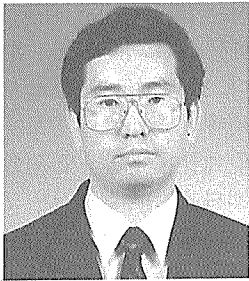


논단 IV

## CT 및 PT의 기술동향



産業技術情報院  
電子電機室  
研究員 裴英哲

### I. 서론

계기용 변성기가 가지고 있는 기능으로는 고전압 대전류의 1차측 현상을 저압측으로 전달하는 일과 고전압 회로와 저전압 회로를 絶緣하는 일 두가지를 들 수 있다. 전류, 전압을 변성하기 위한 방식으로 과거에는 주로 電磁結合 혹은 콘덴서 分壓을 이용하였으나 근래에는 光 機能 재료에 의한 변성방식이 개발되어 탁월한 高絶緣性, 無誘導特性, 輕量, 安全性 등이 입증되어 폭넓게 이용되고 있는 실정이며 국내에서도 光 CT 및 PT가 개발되어 실용화를 눈앞에 두고 있어 앞으로 폭넓게 사용될 것으로 기대를 모으고 있다.

한편 絶緣재료의 발전도 눈부시게 성장하여 油絶緣으로부터 고체絶緣, 가스絶緣으로 전력설비의 불연화의 사회적 필요성에 따라 변천, 발전하여 왔다. 본고에서는 주로 변전설비용 PT, CT의 변천 및 光 PT, 光 CT를 포함한 최근의 변성기와 앞으로의 발전 전망에 대하여 설명하고자 한다.

## 2. 변성기의 변천과정

변성기의 변천과정은 변성기를 제작하는 회사에 따라 분류하는 방법이 약간씩 차이는 있지만 일반적인 방법으로 구분하면 그림1과 같이 나타낼 수 있다.

세대	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1989
變電所의 形態		氣中變電所		氣中變電所	氣中變電所	氣中變電所	氣中變電所	氣中變電所
計器用變壓器	碼子形 VT	碼子形 VT (油絶緣)	碼子形 VT (油絶緣)	碼子形 VT (油絶緣)	碼子形 VT (油絶緣)	碼子形 VT (油絶緣)	碼子形 VT (油絶緣)	碼子形 VT (油絶緣)
콘덴서計器用變壓器	碼子形 CVT	碼子形 CVT (油絶緣)	碼子形 CVT (油絶緣)	碼子形 CVT (油絶緣)	碼子形 CVT (油絶緣)	碼子形 CVT (油絶緣)	碼子形 CVT (油絶緣)	碼子形 CVT (油絶緣)
變流器	碼子形 CT	碼子形 CT (油絶緣)	碼子形 CT (油絶緣)	碼子形 CT (油絶緣)	碼子形 CT (油絶緣)	碼子形 CT (油絶緣)	碼子形 CT (油絶緣)	碼子形 CT (油絶緣)
電力需給用變壓器	碼子形 VCT	碼子形 VCT (油絶緣)	碼子形 VCT (油絶緣)	碼子形 VCT (油絶緣)	碼子形 VCT (油絶緣)	碼子形 VCT (油絶緣)	碼子形 VCT (油絶緣)	碼子形 VCT (油絶緣)
光變成器								光變成器의 開發

그림 1. 변성기의 변천과정

과거 66kV 이상 氣中變電所에서 사용하였던 계기용 변압기의 경우 絶緣방식은 油絶緣, 변성방식은 철심에 권선을 감은 電磁結合方式과 콘덴서 分壓方式이 주로 사용되었다. 콘덴서 分壓을 이용하여 전압변성을 하는 콘덴서형 계기용 변압기(CVT)는 고전압 영역에서 경제성이 뛰어나기 때문에 110kV 이상의 전압 단계에서 주로 사용하였다.

한편 변류기(CT)는 애자형 CT와 貫通形 CT를 주로 사용하였으며 貫通形 CT는 1차 도체에 環狀 2차 코일을 감아 전류 크기나 용도에 따라 구분하여 사용하였다. 일본의 미쓰비시에서는 67년에 500kV형 CT를 제품화 한데 이어 68년에는 가스 絶緣變電所(GIS)가 상용화됨에 따라 변성기기도 적용상의 변화를 가져오기 시작하였다.

계기용 변성기는 원래 특별고압 이하에서는 권선형, 초고압 이상에서는 콘덴서형으로 나누어 사용되었으나 권선형에서는 콘덴서화의 관점으로부터 에폭시 몰드에 의해 VT가 사용되었으며 콘덴서형에서는 실적 중시의 관점으로부터 氣中形을 베이스로 한 유

입 콘덴서형을 GIS에 주로 사용하였다. 絶緣材料의 진보에 의해 플라스틱 필름을 사용한 가스絶緣形의 권선형 VT가 출현하였고 권선형 VT의 특징은 저전압에서부터 고전압까지 폭넓게 사용할 수 있다는 것이며 82년에는 550kV까지 제품화 하는데 성공하였다.

