

EMTP (Electro - Magnetic Transient Program) 을 이용한 765KV 계통 모델의 개폐 과전압 해석

김 정 부 정 상 진 민 석 원
(한국전력공사 기술연구원)

Switching Surge Analysis of 765KV Power System model by Use of EMTP

Kim Jeong Boo Chung Sang Jin Min Suk Won^o
(Korea Electric Power Corporation Research Center)

1. 서 론

우리나라는 1976년 345KV 초고압 송전을 개시한 이후 높은 전력수요 성장률과 단위 발전소 시설용량규모의 증대 및 지역간 용량 전력의 증가 전망과 점차 심각해져 가는 송전선로 용지 확보 등을 해결하기 위하여 우리나라 최대 전력 수요가 25,000 MW 이상 되는 시기에는 연 345KV 보다 더 높은 송전 계통을 도입할 필요가 있다는 것이 70년대 말부터 예상되어 한국전력공사에서는 계통 전망 경상에 대하여 검토를 계속하고 있으며 차기 송전 계통의 기본적인 설계인, 환경 장애 추면에서의 도계선정과 집연설계에 관해 연구를 진행중에 있다.

여기에서는 계통 집연설계에 가장 기본이 되는 개폐 과전압을 한전 765KV 모델 계통에 EMTP를 이용하여 1선 지하시 차단기 개방 및 재투입에 따른 과전압을 해석하였고 최적 차단기 삽입 지점 및 시간에 대한 검토를 하였다.

2. 검토 대상 System 구성 및 모델링

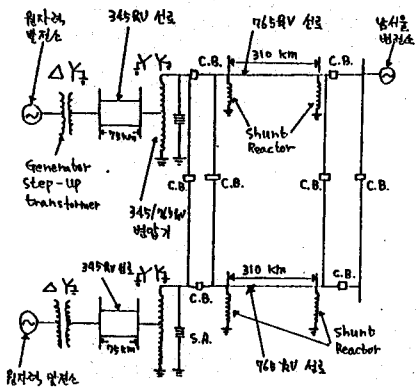
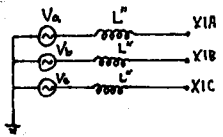


그림 1 765 KV 검토 대상 System

그림1의 대상 System 을 검토하기 위하여 다음과 같은 EMTP 모델을 이용하였다.

2.1 발전기 모델

발전기의 차고도 퍼센트 Impedance 를 이용, Source 의 Inductance 를 결정하고 입력 전압은 정현파 60 (HZ) 로 함.



$$X_L' = 0.11005 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$V_A = 19.027 \angle 0^\circ \text{ [kV]}$$

$$V_B = 19.027 \angle 120^\circ \text{ [kV]}$$

$$V_C = 19.027 \angle 240^\circ \text{ [kV]}$$

그림 2 발전기 모델

2.2 Generator - Step - up Transformer

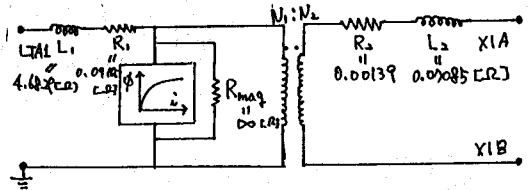


그림3 345/24.5KV Generator-Step-up-Transformer

Generator-Step-up-Transformer 는 그림3의 Saturable Transformer 모델로 ΔY 결선하였다.

표 1. Generator-Step-Up Transformer 의 전류 i 와 자속 ϕ 특성

전류 i	자속 ϕ
0.09854	969.4
0.51900	1333.0
1.03982	1454.1
1.47757	1534.9
1.67461	1615.7
3.64553	1696.5
5.02597	1777.3
7.11710	1858.1
11.7556	2019.6

2.3 345KV 선로 모델

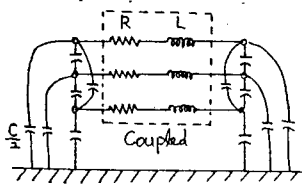


그림 4 345 KV Pi-Section 선로 모델

75km 345KV 선로는 Section 당 12.5km로 6개 Section으로 나누었으며 2번의 연가를 시켰다.

