

방전 · 고전압현상의 연구에서 광기술의 이용

이 복 회

(인하대 공대 전기공학과 조교수)

1. 서 언

최근 세계적으로 전력수요의 증가와 더불어 송전 전압이 격상되고 있으며, 우리나라에서도 700[kV] 급이상으로의 송압에 대한 타당성 여부의 검토를 수행하고 있다. 이와 관련하여 직·교류 전력기기, 절연의 개발 및 대형화되는 피측정기기를 대상으로 하는 고전압시험의 기초인 고전압·대전류 측정의 정확도와 신뢰도 향상이 중요한 문제로 되어 있다.

또한 전력기기의 시험전압인 임펄스전압의 발생시나 방전현상과 더불어 强電磁界가 발생되어 電磁障害(Electromagnetic Interference)를 일으키게 된다. 이 때의 강전자계는 고전압 측정시스템에 雜音源(Noise source)으로 작용하여 보호계전기, 제어기기 등 컴퓨터나 전자기기의 오동작을 일으키기도 하며, 계측기의 감도와 정확도를 저하시키기도 한다. 특히 초고압 송전선과 전력기기의 주변에서 발생하는 강한 전자계는 인체와 주변의 생체에 악영향을 미치며, 인체가 강전자계중에 장시간 노출되면 발암의 원인이 된다는 보고도 있다.

초고전압화에 따라 전력설비의 사고율은 가스절연 개폐장치나 컴팩트화된 전력기기의 사용으로 급증성과 과도과전압(Very Fast Transients)의 발생으로 예상보다 높으며, 이들 전압은 응답시간이 약 25-40[ns] 정도를 가지는 종래의 저항분압기나 용량분압기로 측정하는 경우 정확도가 매우 낮았으나 최근 응답시간이 수 ns를 가지는 광학적 측정 방법이 개발되어

사용되고 있다.

고전압 측정계에서의 잡음원으로는 측정계의 고전압 부분에 발생하는 장애와 계측시스템, 측정케이블, 오실로스코프 등 계측기에 침입되는 저압측 잡음원으로 분류된다. 고전압 부분에서의 장애는 주로 분압기에 유기되는 전압으로 이는 분압기의 저압부분을 적절히 차폐시키므로써 저감시킬 수 있다. 그러나 계측기에 침입되는 잡음원은 그림 1에 나타낸 바와 같으며, 측정계와 전자계사이의 결합에 의하여 측정치에 잡음이 포함되게 된다.

고전압 측정에 있어서 잡음원 제거기술은 감지신호와 잡음이 어느 정도 공존하는가를 평가하는 電磁界環境工學(Electromagnetic Compatibility)의 계측, 제어면에서 연구되어 왔으며, 이들의 잡음원에 대해서 광기술을 적용하는 측정은 그의 절연성 때문에 대단히 우수한 성능을 가지게 된다.

고전압현상과 관련된 물리적인 량의 측정분야에 있어서 광기술을 이용하는 방법으로는 크게 다음과

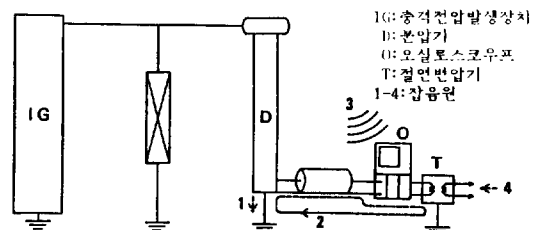


그림 1. 고전압 측정시스템의 잡음원

같이 2가지로 분류할 수 있다.

- ① 동축케이블을 사용하던 측정계의 전송선로 대신에 광화이버(Optical fiber)를 사용하여 전자계의 영향을 제거하여 측정치의 확도를 향상시키는 방법
- ② 전기적 신호의 계측에 전기광학효과와 자기광학효과를 이용하여 감지 및 전송선로로 광시스템을 적용하고 측정단에서 광량을 전기량으로 변환시켜 측정하는 방법

최근 광기술의 발달과 더불어 방전의 진전과정의 해석과 고전압현상에 관련된 전압, 전류, 전자계 등 전기적인 량과 여러가지 물리량의 측정기술도 급속도로 진보되어 왔으며, [1-5] 本稿에서는 방전 고전압현상에 있어서 발생하는 고전압, 대전류, 전자계 등 전기적 량의 계측방법에 대한 光信號轉送方式 및 옴토일렉트로닉스(optoelectronics)기술에 관한 기초이론과 대표적인 적용 예에 대하여 개략적으로 기술한다.

