

전류변성기 비교기를 이용한 인덕터의 절대 평가

Absolute Evaluation of Inductor Using Current Transformer Comparator

金潤亨* · 鄭在甲[†] · 韓相吉* · 金漢俊** · 韓相玉***

(Yoon-Hyoung Kim · Jae-Kap Jung · Sang-Gil Han · Han-Jun Kim · Sang-Ok Han)

Abstract - We have developed two absolute evaluation technology of inductor using current transformer (CT) comparator. One is the method that the reactance of inductor is obtained by analysing the equivalent circuit of CT with inductor connected to series at secondary terminal of CT. The other is the method that the reactance of inductor is obtained by comparing phase displacement of current flowing on inductor by using CT comparator. These technologies have the advantage to apply up to rated current and voltage of inductor. The method was applied to inductors under test in the range of 100 μ H ~ 1 H. The inductance of the inductor under test obtained in this study are consistent with those measured by LCR meter using the same inductor within an expanded uncertainty ($k = 2$) in the overall range of inductance.

Key Words : Inductance, Current Transformer, Phase Displacement, Current Comparator, CT Test System

1. 서 론

인덕터는 저항, 커패시터 등과 함께 전기회로를 이루는 중요한 부품 또는 소자의 하나로 전류의 변화량에 비례해 전압을 유도하는 코일이다. 인덕터는 각종 전자제품, 발전회로, 전원회로의 전류저장소 등에서 전류의 급격한 변화를 막고, 전기 잡음을 걸러내는 필터 등으로 사용된다. 현재 인덕터를 측정하는 방법으로는 LCR미터를 이용한 방법과 인덕턴스 브릿지를 이용한 방법이 많이 사용되고 있다. LCR 미터를 이용한 인덕터의 측정은 사용하는 케이블 자체의 리액턴스 성분이 측정값에 영향을 미칠 수 있고, 측정 신호가 전압의 경우 5 mV ~ 2 V, 전류의 경우 100 μ A ~ 20 mA 정도로 작아 인덕터의 정격까지의 전압과 전류를 인가하지 못하는 단점이 있다[1]. 이는 인덕터가 전압이나 전류에 따라 변화하는 즉 전압계수, 전류계수를 가지고 있는 점을 감안하면 정밀측정에 있어서의 한계를 보여주는 것이다. 한편 인덕턴스 브릿지를 이용한 측정 방법은 인덕터의 정밀측정을 위해 표준기와 피측정기를 비교하는 방법으로 표준 인덕터와 같은 정밀한 표준기를 필요로 하기 때문에 측정에 어려움이 있다[2].

본 연구에서는 인덕터의 측정에서 위에 서술한 단점을 극복할 수 있는 두 가지 새로운 기술을 개발하였다. 이 기술은 한국표준과학연구원에서 보유하고 있는 20 kA급 전류변성기 비교측정시스템을 이용하여 피측정 전류변성기의 2차측에

인덕터를 연결하고 전류변성기의 등가회로를 분석해서 인덕터의 리액턴스 성분을 측정하는 기술이고, 다른 하나는 전압 발생원과 전류변성기 비교기를 이용하여 인덕터에 흐르는 전류의 위상을 비교하여 인덕터의 리액턴스 성분을 측정하는 기술이다. 이 기술은 LCR 미터를 이용한 측정으로는 어려운 교류 60 Hz의 전원을 인덕터의 정격까지 인가할 수 있고, 또한 브릿지를 이용한 비교측정에 비해서 상대평가가 아닌 절대평가이기 때문에 표준기가 없이도 인덕터를 평가할 수 있는 절대측정 기술이다. 이 두 가지 기술을 100 μ H ~ 1 H 범위의 인덕터에 적용하였고, 기술의 유효성을 검증하기 위해 측정방법에 따른 불확도를 분석하고 상대오차를 LCR 미터 측정결과와 비교하였다.

2. 인덕터의 절대 측정 원리

2.1 전류변성기 비교측정시스템을 이용한 인덕터의 측정 원리

전류변성기 비교측정시스템을 이용하여 인덕터를 절대측정하기 위해 전류변성기의 2차측에 직렬로 인덕터(Z_L)를 연결한다. 전류변성기의 2차측에 직렬로 인덕터(Z_L)를 연결했을 때 전류변성기의 등가회로는 그림 1과 같고, 각 인자들은 다음과 같다[4, 5].

