

## 광학적 방법을 이용한 유중 부분방전 신호 검출을 위한 신기술 개발

최성수, 강원중, 장용우, 이정현, 김정태, 구지은

한양대학교 전기과(EM&C), \*대구공업전문대 전기과, \*\*대진대학교 전기과

### A New Technique for Partial Discharge Signal Detection in Oil using Op

S.S. Choi W.J. Kang Y.M. Chang J.H. Lee J.T. Kim J.Y. Koo

Dept. of Elec. Eng in Hanyang Univ \*Taegue Tech.junior college, \*\* Dept. of Elec. Eng.

**Abstract** - In this work, a possible new PD de technique, based on the electro-optic effect(P effect), has been proposed.

The refractive index ellipsoid of EO crystal, as LiNbO<sub>3</sub>, is changed by both the externally a electric field and its hysteresis loop of which effect on this hysteresis loop gives rise t discrepancy of index variation. Therefore, an eq regarding the phase variation of modulated beam through LiNbO<sub>3</sub> crystal under applied e field, is newly proposed considering the influen hysteresis characteristics. For this purpose generated from needle-plane electrode in oil has detected by use of LiNbO<sub>3</sub> cell and analyzed b equation.

As a result, it is observed that PD measu phase intervals are limited by the cr characteristics such as asymmertrical P-E hyst and half-wave voltage.

#### 1. 서 론

전력소비 증가로 초고압,대용량화 된 전력설비의 사고 가능성이 점진적으로 증가되어 왔다. 또한 전력 계통의 공급 신뢰도 향상과 전력의 안정된 공급을 위하여 전력 기기의 운전상태를 상시 감시함으로써 기기의 상태 및 사고 상황을 신속하게 파악할 수 있는 예방 진단 시스템 이 절실히 요구되고 있다. 기존에 사용되고 있는 부분방 전 측정기법으로 널리 이용되어오고 있는 방법은, 전기 적 진단방법과 초음파 진단방법이 있다.[1],[2] 이러 부분방전 측정기술은 장점도 있지만, 다 단계의 증폭장 치등과 같은 복잡한 부가장치로 인하여 측정장비가 커지 고 고가로 되고, 외부 노이즈의 영향등 여러가지 문제로 측정신뢰도가 저하되어 현장 적용에 상당한 어려움이 있 다.[3] 그러나, 광계측법에 의한 설비진단은 전기적인 절 연 및 전자잡음 문제를 해결할 수 있고 경량 소형으로 장비를 만들 수 있으며 장거리 전송에도 편리하기 때문 에 최근 많은 연구가 되고 있다. 광다이오드를 이용해서 측정전류전압을 광의 세기로 변환하여 광섬유로 전송한 후 이를 다시 전기신호로 변환하는 방법[4],[5], 전기광

또는 자기광학효과를 가지는 비선형광학 결정을 이용해 여 각각 전압 및 전류를 광신호로 변조시켜 측정하는 방법[6]~[12] 등이 있지만 포켈스 소자를 이용한 부분방 전의 신호검출을 위한 적용사례는 아직 보고되지 않고 있다.

본 논문에서는 전술한 바와 같이 광계측방법이 전기 신호 측정에 비해 여러가지 장점이 있고, 포켈스 효과로 과도현상을 갖는 전계측정이 가능한 점을 착안하여 결정 소자가 갖는 결합,히스테리시스 등을 고려한 신호변조에 관한 새로운 수식을 제안하고,부분방전이 발생될 때의 전계왜곡 현상을 LiNbO<sub>3</sub> 소자로 검출한 부분방전 신호 를 해석하는 진단방법의 가능성을 연구한다.

