

전기저항의 국제비교 및 계측기술에 관한 국제적 상호인정 추세

유광민, 류제천, 강진홍, 김한준
한국표준과학연구원 전자기표준부

International Comparison of high resistance and Mutual Recognition between National Metrology Institutes

Kwang Min Yu, Je Cheon Ryu, Jeon Hong Kang, Han Jun Kim
Korea Research Institute of Standards and Science(KRISS)

Abstract - Mutual Recognition Agreement(MRA) between national metrology institutes is started on October 1999 and International Key Comparison is essentially to be used as technical basis for the agreement. High resistance is one of the Key Comparison and high resistance measurement system is established in KRISS for the purpose of the Key Comparison. Total combined uncertainty of the system is about 4 ppm in 10 MΩ and 8 ppm in 1 GΩ. With the system, the difference of comparison results for 10 MΩ and 1 GΩ among KRISS, VNIM in Russia and NIM in China is agreed about 6 ppm within total combined uncertainty of three institutes.

지, digital multimeter, electrometer, megohmmeter, teraohmmeter, high resistance bridge 등의 장비들이 사용된다. 그러나, 현재 이들 장비들이 가지는 성능은 최고 0.01 % 정도 수준이며 저항 측정범위가 높아질수록 오차는 커져 10¹² Ω 이상의 절연저항 측정에서는 수 % 이상의 오차가 발생한다. 이렇게 되면 사실상 우리가 얻고자 하는 절연저항값을 신뢰할 수 없게 되므로 신뢰할 수 있는 정도가 되려면 보다 더 정확한 측정기술이 요구되며, 고저항 KC도 결국 이러한 국가별 고저항 측정수준을 공표하게 되는 것이므로 가능한 측정오차를 줄여야 한다. KRISS에서 1999년 5-6월 사이에 고저항 KC에 참여하므로 그것에 대비하기 위한 연구를 하게 되었으며 그 연구결과로서 한국, 러시아 및 중국과의 국제비교 결과를 여기에 소개하고자 한다.

1. 서 론

2. 본 론

국제무역기구인 WTO의 출범과 함께 국가간 상호인정 제도가 중요시 되고 있으며, 국제 표준화 기구인 ISO에서 제정하여 세계적으로 영향을 미치고 있는 ISO 9001, 9002 등과 마찬가지로 ISO/IEC의 Guide 25에 따르는 교정성적서와 관련한 품질체계를 확립하여 국가간 교정/시험에 관한 여러 가지 수준을 평가한 후 상호인정하는 제도 및 협약을 추진 중에 있다. [1] 이것을 전제로 국제도량형국(BIPM)에서는 국가간 국가측정표준 및 국가표준기관의 교정성적서에 관한 상호인정 협약(Mutual Recognition Agreements, 약칭 MRA)을 추진중에 있고, 1999년 10월부터 정식으로 발표될 예정이다. 이 협약은 국가 측정표준의 일치도와 국가 측정표준의 소급성이 명시된 교정 성적서의 효력의 두 부분으로 구성되어 있으며, 이 협약의 목적은 현존 국가측정표준에 대한 국제적 신뢰도를 보다 널리 확대시키고, 무역이나 통상 등 정부 차원의 보다 광범위한 협정의 체결을 가능하게 하고 그에 대한 기술적 기반(technical basis)을 제공하고자 하는 것이며, 측정 자문위원회, 국제도량형국, 지역협력기구의 주관으로 시행되고 국제도량형국에 의하여 공표될 핵심비교를 통해 획득되는 일련의 결과들을 협약의 기술적 근거로 삼고 있다. 그 기술적 근거 자료로서 국가간 측정능력을 인정하기 위한 것대인 핵심측정표준 국제비교(International Key Comparison, 약칭 KC)를 실시하고 있으며 KRISS(한국표준과학연구원)에서는 그 상호인정협약에 동참하기 위하여 이들 국제비교에 참여하고 있다. 직류 전압/전류, 교류 전압/전류, 임피던스(저항, 용량, 인덕턴스) 및 전력은 전기단위 분야의 KC이며, 저항 KC는 양자홀 저항 KC와 1 Ω 및 10 kΩ KC 및 여기서 나타내고자 하는 10 MΩ과 1 GΩ의 고저항 KC로 구분하여 실시하고 있다. 특히, 고저항 영역은 폴리머, 세라믹, 반도체, 센서, 전기 전자 소자의 절연 및 유전 재료 등의 절연저항, 비저항, 그리고 전기용량의 누설저항 등에 해당하는 영역이며 그들을 측정하기 위하여 휘스톤 브리

2.1 KRISS 고저항 측정시스템
기존의 휘스톤 브리지의 공급전원과 두 ratio arm 저항 대신에 안정도가 뛰어나고 출력저항이 낮은 두 programmable voltage source로 대체하고 [2], [3] 그림 1과 같이 triaxial connection 및 cable을 사용하여 두 비교저항과 계측기와 detector 연결부를 모두 차폐상자 안에 넣으므로써 계측기를 포함한 전체 구성 부분들을 모두 외부와 정전기적 차폐를 시켜 전류 측정시에 잡음이 없도록 하였다.

