

Power Standard System for the Calibration and Test of Precision Power Meters

朴榮泰* · 柳勸相** · 劉玗民*** · 張錫明§
 (Young-Tae Park · Kwon-Sang Ryu · Kwang-Min Yu · Seok-Myeong Jang)

Abstract - The power comparison techniques have implemented power measurements, in which a power comparator is used to balance ac power against a dc power obtained from known values. The developed power standard system using the comparison techniques consists of dc sources, ac source, control switches, resistive voltage dividers, resistive shunts and a power comparator. The total uncertainty of the power standard system was proved by analysis of the component instruments. Its expanded(k=2) uncertainty is evaluated to be less than 30 uW/VA at unit power factor and 42 uW/VA at power factor 0.5

Key Words : Power comparison technique, Resistive voltage dividers, Power standard, Expanded uncertainty, Power comparator, Resistive shuntsthermo-elements, Thermal converter, Wattmeter, instrument, Measurement

1. 서 론

정밀급 전력계, 전자식 전력량계와 같은 전기 에너지를 측정하는 기기는 주기적으로 높은 등급의 정확도를 가진 기기와 상호비교를 통하여 그 특성을 평가받는다. 이때 사용되는 높은 등급의 정확도를 가진 기기를 기준장치 혹은 표준기라고 하는데, 장치를 구성하는 방법과 측정기술에 따라 정확도의 차가 있다. 현재 대부분의 전력표준기는 전기의 양을 열로 변환시켜 다시 전기량으로 변환하여 교류와 직류를 비교하는 측정방법을 사용하고 있다[1][2][3][4]. 교류전력의 값은 교류전압, 교류전류 그리고 교류전압과 전류 사이의 위상 관계로 이루어져있으며 100 W의 전력 값은 $[100 V \cdot 1 A \cdot \cos 0^\circ]$, $[50 V \cdot 4 A \cdot \cos 60^\circ]$ 와 같이 각각 다른 조건의 전기량으로 동일한 전력 값을 가질 수 있다. 이와 같이 전력을 측정하는 전력계는 항상 다른 전기적 조건에서 동작되고 있으며 각각의 조건에서의 정확도는 모두 다르다. 따라서 전력계의 출력신호는 전압, 전류, 전압과 전류 사이의 위상과 같은 각각의 전기량 측정결과에 의해 상당한 영향을 받는다.

교류는 직류와 달리 방향과 극성이 시간에 따라 변하기 때문에 교류의 값을 정확하게 측정하기는 쉽지 않다. 그러나 직류의 경우 시간에 따라 극성이 변하지 않고 일정하기 때문에 정밀하게 측정하거나 정확도 높은 직류원(dc source)

을 실현시키기는 용이하다. 교류를 정확하게 측정하기 위하여 정확도 높은 직류와 비교한 값을 통하여 이루어질 수 있다. 전력측정의 경우 측정하려고 하는 교류전력 값은 알고 있는 직류전력 값과 비교를 통하여 측정되어질 수 있는데 이러한 비교는 전력비교기를 통하여 실현할 수 있다. 교류와 직류를 비교하는 비교기는 흐르는 전류를 열로 변환하여 기전력을 얻는 열전소자인 열전형 변환기(thermal converter)를 기본으로 하고 있으며 직류신호와 교류신호의 비교 시에 나타나는 직류/교류변환오차의 정도에 따라 비교기의 성능이 결정된다. 일반적으로 전력의 단위인 와트[W]를 유지하고 보급하는 전력표준시스템은 전력비교기를 핵심으로 많은 측정기기들로 구성된다. 본 연구에서는 전력의 표준을 유지하고 정확도 높은 교정용 표준기를 교정하기 위하여 국가전력표준 장치를 개발하였다. 또 이 시스템은 앞으로 시행될 국가 간의 전력표준 국제비교에 참가하고 국제상호 전력표준의 인정을 위한 기준시스템으로 활용된다. 이 시스템의 핵심이 되는 열전형 전력비교기는 2년에 걸쳐 먼저 개발되었으며 호주와 러시아의 표준기관인 NML(호주측정표준기관)과 VNIIM(러시아측정표준기관)의 표준기와 상호 비교를 통하여 평가되었다[5]. 또 이 시스템은 직류전압원, 직류전류원, 교류전압과 전류, 그리고 위상을 임의로 조정할 수 있는 전력원, 측정전류를 저전압으로 변환시키는 분로저항, 측정전압을 저전압으로 변환시키는 분압기 그리고 많은 멀티미터들로 구성되는데 구성 기기들의 자세한 불확도의 분석과 함께 특성을 평가한 내용을 기술하고 전력표준시스템의 종합적인 불확도를 평가하였다. 이 시스템의 전압 측정 범위는 60, 120, 240 V 이고 전류측정범위는 0.1, 0.5, 1, 5 A 수준의 측정 능력 범위를 가진다. 이 전력표준시스템을 사용하여 현재 국내외에 사용되고 있는 0.01 % 보다 우수한 전력계 교정에 사용하고 있다. 시간에 따라 변하는 AC 전기량을 정밀하게 측정하는 방법은 크게 기계식 방법

