

광계측 시스템을 이용한 유,기중 코로나 방전의 전계 변화 측정 및 비교분석

마지훈, 류철휘, 강원종, 장용무, 구지은
한양대학교, EM&C

Analysis and the measurement of the variation of electric field in air and oil using optical measuring system

Jihoon Ma, Cheolhwi Ryu, Wonjong Kang, Yongmoo Chang, Jayoon Koo
Hanyang University, EM&C

Abstract - Since more than two decades, the conventional PD detecting systems have been employed in order to detect the partial discharges occurring inside the HV power apparatus for their diagnosis by use of different type of detection such as acoustic and UHF detection method. Regardless of their wide on-site application, a certain number of technical inconveniences have been disclosed as follows : multistage amplification, large volume, susceptible to external noise and high price. In this respect, the optical measurement techniques are widely proposed in these days in this concerned field ascribed to the following advantages : immune to external EMI noise and broad band response of the Pockels cell covering from DC to GHz. However, the reliability of several proposed techniques enabling to measure the electric field inside the large high power apparatus has not yet been well approved

In this work, an optical measuring system, based on the Pockels effect, has been developed for measuring the field variation due to the corona discharges occurring in air and in oil. This system consists of He-Ne laser, single mode optical fiber, multi mode optical fiber, polarizing film, Y-cut LiNbO₃ cell, photo detector, digital oscilloscope and personal computer with GPIB. For this purpose, optical probe has been specially designed and realized and put into the needle-plane electrode. Afterward, same measurement is carried out in oil. We demonstrate the characteristic of the optical measuring system and the measurement results.

1. 서 론

사회가 산업화 되어져가고 전력수요가 증가함에 따라 초고압, 대전력 설비와 같은 대규모 전력계통 설비들이 점차 증가하고 있으며, 이러한 설비들의 고장과 계통에서의 사고는 전력수급상의 문제 등 파급 효과가 크다. 전력계통에서의 고장이나 사고 발생 시 부분방전이 발생하는 지점에서의 사고가 가장 커다란 문제가 되고있다. 따라서 부분방전신호를 검출하기 위한 측정방법이 많이 사용되고있다. 부분방전신호를 검출하기 위한 측정방법에는 전기적 측정 방법과 초음파 측정 방법이 있다. (1)(2) 전기적 측정 방법으로는 유압 변압기의 경우 부분방전에 수반되는 전류펄스를 증성점 접지선에 부착한 로고우스키코일(Rogowski)이나 부싱의 텀으로부터 발생하는 부분방전신호를 검출하는 전류 측정 방법 등이 있다. 이들 방법의 경우 부분방전 전기신호를 직접 측정할 수 있으나, 부분방전 발생위치의 추정이 불가능하다. 한편 초음파 측정 방법은 탱크외벽에 부착한 초음파 센서를 이용하는 측정법으로 부분방전 발생위치의 추정이 가능하지만, 부분방전에 의하여 발생된 초음파를 측정하는 센서의 출력신호의 크기가 매우 미약한 단점이 있다. 위의 전기적, 초음파적인 부분방전 측정 기술은 몇 가지 장점에도 불구하고, 여러단계의 증폭장치가 필요하며 측정장비가 크고 고가이거나 외부 노이즈의 영향이 심각하게 나타나는 등 여러 가지 문제로 인해 현장 적용에 상당한 어려움이 있는 것으로 인식되고 있다. (3) 한편, 광계측 시스템을 이용한 측정법은 절연 및 감음 문제를 완전히 해결할 수 있을 뿐만 아니라 장비의 소형화가 가능하여 과거에 고전압 또는 대전류 측정에 이용되어 왔다. (4) 또한 전계의 시간적인 변화에 대한 응답 특성이 매우 좋으며 측정된 광신호 정보는 광파이버를 통하여 전달되므로 외부 전자기장에 의한 영향을 받지 않는다.

본 연구실에서는 초고압 설비 내부에서 발생하는 부분방전을 직접 검출하기 위하여 전기광학 효과를 기초로 한 새로운 레이저 부분방전 진단 시스템을 국내의 최초로 제안하여 연구한 결과를 발표하였다. (5)(6) 이러한 광계측 시스템을 이용하여 본 논문에서는 자체 제작한 유,기중 코로나 발생 챔버에서 나온 두 가지 형태의 방전을 검출하여 그에 따른 결과를 비교, 분석 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

유중과 기중에서 코로나 방전 발생시의 전계 변화 측정을 위한 광계측 시스템의 개략도는 그림 1과 같다.