#### 2. 전기광학 소자에 의한 PD 측정의 관련이론

실제로 사용 되고 있는 LiNbO<sub>3</sub>와 같은 광학소자들은 이들 결정을 성장시킬 때 형성되는 결합에 의해서  $\Delta P/\epsilon$  ( $\Delta P$ :결정내 결합부분의 분극변화,  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ,  $\epsilon_0$ :공 의 유전률,  $\epsilon_r$ :결정 결합부분의 비유전률) 만큼의 분극 의 변화가 발생된다. 이로 인하여 본 연구에서 제안한 고전계하에서의 LiNbO<sub>3</sub> 결정의 히스테리시스 특성곡선 이 그림 1과 같이 곡선 전체가 E축의 아래 방향으로 치 우친 형태가 된다. 보는 바와 같이 전계 E가 없을 경우 ( $E=0$ )에도 P 값이 영(zero)이 되지 않을 뿐 아니라, 은 크기의 전계도 크기가 증가할 때와 감소할 때의 P 값이 동일한 값을 갖지 않는다.[15] 또, 분극률은 전속밀 도 D와 상관되고 전속밀도는 매질의 굴절률과 직접적으 로 관련되므로 인가 전계가 교번될 때의 전기광학 결정 에 의하여 변조된 레이저 광의 위상 변화는 전계의 양의 반주기와 음의 반주기에서 다르게 된다.그림 2과 같이 위치한 편광기의 편광면의 방향을 x축에 대하여 각각  $+\pi/4$ ,  $-\pi/4$  [rad] 방향이 되게 설치하고 LiNbO<sub>3</sub> 결정 x, y축 방향으로 피측정 전계를 인가시킨 후, 결정의 x 평면에 x축에서  $+\pi/4$  [rad]만큼 편광된 레이저광이 입 되어 결정의 광축(z축) 방향으로 진행하는 경우,레이저 광이 전계속에 있는 결정을 통과할 때 결정에 대한 입력 광강도( $I_{in}$ )와 출력 광강도( $I_{out}$ )의 비로 정의되는 광투과 도  $T(I_{out}/I_{in})$ 는 다음과 같이 된다.[11]~[13]

$$T = \frac{1}{2} \left( 1 - \cos \left[ \frac{\omega}{c} n_o^3 r_{22} \sqrt{E_x^2 + E_y^2} L \right] \right) \quad (1)$$

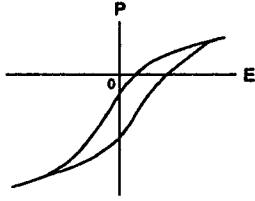


그림 1 결정의 P-E 히스테리시스 곡선

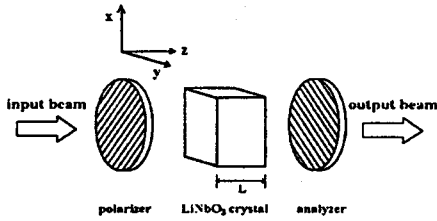


그림 2 포켈스 소자의 전기광학 효과

식 (1)는 LiNbO<sub>3</sub> 소자가 결정 자체의 결함등이 없는 이상적인 경우로 생각하여 계산한 식으로, 본 연구에서는 그림 1과 같은 비선형결정의 특성에 착안하여 LiNbO<sub>3</sub> 결정의 물리적인 결함과 히스테리시스 효과의 영향을 고려하여 선형적인 위상차만으로 계산된 광투과도 식 (1)를 다음과 같이 수정하여 처음으로 식 (2)을 제시하였다.

$$T = \frac{1}{2} \left( 1 - \cos \left[ \alpha_0 + \frac{\omega}{c} n_o^3 r_{22} \sqrt{E_x^2 + E_y^2} L + \alpha \right] \right) \quad (2)$$

여기서,  $\alpha_0$ 는 결정 결함에 의한 위상 지연 성분항이며,  $\alpha$ 는 결정의 히스테리시스 효과에 의해 변동되는 인자를 나타낸다.

결정에 인가되는 전계의 크기가 결정의 반파장 전계값보다 작은 경우, 인가전계에 변화에 대한 변조광강도의 변화는 그림 3과 같다. 그림 3-(a)와 같이 히스테리시스의 영향으로 투과도를 나타내는 그래프가 비대칭적으로 되어 이에 대응된 인가전계는 양의 반주기 범위에서는 투과도의 그래프가 선형적으로 변하므로 변조광의 강도변화는 인가 전계의 파형과 같은 모양을 나타낸다.

그러나 전계의 음의 반주기 동안은 그림과 같이 sine 함수의 피이크 부근에 대응하므로 광강도의 변화는 왜곡되어 전계파형보다 그 진폭의 변화폭이 작아져서 평평한 모양이 된다. 따라서 정현파 전계가 인가 되어도 변조광의 강도 변화는 결정의 히스테리시스 곡선의 영향을 받아 양과 음의 반주기 파형이 각각 다르게 된다. 그리고, 교류 인가 전계의 최고값이 반파장 전계의 2 배가 되는 경우 인가전계 파형에 대한 레이저광의 투과도 관계를 나타내면 그림 4와 같이된다.

이상적인 결정은 전계가 증가하여 반파장전계에 도달 되면 투과도가 가장 크게 되고(ab구간), 전계가 더 증가하여 반파장 전계의 2 배가 될 때 투과도는 0이 되며(bc구간), 전계가 다시 감소하여 0이 됨에 따라 cde구간이 만들어진다. 전계의 음의 반주기에서도 abcde와 동일한 모양이 나타나게 된다.

