

765kV 송전계통에서 고장 발생각에 따른 서지 분석

문지영*, 이유진*, 김철환*
성균관대학교*

Analysis of Surge Voltage according to Fault Inception Angle in 765kV transmission System

Ji-Young Moon*, You-Jin Lee* Chul-Hwan Kim*
Sungkyunkwan University*

Abstract - 낙뢰 또는 수목 접촉 등의 일시적인 사고가 발생하면 계통 내 접촉 위치에 순간적으로 아크 현상이 일어나게 된다. 일시 고장 원인을 제거하기 위해 기계적으로 전기의 흐름을 단절시켜 고장 원인을 제거하고, 재투입을 통해 계통 복구를 할 수 있다. 아크는 음극과 양극 사이의 방전으로 인한 플라즈마로 설명될 수 있는데 전력 계통에서는 저항으로서 취급할 수 있다. 본 논문에서는 765kV 모델 계통의 아크 현상 시뮬레이션을 통해 고장각 발생 변화에 따른 아크 전압 특성을 분석할 것이다. 또한 아크 특성 분석을 통해 우리는 아크 발생 시 전력 계통에 미치는 영향을 파악하고 분석하고자 한다. 본 논문에서 전력 계통의 과도현상 분석 프로그램인 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 이용하여 아크현상에 대한 분석 및 765kV 계통에서의 아크 고장을 시뮬레이션 하였다.

1. 서 론

송전 계통에서의 일시적 고장은 70~80% 정도가 선로의 접촉, 지락, 수목이나 새에 의한 순간적 접촉, 아크 고장에 의한 것이 대부분이다. 이러한 고장이 발생하면 차단기가 작동하여 무정전 시간이 발생되기 때문에, 자동 재폐로를 통해 고장 원인을 빠르게 계통 복구 하는 것이 필요하다. 복구 시점의 판단은 곧 자동 재폐로가 투입되기 위한 시점과 일치하며 이를 판단하는 것이 계통 복구의 핵심인데 이를 위해서 2차 아크의 소호 여부를 확인해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 1차 아크 지락 고장이, 다양한 전압 특성 고장 발생각을 통해 발생했을 경우의 현상에 대해 살펴보고 계통에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

본 논문에서는 765kV 송전 계통에서의 아크 고장 시뮬레이션을 통해 고장 발생각 변화에 따른 아크 전압의 소호 특성을 분석할 것이다. 분석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램으로 EMTP를 사용하였다.

2. 아크 모델

2.1 아크의 발생과 소호

차단기가 작동한 이후에 완전히 전류가 차단되기 이전에는 차단기의 아크 접점 사이로 전류가 흐른다. 차단기의 접점이 결려도 그 사이의 저항이 0이 아니기 때문이다. 이때 차단기가 동작한 직후의 전류 영점(Current zero: CZ)까지 측정되는 전류 및 전압을 아크 전류 및 아크 전압이라고 한다. CZ이후, 아크 접점에서는 유한한 값의 아크 저항이 유지되며, 그에 의해서 포스트 아크 저항(Post arc current)이라고 불리는 작은 량의 전류가 흐르게 된다. 포스트 아크 전류가 0이 되면, 아크가 소호되고 이 때 재폐로를 위한 차단기를 투입하면 차단기가 올바르게 작동되었음을 알 수 있다. 여기서 아크가 만든 에너지를 얼마나 빨리 소모하는가 하는 것이 아크 소호가 얼마나 빠르게 일어날 지를 결정하는 요소이다.[1]

2.2 Johns와 Aggarwal의 아크 모델

아크 사고 시뮬레이션 기법에서 1차 아크 모델은 Johns와 Aggarwal의 아크 모델을 적용하였다. 수학적인 모델에 따라서 컨덕턴스 아크 방정식을 계산해 아크 저항을 구하고 이 값을 TACS Type-91번 시변 저항소자의 값으로 사용하여 1차 아크를 시뮬레이션 하였다. 2차 아크 모델은 선형화된 근사 아크 모델을 TACS를 이용한 S. Goldberg의 역병렬 다이오드 모델이 사용되었다[2].

2.2.1 1차 아크 모델

Johns와 Aggarwal은 아크 전류가 흐를 때의 고정 아크 컨덕턴스 G 와 시간상수 τ 를 식 (1)와 같이 정의하였다.

$$G = \frac{|i_{arc}|}{u'_0 \cdot l_{arc}}, \quad \tau = \frac{kf(I)}{l_{arc}} \quad (1)$$

여기서, u'_0 : 아크 길이당 아크 전압

l_{arc} : 순시 아크 길이

k : 비례상수

I : 피크치 아크 전류

2.2.2 2차 아크 모델

1차 아크 전류를 비하여 작은 전류를 가진 2차 아크의 실험적인 전압-전류 특성은 Strom에 의해서 제시되었다. 2차 아크 모델의 특성식은 다음 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dg_s}{dg} = \frac{1}{\tau_s} (G_s - g_s) \quad (2)$$

여기서, g_s 는 시변 2차 아크 컨덕턴스, G_s 는 고정 2차 아크 컨덕턴스, τ_s 는 2차 아크 시간상수로 실험적인 식들에 의해서 다음 식 (3)과 같이 결정되었다.

