TNA를 이용한 2005년 송전계통의 과전압 해석

우 정 욱°, 심 응 보
한전 전력연구원

The Overvoltage Analysis Results of 765 kV System in 2005 by TNA

Woo Jung-Wook, Shim Eung-Bo
KEPRI (Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - This paper describes the TNA(Transient Network Analyzer) modeling/operating methods and the analysis results of expected overvoltages of 765 kV system in 2005 by the TNA. The power system is expressed as the equivalent inductance of power system, power source, transmission line, switch, and etc. in the TNA. We have examined the overvoltages in the ground fault case, the fault clearing case and the closing/re-closing case. The maximum line-to-line overvoltage is 1.87 p.u., which occurs between SS and SA at the fault clearing case.

1. 서 론

2000년대 전력수요의 증가와 수도권으로의 부하 집중 현상에 대비하여, 한전에서는 동·서해안의 대규모 전원단에서 수도권으로의 안정적인 대전력수송을 위하여 765 kV 격상사업을 준비하고 있다.[1,2]

송전계통의 1차 계통해석시에는 동·서 계통을 각각 분리해서 해석했으나, 계획중인 계통이 증설되어 동·서 계통을 연계시켜 해석할 필요가 생겼다.

따라서, 해석내용중에서, 송전계통의 공기절연거리는 주로 지락, 차단, 투입/재투입등에 의한 써지의 크기에 의해 결정되기 때문에, 각종 써지에 대한 정확한 해석이 765 kV 송전계통의 설계에 중요한 요소가 된다.[1,2]

과전압 해석용 Tools로는 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program)와 TNA (Transi ent Network Analyizer)가 대표적으로 많이 이용되고 있으나, 이 논문에서는 Analog형인 TNA를 사용하여 한전에서 계획하고 있는 2005년 송전계통을 등가화, 축약시켜서 예상 가능한 지락, 차단, 투입/재투입시 발생하는 과전압에 대하여 모의하였다.

2. 본 론

2.1 해석대상 계통의 등가

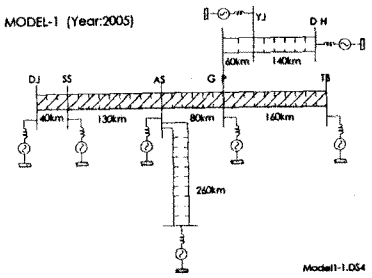

그림 1. 2005년 765 kV 예상 계통도

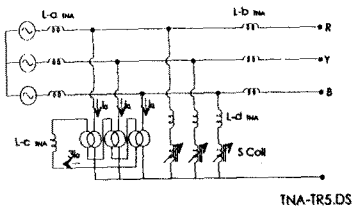

그림 2. TNA 전원단 모델

2005년에 계획중인 765 kV 송전계통의 Diagram이 그림 1에 나타나 있으며, DJ지점에서 TB까지의 410 km의 계통을 해석 대상으로 선택하였다. 우선, 주요 관심대상인 765kV 송전선로 이외에 주변 여러 요소들을 각 모선에서의 단일 전원단으로 모델링하였으며, 그 일부 주요 요소들은 아래와 같이 계산하였다.

- 변압기 데이터 : 용량 2000 MVA
  Votage ratio (H-M) 765 kV / 345 kV
  Percent Impedance : X_{HM} = 18 %, X_{HL} = 193 %,
  X_{ML} = 175 %
- 계통의 등가 정상분 임피던스는 모선에서의 단락고장시에 모선으로 유입되는 고장전류의 조류를 PSS/E에 의해 구한 결과를 이용하여 구하였다.

- 부하측에서 전원 등가 임피던스의 X_0/X_1 비는 1로 계산하였다.

앞에서의 데이터들을 이용하여 구한 값들을 TNA에서 Setting 가능한 값으로 전환하기 위해서는 TNA 동작시에 오차가 가장 적은 범위에 들어가는 Scale Factor를 구하고, 그 Scale Factor(1.2)를 계산값에 전체적으로 곱해 주었다. 그 값을 이용하여, 영상분 임피던스와 변압기의 포화특성이 고려된 그림 2와 같은 회로 상태로 TNA 전원모델을 구성하였다.

