

## 한전 실 배전계통에서의 개폐 서지 영향 분석

송진호\*, 성노규\*, 서훈철\*\*, 김철환\*  
 성균관대학교\*, 기초전력연구원\*\*

### Analysis of Switching Surge in KEPCO's Distribution System

Jin-Ho Song\*, No-Kyu Seong\*, Hun-Chul Seo\*\*, Chul-Hwan Kim\*  
 Sungkyunkwan University\*, KESRI\*\*

**Abstract** - 전력계통에서 고장, 선로가압 등으로 인하여 개폐서지가 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 한전의 실 배전계통에서 고장으로 인한 개폐서지를 분석하였다. EMTP를 이용하여 계통을 모델링하고, 고장위치를 다양하게 변경시키면서 개폐서지에 대한 분석을 수행하였다. 개폐서지 발생 시 상하단의 상호간의 영향에 대하여 분석하였다. 분석결과 상호간의 영향은 미비함을 확인하였다.

생하는 과전압으로 발생하는 과전압은 단상 무손실 선로 개방단에서 정격 전압의 2배가 된다고 이론적으로 알려져 있다. 다상 선로에서의 차단기 투입·재투입의 경우에는 3p.u. 이상에 달할 때가 있지만 저항부 차단기에 의해 쉽게 2p.u. 이하로 억제할 수 있다. 고장전류의 차단 시에 발생하는 과전압도 마찬가지이다. 고장 발생시에 생기는 과전압은 통상 1.7p.u. 정도 이하이지만 그 역제가 곤란하기 때문에 절연 설계상 문제될 때가 있다. 다음 표 1과 표 2는 개폐 서지의 일반적인 원인들과 전형적인 크기를 나타낸 것이다[2].

### 1. 서 론

전력계통 설계에서 중요한 분야중의 하나는 가공선로, 지중케이블 및 전력용 변전소에 대한 절연 요구사항을 충족시키는 것이다. 그러나, 고장 혹은 차단기의 동작으로 인한 개폐 과전압 및 뇌격 등에 의한 뇌 과전압 등 계통에서 다양한 과도현상에 따라 과전압이 발생할 수 있기 때문에 절연설계에 대한 문제는 아주 복잡한 사항이다. 이러한 과도현상들의 첨두값(peak value)은 정상적인 운전전압을 훨씬 초과할 수 있다. 대부분의 전력계통 과도현상은 본래 진동적(oscillatory)이며, 진동의 과도기간(transient period)에 의해 결정된다. 비록 진동의 과도기간이 주파수에 비하여 매우 짧다고 할지라도, 이러한 과도기간은 극히 중요하다. 그러한 과도기간에서 회로 성분들 및 전기기기는 비정상적인 전압(abnormal voltage)에 기인한 매우 큰 스트레스를 받으며, 이에 따라 심략 또는 절연과파가 발생할 수 있다. 심략은 보통 보호장치들의 트립(tripping)에 기인한 일시적인 정전(temporary power outage)을 야기하고, 절연과파는 일반적으로 영구적인 기기 손상을 가져온다. 따라서, 전력계통의 설비기기 절연설계 및 협조는 전력계통의 안정적인 운용 및 고신뢰도의 운전에 꼭 필요한 것이며, 이를 위하여 계통에서 발생하는 과전압에 대하여 그 크기 및 발생 빈도를 분석하는 것은 매우 중요한 사항이다[1].

따라서, 본 논문에서는 EMTP/ATPdraw를 이용하여 실 배전계통에서 개폐 서지의 영향을 분석하였다. 뇌 과전압, 개폐 과전압, 일시 과전압 중 본 논문에서는 개폐 과전압에 대하여 분석하였다. 특히, 개폐 과전압의 발생원인 중의 하나인 고장으로 인한 과전압을 분석하였다. 다양한 모의조건을 선정하여, 고장제거로 인한 개폐 서지 발생 시 2단장주 구간에서 상하단 상호간에 미치는 영향을 분석하였다.

### 2. 개폐 서지

#### 2.1 전력계통의 과전압

전력계통에서 발생하는 과전압은 그 시간 영역(주파수 성분) 및 발생 원인에 따라서 3가지로 분류할 수 있다.

- ① 개폐 과전압(switching overvoltage) : 차단기 동작 또는 고장(fault)의 결과이며, 회로 상태의 급변(차단기 투입·개방, 선로의 지락·단락 등)에 의해 발생한 진행파가 선로단에서 왕복 반사하는 것(파동 현상)에 의해 발생하는 과전압이다.
- ② 뇌 과전압(lightning overvoltage) : 뇌 방전(lightning discharge)에 의해 발생되며 뇌격에 의해 0.1us ~ 100us 정도의 시간 영역(주파수: 100kHz ~ 10Mhz 정도)에서 발생하는 과도현상에 의해 생기는 과전압이다.
- ③ 일시 과전압(temporary overvoltage) : 상용 주파수의 수 사이클(수십 ms) 이상의 시간영역(주파수: 수십 Hz 이하)에서의 과도적 현상에 의해 발생하는 과전압이며 본래 진동적(oscillatory)이고, 어떤 시스템 조건에 의해 연유된다. 일시 과전압은 개폐 과전압 뿐만 아니라 뇌 과전압보다 비교적 훨씬 긴 지속기간을 갖는다. 이러한 과전압 중 본 논문에서는 개폐 과전압에 대하여 분석하였다.

