

고전압 전력기술분야의 레이저 광응용기술 동향

장 용 무 / 한양대학교 퓨전전기기술응용연구센터

1. 서 론

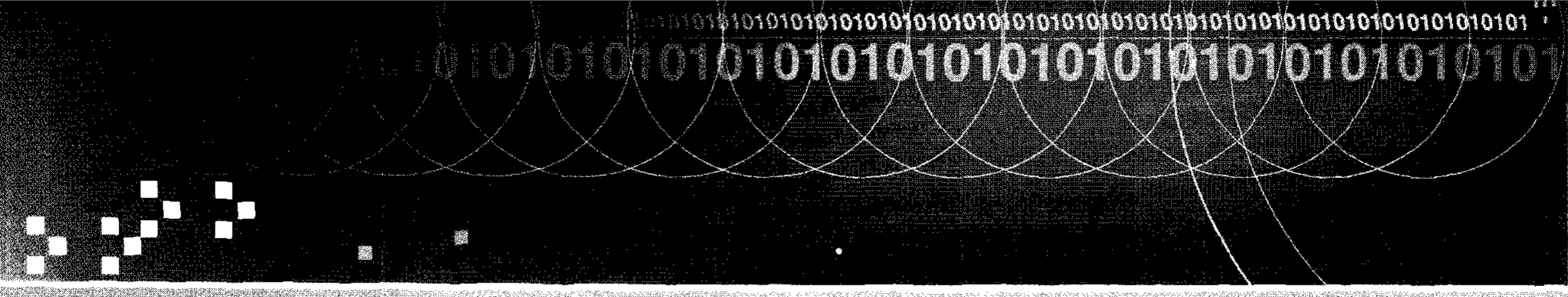
최근 산업 및 가정에서 급증되고 있는 전기에너지 수요를 충족시키고, 전력 계통의 안정적인 운전을 도모하기 위하여 전력 계통 및 전력 설비들의 공급 전압 규모는 초고압화로 승압되고 있으며, 설비의 규모는 대형화로 되는 것이 현재의 추세이다. 이러한 장래의 송배전 인프라는 모든 미시적인 구성요소들을 센서네트워크를 통해 통합 모니터링하고, 이를 바탕으로 지능형 통합운영시스템에 의해 조율 운영되는 Micro-Grid, Mini-Grid, Smart-Grid 등으로 발전되고 있으며, 이러한 전자제어방식의 "지능형" Grid를 구현하기 위하여 스스로 성능을 지속적으로 최적화하고 자동으로 장애를 예측하여 각종 문제에 대응할 수 있는 자가복구(Self-Healing)기능을 갖출 수 있어야 한다. 이를 위하여 전력인프라에 대한 사고예방과 안정된 운영을 위하여 정확하면서도 신뢰성이 확보되는 상시 및 예방진단을 위한 온라인 전압·전류 측정 및 부분방전을 비롯하여 각종 파라미터의 측정 및 진단의 확보가 절대적으로 필요하다. 그리고 최종 수용가에 공급되는 전력의 고품질화를 위하여 배전계통의 선로사고진단 및 원격조정 배전 자동화를 비롯하여 배전반의 콤팩트화 및 전자 디지털화로의 개발 추세를 반영하여 설계 제작된 고급형 배전반을 유지 보수하기 위해서 최우선적

으로 전압·전류, 온도, 부분방전 및 기타 등등의 센서 기술과 이들 센서의 측정 데이터를 분석할 수 있는 신호처리회로 등에 대한 개발기술의 확립이 필수적인 요소이다.

그러나 현재 운영되고 있는 전력설비의 감시 및 보호를 위하여 설치된 기존의 감시방법은 장래의 전력 IT화를 위해서는 여러 가지 문제점들을 발생될 수 있다.

이러한 문제점이나 단점의 해결과 세계적으로 부각되고 있는 전기품질의 중요성으로 감시 보호제어 및 진단기능을 강화시키기 위하여 새로운 센서기술, 광기술, IT 등의 새로운 디지털기술을 접목시킨 융합형 전력기기 개발을 위하여 선진 외국 및 국내 관련업체의 개발투자를 집중시키고 있다.

최근에 눈부신 발전을 하고 있는 레이저 및 광전자 기술을 바탕으로 광전압 센서 및 광전류 센서들이 개발되어 전력 기술분야에 적용하기 위한 연구투자가 세계적으로 활발하게 이루어지고 있다. 또한, 1970년에 코닝에서 개발된 저손실 광섬유의 일반화로 인하여 광통신 및 센서의 발전을 가능케 하여 변압기 온도 측정, 화재감시, 재료의 열화측정 등의 온도감시를 위한 광섬유센서 또는 적외선센서기술도 실용화 개발단계에 있으며, 일부 관련업체에서는 상용 제품을 출시하고 있다. 이외에 발전된 광기술을 바탕으로 여러 분야에서 광응용기술이 개발되고 있다.



이러한 디지털 전력기기분야의 새로운 센서들은 전자기기적 무유도성 및 전기절연성에서 매우 우수하여 고전압 및 대전력 설비 진단에 적용할 경우, 기존의 철심형 CT 및 PT를 적용한 계측 시스템에서 발생하는 여러 가지 문제점들을 해결할 뿐 만 아니라, 전자식 계전기 및 전력품질(PQ) 등 새로운 분야로의 확대 적용이 가능한 미래 지향적인 시스템이다. 또한, 이들 센서는 필요에 따른 구조변경이 용이할 뿐 아니라 소형화가 가능하여 제작비용이 절감되며, 설치가 용이하여 전자식 배전반 내부 및 외부에 별도의 유지보수가 필요 없어 반영구적으로 사용이 가능한 장점을 지니고 있다. 아울러, 광섬유 센서는 전자파간섭에 대한 내성, 폭발성이 강한 환경에서 사용 가능한점, 다중화 및 분포측정 능력이 우수한 장점을 지니고 있다.

본고에서는, 국내 중전기기의 세계적인 기술격차를 극복하기 위한 방안으로서, 선진국도 개발단계에 있는 디지털 IT 전력기기 개발에 핵심적인 새로운 센싱기술에 대하여 소개하고자 한다. 한국이 IT분야에서는 이미 세계적으로 최고의 수준으로 인증 받고 있으므로, 이를 바탕으로 전자식 또는 광섬유 및 광응용 센서를 전력기기에 접목할 수 있는 기술을 선진국에 앞서 개발 및 적용하기 위하여 광기술 및 광섬유가 응용된 각

종 센서기술에 대한 개요 및 선진 외국의 기술동향을 소개함으로써 국내의 연구투자 및 상용적인 활용을 도모하기 위한 기술적인 이해를 돕고자 한다.

2. 광응용 전압 및 광전류 센서

레이저응용 진단기술은 전력설비의 신뢰성 확보 차원에서 사고 및 예방을 위한 상시진단 분야에 우수한 장점을 지니고 있어 장래의 계기용 및 보호용 계측장치로 발전이 확실시 된다. 그러나 설비진단용 광CT 및 광 PT는 측정된 신호로 다양한 전력설비를 제어 및 운전해야 하기 때문에 주변 온도 및 진동 등의 외부영향에서도 요구되는 측정 정밀도가 확보되어야 할뿐 아니라, 또한 진단 시스템의 성능을 좌우하는 감도, 동작범위, 고속 응답 등에서 고성능 및 고 신뢰도가 요구된다.

레이저 응용계측의 장점은, 첫째: 전기적인 절연 및 전자파장애(EMI)로부터 자유롭고, 둘째: 비접촉식이며 비파괴적인 계측이 가능하고, 셋째: 공간과 시간적인 측정분해능 및 정밀도가 높으며, 넷째: 소형, 경량의 센서제작과 원격 조정이 가능하며, 마지막으로 잠재적으로 경제성을 확보할 수 있는 기술이다.

