

0.005 %의 초정밀 20 kA 표준용 전류변성기의 개발 및 활용

권성원, 정재갑, 이상화, 강전홍, 이성하*, 송양섭, 김명수,
한국표준과학연구원, *(주)시티이텍

Development of 20 kA standard current transformer with an accuracy of 0.005 % and its application

Sung-Won Kwon, Jae Kap Jung, Sang Hwa Lee, Jeon Hong Kang, Sung-Ha Lee*, Yang Sup Song and Myungsoo Kim
Korea Research Institute of Standards and Science, *CT-eTECH, Ltd.

Abstract - High accurate 20 kA, 6 kA and 2 kA standard current transformers(CTs) with a ratio error within 0.005 % at full rated current have been developed. The CTs are useful as the reference CT of the CT comparator system in the current range of 20 kA to 10 A CT.

1. 서 론

전류변성기(current transformer, CT)는 수십 kA 까지의 1차측 전류를 안전하고 정밀측정이 용이한 2차측의 5 A 또는 1 A 로 변환하기 위하여 사용되는 계기용 변성기로써, CT의 변환비(transformation ratio) 및 2차측 전류의 측정값을 이용하여 1차측의 대전류를 측정 또는 모니터링하기 위한 것이다. 따라서 2차측 전류의 정밀측정과 함께 CT 변환비의 정확한 평가는 대전류 측정의 정확도를 좌우한다. 최근 대전력 사용이 증가함에 따라 전력계통 또는 중전기 제품 성능 시험설비의 전류용량이 증가하고 있으며, 이러한 대전류의 계량 및 성능평가 설비에 대한 국가 표준에의 소급성 확보는 국제인증 및 국가간 성적서의 상호인정의 기본요건이다. 이러한 중전기 업체의 요구를 충족시키기 위하여 한국표준연구원에서는 최대 20 kA 국가표준시스템을 구축하였다[1].

CT 생산업체나 교정시험기관에서는 CT의 특성을 평가하기 위하여 CT 오차측정시스템(이하 오차측정시스템)으로 CT의 비오차(ratio error)와 위상각 오차(phase angle error)를 측정한다. 실용되고 있는 CT는 비오차의 등급에 따라 0.1 급 ~ 3.0 급의 총 5개 등급으로 나누고 있으며, 등급에 따라 허용되는 비오차는 $\pm(0.1 \sim 3) \%$ 이하로 규정하고 있다[2]. 이러한 등급의 CT 특성을 평가하기 위한 오차측정시스템의 기준기로 사용되는 표준 CT의 비오차 정확도에 따라서 그 측정정확도가 결정된다. 따라서 이 시스템의 기준 CT는 0.1급의 CT보다 10배 ~ 20배 이하의 비오차를 갖는 우수한 CT를 사용해야 한다.

본 논문에서는 전류변성기의 1차전류가 최대 20 kA, 6 kA 및 2 kA 용량으로써 비오차가 0.005 % 이하인 초정밀 표준용 CT의 설계제작, 특성평가 결과 및 활용을 기술하였다.

2. 초정밀 표준용 전류변성기의 설계 제작

2.1 초정밀 표준 CT의 설계 제작

그림 1은 초정밀 표준용 CT로 활용하기 위하여 개발한 최대 20 kA까지의 전류를 측정할 수 있는 관통형 표준용 CT(window CT)의 권선도(왼쪽) 및 외관사진(오른쪽)으로써, 1차 도체를 코어의 중앙에 위치한 구멍으로 통과시켜 1회 권선하는 구조이고, 2차 단자는 CT의 상단부에 위치해 있다. 20 kA CT의 측정범위는 5 kA ~ 20 kA로써 2차측은 모두 5 A로 하였다.