2. 고전압측정계에서의 광기술

2.1 신호변환과 전송에의 광기술 이용

옴토일렉트로닉스 기술을 적용한 전기량 측정에는 전기적 신호를 광신호로 변환하는 방식이 이용되며, 그림 2에 나타난 바와 같이 전류, 전압 등의 전기량을 광의 세기로 변환하고, 이를 광화이버를 통하여 전송한 후 다시 전기적 량으로 변환시키는 방법이

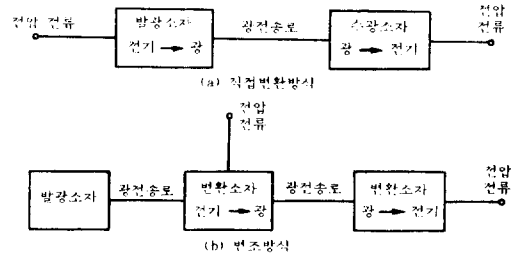


그림 2. 신호변환 및 전송방식

사용된다. 또한 전기량을 광의 偏波面의 회전각 등과 같이 광과 관련된 량으로 변조한 후에 광화이버로 전송시킨 다음 전기적 신호로 변환시켜 측정하는 방법도 있다. [6]

고전압현상과 관련된 전기적 량의 측정에 이용되는 옴토일렉트로닉스의 원리, 이용소자, 구체적인 적용 예를 표1에 나타내었다. [7]

2.2 광기술을 이용한 측정계의 특징

전력수요의 증대와 더불어 전력기기의 시험전압이 높아짐에 따라 분압기의 형상도 커지고 과형의 왜곡도 더욱 현저하게 되었다. 전기량의 측정시 잡음원의 혼입에 대하여는 광화이버를 傳送線路로 사용하므로서 대폭 줄일 수 있었지만 센서부가 금속제로 되어 있으면 電界分布의 일그러짐은 피할 수가 없다. 따라서 금속제 센서를 사용하는 경우는 센서를 차폐함내에 내장시켜 공간전자계에의 영향을 극소화시켜 사용하여 왔다. [8]

표 1. 고전압 대전류 측정에서의 옴토일렉트로닉스 응용

원 리	이용 소자	적용예
전압, 전류를 광의 세기로 변환	발광다이오드	충격전압측정용 분압기, 애자의 분담전압 측정, 고전위점에서의 전류 측정, 발광다이오드 변류기 등
전기광학효과 (Pockels효과, Kerr효과)	BSO(Bi ₁₂ SiO ₂₀) ADP(NH ₄ H ₂ PO ₄) KDP(K ₂ H ₂ PO ₄) LiNBO ₃ , ZnS, 수정	전계측정(電界計) 전압측정(충격전압측정용 분압기, 계기용 변성기)
자기광학효과 (Faraday효과, Voigt효과)	납유리 Flint유리	자계측정 전류측정 (Laser변류기)

특히 공간전하가 존재하는 전계의 공간분포에 관하여는 센서전극 표면에서의 전하의 부착에 의하여 측정의 정확도가 저하되기 때문에 감지신호의 전송 뿐만 아니라 센서자체도 광기술을 이용하는 계측기술이 개발되었으며, 이러한 광기술을 이용한 고전압, 대전류, 전자계 등 전기적 신호의 측정시스템은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 高電位에서 나타나는 현상을 광을 이용하여 고전위점과 무접촉의 상태로 신호의 감지가 가능하다.
- ② 감지신호의 전송매체가 광으로 되어 있으므로 電磁誘導障害를 받지 않는다.
- ③ 센서부가 전기적 절연물로 구성되어 있으므로 금속센서에 비하여 피측정 공간 전계의 왜곡이 최소화된 상태에서의 계측이 가능하다.
- ④ 센서부에 전원이 필요없으며, 소형 경량으로 취급이 용이하다.
- ⑤ 응답속도가 원리적으로는 光周波數에 달하며, 광화이버의 傳送帶域은 약 1GHz정도이다.
- ⑥ 전기량의 측정 이외에도 온도 및 압력의 측정, 방전의 제어 등 다방면으로의 응용이 가능하다.

2.3 전기광학효과

물질에 전계를 인가할 때 굴절율이 변화하는 현상을 電氣光學效果(Electro-optical effect)라고 하며, 교류전계의 측정은 주로 이 효과를 이용하고 있다. 전기광학효과를 나타내는 소자는 유전율이 전계의 세기에 의존하며, 진공중의 유전율을 ϵ_0 , 소자의 유전율을 ϵ , 굴절율을 n 이라고 하면, $n^2 = \epsilon / \epsilon_0$ 의 관계가 성립된다. 따라서 인가 전계의 세기에 따라 유전율 ϵ 이 변화하면 굴절율도 변화하게 된다.

壓電結晶과 같이 대칭중심을 가지지 않는 소자는 인가전계의 1차에 비례하여 굴절율이 변화하는데, 이를 1차전기광학효과(Pockels효과)라고 한다. 또한 대칭중심을 가지는 결정은 인가전계의 2차에 비례하여 변화하는데, 이를 2차전기광학효과(Kerr효과)라고 한다. 굴절율 n 은 일반적으로 다음 식과 같이 전계에 대한 멱급수로 표현된다. [9]

$$n = n_0 + aE + bE^2 + \dots \quad (1)$$

여기서 n_0 는 $E=0$ 일 때의 굴절율, a 는 Pockels계수, b 는 Kerr계수이다.

