

ZnO 아크 모델 적용 계통에서의 고장 지점에 따른 아크 특성 분석

김민주*, 이유진*, 김철환*
성균관대학교*

The Analysis of Arc Characteristics according to the Change of Fault Location using ZnO Arc Model

Min-Joo Kim*, You-Jin Lee*, Chul-Hwan Kim*
SungKyunKwan University*

Abstract - 아크는 전원의 양단에 큰 전류가 흐를 때 공기의 이온화와 발열로 인하여 생성된 플라스마로 정의될 수 있다. 최근 경제발전과 IT 산업 발달로 큰 전력계통에서 안정적인 전력 공급이 중요하므로 이러한 아크가 발생하면 부하의 정전상태를 방지하기 위해 일시고장인지 영구고장인지 빠르게 판단하여 재폐로를 수행하여야 한다. 이를 위해 아크에 대한 특성을 살펴보는 것은 반드시 필요한 사항이므로 본 논문에서는 아크가 발생하는 고장지점에 따른 아크의 특성 변화를 EMTP로 모델링하여 살펴보고자 하였다. 일반적으로 아크는 특성상 매우 복잡한 구조를 가지며 여러 주위 조건들에 따라 그 특성이 변화한다. 아크의 발생 원인이 되는 사고는 크게 일시고장과 영구고장으로 나눌 수 있는데 여기서 모델링한 것은 스위칭 작용에 의한 2차아크가 발생하는 일시고장의 경우라고 가정하였다. 그리고 아크를 모델링함에 있어서 아크의 특성과 유사한 ZnO 아크 모델을 이용하여 송전선로의 한 상에 연결시켜 연구를 수행하였다.

1. 서 론

송전선로의 사고시에 사고를 제거하면 계통에서는 일정기간의 무전압(Dead Time)을 가지게 되는데 이후에 차단기를 재투입하여 송전선을 자동으로 재폐로 한다[1]. 특히, 사고의 대부분을 차지하는 1선 지락사고의 경우에는 일시고장 형태의 아크가 발생하므로 자동재폐로는 더욱 효과적인 방법이다. 산업화 이후 지속적인 경제 발전으로 전력에 대한 수요는 점차 커지고 있고 최근에는 정밀도가 요구되는 IT산업의 발달로 안정적인 전력공급이 중요시 되고 있다. 이러한 때에 고장지점에 따른 아크 변화를 관찰함으로써 소호 판단을 위한 적절한 순간을 알아내고 아크로 인한 무정전 시간의 최소화를 꾀하는 기법들이 필요하다. 또한 이를 통해 송전선로의 성공적인 재폐로를 이루어 빠른 계통 회복으로 전력계통 안정도와 전력공급 신뢰도 측면에서 향상 될 수 있는 방안을 찾는 좋은 계기가 될 것이다. 본 논문에서는 전력계통의 과도현상 시뮬레이션에 적합한 툴인 EMTP를 이용하여 ZnO 아크를 모델링하고 송전선로에서 발생하는 고장지점을 다양하게 변화시켜서 고장지점에 따른 아크의 특성을 살펴보았다.

2. 아크 모델

2.1 일시고장과 영구고장

송전선로의 대부분의 사고는 일시고장이고, 이 중 대부분이 아크고장의 형태를 가지게 된다. 사고가 발생한 순간 차단기는 사고를 감지하고 동작하게 되는데 그 후 아크가 발생하여 아크의 높은 주파수 성분에 의해 소호와 재접촉을 반복하며 스위칭 작용에 의한 2차아크가 발생한다[2]. 영구고장의 경우는 아크가 발생한 후 일반적인 경우인 소호와 재접촉의 반복이 아닌 일정한 전압이 유지된다. 따라서, 이러한 경우 송전선과 기기의 보호를 위하여 재폐로가 수행되어서는 안되기 때문에 자동재폐로에서 영구고장과 일시고장의 구분은 매우 중요하다.