다음으로 상용 광 CT 및 광 PT의 특성은 표 1에 나타낸

표 1 상용 광 CT/VT(Areva사)의 특성

SUMMARY OF PERFORMANCE: CTO, BMO, VTO, CMO		
PRIMARY RATED VOLTAGE		100 kV to 800 kV other voltages : refer to factory
PRIMARY RATED CURRENT		40 A to 4000 A other currents : refer to factory
SECONDARY RATED CURRENT	Amplified metering output Low level metering output Low level protection output Digital output	1 A ; 0.5 VA 4 V ; burden higher than 10 kOhms 150 mV ; burden higher than 10 Ohms IEC : 60044.8
SECONDARY RATED VOLTAGE	Amplified metering output Low level metering output Low level protection output Digital output	69 V ; 0.5 VA 4 V ; burden higher than 10 kOhms 2 V ; burden higher than 10 kOhms IEC : 60044.8
DYNAMIC AND ACCURACY	Metering current Protection current Metering voltage Protection voltage	IEC ; Class 0.2 IEC ; Class 5P20 IEC ; Class 0.2 IEC ; Class 3P
ENVIRONMENT	Operating temperature Outdoor equipment Indoor equipment	- 40°C ; + 40° C (Celsius degrees) - 40°F ; + 104°F (Fahrenheit degrees) - 25°C ; + 50° C (Celsius degrees) - 13°F ; + 122°F (Fahrenheit degrees)

바와 같아 항목별로 설명하면, 확보(accuracy)는 기존의 정밀 계기용 및 보호용의 등급보다 우수하며, 측정 대역은 특정한 정격의 제한 없이 넓은 뿐 아니라 주파수대역도 저주파에서 고주파까지 선형성을 유지할 수 있다. 그리고 기존의 아날로그를 비롯하여 디지털 계전기와의 인터페이싱이 용이하고, 현재로서는 송변전급에서 설치 및 유지보수 비용면의 경제성에서 경쟁력을 갖지만, 향후에는 배전급까지 잠재적

인 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

영국의 과학자 Roger에 의해 1973년에 자기광학효과(magneto-optic effect)를 응용한 전류(자계)측정방법이 제안된 이후, 전기공학분야에서 새로운 전류측정 센서로 응용하기 위한 많은 연구 투자가 이루어지고 있다. 광전류 센서의 원리는 그림 1과 그림 2와 같으며, 사용되는 Faraday 소자에 따라 1) Bulk Faraday 결정을 이용한 광전류센서, 2) Bulk 글라스를 이용한 광전류 센서, 3) 광섬유 Faraday 소자를 이용한 광전류 센서, 4) 혼합형 광전류 센서로 분류할 수 있다.