한편 콘덴서형으로 오일이 없는 가스를 가지고 分壓하는 변성기에 관한 연구도 있었으며 GIS의 모선부와 대지간의 작은 정전용량을 이용하여 전자회로에 의해 출력을 증폭하는 Amp형 CVT도 연구되었다.

계기용 변류기는 GIS의 구조에서는 관통형 CT(BCT)가 일반적으로 사용되며 일부 저전류용으로 1차 코일이 가스 絶緣에 적합한 권선형 CT가 사용된다. GIS용 관통형 CT에는 GIS선로 외부에 설치하는 내장형이 있고 여러가지 GIS 목적에 맞게 사용할 수 있도록 나누어져 있다.

높은 精度가 요구되는 전력수급용에서도 GIS용으로 가스 絶緣形의 변성기가 요구됨에 따라 중전기기 각사에서는 이에 대응한 제품을 상용화시켰다. 특히 미쓰비시에서는 73년에 GIS직결형 VCT를 제품화 하였으며 89년에는 300kV정격 가스 絶緣形 VCT 개발을 완료하였다. 또한 최근에는 GIS보다 한층 축소화하거나 變電所에서 光通信 전송로에 대응하기 위한 光 변성기의 개발이 활발하게 진행되고 있고 일부에서는 실용화되었다. 일본에서는 75년 후반부터 GIS용 光CT, PT의 시제품이 나오기 시작하였고 한국에서도 한국전력과 전기연구소를 중심으로 光 변성기의 시제품이 나오고 있다.

## 3. 최근의 변성기

### 3-1. GIS용 가스 絶緣形 VT

가스 絶緣形 VT는 높은 신뢰도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 소형화가 가능하며 GIS용 변성기 전용으로서 개발에 착수하여 78년부터 제품화되기 시작하였다. 이는 철심에 권선을 감아 변성부를 금속용기에 넣어 SF<sub>6</sub> 가스에 의해 絶緣하는 구조이며 권선 층간 絶緣에 플라스틱 필름을 사용하여 소형화를 꾀하였다.

그림 2에 미쓰비시에서 개발한 550kV용 가스 絶緣形 VT의 외관을 표시하였다.



그림 2. 550kV GIS용 가스 絶緣형 VT.

- (1) 콘덴서형 계기용 변압기(CVT)에 비하여 주파수 특성이 양호하다.
- (2) 차단기, 단로기 개방시에 1차측의 잔류전하를 방전할 수 있다.
- (3) GIS의 레이아웃에 맞추어 설치될 장소의 조정이 가능하다.
- (4) GIS이기 때문에 계통절체 없이 현장에서 내전압시험을 할 수 있다.
- (5) 부이차권선을 부착한 구조이므로 이차단락 단선에 의한 계전기 오동작 방지가 가능하다.

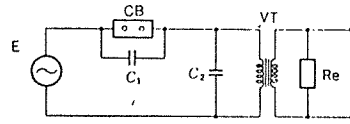
이상과 같은 우수한 점이 많기 때문에 가스 絶緣형 VT는 여러곳에서 사용되고 있는 실정이다.

한편 이 가스 絶緣형 VT는 철심을 사용한 권선형 변압기이기 때문에 차단기의 극간 콘덴서가 鐵공진을 일으킬 가능성이 있으므로 주의를 요한다. 이 때문에 미쓰비시에서는 철심의 비선형성을 고려한 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 회로현상을 精度 양호하게 처리하고 鐵공진이 발생할 경우에 대비하여 가포화 리액터를 VT의 이차측에 접속하므로써 鐵공진을 방지하도록 하였다. 鐵공진 현상의 해석 예를 그림 3에 표시하였다.

### 3-2. GIS용 관통형 CT

GIS용 CT로서는 GIS 용기에 외장하는 외장형 CT

와 용기내에 내장하는 내장형 CT가 있으며 550kV 외장형 CT의 하나를 그림 4에 표시하였다.



