

## 대규모 수용가의 차단기 과도회복전압 해석

신병윤\*, 이한상\*, 장길수\*  
고려대학교\*

### Transient Recovery Voltage Analysis of industrial customer

Byoung Yoon Shin\*, Hansang Lee\*, Gilsoo Jang\*  
Korea University\*

**Abstract** - As the scale of industries expands, the facilities of the industrial customer become larger and more complex. When a fault occurs in the system, the circuit breakers play an important role in minimizing causalities by quickly tripping the faulted line. Since the capacity of the receiving-end has increased in size, an examination is needed to be performed between the industrial customers and the conventional circuit breakers. The transient recovery voltage, which is the initial transient characteristics of the voltage across the breaker when tripped, is an important factor in determining the circuit breaker's performance.

In this paper, a TRV analysis on the large-scale industrial customer is being performed utilizing PSCAD/EMTDC.

#### 1. 서 론

반도체, 자동차와 같은 산업의 경우, 일시적인 정전 발생으로도 피해 규모는 천문학적으로 증가한다. 최근 산업체와 같은 수용가 설비의 규모가 커지고 복잡해지면서 수전용량이 증가하고 있다. 차단기는 전력개폐 장치의 일종으로 전력의 송수전 절제 정지 등을 계획적으로 수행하거나 전력계통에 어떤 이상이 발생하였을 때 그 계통을 신속히 차단하는 역할을 한다. 이를 위해 차단기는 고장 발생 시, 열적, 구조적으로 견디어야 한다.

계통 사고 시 차단기의 전류차단과정에서 발생한 아크는 순시전류가 0이 되는 순간 순식간에 도전성을 잃게 되고, 아크저항은 수  $\mu s$  안에 수백만  $\Omega$ 까지 증가하여 전류가 차단된다. 아크가 소호된 후 차단기의 개방접촉자 양단에는 과도회복전압(TRV)이 나타나는데, 이것을 차단기가 견딜 수 있으면 차단동작이 성공하는 것이다. 따라서 차단기의 성능은 계통의 TRV에 비해 충분히 여유가 있어야 하며, 차단기가 설치된 후 추가로 계통을 변경하게 된다면 차단기의 차단 성능을 초과하지 않게 설계하여야 하므로 TRV의 해석은 중요하고 할 수 있다.[1]

본 논문에서는 대용량 수용가의 과도회복전압 특성을 검토하고, 사고 모의를 진행하였다. 또한 보상설비를 추가하여 과도회복전압 문제 해결 방안을 검토하였다. 이를 위해 PSCAD를 이용하여 대용량 수용가의 계통을 간략하게 구성하고 모의를 진행하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 과도회복전압(Transient Recovery Voltage)

과도회복전압(TRV)은 차단기 트립 시 차단기 양단에 나타나는 전압의 초기 과도특성을 나타내는 회복전압이다.[4]

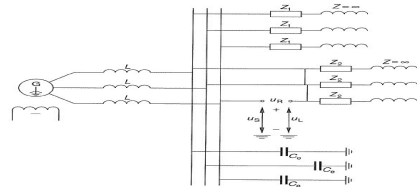
전력계통 내에서 고압회로차단기와 단로기, 퓨즈와 같은 차단장비들이 전류를 차단하는 경우, 차단장비들의 단자 양단에는 회복전압이 발생하게 된다. 정상적인 계통상황에서 전자기장에 저장된 에너지는 균등하게 전기장과 자기장으로 나뉘지만, 전류를 차단함으로써 함유된 에너지는 단지 전기장으로만 전달되며 이로 인해 전압진동(voltage oscillation)이 발생한다. 과도회복전압은 전류가 차단되는 순간에만 일시적으로 발생되며 TRV의 진동이 감쇠되면서 상용주파수 회복전압(power frequency recovery voltage)만이 남게 된다. TRV는 수 밀리 초 동안 지속되지만, 차단장비의 동작으로 인해 전류가 성공적으로 차단되기 위해서 TRV의 상승률과 크기는 매우 중요한 요인이다.

##### 2.1.1 과도회복전압 간략화

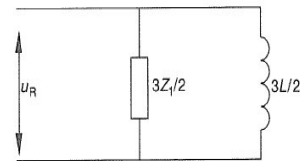
고압퓨즈나 전력용 차단기에 의해 단락전류가 차단되면 과도회복전압(TRV)이 차단장비 양단에 걸쳐 나타난다.

전류가 0인 시점에 단락전류가 차단되더라도 자기 에너지는 여전히 변전소 내 변압기의 누설인덕턴스와 연결모선, 가공선로 그리고 지중케이블의 인덕턴스 내에 저장되어 있다.

