

IEC 60044 기반 Intelligent GIS용 전자식 변성기 개발

김민수, 정재룡, 김정배, 송원표  
(주)효성

The Development of Electronic Transformer(CT/PT) for Intelligent GIS Based on IEC 60044

M.S.KIM, J.R.JUNG, J.B.KIM, W.P.SONG  
Hyosung Cc

**Abstract** - 지금까지 변전소나 개폐소에서 전류, 전압을 측정하는 수단으로서 주로 철심과 권선으로 구성되어진 변류기(CT), 계기용 변압기(PT, PD)가 사용되어져 왔다. 최근, 2차측의 계측기나 보호 Relay의 Digital화가 진전되어, 또한 이것을 Digital Network으로 총합한 Intelligent 변전소의 구축이 검토되어지고 있으며, Digital Network에 대응한 변성기 관련규격인 IEC 60044가 근래 제정되어짐에 따라 이에 적합한 전자식 변성기가 요구되어지고 있다.

상기와 같은 요구로 인해 당사에서는 IEC 60044를 기반으로 한 전자식 변성기 Layout을 구성하였으며, CT는 검출부에 Rogowski Coil을 적용하며 그 후단에 적분기를 설치하였으며, VD는 검출부에 중간 전극을 이용해서 분압하는 방식인 Capacitive Voltage Divider를 사용하고 증폭기를 삽입하여, 각각 요구되는 전압 신호를 얻었다. 이러한 신형 CT/VD의 적용으로 종래의 CT/PT가 차지하는 공간이 필요 없게 되어 컴팩트한 GIS의 구조가 가능하게 되어 있다.

을 발생시켜 결국은 GIS의 절연과괴를 초래하게 하는 단점을 지니고 있었다. 상기와 같은 철결진에 대한 방지 대책이 가능하며, 사이즈면에 있어서도 축소화가 가능한 CVD(Capacitive Voltage Divider)를 적용함으로써 GIS를 보다 신뢰성 있고, 안정하게 운전하고자 한다.

또한, 최근 계기용 변성기의 2차측 계측기나 보호 Relay의 디지털화가 진전되고 있고, 이것을 디지털 Network으로 총합한 Intelligent 변전소의 구축이 검토되어지고 있으며, Digital Network에 대응한 변성기 관련규격인 IEC 60044가 근래 제정되어짐에 따라 이에 적합한 전자식 변성기가 요구되어지고 있다. 이에 발맞춰 당사에서는 IEC 60044를 기반으로 한 GIS용 로고스키코일형 CT 및 Capacitive VD를 개발하고 있으며, 본 논문에서는 현재까지 진행된 개발 상황에 대해서 서술하도록 하겠다.

1. 서 론

전력수요가 급격히 증가하면서 전력설비의 초고압화 및 대용량화가 요구되고 있고, 한편으로는 전력의 안정적인 공급과 효율적인 이용이 절실히 필요한 실정이다. 이에 따라 현재 대부분의 송전 시스템은 345kV급으로 운용되고 있으며, 최근에는 신송전선로에 765kV급을 적용하고 있다. 이와 같이 송전 전압이 초고압화 되면서 전류, 전압의 정확한 계측은 전력계통의 제어 및 보호상 점점 중요시되고 있다. 초고압 환경에서 전류, 전압의 정확한 계측을 위해 도입되고 있는 철심형 변성기 및 권선형 변류기는 절연특성, 기계적 강도, 내진성, 경제성 등의 많은 문제점을 안고 있다<sup>[1]</sup>.

계기용 변류기는 주회로의 대전류를 특정비의 저전류로 변환하여 전류를 감시하는 역할을 담당하고 있으며, 과전류를 감시하는 Protection용과 정상전류를 감시하는 Metering용으로 나뉜다. 최근 변전소의 디지털화와 철심형 CT의 단점들이 부각되면서 로고스키코일형 CT가 그 자리를 대체할 수 있는 변류기로 등장하고 있다. 이러한 시도가 이루어지는 가장 큰 이유로는 기존의 철심형 CT가 포화특성을 가지는데 반해 로고스키코일형 CT는 공심형으로서 철심이 없기 때문에 전 영역에 대해서 선형적인 출력특성을 나타내어, Relay용과 Metering용으로 나누어 사용되어 오던 철심형 CT를 단 한 개의 로고스키코일형 CT로서 계측 및 보호가 가능하다는 것에서 기인한다. 상기와 같이 철심포화에 따른 측정 전류의 상한이 없는 로고스키코일형 CT로 대체할 경우 GIS의 소형·경량화를 도모할 수 있으며, 철심형 CT와는 달리 저전압으로 출력이 나오므로 디지털 Relay에 적합하다<sup>[2]</sup>.

