

# 가공배전선로의 뇌단선 현상과 내뢰설비의 뇌써어지 전압 저감효과에 관한 연구

\* 남궁 도, \* 김상준, \* 이병성, \*\* 정동학, \*\* 이용한  
\* 전력연구원, \*\* 한국전기연구소

## A Study on the Reduction Effects for Surge Voltage of Lightning protective Equipments and the Arc Fusion Mechanisms in the Distribution lines

\*D. Nam-Kung, \*S. J. Kim, \*B. S. Lee, \*\*D. H. Jung, \*\*Y. H. Lee  
\*KEPRI, \*\*KERI

### Abstract

The arc fusion faults in the distribution lines are occurred by lightning surge, stress corrosion and substance touching. Arc fusion fault by lightning surge is one of the most frequent occurrence. In this report, we studied the mechanisms of the Arc fusion faults. Also, we analyzed the reduction effects for surge voltage of lightning protective equipments

### 1. 서 론

우리 배전계통에 안전사고 예방과 외물접촉에 의한 사고를 방지하기 위하여 1970년대 후반부터 나전선 대신 절연전선을 사용함에 따라 써어지 전압 침입시 전선 지지점 부근에서 섬락이 발생하여 이 아아크열에 의한 절연전선이 용단되는 현상이 자주 발생되고 있어 이에 대한 대책이 요구되고 있다.

배전계통에서 발생하는 써어지 전압은 크게 개폐써어지와 뇌써어지 전압으로 구분할 수 있으나, 선로의 전압이 비교적 낮기 때문에 개폐써어지 전압에 비해 뇌써어지 전압이 일반적으로 높게 나타난다. 따라서, 배전선로용 전력기기의 주요보호 대상의 써어지는 뇌써어지 전압으로 상정하고 있다.

그런데 전력계통에 발생하는 뇌써어지는 침입하는 뇌격의 형태에 따라 직격뢰와 유도뢰에 의한 것으로 구분할 수 있으며, 직격뢰에 의한 써어지는 전력선의 상도체 또는 가공지선에 직접 가해져서 발생하는 써어지의 형태이며, 유도뢰에 의한 써어지는 전력선 부근에 가해진 뇌격의 전자유도에 의해 전력선에 발생하는 써어지의 형태이다.

일반적으로 배전선로에서 발생하는 단선사고를 원인별로 살펴볼 때, 크게 뇌에 의한 아크용단사고, 응력부식에 의한 단선사고, 이물접촉 등에 의한 단선사고 등으로 분류할 수 있는데, 여기서는 단선사고중에서 가장 많은 비중을 차지하는 뇌에 의한 아크 용단사고에 대한 메카니즘을 살펴보고, 배전계통에서 발생하는 유도뢰전압에 대한 내뢰설비 설치시의 저감효과에 대하여 검토하고자 한다.

### 2. 절연전선 뇌단선 메카니즘

그림 2.1처럼 가공선로에 직격뇌 또는 유도뢰에 의해 뇌격이 침입하면 이에 의해 뇌써어지 전압이 발생하고 발생된 뇌써어지 전압이 가공선로의 절연내력을 초과할 경우 기생성된 핀홀이 있으면 이를 통과하게 되며, 그렇지 않은 경우에는 전계가 집중되는 부근에서 새로운 핀홀이 생성되어 섬락이 발생되게 된다. 섬락 후 이 섬락경로로 상용주파전압에 의한 아크전류가 흐르게 되며, 이때 나전선인 경우는 아크경로가 전자력에 의해 좌우로 이동하지만 절연전선인 경우는 절연피복에 생성된 핀홀에 집중되어진다. 따라서, 상용주파전압에 의한 지속적인 아크전류에 의해 핀홀의 발생점에 과다한 아크열이 발생되어 이를 적절한 방법으로 차단할 수 없게 되면 절연전선에 아크에 의한 손상 내지 절연전선이 용단되는 현상이 발생한다. 즉, 뇌써어지 전압의 충격에 의해 절연전선의 절연피복이 파괴되고 AC전압에 의한 속류로 전선이 단선되는 것으로 설명할 수 있다.

#### 2.1 아아크 용단

실험결과에 의하면 전선의 용단현상은 소선의 구성에 따라, 즉 소선 7본의 58 mm<sup>2</sup>와 95 mm<sup>2</sup>의 경우와 19본의 160 mm<sup>2</sup>의 경우가 상이함을 보인다.

