

20,000 A 전류변성기 국가표준 시스템 구축

論 文

57P-1-2

Establishment of National Standard System for 20,000 A Current Transformer

鄭在甲[†] · 李相和^{*} · 姜銳洪^{*} · 金明壽^{**} · 金潤亨^{***} · 韓相吉^{***} · 韓相玉[§]
(Jae-Kap Jung · Sang-Hwa Lee · Jeon-Hong Kang · Myung-Soo Kim ·
Yoon-Hyoung Kim · Sang-Gil Han · Sang-Ok Han)

Abstract - National standard system for calibrating current transformer(CT) up to primary current of 20,000 A have been established. The system consists of 20,000 A AC high current source, CT comparator, standard CT, CT under test and CT burden. An AC high current is applied to the primary windings of both the standard CT and the CT under test, and then the CT comparator measures the ratio error and the phase displacement by comparing the secondary currents of the two transformers. As a validity check for 20,000 A CT calibration system, the comparison with the two national standard institutes(NMIs) has been performed using same CTs. The comparison results of the CTs are consistent with those measured at two NMIs within 0.004 % for ratio error and 0.1 min for phase displacement in the primary current ranges of $I_p = 10 - 20,000$ A with a secondary current of $I_s = 5$ A.

Key Words : National standard system, Current transformer, CT comparator, Ratio error, Phase displacement, CT burden.

1. 서 론

세계적 추세인 송전전압 및 전력용량의 증대에 따라 중전기기 제품 시험의 전압 및 전류 범위도 크게 증대되고 있으며, 동시에 품질보증의 핵심인 교정성적서의 국제적 신뢰성 및 투명성이 보다 더 엄격한 수준에서 요구되고 있다. 이로 인해 중전기기 시험의 국제인증 및 국가표준으로부터의 소급성이 필수적으로 요구되고 있다.

한편 국가측정표준 대표기관인 한국표준과학연구원에서 13,200 V/3,000 A 까지의 교류 고전압/대전류 표준을 확립하여 산업체에 국가표준을 보급하고 있었으나, 그 이상의 범위에 대해서는 관련 설비를 구축하지 못하여 산업체에 표준을 제공하지 못하고 있는 실정이었다. 중전기기 업체에서 중전기기의 제품의 수출을 활성화하고, 국제경쟁력을 강화하기 위해서는 고전압 대전류 시험설비 및 제품의 국제인증을 받아야 하는 상황이다.

따라서 중전기기 산업체의 고전압 대전류 시험설비 및 중전기기 제품에 대한 국제인증획득을 지원할 목적으로 한국

표준과학연구원(KRISS)에서 최근에 200,000 V/20,000 A 까지의 교류 고전압/대전류 국가표준시스템을 구축하였다. 본 논문에서는 먼저 이번에 구축한 교류 대전류 20,000 A 국가표준시스템의 장비의 구성과 사양, 장비의 시험가동 결과 및 선진표준기관과의 국제비교를 통한 대전류 시스템의 성능평가에 대한 결과를 논의하였다.

2. 교류 대전류 20,000 A 시스템의 구성 및 사양

본 연구원에서 구축한 교류 대전류 60 Hz, 20,000 A 까지의 전류변성기를 교정할 수 있는 국가표준 시스템의 구성도를 그림 1에 나타내었다. 그림 1의 20,000 A 대전류 변성기 교정시스템은 전류조정기(current controller), 대전류 발생 변압기(current generating transformer), 동 부스바(copper bus bar), 진상 콘덴서(static condenser), 전류변성기 비교기(current transformer comparator), 표준 전류변성기(standard current transformer), 피측정 전류변성기(current transformer under test) 및 전류 변성기용 부담(current transformer burden)으로 구성된다.

2.1 교류 대전류 발생원(AC high current source)

20,000 A 출력전류를 발생시키는 대전류 발생원은 전류조정기, 대전류 발생 변압기, 동 부스바 및 진상콘덴서로 구성된다. 각 장비들의 주요 용도와 사양은 다음과 같다.

2.1.1 전류조정기(current controller)

전류조정기는 입력전력 440 V/225 A을 받아 정격 변환비

[†] 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

^{*} 正會員 : 韓國標準科學研究院 先任研究員

^{**} 正會員 : 韓國標準科學研究院 部長 · 工博

^{***} 學生會員 : 忠南大學校 電氣工學科 碩士課程

[§] 正會員 : 忠南大學校 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2007年 9月 3日

最終完了 : 2007年 12月 10日

가 1:1 이므로 최대 440 V/225 A의 전력을 대전류 발생 변압기의 2차측에 공급하는 역할을 한다. 또한 출력 전압 전류가 정격의 5 % 범위에서 미세 조절이 가능하다. 전류조정기의 사양은 아래와 같고 실물사진은 그림 2 와 같다.

