

송전선로측 권선형 변성기 사용에 따른 기술적 고찰

최기열 박문빈
한국전력기술(주)

A Study on the Application of Voltage Transformer at Transmission Lines

Choi, Ky Youl Park, Moon Bin
Korea Power Engineering Company, Inc.

Abstract - Recently, due to the drastic development of communication method between substations for pilot protective relaying system, The power line carrier(PLC) application is getting obsolete. Consequently, the coupling capacitor voltage transformer (CCVT) loses its necessity for the carrier coupling function, and so wound voltage transformer(VT) can be used to substitute CCVT for voltage signal. However, VT has been reported to give rise to ferro-resonance phenomena, so sufficient consideration on applying the VT to line side is required.

This study introduces probable technical problems in using the VT on T/L side, and carries out feasibility study on the basis of modeling results by EMTP(Electro-magnetic transient program)

1. 서 론

송전선로 보호 방식에서 고장구간을 정확히 판정해서 고속으로 선택 차단을 하기 위한 상대단과의 정보 교환이 필요하며, 이때 사용되는 통신수단으로 국내의 경우 전력선 반송(Power Line Carrier, PLC)의 아날로그 방식을 주로 이용하여 왔다. 하지만 광 복합 가공지선(OPGW) 설치나 광 통신망이 구축됨에 따라 통신 방식으로 PLC 보다는 광 통신 채택이 점차 늘어나고 있다.

PLC 방식 채택시 고압의 송전선로와 반송단국장치와의 접속은 콘덴서형 변성기(CCVT)의 결합 콘덴서를 통해서 이루어지므로 송전선로 측에 전위 변성기로 콘덴서형은 절대로 필요한 설비였으나, 광통신 채택과 함께 콘덴서형 변성기의 캐리어 결합 기능이 더 이상 필요가 없어짐에 따라 선로측에 전위 변성기로 콘덴서형 대신에 권선형을 적용하여도 기능상 문제가 없게 되었다. 하지만 철공진 현상 등의 문제가 권선형 변성기(VT)에서 발생하는 것으로 이미 논문을 통하여 발표된 바 있으므로 권선형 변성기 사용자 충분한 검토가 요구된다.

본고에서는 광통신 채택에 따라 송전선로 측에 콘덴서형 변성기 대신 권선형 변성기 사용에 따른 다음과 같은 문제점들을 검토하고 EMTP(Electro magnetic transient program) 모의 분석을 통한 결과를 이용하여 권선형 변성기의 사용 적합성을 알아본다.

- 변성기의 철공진 현상.
- 동기점검 실패에 따른 3상 자동재폐로 실패.
- 과여자 전류에 의한 변성기의 열적 피로 현상 누적.

2. 본 론

2.1 권선형 변성기 적용의 의의

콘덴서형 변성기는 권선형에 비해 가격이 싸고 철공진

문제가 거의 없는 장점이 있다. 하지만 국내 초고압 변전소 거의 모두가 GIS(Gas Insulated Substation)화 되어 관련 설비가 일체화되고 있으나, 콘덴서형 변성기는 GIS와는 별도로 설치되고 있어 염해, 오손등 기후의 영향으로, GIS 내장 권선형에 비하여 신뢰성이 떨어진 단점이 있다.

권선형 변성기는 참고문헌[1],[2],[3]에서 기술하고 있는 철공진으로 인한 변성기의 절연파괴와 같은 문제를 안고 있으나, 정밀도와 과도특성이 콘덴서형에 비해 우수하며, GIS에 내장 가능하여 기후의 영향을 받지 않을 뿐 아니라 선로 인출 부분이 단순화되는 장점이 있다.

2.2 EMTP 모의 분석 소개

EMTP 모의 분석을 하기 위한 계통의 등가 회로를 그림 1과 같이 구성하였으며, 각 구성 요소의 특성을 다음과 같이 가정하였다.

- 전원 특성

등가 전원은 345kV/ $\sqrt{3}$ 의 최대값(280kV)으로 선정하였으며, 전원 등가 임피던스는 단락 및 지락 고장전류의 크기 40kA를 기준으로 한 정상 및 영상임피던스 4.98 Ω 으로 가정하였다.

- 차단기 특성

345kV 차단기의 경우, 차단기 극간 임피던스는 국내 제작사 마다 다소 다른 값으로 제작되고 있으므로 근사값인 200pF으로 하였다.

- 송전선로 모의

송전선은 30km 2회선 비연가 선로로 가정하였으며, 선로정수를 계산하기 위하여 EMTP의 "Line constant" 보조루틴을 이용하였다.

