

250 mA 이하 출력전류를 갖는 전류변성기 특성평가 연구

A Research on Characteristics Tests for Current Transformers with Maximum mA Secondary Current of 250 mA

송 광 재* · 이 일 호* · 송 상 훈†
(Kwang-Jae Song · Il-Ho Lee · Sang-Hoon Song)

Abstract - In this paper, characteristic tests for current transformers with maximum mA secondary current of 250 mA is performed. The purpose of this paper is not only to test the mA current transformers by following the IEEE Draft Standard for Current Transformers with Maximum mA Secondary Current of 250mA, but also to take into consideration certain applications in the use of the mA CTs for billing purposes.

Key Words : Current transformer, mA CT, Instrument transformer, Accuracy test, Metering, Revenue metering

1. 서 론

최근 지능형전력망 구축을 위한 첨단계량인프라(advanced metering infrastructure, AMI)는 다양한 요금제, 소비자의 선택권 확대 및 서비스 창출을 위해 정책적으로 보급되고 있다[1]. AMI 개발과 보급이 전 세계적으로도 활발히 진행되면서, 계량기기의 기술변화 및 사용환경 변화에 따른 새로운 형태의 계기용 변성기(instrument transformer)에 대한 표준화가 진행되고 있다[2].

전력량계는 전력량계 외부에 연결되는 계기용 변성기 사용 유무에 따라 단독계기(direct connected meter)와 변성기부계기(transformer operated meter)로 분류된다[3]. 계기용 변성기는 전기계기 또는 측정장치와 함께 사용되는 전류 및 전압의 변성용 기기로서 변류기(전류변성기), 계기용 변압기 및 계기용 변압 변류기를 총칭하며, 국내에서는 전력량계, 무효 전력량계 및 최대 수요 전력계와 그 조합으로 사용하는 전력 수급용의 계기용 변성기에 대해서 별도의 규정을 적용하고 있다[4]. 따라서, 정확한 전력계량을 위해서는 전력량계 특성평가와 더불어 함께 사용되는 계기용 변성기의 정확한 평가 역시 매우 중요하다.

지능형 전력망 기반 조성을 위해 기존 유도형 전력량계를 시간대별 계량 및 양방향 통신이 가능한 전자식 전력량계(스마트미터)로 대체하여 보급하고 있다. 전자식 전력량계의 전력사용량 계량 방식은 전자유도에 의한 원판 회전수를 기계식으로 산출하는 유도형 전력량계 방식과 달리 전력사용 비율에 따라 발생하는 펄스를 전자식으로 산출하는 방식을 사용하므로, 계기용 변성기

2차 단자간에 접속되는 부하(부담, burden)의 크기는 유도형 전력량계 방식에 비해 작아지게 된다. 이에 따라 IEEE에서는 2010년부터 전통적 전류변성기 정격 출력 전류인 5 A 및 1 A보다 낮은 250 mA 이하 2차 정격 출력전류를 갖는 전류변성기(이하 mA CT) 표준 제정을 위해 표준화 작업반(working group)을 구성하고 2016년 표준(안) 작성을 완료하였다[5]

mA CT는 소형화가 가능하고, 정확도를 높일 수 있으며, 장거리(약 80 m) 계량이 가능하다는 장점을 가지고 있어, 캐나다에서는 이미 100 mA 및 80 mA 2차 정격 출력전류를 갖는 전류변성기에 대한 형식승인기술기준을 마련하고 전력수급용 전류변성기의 하나로 활용하고 있다[6]

본 논문은 mA CT 국내 도입을 위한 기반 연구로서, IEEE C57.13.7에서 도출된 초안을 바탕으로 mA CT에 대한 기본적인 특성인 비 보정 계수(ratio correction factor, 이하 RCF) 및 위상각 오차(phase angle error) 시험 뿐 아니라 온·습도, 충격, 외부 전력선에 의한 영향 등 그림 1과 같은 mA CT의 설치 환경을 고려한 특성시험 항목을 추가적으로 도출하여 시험을 수행하였다.



그림 1 전력계량을 위해 설치된 100 mA 출력 CT
Fig. 1 Installed mA CTs for Measuring Electrical Power and Energy

† Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Standards, KTL(Korea Testing Laboratory), Korea.
E-mail: shsong@ktl.re.kr

* Dept. of Electrical and Electronic Standards, KTL(Korea Testing Laboratory), Korea.

Received : September 20, 2016; Accepted : October 10, 2016

2. 국내 · 외 전류변성기 규정

계기용 변성기는 주로 계량용(metering), 제어용(control), 부하 관리용(load survey)의 용도로 사용되며, 전통적 방식의 전류 변성기 정격 출력전류는 (5, 1) A이다. 이러한 일반적 전류 변성기 정확도 등급(accuracy class)은 IEC, IEEE, ANSI, KS 등 국내 · 외 표준에 따라 정의되어 있으나, 2차측 정격 출력이 mA 수준의 전류변성기 특성에 대한 규격은 현재까지 일부 국가(캐나다)를 제외하고 정의되어 있지 않다. IEEE에서는 mA CT가 갖는 장점에 주목하여 관련 규격을 제정하고자 C57.13.7 표준화 작업반을 2010년부터 운영하여 왔으며 2016년 표준화 최종안을 도출하였다.

국내 계기용변성기 규격인 KS C 1706 및 KS C 1707에 기술된 전류변성기 규격에는 2차측 정격 출력이 5 A 또는 1 A에 대한 기술 기준만 명시되어 있으나 mA CT에 대한 규정은 제정되지 않았으며, 이에 대한 국내 연구도 미미한 실정이다.

본 논문에서는 mA CT 국내 도입 및 보급 제안을 위한 기반 연구로서 250 mA 이하 출력전류를 갖는 CT 특성평가 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 mA CT의 정확도 시험(accuracy test)은 캐나다 형식승인 기술기준 및 IEEE C57.13.7 표준(안)을 참조하였다. 이 외에 mA CT 설치 작업 및 설치 환경에 의해 유발될 수 있는 오차요인들을 분석하여 기존 전류변성기 기술규격 및 센서류 관련 규격을 참조하였다. 본 논문에서 인용 및 참조한 CT에 관한 규정은 다음과 같다.

2.1 IEEE C57.13.7 Working Group Standard Draft

본 규격(안)은 mA CT에 대한 IEEE C57.13.7 표준화 그룹에 의해 작성되었으며, 250 mA 이하 출력전류를 갖는 CT 전류정격 등급 별 정확도 범위를 규정하고 있으며, 이에 따른 RCF 그리고 TCF(Transformer Correction Factor) 범위에 대해 서술하고 있다. 또한 정확도 시험을 위한 부담(burden) 정의, 정확도 시험시스템 구성 및 최소 요건에 대해 다루고 있으나 환경시험 등은 포함하지 않는다. 본 논문에서는 IEEE C57.13.7에서 제시한 표준(안)에 따라 정확도 시험시스템을 구축하고, mA CT 등급 별 RCF 및 위상오차 범위를 인용한다.