* 正會員 : 韓國標準科學研究院 電磁氣標準部 博士
 ** 正會員 : 韓國標準科學研究院 電磁氣標準部 博士
 *** 正會員 : 韓國標準科學研究院 電磁氣標準部 · 研究員
 § 正會員 : 忠南大學校工大 電氣工學科教授 · 博士
 接受日字 : 2002年 8月 7日
 最終完了 : 2002年 9月 10日

과 전자식 방법이 있지만 근래에는 대부분 전자식으로 바뀌어가고 있다. 기계식과 달리 전자식은 전자소자의 발달로 연산이 가능하며 간단하고 여러 기능을 동시에 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다.

전자식일 경우라도 사용하는 전자소자의 종류에 따라 정확도, 측정범위, 기능 등이 다르다. A/D변환기는 고속화와 분해능의 개선으로 AC 전기량의 측정에 많이 활용되고 있다. 그러나 아직까지 전기량 측정의 정확도와 기기의 성능과는 미흡한 점이 있다.

AC 전기량을 정밀 정확하게 측정하기 위하여 교류를 열기전력으로 변환하는 기능을 가진 서미스터와 같은 열전형 변환기(Thermal converter)를 사용한다. 열전형 변환기를 사용하여 제작한 AC 전기량 측정기는 대부분 고정도의 성능을 가진 전력계를 교정해주는 표준기급 전력계로 사용한다 [1-4]. 그런데 열전형 변환기를 이용하여 전압, 전류, 전력, 역률 등을 측정할 경우 제작이 까다롭고 열전형 변환기의 특성을 보상에 주어야하는 기술적인 어려움이 있다. 그리고 측정 주파수가 전원 주파수로 한정되어 있는 단점을 가지고 있다[5].

2. 교류전력 측정

2.1 열전형 전력비교기를 이용한 교류전력과 직류전력의 비교

2.1.1 열전형 전력비교기

열 전달 소자로 사용되는 열전형 변환기는 교류를 측정하기 위한 소자로 활용되며 히터와 열전대로 구성되어 있다. 그림 1에 구조와 동작 원리를 나타내었다. 열전형 변환기의 입력에 전류를 공급하면 고 저항선으로 구성된 히터에서 열이 발생된다. 히터에 발생된 열은 히터 중간 지점에 전기적 절연을 유지하면서 부착된 열전대에 열기전력을 발생시킨다. 이 발생된 기전력을 그림 1(a)와 같이 연결하여 전압계로 측정하면 그림 1(b)와 같은 전기적 출력 특성을 나타낸다.