그림 2의 3상 계통을 차단기 단자 쪽에서 보게 되면 다음의 사항을 고려하여 간략화 시킬 수 있다. 대형변전소의 경우, 병렬 연결된 n개의 인접 급전선(feeder)들의 특성임피던스는 사고 송전선의 특성임피던스에 비해 매우 작은 값을 갖게 된다. 만일 차단기 단자 측에서 볼 때와 마찬가지로 고유 커패시턴스  $C_0$ 를 무시할 경우, 그림 3과 같이 저항과 인덕턴스의 병렬회로로 더욱 간략화 할 수 있다. 단락전류의 차단에 대한 그림 3의 병렬회로의 응답을 찾기 위해서 중첩의 원리를 이용하여, 차단된 고장전류의 처음 부분을 대략화한 전류  $i = \sqrt{2} I_w t$ 를 주입한다. 차단장비의 양단에 나타나는 과도응답은 식 (1)과 같다.



〈그림 1〉 3상 비접지사고에 대한 옥외변전소의 3상표현

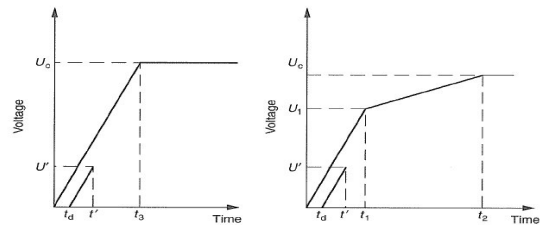


〈그림 2〉 간략화된 계통

$$u_R(t) = \frac{3}{2} L \sqrt{2} I_w (1 - e^{-Zt/L}) \tag{1}$$

##### 2.1.2 과도회복전압 평가 표준

과도회복전압 특성은 IEC 규정과 ANSI/IEEE 규정이 있다. 국내의 경우 TRV와 관련된 평가는 한전 교류 차단기 규정 'ES-5925-0001'[3]을 따른다. [3]의 3.6.2 단락시험 조항에는 정격과도회복전압 표준치를 'IEC 62271-100'[2]의 table 26, 27, 14a 항을 따르도록 명시되어 있기 때문에, 본 논문에서는 IEC 규정에 따라 검토하였다.



〈그림 3〉 IEC 2-파라미터와 4-파라미터 제약곡선

개폐기 관련 표준에서는 단락회로나 고장전류에 대한 해석이 중점적으로 다루지고 있다. 이것은 차단기에 주어지는 스트레스가 차단하고자 하는 단락전류의 크기 그리고 TRV의 상승률과 최대값에 의해 주로 결정되기 때문이다. [2]에서는 TRV를 4개의 파라미터( $U_1, t_1, U_c, t_2$ ) 혹은 2개의 파라미터( $U_c, t_3$ )로 특정 짓고 있다. IEC의 2-파라미터와 4-파

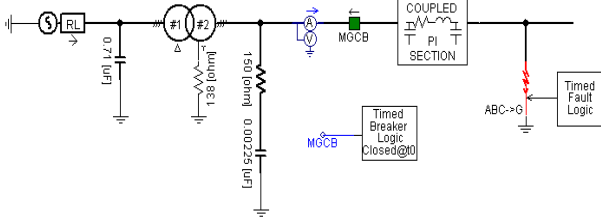
라미터를 제한하는 커브가 그림 4에 나와 있다. 2-파라미터 제한곡선은 최대 100 kV의 공칭전압을 지닌 고압회로 차단기를 위한 것이고 4-파라미터 제한곡선은 정격전압이 100 kV 이상의 차단기에 적용된다.

## 2.2 사례연구

대규모 수용가의 과도회복전압 특성을 검토하기 위하여, PSCAD를 이용하여 대용량 수용가의 계통을 간략하게 구성하고, 사고 모의를 진행하였다. 또한 보상설비를 추가하여 과도회복전압 문제 해결 방안을 검토하였다.

### 2.2.1 모의계통 구성

대규모 수용가의 TRV 특성을 검토하기 위하여, 일정 규모 이상의 수용가의 파라미터를 이용하여 계통을 구성하였다. 입력단과 변압기, 수용가단의 주요 파라미터는 표 2와 같다. 입력단은 전원부와 등가저항, 수용가 선로는 간략한 PI모델로 등가화 하였다. 수용가 단에 사고를 발생시키고, 차단기 단의 전압을 측정하였다.



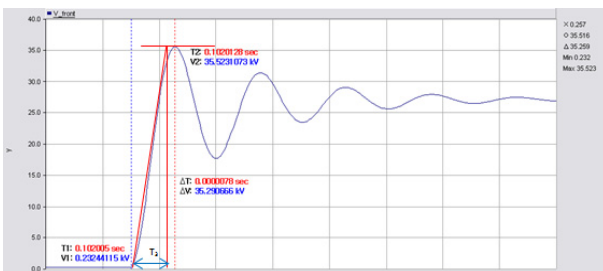
〈그림 4〉 모의 계통

〈표 1〉 모의계통 주요 파라미터

Source	V / A	154kV / 50kA
	L1, L0	4.717 mH
	R1, R0	0.105 Ω
%Z in Transformer	1-2	14.13 %
	1-3	22.3 9%
	2-3	5.2 1%
Bus-duct	Length	33.3 m
	Surge impedance	260 Ω
	v	270 m/μsec

