

배전계통 이상전압 측정 시스템 구성에 관한 연구

박상만*, 김준오, 이홍호
전력연구원, 충남대학교

A Study on the Measurement Systems of Over-voltages in Distribution Systems

Sangman Park, Joonoh Kim, Heungho Lee
Korea Electric Power Research Institute, Chungnam National University

Abstract - In 22.9 kV-Y distribution lines, Several kinds of over-voltages occur. These over-voltages are usually surge types except controlling the bus voltages for line voltage drop. The measuring over-voltages in 22.9 kV lines is a very difficult skill. This paper introduces the study on the measurement system of over-voltages in 22.9kV distribution lines. It has been researching in KEPCO since 1995.

1. 서 론

전력계통에서 발생되는 이상전압에 관하여 다양한 방법으로 연구가 진행되어 왔다. 우리나라 전력계통에서 전압별 선로 구성을 765kV, 345kV, 154kV 전압을 갖는 송변전 선로와 1차 전압이 22.9kV 전압을 갖으며, 2차측 전압이 380/220V로 되어있는 배전 선로로 구성되어 있다. 송변전 계통에서 전압에 대한 영향은 주로 개폐 서지(surge)가 절연협조 및 기기 BIL 선정에 영향을 주고 있으며, 배전 계통에서는 낙뢰 및 선로 고장시 발생되는 서지 전압이 절연협조 및 기기 BIL 선정에 관련이 있다. 본 논문에서는 선로의 절연협조에 대한 기본적인 자료를 제공하기 위하여, 22.9kV 배전선로에 구성되는 이상전압 측정시스템 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 배전선로 이상전압 측정 대상

우리 나라 배전계통 1차 전압은 일부 지역을 제외하고 22.9kV 중성점 다중접지 방식으로 구성되어 있다. 특고압 선로에서 전압변동의 원인 및 그 현상이 다양하다. 배전선로 주변에서 발생한 낙뢰로 인하여 유도로 서지가 유입되면, 선로에 설치된 주상변압기, 애자류 및 전선에 치명적인 손상을 준다. 배전선로의 설비 사고는 복구가 장시간 되어, 정전으로 인한 2차적인 피해가 증가된다. 과거 배전선로는 서지 형태의 전압에 대하여 수동적인 형태로 작용되므로, 어느 정도 서지는 BIL이 낮은 변압기와 피뢰기 등을 제외하고 계통 자체가 흡수함으로서, 그 영향이 크게 문제가 되지 않았다. 최근 배전자동화 시스템 추진으로 선로 개폐기들이 IC와 같은 반도체 소자를 내장하고 있으며, 점차 디지털 시스템 등 능동적인 설비로 발전되고 있어, 외부 서지에 대한 영향이 크게 나타나고 있다. 표 1은 현재 배전계통 운영에 있어 고려하여야 할 이상 전압의 원인들을 나열하였다.

표 1 배전계통의 이상전압 원인

이상전압	원인
직격뢰 및 유도로 전압	낙뢰
모선 전압 조정	계통 인출 및 말단 전압조정
개폐 서지 전압	차단기 및 개폐기 조작
선로 고장시 과전압	1선 지락 및 상간 단락

이상전압 형태는 임펄스(impulse) 서지 또는 상용주파수 과전압 등이 복합적으로 나타나고 있다. 표 1에 나타난 것 외에도 대규모 전력사용 공단지역 부하에서는 고조파 성분의 이상전압 등을 고려할 수 있다. 이러한 이상전압을 규명하기 위하여, 실 계통의 이상전압·전류를 측정하고자 하며, 측정 대상을 다음과 같이 선정할 필요가 있다.

2.1.1 서지 전압·전류의 크기

낙뢰에 의한 직격뢰를 제외하고, 배전계통에 발생할 수 있는 서지 전압은 비교적 큰 값이 되고 있다. 크기는 250kV로부터 100kV 전압이 계통 운영상 나타날 수 있다. 표 2는 서지 전압의 크기에 대한 특성을 나타내며, 이 표로부터 서지 전압의 크기를 측정 대상으로 선정한다.