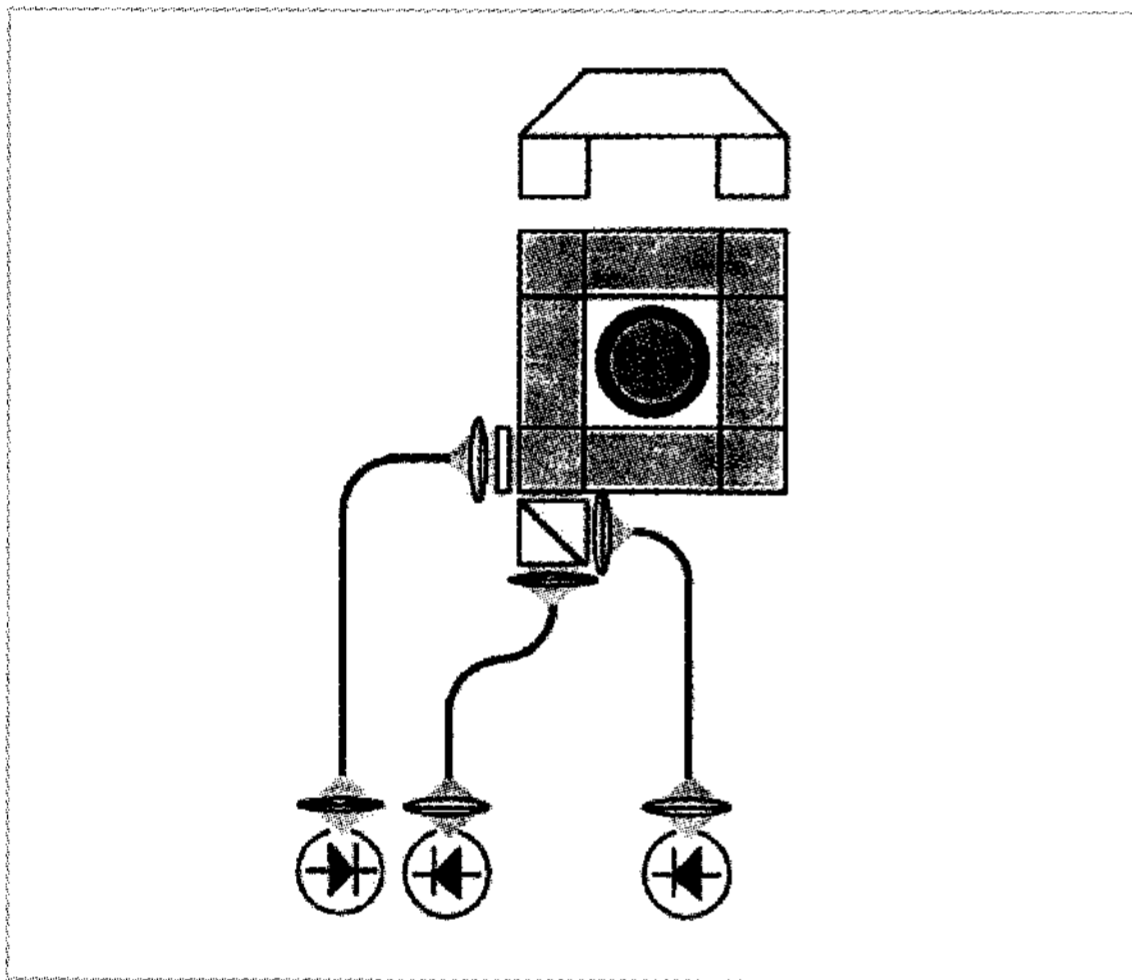


그림 1 Faraday 효과를 이용한 광전류센서 원리

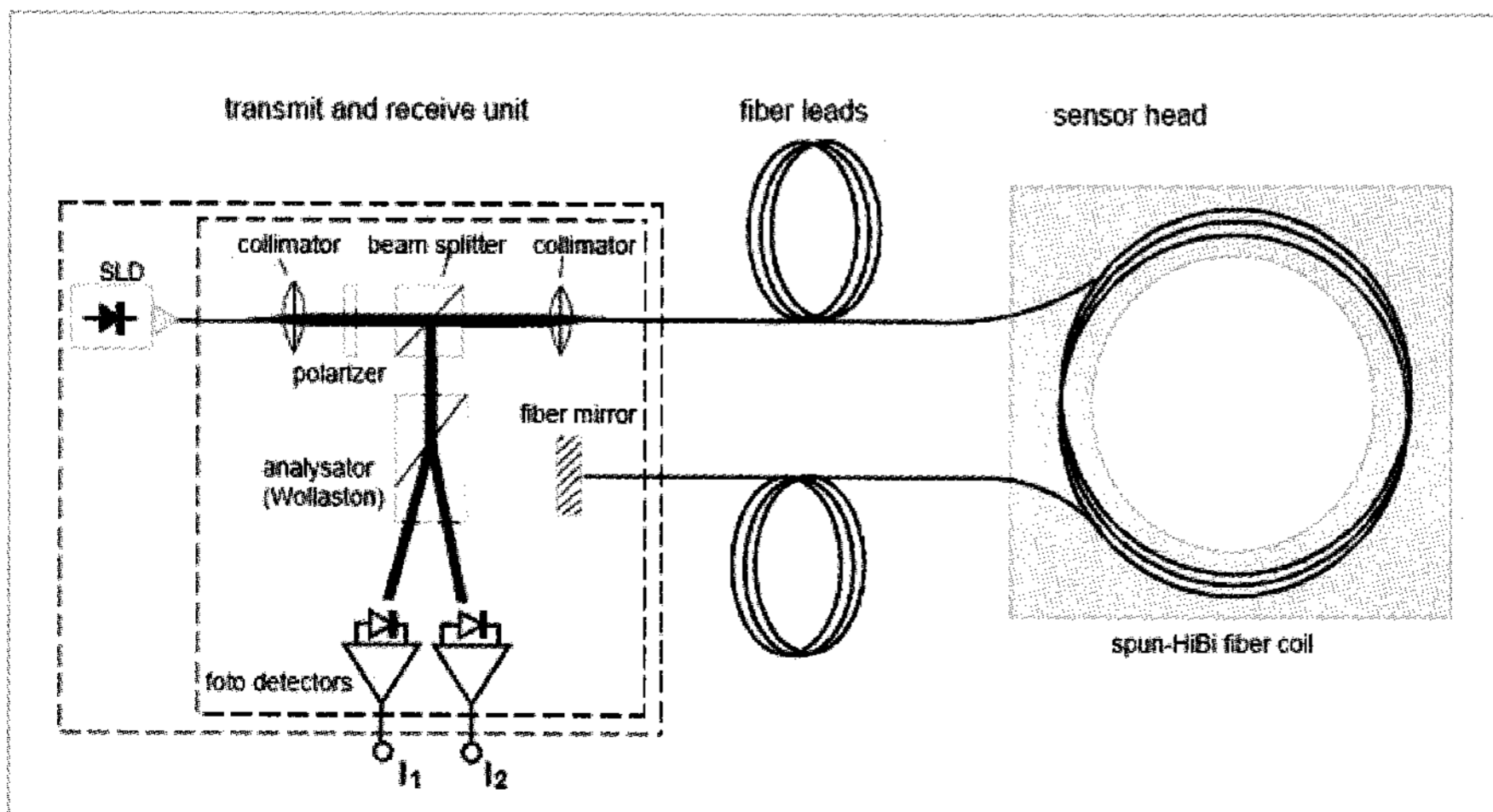


그림 2 광섬유 Faraday 소자를 이용한 광전류센서

전기광학 효과(Pockels effect)는 비선형 광학 결정에 외부 전계가 인가될 때 결정의 굴절률이 변화되는 현상을 말하며 전기 광학 효과를 가진 비선형 결정의 유전을 인가되는 전계의 세기에 따라 변화하게 되는데 이때 관통하는 레이저 빛이 변화된 유전율에 따라 변조가 일어나는 원리로, 그림 3과 같이 인가된 전계의 방향과 빛의 진행방향이 수직을 이루는 횡형변조(transverse modulation)는 빛의 진행방향과 전계가 평행한 종형변조(longitudinal modulation)이 소자의 모양이나 크기에 무관하게 반파장 전압(halfwave voltage)값이 고정되는 것에 비하여, 소자의 크기를 변형시켜 반파장 전계값을 조정하여 방전에 의해 변화되는 전계의 측정 범위를 조절할 수 있는 장점이 있다. 측정하고자 하는 전압(전계)이 인가되면, 전계 E와 입사광과 투과광의 비 I_{out}/I_{in} 사이에는 그림 3(c)와 같은 선형관계가 성립한다.

전류측정을 위한 AREVA사의 상용제품 CTO의 구조는 그림 4와 같으며, 광전류센서부의 Faraday 소자는 정방형 bulk glass를 사용하였으며, 입력광은 센서소자를 통과하면서 변조되며 추가적인 간섭계로 편광회전에 의한 광강도 변조가 이루어진다.

일본의 Toshiba사에서 90년대초부터 본격적으로 개발하기 시작한 GIS용 광 CT(그림 5) 및 광 PT(그림 6)

에 현재의 상용화에 도달한 상태이다. 여기서는 광센서 소자의 온도에 대한 영향을 해결하는데 상당한 비중을 두어 연구를 하였다.