- 권선형 변성기 특성

변성기 철심의 포화특성을 반영하기 위하여 "포화변압기 Model"로 다루었으며, 제작사로부터 입수한 전압-전류 곡선을 EMTP "Saturation" 보조 루틴을 이용, 자속-전류 곡선으로 변환하여 모의 분석에 사용하였다.

- EMTP 모의

그림1의 등가회로를 기준으로 EMTP 모의분석 입력 Data를 작성하였으며, 계산 주기는 25 μ s로 하였다. 모의 분석은 무부하 선로 개방과 고장선로 개방 두 경우에 대해 각각 수행하였다. 무부하 선로의 경우는 20ms에서 차단기를 개방하는 것으로 하였고, 고장선로의 경우는 10ms에서 A0과 C0이 동시에 0.1 Ω 의 아크 저항을 통해서 지락사고 발생 - 70ms에서 차단기 개방 - 370ms에서 아크가 소호되는 것으로 가정하였다.

2.3 문제점 검토

2.3.1 철공진 현상

철공진 현상은 비선형 철심을 이용하는 변압기나 권선형 변성기에서 발생할 수 있다. 참고문헌 [1],[2],[3]에서는 모선에 설치된 권선형 변성기에서의 철공진 현상에 대해 자세히 기술하고 있다. 이러한 철공진 현상은 크게 두 가지 요인에 의해 발생한다. 첫번째로, VT 양단의 과도 전압에 의한 철심의 포화 현상에 의한 것이고, 두번째로, 모선이나 선로에 잔류하는 전압이 저주파로 감쇄 진동함에 따라 LC 공진 조건이 발생하기 때문이다.

철공진 전압은 60Hz 결합 전압(Coupled Voltage) 요소와 LC 진동 요소의 두 가지 성분으로 구성된다.

결합 전압 요소는 차단기 극간 커패시턴스에 의해 모선에 유도되는 전압 성분으로, 철공진 현상을 유발시키거나 발생된 철공진 현상을 지속시키는 주 요인으로 작용한다. 즉 차단기 개방 이후, 초기에 철심이 포화되면 LC 진동이 발생하고 이때 감소되는 전압보다 결합 전압 요소가 더 클 경우에 철공진 현상이 발생할 수 있으며 또한 상당시간 지속되게 되게 한다.

철공진 현상에 대한 대책 중의 하나로 모선의 커패시턴스를 차단기 극간 커패시턴스 보다 상당히 크게 하면 두 커패시턴스의 전압 분배에 따라 모선이나 변성기 양단의 전압이 작아지므로 공진 현상이 완화된다.

- 계통 분석

그림 2 (a)는 그림 1의 등가회로이며 (b)는 차단기 개방 이후 테브난 등가회로를 나타낸 것이다.

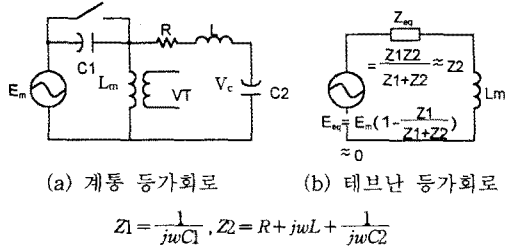


그림 2

차단기 극간 커패시턴스 $C1=200\mu\text{f}$ 에 비하여 선로의 커패시턴스 $C2$ 는 수~수십 μf 이므로 $Z1 \gg Z2$ 가 되어 그림 2(b)의 테브난 등가 전압 $E_{eq} \approx 0$ 가 된다. 이는 철공진 전압의 두 요소 중 결합 전압은 존재하지 않음을 나타낸다.

그림 2(b)는 선로와 변성기 자화임피던스에 의한 R, L, C 직렬회로가 되며, 수식의 간편화를 위해서 선로의 R 값을 무시하면 식(1)과 같이 회로 방정식이 성립한다.

$$L_{eq} = L_m + L \dots (1)$$

$C2$ 의 양단전압 $V_c(t)$ 로 정리하면

$$V_c(t) = V_m \cos \omega_0 t, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{eq} C2}} \dots (2)$$

(V_m : $C2$ 에 충전된 초기 값)

(2)식으로부터, 변성기 양단의 최대 전압은 선로 커패시턴스 $C2$ 에 충전된 전압이 되며, ω_0 를 갖는 \cos 함수로 진동함을 알 수 있다.

L_{eq} 와 $C2$ 의 값은 상당히 큰 값이므로 ω_0 는 극히 작은 값이 된다. 따라서 회로 내의 LC 진동은 저주파 진동이 될 것이며, 전압은 선로의 R 값에 따라 서서히 감소하는 파형이 될 것이다.

