

고전압 시험용 디지털 측정 시스템 구축 및 관련 소프트웨어 개발

윤지호, 김홍룡, 함길호, 박종화
LG산전 전력시험기술센터

The Building of Digital Measuring System for Hight-Voltage Test and The Development of Relevant Software

Ji-Ho Yun, Hong-Ryong Kim, Gil-Ho Ham, Jong-Wha Park
LG Industrial Systems Co., Ltd. PT&T

Abstract - 고전압 시험 진행시, 시험전압의 파고치, 순시강하, 정현파로부터의 편차, 규약 파두장과 같은 시간특성을 측정할 때는 일반적으로 IEC60060-2에 따른 인증절차를 거친 장치를 사용해야 한다. 최근 LG산전 전력시험 기술센터의 고전압 시험실은 기존의 아날로그 오실로스코프를 디지털 오실로스코프로 교체하고 PC와 GPIB를 이용해 시험변수의 자동 계산을 위해 관련 소프트웨어를 개발했다. 또한, 새로 구축한 측정시스템의 성능검증을 위해 산업체 인증기관인 LG산전이 보유하고 있는 기준계측시스템과의 비교시험을 실시하고 측정 불확도를 산출하였다. 따라서 본 논문에서는 새로운 측정 시스템에 적용한 성능시험방법과 불확도 산출방법, 소프트웨어의 기능과 성능에 대해 소개하고자 한다.

1. 서 론

산전 대전력시험기술센터의 고전압 시험실은 100kV까지의 상용주파수 내전압 시험과 200kV 임펄스 내전압 시험을 위한 고전압 설비를 갖추고 있다. 기존의 고전압 측정 시스템은 전압분배기(voltage divider)와 전송케이블, 아날로그 오실로스코프로 구성되어 있었다. 아날로그 오실로스코프를 사용하여 임펄스 관련 변수를 수동으로 계산하는 경우 사용자에 따라 시험결과가 달라 신뢰도가 저하되고, 특히 측정 불확도에 많은 영향을 주게된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 LG산전은 아날로그 오실로스코프를 디지털 오실로스코프로 교체하고, GPIB와 컴퓨터를 이용하여 임펄스 관련 변수를 자동으로 계산하기 위해 응용 소프트웨어를 개발하여, 시험계산결과에 대한 신뢰성과 측정 불확도를 향상시켰다. 또한, LG산전이 보유한 기준계측시스템과의 비교시험을 통하여 인증 시스템으로서의 성능을 입증하고 IEC60060-2에 따라 측정 불확도를 산출하였다.

그림 1은 개발된 소프트웨어의 내부구조이다. 그림에서 알 수 있듯이 측정 데이터 저장용 메모리를 공유한 여러 개의 개별 모듈들로 구성되어 있다. 주요 모듈로서는 오실로스코프를 제어하기 위한 제어모듈과, 측정된 데이터를 분석할 수 있는 기본 분석 모듈, 임펄스 관련 변수를 자동 계산할 수 있는 응용 분석 모듈, 시험 성적서를 작성할 수 있는 보고서 모듈을 들 수 있다.

본 논문에서는 2장에서는 측정시스템의 성능평가방법을, 3장에서는 불확도 산출방법을, 4장에서는 평가결과를 산출된 불확도와 함께 제시하고, 5장에서는 응용 프로그램에 대해서 소개한다.

2. 측정시스템 성능평가방법

2.1 측정시스템 및 시험회로의 구조

측정시스템은 변환시스템과 전송시스템(동축 케이블), 계측기(오실로스코프), GPIB, 컴퓨터시스템, 응용 프로그램으로 구성된다. 교정은 측정시스템이 사용되는 모든 전압 파형에 대해서 실시해야 하므로, 상용주파수 전압(이하 AC)과 전파 내충격 전압파형(이하 LI)에 대해서

적용한다.