2.2 S-E-07

캐나다의 경우 5 A, 1 A를 갖는 전류변성기 외에 mA 수준의 정격 출력을 갖는 전류변성기도 전자식 변성기부 전력량계의 외부 전류변성기로 사용할 수 있도록 캐나다 정부 소속 기관인 Measurement Canada에서 형식승인시험 기술기준을 마련하여 운용 중에 있다. 본 기술기준은 2차측 출력이 80 mA, 100 mA인 전류변성기의 정확도 등급, 시험방법 등을 다루고 있다.

2.3 KS C 1707

전력 수급용 계기용 변성기에 대한 국내 표준으로, 표준에서

정한 기술기준을 만족해야 한다. 이중 전류변성기는 2차측 정격 출력전류 5 A로 정의되어 있고, 정확도 등급은 0.3-0.5-1.0 세 등급으로 나뉘어 있다. 시험주위 온도는 최고 40 °C, 최저 -20 °C 범위를 넘지 않아야 하며 표고, 습기, 수증기 및 진동 환경과 같은 특수 환경 상태에 대해서도 규정하고 있다. 본 규격에서 시험 주위 온도와 습기 기준을 인용하여 시험을 진행한다.

2.4 KS C 0244

이 표준은 환경시험 방법(전기·전자) 중 자연 낙하시험 방법에 관한 규격으로 IEC 60068-2-32에 대응된다. 이 규격은 수송 중, 취급 중, 또는 수리 중의 작업에서 떨어뜨리기 쉬운 시험품의 낙하로 인한 시험 방법을 담고 있으며, 낙하 높이, 방법 그리고 측정 방법에 대해 규정하고 있다. 본 규격에서는 4.3의 낙하시험 방법에 대해 참조하였다.

3. mA CT 평가방법

본 논문에서는 시중에 출시된 3종의 mA CT 시료에 대해 시험을 수행한다. 제조사에서 선언된 정확도 등급은 3종의 mA CT 모두 0.1 등급이며, IEEE C57.13.7 표준(안)에 따른 시험방법 및 정확도 등급 기준에 따라 그림 2의 허용 오차 범위를 만족해야 한다. 3종의 mA CT에 대한 파라미터는 표 1과 같으며, 모두 solid 코어 타입 mA CT이다.

표 1 mA CT 시험 시료

Table 1 Specification of the mA CTs under test

모델명	TZ106L	CT100148	CT200148
1차 정격전류	200 A	100 A	200 A
2차 정격전류	80 mA	100mA	100 mA
정확도 등급	0.1	0.1	0.1

3.1 RCF 및 위상각오차

IEEE Std. 57.13.7 표준 Draft의 변성기 보정 계수(transformer correction factor, 이하 TCF) 및 상오차 범위를 각각 표 2와 3에 정리하였다. 정확도 사양에 따라 주어진 시험전류, 역률(0.6~1.0 lagging), 부담 조건에서 선언된 사양을 만족해야 하며, 이 중 0.15 등급에 대한 정확도 범위를 도식화하면 그림 2와 같다. 그림 2의 x, y축은 각각 위상오차와 RCF를 의미하며, mA CT의 측정된 RCF 및 상오차의 두 값을 좌표로 표현하여 정확도를 표현할 수 있다. 여기서 RCF란 아래의 식 (1)과 같이 제조사에서 명시한 변류비(marked ratio)와 실제 변류비(true ratio)의 비율이다.

$$RCF = \frac{True\ Ratio}{Marked\ Ratio} \quad (1)$$

위상각오차(Phase Angle Error)란 1차측으로 입력되는 전류와

표 2 mA CT 등급에 따른 TCF 범위

Table 2 Corresponding limits of Transformer Correction Factor for mA CT grades

정확도 등급	정격전류의 100 %		정격전류의 10 %		정격전류의 5 %	
	최소(min)	최대(max)	최소(min)	최대(max)	최소(min)	최대(max)
0.15	0.9985	1.0015	-	-	0.997	1.003
0.3	0.997	1.003	0.994	1.006	-	-
0.6	0.994	1.006	0.988	1.012	-	-

표 3 mA CT 등급에 따른 위상각오차 범위

Table 3 Corresponding limits of Phase Angle Error for mA CT grades

정확도 등급	정격전류의 100 %		정격전류의 10 %		정격전류의 5 %	
	최소(min)	최대(max)	최소(min)	최대(max)	최소(min)	최대(max)
0.15	-3.9	+3.9	-	-	-7.8	+7.8
0.3	-15.6	+15.6	-31.2	+31.2	-	-
0.6	-31.2	+31.2	-62.4	+62.4	-	-

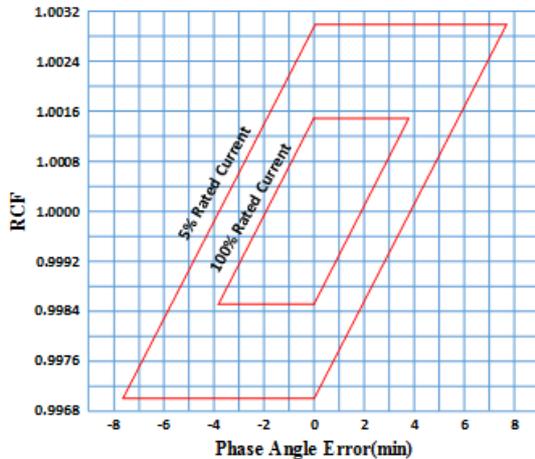


그림 2 0.15 등급의 mA CT 정확도 범위

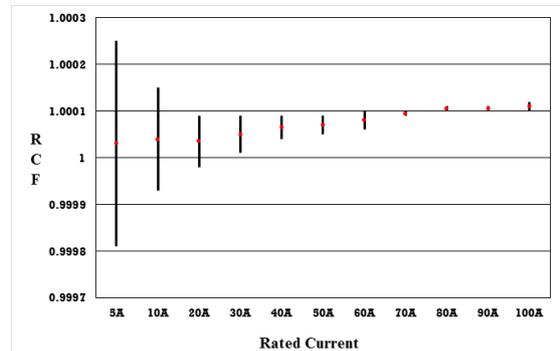
Fig. 2 Limits of 0.15 Accuracy Class for mA CT

변류된 2차측 출력전류 간의 위상차를 나타낸다. 이상적인 경우 입력전류와 출력전류 간 위상 오차는 0이지만, 실제의 경우 1차 전류와 2차 전류 간 위상각 차이가 나타나며 이때 위상각 오차는 분(min) 또는 센티라디안(crad) 단위로 표시한다. 여기서 위상각오차(β), RCF 및 TCF의 근사화된 상관관계는 식 (2)와 같다.