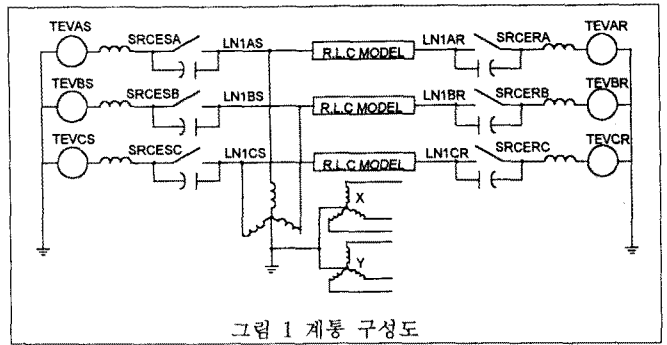
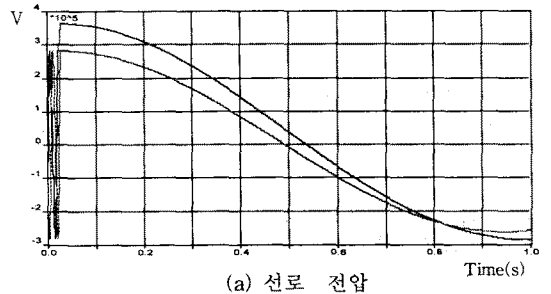


그림 1 계통 구성도

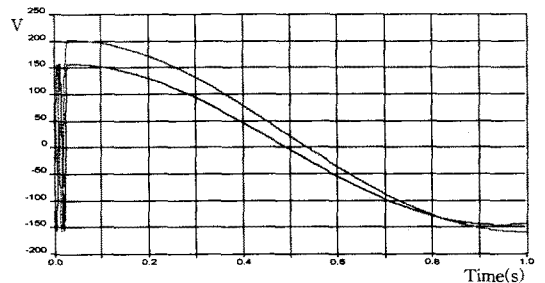
그림 3, 4는 무부하시와 고장시의 선로 개방에 따른 선로 전압과 변성기 2차측 전압을 나타낸 EMTP 모의 결과이다. 선로의 최대 전압은 무부하 선로를 개방하는 경우가 고장 선로를 개방하는 경우 보다 더 크며, 진동 주파수는 약 0.5Hz 정도로 나타났다.

선로의 커패시턴스 $C2$ 가 차단기 극간 커패시턴스 $C1$ 보다 상당히 커서 선로에 유도되는 전압이 상대적으로 작고, LC 진동 주파수나 진압파형등의 EMTP 결과로 볼 때 철공진 현상은 나타나지 않는 것으로 판단할 수 있다.

30km 보다 짧은 1~2km 구간에 대해서도 EMTP 모의를 한 결과 정도의 차이는 있었으나 상기와 같은 결과를 얻을 수 있었다.



(a) 선로 전압



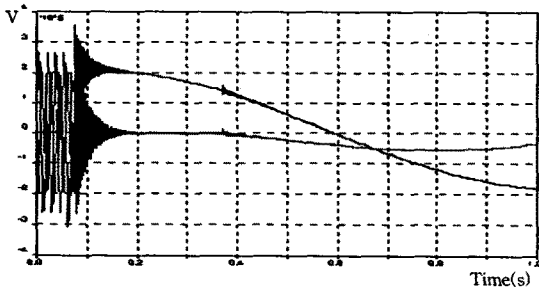
(b) 변성기 2차측 전압

그림 3 무부하 선로 차단시의 전압(B0, C0)

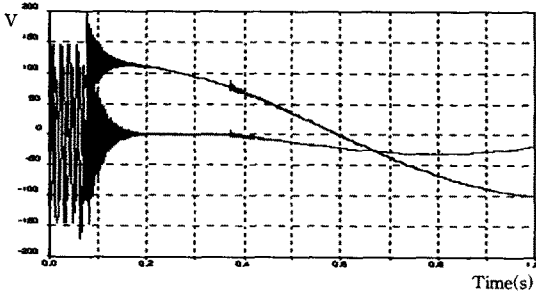
2.3.2 자동 재폐로 실패에 관한 고찰

LEAD 변전소의 30 자동 재폐로 조건은 Live Bus Dead Line(LBDL)이거나 Live Bus Live Line (LBLE)에서 동기가 일치하는 경우이므로, 일반적으로 3상 자동 재폐로가 성공적으로 수행되기 위해서는 계통으로부터 분리된 선로의 전압은 저전압이 되어야 한다.