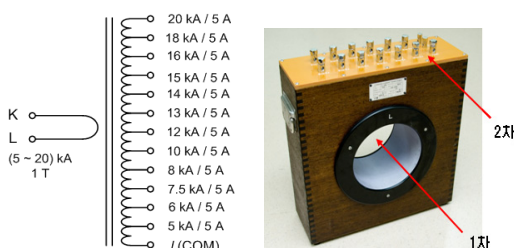


그림 1. 20 kA CT의 권선도 및 외관사진

일반적으로 계기용 변성기는 코어의 여자전류와 권선저항이 작을수록 비오차가 작고 특성이 우수하다. CT는 대전류를 정확하게 측정하는 것이 주목적이므로 CT의 변환비가 매우 중요하다. 0.1 급 이상의 표준용 CT의 코어는 규소강 중에서도 투자율이 비교적 큰 재질을 사용하며, 특히 이번에 개발된 초정밀 표준용 CT는 실리콘 코어에 비하여 투자율이 2 배 이상 큰 니켈코어를 사용하였기 때문에 낮은 전류에서도 특성이 우수하다.

등급이 낮은 일반용 CT는 코어 주위에 권선을 균등하게 배치하는 단순정렬 권선방식을 택하는데, 이는 자동권선기를 이용하거나 수동으로 권선할 때 권선이 용이하기 때문이다. 단순정렬 권선방식은 관통되는 1차 도체의 편심이나 주변 자계의 영향을 많이 받을 수 있고, 특히 1개의 코어에 여러 개의 측정범위를 갖는 다중범위 CT에서는 코어의 특정부위에 권선이 편중될 수 있어서 특성이 우수하지 못하며, 특히 대전류용 CT에서는 외부 자계에 민감하게 영향을 받는다. 본 연구에서 개발한 초정밀 CT는 이러한 점을 고려하여, 먼저 코어를 몇 개의 섹션으로 구분하여 균등하게 분할권선을 대칭구조로 배치한 후, 그 위에 다시 단순정렬권선을 함으로써 특정한 비(ratio)에서 권선이 편중되더라도 자로 전체에 걸쳐 균등하게 대칭으로 배치한 분할권선의 구조때문에 단순정렬권선보다 우수한 특성을 나타낼 수 있도록 설계 제작하였다.

표 1은 이번에 개발된 3종의 초정밀 표준용 CT의 주요 제작 사양이며, 코어는 모두 Ni 을 사용하였고, 외관은 그림 1의 오른쪽과 비슷하다. 2 kA CT의 경우 (10 ~ 750) A의 20개 범위는 1차 도선을 내부에서 코어에 직접 권선하였으며, 800 A ~ 2 kA 범위는 1차권선이 1회로써 외부에서 관통시키는 구조이다. 또 6 kA 및 20 kA CT는 1차권선이 모두 1회로써 외부에서 여러 번 권선해야 하는 번거로움을 없앴다. 따라서 개발된 3종의 CT를 활용하여 국내에서 생산 또는 활용되는 10 A ~ 20 kA의 범위의 모든 CT의 비오차 및 위상각 오차를 평가하기 위한 기준 CT로 활용될 수 있게 되었다.

표 1. 초정밀 표준용 CT의 제작사양.

1차전류 (최대)	정격전류범위 (1차)	측정범위 개수	정격 부담	비오차 설계치
2 kA	10 A ~ 2 kA	25개	5 VA	± 0.01 % 이하
6 kA	2 kA ~ 6 kA	5 개	15 VA	
20 kA	5 kA ~ 20 kA	12 개	15 VA	

2.2 초정밀 표준용 CT의 특성평가

당 연구원에는 최대 5 kA 및 20 k 용량의 2종의 CT 오차측정시스템을 구축하였는데, 이 시스템에서는 독일의 표준기관인 연방물리기술청 (PTB)에서 인증 받은 CT(스위스 또는 오스트리아 제품)를 기준기로 활용한다. 그림 2는 최대 5 kA 용량의 오차측정시스템의 사진으로써, 중앙에는 5 kA 기준 CT가 있고, 왼쪽에는 개발된 2 kA 초정밀 CT가 연결된 상태이다. 이 시스템에서 활용한 comparator(그림 2에는 보이지 않음)는 분해능 1 ppm, 불확도 10 ppm인 스위스 제품을 활용하였으며, 초정밀 표준용 CT를 평가하는데 충분한 성능을 갖고 있다.