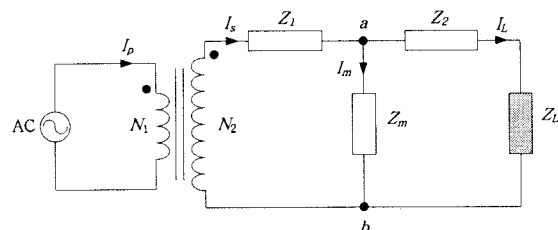


그림 1 전류변성기의 2차측에 인덕터 Z_L 이 있을 때의 등가회로
Fig. 1 Equivalent circuit of a CT with an inductor Z_L at secondary terminal of CT

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國標準科學研究院 責任研究員 · 理博
E-mail: jkjung@kriss.re.kr

* 學生會員 : 忠南大學校 電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 韓國標準科學研究院 責任研究員 · 工博

*** 正會員 : 忠南大學校 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2008年 5月 2日

最終完了 : 2008年 6月 3日

$Z_m = R_m + jX_m$: 여자임피던스(excitation impedance)

$Z_1 = R_1 + jX_1$: 1차 누설임피던스(primary leakage impedance)

$Z_2 = R_2 + jX_2$: 2차 누설임피던스(secondary leakage impedance)

$Z_L = R_L + jX_L$: 인덕터의 임피던스(impedance of inductor)

I_p : 전류변성기의 실제 1차 전류(actual primary current of CT)

I_L : 인덕터에 흐르는 전류변성기의 실제 2차 전류(actual secondary current of CT flowing on inductor)

I_m : 여자전류(exciting current)

N_1 : 1차 권선수(number of primary windings)

N_2 : 2차 권선수(number of secondary windings)

그림 1로부터 전류변성기의 2차측에 연결된 인덕터에 흐르는 전류(I_L)에 대한 1차 전류(I_p)의 복소비를 정리하면 아래와 같다[6].

$$\frac{I_p}{I_L} = N \left(1 + \frac{Z_2 + Z_L}{Z_m} \right) = N(1 - \alpha_L - j\beta_L) \quad (1)$$

식 (1)에서 α_L, β_L 은 전류변성기의 2차측에 인덕터(Z_L)를 직렬로 연결했을 때 각각 전류변성기의 비오차와 위상오차로 다음과 같다.

$$\alpha_L = -\text{Re} \left(\frac{Z_2 + Z_L}{Z_m} \right) \quad (2)$$

$$\beta_L = -\text{Im} \left(\frac{Z_2 + Z_L}{Z_m} \right) \quad (3)$$

전류변성기의 2차측에 연결된 인덕터(Z_L)의 측정을 위해 전류변성기의 2차측 양단에 표준정밀저항 Z_R 을 연결했을 때 전류변성기의 등가회로는 그림 2와 같다.

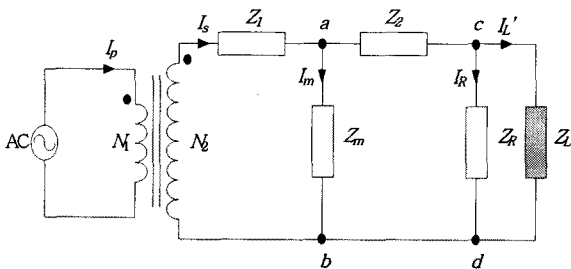


그림 2 전류변성기의 2차측에 병렬로 연결된 표준정밀저항 Z_R 이 있을 때 전류변성기의 등가회로

Fig. 2 Equivalent circuit of a CT with a standard resistor Z_R connected parallelly to secondary terminal of CT

그림 2로부터 전류변성기의 2차측에 연결된 인덕터에 흐르는 전류(I_L)에 대한 1차 전류(I_p)의 복소비를 정리하면 아래와 같다.

$$\frac{I_p}{I_L} = N \left(1 + \frac{Z_2 + Z_L}{Z_m} + \frac{Z_L}{Z_R} \right) = N(1 - \alpha_L' - j\beta_L') \quad (4)$$

