

광을 이용한 전압측정에 대한 기초 연구

이창준*, 김덕래**, 김병태**, 함길호*, 배극현*
 *LG산전 전력시험기술센터, **충주대학교 광학공학과

Study for Optical Voltage Measurement

Chang-Jun Lee*, Duk-Rae Kim**, Byung-Tai Kim**, Gil-Ho Ham*, Geuk-Hyun Pae*
 *LG Industrial Systems Co., Ltd. PT&T, ** Dept. of Optical Eng., ChongJu Univ.

Abstract - 본 논문에서는 전기광학효과를 이용한 전압 계측기기의 개발을 위해 수행한 기초 연구에 대하여 기술하였다. 측정 시스템에 사용된 소자의 특성 및 입출력 특성에서 약 800 V까지의 출력특성이 측정오차 3% 내의 선형성을 나타내었으며, $\lambda/4$ Plate를 사용한 경우, 측정 정확도를 높일 수 있음을 확인하였다. 본 실험에서는 DKDP를 포켈스 소자로 사용하였으나, BGO와 같은 결정을 사용하면 수십 kV까지의 높은 전압을 직접 측정하는 것도 가능하다.

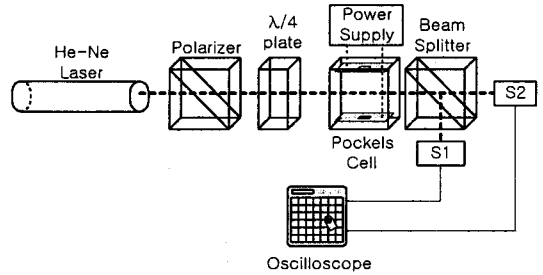


그림 1 광 PT의 개략도

1. 서 론

계통 전압의 상승과 측정 정밀도에 대한 요구가 증대됨에 따라서 고전압/대전류 측정기기에 대한 관심도 함께 고조되고 있다. 대부분의 고전압 측정은 R 혹은 RC 회로소자를 이용한 분압기를 사용하고 있지만, 노이즈 등에 의한 간섭에 취약한 약점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 광을 이용한 방법에 많은 관심을 갖고 있으며, 연구도 활발히 진행되고 있다. 광을 이용한 계측은 비접촉식이며, 주위 전자장에 의한 영향을 배제할 수 있는 등 많은 장점을 갖고 있어 관심의 대상이 되고 있다.

He-Ne 레이저를 광원으로 하고, DKDP 결정을 사용한 포켈스 소자에 직류 및 교류를 수 kV까지 인가하며 레이저 광의 변화를 측정하여 포켈스 소자에서의 전압 특성을 파악하였다. 포켈스 소자에 인가한 전압에 따른 레이저 광의 변화에서 광계측의 특성을 연구하였으며, 보다 정밀한 측정을 위하여 포켈스 소자와 광학계의 구성을 바꾸어가며 실험하였다. 본 연구의 결과에서 광을 이용한 전압 측정기기를 개발하는데 중요한 기초 데이터를 얻었으며, 고전압 방전현상에서 전장의 세기를 측정하는 등 많은 응용분야도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

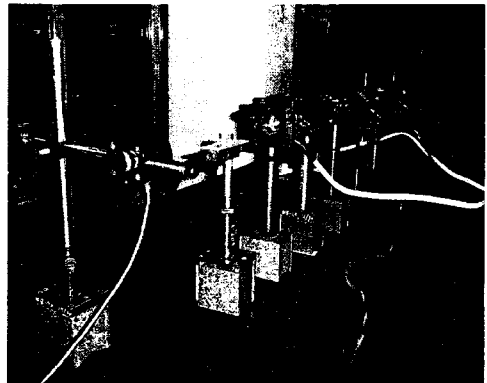


그림 2 광 PT 세팅 전경

2. 실험 결과

2.1 실험 장치

본 실험에서는 레이저를 이용하여 인가되는 전압을 검출하기 위한 장치를 그림 1과 같이 구성하였다. 광원으로 사용한 He-Ne 레이저는 편광자(Polarizer)와 $\lambda/4$ Plate를 통과하면서 원편광으로 바뀌게 되며, 전압이 인가된 포켈스 소자를 통과하면서 타원 편광으로 그 특성이 다시 바뀌게 된다. 포켈스 소자는 중심대칭성이 없는 42m 결정인 DKDP(KD₂PO₄)를 사용하였다. PBS (Polarized Beam Splitter)를 검광자(Analyzer)로 사용하였다. 전압인가를 위한 변압기는 콜드캐소드 네온 트랜스를 사용하였으며, 검출기는 Laser Power Meter를 사용하였다.

