

우리나라 전기산업계의 레이저 광기술 수용전략

(3)

姜 玟 鎬

韓國電氣通信公社 研究開發團長

(다) 가스절연 개폐장치(GIS) 계측 시스템
GIS를 원격으로 상시감시, 진단하는 시스템이 국내외에서 개발되고 있다. 여기서는 광섬유전송을 이용하여 원격으로 상시감시, 진단 시스템의 일례를 소개하겠다. 전체 시스템은 그림 2-4와 같으며 각각의 계측 방식과 원리를 설명하겠다.

가스압력

가스압력은 GIS의 절연진단에는 불가결한 것으로서, 경보나 locking은 종래의 것과 동일하나 dp/dt 를 진단함으로써 신속하게 가스 링크와 슬로우 링크를 식별하여 그것에 대응하는 조치를 자동적으로 행한다. 온도 보정은 가스 압력 검출기 근방의 온도, 혹은 제어반 내의 온도를 이용하는 방법이 있으며 센서로부터의 신호는 광 파이버를 통해 전송된다. 그리고 일정한 시간 간격으로 가스의 압력이 메모리에 기억되며 그것을 CRT로 표시함으로써 자동 감시가 된다.

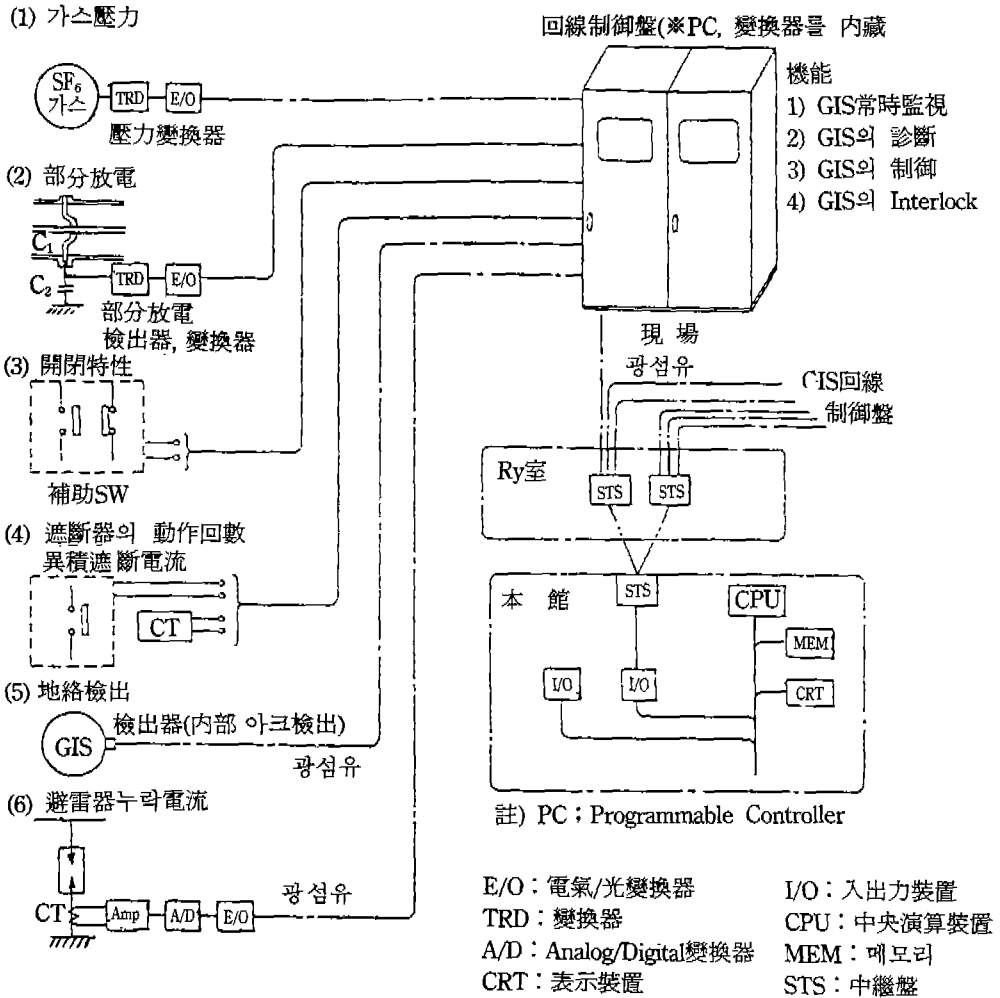
이때, 고속 가스링크의 경우는 가스 차단기(GCB : Gas Circuit Breaker) 트립 및 단로기(DS : Disconnecting Switch)의 조작을 자동적으로 행하는 방법이 고려되어야 하나, 진단

시스템의 폭주를 체크하기 위하여 긴급 이상시의 조작 순서를 CRT에 표시하고 운전원은 본 지령을 검토후 적절한 조작 순서에 따라 대응하는 것도 가능하다.

부분 방전

GIS의 절연성능 저하의 원인에는 전극표면의 전계집중, 기공의 발생, 갭의 발생으로 인한 절연물의 열화나 도전성 이물질이 섞이는 경우가 생길 수 있다.