한편, 기존의 GIS에 설치되는 계기용 변성기(PT)에 있어서는 PT가 연결되는 모선의 마지막 차단기가 개방될 때 차단기 극간의 충전용량과 모선의 대지간 충전용량에 의해 결정되는 용량성 리액턴스와 모선 유도 전압에 의해 포화된 PT의 유도성 리액턴스가 직렬로 결합하여 LC 공진현상이 일어나고, LC 공진현상에 의해 매우 높은 상용주파수의 과도전압을 발생시키는 철결진 현상

2. 본 론

2.1 전자식 변성기 시스템 구성

당사에서 구축하고자 하는 IEC 60044 기반 Intelligent GIS용 전자식 변성기의 전체 시스템 구성도는 그림 1과 같이 구성된다. 먼저 전류측정을 위한 센서로서 Rogowski Coil 및 Digital 적분기를 사용해서 Protection용과 Metering용의 출력신호를 광통신을 이용해서 신호취합 및 전송장비인 Merging Unit으로 전송하며, 마찬가지로 전압측정을 위한 센서로서 Capacitive VD 및 Ratio Box를 사용해서 측정된 신호를 Merging Unit으로 전송하게 된다. 전류/전압센서로부터 신호 취합 및 상위 기로의 신호 전송을 담당하는 Merging Unit은 GIS 1Bay당 1대가 필요하며, 변전소내 현장에 설치되게 된다. 또한, 본 시스템 구성도는 전자식 변성기 관련 규격인 IEC 60044-8에서 규정하고 있는 내용이다.

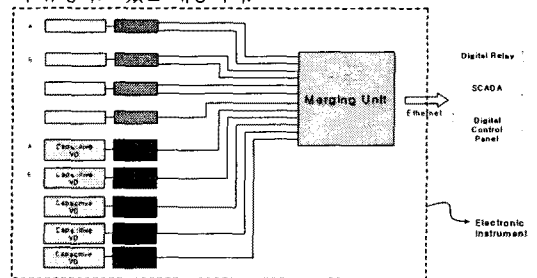


그림 1. 전자식 변성기 시스템 구성도

또한, RCT 및 CVD로부터 전송되는 Data들의 시간동기화를 위해 그림 2와 같이 Merging Unit에서 적분기(Ratio Box)로 Time Sync. 데이터를 뿌려주는 Flow-chart를 구성하였다.

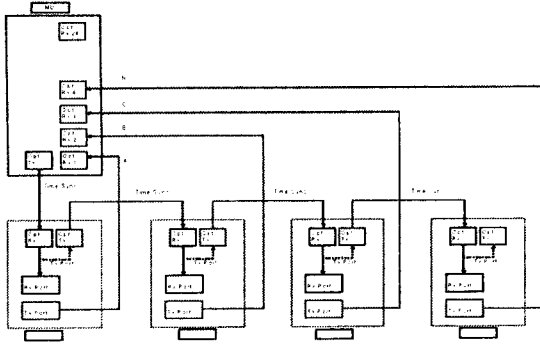


그림 2. 전자식변성기 Time Sync. Flow-chart

## 2.2 로고스키코일형 CT

### 2.2.1 로고스키코일형 CT 측정원리 및 제작

로고스키코일형 CT는 전류측정을 위한 공심 코일로 이루어진 검출부와와 적분기로 이루어진 신호처리부로 나누어진다. 공심 코일부는 시변전류를 측정하는 센서로서 로고스키코일에 유기된 전압은 코일을 관통하는 전류와 코일간의 상호인덕턴스와 전류의 시간변화율에 비례하며, 널리 알려진 바와 같이 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$E = M \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

여기서,  $E$  = 로고스키코일의 출력전압 [V]

$M$  = 상호인덕턴스 [H]

$I$  = 로고스키코일관통전류

식 (1)에서와 같이 로고스키코일의 출력은 전압이므로 적분회로를 그림 3과 같이 구성하여 최종 출력전압  $V$ 를 구함으로써 로고스키코일의 관통전류  $I$ 를 얻을 수 있다. 그림 3은 적분기 회로 내부의 대략적인 개념도이며, 이를 기초로 해서 제작된 로고스키코일 및 적분기를 그림 4, 5에 나타내었다.

