

## 대전류 측정시스템에 대한 잠정적 교정절차

신영준, 김익수, 김민규  
한국전기연구원, 경남 창원시 성주동 28-1번지

### Temporary calibration procedures for high-current measuring system

Y.J. Shin, I.K. Kim, M.K. Kim  
Korea Electrotechnology Reserch Institute

**Abstract** - Calibration procedure of high-current measuring system has been promoted to ensure the traceability of national or international standard with the similar method of high-voltage measuring system.

This paper introduces general procedure to establish the traceability and type & performance tests for current-voltage transformer, transmission system, recorder and evaluation procedure as the result of intercomparison tests performed 7 laboratories of Europe, and introduces briefly the test method of itemized list from type & performance tests. So we would apply the standard as the criteria that can be enforced temporarily in korea.

#### 1. 서 론

대전력시험에 사용하는 대전류측정시스템은 IEC 60060-2에 규정되어 있는 충격전류측정시스템과 원리적으로 동일하다. 따라서 IEC 60060-2의 3절에 있는 모든 정의와 4절에 있는 측정시스템의 자격 및 사용에 대한 절차는 동일하게 적용될 수 있지만 기술적 및 경제적 이유 때문에 IEC 60060-2와 다소 차이가 있는 절차를 채택할 필요가 있다.

본 논문에서는 영국의 BSTS, 이탈리아의 CESI, 프랑스의 EdF, 독일의 FGH 및 IPH, 네덜란드의 KEMA, 스페인의 LABEIN 7개 기관이 1995년부터 1997년까지 STL(Short-circuit Testing Liaison)의 유럽위원회 프로젝트 "대전력시험소에서 사용하는 대전류 측정시스템의 측정표준에 대한 소급성"에 참여하여 상호비교시험을 통해 얻어진 결과를 소개한다.

여기에 기술된 교정절차는 잠정적 제안에 불과하며, 현재 STL에서 국제측정표준에 대한 소급성 확보를 위해 대안을 마련하고 있다.

#### 2. 본 론

##### 2. 1 대전류 측정시스템의 구성

대전류 측정시스템은 전류-전압 변환기, 전압 전송시스템, 기록계, 데이터 평가 소프트웨어로 구성되어 있다. 전류-전압 변환기로 사용되고 있는 것으로는 ① 전류를 전압으로 변환하기 위해 2차선에 연결하는 저항 또는 유사장치를 가진 Current Transformer, ② 전류의 미분을 전압으로 변환하는 로고스코일, ③ 전압이 전류 및 Shunt 저항에 비례하는 Shunt가 있다. 로고스코일에 연결되어 있는 능동 또는 수동 적분자에 의해 적분이 행해질 때 이 적분자는 변환기의 일부분으로 취급한다. 전압 전송시스템으로 사용되는 것으로는 ① 차폐전송케이블(또는 동축 케이블), ② 전압-광 변환기, 광섬유 케이블, 광-전압 변환기로 구성되는 광섬유 전송시스템이 있다. 광과 전압의 상호변환, 변환기 출력의

아날로그/디지털 변환 및 디지털 데이터 광전송의 2가지 전압-광 변환의 원리는 적합한 것으로 밝혀졌다. 대전력시험소에 비차폐 케이블을 사용하는 것은 적합하지 못하기 때문에 제외하는 것이 좋다.

기록계로는 과도 기록계 또는 디지털 오실로스코프만 고려한다. 과도 기록계의 입력은 전송시스템에 채택된 원리에 따라 직렬/병렬 변환기 또는 아날로그/디지털 변환기가 될 수 있다.

데이터 평가는 기록계의 디스플레이에 있는 커서 또는 특별히 개발된 컴퓨터 소프트웨어에 의해 행해진다.

##### 2. 2 승인(Approved) 대전류 측정시스템에 대한 요구조건

7개 기관에 순환했던 Shunt 측정시스템과 각 시험소가 보유한 측정시스템을 비교하여 다음과 같은 최대값의 차이가 발생하였다. 이 값들은 승인 대전류 측정시스템에 허용될 전체측정불확도에 대한 잠정적 요구조건으로 사용될 수 있다.