식 (4)에서 α_L' 와 β_L' 는 전류변성기의 2차측 양단에 표준정밀저항 Z_R 을 연결했을 때 각각 전류변성기의 비오차와 위상오차로 다음과 같다.

$$\alpha_L' = -\text{Re} \left(\frac{Z_2 + Z_L}{Z_m} + \frac{Z_L}{Z_R} \right) = \alpha_L - \frac{R_L}{Z_R} \quad (5)$$

$$\beta_L' = -\text{Im} \left(\frac{Z_2 + Z_L}{Z_m} + \frac{Z_L}{Z_R} \right) = \beta_L - \frac{X_L}{Z_R} \quad (6)$$

식 (5)와 (6)에서 저항의 리액턴스 성분이 10^{-4} 이하로 리액턴스 성분을 무시할 수 있는 표준정밀저항($X/R \leq 10^{-4}$)을 [7] 사용하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\alpha_L' - \alpha_L = -\frac{R_L}{R} \quad (7)$$

$$\beta_L' - \beta_L = -\frac{X_L}{R} \quad (8)$$

식 (7)에서 표준정밀저항이 있을 때의 비오차(α_L')와 표준정밀저항이 없을 때의 비오차(α_L)의 차이($\alpha_L' - \alpha_L$)는 표준정밀저항값의 역수 $1/R$ 에 비례한다. 또한, 식 (8)에서 표준정밀저항이 있을 때의 위상오차(β_L')와 표준정밀저항이 없을 때의 위상오차(β_L)의 차이($\beta_L' - \beta_L$)는 표준정밀저항값의 역수 $1/R$ 에 비례한다. 따라서 표준정밀저항을 변화시켜가면서 비오차와 위상오차를 측정하면 식 (7)과 (8)에서 기울기가 각각 전류변성기 2차측에 연결한 인덕터의 저항 성분(R_L)과 리액턴스 성분(X_L)이다. 이 방법은 전류변성기의 2차 전류를 조절하여 교류 60 Hz의 전류를 인덕터의 정격까지 인가하여 인덕터의 저항 성분과 리액턴스 성분을 절대평가할 수 있다. 실제로 이 방법을 이용해 측정된 값은 측정회로의 케이블의 선저항과 전류변성기 비교기의 입력임피던스를 포함한 값이다. 순수한 인덕터의 리액턴스 성분을 측정하기 위해서는 측정케이블의 선저항과 전류변성기 비교기의 입력임피던스를 측정하여 빼주어야 한다.

2.2 전류변성기 비교기를 이용한 인덕터의 측정 원리

전류변성기 비교기는 두 전류의 크기와 위상을 비교하여 비오차와 위상오차를 측정하는 기기이다. 전류변성기 비교기를 이용하여 인덕터의 리액턴스 성분 측정 방법은 총 두 단계로 구성되어 있으며 측정원리는 다음과 같다.

첫 번째 단계로 그림 3과 같은 회로를 구성한다. 그림 3에서 보인 바와 같이 동일한 교류 전압을 임피던스 Z_N 과 Z_X 에 공급한다. 임피던스 Z_N 과 Z_X 는 각각 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$Z_N = R_N + jX_N \quad (9)$$

$$Z_X = R_X + jX_X \quad (10)$$

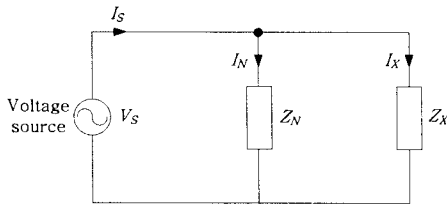


그림 3 임피던스 Z_N 과 Z_X 에 흐르는 전류를 비교하기 위한 등가회로

Fig. 3 Equivalent circuit to compare currents flowing on Z_N and Z_X

이 때 임피던스 Z_N 과 Z_X 에 흐르는 전류 I_N 과 I_X 의 위상 θ_N 과 θ_X 는 각각 다음과 같다.

