

## 22.9 kV 배전용 개폐기의 개폐서지 측정시스템 구성에 관한 연구

박상만\*, 윤태상, 노황래, 한웅희, 이흥호  
 한전 전력연구원, 한전 구조개편팀, 충남대학교

### A Study on the Measuring System of the Switching Surges in the 22.9 kV Distribution Lines

Sangman Park\*, Taesang Yoon, Hwangnai Roh, Yonghee Han, Heungho Lee  
 Korea Electric Power Corporation KEPRI, KEPCO, Chungnam National University

**Abstract** - In the distribution systems, there are generally two sources of transient over-voltages. One is the capacitor switching surge and the other is the lightning surge. This paper is written about the measuring and analysis of switching over-voltages in the 22.9 kV multi-grounded distribution systems. The measurement was performed in the Kochang distribution test line in January, 2000.

#### 1. 서 론

우리나라 22.9 kV 배전계통에 있어 합리적인 절연협조 설계와 이상전압에 대한 보호대책 수립을 위하여, 각종 실측자료의 필요성이 대두되고 있으나, 현재까지 이 분야에 대한 체계적인 연구 및 측정자료가 없는 실정이다. 특히, 특고압 계통에서의 이상전압은 충격파 특성을 갖고 있어, 측정시스템을 현장에 구성하고 실측하는데 많은 노력이 필요하다. 일반적인 전압 측정은 아날로그 방식으로 간단히 구성될 수 있으나, 특고압 선로에서 서지형태의 이상전압은 디지털 샘플링 방식으로 하고, 실계통에서 직접 이상전압 데이터를 취득할 수 있는 측정시스템 구축이 필요하다. 본 논문에서는 고장 배전실증 시험장에 구성된 개폐서지 측정시스템 및 실증실험 결과에 관하여 기술하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 개폐서지 및 측정시스템

배전계통에서 발생하는 과전압의 원인은 주로 뇌(직격뢰·유도뢰), 개폐서지, 선로공진, 1선 지락 고장시 건전상 과전압 발생 등 다양하다. 이러한 원인들 가운데 특히, 특고압 배전계통에서 중요시되고 있는 것은 배전용 개폐기의 개폐서지(switching surge)와 뇌(lightning)로 인하여 선로에서 발생하는 충격파 형태의 이상전압이다. 이러한 이상전압은 일시적인 과전압(transient overvoltage) 형태로 전력계통에서 절연장을 발생시키며, 전기사용 고객 설비에도 일시적인 과전압을 일으키게되어 전력품질을 저하시키는 주원인이 되고 있다. 특히 22.9 kV 배전계통에서 선로 운영상 개폐기 조작이 빈번하여 개폐서지 발생빈도가 많으며, 선로고장 발생시 재폐로 차단기가 동작할 경우에 나타나는 개폐 이상전압은 기기절연에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 현재 우리나라에서는 이러한 이상전압에 대한 적절한 보호대책을 이상전압에 대한 시뮬레이션과 외국의 측정 사례를 활용하여 수립하고 있으나, 보다 합리적인 대책 수립 방법으로 실 계통에서 나타나는 이상전압 현상을 장기적으로 측정하여, 여기서 취득된 실제의 이상전압 데이터를 분석하여 활용할 수 있는 시스템 구성이 필요하다.

