

섬락 단선 방지 장치에 의한 피복 절연 가공배전 선로의 유도뢰에 의한 단선 방지

o이 용 한* 정 동 학* 하 복 남** 남 궁 도** 김 명 수**

*한국전기연구소 **한국전력 전력연구원

Arc Fusion Protection of Covered Conductors Using AFPD

oLEE, YONGHAN* JUNG, DONGHAK* HA, BOKNAM** NAMKUNG, DO** KIM, MYONGSOO**

*KERI **KEPRI

(Abstract)

After flashover occurs on the overhead distribution line by lightning strokes(direct or induced), the power frequency arc current continues. If lightning flashover occurs on the overhead lines using covered conductors, the power frequency arc current with fixed path overheats the conductor, and arc fusion fault can be occurred. There are two categories protecting or reducing methods of arc fusion faults caused by lightning stokes.

- Reducing lightning flashover rate : G/W, LA, etc.
- Protection by AFPD(Arc Fusion Protection Device) : power follow current interruption

This paper presents lightning surge phenomena on overhead distribution lines and protecting performance of arc fusion protection devices to the lightning strokes nearby overhead line.

1. 서 론

배전 선로는 송전 선로와는 달리 전력 수용가와 매우 근접하여 설치되므로, 인축의 직접적인 접촉에 의한 사고를 줄이기 위해 피복 절연 전선이 사용되고 있다. 그런데, 이러한 피복 절연 전선은 나전선과는 달리, 섬락 후의 속류가 고정된 아크점을 통하게 되므로 아크열에 의한 전선 단선 현상이 발생할 수 있다.

그림 1에 피복 절연 전선의 섬락에 의한 용단 메카니즘을 도시하였으며, 가공 배전 선로용 피복 절연 전선을 이러한 섬락에 의한 아크용단을 방지하는 방법으로는,

- 가공지선 및 피뢰기 등의 뇌과전압 억제 설비를 이용하여 피복 절연 전선의 뇌썩어지에 의한 섬락률을 줄이는 방법

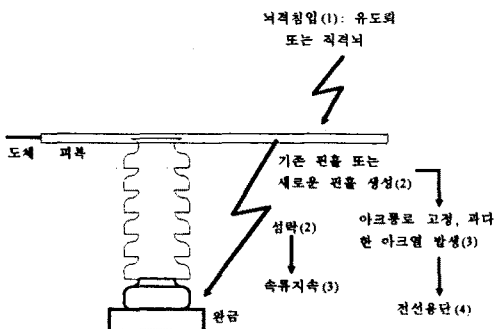


그림 1. 피복절연전선의 아크 용단 메카니즘

- 뇌썩어지에 의한 섬락을 적극 유도하고, 적절한 방법에 의해 속류를 억제함으로써, 피복 절연 전선의 섬락에 의한 용단을 직접적으로 방지하는 방법의 2가지로 크게 나눌 수 있다.

본 논문에서는 가공 배전 선로에 발생하는 유도뢰 현상과 피복 절연 전선을 뇌섬락에 의한 아크 용단을 직접적으로 방지하기 위한 섬락 단선 방지 장치의 유도뢰에 대한 용동 특성을 검토하였다.

2. 가공배전선로에서의 유도뢰 현상

가공선로의 유도뢰 썩어지 발생원은 인근 뇌격에 의한 전자기의 공간 전파 성분이므로, 통상 전력계통의 과전압 해석에 사용되는 EMTP(ElectroMagnetic Transients Program)에 대해서는 썩어지 발생원을 표현할 수 없으므로, 여기에서는 자체 개발한 해석 프로그램(참고문헌 [1])을 이용하여 가공 배전선로에서의 유도뢰 전압을 해석하였다.

2.1. 해석 대상 선로

그림 2에 해석 대상 선로 및 뇌격을 도시하였는데, 2 km 선로를 양단 정합하여 모의하였으며, 뇌격전류는 단순한 펄스파형으로 표현하였다.