전기광학효과를 이용한 전계, 전압의 측정에는 다음과 같은 이유 때문에 Kerr효과보다는 Pockels효과를 이용하는 계측이 이루어지고 있다.

- ① Pockels효과를 나타내는 결정은 고체이고, Kerr효과를 가지는 물질은 일반적으로 액체이기 때문에 센서의 제작이 Pockels소자가 용이하며, 감지량이 미지의 전압, 전계에 비례하는 Pockels소자가 계측상 편리하다.
- ② 수정, ADP, BSO, LiNbO₃ 등 Pockels소자가 비교적 풍부하다.
- ③ Kerr효과를 이용하는 경우 고순도 액체가 필요하다.
- ④ Kerr소자의 경우 액체이므로 재현성이 낮으며, S/N비의 확보가 어렵다.

2.4 자기광학효과

물질의 광학적 성질이 자계의 인가에 의하여 변화하는 현상을 磁器光學效果(Magneto-optical effect)라고 하며, Faraday효과, Voigt효과, 磁器光學吸收 등이 있다. Faraday효과는 광이 자계중에 놓여 있는 물질을 투과할 때 직선편광의 偏波面이 회전하는 현상이다.

Faraday 회전각 θ_F 는 광이 투과한 길이를 L , 광과 자계가 이루는 각을 ϕ , 재료의 흡수계수를 α_F 라고 하면 [10]

$$\theta_F = L\alpha_F \cos\phi \quad (2)$$

로 표시된다.

또한 자계와 광의 진행방향이 직교할 때 자계에 평행인 광의 진동면에 대한 굴절율이 다르기 때문에 磁器誘導複屈折이 관측되는데, 이를 Voigt효과라고 한다.

자기광학재료로서 요구되는 성질로는 커다란 磁氣

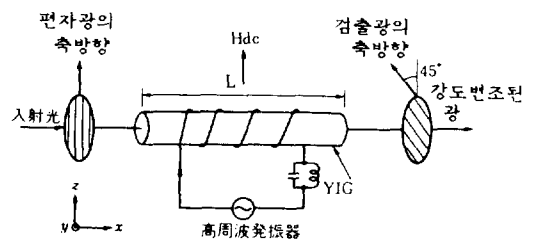


그림 3. 자기광학변조기

光學相互作用이 있을 것, 광학적 특성이 우수할 것 등이다. 대표적인 자기광학재료로는 YIG($Y_3Fe_5O_{12}$)가 있으며, $1\mu m$ 이하의 파장영역에서는 불투명하나 $1.1-5\mu m$ 의 범위에서는 투명하다.

그림 3은 Faraday회전을 이용한 強度變調器의 예로, [11] z축 방향으로 직류자계 H_{dc} 를 가하여 YIG의 自發磁化를 한쪽 방향으로 정렬시킨 다음 광의 傳播方向으로 고주파 자계를 인가하여 x방향으로 자화 m_x 를 발생시킨다. 광의 偏光面은 자화 m_x 와 YIG봉의 길이 L의 곱인 $m_x L$ 에 비례하여 회전하게 된다. 광의 진행방향과 수직인 방향의 자계 H_{dc} 는 주파수 응답을 빠르게 하게 된다. 이 때 수백 MHz인 광변조대역을 가지는 외부광변조기의 실현도 가능하다.

2.5 광전송시스템

광신호를 전송하는데 사용되는 기구로는 유리제와 플라스틱제가 있으며, 광화이버케이블, 화이버스코프, SELFOC등이 사용되고 있다. 광전송시스템은 입출력결합부, 접속부, E/O 및 O/E변환기, 受光部 등으로 구성되며, 이들의 특성과 이용재료에 대하여 간단히 기술한다.

광화이버케이블은 그림 4에 나타난 바와 같이 가늘은 유리섬유로 되어 있으며, 광을 전송하는 심선 부분, 기계적강도의 보강을 위한 플라이머리 코트(Primary coat와 플라스틱피복으로 되어 있다. 심선 재료로는 석영유리, 多成分유리, 플라스틱 등이 사

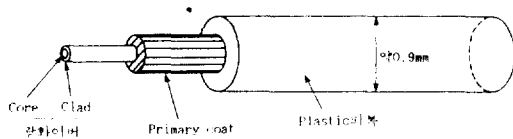


그림 4. 광화이버의 구조

표 2. 구조에 따른 광화이버의 분류와 특성

굴절률분포	전송 방식	전송 대역
계단지수형 (SI)	다 방식	수십 MHz ~ km
	단일방식	수 GHz ~ km
경사지수형 (GI)	다 방식	수백 MHz ~ km

용되며 클래드(Clad)로는 석영유리, 다성분유리, 실리콘중합체, 플라스틱 등이 이용되고 있다. 광화이버는 구조와 재료에 따라 분류되고, 傳送帶域은 심선의 굴절을 분포에 따라 대단히 다르며 구조에 의한 광화이버의 종류와 특성을 표 2에 나타내었다. [12]

계단지수(Stejp index)형 화이버는 심선과 클래드의 굴절율이 계단상으로 변화하며, 광이 심선과 클래드사이의 경계를 全反射하면서 전반된다. 따라서 광이 전반되는 경로에 따라 光路가 다르기 때문에 전반시간차가 생기게 된다.