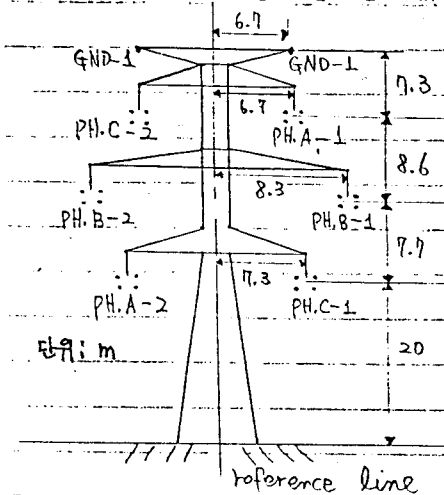


그림 5 345KV 2회선 송전 결탑

2.4 765/345/34.5KV 단권 변압기 모델

그림3과 같은 모델을 이용하였고 765KV 측 $R = 0.52085(\Omega)$, $X_L = 61.566(\Omega)$, 345KV 측 $R = 0.05594(\Omega)$, $X_L = -2.583(\Omega)$, 345KV측은 $R = 0.01885(\Omega)$, $X_L = 0.99375(\Omega)$ 으로 하였다. 또 표2는 AEP (American Electric Power)

의 전형적인 765/345/34.5KV 1500MVA 전류 i 와 자속 ϕ 특성이다.

표2 765/345/34.5KV 단권 변압기 전류 i 와 자속 ϕ 특성

전류 i	자속 ϕ
2.51	1656.8
6.29	1739.7
11.94	1822.5
15.71	1905.3
25.14	1988.2
37.71	2071.0
56.57	2153.8
81.71	2236.7
129.50	2319.5
209.30	2402.4
285.36	2485.2

2.5 765KV 선로 모델

765KV 선로는 비연가 Distributed Parameter Transmission 모델을 155km를 1 Section으로 2 Section구성하였다.

2.6 Shunt Reactor 모델

765KV 정상 Capacitance 의 34.5%를 선로 양단에서 보상하기 위해 245MVAR 의 비선형 Reactor를 Pseudo-Nonlinear Reactor로 모델링하였고 이것의 전류 i 와 자속 ϕ 특성은 표3과 같다.

표3 Shunt Reactor 의 전류 i 와 자속 ϕ 특성

전류 i	자속 ϕ
368.22	1656.8
441.86	1855.6
515.56	2021.3
589.15	2153.8
736.44	2430.5

2.7 765KV 단권 변압기용 피뢰기 모델

Pseudo-nonlinear resistance (type-99 element)를 사용하였으며 그 특성은 표4와 같다.

표4 765KV 단권 변압기용 피뢰기 전류와 전압 특성

전류 파크치 (A)	전압 파크치 (Volt)
0.002	815250.0
0.005	828689.0
0.010	842127.0
0.020	851086.0
0.040	862732.0
0.080	873483.0
0.150	882441.0
0.300	895880.0
0.600	904838.0
1.000	913797.0
3.000	931715.0
6.000	940674.0
10.000	949632.0
30.000	967550.0
60.000	980988.0
100.00	994426.0
300.00	1030262.0
600.00	1057138.0
1000.00	1080931.0
1500.00	1161000.0
3000.00	1215000.0
5000.00	1261000.0
10000.00	1330000.0
15000.00	1380000.0
20000.00	1418000.0
40000.00	1567000.0

2. 검토방법 및 결과

검토 방법은 다음과 같은 순서로 행하였다.

1) 그림5와 6의 Data를 이용하여 345KV 및 765KV 선로 특성을 EMTP LINE CONSTANT Subroutine 으로 결정하였으며 먼저 765KV 선로를 60% 보상할 수 있는 Shunt Reactor 를 사용함.

2) 765KV 선로를 60% 보상할 수 있는 선형 Reactor 로 모의하여 그림7의 정상 상태 전압을 Check 함. Shunt Reactor 첨가후 765KV BUS 전압이 정상치보다 낮게 되어 발전기 전압을 조정하여 정상치를 얻었다.