3. 광섬유 온도 센서

전력설비를 신뢰성을 갖도록 안정적으로 운용과 사고 예방을 위하여 계측되어 분석해야 할 온도는 중요한 감시 파라미

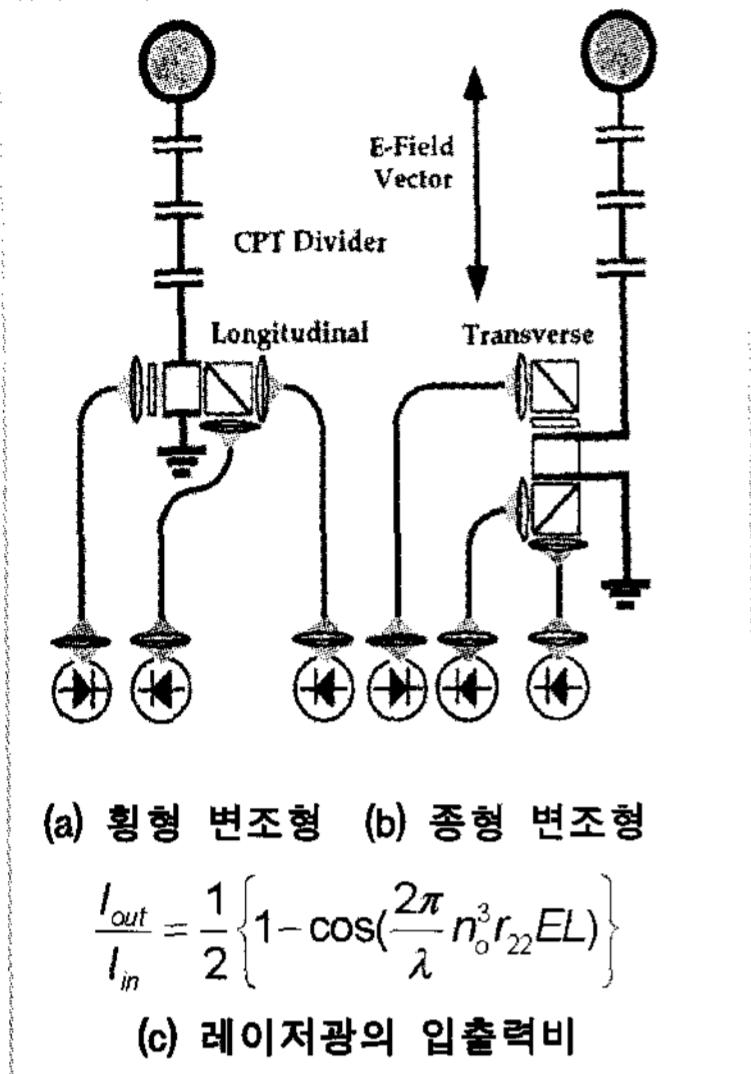


그림 3 Pockels 효과를 이용한 전계 측정 원리

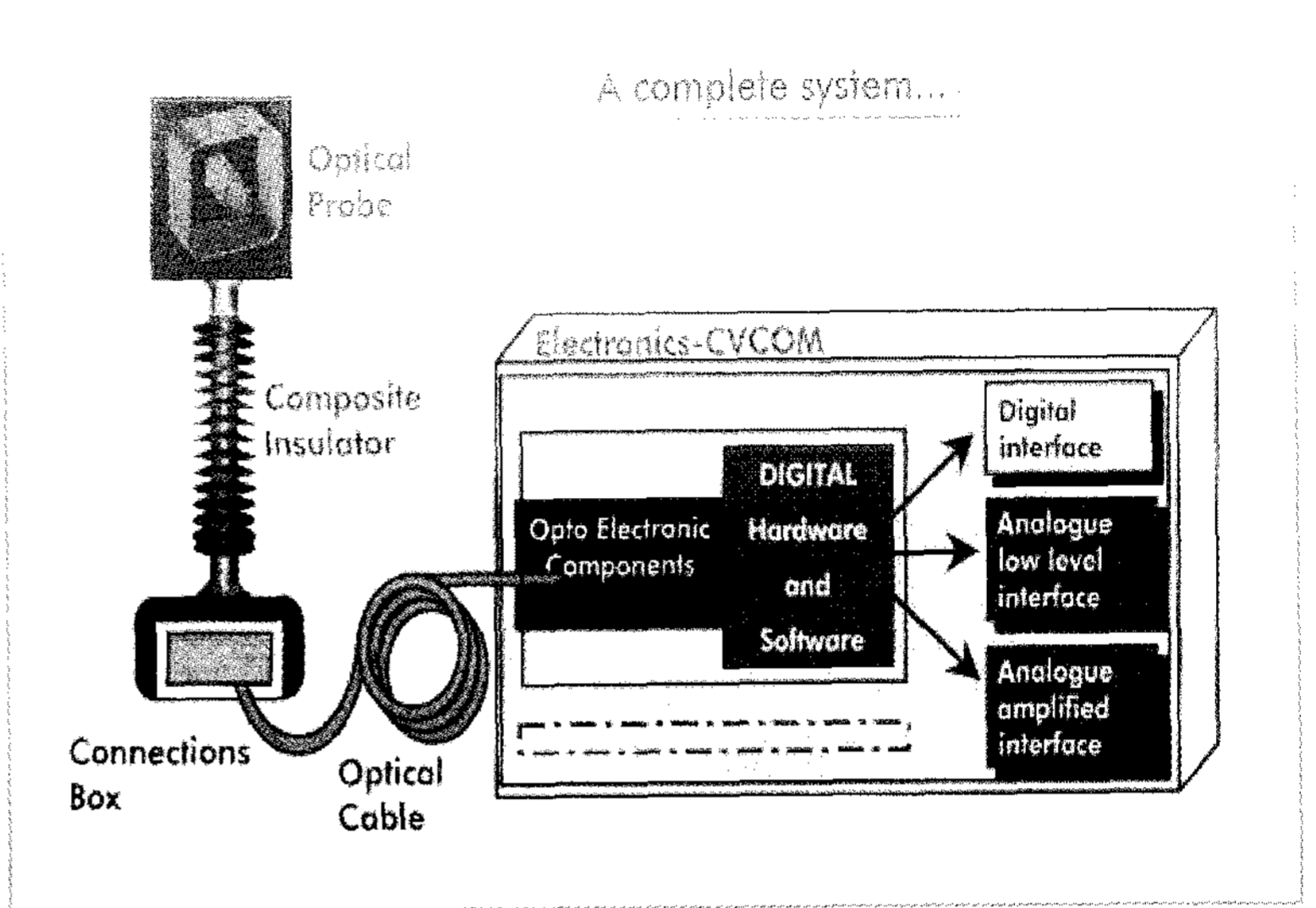


그림 4 AREVA CTO 시스템의 개략도

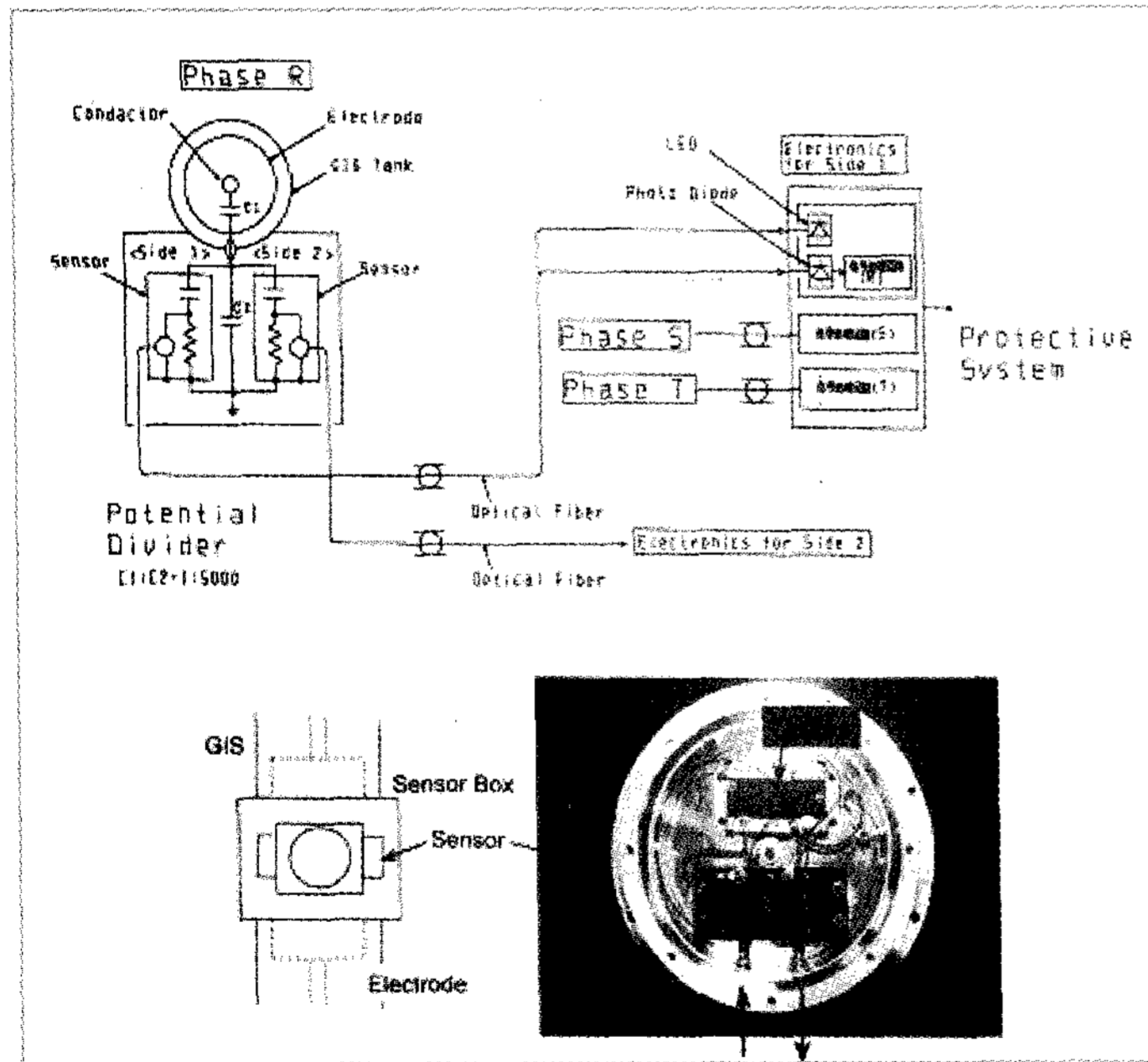


그림 5 Toshiba사 550kV GIS용 광 PT

터 중의 하나이다. 그러나 변압기와 같은 설비는 비정상적인 온도가 발생하여도 바로 사고로 이어지지 않기 때문에 온도측정은 사고를 예측하는 데는 어려움이 있으나, 과부하 등으로 인한 기기 내부의 과열을 조기에 발견하기 위한 수단으로 적용되고 있다.