표 2 서지 전압의 크기 특성

이상전압	최대값	크기에 영향을 주는 것
유도로 전압	약 250kV	낙뢰 위치와 선로간 거리 낙뢰전류 크기
개폐 서지 전압	100kV 이하	개폐기 재투입 선로 고장전 운전 전압

이상전압의 최대 값은 EMTP와 같은 시뮬레이션 프로그램에서 얻거나, 외국의 실측 내용을 정리하여 도출한 것으로, 현재 우리나라 22.9kV 배전계통에서는 최대 값이 다를 수 있으며, 이 경우 기기의 BIL 선정과 관련된다. 그림 1은 낙뢰 점에서 거리에 따른 유도로 변화를 유도로 계산프로그램으로 구한 값이다.

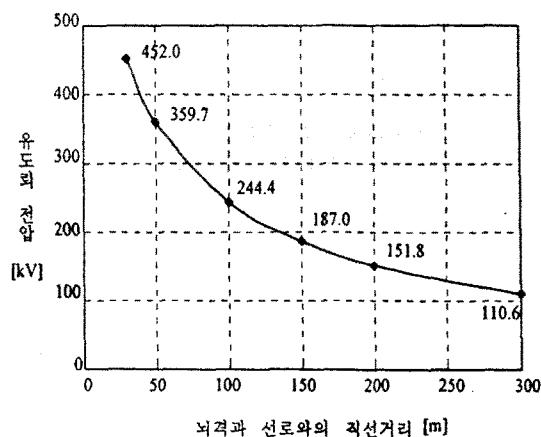


그림 1. 낙뢰 점과 선로 거리에 따른 유도로 전압 변화

2.1.2 서지 전압·전류의 파형

선로의 고장전류는 고장 초기에 직류성분이 포함되고 시간이 흐름에 따라 정현파(sine wave)에 가까운 파형으로 안정된다. 따라서, 초기부터 다양한 차수의 고주파 성분이 포함되어, 7고주파까지는 비교적 함유율이 높을 것으로 예상된다. 이러한 고주파 성분까지도 분석이 가능하도록 500 Hz까지를 측정 대상으로 할 필요가 있다. 특히 유도회 전압의 파동장은 가혹한 경우 $2 \times 70\mu\text{s}$ 의 낙뢰 전류에 대하여, 그림 2에서 계산된 값과 같이 4 μs 정도 이상을 나타내는 것으로 추정된다. 개폐 서지의 경우는 장거리 선로의 경우 개략 선로 길이를 1/4파장으로 하는 대표 주파수를 갖고, 선로 길이가 짧아지면 서지 파형을 대표하는 주파수가 높아지는 것으로 알려져 있다. 그림 2는 낙뢰 전류 파동장 변화에 따른 선로의 유도회 전압 변화를 계산한 값이다.

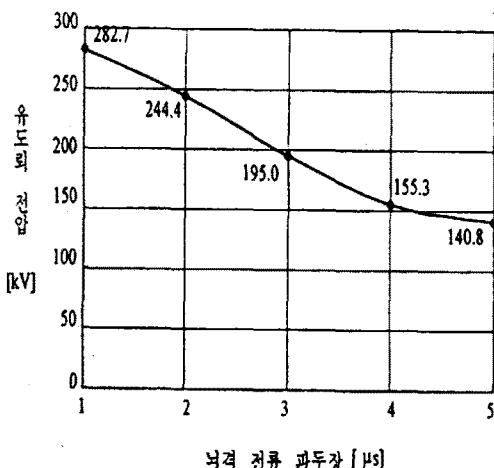


그림 2. 낙뢰 전류 파동장에 따른 유도회 전압 변화

22.9kV 배전계통에서 발생되는 뇌과전압으로부터 각종 기기들을 보호하기 위하여 가공지선과 피뢰기 가 있으며, 선로 구성 형태에 따라 서지 파형이 어떠한 형태로 수렴될 수 있는지를 측정 분석하여야 한다.

2.2 배전계통 이상전압·전류 측정시스템

앞에서 기술한 선로의 이상전압·전류를 22.9kV 배전 실계통에서 측정하기 위하여, 측정시스템 구축은 다음과 같이 구성한다.

2.2.1 배전 실계통 이상전압·전류 측정시스템

실제 운영하고 있는 22.9kV 가공 배전선로는 각종 이상전압이 발생되므로, 측정하고자 하는 대상에 맞추어 그림 3과 같이 측정 위치를 선정한다.

