

포켈스 센서를 이용한 부분 방전 측정 기술의 GITR 적용

이재호*, 장용무*, 구자윤*, 박기준**, 이영삼***
 *한양대학교 전기공학과, **전력 연구원, ***(주)피에스디테크

An application of the Novel Method to Detect Partial Discharges for GITR using Pockels Sensor

Jae-ho Lee*, Yong-moo Chang*, Ja-yoon Koo*, Ki-jun Park**, Young-sang Lee***
 *SMDT Lab. Hanyang Univ, **KEPRI, ***PSD Tech

Abstract - In this paper, a novel method has been proposed by use of HY-Pockels sensor for the detection of PD in GITR(Gas Insulated Transformer) in order to improve reliability and to overcome the shortcomings of other techniques which are currently employed. For this work, different types of the test specimen, simulating the winding of the real GITR, have been designed and fabricated to generate the PD. And then, the detection of PD has been realized by conventional methods according to IEC 270 and also the proposed novel sensor as well. Afterwards, their results are well compared to understand the correlation between the nature of the defects in the winding and their PD pattern.

1. 서 론

최근 급증하는 전력소비를 충족시키고 계통의 안정적인 운영을 위하여 전력계통 및 설비들은 초고압 대용량화로 설치 운영되는 추세에 있어 각종 설비들에서 발생될 수 있는 여러 가지 유형의 사고 가능성이 증가하고 있다. 따라서 전력설비에 대한 사고 예방이나 운전의 신뢰도 향상을 위한 상시 예방진단 시스템의 중요성과 필요성은 더욱 더 요구되고 있다. 설비진단을 위한 여러 가지 방법들이 연구되고 있으나, 그 중에서 부분 방전 검출을 이용하는 진단방법은 여타 다른 진단방법에 비하여 많은 장점을 지니고 있어 광범위하게 연구, 적용되고 있다 [1][2].

부분방전이 발생될 때 수반되는 부분방전전하, 초음파, 전자기파, 빛 등의 물리량을 검출하기 위하여 다양한 센서들이 적용되고 있다: CT, 초음파 센서, UHF 센서, 광소자센서. CT 센서는 부분 방전에 의한 전기적인 신호를 검출하나, 그 발생위치 추정이 현실적으로 어렵다. 반면, 초음파 및 UHF 센서는 부분 방전 발생위치 추정이 가능하나, 센서의 출력력이 미약하여 측정된 신호를 잡음과 분리 구분하기 위하여 다단계의 증폭 및 필터링 장비들이 필요할 뿐 아니라 외부 전자기장에도 매우 약하여 현장 적용에 어려움이 많다. 그러나, 최근에 레이저 및 광섬유를 이용한 여러 가지 광소자 센서가 제안되어 기존의 문제점 해결과 현장 적용 신뢰성 향상을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다.[3][4]

본 연구실에서는 초고압 설비 내부에서 발생하는 부분 방전을 직접 검출하기 위하여 전기 광학 효과에 기초를 둔 레이저 부분 방전 진단 시스템을 국내외적으로 최초로 제안하고 기초연구 결과를 보고한 바 있다.[5][6] 전

기 광학(포켈스) 효과는 전계가 인가되면 비선형 전기광학 결정의 굴절율이 전계변화에 따라 변화되어 결정을 통과하는 레이저광이 변조되는 현상이며, 일반적으로 전압 또는 전계 측정을 위한 광분압기등에 많이 적용되고 있다.[7] 전압(전계) 측정에 포켈스소자(LiNbO₃결정)를 이용하는 이유는 다음과 같다[8]:

- 가) 포켈스 소자의 유전율이 매우 크고 전계의 변화에 대한 응답특성이 우수
- 나) 광파이버 이용 신호전달에 의한 외부전계 영향 최소화 및 센서의 소형화 가능.
- 다) DC부터 GHz까지 넓은 주파수 응답특성.

따라서, HY-Pockels 센서를 이용하여 GITR(가스 절연 변압기:Gas Insulated Transformer) 권선 사이에서 발생되는 부분 방전을 검출하기 위하여 실제의 GITR에서 적용된 권선을 사용하여 부분방전을 발생시킬 수 있는 샘플을 설계 제작하였다.

