

## 특수한 형태의 전력계통 단락에 의한 고장전류 분석

이경극  
한국전력공사

### The Analysis of Auto-transformer fault by power line twisted

K. K. Yi  
Korea Electric Power Corporation

#### 1. 서 론

본 논문에서는 정상 운전중의 전력계통에서는 발생할 수 없는 특수한 형태의 고장이 전력기에 미치는 영향을 실제 사례를 대상으로 분석하였다. 사례내용은 3相 양단 전원 전력계통에서 相間 오결선된 상태로 양단을 연계시킴으로써 특수한 형태의 전력계통 단락을 일으키게 된 것이다. 전력계통의 각종 기기들은 정상운전중의 단락, 지락 등 상정고장에 대해서 손상을 일으키지 않도록 충분한 강도를 가지도록 설계되고 있으며 실제 사례에서는 고장의 형태가 특이하여 이 단락전류가 변압기 고장에 영향을 미쳤는지 여부를 전자기 과도현상 해석 프로그램인 EMTP로 검토해 보고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 고장전 계통상황

사례의 경우는 변전소내에 변압기 1대를 추가로 증설하는 과정에서 발생한 것으로 그림1의 #3 MTR이 증설 변압기이며 시공과정에서 345kV #1 BUS 주 모선과 차단기 축의 분기 모선 연결시 A, C상 도체 접속이 상호 엇갈린 상태로 접속되었다.

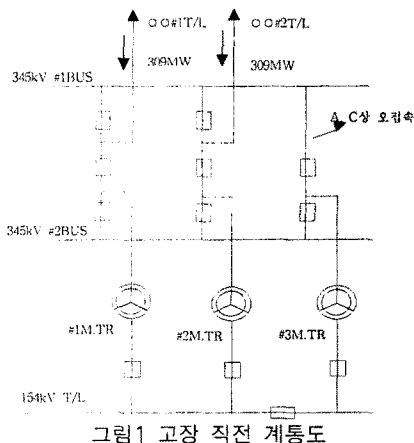


그림1 고장 직전 계통도

##### 2.2 실 계통 측정치

고장 분석 및 실제상황과의 비교를 위해서는 가급적 많은 실 계통 측정값을 확보하는 것이 필요하다. 사례의 경우 취득된 측정치는 고장 직전 345kV 송전선으로부터 공급전력 약 610MW와 고장 진행상황에서 fault recorder로부터 취득된 345kV 송전선 유입전류가 A相

8600A, C相 9800A 라는 사실이다.

##### 2.3 EMTP model 수립

EMTP 계산을 위해 전원단 및 변압기 model이 필요하며 전원단 model의 경우는 345kV측과 154kV측 양단을 전원을 모의하였다

##### 2.3.1 전원단 model

양단 전원의 데이터를 구하기 위해 고장 직전의 전 계통 발전량 및 계통구성 상태를 감안하여 PSS/E 조류계산 기능을 이용하여 그림1에서 345kV측과 154kV측을 분리하여 345kV 모선에서 바라본 전원측 전압과 임피던스를 계산하였다. 마찬가지로 154kV측 모선에서 바라본 전압과 임피던스를 구하였으며 결과는 표 1과 같다.

구분	전압	임피던스
345kV 측	356kV	1.607+j6.93Ω
154kV 측	159kV	1.221+j3.93Ω

표1 등가전압 및 임피던스

##### 2.3.2 변압기 model

변압기 %임피던스는 표2와 같다.

구분	1차-2차	1차-3차	2차-3차
#1M.T.R	9.69	14.36	11.51
#2M.T.R	9.69	14.26	11.51
#3M.T.R	9.40	14.44	10.02

표2 변압기 임피던스

##### 2.3.3 고장전 상태 model

고장전 #1, 2 MTR의 부하전류는 각각 517A 정도였으며 상기의 model을 적용시 345kV 전원과 154kV 전원의 상차각이 11.2°로 계산되었다. 상차각 11.2°를 적용할 때 변압기에 흐르는 부하전류는 514A 이며, 양 모선의 상차각은 3.26°이고, 이 값은 PSS/E 조류계산으로 구한 양 모선의 상차각 3.11°와 근사한 값이다.

##### 2.4 EMTP 계산 결과

상기의 model을 적용하여 계산된 #3MTR의 고장전류는 전원전압의 투입 위상각에 따라 그림2와 같은 분포를 보

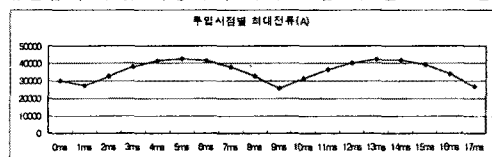


그림2 차단기 투입시점별 #3 MTR 2차 측 전류이다. 전원전압의 투입시점은 고장 당시 실측된 Fault

Recorder 기록치와 비교하여 구할수 있다. 그림3에서와 같이 고장 당시 측정된 전류는 345kV 전원단에서 유입된 전류이며 크기는 A상 8600A, C상 9800A 이다.