E : 電源  
CB : 遮斷器  
C<sub>1</sub> : 遮斷器의 콘덴서  
C<sub>2</sub> : 母線의 對地間靜電容量  
VT : 가스 絶緣形 VT  
Re : 可能和 리액터

#### 等價回路

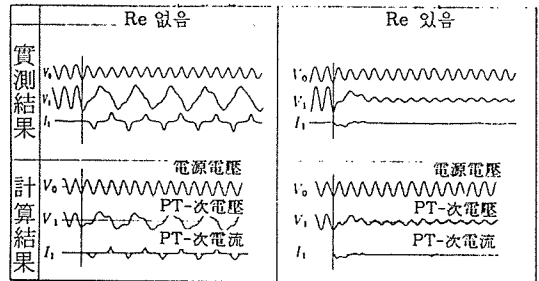


그림 3. 鐵공진 현상 실측과 계산결과와의 비교

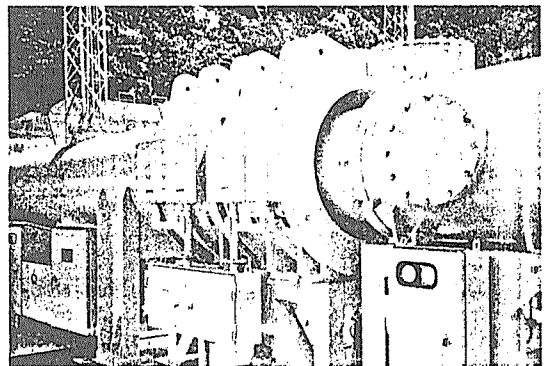


그림 4. 550kV GIS용 관통형 CT

내장형 CT는 차단기 내부에 설치할 것을 고려하여 내분해 가스 성능이 우수한 재료를 선정하여 설계하여야 한다. 외장형 CT, 내장형 CT 모두 크기와 중량을 점하는 대부분은 철심이기 때문에 특히 과도특성이 지정된 CT에 있어서는 직류분 중첩시의 오차를 규정시간내에 보정하는 것이 필요하게 되어 철심 단면적이 일반적으로 굵게된다. 이러한 사실을 고려하

여 일본의 미쓰비시에서는 컴퓨터 시뮬레이션으로 철심의 비선형성을 고려한 과도특성을 해석하여 철심두께의 최적화를 행하였다.

### 3-3. GIS용 CVT

가스 絶緣 變電所에서 사용하고 있는 CVT중에는 氣中 變電所에도 적용되는 애자형 CVT나 붓싱형 CVT가 있고 특히 GIS용으로서 개발된 GIS직결형 CVT나 amp형 CVT형이 있다. 여기서는 550kV용 부변성기에 부착한 붓싱형 CVT에 대하여 설명한다.

과거에는 선로측의 CVT로서는 주로 애자형 CVT 혹은 붓싱형 CVT를 그 목적에 따라 사용하였으나 붓싱형 CVT는 애자형 CVT에 비하여 크기가 작고 붓싱의 정전용량을 이용하기 때문에 단일의 변성기능을 가진 것만 제작되며 계전기의 오동작 방지용으로 부변성기의 기능이 요구되는 경우에는 한결같이 애자형 CVT가 사용된다. 그러나 부변성기 기능이 필요한 경우에도 애자형 CVT를 사용하지 않고 GIS 내의 붓싱형 CVT내에 그 기능을 실현하게 되면 變電所 부지면적의 축소화 등 잇점이 있으므로 이를 위해 550kV용 부변성기 부착 CVT를 개발하여 사용하고 있다. 그림 5에 정격 및 외관을 표시하였다.

이 변성기를 설계할 때 오차특성, 과도특성(기억작용), 철 공진 현상등에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 각 회로정수의 최적화를 선정하였다.

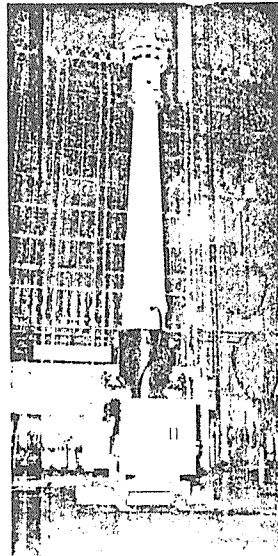
- ① 붓싱의 정전용량을 과거에 비해 1.2배로 하였다.
- ② 탭 전압을 과거에 비해 1.5배로 하였다.
- ③ 변성장치의 내부직렬 임피던스분을 약 10% 감소하였으며 이를 위해 부변성기의 기능을 추가하였다.

이 CVT는 기본적인 성능검정 시험외에 전압차동 릴레이와의 조합시험도 실시하여 양호한 결과를 얻었다.

## 4. 光 변성기

변성기의 고신뢰도화, 소형화, 고정도화등을 달성하기 위하여 종래와는 다른 원리를 이용한 변성기의 여러가지 종류가 고안되었으며 그 중 가장 활발하게

연구된 것은 光기술을 이용한 光변성기로서 최근에 많이 활용되고 있다.