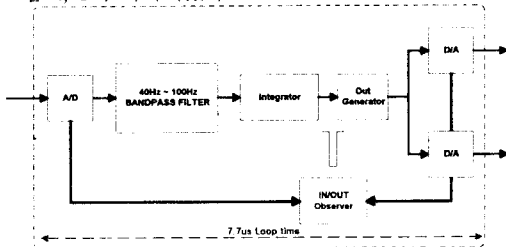


그림 3. 적분기 내부회로 블록도

그림 4는 GIS용 Tank 내장 Type 로고스키코일형 CT 및 CVD이다. 또한, 그림 5에 나타난 적분기는 그림 3의 개념도를 기본으로 해서 제작되었으며, Micro-processor는 전처리 Bandpass Filter와 디지털 적분기로 구성되어 있다.

당사에서는 로고스키코일 및 적분기에 대해 1차 Proto-type 제작 후, 성능확인 및 절연내력시험 실시 후, 오차계급 및 전자기 적합성시험의 각 항목을 만족하도록 일부 성능을 보완하여 2차 Proto-type을 제작하였다.



그림 4. GIS에 취부된 디지털 CT/VD

### 2.2.2 로고스키코일형 CT 특성시험

상기 그림 4, 5와 같이 제작된 Prototype 로고스키코

일 및 적분기에 대하여 입/출력 특성시험을 수행하였으며, 그 결과를 그림 6, 7에 나타내었다. 로고스키코일은

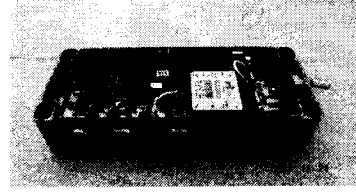


그림 5. 실제작된 적분기 내부사진

400A-4000A까지의 전류를 100A씩 증가시키면서 로고스키코일을 관통했을 때, 로고스키코일의 출력을 측정해서 기준값과 비교함으로써 선형성을 확인하였다(정격 2000A/200%). 그림 7은 로고스키코일 후단에 적분기를 연결해서 특성시험 수행후, 오차특성을 나타냈으며, IEC 60044-8의 전자식 변류기의 오차시험 1.0 Class 기준에 모두 만족한 특성을 보이고 있음을 그림 7을 통해 알 수 있다. 표 1은 IEC 60044-8의 1.0 Class 비오차 기준을 나타내었다.

표 1. 전자식 변류기 1.0 등급 비오차 기준(IEC 60044-8)

구분	± 비오차(%)			
	0.05In	0.2In	1.0In	1.2In
허용오차	3	1.5	1.0	1.0

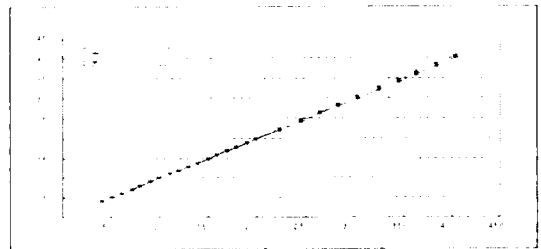


그림 6. 로고스키코일 입/출력특성 시험결과

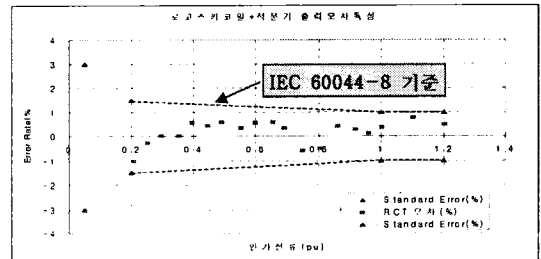


그림 7. 로고스키코일형 CT(코일+적분기) 오차특성

### 2.2.3 적분기 전자기 적합성시험

적분기 내부는 DSP를 비롯한 각종 전자회로로 구성되어 있으며, GIS 일체형 구조로 설치되므로 변전소내 각종 전자파 노이즈로부터 동작에 이상이 없어야 한다. 이에 따라, 한국전기연구원에서 관련 규격인 IEC IEC 60044에서 규정하고 있는 EMC 시험 규격인 IEC 61000-4 시험기준에 따라 전자기 적합성 시험을 실시하였으며, 그 결과 아래의 표 2, 3과 같이 만족한 성능을 확보하였다.