콘덴서형 변성기의 등가회로는 그림 5와 같다. $C1, C2$ 의 병렬임피던스와 L 값은 상용주파수에서 직렬



(a) 선로 전압



(b) 변성기 2차측 전압

그림 4 고장 선로 차단시 전압(B0, C0)

공진이 되도록 제작되므로 정상 시에는 변성기 2차측 저항 성분만 남게되지만 그림 3, 4와 같은 조건에서는 저항 성분과 용량성 성분을 갖는 큰 임피던스로 변하게 되고, 변성기 여자전류 감소와 함께 변성기 2차측 전압은 영(zero)에 가깝게 된다. 따라서 30 자동 재폐로 수행시 LEAD 변전소의 재폐로 계전기는 선로를 Dead-Line으로 인식, LBDL 조건에 따라 30 재폐로 수행이 정상적으로 이루어진다.

하지만 권선형의 경우 그림 3, 4와 같이 변성기 2차측 전압이 영이 되지 않으므로 재폐로 계전기의 동기점검 회로는 선로를 Live-Line으로 인식하여 모선과 선로 전압의 동기 상태를 점검하게 된다. 이 과정에서 동기 점검 실패가 되면 30 자동 재폐로 실패로 이어질 수 있다.

사고에 따른 아크를 짧은 시간내에 효과적으로 소멸시키기 위해 HSGS(High speed grounding switch)를 설치하는 계통의 경우 HSGS 투입-개방 과정에서 선로에 잔류하는 충전전하가 대지로 방전되어 그림 3, 4와 같은 전압은 나타나지 않으므로 권선형 변성기를 사용하여도 동기 불일치에 따른 재폐로 실패 현상은 발생하지 않는다.

2.3.3 여자전류 증가에 따른 열적 피로 현상 고찰

선로 개방시 마지막에 개방되는 차단기는 무부하 선로를 개방하는 것이며, 그림 3, 4와 같이 선로에는 저주파 전압이 잔류한다. 권선형 변성기의 여자임피던스는 상용 주파수에서는 매우 큰 값이지만 차단기 개방 이후 저주파수에서 급격히 감소하여 여자 전류를 증가시킨다. 여자전류 증가에 따라 변성기는 열적 과부하 상태가 될 수 있으며 발생하는 Joule 열에 의한 피로 현상 누적으로 수명단축의 원인이 될 수 있다. 그림 6은 변성기의

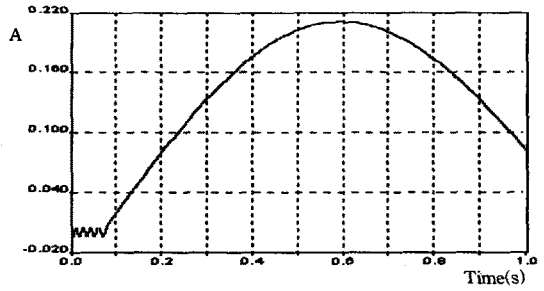


그림 6 변성기 여자전류(B0)

여자전류 변화를 나타낸 것이다.

3 결 론

선로측에 권선형 변성기 적용에 따른 예상되는 문제점을 검토하기 위하여 EMTP를 이용 모의 실험을 하였다. 검토 결과, 변성기 철공진 현상은 발생하지 않는 것으로 나타났으나, 30 자동재폐로 실패 및 열적 피로 현상은 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

HSGS를 채용하는 계통에서는, 선로 개방 이후 선로에 잔류하는 충전 전하는 HSGS 투입에 따라 대지로 방전되어 변성기 종류와는 상관없이 잔류전압에 의한 동기점검 실패는 일어나지 않게 되므로 LEAD 변전소의 30 재폐로 수행은 정상적으로 이루어질 수 있다. 따라서 열적 피로현상을 고려치 않는다면 권선형 변성기 적용이 가능 하지만, HSGS를 설치하지 않는 계통에서는 권선형 변성기 사용시 열적 피로 현상이나 30 자동 재폐로 실패 가능성에 대한 충분한 검토가 요구된다.

[참 고 문 헌]

- (1) "Sec.9 Potential Transformer Ferroresonance", Electromagnetic Transients Program(EMTP) Primer, EPRI EL-4202 Project 2149-1 Final Report, September 1985.
- (2) E. D. Price, "Voltage transformer Ferroresonance in Transmission Substations", 30th Annual Conference for Protective Relay Engineers TEXAS A&M University, April 1977.
- (3) 조성돈 외 1인, "A Study on the Ferroresonance Phenomena of Potential Transformer at 345kV Substation", 전력기술-한국전력기술(주), 통권 제 10호 (제3권 제3집), 77, 1992.9.
- (4) J.Izykowski, "Dynamic Compensation of Capacitive Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.13, No.1, January 1998
- (5) M.R.Iravani, X.Wang, "Digital Time-Domain Investigation of Transient Behaviour of Coupling Capacitor Voltage Transformer", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.13, No.2, April 1998