

대전류 표준측정시스템에 최종방안의 기술적 배경에 대한 고찰

정주영, 신영준, 김익수, 김민규, 이정기, 김맹현*, 이용한*
한국전기연구원 신뢰성평가센터, 대전력시험실*

A Study on the Technical Background of the Final Proposal for the High-current Standard Measurement System

J.Y. Jeong, Y.J. Shin, I.S. Kim, M.K. Kim, J.G. Lee, M.H. Kim*, Y.H. Lee*
KERI Reliability Assessment Center, High Power testing Lab.1

Abstract - 본 논문에서는 대전류 표준측정에 대한 STL TC의 Ad-Hoc Working Group의 최종방안에 대한 기술적 배경을 소개하여 이를 계기로 국내에서도 대전류 표준확보에 필요한 사전준비에 만전을 기하고자 한다. STL의 대전류 reference shunt 요구사항, 측정 불확도 및 각 시험소에서 교정하여야 할 사항 등에 대하여 검토하고, 우리나라 대전류 표준측정시스템의 구축 필요성, 구축절차 및 방안에 대하여 기술한다.

1. 서 론

대전류 측정에 있어서 국제표준을 마련하기 위해 1990년대 초부터 STL(Short-Circuit Testing Liaison: 세계단락시험협의회)은 많은 노력을 기울여 왔으며, 그 노력의 일환으로 STL의 기술위원회에서 상호비교시험방안에 대해 보고하기도 하였으며^[1], 또한 영국의 BSTS, 이탈리아의 CESI, 프랑스의 EdF, 독일의 FGH 및 IPH, 네덜란드의 KEMA, 스페인의 LABEIN 등 7개 기관이 1995년부터 1997년까지 STL의 유럽위원회 프로젝트에 참여하여 상호비교시험을 실시하였고 이것을 통해 얻어진 결과는^[2] 이미 소개한 바가 있다^{[3],[4]}.

여기에서는 STL 기술위원회의 Ad-Hoc Working Group이 2003년에 최종적으로 제안한 대전류 표준측정 시스템에 대한 기술적 배경을 소개하고자 하며, 이 기술적 배경에 대해서는 STL의 모든 멤버 회원과 우리나라를 포함한 모든 Participant 회원이 동의한 내용을 밝혀둔다.

2. 본 론

2.1 STL의 대전류 reference shunt에 대한 요구사항

2.1.1 일반사항

STL의 관리위원회(Management Committee)는 STL의 책임 하에 대전류 측정에 대한 소급성을 확보하기로 이미 오래 전에 결정하였다. STL은 소급성이 있는 shunt만을 제공하고, 완전한 측정 시스템이 되기 위해 필요한 나머지 구성품은 STL 회원 시험소가 자체적으로 준비하여야 한다. 각 측정시스템의 주요 구성품인 전류/전압 변환기에 대해서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 범세계적으로 서비스를 제공하기 위해서는 대전류 reference shunt가 3개 필요할 것으로 동의하였다.
- (2) 유럽지역 1개 shunt : 유럽의 회원 시험소(IPH)

의 책임. 참여자수에 따라 2개의 shunt로 확장 가능

- (3) 북미지역 1개 shunt : 미국의 회원 시험소(KPT)의 책임
- (4) 아시아지역 1개 shunt : 일본의 회원 시험소(CRIEPI부터 시작)의 책임

이 3개 지역의 각 시험소는 각자의 shunt에 대해 책임을 지며, 또한 국가표준(총합 적어도 2개의 서로 다른 국가표준)과 소급성을 확보하는데 책임을 진다. 공통적인 실수를 예방하기 위해서는 서로 동일하지 않는 shunt를 구비하는 것이 바람직하다.

이 국가표준과의 교정절차를 마친 후에 3개의 reference shunt로 먼저 상호비교시험을 행할 것이다. 이 상호비교시험 동안 shunt에는 최대치를 인가하여 시험한다.

STL 기술위원회(TC)의 요청으로 첫 번째 상호비교 시험 시에만 ESEF가 보유하고 있는 shunt도 비교시험에 참가할 것이다. 이 ESEF의 shunt는 예전에 맨 처음의 순회시험(round-robin)에 사용되었던 것이다. 이렇게 함으로써 이미 좋은 결과를 얻었던 첫 번째 순회시험과정과 연결고리를 찾을 수 있다. IPH의 shunt도 또한 이 첫 번째 순회시험 프로그램에 참가하여 성공적인 결과를 얻었던 것이다. shunt의 주요 기술적 데이터는 다음과 같다.