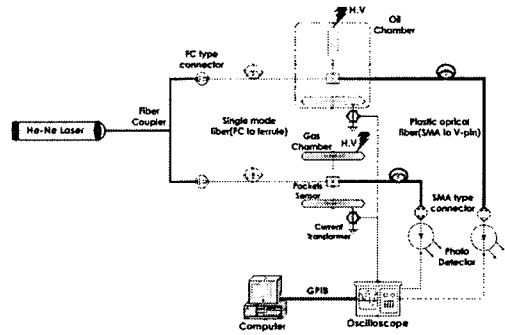
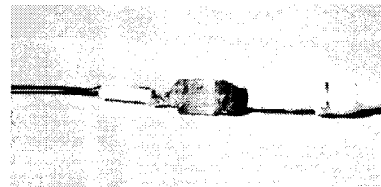


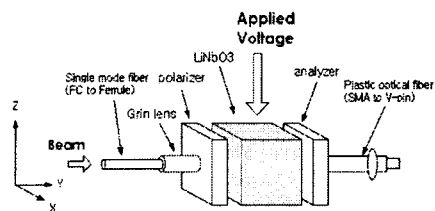
그림 1. 실험 시스템의 개략도

위에 그림에서 보면, 광원은 He-Ne 레이저를 사용하였고, 단일모드 광섬유 커플러는 He-Ne 레이저에서 나온 광원을 두 개로(50:50)나누어 두 개의 프루브 PD-전계센서(이하, 센서)로 광을 전송시킨다. 이중 하나의 센서는 기중챔버 내에서 방전 발생시의 전계변화를 측정하고, 다른 하나는 유중챔버 내에서 방전 발생시의 전계변화를 측정한다.

유,기중 코로나 방전 검출에 사용된 proto-type 센서는 그림 2-(a)의 사진과 같다. 본 연구에서 설계 제작된 포록스 센서는 크기 5mm×5mm×5mm인 정육면체로 횡형 모드 응용을 위해 X-Z면이 연마된 Y-cut LiNbO₃ 결정과, 상용 diachronic 편광기를 이용하여 5mm×5mm 크기로 가공하여 편광기와 검광기로 구성되었고, UV curing epoxy를 사용하여 편광기-LiNbO₃결정-검광기로 구성되도록 제작하였다. 레이저 광원 입력을 위한 단일모드 광섬유의 단말은 절연체 패들(ferrule)로 가공하였고 센서부와의 접착은 마찬가지로 UV curing epoxy로 하였다. 그림 2-(b)에서와 보이는 바와 같이 단일모드 광섬유의 패들 처리된 부분과 센서 사이에 grin 렌즈를 삽입하여 센서부와 UV curing epoxy로 물딩하였다.



(a) 센서부 구성 사진



(b) 센서부 구성도

그림 2. 제작된 프루브 PD-전계 센서

유중챔버의 상부전극은 유중에서의 코로나 발생을 용이하게 하기 위해 봉전극 형태로 가공했으며, 기중챔버의 상부 전극은 로고스키 전극 형태로 가공한 동재 원형 평판 전극형태로 가공했다. 또한 하부 전극은 두 챔버 모두 같은 동재로써 정사각 평판전극형태로 가공하였다. 전압 인가측 즉, 상부 원형전극 중심에는 지름 1mm, 침단 곡률반경 3 μ m의 스테인레스 제질의 침전극을 삽입하였고, 하부 사각전극에는 상부 침전극과의 높이 간격을 조절할 수 있도록, 상부측은 고정된 상태에서 센서부와 하부전극이 X-Y축으로 이동가능 하도록 제작 하였다. 그림 3에서의 같이 상부 전극에 Noise free 변압기로 전압(HV)을 인가하여 유,기중 코로나를 발생시키고, 센서와 방전원과의 거리를 변화(수직(Z),수평(X-Y))시키면서 방전량을 측정하였다.

