

측정 위치에 따른 GIS에서 VFTO 상승률 분석

오윤식, 서훈철, 김철환
성균관대학교

Analysis of Rate-of-rise of VFTO in GIS according to Measurement Point

Yun-Sik OH, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - In Gas Insulated Substation(GIS), Very Fast Transient Overvoltages(VFTOs) are generated by the switching operation of disconnecter or circuit breaker and it is propagated to each component of GIS. Each component of GIS is modeled by lumped line model and distributed line model based on equivalent circuits. The various cases which can be operated and the various closing point-on-wave are considered. In this paper, magnitude and rate-of-rise of VFTO are simulated and analyzed by comparing the simulation results. Measurements are performed at transformer and circuit breaker.

1. 서 론

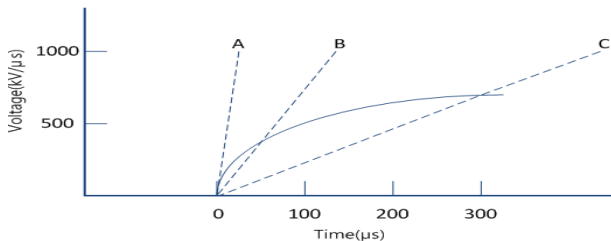
GIS는 소형화, 고 신뢰성 그리고 주기적인 보수로부터 자유롭다는 장점을 가지고 있어 전력 계통의 넓은 영역에 자리 잡고 있다. VFTO는 GIS내의 회로 차단기 혹은 단로기의 스위칭 동작 중에 발생된다. 단로기의 가동접촉이 느린 속도로 이루어짐에 따라 스위칭 동작 중 많은 수의 pre-strikes 혹은 re-strikes가 발생되며 이러한 strikes는 매우 높은 주파수 진동을 동반하는 VFTO를 발생시킨다. VFTO는 변압기와 같은 GIS 주변기기의 절연에 영향을 미치며, VFTO의 크기가 계통의 BIL(Basic Insulation Level)보다 낮다고 하더라도 발생횟수의 빈번함으로 인해 계통의 절연열화에 영향을 미치게 된다. 또한 VFTO에 의해 발생하는 GIS 사고 비율은 뇌 임펄스와 스위칭 임펄스에 의한 사고 비율보다 높다[1]. 그러므로 GIS내에서 발생하는 VFTO의 크기와 상승률을 측정하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 EMTP-RV를 이용하여 변압기와 회로 차단기 단자에서 VFTO의 크기와 상승률을 측정하였고, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 변압기와 회로 차단기 단자에서 VFTO의 상승률을 분석하였다. GIS의 각 구성요소들은 진행파의 특성을 포함하는 과도현상을 고려하기 위해 전기적 등가회로에 기반한 분포정수 선로 모델과 집중정수 선로 모델로 모델링되었으며, 단로기 투입 위상각과 운전 가능한 여러 가지 Case 또한 고려되었다.

2. 본 론

2.1 상승률

VFTO의 상승률은 단위 μs 당 전압의 크기로 정의되며, 계산방법은 그림 1과 같다[2]. 그림1의 전압 상승률 계산방법은 다음과 같이 3가지 방법으로 나뉜다.



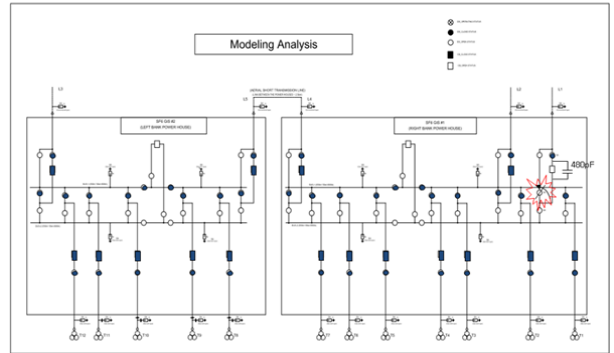
〈그림 1〉 전압 상승률의 계산방법

- 1) A: t=0에서의 기울기
- 2) B: trigger 신호 후 sampling interval 50 μs 동안 상승전압의 기울기
- 3) C: t=0에서 전압 최대값까지의 기울기

본 논문에서는 그림 1의 A방법을 이용하여 VFTO의 상승률을 계산하였다.

