

광 포켈스 소자를 적용한 GIS 진단용 UHF 센서 출력신호 처리기술 개발

남도희, 류철휘, 정승용, 구자윤  
한양대학교 전기공학과

A Novel method of UHF sensor signal process using Pockels sensor applicable to the diagnosis of GIS

Do-Hee Nam, Cheol-hwi Ryu, Seung-yong Jeong, Ja-yoon Koo  
SMDT Lab., Dept of Electrical Engineering, Hanyang Univ.

**Abstract** - Gas Insulated Switchgear 내부에서 발생하는 부분방전 검출을 위하여 다양한 UHF센서가 이용되고 있다. 그러나 출력단의 신호크기가 극히 미약하여 다단계 증폭과정과 아날로그/디지털 신호처리 기술들이 적용되고 있으며 이로 인한 신호 왜곡이 필연적이어서 그 해결방안이 다양하게 제시되고 있다. 하나의 방안으로서 UHF 출력신호를 광 신호 형태로 전송할 수 있는 광소자와 Optical Fiber의 장점을 이용하면 기존에 상용화되어 있으나 문제를 야기시키는 신호처리 기술 대체가 가능하다. 본 논문에서는 GIS 진단 기술개발을 위하여 자체 개발된 광 기술을 적용하여 검출된 미세신호들의 왜곡 문제점 해결에 기여하고자한다.

하여 He-Ne (파장 : 632.8nm, 출력 : 10mW, 편광 : 500:1 선형편광) 레이저광이 그림 1의 포켈스 센서에 입사되며, 부분방전 발생에 의한 UHF커플러의 feeder와 ground 사이 전계변화가 포켈스 센서에 반영되고 그 정도에 따라 센서를 통과하는 레이저광의 편조가 발생하며, 편조된 레이저광은 다중모드 광섬유(core : 400 $\mu$ m, clad : 425 $\mu$ m)를 통해 전송되도록 본 연구의 광 시스템 설계를 하였다. Photo detector에 의하여 O/E 변환되어 전송된 광은 Oscilloscope와 Spectrum Analyzer에 의해 측정된 후 광시스템을 거치지 않은 UHF커플러의 출력 신호와 비교, 분석된다.

Pockels 센서에서 결정내의 광 경로의 거리를 변화시킴으로써 변화되는 반파장 전압은 식(1)과 표현된다.

$$V_{\pi} = \frac{\lambda}{n_e^3 r_c} \cdot \frac{d}{l}, \quad r_c = r_{33} - \left(\frac{n_o}{n_e}\right)^3 r_{13} \quad (1)$$

여기서  $\lambda$ 는 레이저의 파장이고,  $d$ 는 결정의 높이이며,  $l$ 은 레이저가 진행하는 결정내의 거리이다. 또한  $r_{13}, r_{33}$ 는 LiNbO<sub>3</sub>의 전기광학계수이고  $n_o, n_e$ 는 LiNbO<sub>3</sub>의 굴절률이다. 본 실험에 사용된 LiNbO<sub>3</sub> 결정의 크기를 감안할 때,  $V_{\pi}$ 는 2180V이다. 결정의  $V_{\pi}$ 가 낮을수록 실험에 용이하나, 결정내의 광 진행 거리는 레이저 광의 접속 시 발생하는 회절현상에 의하여 식(2)와 같이 제약되며, S는 안전계수로서 일반적으로 3이상의 값이 요구되므로 결정의 크기를 본 실험과 같이 정하였다.

