

국가표준 유지용 교류저항 표준기 개발 및 그 특성

김한준*, 유광민*, 강전홍*, 한상옥**
 한국표준과학연구원*, 충남대**

Development and It's Characteristics of AC Resistance Standards for Maintaining National Standard

Han Jun Kim*, Kwang Min Yu*, Jeon Hong Kang*, Sang Ok Han**
 Korea Research Institute of Standards and Science*, ChungNam University**

Abstract - 국가표준을 유지하기 위한 표준기급의 교류저항은 상품화된 것이 외국에서 한 종류 있으나 고정된 기름 항온조에서 유지를 해야 하고, 정전차폐가 어렵고, 교류에서 측정단자의 호환성이 어렵고 가격도 대단히 비싸다. 또한 저항체가 지지대 역할을 하는 원형 보빈에 감겨져 있는 선으로 구성되어서 국제비교시나 혹은 이동교정시에 기계적인 구조의 변화로 저항 값에 영향을 받기가 쉽다. 이러한 단점들을 극복한 교류저항 표준기가 개발이 되었다. 개발된 표준기는 저항체의 기계적 구조에 의한 변화를 막기 위해서 non-inductive 구조의 metal foil element로 제작된 것을 사용하였으며, 각각의 저항체에 개개의 항온조를 채택함으로써 온도의 안정성과 이동의 편리함을 함께 만족되도록 하였다. 제작된 교류저항 표준기의 특성은 온도 안정도가 ± 5 mK/d, 저항값의 안정도가 $\pm 0.01 \mu\Omega/\Omega/d$, 1년간의 장기안정도가 $1 \mu\Omega/\Omega$ 이하로 측정이 되었다. 개발된 교류저항 표준기는 교류저항분야 국가표준유지 및 소급에 사용이 된다.

1. 서 론

지금까지 저항이라고 하면 직. 교류 저항의 구분 없이 직류저항을 지칭하는 것으로 받아들이는 것이 당연시 되어왔다. 그러나 산업의 발달에 따른 정밀측정관련 수요증대에 따라서 저항분야도 이제는 실제 사용되는 주파수 대역에서의 정확한 저항 값이 요구되고 있다^[1]. 이에 부응하여 주파수에 대한 계수가 아주 작도록 설계된 non-inductive type의 부품이 개발되어 사용되고 있고, 이러한 저항부품의 경우는 당연히 직접 사용되는 주파수에서의 교류저항 값으로 측정하여 줄 것을 요구하는 추세에 있다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 한국표준과학연구원에서는 교류저항표준을 확립하였다. 본 연구는 교류저항표준 국가표준확립에 관한 연구 중 유지용 교류저항 개발과, 개발된 표준기들의 특성에 관한 것이다.

2. 유지용 교류저항 개발 및 제작

2.1 설계 및 제작

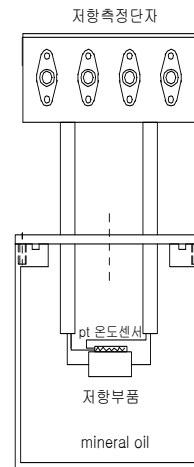
유지용 교류저항 표준기의 제작을 위한 조건은 첫째 교류-직류 저항 값의 차이가 작아야하고, 둘째 온도계수가 매우 우수하여 측정 환경 변화에도 비교적 저항 값의 변화가 작아야하며, 셋째 기계적 충격에 고유의 값이 변화하지 않도록 저항체의 고정정도가 우수해야만 한다. 일반적으로 교류저항 표준이 확립된 외국의 National Measurement Institute (NMI)에서는 유지용 교류저항표준기로서 영국 NPL에서 개발이 되고, Tinsley사에서 상품화 한 교류저항표준기를 기름 항온조 내에서 유지를 한다. 그러나 이 경우는 측정을 항온조가 있는 정해진 한 자리에서만 측정할 수 있어 측정 장소에 제약이 있고, 저항체가 지지대 역할을 하는 원형 보빈에 감겨져 있는 선으로 구성되어서 국제비교시나 혹은 이동교정시에 기계적인 구조의 변화로 저항 값에 영향을 받기가 쉽다.

<표 1> Specification of non-inductive ac resistance elements used for this project.