- 최대입력전압/전류 : 단상 440 V/225 A
- 출력전압/전류 : 440 V/225 A
- 출력주파수 : 60 Hz
- 최대출력전력 : 100 kVA

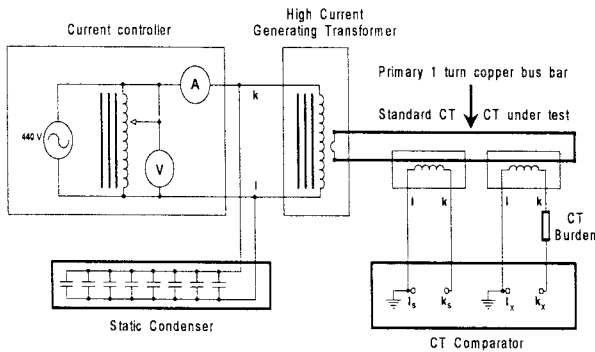


그림 1 20,000 A 전류변성기 교정시스템의 구성도
 Fig. 1 Constitution of 20,000 A current transformer calibration system

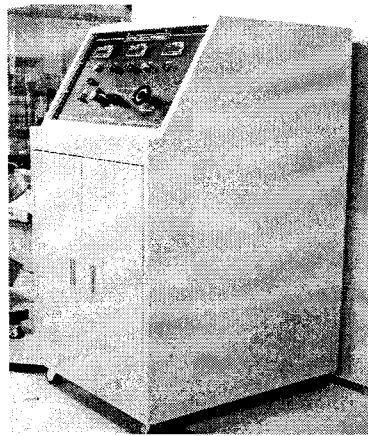


그림 2 전류조정기의 실물사진
 Fig. 2 photo of a current controller

2.1.2 대전류 발생기(high current generating transformer)

전류조정기를 통해 최대 440 V/225 A의 전력을 대전류 발생기의 2차측에 공급하면 동 부스바로 구성된 대전류 발생기의 1차측에서 20,000 A 까지의 전류가 발생한다. 여기서 20,000 A의 대전류를 얻기 위해서 용량 및 사양이 동일한 2 혹은 3대의 대전류 발생기를 병렬로 연결하여 사용하였다. 1대의 대전류 발생기의 사양은 아래와 같고 실물사진은 그림 3과 같다.

- 2차전압/전류 : 440 V/150 A
- 1차전압/전류 : 5.2 V/12,500 A
- 최대출력전력 : 65 kVA

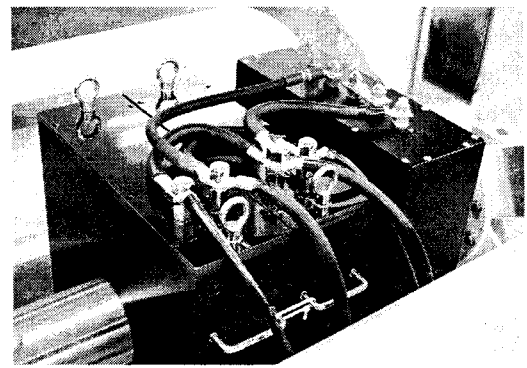


그림 3 3대의 병렬로 연결된 대전류 발생기의 실물사진
 Fig. 3 Photo of parallel connected 3 high current generating transformers

2.1.3 동 부스바(copper bus bar)

동 부스바는 저항이 300 $\mu\Omega$ 정도이고, 대전류 발생 변압기, 표준 전류변성기, 피측정 전류변성기의 1차측에 전류 20,000 A 이상 흐르도록 설계를 하였다. 그림 3과 4에서 지름 15 cm, 길이 2.1 m 인 원통형 모양의 부스바가 대전류 발생 변압기, 표준 전류변성기, 피측정 전류변성기 코어의 가운데로 지나고, 전류변성기의 외곽은 길이 2.3 m \times 넓이 15 cm \times 두께 15 mm 인 5개의 \sqsubset 자의 동판을 사용하여 20,000 A 의 대전류를 분류시키고, 전류 변성기의 중심 코아에서 대칭으로 전류를 흐르게 하였다. 또한 가운데 원통형 동 부스바와 \sqsubset 자 모양의 동판간의 접촉면적을 크게 하기 위해 원형의 프렌지를 사용하였고, 접촉부분에는 은도금을 하여 접촉저항을 줄였다. 이러한 결과로 최대 30,000 A의 대전류가 흐른다는 것을 확인할 수 있었다.

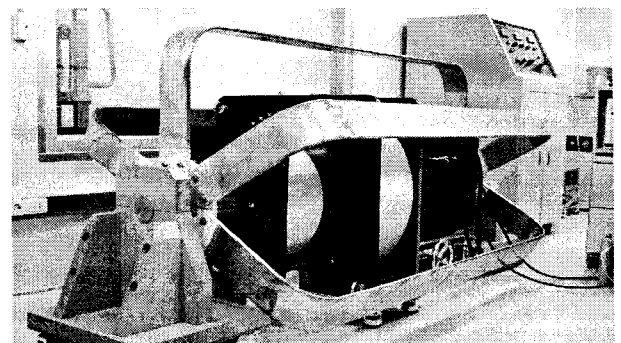


그림 4 20,000 A 대전류의 통전을 위한 동 부스바의 실물사진
 Fig. 4 Photo of copper buss bar to flow high AC current of 20,000 A

2.1.4 진상콘덴서 (static condenser)

변압기 코일의 유도성 리액티브 성분에 의한 지상전류를 상쇄시켜 역률을 개선하기 위해[1-3] 대전류 발생기의 2차측에 병렬로 연결하는 진상콘덴서의 실물사진은 그림 5와 같다. 20,000 A 대전류의 효과적인 발생을 위해 440 V, 20 kVA의 동일한 용량을 가진 진상콘덴서를 최대 20개 까지 병렬로 연결하여 역률이 1에 가까지도록 커패시턴스 값을 조절하여 변압기의 효율을 높일 수 있는 최적의 조건을 찾아야 한다.