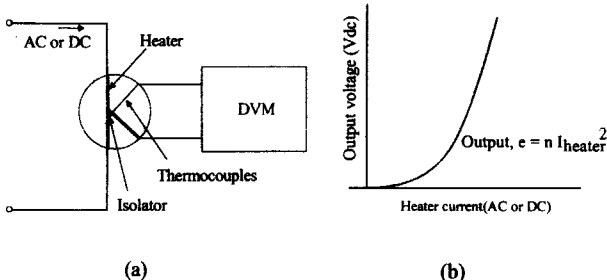


그림 1 열전형변환기의 구조와 출력 (a) 구조, (b) 출력
 Fig. 1 Construction and output of thermal converter
 (a) Construction, (b) Output

열전형 변환기 출력 e 는 식(1)과 같이 나타낸다.

$$e = n I_{heater}^2 \quad (1)$$

여기서 n 은 열전형 변환기의 열 변환 상수이고 I_{heater} 는 히터에 흐르는 전류를 나타낸다. 따라서 열전형 변환기의 출력은 히터 전류의 제곱에 비례하는 특성을 가지고 있다.

한 개의 열전대를 이용하는 단일접합 열전형 변환기는 많은 수의 열전대를 사용하는 다중접합 열전형 변환기에 비해 출력 열기전력이 작고 열 전달 오차가 크기 때문에 본 연구에서는 러시아에서 제작된 TEM-8 다중접합 열전형 변환기를 사용하여 전력비교기를 제작하였다.

열전형 변환기를 사용한 전력비교는 기본적인 수학법칙을 이용한 원리를 적용한다. 수학적으로 두 변수의 곱은 각 변수의 합과 차에 각각 자승한 항으로 나누어 나타낼 수 있으며 두 변수를 전기적 신호인 전압과 전류의 값으로 실현시켜 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$U_u \cdot U_i = \frac{1}{4} [(U_u + U_i)^2 - (U_u - U_i)^2] \quad (2)$$

여기서 U_u 는 분압기를 통하여 변환된 신호전압, U_i 는 섀트지항에 의하여 변환된 신호전류를 각각 나타낸다. 식(2)에서 나타낸 바와 같이 전력으로 표현되는 두 신호의 승산인 $U_u \cdot U_i = \Delta E = p$ 는 열전형 변환기를 이용하여 전력 값으로 나타나는데 원리는 그림 2와 같다.

식(2)의 첫째 항은 U_u 와 U_i 신호를 가산회로(Sum. Amp) A1에서 합하여 TC1의 열전형 변환기에 공급함으로써 $(U_u + U_i)^2$ 가 실현되고 두 번째 항은 U_u 와 U_i 신호를 감산회로(Diff. Amp) A2에서 감하여 TC2의 열전형 변환기에 공급함으로써 $(U_u - U_i)^2$ 를 실현한다. 그리고 두 개의 열전형 변환기 출력 극성을 서로 반대로 연결함으로써 첫째 항에서 둘째 항의 값을 감하는 값으로 된다. 이렇게 하여 얻어진 증폭기 A3의 출력 $\Delta E = U_u \cdot U_i = p$ 로 나타나는 전력 값으로 표현된다.

그림 2에 나타낸 열전형 변환기를 이용하여 전력을 식(2)에 따라 직접 측정할 수 있으나, 교류전력을 0.002% 정확도보다 더 우수한 값으로 측정하기 위하여 교류전력과 직류전력을 비교하는 방법을 사용하여야 한다. 즉 입력전압과 전류의 신호인 교류전력을 측정하고 다시 기준이 되는 직류전력을 측정하여 비교하는데 이러한 기능을 가진 비교장치를 전력비교기(power comparator)라고 한다.

2.1.2 교류전력과 직류전력의 비교

열전형 변환기에 의한 교류/직류전력의 비교 측정은 교류전력의 양을 기준 직류전력의 양과 비교하여 얻을 수 있는 열 기전력 변환 방법을 사용하는데 이렇게 교류전력과 직류전력을 비교하는 전력비교기는 전력 비교 계측 시스템에서 가장 핵심이 되는 장치이다.