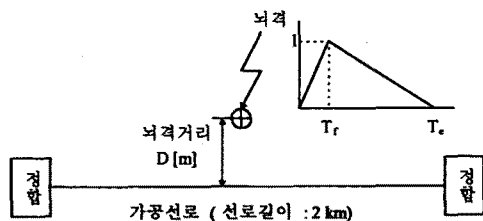


그림 2. 유도뢰전압 해석 대상도

2.2. 뇌격 파라메타의 영향

그림 3에 뇌격 위치에 따른 유도뢰 전압 발생 양상을 도시하였다. 뇌격지점이 가공선로에 근접하면 발생하는 유도뢰 전압은 급격히 증가하게 되는데, 가공 선로의 뇌격 흡인 반경을 고려하더라도, 배전 기기의 절연을 위협할 정도의 유도뢰 전압이 발생 가능함을 알 수 있다. 그림 4에는 뇌격 전류 파두장의 변화에 따른 유도뢰전압 변화를 나타내었다.

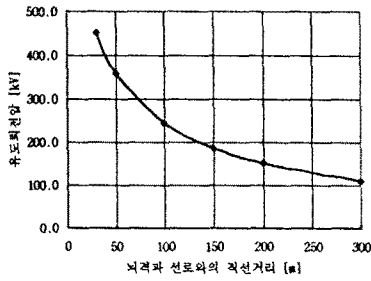


그림 3. 뇌격 거리에 따른 유도뢰 전압

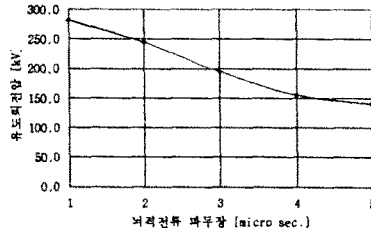


그림 4. 뇌격전류 파두장에 따른 유도뢰 전압

2.3. 가공지선의 유도뢰 억제 효과

가공지선은 상도체에 뇌격이 직접 가해지는 것을 방지하기 위해 설치되나, 유도뢰에 대한 차폐 효과를 가지게 되어 실질적으로 유도뢰 전압을 억제하게 된다. 그림 5에 가공지선 설치에 의한 유도뢰 전압 억제 효과를 나타내었으며, 대략 30% 정도의 억제율을 나타내고 있다.

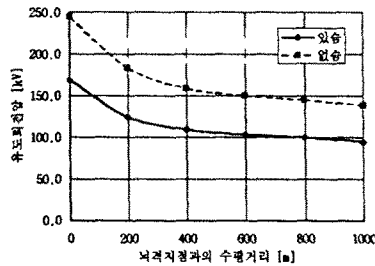


그림 5. 가공지선의 유도뢰 억제 효과

3. 단선방지장치의 유도뢰에 대한 운동 특성

3.1. 단선방지장치의 구조 및 동작 특성

단선 방지 장치는 가공선로에 발생되는 썬어지를 적극적으로 방류하고, 계속되는 속류를 한류소자에 의해 억제함으로써, 아크를 소호시켜 피복절연전선의 아크에 의한 용단 사고를 방지하기 위한 장치이다.

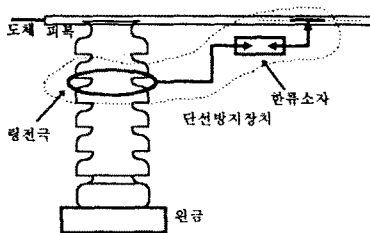


그림 6. 단선 방지 장치 설치 형태 예

그림 6.에 단선방지장치를 선로에 취부하는 대표적인 방법을 나타내었으며, 전기적인 등가 모델은 한류소자(비선형 저항소자)와 겹의 직렬 접속에 의해 표현할 수 있다.

한편 단선 방지 장치가 가져야 할 기본적인 특성은 다음과 같다.

- 1) 썬어지에 의한 섬락은 반드시 단선방지장치를 통하여 한다.
- 2) 썬어지 방전후, 지속되는 속류를 억제하여 단시간 내에 차단하여야 한다.
- 3) 한류소자는 배전선로에 발생되는 유도뢰 썬어지를 열적 손상이 없이 충분히 방전할 수 있어야 한다.
- 4) 저렴한 비용 및 고신뢰성이 확보되어야 한다.

3.2. 단선 방지 장치의 유도뢰에 대한 운동 특성

단선방지장치는 동작특성상, 가공배전선로에의 취부 형태에 제한이 있으며, 현재 가공배전선로의 절연 특성을 충분히 고려하여 설치되어야 한다.