그러나 경사지수(Graded index)형 화이버는 광로의 길이가 다르더라도 광의 전반시간이 일정하게 심선의 굴절률 분포가 되어 있어 계단지수형보다 수십 배의 전송대역을 가지게 된다. 또한 계단지수형의 경우 심선의 직경을 대단히 가늘게 하면 단일방식의 전송이 되어 전송대역을 향상시킬 수 있다.

광화이버는 低損失, 廣帶域, 無誘導性등의 장점을 가지며 구체적으로 이의 특징을 그림 5에 도식적으로 나타내었다.

화이버스코프(Fiber-scope)는 문자나 그림 등을 전송하는데 사용되며, 투과율이 좋은 무착색 유리재료를 대단히 가늘은 섬유유리 규칙적인 배열로 高解像度를 얻을 수 있다. SELFOC는 유리섬유재료의 굴절율을 조절하면 렌즈와 같은 集束작용을 가지므로 像의 전송이 가능하여 光通信, 像傳送, 계측 등에 이용된다.

발광다이오드와 같은 發光素子の 발광은 반도체의 여기상태에 있는 전자가 기저상태로 천이되어 재결합과정에서 여분의 에너지를 광에너지로 방출하는 작용에 기인된다. 재결합과정에는 천이에 관여하는 準位差에 상당하는 광으로 방출되는 방사재결합과

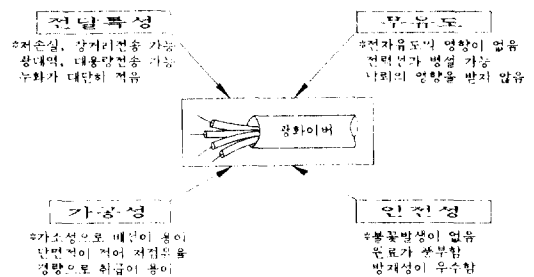


그림 5. 광화이버의 특징

주위격자에 포논(Phonon)을 방사하여 열에너지로서 준위에너지차를 방출시키는 非放射再結合이 있으며, 일반적으로 이들의 재결합과정은 병렬효과로 나타난다.

방광소자의 발광특성 즉, 발광파장과 발광출력 등은 반도체 재료에 따라 다르며, 적외선 발광소자로는 GaAs, 가시광선범위의 발광소자로는 SiC, Ga(As_{1-x}P_x), GaP 등이 이용되고 있다.

受光素子에는 광기전력검출기(PV-mode), 광전자증배관, 광도전소자(PC-mode) 등이 있다. 광기전력검출기의 동작원리는 발광소자와 반대의 과정으로 반도체에 광이 흡수되어 캐리어가 불균일하게 되던지 또는 캐리어가 PN-접합부근에서 생성될 때 형성되는 전위를 감지하는 것이다.

光電子増倍管은 광전음극과 2차전자증배전극을 구비한 광전관의 일종으로 증배율이 크며 응답시간이 짧고 외부잡음에 강한 특징을 가지고 있다. 2차전자증배전극으로는 Sb-Cs, Ag-Mg, Cu-Be, Ag-O-Cs, GaAs-Cs등이 사용되고 있다.

光導電素子는 광의 조사에 의하여 저항값이 변화하는 저항기로, 광의 조사에 의한 저항값의 변화를 전류값으로 나타내는 반도체 소자이다. 광도전소자의 광흡수율은 에너지갭에 따라 分光感度가 다르므로 가시광선범위에는 CdS와 CdSe, 전자사진용으로는 Se와 ZnO, 적외선용으로는 PbS, PbSe, PbTe 등이 사용되고 있다.

2.6 광기술을 이용한 측정시스템

2.6.1 광전송계로의 이용

종래에는 전자계의 영향을 방지하기 위하여 케이블을 2중차폐시키고, 측정기를 차폐함에 내장시켜 사용하는 등 고전압시험에 대한 측정계에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다. 광화이버의 등장과 더불어 이를 적용하는 信號傳送系에 대한 이용이 활성화되면서 부터 측정의 정확도 개선이 이루어져 왔다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 잡음원의 침입경로인 동축 케이블을 사용하던 부분을 광화이버로 대체하여 감지신호를 전송하게 되면 대단히 우수한 信號傳搬特性을 얻을 수 있게 된다. [13-14]

