

## 가공지선 암길이 증대에 따른 뇌 사고율 저감 효과 분석

강연욱, 민병욱, 김태영, 박봉규, 최진성, 박광욱, 배현권  
한국전력공사

### Analysis on Effect of Lightning Outage Reduction according to Width of Arm of Ground Wires

Yeon-Woog Kang, Byeong-Wook Min, Tai-Young Kim, Bong-Gyu Park, Jin-Sung Choi, Kwang-Uk Park, Hyun-Kwon Bae  
Korean Electric Power Corporation

**Abstract** - 한전의 가공 송전선로는 2010년 기준으로 약 12,990 km(765 kV 송전선로 354 km, 345 kV 송전선로 약 3,868 km, 154 kV 송전선로 8,173 km, 66 kV 송전선로 : 약 595 km)가 설치되어 운전되고 있다. 이러한 송전선로는 평지, 구릉, 산악지 등에 설치됨으로써 자연환경에 크게 영향을 받는다. 특히 전 세계적으로 낙뢰에 의한 송전선로의 트립 고장이 전체 고장의 약 60%를 점유하는 것으로 보고되고 있으며, 낙뢰에 의한 고장을 최소화하기 위한 내뢰 설계를 시행하고 있다. 한편에서도 전압별 계통의 신뢰도와 경제성을 고려하여 765 kV 송전선로의 목표 사고율은 0.35[건/100 km·년], 345 kV 송전선로의 경우는 1.0[건/100 km·년], 154 kV 송전선로의 경우는 2.0[건/100 km·년] 이하의 목표 사고율을 설정하여 설계 운영하고 있다. 그러나 2000년 이후 낙뢰 발생 빈도가 증가하고 있으며, 낙뢰에 의한 고장 점유율도 약 75%로서 고품질 전력공급을 위한 내뢰 대책 수립의 검토가 요구되고 있다.

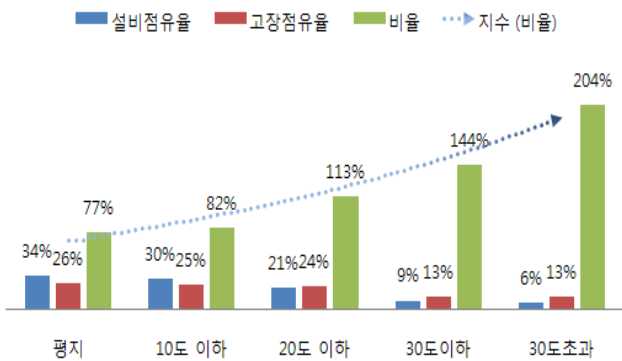
여기서 S(m)는 뇌격흡인거리이고, I(kA)는 뇌격전류이다. 전력선을 낙뢰로부터 차폐하기 위하여 그림 2와 같이 도체(Φ) 위에 가공지선(G)을 설치하게 되면, 식(1)의 뇌격흡인거리의 영향으로 원호 OP로 진전하는 낙뢰는 가공지선에 도달하게 되어 낙뢰로부터 전력선을 보호하게 된다. 그러나 원호 PQ로 진전하는 낙뢰는 가공지선이 아닌 전력선에 도달하게 되므로 이것 때문에 트립이 발생할 경우 차폐실패 고장이라 한다. 선분 QR로 진전하는 낙뢰는 대지에 접촉하여 소멸되므로 송전선로 낙뢰고장과는 무관하게 된다.

이상 살펴본 것과 같이, 전력선을 낙뢰로부터 보호하기 위하여 가공지선을 설치하지만, 철탑의 절연설계와 경제성을 고려하여 철탑을 컴팩트하게 설계하였을 경우, 그림 2와 같이 낙뢰로부터 전력선이 보호되지 않는 범위 X가 존재하게 되는데, 이 영역과 뇌격전류 크기 분포 곡선과의 관계를 확률적으로 접근하여 차폐실패 사고율을 구하게 된다.

### 1. 서 론

낙뢰는 송전선로 고장의 주요 원인 중 하나로서, 낙뢰가 전력선에 맞거나 가공지선에 맞을 경우 트립고장이 발생하게 된다. 낙뢰가 전력선에 맞아 트립고장이 발생하는 경우를 차폐실패 고장이라고 하고, 낙뢰가 가공지선에 맞아 트립고장이 발생하는 경우를 역섬락 고장이라고 한다.

일반적으로 한전에서는 낙뢰에 의한 차폐실패 고장을 줄이기 위하여 가공지선을 2조 설치하고 있으나, 그림 1에서 알 수 있는 것과 같이 대지경사각이 크면 낙뢰 발생확률이 높아지므로, 송전선로 경과지가 산악 지형이 많은 우리나라의 경우에는 차폐실패 고장에 대한 대책을 검토하는 것이 필요하다.



