

# 200 kV 용량형 분압기 2대를 이용한 교류 고전압 측정범위 확장

論 文

57P-1-1

## Measurement Range Extension of AC High Voltage using two 200 kV Capacitive Dividers

鄭在甲<sup>†</sup>·李相和<sup>\*</sup>·姜餘洪<sup>\*</sup>·金明壽<sup>\*\*</sup>·金潤亨<sup>\*\*\*</sup>·  
韓相吉<sup>§</sup>·鄭辰慧<sup>§§</sup>·韓相玉<sup>§</sup>·鄭鍾萬<sup>§§</sup>

(Jae-Kap Jung · Sang-Hwa Lee · Jeon-Hong Kang · Myung-Soo Kim · Yoon-Hyoung Kim ·  
Sang-Gil Han · Jin-Hye Jeong · Sang-Ok Han · Jong-Man Joung)

**Abstract** - The output voltage value of AC high voltage source has been usually obtained by multiplying low voltage value measured at both terminals of low voltage resistor by the dividing ratio of the high voltage capacitive divider. From the dividing ratio determined of each 200 kV capacitive divider, we have developed step-up method for measuring the output voltage up to 400 kV using two same type of 200 kV capacitive dividers connected in series. The theoretical dividing ratio of 400 kV capacitive dividers connected in series coincides with that of manufacturer's certification within measurement uncertainty. Thus, this developed step-up method makes it possible to extend the range of output voltage from 200 kV to 400 kV. Furthermore, The dividing ratio of divider under test obtained using this step-up method is consistent with that obtained using one 200 kV high voltage divider within corresponding uncertainties.

**Key Words** : High voltage divider, Standard voltage transformer, Capacitive divider, Dividing ratio, Transformation ratio, Ratio error.

### 1. 서 론

고전압 전선을 생산하거나 대용량 변압기의 전력손실을 측정하는 중전기 업체에서는 고전압 발생원(내전압 시험기)을 사용한다. 현재 국내 산업체에서 사용하고 있는 고전압 발생원의 최대 출력값은 1800 kV 이다. IEC 규격에 의하면[1] 고전압 발생원 최대 전압의 20 %에 해당하는 즉 360 kV 까지의 전압 측정 및 직선성을 평가 해 주어야 한다. 현재 수백 kV 까지의 교류 고전압 발생원을 정밀 측정하는 방법은 저항형 분압기, 용량형 분압기, 고전압 변성기를 이용하고 있다[2-6].

중전기 산업체의 고전압 발생원의 평가를 위해 국가표준기관에서 소급을 받은 약 360 kV 까지의 정격전압을 가진 고전압 용량형 분압기나 고전압 변성기가 요구된다. 그러나 현재 우리나라의 국가표준기관인 한국표준과학연구원에서는 200 kV 까지만 표준이 확립되어 있고, 360 kV 고전

압 발생원은 교정할 수 없으므로 측정범위 확장기술이 필요하다. 고전압 측정범위 확장 가능성을 검토하기 위한 기초 선행연구로서 최근에 30 kV 의 고전압 표준값으로부터 60 kV 의 고전압을 측정할 수 있는 평행판 전극장치를 개발하였다[7]. 또한 평행판 전극의 구조와 연결부분을 개선하여 측정범위를 200 kV 까지 확장하였고, 측정기술의 유효성을 확인하였다.

본 연구는 선행연구를 바탕으로 고전압 측정범위 확장을 위해 200 kV 의 고전압 표준값으로부터 400 kV 의 고전압을 측정할 수 있는 방법을 개발하였다. 이 방법은 먼저 200 kV 급 표준 전압변성기로부터 2대의 200 kV 급 용량형 분압기의 분압비를 평가하여 각각의 분압기의 분압비를 얻는다. 둘째로 200 kV 용량형 분압기 2대를 직렬로 연결하여 각각 분압기의 분압비로부터 이론적으로 400 kV 까지의 분압기의 분압비를 얻고, 이를 이용하여 400 kV 피 측정 고전압 분압기를 평가하는 것이다. 여기서 고전압 분압기의 평가는 고전압 발생원의 평가를 의미한다. 실제로 직렬로 연결한 200 kV 분압기 2대를 표준분압기로 이용하여 피 측정 분압기의 분압비를 측정하였는데, 이 결과는 200 kV 고전압 분압기 1대로 직접 측정된 결과와 비교하여 측정 불확도 내에서 일치도를 확인하였다.