#### 2.2 개폐 서지의 특징

개폐 서지는 상용 주파수의 수 사이클(수십 ms)이하의 수십 us 정도의 시간 영역(주파수: 수백 Hz ~ 수십 kHz)에서의 과도현상에 의해 발

〈표 1〉 개폐 서지의 일반적인 원인들

차단기 동작	① 선로의 가압/재폐로 ② 선로의 탈락/무압 ③ 용량성 회로의 스위칭 ④ 유도성 회로의 스위칭 ⑤ 저압축 스위칭
고장	① 고장 개시 ② 고장 제거

〈표 2〉 서지의 전형적인 크기

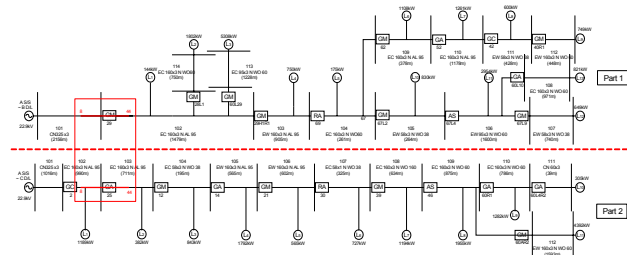
종류	전형적인 범위 [p.u.]
① pre-insertion 저항 없는 재폐로	3 - 3.4
② 1개의 pre-insertion 저항을 갖는 재폐로	2 - 2.2
③ 2개의 pre-insertion 저항을 갖는 재폐로	1.4 - 1.6
④ 고장 개시(건전상)	2.1
⑤ 고장 개시(결합회로)	1.5
⑥ 고장 제거	1.7 - 1.9

개폐 서지의 크기(magnitude)와 형상(wave shape)은 시스템 파라미터 및 네트워크 구성에 따라 크게 변화한다. 한편, 동일한 시스템 파라미터 및 네트워크 구성에도 불구하고, 개폐 서지는 차단기의 특성 및 개폐 동작이 발생하는 순간에 의존하여 상당히 변화한다. 그러므로, 개폐 서지의 해석은 확률적인 접근방법을 사용하여 효율적으로 수행가능하며, 전력계통의 과도현상 해석 도구인 EMTP/ATPdraw를 이용하여 수행할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 및 결과

#### 3.1 모델 계통

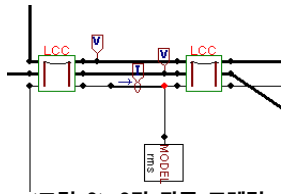
다음 그림 1은 본 논문에서 개폐서지 분석을 위하여 모델링 한 한전의 실 배전계통 모델을 나타낸다. 그림 1에서 표시한 부분은 2단장주로 구성된 부분이며, 나머지 부분은 1단장주로 구성되어 있다.



〈그림 1〉 한전의 실 배전계통 모델

그림 1의 계통모델에서 선로부분(2단장주 및 1단장주 부분)은 다음 그

림 2와 같이 EMTP/ATPdraw에서 LCC(Line, Cable Constant)소자를 이용하여 장주의 구성 및 선종 등을 입력하여 분포정수 회로로 모델링 하였다[3]. 이는 중성선 전류 부분을 물리적으로 구성하여 2단장주 구간에서 한쪽 단에 고장 발생 후 차단기 트립 시 발생한 개폐 서지가 상대 단 선로에 미치는 영향을 분석하기 위함이다.



〈그림 2〉 2단 장주 모델링

### 3.2 시뮬레이션 조건

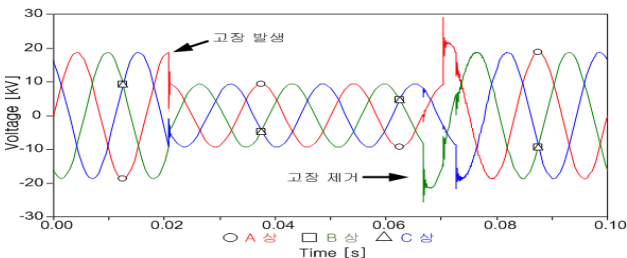
2단 장주에서 한쪽 단에 고장 발생 시 상대 단에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음 표 3과 같은 시뮬레이션 Case를 설정하였다. 고장 발생 위상각은 90도, 고장지속시간은 3cycle이다.