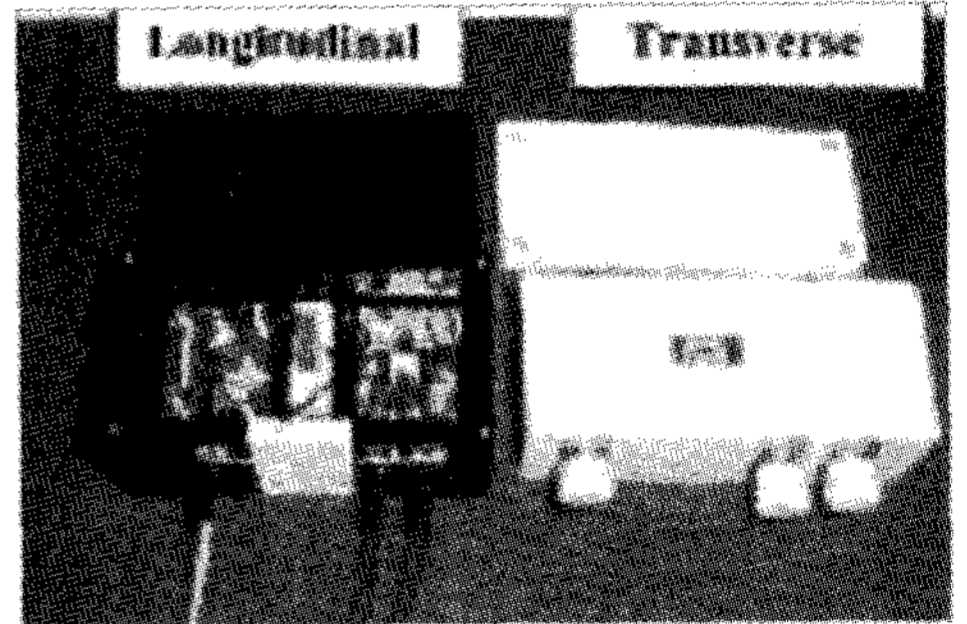


그림 6 GIS용 광 PT

광학적인 방법에 의한 온도측정은 기존의 온도센서에 비하여 여러 면에서 많은 장점을 가지고 있으며, 또한 최근에는 광섬유의 발달로 다양하게 광섬유가 응용된 광온도 센서가 연구 개발되거나 실용화 되어 있다. 광섬유 온도센서는 레이저광 계측방법이 갖는 우수한 대부분의 특성을 가지고 있지만, 가격 경쟁력과 신생기술이라는 두 가지 단점으로 인하여 아직까지는 보편화되지 않았지만, 기존의 온도센서와 비교되는 장점을 활용하여 응용된다면 가까운 장래에는 전력기기의 온도 센서로 일반화 될 것으로 기대된다.

광섬유 온도센서는 측정 방법에 따라 접촉식과 비접

촉식이 있으며, 광섬유 자체의 온도특성을 이용하여 광섬유가 센서가 되는 방법과 별도의 광온도센서와 결합시켜 광섬유는 광을 전송만하는 방법이 있다. 또 다른 구분은 공간적으로 측정하고자하는 범위에 따라 분포형 센서(distributed sensor)와 국부형 센서(point sensor)로 나누어진다. 분포형 센서는 광섬유 자체를 센서로 이용하는 광섬유 기능형 센서에서만 가능한 방법으로 DTS(distributed temperature sensor 또는 FTR: fiber optic temperature laser radar)와 같은 방법이 대표적으로 실용화된 방법이다. 국소형 센서는 반도체의 발광특성, 형광물질의 온도 의존특성, 흑체복사 등을 이용하는 방법들이 보편화 되어 있다.

3-1. 형광 및 발광 광섬유 온도센서

GaAs 등의 반도체 박막의 발광(photoluminescence)을 이용하여 온도에 따른 발광강도의 변화를 측정하거나, 파장의 변화를 검출하여 온도를 측정하는 방법이 있다. 그림 7은 발광 효율을 높이기 위하여 특별히 설계된 반도체 칩을 광섬유 끝단에 부착시킨 GaAs-발광 온도센서의 구성도이다. 광섬유를 통하여 LED의 여기광으로 GaAs 칩을 여기 시키면 반도체 칩의 온도에 따

라 GaAs 칩에서 발광되는 빛을 광섬유를 통하여 검출하게 된다. 이때, 온도에 따라 발광의 파장은 장파장 쪽으로 이동하고, 발광의 세기는 감소한다. 상용화된 제품은 일반적으로 0 ~ 200 °C 범위에서 0.5 ~ 1 °C 정도의 오차를 나타낸다.

3-2. 광섬유 Bragg 격자 온도센서

광섬유 브래그격자(fiber Bragg grating)는 그림 7과 같은 구조 및 동작 특성을 가진다. 레이저광이 진행되는 광섬유의 코어내에 주기적인 굴절률 변화가 새겨진 것은 잘 알려진 브래그 회절격자(Bragg grating)의 역할을 하게 되며 그림 8과 같이 광폭 스펙트럼(broadband spectrum)을 광섬유에 입사시킬 경우, 아래 식과 같은 브래그 조건(Bragg condition)에 의해서 결정된 파장 성분이 광섬유 격자 부위에서 반사되며 나머지 파장 성분은 그냥 통과한다.

광섬유 격자에 온도를 가할 경우, 가해진 온도는 브래그 파장을 변화시키고, 브래그 파장의 변화는 간섭계 출력 신호의 위상 변화로 변환된다. 간섭신호의 출력 위상을 측정하는 것은 브래그 파장의 변화를 분광 분석기 등을 이용하여 직접 측정하는 것에 비하여 훨