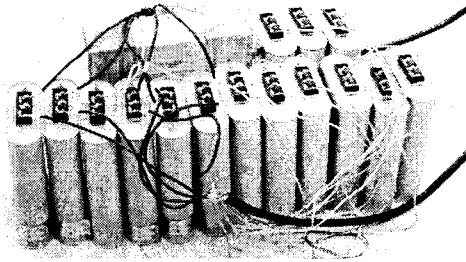


그림 5 15개의 진상 콘덴서가 병렬로 연결되어 있는 실물사진
Fig. 5 Photo of parallel connected 15 static condensers

2.2 전류변성기 비교기(current transformer comparator)

20,000 A 까지의 대전류를 표준 전류변성기와 피측정 전류변성기의 1차측에 동일하게 공급하고, 전류변성기 비교기는 두 전류변성기의 2차측 전류를 비교하여 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 전류변성기 비교기(type 2767)의 측정 가능한 피측정기기의 종류, 정확도, 분해능, 측정범위 등 구체적인 사양을 아래에 나타내었고, 장비의 실물사진은 그림 6과 같다. 사진에서 왼쪽 판넬에서는 비오차, 가운데가 위상 오차. 오른쪽이 정격전류에 대한 측정전류를 %로 표시한다.

- 피측정기기 : 철심형 전류변성기와 전자식 전류변성기
- 정확도 : $\pm 0.001\%$ (비오차), $\pm 0.034\text{ min}$ (위상각 오차)
- 분해능 : 0.0001% (비오차), 0.001 min (위상각 오차)
- 비오차 측정범위 : $0 \sim \pm 19.99\%$
- 위상오차 측정범위 : $0 \sim \pm 680\text{ min}$
- 비보정인자 : $0.5 \sim 2$
- 전류측정범위 : 정격전류 $\times (1 \sim 210\%)$
- X-입력 (피측정 전류변성기)
 - : 정격 2차전류 : 0.1 A, 1 A, 2 A, 5 A
 - : 정격전류에서 내부부담 < 1 VA
- N-입력 (표준 전류변성기)
 - : 정격 2차전류 : 5 A
 - : 정격전류에서 내부부담 < 2.5 VA
- 측정 주파수 범위 : $15 \sim 65\text{ Hz}$
- 입력전원 : $(220 \pm 15\%)\text{ V}$, 60 Hz

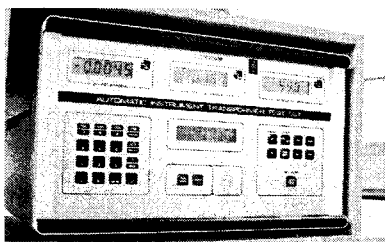


그림 6 전류변성기 비교기의 실물사진
Fig. 6 Photo of current transformer test set

2.3 표준 전류변성기(standard current transformer)

표준 전류변성기는 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정하기 위해 기준을 제공하며, 피측정 전류변성기의 오차와 비교하여 10 배 이상 작아 무시가 가능하다. 표준

전류변성기는 1차측 전류(primary current : I_p)의 범위에 따라 2 대로 나누어져 있다.

2.3.1 5,000 A 표준 전류변성기 I

1차측 전류가 5,000 A 까지 측정 가능한 표준 전류변성기 (type 4764, s/n :153606)의 오차 정확도 및 주요사양은 아래와 같고, 그림 7은 실물사진이다.

- 1차전류 $I_p = 5 \sim 5000\text{ A}$ (156 개의 taps)
- 2차전류 $I_s = 1\text{ A}, 5\text{ A}$
- 오차사양 :
 - 비오차 < $\pm 0.001\%$
 - 위상각 오차 < $\pm 0.05\text{ min}$
- 2차측 부담 : 최대 5 VA
- 측정주파수 범위 : $47 \sim 62\text{ Hz}$
- 전류측정범위 : 정격전류 $\times (1 \sim 200\%)$
- 입력전원 : $(220 \pm 15\%)\text{ V}$, 60 Hz

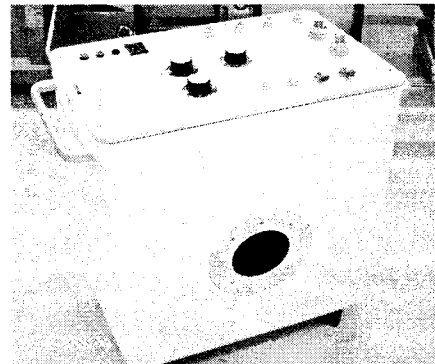


그림 7 5,000 A 표준 전류변성기 I의 실물사진
Fig. 7 Photo of 5,000 A standard current transformer I

5,000 A 표준 전류변성기 제조회사의 측정 결과는 5,000 A 까지의 모든 전류 범위와 $5\text{ VA/PF}=1$ 의 부담 이내에서 비오차와 위상각 오차의 값이 0.001% 와 0.02 min 이내이다. 이는 위의 표준 전압 변성기의 제작사 사양이 비오차가 $\pm 0.001\%$ 이내이고, 위상각 오차가 $\pm 0.05\text{ min}$ 이내임을 고려할 때 제조회사의 사양을 모두 만족시킴을 알 수 있다.

