

보호계전기용 CT의 여자특성 자동측정 시스템 개발

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

Development of an Automatic Excitation Characteristics Measurement System of the Protective Relaying CT

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

Abstract - An automatic excitation characteristics measurement system for the protective relaying current transformer(CT) with accuracy of about 1 % has been developed. The system can be used up to 2 kV and 10 A at power frequency. The developed system can calculate the voltage and current at knee points of 30° and 45° tangents in accordance with IEEE standard by the interpolation in log scale. The excitation curve of the CT is plotted in auto-scale simultaneously with measuring rms voltage and current at the secondary of the CT.

1. 서 론

전류변성기(current transformer, CT)는 수십 kA 까지의 대전류를 안전하고 정밀측정이 가능하도록 5 A 또는 1 A로 변환하기 위하여 사용되는 계기용 변성기로서, 2차측 전류의 측정값에 CT의 변환비(transformation ratio)를 곱하여 1차 측의 대전류를 측정한다. 이러한 방법으로 1차측의 대전류를 정확하게 측정하거나, 모니터링하기 위해서는 국가표준에 소급된 CT 변환비의 정확한 평가와 함께 2차측 전류를 정밀하게 측정하는 것이 대전류 정밀측정의 기본요건이다.

한편 전력계통에서 사고가 발생했을 때 선로 및 전기기기 등의 설비를 안전하게 보호하기 위하여 보호 계전기가 활용된다. 보호 계전기에는 전압 계전기 및 전류 계전기 등 여러 방식이 있으며, 이들은 각각 전압 및 전류 입력에 의해서 작동한다. 전력계통에 비정상적인 과전류가 흐를 경우 수 십 ms 이내에 보호 계전기가 정상적으로 작동해야만 전력계통으로부터 부하를 차단하여 과전류 또는 단락전류로부터 부하 측의 설비 및 기기를 보호할 수 있는데, 이들 보호 계전기를 작동시키기 위한 작동전원은 보호계전기용 CT의 2차 측에서 공급된다.

이런 목적으로 사용되는 보호계전기용 CT는 2차측 전압의 성능이 매우 중요하기 때문에 국제규격의 규정조건에 따른 출력특성시험을 반드시 거쳐야만 안전에 대한 보증을 받을 수 있다.

본 논문에서는 보호계전기용 CT의 2차측 여자특성을 자동측정하여 국제규격에서 정의하는 항복점(knee point)에서의 전압과 전류의 성능을 평가하기 위해 개발한 CT 여자특성 자동시험시스템에 대하여 기술한다.

2. 계전기용 CT의 여자전압과 정확도 정격

계전기용 CT는 비 오차(ratio error), 정격부담, 단시간 기계적 및 열적 전류정격, 명시된 온도에서의 2차 권선저항과 함께 항복점에서의 전압과 이 때의 여자전류(exciting current)를 기술하도록 규정한다[1,2]

IEEE C57.13의 6.4.1 b)항에서는 CT의 2차측 정격 여자전압은 비 보정(ratio correction)이 10 %를 넘지 않고, 정격 2차 전류의 20배의 전류에서 CT가 정격부담에 공급해 줄 수 있는 전압으로 규정한다. 아울러 비 보정은 2차측 정격 여자전압에서, 정격부담 및 어떤 낮은 부담에서 정격 2차 전류의 1배 ~ 20배 사이의 어떤 전류에서도 10 % 이하이어야 한다.[1] 예를 들면, 2차 정격전류가 5 A인 관통형 CT의 경우 계전기 정확도 정격(accuracy rating) C100은 정격부담 1.0 Ω에서 5 A ~ 100 A 사이의 어떤 전류에서도 그 비 보정이 10 %를 초과하지 않아야 한다. 즉 2차 단자의 정격전압은 100 V (1 Ω x 5 A x 20 = 100 V)를 만족하면서 비 오차는 10 % 이하이어야 한다.

보호계전기용 CT는 B-1 ~ B-8 까지 4종의 정격부담이 있으며, 각 부담에 따른 정확도 정격은 관통형 CT 경우 C100 ~

C800이 있다.