2.2 송전선 모델

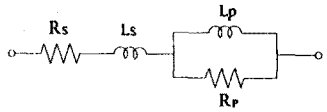

그림 3. Earth Return Branch

765 kV의 송전선은 병행 2회선 구조로 연가를 고려하지 않았다. 송전선 모델을 위하여, 우선 EMTP의 Line Constant의 계산값을 이용하여[4], TNA의 Line Parameter에 의해 π등가회로를 구성하였다. π등가회로에서는 같은 회선 상간(A, B, C상)의 상호 결합과 대지간 결합에 대한 영향도 고려되었으며, π등가회로의 한 Section당 그림 3과 같이 "Earth Return Branch"를 사용함으로 Zero Sequence Parameter를 고려하여 모델링하였다. 게다가, 병행선로(R, S, T상)의 영향도 고려하기 위하여 Mutual C와 L을 사용하였다. 또, 선로의 Setting 완료된 후에는 선로의 전체적인 Setting 상태가 올바른지는 Step Response에 의해 확인하였다.

2.3 과전압해석결과

해석 대상 과전압은 지락 과전압, 차단 과전압, 투입/재투입 과전압에 대해서 검토하였다. 지락 과전압의 경우에는 1선지락시 건전상의 상대지간과전압과 1선 지락시 상간과전압, 지락시 중성점 부동운전등에 대해서 각각 검토하였으며, 차단 과전압의 경우에는 2선지락시 지락상의 차단에 의한 과전압, 2선지락시 지락상의 차단시 상간과전압에 대해서 각각 검토하였다. 투입/재투입 과전압의 경우에는 100회 반복동작시켜 발생과전압에 대해 통계처리하여 검토하였다.

가. 지락과전압

지락과전압의 경우에는 15 km 간격의 선로에서 A, B, C상이 각 지점마다 지락사고가 났을 때, 15 km 단위로 과전압을 측정하였다. 모든 지점의 상대지간 과전압이 1.5 p.u.에서 1,8 p.u. 사이의 값을 나타냈으며, 가장 가혹하게 과전압이 발생한 때는 AS와 GP간 선로중에서 AS측 모선단 A상에서 지락사고가 났을 때, 그곳으로부터 30 km 지점의 건전상에 1.71 p.u.가 발생하였다.

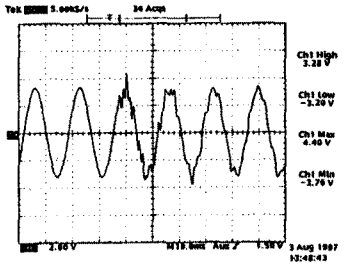

그림 4. 지락사고시 발생되는 과전압의 파형

지락사고시 건전상에 발생되는 과전압의 대표적인 파형이 그림 4이다. 1선 지락시 상간에 유기되는 최대 과전압은 GP으로부터 TP 방향으로 120 km 지점에서 지락사고가 생겼을 때, GP의 모선단에서 2.90 p.u.이었다.

표 1. 선로구간별 1선지락 과전압

Measuring	DJ-SS	SS-AS	AS-GP	GP-TP
최대과전압 p.u.	1.48	1.69	1.71	1.67
사고지점	30 km	0 km	0 km	30 km
측정지점	15 km	60 km	30 km	90 km

나. 차단과전압

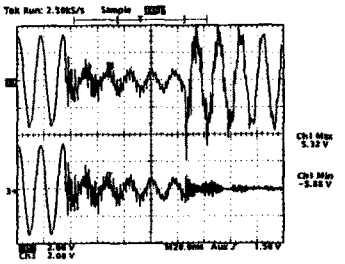

그림 5. 차단 과전압의 파형(상대지간)

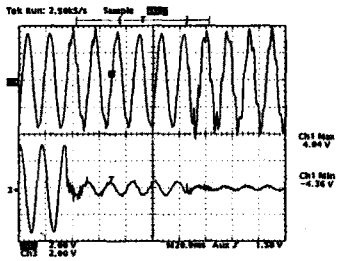

그림 6. 차단 과전압의 파형(상간)

지락사고시 이를 차단할 때의 차단 과전압은 A, T상(2상), C, R상(2상), A, B, C상(3상), R, S, T상(3상)이 동시에 지락사고가 난다고 가정하고, 그 선로를 차단할 때의 과전압을 검토하였다.