최대 대칭전류(실효치)	140kA, 0.1s
최대 비대칭전류(피크치)	350kA
진 폭	0~10kHz
최대전류에서 두 번의 시험 사이의 시간간격	1 hour

Newport에서 개최된 STL 회의 후에 Ad-hoc working group은 경비절감을 위해 2개의 shunt만을 적용할 것을 권유하고 있다.

2.1.2 전체 측정불확도에 대한 요구사항

교정의 목적으로 적용할 reference 대전류 측정시스템의 전체 측정불확도는 다음과 같다.

구 분	전체 측정불확도
대칭 또는 비대칭 상용주파 전류의 실효치 또는 피크치	1% 이하
10kHz까지의 고주파 전류의 피크치	3% 이하

구성품의 교정도 예견되므로 교정 목적의 구성품에 대한 측정불확도는 다음과 같다.

구분	reference shunt	데이터 전송 및 기록 시스템	데이터 분석 소프트웨어
상용주파 전류	0.8% 이하	0.4% 이하	0.6% 이하 ¹⁾
10kHz까지의 고주파 전류	2.5% 이하	1% 이하	1% 이하 (추정치)

#1. 향후 발행될 STL 기술가이드에 새로운 값이 주어질 예정

구성품에 대한 측정불확도 값은 변할 수 있지만 전체 측정불확도 값인 1%와 3%를 초과할 수는 없다. 모든 측정불확도는 신뢰수준 95%(k=2)에 근거한 값이다.

2.1.3 전체 측정불확도의 결정

(1) Shunt의 불확도

Reference shunt는 관련된 국가표준기관에서 교정되고 인증되어야 하며, 국가표준기관에서 시험전류치와 시험절차를 선택할 수 있다. 주파수 범위는 DC부터 10kHz까지 포함하여야 한다. 국가표준기관은 2개의 주파수 범위에 대해 shunt의 측정불확도를 기술하여야 한다. 즉, DC부터 상용주파까지의 전류, 그리고 상용주파부터 10kHz까지의 주파수 범위의 전류에 대해서 측정불확도를 기술하여야 한다.

측정불확도에 온도효과를 포함하여야 하며, 그 값은 shunt를 교정한 후에만 주어질 수 있다. 측정불확도를 계산하는 과정은 ISO/IEC에 적합하여야 한다.

교정을 한 후에 3개의 회선시험소가 보유한 shunt는 적합한 시험소에서 최대치까지 상호비교시험을 행해야 하며, 다음과 같은 시험을 행한다.

가. 비대칭 상용주파 전류로 선형성시험

실효치에 대한 피크치의 비율이 2.5인 단상 비대칭전류로 시험을 행한다. 모든 shunt는 직렬로 결선하며, 부과하는 전류의 순서는 적어도 70, 140, 210, 280, 350kA_{peak} 이어야 하고, 이전에 국가교정기관에서 교정할 때의 전류치를 포함하여야 한다. 그렇게 하여야 350kA_{peak}까지 선형성을 확실하게 할 수 있다.

전류 피크치를 기록하여야 하며, 전류 참값은 3개 기록치의 평균값으로 결정한다. 모든 전류치에 있어서 기준측정시스템의 배율은 전류 참값에 대한 개개의 기록치의 비율로 결정한다. 각 개별 측정시스템의 배율은 5개의 전류크기에서 얻은 배율의 평균값으로 한다.

각 개별 측정시스템에 있어서 각각의 전류치에서 얻은 상대적 배율은 1로부터 0.5% 이상 차이가 나지 말아야 한다.

각 개별 시스템에 있어서 비선형성 a_{NL}은 전체 전류 범위에 걸쳐 얻어진 평균으로부터 각 전류치에서 얻은 배율의 최대 차이로 결정한다.

나. 간섭시험

상용주파전류 간섭시험에서는 적합한 어떤 비대칭 전류치를 사용해도 좋다. 고주파전류 간섭시험에서는 10kHz에 가까운 주파수와 알맞은 크기의 전류치를 사용하여야 한다. 시험하고 있는 측정시스템을 결선하지 말아야 하고, 나머지 2개의 shunt에 병렬로 중심간의

거리가 0.5m 떨어진 곳에 개방회로 상태로 놓아야 한다. 전류 참값은 전류가 통전한 2개의 shunt로 측정된 평균값으로 한다. 시험할 shunt를 바꾸어 가면서 시험을 두 번 더 반복한다.