定 格	
一次電壓	: $550/\sqrt{3}$ kV
二次電壓	: $110/\sqrt{3}$ V
副二次電壓	: $110/\sqrt{3}$ V
二次誤差階級	: 1.0級
副二次誤差階級	: 10級
二次負擔	: 50VA
副二次負擔	: 5VA

그림 5. 550kV용 부변성기 부착 붓싱형 CVT시험상황

### 4-1. 光 변성기의 특성

光 변성기는 종래에 사용하던 변성기에 비하여 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 變電所내에서의 정보전송을 光으로 처리할 수 있다.
- ② 기기의 소형화에 기여한다.
- ③ 신호전송에 光을 이용하기 때문에 크기와 노이즈의 영향을 적게 받는다.
- ④ 종래의 변성기에 비하여 磁氣飽和 현상이 없다.
- ⑤ 光을 응용한 變電所制御, 保護시스템의 無接點化를 이룰 수 있다.

### 4-2. 光변성기의 원리 및 개요

(1) 光변성기의 磁界, 電界 검출 방식  
그림 6에 光 변성기의 구성개념을 표시하였다.

송수신부의 光原보다 光 전송로에 있는 센서 소자

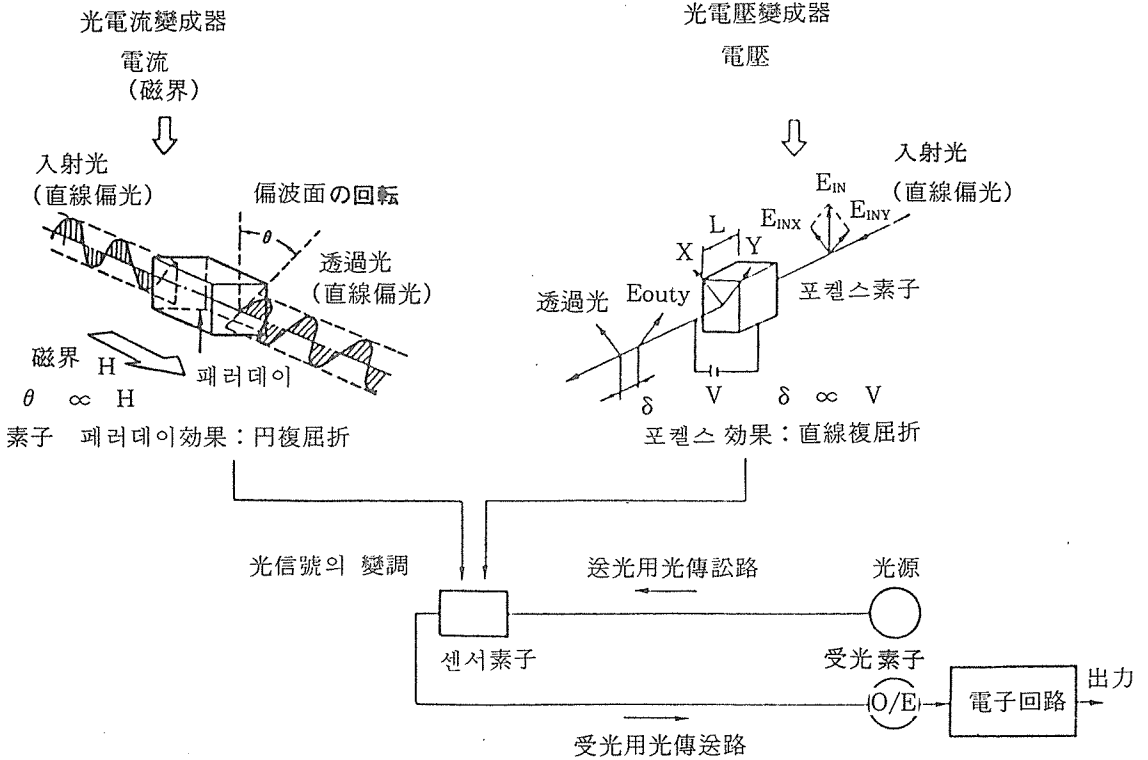


그림 6. 광전류 전압 변성기의 구성 개념

를 통하여 光이 들어온다. 센서소자에는 피측정 전류가 발생하는 자계, 또는 피측정 전압이 인가된다. 光이 소자를 통과하는 경우 소자에 인가된 자계 또는 전압에 따라 변조를 행하게 된다. 소자를 통과한 光은 다시 송수신부에 전송되어 授光素子에 의해 전기신호로 변환된 후 신호처리를 실시하며 측정치로 변환된다.

光 전류 변성기의 변조 원리는 그림 6에 나타난 것과 같이 패러데이 효과를 이용한다. 그림 6에 나타난 패러데이 효과에 관한 光磁界 측정 원리를 그림 7에 상세하게 나타내었다.