- 1) 대칭 및 비대칭 상용주파전류 : 피크치  $\pm 5\%$ , 실효치  $\pm 3\%$
- 2) 고주파전류(63Hz부터 5kHz까지) : 피크치  $\pm 10\%$

##### 2. 3 소급성 확립을 위한 일반적 절차

대전류 측정시스템의 국가표준에 대한 소급성은 시스템의 각 구성요소에 대해 분리하여 확립할 수 있다. 대부분의 구성요소에 대하여 적합한 국가표준이 존재하기 때문에 소급성 확립이 가능할 것이다. 궁극적으로 각 구성요소에 대해 형식시험(Type Test)을 수행할 것을 추천한다.

위에서 언급된 전체측정불확도를 얻기 위해서는 각 구성요소는 다음의 불확도를 충족시켜야 한다. 상기에서 허용된 전체측정불확도가 초과되지 않는 경우라면 1항목 또는 그 이상의 한계를 초과하여도 좋다.

**표 1. 전체 측정 불확도**

Current Shape	Overall Measurement Uncertainty			
	Current-Voltage Converter %	Transmission System %	Recording Instrument %	Data Evaluation %
Power Frequency peak rms	$\pm 4$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 2.5$
	$\pm 2$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1.5$
High Frequency	$\pm 8$	$\pm 4$	$\pm 2$	$\pm 3$

기준 측정시스템을 사용하여 소급성을 확립하여야 하며, 기준 측정시스템의 전체측정불확도는 테이블의 대응하는 값의 1/3배 보다 작은 값을 가지는 것이어야 한다.

다.

## 2. 4 형식시험

### 2.4.1 전류-전압 변환기의 형식시험

#### 2.4.1.1 배율(Scale Factor)의 결정

배율은 상용주파전류의 방법으로 결정하여야 하며, 다음과 같은 방법이 적합하다.

1) CT : 1차권선 및 2차권선에 흐르는 전류를 동시에 측정하고 저항을 측정하여 배율을 계산한다. 또는 1차전류와 저항에서의 전압을 동시에 측정하여 배율을 결정한다.

2) 로고스키코일 : 이미 알고 있는 주파수와 낮은 고조파를 가진 전류를 로고스키코일에 입력하고 로고스키코일의 출력으로 전류 및 전압을 동시에 측정하여 배율을 결정한다. 또는 전체 사용범위에 걸쳐 적분자의 입력 및 출력으로 상용주파전압을 동시에 측정하여 배율을 결정한다.

3) Shunt : 전류 및 출력전압을 동시에 측정하여 배율을 결정한다.

#### 2.4.1.2 선형성시험(Linearity Test)

전류-전압 변환기의 배율은 사용범위(Operating Range)의 최소전류, 최대전류, 최소값과 최대값 사이를 대략 3등분한 값에서 측정하여야 한다. 이 5개의 값들은 중앙값(Mean Value)으로부터  $\pm 1\%$  이상 달라서는 안된다.

완전한 변환기에 대해 선형성시험을 수행해야 한다. 규정된 피크치, 실효치, 통전기간을 가진 비대칭전류를 사용하여야 하며, 적합한 방법들을 모색하고 있다.

원리적으로는 선형성시험은 선형성이 증명된 기준(Reference) 변환기, 예를 들어 7개 기관에 순환했던 Shunt 변환기와 비교시험으로 수행할 수 있다. 그러나 이 때문에 대전력시험소는 이런 기준 변환기를 설치·유지하여야 하며, 형식시험을 수행할 시험소로 그것을 운반하여야 하는 어려운 문제가 있다.

#### 2.4.1.3 단기 안정성 시험 (Short-term Stability Test)

변환장치의 정격전류 실효치를 규정된 시간동안 인가하여야 한다. 규정된 일련의 전류를 인가하기 전과 직후(10분 이내)에 배율을 측정하고 이 값이 0.5% 이상 달라서는 안된다.

#### 2.4.1.4 온도효과(Temperature Effect)

주위온도의 변화 때문에 발생하는 변환장치 배율 또는 매개변수(예를 들어 저항 또는 커패시턴스)의 변화는 각각의 온도계수(coefficient)를 사용하여 계산하거나 다른 온도에서 측정하여 결정할 수 있다.