그림 6은 광신호전송계를 이용한 고전압 및 전계 측정회로를 나타낸 것으로 감지된 전기적 신호를 E/

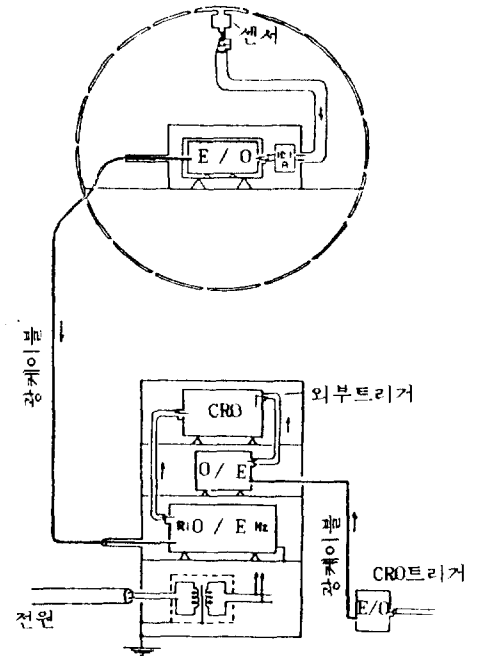


그림 6. 광전송시스템의 개략도

O변환기를 통하여 광신호로 바꾸어 광화이버로 전송한 다음 O/E변환기로 다시 전기적 신호로 변환시켜 오실로스코프로 관측하게 된다. [15]

이 때 E/O와 O/E변환기는 발광소자와 수광소자의 특성에 따라 응답도가 다르며, 주파수 대역은 대략적으로 DC-수십MHz 정도를 가지므로 광대역 범위의 전기량을 측정하는 경우에는 전기-광 및 광-전기의 신호변환기의 선택에 있어 주파수대역에 대한 사항을 주의하여 검토할 필요가 있다.

2.6.2 고전위의 전류측정

전기적 신호를 광신호로 변환하는 발광다이오드(Light Emitting Diode)를 이용하는 대표적인 예로 측정계의 개략도는 그림 7과 같다. 高電位인 전류에 의하여 변환된 광을 광화이버로 전송하고, 광전자증배관 등 수광소자로 다시 전기적 신호로 변환한다.

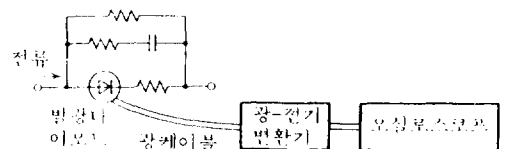


그림 7. 발광다이오드를 사용한 고전위의 전류측정

그림 7에서 발광다이오드와 직렬 또는 병렬로 연결된 회로소자는 과전압에 발광다이오드의 보호장치이다. 이러한 계측방법은 응답시간이 수 ns정도가 되는 측정시스템의 구성도 가능하므로 고조파성분을 포함하는 急峻性 過渡電流의 측정에도 이용된다.

2.6.3 광학식 고성능분압기

분압기의 응답특성의 한계는 分壓素子の 절연내력과 기하학적 크기에 의존하며, 1,000[kV]이상의 고성능 저항분압기도 응답시간이 25-40[ns]정도에 지나지 않으므로 초고압에 대한 불꽃섬락현상의 연구나 합리적인 絶縁協調의 설계시 표준임펄스전압에 대한 전압-시간특성의 정확한 측정이 불가능하다.

따라서 고속도의 응답특성을 가지는 光學式 分壓器가 개발되었으며, 이는 발광소자, 광전송장치, 수광소자, 저항기 등으로 구성되며, 고성능의 분압기로서 사용되기 위하여 구성요소는 다음과 같은 특성을 가지는 소자가 필요하다.

- ① 고속도의 응답특성을 가질 것
- ② 입·출력의 직선성이 좋을 것
- ③ 발광출력이 클 것
- ④ 전류용량이 충분할 것
- ⑤ 온도특성이 안정할 것

광학식 분압기의 회로는 그림 8과 같으며, 분압저항 r , 보상회로 C_2 , R_2 및 발광다이오드로 구성되며, 과전압에 대한 보호장치로 다이오드를 병렬로 접속하기도 한다. 이의 측정원리는 발광다이오드에서 피측정전류에 비례하여 발생하는 광을 절연성 광화이버로 전송하고, 光電子増倍管 또는 포토다이오

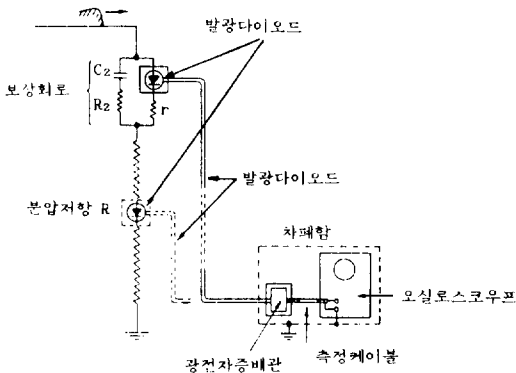


그림 8. 광학식 고성능분압기의 구성도

드(Photo diode)를 사용하여 광을 전기적 신호로 변환하여 오실로스코프를 관측하는 것이다. 즉, 광을 매개로한 신호파형의 아나로그전송방식을 이용하는 것이다. [16]

아나로그방식에 의한 파형의 전송이므로 분압기 성능은 발광다이오드의 특성에 의존하게 되는데, 최근 개발된 발광다이오드의 특성은 매우 우수하므로 응답시간이 수 ns인 측정계의 구성도 가능하여 급속성 과도전압의 측정에도 이용되고 있다.