3상 지락시 차단때의 과전압이 약 2.0 p.u.으로 가장 가혹하게 나타났으나, 3상 동시 사고 확률이 실제로는 매우 적어서, 2상 지락시의 차단때만을 고려해 보면, 가장 가혹하게 과전압이 발생한 때는 SS와 AS 선로중에서 SS 모선단에서 지락사고가 나서 사고상을 차단했을 때, 그곳으로부터 60 km 지점에서 상대지간에 1.87 p.u.가 발생하였고, 차단시 상간에 유기되는 최대 과전압은 2.59 p.u.이었다. 차단과전압의 대표적인 파형이 그림 5, 6이다.

다. 투입/재투입 과전압

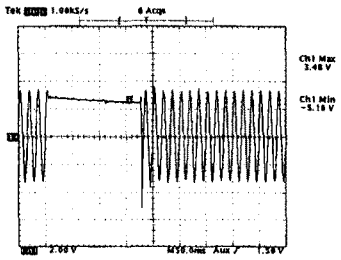

그림 7. 투입/재투입 과전압의 파형

지락사고시 이를 차단할 때의 차단 과전압은 A, T상이 동시에 지락사고가 난다고 가정하고, 그 선로를 차단할때의 과전압을 검토하였다.

한 쪽의 전원단이 Open된 상태에서, 병행선로의 투입여부에 따른, 상대측의 A, B, C상이 투입될 때, 투입저항에 따른 각 지점의 과전압을 측정하였다. 또한, 지락사고후 사고 요인을 제거하고 재투입시에도 같은 시퀀스로 구성하여 모의하였다.

투입저항을 사용하였을 때, 가장 가혹하게 과전압이 발생한 때는 병행선로가 투입되지 않았을 때, TB측에서 가압할 때 상대지간에 1.84 p.u.가 발생하였고, 이때 상간에 유기되는 최대 과전압은 3.20 p.u.이었다. 투입/재투입시의 과전압의 대표적인 파형이 그림 7이다.

3. 결 론

TNA는 모의방법이 복잡하고 소요시간이 많이 걸리는 단점이 있으나, EMTP에 의한 모의 결과보다 현실상황에 좀더 가깝게 접근 가능함으로, 계통자체나 현상에 대해 이해하기 편리한 장점이 있었다.

해석대상으로 하는 계통을 전원단, 송전선, 변압기, 피뢰기, 차단기등을 등가 축약시켜 구성하였다. 먼저 주요 관심대상인 765kV 송전선로 이외에 주변 여러 요소들을 각 모선에서의 단일 전원단으로 모델링하였으며, 주요 관심 대상 송전선을 π 등가회로로 구성하였다.

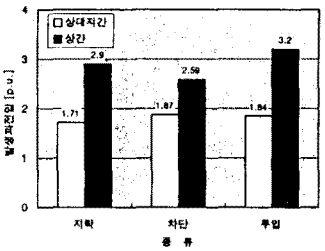

그림 9. 과전압의 결과

그림 9처럼, 1선지락시 건전상에 나타나는 상대지간 최대 과전압은 1.71 p.u.가 발생하였고, 선간 최대 과전압은 2.9 p.u.가 발생하였다. 차단과전압의 경우에는 상대지간이 1.87 p.u., 선간이 2.59 p.u.로 나타났다. 투입/재투입 과전압의 경우에 투입저항을 사용하였을때 상대지간이 1.84 p.u., 선간이 3.20 p.u.정도로 나타났다.

이 해석결과를 1차 계통해석시에 추천한 설계치인 상대지간 1.9 p.u., 선간 3.5 p.u., 투입저항 1,000 Ω이하와 비교해 보면, 2005년 계통의 경우 TNA에 의한 해석 결과, 개폐, 지락 과전압 모두가 1차 해석시의 추천값 이하로 억제가능함을 알 수 있었다. 또한, 투입 과전압의 경우에서도 투입저항이 약 500 Ω정도에서 최적치를 가지나, 일반적으로 1,000 Ω이하에서 1차 해석시의 설계치 이하로 억제 가능함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Jeong-Boo Kim, Eung-Bo Shim, Jae-Kee Jeong, Jung-Wook Woo : "Switching Surge Overvoltages on the KEPCO 765 kV System", ICEE '95, 1995

[2] Jeong-Boo Kim, Eung-Bo Shim, Jae-Kee Jeong, Jung-Wook Woo : "Internal Overvoltages Analyses of KEPCO 765 kV Transmission System", 9th ISH, 1995

[3] 김정부외 : "765 kV 계통절연 협조연구(최종보고서)", 전력연구원, 1996

[4] ATP, "EMTP Rule Book", 1986