##### 2.1.1 개폐서지

배전계통의 개폐서지는 주로 용량성 선로 개폐 조작시 발생된다. 이러한 용량성 선로는 지중화 지역이 많은 대도시와 경부하시 역률 개선용 콘덴서 성분이 많게되는 공단지역에서 주로 나타난다. 전력계통에서 사용되는 콘덴서는 주로 역률(power factor)개선의 목적으로 사용되고 있으며, 회전기인 동기전동기보다 고장이 적고 유지보수 비용이 적어 일반적인 전력계통에서 널리 사용되고 있다. 이러한 콘덴서 사용에 따른 결점은 배전계통의 개폐기 조작시 전원 파형이 과도기간 동요(oscillatory transient)되는 것이다. 외국의 경우 용량성 선로에서 개폐기 조작시 과전압은 일반선로의 경우 약 1.3~1.4 pu(per unit)정도로 측정되고 있다. 그림 1은 부하측에 있는 용량성 부하있는 경우로서, 개폐기 조작시 일시적으로 과전압이 상규전압(nominal voltage)에 대하여 134%까지 상승하는 파형을 나타낸다. 본 연구에서도 이러한 자료를 바탕으로 개폐서지의 측정대상 크기를 선정하였다.

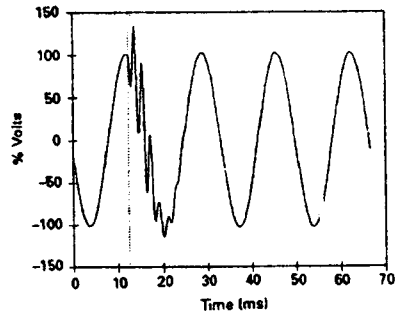
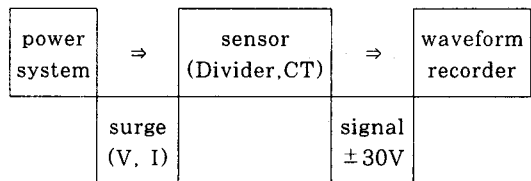


그림 1 용량성 부하 개폐기 투입시 과전압 파형

##### 2.1.2 측정시스템

고장 배전실증시험장에 건설된 22.9 kV 시험선로를 활용하였으며, 배전용 개폐기(가공개폐기, 배전자동화용 다회로차단기)의 개폐 조작시 나타나는 서지(surge) 형태 과전압을 특고압 선로에 연결된 센서(sensor)로 저압 신호파형으로 변환시킨 후, 디지털 샘플링 파형기록계로서 파형데이터를 취득한다.



##### 2.1.2.1 센서(sensor)

개폐서지 측정시스템에 사용된 센서류는 전압·전류

측정 구분에 따라 표 1과 같이 구분한다. 개폐서지의 주파수는 고주파성분을 포함하고 있어, 고주파전압을 측정할 수 있는 디바이더(divider)형태의 센서를 사용한다.

표 1 측정용도별 센서 구분

물리량	센서	측정	비고
전압측정	divider	선로 서지 전압 측정	고주파 측정
전류측정	CT	접지선 전류	

개폐서지는 주로 선로에 나타나는 전압서지가 측정대상이 되며, 22.9 kV 선로 각상(A, B, C 및 N상)에 각 1개씩의 전압센서를 설치하여 선로상의 서지전압(surge voltage)을 저압인 신호전압(signal voltage)으로 변환시킨다. 디바이더 센서의 특성은 표 2와 같으며, 센서 설치는 그림 2와 같다.

표 2 전압 측정 센서(divider)

구분	규격
magnitude	±200 kV <sub>peak</sub>
rise time	0.1 μs
output signal	±30 kV <sub>in peak</sub>
BIL	350 kV
변환비	6.666 : 1

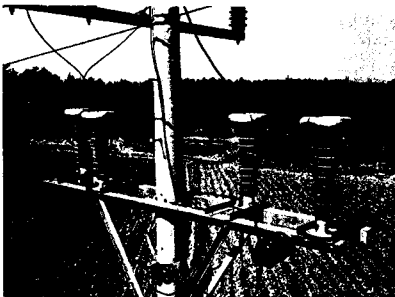


그림 2 전압 센서(divider)

### 2.1.2.2 파형기록계(waveform recorder)

전압 센서에서 출력되는 저압신호 값을 PC형태를 갖는 파형기록계에 디지털 샘플링(digital sampling)으로 데이터를 저장하며, 주기적으로 저장된 데이터를 현장 또는 원격에서 다운(down) 받는 파형기록계를 사용하였다. 표 3은 본 연구에 사용된 파형기록계의 규격을 나타내며, 현장 설치는 그림 4와 같다.

