

## 132 kV 초정밀 전압변성기(PT) 개발 및 안정도 평가

권성원\*, 이상화\*, 정재갑\*, 김문석\*, 김재영\*\*, 이성하\*\*  
 한국표준과학연구원\*, (주)시티이텍\*\*

### Development of 132 kV Standard Potential Transformer and Stability Test

Sung-Won Kwon\*, Sang Hwa Lee\*, Jae Kap Jung\*, Mun-Seog Kim\*, Jae Young Kim\*\*, Sung-Ha Lee\*\*  
 \* Korea Research Institute of Standards and Science, \*\* CT-eTECH, Ltd.

**Abstract** - High accurate and stable 132 kV potential transformers (PTs) including 66 kV & 22 kV PT with stability of less than 0.0033 % for 13 month and with ratio error within ± 0.024 % at full rated voltage have been developed. The PTs are useful as the reference PT of the PT comparator system in the voltage range of 11 kV to 132 kV PT.

#### 1. 서 론

전압변성기(potential transformer, PT)는 수백 kV까지의 1차 전압을 안전하고 정밀측정이 용이한 2차의 110 V로 변환하기 위하여 사용되는 계기용변성기로서, PT의 변환비와 2차 전압을 측정하여 1차의 고전압을 정확하게 측정하거나 모니터링하기 위해 사용된다. 따라서 2차 전압의 정밀측정과 함께 PT 변환비의 정확한 평가는 고전압 측정의 정확도를 좌우한다. 최근 대용량 전력설비의 사용증가와 함께 전력계통 또는 중전기 제품 성능 시험설비의 전압용량이 증가하고 있는데, 이러한 고전압의 계량 및 성능평가 설비에 대한 국가표준과의 연결고리인 소급성 확보는 국제인증 및 국가간 성적서 상호인정의 기본요건이다. 이러한 중전기 업체의 요구를 충족시키기 위하여 한국표준과학연구원에서는 최대 240 kV 국가표준시스템을 구축하여 산업체를 지원하고 있다[1].

PT 생산업체나 교정시험기관에서는 PT의 비오차(ratio error)와 위상각 오차(phase angle error)를 평가하기 위하여 PT 오차 측정시스템(이하 오차측정시스템)을 활용한다. 실용되고 있는 PT는 비오차의 등급에 따라 0.1 급 ~ 3.0 급의 총 5개 등급으로 나누고 있으며, 등급에 따라 허용되는 비오차는 ±(0.1 ~ 3) % 이하로 규정하고 있다[2]. 이러한 등급의 PT 특성을 평가하기 위한 PT 오차측정시스템의 측정정확도는 기준용 PT의 비오차 정확도에 좌우되며, 따라서 시스템의 기준용 PT는 시험하려는 PT보다 10배 이하의 비오차를 갖는 우수한 PT를 사용해야 한다.

본 논문에서는 전압변성기의 1차 전압이 최대 132 kV, 66 kV 및 22 kV이고 비오차가 최대 ± 0.044 % 이하인 초정밀 표준용 PT의 설계제작, 특성평가 결과와 활용방안을 기술하였다.

#### 2. 초정밀 표준용 PT의 설계 제작

그림 1은 초정밀 표준용 PT로 활용하기 위하여 개발한 최대 132 kV의 전압을 측정할 수 있는 표준용 PT의 권선개념도 및 외관 사진으로서, 66 kV PT 2대를 종속 접속(cascade connection)하여 132 kV의 PT를 제작하였다. 1차전압 132 kV는 오른쪽의  $U_2$  및  $V_1$  사이에 공급되고(사진의 상부가  $U_2$ ), 2차전압 110 V는 왼쪽의  $u_{1-1}$  및  $v_1$  사이(110 kV/110 V 탭), 그리고

$u_{1-2}$  및  $v_1$  (132 kV/110 V 탭) 단자(사진의 하부)에서 얻는다. 이렇게 제작된 2단 PT를 원통형의 외함 속에 설치하고 절연유를 채웠으며, 절연유의 누유를 방지하기 위하여 외함의 밑 부분과 받침대 윗면의 닿는 원형의 연결부위를 풀크 판재로 실링하였다. 원통형 외함은 전기적 절연강화와 누유를 방지하기 위하여 유리섬유강화플라스틱(FRP)과 에폭시수지를 혼용하여 제작하였으며, 고전압 전극( $U_2$ ) 주위에 알루미늄 코로나방전 흡수 링을 설치하였다.