2.3.2 20,000 A 표준 전류변성기 II

1차측 전류가 20,000 A 까지 측정가능한 표준 전류변성기 (type : NCD 20000d, s/n : 2/06/0006)의 오차 정확도 및 주요사양은 아래와 같다. 그림 8은 20,000 A 표준 전류변성기 II의 실물사진이다.

- 1차전류 $I_p = 5,000\text{ A}, 10,000\text{ A}, 15,000\text{ A}, 20,000\text{ A}$
- 2차전류 $I_s = 5\text{ A}, 1\text{ A}$
- 오차사양 :
 - 비오차 < $\pm 0.005\%$, 위상각 오차 < $\pm 0.5\text{ min}$
- 2차측 부담 : $5\text{ VA/PF}=1$
- 측정주파수 : $50/60\text{ Hz}$

- 전류측정범위 : 정격전류 × (1 ~ 120 %)
- 정격전압 : 1 kA
- 시험전압 : 3 kA

표준 전류변성기 제조회사의 측정 결과는 비오차가 ±0.005 % 이내이고, 위상각 오차가 ±0.5 min 이내로 제조회사의 사양을 모두 만족시킴을 알 수 있다.

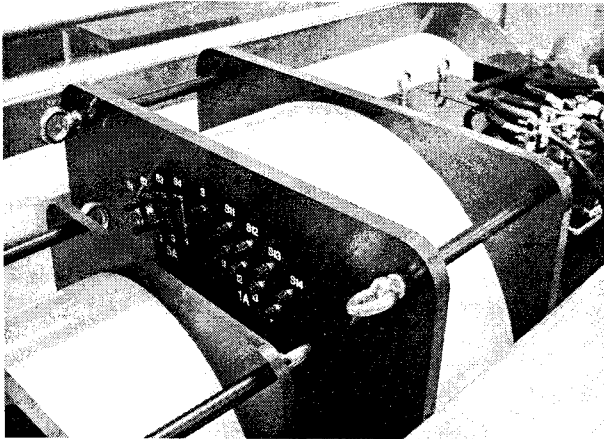


그림 8 20,000 A 표준 전류변성기 II의 실물사진
Fig. 8 Photo of 20,000 A standard current transformer II

2.4 전류변성기용 부담(current transformer burden)

전류변성기의 비오차와 위상각 오차는 KS 규격에[4] 의 해 전류변성기의 2차측에 부담(burden)을 직렬로 연결한 상태로 측정되며, 전류변성기의 오차는 부담값과 역률에 따라 달라진다. 따라서 부담값과 역률의 정확한 측정은 전류변성기의 비오차 및 위상각 오차의 정밀측정을 위하여 매우 중요하다. 전류변성기용 부담(그림 9 참조)의 부담값과 역률은 자동 측정 프로그램으로 측정하였으며 측정결과는 표 1과 같다.

표 1 전류변성기용 부담의 측정결과
Table 1 Measurement result of current transformer burden

rated burden	setting value		measured value	
	burden (VA)	power factor	burden (VA)	power factor
1 VA	1.00	1.00	1.001	1.000
1.25 VA	1.25	1.00	1.251	0.999
2.5 VA	2.50	1.00	2.496	0.999
3.75 VA	3.75	1.00	3.746	1.000
5 VA	5.00	1.00	5.003	1.000
7.5 VA	7.50	1.00	7.459	1.000
10 VA	10.0	1.00	10.02	1.000
12.5 VA	12.5	1.00	12.53	1.000
15 VA	15.0	1.00	15.06	1.000

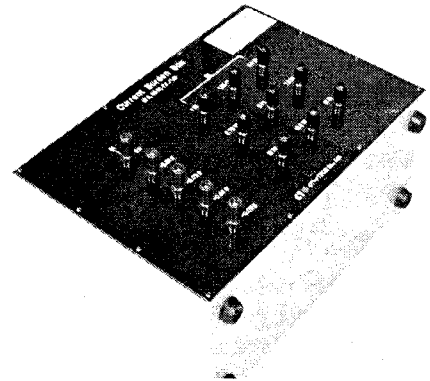


그림 9 전류변성기용 부담의 실물사진
Fig. 9 Photo of current transformer burden

3. 20,000 A 대전류 시스템의 시험가동

3.1 20,000 A 대전류 발생원의 안정도 조사

20,000 A 전류변성기 측정시스템을 이용하여 피측정 전류변성기의 비오차 측정을 하기 전에 20,000 A 대전류의 출력안정도를 조사하였다. 전류 20,000 A의 출력은 1차전류와 2차전류의 비가 20,000 A : 5 A 전류변성기의 2차측에 0.4 Ω의 저항을 달아 저항양단의 전압을 측정함으로써, 20,000 A의 전류발생원의 안정도 평가가 가능하다. 측정 결과는 그림 10과 같고, 20,000 A의 대전류를 10분 동안 흘리면서 측정한 결과이다. 출력전압이 시간에 따라 조금씩 감소하는 이유는 동 부스바에 열이 발생하여 동 부스바의 저항이 증가되기 때문이다. 출력전압의 안정도에 대한 상대표준편차는 0.12 % 이내로 매우 양호하였다. 피측정 전류변성기의 측정시간이 통상적으로 30 초 정도임을 감안하면 대전류 발생원의 출력안정도는 측정에 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