$$\theta_N = \theta_V - \tan^{-1}\left(\frac{X_N}{R_N}\right) \quad (11)$$

$$\theta_X = \theta_V - \tan^{-1}\left(\frac{X_X}{R_X}\right) \quad (12)$$

식 (11)과 (12)에서 θ_V 는 전압원의 위상이다. 식 (11)과 (12)의 \tan^{-1} 항의 급수전개에서 임피던스 Z_N 과 Z_X 를 저항의 리액턴스 성분이 10^{-4} 이하인 표준정밀저항을[7] 사용하면 2차항 이상은 10^{-12} 이하로 무시할 수 있다. 따라서 전류 I_N 과 I_X 의 위상차이(θ_1)는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\theta_1 = \theta_X - \theta_N \cong \frac{X_N}{R_N} - \frac{X_X}{R_X} \quad (13)$$

다음으로 그림 4와 같이 임피던스 Z_X 에 직렬로 인덕터 Z_L 를 연결한다. 인덕터의 임피던스는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (14)$$

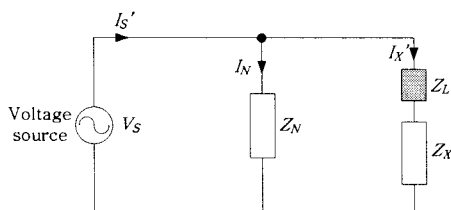


그림 4 인덕터 Z_L 이 있을 때 임피던스 Z_N 과 Z_X 에 흐르는 전류를 비교하기 위한 등가회로

Fig. 4 Equivalent circuit to compare currents flowing on Z_N and Z_X with an inductor Z_L

이 때 인덕터 Z_L 에 흐르는 전류 I_X' 의 위상 θ_X' 는 다음과 같다.

$$\theta_X' = \theta_V - \tan^{-1}\left(\frac{X_X + X_L}{R_X + R_L}\right) \quad (15)$$

식 (15)에서 $(X_X + X_L)/(R_X + R_L)$ 이 10^{-3} 이하가 되도록 R_X 를 선택하면 전류 I_N 과 I_X' 의 위상차이(θ_2)는 다음과 같다.

$$\theta_2 = \theta_X' - \theta_N \cong \frac{X_N}{R_N} - \frac{X_X + X_L}{R_X + R_L} \quad (16)$$

식 (16)에서 식 (13)을 빼면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{X_X}{R_X} - \frac{X_X + X_L}{R_X + R_L} \cong -\frac{X_L}{R_X} \quad (17)$$

식 (17)에서 인덕터의 저항성분(R_L)에 대한 표준정밀저항 R_X 를 (R_L/R_X)이 10^{-3} 이하가 되도록 선택하여 수식이 근사화 되었다. 따라서 인덕터가 있을 때와 없을 때 전류변성기 비교기에서 측정되는 위상오차의 차이를 이용하면 인덕터의 리액턴스 성분(X_L)을 구할 수 있다. 이 때 전압원의 전압을 조절하여 교류 60 Hz의 전압을 인덕터의 정격까지 인가하여 인덕터의 리액턴스 성분을 절대 평가할 수 있다.

3. 측정시스템 구성 및 측정 결과

3.1 전류변성기 비교측정시스템을 이용한 인덕터 측정

그림 5는 인덕터를 측정하기 위한 전류변성기 비교측정시스템의 구성도이다.

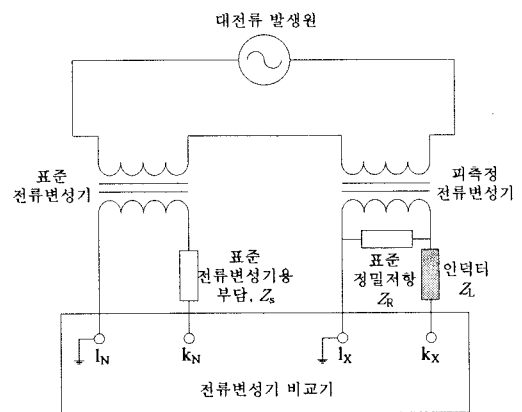


그림 5 전류변성기 비교측정시스템의 구성

Fig. 5 Constitution of the CT comparison measurement system

본 연구에서 표준 전류변성기는 정확도가 0.001 %인 Tettex사의 4764를 사용하였고, 피측정 전류변성기로 정확도가 0.02 %인 Yokogawa사의 2242 모델을 사용하였으며 전류비 100 A / 5 A 탭에서 실험하였다. 또한 표준정밀저항으로 Tinsley사의 셉트 저항 200 Ω ~ 8 kΩ을 사용하였다.