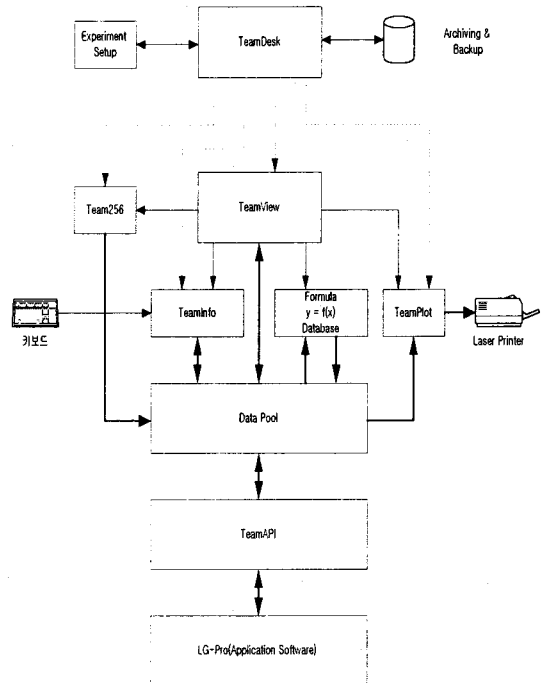


그림 1 소프트웨어 내부구조

2.2 AC용 측정시스템에 대한 성능시험

지정 스케일 인자를 결정하고, 스케일 인자의 표준편차를 근거로 선형성을 시험하여 스케일 인자의 적합성을 검증한다.

2.2.1 지정 스케일 인자의 결정

교정 대상 시스템과 기준 시스템을 병렬로 연결하고, 실효값과 피크값을 동시에 측정한다. 10회 이상 반복해서 전압을 인가하고 동시에 측정한다. 이때, 각 측정마다 인가전압을 80%로 내린 다음 다시 100%로 상승시켜 측정한다.

$$\text{표준편차 } s = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_m)^2}{n-1}} \quad (1)$$

F_i : 표준시스템의 전압측정값
/ 교정대상시스템의 전압측정값
 F_m :의 평균.

표준편차 s 가 평균 F_m 의 1% 이하라면 F_m 을 지정스케일 인자로 간주한다.

2.2.2 선형성

동작전압범위의 최소 및 최대 전압, 최소-최대 사이를 균등하게 3등분한 전압에서 각각 스케일 인자를 측정해야 한다. 각각의 스케일 인자와 평균과의 편차는 1% 이하여야 한다. 지정 스케일 인자의 값에 따라, 표 1로부터 반복 측정 회수를 결정한다.

표 1. 지정스케일 인자의 표준편차에 따른 반복측정회수의 결정

10회 이상의 반복측정에 대한 표준편차	다른 전압 레벨에서의 반복 측정수
<0.2%	1
<0.4%	3
>0.4%	10

2.3 LI용 측정시스템에 대한 성능시험

지정 스케일 인자와 동적특성을 결정하고, 간섭시험을 실시해야 한다. 정극성과 부극성에 대해 성능시험을 실시해야 한다. 간섭정도가 규정 한계값을 초과했을 때, 반복교정을 피하기 위해 간섭시험부터 먼저 실시한다.

2.3.1 간섭시험

간섭시험은 측정시스템이 사용되는 장소에서 실시해야 한다. 전압분배기에 연결되는 전송케이블의 입력단자를 단락시킨 상태에서, 정격전압의 50% 이상의 전압에서 2-6 us 후에 재단되는 형태의 임펄스 전압이 인가되어야 한다.

기록된 피크전압이 정상상태에서 기록된 값의 1% 이하여야 한다. 1%를 초과하더라도 이러한 간섭이 측정에 영향을 주지 않는다는 것을 입증할 수 있다면, 허용된다.

2.3.2 지정 스케일 인자의 결정

지정 스케일 인자는 정극성과 부극성 임펄스에 대한 평균으로 간주된다. 각각의 스케일 인자와 이들의 평균과의 편차는 1% 이하여야 한다. 식 (1)에 따라 정극성과 부극성의 표준편차를 구한 다음 식 (2)와 같이 합성표준편차를 구한다.

$$\text{표준편차 } s = \sqrt{\frac{1}{2} (s_1^2 + s_2^2)} \quad (2)$$

s_1, s_2 = 정극성과 부극성의 표준편차

표준편차 s 가 평균 F_m 의 1% 이하라면 F_m 을 지정스케일 인자로 간주한다.