패러데이 효과란 피측정 자계 H속에 패러데이 소자를 배치하고 이것에 직선 편광된 빛을 입사시키면 자계 H에 비례하여 편광면을 회전한 빛이 나오게 된다. 여기서 나온 光의 強度  $E_a$ 와 투과후의 強度  $E_{out}$ 과는 다음과 같은 수식이 성립한다.

$$E_a = E_{out} \times \cos(45^\circ - \theta) \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $\theta = V \times H \times L$

V: 베르데 상수

H: 자계 강도

L: 패러데이 광로 길이

이 회전각  $\theta$ 를 측정함으로써 磁界의 強度 즉 1차 전류를 측정하는 것이다. 포켈스 소자에 의한 전계를 측정하는 경우의 원리를 그림 6에 나타냈으며 이를 보다 상세하게 나타낸 것이 그림 8이다.

패러데이 소자의 경우와 동일하게 편광된 직선 편광 X, Y 성분은 포켈스 소자 투과 후  $I$ 의 위상차를 가지며 더욱이 1/4의 파장에 의한  $\pi/2$ 의 위상차를 가져 편광자 주축과 90도의 각도를 가진 검광자에 의해 측정분을 검출한다.

다시 말하면 포켈스 효과를 이용하여 전계 강도에서 전압을 측정하는 방법은 포켈스 소자에 전압을 인가하고 그것에 직선 편광된 빛을 입사시키면 빛은 소자속에서 속도가 다른 2개의 직교된 직 편광 성분

논단 IV

으로 나뉘어 진행되고 (이를 복굴절 현상이라고 한다)소자 출구에서는 양자간의 위상차가 생긴다. 이 위상차를 측정함으로써 인가된 전압을 측정할 수 있다.

검광자에 의해 검출된 광의 강도  $E_a$ 는 입력 광 강도  $E_{in}$  및 위상차  $\Gamma$ 에 의해 다음 수식과 같이 표시된다.

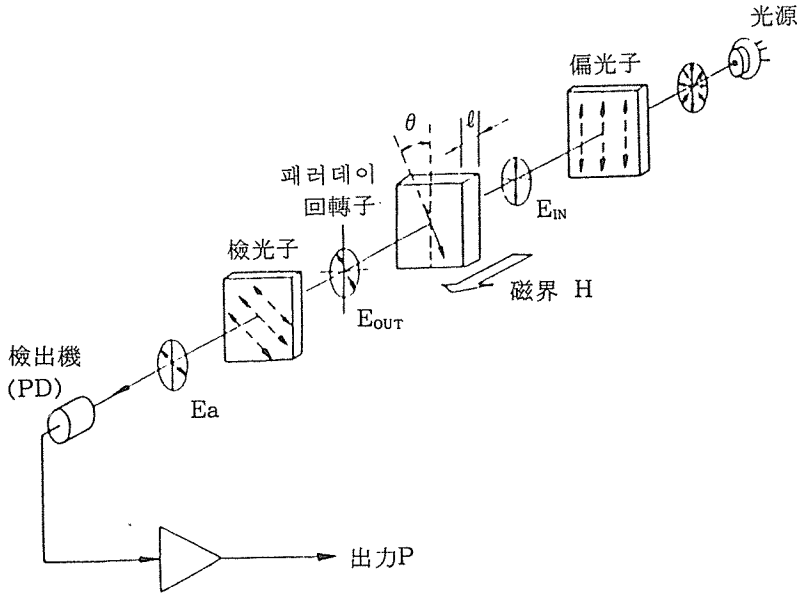


그림 7. 光 磁界 측정의 원리도

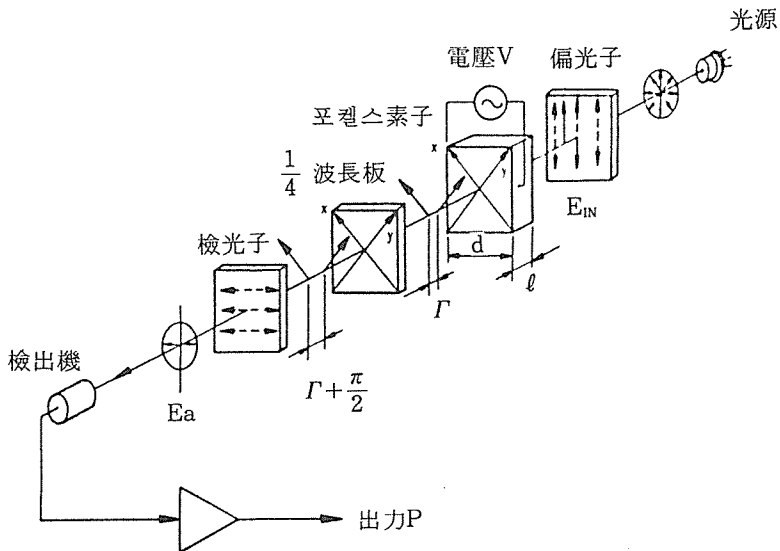


그림 8. 光電界 측정의 원리도

$$Ea^2 = Ein^2/2 \times (L + \sin\Gamma) \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $\Gamma = 2\pi n_0^3 \gamma_{22} E/\lambda$