2.2 실험 결과 및 분석

본 실험에서는 직류/교류의 전압에 대한 실험을 하여 다음의 결과를 중심으로 그 특성을 나타내었다.

- 1) $\lambda/4$ 가 있는 경우와 없는 경우.
- 2) 포켈스 소자의 특성분석.
- 3) 인가전압과 검출신호의 특성.

2.2.1 $\lambda/4$ Plate의 유무에 따른 비교 분석

포켈스 소자는 편광축에 대하여 각도를 45도로 고정하고, 입력전압을 0~3000 V까지 인가시켜가면서, $\lambda/4$ Plate가 있는 경우와 없는 경우에 대하여 출력변화를 파워미터로 수 회 반복하여 측정하였으며, 그 평균값을 그림 2.1, 2.2에 나타내었다.

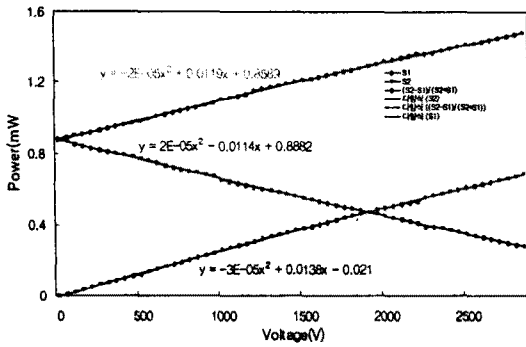


그림 3.1 λ/4 Plate가 있는 경우의 검출신호

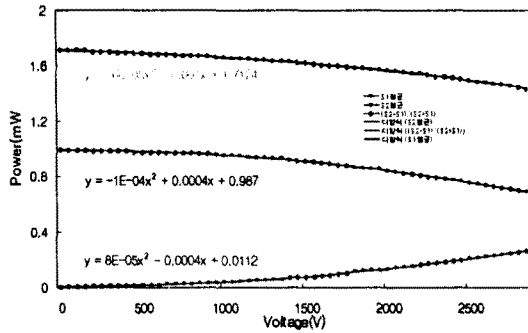


그림 3.2 λ/4 Plate가 없는 경우의 검출신호

본 실험의 결과를 보면 λ/4 Plate가 있는 경우와 없는 경우가 확연하게 나타난다. 전압 0~3000 V사이 에 대한 출력의 변화가 λ/4 Plate가 있는 경우 0.3인 경우 에 반해 λ/4 Plate가 있는 경우는 0.7까지 커지게 된다. 이것은 추후 계측기를 꾸미는 경우 차이가 클수록 정확도가 증가하므로 측정 불확도가 훨씬 좋아지게 할 수 있다. 또한, λ/4 Plate를 사용하지 않은 경우에 있어 2차식의 다항식으로 나타낼 수밖에 없는데, 이 경우 기울기의 변화가 거의 없는 구간이 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과를 가지고 측정을 수행할 경우, 측정의 정확도는 점점 더 나빠질 수밖에 없다.

결국 λ/4 Plate를 사용하는 경우를 고려해야 하는데, 이때의 입력에 대한 (S1-S2)/(S1+S2)의 출력함수는 $y=0.0121x-0.0034$, $R^2 = 0.9984$ 의 값을 가진다. λ/4를 사용한 경우 이 식으로 입력전압을 검출할 수 있다. 자세히 살펴보면, 직선이 아닌 것을 볼 수 있는데, $R^2 = 0.9998$ 인 구간에서 결과치의 함수는 $y=-3E-05x^2+0.0138x-0.021$ 로서 좀 더 정확한 측정을 할 수 있지만, 시스템을 꾸미기 위해서는 1차식을 사용하는 것이 좀 더 용이할 것으로 생각되며, 실제 정확도도 크게 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다.