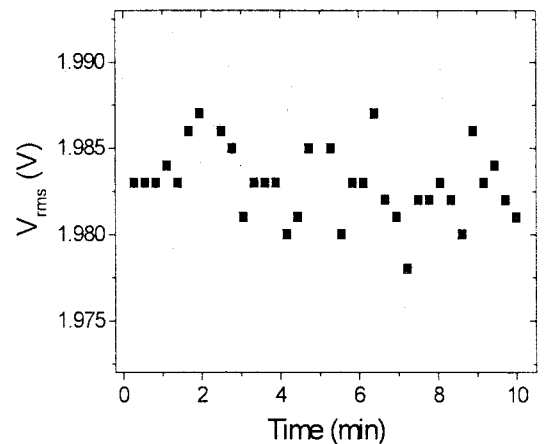


그림 10 20,000 A 대전류 통전시의 시간에 따른 전류의 안정도
Fig. 10 Current stability for flow of 20,000 A high current

그림 11은 20,000 A의 전류가 흐를때 20,000 A : 5 A의 전류변성기 2차측의 전류파형을 디지털 오실로스코프를 이

용하여 측정하였다. 20,000 A 전류 통전시 대전류 사인파형의 왜곡이 없음을 알 수 있다.

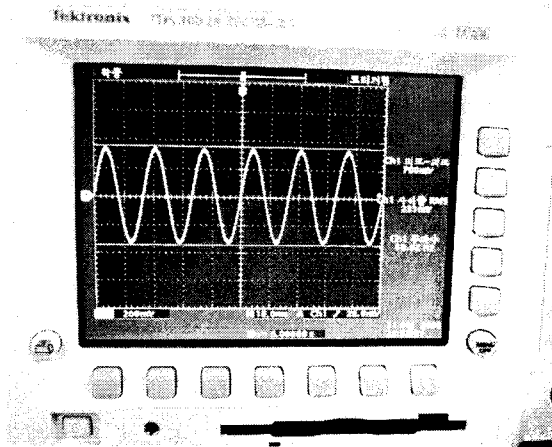


그림 11 20,000 A 대전류 통전시의 사인파형
Fig. 11 Sinusoidal waveform of 20,000 A high current

3.2 20,000 A 대전류 시스템의 시험가동

본 연구에서 구축한 전류변성기 교정시스템은 피측정 전류변성기의 1차측 전류 $I_p = 0.05 \text{ A} \sim 20,000 \text{ A}$ 의 피측정 전류변성기를 교정할 수 있다. 전류변성기 측정시스템은 피측정 전류변성기의 전류 측정 범위에 따라 2대의 표준 전류변성기를 이용한다. 피측정 전류변성기의 1차측 전류 $I_p = 5,000 \text{ A}$ 이상인 경우 1차전류 $I_p = 5,000 \text{ A} \sim 20,000 \text{ A}$ 인 그림 8의 20,000 A 표준 전류 변성기와 그림 4의 직경이 15 cm 인 동 부스바를 사용하여 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 시험가동 장면을 그림 12에 나타내었다.

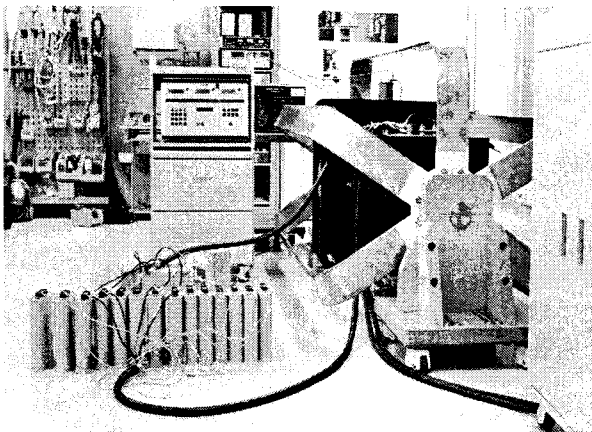


그림 12 20,000 A 전류 변성기의 시험가동 장면
Fig. 12 Testing photo of 20,000 A current transformer

한편 피측정 전류변성기의 1차측 전류 $I_p = 5,000 \text{ A}$ 미만이고, 1차측이 관통형의 경우 그림 7의 5,000 A 표준 전류 변성기와 직경이 7 cm 인 동 부스바를 이용하여 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 시험가동 장면을 그림 13에 나타내었다.

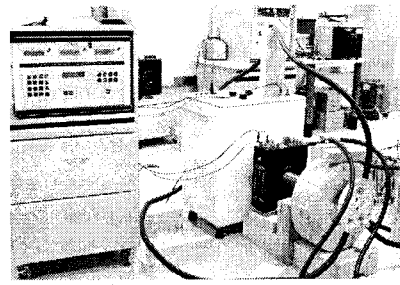


그림 13 5,000 A 이하의 전류변성기의 시험가동 장면
Fig. 13 Testing photo below 5,000 A current transformer

위의 두 가지의 경우 측정방법은 동 부스바를 이용하여 표준 전류변성기와 피측정 전류변성기의 1차측에 동일한 전류를 직렬로 공급하고, 두 전류변성기의 2차측의 전류를 전류변성기 비교기를 이용하여 비교함으로써 피측정 전류변성기의 비오차와 위상오차를 측정한다. 시험가동 결과 1차 전류가 20,000 A 까지 전류변성기의 시험은 정상적으로 작동됨을 확인할 수 있었다. 또한 이번에 구축한 시스템이 비오차와 위상오차 값이 변화가 각각 0.0002 %와 0.005 min 이내로 매우 안정적임을 확인할 수 있었다.

