

ZnO 아크 모델 적용 계통에서의 고장 발생각 변화에 따른 특성 분석

윤지선*, 이유진*, 김철환*
성균관대학교*

Analysis of Arc Voltage according to Fault Inception Angle using ZnO ARC Model

Ji-Sun Yoon*, You-Jin Lee*, Chul-Hwan Kim*
SungKyunKwan University*

Abstract - 전력 계통에서 고장이 발생하게 되면 이를 제거하기 위해 차단기가 동작하게 된다. 차단기가 동작하게 되면 선로가 차단되고 건전상과 고장상 사이의 정전 현상에 의해 아크현상이 발생하며, 이러한 현상은 송전 선로에서 일시 사고의 형태로 가장 빈번하게 발생하는 현상이다. 따라서 일시고장의 주요 현상이 되는 아크를 정확하게 파악하고 이해하는 것은 송전 계통에서 가장 중요한 과제 중 하나라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 아크모델 중 ZnO 아크 모델을 ATPDraw를 통해 구현하였으며 이를 765kV 송전선로에 연결하여 고장 발생각 변화에 따른 전압 특성을 분석하였다.

1. 서 론

최근 전력 품질에 대한 급격한 관심과 더불어 전력 계통 신뢰도 고려 시 필수적인 송전선의 일시고장을 고려할 때 송전선로에 발생하는 아크 현상에 관한 연구가 꾸준히 이루어졌다.

송전선 일시고장시 나타나는 아크현상과 관련된 문제는 일시고장 제거를 위해 시도하는 제페로 과정 시 고려해야 하는 요소이며, 효율적인 전력공급 및 송전선의 이용에 있어서 매우 중요한 문제이다. 따라서 본 논문에서는 EMTP를 이용하여 아크를 ZnO 아크모델을 사용하여 모델링하였고 765kV 계통에 연결한 후 고장발생시 고장점 전압의 변화를 분석하였다. 다양한 분석을 위하여 0°, 30°, 45°, 90°의 고장 발생각 변화를 통한 고장시점 변화를 모의하였다.

2. 아크 모델

2.1 일시고장과 영구고장

송전선로에서 일어나는 사고의 종류를 일시고장과 영구고장으로 구별할 수 있으며 M.B Djuric과 V.V Terzija는 위 두 고장을 아크의 포함여부를 통하여 구분하였다[1]. 이 경우에 아크의 포함여부는 일정한 레벨의 아크전압 크기를 기준으로 구분한다. 아크가 발생한 일시고장의 경우 아크의 길이가 절연체의 길이로 결정된 최소의 길이보다 큰 경우이며, 아크를 포함하지 않는 영구고장의 경우에는 그와 반대로 아크의 길이가 절연체의 길이로 결정되는 최소의 길이보다 작은 아크의 길이를 가지는 경우를 말한다. 영구고장의 경우에는 일시고장과는 달리 차단기 동작 후에도 소호와 재점호의 반복이 아닌 일정한 전압과형이 유지되기 때문에 송전선 및 기기의 보호를 위해 제페로가 수행되어서는 안된다.

2.2 아크 및 아크 특성

아크는 전하의 이동이 비도전성 매체를 통해 일어나는 현상을 말한다. 아크는 두 가지 방식으로 구분할 수 있는데, 동적아크와 정적아크로 구분이 가능하고 1차 아크 및 2차 아크로 구분할 수 있다. 주로 1차 아크와 2차 아크를 중심으로 구분한다.

아크의 발생과정을 순차적으로 나열하면 뇌격 또는 가공선로 지락고장 등에 의해 지락 아크고장이 발생하고 Hysteresis 루프 특성을 가진 큰 전류가 발생하게 된다. 이것이 1차 아크이다. 고장발생후 보호계전기에 의한 고장이 검출되며, 고장선로가 차단된다. 그 후 건전상, 고장상과의 유도성, 용량성 결합에 의해 고장선로에 전압을 인가하게 되고 이로 인해 발생한 전압에 의해 작은 전류가 흐르게 된다. 이것이 2차 아크이다. 이때의 2차 아크는 재점호 전압의 특성을 가진다.

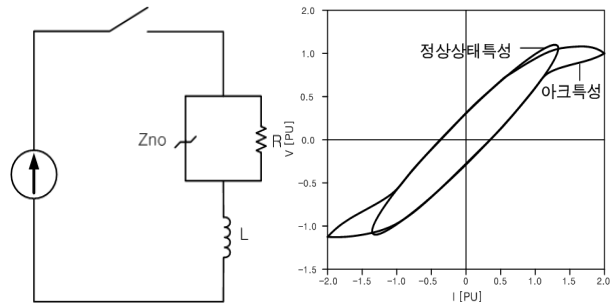
일반적인 아크는 매우 복잡한 구조를 지닌다. 또 다른 형태의 방전현상보다 더 큰 전류값과 더 작은 전압값을 가진다. 말하자면, 아크의 전압-전류 특성은 전류가 증가함에 따라 아크 양단의 전압은 감소하는 특성을 가진다. 지락사고시에 발생하는 아크는 저항성 회로에서 주로 발생되며, 전류의 크기가 작으며 아크의 길이가 짧다는 특징을 지닌다.