평균 전력 p 를 직류전력 p_{dc} 와 교류전력 p_{ac} 로 구분하

여 나타내면 교류전력 p_{ac} 는 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$p_{ac} = v_{ac} i_{ac} \cos \varphi \quad (3)$$

여기서 v_{ac}, i_{ac} 는 각각 교류전압과 교류전류를 나타낸다. 교류전력과 마찬가지로 직류전력 p_{dc} 도 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{dc} = v_{dc} i_{dc} \quad (4)$$

여기서 v_{dc}, i_{dc} 는 각각 직류전압과 직류전류를 나타낸다. 이때 식(3)과 식(4)는 전력비교기를 사용하여 식(5)와 같은 관계를 가지게 할 때, 직류전력 p_{dc} 로 부터 교류전력 p_{ac} 의 값을 알 수 있다.

$$p_{ac} = u_{ac} i_{ac} \cos \varphi = u_{dc} i_{dc} = p_{dc} \quad (5)$$

교류전력을 정밀하게 측정하기 위해서는 기준이 되는 직류전력과 비교 측정을 통하여 이루어질 수 있다. 직류전력은 항상 정확하게 값을 알 수 있으며 실현하기 쉽기 때문이다. 따라서 교류전력을 직류전력과 비교 측정할 수 있는 전력비교기가 필요하며 열전형 변환기를 이용한 비교기가 현재까지 가장 측정 정확도가 우수하다. 그런데 전력비교기에 사용되는 열전형 변환기의 출력은 공급되는 신호가 직류일 때나 교류일 때 모두 직류 전압으로 나타난다. 만약 이상적인 구조와 특성을 가진 열전형 변환기에 공급되는 신호가 직류일 때 열전형 변환기의 출력을 ΔE_{dc} 라고 하고 직류의 양과 동일한 교류일 때 출력을 ΔE_{ac} 라고 한다면 열전형 변환기의 출력은 입력이 직류일 때나 교류일 때 모두 동일한 값을 가진다. 즉, $\Delta E_{dc} = \Delta E_{ac} = \Delta E$ 로 나타낼 수 있다. 그러나 구조적인 문제, 전압과 전류 사이의 위상 반응의 차이에 의해 두 신호에 따라서 반응하는 결과는 동일하지 못하다. 따라서 식(5)을 다시 쓰면 다음과 같이 된다.

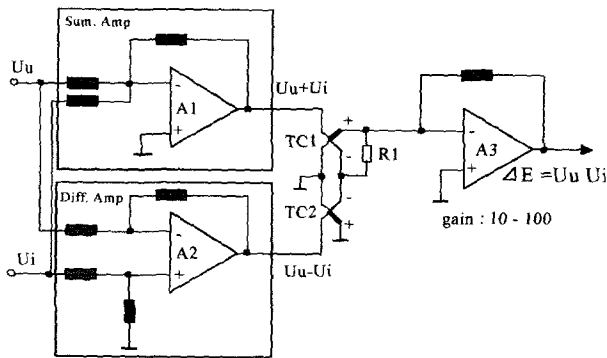


그림 2 열전형 변환기를 이용한 전력측정 원리
Fig. 2 Principle of power measurement using thermal converter

$$p_{ac} = p_{dc} \pm \gamma_{ac/dc} \quad (6)$$

여기서 $\gamma_{ac/dc}$ 는 열전형 변환기가 가지는 교류/직류 변환 오차 특성을 나타내는데 특성이 이상적이라면 $\gamma_{ac/dc} = 0$ 가 된다. 따라서 측정하고자 하는 교류전력은 전력비교기를 통하여 비교기의 출력이 0이 될 때까지 직류전력을 조절하여 공급함으로써 측정되어진다. 즉 전력비교기의 출력이 0이 될 때 공급되고 있는 직류전력 값이 측정하고자 하는 등가의 교류전력의 값이 된다.

