

시험소 부분방전 측정시스템(ERA)의 소급성검토

허종철^{***} 강영식^{***} 김위영^{***} 오창수^{**} 박정후^{*}
 한국전기연구원^{***} 한국전력공사 승변전처^{**} 부산대학교^{*}

Review of the traceability of ERA PD measuring system in test laboratory

J. C. Heo^{***} Y. S. Kang^{***} W. Y. Kim^{***} C. S. Oh^{**} J. W. Park^{*}
 KERI^{***} KEPCO Busan National Univ.

Abstract - For evaluation of partial discharge performances of electrical power apparatus such as Insulator, circuit breaker and transformer and so on, Partial discharge measuring system(ERA) consisted of PD detector including amplifier, coupling capacitor, PD calibrator and voltage divider are used. PD measuring system is very important factor which affect the test result and show reliability of test result in test laboratory. In this paper, we describe traceability and uncertainty of PD measuring system in test laboratory based on IEC 60270.

1. 서론

전력기기의 장기 절연성능에 대한 검증은 차폐실, Noise free 시험용 변압기, 결합콘덴서, PD 검출 Unit, PD Detector, 전압측정용 분압기 및 전압측정기등으로 이루어지는 PD 측정시스템에 의해서 평가된다. 또한 이들 측정시스템으로부터 얻어진 측정의 결과에 대한 높은 신뢰도를 얻기 위해서는 측정시스템의 소급성(Traceability)을 확보하는 것이 필요하다.

여기서 소급성은 시험소가 보유하고 있는 측정시스템의 불확도, 즉 측정의 정밀도를 확인하기 위해 비교·교정 시험을 통해서 직접 또는 간접적으로 국가 또는 국제표준과 관련시키는 것을 의미한다[1]

또한 IEC 60270(2000) - High-voltage test technique, Partial discharge measurement 및 STL guide에서도 고전압 측정의 국제표준화를 위하여 시험소 측정시스템에 대해 국제 또는 국가표준에 의한 소급성 확보절차를 제시하고 있다.

요소		불확도
Calibrator	전하 q_0	$\pm 5\%$ or $< 1pC$
	Pulse 상승시간 (t_r)	$\pm 10\%$ ($< 60ns$)
	Pulse 반복주파수 (N)	$\pm 1\%$
PD 측정 시스템	Scale factor (k) 선형성	$\pm 5\%$
	Wide band계측기	$30kHz \leq f_1 \leq 100kHz$ $f_2 \leq 500kHz$ $100kHz < \Delta f < 400kHz$
Noise 레벨	· 무전압상태 · 시험전압인가	$\leq PD$ 허용치의 50%
전압측정 시스템	분압기 및 측정 장치	$\pm 1\%$

표1 부분방전 측정시스템의 요건

따라서 본 연구에서는 IEC 60270에서 요구되는 변경된 PD측정요건에 대해서 언급하고, 시험소가 보유하고 있는 PD 측정시스템의 전압 및 PD 측정시스템의 소급성 확보에 대해서 언급한다.

2. 본론

2.1 PD 측정시스템의 구성

부분방전 측정시스템은 그림 1과 같이 ①전압 측정용 분압기 및 Digital volt meter ② 입력 Unit 와 PD Detector, ③ Blocking capacitor 및 Calibration capacitor로 구성되어있다.

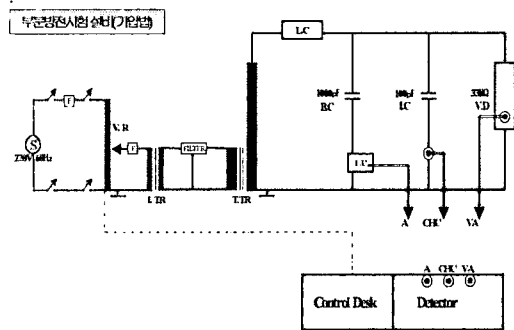


그림 1 충격전압측정시스템의 구성회로

2.2 불확도 평가에 필요한 시험

측정시스템의 불확도 평가를 위해 실시된 시험의 종류는 다음과 같다.

- 1) 전압측정시스템
 - Scale factor의 결정
 - 선형성시험
 - 단기안정성시험(B Type 불확도)

2) PD 측정시스템

- Calibrator 교정 비교시험
- 선형성시험

2.3 전압측정시스템

2.3.1 비교시험회로 구성

전압 Scale factor 및 선형성에 비교시험은 가압법 및 유도법에 대해서 그림 2와 같이 구성하였다.

PD 전압측정시스템에 대해서는 소급성이 확보된 AC전압용 기준측정시스템과의 비교시험을 통해서 소급성을 확보하였다.