4. 국제 비교측정을 통한 시스템의 성능평가

설치된 전류변성기의 교정시스템의 성능평가를 위해 1차 전류가 최대 5,000 A인 전류변성기(P-5000, s/n : 0490961)를 이동용 표준기로 사용하여 호주 국가표준기관(NMIA)과 국제비교를 수행하였다. KRISS 에서의 측정은 1차전류가 최대 5,000 A인 그림 7의 표준 전류변성기(type 4764, s/n : 153606)와 직경이 7 cm 인 동 부스바를 이용하여 측정하였다(그림 13). 표준 전류변성기를 기준으로 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정하므로 전류변성기 비교기에서 측정되는 피측정 전류변성기의 비오차값과 실제 비오차와의 관계는 아래와 같다.[5-6]

$$\alpha_x = \alpha_r + \alpha_s \quad (1)$$

여기서 α_x = 실제 피측정 전류변성기의 비오차,

α_s = 표준 전류변성기의 비오차,

α_r = 전류변성기 비교기에서 측정되는 비오차

식 (1)에서 실제 피측정 전류변성기의 비오차를 구하기 위해서는 전류변성기 비교기에서 측정되는 비오차 값에서 표준 전류변성기의 비오차 값이 더해져 보정이 되어야 한다. 이 보정값은 5,000 A 표준 전류변성기 제조회사의 측정값으로부터 취하여, 실제 피측정 전류변성기의 비오차를 구하였다. KRISS 에서의 비오차 측정 결과를 표 2의 세번째 열에 나타내었다. 여기서 측정조건은 0 VA, 60 Hz, 전류 변성기의 1차측 전류 10 A ~ 3,000 A의 범위에서 2차측 전류 5 %, 20 %, 100 % 이다.

반면 KRISS에서 측정한 동일한 이동용 표준기를 사용하여 동일한 측정조건에서 호주 NMIA 에서의 비오차 측정결

과를 표 2의 네번째 열에 나타내었다.[7] 양 기관에서의 불일치도는 표 2의 마지막 열에 나타내었는데, 최대 0.002 %로서 우수한 일치도를 보여준다.

표 2 KRISS 와 NMIA 비오차 측정 결과의 비교
(0 VA, 60 Hz)

Table 2 Measurement result for ratio error between KRISS and NMIA (0 VA, 60 Hz)

Rated primary current / Rated secondary current	Secondary current(%)	Ratio error (%)		차이 (KRISS - NMIA)
		KRISS	NMIA	
10 A/5 A	5	+0.000	+0.000	+0.000
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.001	+0.000	-0.001
15 A/5 A	5	+0.000	+0.000	+0.000
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.001	+0.000	-0.001
20 A/5 A	5	+0.000	+0.000	+0.000
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.001	+0.000	-0.001
25 A/5 A	5	+0.000	+0.000	+0.000
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.001	+0.000	-0.001
50 A/5 A	5	+0.000	+0.001	-0.001
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.001	+0.000	-0.001
75 A/5 A	5	+0.000	+0.001	-0.001
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.002	+0.000	-0.002
100 A/5 A	5	-0.001	+0.000	-0.001
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.002	-0.001	-0.001
300 A/5 A	5	+0.000	+0.000	+0.000
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.002	+0.000	-0.002
600 A/5 A	5	-0.001	+0.001	-0.002
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.001	+0.000	-0.001
750 A/5 A	5	+0.000	+0.000	+0.000
	20	-0.001	+0.000	-0.001
	100	-0.001	-0.001	+0.000
1000 A/5 A	5	+0.000	+0.000	+0.000
	20	-0.001	-0.001	+0.000
	100	-0.001	-0.001	+0.000
1500 A/5 A	5	+0.001	+0.000	+0.001
	20	+0.000	+0.000	+0.000
	100	-0.001	-0.001	+0.000
2000 A/5 A	5	+0.001	-0.001	+0.002
	20	+0.000	-0.001	+0.001
	100	+0.000	-0.001	+0.001
3000 A/5 A	5	+0.000	-0.002	+0.002
	20	+0.000	-0.002	+0.002
	100	-0.001	-0.002	+0.001

식 (1)과 유사하게 전류변성기 비교기에서 측정되는 피측정 전류변성기의 위상각 오차값과 실제 피측정 전류변성기의 위상각 오차와의 관계는 다음과 같다.[5-6]

$$\beta_x = \beta_r + \beta_s \quad (2)$$

여기서 β_r = 실제 피측정 전류변성기의 위상각 오차

β_s = 표준 전류변성기의 위상각 오차,

β_r = 전류변성기 비교기에서 측정되는 위상각 오차

식 (2)에서 실제 피측정 전류변성기의 위상각 오차를 구하기 위해서는 비교기에서 측정되는 위상각 오차 값에서 표준 전류변성기의 위상각 오차 값이 더해져 보정이 되어야 한다. 이 보정값은 5,000 A 표준 전류변성기 제조회사의 측정값으로부터 취하여, 실제 피측정 전류변성기의 위상각 오차를 구하였다. KRISS 에서의 위상각 오차 측정 결과를 표 3의 세번째 열에 나타내었다. 여기서 측정조건은 앞의 비오차의 측정과 동일하다.