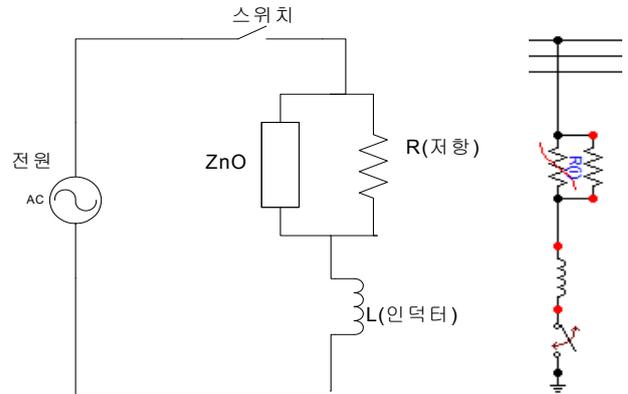
2.2 아크 특성[3]

아크는 전기회로에서 전원의 양단간에 전류가 흐를 때 주변의 공기 이온화와 발열로 인하여 생성된 플라스마로 급격한 고열이 발생되어 전류 폭주가 일어나는 현상이다. 일반적으로 아크는 특성상 매우 복잡한 구조를 가지며 다른 형태의 방전현상보다 더 큰 전류값과 더 작은 전압값을 갖는다. 지락사고 시 발생하는 아크는 주로 저항성 회로에서 발생되며, 아크의 길이가 짧고, 전류의 크기가 작은 특성이 있다. 전력선이 땅에 떨어져 지표면에서 아크가 발생하면, 아크의 전압-전류 특성은 기하학적인 아크와 열 전달 조건에 따라 변화되며, 두 요소들은 대지의 습기 함유량에 의해 영향을 받는다. 이렇게 발생한 아크는 높은 온도의 발열과 고온의 복사에너지를 폭발 현상과 함께 발생한다. 아크전압이 높아

질수록 아크전류는 더욱 왜곡되며 전류가 0에 머무르는 간격이 길어지게 된다. 또한, 전압은 구형파에 가까운 특성을 보이게 된다.

2.3 산화아연 아크 모델

송전선로의 고장 시 영구고장일 때의 재폐로는 계통의 안정도와 장비에 심각한 손상을 야기할 수 있지만, 일시고장일 때의 재폐로는 계통 안정도와 전력공급 신뢰성을 향상시킬 수 있으므로 일시고장과 영구고장을 판별해야 성공적인 재폐로를 위한 효율적인 대책이 가능할 것이다. 이렇게 일시고장과 영구고장을 판별하기 위한 알고리즘을 수행하기 위해서 아크를 모델링 하였다. 본 논문에서는 송전선로의 아크를 모델링하기 위해 EMTP로 ZnO 피뢰기 모델을 선정하였다. 피뢰기는 사고 시 발생하는 과전압 전류를 대지에 흘려보내서 과전압을 억제하여 기기를 보호하고, 과전압이 제거된 이후에는 운전 전압에 대하여 전류를 억제함으로써 계통을 원래의 상태로 복귀시키는 기능을 수행한다[1]. 이러한 피뢰기의 특성은 선로에서 아크 발생시 나타나는 특성과 거의 유사하다. ZnO 아크 모델은 다음 그림과 같이 ZnO, R의 병렬회로와 L로 구성된다.



<그림 1> 산화아연 아크모델

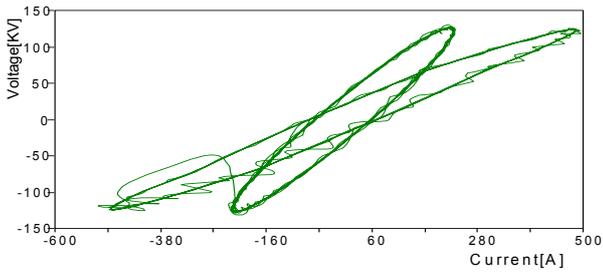
산화아연 피뢰기 모델에 흐르는 전류 i 는 다음 식(1)과 같다.

$$i = p \left(\frac{v}{K} \right)^a \quad (1)$$

위의 식(1)에서 산화아연 아크모델 특성을 결정하는 변수는 다음 5가지이다[3].