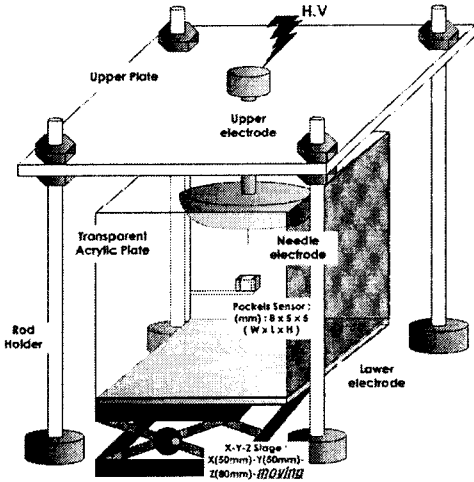
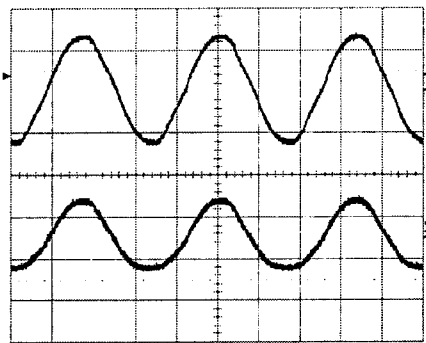


그림 3. 자체 제작한 챔버의 구성도

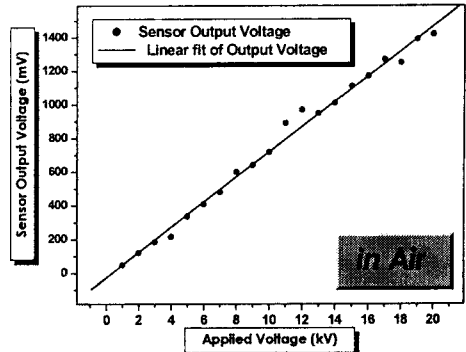
2.2 결과 및 고찰

2.2.1 유,기중 코로나 방전에 대한 센서의 선형성

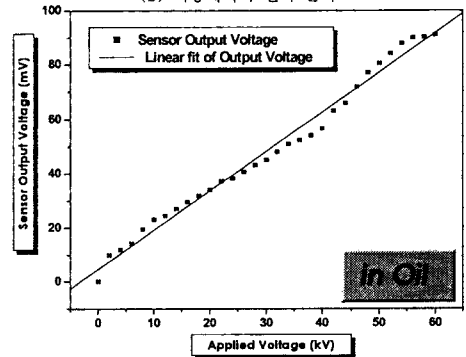
유, 기중 내의 평동전극 챔버 사이에 센서를 삽입하고 상부전극과의 초기 거리를 3cm로 고정한 후, 인가전압을 기중에서는 1kV부터 20kV 까지, 유중에서는 1kV에서 60kV까지 1kV씩 증가시키면서 센서의 출력값을 측정하였다. 아래 그림 4 에서 보이는 바와 같이 양쪽 모두다 전압이 인가됨에 따라서 정비례하게 센서의 출력값이 커져가므로 유,기중내에서의 센서의 선형성을 확인하였다. 그림 4-(a)는 방전개시 전에 인가전압파형과 각각의 센서의 출력파형이고, 그림 4-(b)는 기중에서의 인가전압(1kV~20kV)에 대한 센서 출력값이며, 그림 4-(c)는 유중에서의 인가전압(1kV~60kV)에 대한 센서의 출력값이다. 그림에서의 오차는 외부 인가전압의 변동 성분과 측정오차로 발생되는 것으로 생각된다.



(a) 인가전압 파형(ch 1), 센서 출력 파형(ch 3)비교(유중)