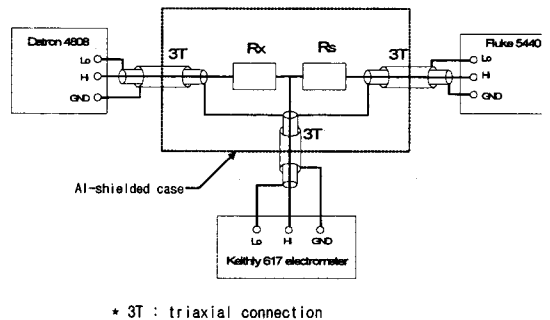


Fig. 1. The KRISS high resistance measurement system. (Adapted Wheatstone bridge)

detector로서 높은 내부 입력저항과 fA 이하의 전류 측정 분해능을 갖는 Keithley 617 electrometer를 사용하였으며 이 detector로서 전류의 null balance를 잡으면 휘스톤 브리지의 경우와 같이 다음의 식이 성립된다.

$$R_x = R_s \times \left(\frac{V_x}{V_s} \right)$$

이 식에서 두 전압비율이 정해지면 알고 있는 기준저항의 저항값을 곱하여 구하고자 하는 피교정저항의 저항값이 얻어진다. 그러므로 기준저항과 두 전압비를 정확히 결정하면 피교정저항의 저항값을 정확히 알 수 있으나 detector의 null balance를 잡을 때 저항이 낮은 영역과는 다르게 가해진 전압에 대한 회로 반응시간 즉, 안정화 시간이 exponential로 변하므로 어떤 시간에서 null 시간을 잡느냐에 따라 수십 배의 오차 폭을 가진다. 그래서, 이 부분을 GUI(Graphical User Interface) 언어인 HP VEE로 PID tuning routine을 작성하여[4] 자동으로 null 점을 찾아가도록 하였으며 수동과 자동에 의한 고저항 측정결과는 표 1에 나타나 있다. 이 표에서 보듯이 자동과 수동의 큰 차이점은 type A 표준불확도에서 null 점을 자동제어한 결과가 훨씬 적게 나타나고 있으며 type B 표준불확도는 비슷하게 나타났다.

2.2 러시아 및 중국의 고저항 측정시스템

1) 러시아 국립표준연구소(VNIIM)의 측정시스템
이 시스템은 전형적인 휘스톤 브리지이지만 회로 전체의 누설저항 영향을 막기위하여 중요한 연결부위는 모두 절연저항이 아주 높은 호박(amber)으로 하고 나머지는 차폐상자 안에 넣은 형태이며 고저항 헤이몬 전달표준기(Hamon Transfer Standards)를 사용하여 항상 1 : 1의 비율에서 비교측정을 하는 체계를 갖고 있다. 이 시스템에 의한 VNIIM의 측정결과는 표 1에 나타나 있다.

2) 중국 표준연구소(NIM)의 측정시스템
이 시스템은 BVD(Binary Voltage Divider)를 이용한 전위차계식 브리지(potentiometric bridge)로서[5] 상용의 장비(Measurement International 회사의 6000B)를 사용하고 있으며 측정결과는 표 1에 나타나 있다.

2.3 세 표준기관의 측정결과 비교

측정방법은 안정도가 약 1 ppm/년이고 저항의 온도계수가 20 °C에서 각각 6.1 ppm/°C, 4.2 ppm/°C인 10 MΩ과 1 GΩ 고저항 표준기를 세 기관의 측정 담당자가 직접 들고 운반하여 앞에서 언급한 바와 같이 서로 다른 측정시스템으로 비교측정한 것이며 다음 표 1은 그 측정결과를 나타낸 것이다.