〈표 3〉 고장 Case

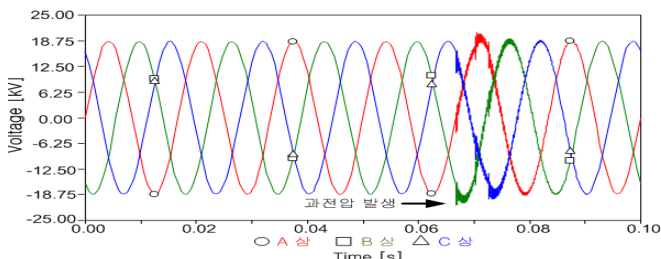
종 류		위 치
상단 고장	Case 1	2단장주에서 가장 가까운 구간
	Case 2	2단장주에서 가장 멀리 있는 구간
하단 고장	Case 3	2단장주에서 가장 가까운 구간
	Case 4	2단장주에서 가장 멀리 있는 구간

### 3.3 시뮬레이션 결과 분석

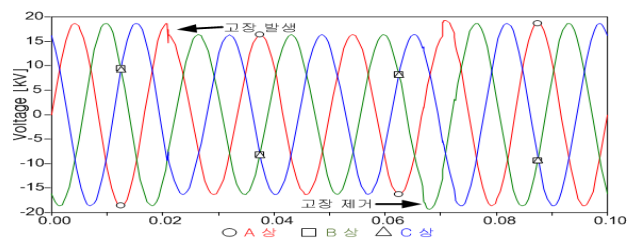
다음 그림 3은 위의 조건 중 Case 1 및 Case 2의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 3의 (a) 및 (b)를 통하여 Case 1에서 고장 제거 시 상단에서 약 1.55p.u.의 과전압이, 하단에서는 1.11p.u.의 과전압이 발생한 것을 확인할 수 있다. 그림 3의 (c) 및 (d)를 통하여 Case 2의 경우와 같이 2단장주에서 멀리 있는 선로에서 고장이 발생하는 경우 2단장주에서의 과전압은 낮아진다는 것을 확인할 수 있다.



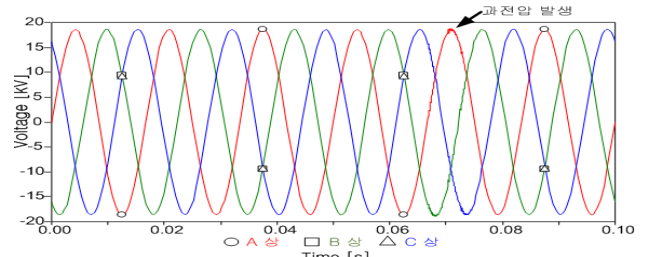
(a) Case 1에서 상단의 파형



(b) Case 1에서 하단(상대 단)의 파형



(c) Case 2에서 상단의 파형



(d) Case 2에서 상대 단(하단)의 파형

〈그림 3〉 Case 1, 2의 결과 파형

다음 표 4는 모든 시뮬레이션 조건에 대하여 과전압을 크기를 나타낸 것이다.

〈표 4〉 각 case별 결과

사례	측정	
	상단 [p.u.]	하단 [p.u.]
Case 1	1.55	1.11
Case 2	1.03	1.004
Case 3	1.06	1.88
Case 4	1.02	1.36

이와 같은 모의결과를 통한 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

- 2단장주에서 고장으로 인하여 고장제거 시 과전압이 발생한 경우, 고장이 발생한 부분에 상관없이 상하단은 상호간에 어느정도의 영향은 미친다. 이는 고장제거 시 3상의 불평형으로 인하여 중성선 전류가 발생되어 상호간에 영향을 미치기 때문이다.
- 고장이 발생하지 않은 부분은 고장이 발생한 부분보다 발생한 과전압의 크기는 작다. 즉, 비록 과전압 발생 시 상호간에 영향이 나타나지만 그 정도는 미비하다.
- 2단장주에서 멀리 있는 부분에서 고장이 발생할수록 2단장주 부분에서 발생하는 과전압의 크기는 작아지며, 상대단에 미치는 영향 또한 작아진다.

## 4. 결론

본 논문에서는 EMTP를 이용하여 실 배전계통에서 고장으로 인한 개폐서지 발생 시, 2단장주 구간에서 상, 하단에 서로간에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 2단장주로부터 고장발생 거리를 달리하여 2단장주 구간에서 고장에 따른 개폐과전압의 크기 및 그 경향을 분석한 결과, 개폐서지는 고장제거로 인한 개폐 과전압의 발생 시 고장이 발생한 부분 뿐만 아니라 상대 단에서도 과전압이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 그러나 상호간의 미치는 영향은 미비함을 확인할 수 있었다.

본 연구결과는 각종 설비의 과전압에 대한 손상방지 및 절연설계 뿐만 아니라, 보호대책 수립에 활용 가능할 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2007-2-055)주관으로 수행된 과제임

### [참 고 문 헌]

- 한국전기연구원, “전력계통 과전압 발생원인 및 대책”, pp. 93-142, 2004.
- 성노규, 이명희, 이유진, 박건우, 이상봉, 김철환, “EMTP를 이용한 3상 converter의 점호각 변화에 따른 실 계통 영향 분석”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp142-144, 2007.