(b) 기중에서의 센서 출력

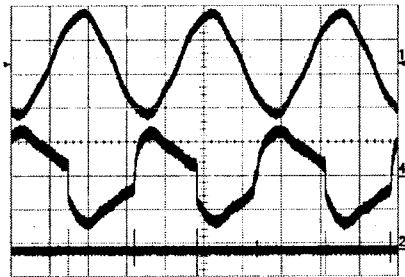


(b) 유중에서의 센서 출력

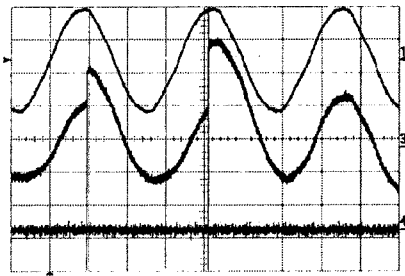
그림 4. 인가전압에 대한 센서의 출력

2.2.2 코로나 방전 발생시의 방전량 및 방전 형태 비교

그림 5-(a)는 기중 챔버 내에서 침전극으로부터 30mm위차에서 약 200pC의 방전 발생시, 센서의 출력파형과 CT의 출력을 나타낸 것이다. 마찬가지로 그림 5-(b)는 유중 챔버 내에서 침전극으로부터 30mm위차에서 약 1nC의 방전 발생시, 센서의 출력파형과 CT의 출력을 나타낸 것이다.



(a) 기중 코로나 방전 검출 파형



(c) 유중 코로나 검출 파형

그림 5. 부분방전이 발생될 때의 센서들의 출력 특성 비교 (상: 인가 전압, 중: PD-전계센서 출력 파형, 하:상용 CT 출력 파형)

위의 그림에서 Ch. 1은 인가전압(8kV)파형, Ch. 3는 센서로 검출한 코로나 방전의 전계 변화 파형, Ch. 4는 상용 CT로 잡은 방전 펄스 파형이다. 기중과 유중에서의 코로나 방전은 각기 다른 전압에서 일어난다. 당연히 절연내력이 높은 유중에서의 코로나 방전 개시전압이(24kV) 기중에서의 방전 개시전압(8kV) 보다 훨씬 늦게 일어났다. 그러나 코로나 방전의 개시전압은 여러 물리적인 차이에 의해서 다르게 나타난다.

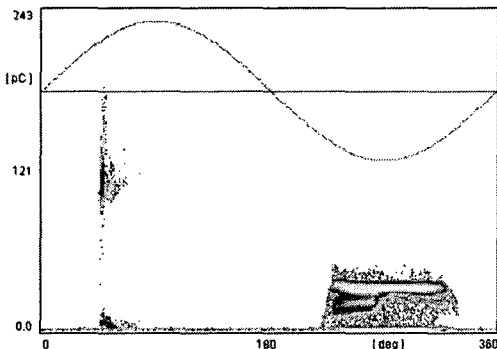
방전이 개시됐을 때의 더 정확한 방전형태와 방전량을 알아보기 위해서 그림 6에서, 현재 상용화되고 있는 PD 검출기(ICM system)를 이용하여 측정을 하였다. 그림 6-(a)는 기중에서의 코로나 방전형태 및 방전량을 그림 6-(b)에서는 유중에서의 코로나 방전형태 및 방전량을 나타내고 있다.

그림 5과 그림 6을 보면 기중에서의 코로나 방전과는 달리 유중에서의 코로나 방전은 정극성 부분에서 상당히 크게 발생함을 알 수 있다. 그림 5-(b)의 센서로 검출한 전계변화 형태를 보더라도 정극성에서의 전계변화가 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 기중에서의 코로나 방전형태나 방전량 등은 과거 제출한 논문에서 여러번 소개가 된바 있다. 이번에 실험한 유중에서의 코로나 방전의 형태나 방전량은 기중과는 확연히 다름을 알 수 있었다. 절연내력이 강한 절연유로 상부전극이 감싸 있으므로, 방전개시가 기중에서 보다 훨씬 늦고 부극성에서 작은 방전량의 펄스가 생기자마자 갑자기 엄청 큰 양의 펄스가 정극성에서 나타난다. 포켈스 센서로 검출한 기중과 유중에서의 코로나 방전의 차이점을 아래의 표 1에서 보면 알 수 있다.

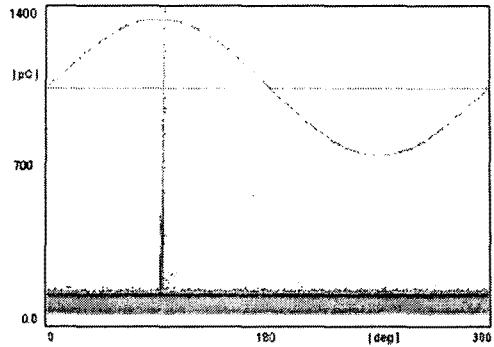
두 방전의 비교는 앞에서 언급했었던 것처럼 각각의 물리적인 조건에 따라 다르게 나타날 수 있다. 본 실험에서는 각각 3 μ m볼방경을 가진 절연극을 사용하였고, 침플과 하부전극과의 거리를 6cm로 하였다.