2.3.3 동적특성의 결정

교정 대상 시스템이 측정된 규약 파두장 T_1 과 규약 파미장 T_2 가 기준 측정 시스템에 의해 측정된 값의 10% 이내여야 한다. 식 (1)에 따라 정극성과 부극성의 표준편차를 구하고 식 (2)와 같이 합성표준편차를 구한다. 표준편차가 평균의 5% 이하라면 측정시스템으로 인증된다.

2.3.4 선형성

2.2.2절과 동일한 방법으로 선형성을 검증한다.

3. 측정불확도 평가방법

3.1 계통효과(B타입)

교정을 받은 다음 시험에 사용되는 측정시스템인 시험 결과의 불확도 평가시 계통효과에 포함된다. 계통효과에 포함되는 것으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

- 교정 성적서에 기록된 측정시스템의 교정 불확도
- 측정 시스템의 스케일 인자의 변동
- 각 계측기의 해상도

반범위 a 의 구간 내에서 동일한 확률을 갖는 사각형 분포로 간주하면 표준편차는 식 와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{표준편차 } s_r &= \sqrt{s_{sa}^2 + s_{sg}^2} \quad (3) \\ &= \sqrt{\frac{1}{3} \sum a_i^2 + \frac{U_k}{k}} \end{aligned}$$

s_{sa}, s_{sg} 사각형 및 가우시안 분포의 표준편차

3.2 우연효과(A타입)

반복 측정하여 통계적으로 유추할 수 있으며 가우시안 분포를 갖는 경향이 있다.

$$\text{표준편차 } s_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - x_m)^2} \quad (4)$$

3.3 합성 불확도

$$U = \sqrt{U_s^2 + U_r^2} \quad (5)$$

$$U_s = k \sqrt{\frac{1}{3} \sum a_i^2 + \frac{U_k}{k}}, \quad k=2 \text{ for } B=95\%$$

$$U_r = \frac{t s_r}{\sqrt{n}}, \quad t=2.26, n=10$$

4. 성능시험결과 및 불확도 평가

최소사용전압 7.2kV와 최대사용전압 24kV에 대한 내전압에 대해 비교측정을 실시하였다.

4.1 상용주파수 내전압

4.1.1 A타입 불확도

표준시스템	교정대상시스템	스케일인자
42.02	41.99	1.0006
42.02	41.99	1.0006
42.03	42.02	1.0003
42.01	42.01	1.0001
42.11	42.17	0.9987
41.97	41.95	1.0006
42.06	42.15	0.9978
42.15	42.15	0.9999
42.11	42.13	0.9995
42.10	42.02	1.0019
평균 스케일 인자 =		1.0000
표준 편차 =		0.1146

$$U_r = \frac{t s_r}{\sqrt{n}} = \frac{2.26 \times 0.1146}{\sqrt{10}} = 0.082\%$$

스케일 인자의 표준편차가 평균 스케일 인자의 1% 이하이기 때문에 선형성 검증을 위해 각 전압레벨에서 1회씩 측정하였다.

표준시스템	교정대상시스템	스케일인자
22.92	22.99	0.997
32.46	32.52	0.998
42.02	41.99	1.001
48.62	48.36	1.005
58.66	58.35	1.005
평균 스케일 인자 =		1.001

4.1.2 B타입 불확도

표 2는 측정불확도를 평가하기 위해 적용한 인자들로 불확도는 다음과 같이 산출할 수 있다.

