

리비아 220 kV 송전선로의 뇌사고율 예측 계산

강연욱, 과주식
한전 전력연구원

The Calculation of Lightning Outage Rates on 220kV Transmission Line in Libya

Y. W. Kang, J. S. Kwak

Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 경제수준의 향상되면 안정적인 적력공급에 대한 국민의 기대는 증가된다. 최근 몇 년 동안 유가의 급등으로 리비아 경제 여건은 좋아지고 있으며 이에 따라 안정적인 전력공급에 대한 관심도 증가하고 있다. 최근 리비아(Libya) 수도 트리폴리(Tripoli)에서는 낙뢰에 의한 송전선 사고로 대규모 정전이 발생하였으며 이에 대한 대책수립이 요구되고 있다. 현재 한전에서는 송변전 및 배전분야에서 리비아 전력재(General Electric Company Of Libya)에서 발주한 용역을 수행중이다. 이에 따라 리비아 전력청에서는 리비아 220kV 송전선로의 뇌 사고율 분석 및 저감방안에 대한 검토를 요청하였으며 본 논문에서는 그 검토 결과를 설명하고자 한다.

2. 뇌 사고율 예측계산

2.1 송전선로 데이터

한전에서는 송전선로에 발생하는 뇌에 의한 사고를 가능한 범위 이내에서 억제하기 위하여 가공지선을 2조 설치하여 운전하고 있다. 그러나 리비아 220kV 송전선로는 가공지선을 1조 설치하여 운전하고 있어 차폐실패 사고에 취약할 것으로 예상된다.

리비아 220kV 송전선로의 뇌 사고율을 예측 계산하기 위한 철탑의 형상은 그림 1과 같이 가공지선 1조의 2회선 송전선로이며, 가공지선 및 도체의 위치 및 직경 데이터는 표 2와 같다.

1. 서 론

송전설비의 사고에 의한 정전은 대규모 정전으로 국민 생활 및 산업에 미치는 영향이 크다. 전 세계적으로 이러한 송전설비의 사고 중 약 절반정도는 낙뢰에 의한 사고로서 송전선의 내뢰(耐雷)설계를 통해 뇌(雷)에 의한 트립(Trip) 사고율과 공급지장 사고율을 허용범위 이내로 억제하는 것이 중요하다. 송전선의 내뢰설계에 있어서 뇌에 의한 트립 사고율과 공급지장 사고율을 허용범위 이내로 억제하기 위해서는 뇌 사고율을 가능한한 정확하게 예측하는 것이 선행되어야 한다.

낙뢰에 의한 송전선의 트립 사고는 자연 재해로서 100% 방지하는 것은 현실적으로 불가능하지만, 안정적인 전력공급을 위해 한전의 345kV 송전선로의 경우 표 1과 같이 연간 100km당 1건 이내로 사고를 제한하는 목표치를 설정하여 내뢰 설계 및 각종 내뢰 시책을 시행하고 있다.

표 1. 한전의 송전선로의 뇌 사고율 제한 목표치 [건/100km·년]

전압등급	목표치	설계치
345 kV	1.0	1.1
154 kV	2.0	2.0

송전선로 건설시 뇌 사고율 제한 목표치는 경제성과 안정적인 전력공급을 고려하여 전력회사 자체에서 결정하며 이를 기준으로 내뢰설계를 시행한다.

리비아의 경우 뇌 사고율 제한 목표치가 설정되지 않은 상태에서 송전선로를 설계하여 운전하고 있다. 따라서 본 논문에서는 현재 리비아에서 운전중인 220kV 송전선로의 뇌 사고율을 예측 계산하고, 뇌 사고율 저감방안을 검토하고자 한다.