시험성적서(Record of Performance)에 온도계수를 기록하여야 하며, 제작자로부터 데이터를 받아 사용하도록도 좋다.

주위온도가 넓은 범위에 걸쳐 변화하는 경우에 온도보정인자(Temperature Correction Factor)를 사용할 수도 있다. 이 경우 사용한 어떠한 온도보정도 시험성적서에 기록하여야 한다.

위의 각각의 경우에 어떤 온도보정을 고려하여도 배율은 0.5% 이내 이어야 한다.

#### 2.4.1.5 근접효과(상호간섭)

##### (Proximity Effect : Mutual Interference)

변환기 자체의 전류단자가 개로되어 있는 상태에서 변환기에 가까이 있는 도체를 통해 전류를 흘리면 근접효과를 결정할 수 있다.

규정된 거리만큼 떨어져 있는 도체에 전류를 흘리면서 관련된 변환기의 출력에서 측정된 전압은 그 전류로 인

한 전압의 0.5%(상용주파전류의 경우) 또는 2.0%(고주파전류의 경우) 보다 작아야 한다.

#### 2.4.1.6 동적 특성(Dynamic Behaviour)

전류-전압 변환기의 동적인 특성은 사용하고자 하는 의도에 따라 결정되어야 한다.

##### 1) 상용주파전류용 변환기

주파수응답은 상용주파수보다 낮은 주파수에서 결정되어야 한다. 주파수 하한은 0.1Hz보다 낮아야 한다. 0.5Hz와 62Hz 사이의 주파수응답은  $\pm 2\%$  이내에 있어야 한다.

주파수응답은 파미 부분에 감쇠가 거의 없는 스텝전류에 대해 변환기의 스텝응답을 측정하고, 그것을 적합한 Shunt의 응답과 비교하여 얻을 수 있다. 변환기의 감쇠시정수는 1.5초 이상 이어야 한다. 비교할 Shunt의 사양은 어려운 것이 아니며, 만약 Shunt가 충격전류측정을 위한 IEC 60060-2의 요구조건을 만족한다면 충분하다고 남을 것이다. 그러나 국가표준에 소급성이 있는 Shunt가 필요하다.

##### 2) 고주파전류용 변환기

주파수응답은 정격주파수까지의 주파수에서 결정되어야 한다. 63Hz부터 정격치까지 범위에서  $\pm 4\%$  이내에 있어야 한다.

주파수응답은 진동성(Oscillating) 충격전류에 대한 변환기의 출력과 적합한 Shunt의 출력을 비교하여 결정될 수 있다. 63Hz부터 정격주파수까지 로그 스케일로 5등분된 5개의 주파수가 사용되어야 한다.

상용주파전류용 변환기에 기술된 적합한 Shunt에 대한 내용은 동일하게 적용될 수 있다.

#### 2.4.2 전송시스템의 형식시험

케이블시스템에 대해서는 형식시험이 불필요하다.

디지털 데이터 전송이 사용되고, 아날로그/디지털 변환기, 광섬유 전송 및 기록 계기가 IEC 1083-1의 요구조건을 만족하면서 2.3절에 있는 전체측정불확도에 대한 요구조건을 만족하는 하나의 시스템을 형성할 때 광섬유 전송 시스템에 대한 형식시험은 불필요하다.

별도로 분리된 광섬유 전송 시스템은 소급성이 있는 저전압 교정기(Calibrator) 및 측정계기를 사용하여 형식시험을 하여야 하며, 다음의 요구조건을 적용하고, 알맞은 방법으로 증명하여야 한다.

##### 1) 상용주파전압에서 배율의 결정

2) 선형성시험 : 규정된 전압 범위 내의 상용주파전압에서 비선형성은 0.5%를 초과해서는 안된다.

3) 단기 안정성 시험 : 8시간의 동작시간(Operating Time)동안 동작시켜 이 기간의 시작과 끝 부분에서 측정된 배율은 0.5% 이상 변화하여서는 안된다.