3) 통계 처리에 의한 차단기 조작 계산은 너무 많은 계산시간을 요해 통계처리를 하지 않고 765KV 선로의 중영인 155Km 지점의 Phase A 에 1선 지락을 발생시키고 차단기를 동작 시킴.

4) 765KV 선로 Phase A의 1선 지락을 제거한 후 차단기 양단 전압을 측정하여 과 상중 가장 높은 전압을 나타내는 순간 차단기를 재부입함.

5) 검토대상 계통에서 모든 발전기와 선로가 운전중인 경우 (RIS), 발전기가 1개가 운전되고 모든 선로가 운전중 (RIW)인 것과 모든 발전기가 운전되고 765KV 1회선만이 운전되는 (ROS) 3경우의 1선지락시 발생되는 과 BUS 전압을 계산함.

6) ROS 고장 계산결과 운전되지 않고 있는 선로에 유도되는 전압이 선로 공진으로 인해 비정상적으로 커져 Shunt Reactor 의 용량을 69% 보상으로 조정하여 계산한 결과 현저히 유도 전압이 줄어듬.

7) $t = 0(\text{Sec})$ 모든 차단기를 부입하고 $t = 15.28 (\text{m Sec})$ 에 765KV 선로 Phase A 에 고장 발생

$t = 31.95 (\text{m Sec})$ 에 765KV 선로 차단기 개방

$t = 102.78 (\text{m Sec})$ 에 765KV 선로 Phase A 의 고장 제거

그 이후 과 상중 차단기 양단 전압이 가장 높은 순간 차단기를 재부입 시킴.

8) 차단기 부입 저항을 $200 \leq R \leq 2000 (\Omega)$ 로 변화시키고 삼입 시간을 6 (m Sec) 로 고정하여 과 RIW, RIS, ROS의 BUS 전압을 계산하여 최적 삼입 저항을 결정함.

9) 최적 부입 저항을 결정한후 $R = 400 (\Omega)$

으로 고정하고 삼입 시간을 $6 \leq t \leq 10 (\text{msec})$

로 변화시키면서 최적 삼입 시간을 결정함.

10) 최적부입 저항 및 삼입 시간을 결정한후

적외기를 계통에 부입하여 적외기 특성을 파악 함.

위의 검토 방법에 대한 결과는 그림7 부터 그림14와 같다.

4. 결 론

차기 송전 계통 절연설계에 가장 기본이 되는 개폐 과전압을 한전 765KV 모델계통에 EMTP를 이용하여 1선 지락시 차단기 개방 및 재부입에 따른 과전압 해석 결과 765KV 선로를 69% 보상할때 최적 차단기 부입 저항은 $400(\Omega)$, 삼입시간은 8 (mSec)이었으며 이때 최대 개폐 과전압은 1.481 (PU)이어서 계통을 2 (PU)로 설계하면 문제가 없음을 알 수 있었다. 또한 선로를 60%로 보상할 경우 ROS와 같이 한 선로가 운전되고 있지 않는 경우 에 선로 공진 현상으로 인한 유도 전압이 비정상적으로 증가하는 것을 알 수 있어서 앞으로 이에 대한 많은 연구가 되더라도 할 것으로 생각한다. 또한 이상의 연구 결과는 EMTP를 이용한 몇가지 Case Study로 이 검토가 종료된 후 TRA를 사용한 연구가 되더라도 할 것으로 생각한다.

5. 참고 문헌

- 1) 한국전력공사, Westing-House, "Switching Surge Study of the 765KV System of the Korea Electric Company", 1980.
- 2) IFA, "Electro-Magnetic Transients Program Rule book (Mode 39)", 1984.
- 3) EPRI EL-4202, "Electro-Magnetic Transients Program Primer", 1985.