2.2 GIS 모델링

그림 2의 GIS 모델은 단로기, 회로 차단기, 접지 스위치, TR feeder, T/L feeder, busbar, coupling feeder 등으로 구성되어 있으며 정격 전압은 550kV이다. 그림 2의 L1~L5는 T/L feeder를 나타내고, T1~T12는 TR feeder를 나타내며, 원은 단로기, 사각형은 회로 차단기를 표현한다. 검정색 원과 사각형은 닫힌 상태를 표현한 것이고, 흰색 원과 사각형은 열린 상태를 나타낸다[3].



〈그림 2〉 GIS 모델

GIS 구성요소들은 집중 정수 및 분포 정수 선로로 구성된다. 그러므로 본 논문에서는 표 1과 같이 IEEE에서 추천한 값을 이용하여 각각의 구성요소를 모델링하였다. 표 1에서 Busbar, 회로 차단기, 단로기의 경우, 송전선로의 파라미터는 케이블의 기하학적 배치 및 도체 데이터를 이용하여 EMTP-RV의 LINE CONSTANTS 보조루틴을 사용하여 저항, 서지임피던스, 전파시간 등을 계산한 후 입력하여 모델링을 하였다[4].

〈표 1〉 GIS의 구성요소 모델링

GIS 구성요소	등가모델
Bus bar	송전선로 모델(비연가)
Circuit Breaker	open - 2개의 송전선로 모델 - 직렬로 연결된 Resistance + Capacitance : 17ohm + 2800pF - 대지 간 Capacitance : 20pF - 극간 Capacitance : 430pF
	close - 3개의 송전선로 모델 - 대지 간 Capacitance : 20pF
Disconnector switch	open - 2개의 송전선로 모델 - 직렬로 연결된 Capacitance : 20pF
	close - 3개의 송전선로 모델
Surge Arrester	대지 간 Capacitance : 50pF
Earth Switch	대지 간 Capacitance : 45pF
Bushing	대지 간 Capacitance : 500pF

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 조건

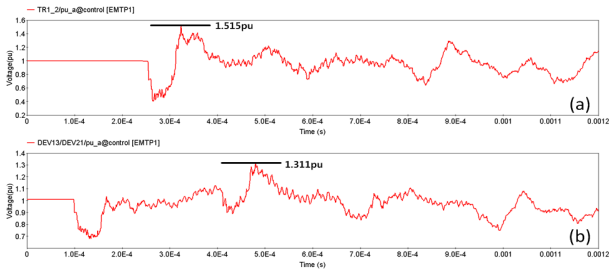
본 논문에서는 각각의 feeder에서 단로기의 closing 동작에 의해 발생되는 VFTO 상승률을 측정하였다. 표 2는 단로기가 동작하는 feeder에 따른 시뮬레이션 조건들을 나타낸다. Case 1, 2, 3, 10, 11의 경우는 T/L feeder에서 단로기가 동작하는 경우이며, Case 4, 5, 6, 7, 8, 9의 경우는 TR feeder에서 단로기가 동작하는 경우이다. 각각의 Case마다 다양한 투입위상각에 따른 시뮬레이션이 수행되었다.

<표 2> 시뮬레이션 조건

구분	단로기 동작 feeder
Case1	L1
Case2	L2
Case3	L3
Case4	T1
Case5	T4
Case6	T7
Case7	T8
Case8	T10
Case9	T12
Case10	L4
Case11	L5

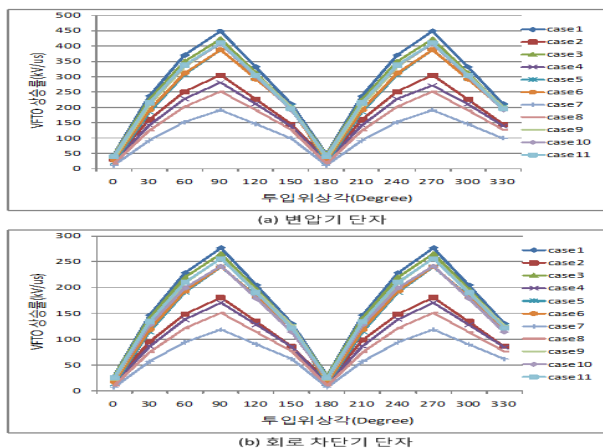
3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 3은 Case1의 경우, 투입 위상각이 90도 일 때 변압기와 회로 차단기 단자에서 측정된 VFTO의 파형을 pu단위로 나타낸 파형이다. 그림 3에서 나타나듯이, 변압기에서 측정된 VFTO의 최대값이 회로 차단기에서 측정된 VFTO의 최대값보다 약 1.156배 더 크다. 또한 VFTO의 전파는 회로 차단기 단자보다 변압기 단자에서 더 느리다.