이러한 절연 저하는 절연 파괴에 이르는 원인으로서는 부분 방전을 발생하는 경우가 많으며 이것을 검출하여 GIS의 이상을 진단하는 것은 매우 바람직한 방법이다. 외부 전원계로부터의 잡음제거를 목적으로 검출부는 주회로부에서 C_1 , C_2 에 의해 분압된 전압으로 충전된 것을 전원으로 이용하며 외부로의 신호 전송계에 서지나 잡음이 침입하지 않도록 광섬유를 사용한다. 부분방전 전하량이 PC에 설정된 전하량 X_{pc} 이상인 경우 근방의 공간에서 부분방전이 생기지 않는 것을 진단하여 경보를 발생한다. 이것을 주회로에 가공송전선 등으로부터 노이즈가 침입할 때의 오동작 방

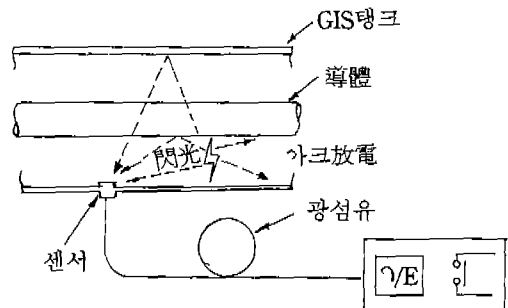


<그림 2-4> GIS의 상시진단 시스템 전체 구성도

지를 할 수 있다.

지락점 검출

GIS 내부에서 지락시에 발생하는 광을 직접 검출하여 전송하면 고장점 표정을 할 수 있다. PC의 입력용 O/E변환기까지 광전송을 사용하는 것은 지연시간이 거의 없으며 또한 고감도이다. GIS 내부에서 지락이 발생할 경우는 GCB의 고속 개폐로를 차단하고 강제로 송전하지 않는 운용이 가능하다. GIS탱크 내부의 검출기를 그림 2-5에 나타내었으며 밀폐



<그림 2-5> 지락점 검출

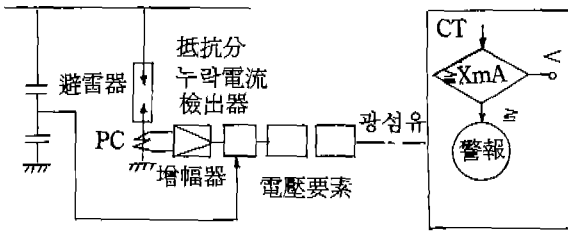
성과 절연성등에 대해 충분한 검토를 할 필요가 있다.

피뢰기의 누락전류

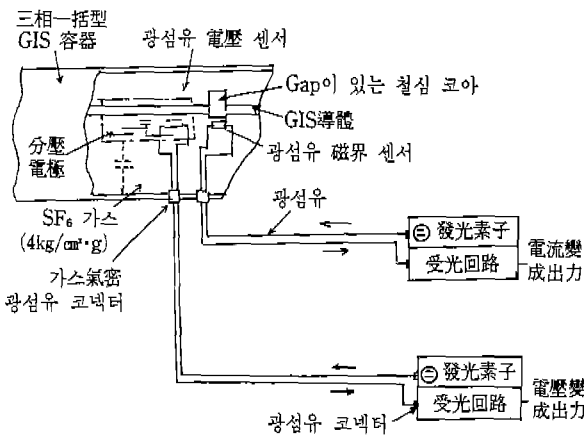
그림 2-6은 누락 전류를 상시 감시하고 허용치를 초과할 경우 경보를 발생하는 진단 장치의 기본 구성예이다. 산화이온형 피뢰기의 소자는 개량이 여러번 되었고 소자 자체의 열화에 의한 고장은 매우 적은 편이다. 그러나 조립 불량이나 설치 불량으로 인한 고장이나 과부하나 피뢰기에 걸릴 경우 간접적으로 피뢰기의 누락 전류를 측정하여 이것으로부터 피뢰기 이상유무를 진단한다. 이때 피뢰기의 누락전류도 광전송으로서 잡음의 영향을 최소화로 감소시킬 수 있다.

광집적 변성장치

변성장치에 광집적 변환소자를 응용하여



<그림 2-6> 피뢰기 누락 전류 진단



<그림 2-7> GIS용 광 PT·CT의 시스템 구성

GIS등의 개폐장치의 주회로 부분으로부터 전압, 전류를 직접 광으로 검출하고, 이것의 보호, 제어 시스템에 광전송하는 전체 시스템으로서 GIS광 집적 변성장치가 개발되고 있다.

(a) 전압·전류 검출 방식

전압의 검출은 GIS의 주회로 도체 측에 분압 전극을 설치하고 분압 전극과 도체간에 접속된 광집적 변환소자로 전압에 비례하는 편광작용을 얻는 포켈 효과를 이용한다. 또 전류의 검출은 주회로 도체의 전류(자계)로서 코아를 여자하고, 코아의 일부에 공극을 만들어 파라데이 소자로 전류에 비례하는 편광작용을 얻는 방식을 채택했다. 역시 전압·전류 검출부는 GIS의 충전부에 설치하므로써 보다 고전압화에 용이한 방식이 될 수 있다. 광집적 변환소자는 BSO나 BGO 소자를 이용하고 있다.