표 2. 측정 불확도 평가 인자

항목	내용	오차 %
a1	오실로스코프의 해상도	0.49
a2	표준분압기 스케일 인자의 변동(drift)	0.05
Uk	표준분압기의 교정불확도	0.56

$$U_s = \sqrt{\frac{1}{3} (a_1^2 + a_2^2) + \left(\frac{U_k}{k}\right)^2} = 0.8\%$$

4.1.3 합성 불확도

$$U = U_r^2 + U_s^2 = 0.8\%$$

4.2 전파 임펄스 내전압(LI)

간접정도는 120kV를 기준으로 했을 때, 0.1%이하로 측정에 영향을 주지 않는 것으로 판명됐다. 4.1결과 같은 방법으로 측정불확도를 계산한다. 아래 내용은 스케일 인자에 대한 내용이다.

4.2.1 A타입 불확도

$$U_r = \frac{t s_r}{\sqrt{n}} = \frac{2.26 \times 0.35}{\sqrt{n}} = 0.24\%$$

4.2.2 B타입 불확도

$$U_s = \sqrt{\frac{1}{3} (a_1^2 + a_2^2) + \left(\frac{U_k}{k}\right)^2} = 0.8\%$$

4.2.3 합성 불확도

$$U = U_r^2 + U_s^2 = 0.85\%$$

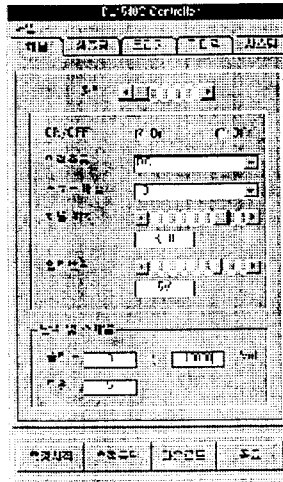
4.2.4 동적특성

교정 대상 시스템이 측정된 규약 과부하 T1과 규약 과미장 T2이 기준 측정 시스템에 의해 측정된 값의 10% 이내이고, 표준편차가 평균의 5% 이하인 것으로 판명됐다.

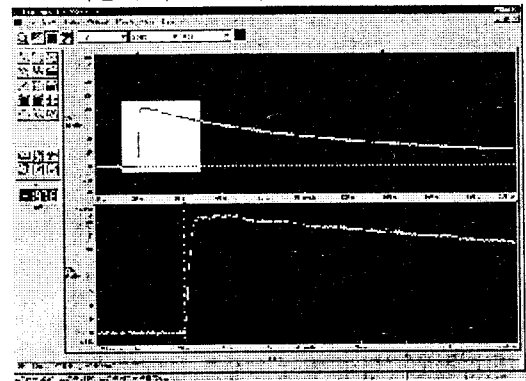
5. 응용 프로그램

새로 개발된 자동 측정용 소프트웨어는 여러 개의 모듈들로 구성되어 있다.

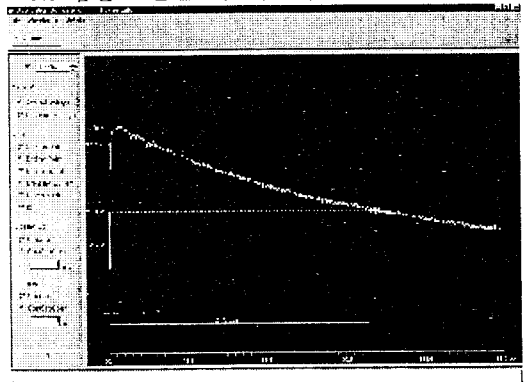
5.1 오실로스코프 제어용 모듈



5.2 기본 분석 프로그램 모듈



5.3 임펄스 관련변수 자동계산 모듈



6. 결론

디지털 오실로스코프를 적용한 AC 및 LI용 측정시스템 모두 IEC60060-2에서 인증측정시스템으로 규정된 요건들 중에서 스케일 인자에 대한 요건을 만족하고 측정 불확도 역시 상당히 양호한 것으로 판명됐다.

그러나 현재 임펄스 파형의 피크 지점을 찾을 때, 피크 지점의 일그러짐 현상으로 인해 Crest 방법을 적용하고 있으므로 적용한 방법의 적합성을 입증하고 보완한 다음 동적특성에 대한 적합성 여부와 측정 불확도를 재평가해야 할 것이다.