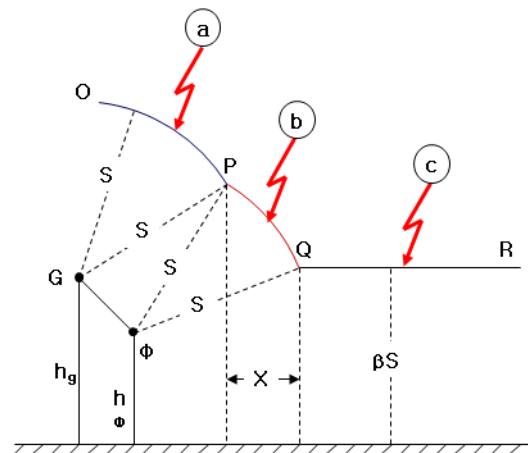
〈그림 1〉 대지경사각에 따른 낙뢰고장 발생 추이(2001-2010)

### 2. 본 론

#### 2.1 전기기하학 모델

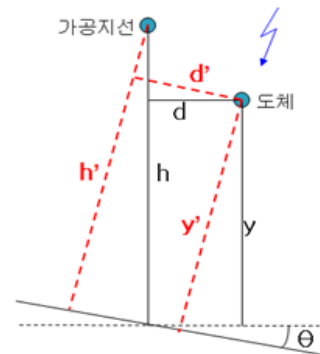
송전선로의 낙뢰고장 저감을 위한 중요한 대책중 하나는 가공지선을 설치하여 전력을 공급하는 전력선이 낙뢰에 맞지 않도록 차폐하는 것이다. 낙뢰가 공기중에서 이동하여 대지나 송전선로 등의 구조물에 어떤 임의의 거리 S에 접근하게 되면 그 거리 이내의 물체에 맞게된다. 이 거리 S를 뇌격흡인거리(Striking Distance)라 정의하며, 화이트헤드(Whitehead)는 뇌격흡인거리와 뇌격 전류와의 관계를 식(1)과 같이 제안하였다.

$$S = 10I^{0.65} \quad (1)$$



〈그림 2〉 차폐실패 고장을 계산하기 위한 전기기하학 모델

한전에서는 이러한 차폐실패 고장을 최소화하기 위하여 가공지선이 도체를 낙뢰로부터 완전 차폐할 수 있도록 차폐각이 0도가 되도록 설계하고 있으나 산악지형에 설치된 송전선로는 차폐효과가 떨어지는데, 이것은 송전선로가 설치된 지형의 대지경사각(Hill Side Angle)과 밀접한 관계가 있다.



〈그림 3〉 차폐실패 고장을 계산하기 위한 대지경사각 모델

그림 3과 같이 송전선로가 대지경사각이  $\theta$ 인 경사면에 설치되었을 경우, 공기중으로 진전하는 낙뢰는 대지에 대전된 전하의 영향으로 어떤 거리에 접근하게 되면 대지의 수직면으로 이동하게 된다. 따라서 가공지선과 도체의 수평 이격거리  $d$ 는 뇌격 침입각의 영향으로  $d'$ 로 증가하는 효과가 나타난다. 대지경사각에 따른 수평이격거리를 구하는 식은 아래의 (2)~(4)와 같다.

$$h' = h \cdot \cos\theta \quad (2)$$

$$y' = (y + d \cdot \tan\theta) \cdot \cos\theta \quad (3)$$

$$d' = h \cdot \sin\theta + (d - y \cdot \sin\theta) \cdot \cos\theta \quad (4)$$

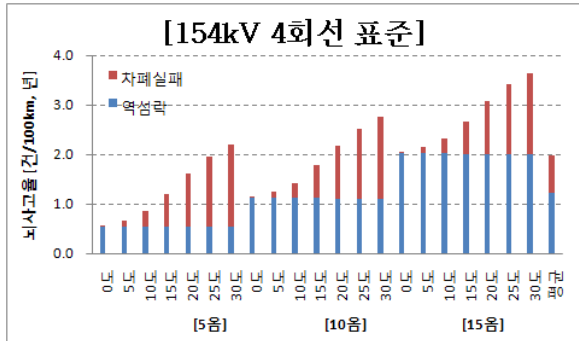
따라서 대지경사면에 설치되는 송전철타는 평지에 설치되는 철타보다 가공지선 암을 길게 함으로써 차폐효과를 높일 수 있다.

## 2.2 시뮬레이션 결과

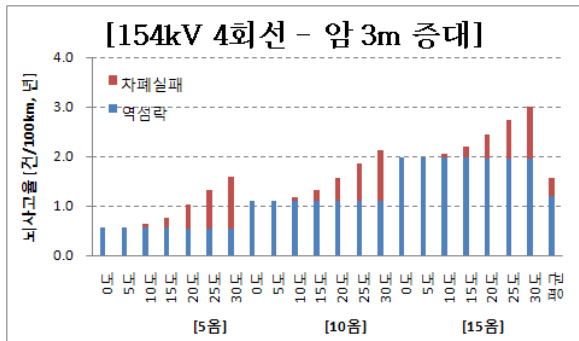
송전선로의 낙뢰에 의한 차폐실패 고장을 저감하기 위하여 고장을 최소화 할 수 있는 적절한 길이까지 가공지선 암의 길이를 증가시키는 것이 효과적이지만, 가공지선 암을 너무 길게 하면 가공지선 써지 임피던스의 증가 및 가공지선과 전력선과의 전자기적 결합 효과 등에 따라 역섬락 고장이 증가 할 수 있으며, 선하지 보상비 증가에 따라 비 경제적 일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 한전의 표준 철타를 기준으로 154kV 2회선 송전선로, 154 kV 4회선 송전선로, 345 kV 2회선 송전선로, 345 kV 4회선 송전선로의 가공지선 암 길이를 각각 증가시켰을 경우 차폐 실패 고장 저감 효과를 분석하였다. 검토 조건은 아래의 표 1과 같다.