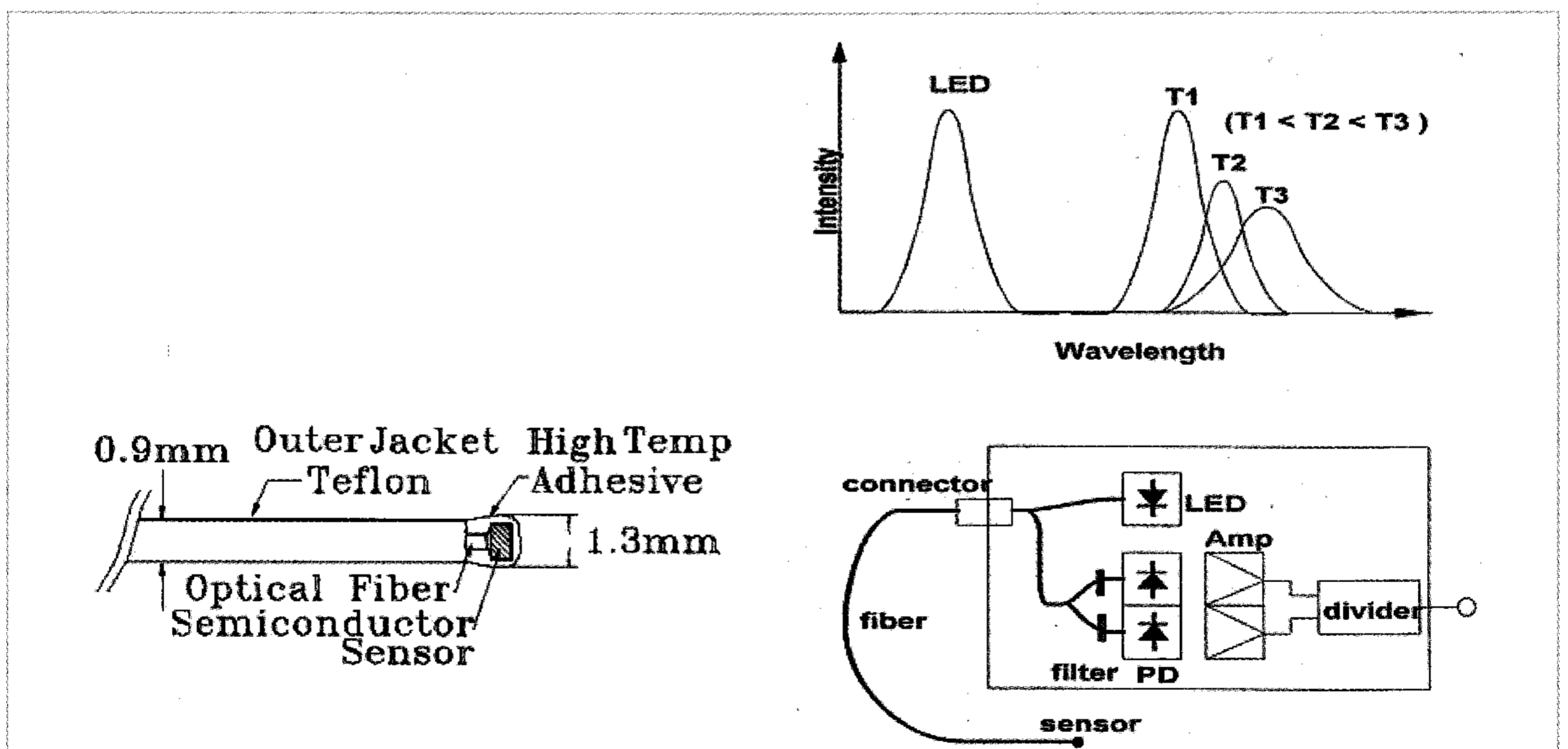


그림 7 GaAs photoluminescence를 이용한 광온도 센서

신 정밀한 정도의 측정이 가능하며 앞서 언급하였던 해결할 수 있는 방법이다.
분광 분석기의 여러 문제점(속도, 비용, 크기...)등을

표 2 플라즈마중의레이저傳播현상과그원인및그것을 이용하여 측정할 수 있는 플라즈마의 제량

현 상		원 인	플라즈마 제측에의 이용	
반 사	입사광이 플라즈마에 의해 반사됨	그 주파수의 전자파가 플라즈마 중 전반의 cut off 조건이 됨	① 플라즈마 밀도의 간이 추정법 ② 「전상(傳相)변화」와 함께 핵융합장치에서의 플라즈마 밀도 측정	
투 과	강도 변화	투과광 강도가 플라즈마에 의해 감소함	레이저 광을 플라즈마에 흡수시켜 여기된 플라즈마 파동을 측정하고 그의 파동의 자계와 이온온도 의존성을 이용하여 자계와 이온온도를 구함	
		플라즈마를 구성하는 입자에 의한 흡수	흡수에 관여하는 입자 밀도의 선별측정	
	위상 변화	투과광의 위상이 플라즈마와 진공에 대해서 다르게 변화함	플라즈마의 굴절율이 진공중의 값(=1)에서 변화함	① 완전전리 플라즈마에 있어서는 전자 밀도의 측정 ② 중성기체도 굴절율에 기여할 때는 다른 파장의 레이저 광을 이용하여 전자밀도, 중성기체 밀도를 분리하여 측정함
편광면 회전	직선편광의 레이저를 플라즈마중에 투과시킨 후 편광면을 회전함	자화 플라즈마 중에서의 오른방향과 왼방향의 굴절율이 다르므로 직선편광을 그들 두 개로 분해했을 때, 플라즈마를 전반후에 합성한 편광면이 회전	회전각이 자계와 전자밀도의 곱과 레이저 운반통로에 걸치는 적분치에 비례하므로 다른 방법으로 전자밀도를 알면 자계강도가 구하여진다. 그 공간분포로부터 플라즈마 중의 전류밀도가 구하여진다	
굴 절	입사 레이저 광의 통로가 플라즈마를 통과 후 입사광의 진행방향에서 휨	플라즈마의 굴절율의 정도에 의함	① 충격파 등이 밀도변화의 현저한 장소의 가시화 측정 ② 투과,산란등의 측정을 하기위해 레이저 광의 힘을 어느 정도 이하로 억제 하기 위한 레이저주파수하한의 검토	
산 란	레이저 광의 일부가 플라즈마 입자에 의해 레이저 광의 전반방향과의 다른 방향으로 산란됨	Mie 산란	레이저 파장보다 훨씬 큰 입자에 의한 산란	플라즈마 등의 입자의 덩어리의 공간 분포, 밀도, 속도의 측정
		Rayleigh 산란	원자, 분자, 이온 등에 의한 산란	① 플라즈마 등의 원자, 분자, 이온의 밀도 측정 ② 레이저형광, Thomson 산란을 하기 위해 광학계 교정
		Raman 산란	입사 레이저 광의 에너지가 분자에 흡수되거나 분자에너지가 레이저 광의 에너지에 더해져서 입사 레이저광과 다른 파장의 산란광이 나타남	① 분자의 밀도, 속도등의 측정 ② 레이저 형광, Thomson 산란을 하기 위한 광학계의 교정
		레이저 형광 (LIF)	원자, 분자, 이온의 에너지 준위차에 일치하는 레이저 광이 입자에 흡수되면서 동시에 입자를 여기시켜 그것이 하준위로 천이할 때 발생하는 방출스펙트럼	형광발생에 관여하는 원자, 이온, 분자의 밀도 에너지 분포함수의 선별 측정
		Thomson 산란	플라즈마중의 자유전자에 의한 산란	① 하전입자(전자,이온) 밀도, 온도의 측정 ② 플라즈마의 요동에 의한 전자밀도 요동의 파수, 주파수, 스펙트럼의 측정