간섭 a_{IN}은 2개의 다른 측정시스템에서 얻어진 평균 전류에 대하여 결선되지 않은 shunt에서 측정된 전류 사이의 비율과 같다. 이 측정기간 동안 발생하는 고주파 왜란(disturbances)은 측정결과에 영향을 주지 않는다면 모든 참가하는 시험소간의 합의에 따라 제외할 수 있다.

shunt의 측정불확도는 2개의 주파수범위에 대하여 다음과 같이 결정한다.

$$U_{sh} = 2*(u_n^2 + 1.33*a_{NL}^2 + 1.33*a_{IN}^2)^{1/2}$$

여기서, u_n은 국가교정시험소에서 기술한 shunt의 측정불확도이다. 2개의 주파수범위에 대한 측정불확도는 허용치보다 초과해서는 안된다.

(2) 데이터 처리 및 기록 시스템의 측정불확도

교정시에 사용할 데이터 처리 및 기록 기준시스템은 관련된 국가표준기관에 의해 권한이 부여된 교정시험소에서 저전압 교정을 하여야 한다. 교정시험소는 DC부터 상용주파까지, 그리고 10kHz까지의 주파수에서의 측정불확도, 두가지 배율을 제시하여야 한다. 배율은 향후 교정에 사용될 모든 범위 및 상대적 실키기 편향(deflection)을 포함해야 한다.

각 전류범위에 있어서 배율은 고려한 상대적 편향의 평균이어야 한다. 이 평균으로부터의 편차는 측정불확도에 포함되어야 한다.

만약 필요하다면 각각의 전류범위에 있어서 다른 배율 및 측정불확도가 기록될 수도 있다.

각 shunt 소유 시험소는 이 모든 교정측정을 포함한 성능기록철을 발간해야 하고, 또한 이 측정들의 정확성에 대해 책임을 져야한다.

상용주파전류에 대한 배율은 DC 및 상용주파 전압에 대한 배율의 평균이 되어야 한다. 주파수 변동 a_F는 다음과 같이 결정된다.

$$a_F = 0.5*(S_{DC} - S_{PF})$$

여기서, S_{DC}는 DC에서의 배율, S_{PF}는 상용주파 전압에서의 배율을 나타낸다.

고주파 전류에서의 배율은 상용주파 전압 및 10kHz의 고주파 전압에 대한 배율의 평균이어야 한다. 주파수 변동 a_F는 다음과 같이 결정된다.

$$a_F = 0.5*(S_{PF} - S_{HF})$$

여기서, S_{PF}는 상용주파 전압에서의 배율, S_{HF}는 10kHz 전압에서의 배율을 나타낸다.

만약 필요하다면 각 전압범위 및 2개의 주파수범위에 있어서 데이터 처리 및 기록 시스템의 전체 측정불확도는 다음과 같이 결정된다.

$$U_{AR} = 2*(u_n^2 + 1.33*a_F^2)^{1/2}$$

여기서, u_n은 권한이 부여된 교정시험소가 제시한 대응하는 측정불확도이다. u_n은 0Hz부터 상용주파까지, 상용주파부터 고주파까지에서 요구되는 진폭에 좌우된다.

측정불확도는 한계 내에 있어야 한다. 이 변동에 대한

보다 자세한 설명은 IEC 60060-2, 1999-11, High Voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems의 해석에 대한 STL Guide에 나와 있다.

(3) 데이터 평가 소프트웨어의 불확도

데이터 평가 소프트웨어는 STL Test Data Generator로 교정하여야 한다. 모든 기준전류파형과 모든 필요한 계산형태에 있어서 계측의 편차 s_i 는 기록하여야 한다. 사각형 오차분포를 가정하면 소프트웨어에 의해 계산된 결과의 불확도 u_{DE} 는 다음과 같이 결정된다.

$$u_{DE} = 2*(u_n^2 + 1.33*\max(s_i^2))^{1/2}$$

여기서, u_n 은 STL Test Data Generator의 불확도이다. 얻어진 불확도 u_{DE} 의 값은 전체 불확도 값을 초과하지 않도록 한계 내에 있어야 한다. u_n 은 무시할 수 있다고 생각해도 된다. 또한 기술적 가이드를 참조하기 바란다.