위와 같은 방법으로 66 kV 용량의 PT 2대를 각각 권선하여 상하로 배치하고 종속 접속할 경우, 1개의 코어에 권선하여 132 kV PT를 제작할 경우에 비하여 절연거리의 단축으로 코어, 외부상자의 크기 및 무게를 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

$$RE = 100 \cdot \left[ \frac{(N V_s - V_p)}{V_p} \right] \quad (1)$$

$$\epsilon_t = 100 \cdot \left[ \frac{(N n_2 - n_1)}{n_1} \right] \quad (2)$$

식 (1)은 전압변성기의 비오차를 나타내는 식으로서,  $N$ ,  $V_s$  및  $V_p$ 는 각각 정격변환비, 1차 전압 및 2차 전압이다. 한편 권선비에 따른 비오차는 식(2)를 이용하여 계산할 수 있으며, 비오차를 줄이기 위해서 코어의 손실, 권선저항 및 누설임피던스의 영향에 의한 자체 비오차를 줄여야 한다[3]. 이번엔 설계 제작한 PT는 위와 같은 점들을 고려하여 1차 코일의 권선수를 설계치보다 수 % 적게 권선하였다.

표 1은 이번엔 개발된 3종의 초정밀 표준용 PT의 주요 제작사양이며 코어는 모두 Ni 철심코어를 사용하였고, 66 kV PT의 외관도 132 kV PT와 비슷하나 상부의 코로나방전 흡수 링이 없다. 22 kV PT는 1개의 코어에 3개의 중간 전압 탭을 뒀으며, 외관은 4각 모양이다.

표 1. 초정밀 표준용 PT의 제작사양.

1차 전압 (최대)	정격전압범위 (1차)	정격 부담	비오차 설계치
22 kV	11 kV, 13.2 kV, 22 kV	5 VA	± 0.05 % 이하
66 kV	33 kV, 55 kV, 66 kV	5 VA	
132 kV	110 kV, 132 kV	5 VA	

#### 3. 초정밀 표준용 PT의 특성평가

##### 3.1 비오차 특성

당 연구원에서는 최대 시험전압 240 kV인 PT 오차측정시스템을 활용하고 있으며, 이 시스템의 기준기는 독일의 표준기관인 연방물리기술청(BPTB)에서 인증받은 PT를 활용한다. 이 시스템의 측정불확도는 약 0.005 % 이고 분해능은 0.0001 %로써 선진국 수준으로서, 개발한 PT의 비오차 및 위상각 오차와 그 안정도를 평가하기에 적합한 성능을 갖고 있다.

그림 2 및 3은 22 kV 및 66 kV PT의 비오차를 13개월 동안 측정된 평균값으로써, 비오차 범위는 22 kV PT의 경우 (- 0.0270 ~ + 0.0151) % 이고, 66 kV PT의 경우 (- 0.00222 ~ + 0.0442) % 이다. 그림 4는 132 kV PT의 비오차를 5주 동안 측정된 평균값으로써, 비오차 범위는 (+ 0.0257 ~ + 0.0057) % 로 나타났다. 여기서 보는 바와 같이 정격전압의 100 % (그림의 X축의 110 V 에 해당)에서 시험한 비오차는 약 ± 0.024 % 이하이다.