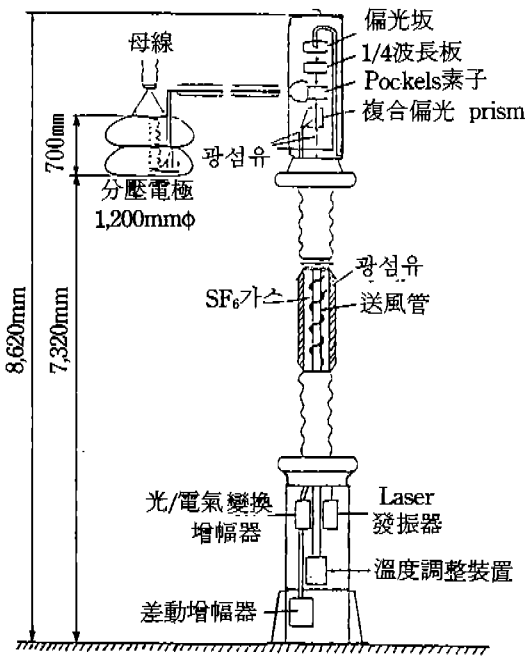
(라) 변전소에서의 광 PT와 광 CT

광 PT

배전용 광 PT(Potential Transformer)의 구성은 그림 2-8과 같으며 고압측에 포켈 소자인 ADP(NH₄H₂PO₄), 편광자, 복합편광 프리즘등의 광학계를 배치하고 지상측과는 애관의 가운데를 광섬유로 연결하는 방식이다. 이때 전압은 공간전극을 설치하여 대지와와의 사이에 걸리는 용량으로 분압되고, 온도에 의한 광학 소자의 특성의 변화를 방지하기 위하여 애관 내부에 SF₆ 가스를 봉입하여 순환시킨다. 그림 2-8은 용량, 분압에 의한 전압 포켈 소자에 인가되는 구성이고, 그림 2-9는 공간 전계 검출 방식의 광PT로서 500kV 용이며 포켈 소자로서는 KDP(KH₂PO₄)를 이용하였다. 또, 동시에 수정을 이용한 온도측정을 하여 지상의 마이크로 컴퓨터로서 온도 보상을 하고 있다.

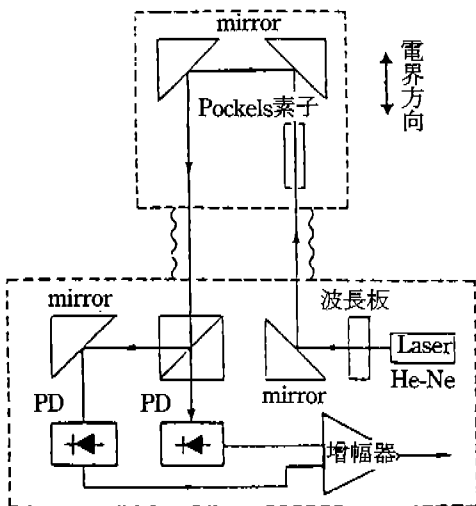
광 CT

단일모드 광섬유 내부를 전파하는 직선 편광파가 외부 자계에 의하여 패러데이 회전하는 것을 이용한 전류(자계)센서의 구성도는 그림 2-10과 같다. 광섬유의 Verdet 정수는 광학

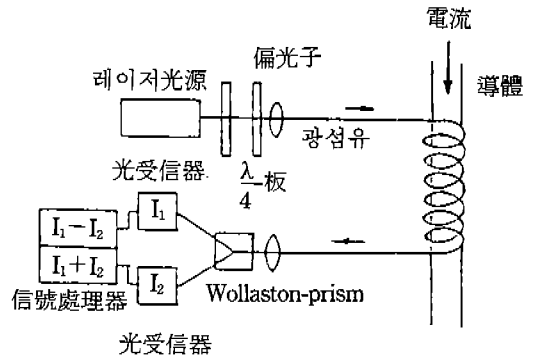


〈그림 2-8〉공간 전극식 광 PT

식 전류 센서에서 사용된 은글라스(은-glass)의 1/8정도이나 긴 길이의 광섬유를 사용함으로써 이 센서는 원리적으로 상당히 높은 감도를 얻을 수 있다. 그러나 현실적으로 광섬유는 제작시에 생기는 자연복굴절이나 구성시의



〈그림 2-9〉전계 검출식 광 PT



〈그림 2-10〉광섬유 응용 CT

광섬유의 구부러짐이나 응력 혹은 온도 등의 외란에 의한 복굴절이 감도를 저하시키고 특성이 불안정해진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 편광·보존광섬유를 사용하거나 복굴절 보상을 위해 광섬유의 새로운 제조법이 제안되고 있다.

그림 2-10에 보인 송전 계통에의 응용을 목적으로 하여 구성된 광 CT에서는 변전소 등에서 고전압 도체의 전류를 직접 측정할 수가 있다.

이때 측정 가능 범위는 약 2kA 정도이다. 그림에서 애자의 윗부분에 전류 인출봉 2개를 삽입한다. 일반적으로 전류가 흐르는 선로 중심에서 r(mm)거리의 점에서의 자기장도 Hr는 전류 I(A)에 따라서 다음식과 같이 된다.