$$\frac{d^2}{l} \geq S^2 \frac{4\lambda}{n\pi} \quad (2)$$

1. 서 론

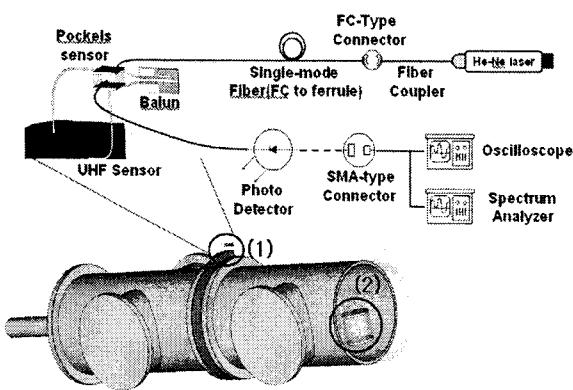
전력기기 진단을 위하여 UHF커플러를 이용한 부분방전 검출방법은 많은 장점을 가지고 있으나, 출력 신호의 크기가 매우 작아 다단계 증폭 및 필터링에 의한 신호의 왜곡이 필연적으로 발생하여 진단결과에 대한 신뢰성에 많은 의문이 제기되어왔다. 이러한 문제점 해결을 위해 본연구실에서 수년간 독자적으로 연구 개발해온 LiNbO<sub>3</sub>를 이용한 포켈스 소자를 사용하여 UHF센서의 출력신호를 광신호로 전환시켰으며 다음과 같은 네 가지 면에서 장점을 보여주고 있다. 첫째, LiNbO<sub>3</sub>의 결정의 유전율이 상당히 크기 때문에 변환하고자하는 전계를 거의 왜곡시키지 않음. 둘째, 전계의 시간적인 변화에 따른 응답특성이 매우 좋음. 셋째, 변환된 광 신호는 광파이버를 통하여 전달되므로 외부 전자기장에 대한 영향을 받지 않음. 넷째, 이러한 광소자를 이용한 E/O 변환은 DC부터 GHz까지 주파수 응답이 매우 넓음.

2. 본 론

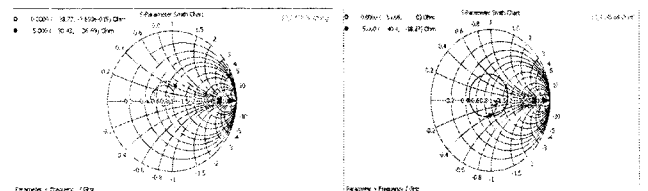
2.1 실험 장치 및 방법

본연구의 관련 실험은 전자파 차폐실(전기장 1kHz~1GHz : 100dB, 자기장 100kHz~1GHz : 100dB)내에서 실행되었고, 그림 1과 같이, 170kV GIS Mock-up의 도체 내부에 부유 결함을 삽입하여 부분방전을 발생시킨 후 UHF커플러에 의하여 검출된 출력 신호를 광신호로 변환하였다. 그림 1의 (1)부분은 UHF커플러의 feeder와 ground 사이에 삽입된 포켈스 센서이고, (2)부분은 인공적으로 모의한 부유결함이며, 제작된 HY-포켈스 셀(5mm×5mm×5mm)은 Transverse mode 응용을 위해 X-Z면이 연마된 Y-cut LiNbO<sub>3</sub> 결정과 상용 diachronic 편광기를 5mm×5mm×2mm 크기로 절단한 편광자와 검광자로 구성하였다.

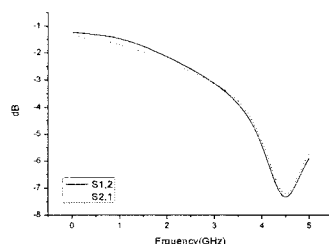
초고압 GIS에서 발생하는 부유 결함(floating defect)을 모의한 인공결함 모의 셀(5pC Cell)을 자체 제작하여 GIS내부에 설치하였고, 부분방전의 측정을 위한 UHF커플러는 검출된 외장형 UHF커플러(Log-periodic type)를 자체 제작하여 사용하였다. UHF커플러의 출력신호의 임피던스 매칭을 위해 삽입한 발룬(balun)의 특성은 그림 4에 나타내었다. 그림 5는 자체 제작한 외장형 UHF커플러의 반사손실(RL : Return Loss)의 시뮬레이션 결과와 background noise를 측정된 결과이다.



〈그림 1〉 실험장치

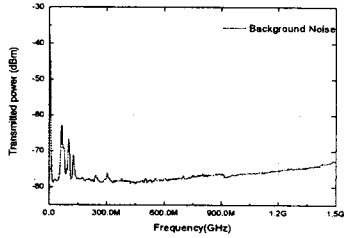


(a) S<sub>11</sub>(45.68Ω) (b) S<sub>22</sub>(79.28Ω)  
〈그림 4〉 임피던스 매칭을 위한 Balun의 특성