전류변성기 비교측정시스템을 이용하여 피측정 전류변성기의 2차측에 직렬로 인덕터를 연결하고, 병렬로 연결한 표준저항부담을 변화시키면서 위상오차를 측정하였다. 이때 전류변성기의 2차 전류를 인덕터의 정격에 해당하는 전류로 유지하면서 측정하였다.

그림 6은 측정의 예로 인덕터 10 mH에서 측정된 위상오차를 식 (8)에 의해 표준정밀저항의 역수에 대해 피팅한 결과이다. 이 때 전류는 인덕터의 정격 전류인 500 mA를 인가하였다. 그림 6 (a)는 인덕터의 리액턴스 성분과 측정 케이블의 선저항 및 전류변성기 비교기의 입력임피던스가 포함된 리액턴스 성분($\beta_L' - \beta_L$ 의 기울기)이고, (b)는 인덕터의 연결단자를 단락시키고 측정된 결과로 측정 케이블의 선저항 및 전류변성기 비교기의 입력임피던스에 해당하는 리액턴스 성분($\beta_0' - \beta_0$ 의 기울기)이 된다. 따라서 그림 6 (a)의 기울기 3.73에서 (b)의 기울기 3.33×10^{-3} 을 뺀 값이 순수한 인덕터의 리액턴스 값이다. 동일한 방법으로 범위 100 $\mu\text{H} \sim 1 \text{ H}$ 까지의 인덕터에 대해 인덕터의 정격 전류를 인가하면서 측정하였다. 인덕터의 리액턴스 $X_L = 2\pi fL$ 이고, 인가 전류가 교류 60 Hz이므로 인덕턴스 $L = X_L / (2\pi f)$ 을 계산하여 표 1의 두 번째 열에 정리하였다.

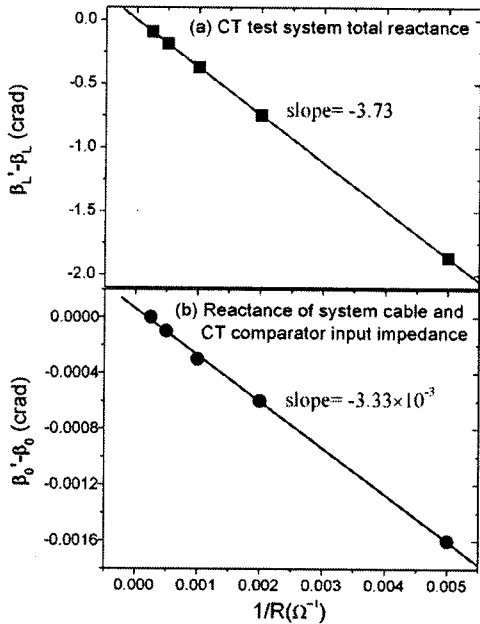


그림 6 10 mH에서 표준정밀저항의 변화에 따른 전류변성기의 위상오차 측정 결과

Fig. 6 Phase displacement of a CT measured using different standard resistors for 10 mH

3.2 전류변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정

그림 7은 전류변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정시스템의 구성도이다. 전압발생원으로 California사의 1251 RP를 사용하였고, 전류변성기 비교기는 Tettex사의 2767을 사용하였다. 또한 표준정밀저항으로 Tinsley사의 정밀저항과 Vishay사의 정밀저항을 사용하였다. 첫 번째 단계로 전류변성기 비교기의 두 단자에 표준정밀저항 Z_N 과 Z_X 를 연결하

고 동일한 전압을 공급하고, 전류비교기에서 측정되는 위상오차(θ_1)를 기록한다. 이 때 전압은 인덕터의 정격인 1 W에 해당하는 전압을 계산하여 인가하였다. 다음으로 그림 7과 같이 표준정밀저항 Z_X 의 앞단에 직렬로 인덕터를 연결하고 위상오차(θ_2)를 측정한다. 이렇게 측정된 θ_1, θ_2 와 표준정밀저항의 R_X 와 식 (17)을 이용하여 인덕터의 리액턴스 X_L 을 계산할 수 있다. 위의 방법으로 100 $\mu\text{H} \sim 1 \text{ H}$ 범위의 인덕터에 정격 전압을 인가하면서 위상오차를 측정하였다.