2.6.4 포켈스효과를 이용한 방전시의 공간전계 측정

임펄스전계의 측정에 주로 사용되는 포켈소자는 ZnS와 KDP이며, 그림 9에 이들의 형상과 동작특성에 대하여 나타내었다. 인가전계의 주파수 성분중 소자의 피에조共振周波數에 상당하는 주파수가 포함되어던지 또는 피에조공진으로 생긴 진동의 탄성효과에 의하여 전반하는 광이 변조되기도 한다. 따라서 포켈소자를 사용하는 경우 소자의 기계적 고유진동에 기인되는 振動波形이 출력신호 파형에 중첩되는 문제점이 있다.

소자의 크기가 1-10mm일 때 공진주파수는 수백 kHz-수 MHz정도이며, 모듈드하지 않고 공간에 배치하면 광출력의 진동성분은 원래 파형의 최대치에 대하여 수%정도로 된다. 일반적으로 포켈스효과 자체는 10GHz를 넘는 급격한 전계변화에도 응답할 수 있는 특성을 가지고 있지만 소자의 固有振動 때문에 주파수대역이 제한되며, 소자의 고유진동이 억제에 대한 개선책이 측정계의 문제점으로 남아 있다.

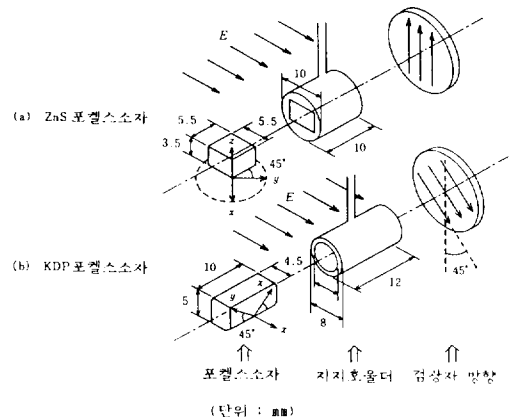


그림 9. 포켈스소자의 형상과 특성

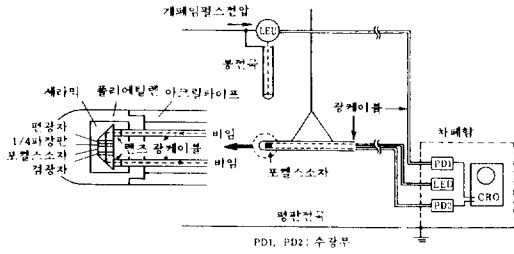
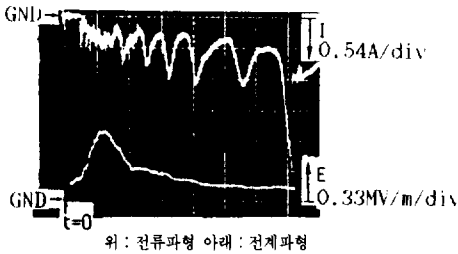


그림 10. 방전공간에서 포켈소자에 의한 전계측정시스템



위 : 전류파형 아래 : 전계파형

그림 11. 전계 및 전류파형

이러한 문제점을 해결하기 위하여 공진주파수와 고유진동수를 측정대역에서 벗어나도록 소자를 소형화, 성층화 및 모듈드화시켜 사용하며, 이러한 형상으로 하면 수 MHz인 주파수대역을 가지는 측정계의 구성이 가능하다.

또한 결정내에서 광의 편파방향에 따라 굴절율이 다른 것을 自然複屈折이라고 하며, 이 현상에 의하여도 오차가 발생된다. 특히 자연복굴절율은 온도의 의존성이 크므로 온도변화에 대한 檢光자의 조정이 필요하다.

방전공간에 포켈소자를 배치하여 공간전계를 측정하는 경우 소자에 전하가 부착되어 피측정전계를 산란시켜 오차를 가져오게 되므로 2분의 광비임(Light beam)을 사용하여 소자내의 2개소의 전계를 동시에 계측하는 방법이 바람직하다.

長間隙의 방전공간에서 포켈소자를 이용한 전계 측정계의 구성을 그림 10에 나타내었다. 봉-평판전극간의 길이는 3m이며, 포켈소자(Bi₁₂SiO₂₀)는 절연물 원통에 들어 있다. 포켈소자와 다른 광학소자는 1×1×2cm³인 세라믹으로 모듈드하였다. 아크릴제 원통을 절연성 끈으로 매달아 포켈소자를 측정위치로 조절하게 된다. 이 측정계의 응답 주파수대역은 20-Hz-7MHz 정도이다. [9]