2.2. 기준기용 전력표준장치

제작된 전력비교기를 중심으로 제작한 전력표준장치의 기본회로를 그림 3에 나타내었다. 전력표준장치는 직류원, 컨트롤스위치, 저항분압기, 분로저항, 그리고 전력비교기로 구성된다. 직류전압원 Vdc는 저항분압기 VD를 거쳐 전력비교기의 전압입력단 Vac에 연결된다. VD는 기준전압 Vu(약 1 V)로 낮추며 이 전압은 매우 정밀한 디지털전압계 DVM(Vo)와 Kelvin Varley Divider(VDo)에 의하여 측정되어진다. DVM(Vo)의 측정 결과는 교류/직류전력비교 측정의 불확도에 결정적인 역할을 한다.

직류전압원에 의하여 컨트롤되는 직류전류원 Idc는 전력비교기의 입력전류단 Iac에 연결된다. 이 전류는 기준분로저항 Ro 양단에 전압을 발생시키고, Iac/dc 스위치를 통해 분로저항 SH에서 전압 Vi로 변환되어 전력비교기의 입력전류단에 연결된다. DVM(Vio)의 측정 값 또한 전력측정 불확도 결정에 결정적인 역할을 한다. 따라서 디지털전압계, Kelvin Varley Divider(VDo), 기준분로저항 Ro들은 계속적인 교정에 의하여 자체의 불확도 평가가 이루어져야한다. 높은 정확도를 얻기 위하여 전력측정 과정사이에 제너표준기의 출력에 전압계들을 연결하여 그 특성을 항상 확인하여야한다.

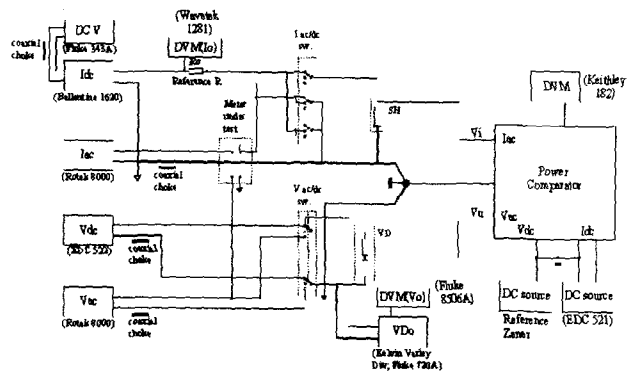


그림 3 전력표준시스템의 다이어그램
Fig. 3 Circuit-diagram of the power standard system

전력비교기(P.Com)는 식(6)에 따라 직류/교류가 비교되며, 출력이 교류전력과 직류전력이 동일한 값이 되었을 경우 DVM(Vo)에 의하여 읽혀진 직류전압 Vo와 DVM(Vio)에 의

하여 입력된 직류전류 I_0 는 교류전력원의 출력전압과 출력전류단에서 입력된 교류전력 p_{ac} 의 값과 같다. 왜냐하면 직류전압 V_0 와 직류전류 I_0 는 직류전력 p_{dc} 을 결정할 수 있는 표준직류전압과 표준직류전류에 의하여 고정되어 있어서 정확하게 값을 알고 있기 때문이다. 따라서 직류전력 p_{dc} 는 식(8)과 같이 표현되어 직류전력으로부터 교류전력의 값을 계산으로 나타낼 수 있다.

$$p_{dc} = \frac{\text{DVM}(V_{io})\text{의 측정 값[V]}}{R_o\text{의 명목저항}[\Omega]} \times \frac{\text{DVM}(V_o)\text{의 측정 값[V]}}{V_{Do}\text{의 분압율}} \quad (7)$$