### 2. 고전압 측정범위 확장원리

200 kV 의 국가표준에서 소급된 200 kV 급 표준 전압변성기로부터 200 kV 급 용량형 분압기 2대를 평가하기 위한

<sup>†</sup> 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

<sup>\*</sup> 正會員 : 韓國標準科學研究院 先任研究員

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 韓國標準科學研究院 部長 · 工博

<sup>\*\*\*</sup> 學生會員 : 忠南大學校 電氣工學科 碩士課程

<sup>§</sup> 正會員 : 忠南大學校 電氣工學科 教授 · 工博

<sup>§§</sup> 正會員 : 韓電 電力研究院 先任研究員 · 工博

接受日字 : 2007年 9月 30日

最終完了 : 2007年 12月 12日

회로 연결은 그림 1의 a)와 b)와 같다.

그림 1 a)에서 왼쪽은 표준 전압변성기이고, 오른쪽은 200 kV 용량형 분압기 1이다. 분압기 1의 분압비( $R_1$ )는 표준 전압변성기의 2차측 전압( $V_L$ )을 측정하여 고전압( $V_H$ )을 알고, 이로부터 분압기 1의 분압전압( $V_{L1}$ )을 측정함으로써 구해진다. 관계는 아래와 같다.

$$R_1 = \frac{(Z_{H1} + Z_L)}{Z_L} = \frac{N(1 - \alpha) V_L}{V_{L1}} \quad (1)$$

여기서  $\alpha$ 는 표준 전압변성기의 비오차 (ratio error)이고,  $N$ 은 표준 전압변성기의 정격변환비 (transformation ratio)이다.

표준 전압변성기로부터 분압기 2를 평가하기 위한 연결은 그림 1 b)와 같다. 그림 1 b)에서 왼쪽은 표준 전압변성기이고, 오른쪽은 200 kV 용량형 분압기 2이다. 분압기 2의 분압비( $R_2$ )는 식 (1)과 동일한 방법으로 얻어지고 관계는 아래와 같다.

$$R_2 = \frac{(Z_{H2} + Z_L)}{Z_L} = \frac{N(1 - \alpha) V_L}{V_{L2}} \quad (2)$$

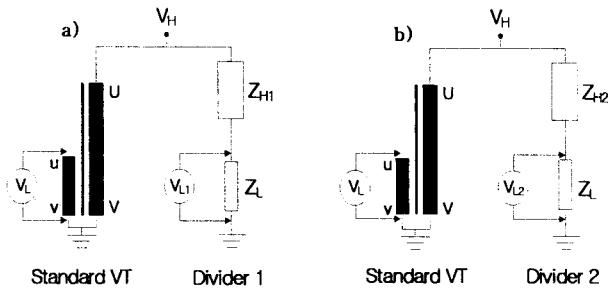


그림 1 200 kV급 표준 전압변성기로부터 a) 200 kV 용량형 분압기 1 과 b) 200 kV 용량형 분압기 2를 평가하기 위한 회로 연결

Fig. 1 Circuit diagram for evaluating a) 200 kV capacitive divider 1 and b) 200 kV capacitive divider 2 using a 200 kV standard voltage transformer

한편 그림 2의 왼쪽과 같이 200 kV 용량형 분압기 2대를 직렬로 연결한 400 kV 에서의 분압기 2대의 합성분압비( $R_{1+2}$ )는 식 (1)과 (2)의 각 용량형 분압기의 분압비로부터 아래와 같이 주어진다.

$$R_{1+2} = \frac{(Z_{H1} + Z_{H2} + Z_L)}{Z_L} = R_1 + R_2 - 1 \quad (3)$$

따라서 각 분압기의 분압비( $R_1, R_2$ )를 알면 400 kV 에서의 합성분압비( $R_{1+2}$ )를 이론적으로 계산할 수 있다.