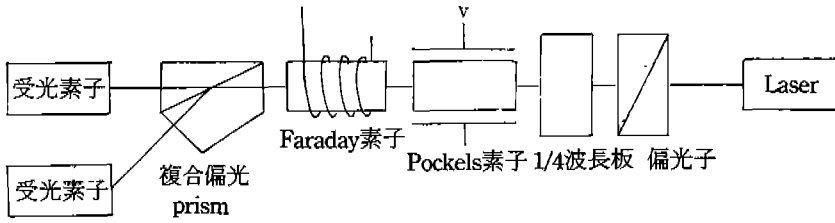
$$Hr = \frac{2I}{r} \text{ (Oe)} \dots\dots\dots (2-8)$$

여기서 자기센서 종류나 길이 등은 LED의 발광 파장에 따라 자기 검출 감도가 최대가 되도록 결정한다.

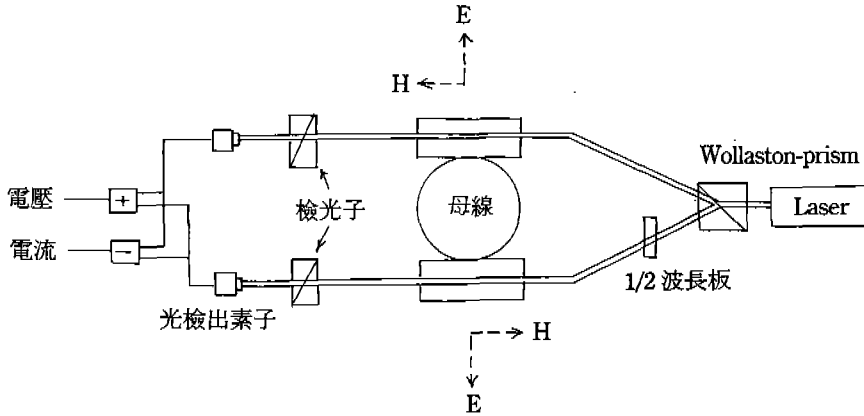
광 PCT

광응용 센싱기술을 사용하여 전류·전압 동시 측정 방식은 그림 2-11과 같이 다음의 2가지가 있다.

(a) 동일한 레이저 빔내에 패러데이 소자와 포켈 소자를 배치하여 패러데이 효과에 의한



(a) 단일 빔에 의한 전류·전압 동시 측정 방식



(b) 패러데이 효과와 Electro-Gyration 효과를 가지는 결정을 이용한 전류·전압 측정 방식

〈그림 2-11〉 광 PCT 구성도

회전각으로 전류검출을, 포켈 효과에 의한 타원편광도로서 전압 검출을, 동시 효과에서 전력을 측정하는 방법

(b) 하나의 레이저빔으로 전류에 의한 효과와 전압에 의한 효과를 분리하고 각각의 센서를 설치하여 전류와 전압을 동시에 측정하는 방법

변압기의 이상검출

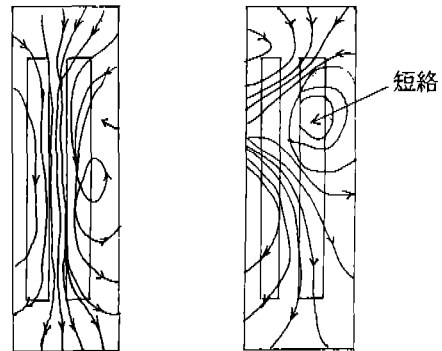
(a) 변압기 부분 방전 감시

변압기 내부에서 발생하는 부분방전을 전류의 변화와 방전에 따른 음향파로서 검출하여 광섬유화된 신호를 광섬유를 통해 중앙제어실로 전송한다. 전송된 신호의 처리는 마이크로 컴퓨터를 이용하여 정확도를 향상시킬 수 있다.

(b) 변압기의 내부 단락 검출

변압기 내부에 국부단락이 발생하면 그림 2-12에서 보는 바와 같이 누설 자속의 분포

포와 같이 자속량의 변화가 생긴다. 이 변화량은 저전압 변압기의 경우 서치코일이나 홀소자로 검출 가능하지만 고전압 변압기의 경우는 직접권선에 접속이 불가능하다. 이때는 광섬유 자계센서를 변압기 내부에 설치하여 간단하게 자속 분포의 측정이 가능하다.



(a) 正常時

(b) 故障時

〈그림 2-12〉 내부단락시 변압기 자속분포

(마) 발전소에의 응용

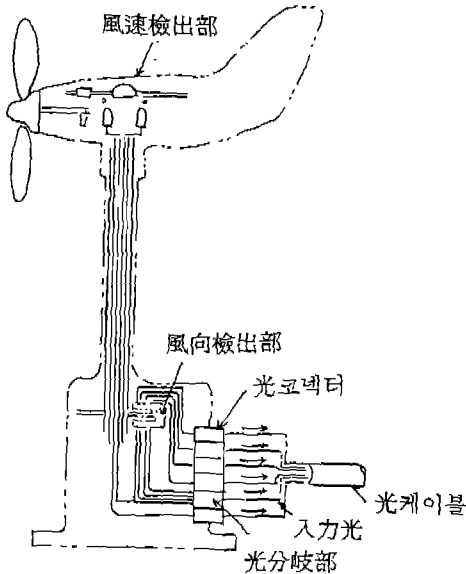
광섬유 응용 풍향·풍속 계측

본 시스템은 광풍향·풍속계, 광섬유 케이블, 송수신장치, 기록계 및 지시계로 구성되어 있으며 발전소 상공의 기상관측용으로 사용된다.