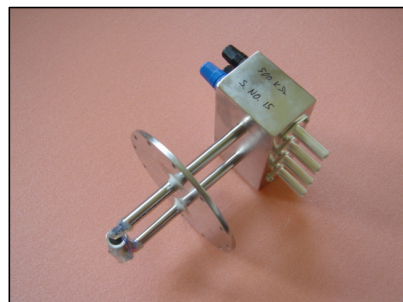
Model	Resistance Range	Standard Resistance Tolerance	Power rating at 25 °C	Construction Brief
VCS232	1 Ω	0.05 %	2 W	4-terminal lead
VHA516-4	10 Ω 100 Ω 1 kΩ 100 kΩ	0.01 % 0.001 % 0.001 % 0.001 %	1.0 W	oil-filled, tinned copper lead, tinned brass cell, kovar and glass end bells,

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하여 저항 element로서는

non-inductive 구조의 metal foil element로 만들어진 Vishay사의 저항을 사용하되 일정한 온도에서 유지를 하기 위하여 소형의 portable 항온조를 각각의 교류저항 표준기마다 설치함으로써 온도유지와 이동성을 함께 만족시키도록 제작하였다. <표 1>은 사용된 저항 element의 특성^[2]을 보인 것이다. <표 1>의 특성을 갖는 non-inductive 저항 element를 스테인리스 원형통내에 <그림 1>에 보인 것처럼 조립을 하였다. 통안에는 광유를 넣어서 온도유지를 하도록 하였고, 내부의 온도를 측정하기 위해서 pt100 온도센서를 저항 element에 부착하였다. 한편 저항측정용 터미널은 4 terminal pair 구조의 BPO connector를 사용하였다.

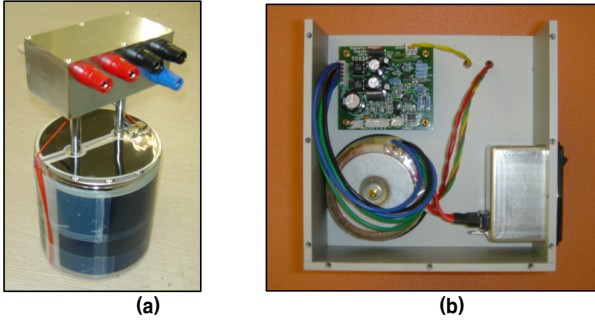


<그림 1> Cross-section view of designed ac resistance standard.

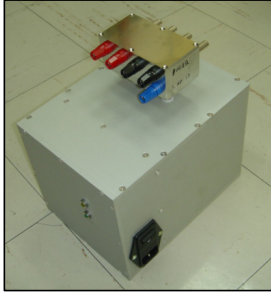


<그림 2> Assembled picture of a resistor element, pt sensor and cover plate with connectors

조립된 교류저항 표준기의 온도를 일정하게 해 주기위해서 온도조절 전자회로를 사용하였으며, 열판은 원형 스테인리스 윗판과 아랫판용 열판은 원형으로, 열면용 열판은 직사각형 모양으로 제작하였다. 3개의 열판을 직렬 연결하여 사용하도록 하였으며, 광유가 자연대류가 되도록 아랫판에서 열이 다른 곳보다 조금 더 나도록 설계하였다. 열판은 전극과 전극사이에 탄소를 print하여 제작한 것으로 print한 탄소의 두께로 저항 값을 조절하였다. <그림 4>는 완성된 유지용 교류저항 표준기를 보았다.



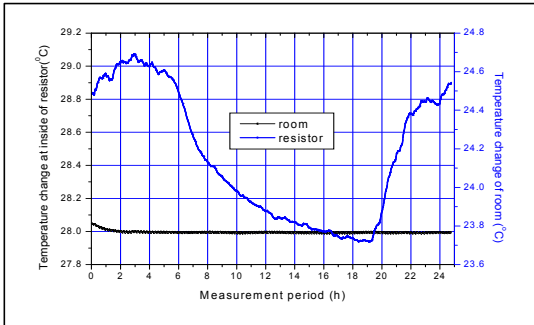
<그림 3> (a) Outside view of ac resistor standard with heater-plate and (b) container attached temperature controlled circuit.



<그림 4> Fabricated ac resistance standard.

2.2 유지용 교류저항 표준기의 특성평가

2.2.1 온도유지 특성

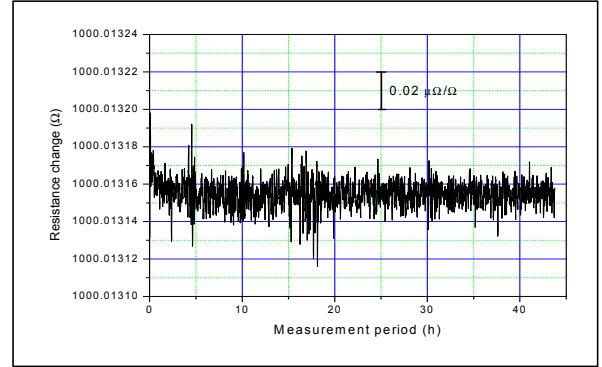


<그림 5> The temperature stability of developed ac resistance standard 1 kΩ.