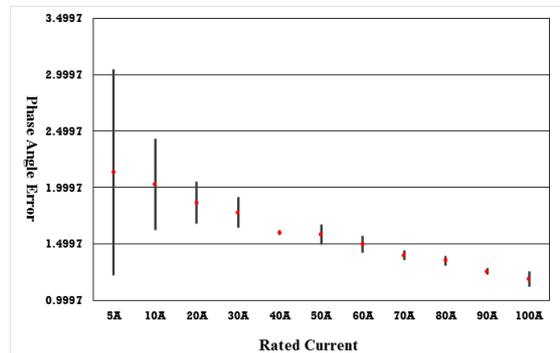
$$\beta = 2600 \times (RCF - TCF) \quad (\text{단위 : min}) \quad (2)$$

3.2 정확도 시험

정확도 시험은 RCF와 위상각오차가 범위 내에 존재하는지를 기준으로 하며, 시험을 위한 정격 시험전류는 0.3 등급 및 0.6 등급에서 정격 전류의 10 %와 100 %이며, 0.15 등급에서는 정격 전류의 5 %와 100 % 전류에서 시험한다.



(a)



(b)

그림 3 (a) RCF 값 측정, (b) 위상각오차 값 측정

Fig. 3 (a) The measurement value of RCF, (b) The measurement value of Phase Angle Error

시험품인 3종의 mA CT는 정확도 0.1 등급의 사양이므로 본 논문에서의 시험은 가장 근접한 정확도 시험기준인 0.15 등급의 오차 범위 기준을 적용하여 정확도를 확인한다. 시험전류에 따른

RCF 및 위상각오차 측정결과는 IEEE C57.13.7 표준(안)에서 제시한 그림 2의 범위를 만족해야 하며, 이를 벗어날 시 해당등급을 만족하지 않는다고 판단한다. 이 판단 기준은 향후 4절의 시험 진행 시 오차의 허용 범위로 판단한다.

그림 3은 시험전류에 따른 RCF 및 위상각오차 측정값을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 5% 또는 10%의 낮은 시험 전류에서의 RCF 및 위상각오차 측정값에 비해 정격 전류의 100% 시험전류에서는 낮은 변동폭을 갖는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 각 시험전류 구간에서의 반복 시험을 통해 얻어진 평균값을 해당 구간에서의 대표 측정값으로 처리하여 정확도 시험을 진행한다.

3.3 정확도 시험시스템

그림 4는 mA CT의 정확도 시험 구성도를 나타내고 있다. 시험시스템은 기준 변류기, 시험 대상 변류기, 출력 전류 비교를 통해 비(ratio) 및 위상각 오차를 측정할 수 있는 브릿지 또는 디지털 샘플링 시스템으로 구성되며, 시험품에 비해 4배 이상의 정확도를 확보해야 한다[7]

그림 4에서 일반적인 기준(reference) 변류기는 정확한 2차 5

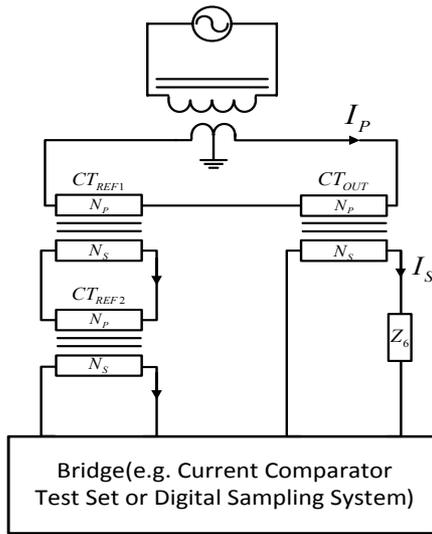


그림 4 mA CT 정확도 시험시스템 구성도

Fig. 4 Test system circuit diagram for accuracy testing of mA CT

표 4 평가 항목 및 기준

Table 4 The Evaluation Standards

시험 항목	시험 방법	평가 기준	인용 규정	시료 수
저온환경 시험	4.1	온도(-20~0) ℃내에서 그림 2를 만족해야 한다.	KS C 1707	각 1개
고온 및 습도환경 시험	4.1	온도(10~50) ℃, 습도 65%에서 그림 2를 만족해야 한다.	KS C 1707	"
낙하 시험	4.2	외관상 이상이 없고, 그림 2를 만족해야 한다.	KS C 0244	각 3개
2차 축 이격거리 시험	4.3	80 m 추가전선 연결 시 그림 2를 만족해야 한다.	-	각 1개
간섭 시험	4.4	(0~5) cm 이격거리 내에서 그림 2를 만족해야 한다.	-	"

A 또는 1 A 출력을 가지므로, mA 출력의 시험품을 비교하기 위해 두 개의 기준 전류 변성기(CT_{REF1} , CT_{REF2})의 직렬 조합을 통해 시험 중의 mA 변류기(CT_{OUT})의 전류비와 동일하게 구성할 수 있다. 예를 들면, CT_{REF1} 의 전류비를 $m(N_p/N_s)$, CT_{REF2} 의 전류비를 n 이라고 가정하면 두 개의 직렬 조합($m \times n$)이 CT_{OUT} 의 전류비와 동일하도록 구성한다. 이와 같이 구성하는 이유는 시험 전류에 대한 기준 변류기 전류비와 시험대상 변류기 전류비를 동일하게 하여 브릿지 측정 정확도를 높일 수 있기 때문이다[8]

본 논문에서의 정확도 시험시스템 주요 구성으로 표준 전류변성기 CT_{REF1} , CT_{REF2} 는 캐나다 국가연구위원회(National Research Council) 전력측정그룹에서 제작된 NRC ECCT-2014-001 및 002를 사용하며, 비교기(Bridge)는 Tettex사의 2767을 이용한다. 부담은 시험 조건에 따라 Tinsley社 ZX75 저항과 IEEE C57.13.7 표준(안)에 따라 제작된 부담을 병행하여 사용한다.

4. 정확도 시험 외 특성시험

본 논문에서는 IEEE C57.13.7 표준(안)에서 제안된 정확도 시험 외에 향후 mA CT 국내 도입 시 성능에 대한 신뢰성 확보를 위해 mA CT 설치 작업 및 설치 환경을 고려하여 유발될 수 있는 오차 요인들을 분석하고 평가기준을 제시한다. mA CT의 정확도에 영향을 줄 수 있는 주요 오차 요인으로 운습도 환경, 낙하에 의한 충격, 2차축 리드선의 이격거리, 인접한 전력선 및 mA CT 상호간섭 등으로 판단하였다. 표 4는 주요 오차 요인에 대한 특성시험을 수행하기 위해 참조한 기술규격 및 평가기준을 나타낸다. 이중 이격거리 및 간섭시험은 현재까지 제시된 규격이

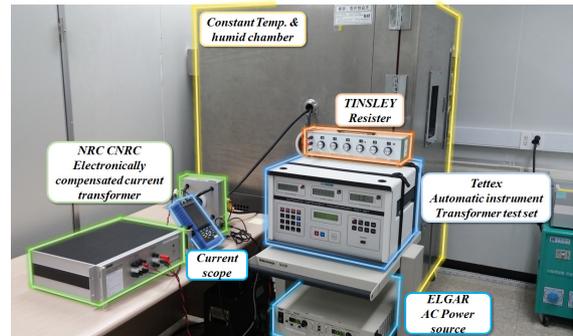


그림 5 온·습도 시험환경 구성

Fig. 5 Test Environment Configuration of Temperature and Humidity Test

없어 자체 평가 기준 및 시험 지그를 마련하여 시험을 진행한다.