표 3 개폐서지 측정용 파형기록계

구분	규격
sampling	10 MS/s
Resolution	14bit
input signal	±50 kV <sub>peak</sub>
최대 저장용량	9 GB
OS S/W	Windows 95
응용 S/W	Odyssey, ProView

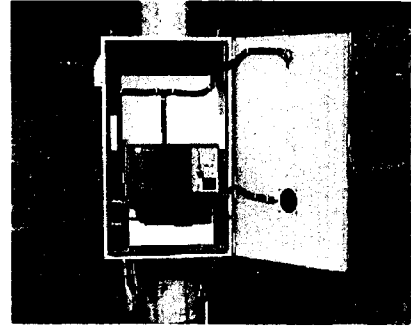


그림 3 파형기록계

## 2.2 개폐서지 측정방법 및 실험결과

고창 배전실증시현장에 건설된 22.9 kV 시험선로는 그림 4와 같으며, 이 시험선로를 이용하여 특고압 배전용 가공개폐기와 다회로차단기의 개폐 조작시 나타나는 이상전압을 측정하였다.

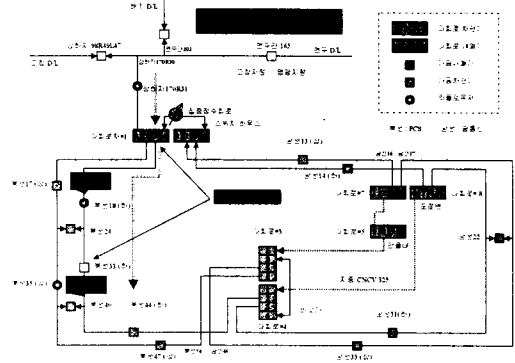


그림 4 시험선로도

### 2.2.1 개폐서지 측정방법

파형기록계의 트리거 레벨(trigger level)을 그림 5와 같이 설정하여, 상시 디지털 샘플링 상태에서 개폐기 조작시 이상전압 서지가 나타나는 경우 파형이 기록되었다.

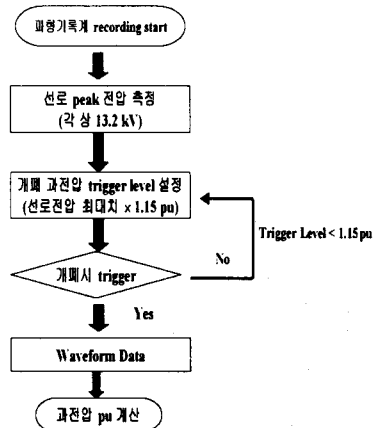


그림 5 파형기록계 트리거 레벨 설정

개폐서지의 크기 측정은 정상상태의 상전압 peak에 대하여 서지전압의 peak 값이 얼마만큼 상승되었는가를 다음 식과 같이 계산하여 과전압 pu를 상정한다.

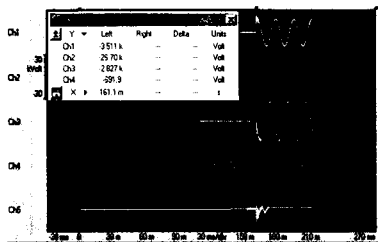
$$\text{과전압 pu} = \text{과도전압 peak} / \text{상규전압 peak}$$

표 4 상용주파전압 실효치 및 최대치

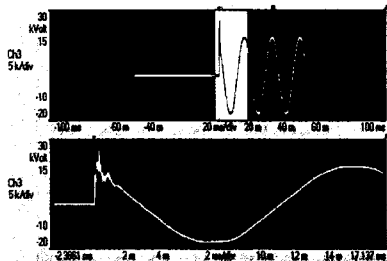
구분	전압 [kV]	비고
상용주파전압 실효치(rms)	13.2	$22.9kV \div \sqrt{3}$
상용주파전압 최대치(peak)	18.6	$\sqrt{2} \times 13.2kV$