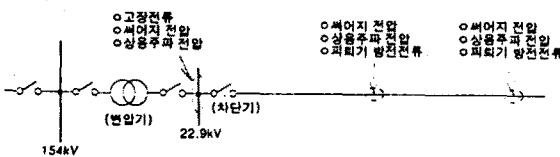


그림 3. 22.9kV 실계통 측정시스템

2.2.1.1 지속 과전압 측정시스템

배전선로 전압이 부하 변동, 부하 분포 변화, 전압조정에 의하여 규정된 운전전압 범위를 벗어날 가능성이 있다. 이 경우 운전범위를 초과하는 경우에도 선로고장으로 인식하지 않는 경우가 많기 때문에 과전압 지속시간이 길어진다. 배전계통에서 발생하는 모든 동요에 따른 지속성 과전압을 측정대상으로 한다.

2.2.1.2 서지(surge) 과전압 측정시스템

서지성 과전압은 발생과 소멸이 빠르다. 파동장은 수 μs 로부터 수백 μs 정도이며, 파미장은 수십 μs 로부터 수천 μs 정도에 이르는 파형을 나타내고 있다. 이러한 서지는 실제로 복잡한 파형들이 복합된 형태로 보이는 것이 일반적이다. 유도회 전압과 개폐 서지 전압을 측정대상으로 한다.

2.2.1.3 피뢰기 방전전류 측정시스템

22.9kV 배전계통에서 피뢰기의 실제 방전전류의 분포를 파악하는 것은 기기 결연협조에 필요하다. 측정시스템 구성은 피뢰기 접지측 리드선에 전류센서를 설치하여, 피뢰기 동작시 대지로 흐르는 방전전류를 측정한다.

2.2.1.4 인공고장 시험

배전선로에서는 1선 지락의 발생 횟수가 비교적 많으며, 이에 대한 지락특성과 과급 영향 등을 측정하는 것이 필요하다. 인공고장 시험에서 측정대상은 다음과 같다.

- 1선 지락고장시의 전전상의 전압 상승(일시 과전압)
- 1선 지락고장시의 지락 서지
- 전전상의 전압 상승

2.2.2 측정 기기

측정방식은 측정시스템 운용, 기록용량, 처리속도, 사후 분석, 호환성 등에서 유리한 디지털 방식의 기록장치를 선정하였다. 특히, 측정대상 신호의 파형에 따라 고속 채널과 저속채널로 구분하는 것이 필요하다.

표 3. 샘플링 속도에 따른 측정대상

채널	샘플링 속도	측정대상
고속채널	10M-samples/sec	뇌격전류, 유도회전압 피뢰기 방전전류, 개폐과전압
저속채널	10k-samples/sec	지속성 과전압, 고장전류

측정기기의 구성은 그림 4와 같으며, 배전선로에서는 센서, 파형 기록계 및 전원장치를 전주에 별도 장주형태를 갖추어 설치하여야 한다. 파형 기록계의 내용은 주기적으로 노트북 컴퓨터를 통하여 자료를 다운 받거나, 정보통신선을 RS-232C 포트에 연결하여 원격으로 자료를 받는다.

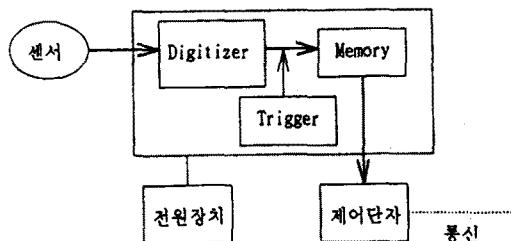


그림 4. 측정기기 구성도

2.2.2.1. 디지타이저(digitizer)

센서에서 입력되는 아날로그신호를 적절한 속도로 샘플링하여 디지털 신호로 변환하는 장치로 샘플링 채널 수와 설치 환경이 다음과 같이 고려되어야 한다.

- 입력 레벨

기록계가 전자회로로 구성되므로 입력신호의 크기에 제한이 따르며, 본 시스템에서는 $\pm 30V$ 를 택하였다.

- 채널 수

한 지점에서 측정되는 여러 신호를 동일한 유니트에 서 관리되도록 하며, 본 연구에서는 최소 1채널에서 최대 12 채널을 설정하였다.

- 부피 및 무게

배전선로 전주에 설치되어야 하므로 유니트 부피를 8,000cc로 제한하고, 무게는 10kg 미만으로 제한하였다.