이 표에서와 같이 수동 및 자동측정한 값과 다른 두 기관에서 측정한 값의 차이는 두 표준저항 모두 6 ppm 이내임을 알 수 있다. 현재 진행 중인 고저항 Key Comparison에 사용되는 이동용 고저항 표준기의 불확도가 10 MΩ은 10 ppm 이하, 1 GΩ은 100 ppm 이하임을 감안하면 좋은 일치도를 보이고 있으며 이 표에 보인 측정불확도이내에서 KRISS 고저항 측정시스템의 성능이 유지됨을 확인할 수 있었다. 또한, 지금까지의 여러 상용 고저항 표준기와 측정시스템의 수준이 수십 ppm임을 고려하면 이 측정결과로부터 향후 대외 고저항 표준기들에 대하여 보다 정확한 교정을 할 수 있게 되었다. 그런데, 한 가지 문제점은 위의 세기관 사이에 사용된 이동용 고저항 표준기는 러시아 제품으로서 저항의 두 단자 사이의 절연이 호박(molten amber)으로 되어 있어 그 재료의 절연저항이 10¹⁶ Ω 이상이 되어 우리가 목표로 하고 있는 1 GΩ에 대하여 1 ppm 정도 이상의 오차를 가지므로 단자 사이에 생기는 누설저항의 염려가 없으나 Key Comparison용 고저항 표준기는 단자 절연저항이 호박보다 훨씬 떨어질 것으로 예상되므로 단자 사이의 누설저항에 의한 오차가 수십 ppm

정도가 될 것이다. 이럴 경우 세 기관에서 사용하고 있는 shielding 이외에 active guard potential이 별도로 필요하게 된다. 즉, guard 이론에 따라 고저항 표준기의 두 금속단자의 Hi쪽에 걸리는 전압과 같은 전압(active guard potential)을 절연재료(별도로 제 3의 단자가 절연재료의 한 부분에 설치 되어 있음)에 가하므로서 두 단자 사이에 흐르는 누설전류를 없애는 방법이며 바꾸어 이야기 하면 유효 절연저항을 더욱 높이는 방법이 된다. 이렇게 하면 수 ppm 이내의 오차로 1 GΩ

	Metrology Institute	10 MΩ	1 GΩ
Measured value	KRISS	9.999 61 (manual)	1.000 034 (manual)
		9.999 65 (automatic)	1.000 033 (automatic)
	VNIIM	9.999 67	1.000 035
	NIM	9.999 66	1.000 038
Type A standard uncertainty	KRISS	3	20
		1	0.5
	VNIIM	0.5	2
Type B standard uncertainty	KRISS	7.9	11.3
		3.7	7.6
	VNIIM	1.5	4
Combined standard uncertainty	KRISS	2.4	7.4
		8.5	23
	VNIIM	3.9	7.6
Expanded uncertainty (k=2)	KRISS	1.6	4.5
		2.4	7.5
	NIM	4.8	15

Table 1 Comparison results among KRISS, VNIIM and NIM for 10 MΩ/1 GΩ resistors 을 측정할 수 있게 된다.

3. 결 론

곧 발표되는 국가표준기관 사이의 교정성적서에 대한 상호인정협약의 기술적 근거자료로서 결정적 역할을 하게되는 핵심표준 국제비교(Key Comparison)에 대비하여 국제적 수준의 고저항 측정시스템을 확립하기 위하여 자체적으로 고저항 자동 측정시스템을 개발하게 되었으며, 객관적인 성능평가를 위하여 10 MΩ과 1 GΩ에 대하여 러시아 및 중국과 국제비교를 실시하였다. 그 결과 두 저항범위 모두에 대하여 세 기관 사이의 측정값의 일치도는 6 ppm 이내였으며, 이 차이값은 세 기관의 총 불확도 이내에 있으므로 이 범위에서 KRISS 고저항 측정시스템은 15 ppm 정도 이내의 총 불확도를 가지고 있음이 확인되었다. 향후 그 불확도 요인의 가장 큰 요소인 ratio accuracy 와 linearity에 대하여 현재 시스템에 사용되고 있는 두 전압원의 안정도와 정확도를 더 자세하게 분석하여 그 오차를 더욱 줄이고, 고저항

표준기 자체의 절연문제 뿐 아니라 측정회로 전체에 대한 active guard potential을 사용하여 전체 시스템 불확도를 더욱 줄일 계획이다.

(참 고 문 헌)

- [1] CIPM, "Mutual Recognition of National Measurement Standards and Calibration Certificates Issued by National Metrology Institutes", 1998.2
- [2] Dean G. Jarett, "Automated Guarded Bridge for Calibration of Multimegohm Standard Resistors from 10 M Ω to 1 T Ω ", IEEE I.M., Vol.46, No. 2, pp. 325-328, April 1997
- [3] Lesley C A Henderson, "A new technique for the automatic measurement of high value resistors", J. Phys. E:Sci. Instrum., 20, pp. 492-495, 1987
- [4] 류계천, 강전홍, 유권상, 유광민, "고저항 정밀측정용 자동화 시스템의 제작", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1999
- [5] Andrew F. Dunn, "Measurement of Resistance Ratios in the Range to 100 Megohms", IEEE I.M., Vol. 40, No. 2, 278-280, April 1991