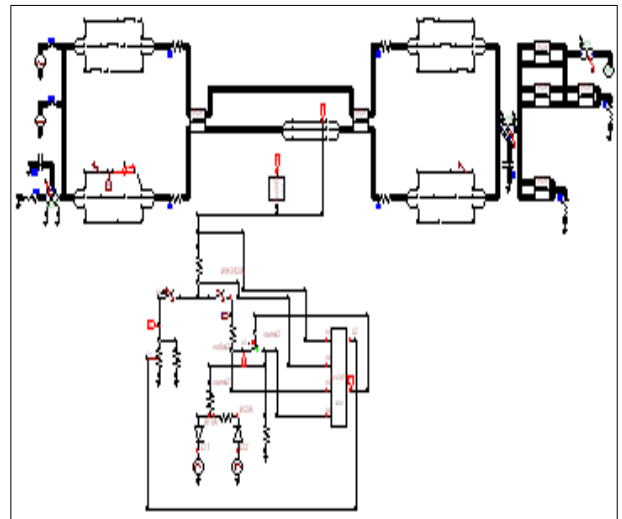
$$G_s = \frac{|i|}{V_s \cdot l_s(t_r)}, \quad \tau_s = \frac{\beta I_s^{1.4}}{l_s(t_r)} \quad (3)$$

여기서, β 는 2.5×10^{-3} , $l_s(t_r)$ 는 2차 아크 길이, t_r 는 2차 아크 발생부터 경과한 시간이다.

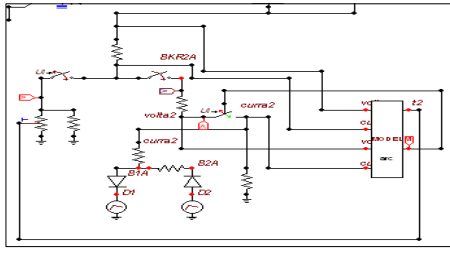
3. 모의 및 결과

3.1 모델 계통

EMTP/ATPDRW 프로그램을 이용해서 765kV 계통에서의 1선 아크 지락 고장을 모의하였다. 주파수는 한국의 상용주파수인 60Hz를 사용하였고, 아크 발생은 3상 선로 중에서 a상에서 발생하며, 전체 송전선로의 길이는 160km이지만 아크는 그 중간 지점인 80km에서 발생하도록 시뮬레이션 하였다. 1차 아크의 발생 시점은 시뮬레이션 시작 후 1cycle 이후에 발생하도록 하였고 2차 아크는 5cycle 이후에 발생하도록 하였다. 아래 <그림 1>은 전체 모델 계통이고, <그림 2>는 그 중 아크 모델링한 부분을 나타낸 그림이다.



<그림 1> ATPDRAW로 모의한 전체 모델 계통도



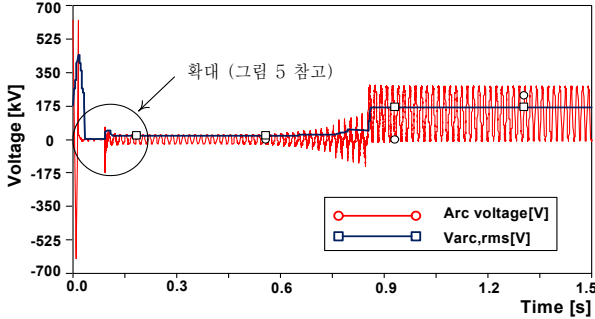
<그림 2> 아크 모델링 부분

3.2 모의 조건

모델의 아크 발생을 확인한 후에 고장각 발생 시점에 따른 아크 모델의 변화를 관찰하였다. 입력된 전원은 AC이고, 프로그램 셋팅 상 Cosine 파형으로 전원이 입력된다. 파형이 입력 될 것이다. 따라서 한 주기를 기준으로 고장각 발생 시점에 따른 변화를 관찰하기 위해서는 아크 발생을 모델링 한 부분과 본래의 계통을 연결시켜 주는 스위치가 닫히는 시간을 조절해 주어야 한다. 상용 주파수인 60Hz를 사용하였으므로 한 주기는 그 역수인 1/60[s]이 되며 그 값은 0.016666[s]이다. 0°와 90°를 고장각으로 정하고 한 주기(2π)를 기준으로 그 시점을 나누어서 계산하여 0.000237[s]의 지연시간을 더해준다. 그 결과 0° 고장은 0.016904[s]일 때 1차 아크가 발생하고, 90° 고장은 0.021071[s]일 때 1차 아크가 발생한다.