3. CT의 여자특성 자동측정 시스템

3.1 여자특성 측정방법 및 항복점

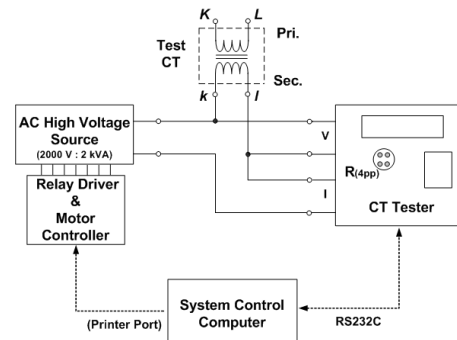
CT의 여자전압은 다음식과 같이 계산할 수 있다.[3]

$$E = 4.443fBA n_s \quad (1)$$

여기서 E 는 여자전압(V), f 는 주파수(Hz), B 는 자속밀도(T), A 는 코어의 단면적 (cm^2), n_s 는 2차측 권선수이고, 4.443은 주기상수이다.

CT의 여자특성은 그림 1과 같이 CT의 1차를 개방한 상태에서 2차측 권선에 공급하는 60 Hz 정현파의 실효치 전압(V)과 그때의 실효치 전류(I)를 측정하여[1,4] $I-V$ 그래프를 얻고, 그림 2(a)와 같은 과정을 통하여 항복점을 구하게 된다. 우선 얻어진 전류 전압 값들을 상용로그값으로 환산하고, 전류에 대한 전압의 변화율, 즉 dV/dI 를 계산한다. 다음으로 국제규격에서 규정한 항복점의 기준을 적용해 내삽법으로 항복 전압과 전류를 구한다.

갭이 없는 코어를 사용한 관통형 CT의 항복점(C분류)은 포화 곡선의 기울기가 45°일 때의 점으로 정의한다. 한편 갭이 있는 코어를 사용한 관통형 CT(K분류)의 항복점은 포화곡선의 기울기가 30°일 때의 점으로 정의하며, 이때의 전압은 2차측 정격전압의 70 % 이상이어야 한다[1]. 반면 IEC 규격에서는 전압은 10 % 까지 증가 할 때, 여자전류는 50 % 이하에서 증가하는 점을 항복점으로 정의한다.[2]

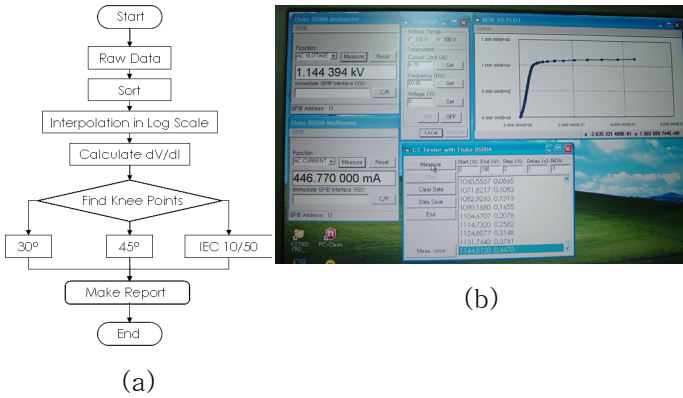


<그림 1> CT 여자특성 자동측정시스템의 블록선도

3.2 자동측정시스템의 구성 및 성능평가

그림 1은 CT 여자특성 자동시험시스템의 블록선도로써, 교류 고전압 공급기 및 출력제어회로, CT Tester 그리고 시스템 제어용 PC로 구성하였다. 고전압공급기는 2 kV, 10 A의 출력능력을 갖으며, 출력전압은 최대 2 kV 까지 몇 개의 전압범위에서 가변 가능하다. CT Tester는 실효치 교류전압, 전류 및 권선저항을 측정할 수 있는 계수식 측정기로서, 필요시 외부 기준기를 활용하여 교정할 수 있는 기능을 갖고 있다. 또 10 Ω 이하의 권선저항 정밀측정에 적합하도록 4단자 저항측정기능도 갖고 있다.