4.1 저온환경 및 고온환경(습도) 시험

(a) 시험 목표

건물 내·외부에 설치되는 전력망계는 온·습도 변화에 대한 신뢰성이 확보되어야 한다. 이 중 mA CT의 특성이 온도 및 습도에 대해 변화하는지 확인한다. 특성변화 확인을 위해 시험환경의 온·습도를 일정 범위 내에서 가변 하여 정확도의 변화를 측정한다.

(b) 시험 장치

3.2절의 전류비교기 구성 외에 온도 가변 범위 (-20~50) °C와 습도 65%를 만족하는 항온·항습조를 준비한다. 이때 온도 및 습도 허용차는 ±2% 이내여야 한다.

(c) 시험 방법

전류변성기 비교기에 표준 전류변성기와 피측정 전류변성기를 연결하여 2차 측 전류를 비교한다. 정확도 측정 및 이하 시험을 위한 구성은 그림 5와 같다. 측정값은 비오차와 위상오차, RCF를 측정한다. CT 2차 측 회로는 CT 정격 부담 이하인 임피던스와

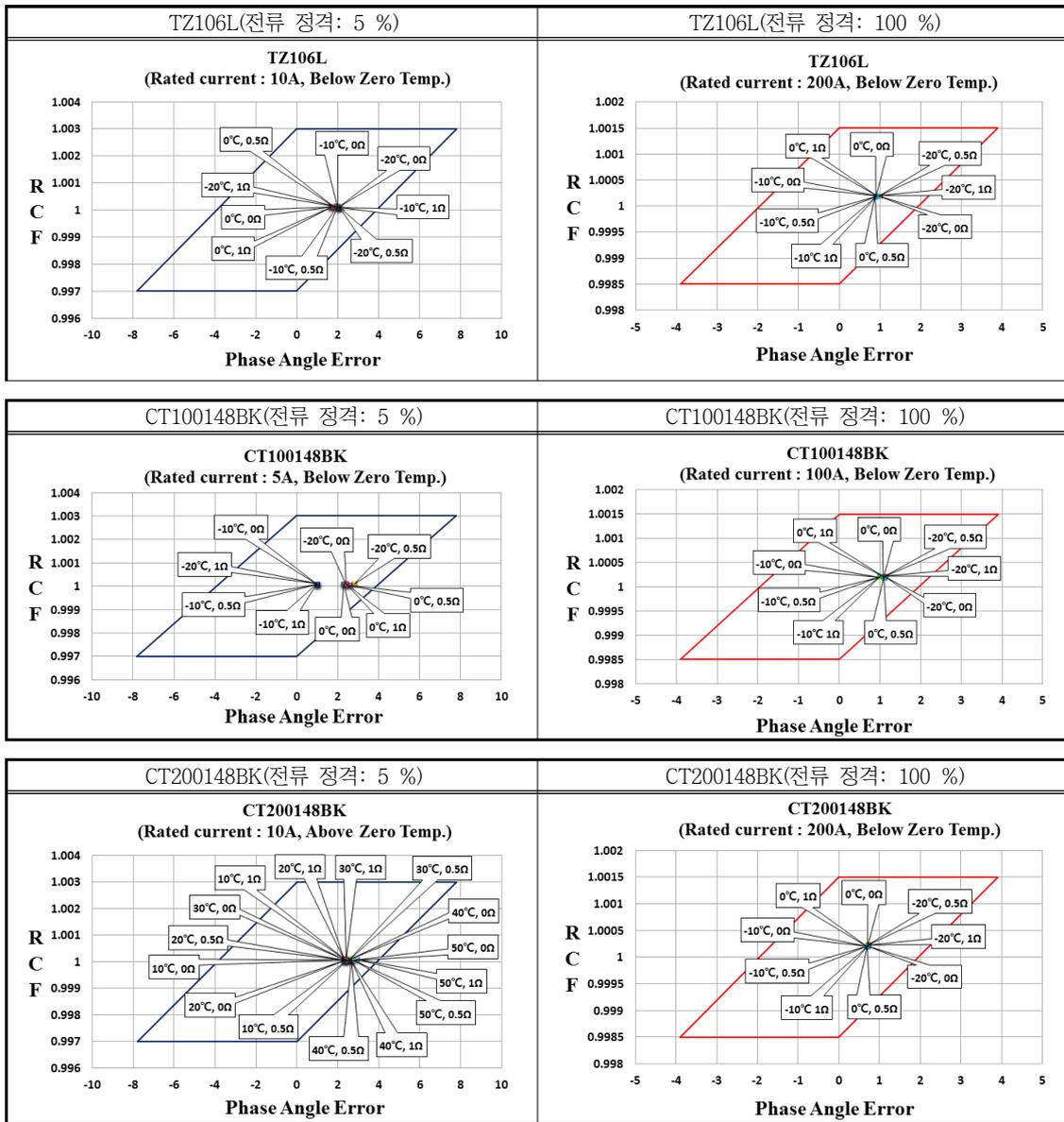


그림 6 저온 환경에 대한 정확도시험 결과
Fig. 6 The Test Results with Below Zero Temperature

직렬로 연결된 폐회로를 구성한다.

인용 규정의 내용을 토대로, 온도 가변 범위 내에서 10 °C씩 구간을 나눠 상오차 및 RCF를 측정한다. 이때 상온(0~50) °C에서 측정 시 습도는 65 %로 고정한다. 측정 후 정확도 검출 시, 그림 2의 범위를 만족하는지 확인한다.

본 시험 방법은 저·고온 시험 외에 기타 항목에 대한 시험 구성과 유사하게 구성된다.

(d) 시험 결과

그림 6, 7은 세 종의 mA CT에 대한 온도변화에 따른 정확도

측정값이다. 각각 저온구간(-20~0) °C 및 고온구간(10~50) °C, 습도 65 %의 두 구간에 대해서 정확도 측정값이다. 모든 온도 및 부단 구간에서 해당 정확도 오차 범위를 만족함을 확인할 수 있다. 이를 통해 온도변화에 따른 상오차 및 RCF 변동은 미미한 것으로 판단된다.