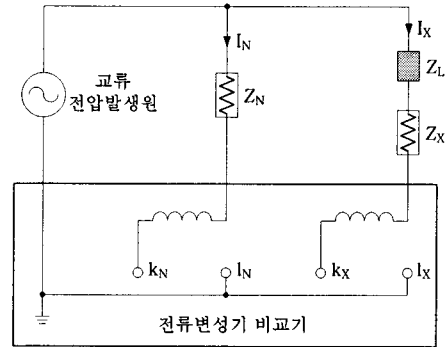


그림 7 전류변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정시스템의 구성

Fig. 7 Constitution of the inductor measuring system using CT comparator

인덕터의 리액턴스 $X_L = 2\pi fL$ 이고, 인가 전압이 교류 60 Hz이므로 리액턴스 측정값에 따른 인덕턴스 $L = X_L / 2\pi f$ 을 계산하여 표 1의 세 번째 열에 정리하였다. 또한 LCR 미터로 측정된 인덕터 값을 표 1의 마지막 열에 정리하였다.

표 1 세 다른 방법에 의해 얻은 인덕터 값

Table 1 Inductance value obtained using three different methods

단위: mH

인덕터의 정격값[mH]	전류변성기 비교측정 시스템	전류변성기 비교기	LCR 미터
0.1	0.101	0.100	0.099
1	1.00	1.01	1.00
10	9.9	10.0	9.9
100	98	100	99
1000	980	1004	996

4. 측정결과의 불확도 분석 및 비교

전류변성기 비교측정시스템을 이용한 인덕터 측정시 불확도 평가를 위해 불확도 요인을 찾아 요인별 표준 불확도와 자유도를 구하고 이로부터 상대 합성 표준 불확도와 유효 자유도를 구한다. 유효 자유도와 신뢰수준에 따른 포함인자를 찾아 상대 합성 표준 불확도에 곱하면 상대 확장 불확도가 된다[5]. 여기서 포함인자는 2이므로 상대 확장 불확도는 아래와 같이 표현된다.

$$U = 2 \cdot \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2 + \dots} \quad (18)$$

전류변성기 비교측정시스템을 이용하여 인덕터를 측정할 때의 불확도 요인을 정리하여 표 2에 정리하였다.

표 2 전류변성기 비교측정시스템을 이용하여 얻은 인덕터값에 대한 불확도 총괄표

Table 2 Uncertainty budget of inductance value obtained using CT comparison measurement system

불확도 요인	100 μH	1 mH	10 mH	100 mH	1 H
반복 측정, u_A	0.57	0.11	0.03	0.18	0.52
수식의 피팅, u_{B1}	0.64	0.03	0.03	0.06	0.46
표준정밀저항, u_{B2}	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
수식 근사, u_{B3}	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
전류비교기, u_{B4}	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
상대합성표준불확도	1.00	0.52	0.51	0.54	0.86
상대확장불확도, U ($k=2$)	2.00	1.05	1.02	1.09	1.71

표 2에서 u_A 는 3회 반복 측정에 의한 A형 불확도이다. B형 불확도 u_{B1} 은 표준정밀저항에 따른 위상오차의 피팅에서 나타나는 오차에 대한 불확도이다. u_{B2} 는 표준정밀저항의 저항값에 의한 불확도이다. u_{B3} 는 수식의 근사화에 의한 불확도이다. 마지막으로 u_{B4} 는 전류비교기의 측정오차에 의한 불확도이다. 전류변성기 비교측정시스템을 이용한 인덕터 측정 방법의 불확도 분석 결과 상대확장불확도(U)는 1.02% ~ 2.00%이고 100 μH에서 2.00%로 가장 크게 나타났다. 마찬가지로 전류변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정 방법의 불확도 요인과 LCR 미터로 직접 측정한 인덕터 값에 대한 불확도를 정리하여 각각 표 3과 4에 정리하였다.