### 2.2.2 실험결과

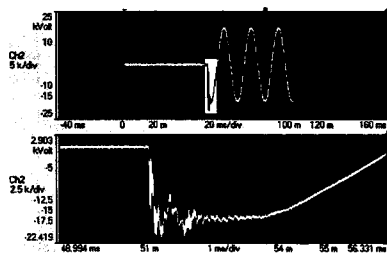
2000년 1월 27일 1차 개폐서지 실험결과 개폐서지 측정 파형은 그림 5와 같으며, (a)는 전체파형을 나타내며, 각 상 전압 위상이 120° (2π/3) 차이가 나므로 각상의 최대 과전압 발생 시간이 서로 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. (b)는 정극성 전압상태에서 개폐기가 투입된 경우이며, (c)는 부극성 전압상태에서 개폐기가 투입하는 경우 개폐서지 파형이다.



(a) 전체 파형(A, B, C, N상 전압 및 접지선 전류)



(b) 정극성 개폐서지(과전압 pu : 1.399pu)



(c) 부극성 개폐서지 (과전압 pu : 1.2pu)

그림 6 개폐서지 파형

실험 결과 배전용 개폐기(開閉器) 투입시 상-대지간 최대 과전압은 26.9 kV<sup>1)</sup>, 과전압 pu는 1.531 pu 까지 측정되었다. 표 5는 개폐기 투입시 측정된 최대 과전압 및 과전압 pu를 나타낸다.

표 5 개폐기 투입시 최대 과전압 및 과전압 pu

투입 개폐기류	다회로 차단기	가공 개폐기
측정 위치	복선12호	복선34호
개폐기와 측정위치 공간 [m]	374	1261
상-대지간 최대 과전압 [kV]	26.9	26.7
평균 과전압 pu	1.326	1.369
최대 과전압 pu	1.531	1.495

### 3. 결 론

22.9 kV 배전계통에서 개폐기 투입시 과전압의 최대치는 1.53 pu까지 상승하며, 평균 과전압 pu는 1.34 pu로 측정되었다. 이러한 측정시스템의 구성을 통하여 개폐서지에 대한 파형을 알 수 있었으며, 데이터의 대표성을 갖기 위하여 장기적인 개폐서지 측정 실험을 진행중이고 있다. 향후 배전용 개폐기의 개폐서지 실험은 COS, I/S 및 Recloser 등 다양한 배전용 개폐기에 대한 실험이 필요하며, 고장 실증시험장을 활용하여 지속적인 연구 진행과 함께 한전 배전기술부서, 학계 및 산업체 등에 배전기술 발전을 위하여 본 측정자료를 제공하고자 한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Andrew R. Hileman, "Insulation Coordination for Power Systems", Marcel Dekker, 1999
- [2] Roger C. Dugand, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996
- [3] James J. Burke, "Power Distribution Engineering", Marcel Dekker, 1994
- [4] Cooper Power Systems, "Electrical Distribution-System Protection", 3rd edition, 1990
- [5] 박상만, "속초지점 대포D/L 절연전선 단선으로 인한 지락고장전류 유입사고 분석보고서(TM.95YJ15.S1998.98)", 전력연구원, 1997
- [6] 남궁도, 김명수, "배전계통 이상전압 측정 및 대책 연구" 중간보고서(TM.95YJ15.97.589), 전력연구원, 1997
- [7] 도대호, "송배전공학", 조원사, 3판, 1992

1) 22.9kV 계통에서 상-대지간 최대치는  $\sqrt{2} \times 13.2kV = 18.6 kV$ 을 기준으로 함