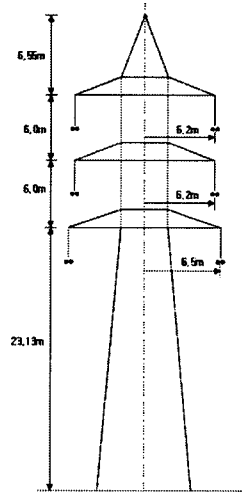


그림 1. 리비아 220kV 표준 철탑

표 2. 가공지선 및 도체 데이터

번호	기능	좌표		도체직경 (cm)	번들간격 (cm)
		X(m)	Y(m)		
1	가공지선	0	46.55	0.98	
2	A	6.2	36.13	2.64	40
3	B	6.2	29.63	2.64	40
4	C	6.4	23.13	2.64	40
5	C'	-6.2	36.13	2.64	40
6	B'	-6.2	29.63	2.64	40
7	A'	-6.4	23.13	2.64	40

2.2 년간 뇌우일수

가공 송전선로가 통과하는 지역은 낙뢰가 발생하므로 "IKL(isokeraunic level, 년간 뇌우일수)"라는 값을 갖게 된다. IKL은 특정 지역에서 년간 평균 몇일 동안 낙뢰가 발생했는가를 나타내는 값으로 과거에는 한진 뿐만 아니라 외국에서도 사람의 청력에 의지하여 관측했으나, 현재는 기술의 발달로 선진국에서는 낙뢰 관측시스템 장비를 이용하여 관측하고 있으며, 한전도 1996년 이후 LPATS(Lightning Positioning and Tracking System) 시스템을 이용하여 관측하고 있다.

IKL 값은 지역의 특성이 반영된 값으로 뇌 사고율 예측계산을 위해서는 반드시 필요한 요소이지만, 리비아의 경우 IKL 통계 데이터가 없어, 그림 2와 같은 전 세계 뇌격분포도의 2년간('99. 01 ~ '00. 12) 데이터를 기준으로 한국의 IKL 값과 비교하여 리비아 IKL 값을 추정하였다.

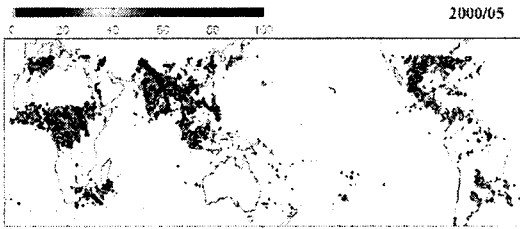


그림 2. 전 세계 뇌격분포도 샘플

추정결과 한국에서 발생하는 뇌격의 약 2배의 뇌격이 리비아 트리폴리시에 발생함을 알 수 있었으며, 따라서 리비아 220kV 송전선로 뇌 사고율을 예측 계산하기 위하여 IKL 값은 한국의 IKL 값의 2배인 40으로 가정하였다.

2.3 리비아 220kV 송전선로의 뇌사고율 예측 계산

리비아 220kV 송전선로의 뇌 사고율은 전력연구원에서 개발한 프로그램을 이용하여 예측 계산하였다. 뇌 사고율 예측계산을 위한 프로그램의 입력화면은 그림 3과 같다.

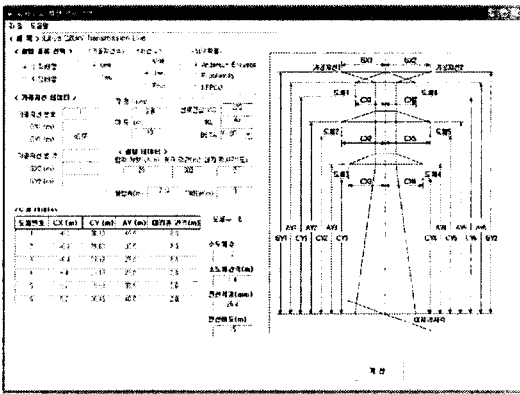


그림 3. 뇌 사고율 예측 계산 프로그램 입력 화면(Pro-to-type)

리비아 220kV 송전선로 뇌 사고율 예측 계산을 위한 주요 입력 데이터는 표 3과 같다. 철탁의 탐각저항은 사막지역임을 고려하여 한국보다 높은 20옴으로 가정하였으며, 송전선로는 평지에 설치된 것으로 가정하였다.

어떤 낙뢰의 뇌격전류 크기는 확률로서 설명되는데, 본 논문에서는 뇌 사고율 예측계산을 위한 뇌격크기 누적확률 분포곡선은 "CIGRE Study Committee 33(1979년)"에 발표된 "Anderson-Eriksson Curve"를 이용하였다.