2. 본 론

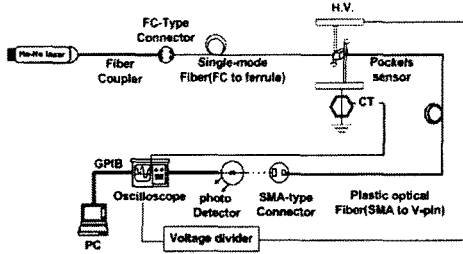
2.1 실험 장치 및 방법

GITR의 절연지를 감은 권선과 권선간의 R-Spacer에서 발생하는 부분 방전을 검출하기 위한 광측정 시스템의 개략도는 그림 1-(a)과 같다.

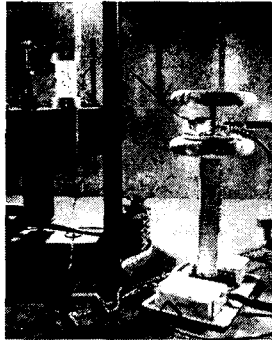
He-Ne 레이저(632.8nm) 광원, 단일모드 광섬유(core: 4 μ m, clad: 125 μ m), 커플러, 및 HY-Pockels 센서를 사용하였다. 부분방전에 의하여 센서에 인가된 전계가 변화하면, 편광기로 선형 편광된 입사광은 Pockels 결정을 통과하면서 변조된다. 변조광은 검광기(analyzer)와 접속된 플라스틱 광섬유(코어1000 μ m)로 전송된 후 광검출 센서에 의하여 전기신호로 변환되어 디지털 오실로스코프로 및 PC로 전달 수집된다. 모든 검출 및 측정 은 전자기 차폐실(전기장 1kHz~1GHz:100dB, 자기장 100kHz~1GHz:100dB) 내부에서 Noise free H.V Transformer (Haefely Trench사 PZTL 100kV 0.25A)와 부분방전 검출기(Haefely TE-571)를 이용하였다.

그림 2-(a),(b)와 같이, 설계 제작된 HY-Pockels 센서는 크기 5mm×5mm×5mm인 정육면체로 횡형 모드 응용을 위해 X-Z면이 연마된 Y-cut LiNbO₃ 결정과 상용 Diachronic 편광기를 다이아몬드 톱을 이용하여 5mm×5mm 크기로 절단 가공한 편광기와 검광기로 구성되었고, UV curing epoxy를 사용하여 접착하였다. 레이저

광을 센서에 최적으로 입력시키기 위하여 단일모드 광섬유의 단말을 절연체 페룰로 처리 가공하였고 센서와 단일 모드 광섬유와의 접속부에 레이저 광의 초점을 검광기에 집중시키기 위해서 GRIN 렌즈를 삽입하여 융합 접착시켰다.



(a) 실험 시스템의 개략도

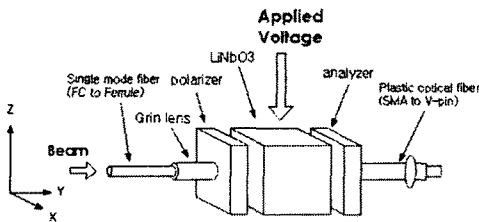


(b) 실제 실험 사진

그림1. 실험 시스템 구성도



(a) HY-Pockels 센서 사진



(b) HY-Pockels 센서 구성도

그림2. 제작된 HY-Pockels 센서

GITR의 권선(3mm×5mm, 동 각선) 간의 부분방전을 임의로 발생시키기 위하여 그림 3과 같은 권선모형을 자체적으로 설계 제작하였다. 권선절연은 실제의 GITR에서 사용된 NOMEX T-410 절연지를 사용하여 9중 절연 처리 하였으며, 사진과 같이 절연지의 풀림을 방지하기 위하여 KAPTON 테이프를 사용하여 고정시켰다. 또한 권선간의 이격거리를 유지시키기 위하여 실 상용제품에

적용된 에폭시 소재의 R-Spacer(폭 10mm)를 권선사이에 삽입하여 테플론 테이프로 고정시켰다. 권선의 단말은 그림과 같이 별도 제작한 코로나 방지용 구전극으로 처리하였다. R-Spacer로 처리된 권선간격은 10mm이며, 절연권선사이에 HY-Pockels 센서를 삽입하여 권선, 절연지, 및 R-Spacer 등에서 발생하는 부분방전을 검출하였다.