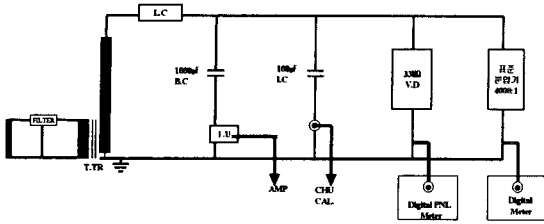


그림 2 전압측정시스템의 비교시험회로(가압법)

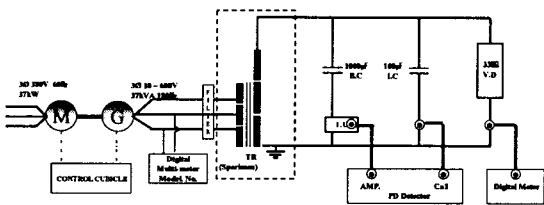


그림 3 전압측정시스템의 비교시험회로(유도법)

전압측정시스템의 가압법(Applied voltage method) 및 유도법(Induced voltage method)에 대한 분압기 Scale factor 및 선형성을 측정하기 위해서 그림2 및 3과 같이 KERI AC 기준측정시스템과 비교시험을 실시하였으며, 비교시험에 사용된 기준측정시스템 및 시험실 측정시스템의 주요사항은 표 1과 같다.

시스템	주요사항
RMS	<ul style="list-style-type: none"> Rated measuring voltage : 200 kV Measuring cable : Coaxial cable, Type M17/84-RG 223, Length 30 m Input resistance : 1MΩ Display : digital (3 1/2 digits) Measuring range :0 to 199,9 kV
AMS	<ul style="list-style-type: none"> Rated measuring voltage : 50kV Measuring cable : Coaxial cable, Voltage divider ratio(1000:1), 33MΩ Display : digital (3 1/2 digits)

표 2 KERI RMS와 비교대상 분압기의 시스템구성

2.3.1 분압기 Scale factor 및 선형성 시험

Scale factor 및 전압 선형성은 시험소에서 측정하는 최소전압이하인 5kV에서 최고전압 45kV(5kV, 10kV, 15kV, 20kV, 30kV, 40kV, 45kV)까지 실시되었으며, 선형성 및 각 전압 Point별 Scale factor는 IEC 요건인 ±1%를 만족하였으며, 결과는 그림4와 같다.

AC200 kV Reference measuring system
Linearity on AC50kV Testing lab.

R [kV]	Testing [kV]	R/U Testing	Deviation in %	Absolute val.	Deviation
10.15	1000	1.0394632	0.8765299	0.876	0.0038
20.06	2000	0.9983672	-0.1676276	0.168	0.007
25.24	2520	0.996036	-0.0740379	0.078	0.0036
30.04	3010	0.9974398	-0.2896794	0.284	0.0038
40.8	4070	0.9956482	-0.3657036	0.367	0.0037
Average				1.00083154	
				MAX Dev.	0.876

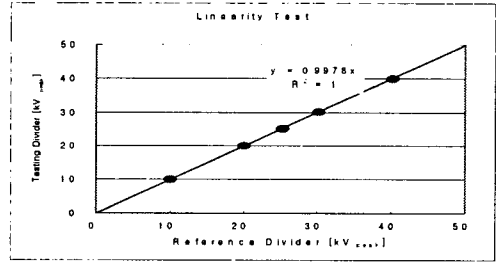


그림 4 Scale factor 및 전압선형성시험

2.3.2 시스템 불확도 산출

Random uncertainty contribution, U_r

U _{ref}	U _{test}	U _{ref} /U _{test}
40.030	40.350	0.992069393
40.000	40.300	0.992555831
40.050	40.360	0.992319128
40.020	40.320	0.992559524
40.000	40.300	0.992555831
40.030	40.340	0.99231532
40.050	40.380	0.991827637
40.020	40.360	0.991575818
40.000	40.350	0.991325898
40.000	40.380	0.990589401
Correction factor		1.000
Mean value		0.992
Standard Deviation		0.001
Standard Dev. in %		0.065
Uncertainty (%)		0.047

Systematic uncertainty contribution, U_s

	Contribution	Uncertainty (%)
Resolution of RMS	0.08660254	0.1000
Resolution of MS	0.08660254	0.1414
Calibration uncer.	1.2	1.2083
Non-linearity	0.876156299	1.5759
Short-term stability (%)	0.052619273	1.5771

표 3 우연불확도 및 시스템 불확도 산출

* 계통불확도(B Type)