어떤 교류전력이 공급되고 있을 때, 혹은 전력계를 그림 3의 "Meter under test"에 연결하여 고정할 경우의 예를 들면 교류전류 I_{ac} , 교류전압 V_{ac} 에 각각 1 A, 120 V를 공급하고 전력비교기의 출력 DVM으로부터 10.000 mV의 값을 얻었다고 하면, 절환 스위치 I_{ac}/dc sw, V_{ac}/dc sw 들을 사용하여 직류전류 I_{dc} (약 5 A), 직류전압 V_{dc} (120 V)를 그림에 나타낸바와 같이 공급한다. 이때 전력비교기의 출력이 교류전압, 전류를 공급했을 때의 값과 동일하게 측정되도록 직류원들을 조절한다. 여기서는 직류전류 I_{dc} 를 조절한다. 전력비교기의 출력이 교류와 직류가 공급되었을 때의 값과 같이 되었을 때 식(8)을 이용하여 교류전력 값을 계산할 수 있다. R_o 의 명목저항 값은 0.200008 Ω , $\text{DVM}(V_{io})$ 의 측정 값은 0.200011 V, $\text{DVM}(V_o)$ 의 측정 값은 0.999994 V, V_{Do} 의 분압율은 0.00833333이므로 직류전력, $p_{dc}=120.0016$ [W]가 된다. 따라서 직류전력은 교류전력과 같으므로 교류전력도 120.0016 [W]가 된다. 전력비교기의 다른 입력단 V_{dc} 와 I_{dc} 는 역률이 1 보다 작은 전력을 측정할 때 사용된다.

저항 분압기와 분로저항은 명목전압(nominal voltage)과 전류를 1 V 신호로 변환해 주는 소자로 각각 사용된다. 저항분압기 VD는 10 k Ω 정밀급 메탈필름저항(1 W, 0.01% Vishay)12개를 직렬로 연결하고 13번째의 마지막 저항 500 Ω 과 조절저항을 사용하여 입력 240 V 일 때 저항 분압기의 출력이 1 V되게 하였다. 입력전압 120 V일 경우 직렬로 연결된 10 k Ω 저항 7번째 단자에 연결하여 공급하면 저항 분압기의 출력이 1 V가 된다. 따라서 저항분압기의 분압율은 1/120, 1/240으로 각각 변환되게 하였다.

전력측정에서 가장 민감한 소자 중의 하나는 분로 저항이다. 넓은 주파수 범위에 걸쳐 위상변화가 매우 적은 특성을 가지도록 설계하는 것이 중요하다. 분로의 성능은 전력표준시스템의 불확도에 큰 영향을 미친다. 현재 본 연구에서는 0.2 Ω 의 값을 가지며 공급전류 5 A에 대해 1 V의 값을 가지도록 하였다. 가장 많이 사용되는 정밀 분로저항은 동축형(coaxial type)으로 넓은 대역에 우수한 특성을 보인다. 여기에서는 인덕티브 효과를 줄일 수 있는 형태의 분로저항을 제작하여 특성을 시험하고 시스템에 사용하였다. 이 분로는 다람쥐 쳇바퀴형(squirrel-cage type)의 구조로 동근 구리판 사이에 절연이된 회로인쇄기판을 사용하였다. 두 동근 판을 마주 보게 하고 그 사이에 정밀 메탈필름 저항 50개(10 Ω , 1 W, 0.1 %)를 병렬로 연결하였다. 분로에 사용되어진 저항들은 ± 0.6 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 의 온도계수를 가지고 있다.

3. 전력표준시스템의 불확도 평가

저항분압기 VD에 2 mA의 전류를 흘리면 각 10 k Ω 저항들에서 소모되는 전력은 40 mW를 넘지 않는다. 개당 1 W의 허용 전력을 가지고 있는 저항의 경우 25배가 넘는 허용전력을 가지고 있으므로 자기가열에 의한 불확도는 무시할 수 있다. 온도에 대한 불확도는 20~30 $^{\circ}\text{C}$ 범위에서 VD의 온도계수를 분산하는 방법에 따라 결정된다. VD의 진폭과 위상오차는 Sullivan F9200 precision inductive voltage divider와 비교하여 측정하였다. 위상의 상대표준불확도는 4.1 μrad 보다 좋았고 진폭의 상대표준불확도는 1.7 $\mu\text{V}/\text{V}$ 보다 우수하였다.