4) 온도효과 : 규정된 주위온도 범위 내에서 배율은 0.5% 이상 변화하여서는 안된다.

5) 동적 특성 : 0.1Hz와 규정된 최대 주파수 사이의 주파수응답은 상용주파수에서의 응답으로부터 2% 이상 변화하여서는 안된다.

6) 간섭 시험(Interference Test) : 전송 시스템은 첫 번째 성능시험(Performance Test) 기간동안에 시험소(test laboratory)에서 시험될 것이다. 광섬유 송신기(Transmitter)는 2.5.3항에 규정된 동작에 적합하다는 것을 적합한 방법으로 증명하여야 한다.

#### 2.4.3 기록계의 형식시험

기록계(Recording Instrument)는 IEC 1083-1의 요구조건을 만족하여야 하며, 이것에 따라 형식시험을 하여야 한다. 2.3절의 전체측정불확도도를 만족하여야

한다.

#### 2.4.4 데이터 평가절차의 형식시험

데이터 평가절차의 복잡성 여부는 사용된 기록계기 특히 기록계기의 아날로그 및 디지털 노이즈에 좌우된다. 예를 들어 낮은 노이즈를 가진 기록계기는 단순한 커서 평가가 충분한 반면, 높은 노이즈 기록계기는 데이터를 평균하는 절차가 필요할 수 있다.

원리적으로 평가절차는 충격전압에 대해 IEC 1083-2에서 요구하는 것과 유사하게 실제시험전류의 파형을 가진 既知의 전압으로 시험하여야 한다. 그런 파형은 현재 가능하지 않기 때문에 다음과 같은 절차를 적용하여야 한다.

관심이 있는 각 주파수에 대하여 10개 기지의 전압기록을 기록계기에 적용하여야 하고, 소프트웨어로 평가하여야 한다. 소프트웨어에서 요구하는 데이터 샘플링율을 사용하여야 한다. 피크치 및 실효치로 10개의 Fi값이 얻어진다. 얻어 얻어진 중간값(Mean Value) Fm에 기록계기의 배율이 곱해진 값은 실제 전압으로부터 1% 이상 변화하여서는 안된다. 10개의 Fi값으로부터 계산된 표준편차는 Fm의 1% 보다 작아야 한다.

### 2.5 성능시험(Performance Test)

#### 2.5.1 일반사항

정기적인 성능시험을 인증받고자 하는 대전류측정시스템의 모든 전압전송시스템 및 기록시스템은 물론 모든 전류-전압 변환기에 궁극적으로 수행하여야 한다. 이렇게 인증받은 구성요소들로 결합한 어떠한 측정시스템의 구성도 인증받은 생각할 수 있다. 첫 번째 성능시험은 또한 그 시스템의 인정시험(Acceptance Test)이다. 성능시험은 다음과 같다.

- 1) 상용주파전류에서 완전한 측정시스템의 배율 결정
- 2) 간섭시험

#### 2.5.2 배율의 결정

##### 2.5.2.1 전송·기록시스템의 배율

전송·기록시스템의 배율은 시스템이 사용될 전압 및 주파수 범위 내에서 저전압으로 결정하여야 한다. 시스템의 데이터 평가절차는 포함되어야 한다. 하나의 전압 범위에 대하여 다음의 주파수 값이 적용되어야 한다.

- 1) 상용주파수
- 2) 직류 또는 0.5Hz의 저주파수
- 3) 상용주파수, 정격주파수, 그리고 고주파전류용 시스템에서 상용주파수 및 정격주파수의 2개 주파수 사이를 로그 스케일로 균등배분한 3개의 주파수 값

상용주파전압에 대해 사용된 각 전압 범위 내에 있는 하나의 전압값이 교정되어야 한다. 인가된 전압의 횟수는 데이터 평가절차의 형식시험에서 결정되는 표준편차에 좌우되고,  $n \geq 5 \cdot s$  이어야 한다. 단 s는 2.4.4항에 있는 형식시험으로부터 %로 표시되는 표준편차를 나타낸다.