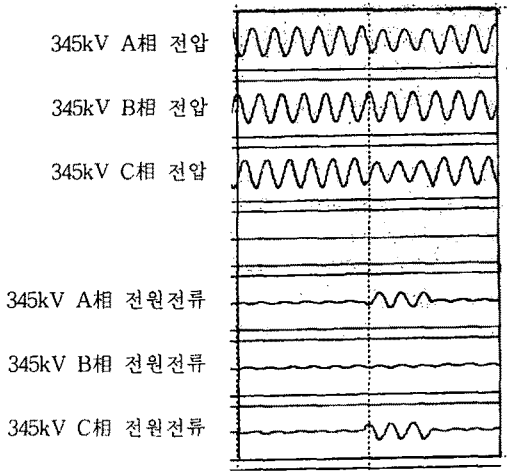


그림3 고장 당시 실측치

이 전류치와 일치하는 고장전류를 선별키 위해 전원전압을 34ms 시점에서 투입하였으며 이 전류파형은 그림 4와 같다.

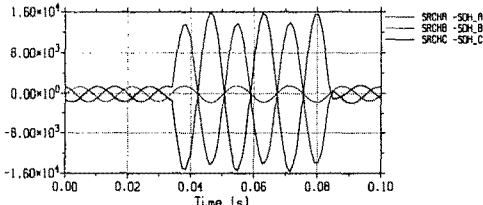


그림 4 고장시 345kV 전원단 전류

고장시 전류 측정치와 EMTP 계산에 의해 구한 전류치를 비교하면 표3과 같다.

구분	EMTP 계산치	Fault Recorder 기록치
A 상	8,787 A	4,300 A × 2
C 상	9,789 A	4,900 A × 2

표3 측정치와 기록치

상기와 같이 계산된 고장전류는 실측치 비교시 크기, 파형뿐만 아니라 고장시점, 종점의 변화상태도 거의 일치한다는 것을 알수 있으며 이하 이 상태에서 변압기에 흐른 고장전류를 계산하였다.

#### 2.4.1 변압기 고장전류

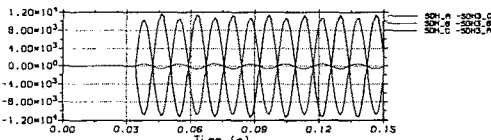


그림 5 고장 시 #3 M.TR 1차측 전류

고장을 일으킨 #3MTR에 흐른 345kV측 전류는 그림 5와 같으며 전류치의 크기는 표4와 같다.

Name	Min	Max	RMS
A상	-11,054 A	10,811 A	6,737 A
B상	-593 A	528 A	340 A
C상	-11,336 A	11,647 A	7,076 A

표4 #3MTR 345kV측 전류

#3MTR에 흐른 154kV측 전류는 그림 6과 같으며 전류치의 크기는 표5와 같다.

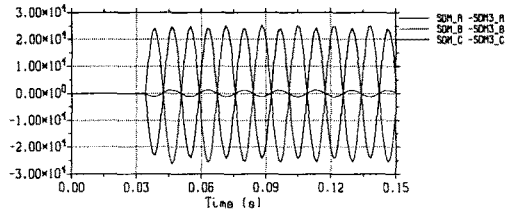


그림 6 #3M.TR 154kV측 전류

구분	Min	Max	RMS
A상	-26,100 A	25,395 A	15,853 A
B상	-1,183 A	1,329 A	762 A
C상	-24,221 A	24,765 A	15,094 A

표5 #3MTR 154kV측 전류

그러므로 변압기의 H.V 권선측에 흐른 고장전류 peak치는 11,647A이며, X.V 권선측에 흐른 고장전류는 154kV측 전류와 345kV측 전류의 차이므로 peak치는 그림7에서와 같이 14,764A 정도이다. 변압기 코일에 흐르는 전류는 권선의 Turn수와 전류의 제곱을 곱한 값에 비례하는 기계력을 발생시키게 되는데 이러한 힘은 정상운전중의 변압기에도 발생하게 되나 변압기는 이러한 힘에 충분히 견딜수 있는 강도를 가지도록 제작된다. 그러나 고장전류의 크기가 일정치를 초과하면 변압기에 손상을 일으킬 수 있는데 이 값이 변압기의 단락전류 내력 한계이며 사례의 경우 변압기 권선에 흐른 고장전류는 각종 오차 등을 감안하더라도 단락전류 내력 한계치에 못 미치는 것으로 분석된다.

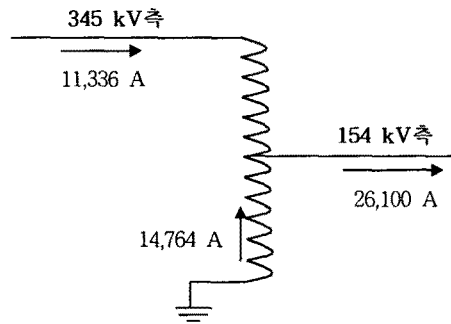


그림 7 M.TR 154kV측 전류 및 권선 전류

#### 2.4.2 고장 특성 분석

상 오결선 고장은 정상적으로 운전중인 전력계통에서 발생할 수 없는 특이한 형태의 고장으로서 이러한 고장시

고장전류가 유기되는 과정을 수계산 방식으로 略算해봄으로써 고장특성을 고찰하고자 한다.