- 전원

백업 배터리를 사용하는 직류공급 방식으로 공급전압을 12V를 사용한다.

2.2.2.2. 트리거(trigger)

설정된 조건들로부터 입력신호를 평가하여 이벤트(event)화 하는 기능으로 신호의 크기, 기울기 등을 판단하는 요소다. 그럼 5.과 같이 각각의 채널에 별도 트리거 기능을 부여하며, 어느 한 채널에서라도 트리거 되면 다른 채널도 트리거 시킬 수 있도록 공통 트리거 방식을 택하였다.

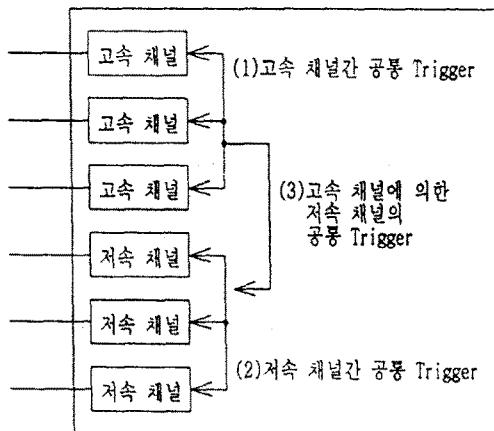


그림 5. 고속 채널에 의한 공통 Trigger

어떤 이벤트가 발생하기 직전의 계통 상태(pre-event)를 파악하는 것이 중요하며, 트리거가 발생된 시점을 이미 이벤트가 진행되고 있는 과정에 속하므로, 이벤트 발생하기 직전의 상태를 기록하기 위하여 pre-trigger 방식을 적용하였다.

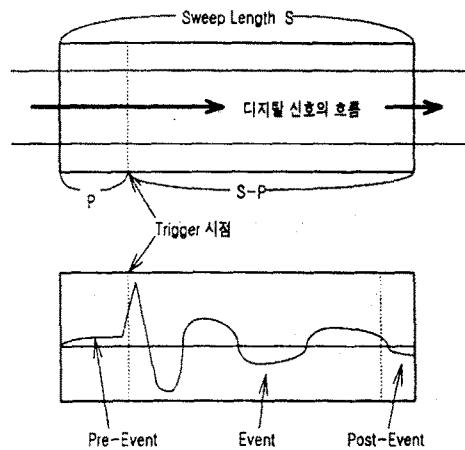


그림 6. Pre-Trigger 개념

2.2.2.3. 메모리(memory)

이벤트로 선정된 데이터(data)를 일시적으로 기억하는 곳으로, 이벤트의 발생빈도, 길이, 데이터의 덤프(dump) 주기 등에 따라 용량이 결정된다. 본 시스템에서는 측정된 데이터를 오프라인(off-line)으로 취득하도록 되었으며, 모든 채널의 메모리 용량을 1M-word로 하였다.

- 고속채널 - 0.1 sec 분량의 이벤트를 저장한다.
- 저속채널 - 100 sec 분량의 이벤트를 저장한다.

2.2.2.4. 데이터 취득 단자

파형기록계내의 메모리에 기록된 데이터를 취득하는 방법에는 직접 취득 방식, 메모리 교체 방식, 무선통신 방식, 유선통신 방식 등이 있으며, 본 시스템은 전기식 유선 방식을 선정하였다. 전기식 유선 방식은 광케이블 또는 금속케이블을 파형기록장치와 접속하여 지상 부근에서 휴대용 DAU(data acquisition unit)에 의해 데이터를 덤프(dump)한다.

3. 결 론

배전선로의 이상전압 측정 시스템은 현장 설치뿐만 아니라 장기적인 데이터를 취득할 필요가 있다. 선로 자동화 설비의 도입으로 고장전류 및 돌입전류의 판단 등이 필요하며, 본 측정시스템은 기본적인 자료를 제공할 수 있다고 본다. 특히 배전 기자재의 결연협조에 대한 서지 자료를 활용할 수 있도록 데이터의 신뢰성 확보가 향후 과제라 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, “뇌현상의 이해와 뇌보호 대책”, p81, 1997
- [2] 전력연구원, “배전계통 이상전압 측정 및 대책 연구”, Technical Memo, p110, 1997
- [3] 전력연구원, “LPATS를 이용한 뇌격 누적 분포곡선 작성에 관한 연구”, Technical Memo, 1997