1)버스트 내성시험은 관련 규격에 준하는 5×50μs파형을 15s동안 인가 후, 285s 동안 휴지하는 시험을 2분간 반복 실시하였음.

2)Surge 내성시험은 관련 규격에 준하는 1.2×50μs(전압), 8×20μs(전류), 임피던스 : 20을 가지는 파형을 정부극성 각 5회씩 인가하였으며, 적용되는 레벨보다 낮은 레벨에 대해서도 모두 실시하였음.

3)적분기 외함 및 전선선으로부터 외부로 방사 및 전도 되는 전자파 측정시험인 EMI 시험 역시관련 규격인

CISPR 11에 준하여 시험을 하였으며, 실시결과 기준범위를 만족하였음.

표 2. 적분기 EMI 시험항목 및 결과

포트	EMI 항목	시험레벨	적용규격	결과
외함	방사잡음 (RE)	30 $\mu$ -230 $\mu$ : 50dB이하 230 $\mu$ -1K: 58dB이하	CISPR 11	양호
제어 전원	전도잡음 (CE)	150 $\mu$ -30 $\mu$ , 피크:73dB이하, 평균:60dB이하	CISPR 11	양호

표 3. 적분기 EMS 시험항목 및 결과

포트	EMS 항목	시험레벨	적용규격	결과
외함	정전기	접촉6kV/기중8kV	61000-4-2	양호
	고주파 방사	80-1000MHz, 10V/m	61000-4-3	양호
전원	급과도 버스트	4kV/2.5kHz, $\pm$ 2분	61000-4-4	양호
	서지	line-line: 2kV, $\pm$ 5회 line-ground: 4kV $\pm$ 5회	61000-4-5	양호
	무선주파 전도내성	10V, 150kHz-80MHz	61000-4-6	양호
	전압강하	1주기 동안 $\Delta$ U 30% 5주기 동안 $\Delta$ U 60%	61000-4-11	양호
	순간정전	5주기 동안 $\Delta$ U 100%		양호
	1MHz 진동서지	line-line: 2.5kV, $\pm$ 2초 line-ground: 2.5kV $\pm$ 2초	61000-4-12	양호
	100 $\mu$ s Ring 서지	line-line: 2.5kV, $\pm$ 2초 line-ground: 2.5kV, $\pm$ 2초	61000-4-12	양호
접지	급과도 버스트	4kV/2.5kHz, $\pm$ 2분	61000-4-4	양호
	급과도 버스트	2kV/5kHz	61000-4-4	양호
입력	서지	line-line: 1kV line-ground: 2kV	61000-4-5	양호
	무선주파 전도내성	10V, 150kHz-80MHz	61000-4-6	양호
	1MHz 진동서지	line-line: 1kV/0.5kV line-ground: 2.5kV/1kV	61000-4-12	양호
	100 $\mu$ s Ring 서지	line-line: 1kV line-ground: 2.5kV	61000-4-12	양호
출력	급과도 버스트	2kV/5kHz, $\pm$ 2분, 정전결합	61000-4-4	양호
	서지	line-ground: 2kV	61000-4-5	양호
	무선주파 전도내성	10V, 150kHz-80MHz	61000-4-6	양호
	1MHz 진동서지	line-ground: 2.5kV	61000-4-12	양호
	100 $\mu$ s Ring 서지	line-ground: 2.5kV	61000-4-12	양호

### 2.2.4 절연내력 및 신뢰성 검증시험

GIS 관련 제품규격인 IEC 60694를 만족하기 위하여 적분기 내부의 전원 포트, 입력 포트, 출력 포트 각각에 적절한 서지 보호회로를 구성해서 표 4의 내용과 같이 절연내력 시험을 실시하였으며 그 결과는 모두 만족스럽게 나왔다.