현재 국내 22.9 kV 다중중지 배전선로의 기준절연강도는 150 kV를 적용(케이ابل, 개폐기류 등)하고 있으므로, 여기에서는 단선방지장치 방전점의 임계섬락전압을 100~140 kV까지 변화시키면서, 설치 간격에 따른 유도뢰전압 발생 양상을 해석하였다.

3.2.1. 유도뢰 전압 발생 양상 해석 예

그림 7.과 8.에 단선 방지 장치 방전점의 임계섬락전압이 각각 110 kV 및 130 kV 일 때의 유도뢰 전압 발생 양상을 단선 방지 장치 설치 간격을 변화하면서 해석한 결과를 도시하였다.

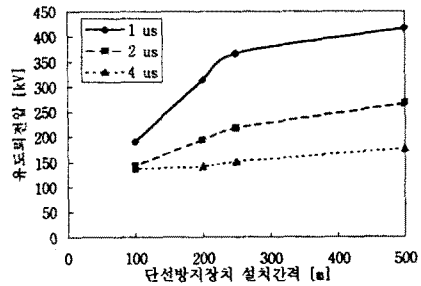


그림 7. 유도뢰 전압 발생 양상(CFO=110 kV)

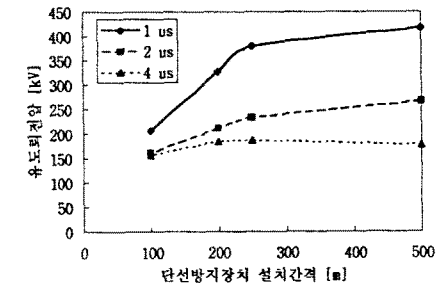


그림 8. 유도뢰 전압 발생 양상(CFO=130 kV)

단선 방지 장치의 방전점이 섬락하게 되면, 단선 방지 장치 설치점의 썬어지 임피던스가 작아지게 되어 부(-)의 썬어지 반사가 생기게 된다. 이러한 부의 반사파는 가공선로에 발생하는 유도뢰 전압을 저하시키므로, 단선 방지 장치가 설치되지 않은 지점의 유도뢰에 의한 섬락을 억제할 수 있다. 단선 방지 장치의 억제 효과는 방전점의 임계 섬락 전압이 낮을수록, 설치 간격이 좁을수록 높게 나타남을 알 수 있다. 또한 뇌격 전류의 파두장이 짧아지면, 단선 방지 장치의 동작에 의한 부의 반사파가 되돌아오는 시간에 비해 발생하는 유도뢰 전압의 파두장이 상대적으로 짧아지게 되어, 뇌격 전류 파두장이 긴 경우에 비해 높은 유도뢰 전압이 발생된다.

3.3. 단선 방지 장치에 의한 단선 방지 방안

단선 방지 장치에 의한 피복 절연 전선의 섬락에 의한 용단 방지는, 단선 방지 장치가 설치된 지점에서는 반드시 이를 통한 섬락 경로 형성과 한류 소자에 의한 속류 억제 및 차단 동작을 행하고, 단선 방지 장치들 간의 협조 체제에 의해 단선 방지 장치가 설치되지 않은 지점에서는 유도뢰(보호 대상 세이지 발생원)에 의한 과전압이 선로의 섬락 전압 이하로 억제함으로써 달성할 수 있다.

이러한 관점에서 단선 방지 장치들간의 협조 체제에 의해 가공 선로에 발생하는 유도뢰 전압이 150 kV(선로의 기준절연강도) 이하로 억제하기 위한 방안을 해석 결과로부터 다음과 같이 도출하였다.

3.3.1. 보호가능 뇌격전류(가공지선이 없는 경우)

가공선로에 가공지선이 설치 되지 않은 곳에서의 유도뢰에 의한 피복 절연 전선의 섬락 단선을 방지하기 위해 방전점의 임계섬락전압이 120 kV가 되도록 단선 방지 장치를 설치할 경우, 상정 뇌격 거리에 대한 보호 가능 뇌격 전류를 표 1. 및 그림 9.에 나타내었다.