송수신장치내의 LD에서 발신된 광은 광섬유를 통해 광풍향, 풍속계 내에서 풍향, 풍속에 대응된 광신호로 변환되어 다시 광섬유를 통해 송수신 장치내의 PIN-PD에서 전기신호로 변환된다. 송수신장치내에서는 이 전기신호를 적산 및 연산처리하여 기록계, 지시계 출력 및 Telemeter출력으로 쓰인다. 풍향, 풍속계는 그림 2-13과 같은 구조로 되어 있으며 광콘넥터, 풍속 검출부로 구성되어 있다.

로내 연소 상태 관찰·감시

화력발전소에서는 torch의 착화상태나 로내 전체의 연소상태의 감시에 ITV카메라를 로벽에 설치하여 내열창을 통하여 직시하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 방식은 카메라를 내압 방폭 케이스로 보호하고 물이나 냉각공기로 냉각시켜야 한다. 또 카메라가 로벽의 근거리



<그림 2-13> 광섬유 응용 풍속·풍향계의 구성

에 위치하고 있기 때문에 보일러에 열, 진동 등의 영향을 받아 고장이 자주 일어난다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 그림 2-14 처럼 이미지(image)광섬유방식의 로내 연속 감시 방식이 개발되고 있다.

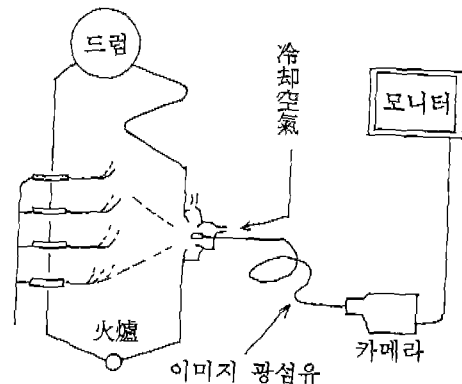
로벽에는 이미지 광섬유의 활상부가 들어 있는 구멍(직경 약 20cm)을 설치하고 ITV카메라는 로벽에서 충분히 떨어진 장소에 설치한다. 따라서 냉각은 이미지광섬유만 필요하기 때문에 소량의 공기로도 가능하고 카메라가 열진동, 오손 등의 영향을 받지 않고 냉각도 필요치 않으므로 신뢰성이 향상되고 구조도 간단하여 보수작업이 용이해진다.

정전기 계측

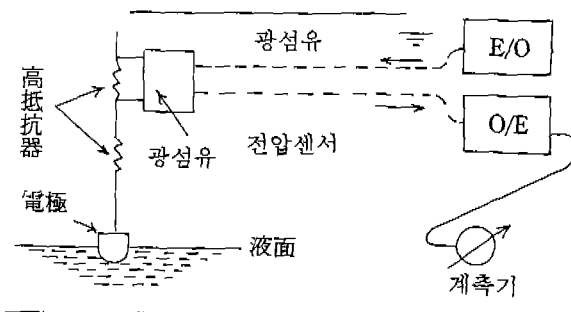
석유 등의 가연성 액체는 정전기가 생기기 쉽다. 이러한 정전기는 화재의 원인이 될 수 있으므로 정전기를 상시 감시하여 화재를 미연에 방지하는 것이 필요하다. 광섬유 전압센서는 센서부에 에너지원을 갖고 있지 않으므로 가연성 물질의 정전기 계측에 적합하다. 그림 2-15은 광섬유 전압센서를 이용한 직류 고전압 검출 장치를 대전된 액면에 접촉시켜 정전기를 검출하는 그림이다.