- $n_0$ : 상광 굴절률
- $\gamma_{22}$ : 포켈스 계수
- L: 光의 길이
- $\lambda$ : 光의 파장
- E: 전계 강도

(2) 光磁界 측정기의 구성

光 변류기는 통상 도체에 전류가 흘러 형성하는 전계를 측정하는 것이므로 이 도체의 통전전류를 측정하는 장치로 구성되어 있다. 구체적으로 앞서 설명한 편광자, 자기광학소자, 검광자를 조합하여 인가전압에 크게 비례한 정도의 光을 검출한다.

光磁界 측정기는 이상으로부터 光磁界 센서부와 光 송신부, 光 수신부, 증폭기등을 준비한 신호처리부로 구성된다. 그림 9에 光磁界 측정기의 구성예를 표시하였다.

光 다이오드로부터 나온 光은 光 파이버로 운반하여 센서부에서 光 강도변환을 행한다. 이 光은 授光用 光 파이버를 매개로 光 수신기에 의해 光/전압변환된다. 이 신호로부터 光 변조성분(교류성분)만을 꺼내어 인가전압을 검출할 수 있다.

일반적으로 光原의 변동 및 光 파이버의 光 손실에 의한 변동이 있으므로 오차의 원인이 된다. 이 방식으로는 출력의 교류성분은 평균 受光量(직류성분)에 비례하여 변화되는 특성을 이용하여 光 수광기의 출력을 직류성분과 교류성분으로 분리하여 양자를 나누어 계산한 신호를 끄집어내어 앞서 설명한 오차를 보상한다.

(3) GIS용 光CT의 각종 방식

光자계 측정기의 센서부를 GIS내의 光CT를 구성하는 경우 자계의 형성방법, 센서부(소자)의 배치에 따라 여러가지 방법이 제안되고 있다. 이 방식의 예를 표1에 표시하였다.

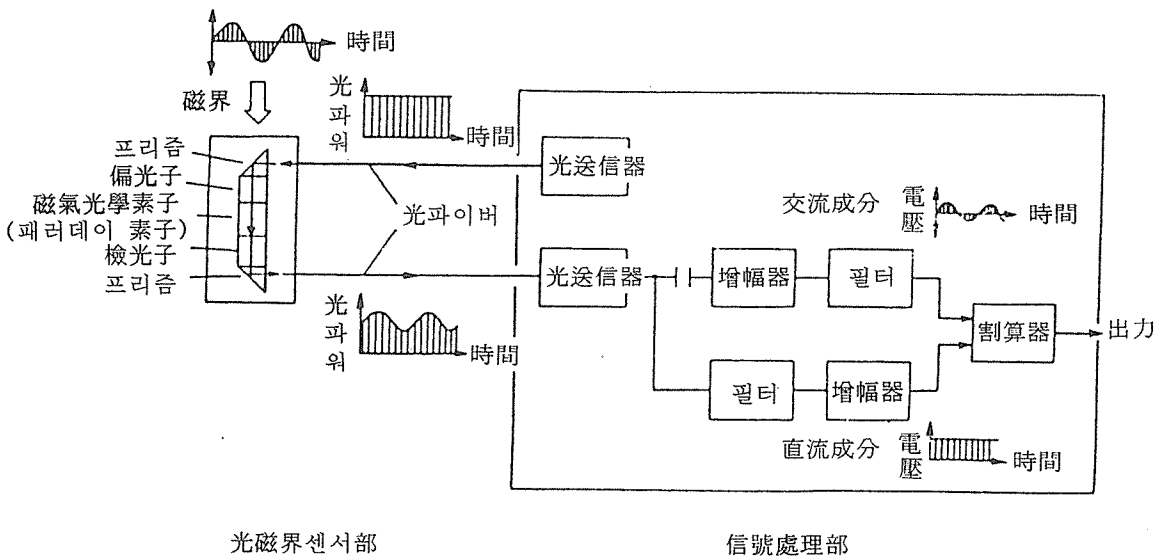


그림 9. 光磁界 측정기의 구성

표 1. GIS용 光CT의 방식

	1	2	3
方式	갭이있는 鐵心方式	周 回 積 分 方 式	스파이럴 導體方式 (光空間運送)
	갭이있는 鐵心을 導體周用に 配設하여 갭에 光磁界센서(素子)를 配置한다.	導體안에 光磁界센서(素子)를 配置한다.	스파이럴 導體內에 素子를 配置한다. 充電部나 大地間은 光空間運送方式으로 한다.
構造			
特徴	三相一括形, 他相磁界의 影響이 약간 크다.	光磁界 센서(素子)는 약간 크지만 他相磁界의 影響은 적다.	同 左

(4) 光전압 측정기의 구성

光전압 측정은 편광자, 전기광학 소자, 1/4 파장판, 검광자로 구성되어 인가전압에 비례한 강도의 광을 검출하는 방법을 취하고 있다.