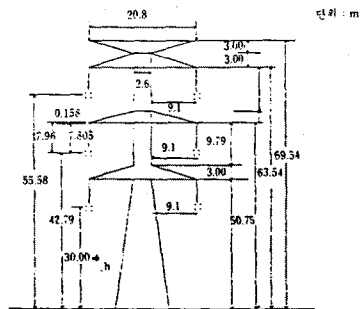


그림 6 765KV 2회선 송전 철타

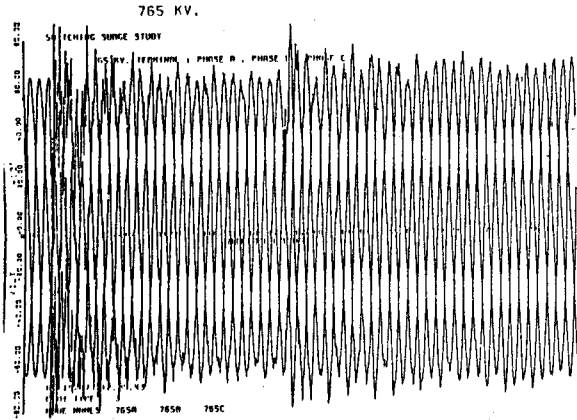


그림7 RIS 의 765 KV 변압기단 상전압

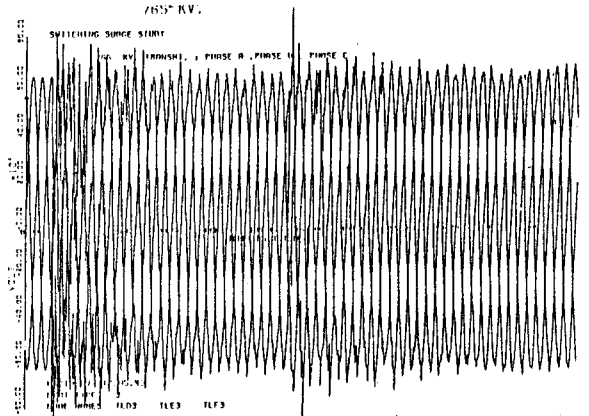


그림9 RIS 의 남서울 변전소 765 KV #2 선로단 상전압

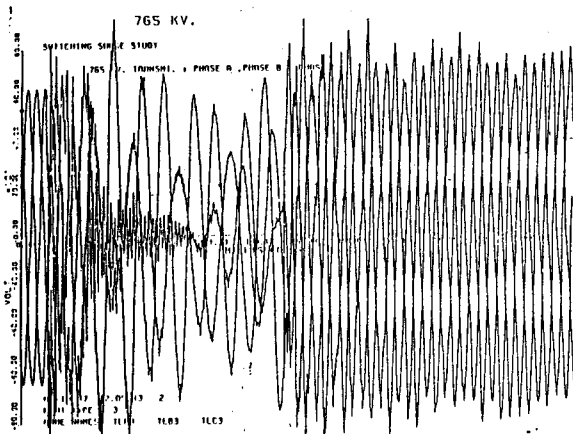


그림8 RIS 의 남서울 변전소 765 KV 선로단 상전압 #1

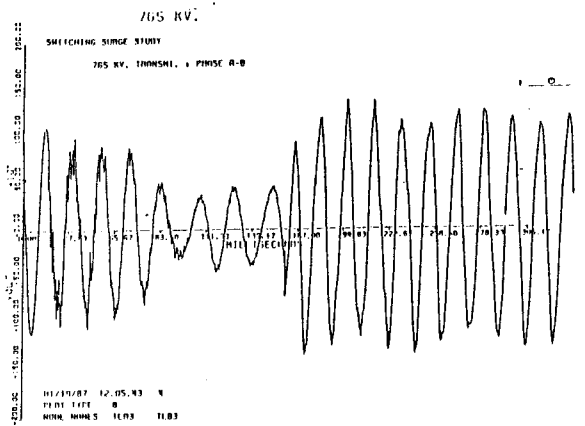


그림10 RIS 의 남서울 변전소 765KV 선로 a 상과 b 상의 순간 전압