7본의 58 mm<sup>2</sup>, 95 mm<sup>2</sup>는 그림 2.2(a)에서와 같이 아아크는 진입구에 가장 가까운 소선을 용융하고 이어 좌우 양소선과 중심소선으로 진행되며, 최후로 하측소선을 용융하여 단선된다. 이에 반해 소선 19본의 160 mm<sup>2</sup>는 그림 2.2(b)에서와 같이 진입구로부터 중심소선으로 진행되며, 이어 내부로부터 외측소선으로 진행된다. 이는 소선끼리의 열전도에 기인하는 것으로 소선의 굵기가 가늘어 열용량이 적고, 또한 최외층의 소선이 58, 95 mm<sup>2</sup>처럼 3번 겹겹이긴하나 그 겹겹면적이 적어 열전도 손실이 적음으로 아크 스파트가 생긴 소선은 급속히 온도가 상승하여 용융하고 중간층 소선으로 아크 스파트가 옮겨져 용융이 진행하기 때문이다.

#### 2.2 부분 아크용단

부분 아크용단은 아크전류가 용단시간보다 짧은 시간동안 흐를 때 이 전류에 의해 전선이 부분적으로 용단되고, 이에

이어서 전선에 걸리는 장력에 의해 단선되는 현상으로 실험 결과로 보면 아크전류에 따라 다르겠지만 58 mm<sup>2</sup>의 경우, 아크전류가 1 kA일 때 용단시간의 약 60%의 통전시간에, 95 mm<sup>2</sup>의 경우, 2 kA일 때 용단시간의 약 45%의 통전시간에 부분아크용단에 이어 장력단선 되는 것으로 나타났다.

표 2.1. 장력단선의 한계

전선 굵기	항 목	전선 장력	
		A	B
58 mm <sup>2</sup>	(1) 용단시간(ms)	678.0	453.2
	(2) 장력단선 통전 시간(ms)	417.1	266.4
	(3) 비( (2)/(1) )	0.615	0.588
95 mm <sup>2</sup>	(1) 용단시간(ms)	244.3	128.3
	(2) 장력단선 통전 시간(ms)	107.6	57.8
	(3) 비( (2)/(1) )	0.44	0.451

주 (1) 전선장력 A : 120 kg(58 mm<sup>2</sup>), 180 kg(95 mm<sup>2</sup>)  
 전선장력 B : 250 kg(58 mm<sup>2</sup>), 330 kg(95 mm<sup>2</sup>)  
 (2) 아크 전류 : 1 kA(58 mm<sup>2</sup>), 2 kA(95 mm<sup>2</sup>)

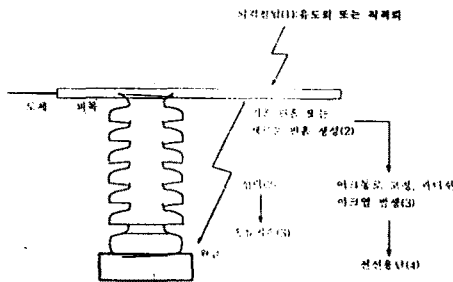


그림 2.1. 뇌섬락에 의한 절연전선 용단 메카니즘

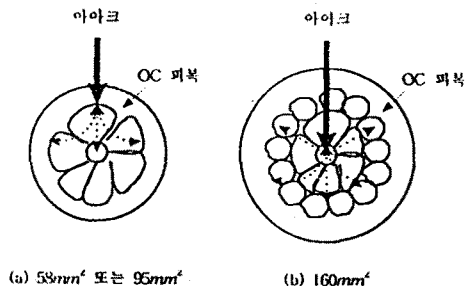


그림 2.2 OC전선의 용단순서

### 3. 가공배전선로에서의 유도뢰 전압 해석 및 결과

#### 3.1 해석대상 및 기준

실제 22.9 kV 배전선로에서 발생하는 유도뢰 전압을 해석하기 위한 해석 대상도는 그림 3.1과 같으며, 표 3.1에 해석 기준을 적용하였다.

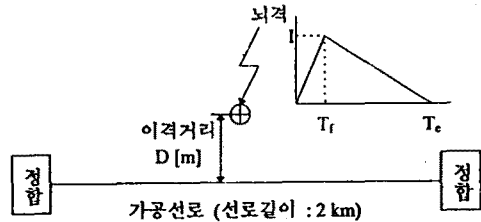


그림 3.1 유도뢰 전압 해석도

표 3.1 해석기준

항 목	값	
뇌격전류	뇌격거리(D)	100 m
	뇌격크기	100 kV
	파두장(Tr)	2 us
가공선로	파미(Te)	70 us
	가공지선 유무	있음, 없음
	중성선 접지저항	5 Ω/km
	중성선 접지간격	200 m
	선로길이	2 km
	선로양단	정합처리

#### 3.2 유도뢰 전압해석 결과

가. 가공지선 설치시 유도뢰 전압의 변화

가공지선 설치 유무에 따른 유도뢰 전압의 변화 양상을 표 3.2와 그림 3.2에 나타냈다.