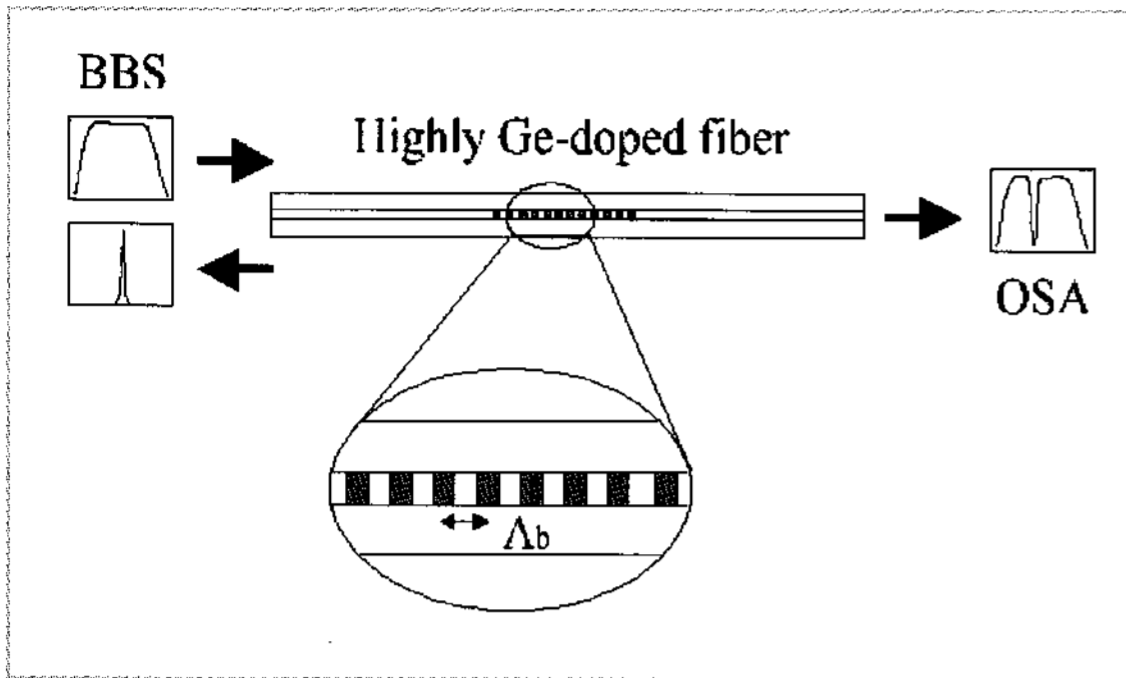


그림 8 광섬유 Bragg 격자의 동작특성

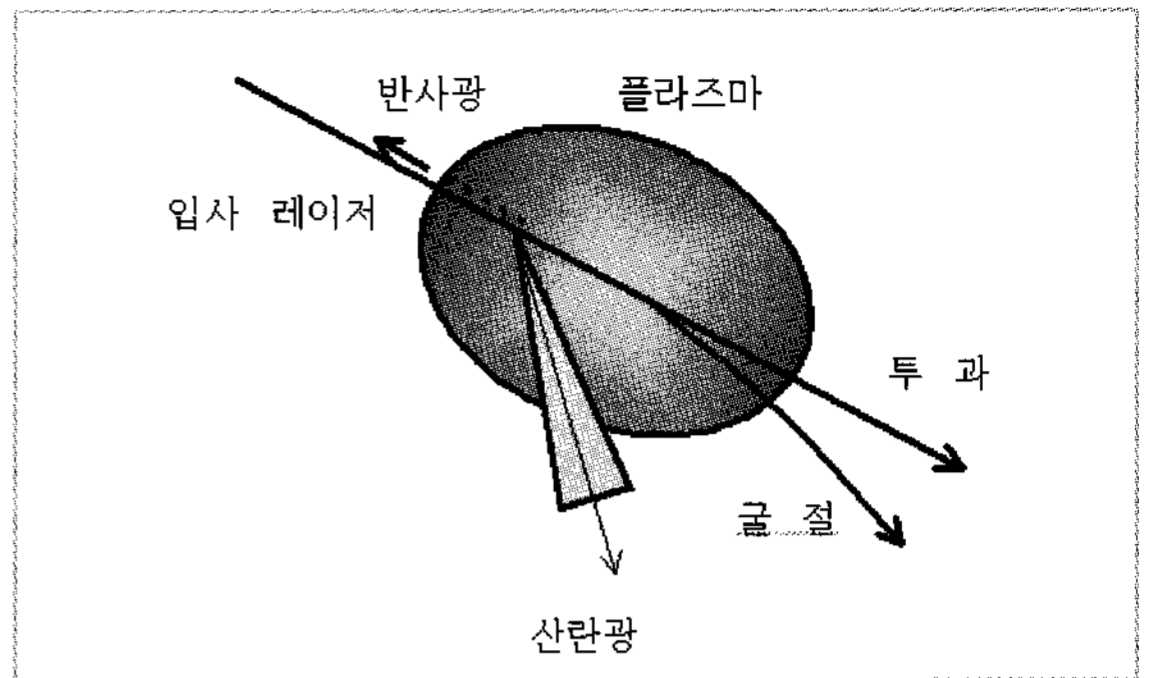


그림 9 레이저 응용 방전 플라즈마 계측의 원리

4. 전기방전 아크 및 플라즈마 계측

일반적으로 레이저 응용계측은 피계측 대상에 레이저 광을 조사하여 그 응답을 보는 “능동적 계측법”이다. 피계측 대상이 플라즈마인 경우에는 그림 6에 나타난 바와 같이 플라즈마중에 레이저 광을 입사하면 레이저 광은

- 1) 플라즈마에 의해 반사되기도 하고
- 2) 투과광의 강도와 위상, 편광도가 변화하기도 하고
- 3) 경우에 따라서는 레이저의 진행경로가 휘기도 하고
- 4) 산란광이 관측되기도 하고

한다. 그 크기의 정도가 플라즈마에 따라서 다른 점을 이용하여 레이저 응용 플라즈마 계측에서는 문제로 하고 있는 플라즈마에 대해서 상기한 4가지의 경우가 관측이 가능하도록 레이저의 파장, 스펙트럼 폭, 강도, 편광도 등을 구하여 플라즈마의 파라미터를 계측하는 방법을 개발한다. 이 방법에 의하면 측정량의 시간적?공간적?스펙트럼적 분해능은 레이저측의 특성에 따라 정해지므로 레이저 광의 우수한 가간섭성(coherence)을 사용하면 플라즈마의 제 파라미터를 원격에서 높은 감도와 분해능을 가지고 파악할 수가 있다.

표 3에서는 상기한 4가지에 영향을 미치는 因子와 그것을 이용하여 측정할 수 있는 플라즈마의 파라미터를 나타내었다. 플라즈마 응용은 상당히 영역이 넓어지고 있는 동시에 레이저 및 계측기도 급속히 발전하고 있으므로 레이저응용 플라즈마 계측은 금후에도 점

점 그 측정대상을 넓혀나가면서 중요한 역할을 완수하는 것이 기대되고 있다.

레이저 응용 플라즈마 계측 연구로서 현재 세계적 연구동향과 그 내용을 간략히 소개하면 다음과 같다.

1) Thomson 산란법에 의한 플라즈마 진단

레이저 Thomson 산란법은 이미 확립된 기술이나 신세대의 요구에 부응하여 그 기능과 응용범위를 확대하기 위하여 다음과 같은 연구과제가 진행되고 있다.

- a. LIDAR Thomson 산란법에 의한 전자 온도?밀도의 계측.
- b. 적외·원적외 레이저에 의한 이온온도의 계측.
- c. Thomson 산란법의 방전 플라즈마에서의 응용.
- d. Fraunhofer 회절법에 의한 플라즈마 요동의 검출과 와해의 사전검출

2) 고온 플라즈마중의 입자계측

고온 플라즈마중에서 레이저 형광법의 측정대상으로 되는 입자는 수소원자와 불순물 원자임. 불순물은 플라즈마·벽면의 상호작용의 관점에서 중요하다.

- a. 대형 플라즈마 장치중에서의 수소원자 밀도의 측정.
- b. 이온빔을 조사할 때 스퍼터된 원자의 속도 분포 관수의 측정

3) 레이저 분광법에 의한 프로세스 플라즈마의 진단

프로세스 플라즈마중의 각종 래디칼의 측정은 레이저 분광법의 좋은 측정대상이 된다. 더욱이 스펙트럼 프로파일의 계측으로 새로운 정보를 얻을 수 있다.

- a. Stark 효과에 의해 국부전계의 계측

b. 스펙트럼 프로파일의 관측에 의한 입자의 속도와 온도의 계측

4) 플라즈마 계측용 신형 레이저의 개발

a. 고속 주파수스캔(RAFS) 레이저의 개발과 그 응용

b. ps(10-12s)고출력 색소 레이저와 광대역 가변파장 coherent 광원의 개발

c. 새로운 가변파장 고체 레이저의 개발

표 3 플라즈마중의레이저傳播현상과그원인및그것을 이용하여 측정할 수 있는 플라즈마의 제량

		현 상	플라즈마 계측에의 이용
반 사		입사광이 플라즈마에 의해 반사됨	① 플라즈마 밀도의 간이 추정법 ② 「전상(傳相)변화」와 함께 핵융합장치에서의 플라즈마 밀도 측정
투 과	강도 변화	투과광 강도가 플라즈마에 의해 감소함	레이저 광을 플라즈마에 흡수시켜 여기된 플라즈마 파동을 측정하고 그의 파동의 자계와 이온온도 의존성을 이용하여 자계와 이온온도를 구함 흡수에 관여하는 입자 밀도의 선별측정
	위상 변화	투과광의 위상이 플라즈마와 진공에 대해서 다르게 변화함	① 완전전리 플라즈마에 있어서는 전자 밀도의 측정 ② 중성기체도 굴절율에 기여할 때는 다른 파장의 레이저 광을 이용하여 전자밀도, 중성기체 밀도를 분리하여 계측함
	편광면 회전	직선편광의 레이저를 플라즈마중에 투과시킨 후 편광면을 회전함	회전각이 자계와 전자밀도의 곱과 레이저운반통로에 걸치는 적분치에 비례하므로 다른 방법으로 전자밀도를 알면 자계강도가 구하여진다. 그 공간분포로부터 플라즈마 중의 전류밀도가 구하여진다
굴 절		입사 레이저 광의 통로가 플라즈마를 통과 후 입사광의 진행방향에서 휨	① 충격파 등 밀도변화의 현저한 장소의 가시화 측정 ② 투과,산란등의 측정을 하기위해 레이저 광의 휨을 어느 정도 이하로 억제하기 위한 레이저주파수제한의 검토
산 란	레이저 광의 일부가 플라즈마 입자에 의해 레이저 광의 전반방향과의 다른 방향으로 산란됨	Mie 산란	플라즈마 등의 입자의 덩어리의 공간 분포, 밀도, 속도의 측정
		Rayleigh 산란	① 플라즈마 등의 원자, 분자, 이온의 밀도 측정 ② 레이저형광, Thomson 산란을 하기 위해 광학계 교정
		Raman 산란	① 분자의 밀도, 속도등의 측정 ② 레이저 형광, Thomson 산란을 하기 위한 광학계의 교정
		레이저 형광 (LIF)	형광발생에 관여하는 원자, 이온, 분자의 밀도 에너지 분포함수의 선별 측정
		Thomson 산란	① 하전입자(전자,이온) 밀도, 온도의 측정 ② 플라즈마의 요동에 의한 전자밀도 요동의 파수, 주파수, 스펙트럼의 측정