댐 수위 계측 시스템

수력 발전소가 낙뢰 다발지역이거나 겨울에 폭설이 내리는 환경에 있을 때, 댐이 사용되고



<그림 2-14> 이미지광섬유 방식

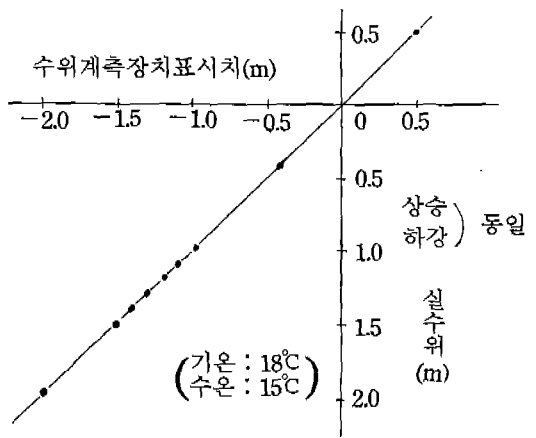


〈그림 2-15〉 액면전위 측정방법

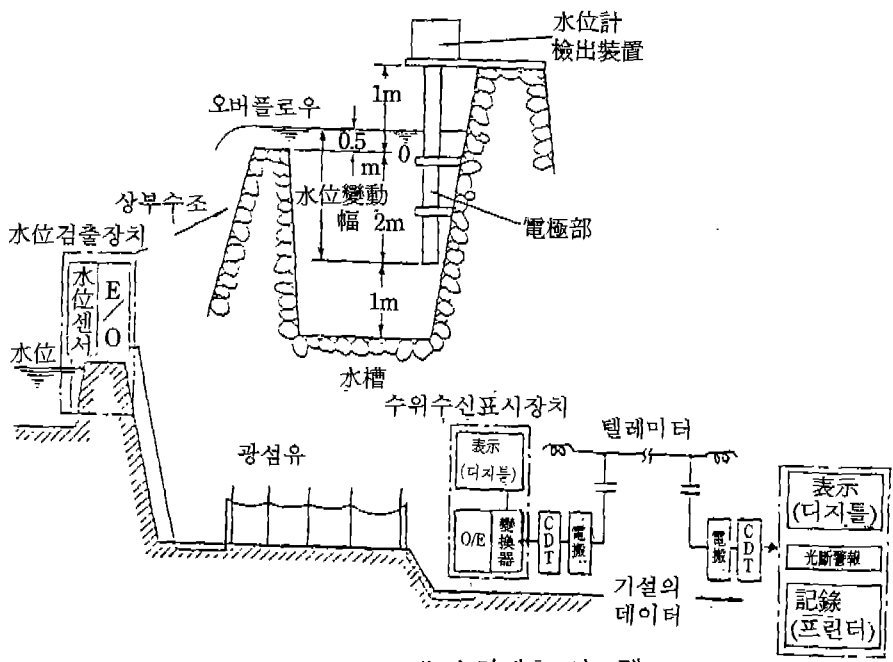
있는 부상(float)식의 수위계에서는 전송로의 낙뢰로 텔레미터에 서지전압이 걸려서 전자회로가 파손되는 경우가 있다. 따라서 이런 피해 방지의 목적으로 광섬유 전송식 수위계측장치를 이용하고 있는데, 그림 2-16과 같이 일본에서 실험중인 장치의 예를 들어 설명하겠다.

이 장치의 구조는 상부 수조는 수심 3m로, -2.0~+0.5m의 범위로 수문제어를 행한다.

이 수위계측 시스템은 상부 수조에 전극 길이 3.0m의 수위 검출장치를 설치하고 약 600m 떨어진 무인 발전소까지 광섬유를 포설하여 수위정보를 기설된 텔레미터를 통하여 발전 관리실까지 데이터를 전송하여 프린터에 출력된다. 이 수위계측 장치의 성능시험 결과를 표 2-4 및 그림 2-17에 나타내었다.



〈그림 2-17〉 수위계측 장치의 특성



〈그림 2-16〉 댐 수위계측 시스템

〈表 2-4〉 수위계측장치 파라미터 일람표

		수 위			비 고
		+0.5m	0	-0.2m	
전극 정전 용량 (pF)	기본용량	150	150	150	
	부유용량	40	40	40	
	수위에 대한 전극용량	1,037.5	830	0	$\Delta C=415 \text{ pF/m}$
	총합용량	1,227.5	1,020	190	
발진주파수 (Hz)		35.2	42.4	227	$F = \frac{1.44}{256 \text{ RC}}$ $R = 130 \text{ k}\Omega$
발광 조건	펄스폭	68	50.9	11	Duty 0.25%
	펄스간격(ms)	28.4	23.6	4.4	
소비전류 (mA)		0.3	0.31	0.35	0.4mA로 전자 8AH를 이용하여 2만 시간

(바) 송전선에의 응용

뇌관측

a) 서지 파형 계측 시스템

Rise time이 수 μ s의 서지 파형(전압 또는 전류)을 측정하기 위하여 광섬유의 절연, 무유도의 특징을 이용한 계측 시스템이 연구 실용화되고 있다. 서지 전압(또는 전류)파형은 분압기(또는 분류기)에 의해 LED에 전류를 흘려서 발광시킨 광강도를 광섬유를 사용하여 측정기까지 전송한다. 수신부에서는 PD에 의해 전기신호로 변환하여 고속 A/D변환기를 거쳐 반도체 메모리에 기억된다. 데이터 처리는 디지털 메모리에 기억된 정보를 마이크로 컴퓨터가 읽어내어 파형에 관련된 데이터 처리가 행해진다. 이런 기술을 사용하여 각종 전기기기나 전선 케이블의 여러가지 시험이 행해지고 있다.

b) 뇌파형 관측 시스템

본 시스템은 기능에 따라 검출부, 광전송로, 관측처리부로 분류된다. 검출부는 뇌검출용 CT의 E/O 변환기로 구성되며, E/O 변환기는 LED와 광합파기로 구성된다. 검출부의 기능은 뇌격전류를 CT에 의해 검출하여, 뇌는 극성을 갖고 있으므로 CT의 2차측에 역병렬로 접속

하여 발광 파장이 다른 LED로 변환하여 광섬유 합파기를 경유하여 OPGW의 1심에 실어서 전송한다. 전송로는 OPGW에 들어있는 광섬유 케이블로 구성되고, 관측처리부에서는 광분파기에 의해 각파형에 대응하여 분리되어 APD에 의해 정(+) 부(-)의 전기 신호로 변환되고 증폭후 A/D변환되어 디지털 메모리에 저장된다. 기록이 종료되면 미니 컴퓨터에 전송되어져 자동적으로 해석이 시작된다.