2.2.2 Pockels Cell의 특성

본 실험에서는 전압검출을 위한 포켈스 소자로서 DKDP를 사용하였다. 이 소자의 특성을 파악하기 위하여 S1, S2 2개의 검출기를 사용하여 실험을 하였으며, 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

S1보다는 S2의 기울기가 조금 큰 것으로 나타났다. 또한 S1, S2 모두 편차범위 5% 이내에 들어가는 것을 확인할 수 있었다. S1, S2 출력의 차이는 두 검출기 특성이 조금 다른 것을 사용하였기 때문에 나타난 것이다.

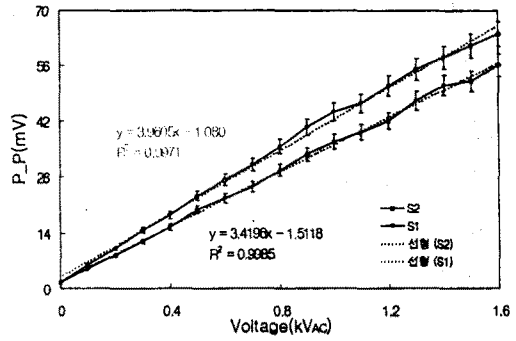


그림 4. 포켈스 소자의 특성

2.2.3 인가전압과 검출신호의 특성

레이저 파워가 아닌 검출전류를 측정할 경우에도 2.2.1의 내용과 동일한 결과는 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 궁극적으로 포토 다이오드를 이용하여 신호를 검출해야 하기 때문에, 그 실험을 수행하였으며, 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

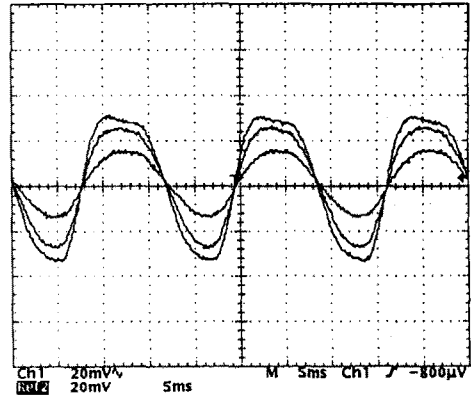


그림 5.1 인가전압에 대한 검출파형

그림 5.1에서는 인가전압이 각각 0.5, 1, 1.5 kV 일 때의 파형을 보여주고 있다.

그림 5.1에서의 파형이 깨끗하지 않은 것을 볼 수 있는데, 이것은 출력이 적은 것이 아니라, 승압용으로 사용되는 네온 트랜스에서 발생하는 노이즈와 실험장치 주위에서 발생하는 노이즈에 의해 발생하는 것으로 생각된다. 이것을 제거하기 위한 필터를 설계중에 있으며, 본 실험에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 반복 측정을 하였다.

여기서 전압은 포켈스 소자에 인가되는 전압이다. 그림 5.1에서 볼 수 있듯이, 전압이 증가함에 따라서 전압 피크치에서 포화되는 것을 볼 수 있다. 이것은 DKDP포켈스 소자의 특성에 따른 현상으로 소자에 따라 다른 특성을 나타낸다.

종형동작 DKDP 포켈스 소자의 경우 걸리는 전압과 레이저광의 리타디에이션 사이에는

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma_{63} V$$

의 관계가 있다. 여기서 n_o 는 상광선의 굴절률, γ_{63} 은 전기광학 계수이다. 식에서도 알 수 있듯이 인가전압 V

에 따라 리타이에이션 $\Delta\phi$ 의 변화에 의한 레이저 출력 변화를 측정하게 된다.