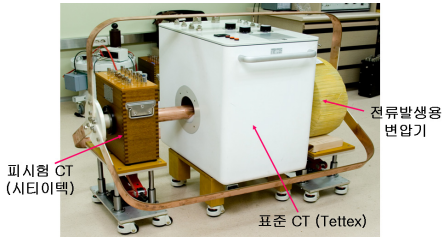


그림 2. 최대 5 kA CT 오차측정시스템

그림 3은 단순정렬방식으로 권선한 10 kA CT의 비오차를 비오차를 반복 측정한 결과이다. 여기서 보는 바와 같이 최대 10 kA 용량의 표준용 CT인데, 5 kA 시험의 경우에는 비오차가 최대 + 0.023 % 이하이었으며, 6 kA의 경우에는 비오차가 최대 + 0.077 %로 나타났다. 그러나 8 kA의 경우에는 점점 증가하고 있으며, 최대 + 1.47 %의 비오차를 보여 매우 불안정한 것으로 나타났다.

시티이텍 10 kA CT 비오차 측정결과 (Knopp 2004.7.)

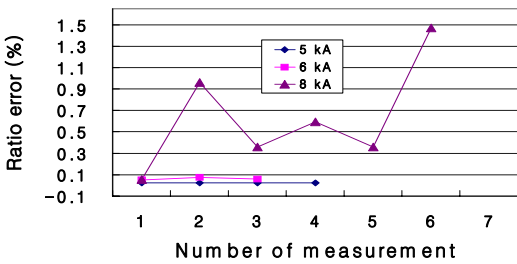


그림 3. 단순정렬 권선형 10 kA CT의 비오차

그림 4는 분할권선과 단순정렬권선을 이중으로 복합하여 권선한 20 kA CT의 12개의 측정범위 중에서 대표적인 4개 범위의 비오차를 정격의 100 %에서 1개월 이상 반복 측정한 결과이다. 그림 4와 표 2에서 보는 바와 같이 1차 전류가 최대전류에 접근할수록 비오차가 감소하고 있으며, 최대전류에서 1개월 동안의 비오차 표준편차가 오차측정시스템의 분해능인 0.0001 % 임을 보이고 있어 그 안정도가 매우 우수함을 나타냈다. 또한 표 2에서 보는 바와 같이 약 1개월 동안의 비오차 표준편차가 최대 전류에 접근할수록 점점 감소하고 있고, 위상각 오차도 감소하고 있어 설계시의 최대정격전류인 20 kA에서 그 특성이 안정됨을 알 수 있다.

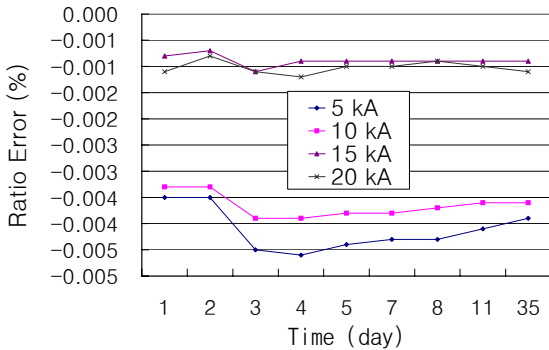


그림 4. 복합 권선형 20 kA CT의 비오차 안정도

표 2. 20 kA CT의 1개월 비오차 안정도 및 위상각 오차

1차 전류	비오차(%)		위상각오차 (min)
	평균값	표준편차	
5 kA	-0.0041	0.0004	0.037
10 kA	-0.0037	0.0002	0.16
15 kA	-0.0009	0.0001	0.06
20 kA	-0.0010	0.0001	0.008

그림 5는 6 kA CT의 5 kA까지의 비오차 및 위상각 오차의 측정결과로써, 측정전류 범위가 증가할수록 그 오차가 감소하고 있으며, 동일 범위에서도 측정전류가 정격전류(100 %)에 접근할수록 비오차 및 위상각 오차가 역시 감소한다.