여기서 계통불확도는 유효자유도는 ∞, 신뢰도 95%(k= 2)에서 다음과 같다.

$$U_s = k \sqrt{\left(\frac{U_{ref}}{2}\right)^2 + \frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \frac{a^2}{3}} = 158\%$$

* 10회 반복측정에 의한 표준편차

$$S = \sqrt{\frac{1}{10} [(F_1 - F_m)^2 + \dots + (F_{10} - F_m)^2]} = 0.002$$

* 우연불확도(A Type)

$$U_r = \frac{t.s}{\sqrt{n}} = \frac{2.26 \times 0.002}{\sqrt{10}} \approx 0.144\%$$

* 종합불확도(확장불확도)

$$U = \sqrt{U_s^2 + U_r^2} = \sqrt{1.58^2 + 0.144^2} = 1.59\% \approx 1.6\%$$

2.3.3 시험전압의 확장불확도 보고

시험전압의 불확도 표시는

$$U = 25000 V \pm 404 V \quad (k=2, \text{신뢰구간 : 95\%})$$

와 같이 표시된다.

2.4 PD 측정시스템

2.4.1 비교시험회로의 구성

PD 측정시스템에 대한 Scale factor 및 선형성 시험회로는 그림5와 같으며, PD Calibration 시스템(100pF)에 대한 불확도는 소급성을 유지하고 있는 Calibration pulse generator(PC-IG, 1pC~2500pC, Pulse 상승시간(t_r) ≤ 60ns)에 의해서 5pC, 10pC, 20pC, 50pC, 100pC에 대해서 실시되었으며, 측정 결과는 표 2 및 3과 같다.

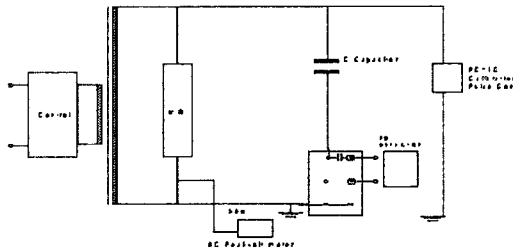


그림 5 PD Calibration 구성도

2.4.2 시스템 불확도산출

PC-IG Calibration pulse Gen.

Linearity on 100pF PD Calibration system(Unit

Ref(pC)	Testing(pC)	Ref Testing	Deviation in %	Absolute val.	Deviation
5	5.00	09000909	-33487928	3349	0035
10	11.00	09000909	-33487928	3349	0035
20	21.00	09528082	125318181	1253	0025
50	52.00	09615842	2226809	2227	0023
100	100.00	09705786	32190456	3219	0022
Average				MAX Dev.	
				3349	

PD Systematic uncertainty contribution, U_s

	Contribution	Uncertainty(%)
Resolution of RMS	0	0.0000
Resolution of MS	0.025	0.0289
Calibration uncer.	0.9	0.9005
Non-linearity	3.49	4.1293
Short-term stability(%)	0	4.1293

표 4 선형성 및 계통불확도산출

* 계통불확도(B Type)

PD 측정시스템의 계통불확도는 유효자유도는 ∞, 신뢰도 95%($k=2$)에서 다음과 같다..

$$U_s = k \sqrt{\left(\frac{U_{ref}}{2}\right)^2 + \frac{a_1^2}{3}} = 4.12\%$$

* 우연불확도(A Type)

$$U_r = \frac{t.s}{\sqrt{n}} = \frac{2.26 \times 0.002}{\sqrt{10}} \approx 0.144\%$$

* 종합불확도(확장불확도)

$$U = \sqrt{U_s^2 + U_r^2} = \sqrt{4.12^2 + 0.144^2} = 4.12\% \approx 4.2\%$$

3. 결론

시험소 부분방전 측정시스템(ERA법)의 IEC 60270 및 60060-2에 따른 전압 및 PD 측정시스템에 대한 비교 시험등 소급성 검토결과 불확도 산출에는 주요 기여요소인 계측기의 전단임피던스(Zf), 환경 및 온도등의 주여기여 요소가 반영되지 못했다. 측정결과의 고신뢰성을 유지하기 위해서는 측정시스템을 구성하고 있는 주요 기여요소들이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

[참고문헌]

- [1] IEC 60270(2000), High voltage test techniques Partial discharge measurement
- [2] IEC 60060 2, Amendment, High voltage test techniques, Part 2 : Measuring system, 1994.
- [3] "高電壓試驗所 認定制度と 所内 Impulse 電壓測定 System の 性能 評價" 日本電力中央研究所 No. T99003 平成 11年 10月