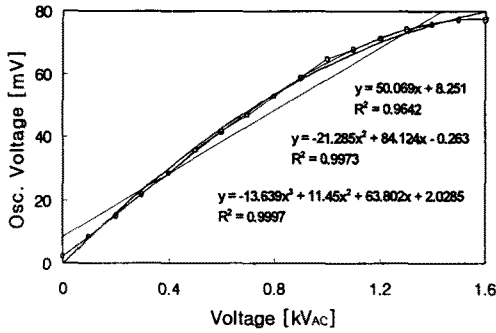


그림 5.2 인가전압에 대한 출력신호 변화

그림 5.2는 포켈스 소자의 인가전압에 대한 레이저광의 출력변화 S1을 나타낸 것이다. 그림 5.2에 나타낸 것처럼 가장 근접한 관계식을 구하기 위해서는 1.6 kV의 구간에서 3차식으로 표현되어야 한다. 다항식의 차수가 낮아질수록 오차범위는 매우 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 구간별로 나누어서 분석한 결과 약 800 V까지는 그림 6과 같이 선형적으로 볼 수 있다고 판단된다. 그림에서 보듯이 1차원 추세선이 모두 3%의 오차범위 내에 있음을 알 수 있어 측정의 정확도를 확인할 수 있었다. 따라서 수식 $y = 64.133x + 2.4356$ 으로 매우 만족스러운 결과를 나타냄을 알 수 있다.

이러한 결과는 S1과 S2에서 동일한 경향으로 나타났다.(그림 6)

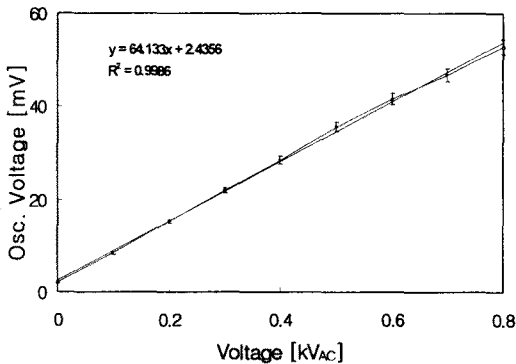


그림 6 측정결과와 오차범위

미지의 결정을 포켈스 소자를 사용하여 동일한 실험을 해본 결과 3 kV까지도 위의 결과와 같은 선형성을 확인할 수 있었다. 따라서 BGO와 같은 결정을 사용하면 수 십 kV에서도 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

3. 결 론

현재 고전압 및 대전력 시험에서 측정의 정확도에 대한 중요성이 점점 강조되고 있는 추세이다. 따라서 오차가 적은 정밀한 측정 시스템을 구축하는 것은 매우 중요하다. 레이저를 이용하는 계측은 그 특성에서 전자장에 의한 영향이 없으므로 측정계통에 매우 큰 장점을 가지고 있다. 또한 전력시험기술센터의 설비처럼 고가의 측정설비가 상호 연결되어 있을 경우, 고전압측과 측정설비측을 서로 분리시킬 수 있으므로 측정시스템을 보호할 수 있다.

Laser를 이용하여 전압을 측정하기 위하여 기본적인 특성시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) $\lambda/4$ Plate가 있는 경우, 없는 경우보다 출력비가 커지는 것을 볼 수 있었으며, 이것을 사용함으로써 좀 더 정밀한 측정이 가능하다.
- 2) DKDP 포켈스 소자에서 인가전압에 따른 출력신호변화를 비교하여 그 특성을 검증한 결과 전압이 증가됨에 따라서 파형이 포화되는 특성을 볼 수 있었으며, 0~800 V까지는 측정오차 3%의 선형성을 감지하는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) BGO결정을 포켈스 소자로 사용할 경우는 100 kV까지도 정확하게 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Josemir Coelho Santos et. al., "Pockels High-Voltage Measurement System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, pp.8~13, January 2000.
- [2] Kunkhiko Hidaka et. al. "Optical High Voltage Measurement Technique Using Pockels Device", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 36 pp. 2394-2398, 1997
- [3] E.M. Gamborg et. al. "Measurements of Electric Field Distribution in Surface Discharge Using Pockels Based Potential Differential Probe.", IEEE High voltage Engineering Symposium, No. 47, pp. 22-27, August 1999.
- [4] 김병태, "레이저 공학", 상학당, 1999.