표 3. 뇌 사고율 예측 계산을 위한 주요 입력 데이터

항 목	데 이 터
철탁 데이터	그림 1 참조
IKL	40
탐각저항	20옴
대지경사각	0도
뇌격누적확률분포	Anderson-Eriksson Curve

계산 결과는 표 4에서 알 수 있는 것과 같이 년간 100km 당 3.784건의 뇌사고율이 발생하는 것으로 추정되며, 이 사고건수는 한전의 154kV 송전선로 뇌사고율 제한 목표치 2건에 비해서도 상당히 높은 사고율임을 알 수 있다.

표 4. 리비아 220kV 송전선로 뇌사고율 예측치

[건/100km·년]

차폐실패 사고율	1.188
역섬락 사고율	2.596
총 뇌 사고율	3.784

3. 뇌 사고율 저감 방안

3.1 가공지선 2조 설치

가공지선 1조인 송전선로의 뇌 사고율을 저감할 수 있는 대표적인 방법은 그림 4와 같이 가공지선을 2조로 개설했어 운전하는 것이다. 송전선로의 가공지선을 2조로 설치하면 뇌에 의한 송전선의 보호범위가 증가하여 차폐 실패 사고율을 크게 저감시킬 수 있으며, 또한 가공지선의 써지 임피던스를 저감시켜 역섬락 사고율도 줄일 수 있다. 본 절에서는 가공지선 2조 설치시 뇌 사고율 저감 효과를 분석하고자 한다. 가공지선을 2조 조건 이외의 모든 데이터는 가공지선 1조 설치시의 데이터와 같다.

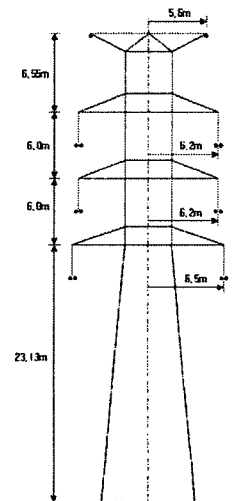


그림 4. 리비아 220kV 표준 철탁(가공지선 2조)

3.2 뇌 사고율 저감 효과 분석

낙뢰가 첩탑에 접촉했을 때, 그림5에서 알 수 있는 것과 같이 일부 뇌격전류는 첩탑으로부터 가공지선을 통해 이동하게 된다. 이렇게 방사되는 전류의 양은 가공지선과 첩탑의 써지 임피던스에 의해 제어된다. 대지에 평행한 도체 n의 써지 임피던스의 표준식은 식(1)과 같다.

$$Z_{mn} = 60 \cdot \ln\left(\frac{4h_n}{D_n}\right) \quad (1)$$

여기서 D는 도체직경이고, h는 도체 높이이다. 두 가공지선 사이의 상호 임피던스는 식(2)와 같다.

$$Z_{mn} = 60 \cdot \ln\left(\frac{a_{mn}}{b_{mn}}\right) \quad (2)$$

여기서 a_{mn} 은 도체 m과 대지의 영상분 n 사이의 거리이고, b_{mn} 은 도체 m과 n 사이의 거리이다. 가공지선이 2조일 경우, 두 가공지선의 등가 써지 임피던스는 식(3)과 같다.

$$Z_s = \frac{Z_{11} + Z_{22}}{2} \quad (3)$$

여기서 Z_{11} 은 가공지선 하나의 자체 써지 임피던스이고, Z_{22} 는 도체1과 2사이의 상호임피던스이다. 따라서 가공지선 1조일 경우보다 가공지선 2조일 경우 가공지선 써지 임피던스가 감소하게 되어 낙뢰에 의한 역섬락을 감소시키는 효과가 있다.

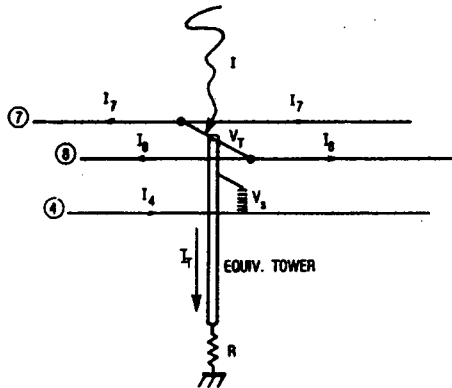


그림 5. 뇌격 전류의 가공지선과 대지와의 분류

또한 가공지선 2조일 경우 그림 4에서 직관적으로 알 수 있는 것과 같이 그림 1의 가공지선 1조 첩탑보다 낙뢰의 차폐범위가 증가하여 차폐실패 사고율을 감소시키는 효과가 있다.