분로저항의 위상손실은 53 Hz에서 수행되었으며 호주의 표준기관인 NML(호주측정표준기관)에서 유지하고 있는 제로 역률표준기와 비교하였다. 제작된 분로저항 SH와 R_o 의 위상손실은 2.9 μrad 의 특성을 나타내었다. 직류모드에서 분로저항의 불확도는 2.9 $\mu\Omega/\Omega$ 로 나타났다. 분로저항 변화는 연속 5 A 전류를 공급한 상태에서 4시간 동안 측정된 결과 1.5 $\mu\Omega/\Omega$ 변화 특성을 가졌다. 이러한 결과는 저항 각각의 온도계수가 매우 낮고 전력소비에 대한 열적 용량이 큰 것을 사용함으로써 이룰 수 있었다. 또 분로저항의 교류/직류 오차는 1 kHz 까지 1 ppm의 특성을 가지는 것으로 평가되었다. 시스템에 사용되는 DVM과 Kelvin Varley Divider (VDo) 등은 고정 성적서에 주어진 불확도로 평가하였다. 전력비교기의 불확도는 역률 1일 때 11.6 $\mu\text{W}/\text{VA}$ ($k=1$), 역률 0.5일 때 18.5 $\mu\text{W}/\text{VA}$ ($k=1$)의 특성을 나타내었으며 반복측정에 의한 불확도는 2.9 $\mu\text{W}/\text{VA}$ 의 특성을 나타내었다. 따라서 정밀 전력계의 교정과 시험을 위한 기준시스템으로 사용되는 전력표준시스템의 전체 확장불확도($k=2$)는 역률 1일 때 30 $\mu\text{W}/\text{VA}$, 역률 0.5일 때 42 $\mu\text{W}/\text{VA}$ 로 평가되었다. 그림 4는 제작된 전력표준시스템의 전체를 나타내었으며 표 1은 전력표준시스템을 구성하고 있는 각각의 기기들에 대한 불확도를 분석한 총괄표를 나타내었다.



그림 4 전력표준시스템

Fig. 4 Configuration of the power standard system

표 1 전력표준장치의 불확도 분석표

Table 1 An analysis table of uncertainty of the power standard system

번호	구성요소	불확도(Uncertainty)	불확도 유형	비고
측정요소				
1	DVM (Vio)	2.9 ($\mu\text{V}/\text{V}$)	B	Range:1.000000 V
2	DVM (Vo)	2.9 ($\mu\text{V}/\text{V}$)	B	Range:1.000000 V
3	Reference Resistor (Ro)	2.9 ($\mu\Omega/\Omega$)	B	
4	Reference Voltage Divider, VDo	0.6×10^{-6}	B	Coefficient : 0.0083333
5	Magnitude of Voltage Divider, VD	1.7 ($\mu\text{V}/\text{V}$)	B	
6	Phase Angle of Voltage Divider, VD	4.1 ($\mu\text{ rad}$)	B	
7	Frequency of Voltage Divider, VD	1×10^{-6}	B	
8	DC Ratio of Current Shunt, SH	2.9 ($\mu\Omega/\Omega$)	B	
9	Shunt stability per 4 hour, SH	1.5 ($\mu\Omega/\Omega$)	B	
10	Phase Angle of Current Shunt, SH	2.9 ($\mu\text{ rad}$)	B	
11	Frequency of Current Shunt, SH	1×10^{-6}	B	
12	AC/DC Difference of Power Comparator, PF=1	<11.6 ($\mu\text{W}/\text{VA}$)	B	
13	" , PF=0.5	<18.5 ($\mu\text{W}/\text{VA}$)	B	
14	DC Indicator of Power Comparator (DVM)	2.9 ($\mu\text{V}/\text{V}$)	B	
15	Repeatability of Power Comparator	2.9 ($\mu\text{W}/\text{VA}$)	A	
합성표준불확도(Combined standard uncertainty)		15 ($\mu\text{W}/\text{VA}$)		PF=1
		21 ($\mu\text{W}/\text{VA}$)		PF=0.5
확장불확도(Expanded uncertainty, k=2)		30 ($\mu\text{W}/\text{VA}$)		PF=1
		42 ($\mu\text{W}/\text{VA}$)		PF=0.5