제작된 교류저항 표준기의 외부온도의 변화에 대한 내부에서의 온도 안정도를 측정하기 위해서 외부온도는 GuildLine 5150 온도계를 직접 사용하였으며, 저항기 내부에서의 온도변화는 저항 element에 부착된 pt100 센서의 저항값을 DMM으로 측정하고 결과를 온도로 변환하는 방법으로 측정을 하였다. 측정된 결과는 LabView 프로그램을 사용하여 자동으로 취합하였으며 그 결과는 <그림 5>에 그렸다. 그래프에서 알 수 있듯이 저항기 내부의 온도변화는 실험실온도에 거의 영향을 받지 않고 단지 온도조절 회로의 능력에만 관계가 되어 1일동안의 온도안정도가 약 ± 5 mK정도로 측정이 되었다. 이것을 저항값의 안정도로 변환해보면 $\pm 0.015 \mu\Omega/\Omega$ 이 된다.

2.2.2 저항값의 안정도

제작된 교류저항 표준기의 실험실 조건에서의 저항값의 안정도를 약 2일에 걸쳐서 연속으로 측정하여 그 변화의 정도를 측정하였다. 측정기는 DCC 브리지를 사용하였다. 직류로 측정을 하여도 안정도를 판단하는 것에는 문제가 없다. 결과는 <그림 6>에서처럼 2일간 약 $\pm 0.01 \mu\Omega/\Omega$ 의 안정도로 유지가 되고 있음을 알 수가 있다. 상기의 결과는 DCC 브리지의 불확도 및 reference 표준기로 사용되는 직류저항 표준기의 안정도 등이 포함된 것이므로 대단히 안정된 결과를 보인 것이고, 제작된 교류저항 표준기는 유지용 표준기로 사용하기에 부족함이 없다고 하겠다.



<그림 6> The resistance stability of developed ac resistance standard 1 kΩ.

2.2.3 교류저항 교정값 및 장기안정도

<표 2> Measurement results of ac resistance standards.

명목값	측정값	측정 전류 (mA)	type A 표준불확도 ($\times 10^{-9}$)	확장불확도 ($k=2$) ($\times 10^{-6}$)
1 Ω	1.000 103 87 Ω	20	21	0.08
10 Ω	10.000 109 Ω	10	2	0.1
100 Ω	99.998 90 Ω	10	9	0.1
1 kΩ	1.000 013 0 kΩ	0.5	12	0.1
100 kΩ	99.998 99 kΩ	20 V	14	0.7
1 MΩ	0.999 999 2 MΩ	30 V	110	0.7

제작후의 교류저항 교정값은 상기한 표2에 보였으며, 불확도는 1 Ω ~ 10 kΩ은 0.1 $\mu\Omega/\Omega$ 로 측정이 되었다. 한편 1년간의 안정도는 1 $\mu\Omega/\Omega$ 이하로 측정이 되어 국가표준을 유지하는 목적으로 쓰기에 충분한 것으로 판단된다.

3. 결 론

교류저항 국가표준이 확립되고 확립된 국가표준을 유지할 수 있는 표준기가 개발이 되었다. 개발된 유지용 표준기는 상품화 된 무유도 저항을 사용하여 제작이 되었으며, 일정한 온도에서 유지하기 위하여 소형의 portable 항온조를 각각의 교류저항 표준기마다 설치함으로써 온도 유지와 이동성을 함께 만족시키도록 하였다. 제작된 표준기의 특성은 1일동안의 온도안정도가 약 ± 5 mK정도로 측정이 되었고, 이것을 저항값의 안정도로 변환해보면 $\pm 0.015 \mu\Omega/\Omega$ 이 된다. 약 2일간의 저항의 안정도는 약 $\pm 0.01 \mu\Omega/\Omega$ 로 유지가 되고 있음이 측정되었다. 이러한 성능이 우수한 교류저항 표준기가 개발됨에 따라 교류저항분야 국가표준 유지 및 보급의 문제를 해결하고 향후 초정밀 저항부품산업 및 국가 간 상호인증제에도 기여할 수가 있으며, 임피던스 측정기기의 교정, 손실 계수, 이득계수, 시정수 측정, 무유도(non inductive) 초정밀 저항 산업 등 교류저항측정 표준이 기반 되는 기술에 적극적으로 사용이 되어 질 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김한준 등, “신수요 대응 측정표준 개발”, 한국표준과학연구원, KRISS/IR-2008-048, P.39, 2008
- [2] Vishay co., “Vishay Foil Resistors Data Book”, 2000A 6-97.