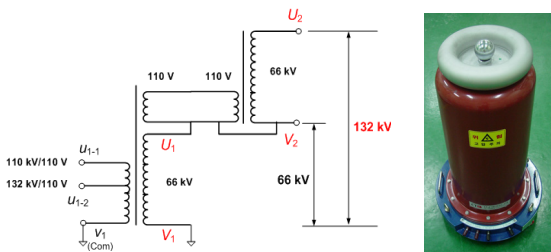


그림 1. 132 kV PT의 권선 개념도 및 사진

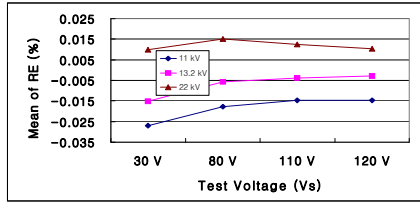


그림 2. 22 kV PT의 비오차 (13개월 평균)

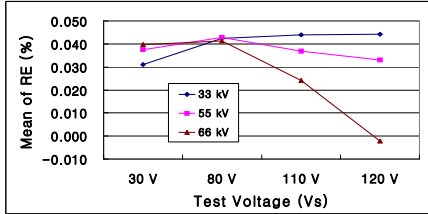


그림 3. 66 kV PT의 비오차 (13개월 평균)

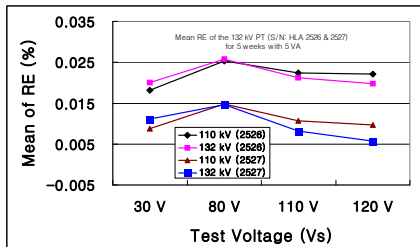


그림 4. 132 kV PT의 비오차 (5주 평균)

### 3.2 비오차 및 위상각 오차의 안정도

오차측정시스템의 기준기 및 대전력 변압기의 손실측정시스템 등에서 기준기로 활용하기 위한 표준용 PT는 비오차의 크기뿐만 아니라 그 안정도가 매우 중요하다. 22 kV 및 66 kV PT의 안정도를 부담 5VA의 조건에서 매월 1회씩 13개월 동안 측정하였으며, 132 kV PT는 매주 1회씩 측정하여 5주일 동안 단기안정도를 평가하였다. 그림 5, 6 및 7은 각각 3종의 PT 안정도를 나타낸 것이다.

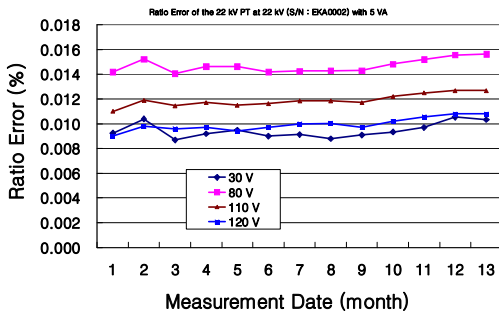


그림 5. 22 kV PT의 비오차 안정도 (0.0025 %/13 개월)

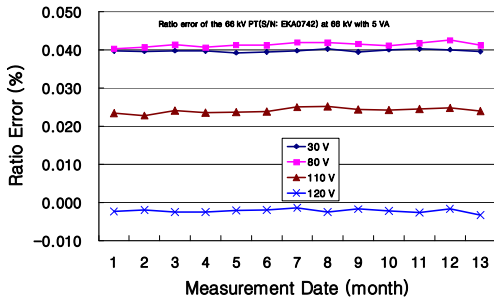


그림 6. 66 kV PT의 비오차 안정도 (0.0033 %/13 개월)

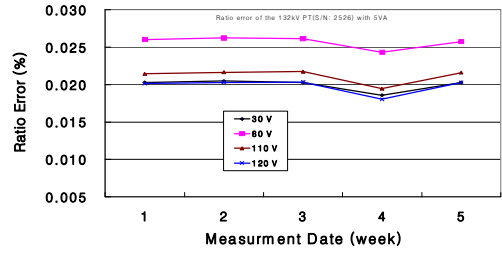


그림 7. 132 kV PT의 비오차안정도 (0.0015 %/5주)

표 2는 3종의 고전압 PT의 비오차 및 위상각 오차를 나타낸 것으로서, 시험전압은 2차 전압을 기준으로 하여 30 V, 80 V, 110 V (100%), 및 120 V로 하였다. 22 kV PT의 비오차는 13개월 동안 25 ppm 이하의 변화를 보였으며, 66 kV PT는 13개월 동안 33 ppm 이하의 변화를 보였고, 또 132 kV PT의 비오차는 5주 동안 15 ppm 이하의 변화를 보였다. 이러한 안정도는 매우 우수한 결과로써 선진국 제품수준의 고전압 PT를 국산화한 것이다. 또 위상각 오차도  $\pm 3$  min 범위에 있으며, 그 안정도도 우수하게 나타났다.