표 3 전류변성기 비교기를 이용하여 얻은 인덕터 값에 대한 불확도 총괄표

Table 3 Uncertainty budget of inductance value obtained using CT comparator

불확도 요인	100 μH	1 mH	10 mH	100 mH	1 H
반복 측정, u_A	0.47	0.07	0.13	0.11	0.14
전압발생원, u_{B1}	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
표준정밀저항, u_{B2}	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
수식 근사, u_{B3}	0.03	0.09	0.06	0.12	0.24
전류비교기, u_{B4}	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
상대합성표준불확도	0.72	0.55	0.56	0.56	0.61
상대확장불확도, U ($k=2$)	1.43	1.10	1.11	1.13	1.22

표 3에서 B형 불확도 u_{B1} 은 전압발생원의 출력전압의 정확도에 의한 불확도이다. 전류변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정 방법의 불확도 분석 결과 상대확장불확도(U)는 1.10% ~ 1.43%이고 100 μH에서 1.43%로 가장 크게 나타났다.

표 4 LCR 미터를 이용하여 얻은 인덕터 값에 대한 불확도 총괄표

Table 4 Uncertainty budget of inductance value obtained using LCR meter

불확도 요인	100 μH	1 mH	10 mH	100 mH	1 H
반복 측정, u_A	0.27	0.03	0.02	0.05	0.02
LCR 미터, u_{B1}	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
상대합성표준불확도	0.33	0.20	0.20	0.21	0.20
상대확장불확도, U ($k=2$)	0.67	0.41	0.40	0.41	0.40

LCR 미터를 이용해 직접 측정한 인덕터 값의 불확도는 반복측정에 의한 A형 불확도와 측정에 사용된 LCR 미터의 성능에 따른 불확도로 평가하였으며 불확도 분석 결과 상대확장불확도(U)는 0.40% ~ 0.67%이고 100 μH에서 0.67%로 가장 크게 나타났다.

한편 본 기술의 유효성을 검증하기 위해 전류변성기 비교측정시스템을 이용한 방법, 전류변성기 비교기를 이용한 방법과 LCR 미터를 이용하여 직접 측정한 인덕터 값을 비교하기 위해 상대차이를 구하여 표 5에 서로 비교하였다. 표 5에서 상대차이는 아래와 같이 정의된다.

$$\text{상대차이}(\%) = \frac{\text{인덕터의 측정값} - \text{인덕터의 정격값}}{\text{인덕터의 정격값}} \times 100 [\%] \quad (19)$$

표 5 세 다른 방법에 의해 얻은 인덕터의 정격에 대한 상대차이

Table 5 Relative difference for a rated value of inductor obtained using three different methods

인덕터의 정격값[mH]	전류변성기 비교측정 시스템	전류변성기 비교기	LCR 미터
0.1	1.00	-0.37	-1.30
1	0.20	1.08	0.13
10	-1.08	0.37	-0.72
100	-1.91	-0.74	-0.76
1000	-2.07	0.40	-0.39

상대차이는 전류변성기 비교측정시스템을 이용한 경우 -2.07% ~ +1.00% 이고, 전류변성기 비교기를 이용했을 경우 -0.74% ~ +1.08%이다. LCR 미터를 이용해 직접 측정한 경우는 -1.30% ~ +0.13%로 나타나고 있다.

그림 8은 세 가지 방법으로 인덕터를 측정하였을 때 인덕터의 정격값을 기준으로한 상대차이와 불확도를 비교하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 LCR 미터 측정결과에 비해 두 방법으로 얻은 값의 불확도가 상대적으로 크게 나타나고 있지만 인덕터의 정격에 해당하는 전류와 전압을 인가해서 측정할 수 있는 장점이 있다. 또한 100 μH ~ 1 H 까지의 인덕터 측정결과가 세 가지 측정 방법에 대해 불확도 내에서 일치하고 있음을 알 수 있다.