### 2.2.2 모의계통 TRV 해석

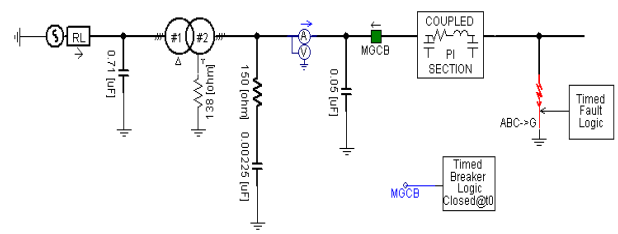
[2]에서는 그림 4와 같이 100kV 이하의 TRV를 평가하기 위하여 2-파라미터법을 사용하고 있다. 2-파라미터법에서는 파고치( $U_c$ )와 파고시간( $t_3$ )를 이용하여 상승률(Rate of Rise of Recovery Voltage) 값을 계산하여 표준치로 설정하고 있다.



〈그림 5〉 과도회복전압 특성

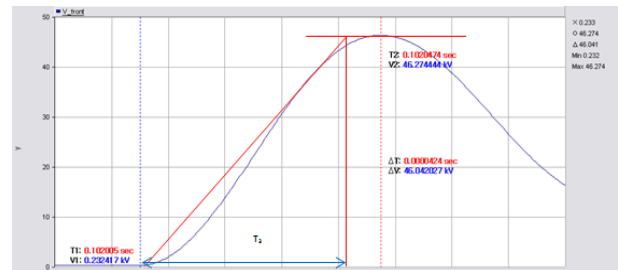
모의계통의 사고 발생 후 차단기 양단의 전압은 그림 6과 같다. 사고 발생 후, 전압은 1-Cosine 함수 형태로 나타남을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과, 파고치와 파고시간, 상승률은 표 3과 같다. 상승률의 경우, [3]에서 제시된 표준치(25.8 kV-T10-S2)를 초과하는 것을 확인하였다. 이 경우, 수용가 내 사고 발생 시 과도회복전압으로 인한 차단기 동작 실패가 발생할 수 있다.

### 2.2.3 과도회복전압 보상



〈그림 6〉 모의계통(보상설비 설치)

모의계통의 과도회복전압 상승률 문제를 해결하기 위하여, 전압 변동 완충 장치 역할의 보상설비로 그림 7과 같이 차단기 전 단에 병렬 커패시터를 설치하였다. 동일 조건의 사고 발생 모의 결과, 차단기 단의 전압 변동이 설치 전과 비교하여 완만하다는 것을 확인할 수 있다. 또한 파고치와 파고시간에 의한 상승률의 경우 기준치를 만족하는 것을 확인할 수 있다.(표 3)



〈그림 7〉 보상설비 설치 후 과도회복전압 특성

〈표 2〉 모의계통 보상설비 설치 전 · 후 파고치, 파고시간, 상승률

	보상 전	보상 후
$U_c$ [kV]	35.52	46.47
$T_3$ [μsec]	5.46	35.1
$U_c/T_3$ [kV/μsec]	6.50	1.32

## 3. 결 론

수용가의 설비가 복잡해지고 대형화됨에 따라 수전용량이 증가하고, 이에 따라 고장의 규모와 발생 확률도 증가할 수 있다. 본 논문에서는 산업체와 같은 대규모 수용가단의 차단기를 검토하기 위하여 일정 규모의 산업체 계통을 간략하게 구성하여 고장 시 발생하는 과도회복전압 특성을 검토하였다. PSCAD를 이용한 시뮬레이션을 통하여 고장 발생 시 발생하는 과도회복전압 특성을 확인하였다. 과도회복전압 문제를 보상하기 위하여 병렬 커패시터를 투입하였고, 보상설비를 통하여 과도회복전압을 기준치에 만족시키는 것을 확인하였다. 대규모 산업체의 경우 현재 전력계통 시설과 수전용량 증가를 고려하여 과도회복전압 특성을 반영한 차단기 수준 검토를 통하여 차단실패에 따른 문제가 발생하지 않도록 사전검토가 필요하다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 정태영 외 4인, "EMTP/RV를 이용한 22.9kV GIS 모델링과 과도회복전압 해석", 전기학회논문지, 제59권 제7호, 1199 페이지, 2010
- [2] IEC 62271-100-Edition 2.0, 2008
- [3] ES-5925-0001, 한전표준규격 교류차단기, 2007
- [4] IEEE Application Guide For Transient Recovery Voltage for High-Voltage Circuit Breakers, IEEE Power Engineering Society, 2006
- [5] 조계술 외 2인, '대용량 수용가설비의 차단기 TRV에 관한 연구', 한국조명·전기설비학회 2010 추계학술대회 논문집, 229페이지, 2010
- [6] Denis Dufournet, 'Transient Recovery Voltage(TRVs) for High Voltage Circuit Breakers', 2008