4.2 낙하 시험

(a) 시험 목표

취급 중 작업에서 떨어뜨리거나 외부 충격에 의해 발생할 수

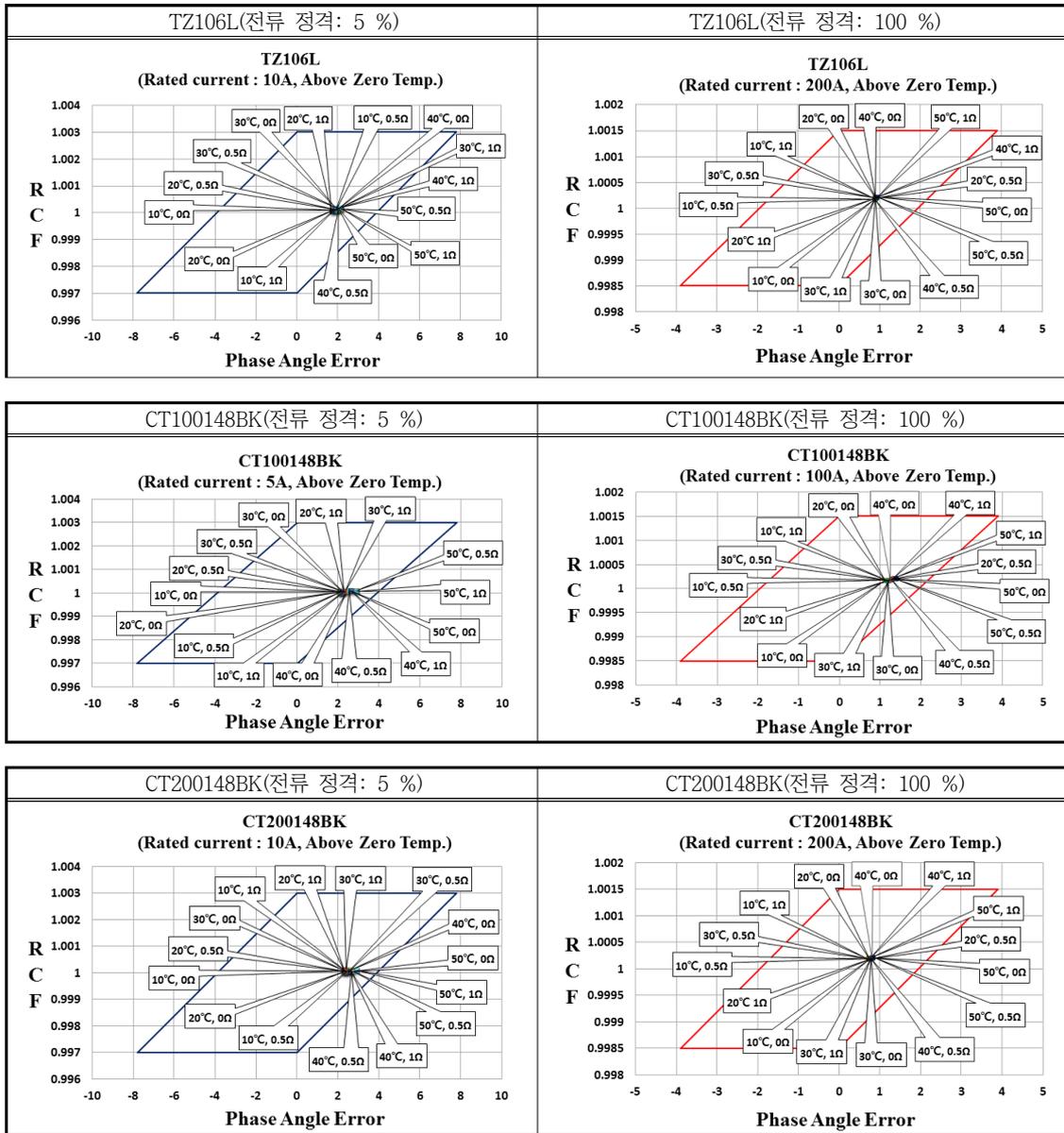


그림 7 상온 및 습도 환경에 대한 정확도시험 결과

Fig. 7 The Accuracy Results with Above Zero Temperature and Humidity 65 %

있는 제품의 파손 및 낙하 후 정확도 변동에 대한 신뢰성 검증이 필요하다. 이를 위해 일정 높이에서 시험품을 낙하시킨 후 제품의 파손 정도를 확인하며, 이후 정확도 측정 시 분포가 범위 내를 만족하는지 확인한다.

(b) 시험 장치

4.1절 b)의 시험 환경과 동일하며, 이때 항은 항습조의 온도 및 습도 변경은 하지 않고 상온(25 °C)을 유지한다.

(c) 시험 방법

내구성 검증은 KS C 0244 ‘환경시험방법(전기·전자) 자연 낙하 시험 방법’에 의거하여 시험을 실시한다. 시험 방법은 그림 8과 같다. 100 cm 높이에서 표 1의 시험시료 당 3개씩 시험을 수행하며, 각각 3회 반복 자유낙하 한다. 이때 바닥면은 평탄한 강판 또는 일반 콘크리트바닥으로 낙하시험 방법은 4.2절 c) 시험을 반복 수행하되, 주위 온도 및 습도는 25 °C, 65 %로 고정한다.