<그림 3> 투입 위상각이 90도 일 때 Case1의 VFTO 파형 (a) 변압기 단자 측정, (b) 회로 차단기 단자 측정

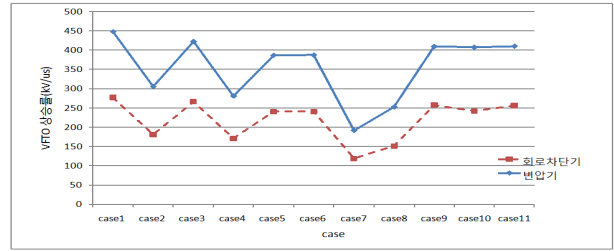
그림 4는 다양한 투입 위상각에 따른 VFTO의 상승률을 나타낸다. VFTO의 상승률은 투입 위상각이 90도, Case1일 때 가장 크다. 두 가지 측정 지점 모두 투입 위상각에 따른 VFTO의 상승률은 투입 위상각이 90도, 270도에 가까워질수록 커지며, 0도, 180도에 가까워질수록 작아짐을 알 수 있다.



<그림 4> 여러 가지 조건에 따른 VFTO의 상승률

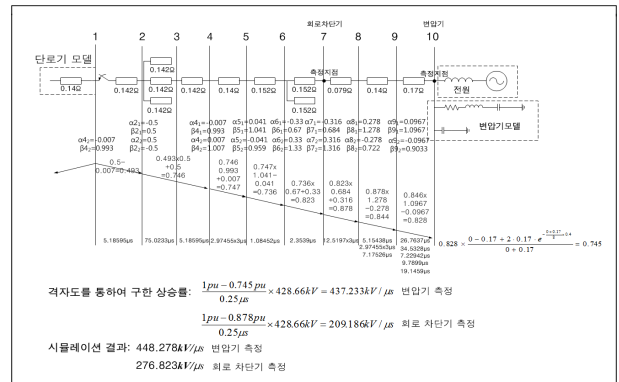
그림 5는 투입 위상각이 90도 일 경우, 회로 차단기 단자와 변압기

단자에서 측정된 상승률을 비교한 것이다. 각각의 Case에 따라 상승률은 달라지지만, 변압기 단자에서 측정된 상승률이 회로 차단기 단자에서 측정된 것보다 약 1.62배 더 크다.



<그림 5> 각 Case에 따른 VFTO의 상승률(투입 위상각 90도)

그림 5에서 나타난 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 격자도 해석을 수행하였으며, 격자도 해석 결과는 그림 6과 같다. 격자도를 이용하여 VFTO의 상승률을 비교해 본 결과 EMTP-RV를 통한 측정과 마찬가지로 변압기 단자에서 측정된 상승률이 회로 차단기 단자에서 측정된 상승률보다 큰 것을 알 수 있다.



<그림 6> 격자도 해석

4. 결론

본 논문에서는 EMTP-RV를 이용하여 측정 위치에 따른 GIS에서 VFTO의 상승률을 분석하였다. 11가지의 운전 가능한 Case들과 다양한 투입 위상각들이 고려된 시뮬레이션이 수행되었으며, 시뮬레이션 결과를 기반으로 한 VFTO 상승률 분석 결과는 다음과 같다.

- 1) 투입 위상각이 전압의 최대치(90도, 270도)에 가까울수록 VFTO의 상승률은 커진다.
- 2) 단로기에서 발생하는 VFTO의 전파 시간은 회로 차단기 단자보다 변압기 단자가 더 길다.
- 3) 변압기 단자에서 측정된 VFTO의 상승률은 회로 차단기에서 측정된 VFTO의 상승률보다 크다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0027789).

[참고 문헌]

- [1] D. S. Pinches, M. A. Al-Tai, "Very Fast Transient Overvoltages Generated by Gas Insulated Substations", International Universities Power Engineering Conference, 2008
- [2] Dean E. Perry, Richard C. Raupach, C. A. Edward Uhlig, "A Switching Surge Transient Recording Device", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, No. 4, pp. 1073-1078, April 1968.
- [3] 서훈철, 김철환, 정영환, 류석정, "EMTP-RV를 이용한 GIS에서 VFTO의 상승률 분석", 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2010
- [4] DCG-EMTP(Development coordination group of EMTP) Version EMTP-RV, Electromagnetic Transients Program. [Online]. Available : <http://www.emtp.com>.