5. 레이저 誘雷

최근 전력계통 및 설비들이 초고압, 대용량화되고, 또 기술혁신으로 인하여 외적영향에 의한 설비사고회수는 감소되었지만 自然현상인 落雷에 의한 停電사고 비율은 상

대적으로 더 높아지게 되었다. 일본의 경우는 송전선 사고의 2/3가 낙뢰에 의한 것이며, 95년도의 우리나라 낙뢰사고는 송전설비 고장발생의 1/4, 자연환경여건에 의한 사고의 90%를 차지하고 있다[2]. 세계 각국의 통계에서도 낙뢰사고가 전체 사고의 절반이상의 차지하는 것으로 보고되고 있어 雷害에 대한 방지책이 더욱 절실히 요구되고 있다.

레이저 誘雷는 그림 10에서 보는 바와 같이 대출력 펄스 레이저를 雷雲을 향하여 대기 중으로 집광시키면, 대기 중의 공기가 광절연파괴되어 장거리의 플라즈마채널이 생성되고, 뇌운으로부터 생성된 플라즈마 채널을 통하여 雷放電을 인공적으로 안전한 접지 장소로 유도하는 방법이다.

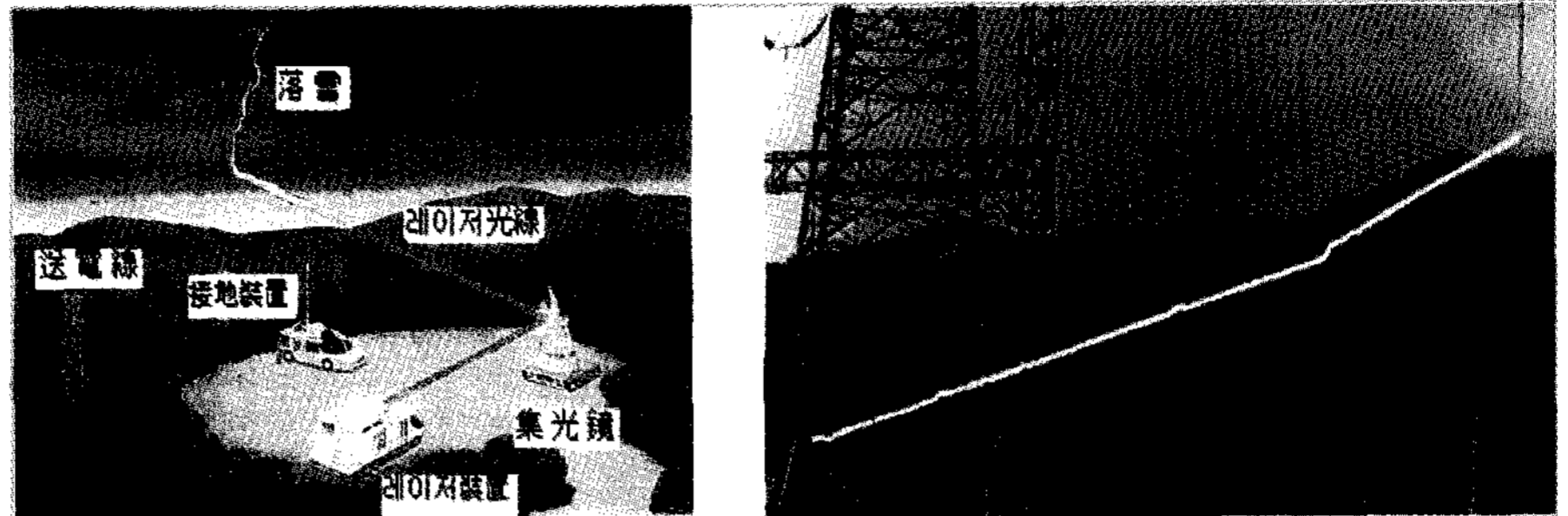


그림 10 레이저 誘雷 개념도(세계 최장의 16m 레이저 유도방진)

참고문헌

1. M.Takahashi, et al., "Optical Current Transformer for Gas Insulated Switchgear Using Silica Optical Fiber," IEEE Trans. on Power Delivery, vol.12, p.1422, 1997.
2. S. Kobayashi et. al., "Development and Field Test Evaluation of Optical Current and Voltage Transformers for Gas Insulated Switchgear," IEEE Trans. on Power Delivery, vol.7, p.815, 1992.
3. E.Harada, et al., "Application of Electronic Secondary Technologies to 1000kV Gas-insulated Switchgear and Transformer", IEEE Trans. on Power Delivery, vol.14, p.509, 1999
4. C.P.Yakymyshyn, et al., "Manufacturing challenges of optical current and voltage sensors for utility applications", SPIE vol.3201, p.2, 1997
5. Development and Application of Optical CT, PT, FinalReport KRC-89-J10, 1993
6. A.J.Rogers, "Optical technique for measurement of current at high voltage", Proc. IEE.120, pp261-267, 1973.
7. A.H.Rose, S.M.Etzel, and C.M.Wang, "Verdet constant dispersion in annealed optical fiber current sensors," J. Lightwave Technol., vol. 15, no. 5, pp. 803-807, 1997.
8. Amnon Yariv, Pochi Yeh, Optical waves in

6. 결 론

본고에서는 급증하는 전력소비를 충족시키기 위하여 초고압 대규모로 개발되는 전력설비의 안정적인 운영을 위하여 디지털 IT 전력기기에도 적용될 수 있는 차세대의 신기술 진단 시스템에 적용될 수 있는 새로운 광 CT 및 광 PT를 비롯하여 광섬유 온도센서들을 소개였다. 또한, 선진 외국 및 국내의 제품개발 및 연구동향에 대한 주요 관련기업들의 제품정보를 알려 줌으로써 국내의 연구 및 투자의욕을 도모하고 가까운 장래에 현실화가 될 디지털 IT 기술이 접목된 새로운 전력기기를 위한 세계시장관도에 빠른 대응을 할 수 있는 원천기술 확보에 도움을 주고자 하였다.

- crystals propagation and control of laser radiation, John Wiley & sons, 1984
9. Christopher C. Davis, Lasers and Electro-optics fundamentals and engineering, Cambridge University Press, 1996
 10. T. Sawa, et al., "Development of Optical Instrument Transformers," IEEE Trans. on Power Delivery, vol.5, p.884, 1990.
 11. W. F. Ray, "Wide bandwidth Rogowski Current Transducers", EPE Journal, vol.3, p.51 1993
 12. D. Chatrefou, "Optical Sensors in HV substations, Alstom", private communication, 2003 / <http://www.alstom.com>
 13. S. Fukunaga, "Meeting Materials for Optical CT & PT, J-Power Sys. corp.", private communication, 2003
 14. Y. Hirata, "Optical Transformers in TMT&D Corporation", private communication, 2003
 15. G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "Formation of Bragg gratings in optical fiber by a transverse holographic method," Opt. Lett. 14, 823-825 (1989).
 16. D. L. Willeams, S. T. Davey, R. Kashyap, J. R. Armitage, and B. J. Ainslie, "Ultraviolet absorption studies on photosensitive germanosilicate preforms and fibers," Appl. Phys. Lett. 59, 762-764 (1991).
 17. A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, "High-resolution fiber-grating based strain sensor with interferometric wavelength-shift detection," Electron. Lett. 28, 236-238 (1992).