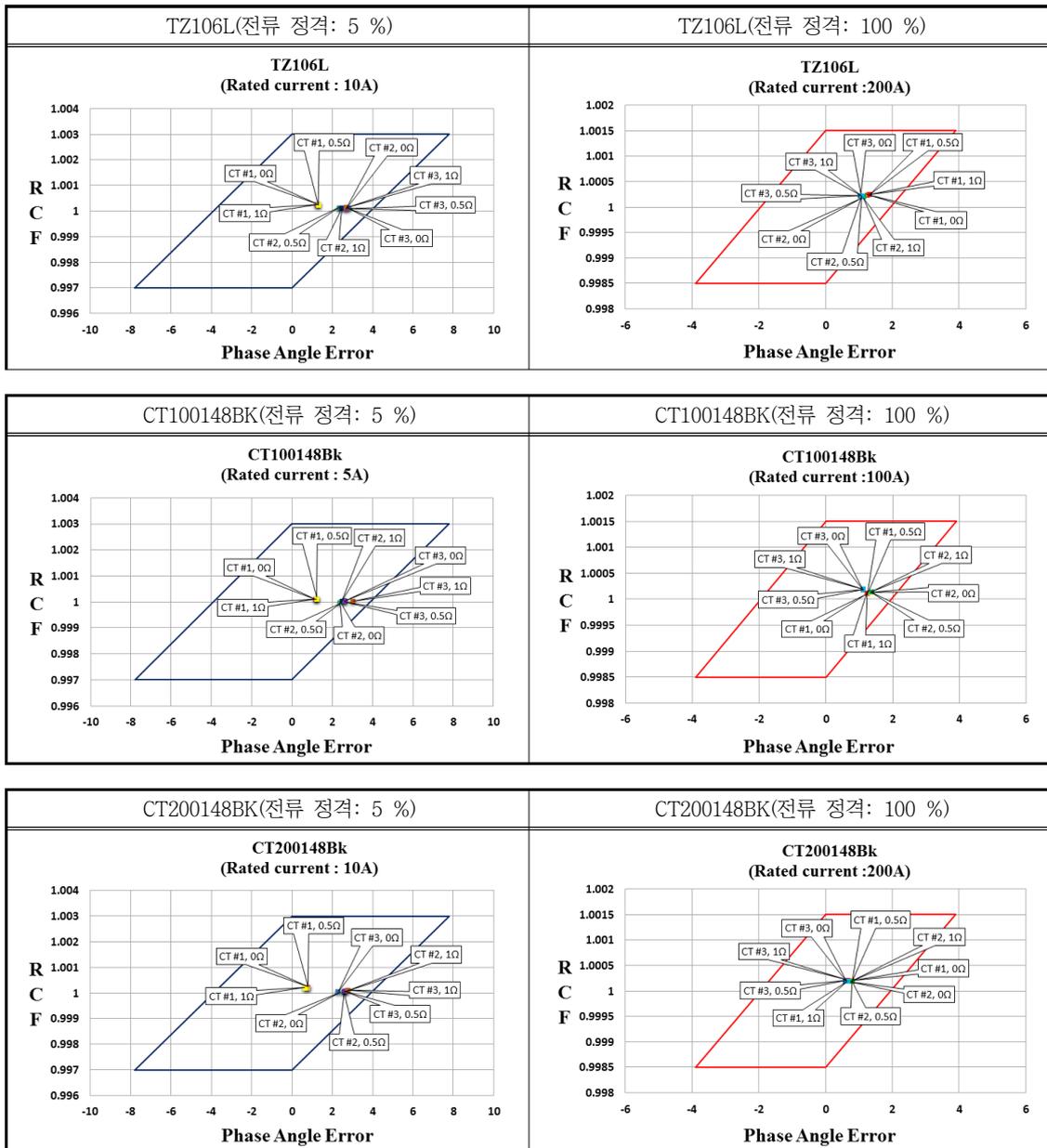


그림 8 낙하시험 후 정확도시험 결과
 Fig. 8 The Accuracy Results with Falling Test

(d) 시험 결과

그림 8은 세 종의 mA CT의 시험품 #(1~3)에 대한 낙하시험 후 정확도 측정값이다. 시험 결과, 3종 9개의 모든 시험품에서 낙하자국은 발견되었지만, 깨짐 등의 파손은 발견되지 않았다. 이후 시행한 정확도 시험에서는 앞선 온도 시험과 마찬가지로 모든 부담 구간에서 해당 정확도 오차 범위를 만족함을 확인할 수 있다.

4.3 2차 측 이격거리 시험

(a) 시험 목표

전력량계의 특성 상, CT를 각 수용가의 전력 라인에 설치해야 하므로 전력량계와 CT 간 이격거리가 요구될 수 있다. 특히 mA CT의 경우, 제조사에서 약 80 m 정도의 장거리 이격이 가능한 것으로 사양에서 나타내고 있다. 즉 전력량계와 mA CT 간 거리가 수십 미터 이상 요구될 수 있어 이격거리에 따른 CT의 오차가 범위 내에 확보되는지 필요하다. 일반적으로 CT 오차는 2차 측의 이격거리가 길수록 커지며, 이격을 위해 추가 설치되는 전선의 굵기에 따라 도선저항 또한 달라지기 때문에 오차가 달라질 수 있으므로 본 논문에서는 2차 리드선(lead wire) 종류와 이격거리를 선정 한 후 이를 적용하여 정확도 수준을 만족하는지 확인한다.

앞서 설명한 3.1과 3.2절 규정 내에는 CT의 2차 측 출력이 각각 80 mA 및 100 mA에 대한 표준 부담을 제시하고 있으며, 이는 아래의 표와 같다.

두 mA CT에 대해, 각각 표준부담은 B-20과 B-13을 2차 측 부담으로 연결 한 후 2차측 이격거리를 80 m로 하여 정확도 범위를 만족하는 지 확인한다.

표 5 80 mA 측정용 CT의 표준 부담
Table 5 Standard Burden for CT with 80 mA

표준 부담	특성			V*A	PF
	저항	인덕턴스	임피던스		
B-20	17.6 Ω	23 mH	20 Ω	0.125	0.9
B-39	35.2 Ω	45 mH	39 Ω	0.25	0.9
B-117	105.5 Ω	135 mH	117 Ω	0.75	0.9
B-195	176 Ω	226 mH	195 Ω	1.25	0.9

표 6 100 mA 측정용 CT의 표준 부담
Table 6 Standard Burden for CT with 100 mA

표준 부담	특성			V*A	PF
	저항	인덕턴스	임피던스		
B-13	11.3 Ω	14 mA	13 Ω	0.125	0.9
B-25	22.5 Ω	29 mA	25 Ω	0.25	0.9
B-75	67.5 Ω	87 mA	75 Ω	0.75	0.9
B-125	112.5 Ω	145 mA	125 Ω	1.25	0.9

(b) 시험 장치

시험 장치는 4.1절 b)의 구성을 따른다. 다만 온·습도는 상온(25 °C, 65 %)로 고정한다.

(c) 시험 방법

CT 2차 측에 길이 80 m의 전선을 추가적으로 연결한다. CT 2차 측에 연결되는 리드선은 AWG 22로 선정하며, 이때 리드선은 꼬임선(twisted pair cable)이 되도록 구성한다. 부담은 IEEE Std. 57.13.6 및 S-E-09에서 제안하는 표 5와 6의 표준 부담을 이용하되, 각 CT의 허용 부담 내 부담 값을 고려하여 시험을 진행한다. 본 시험에서 적용되는 세 mA CT의 부담 한계는 B-20 및 B-13을 만족한다.