다시 말해서 인가되는 전계의 크기가 반파장 전계값을 초과함에 따라 인가전계의 한주기당 투과된 변조광 파형의 피이크는 증가하게 된다. 따라서 전기광학 소자

를 이용하여 이를 측정 할 경우 검출된 변조광의 파형은 인가 전계 성분과 결정의 물리적 결함과 히스테리시스 효과의 영향이 나타나므로 이와 같은 인가전압과 광투과도의 관계를 정확히 고려해야만 한다.

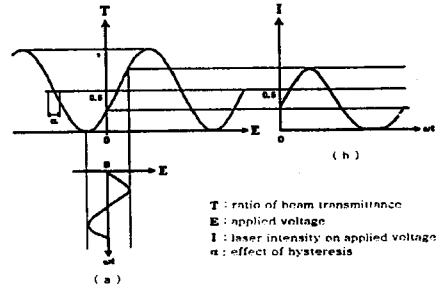


그림 3 인가 전계와 투과 광강도의 관계

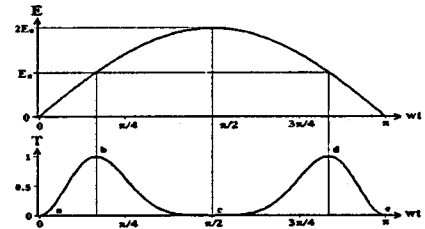


그림 4 전계  $E = 2E_x \sin \omega t$ 를 가했을 경우의 투과도

### 3. 결정의 P-E 히스테리시스 특성을 고려한 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 유증 부분방전을 발생시키기 위하여 1 μm의 곡률 반경을 갖는 스테인레스 재질의 침전극과 황동 평판전극을 사용했다. 편광기의 편광면을 그림2와 같이 각각 x축, y축방향으로 설정하고 x축방향으로 전계가 인가되도록 침대 평판 전극 사이에 광학 결정을 설치하고 전압을 인가한 후, 결정에 광을 투과하여 레이저 강도에 의한 파형을 측정하였다. 이 경우의 투과도는 식 (2)에서  $E_y = 0$ ,  $E = E_x$  가 되어 식(3)으로 주어진다

$$T = \frac{1}{2} \left( 1 - \cos \left[ \alpha_0 + \frac{\omega}{c} n_o^3 r_{22} E_x L + \alpha \right] \right) \quad (3)$$

침전극에 4kV 및 12kV의 전압을 각각 인가하여 1000 프로우브를 이용하여 전압을 측정 한 파형(ch.1, 그림5)과 전기광학 소자를 이용하여 측정 한 결과(ch.2, 그림6) 파형을 각각 그림5와 그림6에 나타내었다.

그림5와그림6에서 광학소자로 측정된 파형은 그림에서 보는 바와 같이 전압이 증가하는 시점과 전압이 감소하는 시점에서 투과 변조광의 크기가 서로 다른 이유를 식 (2)의  $\alpha$ 는 전압의 증감에 따라 그 크기를 달리하기 때문에 나타나는 것으로 해석이 되며,  $\alpha$  항의 존재로 인하여 완전히 반파장 차이는 나지 않는 것을 볼 수 있다. 변조광의 투과도 파형이 인가 전압의 반주기와 음의 반주기에서 서로 다르게 나타남을 볼 수 있고 그림5에서와 같이 투과도가 피이크를 이루는 부근(그림3참조)의 영향으로 평평하게 되는것을 볼 수 있다

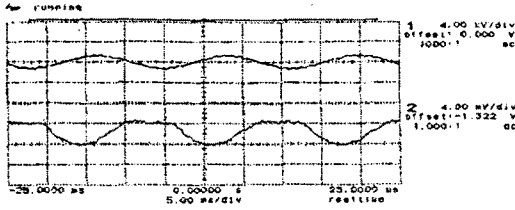


그림 5 4kV 인가시의 변조광 투과도 측정파형

반과장 전압이상의 전계가 인가될 경우, 투과광의 파형은 다시 양의 반주기 부분에서 오목하게 되는 부분을 알 수 있다. 이것은 반과장 전압 이상의 전계가 인가된 결과로 나타나는 것이므로 반과장전계 효과도 측정에 있어서 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

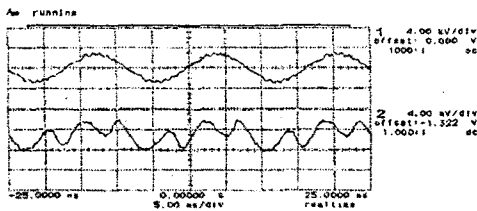


그림 6 12kV 인가시의 변조광 투과도 측정파형

부분 방전 신호검출을 위해 침대평판 전극에 8kV의 전압을 인가하여 전기광학소자에 의해 측정된 광신호는 그림 7과 같다. 제안된 식 (2)에서 예상되었듯이 히스테리시스 반과장 전계, 결정 결합 등의 영향으로 부분방전 측정 신호의 크기, 위상 등이 제한됨을 알 수 있다.