표 4. 적분기 성능확인시험 및 절연내력시험결과

시험항목	시험레벨	적용규격	결과
성능확인 시험	로그스키코일(300A/200 $\mu$ )의 출력을 입력으로 사용해서 EMC 시험전/후 출력값의 선형성을 확인	-	양호
상용주파 내전압 시험	전원-G: 2Wrms/1분 입/출력-G: 0.5Wrms/1분	IEC 60694, 60255-5	양호
충격 내전압 시험	전원-G: 5 $\mu$ p/ $\pm$ 5회 입/출력-G: 1.5 $\mu$ p/ $\pm$ 5회	IEC 60694, 60255-5	양호

또한, EMC 시험 및 절연내력 시험 전/후의 성능의 동일함을 확인하기 위하여 성능확인시험을 실시한 결과, 양호하였다.

## 2.3 Capacitive VD

### 2.3.1 CVD 제작 및 절연내력시험

기존의 PT가 설치되어 있는 변전소에서의 철공진 현상에 대한 방지대책으로서 Capacitive VD를 도입하였으며, CVD는 센서부와 센서부 후단의 Ratio Box로 구성되며 측정원리는 그림 8에서와 같이 CVD 내부에 Floating된 Plate와 Conductor 사이의 정전용량 C1과 Floating된 Plate와 대지간의 정전용량

C2의 분압 형태로서 GIS의 전압을 측정하게 되며, 측정된 전압은 Calibration Box를 통해서 4V/2V의 전압신호를 출력하게 된다.

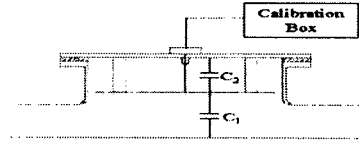


그림 8. Capacitive VD의 측정원리

CVD는 GIS 내부에 설치되므로 GIS 운전이 영향을 없도록 절연 설계를 하였으며, CVD의 절연내력을 확인하기 위하여 임펄스내전압시험(750kVp  $\pm$  15회)과 상용주파내전압시험(325kVrms, 1분)을 실시하여 양호한 결과를 얻었다.

### 2.3.2 CVD 성능확인시험

제작된 CVD의 성능을 확인하기 위하여 시험용 챔버를 이용하여 60Hz-110Hz에서 10 $\mu$ V씩 상승해가면서 CVD의 입·출력 특성시험을 수행하였으며, 그 결과를 그림 9에 나타내었다. Metering과 Protection 출력단자 모두 기종값과 거의 동일한 선형성을 보이고 있으며, 관련 규격 IEC 60044-7의 1.0급 기준을 만족하고 있다.

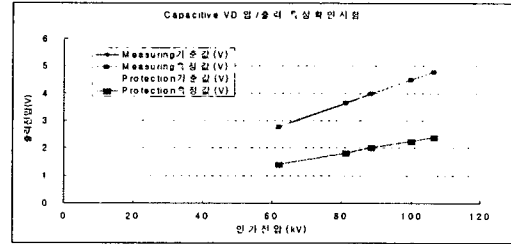
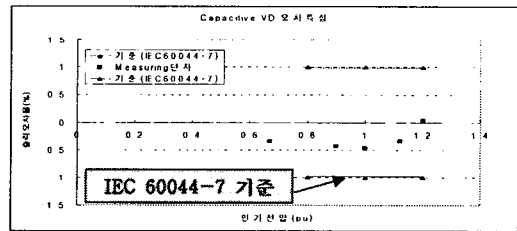


그림 9. CVD 입/출력 성능확인시험결과



## 그림 10. CVD 오차특성

CVD의 오차특성(Metering출력)을 그림 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 IEC 60044-7의 1.0급 오차규격을 만족하고 있음을 알 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 기존의 철심형 CT의 포화특성과 PT에 의한 철공진 현상에 대한 대비책으로서 IEC 60044 규격에 근거한 로그스키코일형 CT와 Capacitive VD의 개발상황에 대해서 서술하였다. 이러한 디지털 CT/VD는 향후 Intelligent 변전소 및 디지털 Network에 대응하는 적합한 모델이 될 것이며, 전력기기의 축소화·경량화 및 신뢰성 높은 전력공급에 기여할 것으로 사료된다.

향후, 급변 제작된 RCT/CVD의 신호를 취합하는 장치인 Merging Unit에 대한 전자기 적합성시험을 수행할 것이며, 고장 실증시험장에 설치하여 그 성능을 검증할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김영수, "전력용 광전류, 전압센서 연구동향 조사", 대한전기학회회계학회, Vol 1, pp270-pp273, 2001
- [2] 김정배 외, "170kV GIS용 로그스키코일형 CT 개발", 대한전기학회회계학회, A 권, pp479-481, 2001