표 3.2 가공지선 유무에 따른 유도뢰 전압 변화

측정점	유도뢰 전압(kV)		변화율(%) (B-A)*100/B
	가공지선 유(A)	가공지선 무(B)	
0 m	168.6	244.4	31.0
200 m	123.8	182.9	32.3
400 m	108.9	158.6	31.3
600 m	103.2	149.7	31.1
800 m	99.9	144.8	31.0
1000 m	94.6	138.6	31.7

\* 측정점은 뇌격지점과의 수평거리

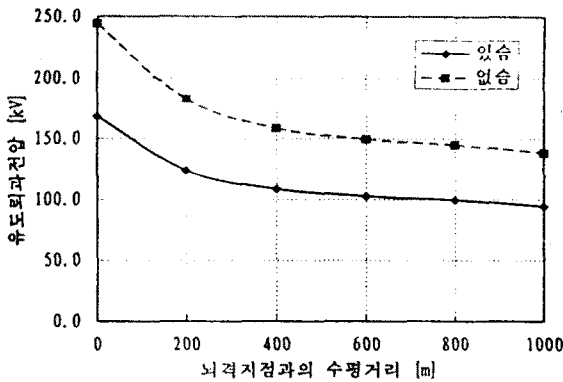


그림 3.2 가공지선 유무에 따른 유도뢰 전압 변화

가공지선을 설치하면 뇌써어지에 대한 유도뢰 전압은 저감되며, 그 효과는 이격거리 100 m, 파형 2/70 us의 뇌격에 대하여 약 30% 정도로 나타났다.

나. 피뢰기 설치시 유도뢰 전압의 변화

선로용 피뢰기의 적용에 따른 유도뢰 전압의 변화 양상을 검토하였으며, 표 3.3과 그림 3.3은 가공선로 매 500 m에 피뢰기가 설치된 경우의 해석결과이며, 표 3.4와 그림 3.4는 피뢰기 설치간격에 따른 해석결과이다.

표 3.3 피뢰기 설치에 따른 유도뢰 전압 변화(kV)

추정점 피뢰기	0 m	250 m	500 m	750 m	1000 m
무	266.5	176.1	150.7	147.1	136.8
유1	77.5	57.6	38.0	36.5	34.8
유2	266.4	55.2	47.2	37.8	44.8

\* 유 1 : 뇌격지점으로 부터 최단거리에 피뢰기가 설치된 경우

유 2 : 뇌격지점으로 부터 최단거리가 피뢰기 설치간격일 경우

표 3.4 피뢰기 설치간격에 따른 유도뢰 전압 변화

추정점 설치간격	0 m	200 m	250 m	400 m	500 m	600 m	750 m	800 m	1000m
500 m	199.7	-	55.4	-	43.3	-	39.0	-	35.6
250 m	172.2	-	41.9	-	35.2	-	33.0	-	31.5
200 m	145.1	46.6	-	36.2	-	33.9	-	32.3	31.2
100 m	90.9	40.8	-	34.8	-	32.2	-	30.5	29.6