(d) 시험 결과

그림 9는 표준부담 B-20 및 B-13 외에 추가적인 80 m 이격

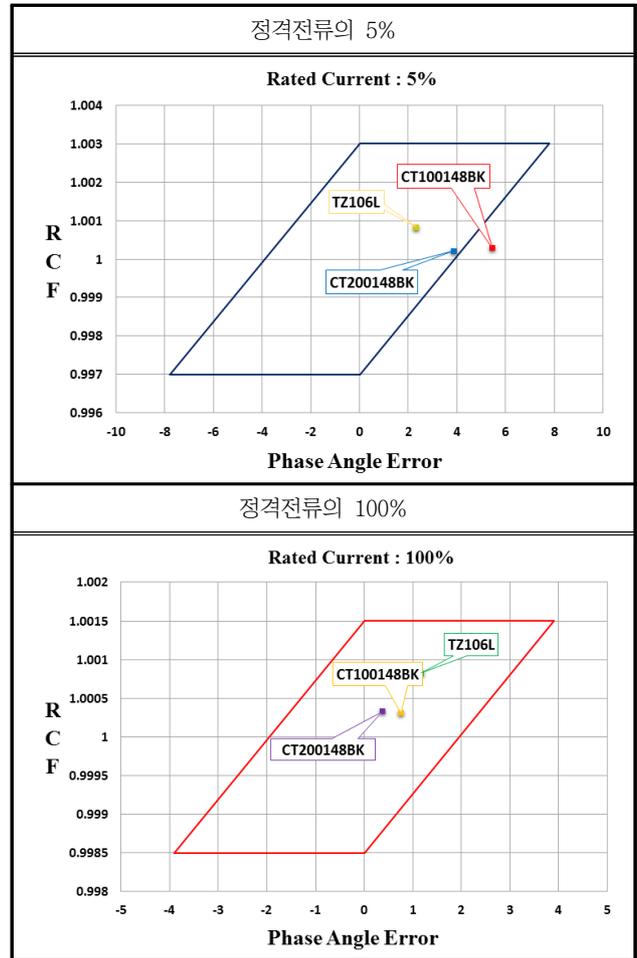


그림 9 2차 측 이격거리시험 후 mA CT 정확도시험
Fig. 9 Accuracy test with lead wire distance of secondary output of mA CT

거리 적용 후 시험결과이다. CT100148BK의 경우 정격전류 5 %에서 정확도 범위 밖에 위치하였으며, 나머지 두 종의 mA CT는 2차 측에 80 m의 이격거리를 가져도 오차 범위 내에 분포하는 것을 확인할 수 있다. 또한 정격전류 100 %에서는 세 종 모두 정확도 범위 내에 위치하였다. 이를 고려하여, 차후 실제 전력량계에 적용 시, 이격거리 추가 설치 및 최대 부담에 대해 고려해야 할 것이다.

4.4 CT 간 간섭 시험

(a) 시험 목표

mA CT가 활용되는 국외 사례를 살펴보면 주로 다채널 전력 계량시스템(multi-channel metering system, MCMS)에서 외부에 설치되는 전류변성기로 사용되고 있다. 다채널 전력량계의 경우 수 십호의 개별 전력을 한 대로 동시 계량이 가능하여 아파트와 같은 집합시설에 적용하기 유용하다. 한국산업기술시험원(KTL)에서는 2014년부터 다가구주택 등에 다채널 전력량계 도입을 위한 기반연구 및 실증단지 구축을 수행하였으며, mA CT를 이용한 MCMS 실증연구 수행 중 다수의 mA CT가 전력선 및 다른 mA CT에 인접하여 설치될 수 있음을 확인하였다.

본 시험에서는 인접한 전력선 및 다른 상(phase)에 설치된 mA CT에 의한 영향이 발생할 수 있는지를 인접 거리에 따른 오차 변화를 통해 확인한다.

(b) 시험 장치

R, S, T상의 간격이 (0~5) cm 거리 가변이 가능한 지그(jig) 테이블과 3상 전원공급기(power supply)를 이용하여 시험한다. 시험장치의 구성은 아래의 그림 10, 11과 같다.

(c) 시험 방법

그림 10과 그림 11에서의 3상 전원공급기와 시험 지그를 이용

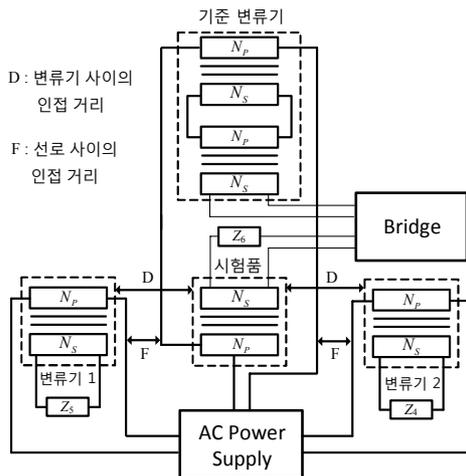


그림 10 mA CT 간섭시험 구성도
Fig. 10 Interference test circuit of mA CT

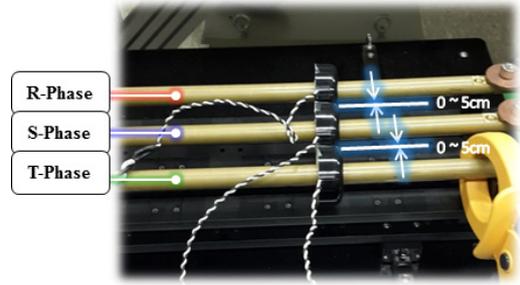


그림 11 지그 테이블 구성
Fig. 11 The Configuration of Zig-table

하여 R,S,T 상을 연결하고 각 상에 mA CT를 연결한다. 3상 중 중간의 S상은 고정시키며, 각각 R, T상을 상·하로 간섭 거리를 조절하여 시험을 진행한다. 즉 mA CT 수직 인접거리 D를 (0~5) cm 길이에서 1 cm 씩 간격을 늘려 오차를 측정한다. 이때 상 간의 인접거리 F는 상 간 단락을 방지하기 위해 여유거리를 두어야 한다.