이상의 평가결과에서 보는 바와 같이 3대의 PT의 비오차는 정격전압의 (27 ~ 110) % 범위인 약 (6 ~ 144) kV 범위에서  $\pm 0.0442$  % 이하이고, 그 장기안정도는 33 ppm 이하로 아주 우수하여 표준용 PT로 활용하기에 충분한 성능임이 확인된 것이다.

표 2. 초정밀 표준용 PT의 비오차 및 위상각 오차

정격전압	비오차		위상각오차	
	범위(%)	안정도(ppm)	범위(min)	최대 변동폭(min)
22 kV	-0.0270 ~ +0.0151	< 25 (13개월)	-0.76 ~ -2.05	< 0.077
66 kV	-0.0022 ~ +0.0442	< 33 (13개월)	-0.46 ~ -1.25	< 0.049
132 kV	+0.0057 ~ +0.0257	< 15 (5주)	-2.14 ~ -2.99	< 0.030

### 4. 활용 및 결론

본 연구에서는 전압변성기(PT) 오차측정시스템의 기준용 PT 또는 대전력 변압기의 전력손실 평가시스템의 기준기로 활용할 수 있는 1차 정격전압이 최고 132 kV, 66 kV 및 22 kV 인 초정밀 표준용 PT를 설계 제작하고 오차특성과 그 안정도를 평가하였다. 이들 3종의 PT의 비오차는 정격전압에서  $\pm 0.024$  % 이하로 나타났으며, (6 ~ 144) kV의 전압범위에서 시험한 비오차는  $\pm 0.0442$  % 이하로 나타났다. 13개월 동안 평가한 66 kV 및 22 kV PT의 비오차 안정도는 33 ppm 이하로 나타났다고, 132 kV PT는 15 ppm 이하로써 매우 안정된 특성을 보였다. 또한 위상각 오차는 약  $\pm 3$  min 이하였고, 측정기간 중의 최대 변동 폭은 0.077 min 이하로 나타났다.

본 연구에서 개발한 3종의 PT는 비오차와 그 안정도가 우수하여 국가표준기로 활용해도 충분한 것으로 평가되었으며, 외국산 제품에 비하여 크기가 작고 무게가 가벼워서 이들 PT를 산업체의 품질관리현장으로 운반하여 11 kV ~ 132 kV의 전압범위에서 PT 오차측정시스템, 고전압 분압기 등의 현장교정을 실시할 때 이동용 표준기로 활용하고 있다.

그 동안 수입에 의존해 오던 0.02 % 이하의 비오차를 갖는 초정밀 표준용 고전압 PT를 국산화함으로써, 수입대체효과와 함께 관련 중전기 업체에 품질관리 능력향상에 큰 도움을 주리라 확신한다. 또한 3종의 표준 PT와 함께, 이미 개발한 비오차가 0.005 % 이하인 10 A ~ 20 kA 범위의 초정밀 전류변성기(CT)는 몽골, 말레이시아 등 해외표준기 관의 교류 고전압 대전류 표준 확립에도 큰 도움을 주리라 생각한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 정계갑, 권성원 등, "240 kV 고전압 변성기 국가표준시스템 구축", 대한전기학회 논문집, 57P(2), pp. 164-169 (2008)
- [2] 한국표준협회, "계기용변성기(표준용 및 일반계기용)", KS C 1706 (1982)
- [3] 권성원 등, "초정밀 광범위 비오차 전압변성기의 개발 및 그 응용", 대한전기학회논문집, 55C(6), p.317-322 (2006)

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 시행한 부품소재전문기업 기술지원사업의 지원으로 이루어진 것입니다.