아크 전압은 전류와 동위상을 가지는 특징이 있으며 아크 전압이 점점 높아질수록 아크전류는 더욱 왜곡되면서 전류가 0에 머무는 간격이 길어지며, 전압은 구형파에 가까운 특성을 보이게 된다.

2.3 ZnO 아크 모델 [1]

본 논문에서는 아크 지락현상을 모의하기 위해 비선형적인 특성을 지닌 ZnO 피뢰기를 사용하였다. 위 모델은 W.Rogers에 의해서 제시된 free-air 아크 모델에 기인하여 EMTP 내에서 모의되었다. 아크를 모의하기 위한 회로는 다음의 그림 1과 같이 ZnO 모델과 R 및 L로 구성되어 있다.

그림 2(a)는 ZnO 아크모델을 나타내며 그림 2(b)는 ZnO 아크모델을 이용하여 계통에 연결하였을 때 얻어지는 전압-전류의 특성 및 파형을 나타낸다.



<그림 1> ZnO 아크모델 <그림 2> 아크모델의 V-I 특성

ZnO 피뢰기 모델에 흐르는 전류 i 는 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

위 식에서 아크의 비선형적인 특성을 모델링하기 위하여 사용되는 변수들은 총 5가지이며 아래와 같다.

- K : ZnO 피뢰기 기준전압
- a : ZnO 피뢰기 지수
- R : 저항
- L : 인덕턴스
- i : 전류원의 크기

위의 5가지 변수 들은 실제 계통에서의 고장데이터의 전압-전류 특성과 일치시키기 위하여 사용하는 변수이다. 각각의 변수들은 독립적으로 사용된다. 하지만 아크모델의 최적화를 위해 반복과정이 필요한 a와 K는 상호의존적이라고 말할 수 있다[1].

3. 모의 및 결과

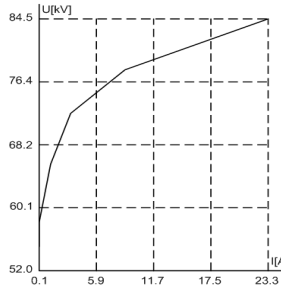
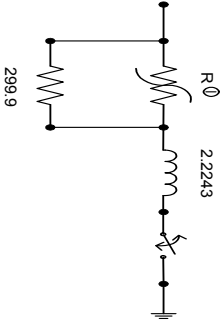
3.1 ZnO 아크 모델링

다음 그림 3(a)는 그림 1의 모델을 ATPDraw를 이용하여 모델링 한 ZnO 아크 모델 회로도이다. 아크 모델은 비선형 저항과 병렬로 연결된 저항과 그에 직렬 연결된 인덕터와 스위치를 이용하여 구현하였다.

위의 식 (1)를 이용하여 비선형 저항의 특성을 표현하는 적절한 값을 계산한 다음 표의 값을 이용하여 ZnO 아크 모델의 비선형 저항을 모델링하였다.

<표 1> 아크 모델링시 사용된 비선형 저항의 특성값

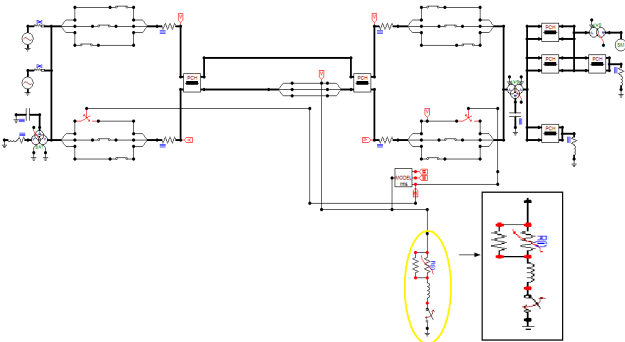
I[A]	U[V]
0.068719476736	52,000
0.28242953648	58,500
1	65,000
3.1384283767	71,500
8.9161004483	78,000
23.298085122	84,500



(a) ZnO 아크모델 (b) 전압-전류 특성
 <그림 3> 구현한 ZnO(산화아연) 아크모델 및 V-I특성

3.2 모델 계통

다음 그림 4는 ATPDraw를 이용하여 모델링한 765kV 계통 모델로서 현재 우리나라의 송전선에서 사용하고 있는 계통이다. 765kV 계통에서 아크 고장은 0.01667초에 발생해서 0.83226초에 제거된다. 아래 그림에 표시된 부분이 ZnO 아크 모델링 부분이다.



<그림 4> ZnO 아크 모델을 이용한 765kV 계통 모델링

3.3 고장발생각 변화에 따른 전압특성

다음 표 2는 모델 계통에서 고장 발생각을 시뮬레이션 하기 위해 계산한 각각의 0°, 30°, 45°, 90°의 고장 발생시점이다. 이 값을 이용하여 그림 3(a)의 스위치가 닫히는 시점을 조절하였다. 같은 주기 내에서 구한 고장발생시점은 너무 가까운 시간 내에 존재하여 관찰하기 어려우므로, 각 시뮬레이션 당 한 주기의 시간지연을 두고 모의하였다.