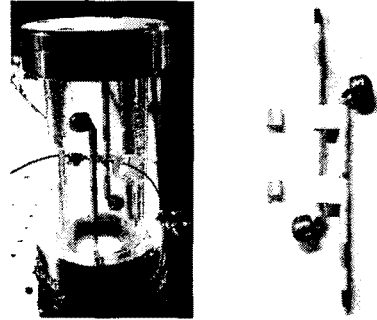


그림3. 자체 제작한 GITR 권선 모형

2.2 실험 결과 및 고찰

권선간에 11kV의 전압을 인가하여 부분방전이 발생되지 않은 상태에서 측정된 인가전압 파형(Ch-1) 및 HY-Pockels 센서의 출력파형(Ch-3)은 그림 4와 같으며, 파형 및 위상이 서로 일치 되고 있음을 보여주고 있다. 그러나, HY-Pockels 센서가 전압을 측정하는 바이어스용 광학소자가 아니고 전계변화량만을 검출하여 분석하는 PD 검출센서이고 또한 센서구조를 단순화시켰기 때문에 Ch-2의 부극성 피크 부분에 미소한 왜곡이 발생한 것으로 사료된다.

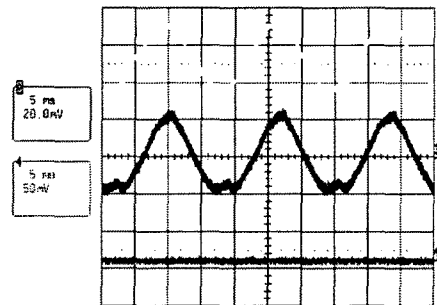
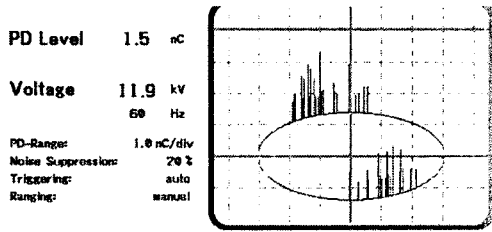
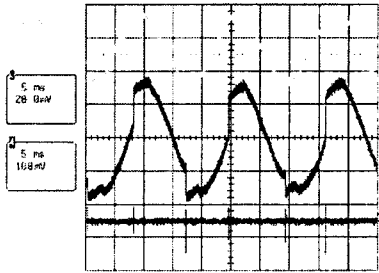


그림 4. 인가전압 파형(Ch1), HY-Pockels 센서 출력파형(Ch3) 비교

그림 5(a)는 실제 권선에 절연지로 9중 절연한 샘플에서 발생한 부분방전(PD)의 PD 전하량과 PD의 위상을 측정 한 결과이다. 그림 5(b)에서 Ch-1은 인가전압, Ch-3는 HY-Pockels 센서의 PD 파형, Ch-4은 상용 CT센서(Power Diagnostix, 20MHz~25MHz)의 파형이다. 그 결과는 HY-Pockels 센서의 출력 파형의 정극성과 부극성 상승부에서 왜곡부분의 위상과 CT센서에서 검출된 PD 전류위상과 잘 일치됨을 보여주고 있다.



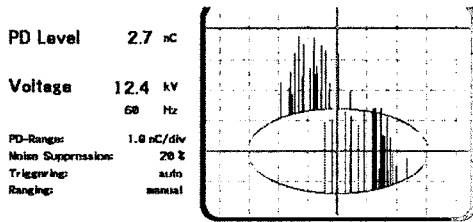
(a)TE-571로 검출한 PD파형



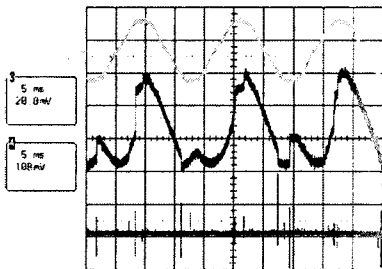
(b)인가전압 파형(ch1), HY-Pockels 센서 출력파형(ch3),CT출력 파형(ch4) 비교

그림5. 9중 절연된 권선샘플의 PD 검출파형

그림 6(a)는 절연지로 9중 절연된 두 개의 권선 사이의 거리를 R-Spacer를 삽입하여 일정하게 유지시킨 상태에서 부분방전을 발생시켜 TE571로 검출한 PD의 파형이다. 여기서 PD 전하량은 그림 5(a)와 비교할 때 상당히 증가하였으나 PD의 발생 위상범위는 크게 변화하지 않은 것으로 판단된다. 또한 그림 6(b)와 그림 5(b)의 CT 센서의 출력파형을 비교할 때 검출된 PD의 방전수가 증가된 것을 알 수 있다.