〈표 1〉 가공지선 암 길이 증대 조건

구 분	조건 1	조건 2
154 kV 2회선 송전선로	2m	-
154 kV 4회선 송전선로	3m	4.8m
345 kV 2회선 송전선로	3m	5m
345 kV 4회선 송전선로	3m	7.65m



(a) 표준철타



(b) 가공지선 암 길이 증대

〈그림 4〉 가공지선 암 길이 증대에 따른 뇌 사고율 비교

그림 4는 154 kV 4회선 송전선로의 경우, 가공지선 암의 길이를 표준 철타에 비해 3m 증대시켰을 경우, 낙뢰에 의한 사고율 저감특성을 보여 주고 있다. 송전선로의 뇌 사고율은 철타의 접지저항이 높으면 역섬락

사고율이 높고, 대지경사각이 크면 차폐실패 사고율이 높게된다. 가공지선의 암길이를 표준철타보다 길게 할 경우, 그림 4에서 알 수 있는 것과 같이 역섬락 사고율은 거의 영향을 미치지 않지만 차폐실패 사고율은 크게 감소함을 알 수 있다. 각각의 선로별 가공지선 암길이 증대에 따른 뇌 사고율 저감효과는 표 2와 같다.

〈표 2〉 가공지선 암 길이 증대에 따른 뇌 사고율 저감효과

송전선로 구분	가공지선 암 증대 길이	낙뢰고장 저감율		
		역섬락	차폐실패	총뇌사고율
154 kV 2회선	2m	-2.6%	76.2%	13.9%
	3m	1.3%	50.7%	20.0%
154 kV 4회선	4.8m	-0.4%	55.6%	20.8%
	3m	-1.6%	82.8%	44.1%
345 kV 2회선	5m	-4.5%	97.2%	50.6%
	3m	0.0%	31.9%	23.1%
345 kV 4회선	7.65m	-9.2%	40.7%	26.9%

표 2에서 알 수 있는 것과 같이 가공지선의 암 길이를 증가시키에 따라 차폐실패 사고는 감소하지만, 암 증가길이에 따라 역섬락 사고는 다소 증가할 수 있다. 따라서 역섬락에 의한 뇌 사고율의 증가를 최소화하는 범위를 고려하여 차폐실패 고장 사고를 줄이는 최적방안의 선택의 필요하다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 산악지형에 설치된 가중 송전선로가 낙뢰에 의한 트립고장에 취약함을 지난 10년간의 고장통계 자료를 통해 분석하였다. 특히 차폐실패 고장에 의한 낙뢰고장 예방 대책수립을 검토하기 위하여 현재 운영중인 154 kV 및 345 kV 송전선로의 가공지선 암 길이를 증대 시킴에 따라 낙뢰고장의 저감효과를 분석하였다. 분석 결과 차폐실패에 의한 고장을 저감하는 방법으로 가공지선 암 길이를 증대시키는 것이 효과적임을 알 수 있었으나, 역섬락 고장은 오히려 약간 증가시킬 수 있으므로 적절한 암 증대길이를 선정하여 적용하는 것이 필요하다고 판단된다. 암 길이 증대시 철타 크기가 증대되므로 민원에 의해 송전선로 경과지 선정에 어려움을 겪고 있는 현실을 고려하여 적절한 기준의 수립이 필요하다. 또한 최근 송전선로의 낙뢰고장을 저감하기 위하여 시행되고 있는 송전선로용 피뢰기와 경제성 비교를 통하여 경제성과 신뢰성을 고려한 최적의 방법을 검토하여야 할 것이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 강연욱, 박주식, “대지경사각을 고려한 차폐실패 사고율 검토”, 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집, A, pp. 615~617, 2005.
- [2] 강연욱, 박주식, “낙뢰에 의한 송전선로의 차폐실패 사고율 계산 알고리즘 검토”, 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집, A, pp. 621~623, 2005.
- [3] J.G. Anderson, “Lightning Performance of Transmission Lines”, Chapter 12 of Transmission Line Reference Book 345kV and Above. Second Edition, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1987.
- [4] P. Chowdhuri, “Direct Lightning Strokes to Overhead Lines with Shield Wires”, Chapter 7 of Electromagnetic Transients in Power Systems, Research Studies Press LTD, 2004.
- [5] Andrew R. Hileman, “Shielding of Transmission Lines”, Chapter 7 of Insulation Coordination for Power System, Marcel Dekker. Inc, NY, 1999.