##### 2.5.2.2 전류-전압 변환기의 배율

전류-전압 변환기의 배율은 2.5.2.1항에 따라 교정된 전송·기록시스템을 사용하여 대칭 또는 비대칭 상용주파전류에 대해 결정하여야 한다. 정격전류의 20% 이상인 하나의 전류값이면 충분하다. 만약 기준시스템이 2.3절에 있는 기준시스템의 전체측정불확도에 대한 요구조건을 만족한다면 기준시스템은 기준측정시스템 또는 교정된 전송·기록시스템을 가진 기준 전류-전압 변환기 중에서 하나 이어야 한다. 2.5.2.1항에 있는 것과 같은 횟수의 전류적용횟수가 사용되어야 한다.

##### 2.5.2.3 장기 안정성 입증(Verification of The Long-term Stability)

2.5.2.1 및 2.5.2.2에 따라 결정되는 상용주파전류에 대한 배율은 이전의 성능시험에서 얻어진 값과 1.5% 이상 달라서는 안된다.

#### 2.5.3 간섭시험

간섭시험은 시험소에서 실제 배열상태로 첫 번째 성능시험 기간동안 수행하여야 한다. 측정회로 또는 시험회로의 기하학적 배열에 본질적인 변화가 있을 때에만 간섭시험을 되풀이할 필요가 있다. 하나의 상용주파전류로 행하는 시험과 만약 가능하다면 적어도 정격주파수의 절반을 가진 하나의 고주파전류로 행하는 시험을 사용하여야 한다. 완전히 결선되어 있는 시스템에서 얻어질 수 있는 전압값의 0.5% 이하를 기록할 수 있도록 전류값은 충분히 높게 되어야 한다. 전송시스템 또는 기록시스템의 민감도(sensitivity)를 이 시험에 채택할 수 있다.

시험은 각 측정시스템 형식별로 하나의 샘플에 행해져야 한다.

- 1) 본래부터 가지고 있는 고유의 간섭 : 변환기의 출력은 단락되어야 하고, 데이터 전송 시스템에 케이블 결선은 연결된 상태로 있어야 한다. 기록된 신호는 결선되어 있는 측정시스템에 대한 예상치의 0.5%(상용주파전류의 경우), 2%(고주파전류의 경우) 보다 작아야 한다.
- 2) 상호간섭 : 시험은 3상 배열상태에서 2상에 행해져야 한다. 하나의 상에서 전류-전압 변환기는 측정시스템을 결선한 상태로 전류단자에서 개로되어 있어야 한다. 이 시스템에 기록된 신호는 2개의 전류가 통전한 상에 기록된 값의 0.5%(상용주파전류의 경우), 2%(고주파전류의 경우) 보다 작아야 한다.

### 3. 결 론

상기에서 기술한 형식시험 및 성능시험의 시험항목과 시험항목별 세부 시험방법은 고전압측정시스템에 대한 관련규격과 유사한 면이 있지만, 기술적 및 경제적 측면에서 다소 다른 점이 있으며, 또한 대전류측정시스템에 대한 전체측정불확도도 제시되어 있다. 이 기준들은 잠정적으로 결정한 사항이며, 현재 STL(Short-circuit Testing Liaison : 세계단락시험협회)에서 본격적으로 논의되고 있어 가까운 장래에 구체적 방법이 결정될 것으로 전망된다.

우리나라는 이 잠정적 안에 대해 충분히 연구하여야 하며, 필요한 사항을 사전에 준비하여 철저히 대비할 필요가 있다. 왜냐하면 대전류측정에 대한 소급성을 확보하지 못하면 우리나라에서 실시하고 있는 모든 대전류측정 및 시험은 더 이상 외국에서 인정받지 못하기 때문이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] STL TC agenda item 20.2.1, Paper T(FTG)B 10, Final Report, Annex I, "Recommendations for Calibration Procedures" of European Commission Project No. MAT1-CT94-0066 "Traceability of High-current Measuring Systems in High-power Laboratories to Standards of Measurement".
- [2] 신영준, "대전류 표준측정에 대한 국제적 동향", 전력용개폐장치연구회 제2차기술발표회 및 토론회 논문집, 2000년 11월 17일, P155-158