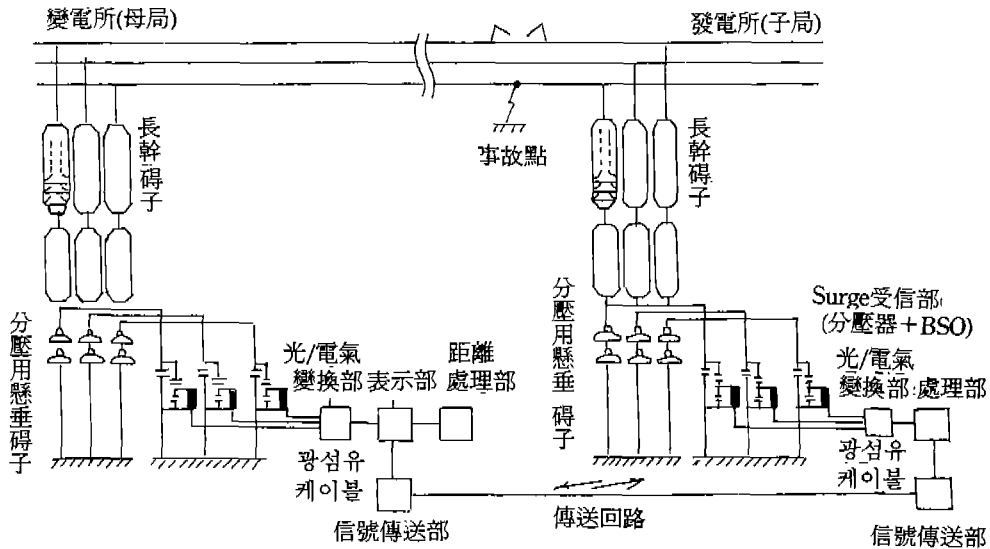
송전선 사고점 판별 장치

그림 2-18은 본 시스템의 구성도이며, 송전선로의 양단 변전소(송전소)에서 지락사고에 의한 서지 전압 파형을 광응용 전압 센서로 검출하여 그 서지파가 양단의 변전소에 도착하는 시간차를 계측하여 송전선로의 사고점 위치를 판별한다.

BSO 센서부로부터의 광신호를 O/E변환후 그 편향각에 의하여 신호 전압을 검출하고 이에 비례하는 직류전압이 출력된다. 이 신호에서 60Hz의 교류 성분을 고역통과 필터로 제거한 후 고속 A/D변환하여 메모리에 저장한다. 파형 데이터의 기록은 센서부의 어느편에서 트리거 레벨을 초월한 경우 트리거 유닛에 의해 기동되도록 되어 있다. 메모리에

기록된 파형 데이터는 별도로 설치된 마이크로파 회선의 음성채널을 이용하여 입력되고

서지과의 도착 시간차를 산출하여 거리로 환산된다.



<그림 2-18> 송전선 사고점 판별 장치

海外技術

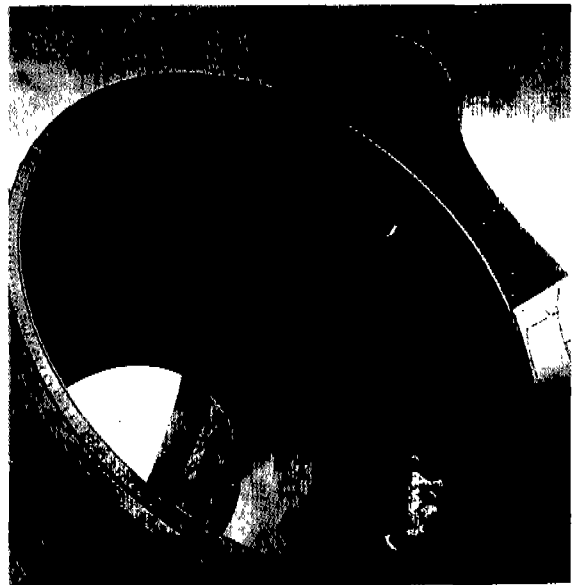
無公害 동력발전

영국 최대. 최신식 석탄연소 동력발전소에서, 배기가스를 처리할 수백만파운드의 비용이 드는 비황산화 가스관(FGD)공장을 건설 중이다. 완공되면 이곳은 세계 최대가 될 것이다. 사진은 새로운 시스템의 일부로 북부 잉글랜드 요크셔 소재 드렉스 동력발전소에 설치될 거대한 도관 유닛의 내부 특별라이닝을 해서 설치 전에 검사하는 모습이다.

이 FGD공장은 1993년부터 가동 예정이며 1996년에 완공 예정인데, 드렉스공장에서 뿜어내는 가스유출 중 90% 정도의 아황산 가스를 제거시킬 수 있다.

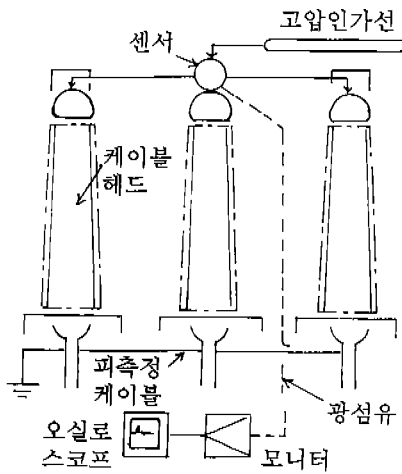
동시에 드렉스공장을 가동시키는 영국의 주요 전기발전회사는 또한 산화질소(NOx) 배기가스를 줄이기 위해 이곳의 모든 보일러에 특수 분사연료버너를 장치한다. 특수 저NOx 버너가 장치된 곳은 가스관에서 산화질소량이 3분의 1 정도 감소된 것으로 나타난다.