표 3 KRISS 와 NMIA 위상각 오차 측정 결과의 비교 (0 VA, 60 Hz)

Table 3 Measurement result for phase displacement error between KRISS and NMIA (0 VA, 60 Hz)

Rated primary current / Rated secondary current	Secondary current(%)	Ratio error (%)		차이 (KRISS - NMIA)
		KRISS	NMIA	
10 A/5 A	5	+0.09	+0.00	+0.09
	20	+0.04	+0.00	+0.04
	100	-0.04	-0.07	+0.03
15 A/5 A	5	+0.10	+0.03	+0.07
	20	+0.04	+0.00	+0.04
	100	-0.05	-0.07	+0.02
20 A/5 A	5	+0.09	+0.00	+0.09
	20	+0.04	-0.03	+0.07
	100	-0.05	-0.07	+0.02
25 A/5 A	5	+0.09	+0.00	+0.09
	20	+0.03	+0.00	+0.03
	100	-0.05	-0.07	+0.02
50 A/5 A	5	+0.08	+0.03	+0.05
	20	+0.02	+0.00	+0.02
	100	-0.07	-0.07	+0.00
75 A/5 A	5	+0.07	+0.03	+0.04
	20	+0.01	+0.00	+0.01
	100	-0.08	-0.07	-0.01
100 A/5 A	5	+0.07	+0.07	+0.00
	20	+0.01	+0.00	+0.01
	100	-0.09	-0.03	-0.06
300 A/5 A	5	+0.09	+0.03	+0.06
	20	+0.02	+0.00	+0.02
	100	-0.07	-0.03	-0.04
600 A/5 A	5	+0.08	+0.07	+0.01
	20	+0.01	+0.00	+0.01
	100	-0.08	-0.03	-0.05
750 A/5 A	5	+0.06	+0.07	-0.01
	20	+0.01	+0.03	-0.02
	100	-0.07	-0.03	-0.04
1000 A/5 A	5	+0.03	+0.07	-0.04
	20	-0.01	+0.00	-0.01
	100	-0.07	-0.03	-0.04
1500 A/5 A	5	+0.09	+0.07	+0.02
	20	+0.03	+0.03	+0.00
	100	-0.03	-0.03	+0.00
2000 A/5 A	5	+0.06	-0.10	-0.04
	20	+0.02	-0.03	-0.01
	100	-0.04	-0.03	-0.01
3000 A/5 A	5	+0.04	-0.07	-0.03
	20	+0.00	+0.03	-0.03
	100	-0.05	-0.03	-0.02

KRISS에서 측정한 동일한 이동용 표준기를 사용하여 동일한 측정조건에 대해서 호주 NMIA 에서의 위상각 오차 측정결과를 표 3의 네번째 열에 나타내었다.[7] 양 기관에서의 불일치도는 표 3의 마지막 열에 나타내었는데 최대 0.09 min 로서 상당히 우수한 일치도를 보여준다.

한편 설치된 20,000 A 급 전류변성기 교정시스템의 성능평가를 위해 앞의 호주와의 국제비교와 유사한 방법으로 1차전류가 최대 20,000 A인 그림 8의 전류변성기(NCD 20000d, s/n : 2/06/0006)를 이동용 표준기로 사용하여 독일 국가표준기관(PTB)과 국제비교를 수행하였다. KRISS에서의 측정은 그림 4의 동 부스바의 직경이 15 cm 이고, 20,000 A 전류변성기 교정시스템을 이용하여 측정하였다. 표준 전류 변성기는 20,000 A 전류변성기(NCD 20000d, s/n : 2/06/0007)를 사용하였다. KRISS 에서의 실제 피측정 전류 변성기의 비오차 측정값은 식 (1)과 동일한 방법으로 얻어졌고 측정결과를 표 4의 세번째 열에 나타내었다. 양 기관에서의 측정조건은 동일하게 5 VA, PF = 1. 60 Hz, 전류 변성기의 1차측 전류 5,000 A ~ 20,000 A의 범위에서 2차측 전류 10 %, 20 %, 50 %, 100 % 이다. PTB 에서의 비오차 측정값을 표 4의 네번째 열에[8] 나타내었고, 표 4의 맨 마지막 열에 양 기관에서의 측정값의 차이를 나타내었다. 양 기관에서의 불일치도는 최대 0.004 % 로서 상당히 우수한 일치도를 보여준다.

표 4 KRISS와 PTB 비오차 비교측정 결과 (5 VA, PF = 1, 60 Hz)

Table 4 Measurement result for ratio error between KRISS and PTB (5 VA, PF = 1, 60 Hz)

Rated primary current /Rated secondary current	Secondary current(%)	Ratio error (%)		차이 (KRISS -NMIA)
		KRISS	NMIA	
5000 A/5 A	10	+0.004	+0.007	-0.003
	20	+0.004	+0.007	-0.003
	50	+0.004	+0.007	-0.003
	100	+0.003	+0.007	-0.004
10000 A/5 A	10	+0.008	+0.010	-0.002
	20	+0.008	+0.010	-0.002
	50	+0.007	+0.010	-0.003
	100	+0.007	+0.010	-0.003
15000 A/5 A	10	+0.006	+0.008	-0.002
	20	+0.006	+0.008	-0.002
	50	+0.005	+0.007	-0.002
	100	+0.005	+0.007	-0.002
20000 A/5 A	10	+0.004	+0.007	-0.003
	20	+0.003	+0.007	-0.004
	50	+0.003	+0.006	-0.003
	100	+0.003	+0.006	-0.003

표 4와 동일하게 표 5는 KRISS 와 PTB에서[8] 측정된 위상각 오차의 측정결과를 보여준다. 양 기관에서의 불일치도는 최대 0.1 min 로서 상당히 우수한 일치도를 보여준다.