그림 2 (b)에서 보는 바와 같이 개발한 자동측정시스템은 전압 및 전류를 측정함과 동시에 실시간으로 로그스케일의 I-V 곡선



〈그림 2〉 여자전압과 전류의 계산흐름도(a) 및 측정화면사진(b)

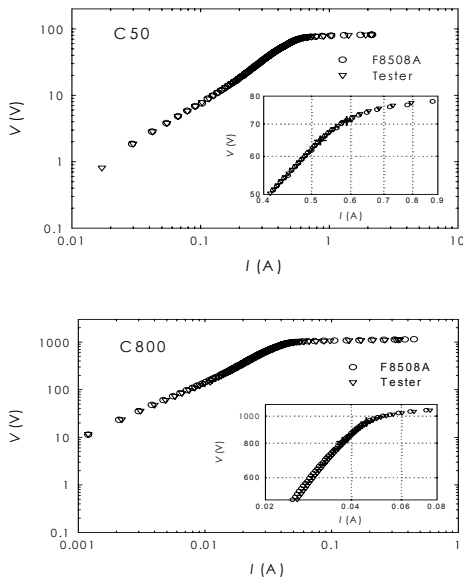
을 auto-scale로 보여주므로 여자특성을 측정함과 함께 코어의 포화특성을 관찰할 수 있는 특징이 있다.

CT 여자특성을 정확히 평가하기 위해서는 실효치 전압과 전류를 정확히 측정할 수 있어야 한다. 이를 위해서 개발한 CT Tester의 실효치 전압 및 전류 측정기능과 저항측정기능을 국가 표준에 소급된 기준기를 활용하여 교정하였다. 60 Hz의 교류전압 정확도는 1 V ~ 2 kV 범위에서 $\pm (0.5 \sim 0.7) \%$ 이었고, 교류전류 (1 ~ 5) mA 범위에서는 $\pm 2 \%$ 이하, 6 mA~10 A 에서는 $\pm 0.7 \%$ 이하로 나타났다. 또한 4단자 저항측정의 정확도는 (10 ~ 100) m Ω 에서는 $\pm 0.5 \%$ 이하, 10 Ω 이하에서는 $\pm 0.05 \%$ 이하로 나타났다. 이러한 정확도는 CT의 여자특성평가와 권선저항을 측정하기에 적합한 것으로 판단되며, 주기적으로 기준기와 비교교정을 통하여 그 성능을 유지할 수 있다.

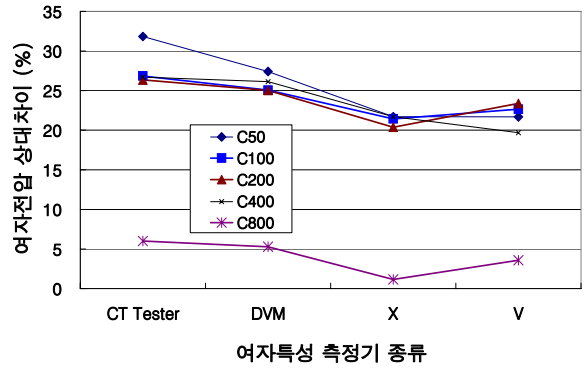
또한 개발한 CT tester로 구성된 여자특성 자동측정시스템에 의한 여자전압 측정결과와 유효성을 평가하기 위하여 정확도가 $\pm 0.1 \%$ 이하인 교류전압 및 전류측정기(DVM) 2대를 활용하여 측정된 여자전압과 비교한 결과, CT Tester 측정값과 DVM 측정값과의 (+ 0.4 ~ + 1.4) % 범위에서 잘 일치하고 있다.

4. 여자특성평가 결과분석 및 논의

그림 3은 1차 전류의 범위가 150 A ~ 2000 A인 관통형 CT(BCT)의 5개 범위 중 C50 및 C800에 대한 여자특성으로써, 45° 항복점의 전압(그림 3의 속 그림에서 아래쪽 X표)은 C50 및 C800의 경우 각각 약 62.3 V 및 약 825.9 V로 계산되었으며, 정격전압인 50 V 및 800 V 보다 각각 +24.5 % 및 +3.2 % 크게 나타났다. 시험용 BCT는 다중전류 범위용으로써 C800을 기준으로 1개의 코어에 다중 권선하여 제작하였기 때문에 C800 이외의 범위에서는 전압이 크게 나온 것으로 판단된다.