표 1. 보호가능 뇌격전류(가공지선 없음)

(거리 단위 : [m], 뇌격 전류 : [kA])

뇌격거리 설치간격	30	50	100	150	200	300
100	60	77	87	108	112	117
200	43	54	75	88	97	106
250	39	48	66	80	90	101
500	30	38	56	75		

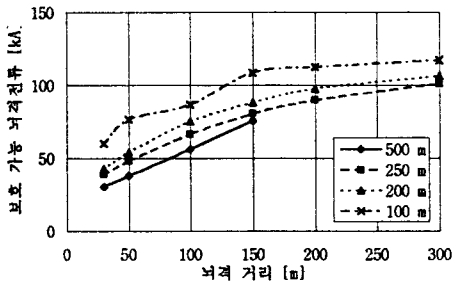


그림 9. 보호 가능 뇌격 전류(가공지선 없음)

표 및 그림에서 뇌격 거리는 보호 대상 뇌격과 가공선로와의 최단 직선 거리를 나타내고, 보호 가능 뇌격 전류의 크기는 상정한 뇌격 거리에 대해 단선 방지 장치가 보호할 수 있는 최대 뇌격 전류의 파고치를 나타내고 있다. 예를 들면, 단선 방지 장치를 매 200 m 마다 설치하고, 상정 뇌격 거리를 100 m 로 두었을 때, 보호 가능한 최대 뇌격 전류의 파고치는 75 kA 임을 나타내고 있다.

표 2. 보호가능 뇌격전류(가공지선 있음)

(거리 단위 : [m], 뇌격 전류 : [kA])

뇌격거리 설치간격	30	50	100	150
100	81	95	113	119
200	61	73	93	104
250	57	67	86	98
500	48	60		

3.3.2. 보호가능 뇌격전류(가공지선이 있는 경우)

가공지선이 설치된 곳에서의 유도뢰에 의한 피복 절연 전선의 섬락 단선 방지를 위해, 방전점의 임계섬락전압이 120 kV 인 단선 방지 장치의 설치에 의한 보호 뇌격 전류를 표 2. 및 그림 10.에 나타내었다.

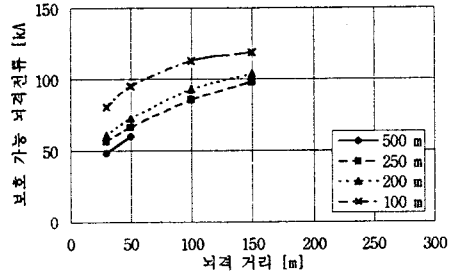


그림 10. 보호 가능 뇌격 전류(가공지선 있음)

4. 결 론

본 논문에서는 가공배전선로에 발생하는 유도뢰 전압 현상과 피복 절연 전선의 섬락에 의한 단선을 방지하기 위한 섬락 단선 방지 장치의 유도뢰에 대한 응용 특성을 검토하였다.

섬락 단선 방지 장치의 동작 특성은 접이 있는 피뢰기와 유사하므로, 현재 제봉에 이 장치를 추가로 적용하게 되면, 피복 절연 전선의 섬락 단선 보호는 물론, 가공지선 및 피뢰기 만에 의한 절연 협조 체제보다 다소 유리해질 것으로 예상된다. 더욱이 기설 피뢰기는 상시 상용주파전압에 노출되어 있기 때문에 원치않는 사고의 원인이 될 수 있으나, 단선 방지 장치는 방전점에 의해 상용 주파 전압으로부터 상시 노출되지 않기 때문에 상시 누설전류에 의한 사고 유발 요인은 없을 것으로 판단된다.

따라서 단선 방지 장치를 가공 배전선로에 효과적으로 적용하기 위해서는 뇌격에 대한 자료 및 기존 절연 협조 체제를 충분히 고려하는 것이 바람직하다. 또한 가공지선과 함께 선로 직격뇌(가공지선 또는 상도체에 가해지는 뇌격)에 대한 선로 보호 특성도 추가로 검토되어야 할 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이용한, 정동학, 하복남, 남궁도, 유현재, "가공배전선로 유도뢰 해석 프로그램 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B권, pp 683-685, 1996.7.
- [2] 한국전력 전력연구원, "특고압 배전용 전선의 섬락 단선 대책 연구", 1996.10.
- [3] Fukuyama, Kito and Kato, "Development of Current Limiting Arcing Horn for Prevention of Lightning Faults of Distribution Lines", IEEE Summer Meeting 63-6, 1986