光전압 측정기는 위에 설명한 바와 같이 구성되기 때문에 光전압 센서부와 光 송신기, 光 수신기, 증폭기등을 구비한 신호처리부로 구성된다.

光전압 센서부를 없애면 光자계 측정기와 완전히 동일하게 되며 이 방식에서도 교류성분에서 직류성

분을 분리하여 光原의 변동 및 光 파이버의 光손실 변동에 의한 오차를 보상한다.

(5) GIS용 光 PT의 방식

光전압 측정기를 이용하여 光PT를 구성하는 경우 센서부의 설치장소는 전압검출에 의한 방법, 전계검출에 의한 방법 등으로 여러가지 방법이 제안되고 있으며 그중 대표적인 예를 그림 10에 표시하였다.

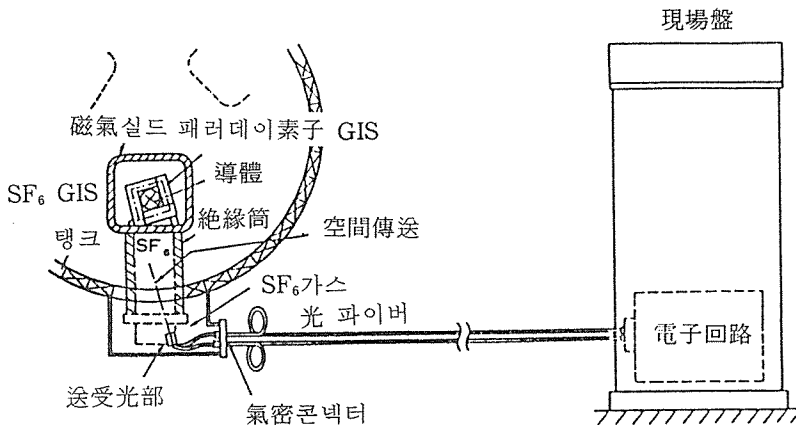


그림 10. GIS용 光PT



4-3. 교류용 光 CT, PT

(1) 교류용 光CT

그림 11에 GIS를 적용 대상으로 개발한 교류용 光 CT의 구성을 표시하였다.

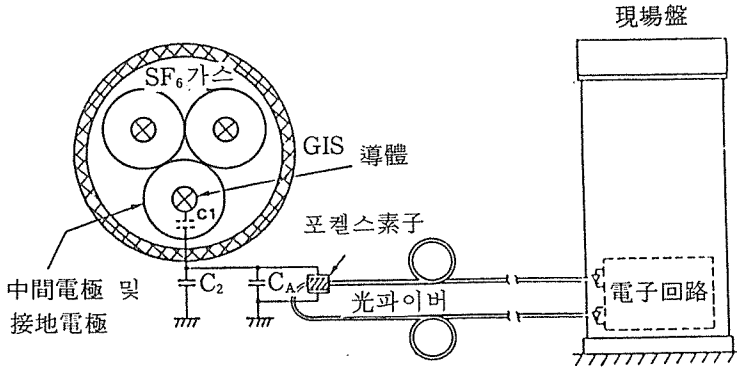


그림 11. GIS용 光CT의 구성도

光CT 동작의 개요를 光 전달 경로를 중심으로 설명하면 다음과 같다.

현장반으로부터 LED 光源의 光을 光 파이버로 GIS 탱크에 설치된 렌즈, 프리즘등의 送受光部로 인도된다. 送受光部의 光은 直線編光과 평행선이 되며 GIS내의 SF<sub>6</sub> 가스중을 공간 전달하여 도체주변에 설치된 흑연 유리로 만든 센서소자에 입사한다. 光은 소자중의 도체를 일주하여 전류에 비례한 패러데이 회전을 받는다. 이후 光은 다시 공간 전달에 의해 送受光部에 원상복귀되어 檢光子를 통과 후 光 파이버에 의해 현장반에 유입되며 전기신호로 변환되어 검출회로에 의해 아날로그 출력신호로 변환된다.

패러데이 회전각의 검출에는 회전하는 직선 編光을 소자에 입사하여 수신신호가 고조파의 정현파 교류가 되었을 때 패러데이 회전각에 비례하는 신호의 위상변화를 기준신호와 비교하여 검출하는 방식을 사용하고 있다.

