

## 손실계수 표준기 제작 및 그 특성

김한준, 강전홍, 한상옥\*  
한국표준과학연구원, \*충남대학교

### Development and Its Characteristics of a Dissipation Factor Standard

Han Jun Kim, Jeon Hong Kang, Sang Ok Han\*  
KRISS, \*ChungNam Univ.

**Abstract :** A dissipation factor standard of decade type having the range of 1 to 0.0001 at the frequency of 1 kHz and 10 kHz was fabricated using "T" networks combined R and C components. The values of the fabricated dissipation factor standard were adjusted within 1 % of the nominal values at 0.0001 dial range and 0.05 % at the others. This dissipation factor standard is used as a working standard for calibration of a impedance measurement meter at KRISS and as a primary standard of dissipation factor field at NML-SIRIM in Malaysia.

**Key Words :** dissipation factor standard, capacitance, impedance,

### 1. 서 론

임피던스는 전기적 특성에 따라 전기저항(R), 전기용량(C), 인덕턴스(L)로 분류가 되고 자연 상태에서는 아무리 순수의 저항기, 전기용량기, 인덕터로 제작이 되었다하여도 상기 3가지가 복합적으로 나타나게 된다. 따라서 이러한 부품들의 특성을 정확히 알기 위해서는 저항의 경우 저항값과 시정수, 전기용량기의 경우 전기용량값과 손실계수(dissipation factor: D로 표시) 혹은 손실각의 tangent 성분(tan δ), 인덕터의 경우는 인덕턴스와 이득계수(quality factor: Q로 표시)를 함께 측정하여야 한다. 한편 임피던스를 측정하는 기기로는 LCR meter나 아날로그 방식의 브리지를 사용한다. 임피던스를 정확히 측정하기 위해서는 이러한 측정기들이 정확히 교정이 되어야하고 교정을 위해서는 교정용 표준기들이 사용되어야만 한다. 손실계수의 정의는 전기소자에 전류를 흘릴 때 이 소자에 저장되는 에너지 량과 손실되는 에너지 량의 비율로 정의되고 단위는 없다. 즉 소자의 순수 저항성분과 리액턴스성분과의 비로 표시된다. 손실계수 표준기는 필요로 하는 손실계수 값을 저항표준기와 전기용량 표준기를 사용하여 병렬(혹은 직렬)조합으로 만들어 사용하고 있다[1]. 그러나 이 경우 불확도의 계산 및 손실계수를 십진수에 맞추기가 대단히 어려워 일부 선진 국가대표측정기관을 제외한 개도국의 국가대표측정기관과 일반교정기관들은 사용하기에 어려움이 있다. 한편 최근에 개발된 전기용량 측정용 브리지중에는 손실계수교정을 직교류 저항차이의 값이 매우 작은 성능이 우수한 저항표준기를 사용하여 손실계수를 교정함으로써 범위에 따라 차이가 있지만 최고 불확도가 약 10 ppm의 정도로 측정을 할 수가 있다[2][3]. 이러한 브리지를 사용하여 손실계수 표준기에 사용된 부품 개개의 분석을 통한 것이 아니고 R, C를 조합한 T 회로를 사용하여 제작된 손실계수 표준기를 브리지로서 직접 교정하여 사용할 수 있는 십진저항기와 같은 구조의 손실계수

표준기를 제작하였다.

### 2. 이론 및 제작

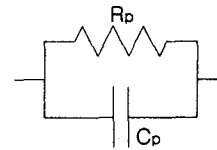


그림 1. R, C의 병렬연결과 손실계수.

그림 1과 같이 저항과 전기용량을 병렬로 연결하면 손실계수(D)는

$$D = \frac{\text{손실되는 에너지}}{\text{저장되는 에너지}} = \frac{1}{\omega R_b C_p} \quad (1)$$

이 된다[4]. 일반적으로 손실계수 표준기에 사용되는 전기용량 표준기는 손실계수 특성이 아주 우수한 공기를 유전체로 한 전기용량기가 사용이 된다. 본 연구에서도 알루미늄판을 전극으로 하여 전기용량기를 제작하여 사용하였다.

식(1)에서 알 수 있는 것과 같이 손실계수가 아주 작은 경우에는 대단히 큰 저항값이 필요하다. 따라서 이 경우에는 그림 2와 같이 3개의 값이 작은 저항을 "T" 회로로 연결하여 큰 저항값으로 만들어서 사용하였다.

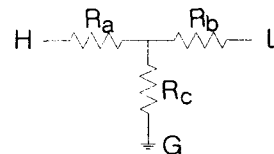


그림 2. 고저항기를 제작하기 위한 "T"회로.

그림 2에서 단자 HL사이에 유도되는 저항값은

$$R_{HL} = \left( R_a + \frac{R_b}{R_c} \right) + R_a + R_b \quad (2)$$

으로 계산이 된다.