FGD시스템을 설치한 가스관은 흡수기라 불리는 커다란 도관을 통과한다. 이 흡수기에는 석회암 모양과 물로 가스에 분사하는 수백개의 노즐이 있다. 이때 석회암과 함께 가스관 내에 있는 아황산가스는 황산 칼슘을 만들어낸다. 그후 흡수기가 날러보낸 석고를 생산하는 산소에 반응해서 원심분리기에 의해 인조벽판, 시멘트 또는 다른 빌딩관련 재료 제작에 사용할 상업용으로 쓰일 재료가 될 때까지 건조시킨다. 폐수 속의 화학물질은 환경문제를 일으키지 않게

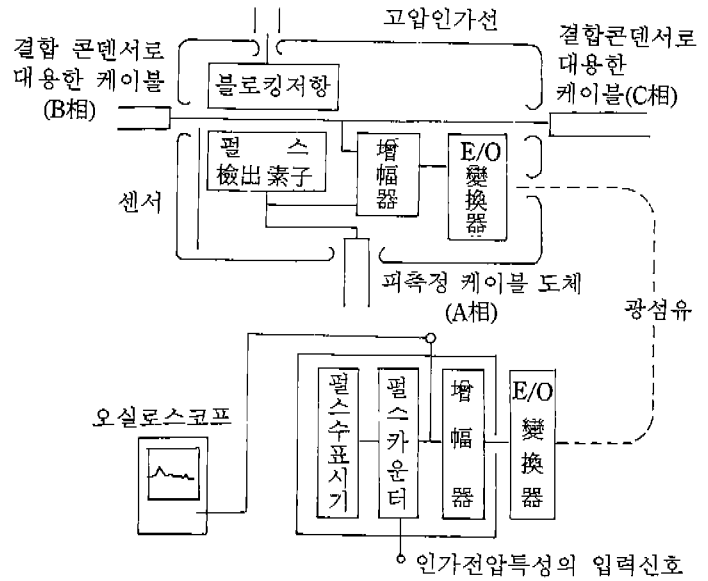


처리한다.

드렉스공장의 FGD프로젝트는 발전소의 규모와 복잡성을 상당히 증가시켰다. 3만t의 철근, 2만t의 콘크리트 그리고 1만3,000t의 제강 콘크리트가 사용될 것이라는 계산이 나왔다.

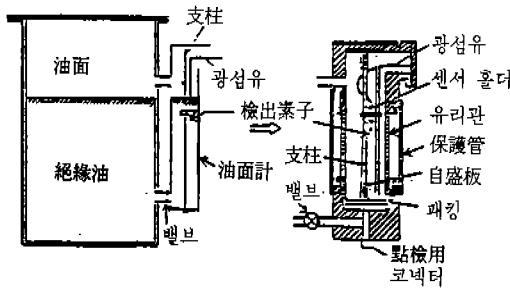


(a) 새로운 방식



(b) 광섬유를 이용한 부분방전측정기의 기본구성

<그림 2-20> 전력 케이블 부분 방전 검출 시스템



(a) 전체 구성도

(b) 광센서부의 구성

<그림 2-19> 광응용 유면 검출 장치

OF(Oil Filled) 케이블의 유량 검출 장치

그림 2-19는 광센서를 이용한 유량검출 장치로 센서 헤드부의 글라스와 기름과의 굴절율 차에 의한 반사광의 변화를 검출하여 광섬유가 기름중에 있는 경우에는 광섬유 소자를 통해 광이 외부로 발산하고 광섬유가 공기중에 있을 경우에는 광섬유 소자를 통해 광이 외부로 발산하지 않는 것을 이용하고 있다. 이 방식을 이용하면 전력케이블에서의

유도가 없을 뿐만 아니라 서부를 유면계 내에 부착할 수 있고 유면계 내의 기름을 나가고 들어가게 하여 간단히 경보 점검이 행해진다. 센서부에 가동부분, 접촉부분이 없으므로 기계적으로 안정하고 현장 보수작업이 용이해진다.

전력 케이블 부분 방전 검출 시스템

전력 케이블의 절연 열화판정에는 부분방전 검출법이 유효하다. 그림 2-20의 (a)에 보인 시스템은 종래방식에서 문제가 된 외부 잡음의 영향을 제거하기 위하여 광섬유의 고절연성과 무유도성을 효과적으로 이용한 것이다.

그림 2-20의 (a) 방식은 케이블 헤드부의 고압부분으로부터 직접 방전 펄스를 검출한다. 또, 측정상의 케이블 사이의 부유용량을 결합 콘덴서로서 이용 함으로 결합 루프가 작아져서 외부잡음의 영향을 쉽게 받지 않는다.

그림 2-20의 (b)는 기본구성을 나타내었다.

☞ 다음 호에 계속