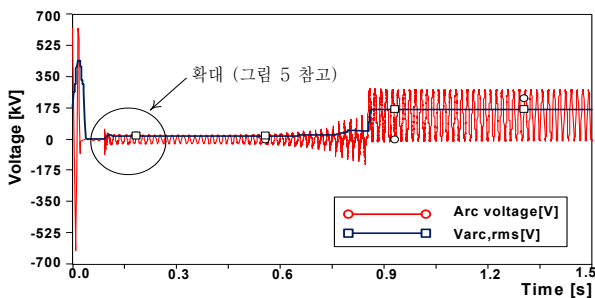
3.3 모의 결과

고장각 발생 변화에 따른 고장 발생 시간을 조절하여 계통에 연결시킨 후 PlotXY 프로그램을 사용하여 아크 부분이 연결된 송전 선로의 a상의 전압 변화를 관찰하였다. 3.2절에서 계산된 고장 발생 시간을 이용하여 1차 아크의 투입을 결정해주는 스위치가 닫히는 시간을 조절하여 모의하고 고장점에서의 아크 전압 파형과 V_{rms} 의 파형을 분석하였다. <그림 3>은 0도 고장일 때의 아크 전압의 파형과 rms 전압의 파형이고, <그림 4>는 90도 고장일 때의 아크 전압 파형과 rms 전압의 파형이다. <그림 5>는 두 각도에 대한 고장을 좀 더 손쉽게 비교하기 위해 확대하여 나타낸 그래프이다.

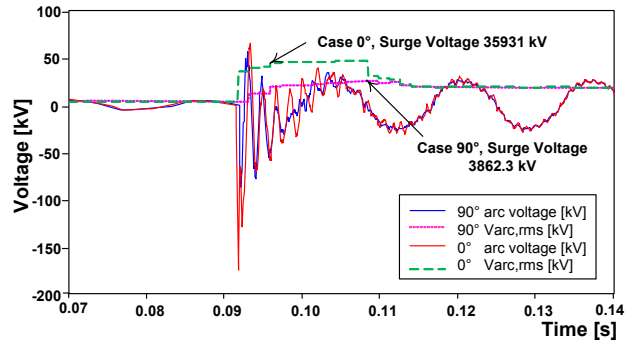


<그림 3> 0도 고장일 때의 아크 전압과 V_{arc} , V_{rms}

<그림 3>을 보면 1차 아크의 투입 이후에 아크 전압값이 크게 상승했다가 다시 급격히 하락하고, 4cycle이후에 차단기가 투입되면 다시 조금 증가했다가 다시 감소하여 제페로가 되기 전 까지 비슷한 값을 유지하다가 제페로 이후에 다시 정상적인 계통의 전압이 걸리고 있음을 확인할 수 있다.



<그림 4> 90도 고장일 때의 아크 전압과 V_{arc} , V_{rms}



<그림 5> 0도, 90도 고장일 때의 비교

<그림 4>도 이와 비슷한 양상을 보이고 0도, 90도 고장각에 대한 차이점을 분석하기 위해서 차단기가 투입되는 시점에서의 아크 전압을 <그림 5>를 통해 자세히 살펴보았다.

위의 <그림 5>는 90도 고장일 때와 0도 고장일 때의 전압 파형을 확대하여 나타내었다. 1차 아크 발생 이후에 4cycle이후에 차단기가 동작하는데 그 시점에서의 차단기의 서지 전압을 비교하기 위함이다. 전체 전원에 입력되는 파형이 cos함수이기 때문에 파형의 amplitude는 0도일 때가 90도일 때보다 클 것이고, <그림 5>에서도 이와 같은 사실을 확인할 수 있다. 0도 고장일 때 차단기 작동 시점이 0.091716[s]이고, 서지 전압의 크기는 35931[kV]이다. 90도 고장일 때는 차단기의 작동 시점이 0.093049[s]이고, 서지 전압의 크기는 3862.3[kV]이다. 0도 고장일 때가 90도 고장일 때보다 서지 전압의 크기가 약 9배 정도 크다는 것을 확인할 수 있다. 다음 <표 1>은 시뮬레이션 결과를 정리한 표이다.

<표 1> 고장 발생각 변화에 따른 서지 전압의 크기

고장 발생각(°)	서지 전압 [kV]
0	35931
90	3862.3

4. 결 론

본 논문에서는 고장 발생각 변화에 따른 아크전압의 특성을 분석하고, 개폐 서지를 분석하고자 EMT/ATP/ATP/ATP를 이용하여 765kV 계통에서 아크 모델을 시뮬레이션을 하였다. 상용주파수인 60Hz를 사용하였으며, 160km 길이의 3상 송전선로에서 a상에 아크 지락 고장을 발생시켰으며, 고장 발생 위치는 총 160km 선로에서 중간지점인 80km이다. 그리고 0도, 90도의 고장 발생각 변화에 따른 시점을 계산하여 그 결과를 살펴보았다. 그 결과 차단기 투입시의 서지 전압을 측정하여 그 값을 비교함으로써, 90도 고장보다 0도 고장일 때가 계통에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었으며, 이는 차단기를 설계할 때 고장 발생각 변화에 따른 아크 전압의 크기를 예측하여 차단기용량을 정하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원 인력양성사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 서인호, "EMTP를 통한 Arc 모델링", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1715-1716, 2006
- [2] 안상필, "An Alternative Approach to Adaptive Single Pole Auto-Reclosing in High Voltage Transmission Systems Based on Variable Deal Time Control", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 16, 676-686, 2001