(4) 전체 측정불확도의 결정

각각의 기준측정시스템에 있어서 2개의 주파수범위의 각각에 대해 전체측정불확도는 다음과 같이 결정된다.

$$u = (u_{AR}^2 + u_{DE}^2 + u_{SH}^2)^{1/2}$$

2.2 각 대전력시험소에서 교정해야 할 것

2.2.1 각자의 교정에 대한 책임

각 시험소는 어떤 전류센서(검출기)를 교정할 것인가를 결정할 수 있고, 직류전류, 비대칭전류, 상용주파수 전류, 10kHz까지의 고주파전류, 최대전류크기에서 어떤 형태의 시험전류를 포함할 것인가를 결정할 수 있다.

모든 시험소는 자신의 센서를 가능하다면 각자의 국가표준에 따라 교정해야 할 책임이 있다. 전류측정시스템의 교정은 component-based principle(구성품 각각에 대한 교정 원리)를 따르기로 합의되어 있다. 그러나 회원시험소의 경우 다른 시험소에 완전한 전류측정시스템 전체에 대해 교정업무를 자유롭게 제공할 수 있다.

2.2.2 절차

2개의 다른 STL 회원시험소가 교정목적으로 사용할 예정인 기준 shunt를 보관할 것이다. 이 기준 shunt를 소유한 시험소는 국가표준에 따른 교정을 시작할 것이고, 그 후에 기준 shunt간의 상호비교시험을 최초로 시작할 것이다.

그 후에 이 shunt는 다른 회원시험소에 보내질 것이다. 각 시험소는 각자가 소유한 전류/전압 변환기(shunt, CT, rogowski coil)를 기준 shunt 중의 하나와 5년에 한번씩 비교시험할 것이다.

하나의 회원이 기준 shunt를 사용한 후에는 그 기준 shunt는 shunt 소유시험소에서 직류저항 또는 낮은 교류전류의 측정 등을 점검하여야 한다. 그렇게 하고 나서 그 기준 shunt는 또다른 회원시험소에 보낼 수 있다. 그래서 이 절차는 순회시험(round-robin) 절차가 아니다. 5년 후에는 처음에 국가표준과 교정 그리고 상호비교시험을 포함하여 전체 과정이 반복될 것이다.

이 상호비교시험에서는 데이터 분석용 소프트웨어를

포함한 디지털 데이터 처리 및 기록시스템 하나만이 사용되어야 한다.

이 상호비교시험동안 데이터의 계산은 소프트웨어로 행할 필요가 있다. 이 소프트웨어는 STL Test Data Generator를 사용하여 규정된 절차에 따라 교정하여야 한다. 그렇게 하여야 전체 측정불확도에 영향을 주는 소프트웨어 계산결과에 대한 불확도가 얻어질 수 있다.

3. 결 론

상기와 같이 대전류 표준측정 시스템에 대한 기술문제도 국제적으로 확정된 상태에 있기 때문에 우리나라도 국제동향에 발맞추어 나가기 위해서는 사전준비가 철저해야 한다.

먼저 무엇보다도 국제표준 shunt와 동일한 기술사양을 가진 우리나라 표준 shunt를 설계하여 개발하거나 구축하여야 한다. 그리고 이 표준 shunt를 한국표준연구소가 보유하고 있는 국가표준 shunt 및 국가표준 교정절차에 따라 각종 특성을 교정하여야 한다.

이렇게 국가표준과 교정절차를 마친 표준 shunt는 일본 JSTC가 보유하고 있는 국제표준 shunt 및 상호비교시험절차에 따라 각종 특성을 교정하여야 할 것이다. 이 후에는 shunt를 포함하여 대전류 표준측정시스템 전체 및 각 구성품에 대한 불확도 산출절차를 제정하고 불확도를 산출하여야 한다.

이렇게 하면 대전류 표준측정 국가기준 시스템이 구축되므로 대전류 측정시스템을 보유한 기관 및 기업체에게 교정을 시행할 수 있으며, 교정을 시행하기 위해서는 사전에 국내에 대전류 측정시스템에 대한 교정절차가 먼저 제정되어야 할 것이다.

이 업무를 성공적으로 수행하기 위해서는 전담인력 및 조직이 구성될 필요가 있으며, 또한 필수적으로 국가적인 예산지원이 있어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] STL TC ad-hoc WG.000411, "Intercomparison of High Current Measuring Systems"
- [2] 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".
- [3] 신영준, 김익수, 김민규, "대전류표준측정시스템을 위한 STL의 활동", 대한전기학회 2001년도 하계학술대회 논문집(A), 2001. 07, pp437-439
- [4] 신영준, 김익수, 김민규, "대전류 측정시스템에 대한 잠정적 교정절차", 대한전기학회 2001년도 하계학술대회 논문집(A), 2001. 07, pp440-442