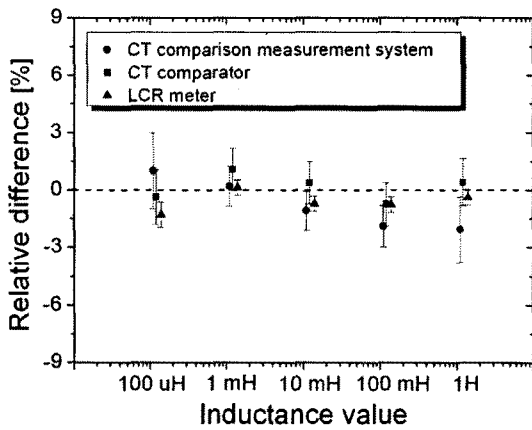


그림 8 인덕터 측정 방법에 따른 불확도를 고려한 상대차이의 비교

Fig. 8 A comparison of the relative difference and the uncertainty measured by three different methods

5. 결 론

본 논문에서 인덕터를 절대평가 할 수 있는 두 가지 새로운 기술을 개발하였다. 이 기술은 전류변성기 비교기를 이용한 방법으로 하나는 전류변성기의 등가회로 분석에 의한 기술이고, 다른 하나는 전류변성기 비교기를 이용해 인덕터에 흐르는 전류의 위상을 비교하여 인덕터의 리액턴스 성분을 측정하는 기술이다. 이 두 가지 기술은 60 Hz의 교류 전원을 인덕터의 정격까지 인가하면서 인덕터를 절대평가 할 수 있는 장점이 있다. 이 두 가지 기술을 100 μ H ~ 1 H 범위의 인덕터에 적용하여 인덕터를 절대평가 하였고, 측정 방법에 따른 불확도를 분석하여 두 방법과 LCR미터의 직접 측정값과의 일치도를 분석하였다. 분석 결과 100 μ H ~ 1 H 모든 범위의 인덕터의 리액턴스값에 대해 불확도 내에서 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 개발한 두 기술에서 측정시스템의 불확도 요인인 전류비교기, 전압발생원, 표준정밀저항 등의 성능은 제조사에서 제시하고 있는 사양에 따른 것이다. 따라서 이 불확도 요인들의 성능을 재평가 할 수 있는 연구가 필요하고, 이로부터 본 기술의 정확한 불확도 평가와 장비의 성능확인 또한 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Agilent, "Agilent 4980A Precision LCR Meter, 20 Hz to 1 MHz", Agilent Technologies, 2008. (www.agilent.com)
 [2] 김한준, "인덕턴스 브리지 개발", 한국표준과학연구원, 1999.
 [3] 정재갑, 이상화, 강전홍, 김명수, 김윤희, 한상길, 한상욱, "20,000 A 전류변성기 국가표준 시스템 구축", 대한전기학회지, 57P, 6-13, 2007.
 [4] J. D. Ramboz and O. Petersons, "A calibration service for current transformers", NIST Special Publication, vol. 250, No 36, p60, 1991.
 [5] 한국표준협회 "측정 결과의 불확도 추정 및 표현을 위한 지침", KS A 3000, 2005.
 [6] 정재갑, 이상화, 권성원, 김명수, "전류변성기 비교기와

정밀선저항을 이용한 전류변성기용 부담의 평가기술", 대한전기학회지, 55C, 250-6, 2006.

[7] Tinsley, "Precision Resistance Measurement", Tinsley Precision Instruments, 1995. (www.tinsley.co.uk)

저 자 소 개



김 윤희 (金潤亨)

1981년 10월 15일생. 2007년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.
 Tel : 042-821-7604
 Fax : 042-821-8895
 E-mail : yoonhyoung@cnu.ac.kr



정 재 갑 (鄭在甲)

1965년 7월 4일생. 1998년 고려대 물리학과 졸업(박사). 2001년~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 전자기그룹 책임연구원.
 Tel : 042-868-5759
 Fax : 042-868-5018
 E-mail : jkjung@kriss.re.kr



한 상 길 (韓相吉)

1981년 11월 23일생. 2007년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.
 Tel : 042-821-7604
 Fax : 042-821-8895
 E-mail : sanggilhan@cnu.ac.kr



김 한 준 (金漢俊)

1959년 1월 10일생. 1984년 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2007년 충남대학교 공학박사. 1987년~현재 한국표준과학연구원 전자기센터, 책임연구원.
 Tel : 042-868-5283
 Fax : 042-868-5018
 E-mail : hanjun@kriss.re.kr



한 상 옥 (韓相玉)

1986년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1985년 독일 하노버대 객원교수. 1989년 일본 나고야대 객원교수. 현재 충남대학교 전기공학과 교수.
 Tel : 042-821-5655
 Fax : 042-821-8895
 E-mail : sohan@cnu.ac.kr