4. 결 론

참 고 문 헌

전력의 단위[W]를 실현하고 단위로부터 소급된 표준을 유지하며, 각 국가가 유지하는 표준 값과 국제상호비교를 위하여 국가 전력표준시스템을 새롭게 개발하였다. 이 시스템은 국제적인 상호인정과 정확도 높은 교정용 표준기를 교정하는데 활용하고자한다. 시스템을 구성하고 있는 기기들의 특성과 불확도를 자세히 평가하여 제작된 국가 전력표준시스템의 종합적인 불확도를 결정한 내용을 기술하였다. 따라서 전력의 교정체계를 확립하고 그동안 교정과 평가가 어려웠던 정확도 0.005 %~0.01 % 보다 우수한 특성을 가진 전력계 교정과 보급에 사용하고 있다. 전력표준시스템의 전체 확장불확도(k=2)는 역률 1일 때 30 $\mu\text{W}/\text{VA}$, 역률 0.5일 때 42 $\mu\text{W}/\text{VA}$ 로 평가되었다. 앞으로 전류의 측정범위를 국제 전력비교 범위인 5 A에서 통상 교정 요구가 많은 20 A 수준으로 확장할 예정이다.

[1] E. Z. Shapiro, and I.Budovsky, "Thermal watt-transfer standard", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.44, no. 2, pp. 399-402, 1997

[2] E.Z.Shapiro, Y.T.Park, I.Budovsky, and A.M.Gibbes, "A new power transfer standard, its investigation and intercomparison", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.46, no. 2, pp 412-415, 1995

[3] I. Budovsky, A. M. Gibbes, and D. C. Arthur, "A high-frequency thermal power comparator", CPEM, TH4A, pp. 544-545, Washington DC,1998

[4] S.Svensson, A wattmeter standard for the audio frequency range, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 48, no. 2, pp. 431-433, 1999

[5] I.Budovsky, A.M.Gibbes, E.Z.Shapiro, and Y.T.Park, "International comparison between AC power standard of NML(Australia) and KRIS-VNIIM ac power standard(Korea, Russia), 1995

감사의 글

본 연구는 2002년도 핵심분야 국가표준보급선진화 과제로서 공공기술연구회의 정책연구사업으로 수행된 연구 결과임

저 자 소 개



박 영 태 (朴 榮 泰)

1952년 10월 31일생. 1997년 충남대학교 대학원 전기공학과졸업 박사. 1982년~현재 한국표준과학연구원 전자기표준부 전기자기그룹 책임연구원

Tel : 042-868-5158, Fax : 042-868-5018

E-mail : pyt@kriss.re.kr



유 권 상 (柳 權 相)

1956년 9월 27일생. 2000년 한남대 대학원 물리학과 졸업 박사. 1988년~현재 한국표준과학연구원 전자기표준부 전기자기그룹 선임연구원

Tel : 042-868-5164, Fax : 042-868-5018

E-mail : ryuks@kriss.re.kr

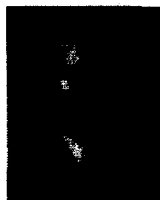


유 광 민 (劉 珣 民)

1960년 9월 29일생. 2002년 충남대 대학원 물리학과 박사과정. 1986년~현재 한국표준과학연구원 전자기표준부 전기자기그룹 선임연구원

Tel : 042-868-5153, Fax : 042-868-5018

E-mail : kmyu@kriss.re.kr



장 석 명 (張 錫 明)

1949년 7월 3일생. 1986년 한양대 대학원 전기공학과졸업 박사. 현재 충남대 공대 전기공학과 교수.

Tel : 042-821-5658