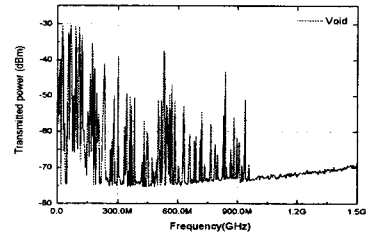


(a) UHF커플러의 RL

단일모드 광섬유(core : 4 $\mu$ m, clad : 125 $\mu$ m)를 포켈스 센서에 부착



(b) UHF 커플러의 background noise  
<그림 5>

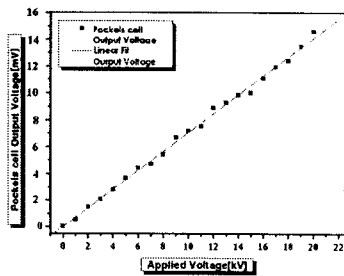


(b) 광시스템의 응답특성  
<그림 8>

## 2.2 결과 및 고찰

### 2.2.1 인가전압에 따른 포켈스 셀의 특성

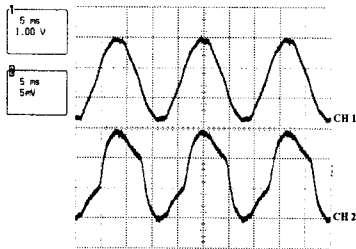
최초 인공결함 모의 셀을 설치한 후, UHF 커플러의 Feeder와 Ground 사이에 포켈스 셀을 삽입하고 인가전압을 1kV부터 20kV까지 1kV씩 증가시키면서 수행된 포켈스 셀의 특성 실험 결과에 의하면, 그림 6과 같은 선형성을 고려할 때 포켈스 셀이 UHF 커플러 출력 신호의 E/O 변환에 사용될 수 있음이 확인되었다.



<그림 6> 인가전압에 대한 포켈스 셀의 선형성

### 2.2.2 부분방전 발생에 따른 포켈스 셀의 응답 특성

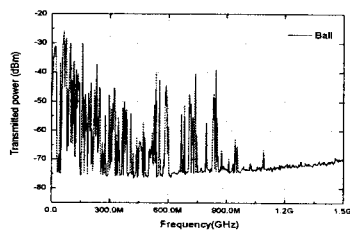
그림 7은 인공결함 모의 셀을 설치한 후, 방전이 유지된 상태에서 오실로스코프로 검출한 파형이며 1번 채널은 인가전압을 10000:1 분압기로 측정된 60Hz 인가전압파형이고, 2번 채널은 HY-포켈스 Sensor의 출력 파형이다.



<그림 7> 인가전압에 대한 센서의 응답

### 2.2.3 UHF 커플러의 출력 신호 처리에 따른 응답 특성 비교

동일한 인공결함 모의 셀을 사용하여 부분방전을 발생시킨 후 이를 외장형 UHF 커플러로 검출하고, 그 출력을 analog 필터링과 증폭 신호처리 후 spectrum analyzer로 측정된 결과 (그림 8-a)와 동일 UHF 커플러의 출력 신호를 광시스템에 의하여 변환된 후 spectrum analyzer로 동일한 대역에서 측정된 결과(그림 8-b)는 그림 8과 같다.



(a) UHF sensor의 응답특성

## 3. 결과 요약 및 결론

본 연구에서는 가스절연기기(GIS)에서 발생하는 부분방전을 UHF 커플러를 이용하여 검출 후 이를 전송하기 위한 광시스템을 설계, 제작하여 E/O 변환, 분석한 결과를 다음과 같이 요약한다.

1. 부분방전 검출을 위하여 제안된 광시스템의 선형성이 확인되었다.
2. 측정된 인가전압 위상과 HY-Pockels 센서의 출력 위상이 서로 일치하나 방전이 발생할 때 파형왜곡이 발생되었다.
3. UHF 커플러에 의한 부분방전 검출대역에서 광 시스템에 의하여 동일한 부분방전이 검출됨이 확인되었다.

상기 사항을 고려할 때 개발된 광시스템이 GIS의 부분방전 검출에 적용될 수 있는 가능성을 제시하였다.

### 감사의 글

본 연구는 한양대학교와 퓨전전기연구센터의 지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

### [참고문헌]

- [1] J. P. Steniver, "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] 황철민, 구자윤, 박기준, 구선근, 윤진열, 이영상, "GIS용 외장형 광대역 극초단파 부분방전 센서의 구조에 따른 특성비교", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C, pp 1769-1771, 2004
- [4] J. Y. Koo, Y. M. Chang, J. Y. Hong, "Development signal using Pockels cell". pp. 211-226. CEIDP-IEEE 1994
- [5] 미야자와 신타로, "광학결정", Vol 1. pp 120-130, 1999.
- [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 signal", pp 674-679, JKPS, Vol.38, No. 6, 2001
- [7] Robert Grover Brown, Robert A. Sharpe, William Lewis Hughes, Robert E. Post, "Lines, Waves, And Antennas", 2nd edition, pp83-107, 1973