표 1. 유,기중 코로나의 차이점

비교	기중코로나 방전	유중코로나 방전
개시전압	8kV	24kV
방전량	100~300pC	800~1500pC
방전형태 (ICM system)	약 $\pi/3$ 지점에서 정극성코로나가 크고 폭이 좁게, $4\pi/3$ 지점에서 부극성코로나가 작고 폭이 좁게 나타남	$\pi/2$ 지점에서 정극성 코로나가 매우 크게 간헐적으로 나타남
방전형태 (Pockels Sensor)	방전위상이 정.부극성 모두 일치하고 방전이 일어나는 전계파형이 정.부극성은 직각으로 기울어져서 하강함.	방전위상 일치하고 정극성에서의 전계파형이 급격히 직각으로 상승함. 방전크기에 따라서 상승높이도 차이가 있음



(a) 기중코로나 파형



(b) 유중코로나 파형

그림 6. ICM으로 검출한 PD 파형

3. 결 론

본 연구에서는 최근 급증하고 있는 초고압, 대전력 설비에서의 사고 원인이 될 수 있는 부분방전을 검출하여 미연에 사고를 예방하기 위하여, 레이저를 이용한 프루브 PD-전계 센서를 국내의 최초로 설계 제작하여 부분방전 검출용 광 계측 시스템을 구성하였다. 이를 이용하여 전력설비에서 가장 흔히 나타날 수 있는 코로나 방전에 대한 검출 특성을 알아보기 위하여 유,기중 챔버를 자체 제작하여 실험을 행하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 유중과 기중 모두에서 인가전압에 따라서 비례하는 센서 출력을 나타내는 센서의 선형성을 보여주었다.

둘째, 코로나 방전에 대하여 상용화된 PD 검출 시스템과 본 연구에서 제안된 광 계측 시스템의 출력 결과를 비교하여 볼 때, 유,기중 코로나 방전을 검출한 결과 이들 계측 장비들에서 검출된 방전의 위상과 센서에서 검출한 방전의 위상이 정확히 일치하고, 또한 장비들과 센서에서 나타나는 방전량도 정량적인 추측이 가능하였다.

이러한 결과에서 프루브 PD-전계센서로 여러 고전압 대전력 기기에서의 PD검출 및 해석의 가능성이 보였으며, 앞으로는 이러한 광측정 시스템이 실제 현장에서의 신뢰할 수 있는 정량적인 측정이 가능케 하는 연구가 진행중이다. 또 광센서로 검출한 부분방전 패턴들의 실시간 전송 및 진단이 가능케 하는 연구도 진행중이다.

감사의 글

본 연구는 기초전력공학 공동연구소 및 한양대학교 전자재료 및 부품 연구센터의 지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사 드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.P.Steiner, "Commercial PD Testing", IEEE Trans. EI, Magazine, Vol.1, pp.20-33, 1991
- [2] E.Howells et al., "Partial Discharge Handbook", Physical Acoustics Corporation, pp. 1-1 ~9-11, 1989
- [3] J.H.Capenter, J.S.Kresge and C.B.Musick, "Ultrasonic Corona Detector in Transformer", IEEE Trans. PAS, VOL.84, nO.4, pp.647~651, 1965
- [4] T.Takahashi, T.Kouno and K.Hidaka, "New Optical-waveguide Pockels sensor for measuring electric fields", 9th Int. Symp. on High voltage Engineering, vol. 8, pp.8356-1-4, 1995
- [5] J. Y. Koo, Y. M. Chang, W. J. Kang, "A possible application of the PD Detection technique using electro-optic Pockels cell with nonlinear characteristic analysis on the PD signals", CEIDP 2000, Vol II, pp.531~ 534, 2000
- [6] W. J. Kang, Y. S. Lim, Y. M. Chang, J. Y. Koo, "A possible non-contact measuring technique for the variation of the electric field due to corona discharge by use of Pockels sensor", CEIDP 2001, pp. 127 ~ 131, 2001