표 5. 가공지선 2조 설치시 송전선로 뇌사고율 예측치 [건/100km·년]

차폐실패 사고율	0
역섬락 사고율	1.654
총 뇌 사고율	1.654

따라서 본 논문에서는 가공지선 2조 설치시 뇌 사고율

저감효과를 분석하기 위해서 위에서 설명한 프로그램을 이용하여 가공지선 2조 설치시 뇌 사고율을 예측 계산 하였으며 그 결과는 표 5와 같다.

리비아 220kV 송전선로는 평지에 건설되어 있으므로 그림 4와 같이 첩탑 중심점에서 약 5.6m 떨어진 지점에 가공지선을 2조 설치하면 차폐실패 사고율은 발생하지 않으며 역섬락 사고율은 연간 100km 당 1.654건이 발생하여 총 뇌사고율은 가공지선 1조로 운전하는 경우와 비교하여 약 50% 이상 저감할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

송전선의 내뢰설계에 있어서 뇌에 의한 트립 사고율과 공급지장 사고율을 허용범위 이내로 억제하기 위해서는 뇌 사고율을 가능한한 정확하게 예측하는 것이 선행되어야 한다. 이것을 위해서는 뇌 사고율 예측계산을 위한 각종 파라메타의 신뢰성이 선행되어야 하며, 뇌 사고 실적치와의 비교 검토 보정 작업이 필요하다.

본 논문에서는 리비아 220kV 송전선로의 뇌 사고율 계산 및 저감방안 검토를 위해 IKL, 탐각저항 등 몇몇 중요한 데이터를 최대한 합리적으로 가정하여 예측 계산 하였으며, 검토 결과 표 6와 같이 가공지선 2조 설치시 현재의 가공지선 1조의 송전선로와 비교하여 약 50% 이상의 뇌 사고율 저감효과가 있음을 확인하였다. 그러나 표 6에서 알 수 있는 것과 같이 가공지선 2조 설치만으로는 역섬락 사고율을 줄이는 데에는 한계가 있으며, 이를 줄이기 위해서는 첩탑의 탐각저항을 저감시키려는 노력이 필수적이다.

그러나 가공지선 2조 설치시 연간 100km 당 약 1.6건의 뇌 사고율은 한전의 345kV 송전선로 뇌 사고율 제한 목표치 1건, 154kV 송전선로의 목표치 2건과 비교하면 적절한 목표치가 된다고 판단된다.

표 6. 가공지선 수에 따른 리비아 220kV 송전선로 뇌사고율 예측치 비교

	[건/100km·년]	
	가공지선 1조	가공지선 2조
차폐실패 사고율	1.188	0
역섬락 사고율	2.596	1.654
총 뇌 사고율	3.784	1.654

[참 고 문 헌]

- [1] K. Berger, R. B. Anderson, H. Kroninger. "Parameters of Lightning Flashes", *Electra*, No. 41, July 1975, pp. 23-37
- [2] R.H. Golde, *Lightning*, Vols 1 and 2, London·New York·San Francisco: Academic Press, 1977.
- [3] *Transmission Line Reference Book - 345kV and Above*, Electric Power Research Institute, 1975.
- [4] G.W. Brown. "Lightning Performance. I - Shielding Failures Simplified", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-97, pp. 33-38, 1978.
- [5] G.W. Brown. "Lightning Performance. II - Updating Backflash Calculations", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-97, pp. 39-52, 1978.
- [6] F.A. Fisher, J.G. Anderson, J.H. Hagenguth. "Determination of Transmission Line Lightning Performance by Means of Geometrical Models", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-78, pp. 1725-1736, 1960.
- [7] M. Darveniza, "Modelling for Lightning Performance Calculations", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-98, pp. 1900-1908, 1979.