직렬로 연결한 분압기 2대로부터 400 kV급 피 측정 분압기를 평가하기 위한 연결은 그림 2와 같다. 그림 2에서 왼쪽은 직렬로 연결한 2대의 분압기이고, 오른쪽은 400 kV급 피 측정 분압기이다. 피 측정 분압기의 분압비( $R_X$ )는 직렬

로 연결한 2대의 분압기의 2차측 전압( $V_{LX}$ )을 측정하여 고전압( $V_H$ )을 알고, 이로부터 피 측정분압기의 분압전압( $V_{LX}$ )을 측정함으로써 구해진다. 관계는 아래와 같다.

$$R_X = \frac{(Z_{HX} + Z_{LX})}{Z_{LX}} = \frac{(R_1 + R_2 - 1) V_{LX}}{V_{LX}} \quad (4)$$

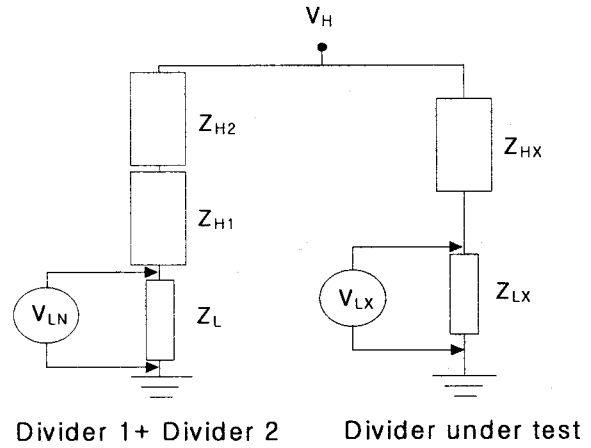


그림 2 200 kV 용량형 분압기 2대를 직렬로 연결하여 400 kV의 고전압 분압기를 평가하기 위한 회로의 연결도

Fig. 2 Circuit diagram for evaluating a 400 kV high voltage divider using two 200 kV capacitive dividers connected in series

### 3. 실험결과

그림 1 a)와 같이 고전압 발생원에 200 kV 표준 전압변성기와 고전압 분압기 1을 연결하고, 전압을 200 kV 까지 가하면서 표준 전압변성기의 2차측 전압 ( $V_L$ ), 분압기 1의 분압전압( $V_{L1}$ )을 측정하였다. 여기서 사용한 표준 전압변성기는 1차측 전압이 200 kV 이고, 2차측 전압이 110 V 이므로 정격변환비가  $N = 1818.1818$  이고, 비오차  $\alpha = 0.01\%$  이다. 분압기 1의 분압비( $R_1$ )는 식 (1)의 관계식에서 구해졌고, 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1 고전압 1 kV ~ 200 kV 범위에서 분압전압 ( $V_L$  와  $V_{L1}$ )을 측정하여 얻은 분압기 1의 분압비( $R_1$ )

Table 1 Dividing ratio( $R_1$ ) of divider 1 obtained from dividing voltages ( $V_L$  and  $V_{L1}$ ) in the output voltage range of 1 kV ~ 200 kV.

정격전압(kV)	$V_L$ (V)	$V_{L1}$ (V)	$R_1$
50	27.50	33.97	1472
100	55.00	67.93	1472
150	82.50	101.8	1473
200	110.0	135.9	1472

그림 1 b)와 같이 고전압 발생원에 200 kV 표준 전압변성기와 고전압 분압기 2를 연결하였다. 여기서 그림 1 a)와 동일한 표준 전압변성기를 사용하였다. 그림 1 a)의 분압기 1과 유사하게 분압기 2의 분압비( $R_2$ )는 식 (2)의 관계식에서 구해졌고, 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2 고전압 1 kV ~ 200 kV 범위에서 분압전압 ( $V_L$  와  $V_{L2}$ )을 측정하여 얻은 분압기 2의 분압비( $R_2$ )

Table 2 Dividing ratio( $R_2$ ) of divider 2 obtained from dividing voltages ( $V_L$  and  $V_{L2}$ ) in the output voltage range of 1 kV ~ 200 kV.