표 5 KRISS와 PTB 위상각 오차 비교측정 결과 (5 VA, PF = 1, 60 Hz)

Table 5 Measurement result for phase displacement between KRISS and PTB (5 VA, PF = 1, 60 Hz)

Rated primary current /Rated secondary current	Secondary current(%)	Ratio error (%)		차이 (KRISS -NMIA)
		KRISS	NMIA	
5000 A/5 A	10	-0.5	-0.5	+0.0
	20	-0.6	-0.6	+0.0
	50	-0.6	-0.6	+0.0
	100	-0.7	-0.6	-0.1
10000 A/5 A	10	-0.1	-0.2	+0.1
	20	-0.1	-0.2	+0.1
	50	-0.3	-0.2	-0.1
	100	-0.3	-0.2	-0.1
15000 A/5 A	10	-0.1	-0.2	+0.1
	20	-0.1	-0.2	+0.1
	50	-0.2	-0.2	+0.0
	100	-0.2	-0.2	+0.0
20000 A/5 A	10	-0.2	-0.1	-0.1
	20	-0.2	-0.1	-0.1
	50	-0.2	-0.1	-0.1
	100	-0.2	-0.2	+0.0

5. 결 론

설치된 20,000 A 급 전류 변성기의 교정시스템의 성능평가를 위해 5,000 A 와 20,000 A 전류변성기 2대를 이동용 표준기로 사용하여 한국표준과학연구원(KRISS)과 호주 국가표준기관(NMIA) 및 독일 국가표준기관(PTB)과 국제비교를 수행하였다. KRISS-NMIA 및 KRISS-PTB의 불일치도는 비오차의 경우 최대 0.004 % 이고, 위상오차의 경우 최대 0.10 min 로서 상당히 우수한 일치도를 얻었다. 결론적으로 이번에 구축한 20,000 A 전류변성기 교정시스템은 명실상부한 국가표준 시스템으로 손색이 없으며, 국가표준이 없어 측정여로를 겪어왔던 국내 중전기기업체에 많은 도움을 주리라고 전망한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업인프라구축지원사업의 "연구시험설비구축사업"의 지원으로 이루어진 것입니다.

참 고 문 헌

[1] S. S. Kumar, V. Subbiah, A. Kandaswaray, G. D. Kumar, R. Sujay, S. Manoharan, "A state of the art STATCON for instantaneous VAr compensation and harmonic suppression to enhance power quality" Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, CIGRE/IEEE PES International Symposium, 86-90(2003).
 [2] Gun-Woo Moon and Suk-Ho Yoon, "Predictive

current control of distribution static condenser (D-STATCON) for reactive power compensation in flexible AC transmission system (FACTS)" Power Electronics Specialists Conference, PESC 98 Record. 29th Annual IEEE, vol. 1, 816-822(1998).

- [3] K. R. Padiyar and A. M. Kulkarni, "Analysis and design of voltage control of static condenser" Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, Proceedings of the International Conference on Publication vol. 1, 393-398(1996).
- [4] 한국표준협회, "계기용변성기(표준용 및 일반계기용)", KS C 1706, 1982.
- [5] I. E. Zinn "PTB testing instructions instrument transformers" PTB testing instructions 12, ISSN 0341-7964, 85-86(1977)
- [6] 정재갑, 이상화, 권성원, 강전홍, 김명수 "전류변성기 비교측정 장치의 현장 평가 기술", 대한전기학회지, 56권 (5호), 926-932(2007).
- [7] Calibration result of P-5000 current transformer(S/N : 0490961) in NMIA (Report No: 48289, 2005).
- [8] Calibration report of current transformer (Type : NCD 20000d, S/N : 2/06/0006) in PTB (Reference No: 2.31-06000359, Calibration mark : 2183 PTB 06)

저 자 소 개



정재갑 (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



이상화 (李相和)

1967년 1월 26일생. 1994년 한밭대 전자공학과 졸업. 1986년~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 전자기그룹 선임연구원

Tel : 042-868-5151
 Fax : 042-868-5018
 E-mail : shlee@kriss.re.kr



강전홍 (姜鎔洪)

1963년 2월 8일생. 1988년 대전한밭대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 석사 졸업. 2004년 충남대학교 전기공학과 박사과정. 1988년~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 전자기그룹 선임연구원

Tel : 042-868-5152
 Fax : 042-868-5018
 E-mail : jhkang@kriss.re.kr



김명수 (金明壽)

1954년 8월 26일생. 1977년 서울공대 화공과 졸업. 1986년 미국 미주리대 (공학박사). 1977년~1982년 국방과학연구소. 1987년~현재 한국표준과학연구원 표준보급부장

Tel : 042-868-5040
 Fax : 042-868-5018
 E-mail : mkim@kriss.re.kr



김윤형 (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



한상길 (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



한상옥 (韓相玉)

1974년 충남대학교 공업교육과(전기)졸업. 1986년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1985년 독일 하노버대 객원교수. 1989년 일본 나고야대 객원교수. 현 충남대학교 전기공학과 교수

Tel : 042-821-5655
 Fax : 042-821-8895
 E-mail : sohan@cnu.ac.kr