronix	500MHz
초음파 센서 (SE1000-H)	DECI	0~400kHz
PD	MRVCI	Wavelength 1550nm
Function Generator	Hung Chang	
프로젝터	삼미	1~15kHz
Coupler	E-TEX	1by2, 2by2 Coupling ration 50/50

4. 결 론

1. 본 연구에서 사용되는 간섭계가 제대로 작동하는지 확인하기 위해서 간섭계를 구성 후 PZT를 연결하여 관찰하였다. PZT에 교류 전압을 가하여 광파이버 변형에 따른 광 신호를 적절히 얻어, 실험을 위해 구성된 간섭계가 본 실험에 적합함을 확인하였다.
2. 절연유 속에서 자체 제작한 맨드릴이 음파를 검출하는지를 확인하기 위해서 본 연구에서는 절연유 속에 절연된 프로젝터를 삽입하여 음파를 발생시켜 각 간섭계별로 신호를 받아 보았고, 각 간섭계 별로 맨드릴이 받아들이는 신호를 비교 검증하였다.
3. 부분방전 실험은 평판대 평판을 이용하여 실험하였고 Sagnac 간섭계는 부분방전시 발생하는 음파신호를 잘 검출하였다.

4. 본 실험을 통해 Sagnac 간섭계는 가청주파수 대역의 방전신호를 잘 검출하였고 향후 Acoustic emission Sensor를 대체할 만한 효과적인 Fiber Optic Sensor임을 확인하였다.

5. 향후 Mach-Zehnder 간섭계의 신호 검출이 미약한 원인과 고주파 대역에서 각 간섭계의 안정화 기법에 대해 연구가 필요할 것으로 판단된다.

6. 향후 맨드릴의 크기를 조정하면서 실험하여 보다 실제적으로 적용할 수 있는 맨드릴 센서의 설계에 대한 적합성 연구가 필요하다.

7. OTDR(Optical Time Domain Reflectometry)의 분포형 센서 기술로 외부 가진의 정확한 정보를 얻을 수 있는 기술이 확보되면 하나의 맨드릴형 센서보다 TDM(Time Division Multiplexing) 방식의 배열형 광섬유 맨드릴형 센서가 적합할 것이다.

본 연구는 기초전력공학공동연구소(대전력시스템기기 진단 연구센터)의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Detection and Location of Partial Discharge in Transformers.
'Hee-ro Kwak, Jae-Chul Kim, Sun-Ju Hwang'
'Journal of KIIEE 1992 8
- [2] Measurement of Discharging Signal and Its Attenuation in Insulation Oils by an Optical Fiber Sensor
'Tae Toung Kim, Jin Ho Nam, Kwang S Suh,
Journal of KIEEME
- [3] 광섬유 센서를 이용한 유증방전 신호 검출
이준호 이종길 김상준 남진호 대한 전기학회 1999년 7월
- [4] Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment
Dr F.H. Kreuger Butterworths
- [5] Industrial High voltage
F.H Kreuger 1991년 Delft University Press
- [6] 전력기기의 부분방전 진단
이준호 전기전자재료, 1998년
- [7] 광섬유 Sagnac 간섭계를 이용한 방전현상 검출
김상준 고려대학교 박사 논문, 2000
- [8] Mathematical Analysis of Partial Discharge Signals
B.T Phung, T.R. Blackburn, Z. Liu and R.E. James
School of Electrical Engineering University of New South Wales, Australia
- [9] 끝단이 막힌 중공 원통형 광섬유 하이드로폰의 감도 해석
이종길 윤형규 서인창 한국소음진동학회지 제 6권 4호, 1996년
- [10] 2개의 광섬유 청음기 배열의 수중음향 감지특성 연구
이종길 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, 1999년
- [11] 안전감시용 광섬유 격자 그물망 구현에 관한 연구
이철규 호서대학교 석사 논문, 2000
- [12] Fiber Optic Smart Structures ERIC UDD Blue Road Research, 1995
- [13] Formulas for Natural Frequency and Mode Shape
Krieger Publishing, 1984