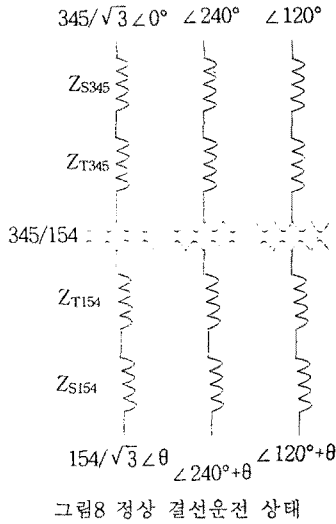


그림8 정상 결선운전 상태

그림8과 같이 345kV전원과 변압기를 통하여 154kV전원에 정상적으로 결선되어 운전중인 변압기에 흐르는 전류는 여러 가지 계산 방법이 있을수 있으나 양 전원의 위상차에 의한 전압과 전체 임피던스의 합에 의해 결정된다. 그림8과 상 오결선 상태의 차이는 일단 전원의 A, C 상 위상각만 바뀐 상태이기 때문에 그림9와 같이 된다.

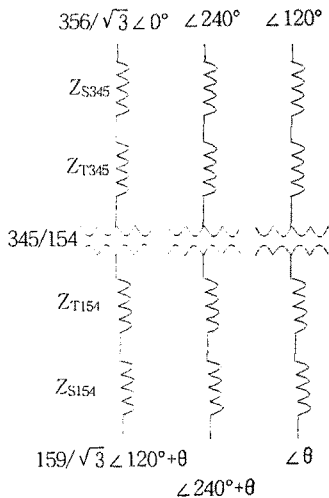


그림9 相 오결선 운전 상태

실제 사례의 고장에서 임피던스값은 표7과 같다. 그림9에서 A상 전류는 양단 전원의 위상차(108°)에 의한 전압차 334.2kV를 선로의 임피던스 합 49.8∠9.8°으로 나눈 값이므로 6,710A 이다. C상 전류는 양단 전원의 위상차(131.2°)에 의한 전압차 374.4kV를 선로의 임피던스 합 49.8∠9.8°으로 나눈 값이므로 7,518A 이다. C상 전류가 A상 전류보다 커지는 것은 C상의 경우 A상보다 전압차가 큰데 기인한다. 이렇게 계산된 값은 표4의 EMTP 계산값과 비교시에도 상당 부분 일치하며 두 계산결과의 차이는 수계산의 경우에는 계산을 단순화하기

하기 위해 고장 변압기와 병렬 연결된 2대의 정상 결선 변압기를 반영치 않음에 따른 것으로 판단된다.

구분	설명	고장시 값
$Z_{S345}$	345kV 전원단 임피던스	$1.6+j6.93\Omega$
$Z_{T345}$	변압기 345kV측 등가 임피던스	$0.25+j35.16\Omega$
$Z_{T154}$	변압기 154kV측 등가 임피던스	$0.5-j12.75\Omega$
$Z_{S154}$	154kV 전원단 임피던스	$6.12+j19.72\Omega$
$\theta$	운전 상차각	$-11.2^\circ$

표7

#### 2.4.2.1 선간 단락과 비교

전력계통에서 선간단락의 경우 단락점에서  $V_a=V_c$ 가 된다. 그림9와 같은 상 오결선 고장의 경우 A, C상 회로의 전압은 선로의 임피던스를 따라가면서 변하게 된다. 이때 각 회로의 어떤 점에서는  $V_a=V_c$ 가 되며 이점은 변압기 임피던스 내부의 어떤점이 될 것이다. 그러므로 상 오결선 고장시 고장전류의 유형(고장점 전후의 전류 방향 및 크기)은  $V_a=V_c$ 가 되는 점에서 선간 단락이 발생한 경우와 동일해 질 것이다.

### 3. 결론

이상과 같이 상호결선 고장전류 분석을 위해 전원단, 변압기 modeling과 model 정확성에 대한 검증은 거쳤으며, EMTP 계산치와 고장기록계로 측정된 값과 비교분석을 하였다. 또한 EMTP 계산값이 산출되는 과정을 이해하기 위해 수계산 방식으로 고장전류를 略算해 보았으며 타 고장과 비교해 봄으로써 고장 특성을 살펴보았다. 분석결과 상호결선 고장시 고장전류는 변압기 제작시 제시된 단락전류내력치 이하로서 고장전류는 고장발생에 직접적인 원인으로 단정하기 어려우나, 실제 고장변압기는 점검결과 일부 절연물의 손상이 있었으며 이에 대해서는 후후 원인규명을 위한 연구를 진행할 예정이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Herman W. Dommel, "ELECTROMAGNETIC TRANSIENTS PROGRAM REFERENCE BOOK [EMTP THEORY BOOK]", 1986.
- [2] ATP, "Alternative Transient program Rule book", Vol I, II, 1986
- [3] A. Norton Chaston, "EHV AC Parallel Transmission Line Calculations with Application to the New Resonance Problem" IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas-88, No5, May 1969