<표 2> 고장발생각에 따른 스위칭 시점

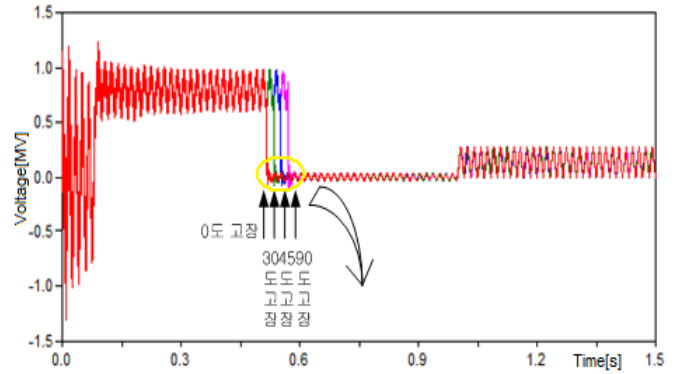
No.	고장발생각	고장 발생시점
1	0°	0.51667
2	30°	0.53473
3	45°	0.55209
4	90°	0.57085

다음 그림 5는 각각 0°, 30°, 45°, 90°의 고장 발생각에 따른 전압 파형을 보여준다.

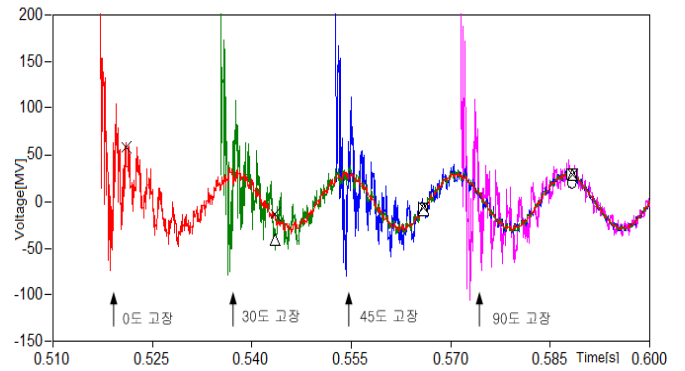
그림 5의 파형을 살펴보면 고장 발생각에 따라 전압파형에 미치는 영향이 각각 다르다는 것을 확인할 수 있다. 파형을 통해 앞서 표 2에 계산한 시점에 고장이 발생하며 1[s]에 고장이 제거되는 것을 확인할 수 있다.

그림 5(a)의 파형만으로는 전압 파형의 차이점을 발견할 수 없었다.

따라서 확대한 파형인 그림 5(b)를 통해 각각의 고장 발생각에 따른 영향을 자세히 살펴보면 90°의 고장 발생각을 가질 때가 고조파 성분도 가장 많이 가지고 있고 전압 동요가 많이 발생하며 전로 전압에 가장 영향을 많이 미치는 것을 확인할 수 있다. 그 뒤로는 전압크기에 큰 차이를 육안으로 구분하기는 힘들었다. 하지만 그래프를 자세히 살펴보면 그 중에서도 고장 발생각이 45°일 때 다음으로 전압 파형에 영향을 많이 미쳤다. 30°의 고장 발생각을 가질 때가 그 다음으로 영향을 많이 미쳤으며 0°의 고장 발생각을 가질 때가 전압 파형에 가장 적은 영향을 미치는 것을 파형을 통해 확인할 수 있다. 즉 고장 발생각이 커질수록 전압 파형에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.



(a) 고장발생각에 따른 전압 파형



(b) 고장발생각에 따른 전압 파형(확대)

<그림 5 (a),(b)> 고장발생각에 따른 전압파형

3. 결론

본 논문에서는 EMTP(ElectroMagnetic Transient Program)를 이용하여 765kV 계통에 ZnO 아크모델을 연결한 계통의 고장 발생각에 따른 영향을 비교 및 분석하였다. 0°, 30°, 45°, 90°에 이르는 고장 발생각에 대한 각각의 시뮬레이션을 통해 고장발생각의 크기에 따라 계통에 미치는 영향이 서로 다르다는 것을 확인할 수 있었다. 고장 발생각이 90°일 때 계통 내 전압 파형에 가장 큰 영향을 미치며 고장 발생각이 클수록 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 모델링 및 시뮬레이션 한 ZnO 아크모델을 이용한 계통의 고장 발생각에 따른 특성을 통해 향후 송전시스템을 위한 아크 모델링 및 아크 지락 고장이 발생하여 나타나는 계통 영향을 보다 정확히 이해하는 데에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

[참고 문헌]

[1] 김병천, "Matlab을 이용한 송전선로의 아크사고 검출 및 고장거리 측정 소프트웨어 개발에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 2000