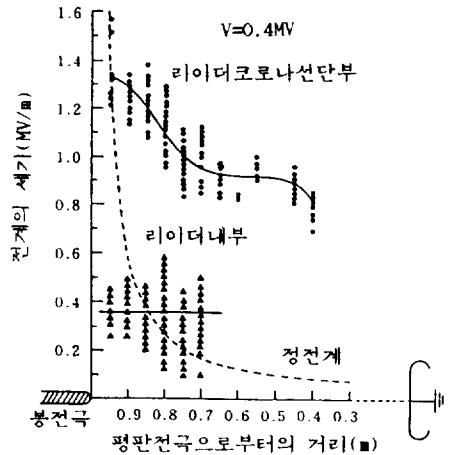


그림 12. 리더방전에서 전계측정예

그림 10의 회로에 250/2,800μs의 개폐임펄스전압을 인가하여 방전극의 先端에서 25cm떨어진 위치에 서리더(leader)방전이 진전될 때 측정된 전계와 전류파형의 예를 그림 11에 나타내었다.

이 결과로부터 방전에 의하여 발생한 전류펄스로 전계가 급격히 증대하여 극대치에 도달하며, 그 후 지속적으로 전류펄스가 발생하여도 전계는 감소하여 일정치로 이행됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 리더가 발생하기 전의 코로나가 접근하여 전계측정점에 도달한 순간에 전계가 최대로 되고, 그 후 리더방전이 진전되어 리더내부로 측정점이 들어가게 되면 전계가 저하하게 된다.

리더선단과 리더내부의 전계를 측정한 예를 그림 12에 나타내었다. [17] 이와 같이 광학적 측정법은 고전압·방전현상의 해석에 관한 연구에 있어서 중요한 수단으로 이용되고 있다.

2.6.5 광변류기

자계중에 화라데이(Faraday)소자를 배치하고 레이저광(Laser light)을 자계와 평행으로 투과시키면 레이저광의 偏光面이 회전한다. 그림 13에 이의 기본 원리도를 나타내었으며, 회전각 θ 는 베르데트정수(Verdet's Constant) ν [deg/Oe·cm], 자계H[Oe], 소자의 두께를 l이라고 할 때 다음 식을 표현된다. [18, 19]

$$\theta = \nu Hl \quad (3)$$

화라데이소자를 고전압의 송전선에 흐르는 전류에

은 $-10 \sim +60^{\circ}\text{C}$ 에서 $+10\%$ 이내이다.

(5) 방전제어에의 이용

그림 17에 나타낸 바와 같이 방전간극의 트리거 신호를 광화이버를 매개체로 하여 고전압측 전극에 전송시키고, 受光素子로 전기적 신호로 변환시킨 후 펄스발생기에 의한 펄스전압을 트리거전극에 인가시켜 간극사이를 방전시킨다. [26]

이와 같은 放電制御의 응용 예로서는 고전압실험용 충격전압 발생장치, 전압의 차단을 위한 간극, 다단직렬갭의 동시트리거, 전력기기보호용 갭, 피뢰기 등이 있다. 이외에도 광학적 측정계는 화라데이 효과를 이용한 전류센서, 자계센서, 光變壓器, 광제어 차단기, 온도 및 압력의 측정용 센서, [27, 28] 변압기 권선내부의 전위진동의 측정등 대단히 넓은 범위에서 이용되고 있다.

3. 결 언

방전·고전압 현상의 연구에 있어서 광학적 소자를 이용하고 전기적 절연물인 광화이버를 전송선로로 사용하는 계측시스템은 앞에서 기술한 바와 같이 신호전송의 고속도, 대용량화가 가능하고, 응답특성이 좋아 廣帶域이며, 전자유도작용에 의한 영향을 거의 받지 않아 측정계의 정확도가 우수한 점 등 여러 가지 장점을 가지고 있다.

전기광학효과를 이용하는 경우에는 기계적 진동의 共振現象 때문에 광대역의 센서를 구성하는데는 제약이 있으며, 광측정계의 주파수대역은 주로 수광부 및 검출부분인 증폭기 회로에 의하여 결정되므로 측정계의 구성시 유의하여야 된다.

초고압전력계통의 계획과 건설을 앞두고 電力계통의 絶緣協調의 합리화와 새로운 기기의 개발, 전력계통의 보호와 운용에 있어서 보다 우수한 계측 및 제어계의 구성이 요구되고 있다. 방전 고전압 분야의 연구 뿐만 아니라 전력기기 및 계통운용 기술의 연구에 있어서도 국내의 이 분야에 대한 적극적인 적용을 목표로 하는 활성적인 연구가 절실히 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] D.F. Binns, A.H. Mufti and N.H. Malik ; "Optical Discharge Detection in SF₆-insulated Systems",