정격전압(kV)	$V_L(V)$	$V_{L2}(V)$	$R_2$
50	27.50	34.75	1439
100	55.00	69.49	1439
150	82.50	104.2	1440
200	110.0	139.1	1438

앞에서 200 kV 까지의 2대 분압기 평가결과로부터 200 kV 분압기 2대를 직렬로 연결했을 때 400 kV 까지 분압기의 합성분압비( $R_{1+2}$ )는 식 (3)으로부터 구해진다. 그 결과를 표 3의 두번째 열에 나타내었는데, 이 값은 제조회사에서 400 kV 까지 측정된 결과와 비교해 볼때 0.17 % 이내로 일치함을 확인 할 수 있었다[8]. 직렬로 연결한 200 kV 분압기 2대 즉 400 kV 표준 분압기로부터 피 측정 분압기의 분압비를 그림 2와 같이 연결하여 평가하였다. 평가를 위한 400 kV 표준 분압기, 400 kV 피 측정 분압기, 400 kV 고전압 발생원의 연결의 실물사진은 그림 3과 같다.

전압을 400 kV 까지 가하면서 표준 전압 분압기의 분압전압( $V_{L1}$ )과 피 측정 분압기의 분압전압( $V_{L2}$ )을 측정하였다. 피 측정 분압기의 분압비( $R_X$ )는 식 (4)의 관계식에서 구해졌고, 결과를 표 3에 나타내었다.

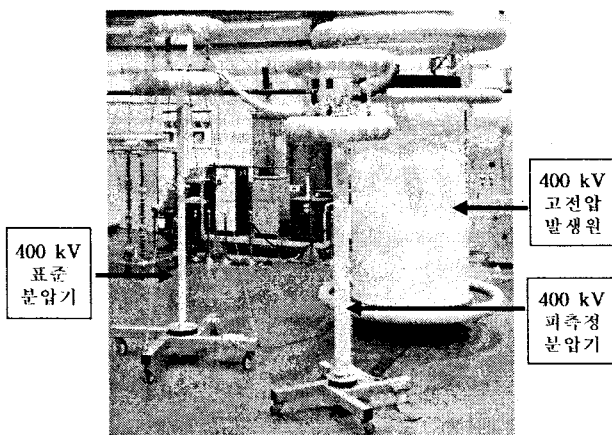


그림 3 200 kV 용량형 분압기 2대를 직렬로 연결하여 400 kV 의 고전압 발생원을 평가하기 위한 실물사진  
Fig. 3 Photo for evaluating a 400 kV high voltage source using two 200 kV capacitive dividers connected in series

표 3 고전압 100 kV ~ 400 kV 범위에서 분압전압 ( $V_{L1}$  와  $V_{L2}$ )을 측정하여 얻은 피 측정 분압기의 분압비

Table 3 Dividing ratio of divider under test obtained from dividing voltages( $V_{L1}$  and  $V_{L2}$ ) in the output voltage range of 1 kV ~ 400 kV.

정격전압(kV)	$R_{1+2}$	$V_{L1}(V)$	$V_{L2}(V)$	$R_X$
100	2910	34.36	42.09	2376
200	2910	68.73	83.79	2387
300	2912	103.0	126.1	2379
400	2909	137.5	167.3	2391

#### 4. 전압범위 확장방법의 유효성 검증

200 kV 급 분압기 2대를 이용하여 400 kV 고전압 측정 방법의 유효성을 검증하기 위해 동일한 피 측정분압기에 대해 200 kV 급 분압기 2대를 직렬로 연결하여 피 측정분압기의 분압비를 측정된 결과와 200 kV 급 고전압 분압기 1대로 직접 측정된 결과를 표 4에서 서로 비교 하였다. 표 4의 마지막 열에 두 방법으로 얻은 피 측정 분압기의 분압비에 대한 상대차이를 나타내었다. 상대차이는 아래와 같이 정의된다.

$$\text{상대차이 (\%)} = \frac{K_{1+2} - K_1}{K_1} \times 100 [\%] \quad (5)$$

여기서  $K_{1+2}$ 는 고전압 분압기 2대를 직렬로 연결하여 피 측정 분압기의 분압비를 측정된 값이고,  $K_1$ 는 고전압 분압기 1대로 피 측정 분압기의 분압비를 측정된 값이다. 상대차이는 정격전압 50 kV, 100 kV, 200 kV 에서 각각 -0.17 %, -0.21 %, +0.17 % 이었다. 이는 두 방법에 대한 불확도가 약 1 % 임을 감안하면 상당히 양호한 일치도이다.