〈그림 3〉 C50(위) 및 C800(아래)의 여자특성그래프.



〈그림 4〉 측정기 종류별 여자전압의 상대차이.

그림 4는 개발한 CT Tester 자동측정시스템을 포함하여 산업체에서 품질관리용으로 사용되고 있는 측정기 종류에 따른 여자특성 평가결과로써, 각 범위의 45° 항복점의 정격전압을 기준(예를 들면 C50의 경우 50 V)으로 삼아 측정기 종류별로 표시한 것이다. C800의 경우 CT Tester와 DVM의 결과는 각각 정격전압보다 + 6.0 % 및 +5.3 %의 상대차이를 보였으며, 이는 CT Tester 결과가 DVM 결과와 + 0.7 %의 차이를 보인 셈이다. 그림 4의 X 및 V는 상용 장비로 측정된 여자전압으로써, 정격전압보다 각각 + 1.2 % 및 + 3.6 % 크게 측정되었다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 모든 장비의 결과가 C800에서는 정격전압보다 약간 높게 나타나 규격의 요구전압을 잘 만족한다. 그러나 C400 이하의 범위에서는 정격전압보다 모든 장비가 약 (20 ~ 32) % 만큼 높게 나타났다. 이는 시험용 CT의 C400 이하범위에서 설계변경이 요구됨을 나타낸다. 또한 상용 장비의 경우 DVM에 의한 여자전압보다 약 (1 ~ 5) % 작게 나타났으며, 이러한 장비로 여자특성을 평가할 경우 요구사양보다 불필요하게 많은 코어를 사용하든지 또는 높은 투자율의 코어를 사용하는 등으로 설계제작 및 품질관리의 어려움이 예상된다.

5. 결 론

본 연구에서는 보호계전기용 CT의 여자특성을 교류 2 kV 및 10 A 이하에서 약 1 %의 정확도로 평가할 수 있는 여자특성 자동측정시스템을 개발하였으며, 그 성능분석과 함께 유효성을 평가하였다.

본 자동측정시스템은 실효치 전압 및 전류의 측정값을 실시간으로 지시하며, 동시에 IEEE 규격에서 요구하는 계전기용 CT의 포화특성곡선을 실시간으로 그릴 수 있다. 이 시스템은 전압-전류의 여자특성곡선의 기울기가 30° 및 45°인 항복점의 전압과 전류를 계산하여 규격에서 요구하는 정격전압을 만족시키는지 쉽게 판단할 수 있으며, IEC 규격의 조건에 맞는 항복점에서의 전압과 전류의 계산도 동시에 가능하다.

개발한 CT Tester는 실효치 전압, 전류 및 저항 측정기능을 국가표준에 소급된 기준기를 활용하여 누구나 쉽게 교정할 수 있으며, 이로써 CT 공정관리 및 품질관리의 신뢰성 향상과 함께 외화 절약의 효과도 기대된다.

국내의 몇몇 산업체 등에서 활용되고 있는 상용 여자특성 평가 장비는 교정하지 않은 상태에서 제조회사의 사양만을 믿고 활용되고 있으며, 경년변화에 따른 특성변화로 품질관리에서 측정오차가 발생할 수 있다. 이런 여건에서 CT 제조업체에서는 고객의 요구사양에 맞추기 위해서 불필요하게 코어를 많이 사용할 가능성이 있으며, 이를 해결하기 위해서는 주기적으로 특성평가 장비를 교정하고 그 결과를 보정하여 활용되어야 할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE, "Standard requirements for instrument transformers", IEEE Std C57.13, 1993.
- [2] IEC, "Instrument Transformer", IEC 60044-1, 1996.
- [3] C.T. McLyman, "Transformer and Inductor Design HB". p.36, Marcel Dekker, Inc, 1988.
- [4] ANSI/IEEE, "IEEE Guide for the field testing of relaying CTs", ANSI/IEEE C57.13.1-1981(1992 reaffirmed)