회전하는 直線編光은 編光面이 각각 60°씩 다른 강도가 같은 3개의 직선 編光을 순번으로 점멸하여 비슷하게 실현한다.

개발된 장치의 주된 기술적 특징은 다음과 같다.

① 光의 공간 전송

GIS탱크와 소자간의 絶緣을 확보하기 위한 SF<sub>6</sub> 가스중의 光 전송은 공간전송으로 행해진다.

② 주회색분형 센서

근접된 다른상의 전류영향에 의한 오차를 줄이기

위하여 전류의 주회색분에 비례하는 패러데이 회전을 얻는 구조의 소자를 개발하였다.

③ 위상검출방식

사고전류까지 검출할 수 있는 넓은 측정 범위를 확보하기 위하여 위상검출방식을 개발하였다.

(2) 교류용 光PT

그림 12에 GIS를 대상으로 개발한 光PT의 구성을 표시하였다.

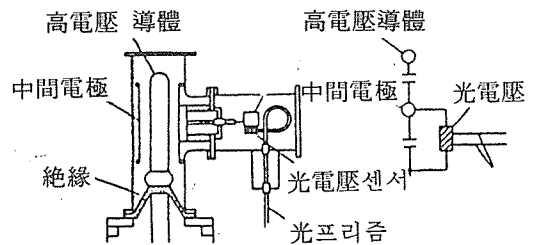


그림 12. GIS용 光PT의 구성도

현장반 LED의 光을 光파이버로 GIS탱크에 가까운 곳에 설치한 포켈스 전압센서로 유도한다. 센서에는 고전압 도체의 전압을 容量分壓하여 접지측 전압이 인가된다. 센서내부에서 변조를 받는 光은 다시 光 파이버로 현장반까지 유도되어 전기신호로 변환된다.

포켈스 효과에 의한 光 위상차의 검출법에는 受信

光의 강도가 정보를 가진 강도검출 방식을 사용하였다. 도체와 동축에 중간전극 및 접지전극이 설치되어 있다. 도체와 중간전극간의 정전용량을 고압측 용량  $C_1$ 이라 하고 중간전극과 접지전극과의 정전용량을 저압측 용량  $C_2$ 라 한다. 접지전극에 의한 정전 실효효과에 의해 다른상의 전계 영향에 의한 오차가 발생하지 않는다.

개발된 장치의 주된 특징은 다음과 같다.

① 容量分壓 방식

전압은 容量分壓에 의해 용이하게 얻을 수 있으며 센서를 GIS외부에 부착한 구조이다.

② 강도검출방식

전압계측의 경우 필요한 측정범위가 비교적 적으며 구성이 단순한 강도검출 방식을 사용한다.

5. 결 론

변성기류는 사회적 필요성에 따라 GIS변전소에 알맞는 소형, 경량화가 추진될 것으로 보이며 광에 관련된 광변류기, 광변성기에 대한 실용화가 가속될 것으로 보인다. 전력계통의 고도화, 대규모화에 따른 변성기류의 고정밀도화가 요구되며 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 보인다.

〈전기용어〉

電磁流體發電(magneto-hydro dynamic generation)

수력, 화력, 원자력 모두가 물 또는 열에너지를 한번 기계적에너지로 변환한 후 발전기에 의해 전기적에너지를 얻는 방법이다.

이에 대해서 각종 에너지를 직접 전기적에너지로 변환하는 방법을 직접발전방식 이라고 한다. 현재 실용단계에 도달하고 있는 것에 MHD발전, EFD(전기유체역학(電氣流體力學: electro-fluid dynamics)발전, 연료전지, 태양전지, 열전자(熱電子) 및 열전기발전 등이 있다.

MHD발전은 NS 양극간에 고속의 유도성가아스의 흐름(플라즈머류)을 통하면 흐름에 따라서 자계내(磁界內)를 움직이는 전자(電子)는 강력한 자계의 작용에 의해 편향(偏向)을 받아서 전극에 도달하고 외부회로에서 전자류가 되어 반대 전극으로 돌아온다.

MHD 발전의 실용화의 열쇠는 여하히해서 도전성(導電性)이 좋은 플라즈머흐름을 만드는가에 달려있다. 중성의 가아스 분자를 이온화해서 플라즈머를 만들려면, 가아스를 2,000~3,000℃의 고온으로 가열하는 동시에 이온화하기 쉬운 세슘, 칼륨등의 알카리 금속을 소량 가해줄 필요가 있다.

가아스에 접촉하는 두 전극간에 나타나는 전압은 자계의 세기, 가아스흐름속도, 양전극간 거리에 비례한다.