\* 추정점은 뇌격지점과의 수평거리

\* 뇌격지점으로부터 최단거리가 피뢰기 설치간격일 경우

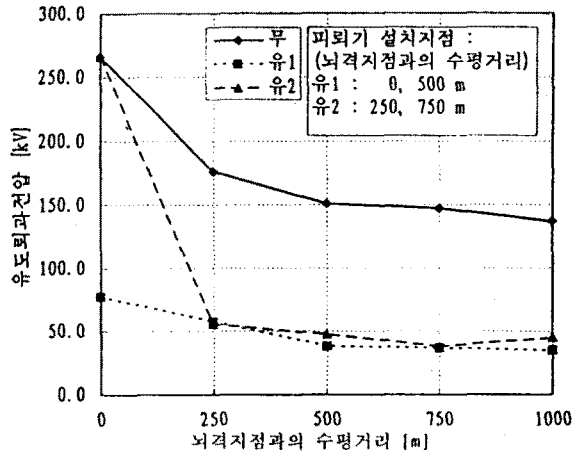


그림 3.3 피뢰기 설치에 따른 유도뢰 전압 변화

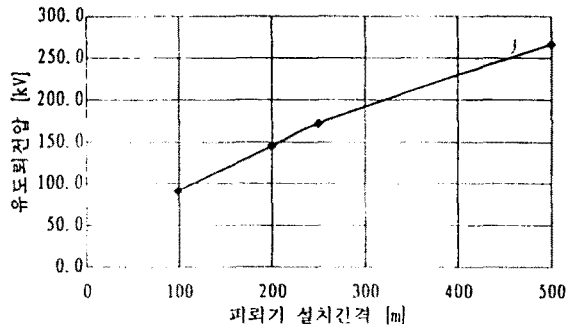


그림 3.4 피뢰기 설치간격에 따른 유도뢰 전압 변화

해석결과에 의하면 피뢰기 설치시 뇌격지점과 피뢰기 위치 및 설치간격에 따라 다르지만 유도뢰 전압이 저감되는 양상이 나타나고 있으며 100 kA, 2/70 us의 뇌격이 가공선로와 최단거리 100 m 지점에 가해졌을 때 발생하는 유도뢰 전압이 150 kV 이하가 되도록 하려면 선로용 피뢰기를 매 200m간격으로 설치하여야 함을 알 수 있다.

다. 중성선 설치 조건별 유도뢰 전압의 변화

가공배전선로의 내외대적으로 중성선을 적용하지는 않으나 유도뢰 전압은 중성선의 영향을 받게되므로 중성선의 접지저항과 간격의 변화에 따른 유도뢰 전압의 발생양상을 해석한 결과를 그림 3.5와 3.6에 나타내었다.

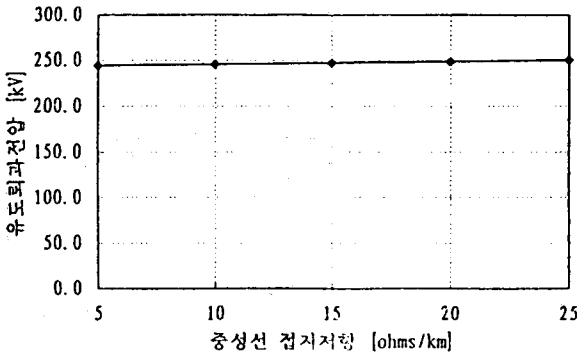


그림 3.5 중성선 접지저항 변화에 따른 유도피 전압 변화

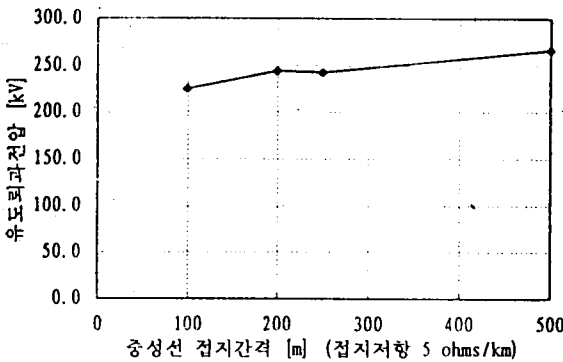


그림 3.6 중성선 접지간격에 따른 유도피 전압 변화

#### 참 고 문 헌

1. 한국전력공사 전력연구원 "특고압 배전계통 전선의 설락 단선 대책 연구(최종보고서)", 1996, 10
2. 한국전력공사 기술연구원 "AL 배전선의 신뢰도 향상대책 (최종보고서)", 1986, 4
3. 한국전력공사 전력연구원 "배전계통 이상전압 측정 및 대책연구(중간보고서)", 1997, 8

#### 4. 결 론

본 연구에서는 가공배전계통 절연전선에서 발생하는 뇌단선 현상에 대하여 살펴보고 뇌써어지의 주보호대상이 되는 유도피 전압에 대하여 유도피 해석프로그램을 이용하여 배전계통의 내뢰설비를 고려한 유도피 전압 변화양상에 대하여 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다.

##### 가. 가공지선 설치시

가공지선을 설치하면 뇌써어지에 대한 유도피전압은 저감되며, 그 효과는 이격거리 100m, 파형 2/70 $\mu$ s의 뇌격에 대하여 약 30%정도로 나타났다.

##### 나. 피뢰기 설치시

피뢰기의 경우는 유도피 전압의 감소효과가 매우 큼을 알 수 있었다. 그러나 뇌격지점에서 최단거리의 가공선토지점이 피뢰기 설치간의 정중앙 부근일 경우에 최단지점 가공선로에 발생하는 유도피 전압이 매우 높아 실질적인 보호를 기대 할 수 없었다.

##### 다. 중성선 설치조건 변화시

가공배전선로에서의 중성선의 접지저항과 간격의 변화에 따른 유도피 전압의 변화는 중성선의 접지저항값 보다 접지 간격에 영향이 큰 것으로 나타났다.