- ① 산화아연 피뢰기의 기준전압 K
- ② 산화아연 피뢰기의 지수 a
- ③ 산화아연 피뢰기의 계수 p
- ④ 산화아연 피뢰기에 흐르는 전류 i
- ⑤ 산화아연 피뢰기에 걸리는 전압 v

다음 그림 2는 EMTP로 구현한 ZnO 아크 모델의 전압-전류 특성을 나타낸 그래프로 가로축이 전류, 세로축이 전압을 나타낸다. 참고문헌[3]에 나타나 있는 일반적인 아크 전압-전류 특성 그래프와 비교하면 유사한 형태로 본 논문에서 제안된 아크사고 시뮬레이션 기법이 타당하게 구현되었음을 알 수 있다.

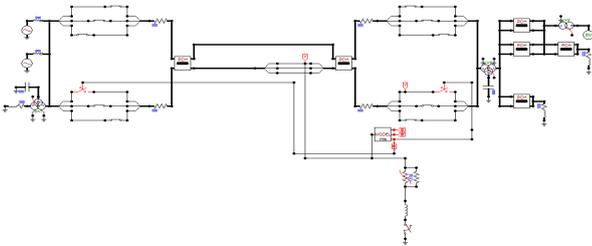


〈그림 2〉 아크 발생 시 전압-전류 특성

3. 모의 및 결과

3.1 모델 계통

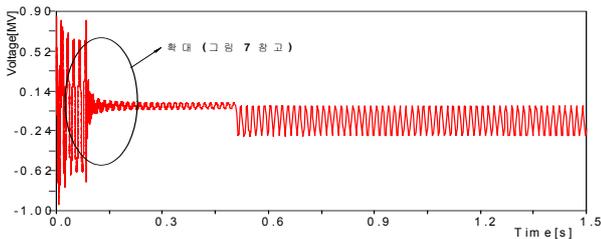
ATPDraw를 이용하여 모델링한 모델 계통은 그림 3과 같다. 계통은 765kV 송전선로로 선정하였으며 송전선로에서의 고장은 A상에 ZnO 피뢰기 모델을 연결하고 스위치가 0.0245초에 폐로 되어 아크가 발생하도록 모델링 하였다. 송전선로 총 길이는 160km이고 아크가 발생하는 고장지점을 변화시켜 고장점의 전압을 살펴보았다. 총 160km의 거리를 10%씩 변화시켜 각 지점에서 고장을 발생시킨 후 각각의 아크 특성을 비교하였다. 0.0245초에 아크가 발생한 후, 아크 고장은 차단기에 의해 고장 발생 후 4주기 후에 제거되도록 시뮬레이션 하였다.