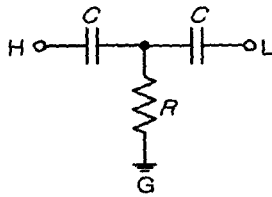


그림 3. CRC wye network for negative loss.

한편 십진 손실계수 표준기에서 전체 다이얼을 0에 맞추었을 때 0이 되어야 한다. 그러나 실제적으로는 작지만 일정값이 나타난다. 따라서 그림 3과 같은 음수의 손실계수가 나타나는 "T"회로를 전기용량기에 병렬로 연결하여 0가 되도록 하였으며 손실계수는 아래 식 (3)과 같이 계산된다.

$$Y_{NL} = \frac{-\omega^2 C^2 R + 2jR^2 \omega^3 C^3}{1 + 4R^2 \omega^2 C^2} \quad (3)$$

그림 4에 4개의 로터리 스위치를 사용하고 상기에서 언급한 알루미늄 전기용량기 및 저항으로 연결된 손실계수 표준기의 전체 회로를 보였다. 표준기에서 손실계수는 0.0001에서 1.0000까지 0.0001의 분해능으로 그 값을 만들어 낼 수가 있다. 다이얼 값에 따른 손실계수의 조절은 초정밀 전기용량 브리지의 측정단자에 제작된 표준기를 연결하여 다이얼 값과 같은 손실계수의 값이 되도록 가변저항을 조절하는 방법으로 하였다.

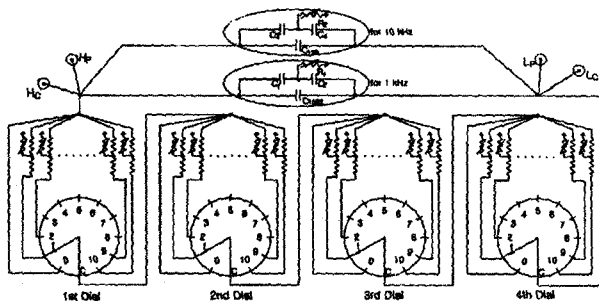


그림 4. 제작된 손실계수 표준기의 전체회로.

### 3. 개발된 손실계수 표준기의 특성

#### 3.1 불확도

각 다이얼 값에서 교정 후 불확도는 표1과 같았다.

표1. 제작된 손실계수의 불확도.

| 손실계수 범위       | 1 kHz 불확도(%) | 10 kHz 불확도(%) |
|---------------|--------------|---------------|
| 0.0001-0.0010 | 0.3-2.9      | 1.7-16.9      |
| 0.0010-0.0100 | 0.04-0.3     | 0.2-1.8       |
| 0.0100-0.1000 | 0.02-0.04    | 0.05-0.2      |
| 0.1000-1.0000 | 0.02         | 0.04-0.05     |

#### 3.2 장기안정도

제작 후 약 1년간의 장기안정도는 그 값에 따라 약간의

차이가 있었으나, 전체적으로 교정불확도의 10 %이내의 값으로 대단히 안정된 특성을 보였다.

#### 3.3 이동에 따른 안정도

제작된 표준기 1대를 국제협력 차원에서 말레이시아 국가대표측정연구소인 NML-SIRIM에 기증하기 위하여 한국에서 말레이시아까지 항공편으로 운송하였다. 운송 후 재교정한 결과는 교정에 사용된 기기의 불확도를 벗어나지 않았으며 전체적으로 같은 정도로 값이 편이가 되어 차이 값이 측정기기에 인한 것임을 알 수가 있었다.

### 4. 결론

본 연구에서는 세계 최초로 십진손실계수 표준기를 설계 개발하고 그 특성을 분석하였다. 개발된 표준기는 명목값에 약 0.05 %정도로 조절이 되었으며, 장기안정도, 이동에 따른 안정도도 대단히 안정하게 나타났다. 개발된 손실계수 표준기는 국가대표측정연구소인 한국표준과학연구원에서 손실계수의 working standard로 이용이 되고 있으며, 말레이시아의 국가대표측정연구소 NML-SIRIM에서는 손실계수분야 표준기로 사용이 되고 있다.

### 참고 문헌

- [1] Eric D. Simmon, Gerald J. FitzPatrick, and Oskars Peterons. "Calibration of Dissipation Factor Standards", IEEE Tans. on Inst. and Meas. Vol. 48, No. 2, pp. 450-452, April, 1999.
- [2] Andeen-Hagering, "AH 2500 1 kHz Capacitance Bridge Manual"
- [3] Andeen-Hagering, "AH 2700 Capacitance Bridge Manual"
- [4] 김한준, 이래덕. "전기용량과 인덕턴스 정밀측정", KRIS/ET-2005-007, KRIS, 2005.