IEEE Trans., Vol. EI-25, No. 2, pp. 405-413, 1990. 4
[2] T. Maeno and Y. Nonaka ; "Determination of Field Distribution in Oil using the Kerr-effect Technique after Application of DC Voltage", IEEE Trans., Vol. EI-25, No. 3, pp. 475-480, 1990. 6
[3] F. Ruhling and N. Trapp ; "Wideband Analog Fiber Optic Data Link in High-voltage Measurements", 4th ISH, Paper No. 64-06, 1983. 9
[4] K. Fesher, P. Pulik and L. Menten ; "Dielectric Field Testing of GIS", CIGRE. Paper No. 33-09, 1986
[5] B. Culshaw and I. Giles ; "Frequency Modulated Heterodyne Optical Fiber Sagnac Interferometer", IEEE Trans., Vol. QE-18, No. 4, pp. 690-693, 1982. 4
[6] 日本電氣學會ハンドブック絶縁試験改訂委員會；高電壓試験ハンドブック, 電氣學會, 1973, pp. 215-236
[7] 宅間 董, 柳父 悟；高電壓大電流工學, 電氣學會, 1988, pp. 162-166
[8] B. Richter ; "Application of Fiber Optics to the Measurement of Leakage Current in Metal-Oxide Surge Arresters", 4th ISH. Paper No. 64-05, 1983. 9
[9] 電氣學會放電における電界計測法専門委員會；電界計測法, 電機學會技術報告(Ⅱ部) 第219號, 1985, pp. 45-70
[10] 李福熙 外；전기 전자재료공학, 보성문화사, 1986, pp. 277-315
[11] 柔原守二 編；電氣電子工學大百科事典, 電氣書院, Vol. 23, 1982, pp. 280-310
[12] 昭和戦線電纜；光ファイバと周邊技術, 昭和電線電纜株式會社, 1983, pp. 4-8
[13] T. Giallorenzi, J.A. Bucaro. A. Dandridge, G.H. Sigel, J.H. Cole, S.C. Rashleigh and R.G. Priest ; "Optical Fiber Sensor Technology", IEEE Trans., Vol. QE-18, No. 4, pp. 626-665, 1982. 4
[14] A. Braun and R. Zirpel ; "Opto-Electronic Transmission System for High-voltage Measurements", 3rd ISH, Paper No. 44-02, 1979. 8
[15] L. Thione and G. Villa ; "Application of Fiber Optics to Impulse Voltage Measurements", 3rd ISH, Paper No. 42-21, 1979. 8
[16] T. Harada, T. Kawamura, K. Kishi, Y. Aoshima, N. Ohira and Y. Takigami ; "A High Quality Divider using Optoelectronics for Impulse Voltage Measurements", IEEE Summer Meeting Paper No. 71, TP 548-PWR. pp. 94-500, 1971. 5
[17] K. Kyuma, S. Tai, T. Sawada and M. Nunoshita ; "Fiber-Optic Instrument for Temperature Measure-

- ment", IEEE Trans., Vol. QE-18, No. 4, pp. 676-679, 1982. 4
- [18] P. Meyrueix, D. Chatrefou and P. Tantin ; "A Great Step in the Industrialization of Optical Measuring Reducers", CIGRE, Paper No. 34-15, 1988. 8
- [19] G.D. Esposti, V. Annovazzi-Lodi and A. Albin ; "Current Measurements on a High Voltage Apparatus using a Fiberoptic Sensor", 5th ISH, Paper No. 73-08, 1987. 8
- [20] 齊藤成文, 浜崎藤二, 蘇井陽一, 横山幸嗣, 大野豊, 志田穆彦 ; "レーザーお利用した無接觸超高壓變流器", 日本電氣學會論文誌, Vol. 88-8, No. 959, pp. 1541-1552, 1968. 8
- [21] S. Saito, Y. Fujii, K. Yokoyama, J. Hamasaki and Y. Ohno ; "8CI-The Laser Current Transformer for EHV Power Transmission Lines", IEEE Trans., Vol. QE-2, No. 8, pp. 255-260, 1966. 8
- [22] S. Saito, J. Hamasaki, Y. Fujii, K. Yokoyama and Y. Ohno ; "12.4-Development of the Laser Current Transformer for Extra-High-Voltage Power Transmission Lines", IEEE Trans., Vol. QE-3, No. 11, pp. 589-597, 1967. 11
- [23] 田邊, 他 ; "GIS用直接變成裝置の開發", 日新電機技報, Vol. 30, No. 2, 1985. 4
- [24] K. Horii and H. Sakurano ; "Observation on Final Jump of the Discharge in the Experiment of Artificially Triggered Lightning", IEEE Trans., Vol. PAS-104, No. 10, pp. 2910-2917
- [25] 遠藤秀人, 清水孝一, 松本伍良 ; "光學的手法による生體周圍の空間電界分布計測", 日本電氣學會論文誌, Vol. J67, No. 12, pp. 964-969, 1984. 12
- [26] 河村達雄, 原田達哉, 岩 敬二 ; "計測制御への光の應用", 日本電氣學會雜誌, Vol. 97, No. 11, pp. 987-995, 1977. 11
- [27] K. Hidaka and Y. Murooka ; "Electric Field Measurements in Long Gap Discharge using Pockels Device", IEEE Proceedings, Vol. 132, No. 3, 1985. 5
- [28] M. Martinelli ; "The Dynamical Behavior of a Single-Mode Optical Fiber Strain Gage", IEEE Trans., Vol. QE-18, No. 4, pp. 1982. 4