표 4 동일한 피 측정 분압기에 대해 서로 다른 표준 분압기로 측정된 분압비의 비교.

Table 4 Comparison of dividing ratio of same divider under test measured by two different standard dividers.

정격전압(kV)	$K_{1+2}$	$K_1$	상대차이(%)
50	2378	2382	-0.17
100	2376	2381	-0.21
200	2387	2383	+0.17

#### 5. 결 론

본 연구는 비오차와 정격 변환비를 정확하게 알고 있는 200 kV 표준 전압변성기로부터 200 kV 용량형 분압기 2대의 분압비를 각각 평가하여 각 분압기의 분압비를 구하고, 이로부터 200 kV 용량형 분압기 2대를 직렬로 연결하여 이론적인 분압비를 알 수 있다. 직렬로 연결한 분압기의 이론

값과 실험값을 비교하였는데, 그 값들이 400 kV 까지 0.17 % 이내로 일치함을 확인 할 수 있었다.

또한 고전압 분압기 2대를 직렬로 연결하여 얻은 피 측정 분압기의 분압비가 고전압 분압기 1대로 직접 측정한 결과와 비교한 결과 최대 -0.21 % 이내의 일치도를 확인 할 수 있었다. 고전압 국제규격(IEC 60044)에서 명시한 고전압 측정 불확도가 3 % 임을 감안하면 분압기 2대를 직렬로 연결한 고전압 발생원에 대한 측정범위 확장기술은 적용 가능한 방법임을 확인 할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업인프라구축지원사업의 “연구시험설비구축사업”의 지원으로 이루어진 것입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC 60, 1987.
- [2] William E. Anderson "A Calibration Service for Voltage Transformers and High-Voltage Capacitors" NBS Measurement Services Special Publication 250-33, 1988.
- [3] R. Krump, J. Weltgen, "Investigation and calibration of AC-voltage divider capacitors in connection with the accreditation of the HV Laboratory" Proceedings ERA European Conference and Exhibition on High Voltage Measurement and Calibration, ERA 94-0776, 1994.
- [4] T. Tadokoro, T. Tsuchiyama, "AC voltage divider test set" JEMIC Technical Report, vol. 37, no. 3, pp 45-47, 2002.
- [5] D. I. Nefed'ev, "Equipment for checking high-voltage measuring transformers" Measurement Techniques, vol. 48, no. 8, pp 812-816, 2005.
- [6] 권성원, 김문석, 정재갑, 이성하, 김명수, "전압변성기용 부담특성 정밀분석용 자동 평가 시스템의 개발" 대한전기학회지, vol. 54C, no. 10, pp 457-464, 2005.
- [7] 강전홍, 정재갑, 류제천, 이상화, 김규태, 김명수, 한상욱, "평행판 전극과 전기장 센서를 이용한 교류 고전압 발생원의 측정범위 확장기술 개발" 대한전기학회지, vol. 55C, no. 9, pp 446-451, 2006.
- [8] DKD Calibration Certificate of 400 kV divider, Calibration mark 555, DKD-K-17701, 06-10. 2006.

## 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 (공학 박사). 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



**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



**정 진 혜 (鄭 辰 慧)**

1985년 01월 12일생. 2007년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.

Tel : 042-821-7604

Fax : 042-821-8895

E-mail : eyhnij@cnu.ac.kr



**한 상 옥 (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



**정 종 만 (鄭 鍾 萬)**

1971년 9월 16일생. 2004년 경상대 전기공학과 졸업 박사. 2004년~현재 한전전력연구원 배전연구소 배전설비진단그룹 선임연구원

Tel : 042-865-5915

Fax : 042-865-5904

E-mail : jjmany@kepri.re.kr