(a)TE-571로 검출한 PD파형



(b)인가전압 파형(ch1), HY-Pockels 센서 출력파형(ch3), CT출력 파형(ch4) 비교

그림6. 권선에 절연지를 감고 R-Spacer를 삽입한 경우의 출력파형

그림5와 그림 6에 의하면, 사용된 센서에 의한 PD가 발생된 위상은 거의 일치하나, PD의 방전량과 PD 발생 빈도수의 차이는 샘플의 구조에 의한 차이로 사료된다.

또한 HY-Pockels 센서의 경우, 부분방전이 발생하는 위상에서의 펄스수와 센서파형의 기울기과 상호 관련성이 존재한다고 사료되어, 정량적인 산출을 위한 실험이 수행 중에 있다.

동일한 개념의 센서를 이용한 기초실험에서 침-평판 전극에 의한 코로나 방전 검출파형의 변화[9]와 본 논문의 연면 방전 결과 비교에 의하면, PD의 발생 간격과 그사이의 PD의 발생수가 센서의 출력 파형의 기울기와 관계가 있을 것으로 추정 될 수 있어 향후 PD 발생량과 발생 수에 따른 센서의 출력 특성을 체계적인 분석이 수행 될 이다.

3. 결 론

최초로 제안한 HY-Pockels 센서를 GTR에서 발생되는 부분방전 검출에 적용가능 여부를 판단하기 위하여 권선을 이용하여 부분방전을 발생시킬 수 있는 두 종류의 샘플을 제작하고 레이저 측정 시스템을 구성하여 도출된 결과는 다음과 같다.

1. 상용 CT센서로 검출한 신호와 HY-Pockels센서의 출력 신호비교에 의하면 부분 방전 발생위상이 일치함.
2. 기존의 코로나 검출기능이 확인된 HY-Pockels 센서의 GTR에 적용 가능성이 확인 되었다

이와 같은 결과들로부터 GTR의 권선에서 발생하는 연면 방전을 프루브 HY-Pockels 센서를 이용해 검출 및 해석이 가능함을 보였으며, 앞으로 PD의 이러한 광측정 시스템이 실제 GTR에 적용될 수 있도록 더 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구 개발사업(R-2002-0-307) 및 한양대학교 전자재료 및 부품연구센터의 지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. P. Steiner, "Partial Discharge IV. Commercial PD testing". IEEE EI Magazine. Vol. 1. No.1 pp.20~33. 1991
- [2] F. H. Kreuger, "Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment". Butterworths. 1989.
- [3] 류철휘, 이재호, 마지훈, 강원중, 장용무, 구자윤 "가스 절연기기(GIS)의 인위적 결함에 의한 부분방전의 검출을 위한 Probe Type Pockels Sensor의 적용 가능성" pp.1770-1772. 대한전기학회 하계학술대회 2003
- [4] Josemir Coelho Santos, M. Cengiz Taplamacioglu, and Kunihiko Hidaka, "Pockels High-Voltage Measurement System" pp.8 13 IEEE Trans. Power Delivery, Vol.15, No.1. 2000
- [5] J. Y. Koo, Y. M. Chang, J. Y. Hong, "Development of measuring techniques for high voltage impulse and small signal using Pockels cell". pp. 221~226. CEIDP-IEEE. 1994
- [6] W. J. Kang, Y. S. Lim, J. Y. Koo, Y. M. Chang, "Possible application of the PD detection technique using a laser interferometer, and Pockels effect with a nonlinear characteristic analysis of the PD signals", pp.674~679, JKPS, Vol.38, No. 6, 2001
- [7] Amnon Yariv, Pochi Yeh. "Optical waves in crystals", Wiley interscience. 1984
- [8] Josemir Coelho Santos and Kunihiko Hidaka. "Optical high voltage measurement technique using Pockels Device". Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, pp. 2394~2398, 2001.
- [9] 강원중, 마지훈, 장용무, 구자윤 "광측정 시스템을 이용한 코로나 방전 검출" pp.1561 1563 대한 전기학회 하계학술대회 2001