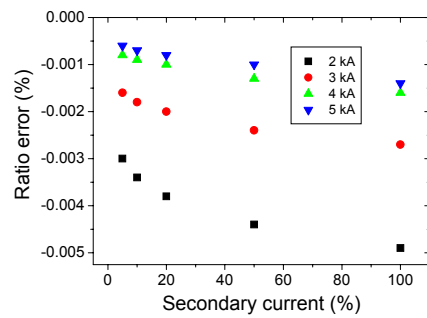
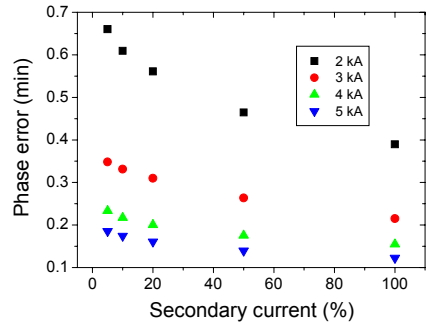


그림 5. 6 kA 초정밀 CT의 2차측 전류의 변화에 따른 비오차 및 위상각 오차

표 1에 있는 초정밀 CT 3대의 모든 전류범위에 대하여 정격전류의 5 %, 10 %, 20 %, 50 %, 100 %에서 비오차 및 위상각오차를 평가하였다. 2 kA CT의 비오차는 600 A 범위에서 최대로써 -0.049 %로 나타났다. 위상각 오차는 10 A 범위에서 최대로써 +0.5120 min 이었다. 6 kA CT는 2 kA 범위에서 최대로써 비오차는 -0.049 % 이하, 위상각 오차는 +0.66 % 이하였다. 또 20 kA CT는 7.5 kA에서 비오차가 최대 -0.0059 %, 5 kA에서 위상각 오차가 최대로써 0.369 min으로 나타났다. 여기서 보는 것처럼 3대의 CT의 비오차가 최대 전류범위에서 ±0.005 % 이하로써 초정밀 표준용 CT로 활용하기에 만족한 성능을 얻었다.

3. 활용 및 결론

CT 오차측정시스템의 기준용 CT로 활용하기 위해서 제작 개발한 1차전류가 20 kA, 6 kA 및 2 kA 초정밀 표준용 CT의 성능을 평가한 결과, 모든 CT의 비오차가 최대전류 범위에서 ± 0.005 % 이하로 나타났다. 20 kA CT는 1개월 동안 반복 측정한 비오차의 표준편차가 (0.0001~0.0004) %로써 매우 안정된 특성을 보였다.

또 개발된 3대의 CT를 이용하면 국내에서 생산 또는 활용되는 10 A ~ 20 kA 범위의 모든 CT의 오차를 평가하기 위한 기준 CT로 활용할 수 있으며, 니켈코어를 사용하였기 때문에 실리콘 코어보다 상대적으로 가벼워서 산업체의 현장교정지원시 이동용 표준기로 활용하기에도 편리한 장점이 있다[3].

이로써 그 동안 수입에 의존하던 비오차 0.005 % 이하의 비오차를 갖는 초정밀 표준용 CT를 국산화함으로써, 수입대체효과와 함께 관련 중전기 업체에의 품질관리 능력향상 및 기술력 향상에 큰 도움을 주리라 확신한다.

[참고 문헌]

- [1] 정재갑 등, "20 kA 교류 대전류 국가표준 시스템 구축", 2007년도 대한전기학회 하계학술대회는문집, 용평, 2007. 7.
- [2] 한국표준협회, "계기용변성기(표준용 및 일반계기용)", KS C 1706, 1982.
- [3] 권성원 등, "광범위 비오차 표준 전류변성기의 개발 및 그 응용", 대한전기학회지, 55C권 6호, pp. 302-308, 2006. 6.