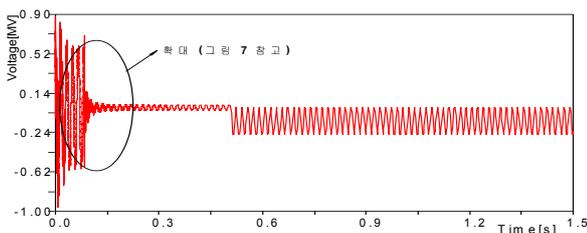
〈그림 3〉 ATPDraw로 구현한 송전선로 아크모델

3.2 시뮬레이션 결과

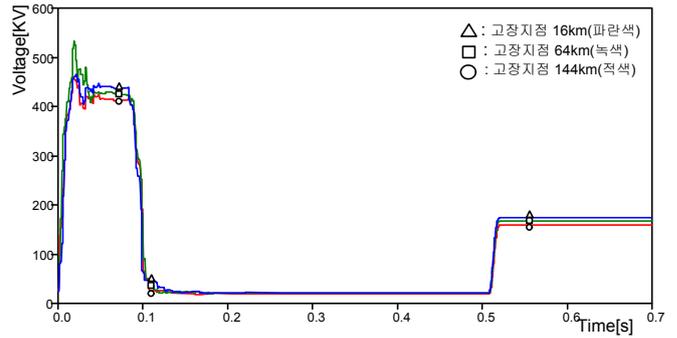
그림 4, 그림 5는 선로의 16km, 144km 각 고장지점에서 사고발생시간(0.0245초)후에 아크가 발생하고 4주기 후에 차단기 트립으로 아크가 소호되는 과정을 나타낸 그래프이다. 차단기의 동작으로 아크가 소호되면 계통은 무전압시간(Dead Time)을 가지게 된다. 시뮬레이션 결과, 그림 6을 보면 고장지점에서 멀어질수록 서지 전압 RMS값이 작아짐을 확인할 수 있다. 또한 그림 7의 비교를 관찰하면 송전단에 더 가까운 고장점 서지 전압의 값이 전 구간에 걸쳐 더 크다는 것을 볼 수 있다.



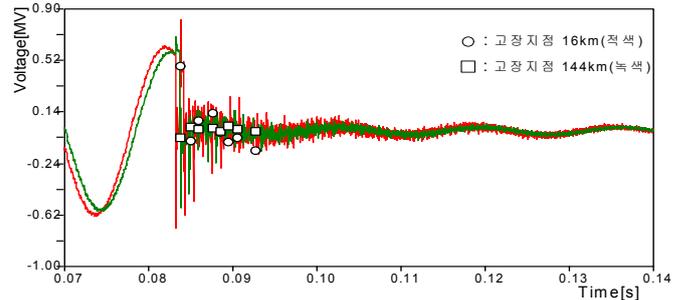
〈그림 4〉 고장지점이 16km인 경우 고장점 전압 특성



〈그림 5〉 고장지점이 144km인 경우 고장점 전압 특성



〈그림 6〉 고장지점에 따른 고장점 전압 RMS값 비교



〈그림 7〉 고장지점 16km, 144km에서의 고장점 전압 비교

〈표 1〉 고장지점에 따른 최대 서지 값과 RMS 값

고장지점	최대 서지 값[MV]	RMS 값(차단기 동작 전)[MV]
16km	0.9	0.437
64km	1.0	0.423
144km	1.0	0.413

4. 결 론

송전선로를 ATPDraw로 모델링하여 160km의 송전선로에서 발전소로부터 10%씩 고장지점을 늘려가면서 아크 특성을 관찰하였다. 고장지점을 상대적으로 조금씩 변화시켜서 아크 특성이 뚜렷하게 차이는 나지 않지만 서지 전압 RMS값을 확인하였을 때 고장지점에서 멀어질수록 아크전압의 고장점 전압 RMS값이 작아짐을 확인할 수 있었다. 아크 발생 시 최대 서지 값 또한 고장지점이 발전소로부터 멀어질수록 줄어들 것으로 예상하였으나 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. 하지만 고장지점 16km와 144km의 아크 전압 파형을 비교하였을 때, 고장지점이 송전단에 가까우면 서지 전압의 값이 평균적으로 더 크다는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 본 논문의 결과를 통해 전력시스템의 송전선로에서 1선 아크 지락고장이 발생했을 때 발생 지점이 발전소에서 가까울수록 아크가 더 크고 더 오래 지속되므로 이를 고려하여 재폐로를 하는 것이 필요할 것이다.

감사의 글

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

[참고 문헌]

- [1] Saul Goldberg, et al. "A COMPUTER MODEL OF THE SECONDARY ARC IN SINGLE PHASE OPERATION OF TRANSMISSION LINES." IEEE California Polytechnic State University San Luis Obispo, California, 1989.
- [2] HE Baina, et al. "The Analysis of Secondary Arc Extinction Characteristics on UHV Transmission Lines", 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application, 9-220413, 2008.
- [3] 김병천, "Matlab을 이용한 송전선로의 아크사고 검출 및 고장거리 추정 소프트웨어 개발에 관한 연구", 성균관대 석사학위논문, 2000.