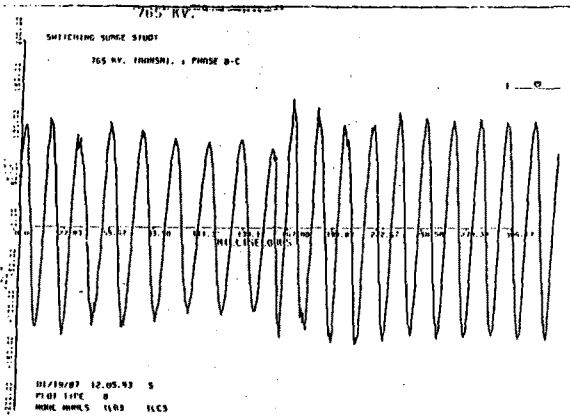


그림11 RIS 의 남서울 변전소 765KV 선로
b상과 c상의 선간 전압

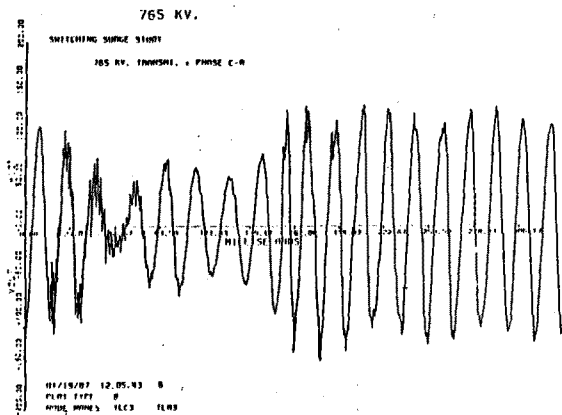


그림12 RIS 의 남서울 변전소 765KV
선로 c상과 a상의 선간 전압

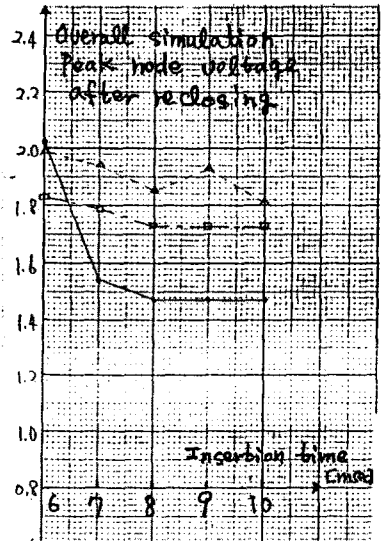


그림14 차단기 투입저항을
400(Ω)으로 고정하고
삽입시간을 변화시킬때
계통에 나타나는 최고
전압

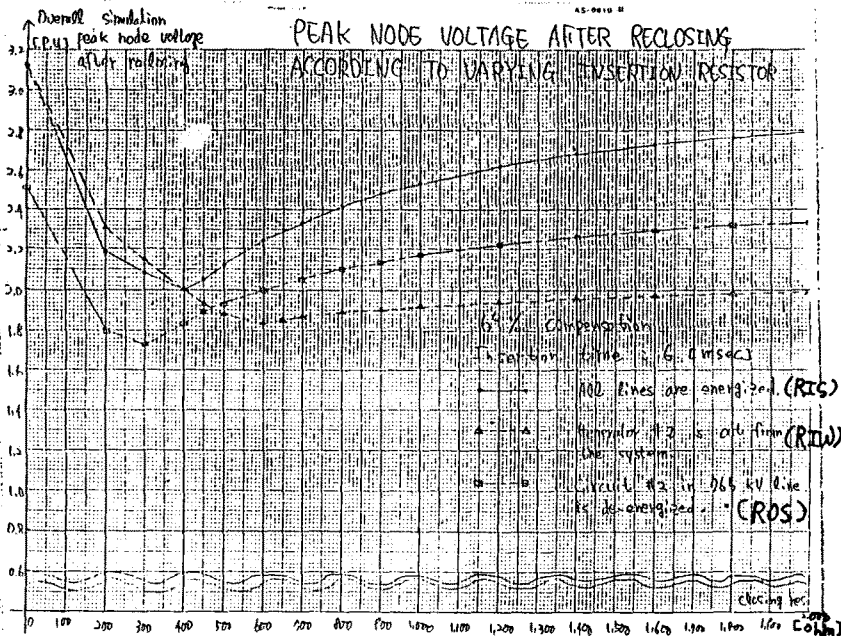


그림13 차단기 투입
저항 삽입시
간을 (6m Sec)
로 고정하고
투입저항을
변화시킬때
계통에 나타
나는 최고전압