(d) 시험 결과

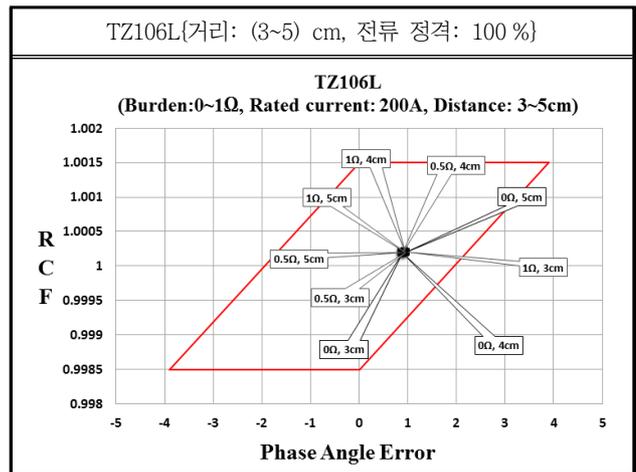
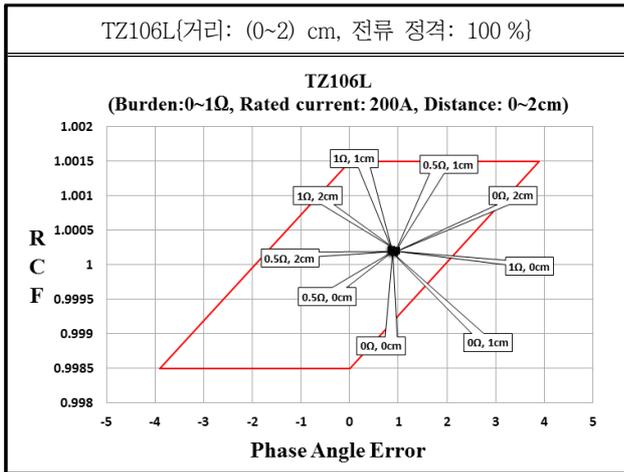
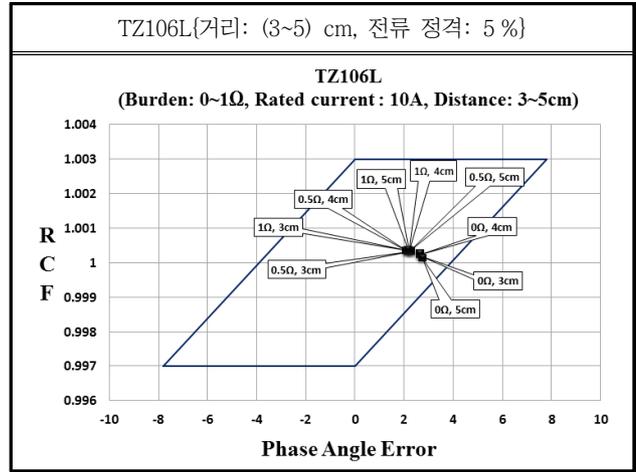
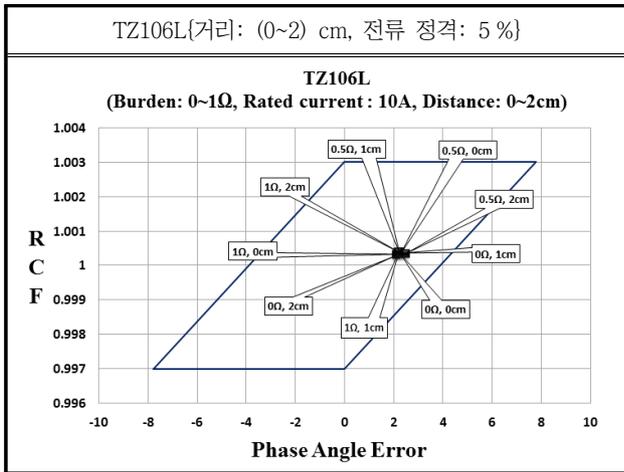
그림 12는 TZ106L의 간섭시험 후 정확도 측정 결과이다. (0~5) cm까지, 모든 간섭 거리 내에서 일정 정확도 범위 내에 위치하였으며, 전류정격에 따른 정확도 분포 또한 유사한 것으로 확인되었다. 이를 통해 각 상에 mA CT가 설치 시, 근접하여 설치가 되어도 그에 따른 영향은 미미할 것으로 예상된다.

5. 결 론

본 논문에서는 현재까지 국내에 도입되지 않은 250 mA 이하 출력전류를 갖는 전류변성기 특성평가 연구를 수행하였다. mA CT는 소형화가 가능하고, 정확도를 높일 수 있으며, 장거리(약 80 m) 계량이 가능하다는 장점을 가지고 있어 국내에서도 다채널 전력량계와 함께 향후 널리 활용될 것으로 예상된다.

IEEE C57.13.7 표준(안)에서 제안된 정확도 시험을 포함하여 향후 mA CT 국내 도입 시 성능에 대한 신뢰성 확보를 위해 mA CT 설치 작업 및 설치 환경을 고려하여 유발될 수 있는 오차 요인들을 분석하고 평가기준을 제시하였다. mA CT에 대한 정확도 시험을 수행하기 위해 IEEE C57.13.7 표준(안)에서 제안된 시험시스템을 구축하고 시중에 출시된 3종의 0.1 급 mA CT의 정확도 평가를 수행하였다. 또한 설치 작업 및 설치 환경에 따른 mA CT의 정확도 변동을 확인하기 위해 온·습도 환경, 낙하에 의한 충격, 2차측 이격거리, 인접한 전력선 및 mA CT 상호 간섭에 대한 기술 기준을 적용하여 정확도 시험을 수행하였으며, 2차측 이격거리 시험을 제외한 대부분 시험에서 해당 등급의 정확도 허용 오차를 초과하지 않는 것을 확인하였다.

향후 mA CT 국내 도입을 위한 관련 규격의 개정을 위해서는 산업현 전문가들의 참여에 추가적인 기술기준 및 시험 방법에 대한 논의가 필요할 것으로 판단된다.



(a)

(b)

그림 12 (a) 간섭시험 후 정확도 시험 결과 (0~2) cm, (b) 간섭시험 후 정확도 시험 결과 (3~5) cm

Fig. 12 (a) Accuracy test results with Interference test (0~2) cm, (b) Accuracy test results with Interference test (3~5) cm

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 전력표준화사업의 연구비지원 (다수용가 스마트그리드 전력계량시스템 연구기반 구축)에 의해 수행되었습니다.

References

[1] 제1차 지능형전력망 기본계획, 지식경제부, 2012
 [2] IEC 61869-1, "General Requirements for Instrument Transformers", 2007
 [3] OIML R 46-1/ R 46-2, "Active Electrical Energy Meters. Part 1 : Metrological and Technical Requirements / Part 2 : Metrological Controls and Performance Tests", 2012

[4] KS C 1707, "계기용 변성기(전력 수급용)", 2011
 [5] IEEE C57.13.7, "Draft Standard for Current Transformers with Maximum mA Secondary Current of 250 mA", 2016
 [6] Measurement Canada S-E-09, "Specification for the approval of type of 80mA and 100mA class measuring current transformers", 2010
 [7] ANSI/NCSL Z540.3-2006 (R2013), "Requirements for the Calibration of Measuring and Test Equipment", 2013
 [8] E. So and D. Bennett, "Compact Wideband High-Current (1000 A) Multistage Current Transformers for Precise Measurements of Current Harmonics", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 56, no. 2, pp. 584-587, April 2007

저 자 소 개



송 광 재 (Kwang-Jae Song)

1976년 3월 20일생. 2002년 강원대 제어계측 공학과 졸업(학사). 2004년 서울대 전기컴퓨터공학부 졸업(석사). 2010년 10월~2011년 9월 캐나다 국가연구위원회(NRC) 전력측정 그룹 방문연구원. 2004년~현재 한국산업기술시험원(KTL) 책임연구원



이 일 호 (Il-Ho Lee)

1984년 9월 17일생. 2010년 안양대학교 전기전자공학과 졸업(학사). 2013년 성균관대학교 태양광시스템공학 졸업(석사). 2014~현재 한국산업기술시험원(KTL) 연구원



송 상 훈 (Sang-Hoon Song)

1972년 10월 2일생. 1998년 영남대학교 전기공학과 졸업(학사). 2000년 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 졸업(석사). 2014년 성균관대학교 에너지시스템공학과 졸업(박사). 2016년~현재 고려대학교 객원교수. 2000년~현재 한국산업 기술시험원(KTL) 근무(현 전기전자표준 센터장/수석연구원)