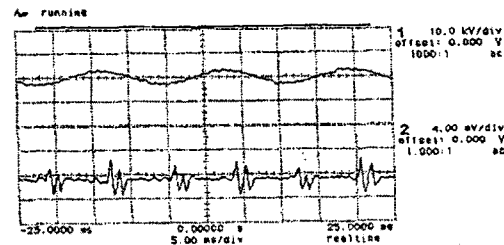


그림 7 8kV 인가시의 부분방전 측정파형

#### 4. 결 론

본 연구에서는 전기광학 소자를 이용한 새로운 유증 부분방전 측정방법을 제시하였다. 전계가 인가된 전기광학 소자에 의해 레이저 광이 변조될 때, 이 히스테리시스 특성 및 결정결합의 영향을 새롭게 고려하였으며 변조 레이저광의 위상변화에 대한 방정식을 수정하여 처음으로 제안하였다. 이에 대한 가능성을 조사하기 위해 침-평판 전극구조에서 발생하는 유증 부분방전을 LiNbO 결정용 이용하여 측정한 결과, 부분방전 측정가능한 위상구간이 결함을 갖는 결정의 히스테리시스 특성과 반과장 전계로 인하여 제한적임을 알았다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. P. Steiner, "Commercial PD Testing", IEEE, EI, Magazine, Vol. 7, No. 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. Carpenter, J. S. Kresge and C.B.Musick, "Ultrasonic Corona Detector in Transformer", IEEE Trans. PAS, Vol. 84, No. 4, pp. 647-651, 1965
- [4] 河村, 他, "計測制御への光の應用", 電氣學會雜誌(日本), Vol.97(11), p.987, 1977
- [5] T. Harada, et al., "A High Quality Voltage Divider Optoelectronics for Impulse Voltage Measurements", IEEE Trans. Power Apparatus Systems, Vol. PAS-91(2), p.294, 1972
- [6] Y. Murooka, et al., "Optoelectronic Measurement of Breakdown Current in an Air Gap", J. Appl. Phys., Vol. 46(4), p.1559, 1975
- [7] 笹野 他, "レ-ザによる電流・電壓測定方式の實用化研究-自由空間伝搬方式について", 電力中研(日本), 技術第一研究所報告 70106号, 1971
- [8] S. Saito et al., "Development fo the Laser Current Transformer for EHV-power Transmission Lines", IEEE J. Quantum Electro., Vol.QE-3, p.589, 1967
- [9] "電氣學會技術報告 II部 第219号, 電界計測法", 社団法人 電氣學會(日本), 1986. 5
- [10] J. Y. Koo, Y. M. Chang, J. Y. Hong, K. L. Cho, J. J. Song, "Development of Measuring Techniques for High Voltage Impulse and Small Signal using Pockels Cell", CEIDP-IEEE, pp. 221-226, Oct. 23-26 (1994), Arlington, Texas, U.S.A
- [11] J.Y.Koo, Y.M.Chang, J.H.Lee "Development of Measuring Techniques for High Voltage Impulse and Small Signals Using Pokels Cell", J. of EEIS, Vol.1, No.3, pp 17-24, 1996
- [12] Y. Murooka and T. Nakano, "Optical High-Sensitive Sensor for Pockels Device using both Light Intensity Modulation and Difference Methods", 7th ISH, 13.03, pp. 119-122, 1991
- [13] A. Yariv, Optical Electronics, 4th ed., NY:Saunders College Pub., 1991
- [14] S. L. Chin, Fundamentals of Laser Optoelectronics, World Scientific Pub., 1989
- [15] M. E.Lines and A. M. Glass, "Principles and Applications on Ferroelectrics and Related Materials", Clarendon press, 1977
- [16] F. H. Kreuger, "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment", Butterworth, 1989
- [17] Dieterkind, "High-Voltage Experimental Technique", Vieweg, pp.126-135, 1978